

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

ET SOLVARMEANLÆG TIL RUMOPVARMNING
OG VARMT BRUGSVAND
- MÅLINGER PÅ SYSTEMPRØVESTAND

AF

OLE BALSLEV-OLESEN

NICK BJØRN ANDERSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE
MEDDELELSE NR. 163

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

RAPPORT NR. 28

SEPTEMBER 1984

Forord

Gennem de senere år er der installeret en del solvarmeanlæg i landet, men anlæggenes ydelse har ikke altid kunne leve op til de forventninger, som såvel forbrugere som producenter og installatører har haft. Der har ofte været tekniske problemer med konstruktionen og driften af anlæggene, problemer, som man ikke umiddelbart har kunnet gøre noget ved på grund af de relativt sparsomme erfaringer, man har haft. Disse begynder-vanskeligheder er overvundet for brugsvandsanlæggenes vedkommende, hvilket er dokumenteret i ref. 2. Med det senest udviklede kombinerede anlæg, som er designet ud fra de erfaringer, der er gjort gennem den intensive forskning (ref. 1 og 2), er det lykkedes at dokumentere, at de forventede høje ydelser også kan opnås i praksis for kombinerede anlæg, og der er hermed lagt op til tekniske fremskridt på området. Målingerne på anlægget er foretaget på laboratoriets prøvestand, installationen SPTF-Solar Pilot Test Facility.

Prøvestanden blev etableret i årene 1978-79, og projekter på prøvestanden er blevet finansieret dels af Energiministeriets solvarmeprogram og dels af Kommissionen for de Europæiske Fællesskaber.

Dette projekt er gennemført med deltagelse af følgende medarbejdere:

Hanne Toft,	sekretær
Flemming Karn,	VVS
Ole Ravn,	VVS
Bertil Morelli,	Elektronik
Nick Bjørn Andersen,	civilingeniør
Ole Balslev-Olesen,	civilingeniør
Kenneth Sørensen,	teknisk tegner

Resume

Rapporten beskriver opbygningen og dimensioneringen af et kombineret anlæg til rumvarme og varmt brugsvand beregnet til indplacering i et 120 m² enfamiliehus. Den særlige konstruktion af lageret, som sikrer god temperaturlagdeling, er skitseret, ligesom anlæggets kobling til det eksisterende varmeanlæg er beskrevet, herunder anvendelse af en separat radiator for solvarme.

De optagne målinger er anvendt til verifikation af en model for systemet, og computerberegninger af anlæggets årsydelse er foretaget ved brug af denne model. Dækningsgraden for anlægget er herved beregnet til 25%, heri er ikke medregnet sparet tomgangstab.

Med de anvendte komponenter er anlægget privatøkonomisk ikke ekstremt favorabelt, selv om en rimelig økonomi er opnået. Ved anvendelse af billigere komponenter samt ved hjælp af en vis grad af produktudvikling vil anlægget være privatøkonomisk rentabelt.

Summary

This report describes the system configuration and dimensioning of a combined solar system for space heating and domestic hot water supply designed for a Danish dwelling with a floor area of 120 m² occupied by three persons. The solar storage designed to secure good temperature stratification is shown and the interaction between the solar system and the existing heating installations is described, including the use of a separate radiator for solar heating.

The measurements obtained from the Danish Pilot Test Facility are used for verification of a system model. Using the verified model computations of the yearly performance have been done. The system covers 25% of the total demand and the losses from the idling boiler during summer.

A fair economy is obtained. Using cheaper components and a certain degree of development a positive balance between savings and investments will be reached, regarding the consumer.

IndholdsfortegnelseSide

Forord

Resume

Summary

1. Introduktion	1
1.1 Erfaringer	1
1.2 Formål og krav	3
2. Beskrivelse af anlægget	4
2.1 Anlæggets funktion	4
2.2 Forsøgsanlægget	6
2.3 Målesystem	7
2.3.1 Energitransport	7
2.3.2 De opsamlede data	8
2.3.3 Tapning af varme	9
2.3.4 Tapning af brugsvand	10
2.4 Systemdata	10
2.4.1 Solfangere - primærkreds	11
2.4.2 Lagertank	11
2.4.3 Brugsvandskredsen	12
2.4.4 Varmekredsen	13
3. EDB-model	14
3.1 Modellering af det aktuelle anlæg	14
3.2 Verifikation af model	16
4. Analyse af måleresultater	21
4.1 Solfangerens effektivitet	21
4.2 Temperaturlagdeling i lageret	24
4.3 Lagerets varmetab og kapacitet	26
4.4 Styresystem	29
5. Beregning af årsydelser	31
5.1 Varmebehov	31
5.2 Varmefordelingssystemet	32

6. Parametervariationer	34
6.1 Formål	34
6.2 Anlægsstørrelse	34
6.3 Radiatorsystem	36
6.4 Anlægsudformninger	38
7. Økonomi	41
8. Konklusion	43

Referencer

Appendix 1: Symboler og variabelnavne

Appendix 2: Parametre anvendt ved beregning af årsydelse m.m.

1. Introduktion

Hvis en væsentlig del af det samlede energibehov for en bolig ønskes dækket med solvarme, er det nødvendigt at installere et anlæg, der kan dække såvel en del af behovet for brugsvand som en del af rumopvarmningsbehovet.

Baggrunden for udformningen af dette kombinerede solvarmeanlæg, som denne rapport beskriver, har bl.a. været de erfaringer, som arbejdet med og beregninger på to tidligere opførte anlæg gav. (Anlæg i Greve og Gentofte, se ref. 1). Desuden er der bygget på de gode driftserfaringer med BV-300 anlægget (se ref. 2).

Udviklingen både inden for brugsvandsanlæg og inden for anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand har nået det stade, hvor man kan høste frugterne af flere års forskning samtidig med, at det efterhånden er lykkedes at omsætte driftserfaringerne fra mange forskellige anlæg direkte i udformningen af nye anlæg.

Nærværende projekt er tillige en del af EF's solvarmeforskningsprojekt: Solar Pilot Test Facility (SPTF).

SPTF-prøvestanden har været et usædvanligt godt redskab for forskningen i og udviklingen af solvarmeanlæg. På prøvestanden er det muligt at foretage målinger på to komplette solvarmeanlæg sideløbende. Der er i perioden 1980-84 målt på adskillige solvarmeanlæg. Resultaterne herfra er beskrevet i ref. 3.

1.1 Erfaringer

De erfaringer, der tidligere er gjort, er:

- Styring - kompleksitet

Det har i praksis vist sig at være vanskeligt at få

prisvenlige, driftssikre VVS-automatikker og motorventiler m.v. Solvarmeanlægs ydelse er helt afhængig af en fejlfri udførelse af VVS-arbejdet og funktionssikre styringer. Valget af styring må derfor være et kompromis, idet man med en mere kompleks styring vil kunne få større ydelse, men også samtidig større mulighed for funktionssvigt. En kompleks styring vil derudover gøre det vanskeliggere at opdage og spore eventuelle fejl.

- Solfangerne:

Der skal anvendes gode, helst selektive solfangere.

- Forbrugsmønster

Målinger og beregninger på anlæggene i Greve og Gentofte har vist at ydelserne af anlæggene er følsomme over for fyringsvanerne hos brugerne. Dette bør der tages højde for ved projekteringen af solvarmeanlæggene.

- Styring af rumopvarmning

Et eventuelt radiatorsystem skal kunne anvende en så lav fremløbstemperatur som muligt, idet der derved opnås den største ydelse. Der kræves dog samtidig større varmefflade i radiatorerne.

- Dimensionering af systemet

Det har ofte vist sig at være en fordel at underdimensionere anlæggene mht. solfangerareal og lagerstørrelse i forhold til tidligere dimensioneringsvejledninger. Dette har vist sig også at gælde for dette aktuelle kombinerede anlæg.

1.2 Formål og krav

Det har fra starten været et overordnet krav, at anlægget skulle kunne placeres i et eksisterende hus, og at anlægget leverer både rumvarme og varmt brugsvand. Samtidig har det været et krav, at anlægget skulle bestå af kendte afprøvede komponenter/materialer.

Derudover skulle lagerbeholderen konstrueres, så det var muligt at opnå en god temperatur-lagdeling og lagerbeholderkonstruktionen skulle kunne skilles ad for inspektion m.v. Dimensionerne for lagertanken skulle vælges, så mulighederne for at få den ind i huse/kældre var gode.

Anlægget skulle dimensioneres således, at ydelserne kunne forventes at være af størrelsesordenen:

Brugsvand	2000 kwh ud af	3400 kwh	59%
Varme	2500 kwh ud af	14100 kwh	18%
Sum	4500 kwh ud af	17500 kwh	26%

Forbrugene svarer til 120 m² BR-77 hus.

Det har været hensigten med det arbejde, der er gjort at vise, at der kan opnås store ydelser med en konventionel udførelse af et kombineret anlæg.

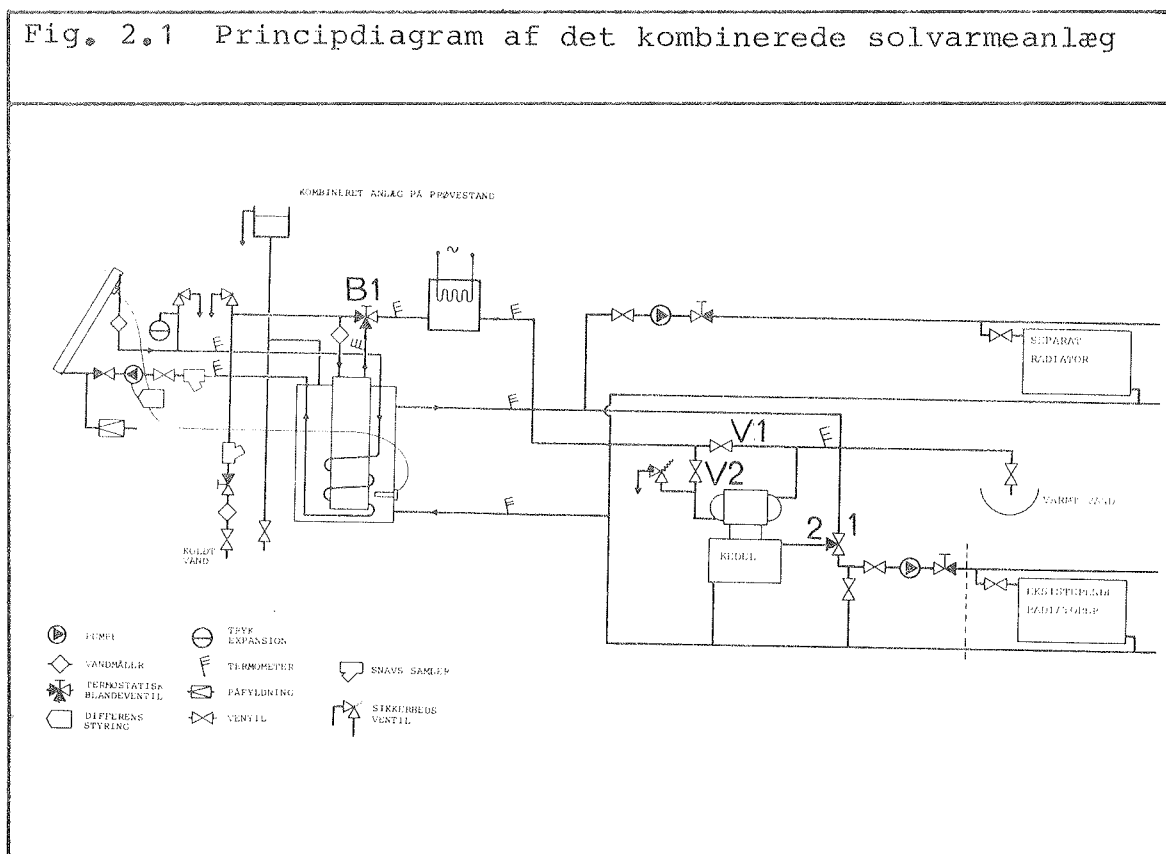
2. Beskrivelse af anlægget

På baggrund af de i forrige afsnit nævnte aspekter valgtes følgende systemudformning for et anlæg placeret i et hus:

1. Pumpedrevet solfangerkreds med varmevekslerspiral
2. Neddykket varmtvandsbeholder
3. Eftervarmning af brugsvand
4. Lagertank direkte i centralvarmekreds
5. Separat radiator til solvarme

2.1 Anlæggets funktion

Principdiagrammet viser solvarmeanlægget koblet sammen med den eksisterende kedel og varmtvandsbeholder.



Det er varmebehovet, der er bestemmende for om fyret er tændt eller slukket, idet der er installeret en elvandvarmer til at supplere solvarmen til varmt brugsvand. Herved undgås det at tænde fyret i sommerperioden, og tomgangstabet for oliefyret vil derfor kunne spares i denne periode.

Sommerperiode	ca. 15.april-15. sept. (fyret slukket)
Vinterperiode	ca. 15.sept.-15.april (fyret tændt)

A) Sommerperioden: I sommerperioden er fyret slukket og port 2 spærret i trevejsventilen. V2 er lukket og V1 er åben, og der køres derfor helt uden om kedel og tilhørende varmtvandsbeholder.

Varme: Både de eksisterende radiatorer og den separate solvarmeradiator er i funktion. Hele varmebehovet dækkes.

Varmt vand: Temperaturen i den neddykkede varmtvandsbeholder vil af og til ikke være høj nok, og der må eftervarmes med elvandvarmeren. Temperaturen vil ofte være for høj, således at blandeventilen B1 må iblande koldt vand.

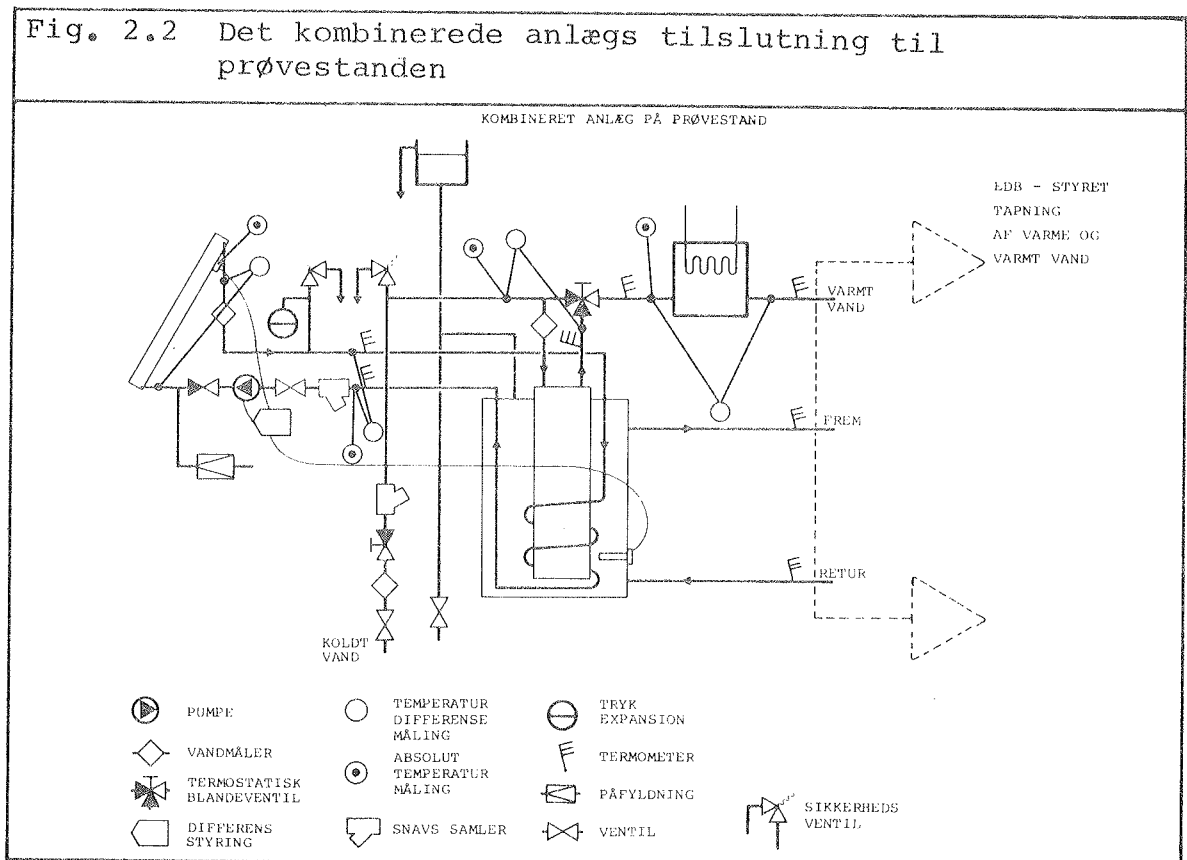
B) Vinterperioden: I vinterperioden er der tændt for fyret, port 1 spærret i trevejsventilen, V1 er lukket, V2 er åben, og elvandvarmeren er slukket.

Varme: De eksisterende radiatorer kører udelukkende på fyret, men den separate radiator er i funktion så ofte som temperaturen i lagertanken gør det muligt.

