

FORØGELSE AF SOLVARMEANLÆGS YDELSE

**Finn Kristiansen
Søren Østergaard Jensen**

Meddelelse 264

September 1994



Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet

PROJEKTDELTAGERE

LfV: Bjarne Saxhof, forskningslektor, civ.ing., projektleder
 Søren Ø. Jensen, forskningslektor, civ.ing., sagsingenør (til 31/3-94)
 Finn Kristiansen, forskningsassistent, civ.ing., sagsingenør (fra 1/2-94)

Aidt Miljø: Torkil Forman, salg og rådgivning

Trykt på

Laboratoriet for Varmeisolering, DTU, Lyngby

FORORD

Denne rapport afslutter projektet "Forøgelse af solvarmeanlægs ydelse". Projektet er støttet af Energistyrelsen under ordningen Udviklingsprogrammet for Vedvarende Energi (UVE), journalnummer 51181/93-0020.

Formålet med dette projekt var at undersøge mulighederne for at forøge solvarmeanlægs ydelse ved at opvarme både luft og væske i samme solfanger og således dels opvarme brugsvand, dels forvarme friskluft til ventilation eller opvarmning af bygningen.

Projektet er gennemført på Laboratoriet for Varmeisolering, DTU, i perioden marts 1993 til september 1994.

RESUMÉ

Rapporten behandler en undersøgelse af ydelsesforøgelsen for et solvarmeanlæg ved anvendelse af en luft/væske-solfanger i stedet for en ren væskesolfanger.

Effektiviteten af to forskellige luft/væske-solfangere, en fra firmaet Aidt Miljø og en prototype af det såkaldte MF/AW-element, er målt i Laboratoriet for Varmeisoleringens kunstige sol, og forskellige former for effektivitetsudtryk er angivet.

Det konstateredes at MF/AW-elementet luftdel var utæt, dvs. at der blev suget falsk luft ind i solfangeren. Utæthederne i MF/AW-elementets luftdel bevirkede at elementet fik en lavere effektivitet ved større og større volumenstrømme af luft gennem solfangeren.

På basis af mælingerne er simuleringer vha. to forskellige programmer foretaget. Programmerne kan ikke umiddelbart regne på kombinerede luft/væske-solvarmeanlæg. Det var derfor nødvendigt at foretage visse antagelser og simplificeringer af anlægstypen i simuleringerne. Simuleringerne er foretaget for små luft/væske-solvarmeanlæg på ca. 5 m^2 til enfamiliehuse. Ydelserne er sammenholdt med ydelsen for et solvarmeanlæg med rene væskesolfangere.

Ud fra beregningerne tyder alt på, at merydelsen bliver 10-20%.

Igennem projektarbejdet er der identificeret en række problemer, som må afklares, inden der kan opbygges detaljerede beregningsmodeller for kombinerede luft/væske-solfangeranlæg.

Til slut er flere allerede opsatte luft/væske-solvarmeanlæg og deres forskellige anvendelsesmuligheder beskrevet.

SUMMARY

This report describes an investigation of the increase in performance for a solar heating system through use of combined air/liquid collectors instead of the usual liquid collectors.

The efficiency of two different air/liquid collectors was measured under standard conditions in the solar simulator at the Thermal Insulation Laboratory, and different types of efficiency formulas were derived. One of the collectors was a commercial product from the manufacturer Aidt Miljø, and the other was a prototype of the so-called MF/AW-collector (Multi-Function/Air-Water-collector).

During the tests it was found that the air section of the MF/AW-collector was rather leaky so that a substantial part of the air bypassed the absorber. Thus the collector showed much lower efficiency than expected, and decreasing efficiency at increasing air flow rates.

Based on the efficiency tests, computer simulations of the performance of solar systems with the two collector types have been carried out, with two different programs. Combined systems with 5 m² solar collectors for one-family houses were investigated and compared with a similar system with normal liquid collectors.

None of the simulation programs developed so far can handle combined air/liquid systems correctly, and it was therefore necessary to make a number of simplifying assumptions regarding the operation and control of the solar system in order to carry out the simulations. The different simplifications leading to different estimates of the performance have been compared and discussed in the report.

The simulations indicate that the performance of air/liquid systems will be 10-20% higher than the performance of similar liquid systems.

Through the investigation, a number of theoretical and practical problems have been identified that must be solved in order to develop detailed simulation models for combined air/liquid solar heating systems.

Finally, a number of already installed Danish air/liquid systems for different purposes and the first user experience have been described.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD

RESUMÉ

SUMMARY

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 INDLEDNING	1
2 SOLFANGEROPBYGNING	2
2.1 Solfangeren fra Aidt Miljø	2
2.2 Prototype af MF/AW-elementet	4
3 FORSØGSBESKRIVELSE	8
3.1 Målinger på luft/væske-solfanger fra Aidt Miljø	8
3.2 Målinger på prototypen af MF/AW-elementet	13
4 FORSØGSRESULTATER	17
4.1 Luft/væske-solfanger fra Aidt Miljø	17
4.2 Prototype af MF/AW-elementet	20
5 BEHANDLING AF FORSØGSRESULTATER	24
5.1 Luft/væske-solfanger fra Aidt Miljø	24
5.2 Prototype af MF/AW-elementet	33
5.3 Sammenligning af de to solfangere	36
6 BEREGNINGER	38
6.1 Den første approksimation	38
6.2 Beregninger med forskellige effektivitetsudtryk	43
6.3 Anden beregningsmetode til estimation af merydelsen	45
6.4 Estimation af merydelsen ved brug af et konstant effektivitetsudtryk	47
6.5 Beregning af merydelsen vha. et andet simuleringsprogram	48
6.6 Sammenfatning af afsnit 6.1-6.5	51
7 OPFØRTE LUFT/VÆSKE-ANLÆG	53
8 KONKLUSION	56
9 REFERENCER	59
BILAG 1, 2 og 3	

1 INDLEDNING

Forvarmning af luft og væske i den samme solfanger er en god idé, da solfangerens middeltemperatur er lavere, hvorved solfangeren bliver mere effektiv. Der bliver desuden en længere drifttid for anlægget - specielt hvis solfangeren er koblet på et kontinuerligt kørende ventilationsanlæg. Selv i frostvejr uden sol kan luften forvarmes lidt og om eftermiddagen, når væskekredsen stopper, kan luftkredsen stadig hente meget energi ud af solen og af den opvarmede solfanger på grund af solfangerens varmekapacitet. I reference /1/ er det ved hjælp af simuleringer og mange antagelser anslået, at det er muligt at forøge ydelsen for et traditionelt væskebaseret solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand med op til 25% ved at forvarme bygningens friskluft ved hjælp af væskesolfangeren. Formålet med nærværende projekt er at eftervise ovenstående vha. målinger og simuleringer.

Denne rapport omhandler effektivitetsmålinger på to typer luft/væske-solfangere, en fra firmaet Aidt Miljø med et transparent areal på 3,78 m² og en prototype af MF/AW-elementet med et transparent areal på 2,18 m² udviklet af Søren Østergaard Jensen og Arkitektfirmaet Arne Meldgaard & Co. og produceret hos Batec Solvarme (MF/AW står for Multi-Function/Air-Water, reference /2/). Effektivitetsmålingerne er foretaget i Laboratoriet for Varmeisolering af kunstige sol, i efteråret '93 og foråret '94.

Der eksisterer ikke simuleringsprogrammer, som detaljeret kan simulere denne systemtype, så undersøgelsen er primært gennemført ved laboratoriemålinger på to forskellige solfangertyper, suppleret med beregninger foretaget med forskellige approksimationer med modeller kalibreret efter de udførte målinger.

Måleresultaterne er anvendt som inddata til bl.a. simuleringsprogrammet EMGP3, reference /3/, hvor der er foretaget beregninger for anlæg, med en kombineret luft/væske-solfanger. Vha. simuleringsprogrammet er ydelserne for anlæg med en luft/væske-solfanger sammenlignet med ydelsen for anlæg med en væskesolfanger. Desuden er der foretaget simuleringer med forskellige styringsstrategier. Yderligere er beregninger foretaget, vha. et program som kan regne på anlæg med kappebeholdere, reference /4/, af ydelsen af kombineret anlæg med luft/væske-solfanger. Beregningsresultaterne sammenholdes med EMGP3 beregningerne.

Til sidst angives et skøn, ud fra de omtalte beregninger, over ydelsesforøgelsen ved at anvende en kombineret luft/væske-solfanger i stedet for en væskesolfanger.

2 SOLFANGEROPBYGNING

2.1 Solfangeren fra Aidt Miljø

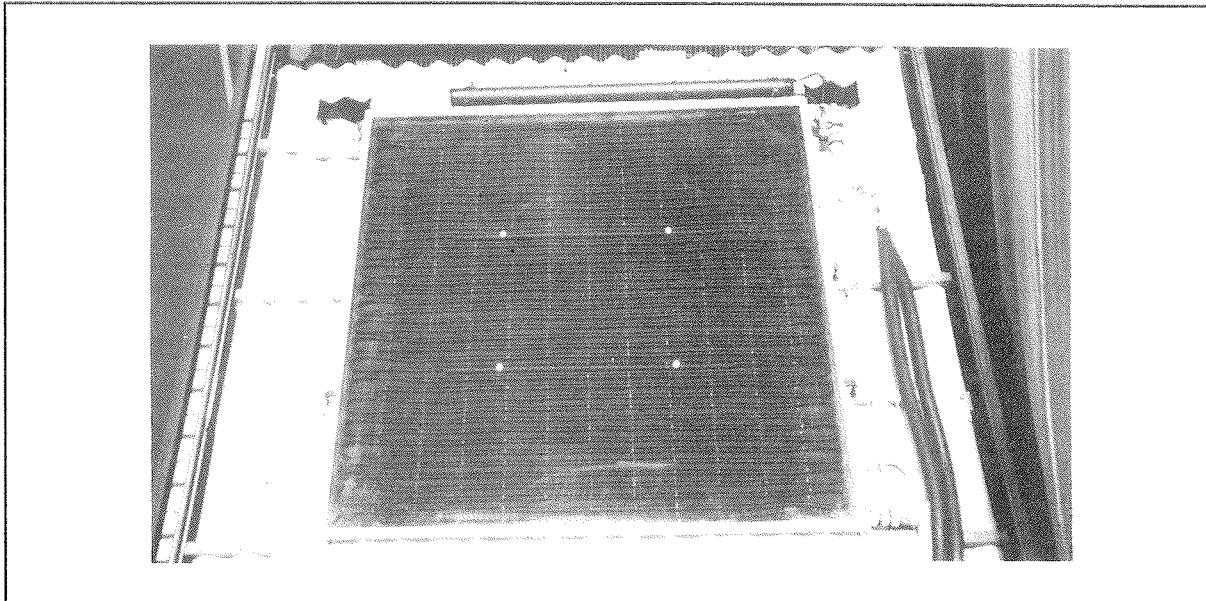
Luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø har en ramme af aluminiumprofiler, der er samlet i hjørnerne med popnitter. Absorberen består af 2 parallelle rørslinger af ribberør, der ligger vandret i solfangeren, dvs. parallelt med solfangerkassens korte sider. Slangen fastholdes pr. 15 cm vha. rustfri ståltråd, der er fastgjort til underlaget, bestående af en aluminiumplade beklædt med sort filt, for hveranden slange. Slangen dækker ca. 75% af fladen. En træfiberplade udgør bagsiden af solfangeren.

Bagsideisoleringen er af glasuld. Dog er der som isolering på de yderste 20 cm langs de lange sider kun benyttet 10 mm filt, hvilket også udgør kantisoleringen.

