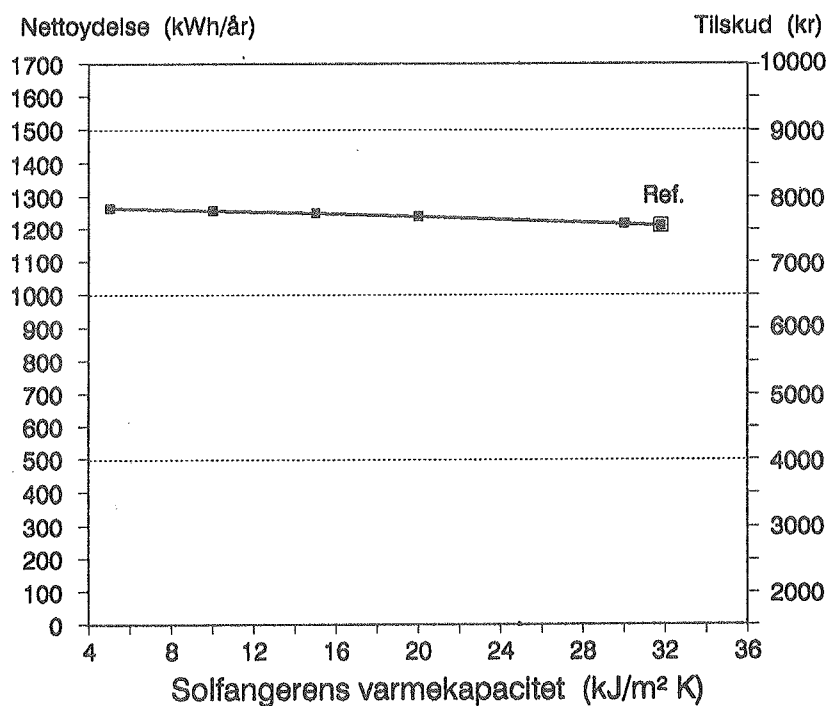


SMÅ LOW FLOW SOLVARMEANLÆGS YDELSER



SIMON FURBO
PETER FAGERLUND CARLSSON

MEDDELELSE NR. 221 AUGUST 1991

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

SMA LOW FLOW
SOLVARMEANLÆGS
YDELSER

SIMON FURBO
PETER FAGERLUND CARLSSON

MEDDELELSE NR. 221
AUGUST 1991

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Forord

Denne rapport beskriver arbejdet, som er gennemført under projektet: "Værktøj til optimering af solvarmeanlæg med små volumenstrømme". Projektet, som er finansieret af Energiministeriet, er en del af programområde 5: "Energianvendelse i bygninger" under ministeriets forskningsprogram EFP-90. Projektets journal-nr. er 1213/90-0004.

Projektet er gennemført på Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, med deltagelse af medarbejderne:

Simon Furbo, civilingeniør, Ph.D.

Peter F. Carlsson, civilingeniør

Peter Berg, civilingeniør, Ph.D.

Martin Dandanell, maskinarbejder

Christina D. Zimmermann, assistent

Birthe Friis, korrespondent

Malene Haslev Jacobsen, teknisk tegner elev

Resumé

Der er gennemført detaljerede målinger for et lille low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning under laboratoriemæssige forhold.

En detaljeret matematisk model, som simulerer driften af små low flow solvarmeanlæg med en kappebeholder som varmelager, blev valideret ved hjælp af målingerne.

På basis af undersøgelserne vurderes det, at størstedelen af den matematiske model er særdeles velegnet til at beregne ydelsen af små low flow anlæg. Således simuleres de termiske forhold i kappebeholderen og i solfangerkredsens rørsystem udmærket. Kun kniber det lidt med at simulere de termiske forhold for solfangeren helt korrekt.

Med den matematiske model blev det undersøgt, hvorledes anlægsydelsen påvirkes af variationer i bestrålingsstyrken forårsaget af skyer. Der er udarbejdet en figur, som angiver hvor stor den ekstra årlige ydelse for low flow anlæg er, når der tages hensyn til variationerne i bestrålingsstyrken i stedet for at benytte referenceårets vejrdato, som er gennemsnitlige værdier for hver time igennem året. Navnlig for low flow anlæg med små dækningsgrader og med små forhold mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal er ekstraydelsen forårsaget af variationerne af stor betydning.

Ydelser for low flow anlæg og for traditionelle solvarmeanlæg blev beregnet. Jo mindre anlæggets dækningsgrad er, og jo mindre forholdet mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal er, des større er merydelsen for low flow anlæg i forhold til traditionelle solvarmeanlæg.

Målinger har vist at beregningerne undervurderer merydelsen for low flow anlæg. Forklaringen herpå er sandsynligvis at de eksisterende matematiske modeller for de traditionelle solvarmeanlæg overvurderer anlægsydelsen. Modellerne tager nemlig ikke hensyn til den u hensigtsmæssige opblanding, som forekommer i toppen af det traditionelle anlægs varmelager mellem varmt vand opvarmet af den supplerende energikilde og koldere vand, som sættes i bevægelse når det opvarmes af solfangeren.

Med den validerede matematiske model for low flow anlæg er der gennemført en række beregninger med forskellige anlægsudformninger. På basis af disse beregninger er der udarbejdet figurer, som angiver den årlige ydelse for forskelligt udformede low flow solvarmeanlæg.

Summary

Detailed measurements for a small low flow solar heating system for domestic hot water supply have been carried out.

A detailed mathematical model simulating the thermal behaviour of a small low flow solar heating system based on a mantle heat storage was validated by means of the measurements.

Most parts of the mathematical model are extremely suitable for the purpose. The thermal behaviour of the heat storage and of the pipe system of the solar collector loop is simulated correctly. However, the solar collector model needs to be improved.

By means of the model it was investigated how the thermal performance of low flow systems is influenced by variations of the solar irradiance caused by clouds. A figure showing the extra yearly thermal performance of low flow systems caused by these variations has been prepared. The yearly thermal performance of the low flow system is determined in the following way. First the yearly thermal performance is calculated with the model and the Danish Test Reference Year, which is based on average hourly weather data for all hours during the year. Then the extra thermal performance caused by variations in the solar irradiance is determined by means of the above mentioned figure. Especially for small solar fractions and small ratios between the hot water consumption and the solar collector area the extra performance caused by the variations is of great importance.

The thermal performances of low flow systems and of traditional solar heating systems have been calculated. Especially for small solar fractions and for small ratios between the hot water consumption and the solar collector area the extra performance of the low flow system compared to the performance of the traditional solar heating system is great.

Measurements show that the extra performance of low flow systems is calculated too small. Most likely, this is caused by the fact that the model for the traditional systems overestimates the thermal performance. The model does not take the inappropriate mixing between hot water heated by the auxiliary energy source and colder water heated by the solar collector into consideration. This mixing occurs in the top of the heat storage of the traditional system.

By means of the validated mathematical model a number of calculations with different system designs have been carried out. Based on these calculations figures showing the yearly thermal performance of differently designed low flow systems have been prepared.

Indholdsfortegnelse

Forord	i
Resumé	ii
Summary	iii
1. Indledning	1
2. Forsøg	1
2.1 Forsøgsanlæg	1
2.2 Målinger	5
3. Validering af matematisk model	8
3.1 Solfangerkreds	8
3.2 Varmelager	10
3.3 Solfanger	14
3.4 Komplet anlæg	17
3.5 Ydelsens afhængighed af variationer i bestrålingsstyrken	22
4. Ydelsen af low flow solvarmeanlæg og af traditionelle solvarmeanlæg	32
5. Anlægsudformningens betydning for ydelsen	35
5.1 Solfangerareal	36
5.2 Solfangerens maksimaleffektivitet	39
5.3 Solfangerens koefficient til korrektion for indfaldsvinklen	39
5.4 Solfangerens varmetabskoefficient	41
5.5 Solfangerens varmekapacitet	41
5.6 Solfangertypen	42
5.7 Solfangerhældning	43
5.8 Lagervolumen	43
5.9 Vandvolumen over elpatronen	44
5.10 Elpatronens termostattertemperatur	44
5.11 Kappens udstrækning	45
5.12 Kappens tykkelse	45
5.13 Beholdermateriale	46
5.14 Lagerisolering	47
5.15 Varmelagerets kuldebroer	47
5.16 Volumenstrøm i solfangerkredsen	48
5.17 Styresystemets startdifferent	49
5.18 Styresystemets stopdifferent	51
5.19 Solfangerkredsens kuldebroer	51
5.20 Varmtvandsforbrugets størrelse	51
6. Konklusion	52
Referencer	53

1. Indledning

Eksperimentelle undersøgelser har vist, at solvarmeanlæg med små volumenstrømme årligt yder 10-20 % mere end "traditionelle" solvarmeanlæg, [1], [2], [3]. Merydelsen for low flow anlæg afhænger stærkt af anlæggets dækningsgrad. Jo mindre dækningsgraden er, des større er den ydelsesmæssige fordel ved low flow solvarmeanlægget.

Da prisen for solvarmeanlæg med små volumenstrømme desuden kan reduceres i forhold til prisen for "traditionelle" solvarmeanlæg, er low flow solvarmeanlæg særdeles attraktive.

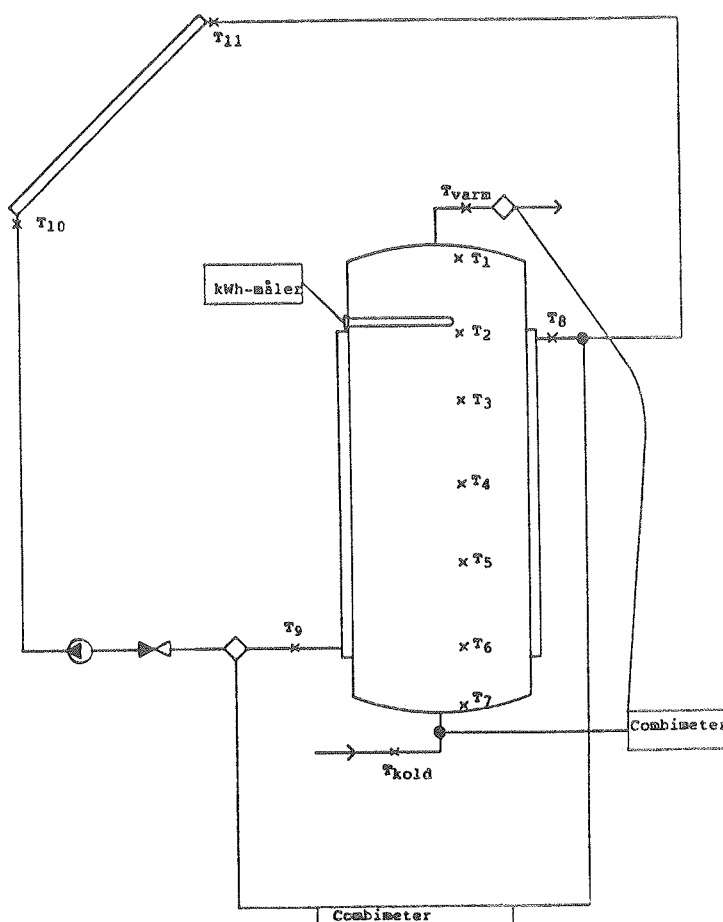
På Laboratoriet er der udviklet en detaljeret matematisk model, som simulerer driften af pumpedrevne solvarmeanlæg med en lille volumenstrøm i solfangerkredsen og med en kappebeholder, hvori temperaturlagdelingen opbygges under opvarmning, [4].

I dette projekt er der gennemført detaljerede målinger for et lille low flow forsøgsanlæg på Laboratoriets forsøgsareal. Målingerne er beskrevet i afsnit 2. I afsnit 3 er den matematiske model valideret ved hjælp af målingerne, i afsnit 4 er ydelsen af low flow solvarmeanlæg og traditionelle solvarmeanlæg sammenlignet, og i afsnit 5 er der på basis af beregninger med den validerede model opstillet figurer, som angiver anlægsudformningens betydning for ydelsen af low flow anlæg.

2. Forsøg

2.1 Forsøgsanlæg

Det afprøvede solvarmeanlæg og det benyttede måleudstyr er vist skematisk på figur 1. Anlægget er placeret på et målehus på Laboratoriets forsøgsareal.



Figur 1. Skematisk illustration af forsøgsanlægget og måleudstyret.

Varmelageret, som er placeret i målehuset, er en opretstående kappebeholder fra Sdr. Højrup Maskinfabrik A/S. Varmtvandsbeholderens volumen er 197 l, diameteren er 46 cm og højden 121 cm. Kappen, som omgiver en del af varmtvandsbeholderen, har et volumen på 27 l. Kappens diameter er 51 cm og kappehøjden er 84 cm. Afstanden mellem toppen af kappen og toppen af varmtvandsbeholderen er 22 cm, og afstanden mellem bunden af kappen og bunden af varmtvandsbeholderen er 15 cm.

Varmtvandsbeholderen er forsynet med en elpatron på ca. 1000 W. Elpatronen er placeret vandret i beholderen 21 cm fra toppen af beholderen.

Beholderen er isoleret med mineraluld. Isoleringstykkelsen for toppen af beholderen og for kappen er 50 mm. Isoleringstykkelsen for varmtvandsbeholderen over og under kappen er 75 mm. Bunden af beholderen er uisoleret.

Anlægget er forsynet med en 3-trins Grundfos cirkulationspumpe type UPS 15 - 35 X 20. I måleperioderne er pumpens trin 1 benyttet, således at pumpens effektforbrug er 35 W.

Pumpen er styret af en differenstermostat med en temperaturføler placeret øverst i solfangeren og en temperaturføler placeret i bunden af kappen. Pumpen startes når temperaturforskellen bliver større end 8 K og pumpen stoppes igen når temperaturforskellen bliver mindre end 2 K. Vand er benyttet som solfangervæske.

Anlægget er forsynet med et 4,04 m² solfangerelement fra Aidt Miljø ApS. Solfangeren, som er placeret på målehusets tag, vender mod syd og solfangerhældningen er 45°. Solfangerens absorber er en 200 m lang sammenhængende 16 mm polypropylen ribberørslange, som snor sig igennem hele solfangerens bredde fra bunden til toppen af solfangeren.

Solfangerens transparente lag er en 6 mm dobbeltvægget polykarbonatplade. Effektiviteten af en solfanger, udformet som den benyttede solfanger, er målt i [5]. Den på denne måde gennem-målte solfanger er mindre end solfangeren, som er benyttet i forsøgsanlægget, således at en indendørs afprøvning i Laboratoriets solsimulator er mulig. På basis af afprøvningen vurderes det, at effektiviteten af forsøgsanlæggets solfanger kan bestemmes af

$$\eta = 0,74 - 5,4 \cdot \frac{(T_m - T_f)}{E} - 0,018 \cdot \frac{(T_m - T_f)^2}{E}$$

Solfangeren har en særdeles stor varmekapacitet. Ved 20°C indeholder solfangerelementet således 26,7 l vand svarende til 6,6 l/m² solfanger. Ved højere temperaturer kan absorberen på grund af ribberørets udvidelse indeholde mere solfangervæske. Eksempelvis indeholder solfangerelementet ved 40°C 28,1 l vand svarende til 7,0 l/m² solfanger. Det skal her bemærkes at absorberens udvidelse vil afhænge af de trykforhold, som solfangeren udsættes for. For trykløse systemer vil udvidelsen være mindre end angivet her.

Solfangerkredsen består af 21,7 m 12/10 mm kobberrør isoleret med polyethylencelleplast. Solfangerkredsen er forsynet med ventiler, som muliggør en præcis indstilling af volumenstrømmen i solfangerkredsen.

Termostattertemperaturen for elpatronen i varmelagerets top er indstillet på 50°C. Derfor kan der altid tappes varmt vand fra beholderen ved den ønskede tappetemperatur.

Koldt vand tilføres bunden af beholderen, mens varmt vand tappes fra toppen af beholderen. Et automatisk tappesystem sørger for at hver tapning startes med en blindtapning. Herved sikres,

at der holdes en konstant lav koldtvandstemperatur igennem hele tapningen.

Tappesystemet er forsynet med en kalibreret elektronisk energimåler, Combimeter type E50 fra ISS Clorius. Ved hjælp af energimåleren måles den tappede vandmængde og energimængde under hver tapning. Så snart den ønskede energimængde er tappet fra lageret, afbrydes tapningen. Varmtvandsforbruget simuleres derfor på en realistisk måde.

Måleudstyret, som skematisk er vist på figur 1, gør det muligt detaljeret at følge anlæggets drift. Under driften måles hele tiden volumenstrømmen i solfangerkredsen og effekten, som overføres fra solfangerkredsen til varmelageret ved hjælp af en kalibreret elektronisk energimåler, Combimeter type E50 fra ISS Clorius.

Varmelagerets elpatrons energiforbrug måles ved hjælp af en kWh-måler og det registreres om cirkulationspumpen er i drift eller ej.

Det totale solindfald og den diffuse stråling på solfangeren registreres ved hjælp af to kalibrerede solarimetre, hvoraf det ene er forsynet med en skyggering. Udelufttemperaturen og temperaturen af rummet, hvor lageret er placeret, registreres ved hjælp af termoelementer.

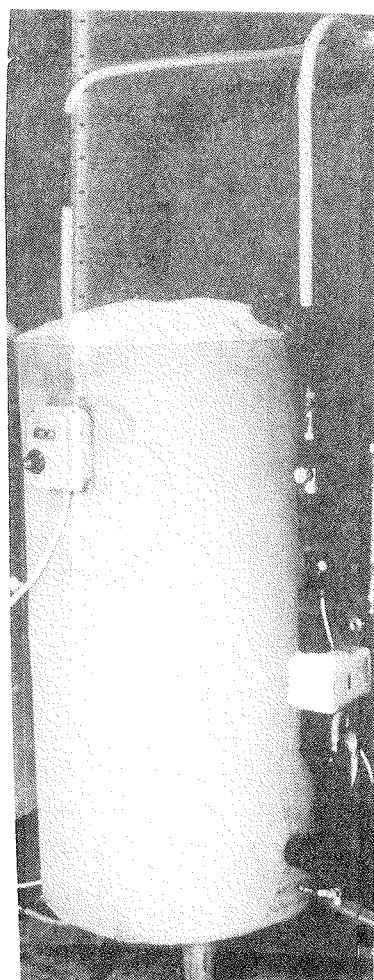
Som det fremgår af figur 1 registreres temperaturen i 7 forskellige niveauer i lagertanken. Desuden måles temperaturen af solfangervæsken både ved indløbet til solfangeren og lageret og ved udløbet fra solfangeren og lageret.

Alle øjebliksmålingerne registreres af en 30-kanal skriver og opsamles af en PC-er. De summerede volumenmængder og energimængder aflæses manuelt.

Figur 2 viser det afprøvede solvarmeanlægs solfanger og lagertank. Anlæggets solfanger er den midterste af de tre solfangere, som er placeret på målehusets tag.



Figur 2. Solvarmeanlæggets solfanger og lagertank.



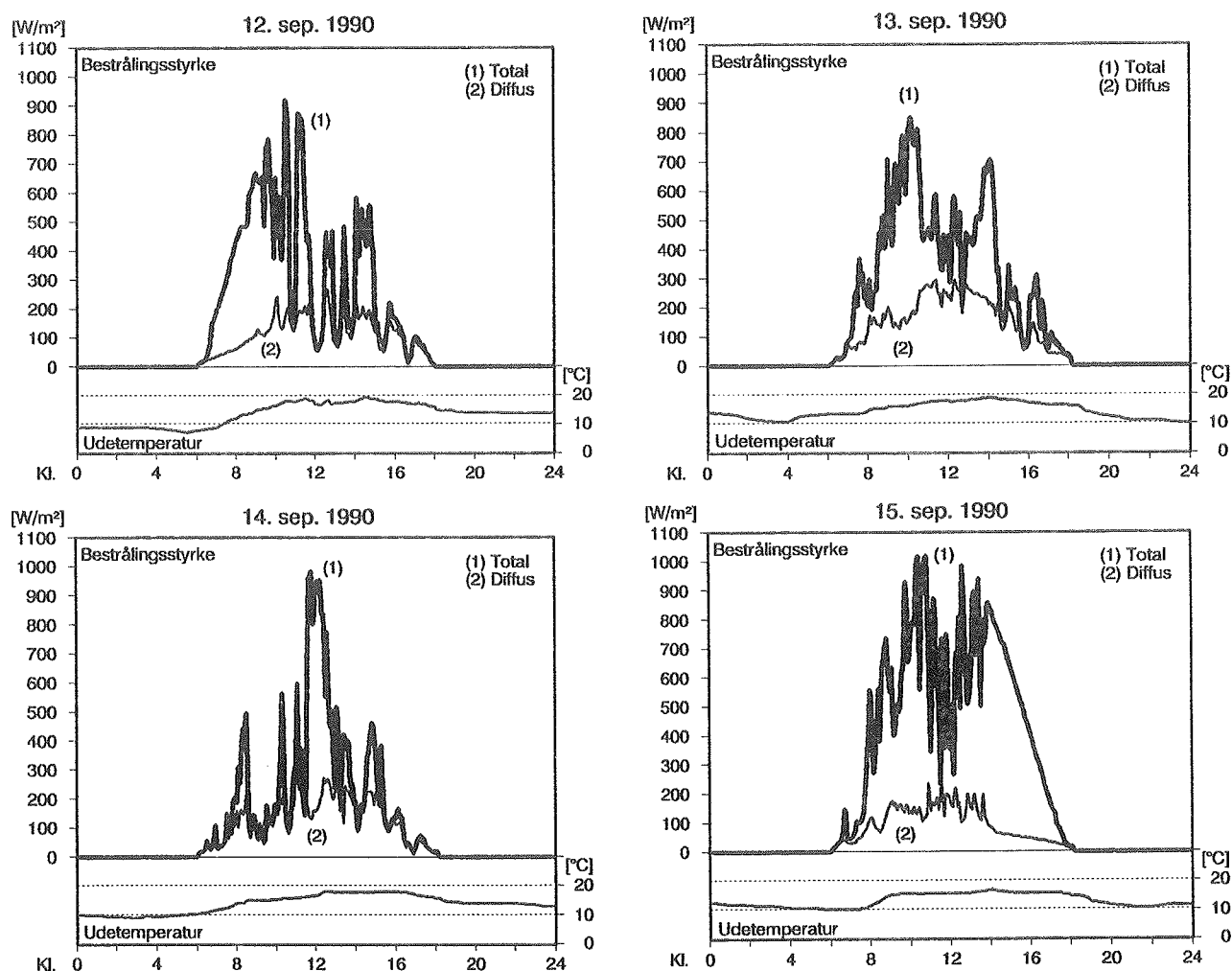
2.2 Målinger

Der blev gennemført fortløbende målinger i to perioder med forskellige vejrtyper. I den første periode fra 12.9.90 til 15.9.90 var der mange skyer, mens der i den anden periode fra 22.10.90 til 26.10.90 var forholdsvis få skyer. De målte vejrdata for de to perioder fremgår af figur 3 og 4.