Varmt vand: Vandet forvarmes i den neddykkede varmtvandsbeholder og bringes om nødvendigt op i varmtvandsbeholderen tilsluttet fyret.

2.2 Forsøgsanlægget

I praksis har det ikke været muligt inden for bevillingsrammerne for dette projekt at opbygge et forsøgsanlæg, som det er vist på fig. 2.1 og dermed teste funktionen af den separate radiator. Anlægget er derfor udført, som vist på fig. 2.2 og er tilsluttet systemprøvestandens (SPTF'ens) EDB-styrede tapning af rumvarme og varmt brugsvand.



Det er dog muligt at simulere varmeafgivelsen for den separate radiator (se senere afsnit).

SPTF: Solar Pilot Test Facility

Lagertanken er anbragt indendørs (temperatur ca. 20°C og solfangerne er anbragt sydorienterede og med 56°C hældning.

2.3 Målesystem

Målesystemet er baseret på en HP 9825A computer, anvendt som styre- og kontrolenhed. Ved hjælp af scanner (HP3495A) og voltmeter (HP3455A) opsamles data på op til 80 kanaler hvert 20 sek. Hver halve time bliver middelværdier for temperaturer, flow og energimængder gemt på bånd på extern båndstation (Penny & Giles 2100D).

2.3.1 Energitransport

Energitransporten er beregnet på grundlag af flow, temperaturdifferencer, varmfylde og massefylde i de enkelte kredse. Energifluxen beregnes hvert 20. sek. og en middelværdi findes hver halve time ved hjælp af følgende formel:

$$E = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{1}^N \left(\Delta T \cdot \rho \cdot C_p \cdot F \right) \text{ [kWh]}$$

hvor

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

ΔT = temperaturdifferencen i det N'te interval

F = flow i det N'te interval

ρ = massefylden beregnet efter $\rho = \rho(T)$

C_p = varmfylden beregnet efter $C_p = C_p(T)$ i det N'te interval.

- Temperaturer

Temperaturerne er målt med kobber-konstantan termoelementer af bedste kvalitet. Referenceelementet er placeret i en box med konstant temperatur 40°C. Temperaturdifferencerne er målt med termosøjler med ti termoelementer i hver søjle.

- Solstråling

Solstrålingen måles med et pyranometer fra Kipp & Zonen.

- Flow

Diverse flow er målt med ringstempelmålere fabrikat Aqua-Metro.

- Lagring af data

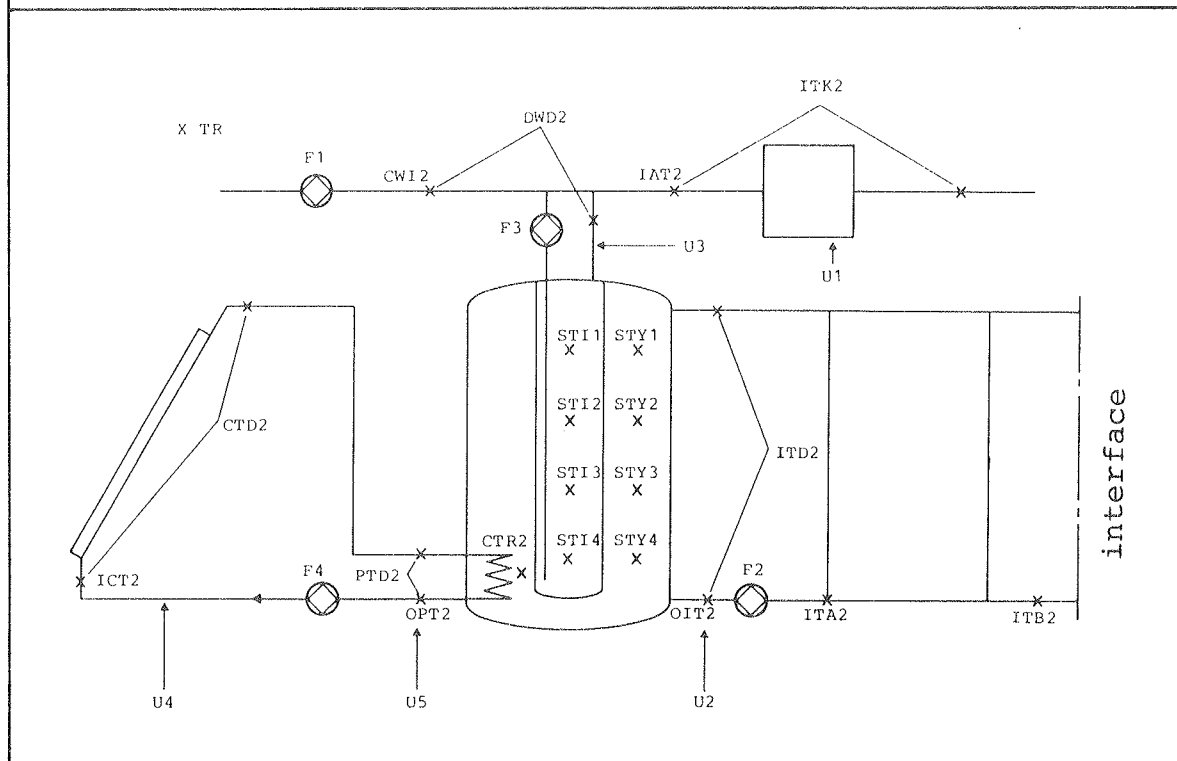
Hovedsagelig har udstyret fungeret, som det skulle, selv om der ind i mellem har været problemer med at læse båndene igen med PG2100D, problemer med memory modulen i HP9825A samt enkelte svigt i strømforsyningen.

De opsamlede data er blevet lagret på NEUCC, Det Regionale EDB-center i form af SAS-datasæt (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA).

2.3.2 De opsamlede data

På fig. 2.3.2 ses de vigtigste målepunkter angivet med variabelnavn. En liste over samtlige variable findes i appendix 1.

Fig. 2.3.2 Oversigt over de vigtigste målepunkter.



2.3.3 Tapning af varme

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 interfacekredsen (fig. 2.3.2) kan varmen hentes ud af lagerbeholderen, hvilket sker i de situationer, hvor der er sammenfald mellem varmebehov og tilstrækkelig lagertemperatur.

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 vejrdata 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, $^\circ\text{C}$

I_L : solindfald på lodret sydvendt flade, W/m^2

A : $177.7 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (fundet ved regressionsanalyse)

B : 2.8 m^2 (fundet ved regressionsanalyse)

G : gratisvarme fra personer og el $\sim 11 \text{ kWh/døgn}$

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

Varmen afgives i den tænkte separate radiator, idet returtemperaturen ITB2 styres efter radiatorstørrelser og varmebehov.

2.3.4 Tapning af brugsvand

Brugsvandet tappes 3 gange dagligt, kl. 8.00, 13.00 og 17.30 med ca. 80 liter hver gang. Tapningen styres af et kontaktur og et tidsrelæ, som sikrer, at tapningen har den nødvendige varighed.

2.4 Systemdata

Anlæggets hoveddata er valgt med baggrund i beregningerne i ref.1:

ca. 15 m^2 solfanger

ca. 1200 l varmelager

Øvrige væsentlige data er angivet i det følgende.

2.4.1 Solfangere - primærkreds

Primærkredsen er udført helt traditionelt som system med trykeksansion, pumpecirkulation og varmevekslerspiral.

Solfangere: 10 stk. Sunline m. selektiv folie

1 lag glas

transparent areal: 15,7 m²

solfangervæske: propylenglykol (ca. 44 l)

flow : 0,111 kg/s (ca. 0,4 l/min/m²)

rør : 3/4"

hældning : 56°

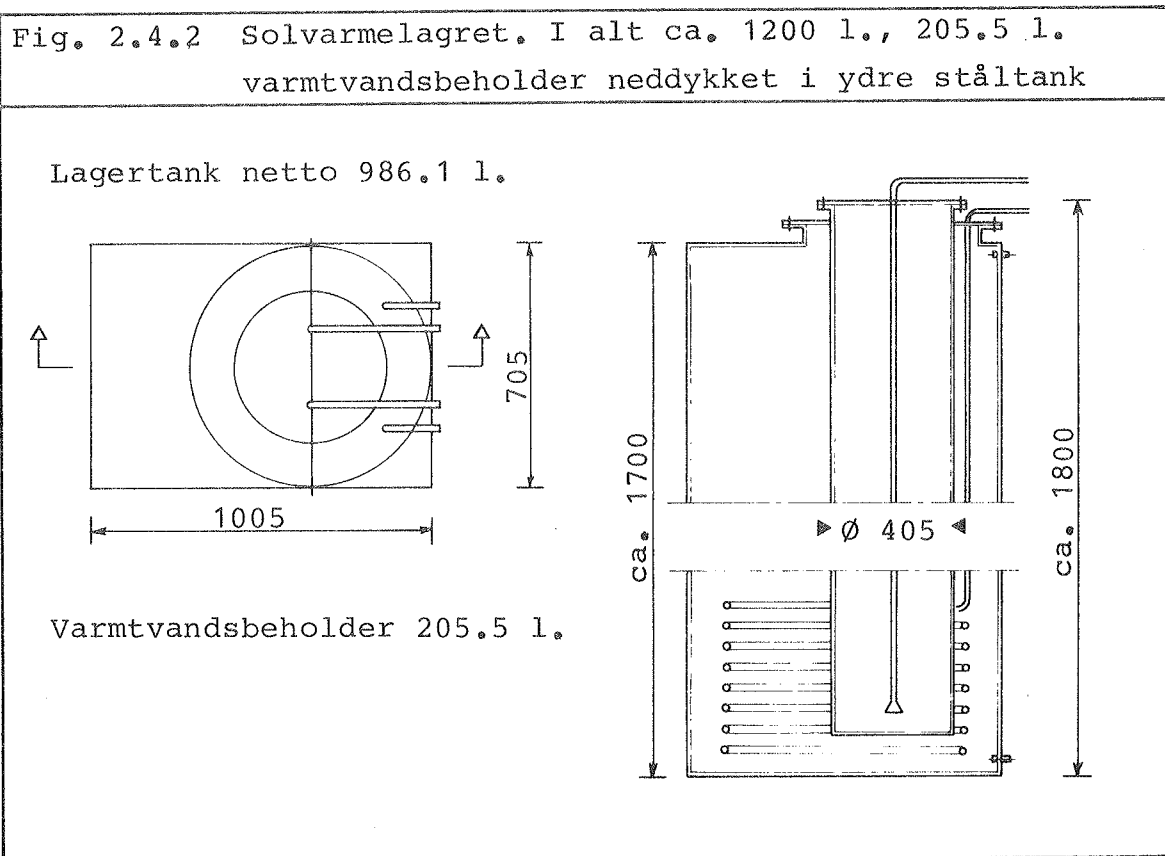
Varmeveksler: 20 m 16/18 mm kobberørspirale

Styring: differensstyring m. separat indstilling af start-/stopdifferens.

2.4.2 Lagertank

Lagertanken er fremstillet hos Herning Beholderfabrik A/S efter oplæg fra laboratoriet. For at opnå en god temperaturlagdeling er tanken gjort passende høj, og den neddykkede varmtvandsbeholder er ført næsten helt ned til bunden for at opnå en køling af bunden med den nødvendige tilgang af koldt vand. Denne køling af bunden øger primærkredsens effektivitet.

Idet tilførslen af koldt vand sker i bunden, vil det være muligt at bevare de øvre lag i tanken relativt varmt, da der ikke sker nogen opblanding mellem den varme top og den kolde bund. Ydermere er koldtvandstilgangen, som er ført ned til bunden af varmtvandsbeholderen, udført i plast for at hindre en køling af de varme lag for oven i beholderen. Rørforbindelserne ned til spiralen inden i beholderen er samtidig isoleret med krympeslange.



2.4.3 Brugsvandskredsen

Produktionen af varmt brugsvand sker primært i den neddykkede varmtvandsbeholder og der eftervarmes i:

- a) elvandvarmer (sommer)
- b) eksisterende varmtvandsbeholder (vinter)

Elvandvarmer: 30 l Metro type 903 (rør ned)

Rør : 3/4"

I brugsvandskredsen er indskudt en skoldningssikring, som sikrer, at udløbstemperaturen for det varme vand på intet tidspunkt overstiger ca. 60°C.

2.4.4 Varmekredsen

En eventuel trykeksansion i den eksisterende varmekreds kan ikke anvendes. Systemet skal monteres med åben eksansion, idet lagertanken ikke kan modstå noget videre tryk. Varmetabet er forsøgt minimeret ved hjælp af den specielle rørføring til ekspansionsbeholderen.

3. EDB-model

Anlægget er kontrolleret ved at sammenligne målte ydelser med ydelser opnået med en beregningsmodel, som er påtrykt samme belastning, som det aktuelle anlæg. Hermed opnås det, at det efter kort tids måling kan afgøres, om anlæggets drift er optimal med den givne anlægsudformning. En eventuel afvigelse kan derfor justeres på et tidligt tidspunkt i projektforsløbet.

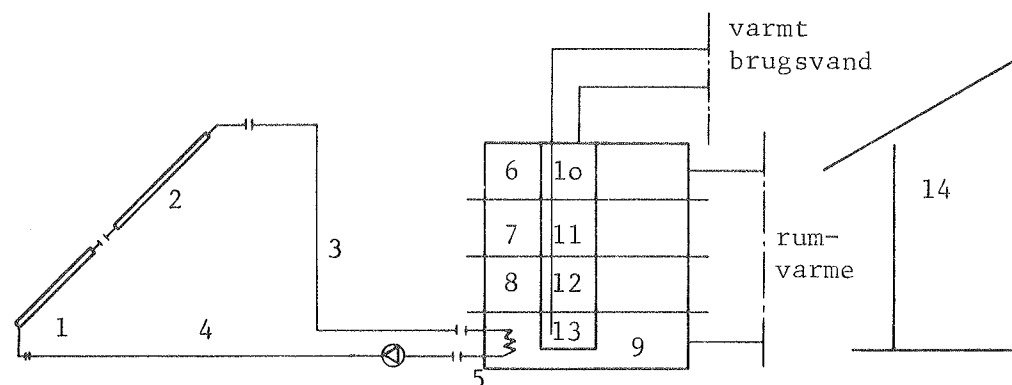
Som beregningsgrundlag er anvendt en dynamisk time for time simuleringsmodel kaldet EMGP2 (ref. 6). Modellen er udviklet under EF's energiforskningsprogram med deltagelse af Laboratoriet for Varmeisolering. Modellen er kontrolleret ved at sammenligne simuleringsresultater med målinger fra 8 systemprøvestande for solvarmeanlæg placeret i forskellige EF-medlemslande. Resultatet af denne sammenligning har vist en ganske god overensstemmelse og afvigelsen ligger inden for målenøjagtigheden. På den baggrund betragtes modellen at være velegnet som sammenligningsgrundlag.

3.1 Modellering af det aktuelle anlæg

Simuleringsmodellen er modulært opbygget, så en lang række forskellige systemudformninger kan simuleres og detaljerede undersøgelser af specielle forhold kan foretages.

Ved sammensætningen af modellen for det aktuelle anlæg er der lagt vægt på stor nøjagtighed og detaljeringsgrad. Modellen består af 13 delkomponenter, som hver beskriver dele af anlægget. På fig. 3.1 er vist et principdiagram af modellen.

Fig. 3.1 Principdiagram af simuleringsmodel med angivelse af modellens delkomponenter.



- | | |
|---------------------------|---|
| 1: solfangerelement | 6-9: stratificeret lager til lagertanken opdelt i fire temperaturlag. |
| 2: solfangerelement | 10-13: stratificeret lager for forvarmebeholderen opdelt i fire temperaturlag |
| 3: rørforbindelse | |
| 4: rørforbindelse | |
| 5: neddykket varmeveksler | 14: bygningsmodel |

I projekteringsfasen blev der lagt vægt på at udforme lageret på en måde, så der kunne opnås en god temperaturlagdeling i lageret. Det kolde brugsvand ledes ind i bunden af forvarmebeholderen og returvandet fra radiatoren ledes ind i bunden af lagertanken. Yderligere er forvarmebeholderen placeret i hele lagerets højde, så den kolde del af forvarmebeholderen er i bunden af lagertanken, hvor solfangerkredsens varmeveksler er placeret. For at tage hensyn til denne temperaturfordeling i modellen er både lagertanken og forvarmebeholderen indelt i 4 lag med hver sin temperatur.

Væskestrømmen i solfangerkredsen er relativ lav for det aktuelle anlæg (ca. 0.40 l/min/m^2). Væskestrømmens indflydelse på anlæggets ydelse har det derfor været nødvendigt at få med i modelleringen. For at kunne tage hensyn til denne effekt er modellen af solfangeren opdelt i to komponenter, så der opnås en temperaturforde-

ling i solfangeren i strømningsretningen.

