

HØJTYDENDE SOLVARMEANLÆG
MED SMÅ VOLUMENSTRØMME

EKSPERIMENTELLE UNDERSØGELSER

SIMON FURBO

MEDDELELSE NR. 205

MARTS 1989

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Medvirkende ved projektet:

Simon Furbo, civilingeniør
Søren Østergaard Jensen, civilingeniør
Lars Jørgensen, elektronikmekaniker
Sally Lykke Høgsted, programmør
Kirsten Weishaupt, assistent
Arne Skovslund, Haarlev Installationsforretning ApS
P. Møller, Møllers Isolering

Desuden rettes en tak til følgende, som har bidraget med information, ideer, kommentarer og kritik:

Svend Aage Svendsen, civilingeniør
Peter Berg, civilingeniør
Carsten Rode Pedersen, civilingeniør
Bertil Morelli, elektronikmekaniker

FORORD

Denne rapport afslutter projektet: "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning". Projektet, sag 1987 - 144/664 - 87.695, er finansieret af Teknologirådet.

Ud over denne slutrapport er projektets resultater beskrevet i artiklen "Experimental investigations of solar water heating systems using low volume flow rates". Artiklen er i marts 1989 fremsendt til tidsskriftet "Solar Energy. International Journal for Scientists, Engineers and Technologists in Solar Energy and its Application".

RESUME

Tre små pumpedrevne solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er afprøvet på Laboratoriets forsøgsareal under ens driftsbetingelser. Det første anlæg er et referenceanlæg med en indbygget varmevekslerspiral i en varmtvandsbeholder. De to øvrige anlæg er anlæg med kappebeholdere. Referenceanlægget er opbygget som hovedparten af de anlæg, der markedsføres i dag. En lang række forskellige driftsstrategier er afprøvet for kappebeholderanlæggene. Forsøgene er gennemført med to forskellige solfangertyper.

Målingerne viste, at kappebeholderanlæg med en konstant lille volumenstrøm er særdeles attraktive. Kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm yder fx 20% mere end referenceanlægget i perioder med en dækningsgrad på ca. 55% for referenceanlægget.

Der er opbygget en prøvestand på Laboratoriets forsøgsareal til afprøvning af fem ens solfangerer med forskellige volumenstrømme under de samme driftsbetingelser, dvs med samme solindfald på solfangerne og samme fremløbstemperatur til solfangerne. Dagsydelse for solfangerne blev målt igennem en periode med solfangerer med meget store varmelagringskapaciteter og igennem en anden periode med solfangerer med forholdsvis små varmelagringskapaciteter.

Forsøgene med solfangerne viste, at solfangernes effektivitet under typisk drift ikke påvirkes afgørende af volumenstrømmen.

Merydelsen for kappebeholderanlægget er først og fremmest forårsaget af den fordelagtige temperaturlagdeling, som opstår i kappebeholderen under solfangerens drift.

På basis af de gennemførte undersøgelser må det anbefales, at der iværksættes forskningsarbejde for at etablere dimensioneringsgrundlaget for solvarmeanlæg

med små volumenstrømme, samt at de enkelte solfangerfabrikanter støttes, så de kan udvikle billige, holdbare og højtydende markedsførte solvarmeanlæg med små volumenstrømme.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
1. Indledning	1
2. Afprøvning af brugsvandsanlæg	3
2.1 Udformning af de tre små brugsvandsanlæg	3
2.2 Målesystem	19
2.3 Prøvebetingelser	22
2.4 Måleresultater	24
2.5 Vurdering af måleresultater	52
2.6 Erfaringer fra anlæggenes drift	54
3. Afprøvning af solfangere	59
3.1 Prøvning i solsimulator	59
3.2 Prøvestand	61
3.3 Målesystem	65
3.4 Prøvebetingelser	69
3.5 Måleresultater	70
3.6 Vurdering af måleresultater	95
4. Sammenfatning af de gennemførte undersøgelser	97
5. Erfaringer fra ind- og udland i øvrigt	99
6. Udvikling af solvarmeanlæg med små volumenstrømme	103
7. Konklusion	105
Summary	107
Referencer	109

1. INDLEDNING

I sommeren 1987 blev der i forbindelse med Teknologirådsprojektet "Forbedring af solvarmeanlægs ydelser" målt på tre forskellige små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning [1], [2] og [3].

Det første anlæg var et referenceanlæg med en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral i bunden af beholderen. I dette anlæg blev der benyttet en normal volumenstrøm igennem solfangerkredsen. Det andet anlæg var et selvcirkulerende anlæg, hvor solfangervæsken selv cirkulerede rundt i solfangerkredsen. I dette anlæg blev en kappebeholder benyttet som varmelager. I det tredje anlæg blev solfangervæsken cirkuleret rundt i solfangerkredsen med en lille volumenstrøm ved hjælp af en pumpe. Også i dette anlæg blev der benyttet en kappebeholder som varmelager.

Målingerne viste, at det selvcirkulerende anlæg havde en ydelse, der lå ca. 10% over ydelsen for referenceanlægget, mens ydelsen for det pumpede anlæg med lille volumenstrøm var ca. 20% over ydelsen af referenceanlægget.

Målingerne viste således, at solvarmeanlæg med små volumenstrømme er særdeles attraktive. I ovennævnte projekt blev det ikke klarlagt, hvorledes styresystemet for anlæg med små volumenstrømme bedst udformes. Desuden blev det heller ikke undersøgt hvilken indflydelse solfangerens udformning har på anlægsydelsen.

I nærværende projekt undersøges derfor egnetheden af forskellige driftsbetingelser, dvs forskellige styresystemer for pumpen og forskellige volumenstrømme.

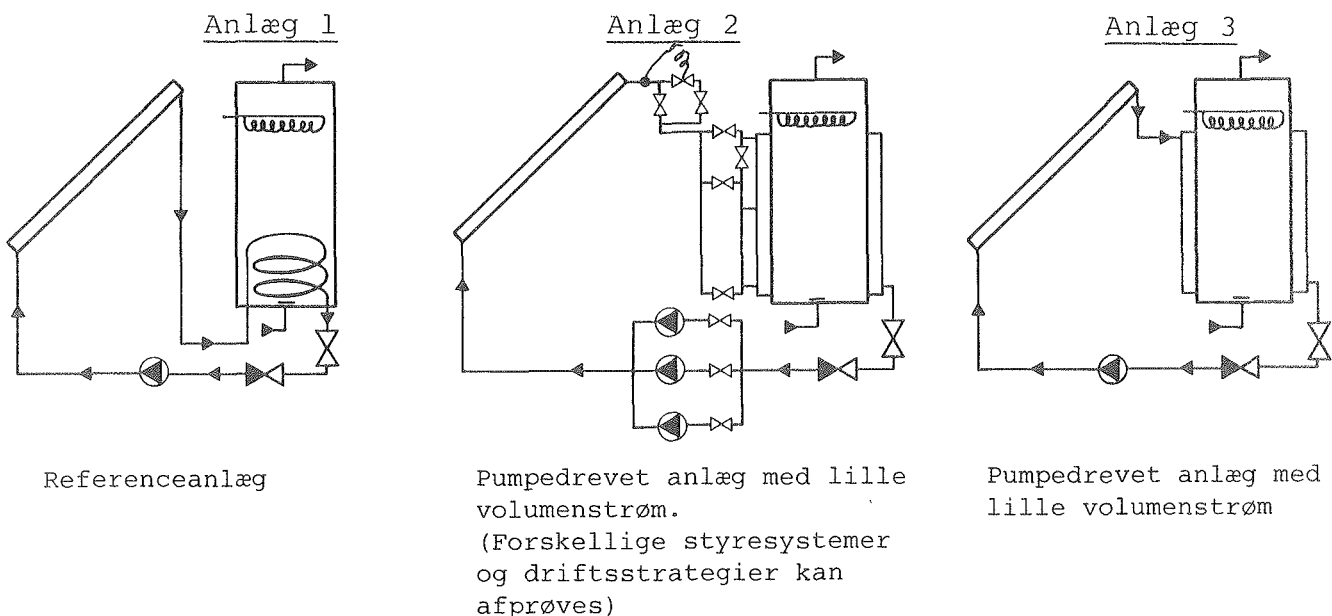
Endvidere undersøges hvorledes mer-ydelserne for anlæg med små volumenstrømme afhænger af solfangertypen.

2. AFPRØVNING AF BRUGSVANDSANLÆG

2.1 Udformning af de tre små brugsvandsanlæg

Det selvcirkulerende solvarmeanlæg, som er et af de tre beskrevne anlæg i [1], blev ombygget til et pumpedrevet anlæg. Der benyttes de samme komponenter, som er anvendt i det andet anlæg med lille volumenstrøm. Desuden blev anlæggets kappebeholder forsynet med et ekstra manifoldrør, og solfangerkredsen blev forsynet med en termostatisk vandventil, to ekstra pumper og et antal manuelt betjente ventiler. Endvidere blev anlægget forsynet med to ekstra styresystemer.

De tre små anlæg er placeret ved siden af hinanden på Laboratoriets forsøgsareal. Figur 1 viser en skematisk illustration af de tre anlæg efter ombygningen.



Figur 1. Skematisk illustration af de 3 afprøvede solvarmeanlæg.

Anlæggenes varmelagre er placeret i et uisolaret rum under forsøgsopstillingens tagryg. Beholderne, som er placeret i samme niveau som solfangerne, er beskyttet mod vind og vejr.

Varmelageret er i alle tre anlæg en opretstående cylinderformet varmtvandsbeholder fra Sdr. Højrup Maskinfabrik A/S.

I referenceanlægget benyttes en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral, i de to andre anlæg benyttes en kappebeholder. Varmtvandsbeholderens volumen er 197 l, diamteren er 46 cm og højden er 120 cm.

Varmevekslerspiralen i referenceanlæggets varmtvandsbeholder er placeret i beholderens nederste sjattedel. Varmevekslerens materiale er kobber, spirallængden er 9 m, og spiralens udvendige og indvendige diameter er henholdsvis 10 mm og 8,4 mm.

I de to øvrige anlæg omgiver en kappe en del af varmtvandsbeholderen. Kappenvolumenet er 27 l. Kappens diameter er 51 cm og kappehøjden er 84 cm. Kappens øverste del er placeret $1/5$ fra toppen af varmtvandsbeholderen, og den nederste del er placeret $1/10$ fra bunden af varmtvandsbeholderen.

Alle tre varmtvandsbeholdere er forsynet med en elpatron på ca. 1000 W. Varmelegemet er placeret $1/5$ af beholderhøjden fra toppen af beholderen. Beholderne er isoleret med 5 cm mineraluld med undtagelse af beholderbundene, som er uisolerede.

Alle 3 anlæg er forsynet med en 3-trins Grundfos cirkulationspumpe type UPS 15-35x20. I de fleste perioder benyttes pumpens trin 1, svarende til et effektforbrug på 35 W.

Pumperne er styret af en differenstermostat med en temperaturføler placeret øverst på absorberen og en temperaturføler placeret i bunden af varmelageret - for anlæg 1 i bunden af varmtvandsbeholderen og for anlæg 2 og 3 i bunden af kappen. Pumpen startes når temperaturforskellen mellem toppen af absorberen og bunden af varmelageret bliver 5 K. Pumpen stoppes igen, når temperaturforskellen mellem toppen af absorberen og bunden af varmelageret bliver mindre end 0,5 K - dog benyttes andre stopdifferenser i de perioder, hvor der benyttes ekstreme volumenstrømme i solfangerkredsen, således at pumpen først

stoppes når solfangerudbyttet bliver mindre end omtrent 50 W.

Solfangerkredsene er forsynet med Taco-Settere, således at volumenstrømmene i solfangerkredsene kan reguleres nøjagtigt.

Anlæggene blev afprøvet med to forskellige solfanger typer placeret på forsøgsopstillingens tag. Solfangerne vender mod syd og solfangerhældningen er 45°. I perioden fra den 21. april 1988 til den 21. august 1988 blev solfangertypen KP $\bar{V}$ fra Islev Solvarme ApS anvendt. Denne solfangertype har en relativ lille varmelagringskapacitet. I perioden fra 3. september 1988 til 20. november 1988 blev en rørslangesolfanger fra Aidt Miljø ApS anvendt. Denne solfangertype har en meget stor varmelagringskapacitet.

Følgende forhold er gældene i perioden med solfangerne fra Islev Solvarme ApS:

Solfangerens absorber er en kanalplade af rustfrit stål med en selektiv MAXORB-foliebelægning. Absorberens kanaler er langsgående på en sådan måde, at solfangervæsken, som transporteres fra bunden til toppen af absorberen, køler hele absorberens tværsnitsareal.

Hvert anlæg består af to solfangerelementer parallelkoblede i solfangerkredsen. Taco-Settere i solfangerkredsen muliggør at det kan kontrolleres, at gennemstrømningen igennem hvert anlægs to solfangerelementer er den samme. Det samlede solfangerareal for hvert anlæg er 3,9 m².

Hvert solfangerelement indeholder et solfangervæskelumen på 1,6 l, svarende til 0,8 l/m² solfanger. Solfangerkredsen i alle tre anlæg består af ca. 5 m 12/10 mm kobberør isoleret med 20 mm polyethylencelleplast. Som solfangervæske benyttes i alle tre anlæg en 50% propylenglycol/vand-blanding. Alle tre anlæg er forsynet med en åben ekspansionsbeholder i solfangerkredsen.

Det solrige vejr i starten af måleperioden resulterede i en næsten komplet dækning af så store daglige varmtvandsforbrug som 300 l ved hjælp af solvarmeanlæggene - uafhængigt af anlægsudformning og driftsstrategi. For at opnå forskelle i anlægsydelse blev anlæggene den 1. juni ændret således, at hvert anlæg i perioden frem til den 18. august kun bestod af ét solfangerelement på 1,9 m². Det andet solfangerelement blev afdækket og afspærret, så solfangervæsken kun cirkulerede gennem det ene aktive element i denne periode.

Følgende forhold er gældende i perioden med solfangerne fra Miljø ApS:

Solfangerens absorber er en 200 m lang sammenhængende polypropylen ribberørslange, som snor sig igennem hele solfangerens bredde fra bunden til toppen af solfangeren. Rørslangen, som har en ydre diameter på 16 mm, dækker ca. 73% af det transparente areal.

Solfangerens transparente lag er en 6 mm dobbeltvægget polykarbonatplade. Solfangerens bredde og højde er henholdsvis 2,06 m og 1,96 m, og det transparente areal er 4,04 m². En solfanger, udformet som den benyttede solfanger, er beskrevet og effektiviteten er målt i [4]. Denne afprøvede solfanger er dog mindre end den i dette projekt benyttede solfanger, således at en indendørs afprøvning i Laboratoriets solsimulator er mulig.

Hvert anlæg består af ét solfangerelement, som ved 20°C indeholder 26,7 l solfangervæske 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 solfangervæske svarende til 7,0 l/m² solfanger. Solfangerkredsen i alle tre anlæg består af omtrent 9 m 12/10 mm koberrør isoleret med 20 mm polyethylencelleplast. Som solfangervæske benyttes i alle tre anlæg en 25% propylenglycol/vand-blanding.

I referenceanlægget og i anlæg 2 er solfangerkredsen lukket og forsynet med et manometer og en sikkerhedsventil, men ingen ekspansionsbeholder. Ribberørenes harmonikabevægelser sørger i disse anlæg for at optage solfangervæskens volumenudvidelser. I anlæg 3 er solfangerkredsen åben og forsynet med en ekspansionsbeholder.

Som nævnt blev anlæg 2 forsynet med ekstra udstyr: En række ekstra rør, ventiler, pumper og styresystemer. Det er derfor muligt at undersøge hvorledes forskellige driftsstrategier påvirker anlægsydelsen for anlæg med små volumenstrømme, idet anlæg 2 og 3 er identiske - bortset fra det ekstra udstyr. Det ekstra udstyr, som er vist skematisk på figur 1, beskrives i det følgende.

Kappebeholderen har tre indløbsstudse for solfangervæskens i toppen, i midten og i bunden af kappen. 10 cm ud for disse studse er fastgjort et lodret 1" stålmanifoldrør. En manuelt betjent ventil uden tryktab i åben tilstand er installeret på den øverste del af manifoldrøret mellem den øverste og den midterste studs.

Umiddelbart før solfangerkredsen når manifoldrøret opdeles solfangerkredsen i tre parallelle grene, som er tilsluttet manifoldrørets top, midte og bund. Hver af de tre parallelle grene er forsynet med en manuelt betjent ventil, som kan sikre, at solfangervæskens kun transporteres gennem én gren til manifoldrøret.

Såvel manifoldrøret, de ekstra ventiler og de ekstra rør er isolerede med 20 mm polyethylencelleplast for at reducere det ekstra varmetab fra solfangerkredsen.

Når den tryktabsløse ventil i manifoldrøret er åben, og når volumenstrømmen er tilstrækkelig lille, virker manifoldrøret således, at solfangervæskens fra solfangeren tilføres kappen gennem den af de tre indløbsstudse, hvor kappetemperaturen indenfor studsen er tæt på solfangervæskens returtemperatur fra solfangeren. For eksempel

vil solfangervæsken i perioder med relativt lave returtemperaturer fra solfangeren og høje temperaturer i toppen af lageret tilføres kappen gennem den midterste studs, således at temperaturlagdelingen i varmtvandsbeholderen måske vil forøges i forhold til temperaturlagdelingen i varmtvandsbeholderen, hvor solfangervæsken altid tilføres kappen gennem den øverste studs. Årsagen til at solfangervæsken af sig selv finder det rigtige niveau i kappebeholderen er, at solfangervæskens massefylde reduceres, når temperaturen forøges.

Det skal bemærkes, at hvis solfangervæsken tilføres toppen af manifoldrøret og manifoldventilen er lukket, er anlægget identisk med anlæg 3, idet solfangervæsken hverken transporteres gennem de ekstra rør eller gennem manifoldrøret.

Umiddelbart efter solfangeren/solfangerne deles solfangerkredsen på en kort strækning i to parallelle grene, som hver er forsynet med en Taco-Setter. Desuden er i den ene gren installeret en termostatisk Danfoss AVTA 10 ventil med en temperaturføler med indstillingsområdet 25°C - 65°C. Temperaturføleren er installeret i solfangerkredsen umiddelbart før afgreningen, så den termostatiske ventil styres af solfangervæskens returtemperatur fra solfangeren.

Ved at indstille Taco-Setterne kan den maksimale volumenstrøm gennem grenene reguleres. AVTA ventilen er forsynet med et håndgreb, som kan indstilles på en ønsket temperatur. Er temperaturføleren varmere end den indstillede temperatur er ventilen helt åben. Er temperaturføleren koldere end den ønskede temperatur, er ventilen helt lukket. Ventilen forsøger altså at regulere volumenstrømmen, så solfangervæskens temperatur gennem ventilen fastholdes på den indstillede temperatur. Med andre ord regulerer AVTA ventilen og Taco-Setterne volumenstrømmen gennem solfangeren på en sådan måde, at

solfangerens returtemperatur kan fastholdes uanset hvor høj fremløbstemperaturen til solfangeren er, og uanset hvor meget solen skinner. Der er dog to situationer, hvor ventilarrangementet ikke kan fastholde den indstillede temperatur: Solen kan skinne så lidt, at den indstillede temperatur ikke kan nås. I denne situation er AVTA ventilen helt lukket, og al solfangervæsken pumpes langsomt igennem den gren, hvori AVTA ventilen ikke er installeret. Denne lille volumenstrøm sikrer en udnyttelse af solvarmen selv i meget solfattige perioder. Solen kan også skinne så meget, at returtemperaturen fra solfangeren bliver højere end den indstillede temperatur, selvom AVTA ventilen er helt åben. Dette kan forekomme på meget solrige dage.

Med ventilarrangementet er det altså muligt at undersøge egnetheden af en styring af volumenstrømmen efter solfangerens returtemperatur. Hele ventilarrangementet er omhyggeligt isoleret for at reducere varmetabet fra ventiler og rør mest muligt. Det skal nævnes, at det er muligt at sætte AVTA ventilen ud af funktion ved at lukke den ene Taco-Setter, således at anlægget også kan afprøves med en konstant volumenstrøm.

Foruden den allerede omtalte differenstermostatstyring kan pumpen i anlæg 2 styres ved hjælp af en lysfølerstyring fra Ans Solvarme [5]. Pumpen er i drift, når solindfaldet er større end en på forhånd indstillet størrelse. Det er muligt at indstille startværdien for solindfaldet, som det ønskes.

Desuden er anlægget forsynet med solcellepanelet M115 fra Arco Solar i USA. Panelet, som har en maksimal effektafgivelse på 7,75 W, er koblet til en lille 24 V pumpe opbygget af komponenter fra en March 809-BR pumpe fra Arco Solar. M115 panelet og March pumpen markedsføres i USA som et alternativ til traditionelle styresystemer. Pumpen og solpanelet udgør en tredje styrings-

mulighed for anlæg 2. Når solindfaldet er tilstrækkeligt stort, vil pumpen begynde at cirkulere solfangervæsken rundt i solfangerkredsen, og jo større solindfaldet er des større bliver volumenstrømmen.

Solfangerkredsen er delt i tre parallelle grene, som hver er forsynet med en pumpe og en afspærringsventil, således at solfangervæsken kun cirkuleres gennem én af grenene ad gangen. Foruden den almindelige cirkulationspumpe og den ovenfor omtalte 24 V pumpe er der installeret en ny-udviklet Grundfos 24 V cirkulationspumpe UP 15-35x20, som også kan kobles til solpanelet. Der er således mulighed for at afprøve solcellepanelstyringen med to forskellige pumper.

Som det fremgår af det ovenfor nævnte, er der altså gode muligheder for at undersøge en række forskellige driftsstrategier for anlæg med små volumenstrømme.

Koldt vand tilføres under tapningerne til bunden af beholderne, mens varmt vand tappes fra toppen af beholderne.

Et automatisk tappesystem sørger for, at hver tapning startes med en blindtapning. Herved sikres, at der igenem alle tapningerne holdes en konstant lav koldtvands-temperatur. Efter blindtapningen tappes én beholder ad gangen, først referenceanlægget anlæg 1, dernæst anlæg 2 og til sidst anlæg 3. Tappeproceduren, bestående af blindtapning, tapning af de tre anlæg og korte pauser mellem tapningen af de tre beholdere, har en varighed på ca. $\frac{1}{2}$ time. Antallet af daglige tapninger og tappetids-punkterne kan vælges efter behov.

Under tapningen af hvert af de tre anlæg føres det tappe-vand til en opsamlingsbeholder. Opsamlingsbeholderen er forsynet med en nøjagtig niveaumåler. Så snart et ønsket vandvolumen er tappet fra lageret afbrydes tapningen.

Tappesystemet er også forsynet med en elektronisk energimåler, Combimeter type E50 fra ISS Clorius. Ved hjælp af energimåleren måles den tappede energi under hver tapning. Så snart en ønsket energimængde er tappet fra lageret, afbrydes tapningen.

Under hver tapning tappes derfor enten et ønsket vandvolumen, hvis lagertemperaturen er lille, eller en ønsket energimængde, hvis lagertemperaturen er høj. Tappesystemet gør det derfor muligt at simulere varmtvandsforbrug på en realistisk og ensartet måde for de tre anlæg.

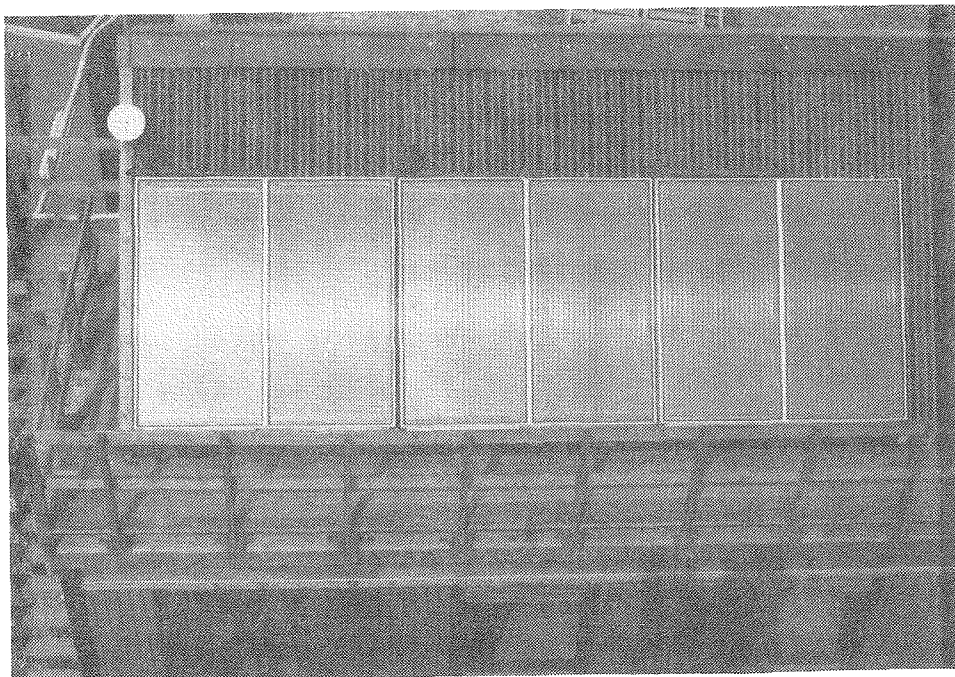
Ombygningen af anlæggene blev foretaget af Arne Skovslund, Haarlev Installationsforretning ApS. Det nødvendige isoleringsarbejde blev udført af P. Møllers Isolering.

Solfangeren/ne for referenceanlægget, anlæg 1 er placeret længst til venstre på taget, solfangeren/ne for anlæg 2, anlægget med de mange mulige driftsstrategier, er placeret i midten, og solfangeren/ne for anlæg 3, det almindelige anlæg med lille volumenstrøm, er placeret længst til højre på taget.

Anlæggene var ombyggede, tappesystemet var indkørt og målesystemet var kontrolleret i midten af april 1988. Forsøgene med solfangerne fra Islev Solvarme ApS startede derfor den 21. april 1988. Den 1. juni 1988 blev anlæggene ændret, så hvert anlæg herefter kun består af ét solfangerelement fra Islev Solvarme ApS.

I perioden den 22. august - 2. september 1988 blev anlæggene ombygget, således at hvert anlæg herefter består af et solfangerelement fra Aidt Miljø ApS. Forsøgene blev afsluttet den 20. november 1988.

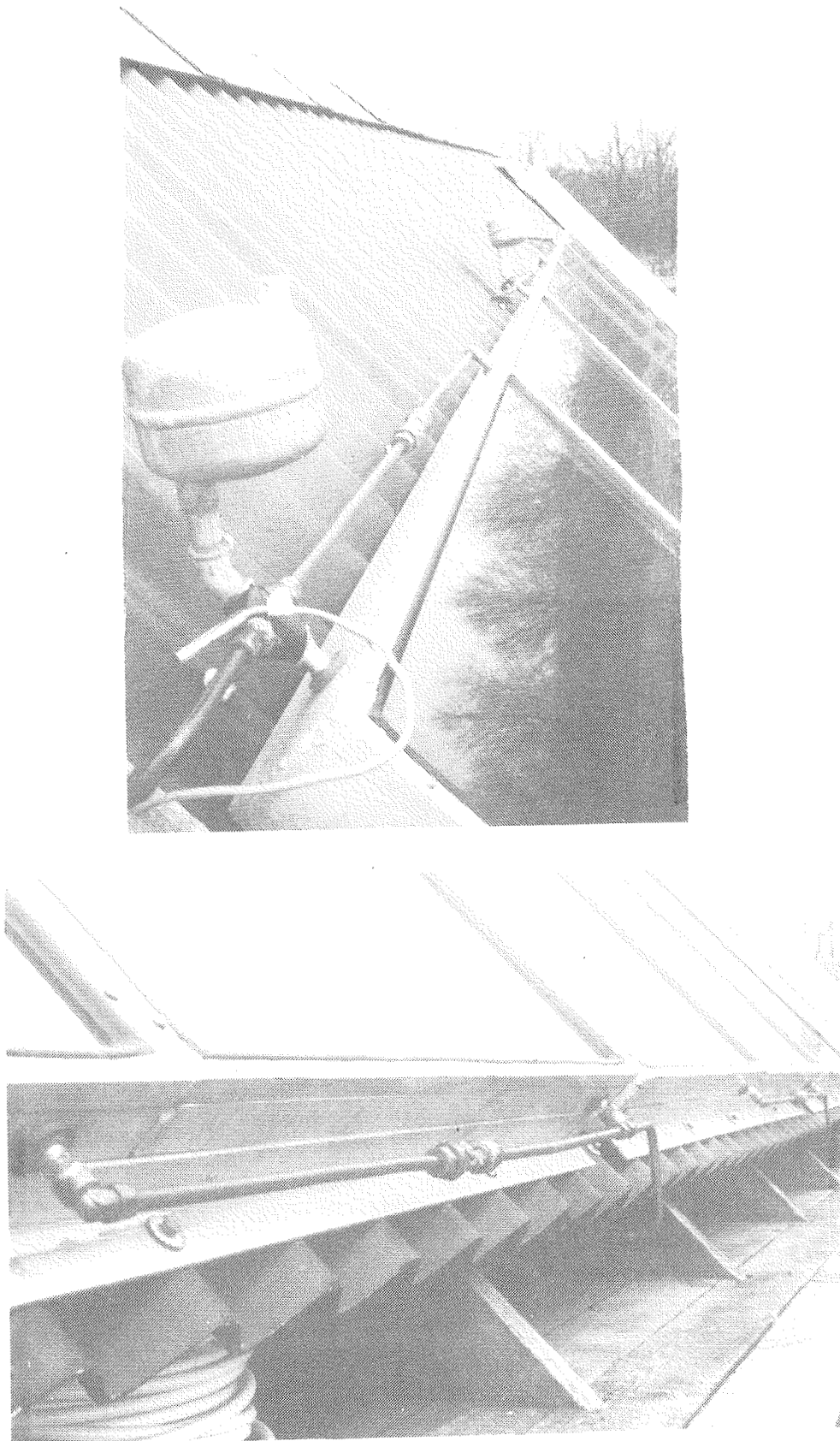
Figur 2-10 viser dele af de tre anlæg.



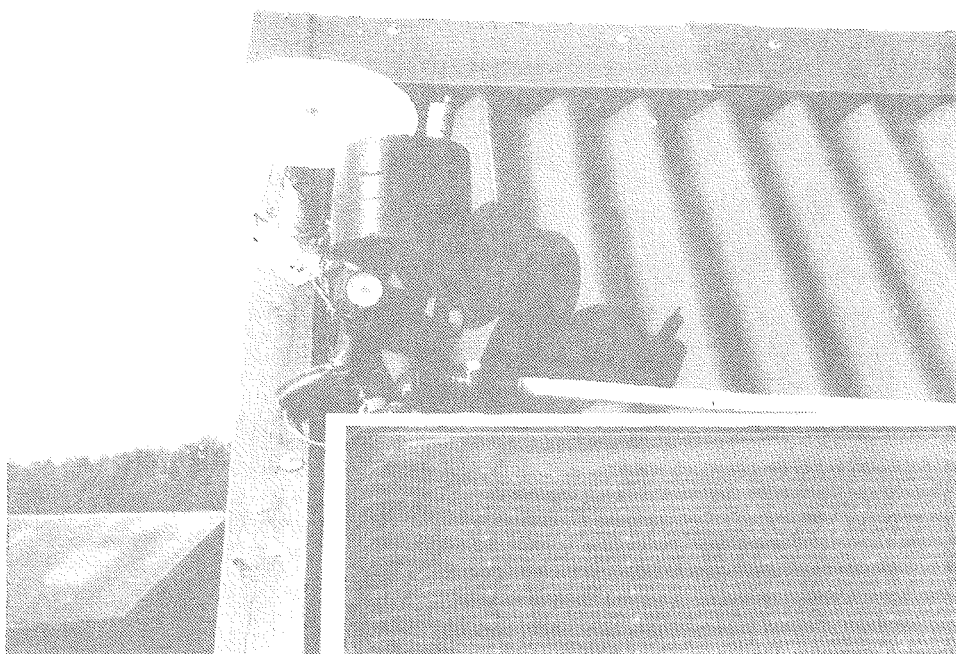
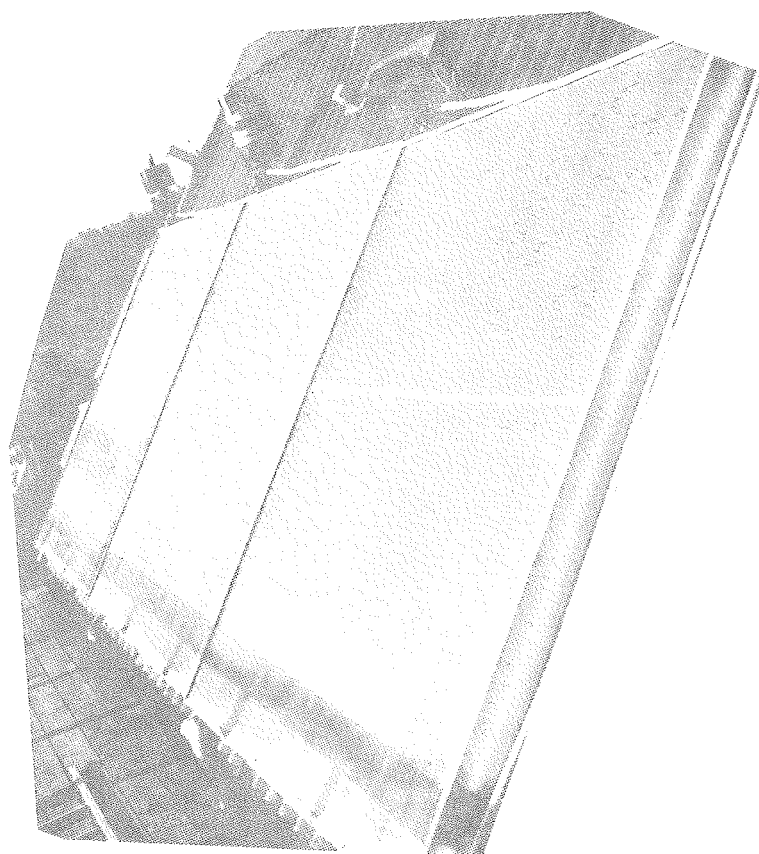
Figur 2. De tre anlægs 6 solfangerelementer fra Islev Solvarme ApS placeret på forsøgshuset. Til venstre referenceanlægget, i midten anlægget med de mange driftsstrategimuligheder og til højre det normale anlæg med lille volumenstrøm.



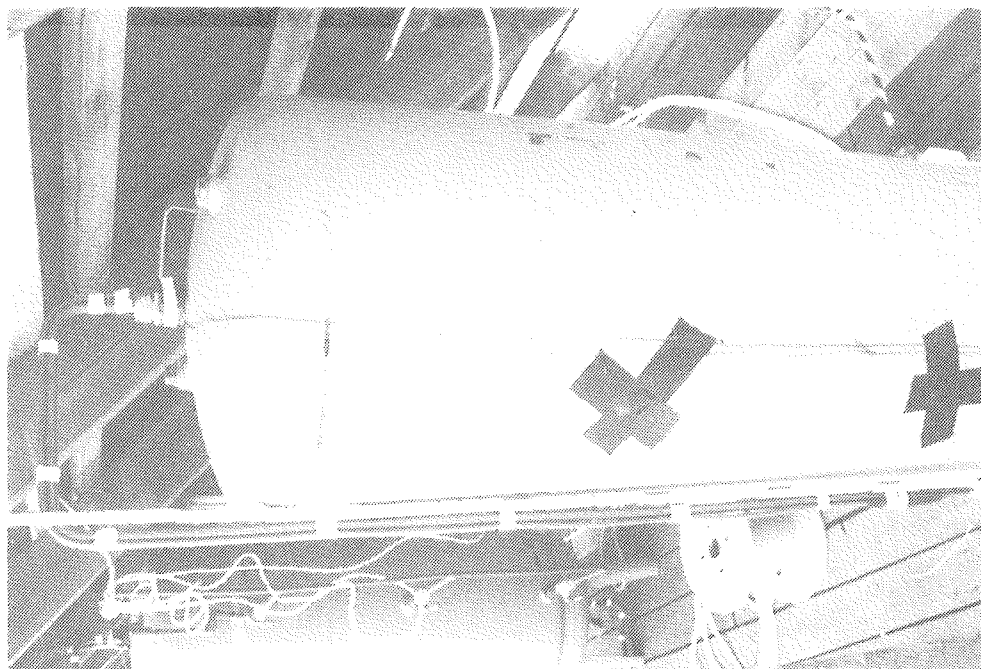
Figur 3. I perioden 1. juni - 18. august består hvert anlæg kun af ét solfangerelement fra Islev Solvarme ApS. Anlæggenes andet solfanger-element er afdækket og afspærret.



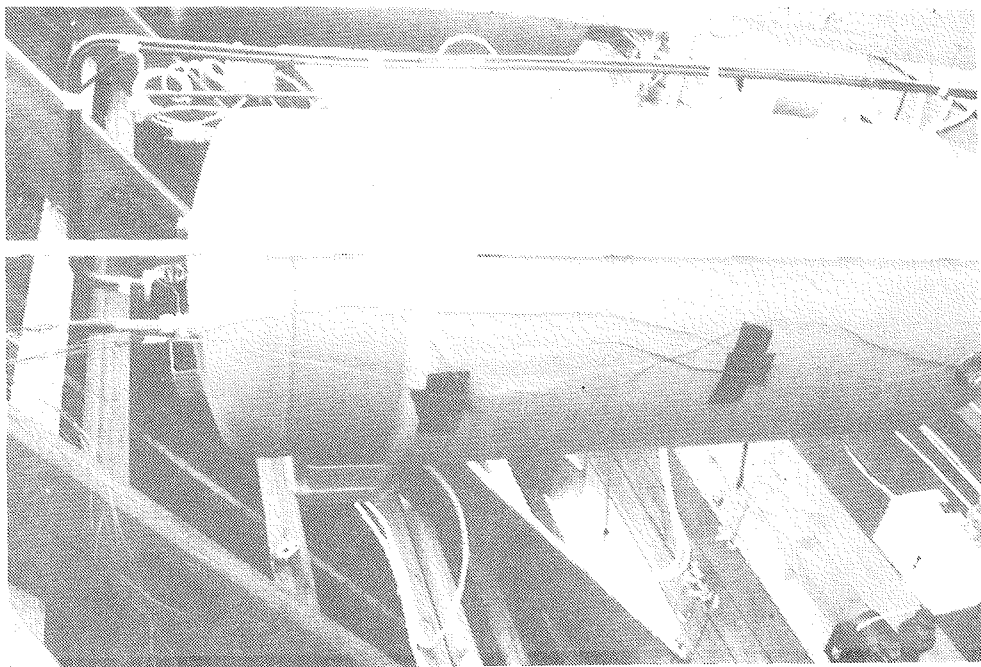
Figur 4. De uisolerede solfangerkredse for anlæg 1 og 2 med de åbne ekspansionsbeholdere og Taco-Settere til kontrol af volumenstrømfordelingen i perioden med solfangerne fra Islev Solvarme ApS.