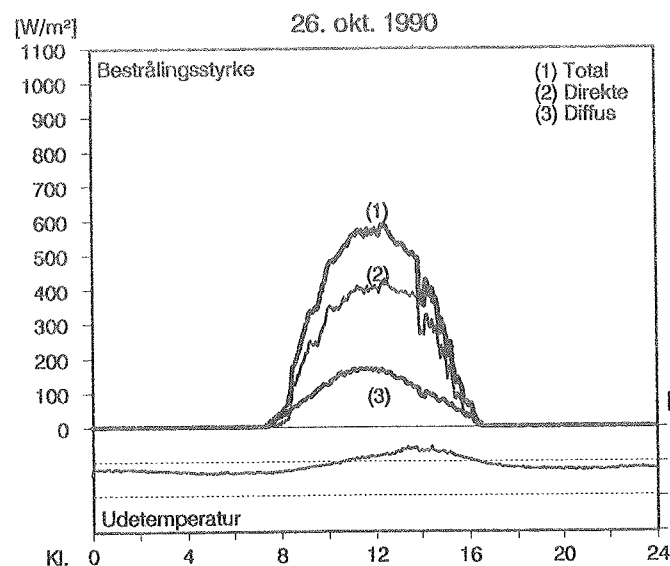
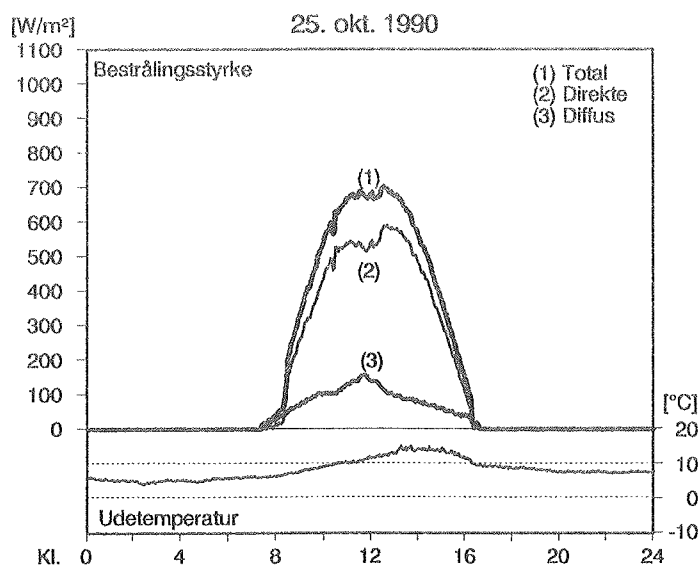
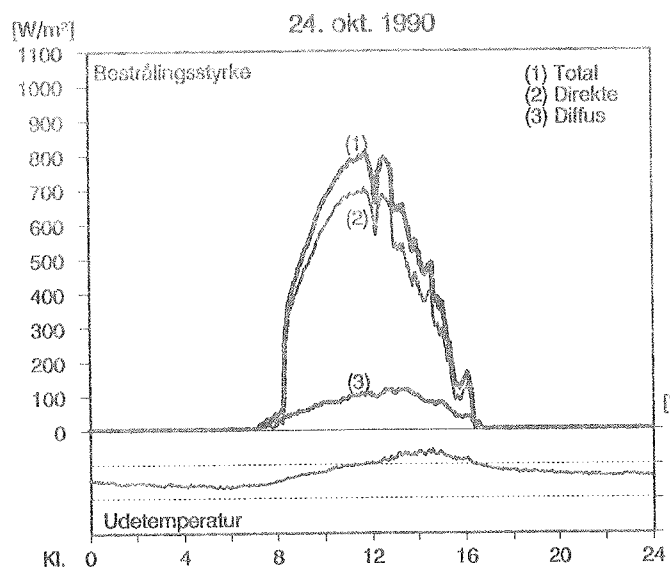
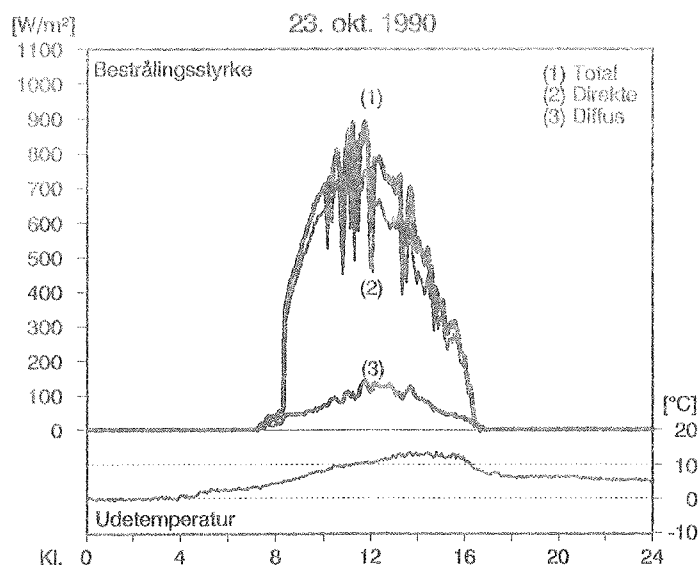
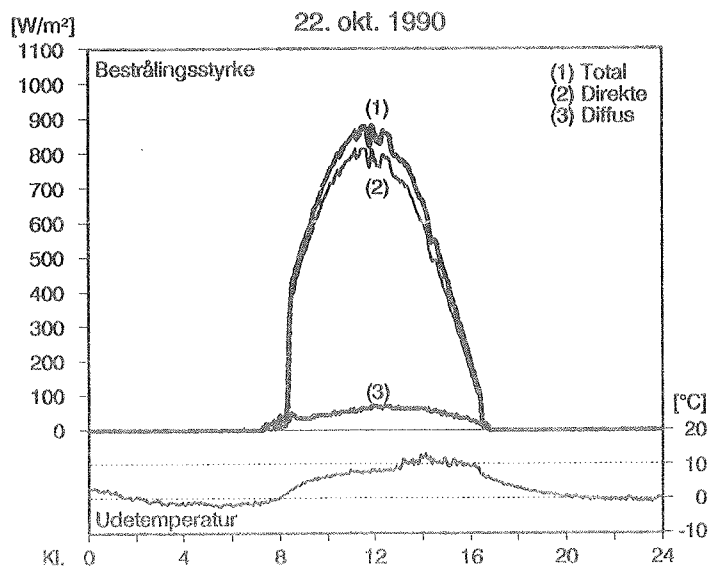
Der blev tappet varmt vand fra lagertanken 4 gange dagligt. Under hver tapning tappes en på forhånd bestemt energimængde fra beholderen. Denne energimængde var i første periode 1,83 kWh, mens den blev ændret to gange i løbet af den anden afprøvningsperiode. Figur 5 viser målte anlægstemperaturer den 22. oktober 1990. Tre lagertemperaturer og solfangervæskens fremløbstemperatur til og returtemperatur fra lagertanken er vist.

De vigtigste målte energimængder for anlægget samt driftstiden for cirkulationspumpen fremgår af tabel 1 og 2 for de to perioder.

Med det i [4] udviklede edb-program blev hver enkelt del af anlægget gennemregnet og beregningerne blev sammenholdt med målingerne for begge perioder. Disse undersøgelser er beskrevet i afsnit 3.

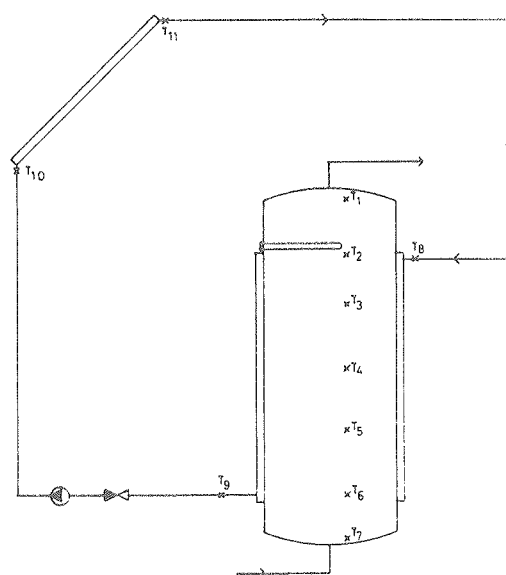
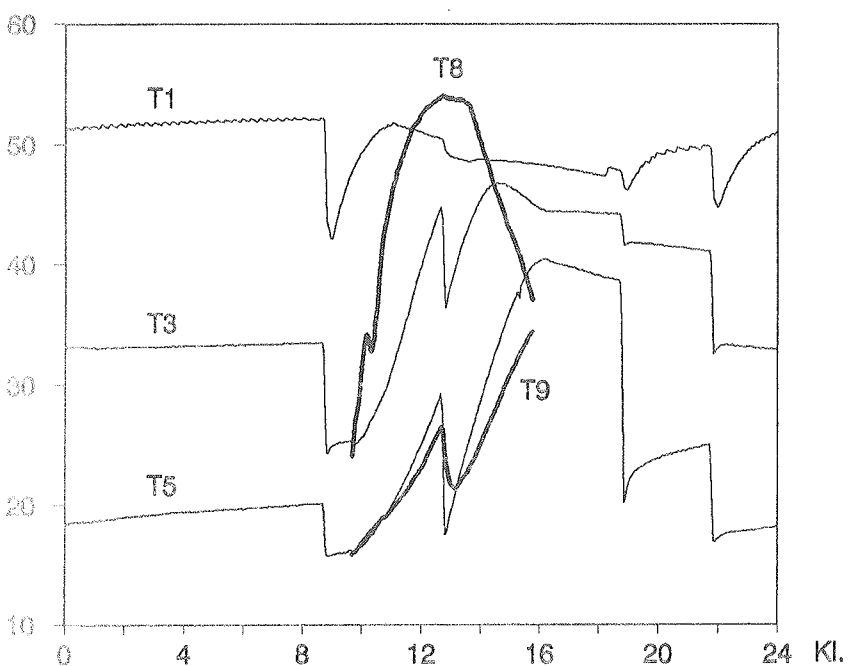


Figur 3. Målt udelufttemperatur samt total og diffus bestrålingsstyrke på solfangerplanen i perioden 12.9.90 - 15.9.90.



Figur 4. Målt udelufttemperatur samt total og diffus bestrålingsstyrke på solfangerplanen i perioden 22.10.90 - 26.10.90.

Temperatur (°C)



Figur 5. Målte lagertemperaturer og solfangervæskens fremløbstemperatur og returtemperatur for lagertanken den 22. oktober 1990.

Dag	Energi til elpatron kWh	Solvarme tilført lager kWh	Tappet energi kWh	Driftstid h	Nettoydelse kWh
12.9.1990	2,53	3,94	7,32	7,42	
13.9.1990	2,88	4,94	7,31	7,25	kWh
14.9.1990	4,74	3,24	7,32	7,25	
15.9.1990	1,76	7,19	7,32	8,33	
SUM	11,9	19,3	29,3	30,2	16,3

Tabel 1. Målte energimængder og driftstider i perioden 12.9.1990 - 15.9.1990.

Dag	Energi til elpatron kWh	Solvarme tilført lager kWh	Tappet energi kWh	Driftstid h	Nettoydelse kWh
22.10.1990	2,26	5,70	7,32	6,42	
23.10.1990	2,83	5,05	7,44	6,50	kWh
24.10.1990	3,03	5,13	7,81	6,23	
25.10.1990	3,37	4,85	7,81	6,47	
26.10.1990	4,30	3,62	7,81	5,80	kWh
SUM	15,8	24,3	38,2	31,4	

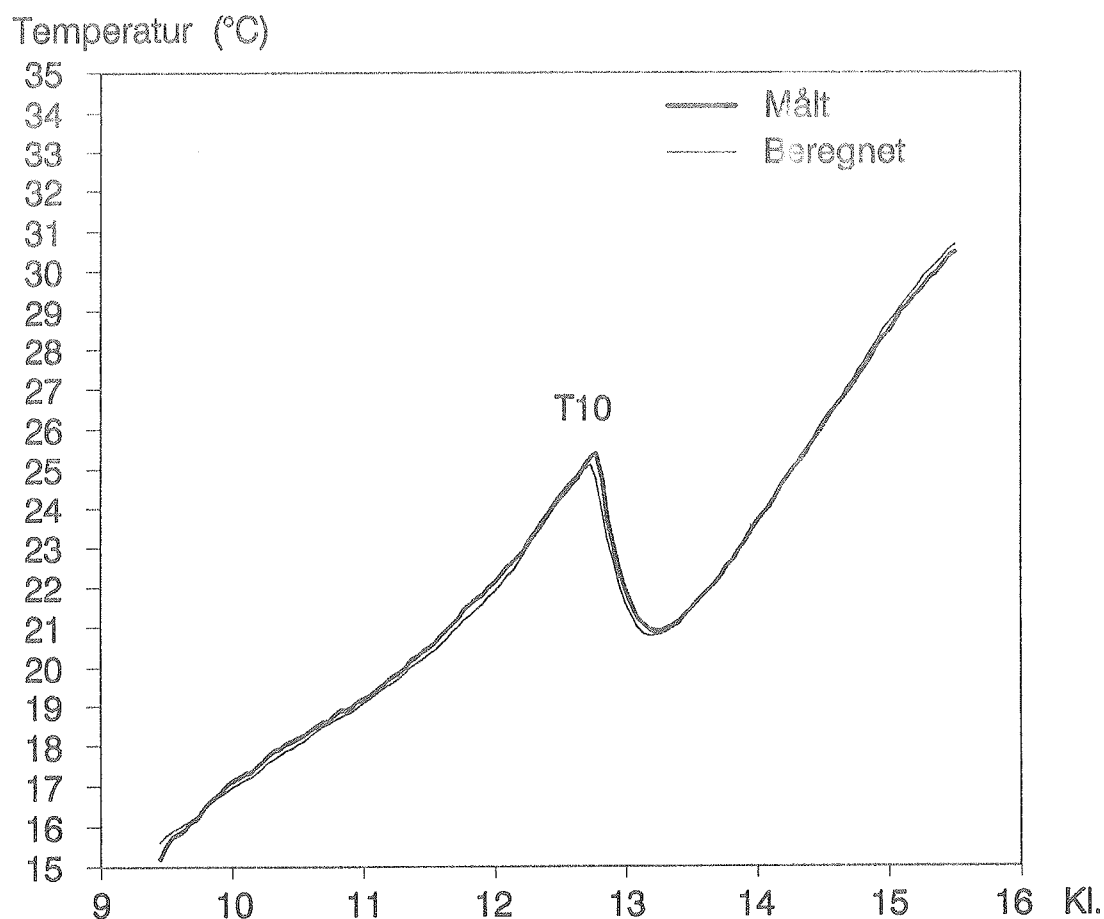
Tabel 2. Målte energimængder og driftstider i perioden 22.10.1990 - 26.10.1990.

3. Validering af matematisk model

Alle dele af den i [4] udviklede matematiske model blev undersøgt hver for sig: Solfangerkredsen fra lageret til solfangeren og fra solfangeren til lageret, solfangeren og varmelageret. Endelig blev hele modellen for anlægget undersøgt. Beregnede og målte temperaturer og energimængder blev sammenlignet i undersøgelserne for begge afprøvningsperioder.

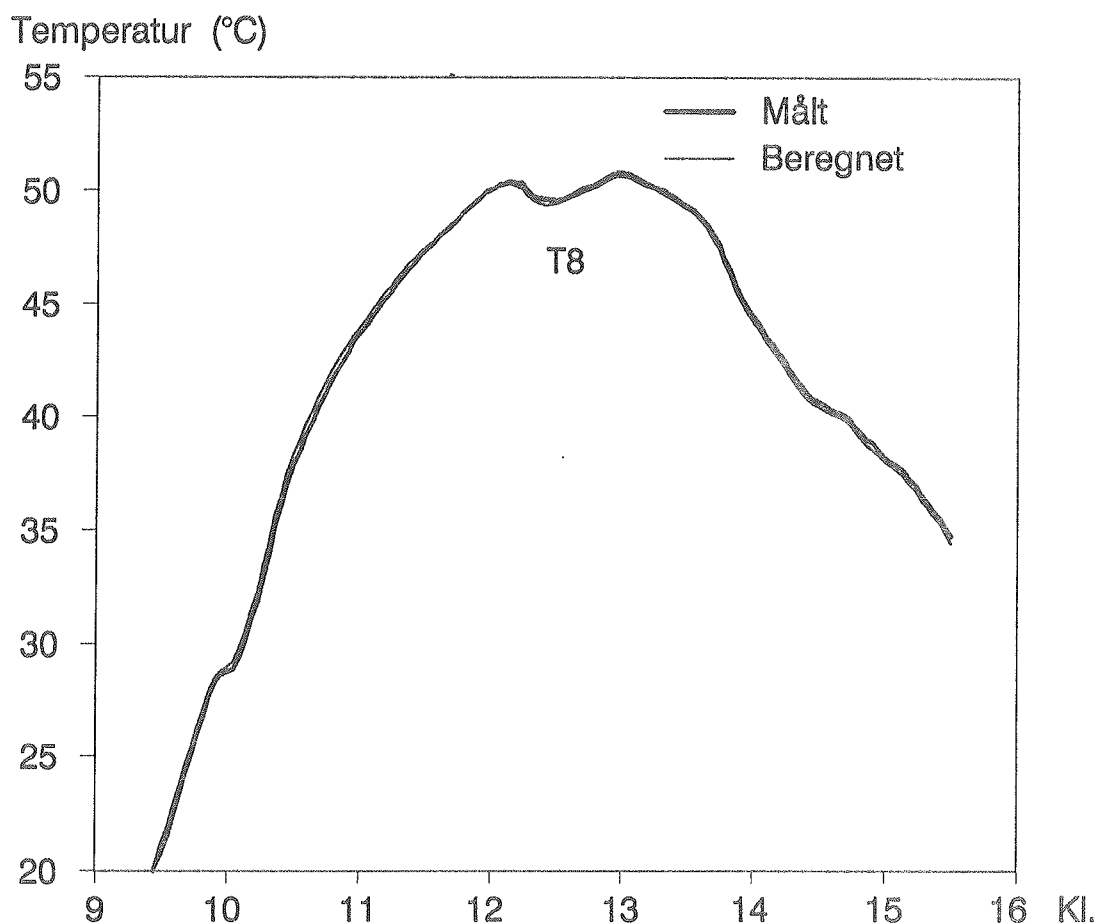
3.1 Solfangerkreds

Med den matematiske model blev temperaturen ved indløbet til solfangeren T_{10} beregnet med den målte volumenstrøm og den målte udløbstemperatur fra kappen T_9 for alle perioder med solfangerdrift. Forskellen mellem den målte og beregnede indløbstemperatur til solfangeren er altid meget lille. Et eksempel herpå er vist på figur 6 for den 24. oktober 1990.



Figur 6. Målt og beregnet indløbstemperatur til solfangeren den 24. oktober 1990.

Endvidere blev for alle perioder med solfangerdrift indløbstemperaturen til kappen T_8 beregnet med den målte volumenstrøm og den målte udløbstemperatur fra solfangeren T_{11} . Forskellen mellem den målte og beregnede indløbstemperatur til kappen er altid meget lille. Et eksempel herpå er vist på figur 7 for den 24. oktober 1990.



Figur 7. Målt og beregnet indløbstemperatur til varmtvandsbeholderens kappe den 24. oktober 1990.

På basis af undersøgelserne må det konkluderes, at modellen beregner de termiske forhold i solfangerkredsen korrekt.

3.2 Varmelager

Der blev med den matematiske model foretaget beregninger på basis af den målte volumenstrøm gennem kappen, den målte indløbstemperatur af solfangervæsken til kappen T_8 , den målte tappede vandmængde fra varmelageret, den målte koldtvandstemperatur og lageromgivelsernes temperatur. Lagertemperaturerne og udløbstemperaturen fra kappen T_9 blev beregnet for begge afprøvningsperioder. Desuden blev følgende energimængder beregnet: Tappet energi fra varmelageret, energi tilført elpatronen samt energien, som solfangervæsken tilfører varmelageret.