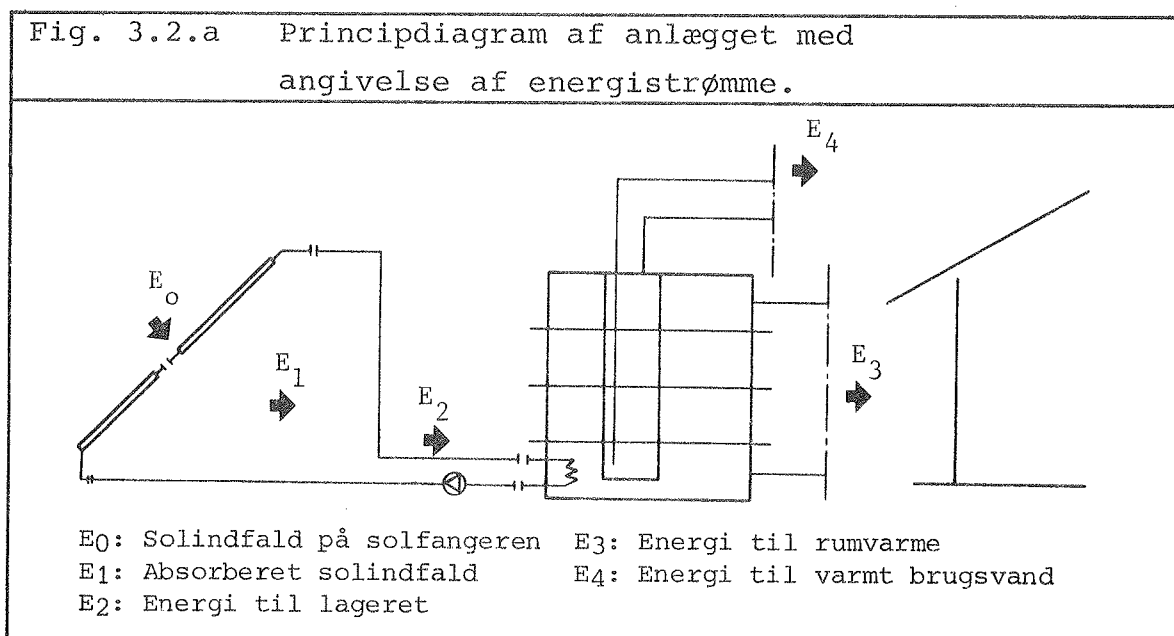
Kapaciteten af rør og solfangere er modelleret ved at forøge kapaciteten i solfangerne, og rørene er så modelleret, som om de ikke har nogen kapacitet.

Pumpen i solfangerkredsen er medtaget i modellen. En del af pumpens energiforbrug omsættes til varme og afsættes i solfangerkredsen, dog er der her tale om meget små energimængder.

3.2 Verifikation af model

To måleperioder er anvendt til sammenligning af de beregnede og målte størrelser. Modellen er påtrykt den belastning, som er målt på det aktuelle anlæg. Solindfald og vindhastighed indgår som belastning på solfangeren. Flow og indløbstemperaturer indgår som belastning af henholdsvis forvarmebeholderen og lagertanken.

Sammenligningen er foretaget for energistrømmene i anlægget, ved plot af de akkumulerede værdier og ved angivelse af daglige værdier i tabeller. På fig. 3.2 a er vist de aktuelle energistrømme, som indgår i sammenligningen.



I tabel 3.2 er angivet beregnede og målte energistrømme dag for dag. Der kan konstateres en lille afvigelse specielt for energistrømmen fra lageret til radiatoren. Det skyldes muligvis, at der i den aktuelle periode har cirkuleret en lille vandmængde gennem radiatoren, og flowmåleren har givet anledning til en relativ stor måleusikkerhed.

Tabel 3.2.

Beregnete og målte ydelser for to måleperioder angivet som daglige værdier og summen for perioderne.

CE0	samlet solindfald, målt	Betegnelserne uden "C" angiver de samme størrelser for beregnede værdier.
CE1	absorberet solenergi, målt	
CE2	energi ind i lageret, målt	
CE3	energi til rumopvarmning, målt	
CE4	energi til varmt brugsvand, målt	

	CE0	CE1	E1	CE2	E2	CE3	E3	CE4	E4
16 juli	196	37	37	26	30	24	28	23	23
17 juli	327	122	120	107	106	43	54	19	19
18 juli	273	95	99	83	89	33	35	22	21
19 juli	272	69	69	54	58	86	81	22	22
20 juli	243	85	88	74	79	54	69	15	15
21 juli	325	125	130	110	117	45	47	16	15
22 juli	200	67	65	57	59	31	30	18	18
sum	1339	604	610	513	541	319	346	139	135
	CE0	CE1	E1	CE2	E2	CE3	E3	CE4	E4
1 juni	373	186	184	173	174	45	29	13	13
2 juni	165	45	41	36	35	14	15	17	18
3 juni	126	24	23	17	19	60	64	15	15
4 juni	184	76	76	70	71	56	67	10	10
5 juni	77	8	10	4	9	29	27	7	7
sum	928	341	337	302	309	207	207	65	65

På fig. 3.2.b-3.2.e er akkumulerede energistrømme angivet ved plot, og der kan konstateres en ganske god overensstemmelse. På fig. 3.2.f er der for de to måleperioder vist plot af de øjeblikkelige forskelle ($\frac{1}{2}$ times værdier) mellem beregnede og målte værdier, og som det ses, kan der ikke konstateres nogen regelmæssighed i afvigelserne. En fejlstyring af solfangerkredsen vil her kunne konstateres ved plot af de øjeblikkelige værdier.

På den baggrund må det antages, at anlæggets driftstilstand er i overensstemmelse med det forventede, og at der ikke er behov for nogen justering af hverken modellen eller anlægget.

Fig. 3.2.b Akkumulerede energistrømme absorberet i solfangeren, målt og beregnet for to måleperioder.

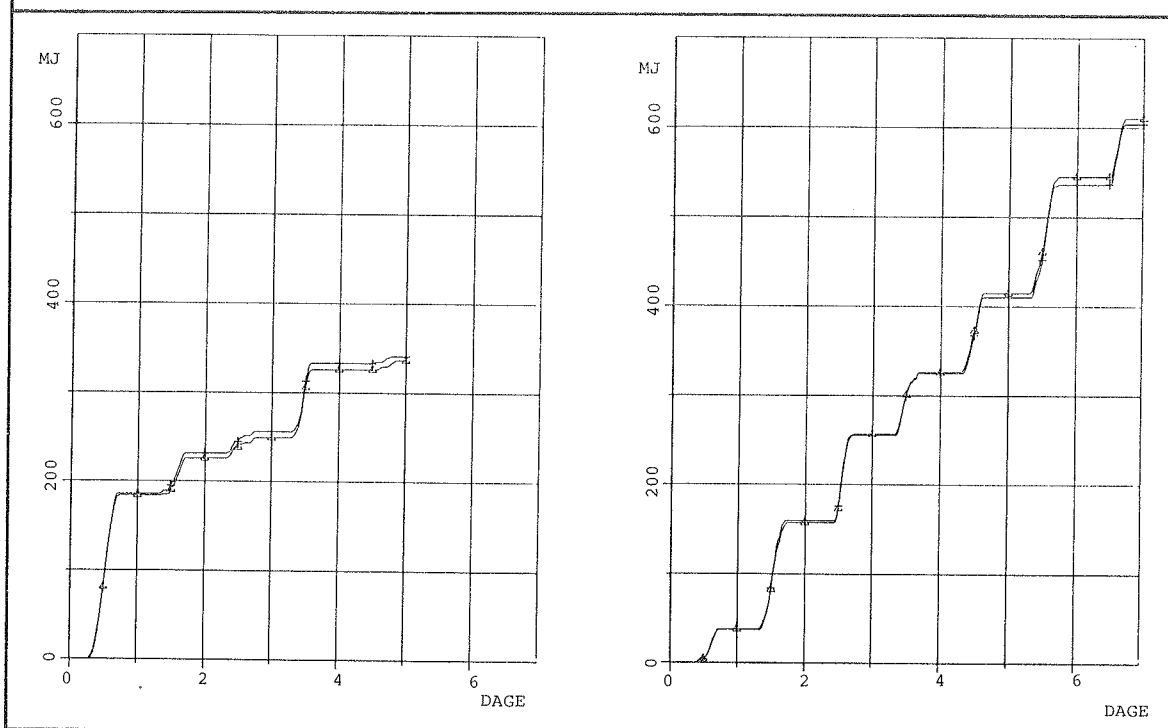


Fig. 3.2.c Akkumulerede energistrømme tilført lageret, målt og beregnet for to måleperioder.

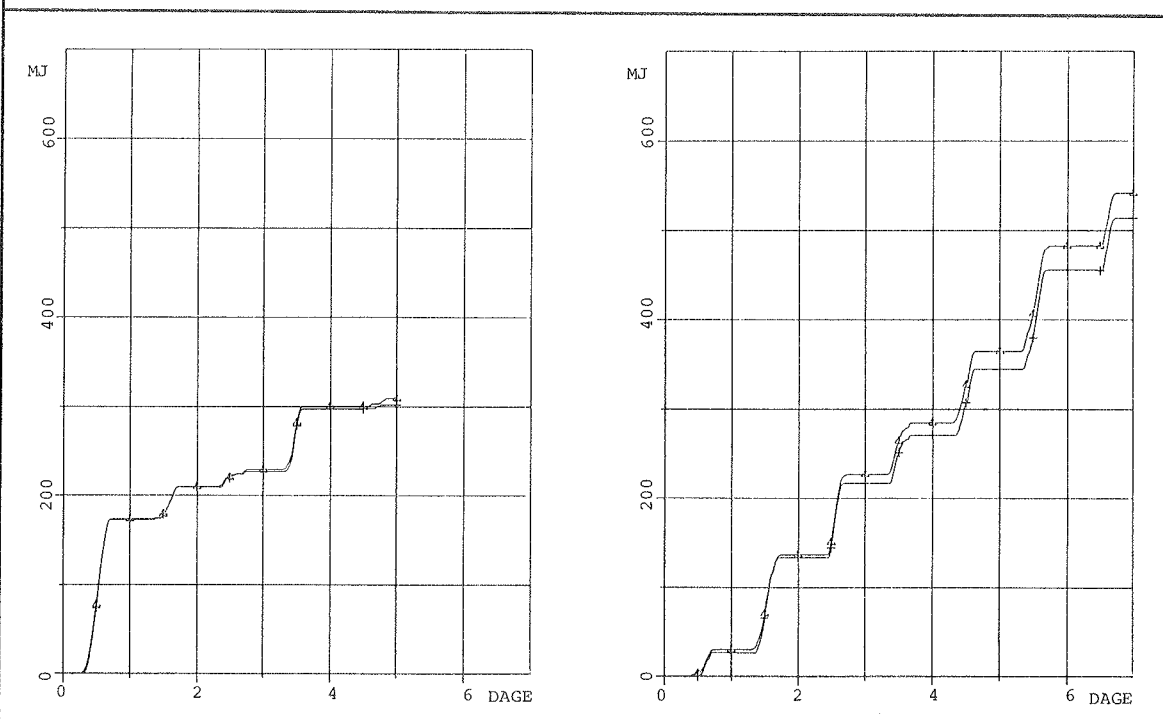


Fig. 3.2.d Akkumulerede energistrømme til rumvarme, målt og beregnet for to måleperioder.

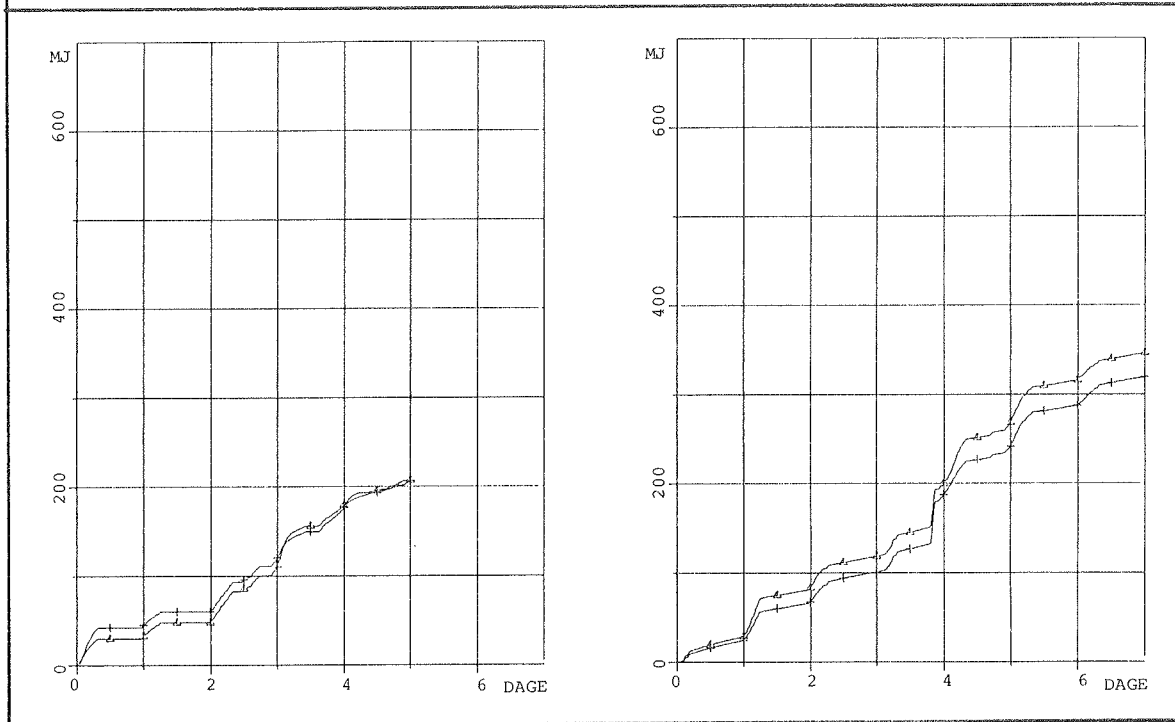


Fig. 3.2.e Akkumulerede energistrømme til varmt brugsvand, målt og beregnet for to måleperioder.