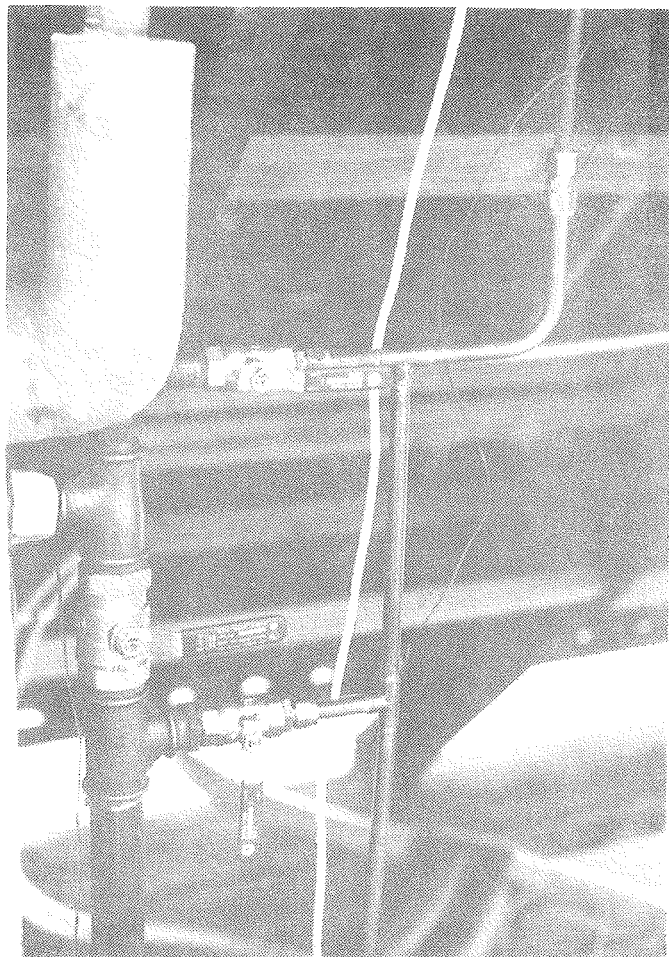
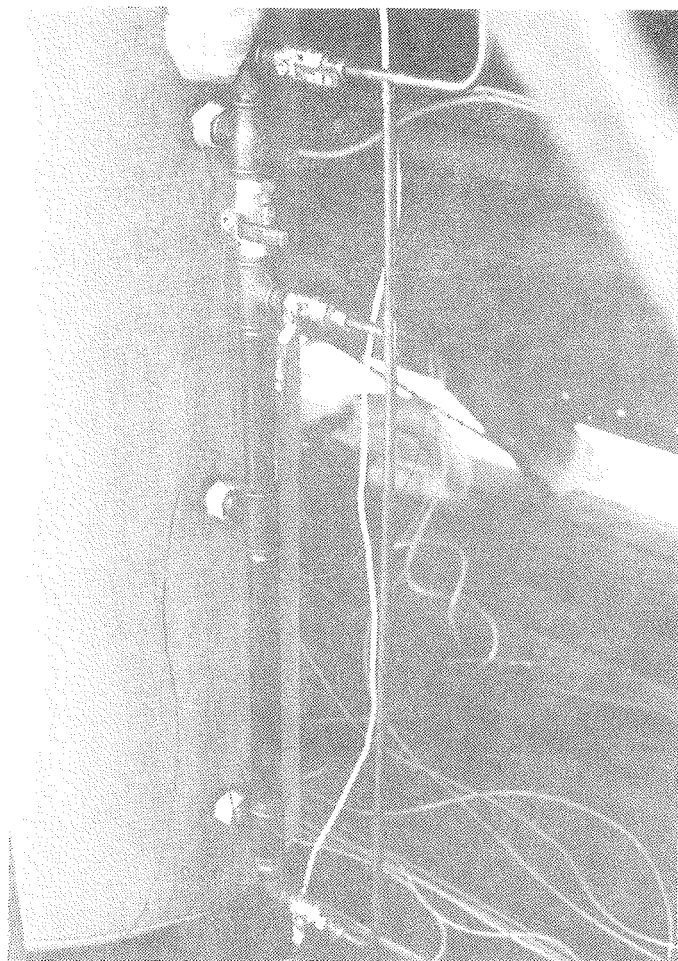
Figur 5. De tre anlægs tre solfangerelementer fra Aidt Miljø ApS foroven og den lukkede solfangerkreds' manometer, sikkerhedsventil og luftudladere for anlæg 1 forneden.



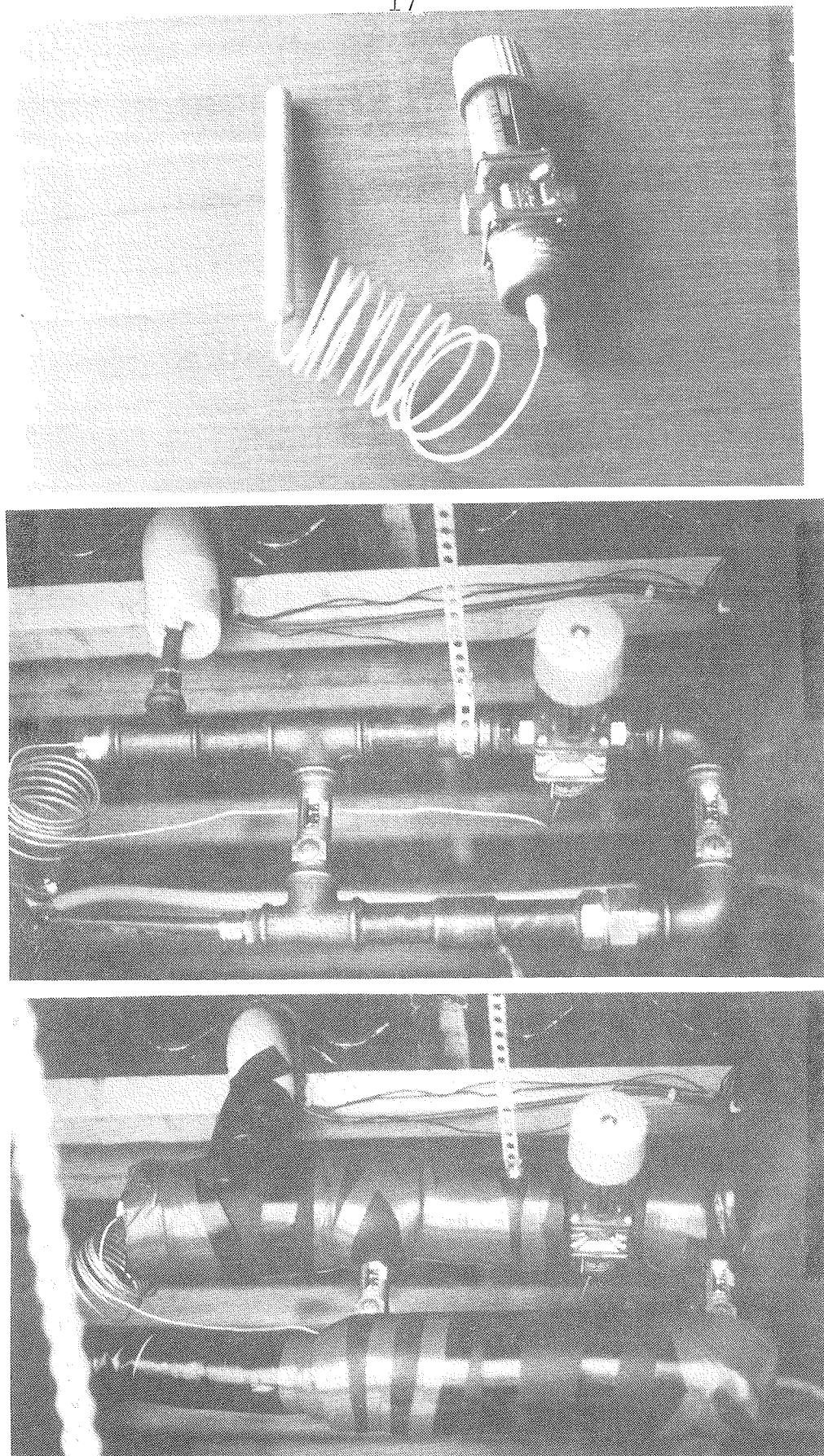
Figur 6. Referenceanlæggets varmtvandsbeholder før isoleringen.



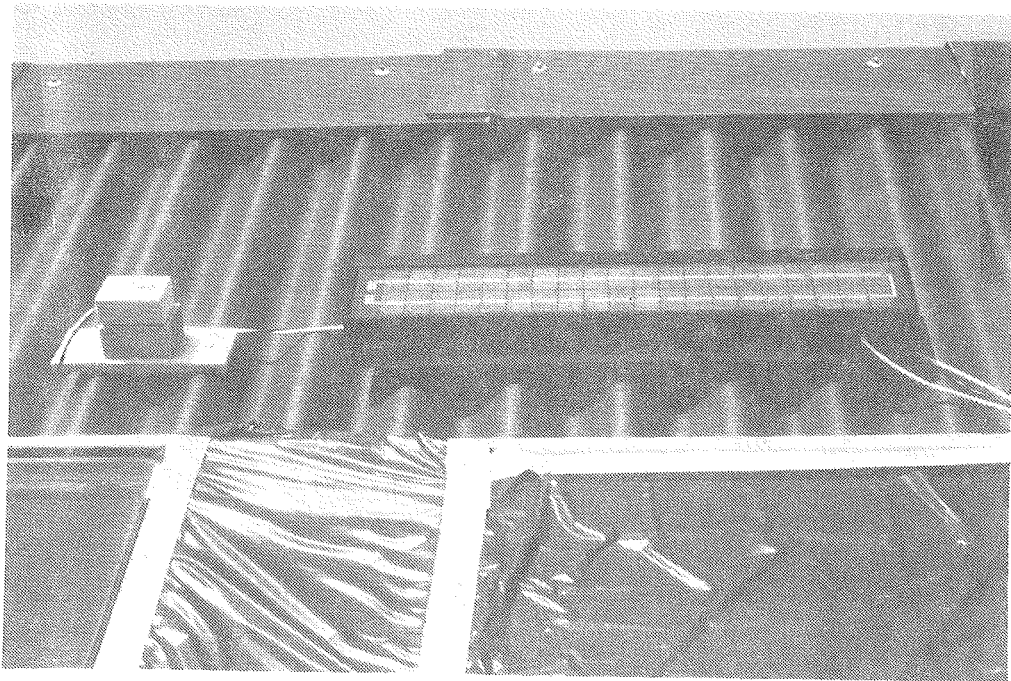
Figur 7. Kappebeholderen for anlæg 3 før isoleringen.



Figur 8. Anlæg 2's manifoldrør og ventiler uisoleret foroven, og isoleret forneden.



Figur 9. AVTA ventil med temperaturføler og ventilens placering i solfangerkredsen for anlæg 2, uden og med isolering.



Figur 10. Solcellepanelet til højre og lysfølerstyresystemet til venstre.

2.2 Målesystem

Ved hjælp af måleudstyret er det muligt detaljeret at følge de tre anlægs drift. Under driften måles hele tiden i hvert anlæg volumenstrømmen i solfangerkredsen og effekten, som overføres fra solfangerkredsen til varmelageret ved hjælp af en kalibreret elektronisk energimåler, Combimeter type E50 fra ISS Clorius. De summerede størrelser af volumenstrømmen og effekttilførslen i form af energimængden registreres også.

Som nævnt i afsnit 2.1 måles den tappede vandmængde og energimængde under hver tapning fra hvert anlæg ved hjælp af én kalibreret elektronisk energimåler, Combimeter type E50 fra ISS Clorius. Desuden måles som kontrolforanstaltning de tappede vandvolumener ved hjælp af tre almindelige vingehjulsmålere.

Varmelagrenes elpatroners energiforbrug måles ved hjælp af timetællere og ved hjælp af effektmålinger fra tid til anden igennem forsøgsperioden.

Cirkulationspumpernes driftstid registreres ved hjælp af timetællere.

Det totale solindfald på solfangerne registreres ved hjælp af et solarimeter, og udelufttemperaturen registreres ved hjælp af et termoelement igennem hele forsøgsperioden.

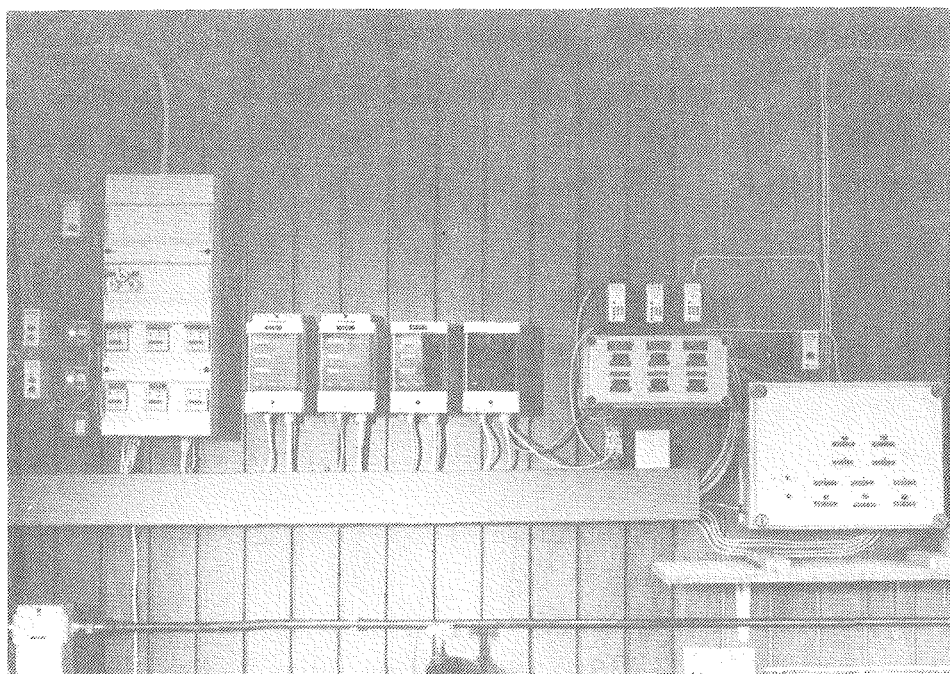
De vigtigste anlægstemperaturer måles ved hjælp af termoelementer igennem hele forsøgsperioden. Temperaturerne følges i forskellige niveauer i varmtvandsbeholderne, og temperaturerne i solfangerkredsen før og efter solfangeren registreres også. Desuden måles temperaturerne i de tre indløbsstudse til kappen i anlæg 2. Herved kan det kontrolleres om manifoldrøret virker som påtænkt.

Før forsøgsperioden startede blev energimålerne og volumenstrømmålerne kalibreret, og igennem forsøgene blev varmelagrenes varmebalance fra tid til anden kontrolleret.

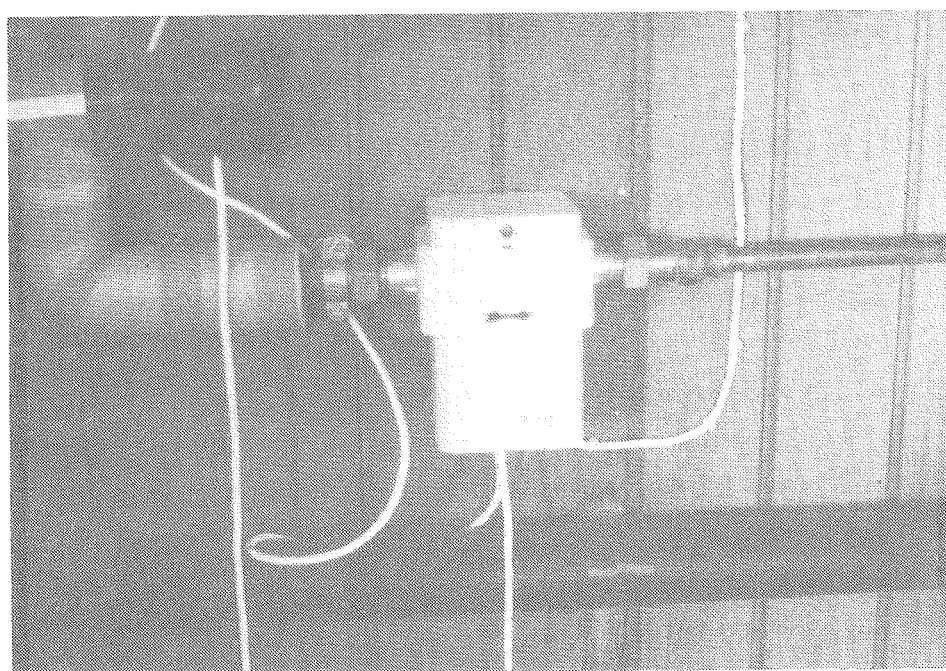
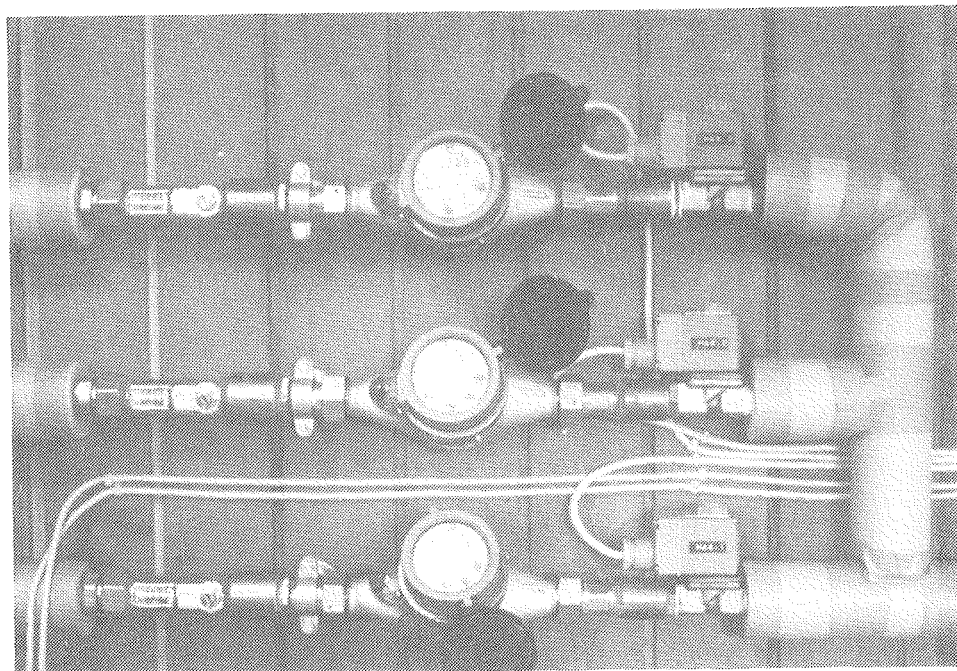
Alle øjebliksmålingerne opsamles af en 30-kanal skriver. Det er derfor både nemt at indstille volumenstrømmen i solfangerkredsen, som man ønsker, og nemt at studere hvert enkelt anlægs virkemåde.

De summerede volumenmængder og energimængder aflæses manuelt én gang dagligt.

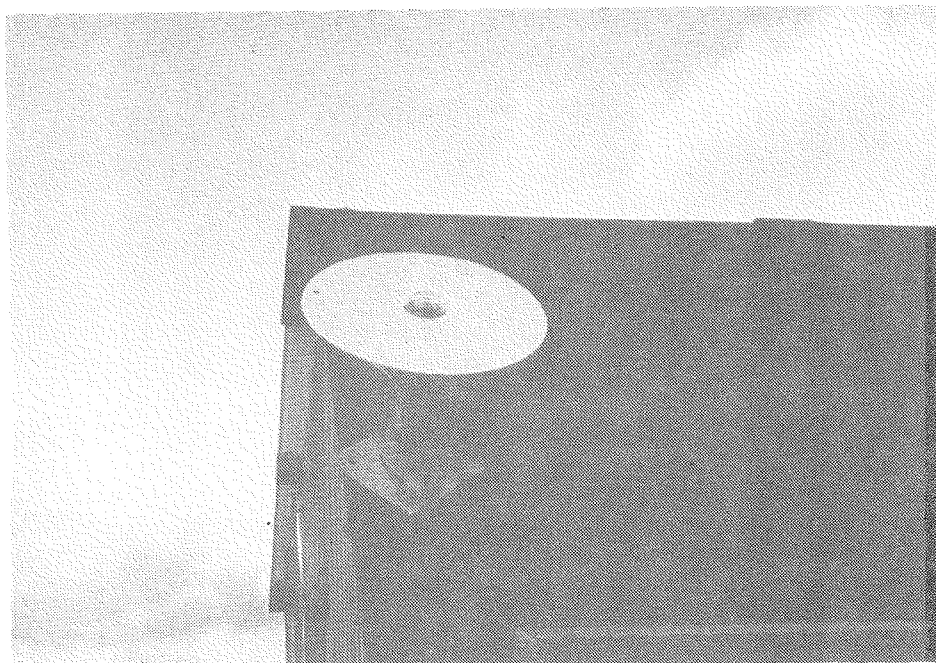
Figur 11-13 viser dele af måle- og kontrolsystemet.



Figur 11. Kontrol- og målesystem med fra venstre mod højre:
Timetællere for elpatroner og pumper, kWh-målere for solfangerkredsene og for varmtvandstapningerne, automatiske og manuelle styringspaneler for varmtvandstapningen.



Figur 12. Magnetventiler, volumenstrømmålere og Taco-Settere for varmtvandsstapning for hver af de tre anlæg, og nederst det fælles benyttede Combimeter, som måler energien tappet fra hvert anlæg.



Figur 13. Solarimeteret til registrering af solindfald. Solarimeteret måler solindfaldet vinkelret på solfangerne.

2.3 Prøvebetingelser

De tre anlæg blev afprøvet under de samme betingelser: Solindfaldet på solfangerne og varmtvandsforbruget er det samme for alle anlæggene. Et antal gange pr. dag tappes 50 l varmt vand fra hvert varmelager. Ved at tappe en så stor vandmængde få gange pr. dag i stedet for at tappe mindre vandmængder flere gange dagligt, reduceres måle- unøjagtigheden til et minimum. Tapningerne foretages på samme tidspunkt (inden for $\frac{1}{2}$ time) for alle tre anlæg, og koldtvandstemperaturen er den samme. Koldtvandstemperaturen varierede igennem afprøvningsperioden, som det fremgår af figur 14.

Hvis varmtvandstemperaturen er lavere end 50°C, tappes 50 l fra lageret. Hvis varmtvandstemperaturen er højere end 50°C, tappes en energimængde svarende til 50 l vand ved 50°C. Dette svarer til en realistisk tapning, hvor koldt vand opblandes med varmt vand, hvis tappetemperaturen er for høj.



Figur 14. Koldtvandstemperaturen igennem afprøvningen.

Det daglige varmtvandsforbrug er i de fleste perioder fastsat til 200 l. I nogle perioder er det daglige varmtvandsforbrug 150 l, og i enkelte perioder er det daglige varmtvandsforbrug 300 l.

Når varmtvandsforbruget er 150 l/dag, startes tapningerne kl. 8⁰⁰, kl. 12⁰⁰ og kl. 18⁰⁰. Er varmtvandsforbruget 200 l/dag, suppleres med en tapning kl. 20⁰⁰, og i perioder med et varmtvandsforbrug på 300 l/dag, suppleres med yderligere to tapninger henholdsvis kl. 7⁰⁰ og kl. 21⁰⁰.

I perioder, hvor varmelagrenes elpatroner er i drift, tilfører elpatronen varme til lageret, hvis temperaturen i toppen af varmelageret er mindre end 50°C.

Der blev gennemført en række forsøg med forskellige driftsstrategier for hvert enkelt anlæg. Igennem hvert forsøg, som typisk har en varighed på 4-7 dage, blev driftsstrategien for hvert enkelt anlæg fastholdt. Før hver prøveperiode blev alle varmelagrene helt tømt for varme ved at 250 l blev tappet fra hver varmtvandsbeholder. Herved sikres ensartede startbetingelser for de tre anlæg. Ydelsen for anlæggene bliver naturligvis herved lavere end under normal drift, men sammenligningen mellem ydelserne for de tre anlæg bliver mere retfærdig.

2.4 Måleresultater

Det benyttede solfangerelement fra Islev Solvarme ApS er effektivitetsprøvet indendørs i Laboratoriets solsimulator, se [1] og afsnit 3.1.

Det benyttede solfangerelement fra Aidt Miljø ApS er for stort til at det kan afprøves i solsimulatoren. Derfor er et mindre solfangerelement, som ellers er udformet ligesom det benyttede solfangerelement, afprøvet i solsimulatoren. Forsøgsresultaterne er omtalt i [4] og i afsnit 3.1.

Der blev gennemført målinger i en række perioder med forskellige driftsstrategier for de enkelte anlæg.

Prøvningsbetingelserne og de målte anlægsydelser i forsøgsperioderne fremgår af tabellerne 1-4.

Tabel 1 viser resultaterne for perioder med differens-termostatstyring og normal driftsstrategi for anlæg 2 og volumenstrømme mellem 0,1 l/min m² og 0,2 l/min m² i anlæg 2 og 3. I disse perioder føres solfangervæsken i anlæg 2 altså til kappen gennem den øverste studs. Det er muligt direkte at sammenligne ydelsen for de tre anlæg i hver forsøgsperiode ved at studere den i tabellen angivne relative ydelse, som er forholdet mellem nettoydelsen for solvarmeanlægget og nettoydelsen for referenceanlægget, anlæg 1.

Der er ikke taget hensyn til pumpeenergien for anlæggene. Pumperne, som er installeret i solfangerkredsene, er uisolerede. De forårsager derfor et forøget varmetab i solfangerkredsen. Dette forøgede varmetab formodes at balancere med den tilførte pumpeenergi.

I en række af perioderne blev der benyttet samme volumenstrøm i anlæg 2 og i anlæg 3. Som det ses af tabellen er ydelsen for anlæg 2 og 3 ens i disse perioder, både i perioder med og uden elpatrondrift. Desuden var de målte lagertemperaturer og temperaturerne i solfangerkredsen

Anlæg 1 - Referenceanlæg						Anlæg 2						Anlæg 3									
Periode	Solfanger og solfangerareal, m²	Elpatron i drift?	Varmtvandsforbrug l/dag, kWh	Volumenstrøm l/min m² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energi tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)	Styresystem	AVTA ventil i funktion?	Manifoldrør i funktion?	Volumenstrøm l/min m² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energi tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)	Volumenstrøm l/min m² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energi tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)
21/4 15° 2/5 16°	Islev 3,9	nej	150 66,0	0,50	89	0	58,8	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,15	86	0	60,0	1,02	0,15	80	0	59,8	1,02
2/5 17° 7/5 13°	Islev 3,9	nej	200 46,0	0,54	45	0	25,6	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,17	41	0	28,9	1,13	0,17	38	0	28,6	1,12
1/6 11° 8/6 14°	Islev 1,9	ja	200 57,1	0,97	71	39,9	57,1	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,18	73	37,5	57,1	1,14	0,17	72	37,5	57,1	1,14
4/7 16° 9/7 15°	Islev 1,9	ja	200 ¹⁾ 35,6	0,91	40	19,6	35,6	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	48	15,6	35,6	1,25
5/8 11° 9/8 15°	Islev 1,9	ja	200 30,2	0,84	50	16,9	30,2	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	49	14,1	30,2	1,21
3/9 19° 8/9 10°	Aidt 4,0	ja	200 32,5	0,48	35	15,5	32,5	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,18	37	12,3	32,5	1,19	0,15	43	12,4	32,5	1,18
12/9 11° 16/9 10°	Aidt 4,0	ja	200 29,3	0,48	25	22,5	29,3	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,17	27	20,3	29,3	1,32	0,24	24	20,9	29,3	1,24
16/9 11° 22/9 10°	Aidt 4,0	ja	200 44,0	0,48	40	27,9	44,0	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,18	39	23,5	44,0	1,27	0,10	38	23,0	44,0	1,31
3/11 10° 10/11 9°	Aidt 4,0	nej	150 45,8	0,42	32	0	13,5	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,06	42	0	14,2	1,05	0,12	31	0	16,2	1,20
10/11 10° 17/11 9°	Aidt 4,0	nej	150 45,8	0,39	24	0	4,5	1,00	differe- ntermostat	nej	nej	0,22	18	0	4,7	1,04	0,11	15	0	4,7	1,05

*) Relativ ydelse: Nettoydelse for solvarmeanlægget/Nettoydelse for referenceanlægget.

1) Tæpetidspunkterne: kl. 20°, kl. 21°, kl. 22° og kl. 23°.

Tabel 1. Måleresultater for perioder med differensstermostatstyring og normal driftstrategi for anlæg 2 og volumenstrømme mellem 0,1 l/min m² og 0,2 l/min m² i anlæg 2 og 3.

Anlæg 1 - Referenceanlæg					Anlæg 2							Anlæg 3				
Periode	Solfanger og solfangerareal, m ²	Elpatron i drift?	Varmtvandsforbrug l/dag, kWh	Volumenstrøm l/min m ² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energil tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)	Styresystem	AVTA Ventil i funktion?	Manifoldrør i funktion?	Volumenstrøm l/min m ² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energil tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)
7/5 14 ⁰⁰	Islev	nej	300	0,55	61	0	81,3	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,26	56	0	84,3	1,04
13/5 14 ⁰⁰	3,9		85,1													
18/5 9 ⁰⁰	Islev	nej	200	0,54	65	0	38,1	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,31	52	0	42,2	1,11
24/5 21 ⁰⁰	3,9		55,8													
25/5 11 ⁰⁰	Islev	ja	200	0,56	59	0,7	57,8	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,32	52	0,4	57,8	1,01
1/6 9 ⁰⁰	3,9		57,8													
8/6 15 ⁰⁰	Islev	ja	200	0,93	69	13,2	46,9	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,50	62	9,1	46,9	1,12
14/6 14 ⁰⁰	1,9		46,9													
14/6 15 ⁰⁰	Islev	ja	200	0,94	42	6,5	31,2	1,00	differens-termostat	nej	nej	1,06	38	4,9	31,2	1,06
18/6 14 ⁰⁰	1,9		31,2													
9/7 16 ⁰⁰	Islev	ja	200	0,85	54	18,0	35,6	1,00	differens-termostat	nej	nej	1,29	39	15,9	35,6	1,12
14/7 15 ⁰⁰	1,9		35,6													
8/9 11 ⁰⁰	Aidt	ja	200	0,49	24	10,7	29,3	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,18	26	7,9	29,3	1,15
12/9 10 ⁰⁰	4,0		29,3													
8/10 15 ⁰⁰	Aidt	nej	150	0,49	23	0	12,8	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,08	25	0	14,1	1,10
18/10 9 ⁰⁰	4,0		56,6													
18/10 10 ⁰⁰	Aidt	nej	150	0,45	40	0	12,8	1,00	differens-termostat	nej	nej	0,07	53	0	14,5	1,13
27/10 9 ⁰⁰	4,0		52,7													

*) Relativ ydelse: Nettoydelse for solvarmeanlægget/Nettoydelse for referenceanlægget.

Tabel 2. Måleresultater for perioder med differenstermostatstyring og normal driftsstrategi for anlæg 2 og volumenstrømme større end 0,2 l/min m² enten i anlæg 2 eller 3.

Anlæg 1 - Referenceanlæg					Anlæg 2							Anlæg 3				
Periode	Solfanger og solfangerareal, m²	Elpatron i drift?	Varmtvandsforbrug l/dag, kWh	Volumenstrøm l/min m² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energi tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)	Styresystem	AVTA ventil i funktion?	Manifoldrør i funktion?	Volumenstrøm l/min m² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energi tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *)
18/6 15 ⁰⁰ 22/6 10 ⁰⁰	Islev 1,9	Ja	200 27,8	0,91	42	9,4	27,8	1,00	differens-termostat	nej	Ja	0,12	45	7,6	27,8	1,10
22/6 11 ⁰⁰ 27/6 11 ⁰⁰	Islev 1,9	Ja	200 36,7	0,82	54	23,7	36,7	1,00	differens-termostat	nej	Ja	0,12	66	21,9	36,7	1,14
22/7 17 ⁰⁰ 26/7 14 ⁰⁰	Islev 1,9	Ja	200 28,3	0,78	47	19,1	28,3	1,00	differens-termostat	nej	Ja	1)	40	19,3	28,3	0,98
22/9 11 ⁰⁰ 30/9 19 ⁰⁰	Aidt 4,0	Ja	200 62,3	0,48	45	57,3	62,3	1,00	differens-termostat	nej	Ja	0,09	56	53,7	62,3	1,72
27/10 10 ⁰⁰ 3/11 9 ⁰⁰	Aidt 4,0	nej	150 41,0	0,44	32	0	10,7	1,00	differens-termostat	nej	Ja	0,13	34	0	12,1	1,13
													31	0	12,7	1,19

*) Relativ ydelse: Nettoydelse for solvarmeanlægget/Nettoyedelse for referenceanlægget.

1) Volumenstrøm ændret mange gange under forsøget for at undersøge ved hvilke volumenstrømme manifoldrøret fungerer.

Tabel 3. Måleresultater for perioder med differenstermostatstyring og manifoldrør i funktion for anlæg 2.

Anlæg 1 - Referenceanlæg					Anlæg 2							Anlæg 3				
Periode	Solfanger og solfangerareal, m ²	Elpatron i drift?	Varmtvandsforbrug l/dag, kWh	Volumenstrøm l/min m ² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energí tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *	Styresystem	AVTA ventil i funktion?	Manifoldrør i funktion?	Volumenstrøm l/min m ² solfanger	Drifttid for pumpe, h	Elpatronens energiforbrug, kWh	Energí tappet fra lager, kWh	Relativ ydelse *
30/7 14 ⁰⁰ 5/8 10 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 40,9	0,83	60	23,5	40,9	1,00	differens-termostat	ja	nej	varie-rende	67	19,3	40,9	1,24
9/8 16 ⁰⁰ 15/8 13 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 42,6	0,80	68	22,3	42,6	1,00	differens-termostat	ja	nej	varie-rende	64	19,2	42,6	1,15
15/8 14 ⁰⁰ 18/8 14 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 22,0	0,83	34	13,0	22,0	1,00	differens-termostat	ja	nej	varie-rende	34	11,0	22,0	1,22
18/8 15 ⁰⁰ 22/8 7 ⁰⁰	Islev 3,9	ja	200 26,0	0,45	33	13,0	26,0	1,00	differens-termostat	ja	nej	varie-rende	34	9,4	26,0	1,28
27/6 16 ⁰⁰ 1/7 15 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 29,4	0,86	43	13,0	29,4	1,00	lysføler-styring 100 W/m ²	nej	ja	0,25	44	10,3	29,4	1,17
1/7 16 ⁰⁰ 4/7 15 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 21,4	0,85	31	13,8	21,4	1,00	lysføler-styring 100 W/m ²	nej	nej	0,18	35	11,4	21,4	1,31
14/7 16 ⁰⁰ 18/7 16 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 28,5	0,88	49	15,5	28,5	1,00	pumpe altid i drift	nej	nej	0,20	96	13,5	28,5	1,15
18/7 17 ⁰⁰ 22/7 16 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 28,4	0,77	43	20,1	28,4	1,00	pumpe altid i drift	nej	ja	0,13	95	19,1	28,4	1,12
26/7 15 ⁰⁰ 30/7 13 ⁰⁰	Islev 1,9	ja	200 28,4	0,84	43	17,1	28,4	1,00	solcelle- ²⁾ panel/24 V pumper	nej	nej	varie-rende	-	-	-	-
30/9 19 ³⁰ 7/10 9 ⁰⁰	Aldt 4,0	ja	200 47,7	0,48	38	31,3	47,7	1,00	pumpe altid i drift	nej	ja	0,08	157	31,8	47,7	0,97
17/11 10 ⁰⁰ 20/11 10 ⁰⁰	Aldt 4,0	nej	150 19,6	0,39	9	0	1,8	1,00	lysføler-styring 100 W/m ²	nej	nej	0,11	9	0	2,1	1,15

*) Relativ ydelse: Nettoydelse for solvarmeanlægget/Nettoyedelse for referenceanlægget.

1) Fremløbsrør fra lager til solfanger uisolaret. 2) En del af perioden benyttet til indstilling af AVTA ventilen.
Tabel 4. Måleresultater for perioder med AVTA ventilen i funktion eller perioder med andre styringer end differens-termostatstyringen for anlæg 2.

ens for de to anlæg. Altså er det ved disse forsøg kontrolleret, at anlæg 2 og 3 virker ens, når manifoldrøret og AVTA ventilen ikke er i funktion for anlæg 2, og når der benyttes differenstermostatstyring for anlæg 2.

Tabel 2 viser resultaterne for perioder med differenstermostatstyring og normal driftsstrategi for anlæg 2, altså for perioder hvor anlæg 2 og 3 er ens. Dog er volumenstrømmen i disse perioder enten i anlæg 2 eller i anlæg 3 større end $0,2 \text{ l/min m}^2$. Ved hjælp af disse forsøg klarlægges det, hvilken indflydelse volumenstrømmen i kappebeholderanlægget har på anlægsydelsen.