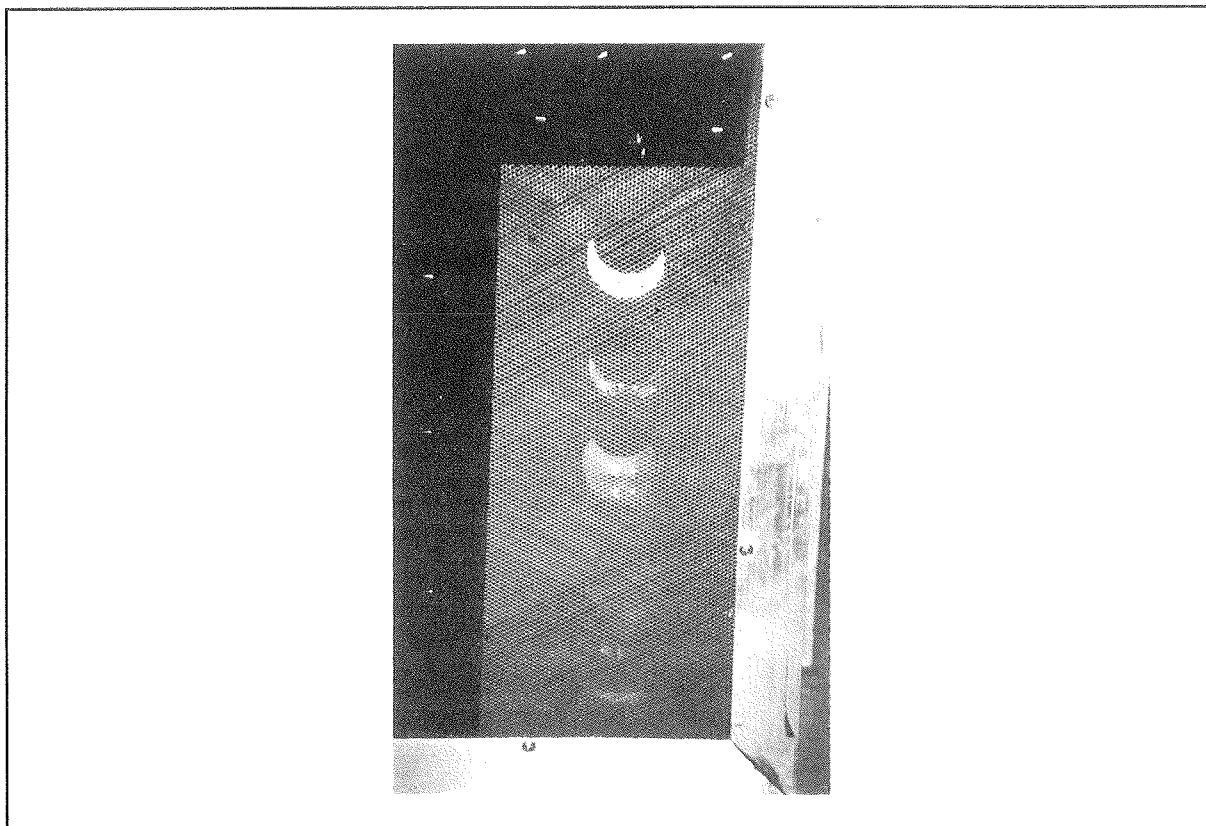
Dæklaget består af en 10 mm ribbeplade af acrylbelagt polykarbonat. Pladen er fastgjort til aluminiumprofilet vha. skruer og tætnet vha. et gummiprofil. Dæklaget er understøttet og fastgjort langs de 4 sider samt ved fire punktunderstøtninger inde på pladen (figur 2.1.1).

Solfangeren er i principippet magen til Aidt Miljø's traditionelle væskesolfanger, bilag 1 (reference /5/), blot er luftgennemstrømning gennem solfangeren muliggjort.

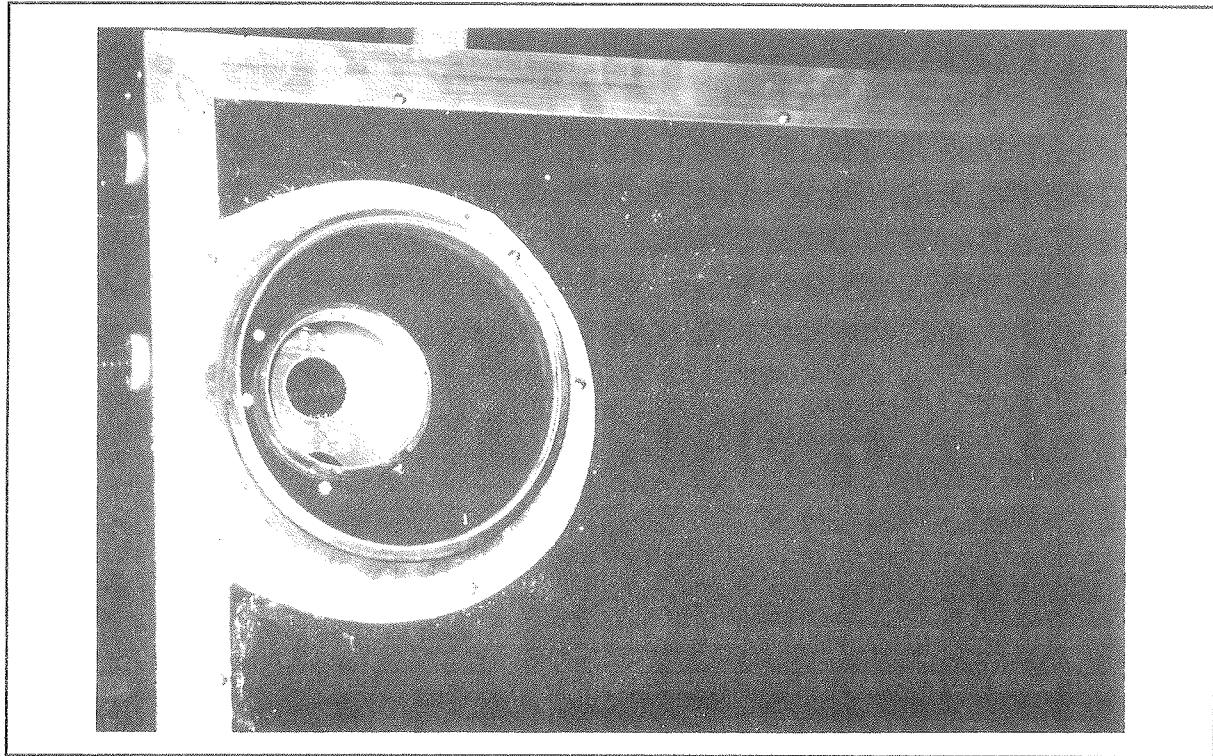
Luftindtaget er placeret i nederste højre hjørne og består yderst af et filter, som forhindrer, at større partikler suges ind i solfangeren (figur 2.1.2). Dernæst er der fem huller Ø 45 mm i solfangerens bagside, hvorigennem luften strømmer. Luften strømmer gennem fem Ø 45 mm huller i aluminiumpladen og filten og opvarmes mellem absorber og dæktag. I øverste venstre hjørne er udtaget placeret og består af 5 Ø 40 mm huller i aluminiumpladen og fiberpladen (se figur 2.1.3). I bagpladen er der et hul på Ø 100 mm med en krav. Da målerøret til måling af temperaturen var Ø 200 mm, blev der påsat en krav Ø 200 på bagpladen omkring Ø 100 mm kraven.



Figur 2.1.1 Foto af luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø.



Figur 2.1.2 Luftindsugningen til luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø.



Figur 2.1.3 Luftudtag fra luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø.

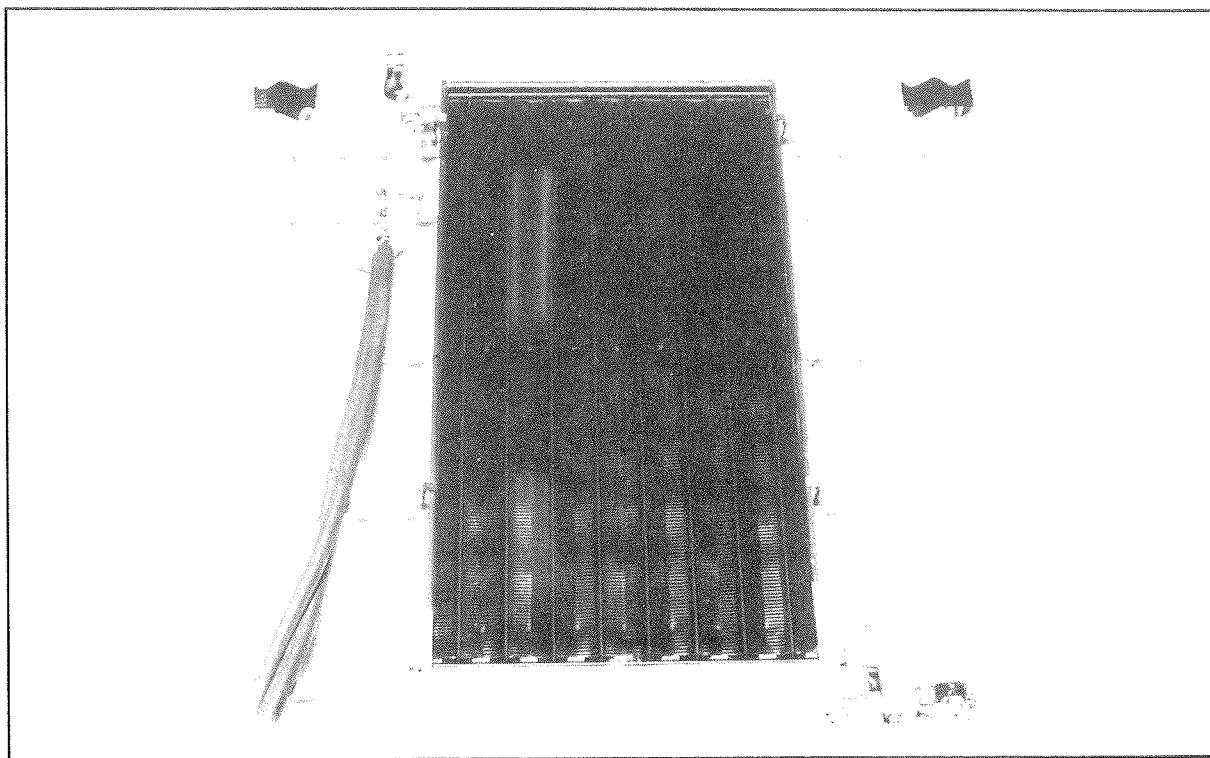
2.2 Prototype af MF/AW-elementet

Prototypens kasseprofil består af et aluminiumprofil (135 mm), som stort set har samme udformning som Batec's standardprofil, se bilag 2, men er ca. 43 mm højere. Godstykken er 2 mm undtaget nederste flange, der er 1,5 mm. Kasseprofilet er svejset sammen efter, at væskeabsorberen er monteret.

Solfangeren har en glasplade som dæklag, tætnet og fastholdt af butylbånd og silicone. Under glasset er monteret en væskeabsorber bestående af Sun-strip med en manifold i top og bund.

Herefter er en trapezplade lagt med "rillerne" anbragt parallelt med de længste sider, dvs. fra top til bund. I "rillerne" strømmer luften i luftdelen af solfangeren. I bundprofilet er boret et antal huller, til indløb af luft, som passer til "rillerne" i trapezprofilet (figur 2.2.2). I toppen af trapezprofilet er en kasse, der virker som manifold for luftdelen. På denne kasse er monteret et ventilationsrør, der er ført ud gennem bagpladen af solfangeren (figur 2.2.3). For at gøre luftdelen tæt, er der monteret en 0,5 mm aluminiumplade mellem trapezprofilet og isoleringen. Ved en konstruktionsfejl var pladen ikke ført helt ud til kassens sider, men stoppede ved kantisoleringen med en siliconefuge mod denne.

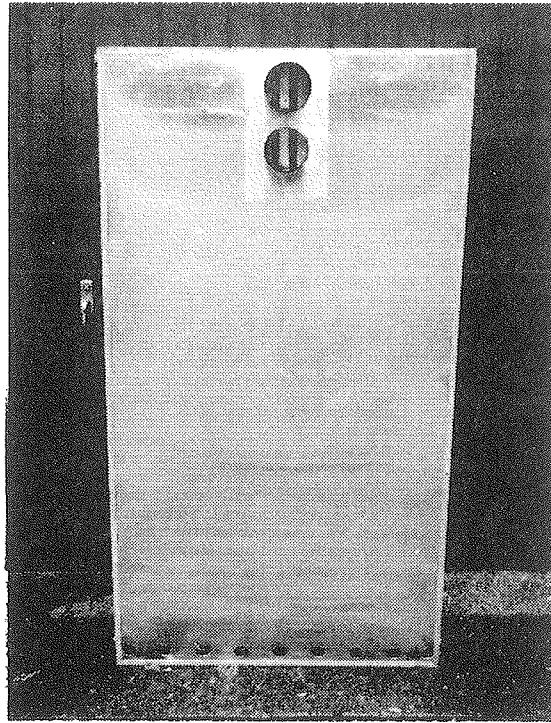
Bagsideisoleringen er 50 mm tyk. Som bagplade er anvendt en 0,5 mm aluminiumplade, der er lagt ind under kasseprofilets bundflange, og er popnittet til denne.