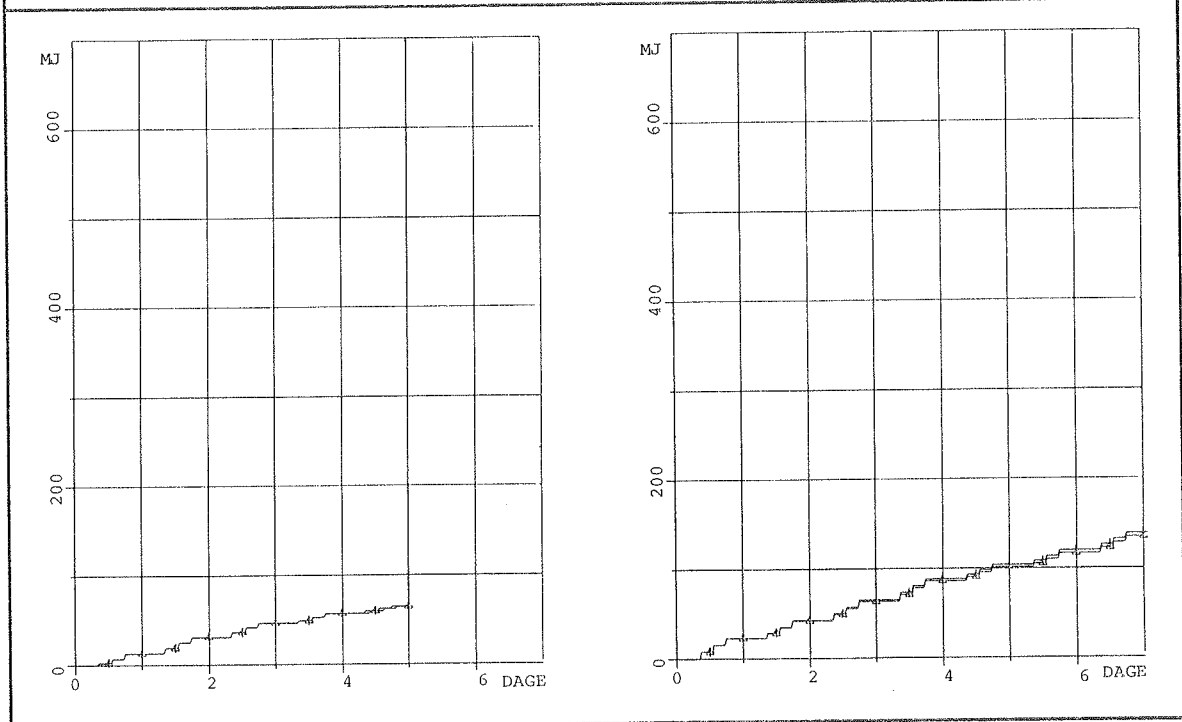
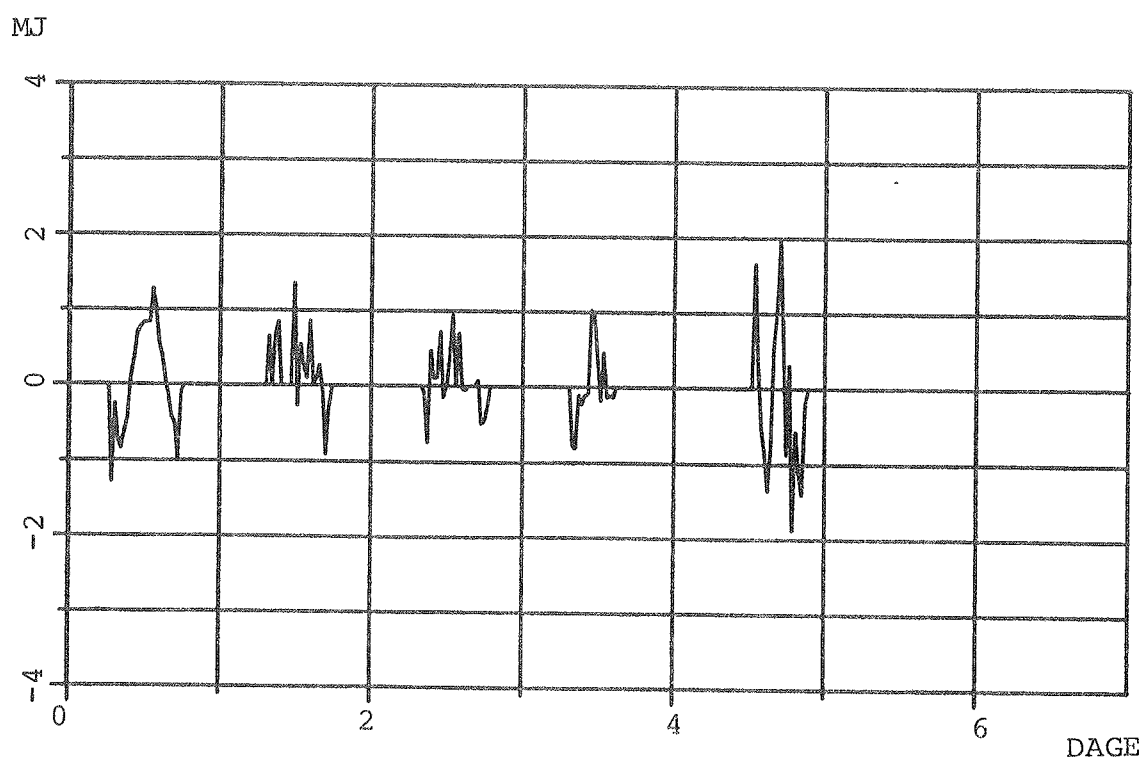
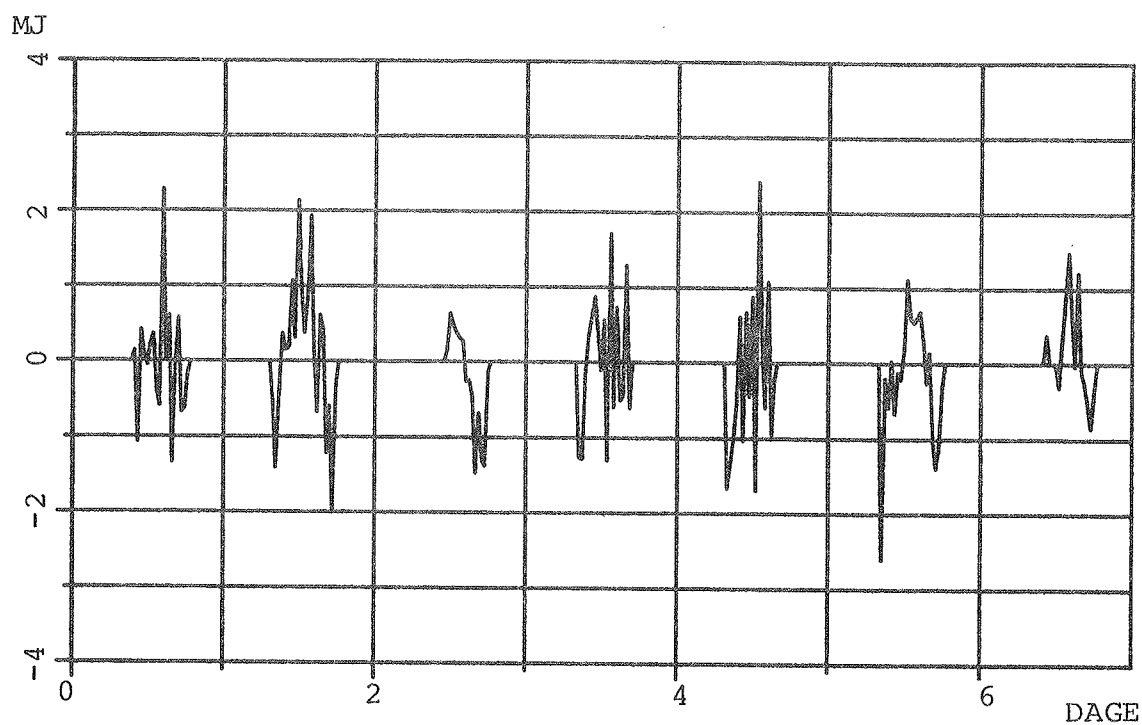


Fig. 3.2.f: Plot af øjeblikkelige forskelle mellem målte og beregnede lagrede energimængder.



4. Analyse af måleresultaterne

På grundlag af de målinger der er opsamlet, har det været muligt at undersøge funktionen af de enkelte delkomponenter såvel som funktionen af systemet som helhed. I dette kapitel vil de målte data blive analyseret, hvorimod kapitel 5. vil omhandle "ekstrapolationer" ud fra de målte data.

4.1 Solfangerens effektivitet

På grundlag af målingerne er effektiviteten af anlæggets solfanger fundet, og sammenlignet med effektivitetskurven opnået ved en indendørs afprøvning af den samme type solfanger. Specielt har det været ønskeligt at få belyst, om den mindre væskestrømning gennem solfangeren har betydning for ydelsen, eller om det at solfangeren har været udsat for længere tids stagnation har ændret solfangerens effektivitet.

Måling af solfangerens effektivitet sker normalt under stationære forhold. For at opfylde dette krav, er der korrigeret for solfangerens varmekapacitet og effektiviteten er derfor fundet af følgende udtryk:

$$\eta = \frac{E_1 + C \frac{dT_m}{d\tau}}{E_0}$$

hvor

E_0 : det totale solindfald (kW)

E_1 : absorberet solindfald (kW)

C : kapaciteten af absorberpladen,
rørforbindelser og væskeindholdet,
som for anlægget er beregnet til
270 kJ/°C

T_m : middeltemperaturen af væsken i solfangeren

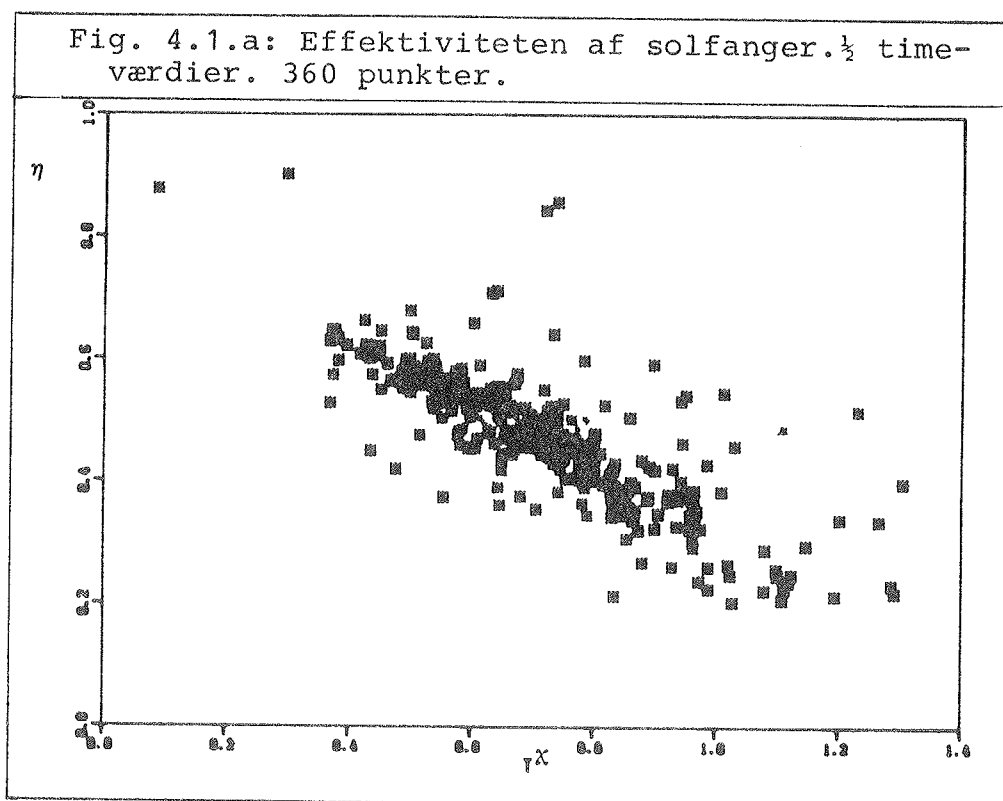
$d\tau$: tidsstep, som for disse målinger er 1800 s

På fig. 4.1.a er effektiviteten vist som funktion af T^{λ} for samtlige målinger:

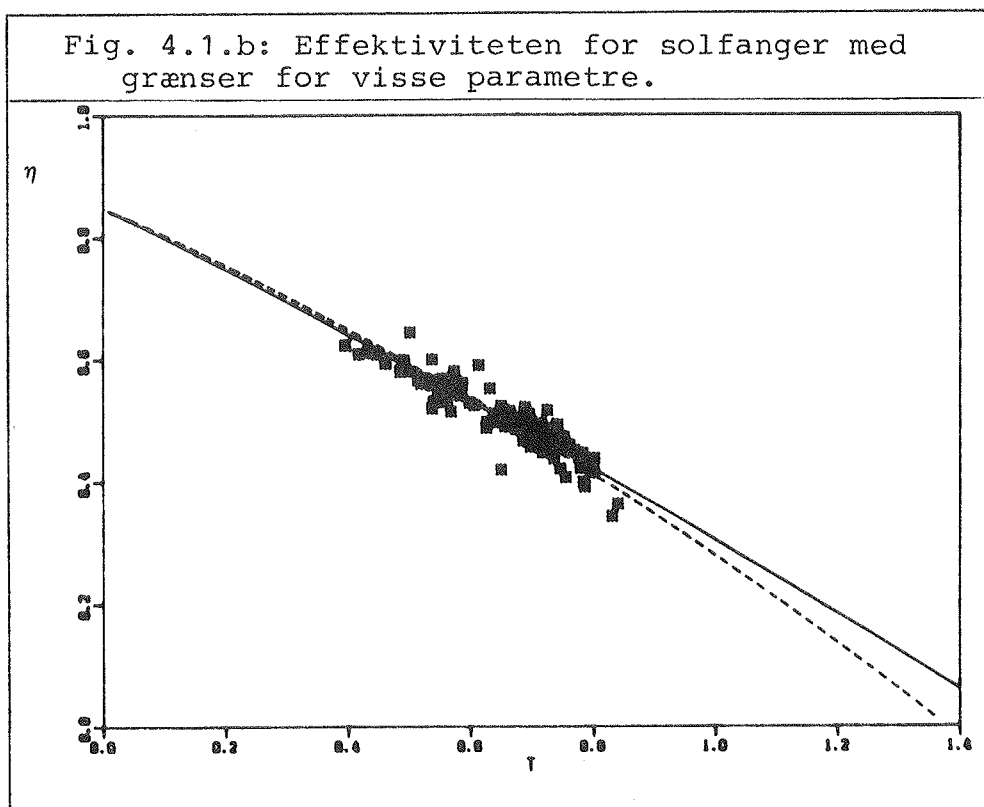
$$T^{\lambda} = \frac{T_m - T_u}{E_o}$$

hvor

$$T_u = \text{udetemperatur}$$



Det ses, at punkterne ligger i et forholdsvis afgrænset område, men dog med en vis spredning. Under den indendørs afprøvning er solindfaldet ca. 800 W/m^2 og vinkelret på solfangeren. For at opnå lignende forhold er målinger med solindfald mindre end 700 W/m^2 frasorteret, og kun målinger fra tidsrummet 11.00 - 13.00 medtaget. Det giver 74 målepunkter for den udvalgte periode og disse er optegnet på fig. 4.1.b.



Foruden målepunkterne er en regressionsligning for målingerne optegnet sammen med effektivitetskurven fra den indendørs afprøvning (ref. 5). En ganske god overensstemmelse kan konstateres og ydelsen af den aktuelle solfanger må derfor anses at være i god overensstemmelse med, hvad der kan forventes.

Effektivitetskurverne for henholdsvis den indendørs afprøvning og den aktuelle solfanger kan udtrykkes ved:

Indendørs afprøvning:

$$\eta = 0.85 - 4.5 \cdot (T_m - T_u) / E_o - 0.015 \cdot (T_m - T_u)^2 / E_o$$

Aktuelle anlæg (fundet ved regression)

$$\eta = 0.85 - 4.98 \cdot (T_m - T_u) / E_o - 0.006 \cdot (T_m - T_u)^2 / E_o$$

4.2 Temperaturlagdeling i lageret

Solfangerens ydelse stiger ved lavere driftstemperaturer, og ved at opretholde en høj temperatur i toppen af forvarmebeholderen og lagertanken i forhold til bunden opnås en forbedret ydelse. Ved projekteringen af anlægget blev der derfor lagt vægt på at udnytte en eventuel temperaturlagdeling.

En temperaturlagdeling opnås ved at lade indløbet af det kolde vand til forvarmebeholderen ske i bunden af beholderen og lade den være neddykket i hele lagertankens højde. Yderligere kan temperaturlagdelingen opstå ved at udløbet til radiatorerne sker i toppen og indløbet med det afkølede returnvand sker i bunden af lagertanken.

Resultatet af disse bestræbelser kan ses på fig. 4.2.a - 4.2.b, hvor målinger af temperaturen i fire niveauer i lageret og forvarmebeholderen er vist på en 7-dages måleperiode. Det ses, at der opnås en temperaturforskel mellem bunden og toppen i både lageret og forvarmebeholderen.

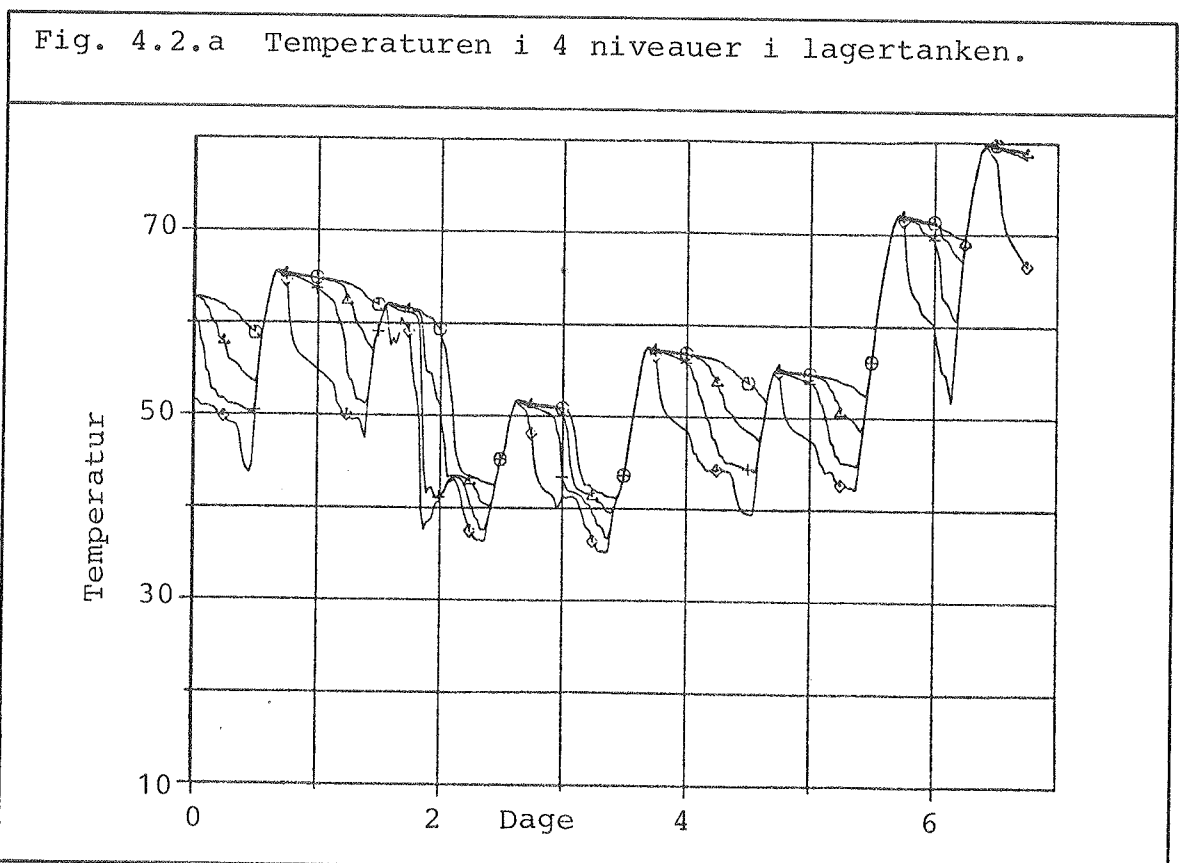
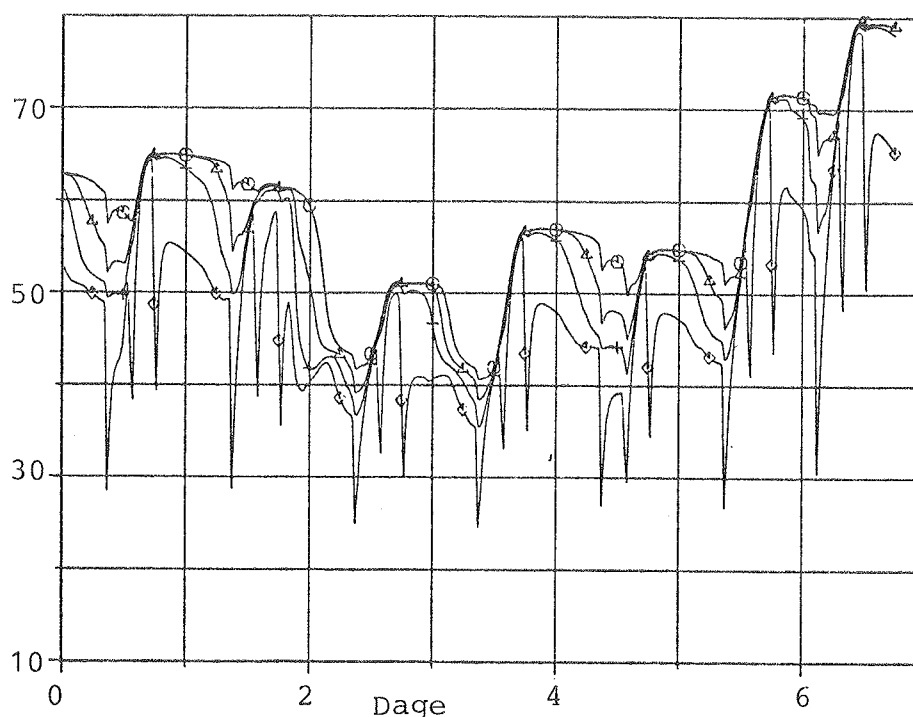