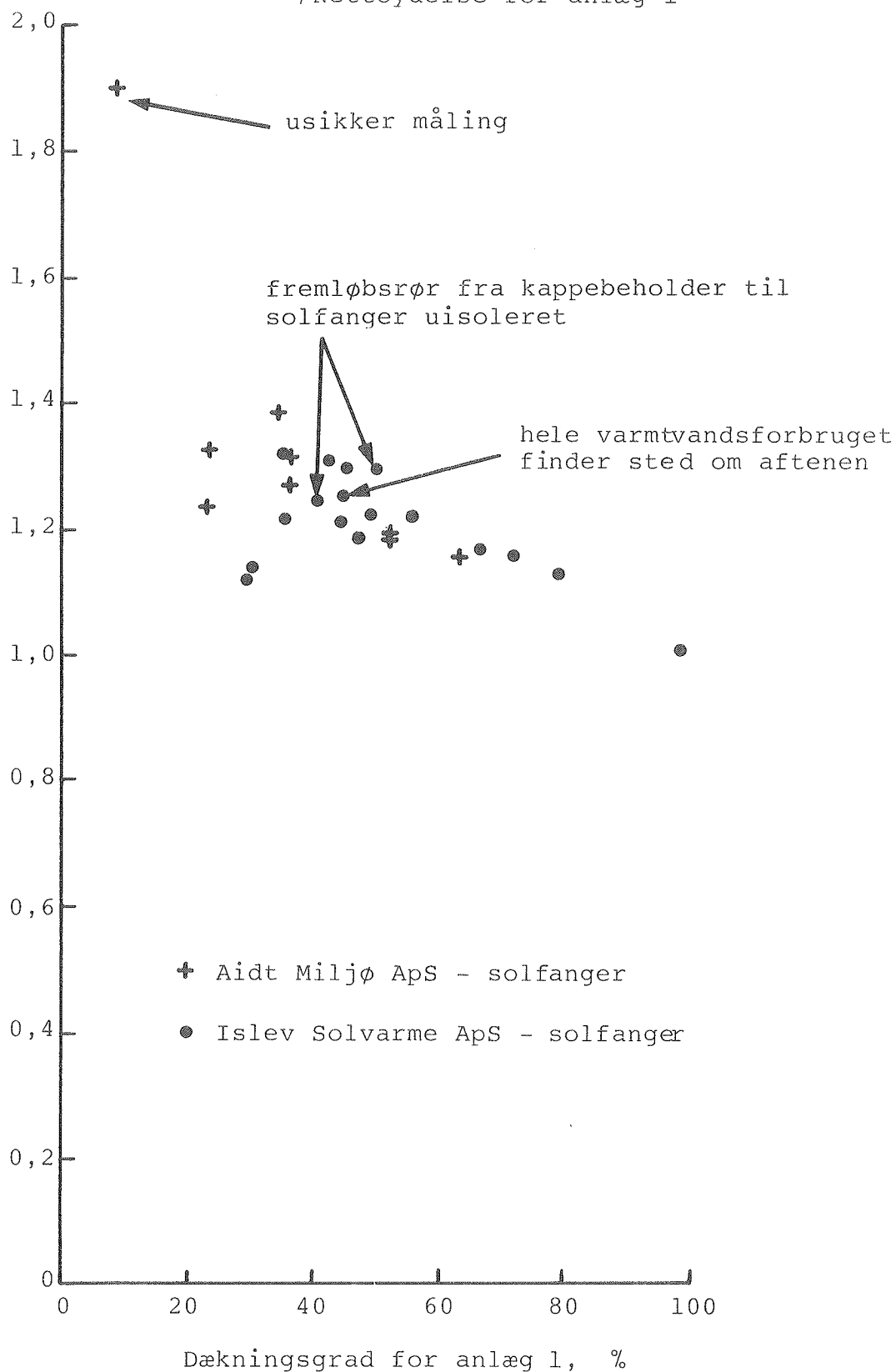
Tabel 3 viser resultaterne for perioder med differenstermostatstyring og manifoldrøret i funktion for anlæg 2, og tabel 4 viser resultaterne for perioder med AVTA ventilen i funktion eller perioder med andre styringer end differenstermostatstyringen for anlæg 2.

For at skabe et overblik over måleresultaterne er de relative ydelser for kappebeholderanlægget, altså anlæg 2 og 3, vist på figur 15-20.

Figur 15 viser resultaterne fra tabel 1, 2, 3 og 4 med elpatrondrift, med differenstermostatstyring, med solfangervæsken tilført toppen af kappen og uden AVTA ventilen i funktion for volumenstrømme i anlæg 2 og 3 mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ og $0,2 \text{ l/min m}^2$.

Det ses, at merydelsen for kappebeholderanlægget i forhold til referenceanlægget er stærkt afhængig af dækningsgraden for referenceanlægget. Jo mindre dækningsgraden er, des større er merydelsen. Ved 100% dækningsgrad for referenceanlægget vil dækningsgraden for kappebeholderanlægget også blive 100%, hvorfor den relative ydelse for kappebeholderanlægget bliver lig med 1,00. Er dækningsgraden for referenceanlægget ca. 70%, yder kappebeholderanlægget ca. 15% mere end referenceanlægget, og er dækningsgraden for referenceanlægget ca. 45% yder kappebeholderanlægget ca. 25% mere end referenceanlægget.

Relativ ydelse = Nettoydelse for anlæg 2 og 3
/ Nettoydelse for anlæg 1



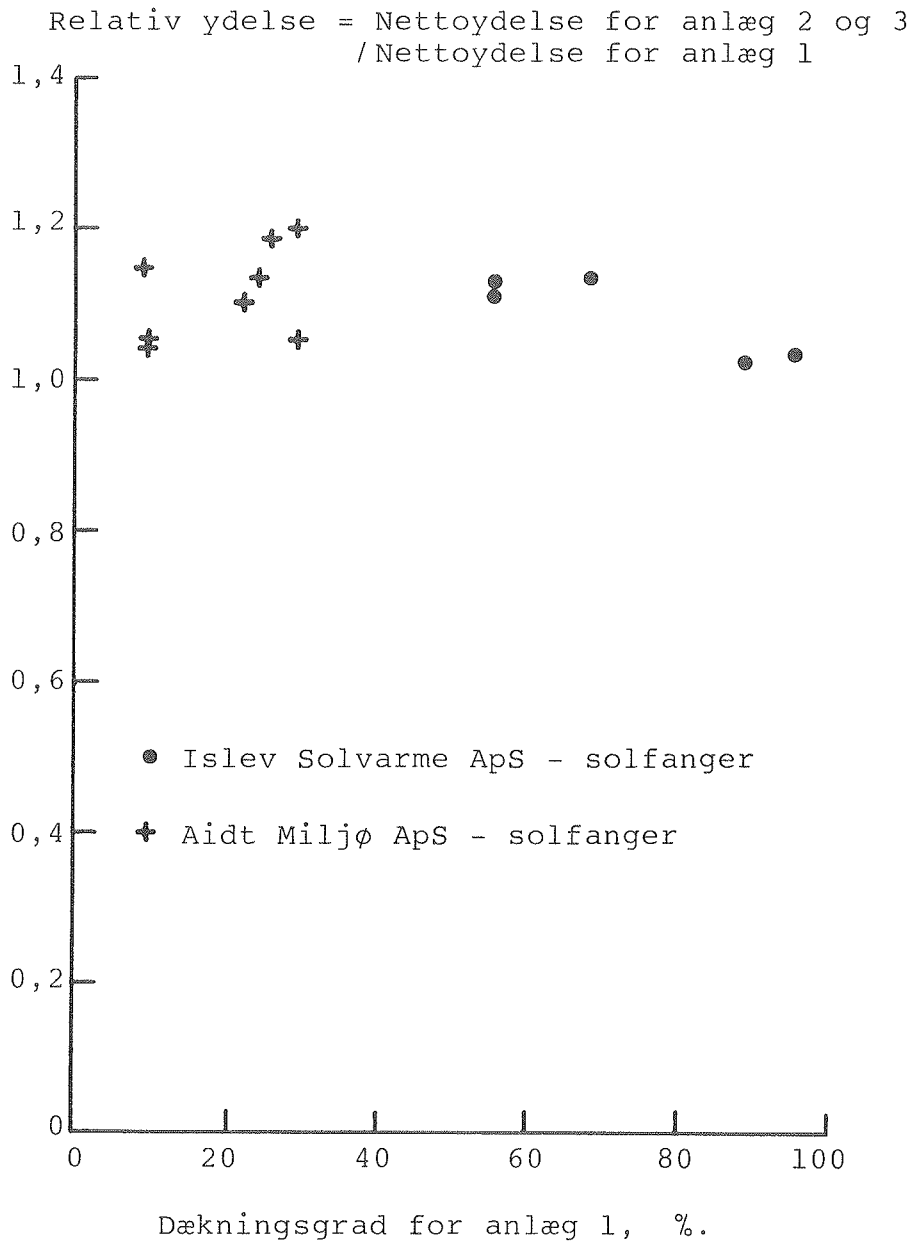
Figur 15. Relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder med elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med indløb i toppen af kappen for anlæg 2 og med konstant volumenstrøm for anlæg 2 og 3 mellem 0,1 l/min m² og 0,2 l/min m².

Solfangertypen har tilsyneladende ingen nævneværdig indflydelse på størrelsen af merydelsen, idet resultaterne fra perioder med solfangeren med den store varmekapacitet og den relativ store varmetabskoefficient ikke udskiller sig væsentligt fra resultaterne fra perioder med solfangeren med den relativ lille varmekapacitet og den lille varmetabskoefficient. Resultaterne tyder altså på, at den ydelsesmæssige fordel, som er knyttet til en effektiv solfanger, er den samme i et kappebeholderanlæg med lille volumenstrøm som i et "traditionelt" anlæg.

I en enkelt periode er hele varmtvandsforbrugsmønstret ændret, så hele forbruget finder sted om aftenen. Af figuren ses, at forbrugsmønstret ingen indflydelse har på merydelsens størrelse.

I to perioder er isoleringen af fremløbsrøret fra kappebeholderen til solfangeren fjernet. Det ses, at isoleringen af dette rør ingen indflydelse har på anlæggets ydelse. Dette skyldes, at fremløbstemperaturen til solfangeren i anlægget med kappebeholderen og lille volumenstrøm under typiske perioder med normalt varmtvandsforbrug er lav, ofte lavere end udelufttemperaturen. Kun i særdeles solrigt vejr bliver denne temperatur højere end 40°C , hvis varmtvandsforbruget er "normalt", og disse højere temperaturer nås først, når varmelageret er helt opladet. Ved at undlade at isolere fremløbsrøret til solfangeren kan man altså uden at reducere anlægsydelsen billiggøre anlægget og samtidig reducere risikoen for, at der opstår kogning i solfangeren i solrige perioder uden varmtvandsforbrug. I afsnit 2.6 er de gennemførte undersøgelser vedrørende kogningsrisiko omtalt.

Figur 16 viser resultaterne fra tabel 1, 2 og 3 uden elpatrondrift, med differenstermostatstyring, med solfanger-væsken tilført toppen af kappen og uden AVTA ventilen i funktion for volumenstrømme i anlæg 2 og 3 mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ og $0,2 \text{ l/min m}^2$.



Figur 16. Relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder uden elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med indløb i toppen af kappen for anlæg 2 og med konstant volumenstrøm for anlæg 2 og 3 mellem 0,1 l/min m² og 0,2 l/min m².

Årsagen til den store forskel mellem dækningsgraderne for perioderne med solfangeren fra Islev Solvarme ApS og for perioderne med solfangere fra Aidt Miljø ApS er først og fremmest forskelle i vejret.

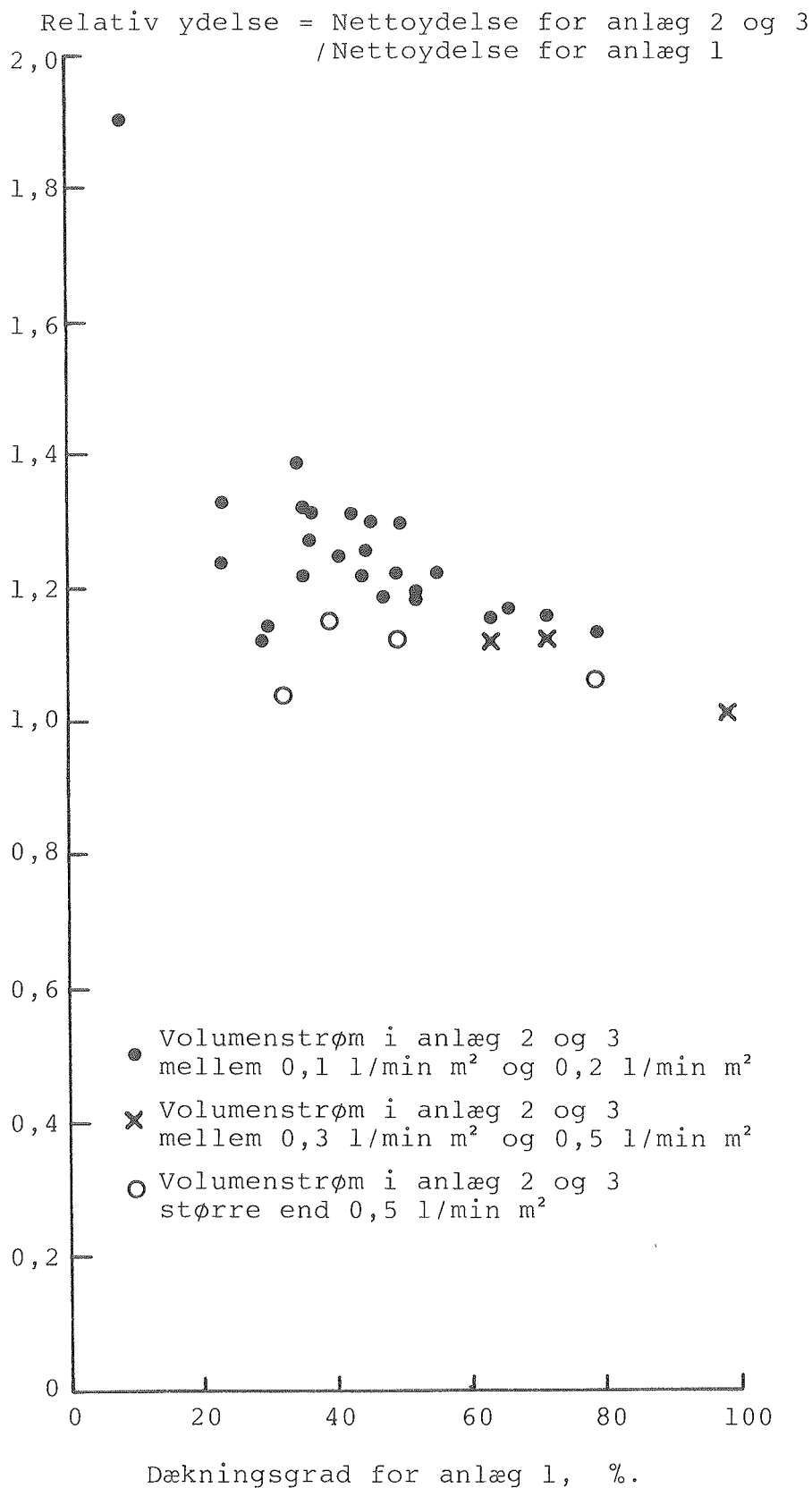
Forsøgene med solfangeren fra Islev Solvarme APS fandt sted i en særdeles solrig periode fra 21/4-88 til 24/5-88. For eksempel var dækningsgraden for anlægget med kappebeholderen og lille volumenstrøm i perioden 7/5-88 til 13/5-88 så høj som 99%, selv om det daglige varmtvandsforbrug var 300 l/dag - som er et urealistisk stort forbrug for et solvarmeanlæg med 3,9 m² solfangerareal og en 200 l lagertank. Det solrige vejr i april og maj resulterede i høje dækningsgrader og små forskelle mellem anlægsydelse for de tre anlæg. Derfor blev det, som tidligere omtalt, besluttet fra juni at reducere solfangerarealet til 1,9 m² pr. anlæg.

Forsøgene med solfangeren fra Aidt Miljø ApS fandt derimod sted i en solfattig del af året, fra 8/10-88 til 20/11-88.

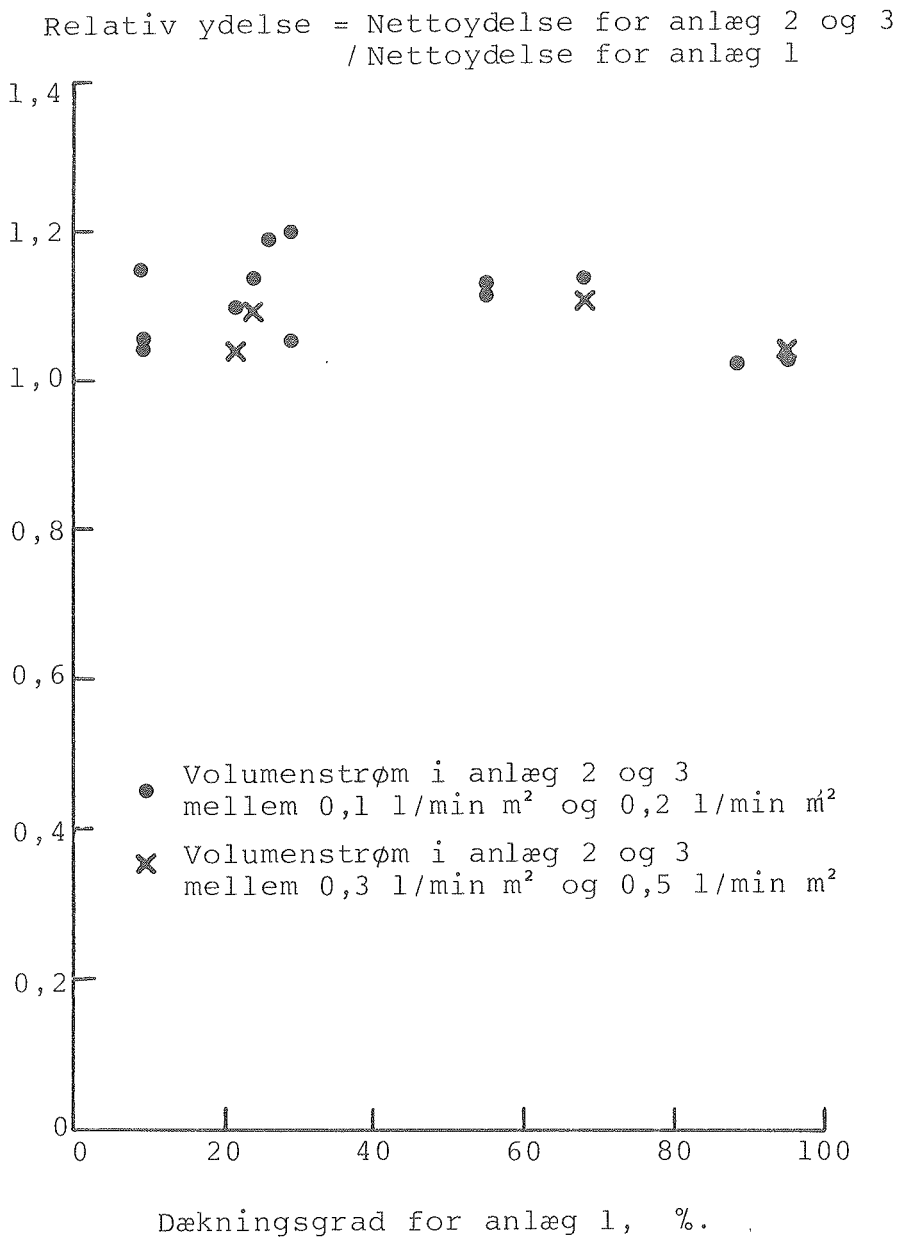
Så længe dækningsgraderne er relativt høje, er merydelsen for kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm tilsyneladende en anelse mindre i perioder uden elpatrondrift end i perioder med elpatrondrift.

I perioder uden elpatrondrift nærmer ydelsen for kappebeholderanlægget sig ydelsen for referenceanlægget, når dækningsgraden er meget lille. Dette skyldes at en relativ stor del af de små anlægsydelser i disse meget solfattige perioder stammer fra "negative" varmetab fra anlæggenes varmelagre.

Figur 17 og 18 viser målte relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 med differenstermostatstyring og med indløb i toppen af kappen for anlæg 2 med forskellige konstante volumenstrømme for anlæg 2 og 3, henholdsvis med og uden elpatrondrift. Resultaterne, både for anlæg med solfangeren fra Islev Solvarme ApS og for anlæg med solfangeren fra Aidt Miljø ApS,



Figur 17. Relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder med elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med indløb i toppen af kappen for anlæg 2 og med forskellige konstante volumenstrømme for anlæg 2 og 3.



Figur 18. Relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder uden elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med indløb i toppen af kappen for anlæg 2 og med forskellige konstante volumenstrømme for anlæg 2 og 3.

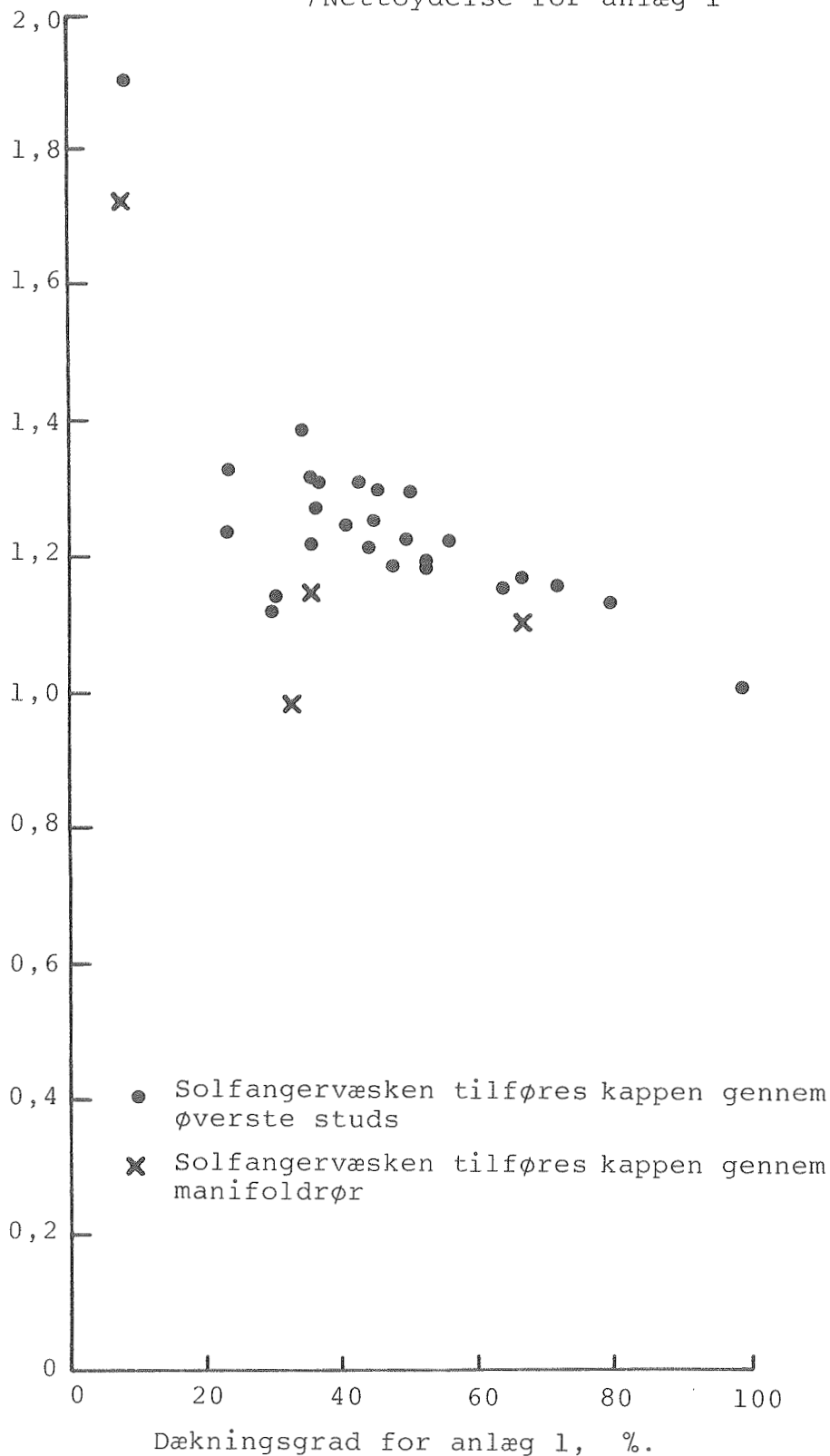
er medtaget. Af figurerne ses, at jo større volumenstrømmen er i kappebeholderanlægget, des mindre er den relative ydelse for kappebeholderanlægget. Af tabel 1 fremgår desuden, at den relative ydelse også reduceres, hvis volumenstrømmen bliver meget lille. Eksempelvis er kappebeholderanlæggets ydelse i perioden 3/11-88 til 10/11-88 således meget mindre ved $0,06 \text{ l/min m}^2$ end ved $0,12 \text{ l/min m}^2$. Sammenfattende kan konkluderes, at en volumenstrøm mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ og $0,2 \text{ l/min m}^2$ er velegnet for de afprøvede solfangere.

Figur 19 viser de målte relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af om manifoldrøret i anlæg 2 er i funktion eller ej, og som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder med elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med konstant volumenstrøm for anlæg 2 og 3 mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ og $0,2 \text{ l/min m}^2$. I perioderne med manifoldrøret i funktion, tilføres solfangervæsken til manifoldrøret gennem røret, der er placeret mellem den øverste og den midterste studs. Resultaterne for perioder med begge de benyttede solfangere er medtaget.

I perioden 22/7 - 26/7 blev volumenstrømmen i anlæg 2 ændret mange gange for at undersøge, ved hvilke volumenstrømme manifoldrøret fungerer som påtænkt. Af temperaturmålingerne i de tre indløbsstudse fremgår det, at manifoldrøret virker som påtænkt, så længe volumenstrømmen i solfangerkredsen er mindre end eller lig med $0,6 \text{ l/min}$. Bliver volumenstrømmen større end $0,6 \text{ l/min}$, tilføres solfangervæsken til kappen gennem flere indløbsstudse uanset temperaturforholdene i lageret og i solfangerkredsen.

Når volumenstrømmen er mindre end eller lig med $0,6 \text{ l/min}$, tilføres solfangervæsken til toppen af kappen, når solfangervæsketemperaturen er høj, mens solfangervæsken tilføres midten af kappen, når solfangervæsketemperaturen er lavere. Typisk vil solfangervæsken tidligt om morgenen

Relativ ydelse = $\frac{\text{Nettoydelse for anlæg 2 og 3}}{\text{Nettoydelse for anlæg 1}}$



Figur 19. Relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af om manifoldrøret i anlæg 2 er i funktion eller ej og som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder med elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med konstant volumenstrøm for anlæg 2 og 3 mellem 0,1 l/min m² og 0,2 l/min m².

og om eftermiddagen tilføres midten af kappen, mens solfangervæsken midt på dagen tilføres toppen af kappen. I perioden 18/7 til 22/7 er pumpem altid i drift, også om natten. Returtemperaturen fra solfangeren er lav om natten, og manifoldrøret virker også her helt som planlagt, idet solfangervæsken om natten tilføres kappen gennem den nederste studs, således at der kun transporteres små energimængder med solfangervæsken bort fra lageret om natten. Man kunne forestille sig, at manifoldrøret virker således, at temperaturforskellen, som opbygges mellem top og bund i varmelageret under opladningsperioder, forøges og at anlægsydelsen herved ligeledes forøges.

På trods af at manifoldrøret fungerer som planlagt, ses det imidlertid tydeligt af figur 19 og tabel 3, at anlægsydelsen reduceres, når manifoldrøret benyttes. Forklaringen herpå kan være, at der er et lille ekstra varmetab fra solfangerkredsen og fra varmelageret forbundet med brugen af manifoldrøret, at det i visse perioder kan være fordelagtigt, at lidt varme føres nedad i beholderen ved hjælp af solfangervæsken, og at kappen i sig selv fungerer bedre end et manifoldrør. I perioder, hvor returtemperaturen fra solfangeren er lavere end temperaturen i toppen af varmtvandsbeholderen, vil solfangervæsken, som tilføres kappen gennem den øverste studs, strømme ned til det niveau i kappen, hvor varmtvandstemperaturen er lig med returtemperaturen, uden at der udveksles store varmemængder mellem kappen og varmtvandsbeholderen. Først når solfangervæsken har nået det rette niveau, spredes solfangervæsken rundt i hele kappen, hvorefter varmen afgives fra solfangervæsken til varmtvandsbeholderen. Disse forhold er undersøgt nærmere i [6].

Sammenfattende kan det konkluderes, at manifoldrøret ikke er velegnet, hvis styresystemet sørger for, at cirkulationspumpen kun er i drift i perioder, hvor der kan tilføres varme fra solfangeren til lageret.

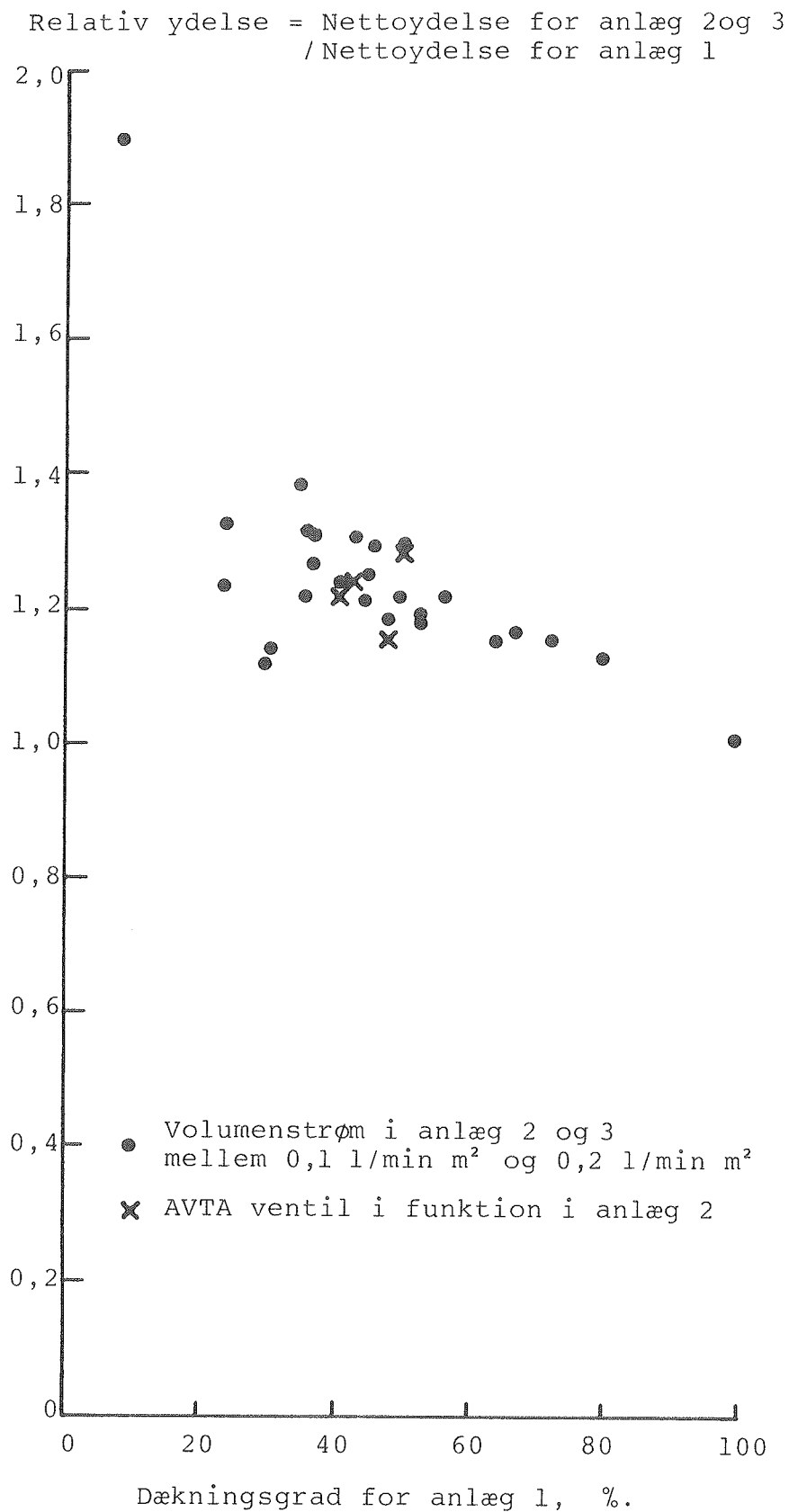
Figur 20 viser de målte relative ydelser for anlæg 2 og 3 som funktion af om AVTA ventilen er i funktion eller ej for anlæg 2, og som funktion af dækningsgraden for anlæg 1 i perioder med elpatrondrift, med differenstermostatstyring og med indløb i toppen af kappen for kappebeholderanlægget. Måleresultater for perioder både med solfangeren fra Islev Solvarme ApS og med solfangeren fra Aidt Miljø ApS er medtaget i figuren. Kun perioder med volumenstrømme mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ og $0,2 \text{ l/min m}^2$ i kappebeholderanlægget er medtaget på figuren, når AVTA ventilen ikke er i funktion.

AVTA ventilen er i alle forsøgene indstillet således, at returtemperaturen fra solfangeren konstant holdes på 50°C ; dog er volumenstrømmen i solfangerkredsen mindst $0,1 \text{ l/min m}^2$. Derfor træder AVTA ventilen først i funktion, når returtemperaturen når op på 50°C . AVTA ventilen regulerer volumenstrømmen, så returtemperaturen holdes præcist på 50°C . Typisk sommervejrl med mange skyer resulterer i store og pludselige variationer i volumenstrømmen.

Temperaturmålingerne viste, at AVTA ventilen virker som planlagt, dog kan volumenstrømmen på grund af tryktabene i solfangerkredsen ikke overstige $2,5 \text{ l/min}$. Derfor er returtemperaturen i meget solrige perioder højere end 50°C .

Man kunne forestille sig, at den forøgede volumenstrøm i solrige perioder resulterer i lavere returtemperatur fra solfangeren, højere solfangereffektivitet og dermed højere anlægsydelse. Altså at perioder, hvor der kan produceres direkte anvendelige varmtvandstemperaturer, kan udnyttes mere effektivt end i et anlæg med konstant lille volumenstrøm.

Af figur 20 ses, at anlægsydelsen ikke forøges når AVTA ventilen benyttes, tværtimod reduceres anlægsydelsen lidt. Forklaringen på disse overraskende resultater kan være, at der er knyttet et lille ekstra varmetab i solfangerkredsen til AVTA ventilens funktion, og at pludselige



forøgede volumenstrømme i kappen bevirker, at fremløbs-temperaturen til solfangeren forøges lidt. I hvert fald må det konkluderes, at reguleringen af volumenstrømmen ved hjælp af AVTA ventilen ikke forøger anlægsydelsen.

Forskellige styresystemers egnethed for kappebeholder-anlægget med lille volumenstrøm er undersøgt, se tabel 4. De fleste af de afprøvede styresystemer medfører at anlægsydelsen reduceres i forhold til anlægsydelsen, når der benyttes en differenstermostatstyring.

Af de afprøvede styresystemer er lysfølerstyringen, hvor pumpen kun er i drift når solindfaldet på solfangeren er større end 100 W/m^2 , det eneste styresystem, som er lige så velegnet som differenstermostatstyringen. Det er således ikke nødvendigt med en differenstermostatstyring - en billigere lysfølerstyring eller en pilotsolfangerstyring må anses for at være lige så velegnet.

Specielt skal nævnes forsøgene, hvor solcellepanelet forsyner en af de installerede 24 V pumper med den nødvendige energi. Volumenstrømmen varierer i disse systemer stærkt efter solindfaldet. Desværre er pumpen kun i funktion, når solintensiteten oversiger ca. 400 W/m^2 . Derfor reduceres anlægsydelsen naturligvis. Desuden vil typisk sommervejr med mange skyer resultere i, at cirkulationen ofte stoppes lige efter en periode med megen sol. På grund af solfangerens varmekapacitet opstår der derfor kogning i solfangeren i perioderne uden cirkulation. Naturligvis kan disse problemer løses, fx ved at anvende et større solcellepanel eller et batteri, men solcellepanelløsningen er i dag ikke attraktiv under danske forhold. Det skal dog nævnes, at der foregår arbejde for at udvikle billige og driftssikre solcellepanel/pumpe-systemer, fx [7].