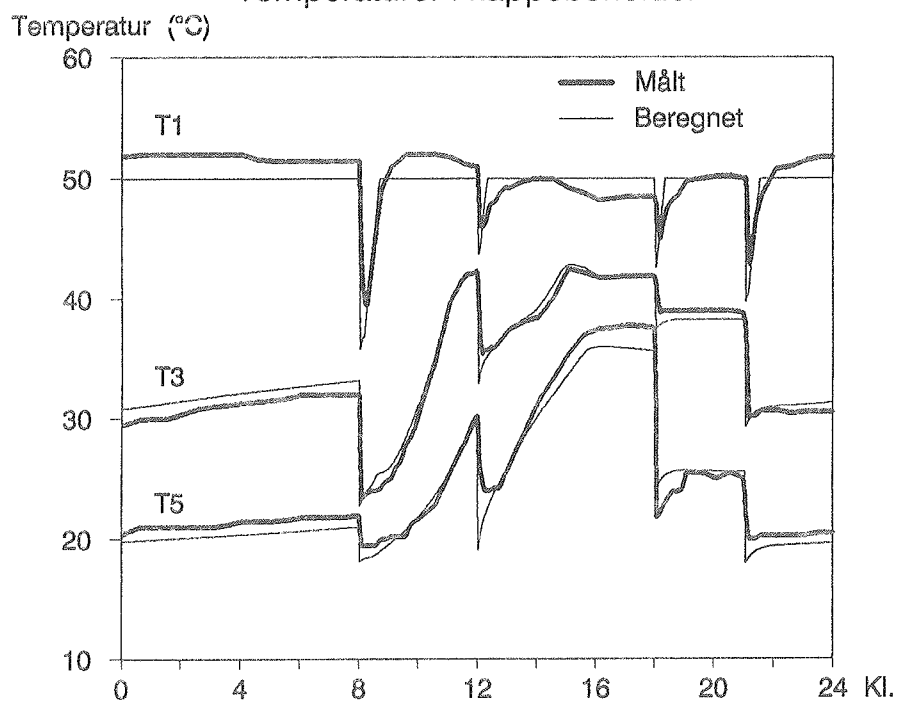
I begge afprøvningsperioder er der rimelig god overensstemmelse mellem målte og beregnede temperaturer. Dette fremgår af figur 8 og 9, som viser målte og beregnede lagertemperaturer og udløbstemperaturer fra kappen for henholdsvis den 13. september 1990 og den 24. oktober 1990.

Det bemærkes dog, at det ikke har været muligt beregningsmæssigt helt at efterligne de lidt varierende temperaturer, som optræder i toppen af tanken. Dette skyldes, at temperaturføleren for elpatronens termostat er indbygget i elpatronen på en sådan måde, at den registrerer en temperatur, som ikke er identisk med temperaturen i toppen af tanken.

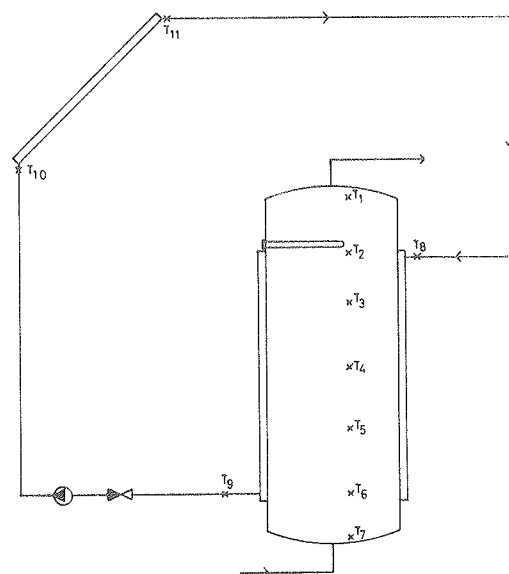
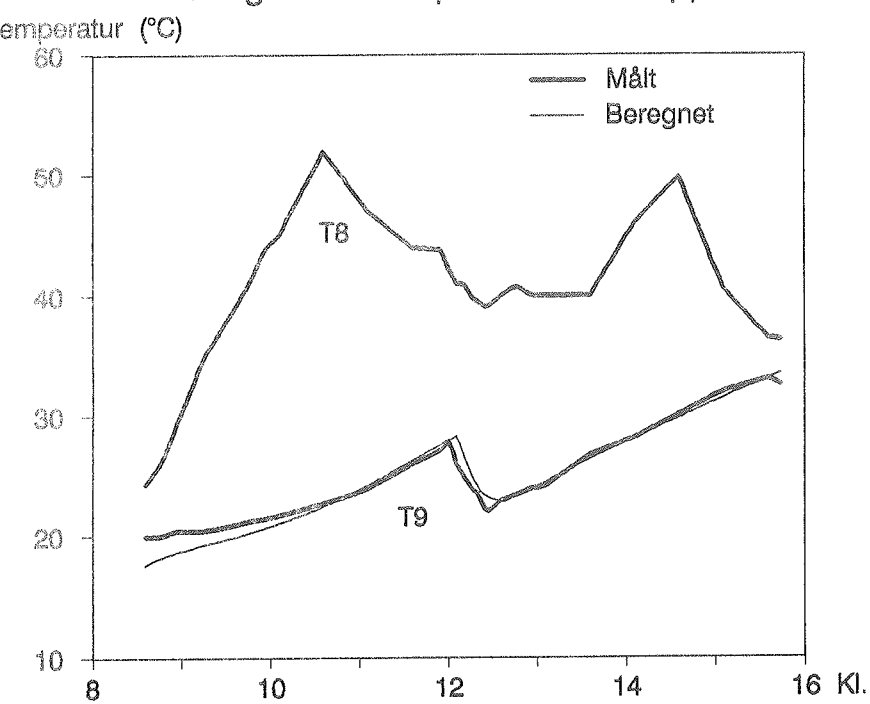
De målte og beregnede energimængder er anført i tabel 3 og 4 for de to perioder. Der er god overensstemmelse mellem målte og beregnede størrelser for begge perioder. Enkelte dage er der dog forholdsvis store uoverensstemmelser mellem den målte og beregnede energimængde, som tilføres elpatronen. Det vurderes, at disse uoverensstemmelser er forårsaget af de i toppen af tanken varierende temperaturer, som det ikke har været muligt at efterligne beregningsmæssigt.

På basis af undersøgelserne må det konkluderes, at modellen beregner de termiske forhold for varmelageret korrekt.

Temperaturer i kappebeholder



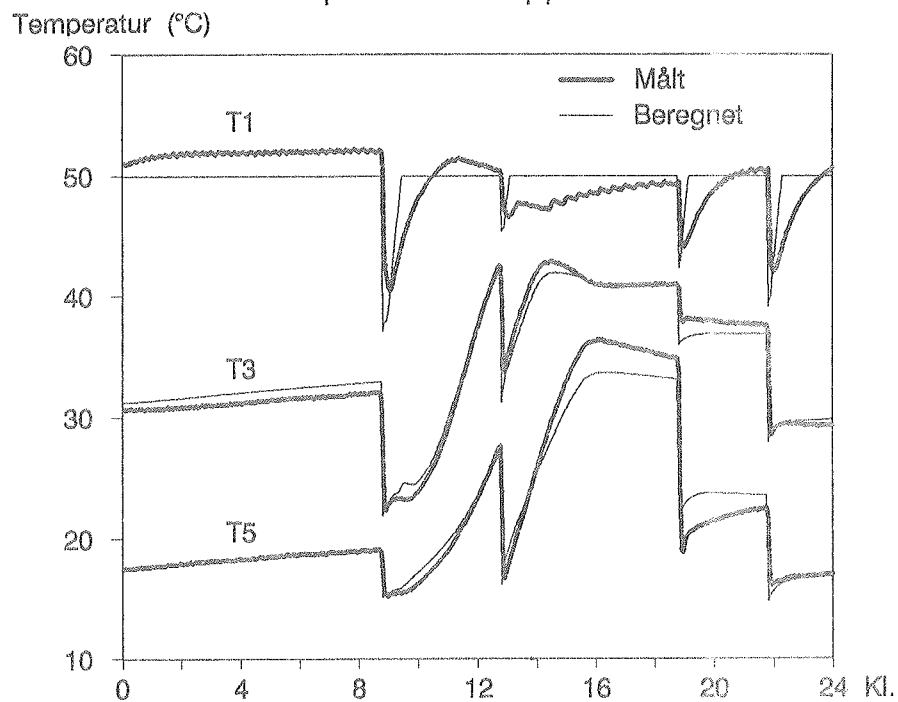
Ind- og udløbstemperaturer for kappen



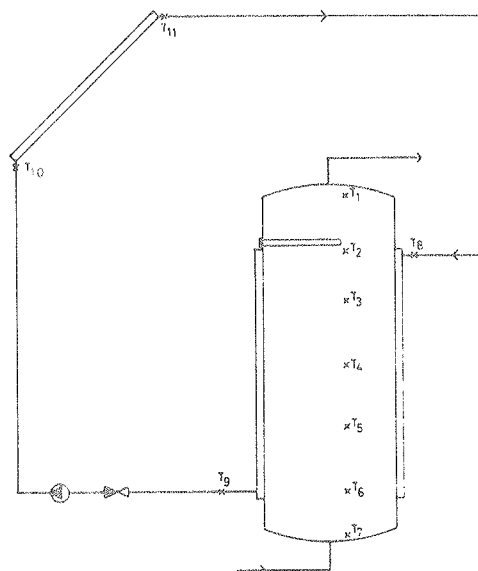
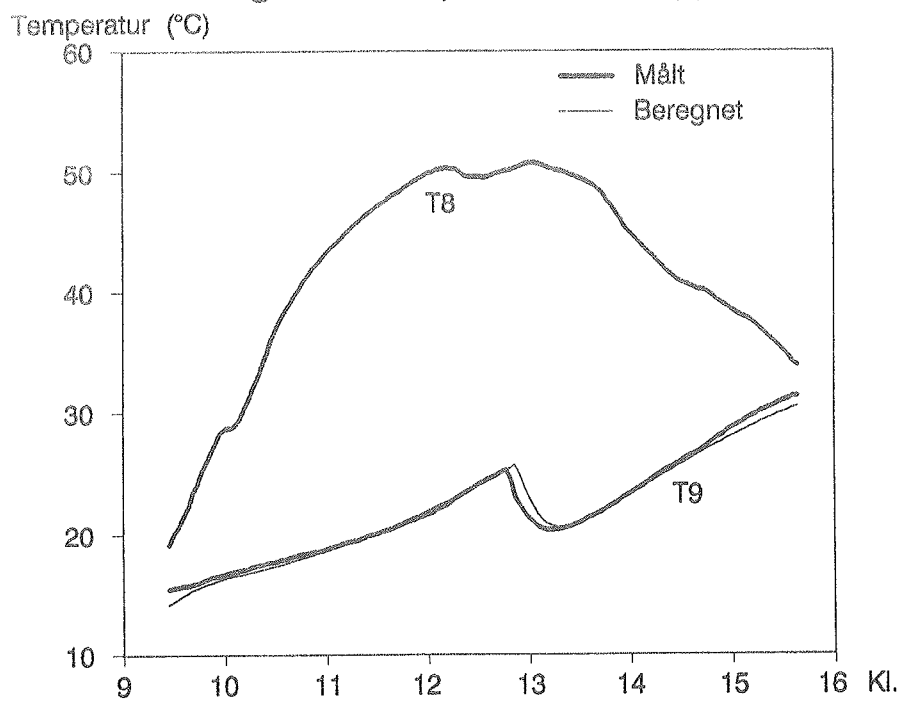
Figur 8.

Målte og beregnede lagertemperaturer den 13. september 1990.

Temperaturer i kappebeholder



Ind- og udløbstemperaturer for kappen



Figur 9.

Målte og beregnede lagertemperaturer den 24. oktober 1990.

Dag	Energi til elpatron kWh		Solvarme tilført lager kWh		Tappet energi kWh	
	målt	beregnet	målt	beregnet	målt	beregnet
12.9.1990	2,53	2,57	3,94	3,57	7,32	7,69
13.9.1990	2,88	3,15	4,94	4,93	7,31	7,62
14.9.1990	4,74	4,07	3,24	3,29	7,32	7,24
15.9.1990	1,76	1,99	7,19	7,22	7,32	7,50
SUM	11,9	11,8	19,3	19,0	29,3	30,0

Tabel 3. Målte og beregnede energimængder med lagermodellen for perioden 12.9.90 - 15.9.90.

Dag	Energi til elpatron kWh		Solvarme tilført lager kWh		Tappet energi kWh	
	målt	beregnet	målt	beregnet	målt	beregnet
22.10.90	2,26	2,49	5,70	5,57	7,32	7,56
23.10.90	2,83	2,96	5,05	4,97	7,44	7,58
24.10.90	3,03	3,19	5,13	5,08	7,81	7,96
25.10.90	3,37	3,50	4,85	4,86	7,81	7,93
26.10.90	4,30	4,18	3,62	3,65	7,81	7,79
SUM	15,8	16,3	24,3	24,1	38,2	38,8

Tabel 4. Målte og beregnede energimængder med lagermodellen for perioden 22.10.90 - 26.10.90.

3.3 Solfanger

Der blev med den matematiske model foretaget beregninger på basis af den målte volumenstrøm i solfangerkredsen, den målte fremløbstemperatur til solfangeren T_{10} , udelufttemperaturen, den diffuse samt den totale bestrålingsstyrke på solfangerplanen. Returtemperaturen for solfangeren og den af solfangeren producerede varmemængde blev beregnet for perioder med solfangerdrift i begge afprøvningsperioder.

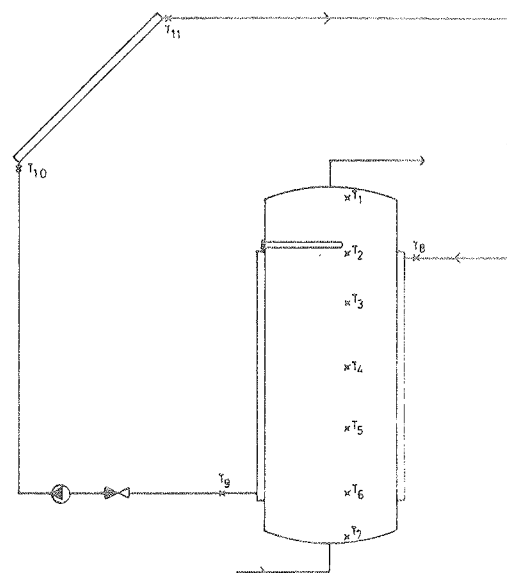
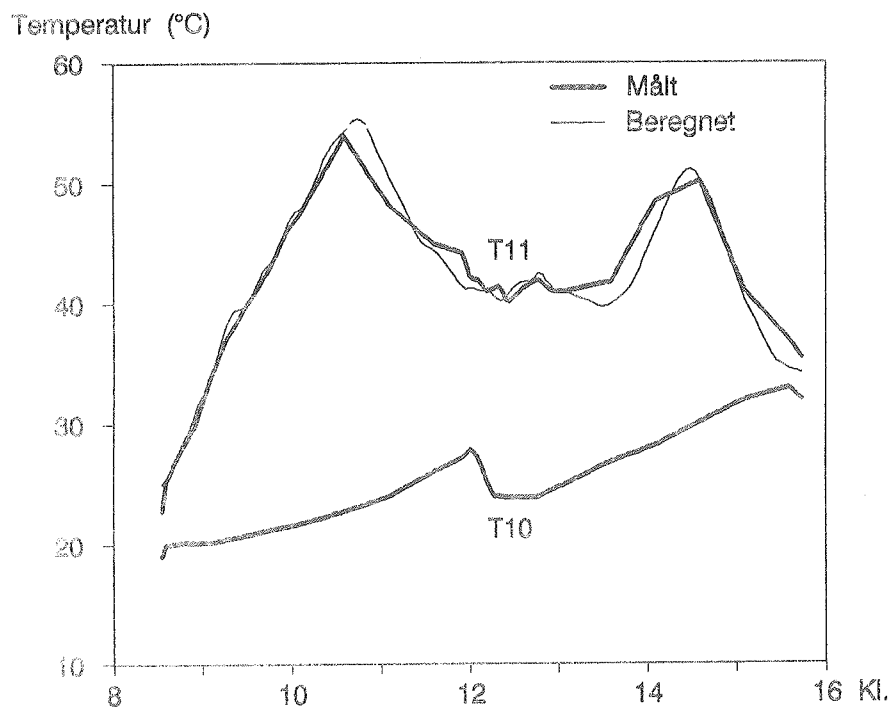
I begge afprøvningsperioder er der rimelig god overensstemmelse mellem målte og beregnede temperaturer. Dette fremgår af figur 10 og 11, som foruden fremløbstemperaturen for solfangeren viser målte og beregnede returtemperaturer fra solfangeren for henholdsvis den 13. september 1990 og den 24. oktober 1990. Om morgenerne i perioden fra den 22.10.1990 til 26.10.1990 er den beregnede returtemperatur dog noget højere end den målte. Det skyldes, at den udvendige side af solfangerens dæklag efter de kolde klare nætter er dækket af en vandfilm. Denne film skal fordampe før solens stråler uhindret kan nå solfangerens overflade. Solfangerens effektivitet er derfor reduceret mærkbart om morgenen.

Først efter ca. 1 times solfangerdrift er overfladen atter tør. Der er ikke gjort forsøg på beregningsmæssigt at korrigere for dette forhold. Derfor er den beregnede solfangerydelse for denne periode større end den målte, mens der i perioden 12.9.1990 til 15.9.1990, hvor fænomenet ikke optræder, er god overensstemmelse mellem målte og beregnede solfangerydelser. Dette fremgår af tabel 5 og 6, som angiver målte og beregnede solfangerydelser for de to perioder.

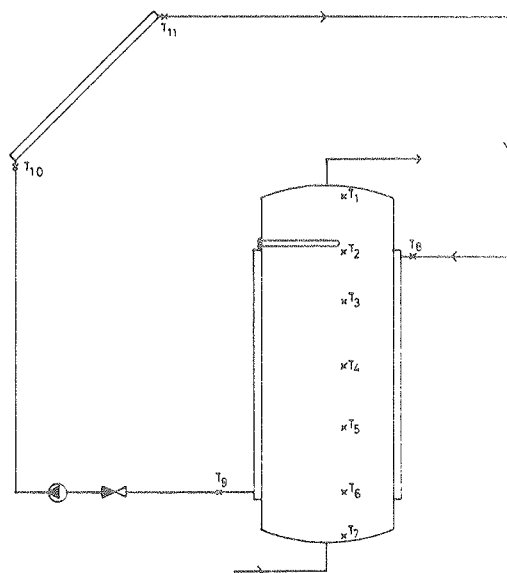
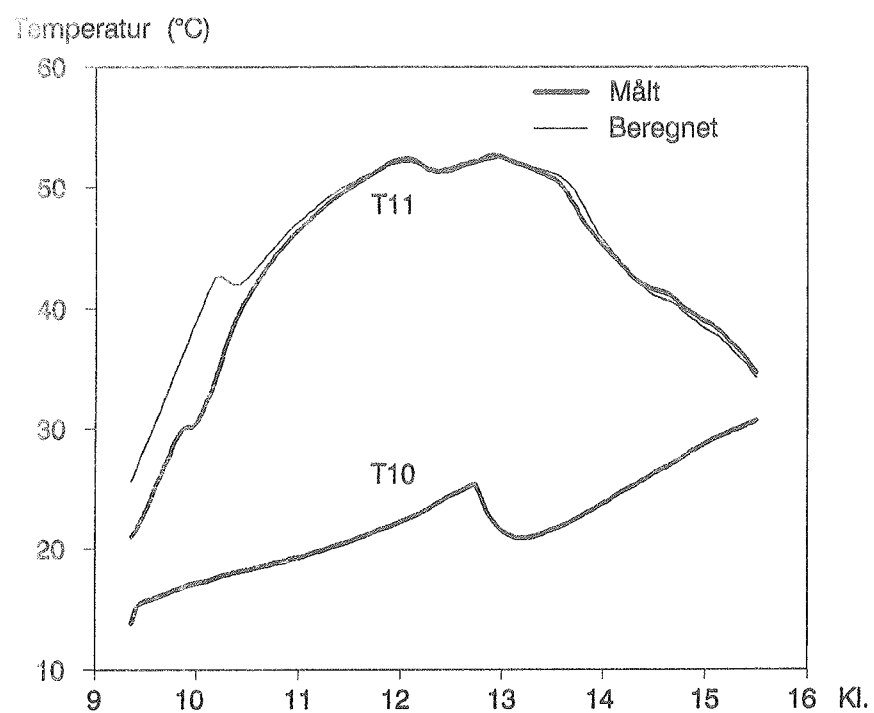
På basis af undersøgelserne må det konkluderes, at solfangermodellen er rimelig god for den benyttede solfanger. Det vil dog være ønskeligt at validere modellen med målinger fra flere perioder uden det omtalte kondensproblem. Desuden bør det her nævnes, at den benyttede solfanger har en usædvanlig stor varmekapacitet og at solfangeren også med hensyn til absorberudformningen adskiller sig markant fra de øvrige markedsførte solfangere.

Endelig skal det bemærkes, at den i modellen benyttede solfangereffektivitet er bestemt på basis af en solfangerprøvning med en vindhastighed på ca. 5 m/s. Vindhastigheden er i størstedelen af forsøgsperioderne betydelig mindre end 5 m/s. Det måtte derfor forventes, at solfangereffektiviteten i virkeligheden er lidt større end den i modellen benyttede solfangereffektivitet. Dette synes dog ikke at være tilfældet.

På basis af undersøgelserne må det anbefales at iværksætte både teoretisk og eksperimentelt arbejde med forskellige solfangertyper for at klarlægge, hvorledes de termiske forhold for solfangere med små volumenstrømme bedst simuleres.



Figur 10. Målte og beregnede fremløbs- og returtemperaturer for solfangeren den 13. september 1990.



Figur 11. Målte og beregnede fremløbs- og returtemperaturer for solfangeren den 24. oktober 1990.

Dag	Solfangerydelse kWh	
	målt	beregnet
12.9.1990	4,17	4,10
13.9.1990	5,29	5,13
14.9.1990	3,34	3,50
15.9.1990	7,70	7,70
SUM	20,5	20,4

Tabel 5. Målte og beregnede solfangerydelser med solfangermodellen for perioden 12.9.1990 - 15.9.1990.

Dag	Solfangerydelse kWh	
	målt	beregnet
22.10.1990	6,26	6,47
23.10.1990	5,55	5,81
24.10.1990	5,57	5,75
25.10.1990	5,22	5,37
26.10.1990	3,90	3,98
SUM	26,5	27,4

Tabel 6. Målte og beregnede solfangerydelser med solfangermodellen for perioden 22.10.1990 - 26.10.1990.