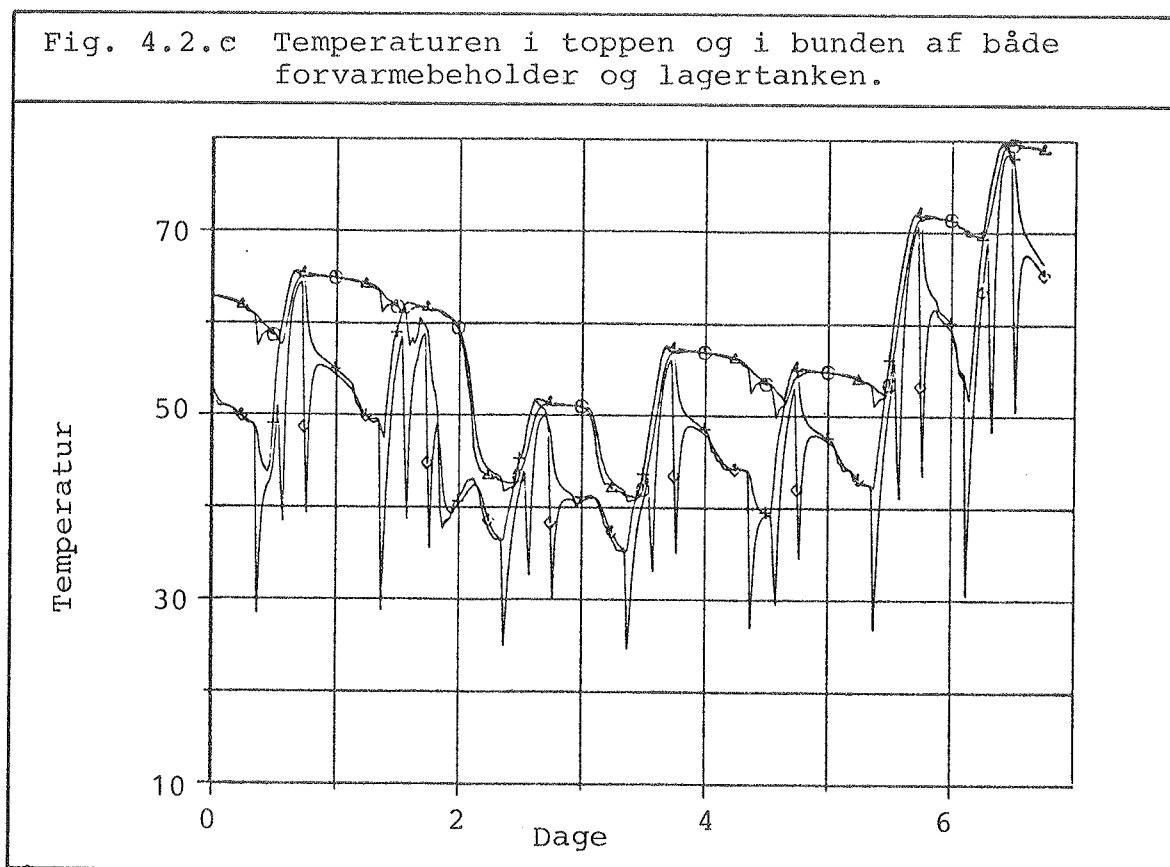
Fig. 4.2.b Temperaturen i 4 niveauer i forvarmebeholderen.



Det fremgår, at ved opstart af solfangerkredsen vil varmen først blive afsat i bunden af lagertanken og derefter langsomt bevæge sig op gennem lageret. Med andre ord udnyttes temperaturlagdelingen, så solfangerkredsen arbejder ved lavest mulig temperatur og dermed størst effektivitet. Dette forekommer dog kun umiddelbart efter opstart (ca. 1 time), hvorefter der hurtigt vil være samme temperatur i hele lagertanken.

På fig. 4.2.b ses temperaturen i forvarmebeholderen. Efter tapning af brugsvand sker der et temperaturdyk i bunden af forvarmebeholderen, som næsten ingen indvirkning har på temperaturen i den øvrige del af beholderen. Opblanding i forbindelse med tapning af brugsvand er ligeledes minimal. Det fremgår yderligere, at opvarmningen af brugsvandet

efter tapning sker relativt hurtigt, så varmeovergangen mellem lagertanken og forvarmebeholderen må siges at være tilfredsstillende. Det ses af fig. 4.2.c, at temperaturen i forvarmebeholderen er den samme som i lagertanken i samme niveau.



Ud fra målingerne kan det konstateres, at der fremkommer temperaturlagdeling i lageret som med fordel udnyttes i det aktuelle anlæg.

4.3 Lagerets varmetab og kapacitet

- Varmetabet

Solvarmelagerets varmetab er målt under stationære temperaturforhold. Ved hjælp af et elektrisk varmeaggregat i den computer-styrede varmetaftapning er det muligt at fastholde en forudvalgt konstant temperatur i lageret.

Idet der anvendes symboler fra fig. 2.3.2 kan varmetabskoefficienten UA beregnes til:

$$UA = U2 / (TL - ILT)$$

ILT: omgivelsestemperatur

hvor energiflowet

$$U2 = F2 \cdot RO \cdot CP \cdot ITD2$$

RO: massefylde af væsken

CP: væskens varmekapacitet og
middellagertemperaturen TL givet ved

$$TL = (STI1 + STI2 + STI3 + STI4 + STY1 + STY2 + STY3 + STY4) / 8$$

OBS	TL(°C)	UA(W/°C)	STD($\bar{X}$)(W/°C)
46	58,56	5,95	0,010
220	79,11	6,72	0,008
47	84,06	6,96	0,019

hvor standardafvigelsen på middelværdien er givet ved :

$$STD(\bar{X}) = \frac{STD(X)}{\sqrt{N}}$$

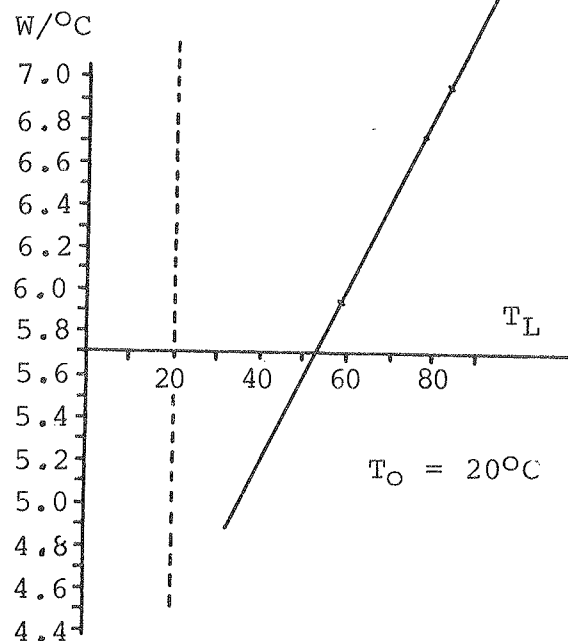
Udfra disse data findes ved lineær regression følgende sammenhæng

$$UA = (3,662 + 0,038983 TL) (W/°C)$$

TL > ILT

Denne lineære afhængighed er vist på fig. 4.3:

Fig. 4.3 Varmetabskoefficient som funktion af lager temperatur



Lagerets varmetabskoefficient afhænger således af lager-temperaturen. Årsagen hertil er først og fremmest, at størrelsen af varmetabskoefficienten for lagerets kuldebroer afhænger af temperaturniveauet. Dette skyldes, at styrken af de vandstrømninger i lageret, som opstår på grund af kuldebroerne, tager til for voksende lager-temperatur. Desuden bør det nævnes, at isoleringsmaterialets varmeledningsevne vokser for stigende lagertemperatur.

Tages der hensyn til transmissionen gennem 10 cm Rockwool og ikke til tab ved rørgennemføringer m.v. kan varmetabet beregnes til ca. 2.9 W/°C ved en lagertemperatur på 50°C, hvad der er ca. halvdelen af det målte.

- Varmekapaciteten

Lagerets kapacitet CP er beregnet ud fra følgende formel, der gælder for en specifik opvarmnings periode.

$$CP = EAUC / (T_{STOP} - T_{START})$$

hvor den akkumulerede energi EACCU er givet ved:

$$EACCU = \sum_N (U_2 - (T_L - I_{LT}) \cdot U_A) \Delta t$$

for en opvarmningsperiode på N gange Δt (1800 sec)

U_2 : energi tilført lageret

$(T_L - I_{LT}) \cdot U_A$: lagerets varmetab

En sådan beregning af CP for fire forskellige opvarmningsperioder gav

periode

1	5263,5
2	5318,3
3	5560,6
4	5452,3

med en middelværdi på

$$CP = 5399 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} \quad (\pm 3\%)$$

En simpel udregning af kapaciteten svarende til indholdet af vand og stål gav en værdi på

$$CP = 5150 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$$

4.4 Styresystem

Den anvendte styring til pumpen i solfangerkredsen er en Electromatic ST-185 med separat indstilling af start og stop differensen. Styringen har været indstillet til:

startdifferens	+ 2,0 $^{\circ}\text{C}$
stopdifferens	+ 0,5 $^{\circ}\text{C}$

Så længe startdifferensen ligger i intervallet 0-6 $^{\circ}\text{C}$ er

indstillingen af startdifferensen af mindre betydning for udbyttet fra solfangerne, idet en højere startdifferens udelukkende forsinker varmeoptagelsen. Derimod er det af betydning, at solfangerpumpen ikke først stopper ved en betydende negativ temperaturdifference, idet energi derved vil blive tappet fra lageret i hele varmevekslerens højde.

Den omtalte styring er blevet testet ved hjælp af de opsamlede data, som ses i tabel 4.4.

Tabel 4.4: Test af styring. U558: Effekt ved lager.

TIND: Indløbstemperatur-solfanger. TUD: Udløbstemperatur-solfanger. TM: Middeltemperatur-solfanger. SOLT: Føler-temperatur-solfanger. CTR2: Følertemperatur-lager. TDIF = TUD-CTR2. TDIF1 = SOLT-CTR2.

min.	U558	TIND	TUD	TM	SOLT	TDIF	TDIF1
1	0.104	20.348	22.852	21.6000	25.278	2.080	4.506
2	0.036	21.781	21.592	21.6865	22.045	0.802	1.255
3	0.004	21.773	21.448	21.6105	21.765	0.674	0.991
4	-0.025	21.724	21.292	21.5080	21.525	0.527	0.760
5	-0.046	21.732	21.240	21.4860	21.410	0.458	0.628
6	-0.061	21.707	21.177	21.4420	21.261	0.412	0.496
7	-0.072	21.591	21.039	21.3150	21.154	0.274	0.389
8	-0.077	21.591	21.020	21.3055	21.088	0.238	0.306
9	-0.087	21.509	20.932	21.2205	20.989	0.167	0.224
10	-0.093	21.484	20.887	21.1855	20.881	0.130	0.124
11	-0.057	21.414	20.804	21.1090	20.807	0.039	0.042
12	0.000	0.000	0.000	0.0000	20.732	-20.782	-0.050
13	0.000	0.000	0.000	0.0000	20.583	-20.757	-0.174
14	0.000	0.000	0.000	0.0000	20.459	-20.757	-0.298
15	0.000	0.000	0.000	0.0000	20.352	-20.757	-0.405

Det ses, at der kræves en stopdifferens på 0,7-0,8 °C, hvis der ikke skal gå energi tabt pga. for sent stop af solfangerpumpe. Stopdifferensen ved det viste forløb har rent faktisk været TDIF1 = ca. 0,0 °C. Den her anvendte styring skal derfor indstilles på $0.5 + 0,8 = 1,3$ °C.

Energitabet ved det konkrete stop er så lille som 9 Wh.

5. Beregning af årsydelser

Fra starten af projektet har det ikke været hensigten at opsamle målinger for et helt år, således at anlæggets årlige ydelse kunne bestemmes ud fra disse, og danne grundlaget for en vurdering af anlægget som varmekilde. Derimod er det tilstræbt at opsamle målinger for kortere perioder, repræsenterende typiske driftssituationer til verifikation af en EDB-model over samme anlæg. Anlæggets årlige ydelse kan så bestemmes med modellen, og anlæggets følsomhed over for ændringer i anlægsudformningen kan bestemmes ved at gennemregne modellen med varierende parametre.

Sammenligningen af modellen og det aktuelle anlæg er beskrevet i afsnit 3, hvor en ganske god overensstemmelse er fundet. Forsøgsopstillingen indeholder kun solvarmeanlægget og ikke noget varmfordelingssystem. Ved bestemmelse af anlæggets årlige ydelse er der gjort en række antagelser om varmfordelingssystemet og om husets aktuelle varmebehov.

5.1 Varmebehov

Husets varmebehov er beregnet ved hjælp af simuleringssprogrammet BA4, som beregner varmebehovet hver halve time gennem et helt år, med en belastning svarende til det danske referenceår (TRY).

Huset som simuleres er et etplanshus med et boligareal på 120 m² og med et bruttoareal på ca. 140 m². Huset er isoleret, så det opfylder BR77, og det dimensionerende varmetab er beregnet til 6100 W og det årlige energibehov til 13500 kWh.

Huset har et varmebehov selv i sommermånedene, men i praksis vil det næppe være tilfældet, da en lille temperatursænkning i de fleste tilfælde vil kunne accep-

teres. I beregningerne af solvarmeanlæggets ydelse er dette varmebehov derfor sat til nul i juni, juli og august.

5.2 Varmedfordelingssystemet

Solvarmen tænkes overført til huset ved en separat radiator, hvor vandet fra lagertanken cirkulerer. Cirkulationspumpen er on/off styret af en termostat med føleren i stuen.