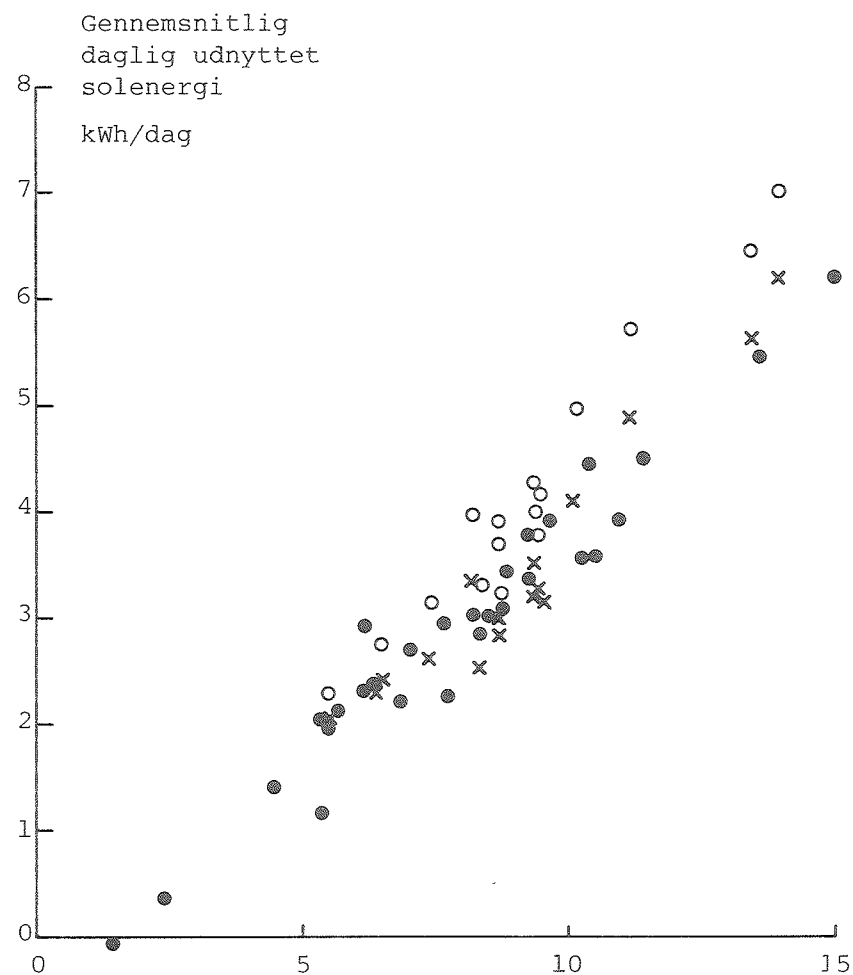
For at undersøge om anlæggene under de vejrbetingelser, som de har været udsat for, har en ydelse som svarer til forventningerne, er der med det i [8] udviklede program gennemført beregninger med referenceanlæggets og reference-årets data for forskellige driftsperioder. Herved muliggøres det, at beregnede anlægsydelser kan sammenlignes med

de målte anlægsydelser. Som beskrevet i [1] er der i referenceåret udvalgt 27 perioder af 1 uges varighed. For hver af de 27 uger er den beregnede gennemsnitlige daglige udnyttede solenergi vist som funktion af den gennemsnitlige daglige indstrålede energi på solfangerne på figur 21 for perioder med elpatrondrift, med $1,9 \text{ m}^2$ solfanger fra Islev Solvarme ApS pr. anlæg og med et varmtvandsforbrug på 200 l/dag. Desuden er der på figuren vist målepunkterne for referenceanlægget og for det almindelige kappebeholderanlæg med en volumenstrøm mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ solfanger og $0,2 \text{ l/min m}^2$ solfanger. Det ses, at der er god overensstemmelse mellem de beregnede og målte størrelser for referenceanlægget, mens ydelsen for kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm er større end de beregnede ydelser. Referenceanlægget har således levet op til forventningerne, og der er tale om en reel forbedring af ydelsen for kappebeholderanlægget i forhold til ydelsen for referenceanlægget.

Figur 22 og 23 viser forholdene for anlægsydelserne med solfangeren fra Aidt Miljø ApS, henholdsvis for perioder med elpatrondrift og et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l og for perioder uden elpatrondrift og et dagligt varmtvandforbrug på 150 l. På disse figurer er der medtaget færre beregnede punkter, da variationen i den indstrålede energimængde pr. m^2 i disse forsøgsperioder har været mindre end i forsøgsperioderne med solfangeren fra Islev Solvarme ApS. Der er også færre målepunkter, og de fundne rette linier er derfor bestemt med nogen usikkerhed.

Alligevel er der også for perioderne med solfangeren fra Aidt Miljø ApS rimelig god overensstemmelse mellem beregnede og målte anlægsydelser for referenceanlægget, mens ydelsen for kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm er markant større.

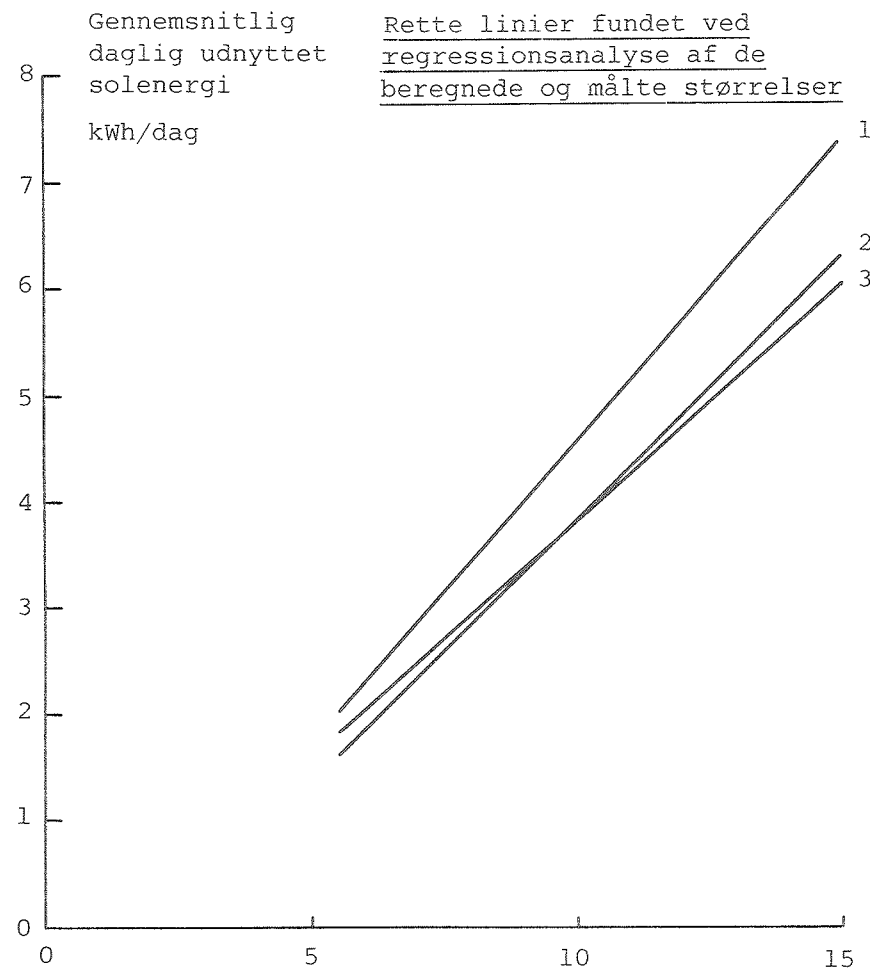
I [1] er det undersøgt hvorledes volumenstrømmen i referenceanlægget påvirker anlægsydelsen. Undersøgelserne viste, at anlægsydelsen forøges, når volumenstrømmen forøges.



Daglig gennemsnitlig indstrålet energi, kWh/dag

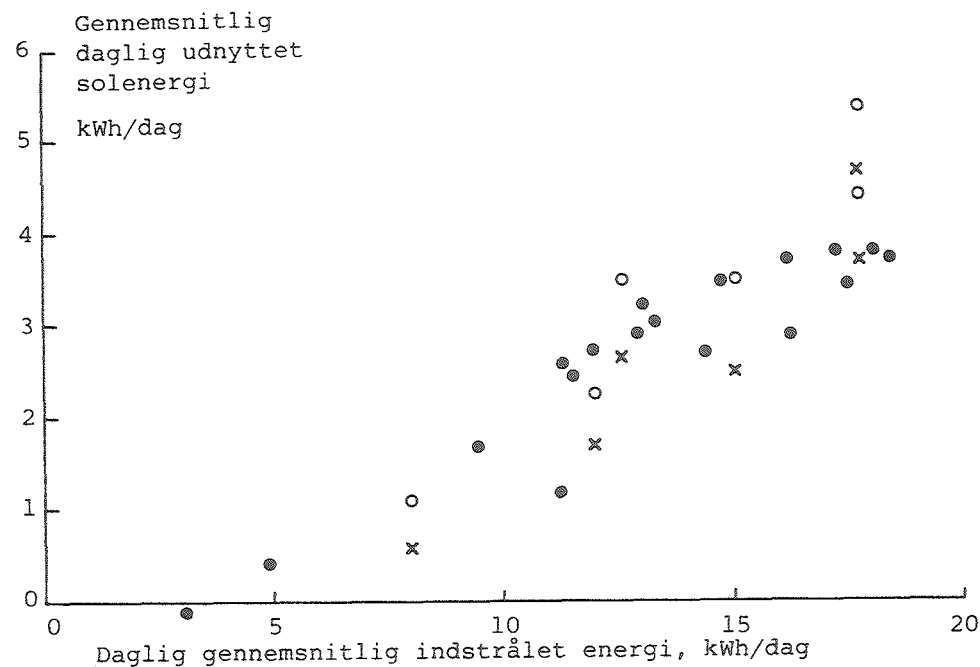
- Referenceårsberegning for referenceanlæg
- x Måling for referenceanlæg
- o Måling for kappebeholderanlæg med volumenstrøm mellem 0,1 og 0,2 l/min m² solfanger

Figur 21. Beregnede og målte størrelser for den gennemsnitlige daglige udnyttede solenergi som funktion af den daglige gennemsnitlige indstrålede energi i perioder med el-patrondrift, med 1,9 m² solfanger fra Islev Solvarme ApS pr. anlæg og med et varmtvandsforbrug på 200 l/dag.

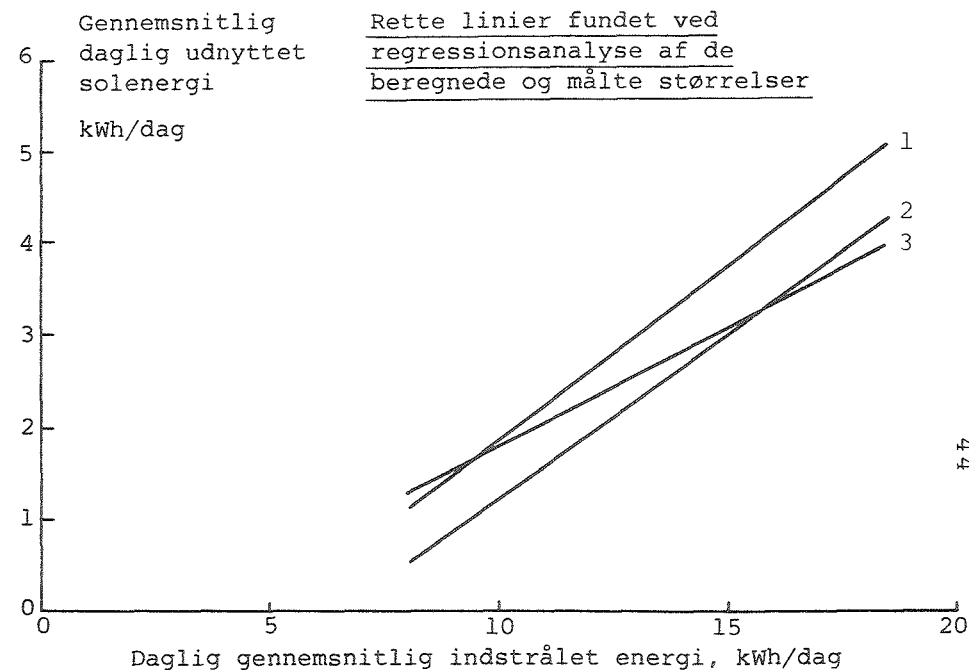


Daglig gennemsnitlig indstrålet energi, kWh/dag

1. Måling for kappebeholderanlæg med volumenstrøm mellem 0,1 og 0,2 l/min m² solfanger
2. Måling for referenceanlæg
3. Referenceårsberegning for referenceanlæg

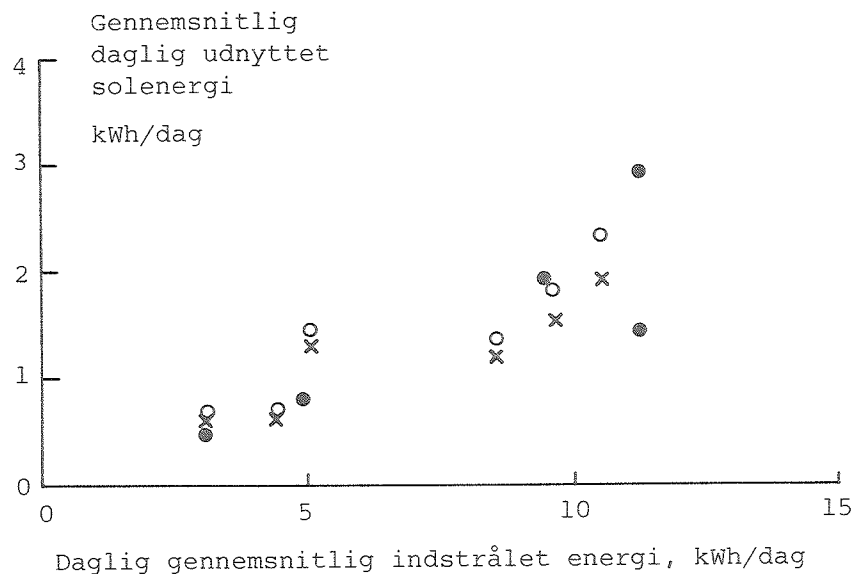


- Referenceårsberegning for referenceanlæg
- x Måling for referenceanlæg
- o Måling for kappebeholderanlæg ned volumenstrøm mellem 0,1 og 0,2 l/min m² solfanger

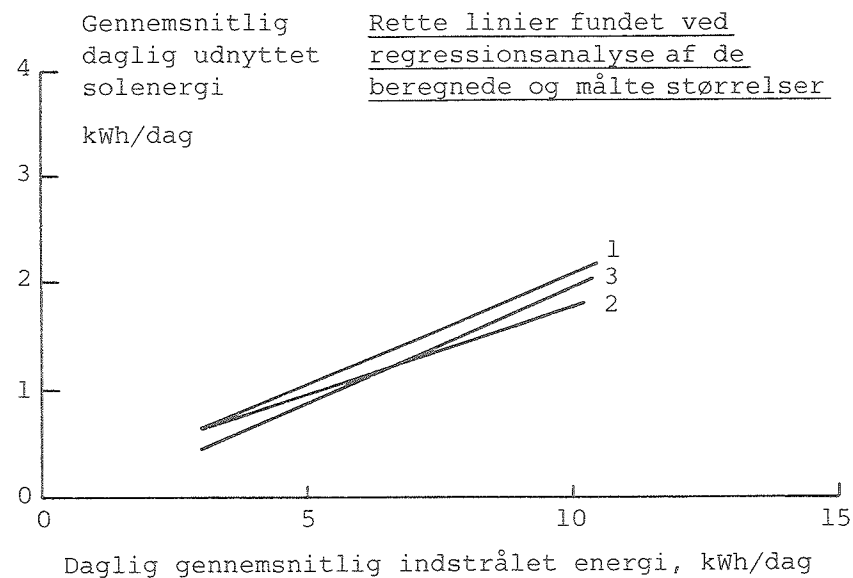


1. Måling for kappebeholderanlæg med volumenstrøm mellem 0,1 og 0,2 l/min m² solfanger
2. Måling for referenceanlæg
3. Referenceårsberegning for referenceanlæg

Figur 22. Beregnede og målte størrelser for den gennemsnitlige daglige udnyttede solenergi som funktion af den daglige gennemsnitlige indstrålede energi i perioder med elpatrondrift, med 4,0 m² solfanger fra Aidt Miljø ApS pr. anlæg og med et varmtvandsforbrug på 200 l/dag.



- Referenceårsberegning for referenceanlæg
- x Måling for referenceanlæg
- o Måling for kappebeholderanlæg med volumenstrøm mellem 0,1 og 0,2 l/min m² solfanger



1. Måling for kappebeholderanlæg med volumenstrøm mellem 0,1 og 0,2 l/min m² solfanger
2. Måling for referenceanlæg
3. Referenceårsberegning for referenceanlæg

Figur 23. Beregnede og målte størrelser for den gennemsnitlige daglige udnyttede solenergi som funktion af den daglige gennemsnitlige indstrålede energi i perioder uden el-patrondrift, med 4,0 m² solfanger fra Aidt Miljø ApS pr. anlæg og med et varmtvandsforbrug på 150 l/dag.

Hvis volumenstrømmen er større end $0,4 \text{ l/min m}^2$ solfanger forøges anlægsydelsen dog ikke yderligere, når volumenstrømmen forøges. Forsøgsperioderne er derfor gennemført med volumenstrømme, som er tilstrækkeligt store.

Som omtalt i [1] er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen også tilstrækkelig stor, og referenceanlæggets ydelse vil ikke øges nævneværdigt ved at forøge varmevekslerspiralens længde. Altså er der tale om en reel forbedring af ydelsen for kappebeholderanlæg i forhold til ydelsen for referenceanlæg.

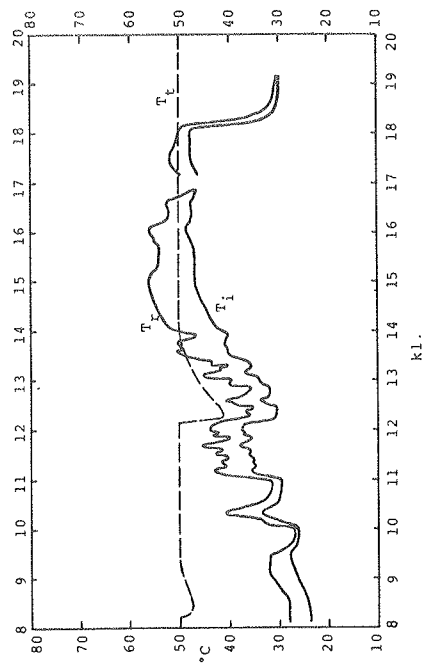
Som omtalt blev anlæggenes virkemåde fulgt gennem alle driftsperioderne. Blandt andet blev anlægstemperaturerne målt.

På figur 24 og 25 er de mest interessante anlægstemperaturer og effekten, som overføres fra solfangerne til varmelageret, vist igennem en dag for de tre anlæg med solfangerne henholdsvis fra Islev Solvarme ApS og fra Aidt Miljø ApS. Begge dage er fra perioder med elpatron i drift og med anlæg 2 og 3 identiske - bortset fra volumenstrømmen.

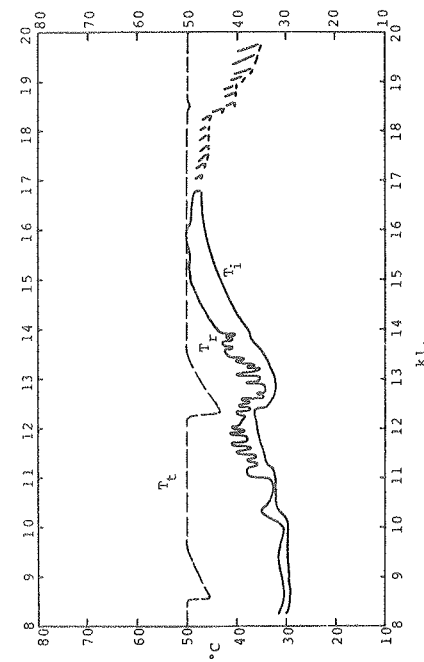
Solfangerarealet pr. anlæg er $1,9 \text{ m}^2$ den 13. juli og $4,0 \text{ m}^2$ den 9. september. Det skal bemærkes, at volumenstrømmene i alle tre anlæg igennem dagene ikke er helt konstante, blandt andet fordi solfangervæskens viskositet afhænger af temperaturniveauet. Volumenstrømmene afhænger af temperaturniveauet og temperaturlagdelingen i varmelageret samt af solindfaldet på solfangerne. De anførte volumenstrømme på figurerne er således gennemsnitsværdier for den pågældende dag. Det bør her også nævnes, at der er knyttet en vis inertti til målingen af solfangervæskens indløbs- og returtemperatur, idet målepunkterne er placeret uden på solfangerkredsens rør.

Figur 24 viser forholdene den 13. juli, en typisk varm sommerdag med mange drivende skyer, som resulterer i mange og store variationer i solindfaldet igennem størstedelen af

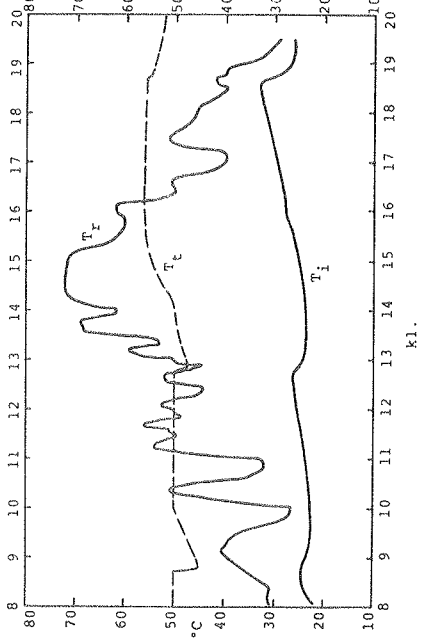
volumenstrøm på 0,85 l/min m² solfanger



volumenstrøm på 1,29 l/min m² solfanger



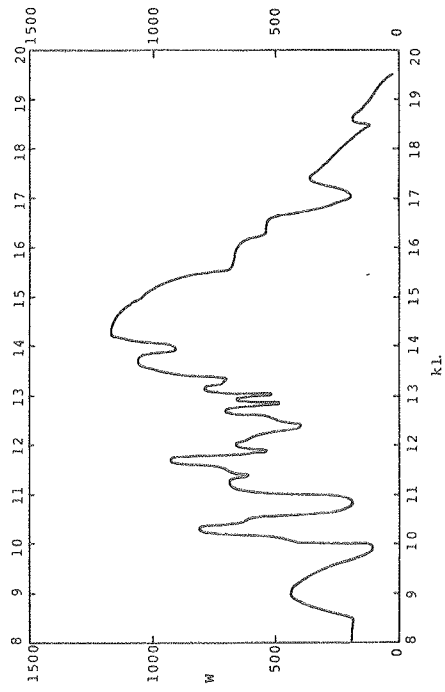
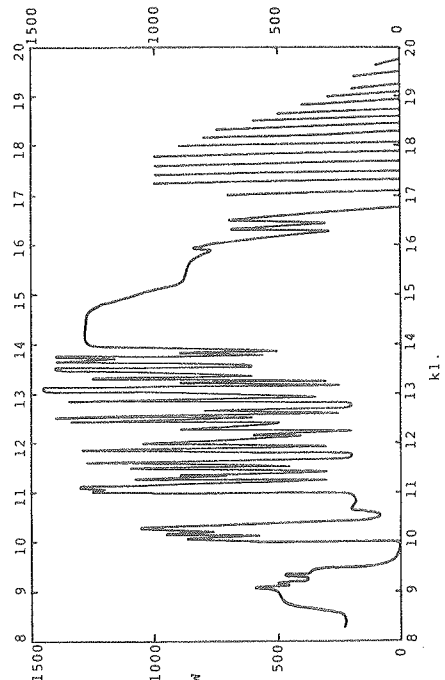
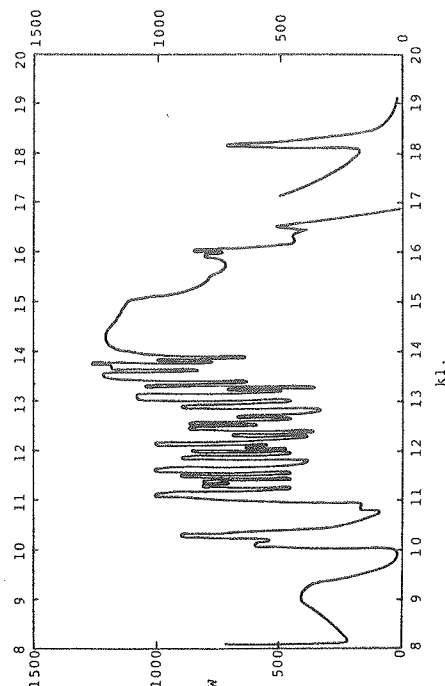
volumenstrøm på 0,16 l/min m² solfanger



T_t : Temperaturen i toppen af varmelageret

T_i : Solfangervæskens indløbstemperatur til solfangeren

T_r : Solfangervæskens returtemperatur fra solfangeren



Effekttilførsel fra solfangerne til varmelageret

Figur 24. Målte anlægstemperaturer og effekttilførsler fra solfangerkredsen til varmelageret den 13. juli 1988 for de tre anlæg med solfangeren fra Islev Solvarme Aps.

dagen. Den 13. juli var det totale solindfald på solfangeren $5,7 \text{ kWh/m}^2$, og den gennemsnitlige udelufttemperatur i dagtimerne var 23°C . Der er foretaget varmtvands-tapninger ca. kl. 8, 12 og 18.

I alle tre anlæg sørger elpatronen for at temperaturen i toppen af varmtvandsbeholderen holdes på ca. 50°C igennem hele dagen. Umiddelbart efter varmtvandstapninger kan temperaturen dog falde lidt, og det tager lidt tid før elpatronen atter har opvarmet toppen af lageret til 50°C .

Opvarmningen i solfangeren er meget stor i kappebeholder-anlægget med lille volumenstrøm. Solfangervæsken, som tilføres varmelageret i toppen af kappen, er meget varm og kun den øverste del af varmtvandsbeholderen opvarmes ved hjælp af solvarmen. Om eftermiddagen er returtemperaturen fra solfangeren så høj, at toppen af varmtvandsbeholderen opvarmes til et højere temperaturniveau end elpatronens temperaturniveau. Der etableres en stor temperaturlagdeling i lageret under opvarmningen. Indløbstemperaturen til solfangeren er således relativ lav igennem hele dagen, og først om aftenen når indløbstemperaturen op på 30°C . Det ses også, at den høje temperatur i toppen af varmelageret ikke reduceres om eftermiddagen, selvom solfangerdriften fortsættes i mere end 3 timer efter at returtemperaturen fra solfangeren er blevet lavere end toplager-temperaturen. Altså tyder temperaturforholdene på, at der ikke i denne periode transporteres store varmemængder nedad i lageret selvom solfangervæsken cirkuleres gennem kappen. Temperaturlagdelingen i varmelageret bevares altså om eftermiddagen. I denne forbindelse skal det bemærkes, at den store temperaturlagdeling i lageret bevirker, at elpatronens drifttid reduceres i forhold til elpatronens drifttid i referenceanlægget, hvor der ikke opbygges temperaturlagdeling under opvarmningen.

Forklaringen på ovennævnte forhold er, at solfangervæsken i kappen langsomt, uden at sprede sig rundt i hele kappens omkreds, bevæger sig ned til det niveau i lageret, hvor

der kan afgives varme til varmtvandsbeholderen. Først når dette niveau er nået, spreder solfangervæsken sig rundt i kappen, og solvarmen afgives herfra til varmtvandsbeholderen. På denne måde opretholdes lagerets temperaturlagdeling i solfattige perioder. Disse forhold vil ændres, hvis volumenstrømmen bliver for stor. Forholdene er grundigere undersøgt i [6].

I referenceanlægget bliver returtemperaturen fra solfangeren relativ lav på grund af den store volumenstrøm. Der opbygges ingen temperaturlagdeling i varmelageret under opvarmning. Derimod opstår der temperaturlagdeling i varmelageret på grund af varmtvandstapninger og på grund af elpatronens drift. Indløbstemperaturen til solfangeren stiger jævnt igennem dagen på grund af den stigende lager-temperatur i bunden af lageret. Dette er som nævnt ikke tilfældet for kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm - i dette anlæg forbliver indløbstemperaturen lav igennem hele dagen.

I kappebeholderanlægget med stor volumenstrøm opbygges der en vis temperaturlagdeling i lageret under opvarmning, og indløbstemperaturen til solfangeren stiger igennem dagen. Temperaturlagdelingen er dog langt mindre end temperaturlagdelingen i kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm. Man kan altså sige, at kappebeholderanlægget med stor volumenstrøm virker som en mellemting mellem spiralbeholderanlægget og kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm.

Det bemærkes, at kun i kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm bliver temperaturen i toppen af lageret større end 50°C .

Endvidere bemærkes det, at solfangervæskens returtemperatur fra solfangerne for alle anlæggene varierer kraftigt som følge af solindfaldets variationer. I referenceanlægget varierer solfangervæskens indløbstemperatur til solfangerne også, omend ikke så kraftigt som returtemperaturen.

Solfangervæsketemperaturernes variationer resulterer i variationer i effekterne, som tilføres varmelagrene. Det

ses, at der for de tre anlæg er store forskelle på størrelsen af disse variationer. Variationerne er størst i anlægget med den største volumenstrøm og mindst i anlægget med den mindste volumenstrøm.

Sent på eftermiddagen resulterer den store volumenstrøm i kappebeholderanlægget i øvrigt i, at driftsperioden for cirkulationspumpen bliver usammenhængende.

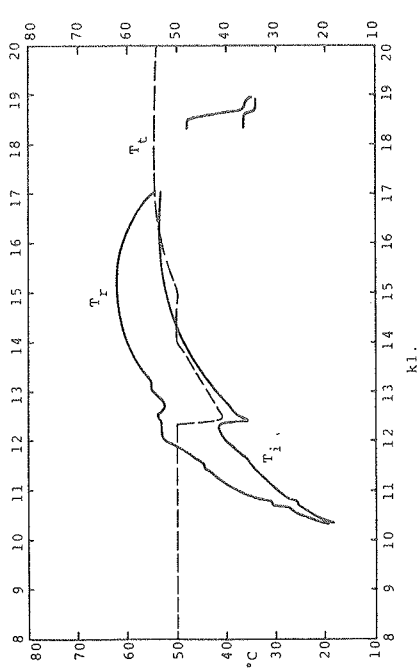
Forskellene i variationerne skyldes, at returtemperaturen og dermed effekttilførslen til varmelageret er en funktion af hvorledes solindfaldet har været i den tid, det tager solfangervæsken at passere solfangeren. Jo større volumenstrøm des hurtigere passerer solfangervæsken solfangeren, og des bedre følger returtemperaturen solindfaldets hurtige variationer. For små volumenstrømme er variationerne mindre idet variationerne i solindfaldet, forårsaget af drivende skyer, ikke er så langvarige, at de påvirker returtemperaturen afgørende.

For at klarlægge, om variationerne i den producerede solvarmeeffekt i sig selv har indflydelse på "den øjeblikkelige solfangereffektivitet" og dermed på solfangerudbyttet, blev der gennemført undersøgelser af dagsydelsene for solfangerne med samme indløbstemperatur og med forskellige volumenstrømme. Disse undersøgelser er beskrevet i afsnit 3.

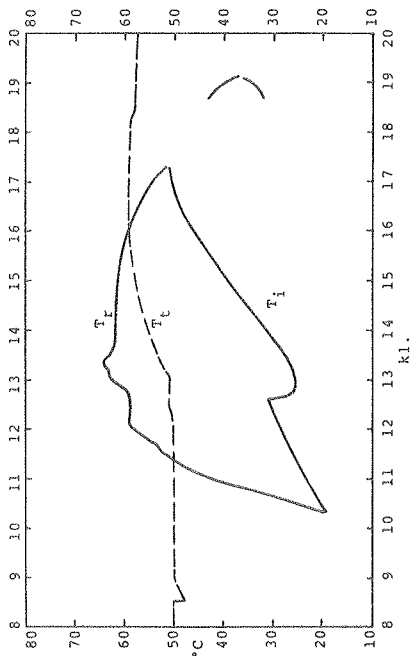
I perioder uden elpatrondrift virker anlæggene som i perioder med elpatrondrift - blot holdes den øverste del af varmelagrene ikke automatisk varme. Temperaturforholdene i referenceanlægget og i et kappebeholderanlæg med lille volumenstrøm er for en typisk dag uden elpatrondrift vist i [1].

Figur 25 viser forholdene med solfangerne fra Aidt Miljø ApS den 9. september, en god solskinsdag uden mange skyer, med et totalt solindfald på solfangeren på $6,5 \text{ kWh/m}^2$ og en gennemsnitlig udelufttemperatur i dagtimerne på 17°C . Der er foretaget varmtvandstapninger ca. kl. 8, 12 og 18. De to identiske kappebeholderanlæg er afprøvet henholdsvis med en lille og med en mellemstor volumenstrøm.

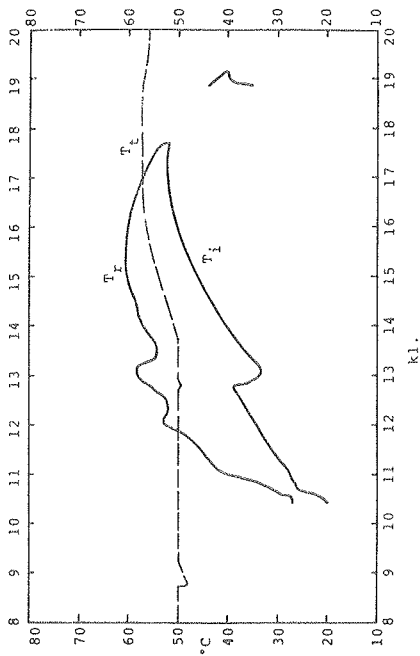
Referenceanlæg med en gennemsnitlig
volumenstrøm på 0,49 l/min m² solfanger



Kappeholderanlæg med en gennemsnitlig
volumenstrøm på 0,18 l/min m² solfanger



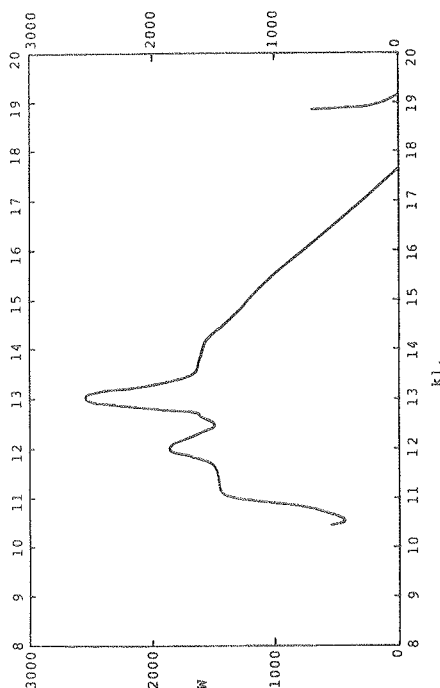
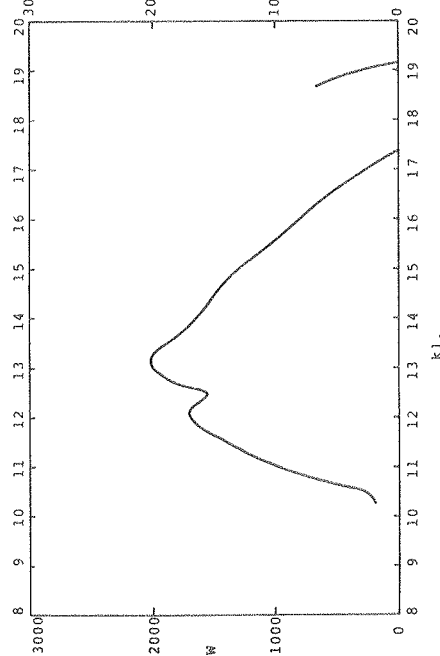
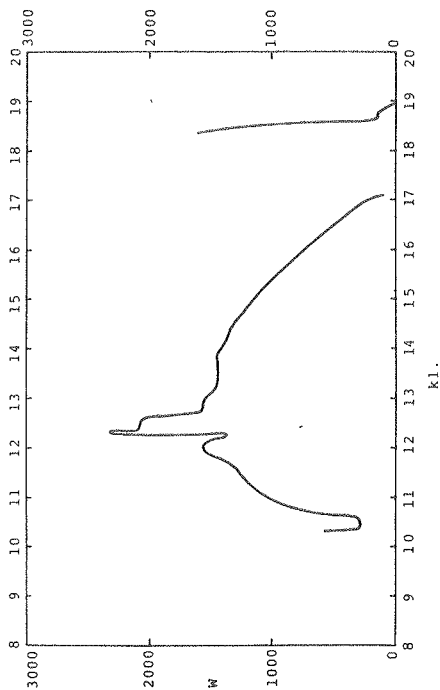
Kappeholderanlæg med en gennemsnitlig
volumenstrøm på 0,37 l/min m² solfanger



T_t : Temperaturen i toppen af varmlageret

T_i : Solfangervæskens indløbstemperatur til solfangeren

T_r : Solfangervæskens returtemperatur fra solfangeren



Effekttilførsel fra solfangerne til varmlageret

Figur 25. Målte anlægstemperaturer og effekttilførsler fra solfangerkredsen til varmlageret den 9. september 1988 for de tre anlæg med solfangeren fra Aids Miljø Aps.

Anlæggenes virkemåde er de samme som de var den 13. juli. Der er dog på grund af de færre skyer ikke så store variationer i temperaturer og effekter. Endvidere ses det, at indløbstemperaturen til solfangeren i kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm først sent om eftermiddagen bliver så høj som 50°C.

2.5 Vurdering af måleresultater

Igennem alle forsøgsperioderne har kappebeholderanlægget med volumenstrømme mellem 0,1 l/min m² solfanger og 0,2 l/min m² solfanger ydet 15% mere end referenceanlægget. Målingerne har desuden vist at:

- merydelsen for kappebeholderanlæg med små volumenstrømme i forhold til ydelsen for "traditionelle" anlæg er stærkt afhængig af dækningsgraden, dvs af vejret, varmtvandsforbruget og solfangerarealet. Jo mindre dækningsgraden er, des større er fordelene ved kappebeholderanlæg. For helt små dækningsgrader nærmer ydelsen for kappebeholderanlæg sig dog igen til ydelsen for "traditionelle" anlæg;
- merydelsen for kappebeholderanlæg med små volumenstrømme i forhold til ydelsen for "traditionelle" anlæg er en anelse større i perioder med elpatron-drift end i perioder uden elpatron-drift;
- kappebeholderanlægget yder mest, når der benyttes en simpel driftsstrategi, dvs at der benyttes en konstant lille volumenstrøm mellem 0,1 l/min m² solfanger og 0,2 l/min m² solfanger, at solfangervæsken tilføres lageret øverst i kappen, og at der benyttes en differenstermostatstyring, en lysfølerstyring eller en pilotsolfangerstyring;
- merydelsen er uafhængig af solfangertypen - i hvert fald af de to typer som er undersøgt;
- merydelsen er uafhængig af varmtvandsforbrugsmønsteret, altså af tappetidspunkterne.

Da referenceanlæggets ydelse er lige så stor som det kan forventes ifølge et detaljeret beregningsprogram med en valideret lagermodel, er der tale om reelle ydelsesforbedringer for kappebeholderanlægget.