3.4 Komplet anlæg

Der blev med den matematiske model foretaget beregninger på basis af anlægsudformningen, den målte udelufttemperatur, den målte diffuse og totale bestrålingsstyrke på solfangerplanen, den målte tappede vandmængde fra varmelageret, den målte koldt vandstemperatur og lageromgivelsestemperaturen. Lagertemperaturer, solfangerkredsens temperaturer, cirkulationspumpens driftstid samt følgende energimængder blev beregnet for begge afprøvningsperioder: Tappet energi fra lager, energi tilført elpatronen og varme tilført lageret fra solfangervæskan.

For begge måleperioder er der rimelig god overensstemmelse mellem målte og beregnede anlægstemperaturer. Dette fremgår af figur 12 og 13, som viser målte og beregnede anlægstemperaturer for henholdsvis den 13.9.1990 og den 24.10.1990.

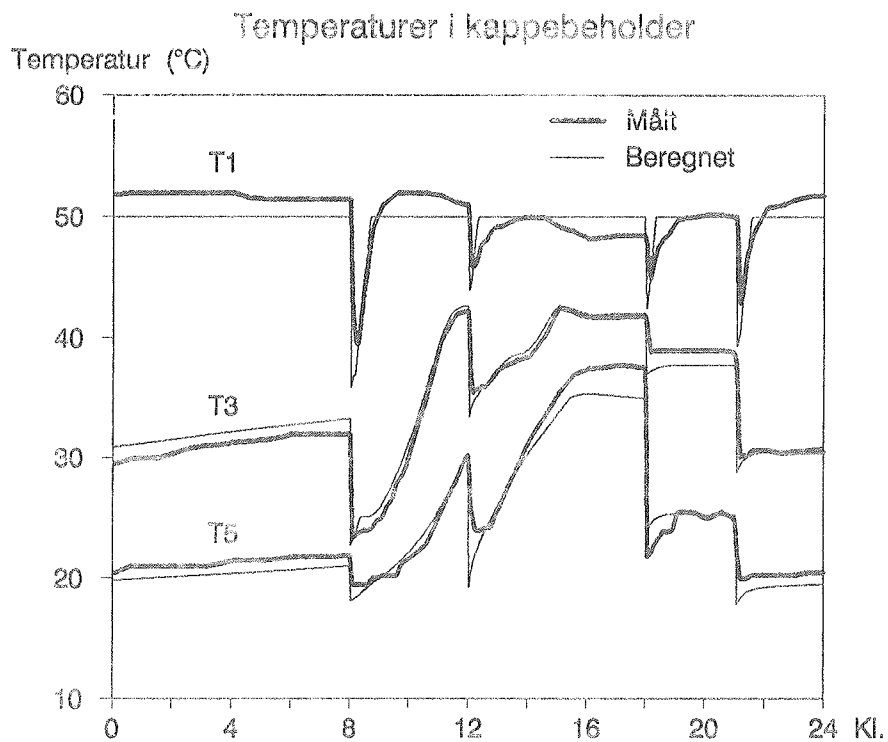
Det bemærkes dog, at det ikke har været muligt beregningsmæssigt at efterligne de lidt varierende temperaturer, som optræder i toppen af tanken. Som nævnt i afsnit 3.2 skyldes det, at elpatronens termostat er indbygget i elpatronen på en sådan måde, at den registrerer en temperatur, som ikke er identisk med temperaturen i toppen af tanken. Endvidere bemærkes det, at de beregnede returtemperaturer fra solfangeren om morgenen den 24. oktober er højere end de målte og det beregnes, at solfangerdriften denne dag starter tidligere end den gør. Begge dele skyldes det i afsnit 3.3 omtalte kondensproblem.

De målte og beregnede energimængder og driftstider for cirkulationspumpen er anført i tabel 7 og 8 for de to perioder. Desuden er nettoydelsen for perioderne angivet. Den af Prøvestationen for Solenergi benyttede definition af nettoydelsen er anvendt:

Nettoydelse = Tappet energi - Energi til elpatron - Energi til cirkulationspumpe.

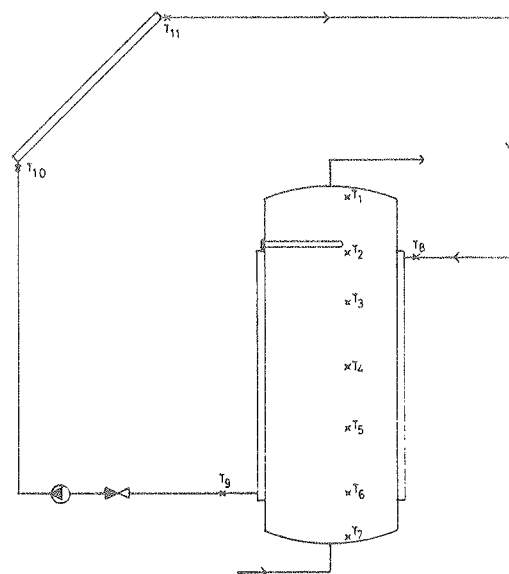
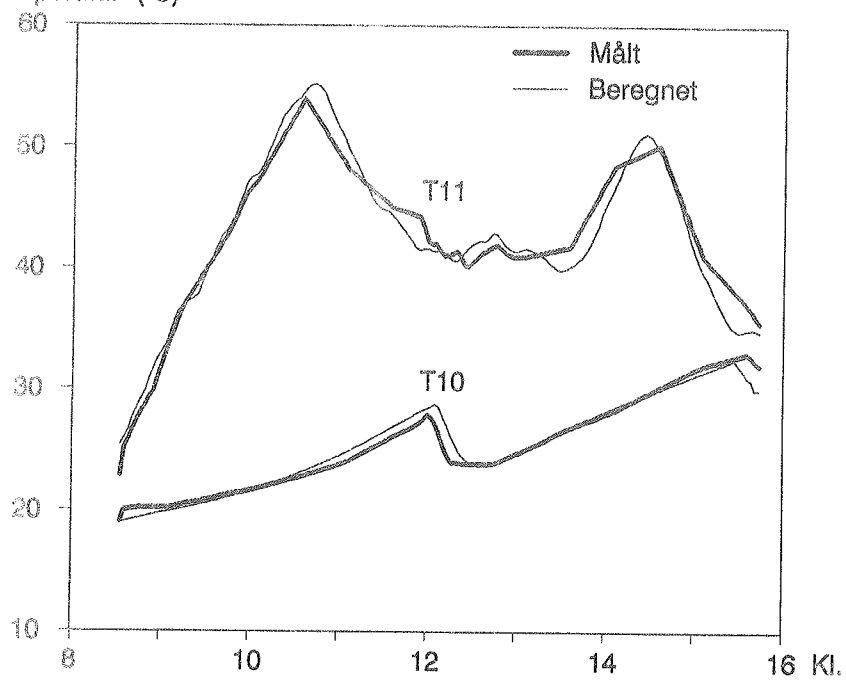
Der er rimelig god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser for begge perioder. Enkelte dage er der dog forholdsvis store uoverensstemmelser. Det vurderes, at disse uoverensstemmelser først og fremmest er forårsaget af vanskelighederne med at beregne temperaturen i toppen af lagertanken korrekt. For perioden 22.10.1990 - 26.10.1990 spiller det omtalte kondensproblem også ind.

På basis af undersøgelserne vurderes det, at den benyttede matematiske model med god nøjagtighed kan beregne solvarmeanlæggets ydelse.

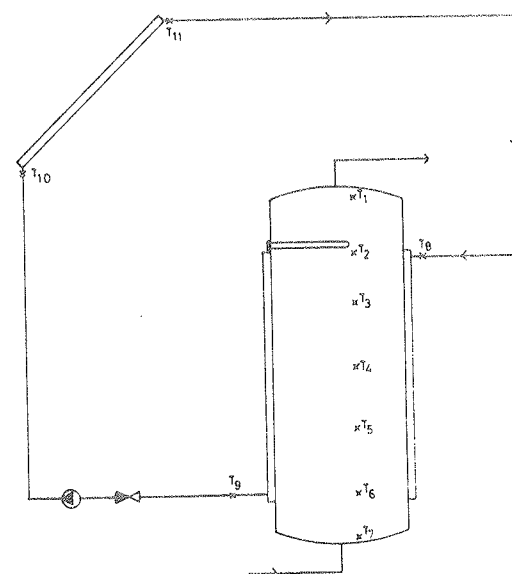
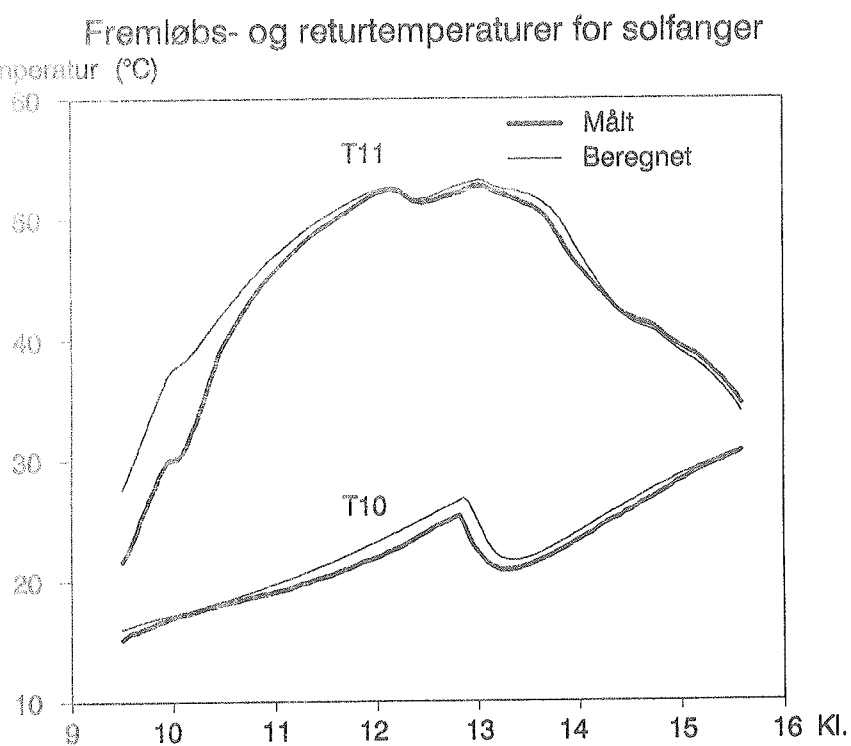
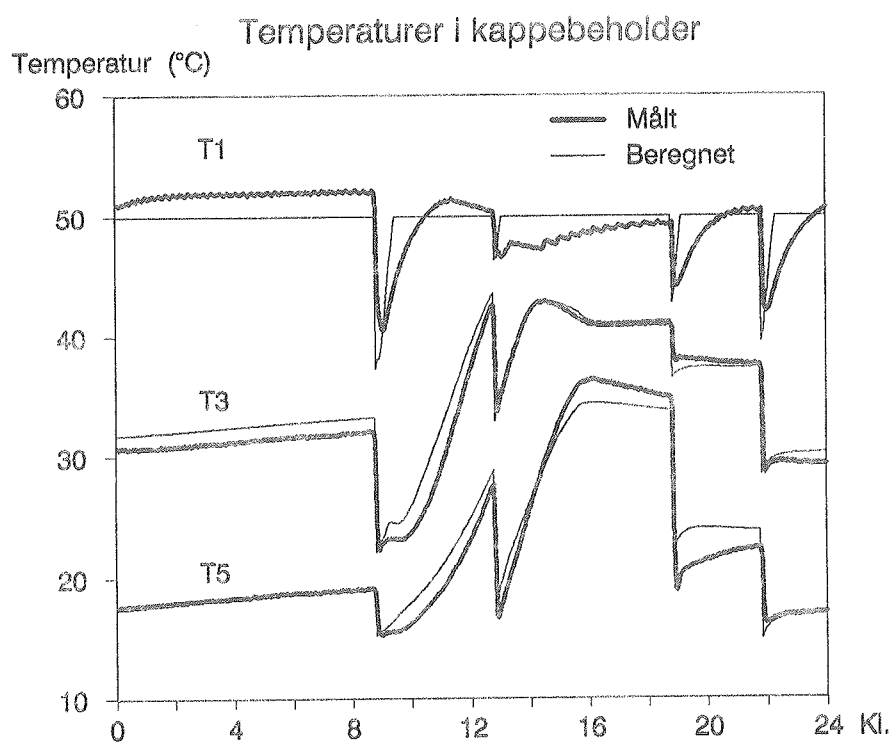


Fremløbs- og returtemperaturer for solfanger

Temperatur (°C)



Figur 12. Målte og beregnede anlægstemperaturer den 13. september 1990.



Figur 13. Målte og beregnede anlægstemperaturer den 24. oktober 1990.

Dag	Energi til elpatron kWh		Solvarme tilført lager kWh		Tappet energi kWh		Driftstid h	
	målt	beregnet	målt	beregnet	målt	beregnet	målt	beregnet
12.9.1990	2,53	2,54	3,94	3,62	7,32	7,70	7,42	7,09
13.9.1990	2,88	3,17	4,94	4,85	7,31	7,63	7,25	7,23
14.9.1990	4,74	4,06	3,24	3,37	7,32	7,23	7,25	7,00
15.9.1990	1,76	1,97	7,19	7,18	7,32	7,48	8,33	8,22
SUM	11,9	11,8	19,3	19,0	29,3	30,0	30,2	29,6
								Nettoydelse kWh
								målt beregnet
								16,3 17,3

Tabel 7. Målte og beregnede størrelser for perioden 12.9.1990 - 15.9.1990.

Dag	Energi til elpatron kWh		Solvarme tilført lager kWh		Tappet energi kWh		Driftstid h	
	målt	beregnet	målt	beregnet	målt	beregnet	målt	beregnet
22.10.1990	2,26	2,32	5,70	5,81	7,32	7,60	6,42	6,59
23.10.1990	2,83	2,79	5,05	5,22	7,44	7,61	6,50	6,59
24.10.1990	3,03	3,05	5,13	5,25	7,81	7,99	6,23	6,54
25.10.1990	3,37	3,38	4,85	4,97	7,81	7,96	6,47	6,59
26.10.1990	4,30	4,13	3,62	3,73	7,81	7,79	5,80	6,18
SUM	15,8	15,7	24,3	25,0	38,2	38,9	31,4	32,5
Nettoydelse kWh								målt beregnet
								21,3 22,1

Tabel 8. Målte og beregnede størrelser for perioden 22.10.1990 - 26.10.1990.

3.5 Ydelsens afhængighed af variationer i bestrålingsstyrken

De i afsnit 3.1-3.4 omtalte beregninger er alle foretaget med tidsskridt på 2,7 min og med solfangeren opdelt i 17 lag med hver sin temperatur. Tidsskridtet for beregningerne er valgt til 2,7 min, idet de termiske forhold for kappebeholderen herved simuleres bedst muligt med den benyttede volumenstrøm igennem kappen. Beregningerne i afsnit 3.3 og 3.4 er gennemført på basis af målte 2 min gennemsnitsværdier for udelufttemperaturen, den diffuse og den totale bestrålingsstyrke på solfangerplanen.

I referenceåret angives vejrdata som bekendt som gennemsnitlige værdier for hver time igennem året. De store variationer i bestrålingsstyrken, som forårsages af skyer, tages derfor ikke i beregning, når anlægsydelse beregnes med referenceårets vejrdata.

For at undersøge om disse variationer påvirker den beregnede anlægsydelse er der gennemført forskellige beregninger baseret på de målte 2 min vejrdata. De målte vejrdata er midlet over perioder af forskellig varighed: 10 min, 20 min, 30 min og 60 min.

For begge forsøgsperioder er anlægsydelse altså beregnet med 5 forskellige tidsskridt for vejrdataene. Desuden er beregningerne gennemført både med solfangermodellen opdelt i 1 og 17 lag.

Beregningsresultaterne fremgår af tabel 9 og 10 for de to afprøvningsperioder og af figur 14, som viser den beregnede ekstra nettoydelse for anlægget som funktion af det benyttede tidsskridt for vejrdataene og af antallet af lag i solfangermodellen. Den beregnede nettoydelse med 1 lag i solfangermodellen og et tidsskridt for vejrdataene på 60 min er sat til 100 %, idet årsydelsen normalt beregnes med disse forudsætninger på basis af referenceårets vejrdata.

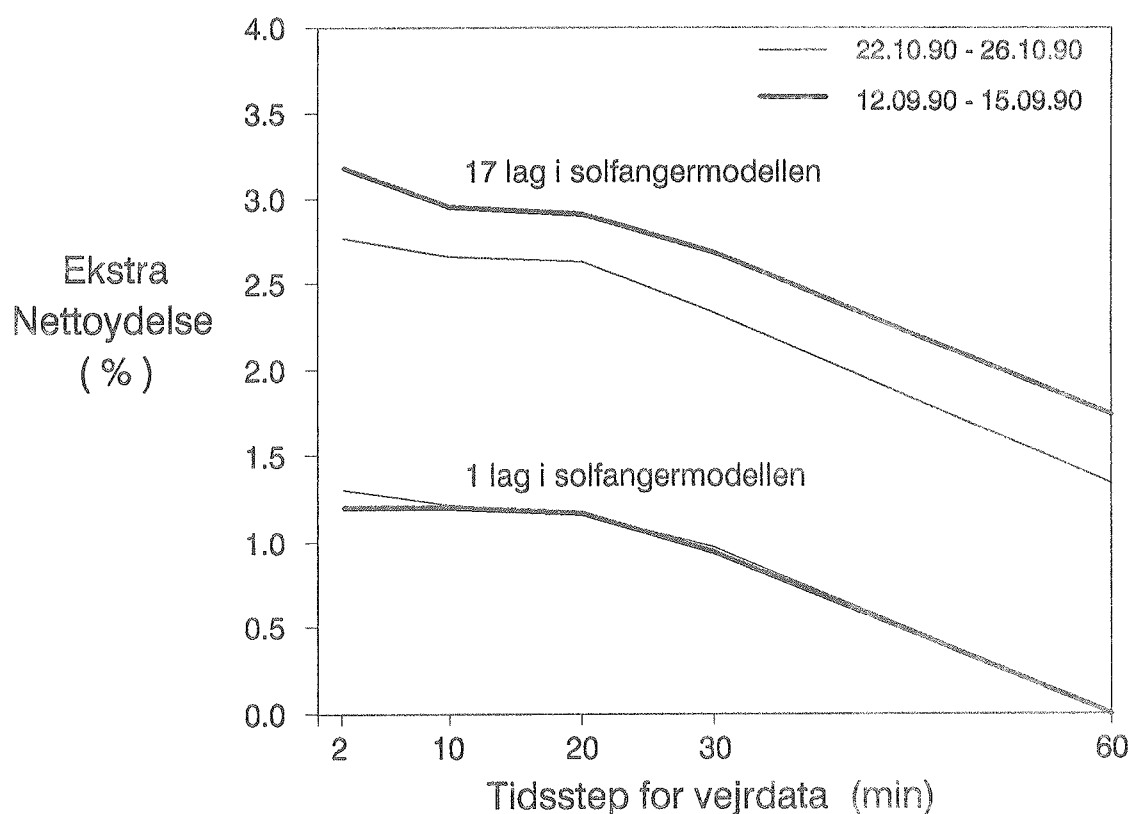
For de to afprøvningsperioder beregnes nettoydelsen altså ca. 3 % for lille når der benyttes 1h værdier for vejrdataene og en model, som ikke tager temperaturlagdelingen i solfangeren i beregning. Den ene halvdel af denne reduktion af anlægsydelsen er forårsaget af den grove solfangermodel og den anden halvdel er forårsaget af tidsskridtets størrelse. Solvarmeanlæggets beregnede dækningsgrad, defineret som (tappet energi - energi til elpatronen)/tappet energi, er for de to perioder henholdsvis 60,9 % og 59,8 %.

Antal lag i solfangermodel	Tidsskridt for vejrdata min	Energi til elpatron kWh	Solvarme tilført lager kWh	Tappet energi kWh	Driftstid h	Nettoydelse kWh
1	2	11,9	18,8	29,9	31,3	16,9
	10	11,9	18,8	29,9	31,3	16,9
	20	11,9	18,8	29,9	31,1	16,9
	30	11,9	18,7	29,9	31,4	16,9
	60	12,1	18,6	29,9	31,3	16,7
17	2	11,8	19,0	30,0	29,6	17,3
	10	11,8	19,0	30,0	29,8	17,2
	20	11,8	19,0	30,0	29,7	17,2
	30	11,8	18,9	30,0	30,2	17,2
	60	11,9	18,7	30,0	29,3	17,0

Tabel 9. Beregnede størrelser for perioden 12.9.1990 - 15.9.1990 med forskellige lag i solfangermodellen og forskellige tidsskridt for vejrdata.
De i afsnit 3.4 beregnede størrelser er fremhævet.

Antal lag i solfangermodel	Tidsskridt for vejrdata min	Energi til elpatron kWh	Solvarme tilført lager kWh	Tappet energi kWh	Driftstid h	Nettoydelse kWh
1	2	15,9	24,7	38,9	33,8	21,8
	10	15,9	24,7	38,9	33,7	21,8
	20	15,9	24,7	38,9	33,8	21,8
	30	15,9	24,7	38,9	33,8	21,7
	60	16,1	24,4	38,8	33,8	21,5
17	2	15,7	25,0	38,9	32,5	22,1
	10	15,7	25,0	38,9	32,6	22,1
	20	15,7	24,9	38,9	32,5	22,1
	30	15,7	24,9	38,9	32,6	22,0
	60	15,9	24,7	38,9	32,7	21,8

Tabel 10. Beregnede størrelser for perioden 22.10.1990 - 26.10.1990 med forskellige lag i solfangermodellen og forskellige tidskridt for vejrdato.
De i afsnit 3.4 beregnede størrelser er fremhævet.



Figur 14. Beregnet ekstra nettoydelse for anlægget i afprøvningsperioderne som funktion af det benyttede tidsskridt for vejrdato og antallet af lag i solfangermodellen. Nettoydelsen for anlægget med 1 lag i solfangermodellen og et tidsskridt for vejrdato på 60 min er sat til 100 %.