Figur 2.2.1 Foto af prototype af MF/AW-elementet.

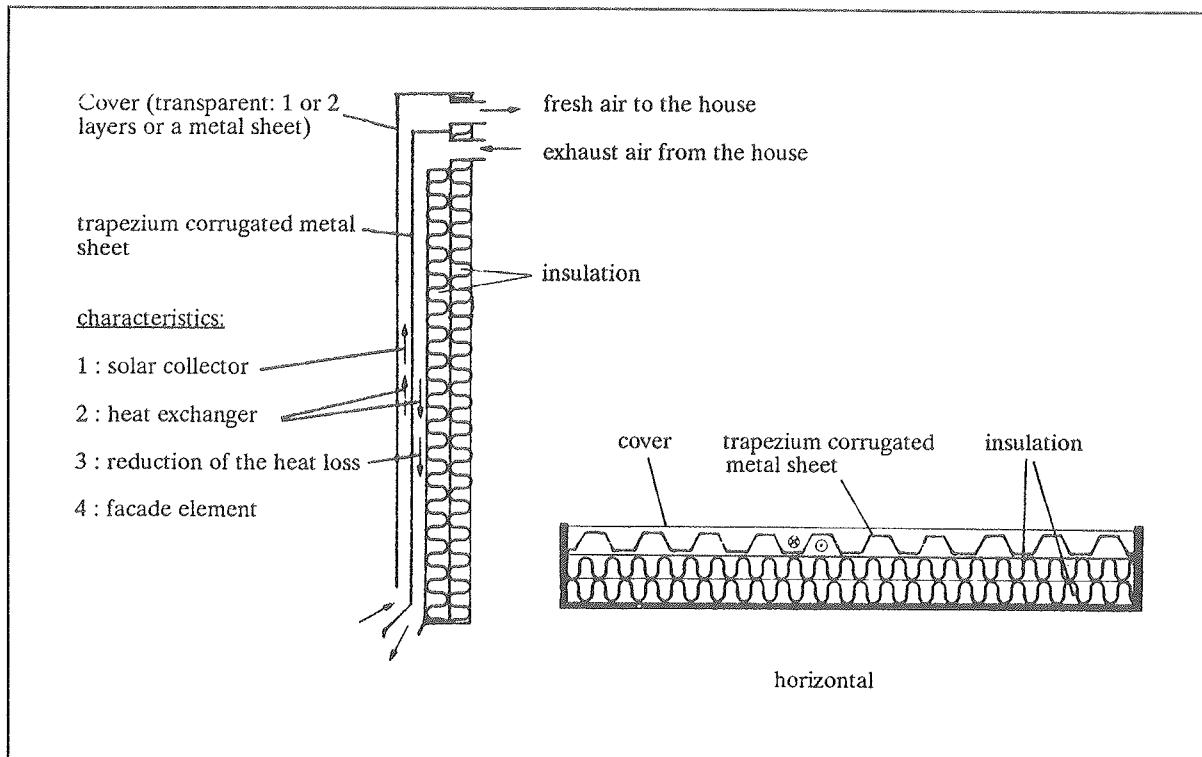


Figur 2.2.2 Luftindtag til MF/AW-elementet.



Figur 2.2.3 Luftudtag fra MF/AW-elementet.

Figur 2.2.3 viser to ventilationsrør ud gennem MF/AW-elementets bagside. Det øverste ventilationsrør anvendes til at suge udeluft ind gennem solfangeren, se figur 2.2.4. Luften strømmer i hulrummene, der er mellem absorberen og trapezpladen. Afkastluft fra bygningen strømmer i hulrummene mellem trapezprofilet og aluminiumpladen, som er placeret oven på isoleringen. Afkastluften kan derfor hjælpe til at opvarme udeluften, dvs. trapezpladen kan også virke som varmeveksler. I forsøgene med MF/AW-elementet er det kun udeluftdelen, som er i brug.

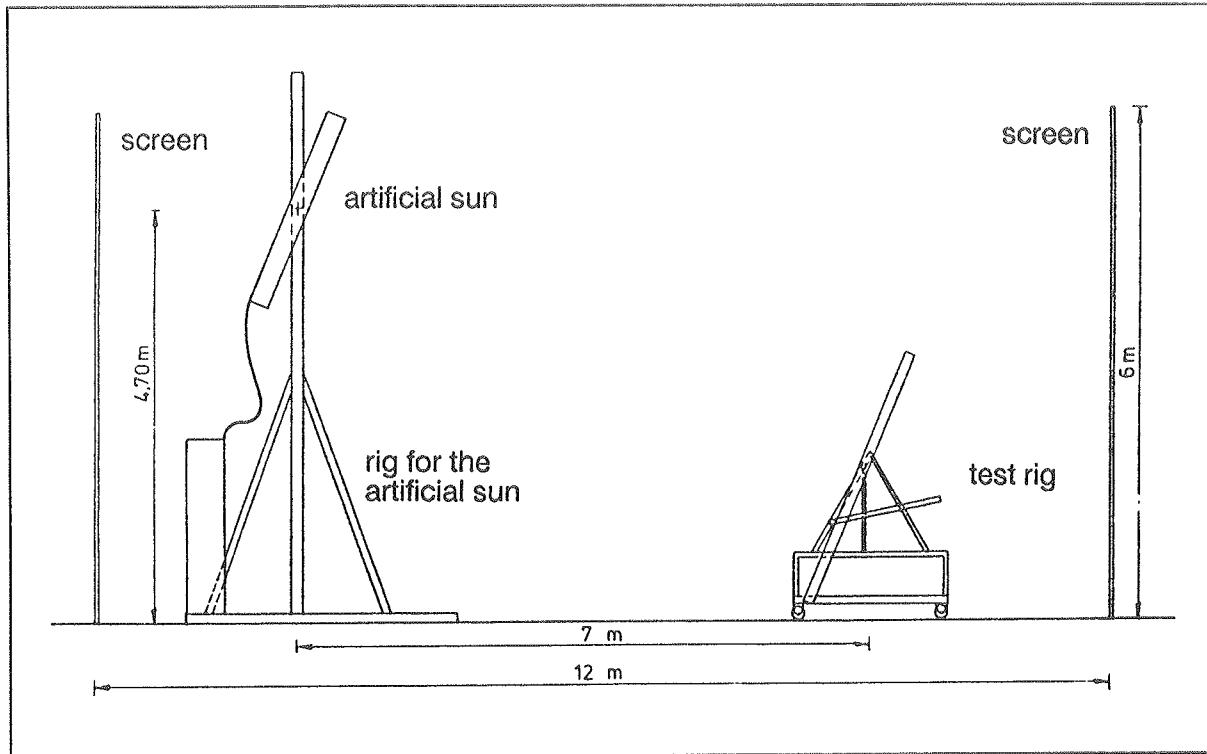


Figur 2.2.4 Principtegning af MF-element - reference /6/.

Ovenstående figur viser en principtegning af opbygningen af et MF-element. Forskellen mellem MF-elementet og et MF/AW-element er, at der i MF/AW-elementet ligger en væskeabsorber oven på trapezprofilet. Absorberen består af Sun-strip, hvor rørafstanden passer med trapezafstanden. Dette gør, at det kun er finnerne af absorberen som er i berøring med trapezpladen.

3 FORSØGSBESKRIVELSE

En kombineret væske- og luftsolfanger fra firmaet Aidt Miljø og prototypen af MF/AW-elementet blev opsat på prøvebordet af Laboratoriet for Varmeisoleringens kunstige sol (se figur 3.1). Den kunstige sol består af 64 kviksølv halogen lamper (Thorn-CSI). Prøvebordet har en hældning på $67,5^\circ$, som er平行 med den kunstige sol.



Figur 3.1 Den kunstige sol og prøvebordet.

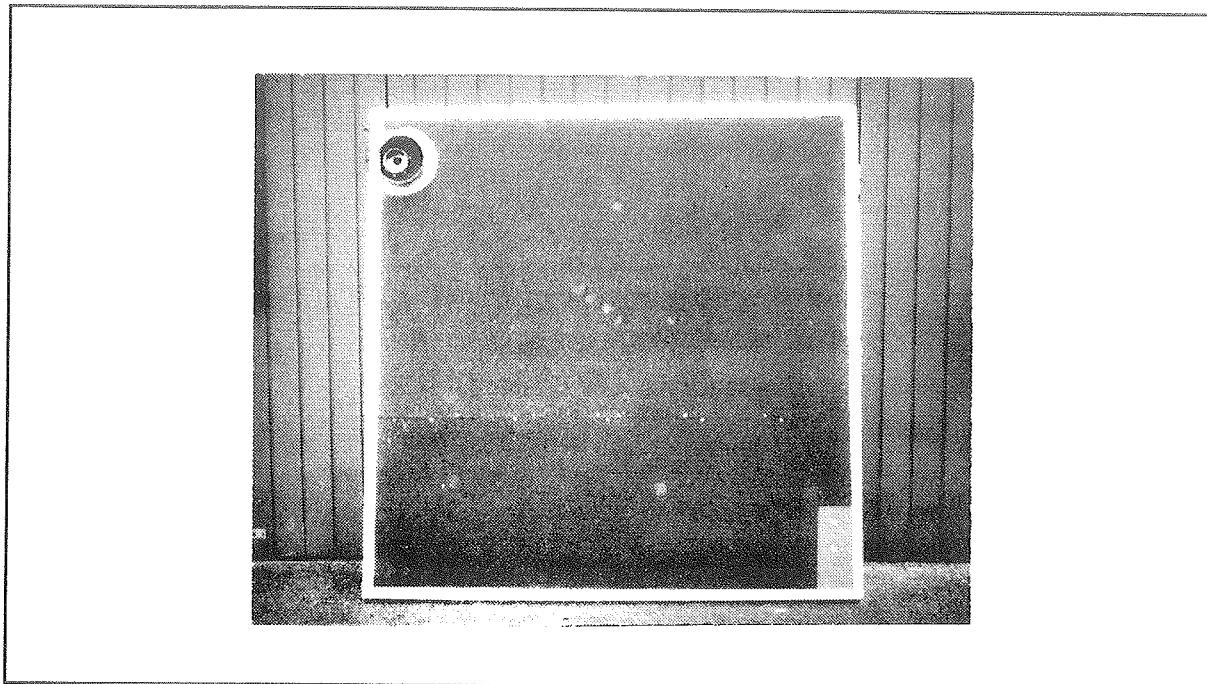
Tilslutningen af væskedelen af solfangerne er som ved prøvning af traditionelle væskesolfangerne.

Der er foretaget målinger, hvor kun enten væske- eller luftdelen har været i drift, samt hvor både luft- og væskedelene har været i drift samtidig.

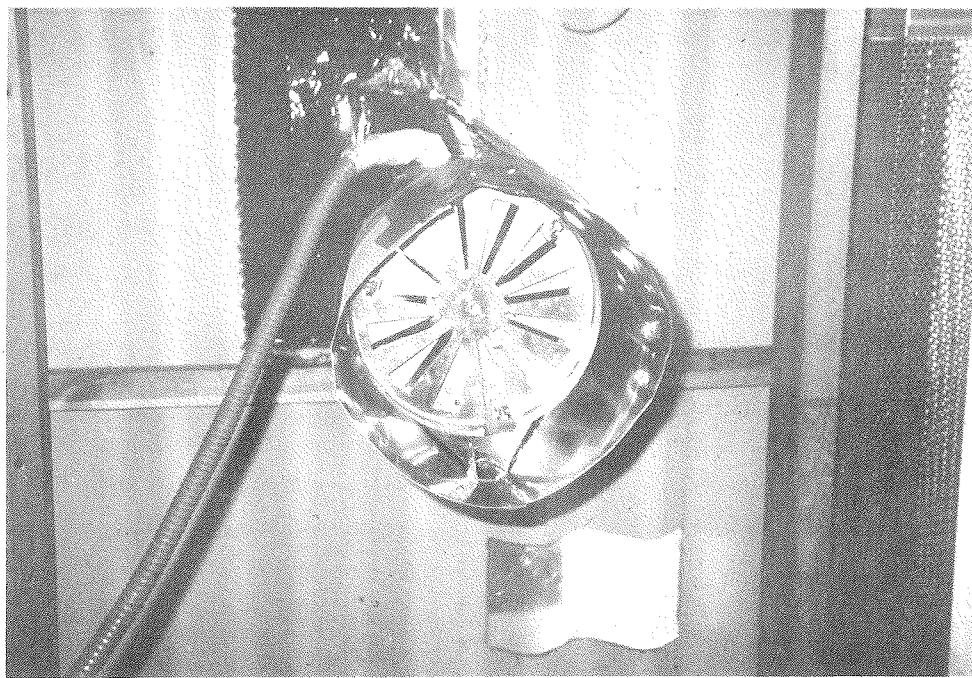
3.1 Målingerne på luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø

Lufttilslutningen foretages på solfangerens bagside på den tilhørende studs (se figur 3.1.1). Ved hjælp af en speciel termosøjle med 10 elementer måles temperaturdifferensen mellem ud- og indløb af luften. Indløbs- samt udløbstemperaturen måles med almindelige kobber-konstante termoelementer.