Hovedårsagen til at kappebeholderanlæg med små volumenstrømme yder mere end "traditionelle" anlæg er varmelagerets udformning. I en kappebeholder opbygges der temperaturlagdeling under solfangerdriften. Der etableres derfor hurtigt direkte anvendelige temperaturer i toppen af varmtvandsbeholderen. I en periode med elpatrondrift kan elpatronens varmeafgivelse derfor stoppes hurtigt. I en spiralbeholder opvarmes hele vandvolumenet derimod til samme temperaturniveau. Det tager derfor længere tid før der opnås direkte anvendelige temperaturer i toppen af varmtvandsbeholderen, og i perioder med elpatrondrift kan elpatronens varmeafgivelse derfor først stoppes efter lang tid.

Desuden er der en række forskelle mellem kappebeholderanlæg med små volumenstrømme og spiralbeholderanlæg, som også har betydning for forskellen i ydelserne:

- Temperaturniveauet i solfangerne er forskelligt i de to anlæg igennem hele dagen. Det er imidlertid vanskeligt at vurdere i hvilket anlæg temperaturniveauet er lavest i størstedelen af dagen. Sidst om eftermiddagen er temperaturniveauet dog lavest i anlægget med lille volumenstrøm, idet returtemperaturen fra solfangeren her normalt bliver forholdsvis lav. Solfangerydelsen er derfor størst sent om eftermiddagen for kappebeholderanlægget. Drifttiden er omtrent den samme for de to anlæg.
- Solfangereffektiviteten afhænger af volumenstrømmen. Dette forhold er nærmere undersøgt i afsnit 3.
- Varmetabet fra solfangerkredsen og solfangeren er størst for spiralbeholderanlægget, dels fordi både

solfangerens fremløbs- og returrør er varme, når solfangeren er i drift, dels fordi de hurtige og pludselige temperaturvariationer i solfangerkredsen er størst for dette anlæg.

- Varmelagringskapaciteten for kappebeholderen er større end for spiralbeholderen på grund af det større solfangervæskeindhold. Dette har dog ingen nævneværdig betydning for forskellen mellem de to anlægs ydelser.

I øvrigt skal det nævnes, at der i [6] er udviklet en matematisk model, som simulerer driften af en kappebeholder, og at der er gennemført teoretiske undersøgelser af anlægsydelsen for kappebeholderanlæg med små volumenstrømme.

2.6 Erfaringer fra anlæggenes drift

Anlæggene var i drift med solfangerne fra Islev Solvarme ApS fra den 21. april 1988 til den 22. august 1988. I den særdeles solrige periode fra den 13. maj til den 18. maj 1988 blev der ikke foretaget varmtvandstapninger, idet risikoen for kogning i solvarmeanlægget under ferie blev undersøgt.

Anlæggene var i drift med solfangeren fra Aidt Miljø ApS fra den 3. september til den 20. november 1988.

I alt var anlæggene i drift i 196 dage med varmtvands-tapninger.

I forsøgsperioden fra april 88 til november 88 var solindfaldet på solfangerne 4% lavere end solindfaldet er på solfangerne i referenceåret i den samme periode. Anlæggenes ydelser har, som det er omtalt i afsnit 2.5 været tilfredsstillende.

Referenceanlæggets totale nettoydelse var 680 kWh svarende til 240 kWh/m² solfanger i de 196 dage, mens nettoydelsen for kappebeholderanlægget med volumenstrømmen mellem 0,1 l/min m² solfanger og 0,2 l/min m² solfanger var 780 kWh

svarende til 280 kWh/m² solfanger. Cirkulationspumpernes drifttider har næsten været ens for de to anlæg: Drifttiden har i de 196 dage været 1559 timer i referenceanlægget, mens drifttiden i kappebeholderanlægget har været 1550 timer. Vandtapningen har i de 196 dage svaret til et totalt varmtvandsbehov på 1410 kWh og den gennemsnitlige dækningsgrad af behovet var henholdsvis 48% og 55% for de to anlæg.

I hele perioden fra 21. april 1988 til 20. november 1988 har der, som det fremgår af tabel 5, kun været 10 dage uden solfangerdrift. Alle disse 10 dage er beliggende uden for sommerperioden maj-september.

Dato	Totalt solindfald på solfanger	Max. solintensitet på solfangeren	Tidspunkt og varighed for max. solindfald	
	Wh/m ²	W/m ²	kl.	min
søndag 9/10	180	50	12 ²⁰	10
onsdag 12/10	160	35	10 ¹⁰	2
torsdag 13/10	220	50	16 ²⁰	4
søndag 16/10	400	90	10 ⁴⁰	2
mandag 17/10	100	75	10 ⁰⁰	2
lørdag 22/10	390	95	10 ¹⁰	2
tirsdag 1/11	170	45	12 ²⁵	1
fredag 11/11	150	50	11 ⁴⁰	5
søndag 13/11	260	80	12 ⁰⁰	4
fredag 18/11	70	30	12 ⁴⁰	4

Tabel 5. Dage uden solfangerdrift i perioden fra 21. april til 20. november 1988.

I de almindelige afprøvningsperioder med varmtvandsforbrug opstod der ikke kogning, hverken i det "traditionelle" anlæg eller i kappebeholderanlægget med lille volumenstrøm. I solrige perioder uden varmtvandsforbrug, fx i sommerferien, vil der optræde kogning i solfangeren. Jo mindre volumenstrømmen er, des større er risikoen for kogning.

Kogning

For at undersøge risikoen for kogning blev der ikke tappet varmt vand fra anlæggene i perioden fra den 13. maj kl. 13 til den 18. maj. I denne periode var solindstrålingen på solfangerne særdeles stor, i gennemsnit $8,0 \text{ kWh/m}^2$ pr. dag, og udelufttemperaturen var i dagtimerne mellem 20°C og 25°C . Hvert anlæg, som bestod af $3,9 \text{ m}^2$ solfanger fra Islev Solvarme ApS, var forsynet med en åben ekspansionsbeholder.

Volumenstrømmen i anlæg 2 var konstant, og solfangervæsken blev tilført kappen gennem den øverste studs. Altså var anlæg 2 og 3 identiske, bortset fra de benyttede volumenstrømme.

I anlæg 1 blev benyttet en volumenstrøm på $0,5 \text{ l/min m}^2$ solfanger, i anlæg 2 en volumenstrøm på $0,3 \text{ l/min m}^2$ solfanger og i anlæg 3 en volumenstrøm på $0,1 \text{ l/min m}^2$ solfanger.

Der opstod kogning i anlæg 3 allerede den 14. maj kl. 13, altså efter blot et døgn uden varmtvandsforbrug. Fremløbstemperaturen til solfangeren havde nået 45°C , da kogningen startede. Den 15. maj opstod der kogning både i anlæg 2 og 1, henholdsvis kl. 12³⁰ og kl. 13³⁰. Fremløbstemperaturen til solfangerne havde i de to anlæg nået henholdsvis 70°C og 92°C , da kogningen i anlæggene startede.

Volumenstrømmen i anlæg 2 blev herefter forøget til $0,4 \text{ l/min m}^2$ solfanger. Med denne højere volumenstrøm opstod der ikke kogning i anlæg 2 i resten af forsøgsperioden.

Forsøgene viste altså, at kogning er et alvorligt problem både for det "traditionelle" anlæg og for anlægget med en kappebeholder og en volumenstrøm mellem $0,1 \text{ l/min m}^2$ solfanger og $0,2 \text{ l/min m}^2$ solfanger. Forsøgene viste også, at kogningsproblemet i kappebeholderanlægget kan løses ved at forøge volumenstrømmen i solrige perioder uden varmtvandsforbrug. Hvor stor volumenstrømmen skal være i disse

perioder for at forhindre kogning afhænger af solfangerens effektivitet og areal, af varmelagerets og solfangerkredsens varmetabskoefficient og naturligvis af solindfaldet og udelufttemperaturen i perioderne.

I det hele taget er solfangerens effektivitet og areal samt varmelagerets og solfangerkredsens varmetabskoefficient afgørende for kogningsproblemet's størrelse.

Selve anlægsudformningen bør sikre, at der ikke kan opstå kogning i anlægget med kappebeholderen. Cirkulationspumpen og solfangerkredsens rørdimension bør vælges således, at volumenstrømmen bliver afhængig af solfangervæskens temperatur. Volumenstrømmen er altså lille ved lave temperaturer og større ved højere temperaturer. Er dette ikke tilstrækkeligt til at forhindre kogning, kan problemet fx løses ved:

- ikke at isolere røret hvor solfangervæsken transporteres fra varmelageret til solfangeren. Som eftervist i afsnit 2.4 reducerer dette ikke anlægsydelsen. Eventuelt kan det uisolerede fremløbsrør forlænges så meget, at kogningsrisikoen elimineres;
- ikke at isolere den nederste del af varmelageret. Heller ikke dette vil påvirke anlægsydelsen nævneværdigt, idet temperaturen i den nederste del af varmelageret under normal drift er meget lav;
- at benytte en lukket solfangerkreds med manometer, sikkerhedsventil og ekspansionsbeholder. I et sådant tryksystem forøges solfangervæskens kogepunkt;
- at indbygge et ventilarrangement i solfangerkredsen baseret på en AVTA ventil, som sørger for at volumenstrømmen forøges, når returtemperaturen fra solfangeren overstiger 90°C. Et sådant ventilarrangement vil ikke påvirke anlægsydelsen;
- ved at ændre pumpetrim og dermed volumenstrøm i sommerferier uden varmtvandsforbrug.

Regntæthed

I øvrigt blev det som omtalt i [1], også i 1988 bemærket, at solfangerne fra Islev Solvarme ApS ikke er regntætte.

Kondens

Endvidere blev det bemærket, at der hver morgen og navnlig på dage med stor luftfugtighed på ydersiden af dæklagene af solfangerne fra Aidt Miljø ApS optræder en hvidlig vandfilm, som er dannet ved kondens på solfangernes polykarbonatplader. Vandfilmen, som dækker hele solfangerens areal, formodes at reducere solfangereffektiviteten en smule i de første timers drift, indtil filmen er forsvundet. Ved en aftørring af dæklaget dannes der nogle store vanddråber, som desværre ikke løber af dæklaget. Tværtimod fordeles vandet i løbet af kort tid over hele overfladen, så vandfilmen genskabes. Det bør undersøges, om vandfilmen reducerer anlægsydelsen nævneværdigt, og hvis dette er tilfældet, bør det undersøges, hvorledes polykarbonatpladens egenskaber kan ændres, så vandfilmen ikke dannes.

Endelig skal det nævnes, at de lukkede solfangerkredse uden ekspansionsbeholdere i anlæggene med solfangerne fra Aidt Miljø ApS fungerede uden problemer. Solfangernes ribberør virkede i sig selv som en ekspansionsbeholder.

3. AFPRØVNING AF SOLFANGERE

3.1 Prøvning i solsimulator

Et af solfangerelementerne fra Islev Solvarme ApS blev effektivitetsprøvet ved forskellige volumenstrømme indendørs i laboratoriets solsimulator. Afprøvningen er detaljeret beskrevet i [1]. Et solfangerelement, som er lidt mindre end, men ellers øvrige til de benyttede solfangerelementer fra Aids Miljø ApS, blev også effektivitetsprøvet ved forskellige volumenstrømme i solsimulatoren [4]. Solfangerarealet i den prøvede solfanger fra Aids Miljø ApS er $2,14 \text{ m}^2$, mens den benyttede solfanger i prøvestanden har et areal på $4,04 \text{ m}^2$.

Solfangereffektiviteten for de to solfangere blev ved en volumenstrøm på $1,2 \text{ l/min m}^2$ solfanger og en hældning på 45° fundet til:

$$\eta = 0,79 - 3,4 \cdot \frac{T_m - T_a}{I} - 0,016 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{I}$$

for solfangeren fra Islev Solvarme ApS, og

$$\eta = 0,74 - 5,8 \cdot \frac{T_m - T_a}{I} - 0,020 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{I}$$

for solfangeren fra Aids Miljø ApS.

T_m er solfangerens middelvæsketemperatur, $^\circ\text{C}$

T_a er lufttemperaturen, $^\circ\text{C}$

I er solintensiteten, W/m^2

Måleresultaterne viste, at solfangereffektiviteterne for de to solfangere reduceres lidt, når volumenstrømmen reduceres fra $1,2 \text{ l/min m}^2$ solfanger til $0,1 \text{ l/min m}^2$ solfanger. Der er imidlertid kun tale om meget små reduktioner. Desuden viste målingerne med solfangeren fra Aids Miljø ApS, at strømningsretningen for solfangervæsken gennem solfangeren ingen afgørende betydning har for denne solfangers effektivitet. Tilsyneladende kan man altså

ikke påvirke solfangerens varmetab nævneværdigt ved at ændre strømningsretningen.

Der skal dog tages en række forbehold i forbindelse med ovennævnte undersøgelser. solfangerens middelvæsketemperatur T_m er som nævnt i [1] bestemt med nogen unøjagtighed, specielt når volumenstrømmen er meget lille. Der er derfor knyttet nogen usikkerhed til sammenligningen af effektiviteterne ved små og ved store volumenstrømme.

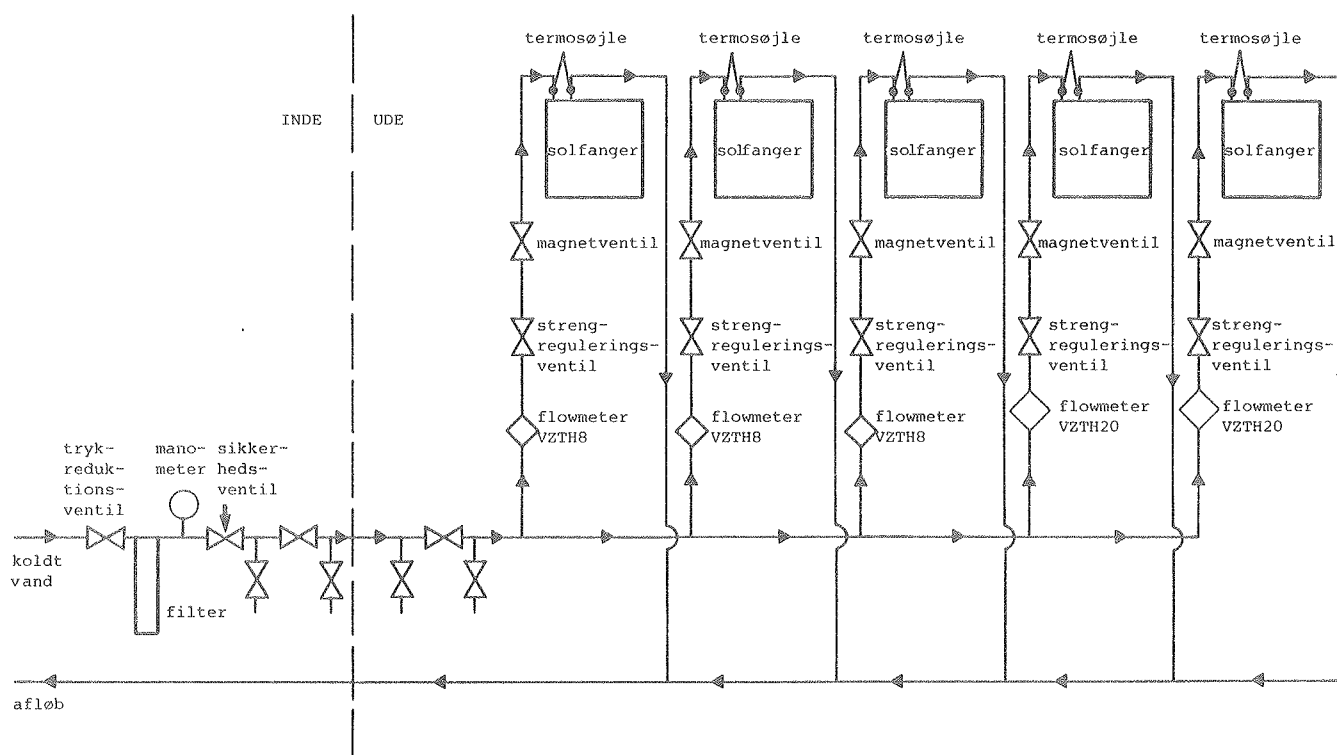
En konstateret skæv lysintensitetsfordeling fra solsimulatoren vil måske forøge luftbevægelserne mellem absorbereren og dæklaget og dermed forøge solfangerens varmetabskoefficient og reducere solfangereffektiviteten, når volumenstrømmen er meget lille. Udendørs er solindfaldet fuldstændigt ensartet, og måske vil effektiviteten af solfangeren derfor i virkeligheden være større end den målte solfangereffektivitet, når volumenstrømmen er lille.

Endelig skal det nævnes, at effektivitetsmålinger først foretages, når der er opnået en konstant udløbstemperatur i en periode med konstant indløbstemperatur og med et konstant meget stort solindfald. Effektiviteter måles således under stabile forhold, som kun opnås uhyre sjældent udendørs. Man kan forestille sig, at såvel solindfaldets størrelse som dets variationer påvirker solfangerens øjeblikkelige effektivitet, og at dette måske navnlig er tilfældet, når der benyttes små volumenstrømme. Måske forøges solfangerens øjeblikkelige effektivitet, hvis solfangervæsken passerer solfangeren så langsomt, at luftbevægelsesmønsteret mellem absorbereren og dæklaget ikke ændres nævneværdigt, selvom solindfaldet ændres på grund af drivende skyer.

I denne forbindelse skal det nævnes, at alle de ovennævnte forhold naturligvis vil variere fra solfangertype til solfangertype. For at belyse forholdene blev der opbygget en prøvestand og gennemført målinger med solfangerne i denne prøvestand. Prøvestanden og undersøgelserne er beskrevet i de følgende afsnit.

3.2 Prøvestand

En prøvestand til måling af solfangeres dagsydelser ved forskellige volumenstrømme med en konstant fremløbstemperatur til solfangeren blev opbygget på Laboratoriets forsøgsareal. I størst muligt omfang blev Solar Pilot Test Facility's, SPTF's faciliteter benyttet [9]. For eksempel er SPTF's solfangerstativ med en hældning på 56° fra vandret benyttet til solfangerne. Figur 26 viser en skematisk illustration af den opbyggede prøvestand.

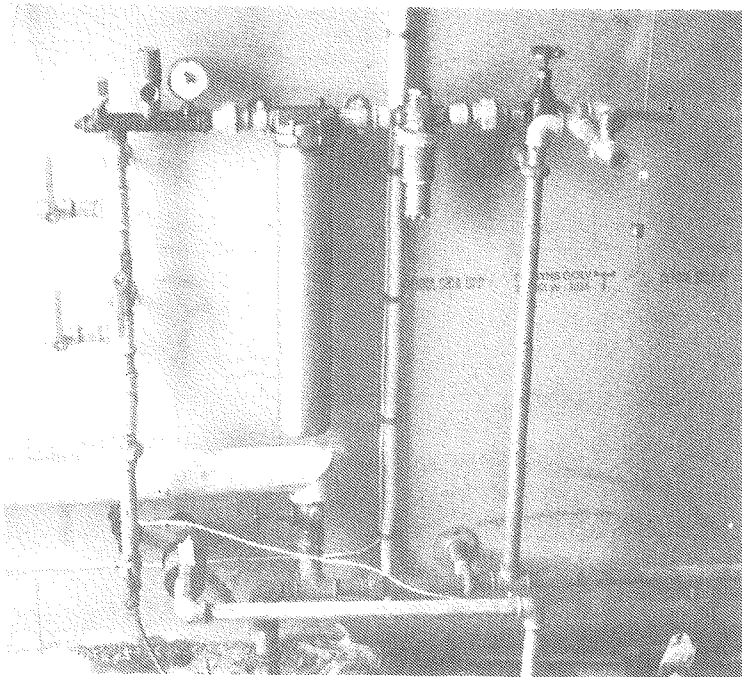


Figur 26. Skematisk illustration af solfangerprøvestanden.

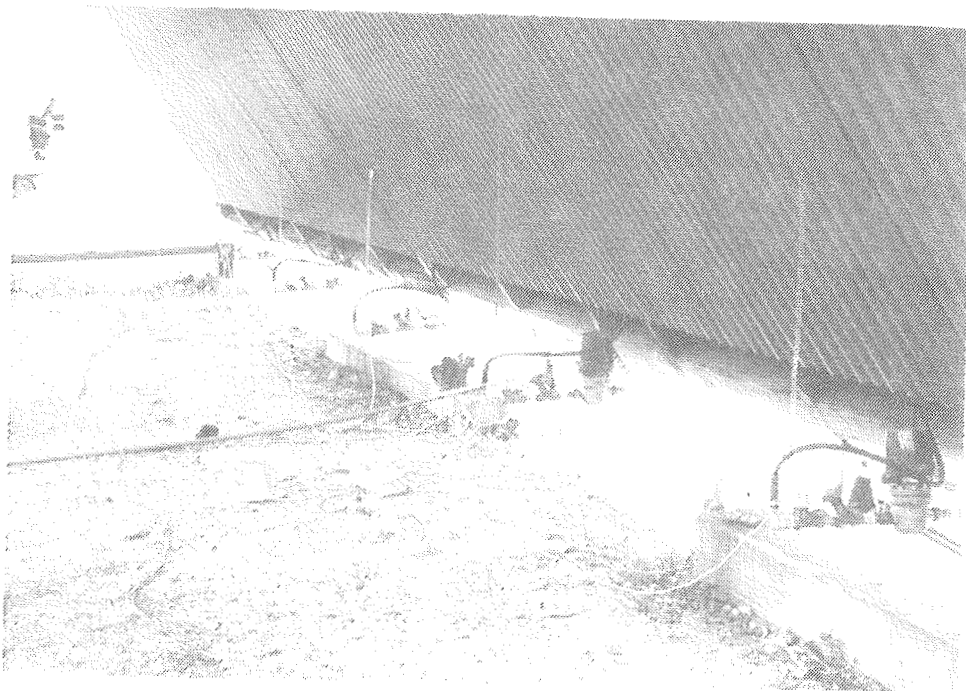
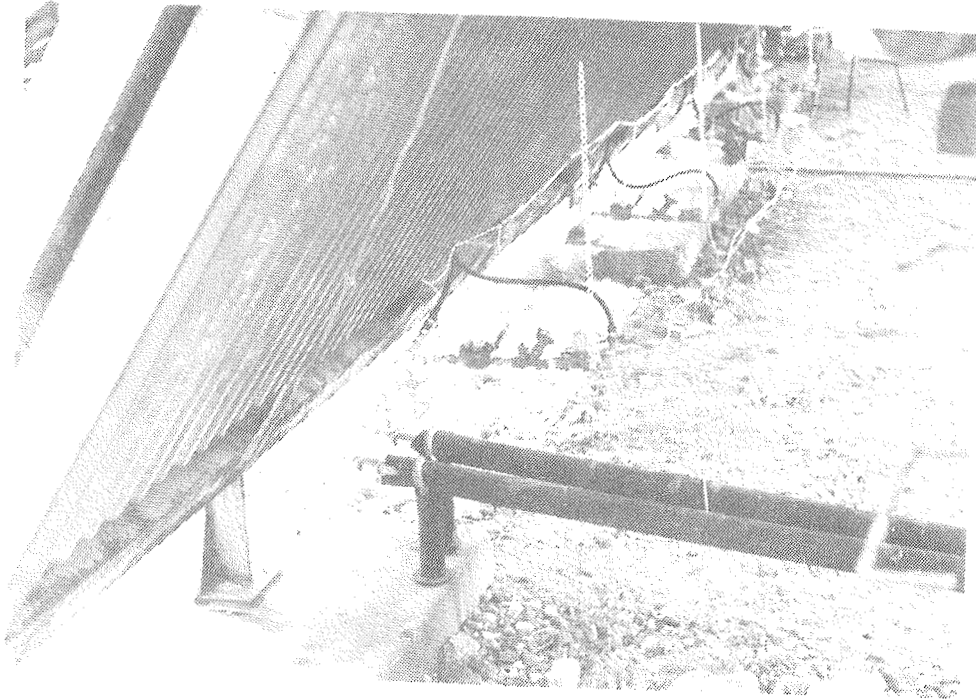
Prøvestanden består af et rørsystem med tilhørende ventiler og styresystem, så koldt vand på ca. 18°C fremføres til fem ens solfangere med en konstant fremløbstemperatur og med den volumenstrøm, som ønskes benyttet for den enkelte solfanger, når solen skinner tilstrækkeligt til at solfangerne kan producere varme. Hver enkelt solfanger er forsynet med sit eget styresystem, som består

af en magnetventil, som er åben når vandtemperaturen i toppen af solfangeren er større end 19°C . Er denne temperatur, som måles ved hjælp af et termoelement, mindre end 19°C , er magnetventilen lukket, og volumenstrømmen gennem den pågældende solfanger er stoppet. Dette styresystem blev dog i nogle perioder ændret, så magnetventilerne altid er åbne i dagtimerne.

Dele af prøvestanden, som blev opbygget af Arne Skovslund, Haarlev Installationsforretning ApS, er vist på figur 27-31. Solfangerne fra Aidt Miljø ApS blev afprøvet i prøvestanden fra 21.7.88 til 21.8.88, og solfangerne fra Islev Solvarme ApS blev afprøvet fra 27.8.88 til 21.9.88.



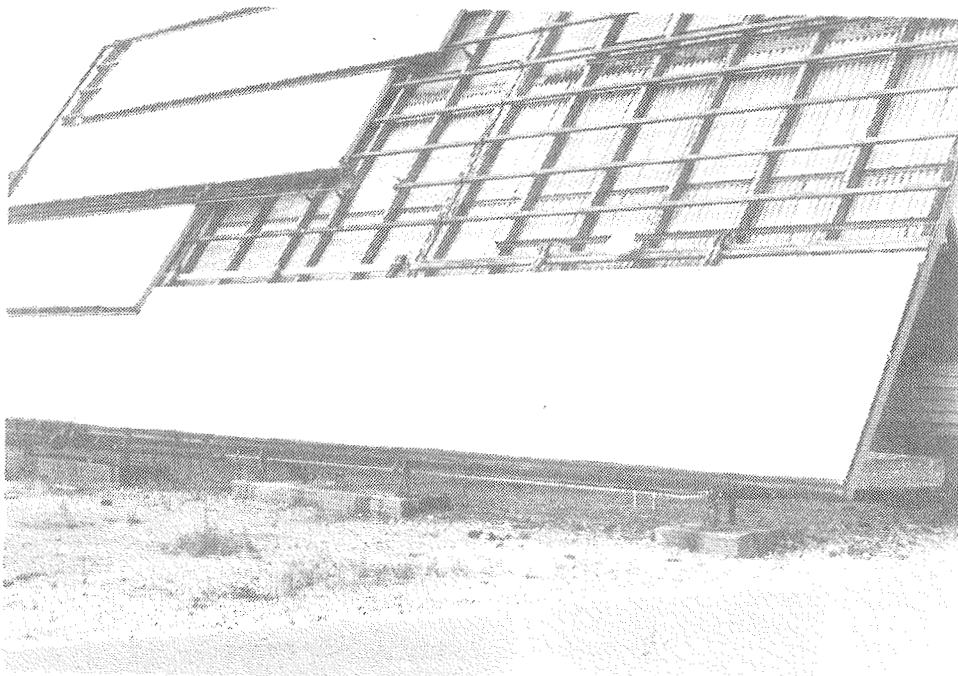
Figur 27. Prøvestandens fremløbs- og afløbsrør placeret inde i SPTF-en.



Figur 28. De 5 solfangeres fremløbs- og afløbsrør under installationen på bagsiden af solfangerstativet.



Figur 29. Flowmeter, strengreguleringsventil og magnetventil på fremløbsrøret til en af solfangerne med stor volumenstrøm.



Figur 30. Fem solfangere fra Aidt Miljø ApS på solfangerstativet i nederste række vist sammen med andre solfangere.



Figur 31. 5 solfangere fra Islev Solvarme ApS på solfangerstativet.

3.3 Målesystem

Som det fremgår af figur 26 er hver solfanger forsynet med et flowmeter til måling af volumenstrømmen, som tilføres solfangeren og en termosøjle til måling af temperaturdifferensen over solfangeren.

Flowmetrene er Aqua Metro ringstempelmålere. Der benyttes tre flowmetre af typen VZTH8 til volumenstrømme mellem 0,1 l/min og 2,5 l/min og to flowmetre af typen VZTH20 til volumenstrømme mellem 1 l/min og 25 l/min. Herved kan solfangerne undersøges ved forskellige volumenstrømme i hele det interessante område. Nøjagtigheden er af fabrikanten angivet til 1% af den aktuelle væskestrøm og indledningsvis blev alle flowmetrene kalibreret ved forskellige volumenstrømme ved hjælp af forsøg med vejning af vandmasserne. Herved blev det kontrolleret, at flowmetrenes nøjagtighed ligger inden for den nævnte 1%.

Hver af termosøjlerne, som benyttes til måling af differenserne mellem fremløbs- og returtemperatur fra solfangerne, er opbygget af termoelementtråd af typen TT

kobber-konstantan og har ti elementer. Termosøjlerne er placeret i det i [8] beskrevne udstyr, som desuden er forsynet med termoelementer, som direkte måler fremløbs- og returtemperaturen. Indledningsvis blev det ved forsøg med termostatbade kontrolleret, at de fem benyttede termosøjler måler korrekt. Termosøjlernes træghed over for temperaturforandringer er særdeles lille [10], og det vurderes, at denne træghed ikke har afgørende indflydelse på solfangernes målte dagsydelser. Termosøjlerne placeres så tæt på solfangernes indløbs- og returstudsene som muligt.

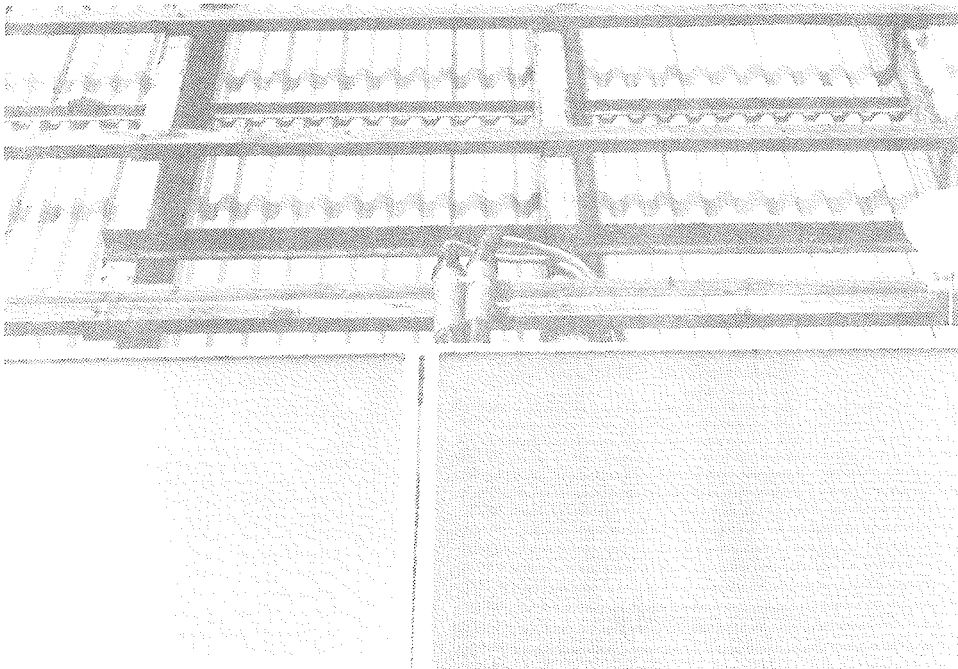
Solindfaldet på solfangerne registreres ved hjælp af et solarimeter, og udelufttemperaturen registreres ved hjælp af et termoelement igennem hele forsøgsperioden.

Det i [11] opbyggede målesystem benyttes til opsamling af måledata. Hjertet i målesystemet er et Hewlett Packard dataloggersystem forbundet med en IBM xt-PC ved hjælp af et GPIB (General Purpose Interface Bus) Adapter kort (IEEE 488). Dataloggersystemet består af 3495 A Scanner, 3455 A Digital voltmeter, 6940 B Multiprogrammer og 59500 A Multiprogrammer interface.

Hvert 20. sekund scannes de 5 volumenstrømme, de 5 fremløbstemperaturer, de 5 returtemperaturer, de 5 temperaturdifferenser over solfangerne, solindfaldet på solfangerne og udelufttemperaturen. Alle disse målinger samt de deraf beregnede solfangerydelser kan følges på PC'eren's skærm. Dermed er det muligt hele tiden at kontrollere solfangerens driftsbetingelser og at følge solfangernes drift. Hvert 2. minut lagres middelværdierne af alle de ovenfor nævnte målte størrelser, således at måleresultaterne kan udgøre grundlaget for en grundig analyse.

Figur 32-34 viser dele af måle- og dataopsamlingssystemet.

Både indløbs- og returstudsene for solfangerelementet fra Aids Miljø ApS er placeret i solfangerelementets øverste venstre hjørne, og termosøjlen er, som det fremgår af figur 32, placeret direkte i stude. Solfangeren fra



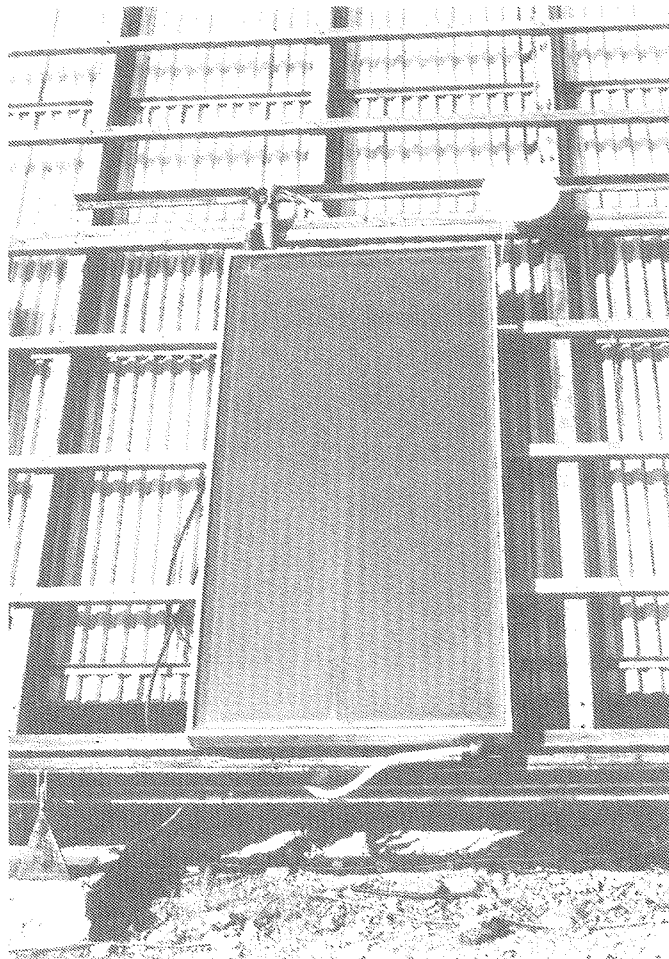
Figur 32. Termosøjlels placering ved øverste venstre hjørne for et solfangerelement fra Aidt Miljø ApS.

Islev Solvarme ApS har sin indløbsstuds i det nederste højre hjørne, mens returstudsens er placeret i det øverste venstre hjørne af solfangeren. Termosøjlen er, som det fremgår af figur 33, placeret i øverste venstre hjørne. Returtemperaturen måles direkte i returstudsens, mens fremløbstemperaturen til solfangeren ikke måles direkte ved indløbet. Fejlen, som opstår herved, er lille, dels fordi vandet føres gennem et velisoleret rør fra målepunktet til solfangerens indløbsstuds, dels fordi forskellen mellem fremløbstemperaturen og udelufttemperaturen er lille.

Solfangerens øjeblikkelige ydelse bestemmes af formlen:

$$\dot{V} \cdot \rho_{T_f} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

hvor $\dot{V}$ er den målte volumenstrøm, som tilføres solfangeren, ΔT er den målte temperaturdifferens over solfangeren, ρ_{T_f} er vands massefylde ved fremløbstemperaturen T_f og C_p er vands varmekapacitet. Som bekendt afhænger størrelsen af C_p af vandtemperaturen, men fejlen, som opstår ved altid at benytte $C_p = 4188 \text{ J/kg K}$, er mindre end 0,5%.



Figur 33. Termosøjlels placering ved øverste venstre hjørne for et solfangerelement fra Islev Solvarme ApS.



Figur 34. Målesystemets PC'er med måledata for de seneste 20 sekunder.

Som tidligere omtalt afhænger solfangernes væskevolumen af solfangertemperaturen. Dette er navnlig tilfældet med solfangeren fra Aidt Miljø ApS. Således indeholder denne solfanger ca. 5% mere væske ved 40°C end ved 20°C. Den benyttede formel til beregning af solfangerens øjeblikkelige ydelse forudsætter, at massestrømmen ind og ud af solfangeren er den samme. Altså opstår der fejl på grund af solfangerens udvidelser og sammentrækninger. Det vurderes dog, at disse fejl kun får begrænset indflydelse på bestemmelsen af solfangernes dagsydelse.

På basis af de bestemte øjeblikkelige solfangerydelser beregnes for hver enkelt dag dagsydelsen for hver af de fem solfangere med hver sin volumenstrøm.

Solfangernes dagsydelse bestemmes altså som beskrevet i det foregående samtidig med, at solfangernes drift detaljeret kan følges igennem dagen.

3.4 Prøvebetingelser

De fem solfangere blev afprøvet under de samme betingelser: solindfaldet på solfangerne er det samme igennem hele dagen for alle solfangerne, styresystemet er det samme for alle solfangerne og fremløbstemperaturen er næsten ens for alle solfangerne.

Fremløbstemperaturen varierede lidt fra dag til dag og igennem hver enkelt dag, men normalt var fremløbstemperaturen beliggende i temperaturintervallet 17°C-19°C. Normalt var den største øjeblikkelige temperaturforskel mellem den varmeste og koldeste fremløbstemperatur mindre end 0,5 K, men i visse perioder med meget store forskelle mellem volumenstrømmene var den største temperaturforskel så stor som 1 K.

Det vurderes dog, at de forholdsvis små forskelle i fremløbstemperaturen ingen afgørende indflydelse har på måleresultaterne.