For at undersøge om indflydelsen af tidsskridtet for vejrdatoene på den beregnede anlægsydelse afhænger af vejrtypen, af forholdet mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal og af dækningsgraden blev der foretaget beregninger med vejrdato målt på laboratoriets solmålestation for seks forskellige uger. De seks udvalgte uger fremgår af tabel 11.

Periode	Totalt solindfald på sydvendt 45° hældende flade kWh/m ²	Diffust solindfald på sydvendt 45° hældende flade kWh/m ²
01.06.90 - 07.06.90	36,3	18,3
01.07.90 - 07.07.90	26,4	13,4
25.07.90 - 31.07.90	44,0	12,8
11.12.90 - 17.12.90	6,6	1,4
01.02.91 - 07.02.91	15,1	3,4
20.04.91 - 26.04.91	19,9	9,2

Tabel 11. Målte vejrdato for de seks udvalgte uger.

For de seks udvalgte perioder er der gennemført beregninger af ydelsen af et solvarmeanlæg. Anlægget adskiller sig fra det afprøvede anlæg på to punkter: Der er benyttet en mindre cirkulationspumpe med et effektforbrug på 30 W, mod tidligere 35 W, og solfangerarealet er reduceret fra 4,04 m² til 3,84 m². I beregningerne, som er gennemført med fem forskellige solfangere med tidsskridt for vejrdato på 2 min og 60 min og med 1 og 16 lag i solfangermodellen, er forudsat et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l. Solfangerne, som tages i beregning, har forskellige effektiviteter og varmekapaciteter.

Beregningsresultaterne er sammenfattet i figur 15, som for de forskellige perioder og solfangere som funktion af dækningsgraden viser den beregnede ekstraydelse, som opnås ved: at benytte en detaljeret solfangermodel i stedet for en grov solfangermodel (øverst), at reducere tidsskridtet for vejrdato fra 1h til 2 min (i midten), og både at reducere tidsskridtet for vejrdato fra 1h til 2 min og benytte en detaljeret solfangermodel (nederst).

Det ses, at den beregnede nettoydelse for solvarmeanlægget ikke forøges særligt meget når der anvendes en detaljeret matematisk solfangermodel opdelt i mange lag med hver sin temperatur i stedet for at benytte en simplere model, som ikke er lagdelt. For små dækningsgrader og termisk tunge solfangere bliver forøgelsen dog mærkbar.

Endvidere ses, at forøgelsen af den beregnede anlægsydelse ved at reducere tidsskridtet for vejrdatoene fra 1h til 2 min afhænger kraftigt af solvarmeanlæggets dækningsgrad. Jo mindre dækningsgraden er des større er forøgelsen. For store dækningsgrader er forøgelsen lille, og forøgelsen vokser kraftigt når dækningsgraden bliver lille.

Dækningsgraden er altså afgørende for betydningen af tidsskridtet for vejrdatoene, og der er intet som tyder på at ovennævnte forhold påvirkes nævneværdigt af vejrtypen eller af solfangerens effektivitet eller varmekapacitet.

Nederst på figur 15 ses, hvorledes den beregnede anlægsydelse forøges når der både benyttes en detaljeret solfangermodel og små tidsskridt for vejrdatoene. For små dækningsgrader forøges den beregnede anlægsydelse altså betydeligt når der benyttes en detaljeret beregningsmodel med detaljerede vejrdato. Dette er sandsynligvis hovedårsagen til de store forskelle som i [4] navnlig for små dækningsgrader er konstateret mellem målte og beregnede merydelser for low flow anlæg i forhold til almindelige anlæg.

Beregninger med 1h vejrdato undervurderer altså anlægsydelsen. Årsagen er, at den gunstige temperaturlagdeling, som etableres i varmelageret under solfangernes drift, undervurderes. På grund af skyer varierer returtemperaturen fra solfangeren nemlig ofte stærkt og disse variationer resulterer i en forøget temperaturlagdeling i varmelageret. Disse variationer tages ikke i beregning, når der benyttes for store tidsskridt for vejrdatoene.

For tre perioder: 25.7.90 - 31.7.90, 11.12.90 - 17.12.90 og 1.2.91 - 7.2.91 blev beregningerne desuden foretaget med daglige varmtvandsforbrug på 50 l, 100 l, 300 l og 400 l for at undersøge, hvorledes varmtvandsforbruget påvirker forholdene.

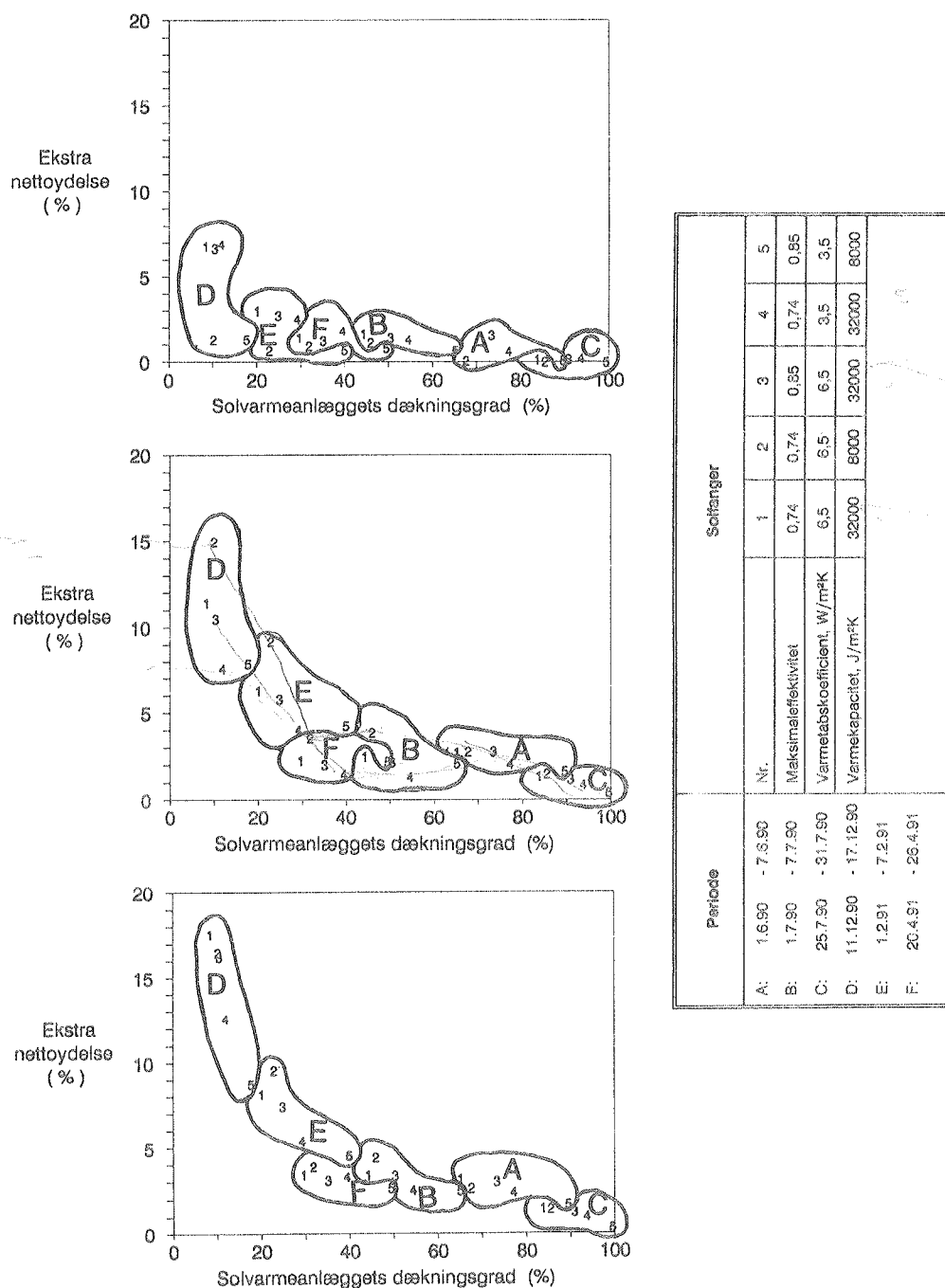
Beregningsresultaterne er vist på figur 16. Figuren viser den beregnede ekstra ydelse, som opnås ved at reducere tidsskridtet fra 1h til 2 min og ved at benytte en detaljeret solfangermodel i stedet for en simpel solfangermodel, som funktion af varmtvandsforbruget og dækningsgraden. Resultaterne er angivet for forskellige solfangere.

Også her er langt størstedelen af den beregnede ekstra ydelse forårsaget af reduktionen af tidsskridtet for vejrdatoene. Det ses, at både varmtvandsforbrugets størrelse og dækningsgraden

er afgørende for betydningen af tidsskridtet for vejrdataene, mens vejr- og solfangertype ikke påvirker forholdene nævneværdigt. Forøgelsen af den beregnede anlægsydelse ved at reducere tidsskridtet for vejrdataene fra 1h til 2 min afhænger altså kraftigt af solvarmeanlæggets dækningsgrad og af varmtvandsforbrugets størrelse. Jo mindre dækningsgraden og varmtvandsforbruget er des større er den procentvise forøgelse.

Beregningsresultaterne er sammenfattet i figur 17. Figuren viser tilnærmede kurver gældende for forskellige dækningsgrader for den beregnede ekstra nettoydelse, som opnås ved både at reducere tidsskridtet for vejrdataene fra 1h til 2 min og ved at anvende en detaljeret matematisk solfangermodel i stedet for en simpel solfangermodel. Den beregnede ekstra ydelses afhængighed af forholdet mellem varmtvandsforbruget og solfangerarealet er angivet.

Kurverne kan benyttes for perioder af vilkårlig varighed, f.eks. perioder af 1 uges, 1 måneds eller 1 års varighed.



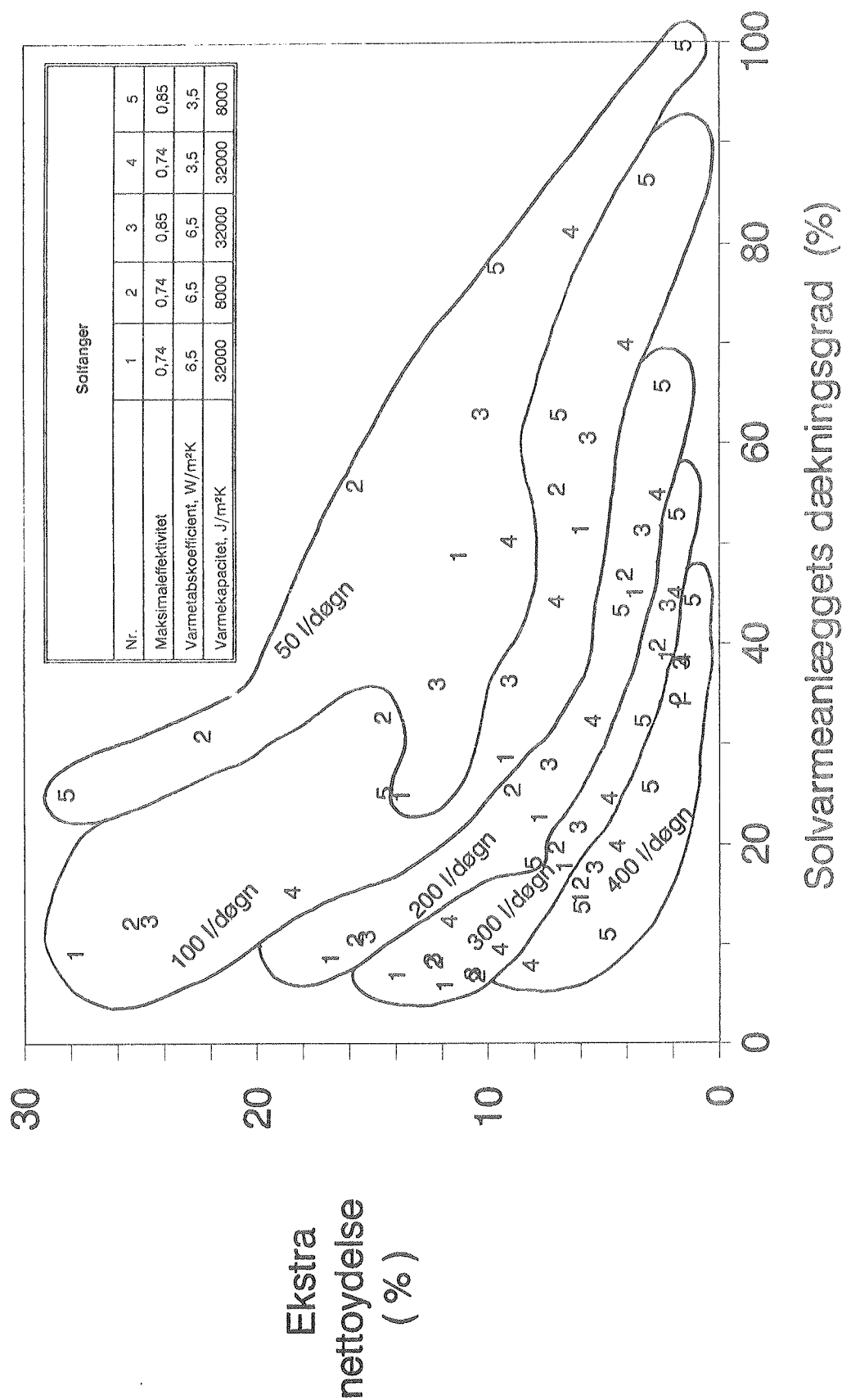
Figur 15. Beregnede ekstra nettoydelse for et 3,84 m² solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l som funktion af dækningsgraden for forskellige solfangere og perioder opnået ved:

øverst: at anvende en detaljeret solfangermodel i stedet for en simpel solfangermodel.

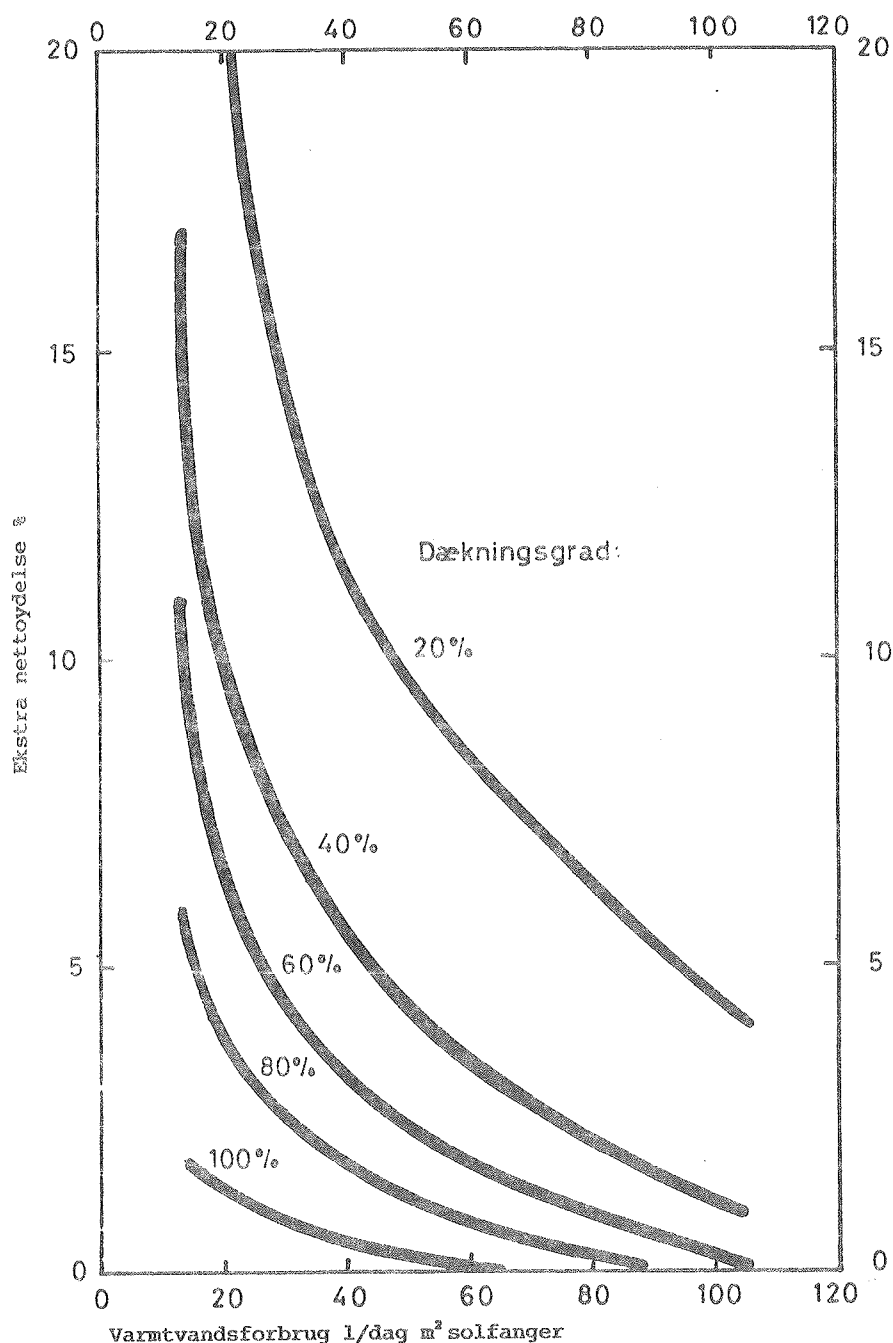
i midten: at reducere tidsskridtet for vejrdato fra 1 h til 2 min.

nederst: både at anvende en detaljeret solfangermodel i stedet for en simpel solfangermodel og at reducere tidsskridtet for vejrdato fra 1 h til 2 min.

Dækningsgraden er beregnet på basis af ydelserne beregnet med 1 lag i solfangermodellen og et tidsskridt for vejrdato på 1 h.



Figur 16. Beregnede ekstra nettoyielder for et 3,84 m² solvarmeanlæg som funktion af dækningsgraden og varmtvandsforbruget for forskellige solfangere og perioder opnået ved at reducere tidskridtet for vejrdata fra 1 h til 2 min og ved at anvende en detaljeret solfangermodel i stedet for en simpel solfangermodel.
Dækningsgraden er beregnet på basis af ydelserne beregnet med 1 lag i solfangermodellen og et tidskridt for vejrdata på 1 h.



Figur 17. Beregnet ekstra nettoydelse for et low flow solvarmeanlæg som funktion af forholdet mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal og anlæggets dækningsgrad opnået ved at reducere tidsskridtet for vejrdato fra 1h til 2 min og ved at anvende en detaljeret solfangermodel i stedet for en simpel solfangermodel. Dækningsgraden er beregnet på basis af ydelserne beregnet med 1 lag i solfangermodellen og et tidsskridt for vejrdato på 1 h.

Eksempelvis kan figur 17 benyttes til at bestemme anlægsydelsen af et low flow anlæg på følgende måde. Anlæggets årlige dækningsgrad og ydelse beregnes med den i de foregående afsnit validerede matematiske model med referenceårets vejrdato.

Den herved beregnede anlægsydelse er for lille, idet der ikke benyttes tilstrækkeligt små tidsskridt for vejrdatoene. Med den beregnede dækningsgrad og forholdet mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal aflæses af figur 17, hvor mange procent anlægsydelsen forøges på grund af de benyttede "grove" vejrdato.

Figuren kan benyttes indtil der er udviklet et nyt referenceår med mindre tidsskridt for vejrdatoene. Dette nye referenceår er påkrævet hvis det skal være muligt direkte at beregne anlægsydelsen for low flow solvarmeanlæg med små dækningsgrader og/eller små forhold mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal.

4. Ydelsen af low flow solvarmeanlæg og af traditionelle solvarmeanlæg

I [1], [2] og [3] er der gennemført målinger af ydelsen af et low flow solvarmeanlæg og af et traditionelt solvarmeanlæg under ensartede betingelser. Anlæggene havde hver et solfangerareal på ca. 4 m² og det daglige varmtvandsforbrug var i størstedelen af afprøvningsperioden 200 l.

Low flow anlægget med en kappebeholder som varmelager yder mere end det traditionelle anlæg, som har en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral som varmelager. Dette fremgår af figur 18, som viser måleresultater for anlæggene. Low flow anlæggets relative ydelse, defineret som forholdet mellem nettoydelsen for low flow anlægget og nettoydelsen for det traditionelle anlæg, er vist som funktion af dækningsgraden for det traditionelle anlæg.

Viser et målepunkt at den relative ydelse er 1,20, betyder det at ydelsen for low flow anlægget er 20 % større end ydelsen for det traditionelle anlæg i den pågældende periode, som er af 1 uges varighed. Det ses, at merydelsen for low flow anlæg afhænger stærkt af dækningsgraden. Jo mindre dækningsgraden er des større er den ydelsesmæssige fordel ved low flow anlæg.

Anlægsydelsen for det i afsnit 3.5 omtalte 3,84 m² low flow solvarmeanlæg er beregnet med målte vejrdata for de tre udvalgte uger: 1.6.1990 - 7.6.1990, 25.7.1990 - 31.7.1990 og 1.2.1991 - 7.2.1991. I beregningerne er benyttet en detaljeret solfangermodel og et tidsskridt for vejrdataene på 2 minutter. Der er gennemført beregninger med fem forskellige solfangere og med daglige varmtvandsforbrug på 100 l, 200 l, 300 l og 400 l.