Luftindsugningen til solfangeren sker gennem 5 stk. Ø 45 mm huller i bagpladen. Et specielt ventilationsrør blev monteret på bagpladen af solfangeren. Røret er ca. 3/4 meter langt. Tværsnittet af røret går fra at være rektangulært ca. 310 × 80 mm til at være rundt ca. Ø 240 mm. I den cirkulære ende er den ene ende af termosøjlen placeret (figur 3.1.2). I øverste venstre side af solfangeren (set bagfra) er luftudtaget placeret. Her er den anden del af termosøjlen monteret (se figur 3.1.3). Ventilationsrøret fra luftudtaget til termosøjlen er isoleret for at mindske varmetabet fra røret og dermed minimere målefejlen af lufttemperaturen ved udløbet.



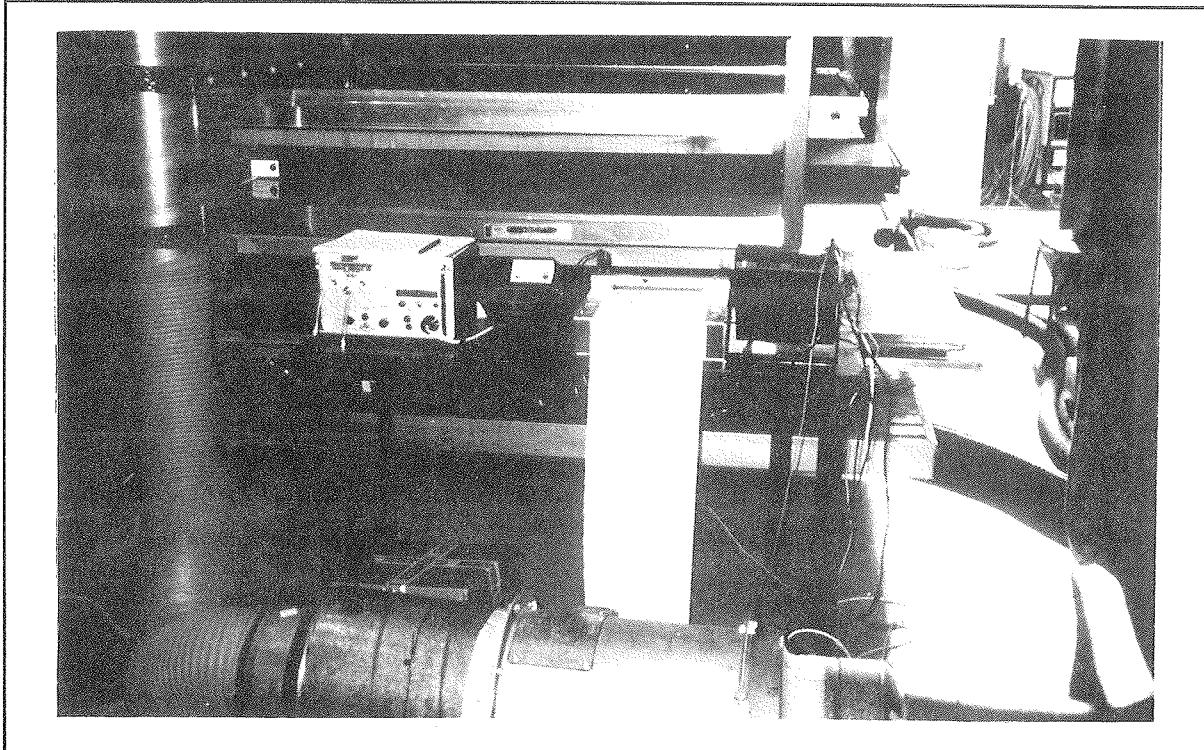
Figur 3.1.1 Bagside af solfangeren fra Aidt Miljø med luftind- og luftudtag hhv. forneden til højre og foroven til venstre.



Figur 3.1.2 Termosøjle placeret ved indløb.

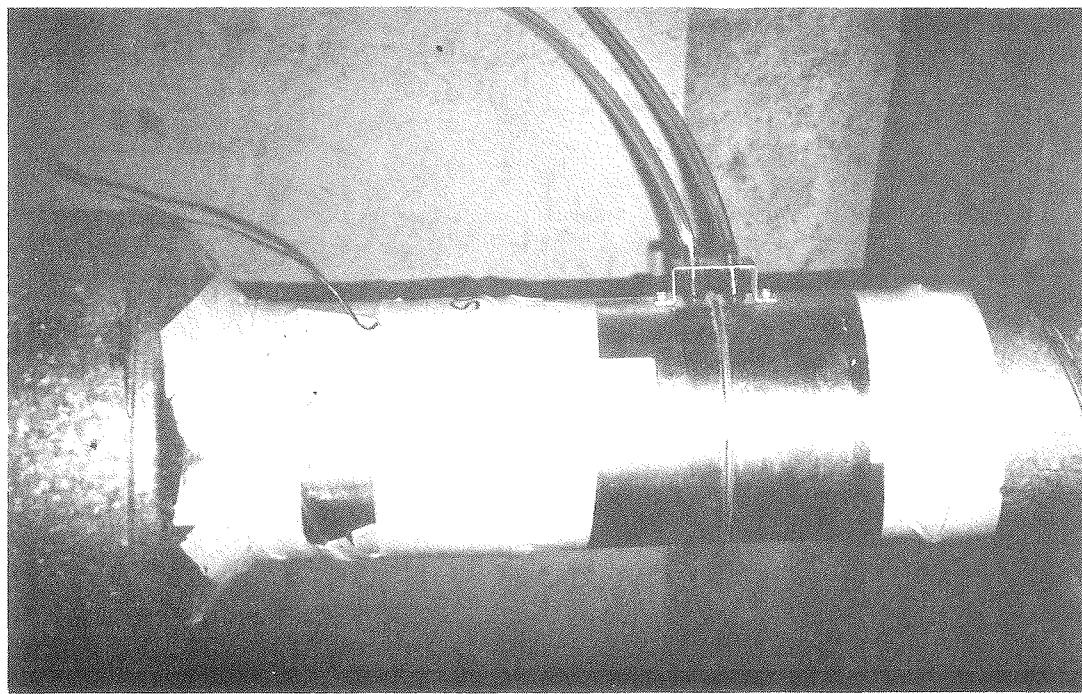


Figur 3.1.3 Termosøjlens placering ved udløbet.



Figur 3.1.4 Ventilator og måleudstyr.

Volumenstrømmen af luft gennem solfangeren måles med en måleblænde, som er koblet til udsugningen (udløbet) - se figur 3.1.5. Lufttemperaturen ved måleblænden måles med et kobber-konstantan termoelement. Efter måleblænden er ventilatoren placeret. Når luftdelen er i drift, er det altid uopvarmet luft, som suges ind i solfangeren, dvs. at luften ikke recirkuleres. Luften opvarmes mellem absorberen og dæklaget.



Figur 3.1.5 Måleblænde til måling af luftstrøm.

Målingerne for solfangeren fra Aidt Miljø er foretaget under følgende forhold:

Strålingsintensiteten:	850 W/m ² .
Væskeflow:	0,15 kg/min·m ² , dvs. low flow drift.
Indløbstemperaturerne af væsken:	26, 44, 58, 71°C.
Luftflowet:	61, 84, 127, 167, 196 m ³ /h.
Indløbstemperaturen for luftdelen:	ca. 25°C.
Solfangerhældning:	67,5°.
Vindhastighed:	3 m/s langs dæklag.
Indfaladvinkel:	mindre end 30°.
Væske:	50% wt propylenglykol.

Væskestømmen gennem solfangeren fra Aidt Miljø er valgt som low flow, da det er den væskestørm, firmaet anvender i sine anlæg. Desuden er der et stort tryktab i ribberørene især ved store væskestømme. Det ville derfor kræve stor pumpekraft at få en væskestørm på 1,2 kg/min·m² gennem solfangeren. 1,2 kg/min·m² er væskestømmen ved standardtest af væskesolfangere.

Indløbstemperaturen af væsken til væskeabsorberen var anderledes end ved standardafprøvningerne, hvor der anvendes 25, 45, 75 og 93°C. Indløbstemperaturerne var: 26, 44, 58 og 71°C. Dette skyldes, at der er anvendt low flow, hermed fås en større opvarmning af solfan-

gervæsken end ved standardvæskestrøm ($1,2 \text{ kg/min} \cdot \text{m}^2$). Ved f.eks. en indløbstemperatur på 71°C fås en opvarmning på ca. 25 K, når der kun er væskeflow gennem solfangeren. Der opnås altså en udløbstemperatur på næsten 100°C . Var der anvendt en indløbstemperatur på 93°C , ville udløbstemperaturen være langt over 100°C , men opvarmningen ville ikke blive lige så stor. Solfangervæsken ville koge ved normalt tryk. Af sikkerhedsmæssige grunde tillades derfor ikke temperaturer over 98°C i forsøgsopstillingen.

For at sammenligne denne type solfanger med andre "almindelige" solfangere er det altså nødvendigt at foretage en undersøgelse af, hvordan luft/væske-solfangere med low flow bedst testes. Denne undersøgelse ligger uden for dette projekt.

Indløbstemperaturen af luften har været ca. 25°C , hvilket normalt ikke er gældende for en solfanger som er placeret udendørs. Her vil det også være vigtigt at undersøge ydelsen af luftdelen ved lavere temperaturer f.eks. $-10, 0, 10^\circ\text{C}$. De 25°C var lufttemperaturen i forsøgshallen, hvor forsøgene fandt sted. Det er relevant at undersøge betydningen af lavere tilgangstemperaturer i et kommende projekt, da det ikke har været muligt at undersøge forholdet inden for dette projekts rammer.

Der er anvendt en vindhastighed på 3 m/s langs dæklaget på solfangeren, da denne vindhastighed forventes at blive ny standard, ved afprøvning af solfangere.

De forskellige lamper i den kunstige sol har forskellige sigtepunkter på prøvebordet for at skabe en så jævn strålingsintensitet som muligt. Lysstrålerne fra de forskellige lamper står ikke "helt" vinkelret på prøvebordet. Indfaldsvinklerne er dog mindre end 30° , og har kun meget ringe indflydelse på testresultaterne.

Som væskemedium er anvendt en 50% wt propylenglykol blanding i stedet for en 20% blanding som er standard for solfangene fra Aidt Miljø. Dette er gjort for at kunne sammenligne direkte med MF/AW-elementet, samt af praktiske grunde, da det er denne væsketype, der anvendes ved standardafprøvninger af solfangere i Danmark.