Suppleringsvarme leveres parallelt og styres sammen med solvarmen ud fra stuetemperaturen efter følgende skema

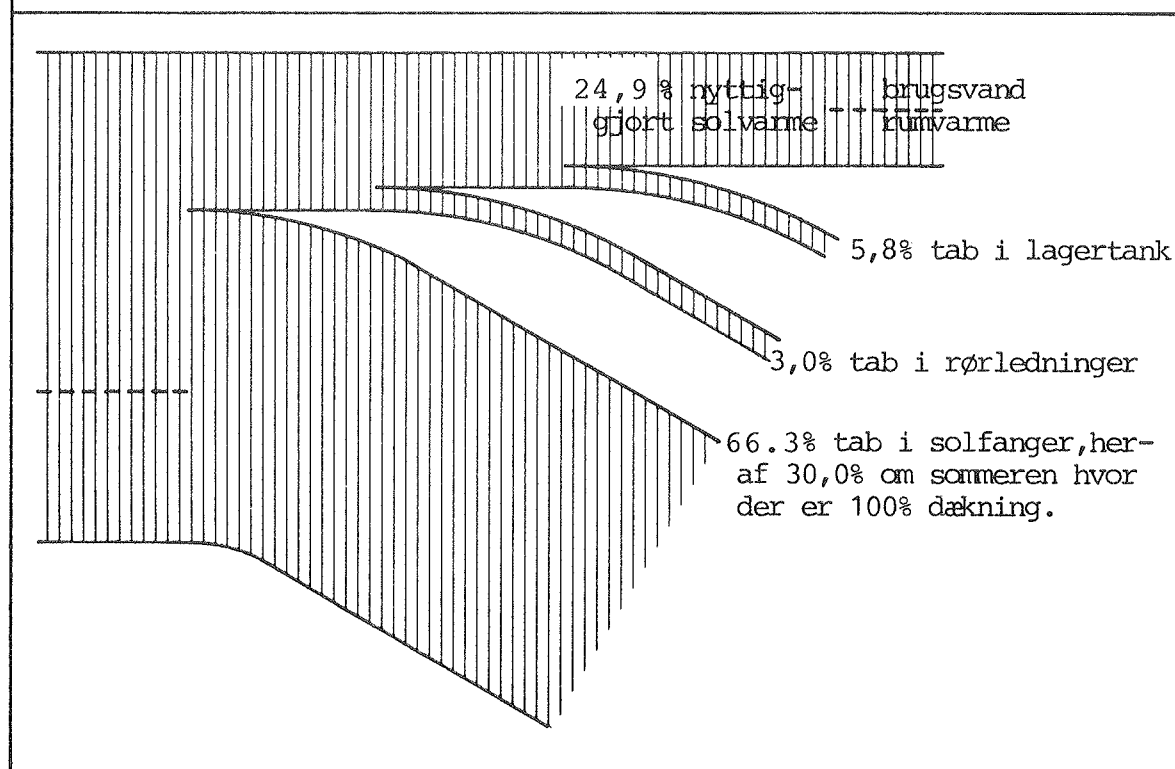
Stuetemperatur T ($^{\circ}\text{C}$)	Cirkulations- pumpe	Supplerings- varme
$T < 21$	ON	ON
$21 < T < 22$	ON	OFF
$22 < T$	OFF	OFF

Der er valgt en separat radiator på 6 kW ved en dimensionerende middeltemperaturdifferens på $T = 60^{\circ}\text{C}$. Radiatorens ydelse afhænger af størrelsen, fremløbstemperaturen samt gennemstrømningen og en undersøgelse af disse parametre er givet i afsnit 6.3.

En komplet liste af de anvendte parametre er givet i appendix 1.

Resultatet af simuleringen er angivet i tabel 5.2 og i fig. 5.2. Det aktuelle anlæg har en samlet årlig ydelse på 4260 kWh, hvilket svarer til $283 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$

Fig. 5.2 Anlæggets årlige energistrømme



Tabel 5.2: Anlæggets ydelse angivet måned for måned

	Solindfald (kWh)	Nyttiggjort solvarme		Dækningsgrad		
		brugsvand (kWh)	rumvarme (kWh)	brugsvand (%)	rumvarme (%)	samlet (%)
Jan	458	89	62	33	3	6
Feb	956	112	178	46	8	12
Mar	1189	135	227	50	12	17
Apr	2046	190	421	73	35	42
Maj	2340	232	450	86	64	70
Jun	2581	261	0	100	-	100
Jul	2316	270	0	100	-	100
Aug	2262	270	0	100	-	100
Sep	1682	226	309	86	75	79
Okt	1118	157	250	58	24	31
Nov	654	108	115	41	7	12
Dec	592	106	90	39	4	8
Tot	18193	2157	2101	68	16	25

6. Parametervariationer

6.1 Formål

I dette kapitel er der foretaget en række simuleringer af forsøgsanlægget med simuleringsprogrammet EMGP2, med varierende systemparametre. Programmet er verificeret i afsnit 3, hvor en ganske god overensstemmelse kunne konstateres.

Resultatet af disse simuleringer skal ses som en optimering af det aktuelle forsøgsanlæg og ikke som en egentlig projekteringsvejledning. Variationerne er foretaget inden for snævre rammer, og der er derfor anlægsudformninger, som ikke er beskrevet her. En mere generel undersøgelse af solvarme til rumopvarmning er beskrevet i "Solvarmeanlæg til rumopvarmning", rapport nr. 15 fra Energiministeriets solvarmeprogram (ref. 1).

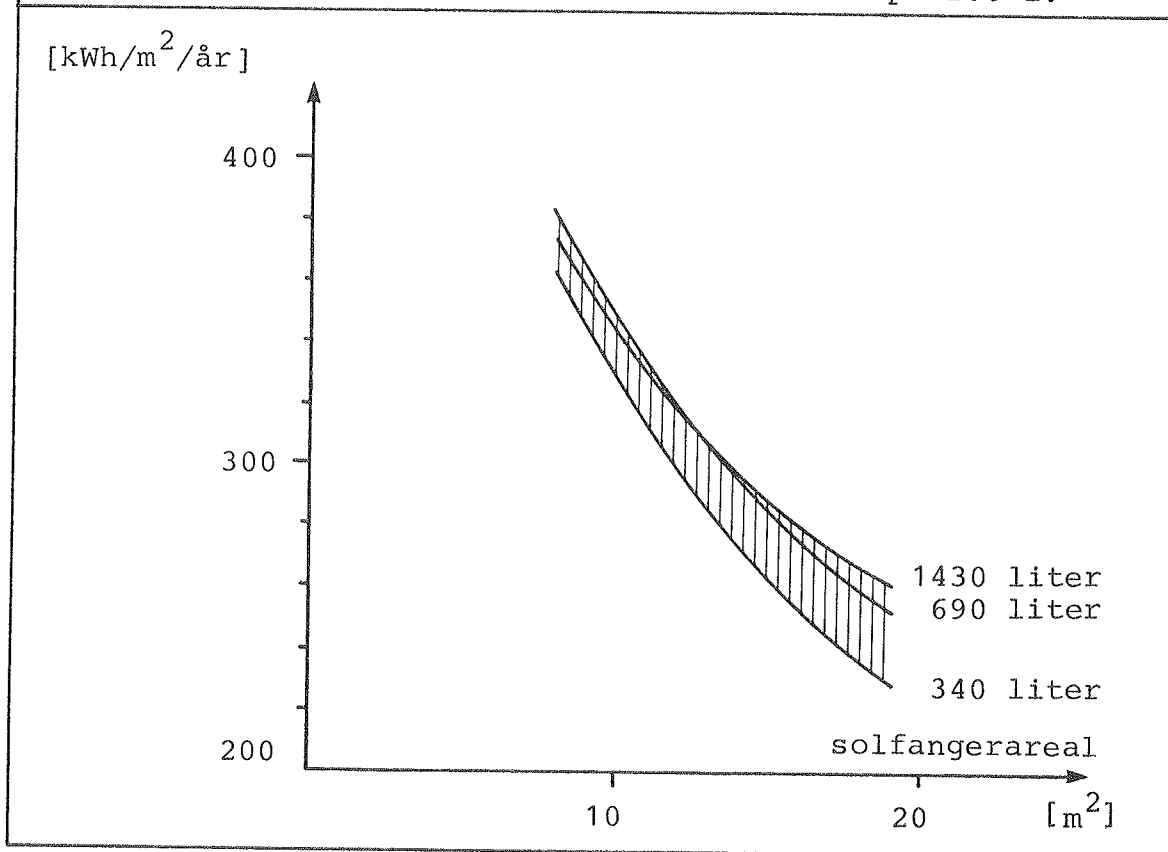
Det er specielt forhold omkring stratifikation i lagertanken, som er blevet undersøgt, og som det nyudviklede simuleringsprogram EMGP2 har givet mulighed for.

I simuleringerne er der taget udgangspunkt i forsøgsopstillingen, og det er derfor kun de systemparametre, som afviger fra forsøgsopstillingen, som er nævnt her.

6.2 Anlægsstørrelse

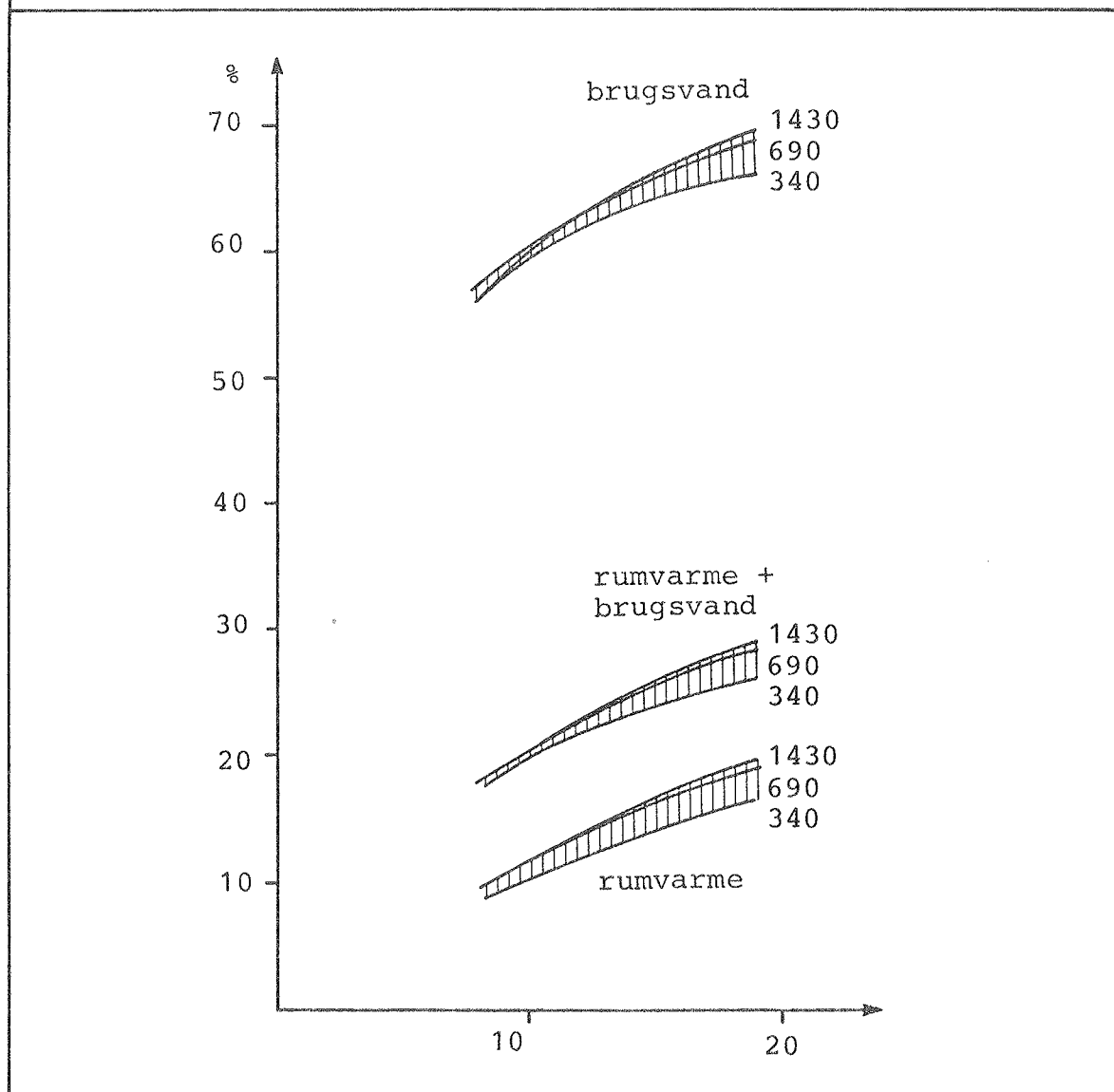
Anlægget er gennemregnet med varierende solfangerareal og lagervolumen. Resultaterne er optegnet som kurver af anlæggets ydelse (fig. 6.2.a) og dækningsgrad (fig. 6.2.b). Det fremgår af fig. 6.2.a, at anlæggets ydelse afhænger af solfangerarealet og kun i ringe grad af lagervolumenet.

Fig. 6.2.a Anlæggets ydelse som funktion af solfangerarealet. Ydelsen er angivet for 3 lagerstørrelser. I lagervolumenet er her inkluderet forvarmebeholderens andel på 200 l.



Et anlæg med et lagervolumen inklusiv forvarmebeholder på 690 l giver næsten samme ydelse som et anlæg med et volumen på 1430 l. Selv med et volumen på 340 l falder ydelsen kun ca. 7% i forhold til forsøgsanlægget. En lagertank i den størrelse kan være en kappebeholder, hvor kappen tænkes at være lagerbeholder, og kappebeholderens egentlige beholder er forvarmebeholderen. Varmevexleren i dette lager kan undlades, enten ved at benytte et tømme-system eller ved at have glycol i lagertanken (140 l lagertank).

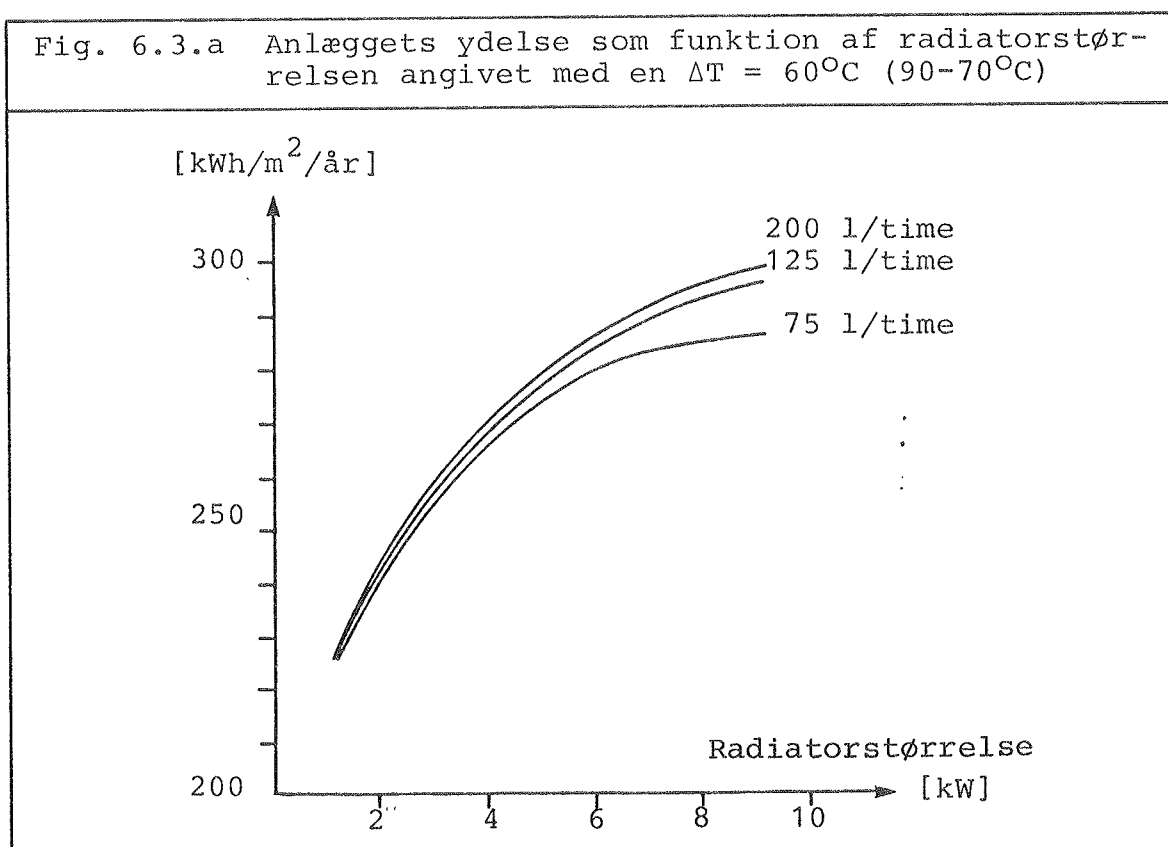
Fig. 6.2.b Anlæggets dækningsgrad som funktion af solfangerarealet. Dækningsgraden er det samlede varmebehov for tre lagerstørrelser (340, 690 og 1430 l.).