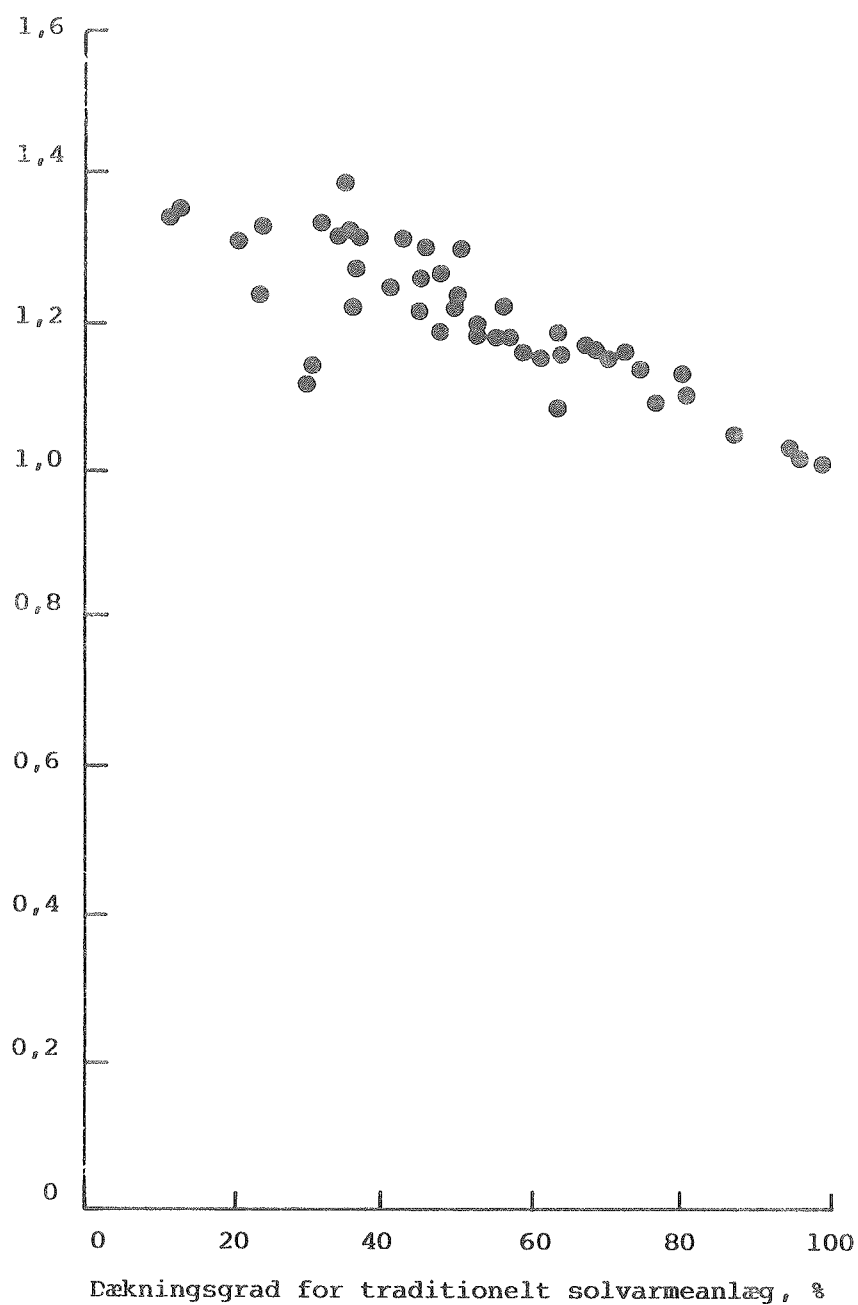
Med den samme model er ydelserne desuden beregnet for et traditionelt solvarmeanlæg baseret på en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral. I disse beregninger er en tilpasset version af den matematiske model anvendt. Kappen er flyttet ned til et niveau nederst i lageret hvor varmevekslerspiralen typisk er anbragt. Der er benyttet en varmeoverføringsevne mellem kappen og beholderen på 100 W/K svarende til en veldimensioneret varmevekslerspiral, der er benyttet en volumenstrøm på ca. 0,8 l/min m² solfanger i solfangerkredsen og differenstermostatens stopdifferens er reduceret til 1 K.

Ved hjælp af de beregnede ydelser for de to anlæg er det muligt at bestemme den beregnede relative ydelse for low flow anlægget. Resultaterne er sammenfattet i figur 19. Figuren viser tilnærmede kurver for den beregnede relative ydelse for low flow anlæg gældende for forskellige dækningsgrader for det traditionelle anlæg. Den relative ydelses afhængighed af forholdet mellem varmtvandsforbruget og solfangerarealet er angivet.

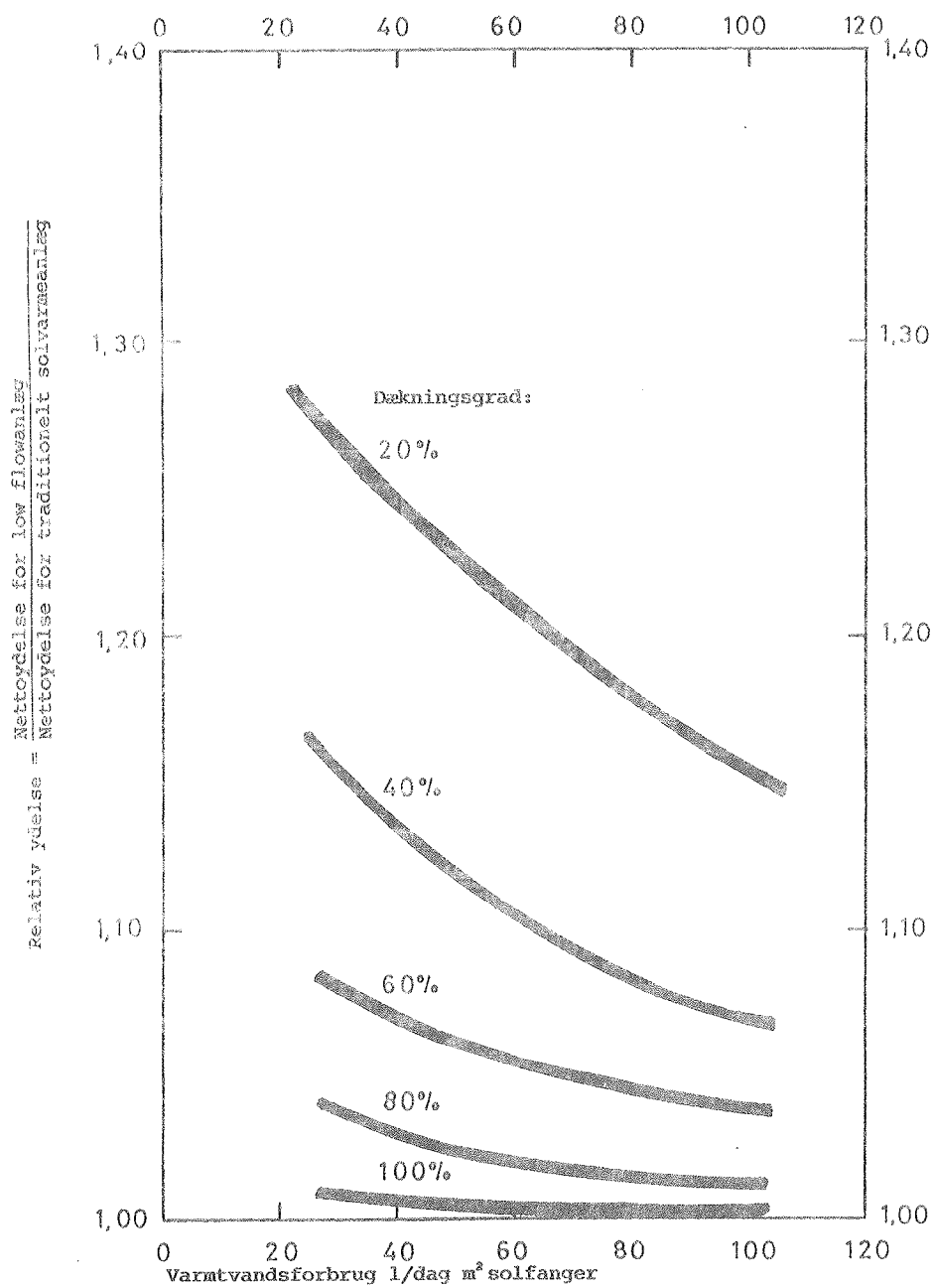
Det ses, at den ydelsesmæssige fordel ved low flow anlæg er størst når dækningsgraden er lille og/eller når varmtvandsforbruget pr. m² solfanger er lille.

I princippet bør kurverne kunne benyttes for perioder af vilkårlig varighed, fx perioder af 1 uge, 1 måneds eller 1 års varighed. Foreløbig må det imidlertid frarådes at benytte kurverne, idet der kan være forholdsvis store forskelle mellem de beregnede kurver og målte størrelser. Eksempelvis er i [3] målt en årlig merydelse på 17% for et low flow anlæg i forhold til et traditionelt solvarmeanlæg, som i måleåret havde en dækningsgrad på 41%. Af figur 19 ses, at den beregnede relative ydelse for dette low flow anlæg er ca. 1,11. Altså er den beregnede merydelse ca. 6% mindre end den målte merydelse. Sammenholdes figur 18 og 19, ses det at de målte merydelser for low flow anlæg kan være op til 14% større end de beregnede merydelser.

$$\text{Relativ ydelse} = \frac{\text{Nettoydelse for low flow anlæg}}{\text{Nettoydelse for traditionelt solvarmeanlæg}}$$



Figur 18. Målt relativ ydelse for low flow anlægget som funktion af dækningsgraden for det traditionelle solvarmeanlæg.



Figur 19. Beregnet relativ ydelse for low flow solvarmeanlæg som funktion af forholdet mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal og af dækningsgraden for det traditionelle anlæg.

Hovedårsagen til forskellen mellem beregnede og målte merydelser er sandsynligvis at ydelsen af det traditionelle solvarmeanlæg beregnes for stor. Den matematiske model for det traditionelle anlæg tager nemlig ikke hensyn til den opblanding, som forekommer i toppen af lagertanken mellem varmt vand opvarmet af elpatronen og koldere vand, som sættes i bevægelse når det ved hjælp af varmevekslerspiralen opvarmes af solfangerne. Denne opblanding reducerer ydelsen for det traditionelle anlæg. Det er vanskeligt at vurdere hvor stor denne reduktion er. Skal kurverne derfor kunne benyttes til at bestemme merydelsen for low flow anlæg i forhold til traditionelle solvarmeanlæg, og skal man i øvrigt beregningsmæssigt kunne bestemme ydelsen af traditionelle anlæg, er der behov for at forbedre den matematiske model for det traditionelle anlæg således at opblandingen mellem varmt og koldere vand i toppen af lagertanken simuleres. Det kan derfor anbefales at der iværksættes undersøgelser på dette område.

I øvrigt kan en anden årsag til forskellen mellem målte og beregnede merydelser måske være, at solfangereffektiviteten for små volumenstrømme under dynamiske forhold er større end solfangereffektiviteten under stabile forhold. Det må anbefales også at iværksætte undersøgelser på dette område.

5. Anlægsudformningens betydning for ydelsen

Følgende fremgangsmåde til bestemmelse af den årlige anlægsydelse er benyttet: Først beregnes den årlige ydelse for low flow anlægget med den i afsnit 3 validerede matematiske model med referenceårets vejrdato. Herefter benyttes figur 17 som beskrevet i afsnit 3.5 til at bestemme hvor meget den beregnede ydelse skal forøges for at korrigere for referenceårets "grove" vejrdato.

Som udgangspunkt for beregningerne benyttes et low flow solvarmeanlæg, som markedsføres af Aidt Miljø ApS. Anlæggets data fremgår af tabel 12, og det benyttede varmtvandsforbrug fremgår af tabel 13.

Varmelageret adskiller sig lidt fra det i [6] afprøvede lager. Kappediameteren er lidt større end angivet i [6]. Isoleringstykkelsen for kappens sider er lidt mindre, og lagerets varmetabskoefficient lidt større end angivet i [6]. Varmelageret er forsynet med en varmevekslerspiral, som er placeret i toppen af varmtvandbeholderen. Ved hjælp af varmevekslerspiralen kan brugsvandet opvarmes om vinteren, således at varmelageret altid kan levere tilstrækkeligt varmt vand. Det forudsættes i beregningerne at opvarmningen af lagerets top ved hjælp af varmevekslerspiralen om vinteren foregår på samme måde som opvarmningen med elpatronen om sommeren.

Ydelsen af det i tabel 12 angivne referenceanlæg bestemmes. Desuden undersøges enkelte parametres indflydelse på solvarmeanlæggets ydelse. Anlægsydelsen med forskellige størrelser af den enkelte parameter bestemmes. Bortset fra variationer af størrelsen af den enkelte parameter benyttes i øvrigt referenceanlæggets data fra tabel 12 i beregningerne.

Beregningsresultaterne er i det følgende angivet som anlæggets årlige nettoydelse og som anlæggets tilskud, beregnet efter de nuværende tilskudsregler. Den årlige nettoydelse beregnes som anlæggets årlige bruttoydelse + årligt energiforbrug til pumpe + energiforbrug til elpatron om sommeren + energiforbrug til vintersupplering via varmevekslerspiralen.

Anlæggets tilskud beregnes af formelen:

$$(\text{årlige nettoydelse} + 300) \cdot 5 \text{ kr.}$$

SOLFANGER	
Fabrikat	Aidt Miljø ApS
Type	LF4
Solfangerareal	3,84 m ²
Solfangereffektivitet for små indfaldsvinkler	$\eta = 0,74 - 6,5 \cdot \frac{T_{ms} - T_{uds}}{I}$
Varmekapacitet for solfangeren	32000 J/m ² K
Solfangerhældning	45°
Solfangerorientering	sydvendt
Solfangervæske	30% propylenglykol/vandblanding
Volumenstrøm i solfangerkreds	0,15 l/min m ² solfanger
KAPPEBEHOLDER	
Fabrikat	Aidt Miljø ApS
Type	Model 300
Varmtvandsbeholder	
Volumen	280 l
Diameter	500 mm
Højde	1432 mm
Godsmateriale	St 37-2
Godstykkelser	3 mm
Kappe	
Volumen	19 l
Diameter	535 mm
Højde	821 mm
Vandvolumen over kappen	100 l
Godsmateriale	St 37-2
Godstykkelser	3 mm
Elpatron	
Effekt	1100 W
Vandvolumen over elpatronen	90 l
Termostattemperatur	50°C

tabel 12 fortsættes

Isolering		
Isoleringsmateriale		PUR skum
Isoleringstykkelse	bund	ca. 20 mm
	sider	32-50 mm
	top	70-115 mm
Varmetabskoefficient ved 60°C under drift		2,4 W/K
Lageromgivelsestemperatur		20°C
SOLFANGERKREDS		
Rørmateriale		kobber
Ydre diameter		15 mm
Indre diameter		13 mm
Isoleringsmateriale		glasuld
Isoleringstykkelse		10 mm
Længde af fremløbsrør til lager udendørs		1,25 m
Længde af returrør fra lager udendørs		1,25 m
Længde af fremløbsrør til lager indendørs		3,75 m
Længde af returrør fra lager indendørs		3,75 m
Cirkulationspumpeeffekt		30 W
STYRESYSTEM		
Differenstermostatstyring med en føler i bunden af kappen og en i solfangeren		
Startdifferens		6 K
Stopdifferens		2 K

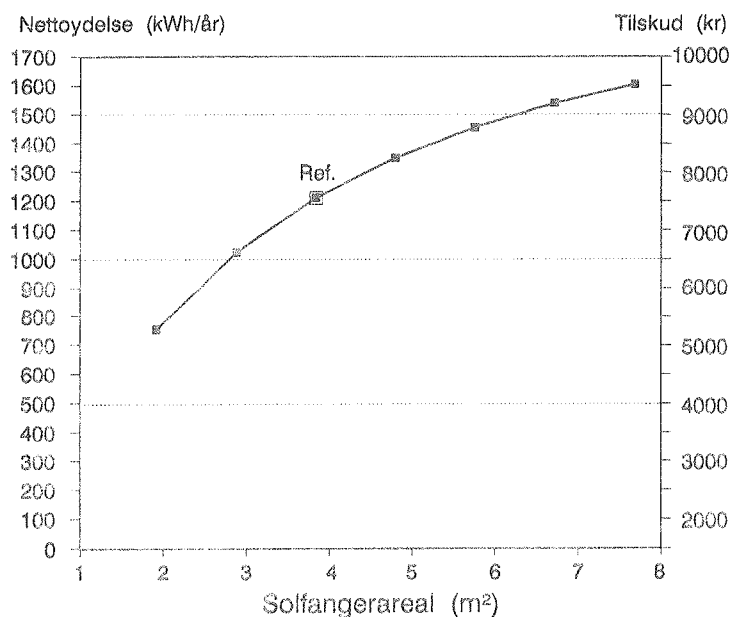
Tabel 12. Data for solvarmeanlægget, som tages i beregning.

Koldtvandstemperatur	10°C
Varmtvandstemperatur	45°C
Dagligt varmtvandsforbrug	200 l
Hver dag tappes 33,3 l	kl. 8, 12, 16, 18, 20 og kl. 22

Tabel 13. Varmtvandsforbruget.

5.1 Solfangerareal

Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud er vist på figur 20 for forskellige solfangerarealer. Naturligvis forøges ydelse og tilskud når solfangerarealet gøres større.



Figur 20. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af solfangerarealet.

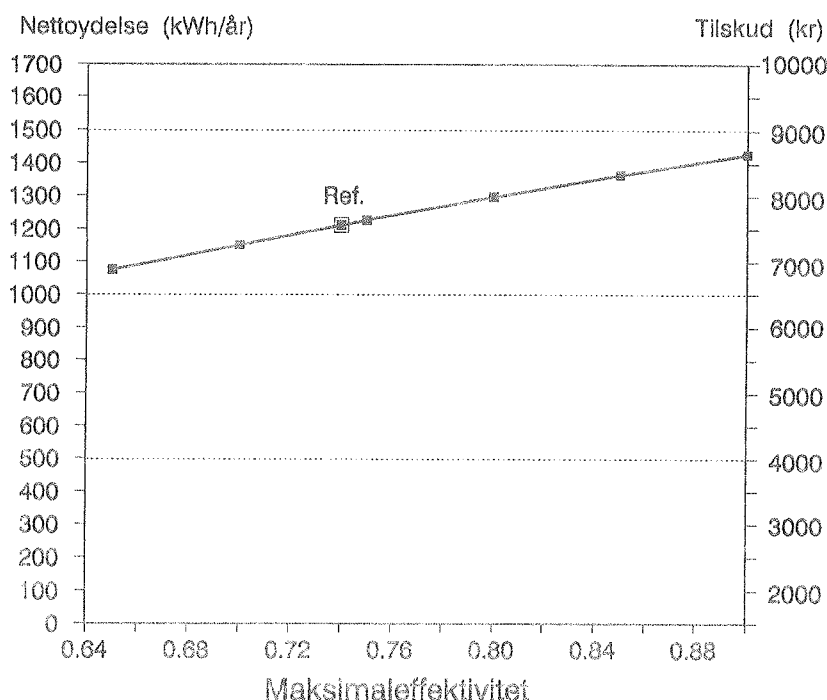
Referenceanlæggets ydelse og tilskud er beregnet til henholdsvis 1212 kWh/år og 7560 kr.

Disse beregnede størrelser er mindre end de af Prøvestationen for Solenergi bestemte ydelser og tilskud, som i dag er gældende for det af Aidt Miljø ApS markedsførte anlæg.

De af Prøvestationen for Solenergi bestemte ydelser og tilskud for low flow anlæg er baseret på ydelsesberegninger for traditionelle anlæg og målte merydelser for low flow anlæg. Som omtalt i afsnit 4 overvurderer de eksisterende matematiske modeller ydelse og dermed tilskud for traditionelle anlæg. Derfor vil ydelse og tilskud for low flow anlæg også blive overvurderet når ovennævnte metode benyttes.

5.2 Solfangerens maksimaleffektivitet

Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud er vist på figur 21 for forskellige maksimaleffektiviteter. Jo større maksimaleffektivitet, des større ydelse og tilskud.



Figur 21. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af maksimaleffektiviteten.

5.3 Solfangerens koefficient til korrektion for indfaldsvinklen

Ved beregning af referenceanlæggets ydelse er benyttet følgende formel til bestemmelse af koefficienten til korrektion for indfaldsvinklen: $K_{\tau\alpha}(\theta) = 1 - 0,20 \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$, hvor θ er indfaldsvinklen.

$K_{\tau\alpha}(\theta)$ er bestemt med forholdsvis stor usikkerhed. Derfor er der gennemført beregninger med forskellige størrelser af $K_{\tau\alpha}(\theta)$.

Referenceanlæggets solfangers dæklag er en 6 mm ribbeplade af polykarbonat. Hollandske målinger af indfaldsvinklens indflydelse på transmittansen for dette dæklag [7] er anvendt som udgangspunkt for en supplerende beregning.

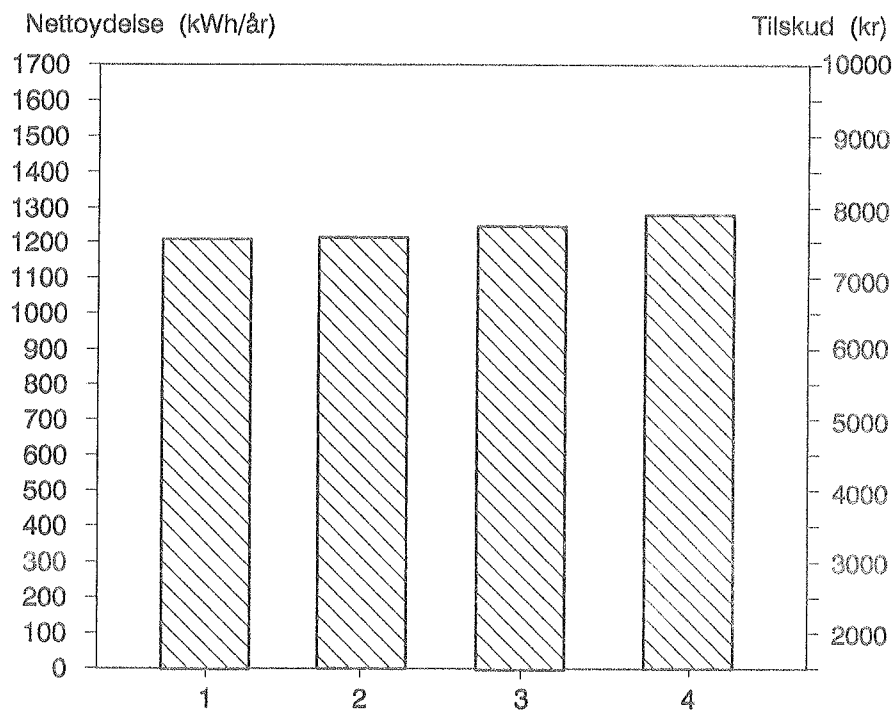
Også i forbindelse med et kursusarbejde udført i juli 1991 på Laboratoriet for Varmeisolering er indfaldsvinklens indflydelse på transmittansen for dette dæklag blevet målt. Disse målinger er benyttet som udgangspunkt for yderligere en beregning.