3.5 Måleresultater

De målte dagsydelse for solfangerne fra Aidt Miljø ApS med forskellige volumenstrømme fremgår af tabel 6, 7 og 8. For hver dag er fem målte gennemsnitlige volumenstrømme gennem solfangerne, solfangerens tilsvarende dagsydelse og forholdene mellem dagsydelse og solindfald på solfangeren anført. Forholdet mellem solfangerens dagsydelse og solindfaldet på solfangeren kaldes i det følgende solfangerens dagseffektivitet. De øverst anførte størrelser er målt for solfangeren, som er placeret længst til højre på solfangerstativet, mens de nederst anførte størrelser er målt for solfangeren, som er placeret længst til venstre på solfangerstativet.

I tabellerne er desuden anført solfangerens flowfaktor F'' og forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' . F'' beregnes som anført i [12] ved hjælp af formlen:

$$F'' = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A \cdot U_L \cdot F'} \cdot \left(1 - e^{-\frac{A \cdot U_L \cdot F'}{\dot{m} \cdot C_p}} \right), \text{ hvor}$$

$\dot{m}/A$ er massestrømmen pr. m^2 solfanger, $kg/s \cdot m^2$

U_L er solfangerens totale varmetabskoefficient, $W/m^2 K$

F' er solfangerens effektivitetsfaktor, ubenævnt

C_p er vands varmekapacitet, $J/kg \cdot K$.

Størrelsen $U_L \cdot F'$ findes ved hjælp af den i afsnit 3.1 omtalte effektivitetsmåling. For solfangeren fra Aidt Miljø ApS findes: $U_L \cdot F' = 5,8 + 0,020 \cdot (T_m - T_a) W/m^2 K$. De i tabellerne angivne størrelser for F'' er beregnet med $T_m - T_a = 10 K$, dvs med $U_L \cdot F' = 6,0 W/m^2 K$.

Som det fremgår af tabellerne er der nogle dage benyttet samme volumenstrøm i to eller flere solfangere. Herved kontrolleres både at solfangerne og at målesystemerne virker ens. Når volumenstrømmen er den samme for forskellige solfangere, er forskellen mellem de målte dagsydelse

Dato	Solindfald på solfangeren kWh/m ² dag	Gennemsnitlig volumenstrøm gennem solfangeren l/min m ²	Solfangerens dagsydelse kWh	Solfangerens dageffektivitet= dagsydelse/ solindfald på solfangeren -	F ^u -	Dags- effek- tivi- tet/F ^a -	Eventuelle specielle drifts- betingelser
21/7-88	3,25	0,10 0,19 0,30 0,48 0,90	5,63 6,70 7,13 7,32 7,64	0,43 0,51 0,54 0,56 0,58	0,67 0,81 0,87 0,91 0,95	0,64 0,64 0,63 0,61 0,61	
22/7-88	0,59	0,10 0,20 0,29 0,49 0,90	0,90 1,00 1,09 0,91 0,88	0,38 0,42 0,46 0,38 0,37	0,67 0,81 0,87 0,92 0,95	0,56 0,52 0,53 0,42 0,39	
23/7-88	1,11	0,10 0,21 0,31 0,50 0,90	2,16 2,65 2,70 2,78 2,93	0,48 0,59 0,60 0,62 0,65	0,67 0,82 0,87 0,92 0,95	0,72 0,72 0,69 0,68 0,69	
24/7-88	3,31	0,10 0,20 0,32 0,50 0,90	6,56 8,02 8,49 8,73 9,21	0,49 0,60 0,64 0,65 0,69	0,67 0,81 0,88 0,92 0,95	0,73 0,74 0,73 0,71 0,72	
25/7-88	5,58	0,09 0,19 0,32 0,50 0,89	9,76 12,14 13,13 13,56 14,18	0,43 0,54 0,58 0,60 0,63	0,66 0,81 0,88 0,92 0,95	0,66 0,67 0,67 0,66 0,66	
26/7-88	1,47	0,12 0,23 0,37 0,59 1,07	2,94 3,29 3,42 3,40 3,51	0,50 0,55 0,58 0,57 0,59	0,72 0,84 0,89 0,93 0,96	0,69 0,66 0,65 0,62 0,62	
27/7-88	5,29	0,12 0,24 0,37 0,58 1,07	10,45 12,20 12,71 12,89 13,58	0,49 0,57 0,60 0,60 0,64	0,72 0,84 0,89 0,93 0,96	0,68 0,68 0,67 0,65 0,66	
28/7-88	5,00	0,12 0,24 0,38 0,59 1,07	9,28 10,77 11,23 11,30 11,93	0,46 0,53 0,56 0,56 0,59	0,72 0,84 0,89 0,93 0,96	0,64 0,63 0,62 0,60 0,62	
29/7-88	2,46	0,12 0,24 0,37 0,60 1,07	4,06 4,69 4,90 4,90 4,99	0,41 0,47 0,49 0,49 0,50	0,72 0,84 0,89 0,93 0,96	0,57 0,56 0,55 0,53 0,52	
30/7-88	4,43	0,12 0,26 0,37 0,59 1,06	7,59 8,91 8,96 9,18 9,54	0,42 0,50 0,50 0,51 0,53	0,72 0,85 0,89 0,93 0,96	0,59 0,59 0,56 0,55 0,56	

Tabel 6. Måleresultater for dage med solfangerne fra Aidt Miljø ApS.

Dato	Solindfald på solfangeren kWh/m ² dag	Gennemsnitlig volumenstrøm gennem solfangeren l/min m ²	Solfangerens dagsydelse kWh	Solfangerens dageffektivitet= dagsydelse/ solindfald på solfangeren -	F ^u -	Dags- effek- tivi- tet/F ^u -	Eventuelle specielle drifts- betingelser
31/7-88	2,64	0,13 0,24 0,37 0,60 1,06	4,38 4,98 5,00 5,01 5,08	0,41 0,47 0,47 0,47 0,48	0,73 0,84 0,89 0,93 0,96	0,56 0,56 0,53 0,51 0,50	
1/8-88	5,47	0,12 0,26 0,36 0,59 1,07	10,56 12,31 12,64 12,80 13,51	0,48 0,56 0,57 0,58 0,61	0,72 0,85 0,89 0,93 0,96	0,67 0,66 0,65 0,63 0,64	
2/8-88	4,72	0,13 0,25 0,36 0,59 1,06	8,96 10,37 10,70 10,78 11,24	0,47 0,54 0,56 0,57 0,59	0,73 0,85 0,89 0,93 0,96	0,64 0,64 0,63 0,61 0,62	
3/8-88	5,10	0,12 0,24 0,37 0,60 1,06	9,41 10,76 11,15 11,23 11,84	0,46 0,52 0,54 0,55 0,58	0,72 0,84 0,89 0,93 0,96	0,64 0,62 0,61 0,59 0,60	
4/8-88	1,39	0,13 0,26 0,36 0,59 1,05	1,50 1,54 1,55 1,24 1,27	0,27 0,27 0,28 0,22 0,23	0,73 0,85 0,89 0,93 0,96	0,37 0,32 0,31 0,24 0,24	
5/8-88	4,18	0,23 0,24 0,24 0,29 -	9,14 9,14 8,92 9,26 -	0,54 0,54 0,53 0,55 -	0,84 0,84 0,84 0,87 -	0,65 0,64 0,63 0,63 -	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
9/8-88	6,45	0,25 0,26 0,24 0,25 -	16,16 16,16 15,87 16,14 -	0,62 0,62 0,61 0,62 -	0,85 0,85 0,84 0,85 -	0,73 0,73 0,72 0,73 -	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
10/8-88	6,64	0,23 0,25 0,25 0,25 -	15,97 16,03 15,90 16,13 -	0,60 0,60 0,59 0,60 -	0,84 0,85 0,85 0,85 -	0,71 0,71 0,70 0,71 -	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
11/8-88	2,05	0,26 0,26 0,26 0,26 0,25	5,03 5,00 4,91 4,93 4,77	0,61 0,60 0,59 0,60 0,58	0,85 0,85 0,85 0,85 0,85	0,71 0,71 0,70 0,70 0,68	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
12/8-88	1,47	0,25 0,25 0,26 0,26 -	2,73 2,78 2,94 2,82 -	0,46 0,47 0,50 0,48 -	0,85 0,85 0,85 0,85 -	0,54 0,55 0,58 0,56 -	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm

Tabel 7. Måleresultater for dage med solfangerne fra
Aidt Miljø ApS.

Dato	Solindfald på solfangeren kWh/m ² dag	Gennemsnitlig volumenstrøm gennem solfangeren l/min m ²	Solfangerens dagsydelse kWh	Solfangerens dagseffektivitet= dagsydelse/ solindfald på solfangeren -	F ^u -	Dags- effek- tivi- tet/F ^u -	Eventuelle specielle drifts- betingelser
13/8-88	2,88	0,26 0,27 0,27 0,26 0,26	5,93 6,03 6,07 6,02 5,90	0,51 0,52 0,52 0,52 0,51	0,85 0,86 0,86 0,85 0,85	0,60 0,61 0,61 0,61 0,60	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
14/8-88	4,66	0,26 0,26 0,27 0,26 0,28	10,31 10,21 10,13 10,24 10,35	0,55 0,54 0,54 0,54 0,55	0,85 0,85 0,86 0,85 0,85	0,64 0,64 0,63 0,64 0,64	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
15/8-88	4,17	0,25 0,25 0,26 0,26 0,25	9,65 9,57 9,52 9,60 9,40	0,57 0,57 0,57 0,57 0,56	0,85 0,85 0,85 0,85 0,85	0,68 0,67 0,66 0,67 0,66	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
16/8-88	3,76	0,25 0,25 0,26 0,26 0,24	7,85 7,82 7,78 7,86 7,55	0,52 0,52 0,51 0,52 0,50	0,85 0,85 0,85 0,85 0,84	0,61 0,61 0,60 0,61 0,59	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
17/8-88	4,26	0,17 0,22 0,30 0,54 -	8,39 9,13 9,53 9,69 -	0,49 0,53 0,55 0,56 -	0,79 0,83 0,87 0,92 -	0,62 0,64 0,64 0,61 -	
18/8-88	3,79	0,11 0,20 0,33 0,79 0,50	6,83 7,85 8,27 8,22 8,43	0,45 0,51 0,54 0,54 0,55	0,70 0,81 0,88 0,95 0,92	0,64 0,63 0,61 0,57 0,60	
19/8-88	2,31	0,12 0,20 0,30 0,62 0,59	4,29 4,92 5,14 5,29 5,36	0,46 0,53 0,55 0,57 0,58	0,72 0,81 0,87 0,93 0,93	0,64 0,65 0,63 0,61 0,62	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
20/8-88	3,81	0,12 0,18 0,32 0,64 0,65	6,92 7,74 8,39 8,61 8,87	0,45 0,50 0,55 0,56 0,58	0,72 0,80 0,88 0,93 0,94	0,63 0,63 0,62 0,60 0,62	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
21/8-88	3,29	0,12 0,21 0,33 0,68 0,67	5,58 6,35 6,55 6,48 6,74	0,42 0,48 0,49 0,49 0,51	0,72 0,82 0,88 0,94 0,94	0,59 0,58 0,56 0,52 0,54	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm

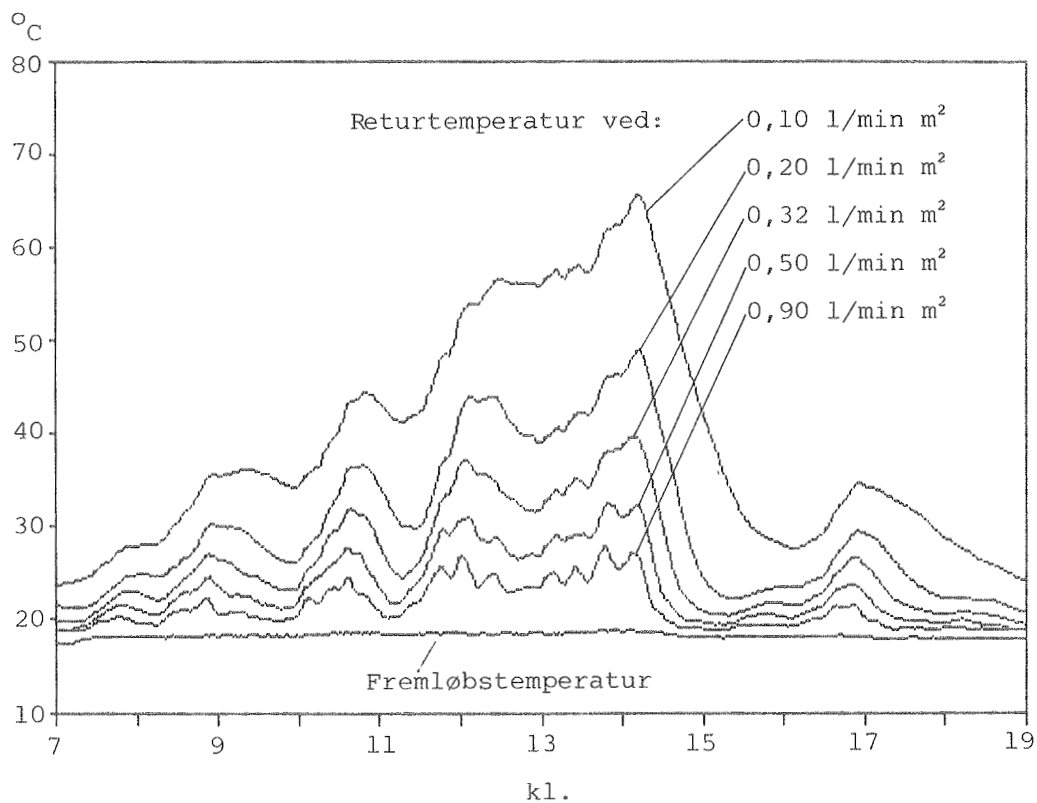
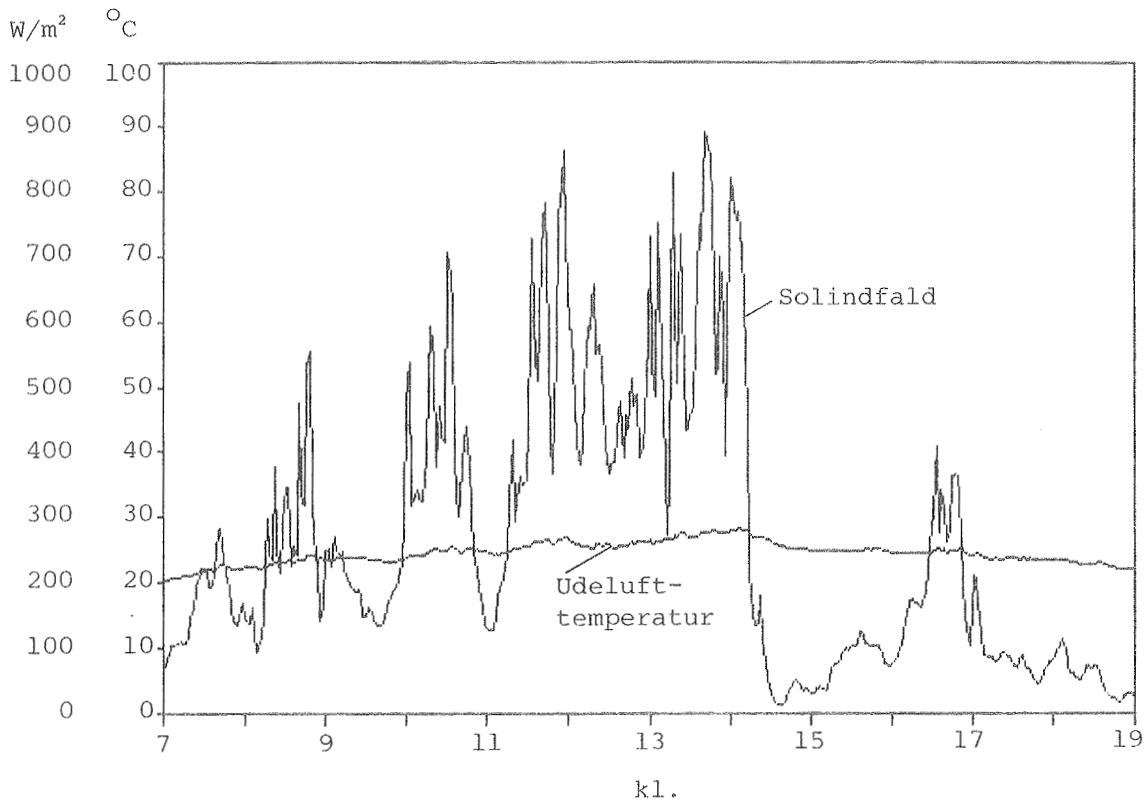
Tabel 8. Måleresultater for dage med solfangerne fra Aidt Miljø ApS.

for solfangerne højst 5%. Dog er den største forskel en enkelt dag, den 12/8-88 med et lille solindfald på 1,47 kWh/m² dag, så stor som 7,7%. På basis af målingerne vurderes det, at de fem solfangere og målesystemer fungerer ens, og at man kan stole på målingerne. Det bør dog huskes, at måleresultaterne fra dage med et mindre solindfald end 2 kWh/m² dag er lidt usikre.

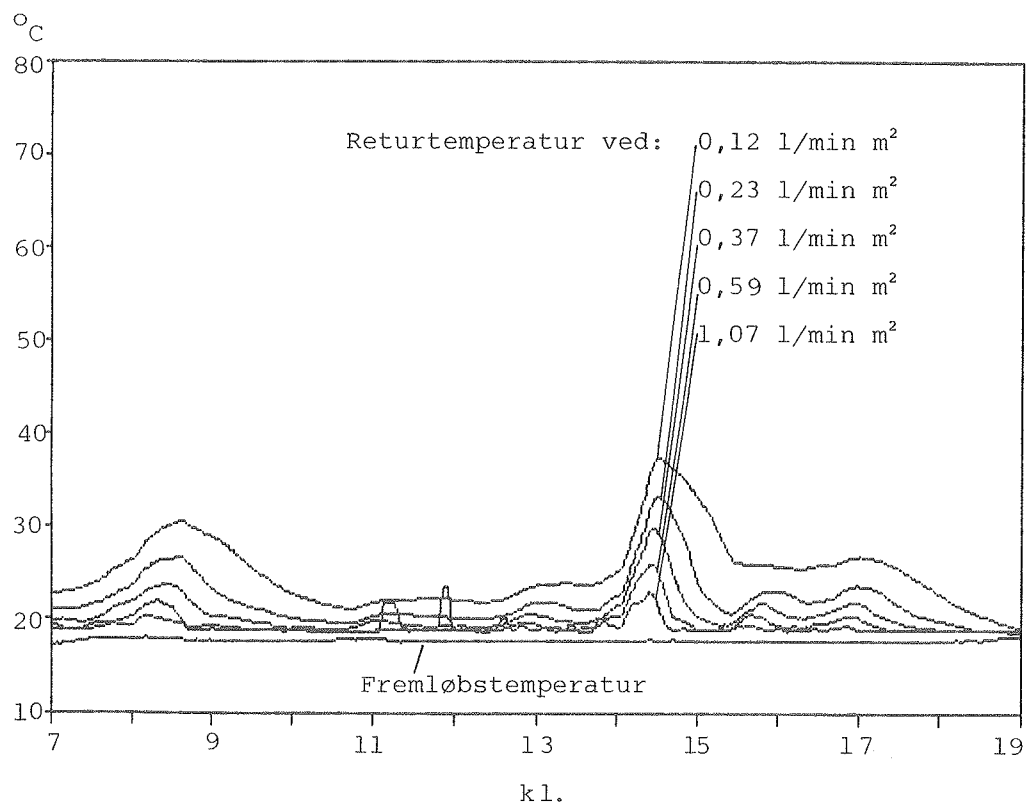
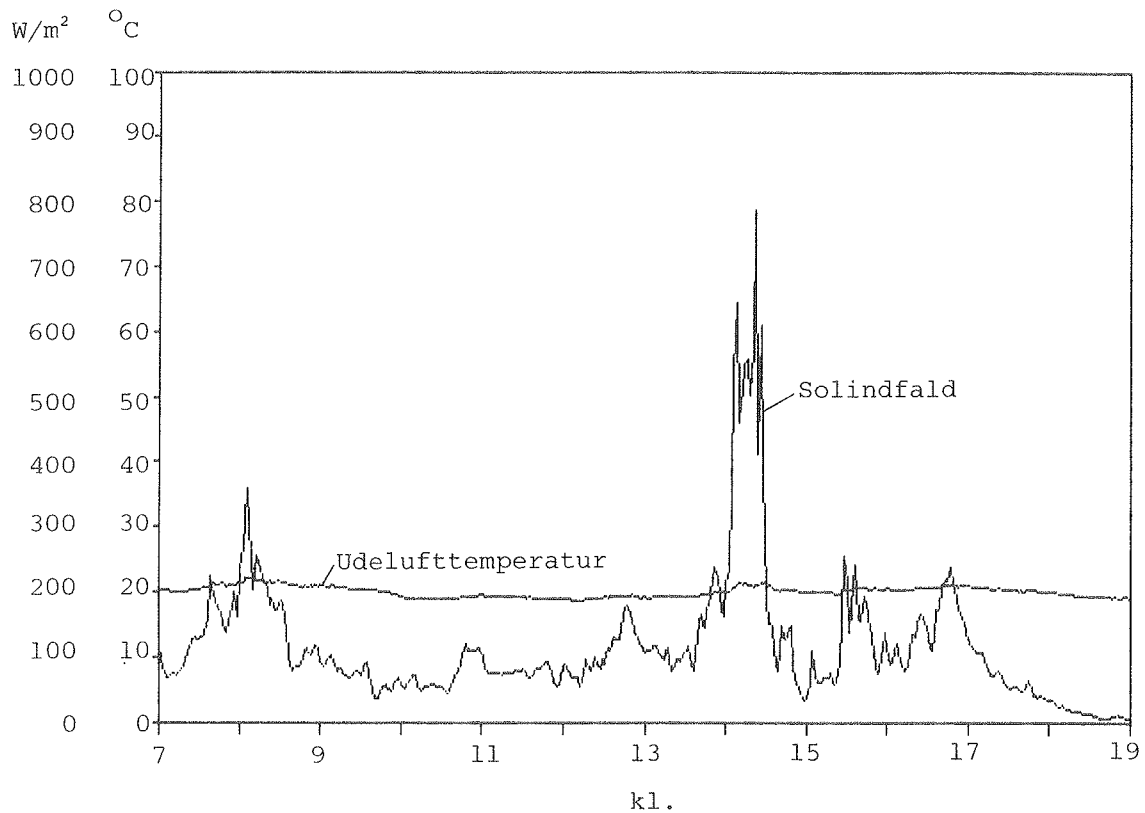
Figur 35, 36 og 37 viser forholdene for tre dage for solfangerne fra Aidt Miljø ApS. Figurerne viser vejrforholdene, fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme igennem en middelhøj solskinsdag, en solfattig dag og en solrig dag. Det bør bemærkes, at de enkelte volumenstrømme ikke er helt konstante igennem hele dagen. De anførte volumenstrømme er gennemsnitlige volumenstrømme for hele dagen. Jo mindre volumenstrømmen er des større er solfangerens returtemperatur.

Vandvolumenet i solfangeren er særdeles stort, ca. 7 l/m². Vandets gennemstrømningstid igennem solfangeren er derfor særdeles stor, således er gennemstrømningstiden for de små volumenstrømme større end 1 time. Variationerne i returtemperaturen er derfor langt mindre end man umiddelbart skulle forvente på grund af de store variationer i solindfaldet. Jo større volumenstrømmen er des bedre afspejler variationerne i returtemperaturen variationerne i solindfaldet.

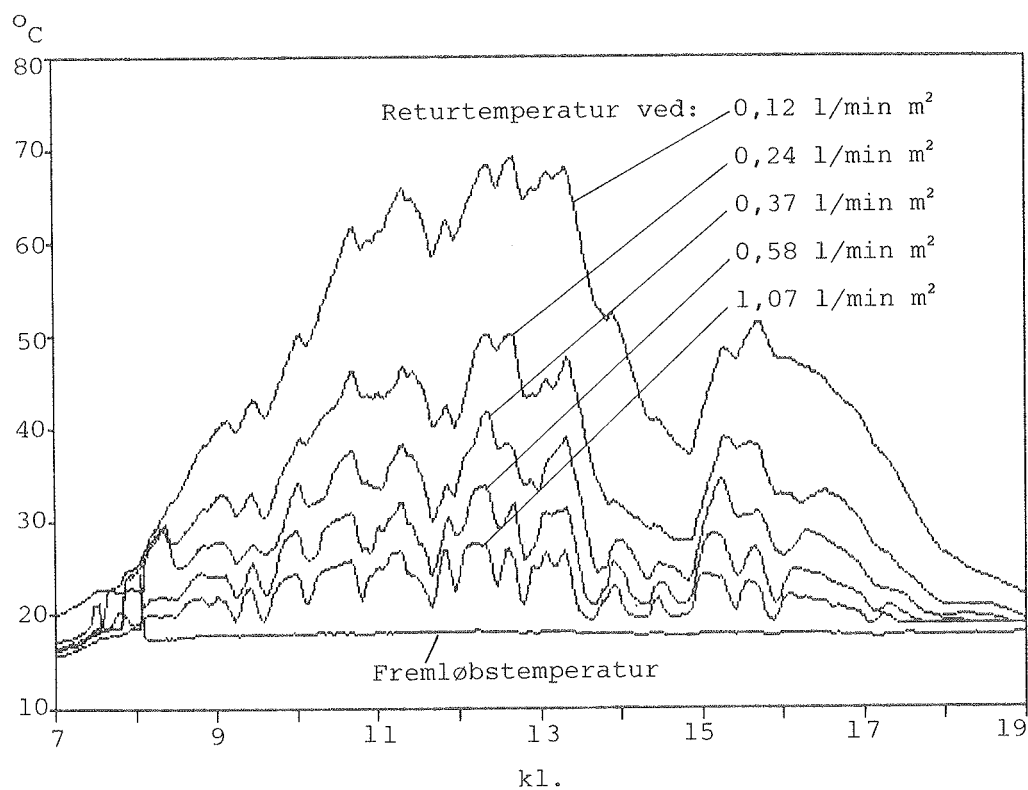
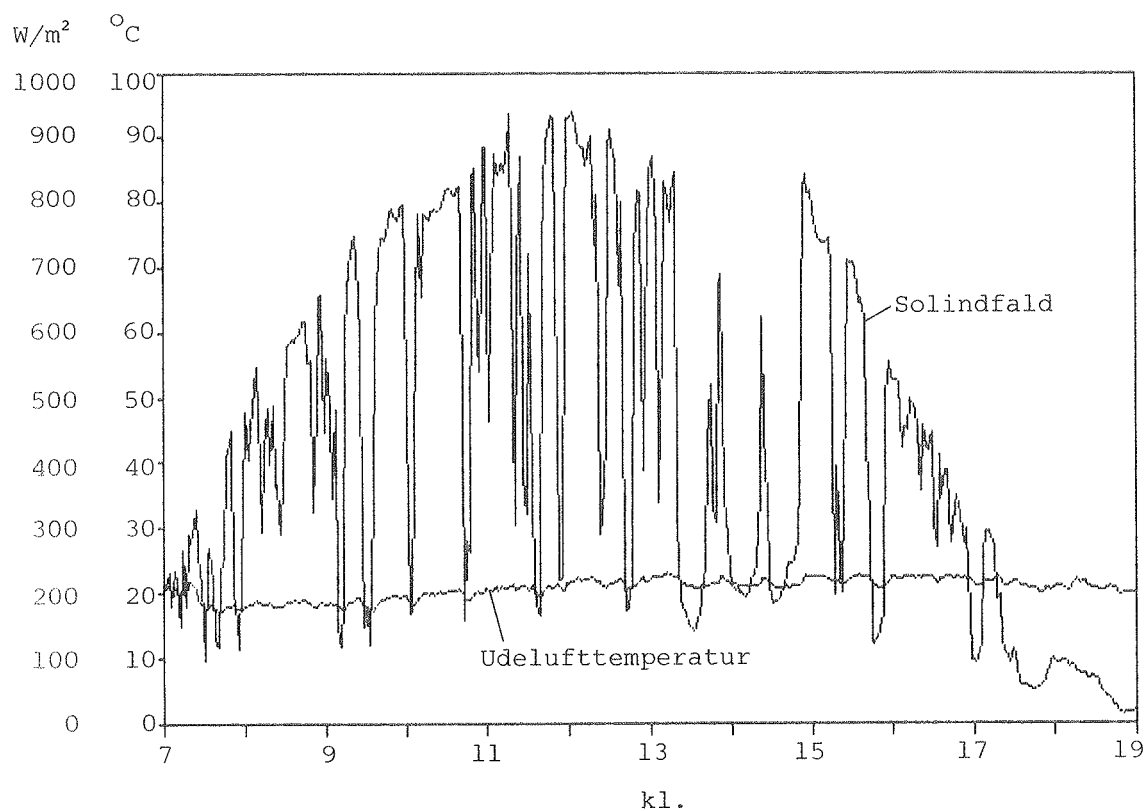
Den 26. juli er solintensiteten, som det fremgår af figur 36, så lille, at returtemperaturen for solfangeren med den største volumenstrøm et par gange mellem kl. 11 og kl. 12 bliver mindre end 19°C. Styresystemet stopper derfor for volumenstrømmen, indtil temperaturføleren i toppen af solfangeren atter har nået 19°C. Returtemperaturen for de øvrige solfangere med mindre volumenstrømme forbliver i hele perioden højere end 19°C, og volumenstrømmen stoppes derfor kun for solfangeren med den store



Figur 35. Øverst solindfald på solfangerne og udelufttemperaturen og nederst fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme den 24. juli 1988. Solfangerne er fra Aidt Miljø ApS.



Figur 36. Øverst solindfald på solfangerne og udelufttemperaturen og nederst fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme den 26. juli 1988. Solfangerne er fra Aidt Miljø ApS.



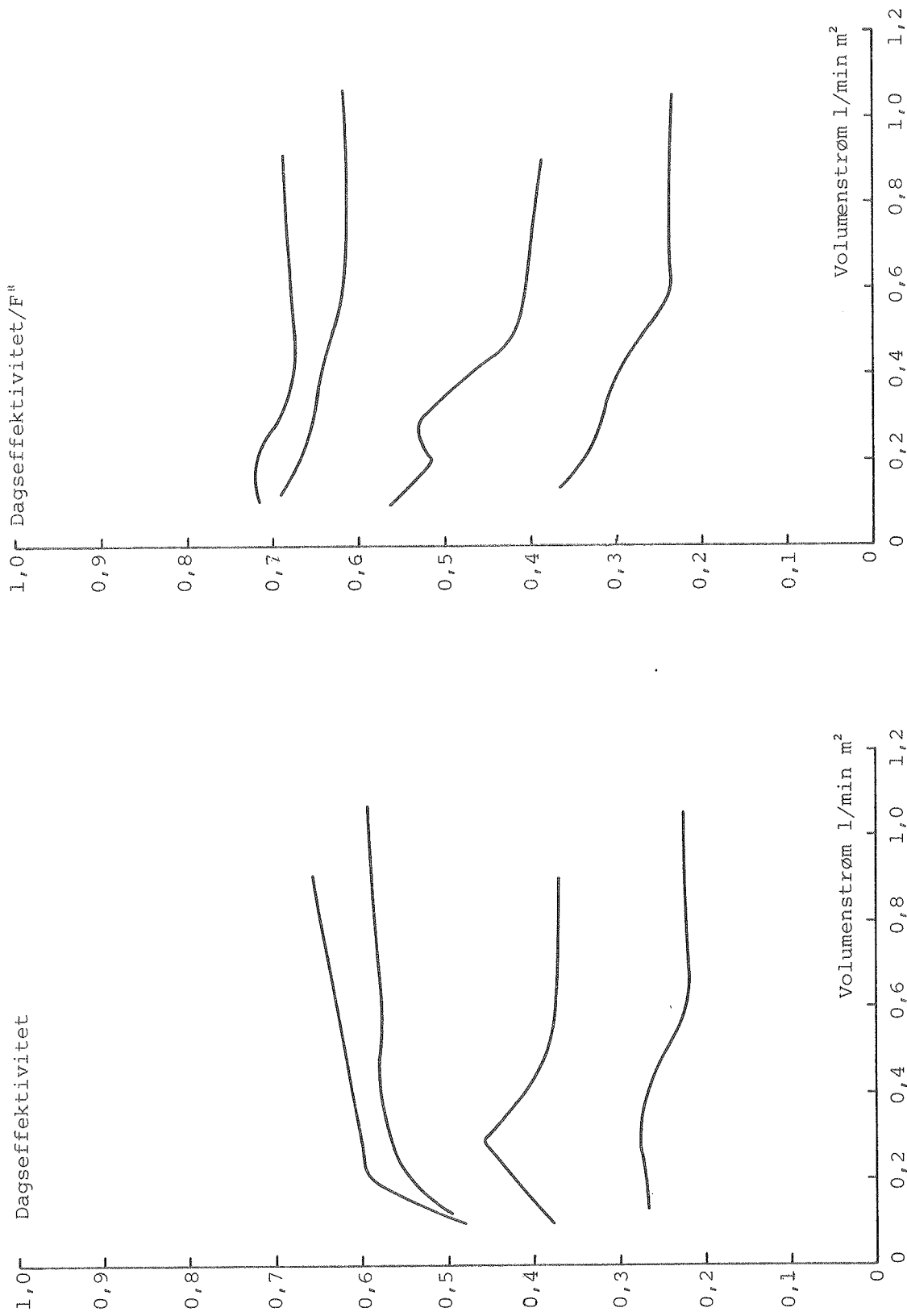
Figur 37. Øverst solindfald på solfangerne og udelufttemperaturren og nederst fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme den 27. juli 1988. Solfangerne er fra Aidt Miljø Aps.

volumenstrøm. Da styresystemets temperaturføler ikke er placeret helt perfekt, startes volumenstrømmen først igen et stykke tid efter at returtemperaturen har nået 19°C . Derfor forøges solfangerens varmetab i disse stilstandsperioder, og dette kan være medvirkende til de lave ydelser på solfattige dage for solfangerne med store volumenstrømme. Det skal dog bemærkes, at disse forhold ingen betydning har for dage, hvor solindfaldet er større end 2 kWh/m^2 .

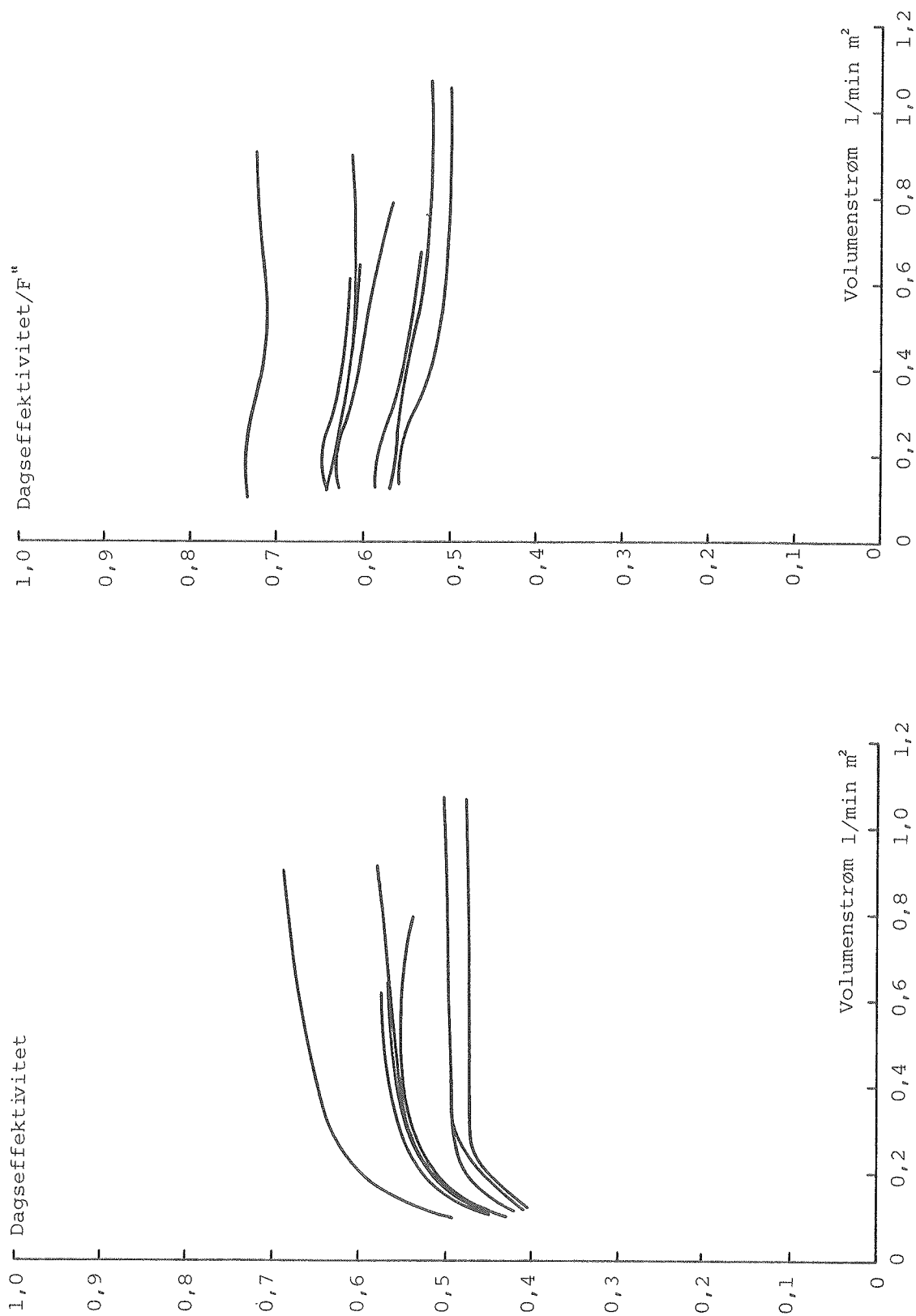
Måleresultaterne for solfangerne fra Aidt Miljø ApS er sammenfattede i figur 38, 39 og 40. Figurerne viser for solfattige dage med et totalt dagligt solindfald mindre end 2 kWh/m^2 , for middelgode solskinsdage med et totalt dagligt solindfald mellem 2 kWh/m^2 og 4 kWh/m^2 og for solrige dage med et totalt dagligt solindfald større end 4 kWh/m^2 de målte dagseffektiviteter og forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' som funktion af volumenstrømmen. Hver kurve i figurerne repræsenterer måleresultaterne for én dag.