6.3 Radiatorsystem

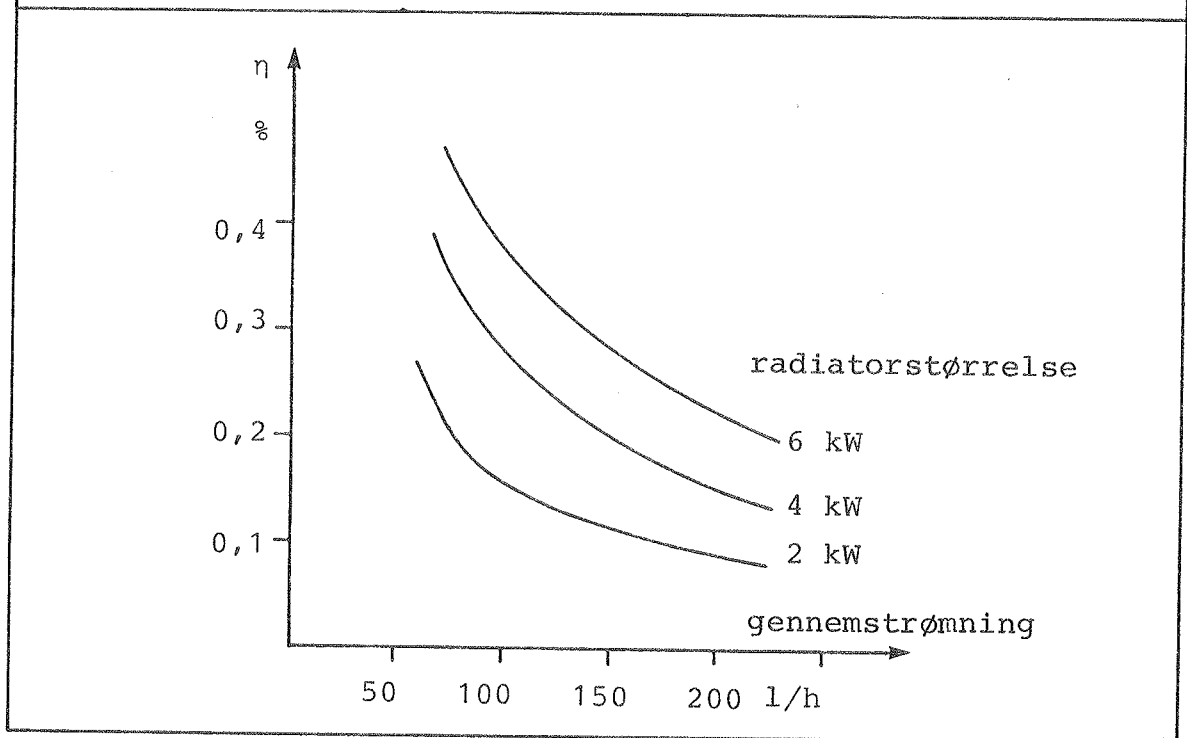
Varmefordelingssystemet er her tænkt som en separat radiator. Radiatorens ydelse afhænger af størrelsen, fremløbstemperaturen samt gennemstrømningen. Fremløbstemperaturen varierer gennem året og anlæggets ydelse er her fundet ved varierende størrelser og gennemstrømninger.

Resultatet fremgår af fig. 6.3.a, hvor ydelsen er optegnet som funktion af radiatorstørrelsen for tre forskellige gennemstrømninger.



Gennemstrømningen gennem radiatoren har stor indflydelse på varmebladens ydelse (effektivitet), som det fremgår af fig. 6.3.b. Det giver dog ingen væsentlig indflydelse på solvarmeanlæggets ydelse, da en mindre gennemstrømning modvirkes af en større stratifikation. Yderligere vil en lavere radiatorydelse modvirkes af en større ydelse til brugsvandet. Sammenholdt må det konstateres, at varmebladens størrelse har stor indflydelse på solvarmeanlæggets ydelse og gennemstrømningen kun en mindre indflydelse.

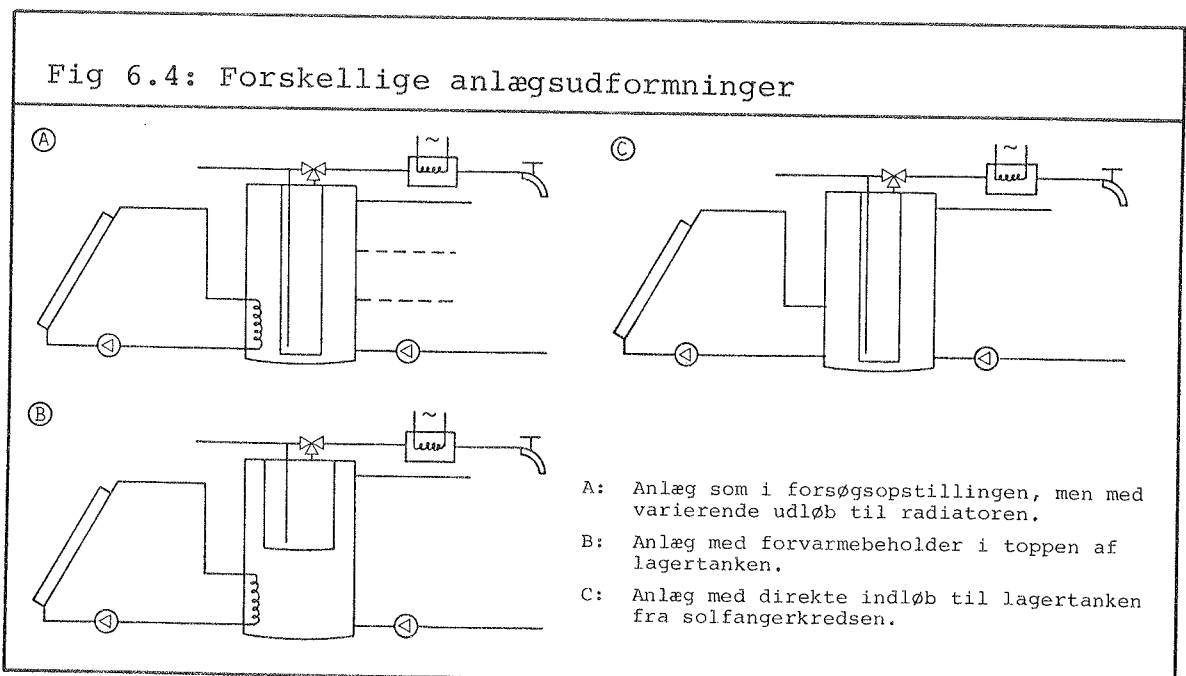
Fig. 6.3.b Radiatorens temperatureffektivitet som funktion af gennemstrømningen.



6.4 Anlægsudformninger

Der er foretaget beregninger af anlæg, som på få punkter varierer fra anlægget på systemprøvestanden. Det er ændringer, som kan indføres uden konstruktionsmæssige vanskeligheder og uden ekstra investeringer. På fig. 6.4 er vist principdiagrammer af de anlægsudformninger, som er undersøgt.

Fig 6.4: Forskellige anlægsudformninger



Principdiagram A viser udløbet til den separate radiator i tre forskellige niveauer. Ved at placere udløbet længere nede på lagertanken vil et større lagervolumen forbeholdes brugsvandet. Det fremgår også af resultatet i tabel 6.4, at dækningen af brugsvandet stiger og dækningen af rumvarmebehovet falder ved at sænke udløbet til den separate radiator. Det vil dog ikke ændre på anlæggets samlede dækningsgrad.

Tabel 6.4 Resultatet af forskellige anlægsudformninger.

	Dækningsgrader			Samlede ydelser [kWh/m ² /år]
	brugsvand	rumvarme	samlet	
A ₀	67,0	17,0	26,5	283
A ₁	70,5	15,9	26,3	280
A ₂	73,9	14,3	25,7	274
B	66,3	16,9	26,3	280
C	69,7	19,6	29,2	311

Resultatet må være, at udløbet til den separate radiator skal placeres i toppen af lagertanken, dersom ikke specielle forhold gør sig gældende, hvor brugsvandet skal prioriteres særligt højt.

Principdiagram B viser et anlæg med forvarmebeholderen øverst i lagertanken. Resultatet viser en mindre reduktion i ydelsen.

Anlægget vist ved principdiagram C indeholder ingen varmeveksler i solfangerkredsen. Anlægget kan konstrueres som et "tømmesystem", hvor solfangeren tømmes for vand, når der ingen solindfald er, og dermed opnås det at ydelsen stiger med næsten 10% i forhold til anlægget

på prøvestanden. Det vil sige, at anlægget forbedres væsentligt og dersom et tømme-system kan indføres, må det anbefales.

Ydelser og besparelser i tabel 7 er beregnet for det første driftsår, og solvarmeanlægget må siges at være privatøkonomisk rentabelt, såfremt der er en besparelse allerede det første år, idet energipriserne må forventes at stige. Med et underskud det første år, kan man derimod ikke sige, at det ikke er rentabelt, da stigninger i energipriserne hurtigt kan ændre billedet. De udgifter til reparationer på anlægget, som måtte komme, forventes at være rigeligt dækket af det forøgede overskud ved prisstigningerne på energi.

En standardisering og billiggørelse af solvarmeanlæg vil være af afgørende betydning for udbredelsen af solvarme. I denne forbindelse vil et tæt samarbejde mellem forskere og producenter, både nuværende og potentielle, være en absolut nødvendighed. Dette arbejde skal ske i form af produktudvikling hos producenter koordineret med forskning i forskningsinstitutionerne.

8. Konklusion

Der er opnået en virkelig god overensstemmelse mellem de målte og beregnede ydelser. Den på denne måde verificerede model for anlægget har derfor kunne anvendes til en beregning af anlæggets årsydelse - resultat: 283 kWh/m²/år.

Den samlede årlige dækningsgrad for anlægget er beregnet til 25% af nettobehovet for rumvarme og varmt brugsvand. Hertil kommer det sparede tomganstab om sommeren.

De økonomiske betragtninger, der er gjort, viser, at besparelser og udgifter det første driftsår vil være omtrent lige store.

Den ønskede temperaturlagdeling i lageret er opnået med den valgte lagerkonstruktion, men beregninger har dog vist, at lageret kunne være mindre uden at dækningsgraden herved påvirkes nævneværdigt. Der kan anbefales et lager på ca. 700 l.

Idet principperne i anlæggets konstruktion synes at være gode, har de dannet baggrund for projekteringen af et demonstrationssolvarmeanlæg. I skrivende stund er dette anlæg opført i Ejby på Sydsjælland, og de foreløbige resultater tyder på at forventningerne vil blive indfriet.

Referencer

- 1) Svend Erik Mikkelsen og Leif Sønderskov Jørgensen:
 "Solvarmeanlæg til rumopvarmning"
 En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i
 Greve og Gentofte.
 Energiministeriets solvarmeprogram - rapport nr. 15.
 Laboratoriet for Varmeisolering, DTH - 1981.

- 2) Klaus Ellehauge:
 "Solvarmeanlæg til varmt brugsvand".
 En udredning baseret på et års målinger på to anlæg.
 Energiministeriets solvarmeprogram - rapport nr. 16.
 Laboratoriet for Varmeisolering, DTH - 1981.

- 3) Klaus Ellehauge, Ole Balslev-Olesen og
 Nick Bjørn Andersen:
 "Solar Pilot Test Facility, Final Report - Denmark".
 Commission of the European Communities,
 Thermal Insulation Laboratory,
 Technical University of Denmark - 1983.

- 4) Poul Erik Kristensen:
 "Solar System Case Study" - Second Design DHW + SP
 Final Draft, Performance Monitoring Group
 Commission of the European Communities.
 Thermal Insulation Laboratory,
 Technical University of Denmark - 1983.

- 5) S. Svendsen:
 Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for solteknik.
 Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Rapport nr. 81-1.
 Januar 1981 .

- 6) W.L. Dutre:
 EMGP2. A computer simulation program for solar systems.
 Laboratorium voor Warmteoverdracht en Reaktorkunde
 B-3030 Heverlee, Belgium. 1982.

Appendix 1: Symboler og variabelnavne

E	: energimængde (kWh, MJ)
E ₀	: solindfald på solfanger (MJ)
E ₁	: absorberet stråling (MJ)
E ₂	: lagret energi (MJ)
E ₃	: energi til rumvarme (MJ)
E ₄	: energi til varmt brugsvand (MJ)
Q	: varmebehov (W)
G	: gratisvarme fra personer og el
A	: regressionskonstant ved varmebehovberegning
B	: regressionskonstant ved varmebehovberegning
I _L	: solindfald på lodret (W/m ²)
U ₁	: effekt til elvandvarmer (kW)
U ₂	: effekt i varmekreds (kW)
U ₃	: effekt af opvarmning i neddykket tank (kW)
U ₄	: absorberet effekt (kW)
U ₅	: effekt tilført lager (kW)
U ₅₅₈	: lagret energi fra solfanger (kWh)
EAUCC	: akkumuleret energi i lager (kJ)
ρ	: massefylde (kg/m ³)
RO	: massefylde af væske (kg/m ³)
C _p	: varmekapacitet (kJ/kg/°C)
C	: varmekapacitet af solfanger, rør og væske (MJ/°C)
CP	: varmekapacitet af væske (kJ/kg/°C)
CP	: varmekapacitet af lager (kJ/°C)
UA	: varmetabskoefficient (W/°C)
η	: solfangereffektivitet
F	: volumenstrøm (m ³ /h)
F ₁	: varmtvandsflow (m ³ /h)
F ₂	: flow i varmekreds (m ³ /h)
F ₃	: flow gennem neddykket beholder (m ³ /h)
F ₄	: flow i solfangerkreds (m ³ /h)
ΔT	: temperaturdifference (°C)
t _i	: indetemperatur (°C)
t _u	: udetemperatur (°C)
T _m	: middeltemperatur af solfangervæske (°C)
T ^x	: normeret temperatur

ILT : omgivelsestemperatur (°C)
TL : lager middeltemperatur (°C)
STI1 : temperatur i øverste lag i varmtvandsbeholder (°C)
STI2 : temperatur i 2. lag i varmtvandsbeholder (°C)
STI3 : temperatur i 3. lag i varmtvandsbeholder (°C)
STI4 : temperatur i nederste lag i varmtvandsbeholder (°C)
STY1 : temperatur i øverste lag i ydre beholder (°C)
STY2 : temperatur i 2. lag i ydre beholder (°C)
STY3 : temperatur i 3. lag i ydre beholder (°C)
STY4 : temperatur i nederste lag i ydre beholder (°C)
TSTART: lagertemperatur ved start af opvarmning (°C)
TSTOP: lagertemperatur ved stop af opvarmning (°C)
TIND : indløbstemperatur, solfanger (°C)
TUD : udløbstemperatur, solfanger (°C)
SOLT : temperatur i solfanger ved føler til styring (°C)
CTR2 : temperatur i lager ved føler til styring (°C)
ICT2 : indløbstemperatur til solfanger (°C)
CTD2 : temperaturstigning over solfanger (°C)
OPT2 : udløbstemperatur fra varmeveksler i lager (°C)
PTD2 : temperaturdifference mellem ind- og udløb til
varmeveksler (°C)
CWI2 : koldt vandstemperatur
DWD2 : temperaturstigning over neddykket beholder (°C)
IAT2 : temperatur før elektrisk vandvarmer (°C)
ITK2 : temperaturstigning over elektrisk vandvarmer (°C)
OIT2 : returtemperatur fra varmekreds (°C)
ITD2 : temperaturdifference frem/retur (°C)
ITA2 : temperatur for kontrol af interface (°C)
ITB2 : temperatur for kontrol af interface (°C)

Appendix 2: Parametre anvendt ved beregning af
årsydelser m.m.