Endelig er ydelserne beregnet med følgende formel:

$K_{\tau\alpha}(\theta) = 1 - 0,10 \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$, som svarer til forholdene, hvis dæklaget havde bestået af et glaslag.

Figur 22 viser beregnede ydelser og tilskud for anlægget med de 4 forskellige størrelser af $K_{\tau\alpha}(\theta)$.

Det må anbefales at udvikle en prøvemethode til bestemmelse af koefficienten til korrektion for indfaldsvinklen for solfangere. Metoden bør benyttes i forbindelse med standardprøvningen af markedsførte solfangere.



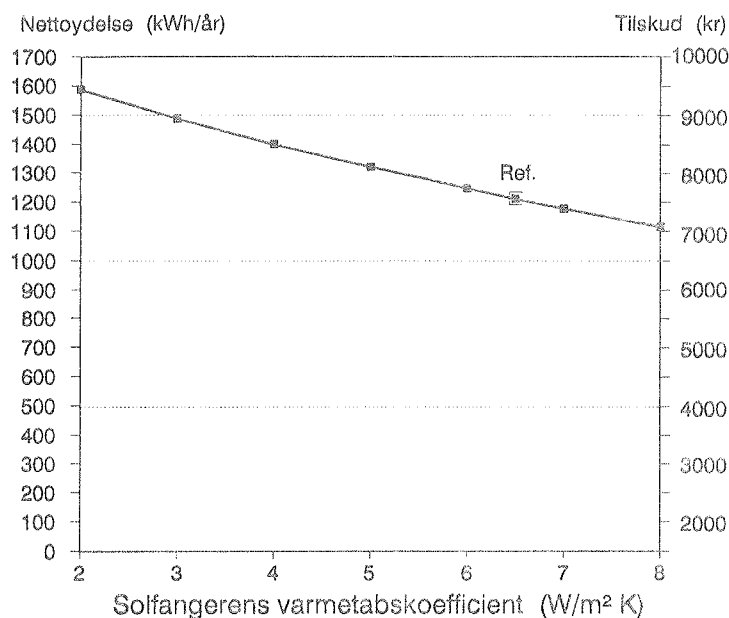
Korrektion for indfaldsvinklen baseret på:

- 1: Skønnet formeludtryk for 6 mm ribbeplade af polykarbonat
- 2: Hollandske målinger
- 3: Målinger på Laboratoriet for Varmeisolering
- 4: Formeludtryk gældende for et glaslag

Figur 22. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud for forskellige koefficienter til korrektion for indfaldsvinklen.

5.4 Solfangerens varmetabskoefficient

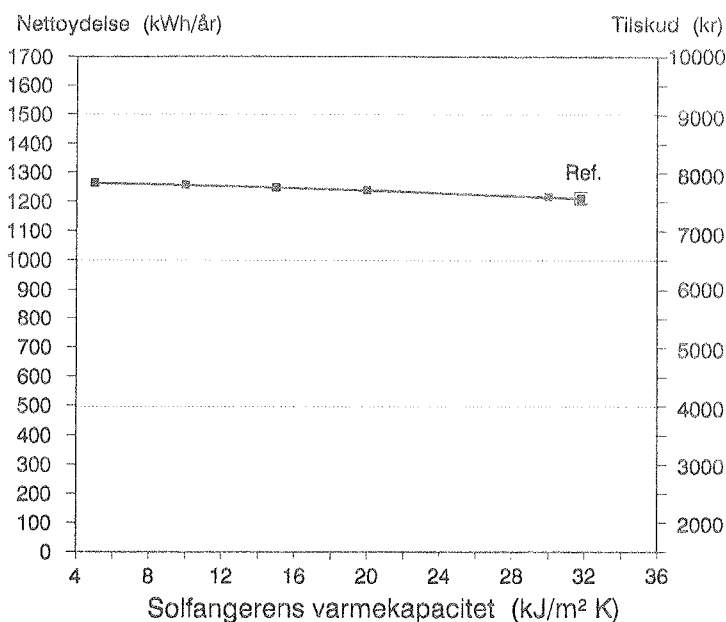
Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud er vist på figur 23 for forskellige varmetabskoefficienter. Jo mindre varmetabskoefficient, des større ydelse og tilskud.



Figur 23. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af solfangerens varmetabskoefficient.

5.5 Solfangerens varmekapacitet

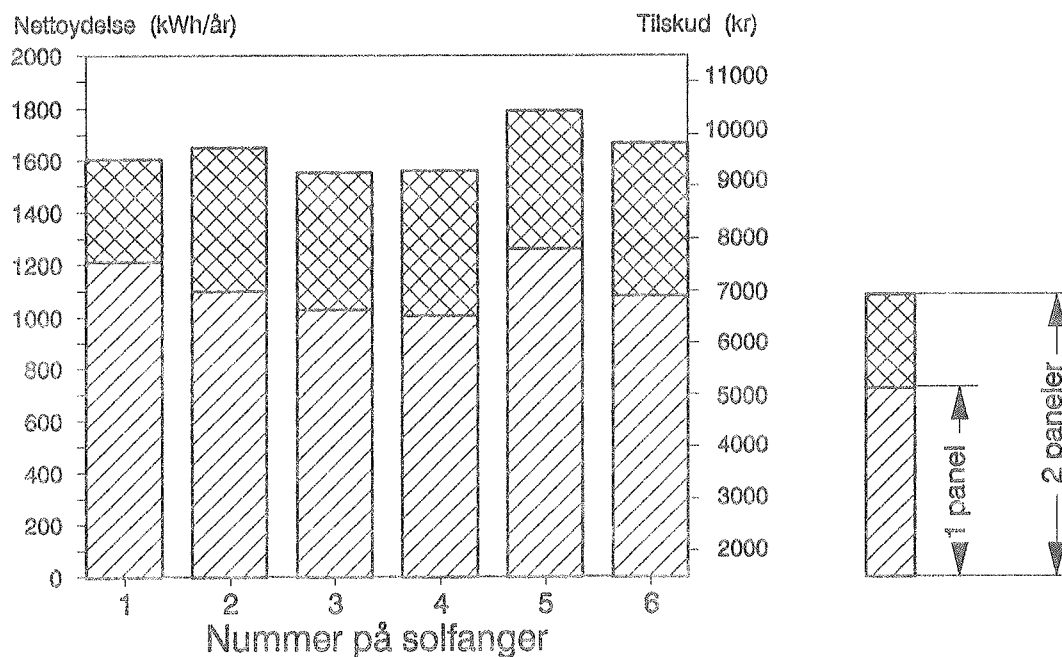
Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud er vist på figur 24 for forskellige størrelser af solfangerens varmekapacitet. Jo mindre varmekapacitet, des større ydelse og tilskud. Ydelsens afhængighed af varmekapaciteten er dog forholdsvis beskeden.



Figur 24. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af solfangerens varmekapacitet.

5.6 Solfangertypen

Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud er vist på figur 25 med forskellige markedsførte solfangere. Det er forudsat at solfangereffektiviteten for små volumenstrømme er den samme som for almindelige volumenstrømme. For hver enkelt solfanger bør det undersøges om denne forudsætning holder, idet solfangerudformningen jo har afgørende betydning for volumenstrømmens indflydelse på solfangereffektiviteten.

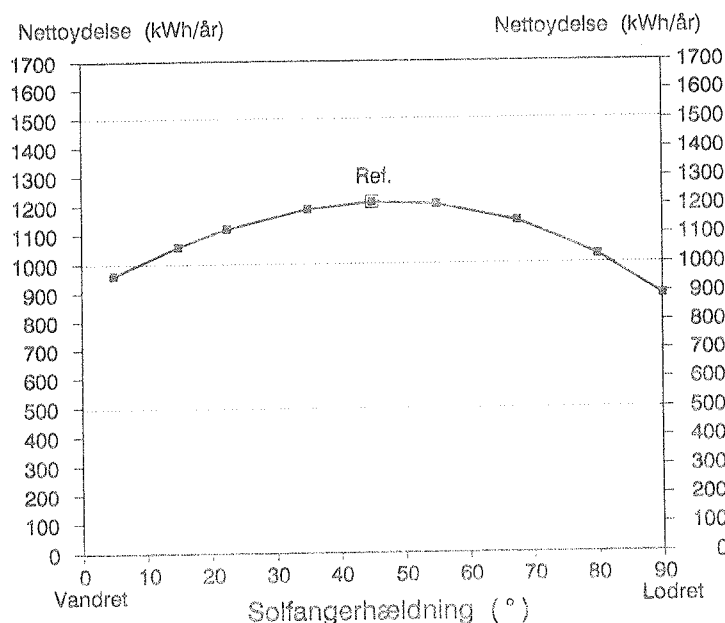


SOLFANGER		SOLFANGER-AREAL	MAKSIMAL-EFFEKTIVITET	VARMETABS-KOEFFICIENT	VARME-KAPACITET kJ/m²K	DÆKLAG
Nr.	Fabrikat					
1	AIDT MILJØ ApS	3,84 m² 7,68 m²	0,74	6,5 W/m²K	32	Dobbeltvægget polykarbonat plade
2	DANSK SOLVARME A/S	2,04 m² 4,08 m²	0,86	5,0 W/m²K	16	GLAS
3	BATEC	2,19 m² 4,38 m²	0,77	5,4 W/m²K	7	GLAS
4	SOLAHART Scandinavia ApS	1,86 m² 3,72 m²	0,91	6,3 W/m²K	15	GLAS
5	ARCON Solvarme ApS	2,51 m² 5,02 m²	0,82	4,6 W/m²K	7	GLAS
6	ARCON Solvarme ApS	2,51 m² 5,02 m²	0,68	3,1 W/m²K	10	Dobbeltvægget polykarbonat plade

Figur 25. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af solfangertypen.

5.7 Solfangerhældning

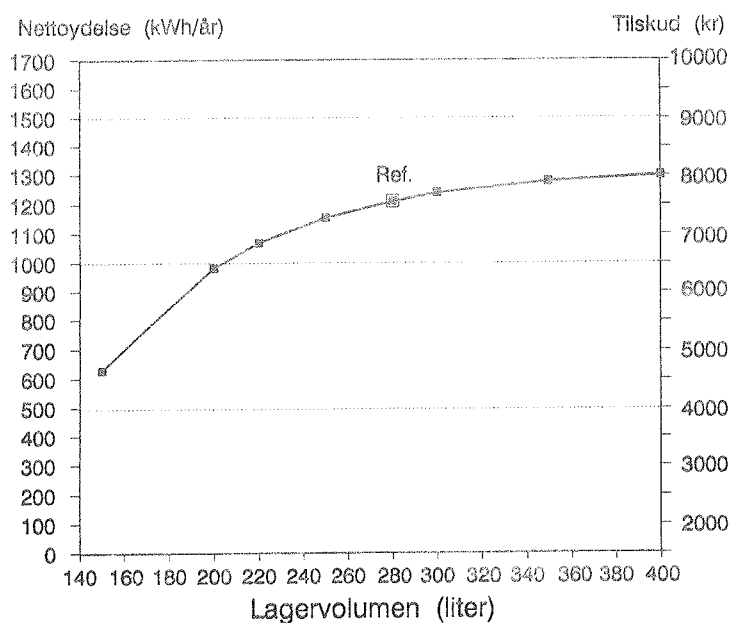
Anlæggets årlige nettoydelse er vist på figur 26 som funktion af solfangerhældningen. Solfangerhældninger mellem 30° og 60° fra vandret resulterer i de største anlægsydelse.



Figur 26. Anlæggets årlige nettoydelse som funktion af solfangerhældningen.

5.8 Lagervolumen

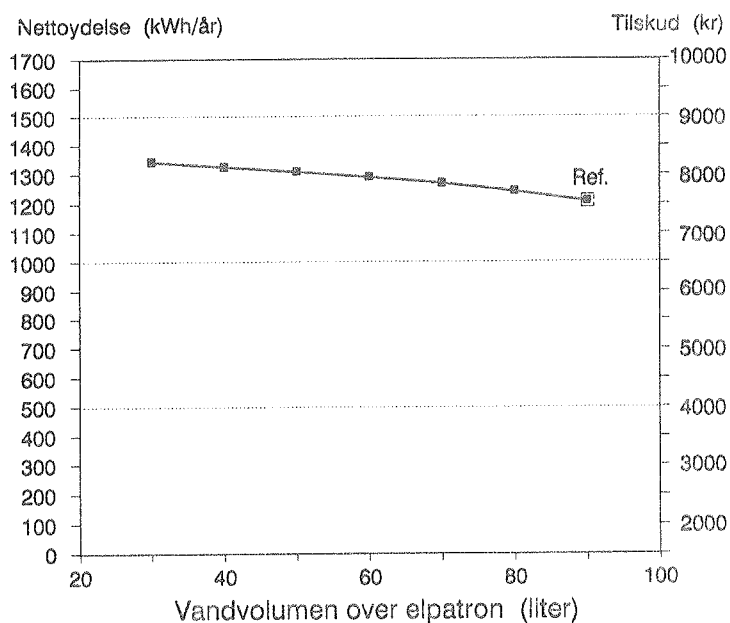
Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud er vist på figur 27 som funktion af kappebeholderens vandvolumen. Volumenet er beregningsmæssigt varieret ved at variere på højden af den del af varmtvandsbeholderen, som er omgivet af kappen. Jo større lagervolumen, des større ydelse og tilskud. Beregningsresultaterne for små lagre bør dog tages med et vist forbehold, da udformningen for disse lagre bliver urealistisk.



Figur 27. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af lagervolumenet.

5.9 Vandvolumen over elpatronen

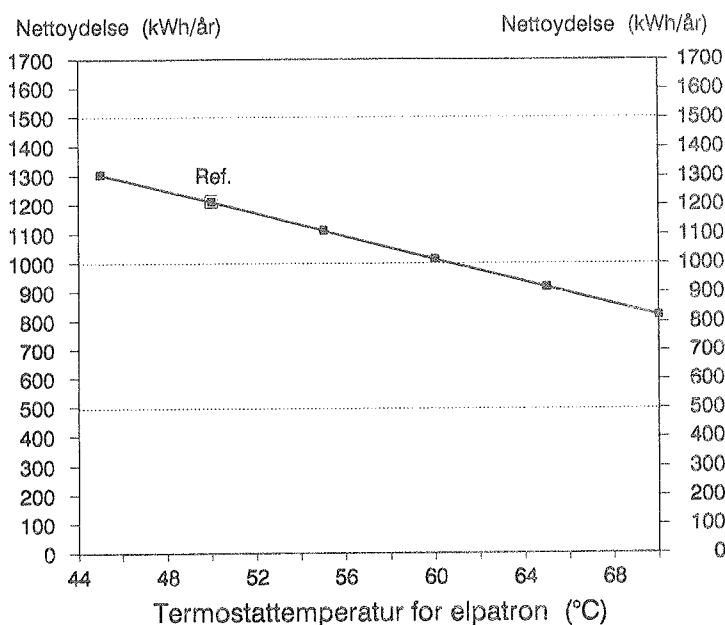
Jo højere oppe i varmtvandsbeholderen elpatronen er placeret, des større bliver anlæggets ydelse og tilskud, som det ses af figur 28. Til gengæld reduceres komfortniveauet når elpatronen flyttes opad i tanken. Derfor bør elpatronen placeres så højt i tanken som komfortkravet tillader.



Figur 28. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af vandvolumenet, som er placeret over varmelagerets elpatron.

5.10 Elpatronens termostattertemperatur

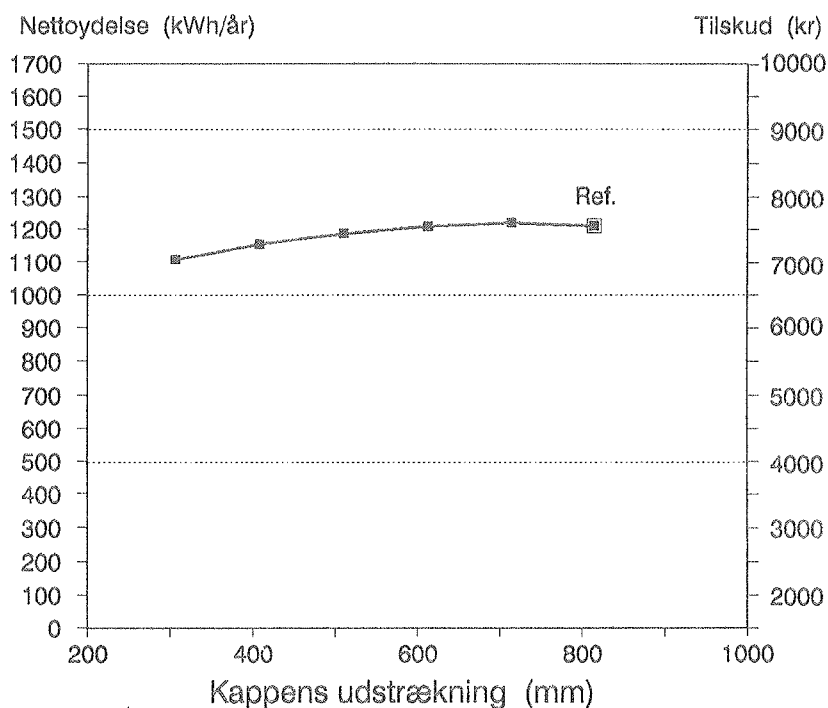
Jo lavere elpatronens termostattertemperatur er, des større bliver anlæggets ydelse, som det fremgår af figur 29. Til gengæld reduceres komfortniveauet når elpatronens termostattertemperatur reduceres. Derfor bør de supplerende energikilder opvarme toppen af varmtvandsbeholderen til så lavt et temperaturniveau som komfortkravet tillader.



Figur 29. Anlæggets årlige nettoydelse som funktion af elpatronens termostattertemperatur.

5.11 Kappens udstrækning

Jo større udstrækning kappen omkring varmtvandsbeholderen har, des større bliver anlæggets ydelse og tilskud. Dette fremgår af figur 30. Placeringen af bunden af kappen er fastholdt i beregningerne, således at variationerne af kappens udstrækning opnås ved at ændre placeringen af toppen af kappen.



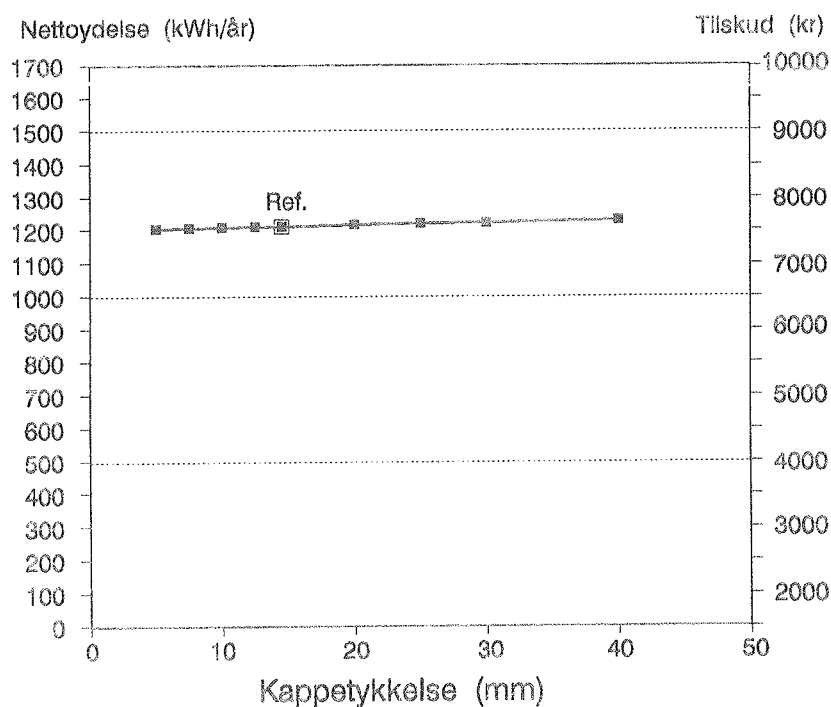
Figur 30. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af kappens udstrækning.

5.12 Kappens tykkelse

Figur 31 viser kappetykkelsens betydning for den beregnede anlægsydelse og for anlæggets tilskud. Beregningerne viser at kappetykkelsen ikke påvirker anlægsydelsen nævneværdigt.

Kappetykkelsen afgør hvor længe solfangervæsken opholder sig i kappen i perioder med solfangerdrift. Det forekommer derfor besynderligt at kappens tykkelse næsten ingen indflydelse har på anlægsydelsen.

De i beregningerne benyttede varmeovergangstal for varmetransporten mellem kappen og varmtvandsbeholderen er bestemt ved forsøg med én standard kappebeholder. De herved bestemte varmeovergangstal er i beregningerne også benyttet for kappetykkelser, som er forskellige fra kappetykkelsen for den afprøvede kappebeholder. Da varmeovergangstallene sandsynligvis vil afhænge stærkt af kappetykkelsen, må beregningsresultaterne med kappetykkelser, som afviger stærkt fra kappetykkelsen af standardbeholderen, tages med forbehold.