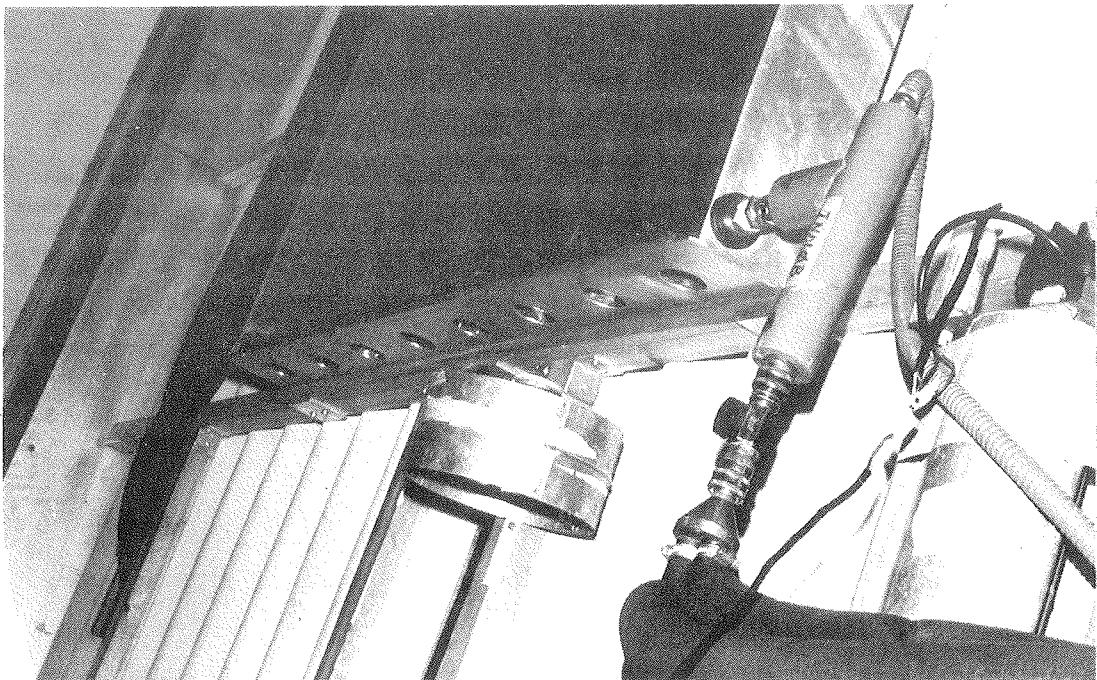
3.2 Målinger på prototypen af MF/AW-elementet

Lufttilførslen til MF/AW-elementet sker gennem 8 huller på Ø 45 mm i bundprofilet af solfangeren (se figur 3.2.1). Luftudløbet Ø 135 mm er placeret i bagpladen i toppen af solfangeren. Det er uopvarmet luft, som ledes ind i solfangeren.

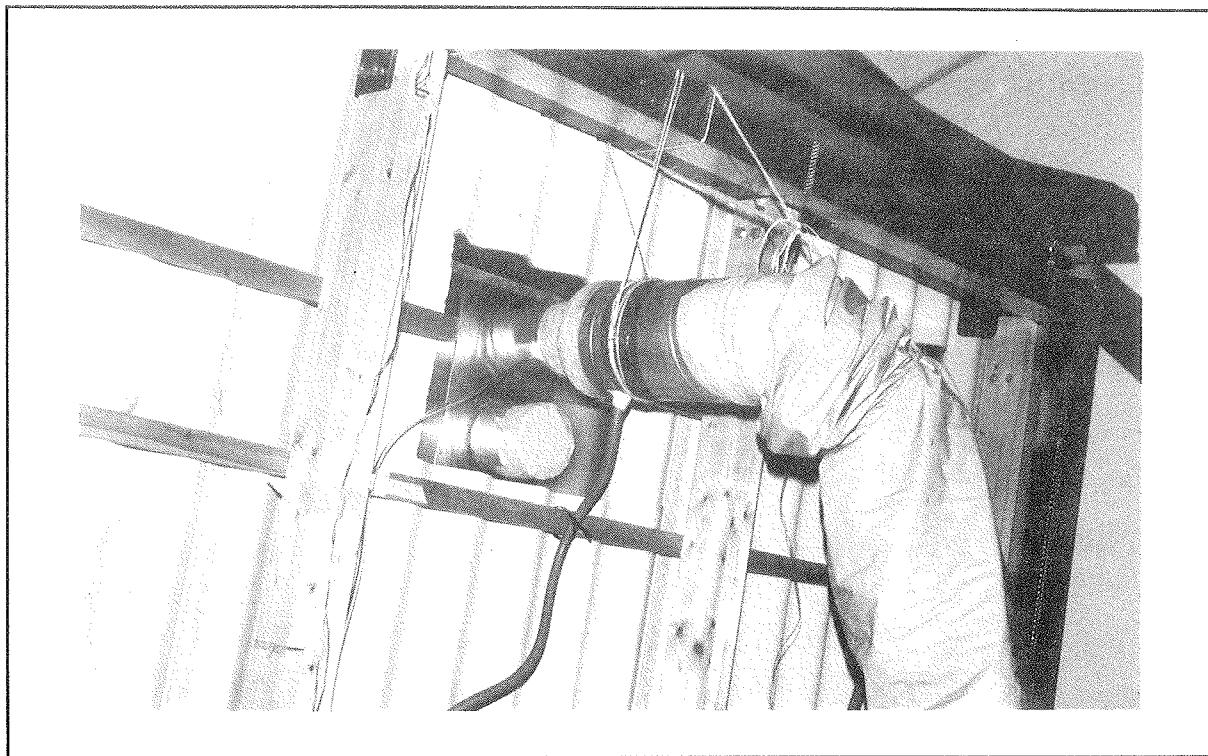
Måling af temperaturdifferensen mellem luftindløb og udløb måles vha. en speciel termosøjle, som også er anvendt ved måling på solfangeren fra Aidt Miljø. Den ene ende af termosøjlen blev placeret ud for et par af indløbshullerne. For at være sikker på at temperaturen ved alle

indløbshullerne var ens, blev en ventilator placeret således, at denne blæste luften på tværs af indløbshullerne og omkring termosøjlen (se figur 3.2.1). Den anden ende af termosøjlen blev placeret i forbindelse med et ventilationsrør Ø 200 mm, som vha. nogle overgange blev koblet til udløbets ventilationsrør Ø 135 mm (figur 3.2.2). Indløbs- og udløbstemperaturen måles med 2 kobber-konstantan termoelementer, som ved solfangeren fra Aidt Miljø.

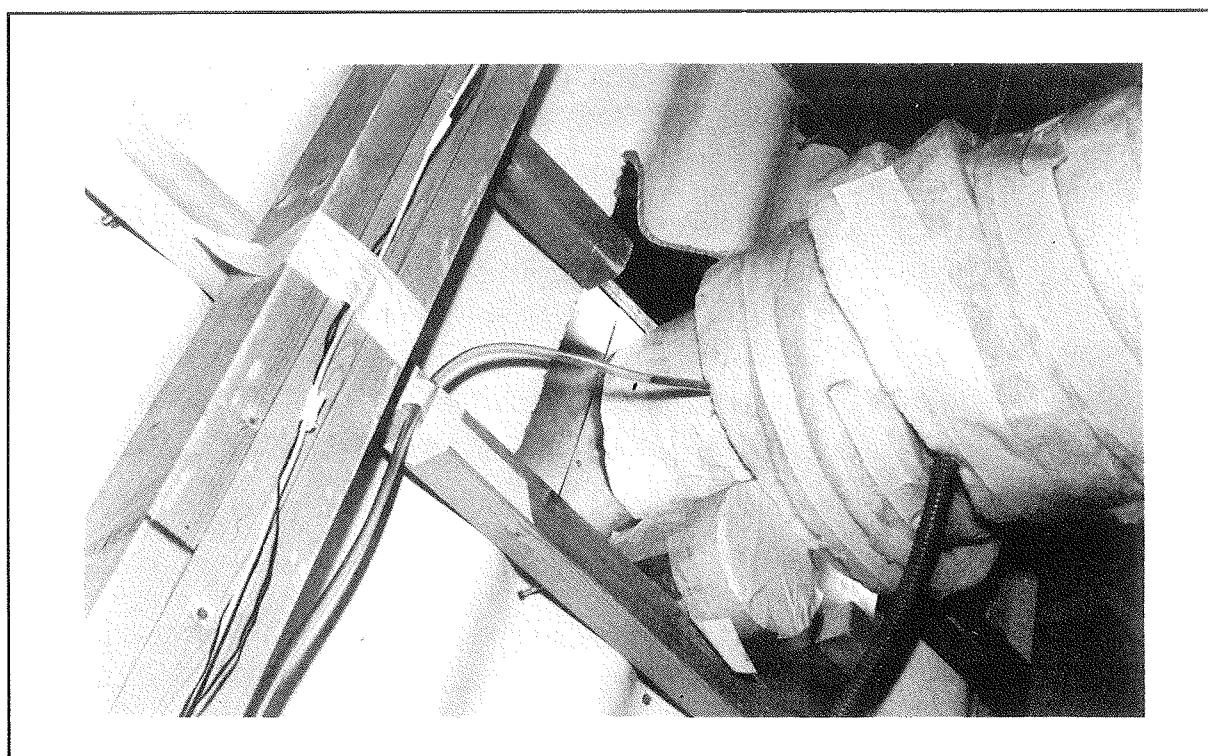
Luftstrømmen gennem solfangeren måles med en måleblænde på samme måde som ved måling på solfangeren fra Aidt Miljø.



Figur 3.2.1 Luftindløbet til MF/AW-elementet samt termosøje og ventilator.



Figur 3.2.2 Luftudløbet fra MF/AW-elementet.



Figur 3.2.3 Luftudløbet isoleret.

Målingerne for prototypen er foretaget under følgende forhold:

Strålingsintensiteten:	899 W/m ² .
Væskeflow:	1,2 kg/min·m ² .
Indløbstemperaturerne af væsken:	26, 44, 58, 75 °C.
Luftflowet:	83, 106, 148, 188, 279 m ³ /h.
Indløbstemperaturen for luftdelen:	ca. 26 °C.
Solfangerhældning:	67,5°.
Vindhastighed:	3 m/s langs dæklag.
Indfaldsvinkel:	mindre end 30°.
Væske:	50% wt propylenglykol.

Ved prøvning af solfangerne placeres disse med den nederste kant af solfangeren på samme sted. Jo større solfangeren er jo tættere til kanten af prøvebordet er den. Da strålingsintensiteten er lavere ved kanterne af prøvebordet bliver der mindre stråling på en stor solfanger end på en lille. Solfangeren fra Aidt Miljø dækker et areal på 3,78 m², hvor MF/AW-elementet kun dækker et areal på 2,18 m². Strålingsintensiteten er lidt større for prototypen end for solfangeren fra Aidt Miljø. Forøgelsen er ca. 6 %.

Prøvningerne er foretaget ved standardvæskestørsm som er normal for denne slags absorber med manifold i top og bund.

Som indløbstemperaturer er anvendt omrent de samme som for solfangeren fra Aidt Miljø. Dette er gjort for at have et direkte sammenligningsgrundlag. Her havde det været mere korrekt at anvende standardindløbstemperaturerne, da opvarmningen ikke er så høj som ved low flow. Det bør undersøges nøjere, hvilke indløbstemperaturer der skal anvendes ved afprøvninger af luft/væske-solfangere. Denne undersøgelse har ikke været inden for rammerne for dette projekt.

Ved prøvningen af solfangeren fra Aidt Miljø blev det konstateret, at de små luftstrømme på 61 og 84 m³/h var svære at måle. Det blev derfor besluttet, at målingerne på MF/AW-elementet skulle starte med en luftstrøm på omkring de 80 m³/h.

Et problem med luftsolfangere er, at de skal være tætte. Tætheden blev undersøgt for MF/AW-elementet. Ved en luftstrøm gennem solfangeren på ca. 280 m³/h blev der undersøgt for utætheder vha. en røgampul. Det konstateredes herved, at der var mange utætheder i solfangeren. Solfangeren var især utæt mellem kantprofilet og bagpladen. Mindre utætheder konstateredes ved hjørnesamlingerne og ved samlingen af bagpladen og overgangen til luftudtaget. Dette forringes elementets effektivitet som luftsolfanger.

4 FORSØGSRESULTATER

I dette afsnit vises de detaljerede forsøgsresultater fra målingerne på solfangeren fra Aidt Miljø og prototypen af MF/AW-elementet.

4.1 Luft/væske-solfanger fra Aidt Miljø

Resultaterne fra målinger for væskedelen er angivet i nedenstående skema.