Det ses, at solfangerydelsen og dermed dagseffektiviteten vokser for voksende volumenstrøm. Dette gælder dog ikke for to solfattige dage, sandsynligvis på grund af de ovenfor nævnte problemer med styresystemerne. Naturligvis må det forventes, at dagsydelsen og dermed dagseffektiviteten reduceres, når volumenstrømmen reduceres. Jo mindre volumenstrømmen er, des større bliver solfangervæskens middeltemperatur og dermed solfangerens varmetab jo.

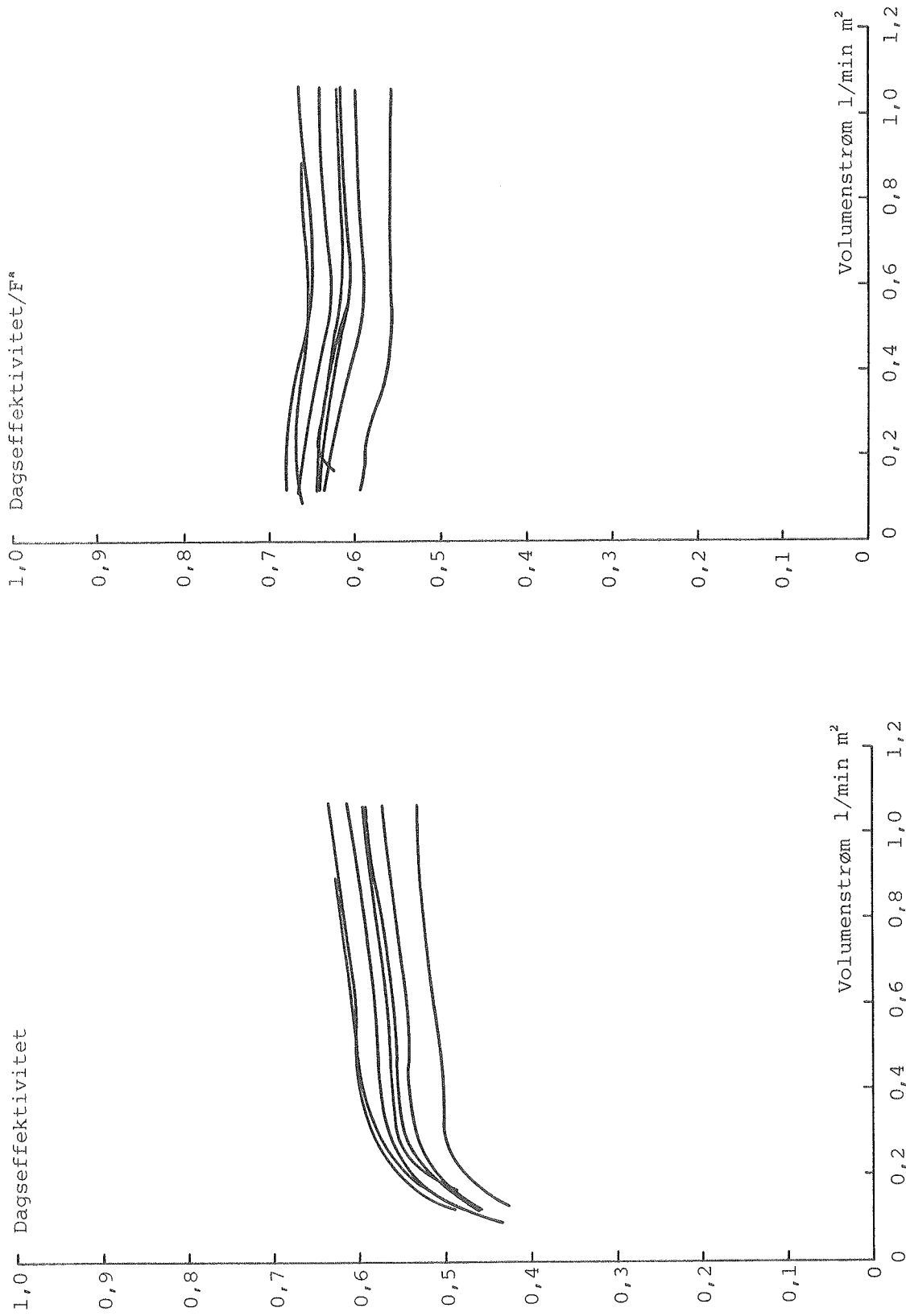
Flowfaktoren F'' udtrykker reduktionen i solfangerens ydelse på grund af det forøgede varmetab, som er knyttet til temperaturstigningen over solfangeren, i forhold til hvad ydelsen ville være, hvis der ikke er nogen temperaturstigning over solfangeren. Forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' er altså et udtryk for solfangerens dynamiske effektivitet igennem dagen renset for forskellene, som opstår på grund af forskellige middelvæsketemperaturer



Figur 38. Solfangerens dagseffektivitet og forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' som funktion af volumenstrømmen for dage med et totalt dagligt solindfald på solfangeren mindre end 2 kWh/m². Solfangerne er fra Aids Miljø APS.



Figur 39. Solfangerens dagseffektivitet og forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' som funktion af volumenstrømmen for dage med et totalt dagligt solindfald på solfangeren beliggende mellem 2 kWh/m² og 4 kWh/m². Solfangerne er fra Aidt Miljø ApS.



Figur 40. Solfangerens dagseffektivitet og forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' som funktion af volumenstrømmen for dage med et totalt dagligt solindfald på solfangeren større end 4 kWh/m^2 . Solfangerne er fra Aidt Miljø ApS.

i solfangeren. Som det fremgår af figurerne, er forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' svagt faldende for voksende volumenstrøm. Jo mindre det daglige solindfald er, des større er volumenstrømmens betydning for forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' .

Det kan altså tyde på, at solfangerens dynamiske effektivitet er en smule større for små volumenstrømme end for store volumenstrømme. Dette er overraskende, idet solfangerens effektivitet under stabile forhold i solsimulatoren reduceres en smule, hvis volumenstrømmen reduceres, [4].

I denne forbindelse skal der dog tages en række forbehold. Som nævnt er beregningen af F'' baseret på effektivitetsmålingen for en solfanger med et areal på $2,14 \text{ m}^2$, mens den benyttede solfanger i prøvestanden har et areal på $4,04 \text{ m}^2$. Solfangerens varmetabskoefficient kan derfor være lidt mindre end den varmetabskoefficient, som er benyttet til beregningen af F'' . F'' kan derfor for små volumenstrømme være lidt større end beregnet her. F'' vil ligeledes for små volumenstrømme være lidt større end beregnet her, hvis vindhastigheden udendørs er mindre end 5 m/s , som er benyttet under afprøvningen i solsimulatoren. Disse forhold kan resultere i, at solfangerens dynamiske effektivitet ikke er så afhængig af volumenstrømmen, som det er vist på figurerne.

Et andet forhold vil derimod forøge solfangerens dynamiske effektivitets afhængighed af volumenstrømmen. Som nævnt er der ved beregningen af F'' benyttet en konstant forskel mellem solfangervæskens middeltemperatur og udelufttemperaturen på 10 K , uanset om der er tale om store eller små volumenstrømme. I virkeligheden afhænger denne temperaturforskelle af volumenstrømmen, og F'' vil derfor for små volumenstrømme være lidt mindre end beregnet her.

Altså er der både forhold, som vil gøre solfangerens dynamiske effektivitet mindre afhængig af, og forhold som

vil gøre solfangerens dynamiske effektivitet mere afhængig af volumenstrømmen.

Med tanke på de forholdsvis små målte forskelle og på måleusikkerheden må det derfor konkluderes, at solfangerens dynamiske effektivitet ikke påvirkes nævneværdigt af volumenstrømmen. Der er således ikke tale om, at solfangerens dynamiske effektivitet reduceres for små volumenstrømme, som det kunne forventes ud fra effektivitetsmålingen i solsimulatoren.

For at klarlægge forholdene bedre er der behov for at sammenholde de detaljerede målinger med detaljerede beregninger af solfangernes returtemperaturer.

De målte dagsydelser for solfangerne fra Islev Solvarme ApS med forskellige volumenstrømme fremgår af tabel 9, 10 og 11. Tabellerne er udformet ligesom tabel 6, 7 og 8. Ved beregning af F'' er der også for solfangeren fra Islev Solvarme ApS benyttet $T_m - T_a = 10 \text{ K}$; det vil for denne solfanger sige: $U_L \cdot F' = 3,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, se afsnit 3.1.

Som det fremgår af tabellerne, er der nogle dage benyttet samme volumenstrøm i to eller flere solfangere. Herved kontrolleres både at solfangerne og at målesystemerne virker ens. Når volumenstrømmen er den samme for forskellige solfangere, er forskellen mellem de målte dagsydelser for solfangerne mindre end 3%. Dog er den største forskel en enkelt dag, den 11/9-88 med et særdeles lille solindfald på $0,52 \text{ kWh/m}^2$, så stor som 20,7%. På basis af målingerne vurderes det, at de fem solfangere og målesystemer fungerer ens, og at man kan stole på målingerne. Måleresultater fra dage med et mindre solindfald end $2 \text{ kWh/m}^2 \text{ dag}$ er dog noget usikre.

Nogle dage er styresystemerne ændret således, at der altid er gennemstrømning gennem solfangerne om dagen. Perioder med eventuelle negative solfangerydelser tælles ikke med ved beregningen af dagsydelserne. På basis af målingerne vurderes det, at styresystemet ingen nævneværdig indflydelse har på måleresultaterne.

Dato	Solindfald på solfangeren kWh/m ² dag	Gennemsnitlig volumenstrøm gennem solfangeren l/min m ²	Solfangerens dagsydelse kWh	Solfangerens dagseffektivitet = dagsydelse / solindfald på solfangeren -	F [#] -	Dags-effektivitet/F [#] -	Eventuelle specielle driftsbetingelser
27/8-88	5,52	0,09 0,22 0,31 0,50 1,02	6,25 7,58 7,69 8,12 8,17	0,59 0,71 0,72 0,76 0,77	0,76 0,89 0,92 0,95 0,98	0,78 0,80 0,79 0,80 0,79	
28/8-88	3,96	0,08 0,24 0,31 0,51 0,98	4,36 5,42 5,45 5,75 5,76	0,57 0,71 0,71 0,75 0,75	0,73 0,90 0,92 0,95 0,97	0,78 0,79 0,78 0,79 0,77	
29/8-88	4,41	0,08 0,17 0,30 0,50 1,02	4,60 5,93 6,25 6,58 6,61	0,54 0,70 0,73 0,77 0,78	0,73 0,86 0,92 0,95 0,98	0,74 0,81 0,80 0,81 0,80	
30/8-88	4,26	0,08 0,22 0,30 0,52 1,01	4,20 5,43 5,48 5,80 5,84	0,51 0,66 0,67 0,71 0,71	0,73 0,89 0,92 0,95 0,97	0,70 0,74 0,73 0,74 0,73	
31/8-88	4,00	0,08 0,23 0,30 0,52 0,97	4,00 5,31 5,35 5,65 5,64	0,52 0,69 0,69 0,73 0,73	0,73 0,90 0,92 0,95 0,97	0,71 0,77 0,76 0,77 0,75	
1/9-88	4,96	0,07 0,23 0,30 0,52 0,95	4,77 6,79 6,84 7,25 7,23	0,50 0,71 0,72 0,76 0,76	0,70 0,90 0,92 0,95 0,97	0,72 0,79 0,78 0,80 0,78	
2/9-88	0,90	0,08 0,25 0,30 0,53 0,87	0,89 1,01 1,01 1,03 0,96	0,51 0,58 0,58 0,59 0,55	0,73 0,90 0,92 0,95 0,97	0,70 0,64 0,63 0,62 0,57	
3/9-88	2,06	0,07 0,23 0,28 0,51 0,95	1,90 2,43 2,39 2,54 2,47	0,48 0,61 0,60 0,64 0,62	0,70 0,90 0,91 0,95 0,97	0,69 0,68 0,66 0,67 0,64	
4/9-88	4,06	0,07 0,22 0,28 0,51 0,95	3,79 5,05 5,02 5,39 5,28	0,48 0,64 0,64 0,69 0,67	0,70 0,89 0,91 0,95 0,97	0,70 0,72 0,70 0,72 0,69	
5/9-88	2,74	0,07 0,22 0,34 0,50 0,91	2,62 3,40 3,41 3,64 3,65	0,50 0,64 0,65 0,69 0,69	0,70 0,89 0,93 0,95 0,97	0,71 0,72 0,70 0,72 0,71	

Tabel 9. Måleresultater for dage med solfangerne fra Islev Solvarme ApS.

Dato	Solindfald på solfangeren kWh/m ² dag	Gennemsnitlig volumenstrøm gennem solfangeren l/min m ²	Solfangerens dagsydelse kWh	Solfangerens dagseffektivitet= dagsydelse/ solindfald på solfangeren -	F ^u -	Dags- effek- tivi- tet/F ^u -	Eventuelle specielle drifts- betingelser
6/9-88	5,80	0,07 0,22 0,34 0,49 0,94	5,31 8,01 8,15 8,55 8,63	0,47 0,72 0,73 0,76 0,77	0,70 0,89 0,93 0,95 0,97	0,68 0,80 0,79 0,81 0,79	
7/9-88	6,29	0,53 0,50 0,52 0,51 0,61	9,63 9,49 9,42 9,62 9,40	0,79 0,78 0,78 0,79 0,77	0,95 0,95 0,95 0,95 0,96	0,83 0,82 0,82 0,83 0,81	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
8/9-88	5,99	0,54 0,51 0,53 0,51 0,69	9,01 9,01 8,92 8,99 8,88	0,78 0,78 0,77 0,78 0,77	0,95 0,95 0,95 0,95 0,96	0,82 0,82 0,81 0,82 0,80	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
9/9-88	5,87	0,54 0,52 0,53 0,49 0,70	8,67 8,77 8,68 8,65 8,68	0,77 0,77 0,77 0,76 0,77	0,95 0,95 0,95 0,95 0,96	0,80 0,82 0,81 0,81 0,80	kontrol af solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
10/9-88	5,57	0,44 0,19 0,69 0,97 1,03	8,01 7,40 8,12 8,23 8,11	0,75 0,69 0,76 0,77 0,75	0,94 0,87 0,96 0,97 0,98	0,79 0,79 0,79 0,79 0,77	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
11/9-88	0,52	0,48 0,25 0,68 0,87 0,96	0,31 0,36 0,35 0,35 0,29	0,31 0,36 0,35 0,35 0,29	0,95 0,90 0,96 0,97 0,97	0,33 0,40 0,36 0,36 0,30	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
12/9-88	2,29	0,48 0,23 0,69 0,93 0,98	2,68 2,63 2,69 2,79 2,81	0,61 0,60 0,61 0,63 0,64	0,95 0,90 0,96 0,97 0,97	0,64 0,67 0,63 0,65 0,65	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
13/9-88	2,73	0,46 0,17 0,71 0,94 0,98	3,34 3,16 3,38 3,47 3,45	0,63 0,60 0,64 0,66 0,66	0,95 0,86 0,96 0,97 0,97	0,67 0,70 0,67 0,68 0,67	kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm
15/9-88	5,63	0,22 0,22 * 0,50 0,52 * 1,05	7,67 3,18 8,13 3,57 8,21	0,71 0,29 0,75 0,33 0,76	0,89 0,95 0,98	0,79 0,79 0,78	1) * omvendt gennem- strømningsret- ning i solfanger 2 og 4
16/9-88	4,58	0,31 0,31 * 0,56 0,75 * 1,12	6,19 2,25 6,55 3,02 6,58	0,70 0,26 0,74 0,34 0,74	0,92 0,96 0,98	0,76 0,78 0,76	1) * omvendt gennem- strømningsret- ning i solfanger 2 og 4

1) Magnetventilerne er altid åbne i dagtimerne. Om dagen er der således altid gennemstrømning gennem solfangerne. Perioder med eventuelle negative solfangerydelser tælles ikke med ved beregningen af dagsydelse.

Tabel 10. Måleresultater for dage med solfangerne fra Islev Solvarme ApS.

Dato	Solindfald på solfangeren kWh/m ² dag	Gennemsnitlig volumenstrøm gennem solfangeren l/min m ²	Solfangerens dagsydelse kWh	Solfangerens dageffektivitet = dagsydelse/solindfald på solfangeren -	F ^u -	Dags-effektivitet/F ^u -	Eventuelle specielle driftsbetingelser
17/9-88	4,28	0,71 0,72 * 0,68 1,70 * 1,90	5,82 2,72 5,67 2,76 5,92	0,71 0,33 0,69 0,33 0,72	0,96 0,96 0,99	0,73 0,71 0,72	1) 2) * omvendt gennemstrømningsretning i solfanger 2 og 4
18/9-88	4,72	0,54 0,71 * 0,64 1,58 * 1,77	6,56 3,15 6,47 2,56 6,69	0,72 0,35 0,71 0,28 0,73	0,95 0,96 0,99	0,76 0,74 0,74	1) * omvendt gennemstrømningsretning i solfanger 2 og 4
19/9-88	0,75	0,17 0,61 * 0,55 1,28 * 1,47	0,90 0,55 0,96 0,32 0,99	0,62 0,38 0,66 0,22 0,68	0,86 0,95 0,98	0,73 0,70 0,70	1) * omvendt gennemstrømningsretning i solfanger 2 og 4
20/9-88	1,94	0,14 0,53 * 0,43 1,15 * 1,32	2,27 1,32 2,52 0,99 2,66	0,61 0,67 0,71	0,83 0,94 0,98	0,73 0,72 0,72	1) * omvendt gennemstrømningsretning i solfanger 2 og 4
21/9-88	4,51	0,12 0,55 * 0,40 1,13 * 1,28	5,33 2,56 6,15 2,43 6,46	0,61 0,29 0,71 0,28 0,74	0,80 0,94 0,98	0,76 0,76 0,76	1) * omvendt gennemstrømningsretning i solfanger 2 og 4

1) Magnetventilerne er altid åbne i dagtimerne. Om dagen er der således altid gennemstrømning gennem solfangerne. Perioder med eventuelle negative solfangerydelser tælles ikke med ved beregningen af dagsydelserne.

2) Kontrol af 2 solfangere og målesystemer med samme volumenstrøm.

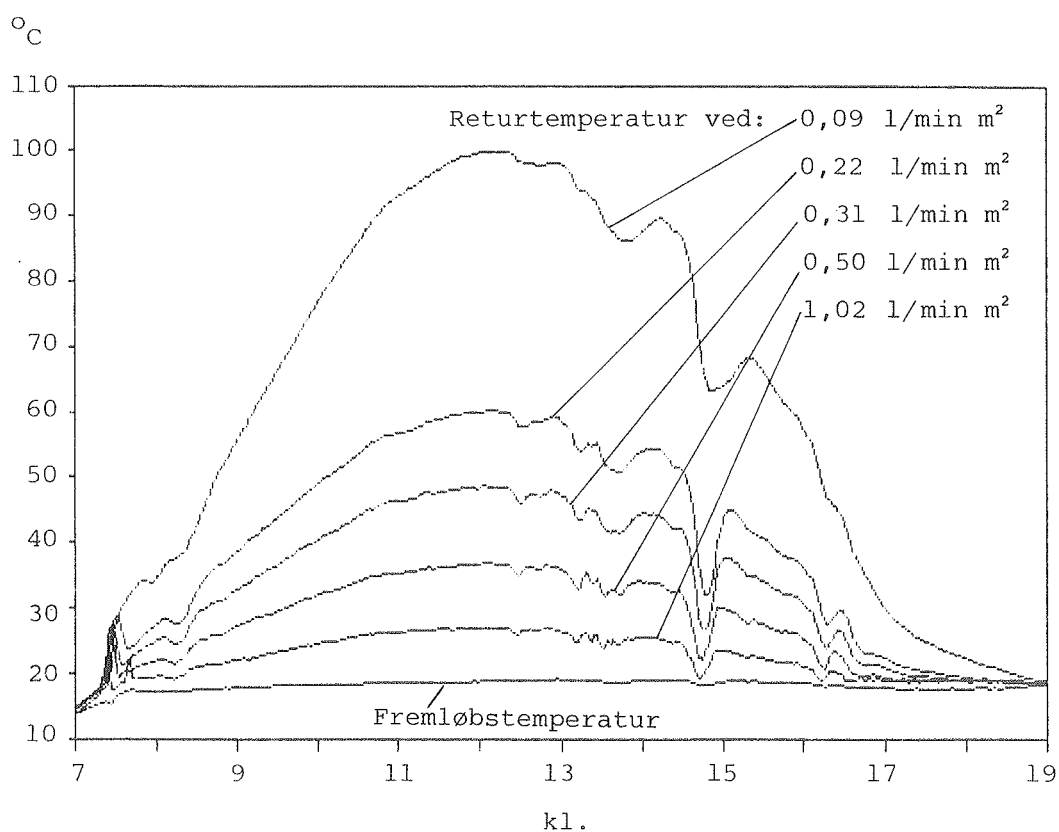
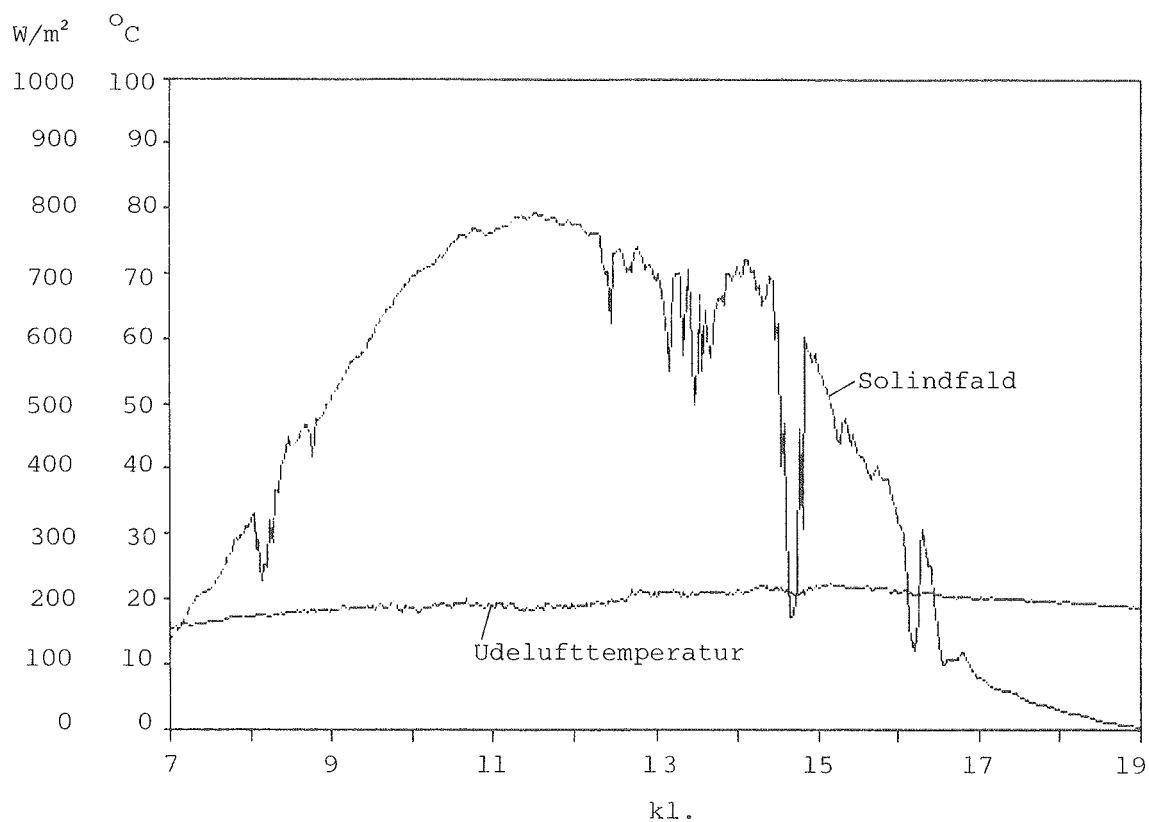
Tabel 11. Måleresultater for dage med solfangerne fra Islev Solvarme ApS.

Som det fremgår af tabellerne blev gennemstrømsretningen for to af solfangerne ændret den 15/9-88, således at vandet tilføres solfangeren i øverste venstre hjørne og føres retur fra solfangeren i solfangerens nederste hjørne. Grunden til, at gennemstrømsretningen blev ændret, er at solfangerens varmetabskoefficient måske kan reduceres ved at ændre gennemstrømsretningen, så væsken strømmer fra toppen til bunden af solfangeren i stedet for at væsken strømmer fra bunden til toppen af solfangeren. Imidlertid viste det sig, at volumenstrømfordelingen bliver fuldstændig skæv i absorberen, så kun en lille del af absorberen gennemstrømmes og køles af væsken.

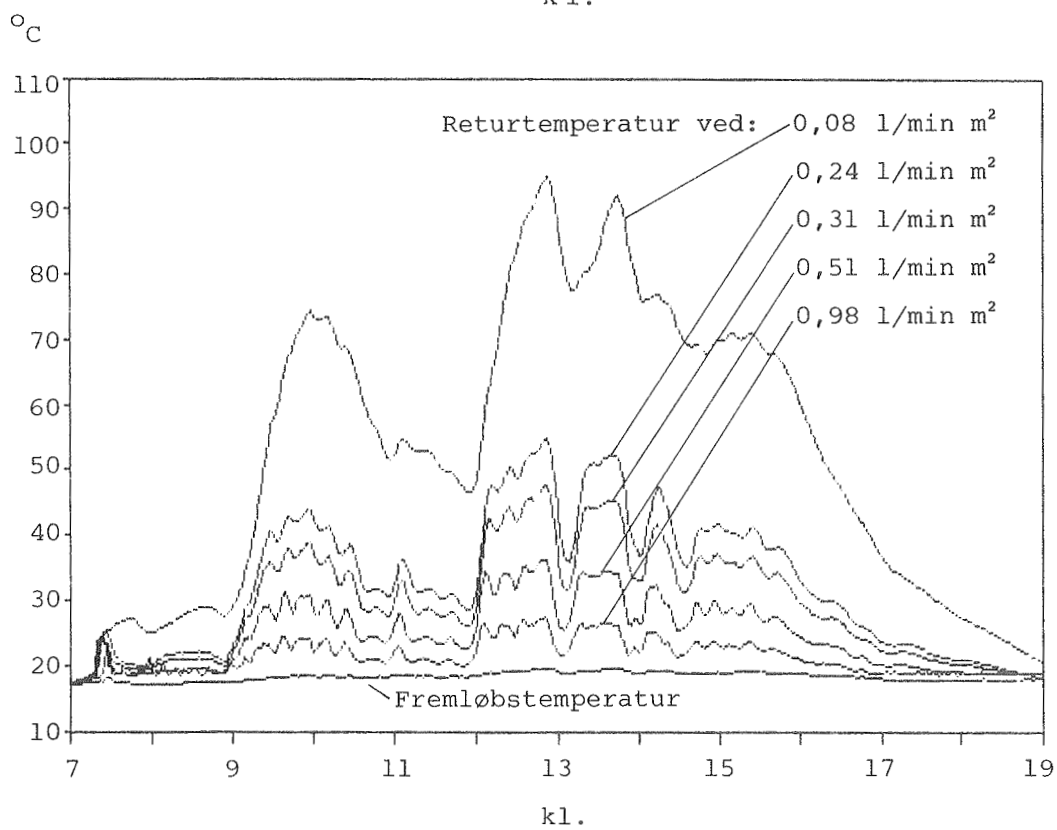
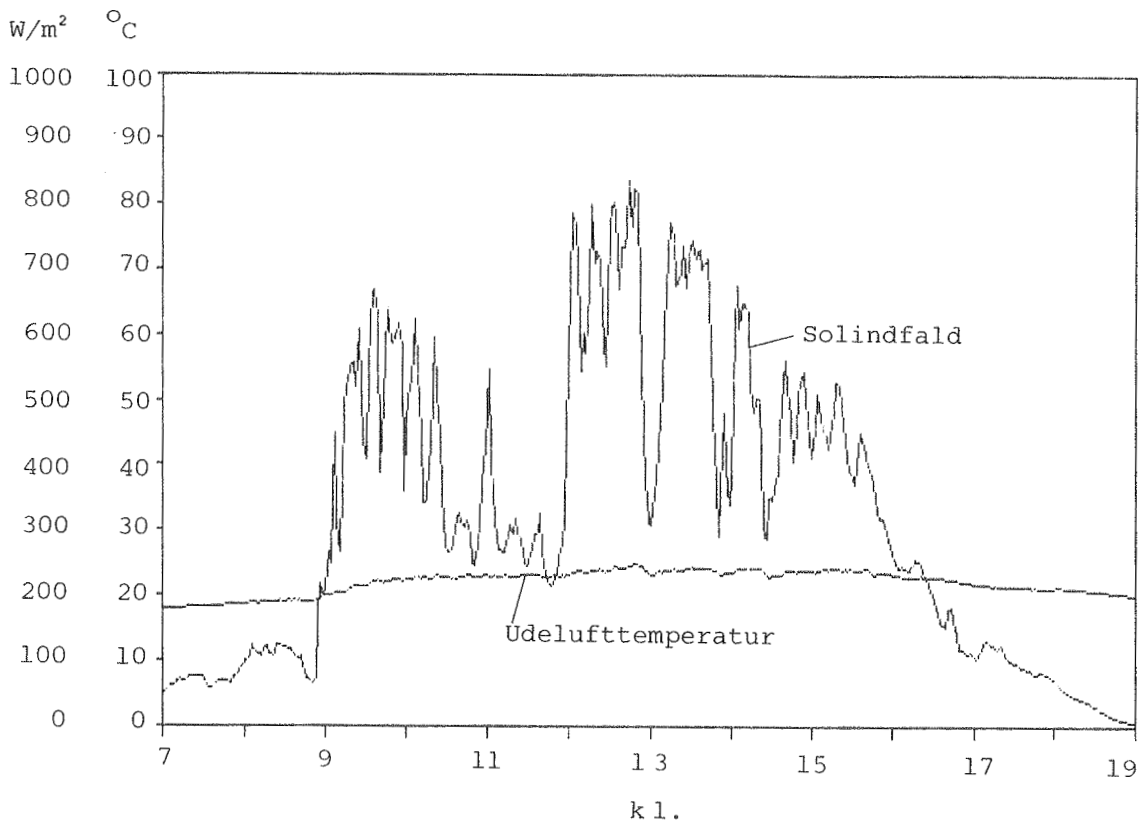
Solfangerydelsen reduceres som det fremgår af tabellerne derfor mærkbart på grund af den ændrede gennemstrømsretning. For solfangeren fra Islev Solvarme ApS er det altså vigtigt at benytte den normale gennemstrømsretning.

For andre solfangertyper kan forholdene være anderledes, både hvad angår solfangerens effektivitet målt i solsimulatoren og solfangerens dynamiske effektivitet. Solfangeren fra Aidt Miljø ApS blev således i solsimulatoren afprøvet med forskellige gennemstrømsretninger, [4]. Solfanger-effektiviteten blev stort set ikke påvirket af gennemstrømsretningen for denne solfanger, hvor væsken tvinges igennem hele absorberens overflade. Desværre tillod projektets budget ikke, at de dynamiske forhold blev undersøgt for solfangeren fra Aidt Miljø ApS med forskellige gennemstrømsretninger.

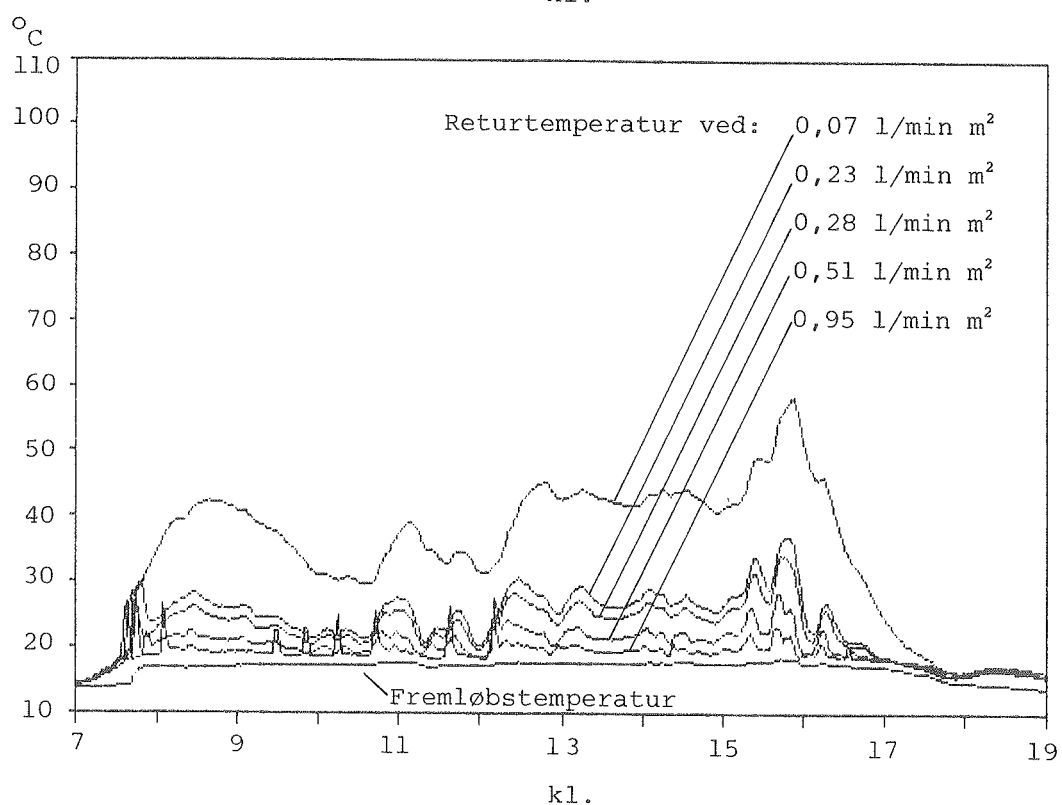
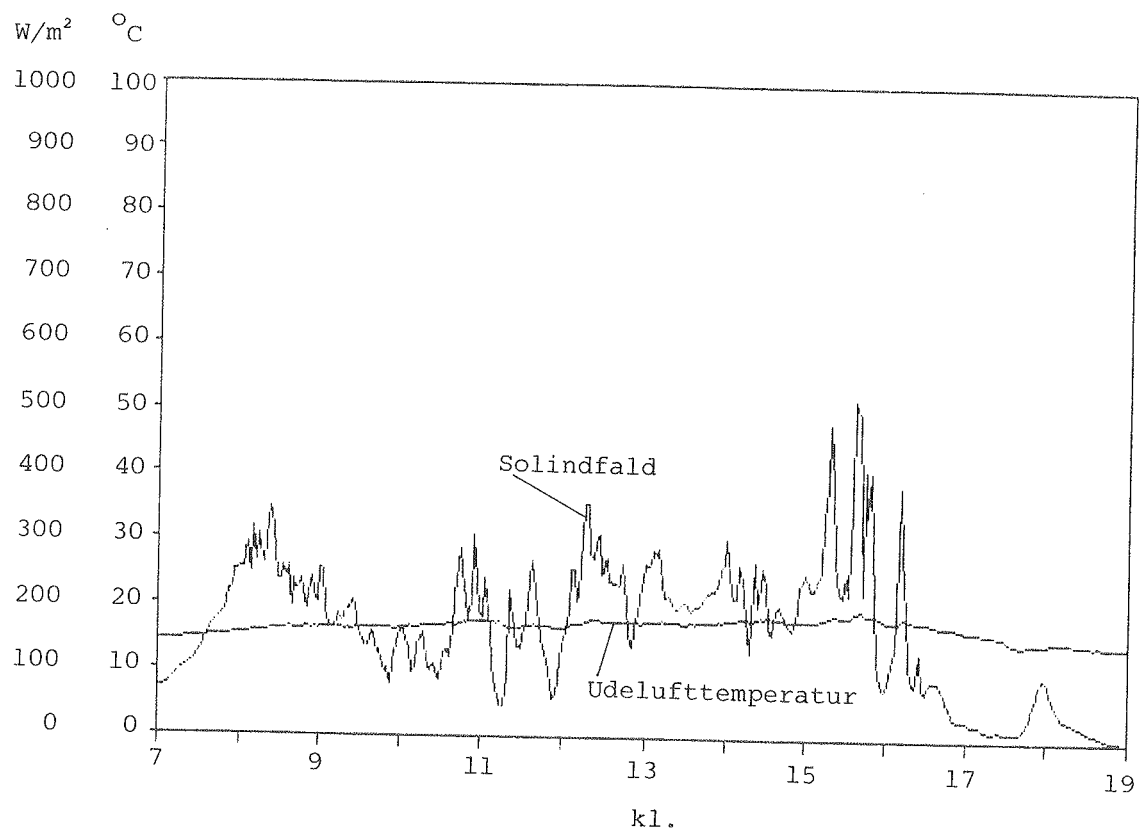
Figur 41, 42 og 43 viser forholdene for tre dage for solfangerne fra Islev Solvarme ApS. Figurerne viser vejrforholdene, fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme igennem en solrig dag, en middelgod solskinsdag og en solfattig dag. Det bør bemærkes, at de enkelte volumenstrømme ikke er helt konstante igennem hele dagen. De anførte volumenstrømme er de gennemsnitlige



Figur 41. Øverst solindfald på solfangerne og udelufttemperaturen og nederst fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme den 27. august 1988. Solfangerne er fra Islev Solvarme Aps.



Figur 42. Øverst solindfald på solfangerne og udelufttemperaturen og nederst fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme den 28. august 1988. Solfangerne er fra Islev Solvarme Aps.



Figur 43. Øverst solindfald på solfangerne og udelufttemperaturen og nederst fremløbstemperaturen til solfangerne og de fem returtemperaturer fra solfangerne med de forskellige volumenstrømme den 3. september 1988. Solfangerne er fra Islev Solvarme ApS.