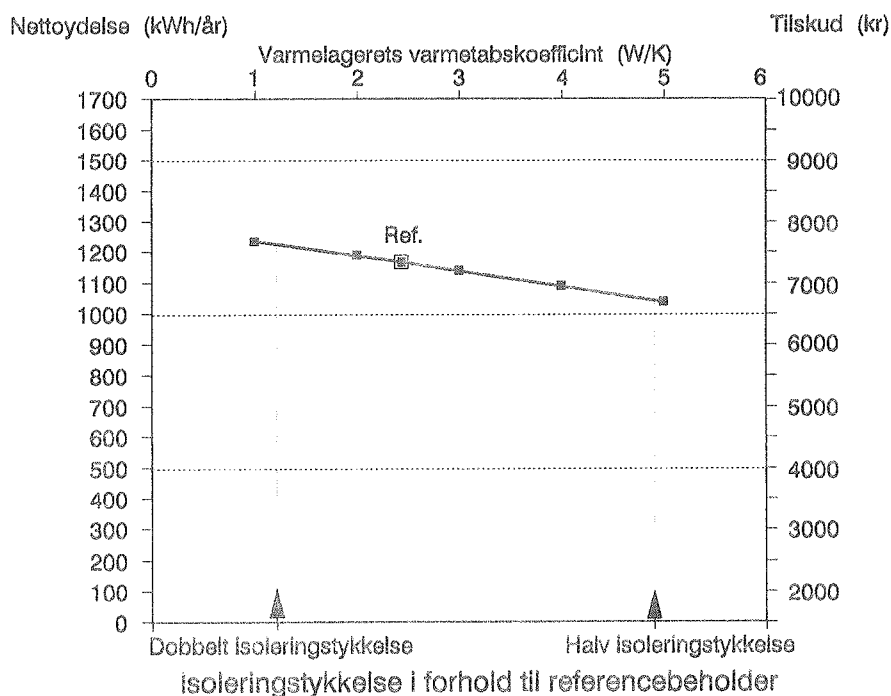
Figur 31. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af kappens tykkelse.

5.13 Beholdermateriale

Som nævnt i tabel 12 er beregningerne gennemført med St 37-2 som beholdermateriale. Desuden er der gennemført en beregning, hvor rustfrit stål er benyttet som beholdermateriale. Beregningerne viser, at ved at erstatte stålbeholderen med en rustfri stålbeholder kan den årlige nettoydelse forøges med ca. 4% fra 1212 kWh/år til 1262 kWh/år, og anlæggets tilskud forøges fra 7560 kr. til 7810 kr. Årsagen til forøgelserne er, at den gunstige temperturlagdeling opretholdes bedre i en rustfri stålbeholder end i en stålbeholder, idet varmeledningsevnen for rustfrit stål er betydelig mindre end varmeledningsevnen for stål.

5.14 Lagerisolering

Jo større varmelagerets isoleringstykkelser er, des større bliver anlæggets ydelse og tilskud. Dette fremgår af figur 32.



Figur 32. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af lagerets isoleringstykkelser.

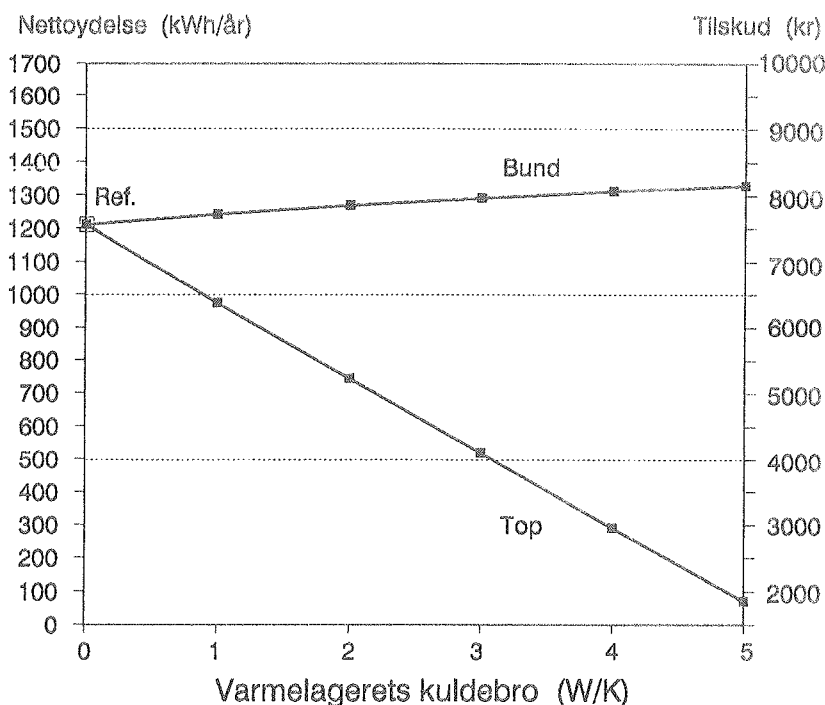
5.15 Varmelagerets kuldebroer

Figur 33 viser hvorledes varmelagerets kuldebroers størrelse og placering påvirker anlæggets ydelse og anlæggets tilskud.

Størrelsen af en kuldebro placeret i toppen af varmelageret har afgørende betydning for anlæggets ydelse og tilskud. Derfor bør varmetabet fra toppen af tanken reduceres til et minimum. Dette sikres ved en grundig isolering af beholderens øverste del uden nogen form for gennembrydning af isoleringen. Det kan anbefales at placere alle rørtilslutninger i den nederste del af beholderen.

Størrelsen af en kuldebro placeret i bunden af varmelageret har mindre betydning for anlæggets ydelse og tilskud. Jo større denne kuldebro er, des større er ydelsen og tilskuddet. Årsagen hertil er at temperaturen i bunden af tanken i størstedelen af året er lavere end temperaturen af lagerets omgivelser.

Som det fremgår af figuren er det med de nuværende tilskudsregler vigtigt, at fordelingen af varmetabskoefficienten på lagerets overflader kendes med rimelig nøjagtighed. Navnlig hvis varmetabskoefficienten for varmelageret er stor, har disse forhold afgørende betydning. Det anbefales derfor at den i [8] foreslåede prøvemethode til bestemmelse af fordelingen af varmetabskoefficienten benyttes i forbindelse med afprøvningen af markedsførte varmelagre.



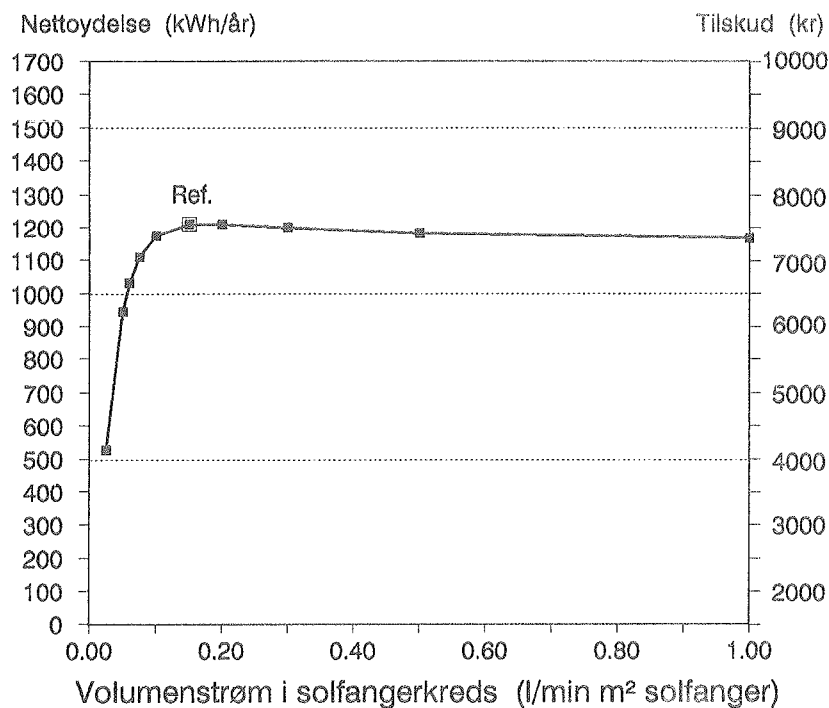
Figur 33. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af størrelsen og placeringen af varmelagerets kuldebro.

5.16 Volumenstrøm i solfangerkredsen

Figur 34 viser hvorledes volumenstrømmen i solfangerkredsen påvirker anlægsydelsen og anlæggets tilskud. Det ses at der findes en optimal volumenstrøm på ca. 0,15 l/min m² solfanger. Både hvis volumenstrømmen gøres større og mindre reduceres ydelsen. Navnlig vil for små volumenstrømme reducere ydelsen markant.

De i beregningerne benyttede varmeovergangstal for varmetransporten mellem kappen og varmtvandsbeholderen er bestemt ved forsøg med én standard kappebeholder og en volumenstrøm, som er tæt på referenceanlæggets volumenstrøm. De herved bestemte varmeovergangstal er i beregningerne også benyttet for andre volumenstrømme.

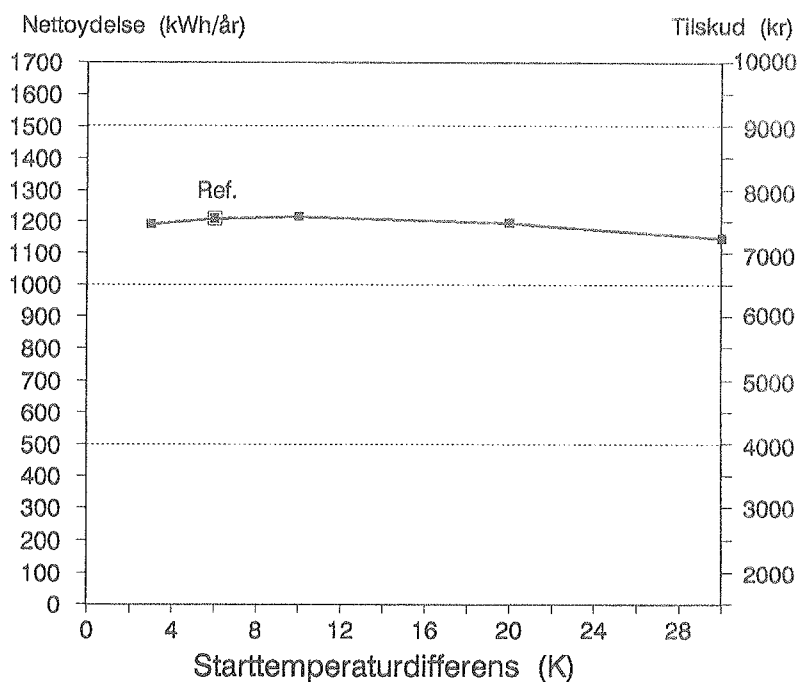
Da varmeovergangstallene sandsynligvis vil afhænge stærkt af volumenstrømmen, må beregningsresultaterne med volumenstrømme, som afviger stærkt fra referenceanlæggets volumenstrøm, tages med forbehold.



Figur 34. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af volumenstrømmen i solfangerkredsen.

5.17 Styresystemets startdifferens

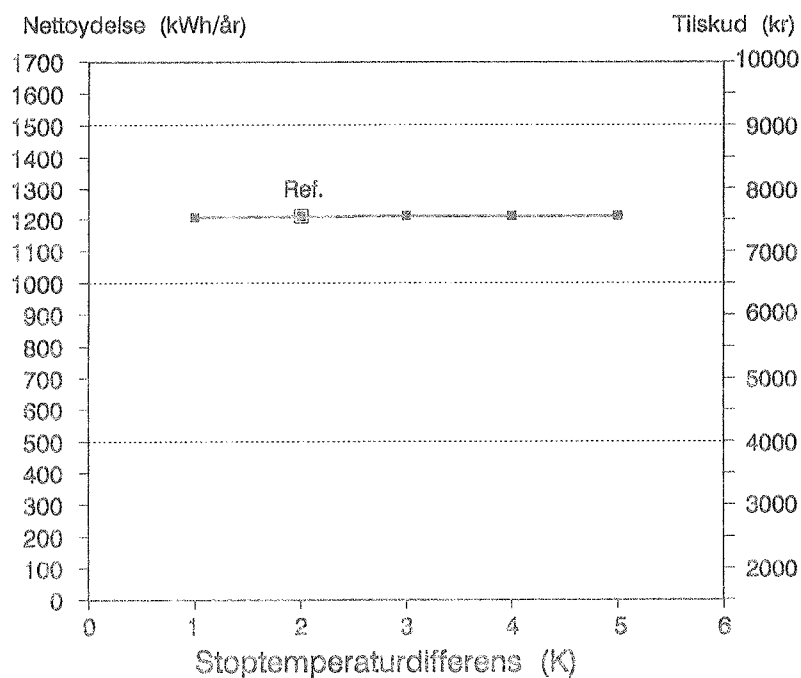
Figur 35 viser hvorledes differenstermostatstyringens startdifferens påvirker anlæggets ydelse og tilskud. Største ydelse og tilskud opnås når starttemperaturdifferensen er 10 K. Dog påvirkes ydelse og tilskud ikke nævneværdigt af startdifferensen så længe startdifferensen er mindre end 30 K.



Figur 35. Anlæggets årlige nettoydelse som funktion af styresystemets startdifferens.

5.18 Styresystemets stopdifferentens

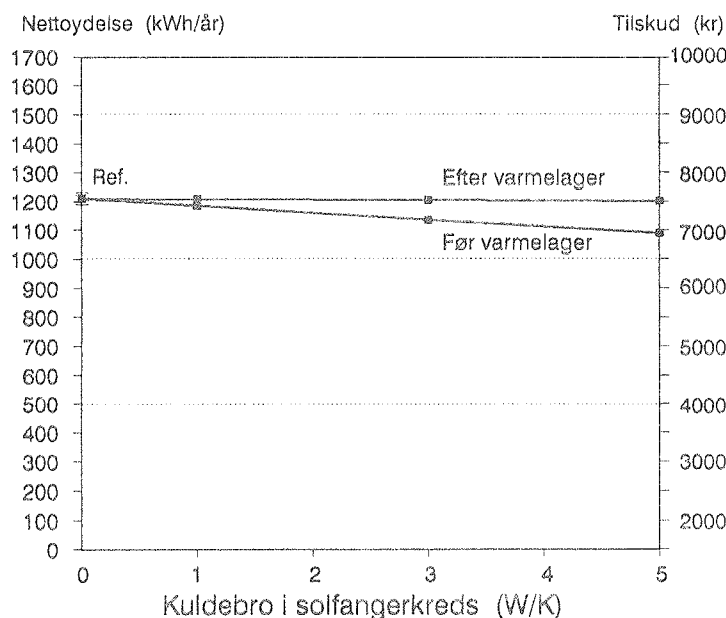
På figur 36 ses, at differenstermostatstyringens stopdifferentens næsten ikke påvirker anlæggets ydelse og tilskud.



Figur 36. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af styresystemets stopdifferentens.

5.19 Solfangerkredsens kuldebroer

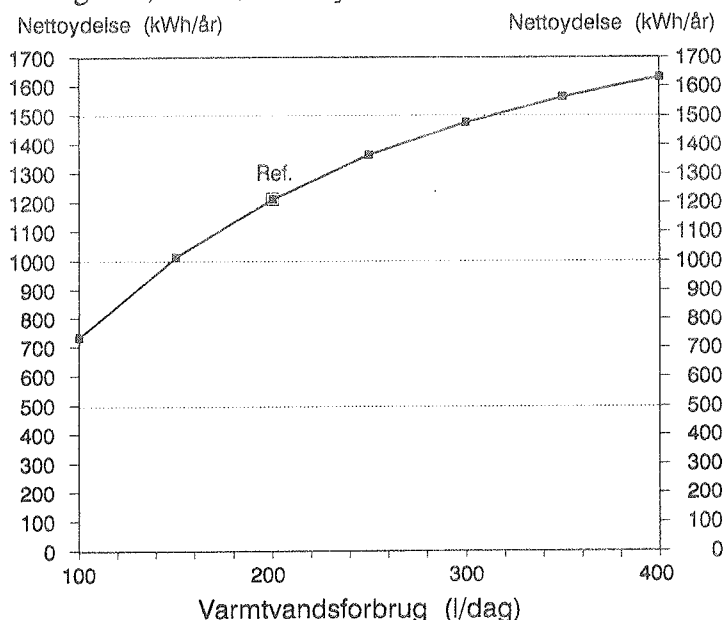
Figur 37 viser hvorledes solfangerkredsens kuldebroers størrelse og placering påvirker anlægsydelsen og anlæggets tilskud. Kuldebroen er placeret indenfor enten lige før eller lige efter varmelageret. Størstedelen af solvarmeanlæggets hjælpeudstyr er jo normalt placeret i solfangerkredsen i forbindelse med varmelageret. Af figuren ses, at det er mest hensigtsmæssigt at placere alt hjælpeudstyret i solfangerkredsen umiddelbart efter varmelageret.



Figur 37. Anlæggets årlige nettoydelse og tilskud som funktion af størrelse og placering af solfangerkredsens kuldebroer.

5.20 Varmtvandsforbrugets størrelse

Den årlige anlægsydelse er på figur 38 vist som funktion af det daglige varmtvandsforbrug. Jo større varmtvandsforbruget er, des større er ydelsen.



Figur 38. Anlæggets årlige nettoydelse som funktion af varmtvandsforbrugets størrelse.

6. Konklusion

Der er gennemført såvel eksperimentelt som teoretisk arbejde med de højtydende og attraktive low flow solvarmeanlæg.

Der er foretaget detaljerede målinger for et lille low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, og en matematisk model for små low flow anlæg er valideret ved hjælp af målingerne.

Modellen er særdeles velegnet i forbindelse med beregning af ydelsen af små low flow solvarmeanlæg. Dog er der behov for at forbedre en enkelt del af modellen, nemlig selve solfangermodellen. Det anbefales derfor at iværksætte såvel teoretisk som eksperimentelt arbejde med forskellige solfangertyper for at klarlægge hvorledes de termiske forhold for solfangere med små volumenstrømme bedst simuleres.

I denne forbindelse bør det nævnes at der også er behov for at udvikle prøvemethoder - for solfangere, varmelagre og for komplette anlæg - som er velegnede til low flow anlæg. Det er nemlig ikke muligt med de nuværende prøvemethoder at bestemme de karakteristika, som er nødvendige input til low flow modellen.

Det blev klarlagt, hvorledes den beregnede ydelse for små low flow anlæg påvirkes af variationer i bestrålingsstyrken forårsaget af skyer. Der blev således udarbejdet en figur, som angiver hvor stor den ekstra årlige ydelse for low flow anlæg er, når der tages hensyn til variationerne i bestrålingsstyrken i stedet for at benytte referenceårets vejrdata, som jo er gennemsnitlige værdier for hver time igennem året. Navnlig for low flow anlæg med små dækningsgrader og med små forhold mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal er ekstraydelsen forårsaget af variationerne af stor betydning. Skal det være muligt direkte at beregne ydelsen for sådanne anlæg med modellen, er der behov for et nyt referenceår med mindre tidsskridt for vejrdataene.

Beregninger viste at low flow anlæg yder mere end traditionelle solvarmeanlæg. Jo mindre dækningsgraden for anlægget er, og jo mindre forholdet mellem varmtvandsforbrug og solfangerareal er, des større er merydelsen for low flow anlæg i forhold til traditionelle anlæg.

Endvidere viste målinger, at beregningerne undervurderer merydelsen for low flow anlæg. Forklaringen herpå er sandsynligvis, at de eksisterende matematiske modeller for de traditionelle solvarmeanlæg overvurderer anlægsydelsen. Modellerne tager nemlig ikke hensyn til den u hensigtsmæssige opblanding, som forekommer i toppen af det traditionelle anlægs varmelager mellem varmt vand opvarmet af den supplerende energikilde og koldere vand, som sættes i bevægelse når det opvarmes af solfangeren.

Der er altså behov for at iværksætte arbejde for at udvikle en lagermodel, som kan tage denne opblanding i beregning. Før denne model er udviklet, er det ikke muligt at beregne ydelsen for traditionelle anlæg og merydelsen for low flow anlæg korrekt.

Med den validerede matematiske model for low flow anlæg er der gennemført en række beregninger med forskellige anlægsudformninger. På basis af disse beregninger er der udarbejdet figurer, som angiver den årlige ydelse for forskelligt udformede low flow solvarmeanlæg. I denne forbindelse skal det fremhæves, at det er af særlig stor betydning for en korrekt bestemmelse af anlægsydelsen at kende fordelingen af varmelagerets varmetabskoefficient på lagerets overflader med rimelig nøjagtighed. Det er derfor vigtigt at tilrettelægge afprøvningen af varmelagre således, at denne størrelse bestemmes.

Endelig er der behov for eksperimentelt at undersøge, hvorledes kappetykkelsen og volumenstrømmen påvirker de varmeoverføringsmæssige forhold for kappebeholdere, således at det kan klarlægges, hvorledes kappetykkelse og volumenstrøm påvirker anlægssydelsen.

Referencer

- [1] "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg. Måling på 3 små brugsvandsanlæg". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 188, december 1987.
- [2] "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Eksperimentelle undersøgelser". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 205, marts 1989.
- [3] "Små low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - status". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering. Rapport nr. 90-7, oktober 1990.
- [4] "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Teoretiske undersøgelser". Peter Berg. Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 209, marts 1990.
- [5] "Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for Prøvestationen for Solvarmeanlæg. Fabrikat: Aidt Miljø ApS". S. Svendsen, Laboratoriet for Varmeisolering, november 1988.
- [6] "Afprøvning af lagertank til solvarmeanlæg AIDT Model 300". Ivan Katić. Prøvestationen for Solenergi, maj 1991.
- [7] Oplysninger fra Aart de Geus, TNO, Holland, juni 1991.
- [8] "Final report on the activities of the Solar Storage Testing Group. Final document. Volume II". H. Visser and H.A.L. van Dijk, TNO, Holland. December 1989.