Stråling	Flow	Lufttemp.	Indløbstemp.	Opvarmning	Effektivitet
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %
868	0,0096	29,1	24,6	50,1	54,1
859	0,0097	27,8	44,1	39,9	44,7
852	0,0098	28,8	57,8	32,6	37,5
849	0,0098	28,9	71,5	25,4	29,4

Tabel 4.1.1 Effektivitetsmåling for væskedel af solfanger. Ingen luftstrøm i solfangeren.

Resultater fra måling for luftdelen er angivet i nedenstående skema.

Stråling	Flow	Den-sitet	Varme-kapacitet	Flow	Luft-temp. *	Indløbs-temp.	Opvarmning	Effekti-vitet
E W/m ²	V m ³ /h	ρ kg/m ³	C _p J/kg· °C	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %
872	60	1,062	1009	0,018	27,1	23,2	49,6	26,9
872	84	1,066	1009	0,025	27,1	23,2	45,8	35,2
872	126	1,081	1009	0,038	27,3	23,4	37,6	43,6
872	168	1,091	1008	0,051	27,6	23,8	31,5	49,0
872	196	1,097	1007	0,060	27,8	24,2	29,0	53,0

* Lufttemperaturen er skønnet ud fra målingerne med kombineret væske- og luftdrift. Målingerne viser, at lufttemperaturen ligger ca. 4 K højere end indløbstemperaturen af luften.

Tabel 4.1.2 Effektivitetsmåling for luftdel af solfanger. Ingen væskestørrelse i solfangeren.

De følgende 5 tabeller er resultater fra effektivitetsmåling for væske- og luftdelen ved kombineret drift, dvs. når både væske- og luftdel er i drift samtidig. Der er benyttet de samme betegnelser som i de foregående tabeller.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
882	0,0100	25,9	25,8	35,9	39,3	59	22,2	26,8	14,7	54,0
859	0,0098	28,1	44,2	26,3	29,4	59	24,2	33,0	18,5	47,9
852	0,0098	29,5	57,8	17,4	19,8	65	25,3	39,4	22,4	42,2
849	0,0098	28,0	71,3	8,8	10,2	60	23,3	42,6	23,9	34,1

Tabel 4.1.3 Effektivitetsmåling for væske- og luftdel i samtidig drift. Luftstrøm ca. 61 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
882	0,0098	26,2	25,7	34,1	36,8	82,7	22,2	25,0	19,4	56,2
859	0,0098	28,4	44,2	23,4	26,2	83,4	24,5	30,1	23,8	50,0
852	0,0098	29,8	57,8	15,2	17,3	84,0	25,8	34,1	27,1	44,4
849	0,0098	27,7	71,2	4,9	5,6	84,3	23,2	39,4	31,9	36,9

Tabel 4.1.4 Effektivitetsmåling for væske- og luftdel i samtidig drift. Luftstrøm ca. 84 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
882	0,0098	26,8	25,7	31,0	33,5	124,0	22,7	22,0	25,7	59,2
859	0,0098	28,6	44,1	19,9	22,3	125,1	24,8	27,2	32,3	54,6
852	0,0098	30,3	57,9	10,9	12,4	125,8	26,3	30,2	36,2	48,4
849	0,0098	27,9	71,3	0,0	0,0	132,7	22,8	34,6	43,6	43,6

Tabel 4.1.5 Effektivitetsmåling for væske- og luftdel i samtidig drift. Luftstrøm ca. 127 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
882	0,0098	27,0	25,7	28,6	30,7	165	22,9	20,2	31,4	62,1
859	0,0097	28,4	44,1	15,8	17,4	166	24,2	24,5	38,9	56,3
852	0,0098	30,6	57,9	7,6	8,6	168	26,0	28,0	44,5	53,1

Tabel 4.1.6 Effektivitetsmåling for væske- og luftdel i samtidig drift. Luftstrøm ca. 167 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
882	0,0098	27,2	25,7	26,9	28,7	193	23,3	18,6	34,0	62,7
859	0,0098	27,6	44,2	13,5	15,1	199	23,5	23,4	44,6	55,7
852	0,0099	30,7	57,9	5,4	6,2	196	26,8	25,9	48,3	54,5

Tabel 4.1.7 Effektivitetsmåling for væske- og luftdel i samtidig drift. Luftstrøm ca. 196 m³/h.

Måleresultater fra måling af lufttryktabet over Aidt Miljøs luft/væske-solfanger fremgår af tabel 4.1.8.

Tryktab over måle- blænde	Temp. ved blænde	Flow	Densitet	Flow korrigeret pga. temp.	Trykfald over ud- og indløb	Tryktab over ud- og indløb
ΔP _{blænde} mm VS	T _{blænde} °C	V m ³ /h	ρ kg/m ³	V _{korrigeret} m ³ /h	ΔP mm VS	ΔP Pa
0,25	21,1	56	1,201	57	4,3	42
0,50	21,1	80	1,201	80	9,8	96
1,13	20,9	120	1,201	120	18,5	181
2,50	20,9	178	1,201	179	30,0	294
3,75	20,9	218	1,201	219	43,8	429

Tabel 4.1.8 Måling af tryktab for luftdel i luft/væske-solfangeren.

4.2 Prototype af MF/AW-elementet

Resultaterne fra målinger for væskedelen er angivet i nedenstående skema.

Stråling	Flow	Lufttemp.	Indløbstemp.	Opvarmning	Effektivitet
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %
900	0,0433	26,4	25,5	8,4	66,8
898	0,0432	26,9	44,3	6,9	55,7
898	0,0435	27,1	58,4	5,7	47,1
899	0,0436	25,3	75,0	4,0	33,4

Tabel 4.2.1 Effektivitetsmåling for væskedel af solfanger. Ingen luftstrøm i solfangeren.

Resultater fra måling for luftdelen er angivet i nedenstående skema.

Stråling	Flow	Densitet	Varme-kapacitet	Flow	Luft-temp. *	Indløbs-temp.	Opvarmning	Effektivitet
E W/m ²	V m ³ /h	ρ kg/m ³	C _p J/kg·°C	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %
895	70	1,067	1009,0	0,0206	28,0	27,2	39,3	41,9
895	72	1,068	1009,0	0,0212	27,8	27,0	39,5	43,4
895	107	1,088	1008,3	0,0324	28,0	27,2	29,2	48,9
895	107	1,087	1008,3	0,0324	28,0	27,2	29,5	49,4
895	116	1,109	1006,9	0,0357	27,0	26,2	23,1	42,5
895	150	1,108	1006,6	0,0463	28,0	27,2	20,8	49,6
895	215	1,122	1005,6	0,0668	28,1	27,3	15,6	53,8
895	266	1,131	1005,0	0,0834	28,0	27,2	12,8	54,8
895	277	1,131	1005,0	0,0871	28,2	27,2	12,2	54,7

* Lufttemperaturen er skønnet. Skønnet er foretaget ved at sammenholde indløbstemperaturen af luften med lufttemperaturen fra målingerne de andre dage. Her viser det sig, at lufttemperaturen ligger mellem 0,2 til 1,8 K højere end indløbstemperaturen af luften. Lufttemperaturen er skønnet til at ligge 0,8 K ((1,8-0,2)/2) højere end indløbstemperaturen af luften.

Tabel 4.2.2 Effektivitetsmåling for luftdel af solfanger. Ingen væskestrøm i solfangeren.

De følgende 5 tabeller er resultater fra effektivitetsmåling for væske- og luftdelen ved kombineret drift, dvs. når både væske- og luftdel er i drift samtidig.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
895	0,0433	28,6	25,6	7,8	62,4	78	27,8	8,4	10,7	73,1
898	0,0431	27,7	44,3	5,1	41,3	83	26,5	16,5	22,1	63,4
898	0,0436	27,5	58,4	3,4	27,9	84	27,2	22,2	29,5	57,4
899	0,0437	24,8	74,9	0,8	6,4	84	24,6	30,6	40,5	46,9

Tabel 4.2.3 Effektivitetsmåling for kombineret drift af væske- og luftdel. Luftstrøm ca. 83 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
900	0,4328	26,7	25,4	7,2	57,5	109	25,5	7,7	13,8	71,3
898	0,0431	28,1	44,3	4,8	38,9	105	27,2	14,4	24,4	63,3
898	0,0436	27,8	58,3	2,9	24,3	104	27,2	20,1	33,3	57,6
899	0,0437	25,2	74,9	0,2	1,8	107	24,8	27,5	46,1	47,9

Tabel 4.2.4 Effektivitetsmåling for kombineret drift af væske- og luftdel. Luftstrøm ca. 106 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %
900	0,0437	27,2	25,5	6,9	55,4	146	25,9	6,3	15,2	70,6
898	0,0432	28,5	44,3	4,2	33,5	153	27,5	11,8	29,3	62,8
898	0,0436	27,2	58,2	1,8	15,2	147	25,4	17,6	41,4	56,6
899	0,0436	25,6	75,0	-0,8	-6,4	145	24,6	23,8	54,7	48,3

Tabel 4.2.5 Effektivitetsmåling for kombineret drift af væske- og luftdel. Luftstrøm ca. 148 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL	
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %	
900	0,0436	27,3	25,5	6,7	53,7	175	26,3	6,6	16,2	69,9	
898	0,0431	28,7	44,3	3,7	30,0	178	27,6	10,9	31,5	61,5	
898	0,0436	27,2	58,3	1,1	8,8	193	26,0	15,3	47,5	56,3	
899	0,0438	25,6	75,0	-2,2	-18,3	205	24,7	20,4	66,7	48,4	

Tabel 4.2.6 Effektivitetsmåling for kombineret drift af væske- og luftdel. Luftstrøm ca. 188 m³/h.

VÆSKEDEL						LUFTDEL				TOTAL	
E W/m ²	M kg/s	T _a °C	T _i °C	T _d K	n %	V m ³ /h	T _i °C	T _d K	n %	n _{total} %	
900	0,0437	27,4	25,5	6,1	48,7	280	26,3	4,5	20,7	69,4	
898	0,0430	28,8	44,3	2,7	21,5	276	27,6	8,8	39,5	61,0	
898	0,0434	26,8	58,3	-0,4	-3,3	280	25,8	12,8	58,2	54,9	
899	0,0440	25,7	75,0	-3,9	-32,5	279	24,8	17,6	78,8	46,3	

Tabel 4.2.7 Effektivitetsmåling for kombineret drift af væske- og luftdel. Luftstrøm ca. 279 m³/h.

Måleresultater fra måling af lufttryktabet over prototype af MF/AW-elementet er angivet i tabel 4.2.8.

Tryktab over måle- blænde	Temp. ved blænde	Flow	Densitet	Flow korrigteret pga. temp.	Trykfald over ud- og indløb
$\Delta P_{blænde}$ Pa	$T_{blænde}$ °C	V m³/h	ρ kg/m³	$V_{korrigert}$ m³/h	ΔP Pa
5	40,8	81	1,124	83	20
6,5	40,5	92	1,125	95	24,5
11	39,9	119	1,127	124	42
16,5	39,5	146	1,129	151	59
23	39,2	173	1,130	178	82
30	39,1	197	1,131	204	116
46	38,8	244	1,132	252	157
57	38,1	272	1,134	280	192

Tabel 4.2.8 Måledata for prototype. Tryktab af luftdel i MF/AW-elementet.

5 BEHANDLING AF FORSØGSRESULTATER

5.1 Luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø

Effektiviteterne er for væskedelens vedkommende målt ved low flow. Ved normalt flow findes middelvæsketemperaturen som middelværdien af udløbs- og indløbstemperaturen. Ved low flow bestemmes middelvæsketemperaturen ved at bestemme den integrerede middelvæsketemperatur. Især ved lave vækestørrelse er opvarmningen af væsken størst ved indløbet. Ved udløbet fra solfangeren er væsken varmere og opvarmningen er derfor mindre end ved det koldere indløb. Man får altså ikke et jævnt opvarmningsforløb gennem solfangeren, men aftagende opvarmning. Den beregnede middeltemperatur, der tager hensyn til dette opvarmningsforløb kaldes den integrerede middelvæsketemperatur.