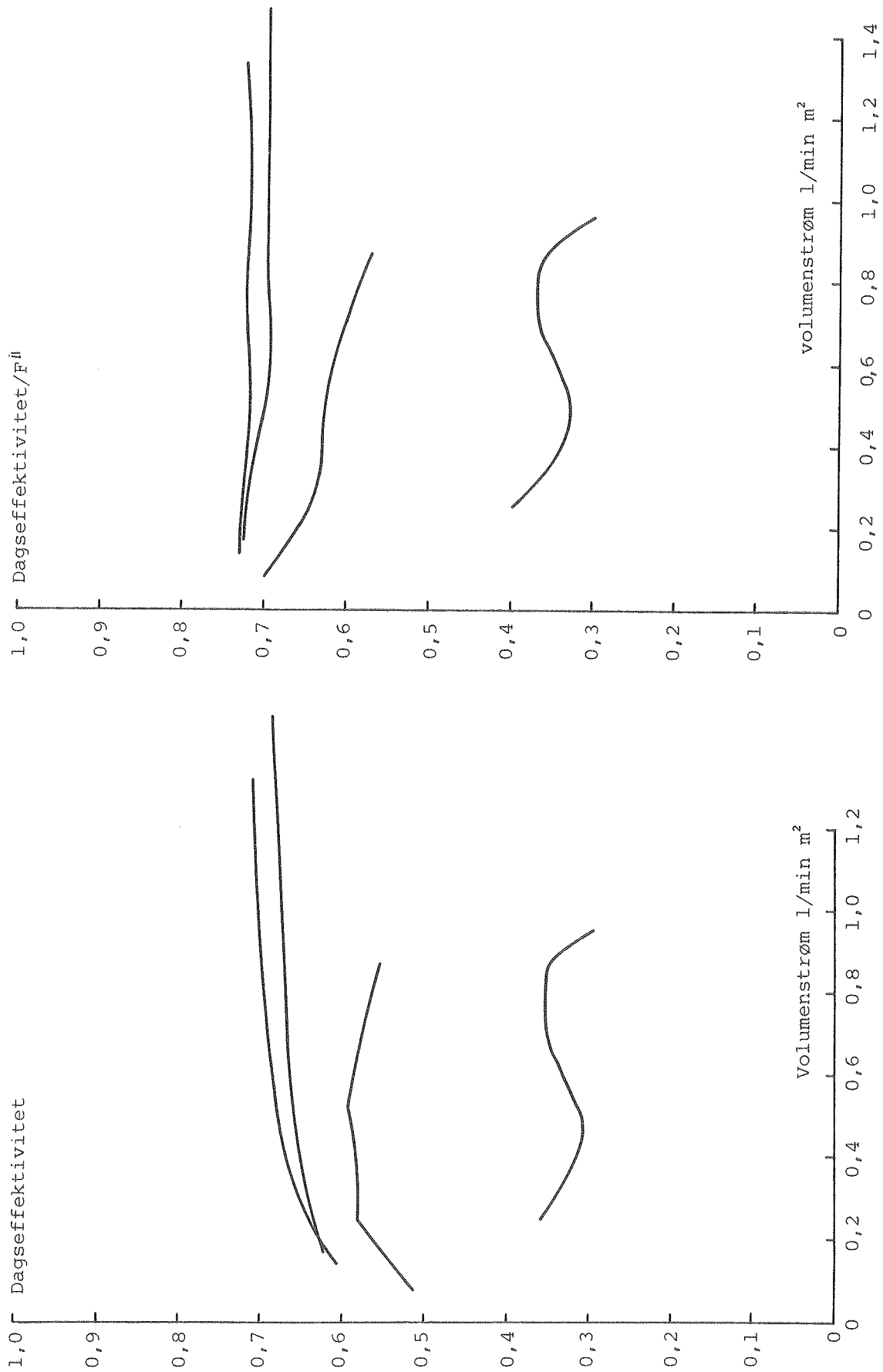
volumenstrømme for hele dagen. Jo mindre volumenstrømmen er, des større er solfangerens returtemperatur.

Vandvolumenet i solfangeren er ca. 0,8 l pr. m² solfanger. Vandets gennemstrømningstid igennem solfangeren varierer derfor mellem ca. 1 min. og 11 min. Variationerne i returtemperaturen er derfor mindre end man umiddelbart skulle forvente på grund af de store variationer i solindfaldet. Jo større solindfaldet er, des bedre afspejler variationerne i returtemperaturen variationerne i solindfaldet.

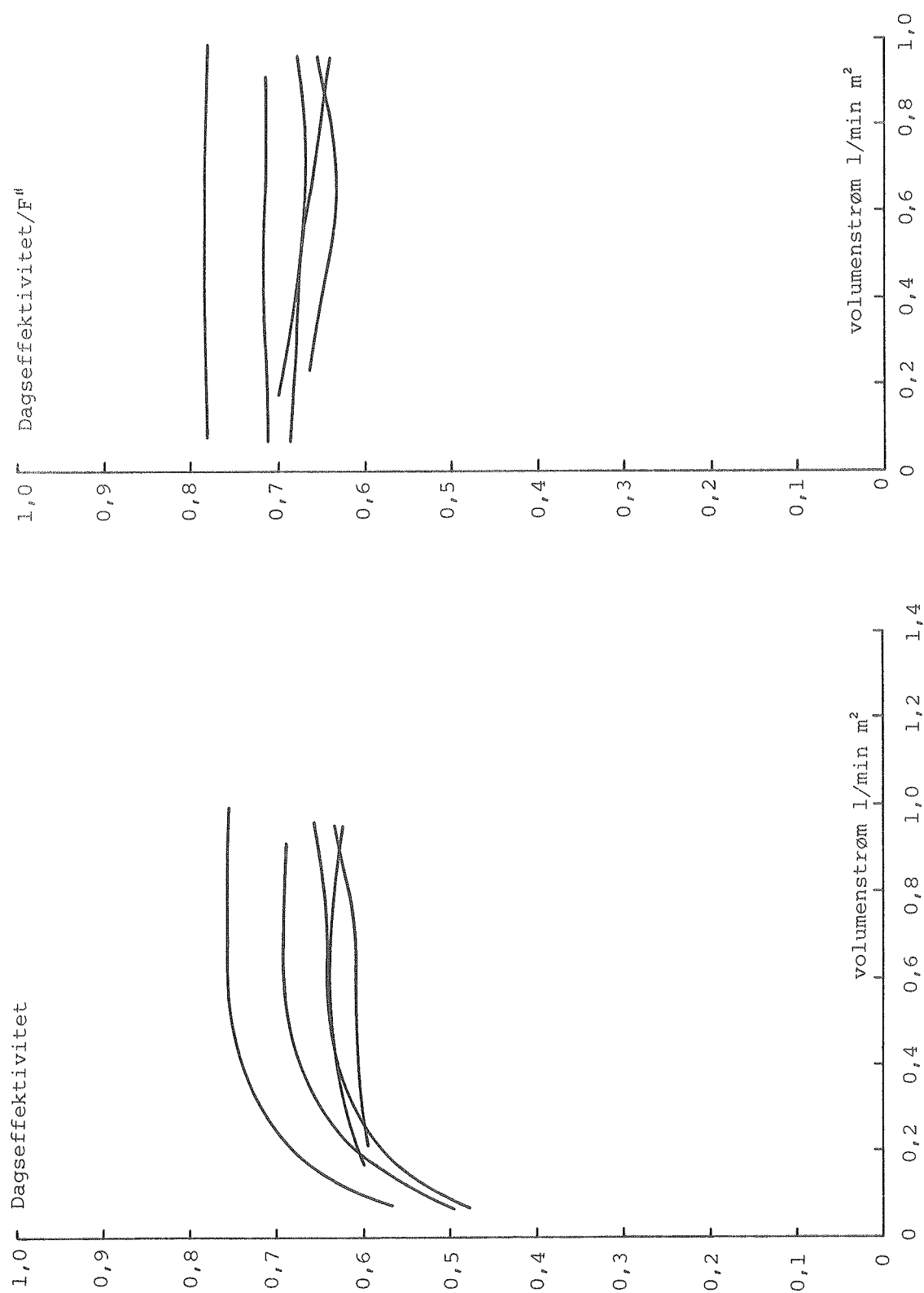
Den solfattige dag den 3/9-88 afbrydes volumenstrømmen gennem solfangeren med den største volumenstrøm adskillige gange, idet returtemperaturen for denne solfanger bliver mindre end 19°C. Som omtalt tidligere kan disse afbrydelser bevirke, at solfangernes ydelser for store volumenstrømme på meget solfattige dage bliver forholdsvis små, idet styresystemerne ikke fungerer helt perfekt. Det skal bemærkes, at disse forhold ingen nævneværdig betydning har på dage med solindfald større end 2 kWh/m².

Måleresultaterne for solfangerne fra Islev Solvarme ApS er sammenfattet i figur 44, 45 og 46. Figurerne viser for solfattige dage med et totalt dagligt solindfald mindre end 2 kWh/m², for middelhøje solskinsdage med et totalt dagligt solindfald mellem 2 kWh/m² og 4 kWh/m² og for solrige dage med et totalt dagligt solindfald større end 4 kWh/m² de målte dagseffektiviteter og forholdet mellem dagseffektiviteten og F" som funktion af volumenstrømmen. Hver kurve i figurerne repræsenterer måleresultaterne for én dag.

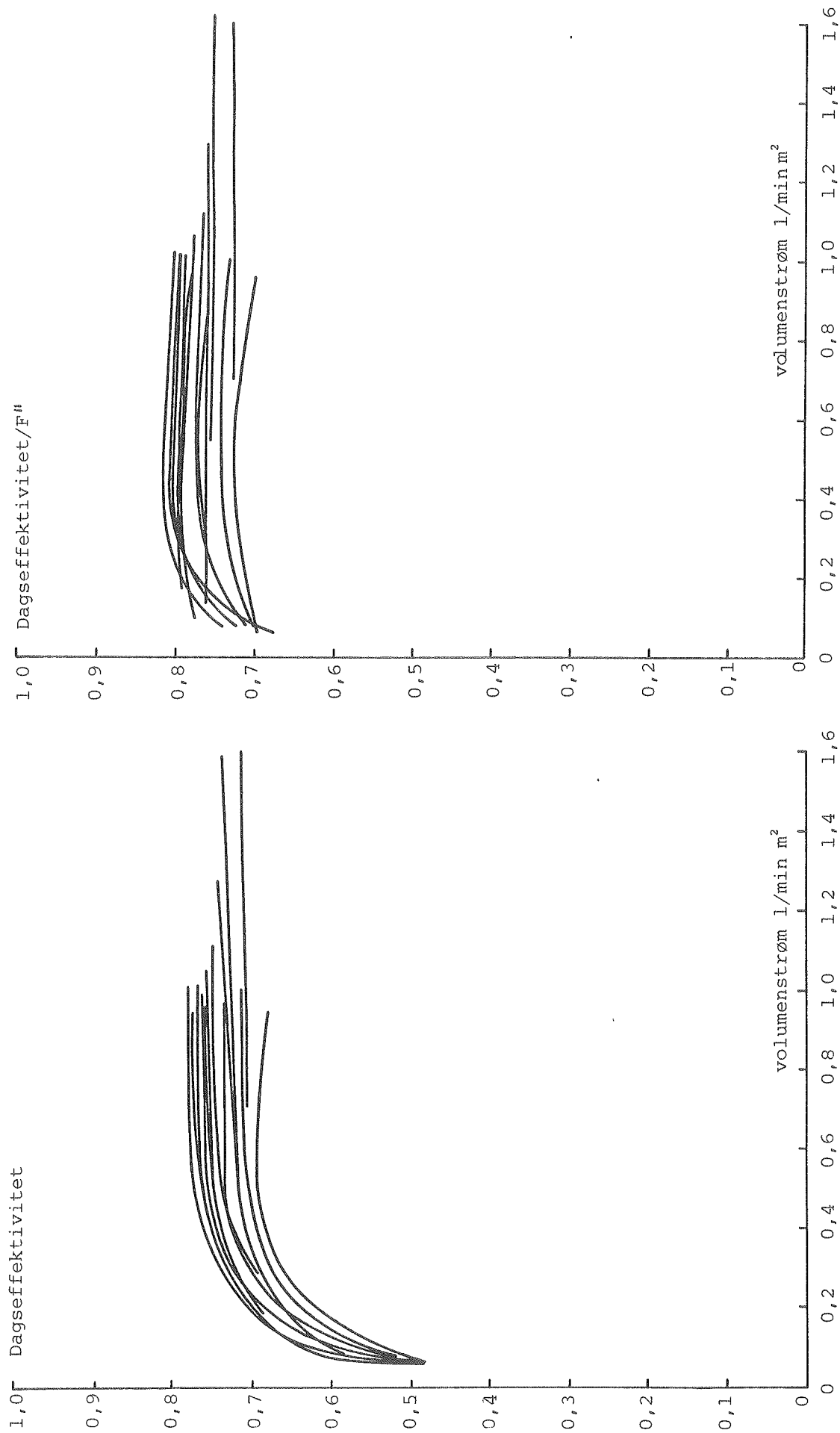
Det ses, at solfangerydelsen og dermed dagseffektiviteten vokser for voksende volumenstrøm. Dette gælder dog ikke for to solfattige dage, sandsynligvis på grund af de ovenfor nævnte problemer med styresystemerne. Naturligvis må det forventes, at dagsydelsen og dermed dagseffektiviteten reduceres, når volumenstrømmen reduceres. Jo mindre volumenstrømmen er, des større bliver solfangervæskens middeltemperatur og dermed solfangerens varmetab jo.



Figur 44. Solfangerens dagseffektivitet og forholdet mellem dagseffektivitet og F_u som funktion af volumenstrømmen for dage med et totalt dagligt solindfald på solfangeren mindre end 2 kWh/m^2 . Solfangerne er fra Islev Solvarme ApS.



Figur 45. Solfangerens dagseffektivitet og forholdet mellem dagseffektivitet og F som funktion af volumenstrømmen for dage med et totalt dagligt solindfald på solfangeren beliggende mellem 2 kWh/m² og 4 kWh/m². Solfangerne er fra Islev Solvarme ApS.



Figur 46. Solfangerens dagseffektivitet og forholdet mellem dagseffektivitet og F^0 som funktion af volumenstrømmen for dage med et totalt dagligt solindfald på solfangeren større end 4 kWh/m^2 . Solfangerne er fra Islev Solvarme ApS.

Flowfaktoren F'' udtrykker reduktionen i solfangerens ydelse på grund af det forøgede varmetab, som er knyttet til temperaturstigningen over solfangeren, i forhold til hvad ydelsen ville være, hvis der ikke er nogen temperaturstigning over solfangeren. Forholdet mellem dagseffektiviteten og F'' er altså et udtryk for solfangerens dynamiske effektivitet igennem dagen rensat for forskellene, som opstår på grund af forskellige middelvæsketemperaturer i solfangeren.

Som det fremgår af figurerne, er forholdet mellem dags-effektiviteten og F'' næsten uafhængig af volumenstrømmen. For de solrige dage reduceres forholdet dog en smule, når volumenstrømmen bliver mindre end $0,2 \text{ l/min m}^2$. Dette er forventeligt, idet solfangerens effektivitet under stabile forhold i solsimulatoren reduceres en smule, hvis volumenstrømmen reduceres, [1].

Som nævnt under omtalen af resultaterne for solfangeren fra Aidt Miljø ApS er der også for solfangeren fra Islev Solvarme ApS både forhold, som vil gøre solfangerens dynamiske effektivitet mindre afhængig af og forhold, som vil gøre solfangerens dynamiske effektivitet mere afhængig af volumenstrømmen.

Med tanke på de forholdsvis små målte forskelle og på måleusikkerheden må det derfor konkluderes, at solfangerens dynamiske effektivitet ikke påvirkes nævneværdigt af volumenstrømmen.

Hvis forholdene skal klarlægges bedre, er der som tidligere nævnt, behov for at undersøge målingerne ved hjælp af grundige teoretiske undersøgelser.

3.6 Vurdering af måleresultater

Målingerne for de to afprøvede solfangere viste, at solfangernes effektiviteter under typisk drift ikke påvirkes afgørende af volumenstrømmen. Merydelsen for anlæg med små volumenstrømme kan altså ikke tilskrives solfangernes virkemåde.

I denne forbindelse skal det fremhæves, at solfangerudformningen ikke alene har betydning for effektiviteten, men også for volumenstrømmens indflydelse på effektiviteten. Forholdene kan derfor være anderledes for andre solfangere end for de to afprøvede. Derfor bør det fremover sikres, at markedsførte solfangere til anlæg med små volumenstrømme som en naturlig del af solfangerprøvningen effektivitetstestes ved små volumenstrømme.

I forbindelse med dimensionering af anlæg med små volumenstrømme er det særdeles vigtigt at vide, om det er rimeligt at benytte de effektiviteter, der måles i solsimulatoren, som input til det simuleringsprogram, som beregner solfangerens ydelse under drift i et anlæg. Det må derfor anbefales, at der iværksættes en undersøgelse heraf.

Måleresultaterne for begge de afprøvede solfangere udgør et godt grundlag for en sådan grundig undersøgelse. I undersøgelsen kan de målte returtemperaturer fra solfangerne sammenlignes med beregnede returtemperaturer. Udover at afklare ovennævnte forhold kan undersøgelserne klarlægge, hvilke tidsspring, der bør benyttes ved beregningen og hvilket tidsspring, der er behov for til angivelse af solintensiteten. Desuden kan det afklares, om effektiviteten i dårligt vejr forbedres lidt, når volumenstrømmen reduceres. Som tidligere nævnt tyder målingerne med solfangerne fra Aidt Miljø ApS på, at det forholder sig således. Desuden kan en sådan undersøgelse klarlægge hvilken rolle solfangerens varmekapacitet og solfangervæskens gennemstrømningstid spiller.

Desuden kunne det være interessant, eksperimentelt, at afprøve en let solfanger og at bestemme den dynamiske effektivitet for forskellige solfangere med forskellige gennemstrømsretninger for solfangervæsken.

4. SAMMENFATNING AF DE GENNEMFØRTE UNDERSØGELSER

De gennemførte eksperimentelle undersøgelser viste, at merydelsen for kappebeholderanlæg med små volumenstrømme i forhold til ydelsen for "traditionelle" anlæg afhænger stærkt af dækningsgraden. For en periode med en dækningsgrad på ca. 55% for det "traditionelle" anlæg yder kappebeholderanlægget for eksempel ca. 20% mere end det "traditionelle" anlæg. Jo mindre dækningsgraden er, des større er fordelene ved kappebeholderanlæg. For helt små dækningsgrader nærmer ydelsen for kappebeholderanlæg sig dog igen til ydelsen for "traditionelle" anlæg.

Kappebeholderanlægget yder mest, når der benyttes en simpel driftsstrategi, dvs at der benyttes en konstant lille volumenstrøm mellem 0,1 l/min m² solfanger og 0,2 l/min m² solfanger, at solfangervæsken tilføres lageret øverst i kappen, og at der benyttes en differens-termostatstyring, en lysfølerstyring eller en pilotsolfangerstyring.

Forsøgene med solfangerne viste, at solfangernes effektivitet under typisk drift ikke påvirkes afgørende af volumenstrømmen.

Merydelsen, som er uafhængig af varmtvandsforbrugsmønstret og af solfangertypen, forårsages derfor først og fremmest af, at der i kappebeholderen opbygges en fordelagtig temperaturlagdeling under solfangerens drift. Dette er ikke tilfældet for varmtvandsbeholderen med varmevekslerpiralen, som opvarmer hele vandvolumenet til samme temperaturniveau.

Før kappebeholderanlæg med små volumenstrømme markedsføres, skal det sikres, at anlægget udformes således, at der ikke opstår kogning i anlægget under solrige perioder uden varmtvandsforbrug. Desuden skal det sikres, at de høje temperaturer, som vil optræde i anlægget under drift, ikke reducerer anlæggets levetid mærkbart. I afsnit 2.6

er der anvist metoder til løsning af ovennævnte problemer uden at anlægsydelsen og anlægsprisen påvirkes nævneværdigt.

Endvidere skal det sikres, at der ikke opstår selvcirkulation om natten i solfangerkredsen. Dette sikres eventuelt ved, at der indbygges en kontraventil i solfangerkredsen, eller måske kan rørdimensionen vælges så lille, at selvcirkulationen slet ikke kommer i gang på grund af det store tryktab. Dette forhold er ikke undersøgt i nærværende projekt. Før der markedsføres kappebeholderanlæg med små volumenstrømme, bør det naturligtvis ved forsøg klarlægges, om problemet kan løses blot ved at vælge rørdimensionen tilstrækkelig lille.

Endelig skal det nævnes, at det er vigtigt, at anlægget udformes, så man opnår den tilsigtede volumenstrøm. Sandsynligvis kan pumpen, rørdimensionen og rørlængden vælges således, at den korrekte volumenstrøm opnås uden brug af indstillingsventil og volumenstrømmåler. Dette forhold er heller ikke undersøgt i nærværende projekt, men forholdet bør naturligtvis afklares før markedsføringen af kappebeholderanlæg med små volumenstrømme påbegyndes.

5. ERFARINGER FRA IND- OG UDLAND I ØVRIGT

Der gennemføres for tiden en række forskningsprojekter vedrørende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. I Danmark er projektet "Højtydende solvarmeanlæg med lille volumenstrøm" under afslutning på Laboratoriet for Varmeisolering, [6]. I projektet, som er en del af Energiministeriets Energiforskningsprogram 87 og som forventes afsluttet i sommeren 1989, er der udarbejdet en matematisk model, som simulerer driften af solvarmeanlæg med en kappebeholder og med en lille volumenstrøm i solfangerkredsen. Simuleringsmodellen er valideret ved hjælp af et par forsøg med en kappebeholder i Laboratoriets lagerprøvestand. Der er gennemført beregninger af den årlige ydelse af solvarmeanlæg med små volumenstrømme i Referenceåret, og modellen tænkes at udgøre grundlaget for optimering af små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning med små volumenstrømme i solfangerkredsen. Det bør dog bemærkes, at der er behov for en grundigere validering, for eksempel baseret på måleresultaterne fra nærværende projekt, både hvad angår driften af solfangere, lagertank og anlæg, før modellen kan anses for at være tilstrækkelig god til, at det er forsvarligt at benytte den i et større omfang.

På Teknologisk Institut gennemføres der for tiden to forskningsprojekter vedrørende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. I EFP87 projektet "Solvarmeanlæg med lille væskestrøm" udvikles en edb-model til simulering af solvarmeanlæg med små volumenstrømme, og i EFP88 projektet "Forbedring af pris/ydelsesforholdet for mindre solvarmeanlæg" opføres et solvarmeanlæg med lille volumenstrøm, så de udførte beregninger kan efterprøves i praksis.

Også i udlandet er der forskningsprojekter i gang for at klarlægge forholdene for solvarmeanlæg med små volumenstrømme. De fleste af disse undersøgelser har

teoretisk karakter, fx [13], [14] og [15]. Det er særdeles vanskeligt at overføre resultaterne fra disse undersøgelser til danske forhold, først og fremmest fordi de undersøgte anlæg er udformet anderledes end typisk danske anlæg. Desuden er der i undersøgelserne benyttet detaljerede simuleringsmodeller, som ikke er validerede ved hjælp af eksperimenter. Tilsyneladende hersker der også i udlandet alt for stor tiltro til edb-programmørers evner til at opstille korrekte simuleringsmodeller og for ringe forståelse af, at parallelle teoretiske og eksperimentelle undersøgelser er nødvendige for at udvikle troværdige simuleringsmodeller.

De teoretiske forskningsprojekter fra udlandet er altså ikke til megen nytte. Desuden er der i udlandet gennemført nogle få eksperimentelle undersøgelser [16] og [17]. Disse undersøgelser er dog ikke så omfattende som undersøgelserne i nærværende projekt. Undersøgelserne er gennemført med anlæg, som er udformet anderledes end typisk danske anlæg. Undersøgelserne viste, at anlæg med små volumenstrømme yder mellem 0% og 17% mere end anlæg med normale volumenstrømme. Endvidere viste undersøgelserne, at lagerudformningen har særdeles stor indflydelse på ydelsen. Hvis temperaturlagdelingen i varmelageret ikke opbygges optimalt under solvarmetilførslen, vil ydelsen for anlæg med små volumenstrømme reduceres mærkbart, eksempelvis er i [17] for anlæg med små volumenstrømme målt ydelser, som er betydeligt mindre end ydelserne for anlæg med normale volumenstrømme.

En undersøgelse af solfangeres varmetabskoefficienter ved forskellige temperaturlagdelinger [18] har ikke umiddelbart noget med anlæg med små volumenstrømme at gøre. Undersøgelsen tyder imidlertid på, at varmetabskoefficienten for solfangere med små volumenstrømme kan reduceres lidt, ca. 10%, hvis den normale gennemstrømningsretning for solfangervæsken fra bunden til toppen

af solfangeren erstattes af en gennemstrømningsretning fra toppen til bunden af solfangeren. Som omtalt i kapitel 3 er dette ikke eftervist ved målinger for de to afprøvede solfangere. For at opnå den forøgede solfangereffektivitet ved at vende gennemstrømningsretningen kræves først og fremmest, at solfangervæsken gennemstrømmer hele absorberens overflade. Desuden vil indflydelsen af gennemstrømningsretningen på solfanger-effektiviteten uden tvivl variere fra solfanger til solfanger. Grundige eksperimentelle undersøgelser er derfor nødvendige for at kunne drage konklusioner på dette område.

[13] giver en oversigt over forskningsaktiviteterne vedrørende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Det konkluderes, at anlæg med små volumenstrømme er uhyre lovende, og at der er et stort behov for fortsat forskning for at udvikle anlæggene.

I dag markedsføres der så vidt vides ingen pumpedrevne solvarmeanlæg med små volumenstrømme i Europa. I Canada og i USA har sådanne anlæg derimod været markedsført i en årrække. Over 2000 anlæg med små volumenstrømme er installeret, navnlig i Canada men også i USA, [13]. Anlæggene består blandt andet af et enkelt solfanger-element, en rustfri stålvarmtvandsbeholder neddykket i en trykløs lagertank, et 25 m langt dobbeltrør som forbindelse mellem solfanger og varmelager, kaldet life-line, og en lille højtrykspumpe [19] og [20]. I USA og på Laboratoriet for Varmeisolering er der blandt andet konstateret følgende problemer med anlægget: Kogning i solfangeren, reduceret holdbarhed af life-line tilslutningerne på grund af høje temperaturer, reduceret holdbarhed af pumpen og et uforholdsmæssigt stort varmetab fra life-linen. Der er således behov for at forbedre anlægget yderligere for at nå frem til et pålideligt, højtydende og holdbart anlæg. Dette arbejde er igangsat.

I [21] er van Koppens, Rademakers og de Rons patent fra 1980 vedrørende styresystemer til solvarmeanlæg med små volumenstrømme angivet. Patentet dækker forholdsvis komplicerede og avancerede styresystemer, som endnu ikke anvendes i markedsførte anlæg. Måleresultaterne fra kapitel 2 tyder jo heller ikke på, at der er fordele knyttet til sådanne avancerede styresystemer.

I Danmark markedsføres endnu ikke solvarmeanlæg med små volumenstrømme, men flere firmaer er godt i gang med at udvikle pålidelige, højtydende og holdbare anlæg med små volumenstrømme. Forhåbentlig vil de første danske markedsførte anlæg med små volumenstrømme blive installeret allerede i 1989.

6. UDVIKLING AF SOLVARMEANLÆG MED SMÅ VOLUMENSTRØMME

Som nævnt i kapitel 5 er der på Laboratoriet for Varmeisolering udviklet en matematisk model, som simulerer driften af solvarmeanlæg med en kappebeholder og med en lille volumenstrøm i solfangerkredsen. Simuleringsmodellen er, hvad kappebeholderen angår, valideret ved hjælp af nogle få forsøg i Laboratoriets lagerprøvestand. Der er behov for en grundigere validering, gerne baseret på måleresultaterne fra nærværende projekt, både med hensyn til driften af solfangere, lagertanke og anlæg, før simuleringsmodellen kan udgøre et pålideligt dimensioneringsgrundlag for solvarmeanlæg med små volumenstrømme.

Det anbefales derfor at iværksætte et sådant grundigt valideringsarbejde af den udviklede simuleringsmodel. Dette arbejde bør blandt andet besvare en række spørgsmål, så som: Kan solfangereffektiviteten, som måles indendørs i solsimulatoren ved en lille volumenstrøm, benyttes til beregning af anlægsydelsen? Er solfangerens øjeblikkelige effektivitet afhængig af temperaturlagdelingen i solfangeren? Er det nødvendigt at tage solfangerens varmelagringskapacitet i beregning? Kan solfangereffektiviteten for visse solfangere forøges ved at ændre solfangervæskens normale gennemstrømningsretning? Er simuleringsmodellen, som kun i begrænset omfang tager hensyn til de konvektive forhold i kappen og i varmtvandsbeholderen, tilstrækkelig detaljeret til at anlægsydelsen kan beregnes rimeligt nøjagtigt? Er referenceårets konstante solintensiteter for hver time i hele året gode nok til at beregne anlægsydelsen for anlæg med små volumenstrømme?

I denne forbindelse kan det nævnes, at undersøgelser for australske forhold har vist [22] og [23], at solvarmeanlægs ydelser beregnes ca. 5% for lavt, hvis der benyttes timeværdier for vejrdato i stedet for

øjebliksværdier. Forskellen må formodes at være større for danske forhold, hvor der er flere perioder, hvor solfangerens effektivitet ligger tæt på den grænse, hvor der netop kan produceres varme.

Ud over de forskningsmæssige aktiviteter er der behov for at fabrikanterne udvikler deres komponenter og anlægsudformninger, så anlæggene bliver billige, pålidelige, holdbare og højtydende. Som omtalt i kapitel 4 må det ved anlægsudformningen sikres, at der ikke opstår kogning i solfangeren i solrige perioder uden varmtvandsforbrug, at de høje temperaturer, som optræder i anlægget, ikke reducerer anlæggets levetid, at selv-cirkulation i solfangerkredsen om natten forhindres, og at volumenstrømmen i solfangerkredsen får en passende størrelse.

Der er behov for, at der udvikles billige og holdbare varmelagre, som er optimalt udformede med hensyn til kappens placering, varmtvandsbeholderens udformning, elpatronens placering og isoleringen. Desuden bør varmelageret indeholde en ekstra varmeveksler, som muliggør brugsvandsopvarmning ved hjælp af en supplerende energikilde, en cirkulationspumpe og et styresystem til solvarmeanlægget samt eventuelt hele solfangerkredsen, så installationsarbejdet lettes mest muligt.

Endvidere må det forventes, at det er muligt at udvikle solfangerelementer, som er bedre egnede i forbindelse med anlæg med små volumenstrømme, end de solfanger-elementer, som markedsføres i dag.

I forbindelse med systemgodkendelsesarbejdet bør det desuden fremover være en naturlig del af Prøvestationen for Solvarmeanlægs arbejde, at solfangere, varmelagre og anlæg afprøves med de små volumenstrømme, som tænkes benyttet i praksis.

7. KONKLUSION

Tre små pumpedrevne solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er afprøvet under ens driftsbetingelser: Et "traditionelt" anlæg med en indbygget varmevekslerspiral i en varmtvandsbeholder og to anlæg med kappebeholdere. En række forskellige driftsstrategier er afprøvet for kappebeholderanlæggene.

Solfangere med forskellige volumenstrømme er afprøvet under de samme driftsbetingelser, dvs med samme solindfald på solfangerne og samme fremløbstemperatur til solfangerne.

Undersøgelserne viste, at kappebeholderanlæg er særdeles attraktive, og at de yder mere end "traditionelle" anlæg. Merydelsen for kappebeholderanlæg med små volumenstrømme i forhold til ydelsen for "traditionelle" anlæg afhænger stærkt af dækningsgraden. For en periode med en dækningsgrad på ca. 55% for det "traditionelle" anlæg yder kappebeholderanlægget fx ca. 20% mere end det "traditionelle" anlæg. Jo mindre dækningsgraden er, des større er fordelene ved kappebeholderanlæg. For helt små dækningsgrader nærmer ydelsen for kappebeholderanlæg sig dog igen ydelsen for "traditionelle" anlæg.

Kappebeholderanlægget yder mest, når der benyttes en simpel driftsstrategi, dvs at der benyttes en konstant lille volumenstrøm mellem 0,1 l/min m² solfanger og 0,2 l/min m² solfanger, at solfangervæsken tilføres lageret øverst i kappen, og at der benyttes en differenstermostatstyring, en lysfølerstyring eller en pilot-solfangerstyring.

Forsøgene med solfangerne viste, at solfangernes effektivitet under typisk drift ikke påvirkes afgørende af volumenstrømmen.

Merydelsen, som er uafhængig af varmtvandsforbrugsmønstret og af solfangertypen, forårsages derfor først

og fremmest af, at der i kappebeholderen opbygges en fordelagtig temperaturlagdeling under solfangerens drift.

Ved udviklingen af optimalt udformede solvarmeanlæg med små volumenstrømme er en detaljeret valideret model, som simulerer anlæggets virkemåde, et uundværligt redskab. Det anbefales derfor at iværksætte et forskningsprojekt med det formål at etablere et sådant redskab.

Naturligvis er der først og fremmest behov for støtte til den enkelte solfangerfabrikant, således at der kan udvikles billige, holdbare og højtydende markedsførte komponenter og solvarmeanlæg med små volumenstrømme.

SUMMARY

Three small solar heating systems for domestic hot water supply have been tested under the same conditions: A reference system with a normal volume flow rate and a hot water tank with a built-in heat exchanger spiral and two identical systems with a low volume flow rate and a hot water tank with a mantle welded around a part of the surface of the tank. The reference system is identical with most of the systems marketed in Denmark today. Different operation strategies are tested for the systems with the mantle storage. The experiments were carried out with two different solar collector types.

Five identical solar collectors with different volume flow rates have been tested under the same conditions with the same inlet temperature. The daily thermal performance of each solar collector has been measured.

The experiments showed that the solar heating system with a mantle storage and a low volume flow rate is extremely attractive. This system performs about 20% better than the reference system in periods with a solar fraction of about 55% for the reference system.

The solar collector tests showed that the efficiency of the solar collectors under typical operation conditions is not much influenced by variations in the volume flow rate.

The increase in the thermal performance of the low flow mantle storage system is first and foremost caused by the temperature stratification, which is built up in the heat storage during periods with the solar collector in operation.

REFERENCER

- [1] "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg. Måling på 3 små brugsvandsanlæg". Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 188, december 1987.
- [2] "Is low flow operation an advantage for solar heating systems?" Simon Furbo and Svend Erik Mikkelsen, Laboratoriet for Varmeisolering. ISES Solar World Congress, september 1987.
- [3] "Solvarmeanlæggene bliver fortsat bedre". Torben Skøtt. Vedvarende Energi 94, dec-jan 87/88.
- [4] "Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for Prøvestationen for Solvarmeanlæg. Fabrikat: Aidt Miljø ApS". S. Svendsen, Laboratoriet for Varmeisolering, november 1988.
- [5] "Styresystem Fabrikant Ans Solvarme Type lysfølerstyring". Jens-Michael Simonsen, Prøvestationen for Solvarmeanlæg. Rapport nr. D 5017, september 1988.
- [6] "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Teoretiske undersøgelser". Peter Berg, Laboratoriet for Varmeisolering, sommeren 1989.
- [7] Samtale med Pieter Bergmeijer, TNO Institute of Applied Physics, Delft, Holland, september 1988.
- [8] "Varmelagring til solvarmeanlæg". Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 162, september 1984.
- [9] "Solar pilot test facility. Final report - Denmark" Klaus Ellehauge, Ole Balslev-Olesen, Nick Bjørn Andersen, Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 136, oktober 1983.
- [10] "Beskrivelse af prøvestand og -metode til prøvning af varmelagre som indgår i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning". Ole Ravn, Laboratoriet for Varmeisolering. Rapport nr. 82-51, 1982.
- [11] "Måle- og styresystem i et eksperimenthus med en tagrumssolfanger". Søren Østergaard Jensen, Laboratoriet for Varmeisolering. Rapport nr. 88-2, januar 1988.

- [12] "Solar engineering of thermal processes".
J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Energy
Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 1980.
- [13] "Recent developments in low-flow, stratified-tank
solar water heating systems".
K.G.T. Hollands, Solar Thermal Engineering Centre,
Department of Mechanical Engineering, University
of Waterloo, Canada, North Sun '88, August 1988.
- [14] "Passive single pass (series-connected) solar
water heaters".
T.B. Scheffer and J.C. van Staden. Department
of Physics, University of Pretoria. Advances in
Solar Energy Technology. Volume 1. ISES Congress,
Hamburg, September 1987.
- [15] "Thermal stratification in heat storages".
W.B. Velthkamp. Proceedings of the International
TNO-symposium "Thermal Storage of Solar Energy",
November 1980.
- [16] "Thermal performance comparisons for solar hot
water systems subjected to various collector and
heat exchanger flow rates".
A.H. Fannek and S.A. Klein, Solar Energy, Vol. 40,
No. 1, 1988.
- [17] "An experimental comparison of operating
strategies for solar water systems".
M.J. Carvalho, M. Collares-Pereira, F.M. Cunha
and C. Vitorino, Solar Energy, Vol. 41, No. 1, 1988.
- [18] "Convection dependent distribution of temperatures
and heat losses in a flat plate collector model".
Bengt Hellström, Rolf I. Karlsson and Björn Karlsson.
Swedish State Power Board, Älvkarleby Laboratory,
North Sun '88, August 1988.
- [19] "Sunstrip International Micro-Flo-SDHW System,
Solar-komplettsystem, Montageanleitung, Gebrauchs-
anweisung, Technische Hinweise".
ACV International SA, Belgien, 1987.
- [20] "Målinger på Micro-Flo-solfanger, brugsvandssystem".
Gunnar Boye Olesen. Studierapport, Laboratoriet
for Varmeisolering, 1988.
- [21] "Forprojekt vedrørende flydeslange til varmelagre".
Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering.
Rapport nr. 86-2, marts 1986.

- [22] "Collector utilizability for instantaneous solar radiation".
H. Suehrcke and P.G. McCormick, Department of Mechanical Engineering, University of Western Australia, Australia, September 1987.
- [23] Samtale med H. Suehrcke, Department of Mechanical Engineering, University of Western Australia, September 1987.