PHYSICAL PROPERTIES OF THE SYSTEM ELEMENTS
=====

ELEMENT 1 IS A FLAT PLATE COLLECTOR
INITIAL TEMPERATURE
SURFACE AREA
THERMAL CAPACITY
TOP HEAT LOSS COEFFICIENT
TEMPERATURE COEFF OF THE TOP HEAT LOSS COEFF. 5.0000 C
7.8500 SQM
10.0000 KJ/K.SQM
4.5000 W/K.SQM
0.0150 W/SQM.K**2
BACK SIDE HEAT LOSS COEFFICIENT
CONSTANT AMBIENT TEMPERATURE SERIAL 0.0 W/K.SQM
NUMBER: 3
COLLECTOR EFFICIENCY FACTOR
COLLECTOR TILT ANGLE
COLLECTOR AZIMUTH ANGLE
FLUID DENSITY
FLUID SPECIFIC HEAT
VOLUMETRIC FLOW RATE
1037.0000 KG/CBM
3.5150 KJ/KG.K
435.0000 L/H

ELEMENT 23 HAS THE SAME PHYSICAL PARAMETERS AS ELEMENT 1
BACK SIDE AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 3

ELEMENT 2 IS A PIPE WITH NEGLECTED HEAT CAPACITY
PIPE LENGTH
HEAT LOSS COEFFICIENT
AMBIENT TEMPERATURE
POWER OF CIRCULATION PUMP
FRACTIONAL PUMP POWER DISSIPATION IN THE FLUID 0.0 W
1037.0000 KG/CBM
3.5150 KJ/KG.K
435.0000 L/H

ELEMENT 3 IS A PIPE WITH NEGLECTED HEAT CAPACITY
PIPE LENGTH
HEAT LOSS COEFFICIENT
AMBIENT TEMPERATURE
POWER OF CIRCULATION PUMP
FRACTIONAL PUMP POWER DISSIPATION IN THE FLUID 0.5000
1037.0000 KG/CBM
3.5150 KJ/KG.K
435.0000 L/H

ELEMENT 4 HEAT EXCHANGER SUBMERGED IN ELEMENT 8 WITH EFFICIENCY=0.6000

ELEMENT 5 IS LAYER NUMBER 1 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 1 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
INITIAL TEMPERATURE
CROSS SECTION
HEIGHT OF THE LAYER
TOTAL HEAT LOSS COEFFICIENT
AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
THERMAL CAPACITY
THERMAL CONDUCTION COEFFICIENT
THERMAL EXPANSION
MIXING LENGTH
DENSITY OF THE FLUID
SPECIFIC HEAT OF THE FLUID
HEAT EXCHANGE WITH ELEMENT 9 HAS HEAT TRANSFER COEFFICIENT 75.0000 W/K
DEPARTURE TO EXTERNAL FUNCTION 2
20.0000 C
20.0000 SQM
0.3693 SQM
0.4250 W/K
2.0000 W/K
4530.0000 KJ/CBM.K
0.6400 W/M.K
0.303000 %/K
0.1000M
998.0000 KG/CBM
4.1850 KJ/KG.K

48

ELEMENT 6 IS LAYER NUMBER 2 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 1 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 INITIAL TEMPERATURE 20.0000 C
 CROSS SECTION 0.5695 SQM
 HEIGHT OF THE LAYER 0.4250 M
 TOTAL HEAT LOSS COEFFICIENT 1.3000 W/K
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 THERMAL CAPACITY 4530.0000 KJ/CBM.K
 THERMAL CONDUCTION COEFFICIENT 0.6400 W/M.K
 THERMAL EXPANSION COEFFICIENT 0.303000 %/K
 MIXING LENGTH 0.1000M
 DENSITY OF THE FLUID 998.0000 KG/CBM
 SPECIFIC HEAT OF THE FLUID 4.1850 KJ/KG.K
 HEAT EXCHANGE WITH ELEMENT 10 HAS HEAT TRANSFER COEFFICIENT 75.0000 W/K

ELEMENT 7 HAS THE SAME PHYSICAL PARAMETERS AS ELEMENT 6
 LAYER NUMBER 3 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 1 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 SUBMERGED HEAT EXCHANGERS AND/OR SUBMERGED DIFFERENTIAL ELEMENTS: 11

ELEMENT 8 IS LAYER NUMBER 4 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 1 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 INITIAL TEMPERATURE 20.0000 C
 CROSS SECTION 0.5695 SQM
 HEIGHT OF THE LAYER 0.4250 M
 TOTAL HEAT LOSS COEFFICIENT 1.3000 W/K
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 THERMAL CAPACITY 4530.0000 KJ/CBM.K
 THERMAL CONDUCTION COEFFICIENT 0.6400 W/M.K
 THERMAL EXPANSION COEFFICIENT 0.303000 %/K
 MIXING LENGTH 0.1000M
 DENSITY OF THE FLUID 998.0000 KG/CBM
 SPECIFIC HEAT OF THE FLUID 4.1850 KJ/KG.K
 HEAT EXCHANGE WITH ELEMENT 12 HAS HEAT TRANSFER COEFFICIENT 75.0000 W/K
 HEAT SUPPLY FROM SUBMERGED HEAT EXCHANGER 4 HAS AN EXCHANGE EFFICIENCY 0.6000
 RETURN FROM EXTERNAL FUNCTION

ELEMENT 9 IS LAYER NUMBER 1 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 2 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 INITIAL TEMPERATURE 20.0000 C
 CROSS SECTION 0.1210 SQM
 HEIGHT OF THE LAYER 0.4250 M
 TOTAL HEAT LOSS COEFFICIENT 0.3200 W/K
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 THERMAL CAPACITY 4530.0000 KJ/CBM.K
 THERMAL CONDUCTION COEFFICIENT 0.6400 W/M.K
 THERMAL EXPANSION COEFFICIENT 0.303000 %/K
 MIXING LENGTH 0.1000M
 DENSITY OF THE FLUID 998.0000 KG/CBM
 SPECIFIC HEAT OF THE FLUID 4.1850 KJ/KG.K
 HEAT EXCHANGE WITH ELEMENT 3 HAS HEAT TRANSFER COEFFICIENT 75.0000 W/K
 DEPARTURE TO EXTERNAL FUNCTION

ELEMENT 10 IS LAYER NUMBER 2 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 2 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 INITIAL TEMPERATURE 20.0000 C
 CROSS SECTION 0.1210 SQM
 HEIGHT OF THE LAYER 0.4250 M
 TOTAL HEAT LOSS COEFFICIENT 0.0 W/K
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 THERMAL CAPACITY 4530.0000 KJ/CBM.K
 THERMAL CONDUCTION COEFFICIENT 0.6400 W/M.K
 THERMAL EXPANSION COEFFICIENT 0.303000 %/K
 MIXING LENGTH 0.1000M
 DENSITY OF THE FLUID 998.0000 KG/CBM
 SPECIFIC HEAT OF THE FLUID 4.1850 KJ/KG.K
 HEAT EXCHANGE WITH ELEMENT 6 HAS HEAT TRANSFER COEFFICIENT 75.0000 W/K

ELEMENT 11 HAS THE SAME PHYSICAL PARAMETERS AS ELEMENT 10
 LAYER NUMBER 3 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 2 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 SUBMERGED HEAT EXCHANGERS AND/OR SUBMERGED DIFFERENTIAL ELEMENTS: 7

ELEMENT 12 HAS THE SAME PHYSICAL PARAMETERS AS ELEMENT 10
 LAYER NUMBER 4 OF STRATIFIED LIQUID STORAGE 2 (LAYERS BEING NUMBERED FROM TOP TO BOTTOM)
 AMBIENT TEMPERATURE SERIAL NUMBER: 1
 SUBMERGED HEAT EXCHANGERS AND/OR SUBMERGED DIFFERENTIAL ELEMENTS: 8
 RETURN FROM EXTERNAL FUNCTION 1

ELEMENT 13 REPRESENTS THE HOUSE ASSOCIATED WITH EXTERNAL FUNCTION 2
 HEAT DEMAND SERIAL NUMBER: 1
 NOMINAL SET POINT TEMPERATURE OF THE HOUSE, CORRESPONDING TO THE HEAT DEMAND CALCULATION: 21.0000 DEGR.C
 HEAT DEMAND IS ON-OFF CONTROLLED BY CONTROLLER 5
 INITIAL TEMPERATURE 20.0000 C
 HEAT LOSS COEFFICIENT 200.0000 W/K
 THERMAL CAPACITY 500.0000 KJ/K
 HEAT LOSSES OF THE SOLAR SYSTEM ARE NOT USEFUL

ELEMENT 14 INTEGRATES THE ENERGY EXTRACTED BY EXTERNAL FUNCTION 4

ELEMENT 15 HEAT METER WITH THE FOLLOWING SENSOR LOCATIONS :
 FLOW METER IN ELEMENT 3
 HIGH TEMPERATURE SENSOR IN ELEMENT 1
 LOW TEMPERATURE SENSOR IN ELEMENT 3

ELEMENT 16 HEAT METER WITH THE FOLLOWING SENSOR LOCATIONS :
 FLOW METER IN ELEMENT 3
 HIGH TEMPERATURE SENSOR IN ELEMENT 2
 LOW TEMPERATURE SENSOR IN ELEMENT 4

ELEMENT 17 INTEGRATES THE ENERGY EXTRACTED BY EXTERNAL FUNCTION 1
 THE INTEGRATION IS ON-OFF CONTROLLED BY CONTROLLER 2

ELEMENT 18 INTEGRATES THE ENERGY EXTRACTED BY EXTERNAL FUNCTION 2
 THE INTEGRATION IS ON-OFF CONTROLLED BY CONTROLLER 5

ELEMENT 19 INTEGRATES AN OPERATION TIME
 THE INTEGRATION IS ON-OFF CONTROLLED BY CONTROLLER 1

ELEMENT 20 INTEGRATES THE HEAT DEMAND OF EXTERNAL FUNCTION 1

ELEMENT 21 INTEGRATES THE HEAT DEMAND OF EXTERNAL FUNCTION 2

ELEMENT 22 INTEGRATES THE ENERGY EXTRACTED BY EXTERNAL FUNCTION 3

ELEMENT 24 REPRESENTS AN ALGEBRAIC SUM OF OTHER ELEMENTS
 $Y(24) = + Y(17) + Y(18)$

ELEMENT 25 REPRESENTS AN ALGEBRAIC SUM OF OTHER ELEMENTS
 $Y(25) = + Y(20) + Y(21)$

CHARACTERISTICS OF THE ELEMENTARY CONTROLLERS

CONTROLLER 1 IS AN ON-OFF DIFFERENTIAL THERMOSTAT
 INITIAL POSITION : OFF
 HIGH TEMPERATURE SENSOR LOCATED IN ELEMENT 8
 LOW TEMPERATURE SENSOR LOCATED IN ELEMENT 8
 STARTING DIFFERENTIAL : 5.0000 C
 STOPPING DIFFERENTIAL : 1.0000 C

CONTROLLER 2 IS A TIME SWITCH WITH A DAILY CYCLE, BEING SWITCHED ON:
 DURING 15 MINUTES, STARTING AT MINUTE *****
 DURING 15 MINUTES, STARTING AT MINUTE *****
 DURING 15 MINUTES, STARTING AT MINUTE *****

CONTROLLER 3 IS AN ON-OFF THERMOSTAT
 INITIAL POSITION : OFF
 TEMPERATURE SENSOR LOCATED IN ELEMENT 13
 STARTING DIFFERENTIAL : 0.0 C
 STOPPING DIFFERENTIAL : 1.0000 C
 SETTING : (21.0000 + 0.0 *T-AMBIENT) DEGR.C

CONTROLLER 4 IS AN ON-OFF THERMOSTAT
 INITIAL POSITION : OFF
 TEMPERATURE SENSOR LOCATED IN ELEMENT 13
 STARTING DIFFERENTIAL : -1.0000 C
 STOPPING DIFFERENTIAL : 0.0 C
 SETTING : (21.0000 + 0.0 *T-AMBIENT) DEGR.C

CONTROLLER 5 IS A TIME SWITCH WITH AN ANNUAL CYCLE, BEING SWITCHED OFF:
 FROM DAY NUMBER 151 TO DAY NUMBER 243 (INCLUSIVE)

EXTERNAL FUNCTIONS CHARACTERISTICS

EXTERNAL FUNCTION 1 IS A TYPE 5 FUNCTION
 DOMESTIC HOT WATER DRAW OFF FROM PREHEATING TANK ELEMENT 9
 ONCE THROUGH AUXILIARY HEATER
 DAILY DRAW OFF CYCLE ACCORDING TO CONTROLLER 2
 COLD FEED WATER TEMPERATURE: 8.0000 DEGR.C
 HOT WATER CONSUMPTION TEMPERATURE: 45.0000 DEGR.C
 DRAW OFF FLOW RATE: 4.5000 LITERS/MIN
 HEAT EXCHANGE EFFICIENCY IN THE PREHEATING TANK 1.0000

EXTERNAL FUNCTION 2 IS A TYPE 13 FUNCTION
 HEAT EXTRACTION FROM ELEMENT 5
 HEAT IS SUPPLIED TO HOUSE ELEMENT 13
 HOUSE THERMOSTAT FOR HEAT DEMAND: CONTROLLER 3
 HOUSE THERMOSTAT FOR AUXILIARY HEAT SUPPLY: CONTROLLER 4
 AUXILIARY HEATING HAS A SEPARATE DISTRIBUTION SYSTEM
 FLUID RETURNS TO ELEMENT 8
 SOLAR SYSTEM IS BYPASSED WHEN THE TEMPERATURE OF ELEMENT 5 IS BELOW THE RETURN TEMPERATURE
 MAXIMUM ALLOWED DISTRIBUTION TEMPERATURE: 90.0000 DEGR.C
 THERMAL CAPACITANCE RATE OF THE DISTRIBUTION: 0.1458 KW/K
 POWER OF THE AUXILIARY HEATING SYSTEM: 5.0000 KW
 EFFICIENCY OF THE SOLAR SYSTEM HEAT EMITTERS: 0.3200

EXTERNAL FUNCTION 3 IS A TYPE 10 FUNCTION
 POWER OF CIRCULATION PUMP ACCORDING TO FLOW CONDITION OF ELEMENT 3
 POWER OF THE PUMP(S): 60.0000 W

EXTERNAL FUNCTION 4 IS A TYPE 1 FUNCTION
 A SOLARIMETER IN THE COLLECTOR PLANE

GENERAL INPUT DATA AND PARAMETERS
=====

SIMULATED SYSTEM CONFIGURATION CHARACTERISTICS:
TOTAL NUMBER OF ELEMENTS: 25, INCLUDING:
1 DIFFERENTIAL SYSTEM COMPONENTS
3 ALGEBRAIC SYSTEM COMPONENTS
9 INTEGRATING INSTRUMENT ELEMENTS
2 ALGEBRAIC COMBINATIONS OF OTHER ELEMENTS
NUMBER OF STRATIFIED LIQUID STORAGE TANKS: 2
CONTROL DEVICES:
5 ELEMENTARY CONTROLLERS
1 ON-OFF CONTROLLER
NUMBER OF DIFFERENT OPERATIONAL MODES OF THE SYSTEM:
1
NUMBER OF DIFFERENT OPERATIONS: 1
NUMBER OF EXTERNAL FUNCTIONS: 4

METEOROLOGICAL INPUT DATA:
LOCATION
GEOGRAPHICAL LATITUDE: 55.68 DEGREES
GEOGRAPHICAL LONGITUDE: -12.57 DEGREES
TIME ZONE LONGITUDE: -15.00 DEGREES
GROUND REFLECTION COEFFICIENT: 0.20
METEOROLOGICAL INPUT DATA TIME STEP: 60 MINUTES
EVERY METEO-FILE RECORD CONTAINS 18 QUANTITIES, NUMBERED IN ORDER OF APPEARANCE

RADIATION DATA: TO BE MULTIPLIED BY 1.0000 TO OBTAIN W/SQM
SOLAR PROCESSOR IS USED, BASED ON THE FOLLOWING METEO-FILE DATA:
HORIZONTAL DIFFUSE RADIATION: QUANTITY 11 IN THE METEO-FILE RECORDS
DIRECT (BEAM-) RADIATION: QUANTITY 12 IN THE METEO-FILE RECORDS
HORIZONTAL TOTAL RADIATION: QUANTITY 13 IN THE METEO-FILE RECORDS
A CONSTANT WIND SPEED IS USED = 0.0 M/SEC
CONSTANT TEMPERATURES BEING USED:
AMBIENT TEMPERATURE 1 = 20.0000 DEGR.C.
VARIABLE TEMPERATURES FROM METEO-FILE, TO BE MULTIPLIED BY 0.1000 TO OBTAIN DEGR.C.:
AMBIENT TEMPERATURE 2 = 20.0000 DEGR.C.
VARIABLE TEMPERATURE 3: QUANTITY 9 IN THE METEO-FILE RECORDS
VARIABLE SPACE HEATING DEMANDS AND/OR FLOW RATES BEING USED:
(THE VALUE BETWEEN BRACKETS GIVES THE APPLIED MULTIPLICATION FACTOR FOR CONVERSION TO APPROPRIATE UNITS)
1: QUANTITY 17 IN THE METEO-FILE RECORDS (0.0010)

COMPUTATION PARAMETERS:

TOTAL LENGTH OF CONSIDERED PERIOD: 8760 INPUT DATA TIME STEPS
STARTING AT 0 0-CLOCK OF DAY NUMBER 1 OF THE YEAR
STANDARD LENGTH OF ONE INTEGRATION PERIOD: 48 INPUT DATA TIME STEPS
INTEGRATION ALGORITHM NUMBER: 1
REQUESTED PRECISION FOR TEMPERATURES OF DIFFERENTIAL ELEMENTS: 1.0000 DEGREES
MINIMUM ALLOWED TIME STEP: 0.0100 MINUTES
INTEGRATING INSTRUMENT ELEMENTS ARE RESET TO ZERO AFTER EVERY OUTPUT PERIOD

PROJEKTORGANISATION

Styregruppe

Energiministeriet har fra september 1984 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, formand
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S
E. Christophersen, afdelingsleder, Statens Byggeforskningsinstitut
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening
K. Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S
K. Hyllested, civilingeniør, Energistyrelsen
E. Jerking, Byggestyrelsen, Energikontoret
N.I. Meyer, Professor, Fys.Lab.III, DTH
J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch & Krogboe
H. Larsen, civilingeniør, Risø
E. Pedersen, lektor, Kem.Lab. I, H.C. Ørstedes Instituttet
P.J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen

Projektmedarbejdere

N.B. Andersen, civilingeniør
O. Balslev-Olesen, civilingeniør
O. Dyrnum, civilingeniør
S. Furbo, civilingeniør, lic.techn.
K. Kielsgaard Hansen, akademiingeniør, lic.techn.
S. Østergaard Jensen, civilingeniør
S.E. Mikkelsen, civilingeniør
L.Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
P. Vejsig Pedersen, civilingeniør
V. Ussing, civilingeniør