Måleresultaterne er behandlet ved at bestemme den integrerede middelvæsketemperatur af væsken, som findes vha. de to nedenstående udtryk, (reference /7/).

$$T_{m,integrerede} = T_i + \frac{m \cdot C_p}{K \cdot F''} (1 - F'') T_d$$

$$F'' = \frac{m \cdot C_p}{K} \cdot (1 - e^{\left(\frac{-K}{m \cdot C_p}\right)})$$

T_i	: indløbstemperaturen	[°C]
m	: massestrømmen	[kg/s · m ²]
C_p	: varmekapaciteten	[J/kg · °C]
T_d	: opvarmning af væsken	[°C]
K	: $K_0 + K_1 (T_m - T_i)$	

For at finde K , bestemmes først et effektivitetsudtryk på basis af middeltemperaturen, som benyttes ved normalt flow. Herved bestemmes $K_0 + K_1$ til brug ved beregning af K . $T_{m,integrerede}$ bestemmes iterativt, ved at indsætte K i ovenstående udtryk. $T_{m,integrerede}$ indsættes i stedet for T_m i udtrykket for K . Når $T_{m,integrerede}$ og T_m er "ens", er iterationen slut.

Den integrerede middelvæsketemperatur ved de forskellige luftstrømme er angivet i de nedenstående tabeller. Middelvæsketemperaturen anvendes ved beregning af effektivitetskonstanterne ved de forskellige luftstrømme. Effektivitetskonstanterne er fundet ved regression.

Man skal være opmærksom på, at ved angivelse af effektiviteterne, er det middelvæsketemperaturen minus omgivelsernes temperatur, som er benyttet. Det er altså ikke middeltemperaturen af både væske- og luftdelen.

I et senere projekt bør det nærmere undersøges, hvilken indflydelse det har for effektivitetsudtrykket at benytte middelvæsketemperaturen i stedet for middeltemperaturen af både luft- og væskedelen.

E W/m ²	T _a °C	T _{m,int} °C	n _{væske} %
868	29,1	53,0	54,0
859	27,8	65,5	44,7
852	28,8	75,5	37,5
849	29,0	85,2	29,4

Effektivitetskonstanter for væskedel.

$$n_o = 0,666$$

$$K_o = 3,71$$

$$K_1 = 0,034$$

Væskestørrel 0,15 kg/min·m².

Ingen luftstrøm gennem solfangeren.

Tabel 5.1.1 Den integrerede middelvæsketemperatur til brug ved beregning af effektivitetskonstanter samt effektiviteten ved denne temperatur.

Til højre for de efterfølgende 5 tabeller er angivet de fundne effektivitetskonstanter gældende ved kombineret drift. Effektivitetskonstanterne for væskedelen ved kombineret drift er angivet i tabel 5.1.8.

E W/m ²	T _a °C	T _{m,int} °C	n _{total} %
882	25,9	46,3	54,0
859	28,1	59,0	47,9
852	29,5	67,6	42,2
849	28,0	76,3	34,1

Effektivitetskonstanter for luft- og væskedel.

$$n_o = 0,620$$

$$K_o = 2,33$$

$$K_1 = 0,053$$

Væskestørrel 0,15 kg/min·m².

Volumenstrøm af luft ca. 61 m³/h.

Tabel 5.1.2 Den integrerede middelvæsketemperatur samt effektiviteten ved denne temperatur. Volumenstrøm af luft ca. 61 m³/h.

E W/m ²	T _a °C	T _{m,int} °C	n _{total} %
882	26,2	44,8	56,2
859	28,4	57,4	50,0
852	29,8	66,4	44,4
849	27,7	74,0	36,9

Effektivitetskonstanter for luft- og væskedel.

$$n_o = 0,642$$

$$K_o = 2,95$$

$$K_1 = 0,045$$

Væskestrøm 0,15 kg/min·m².

Volumenstrøm af luft ca. 84 m³/h.

Tabel 5.1.3 Den integrerede middelvæsketemperatur samt effektiviteten ved denne temperatur. Volumenstrøm af luft ca. 84 m³/h.

E W/m ²	T _a °C	T _{m,int} °C	n _{total} %
882	26,8	43,5	59,2
859	28,6	55,5	54,6
852	30,3	64,1	48,4
849	26,3	71,3	43,6

Effektivitetskonstanter for luft- og væskedel.

$$n_o = 0,674$$

$$K_o = 3,78$$

$$K_1 = 0,020$$

Væskestrøm 0,15 kg/min·m².

Volumenstrøm af luft ca. 127 m³/h.

Tabel 5.1.4 Den integrerede middelvæsketemperatur samt effektiviteten ved denne temperatur. Volumenstrøm af luft ca. 127 m³/h.

E W/m ²	T _a °C	T _{m,int} °C	n _{total} %
882	27,0	42,4	62,1
859	28,4	53,2	56,3
852	30,6	62,3	53,1

Effektivitetskonstanter for luft- og væskedel.

$$n_o = 0,699$$

$$K_o = 4,59$$

$$K_1 = 0,0$$

Væskestrøm 0,15 kg/min·m².

Volumenstrøm af luft ca. 167 m³/h.

Tabel 5.1.5 Den integrerede middelvæsketemperatur samt effektiviteten ved denne temperatur. Volumenstrøm af luft ca. 167 m³/h.

E W/m ²	T _a °C	T _{m,int} °C	n _{total} %
882	27,2	41,4	62,7
859	27,6	52,2	55,7
852	30,7	61,1	54,5

Effektivitetskonstanter for luft- og væskedel.

$$n_o = 0,696$$

$$K_o = 3,98$$

$$K_1 = 0,0$$

Væskestøm 0,15 kg/min·m².

Volumenstrøm af luft ca. 196 m³/h.

Tabel 5.1.6 Den integrerede middelvæsketemperatur samt effektiviteten ved denne temperatur. Volumenstrøm af luft ca. 196 m³/h.

E W/m ²	T _a °C	T _i °C	T _u °C	T _d °C	n %
872	27,1	23,2	71,6	49,6	26,9
872	27,1	23,2	68,0	45,8	35,2
872	27,3	23,4	59,7	37,6	43,6
872	27,6	23,8	54,3	31,5	49,0
872	27,8	24,2	51,9	29,0	53,0

Effektivitetskonstanter for luftdel.

$$n_o = 0,637$$

$$K_o = 3,29$$

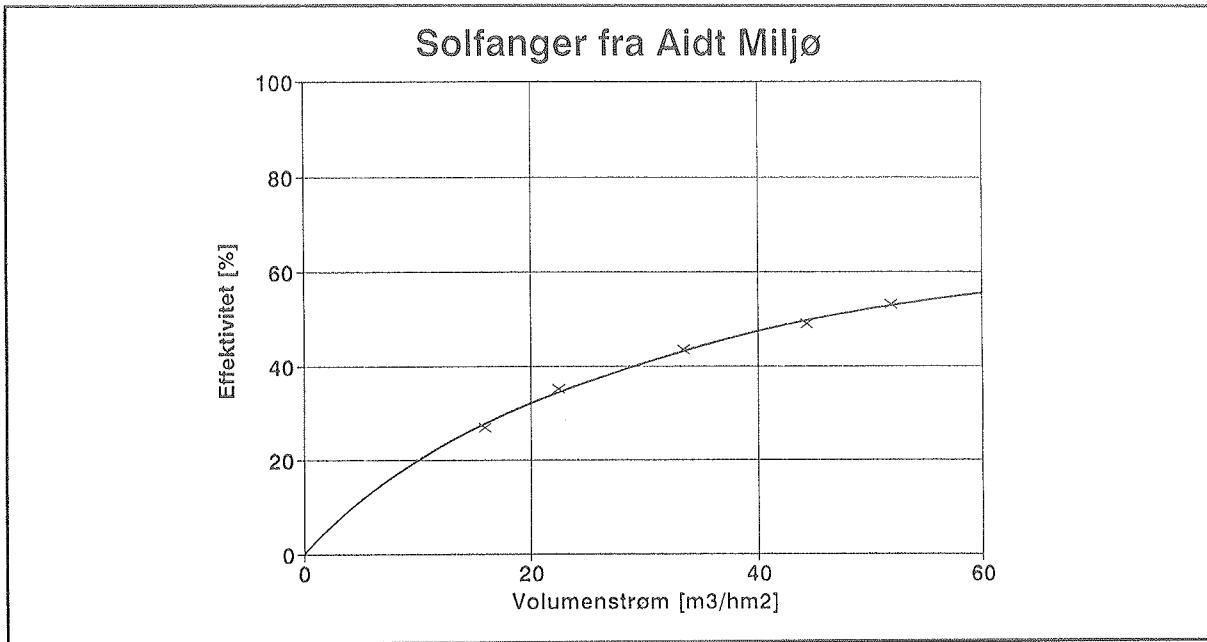
$$K_1 = 0,558$$

Ingen væskestøm gennem solf.

Volumenstrøm af luft ca. 61-196 m³/h.

Tabel 5.1.7 Måleresultater for luftflow til brug ved udregning af effektivitetskonstanter for luftdelen for sig.

Effektivitetskonstanterne fra tabel 5.1.7 for luftdelen alene er baseret på forskellige luftstrømme gennem solfangeren, og ikke som normalt ved forskellige indløbstemperaturer og konstant volumenstrøm. En anden anvendt måde, som især benyttes for solfangere til forvarmning af friskluft, er at vise effektiviteten som funktion af volumenstrømmen af luft (se figur 5.1.1). I denne metode ser man bort fra temperaturafhængigheden. De i dag anvendte simuleringsprogrammer til beregning af ydelsen fra kombinerede solvarmeanlæg kan dog ikke direkte anvende denne form for effektivitetsudtryk. Effektivitetsudtrykket fra tabel 5.1.7 anvendes derfor i første omgang som en første approksimation.



Figur 5.1.1 Effektivitetskurve for solfangeren fra Aidt Miljø ved ren luftdrift.

I ovenstående tilfælde er indløbstemperaturen til solfangeren omkring 23°C. Indløbstemperaturer på -10, 0, 10, og 20°C vil være mere relevant til et effektivitetsudtryk for luftdelen. Det vil derfor være relevant, i et kommende projekt, at undersøge muligheden for at finde et egnet effektivitetsudtryk for luftdelen, til brug i simuleringer.

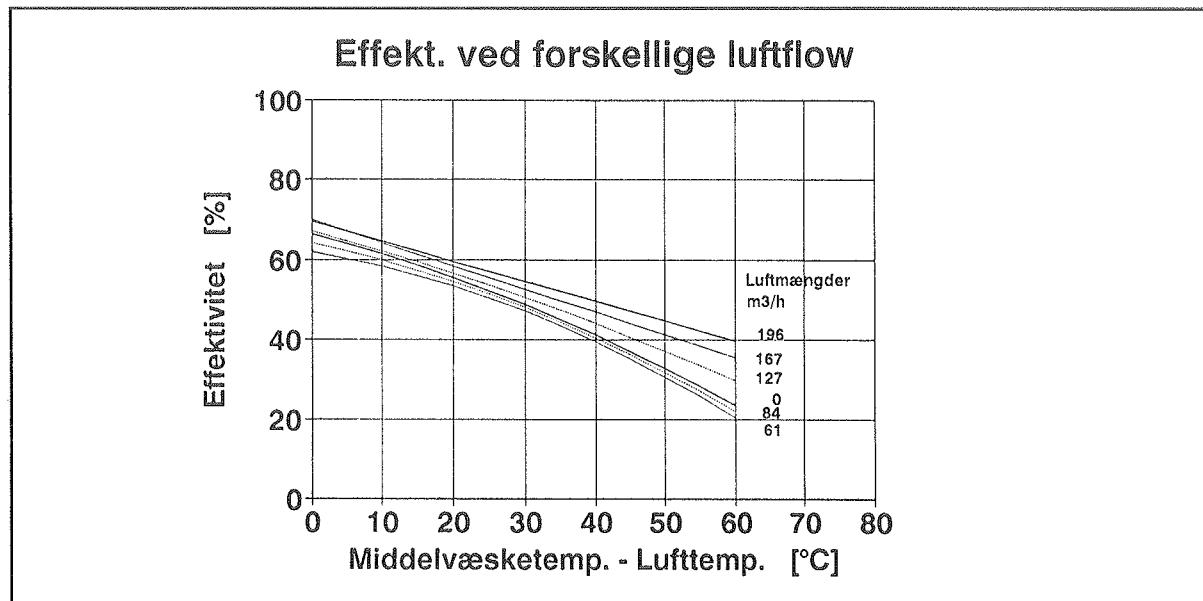
I nedenstående tabel er effektivitetskonstanterne angivet for den kombinerede luft/væske-solfanger fra Aidt Miljø, ved de angivne volumenstrømme af luft. Desuden er effektivitetskonstanterne angivet for væskedelen, gældende ved kombineret drift.

Luftstrøm Q_{luft} m³/h	Væskestørrelse $Q_{væske}$ l/min·m²	$n_{0,\text{total}}$ -	$K_{0,\text{total}}$ -	$K_{1,\text{total}}$ -	$n_{0,væske}$ -	$K_{0,væske}$ -	$K_{1,væske}$ -
0	0,15	0,666	3,71	0,034	0,666	3,71	0,0339
61	0,15	0,620	2,33	0,053	0,591	8,30	0,0069
84	0,15	0,642	2,95	0,045	0,519	6,23	0,0489
127	0,15	0,674	3,78	0,020	0,484	6,93	0,0593
167	0,15	0,699	4,59	-	0,501	11,22	-
196	0,15	0,696	3,98	-	0,473	11,42	-
61-196	0,00	0,637	3,29	0,558	-	-	-

Tabel 5.1.8 Effektivitetskonstanterne ved de forskellige luftstrømme.

Ved volumenstrømme af luft på 167 og 196 m³/h var der kun tre målepunkter for hver volumenstrøm. Det har derfor ikke været muligt at beregne et andengradsudtryk for kurverne ved disse volumenstrømme.

Nedenstående figur viser effektivitetskurverne for luft/væske-solfangeren ved forskellige volumenstrømme af luft. De anvendte effektivitetskonstanter er fra ovenstående tabel. Kurverne er optegnet for en solstrålingsintensitet på 800 W/m².



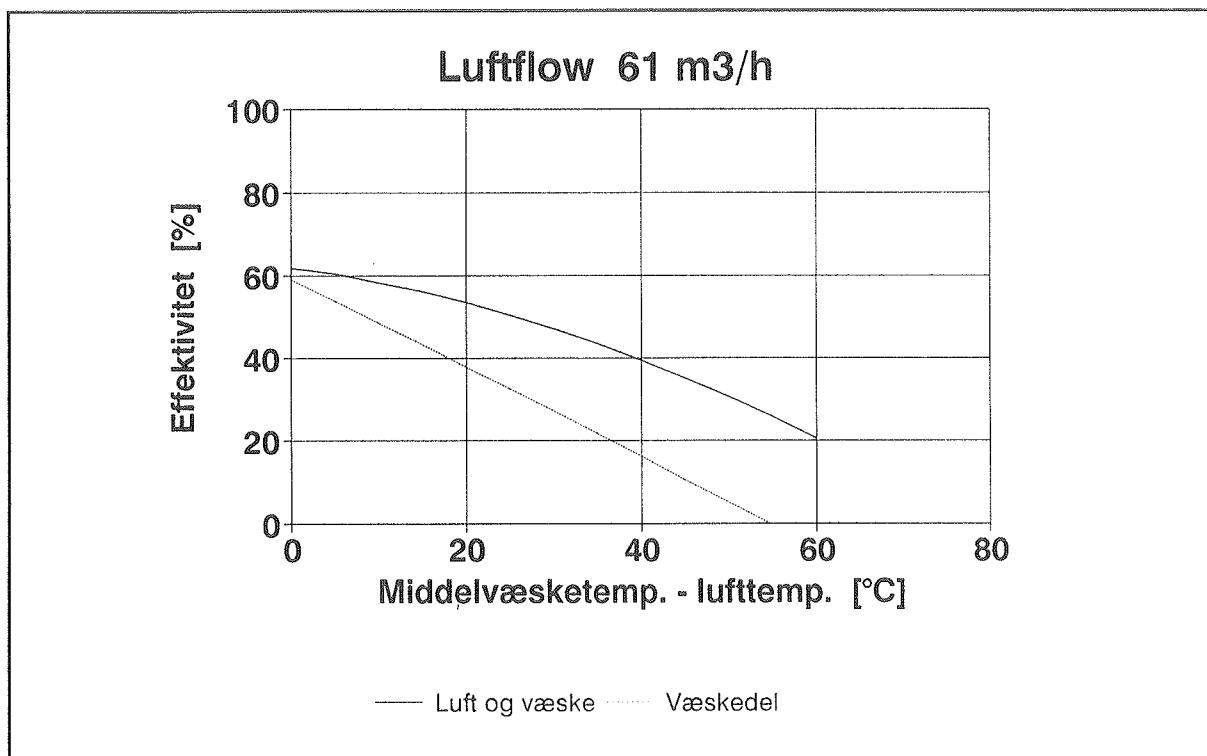
Figur 5.1.2 Effektivitetskurver ved forskellige volumenstrømme af luft.

Effektivitetskurverne for de to laveste luftstrømme på 60 og 84 m³/h ligger under effektivitetskurven for den rene væskesolfanger, hvilket man ikke skulle forvente. Dette skyldes sandsynligvis den store usikkerhed ved måling af små volumenstrømme af luft. Af de øvrige kurver ses, at den samlede effektivitet stiger med øget volumenstrøm af luft. Effektivitetsstigningen skyldes, at varmetabet reduceres gennem dæklaget pga. passagen af luft. Passagen af luften medfører en mindre middeltemperatur i solfangeren og dermed et mindre varmetab, hvilket resulterer i en højere effektivitet. Desuden forøges varmeoverføringen mellem absorber og luft med øget volumenstrøm af luft.

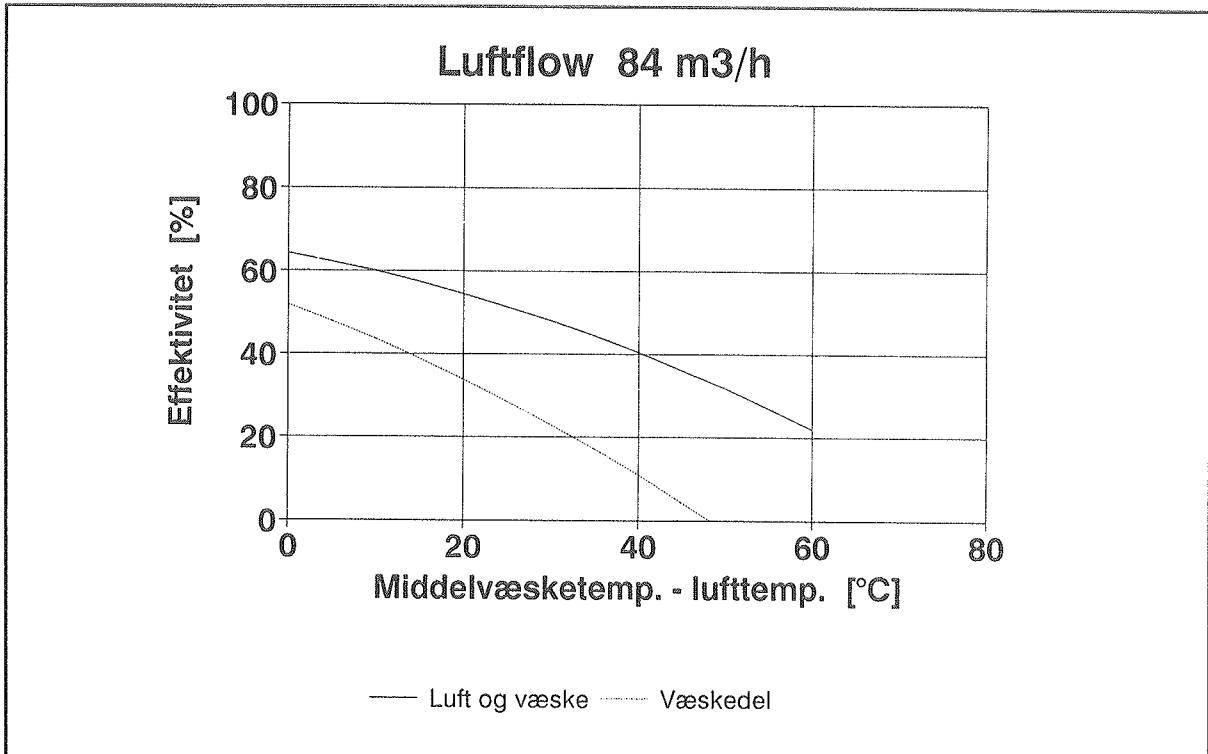
I de følgende figurer vises effektivitetskurverne for kombinationen af luft- og væskedrift. Desuden er effektiviteten for væskedelen vist ved den kombinerede drift, dvs. at den lodrette afstand mellem de to kurver er et udtryk for effektiviteten af luftdelen. Hermed er det muligt at få indtryk af fordelingen af effektiviteten af luft- og væskedel hver for sig.

Af figurerne 5.1.3 til 5.1.7 ses, at effektiviteten øges ved øget volumenstrøm af luft, hvilket ikke er overraskende idet væskeabsorberen køles mere og mere jo større volumenstrømmen af luften er.

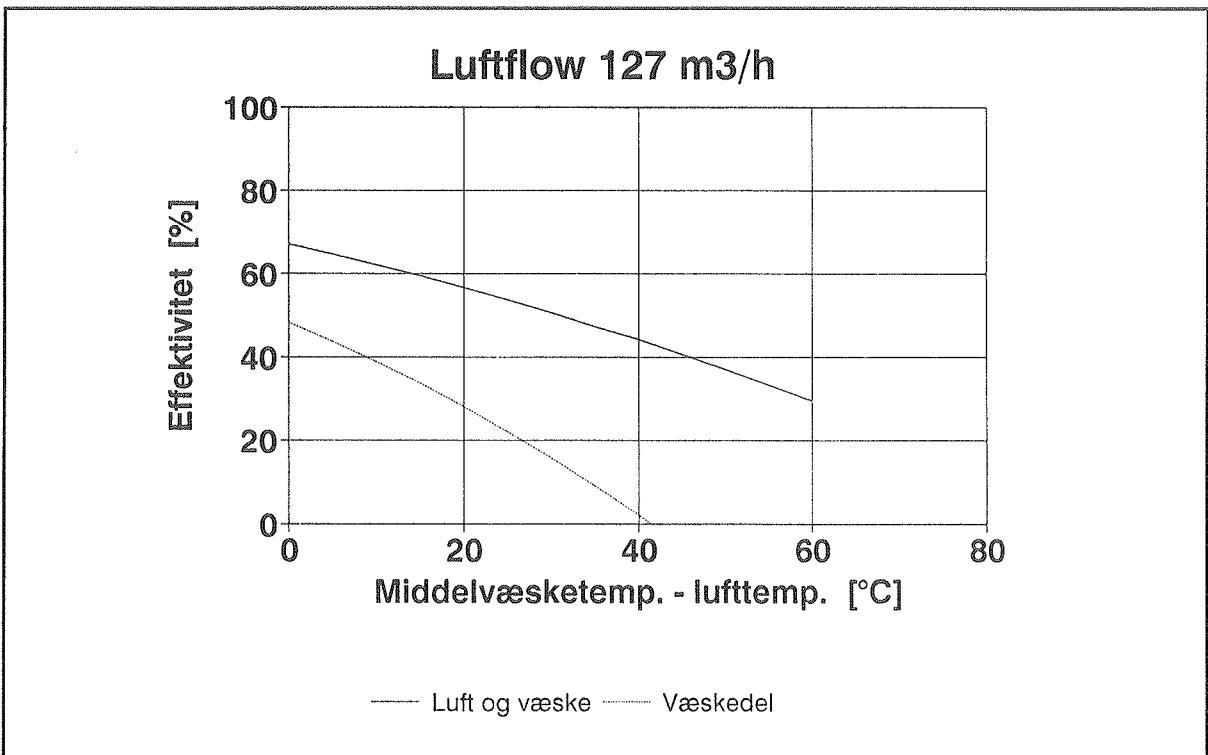
På figur 5.1.7 ses det f.eks., at ved en temperatur på ca. 35°C er effektiviteten for væskedelen 0%. Øges middelvæsketemperaturen minus lufttemperaturen, så bliver effektiviteten mindre end 0, hvilket betyder at væskedelen bliver afkølet og dermed afgiver energi til luften, men den samlede effektivitet er stadig positiv. Ved de 60°C er den samlede effektivitet af luft- og væskedelen 40%. Det er spørgsmålet, om det er hensigtsmæssigt, at væskedelen i et anlæg er i drift, når effektiviteten af væskedelen er under 0%. En nærmere undersøgelse af dette problem vil være relevant.



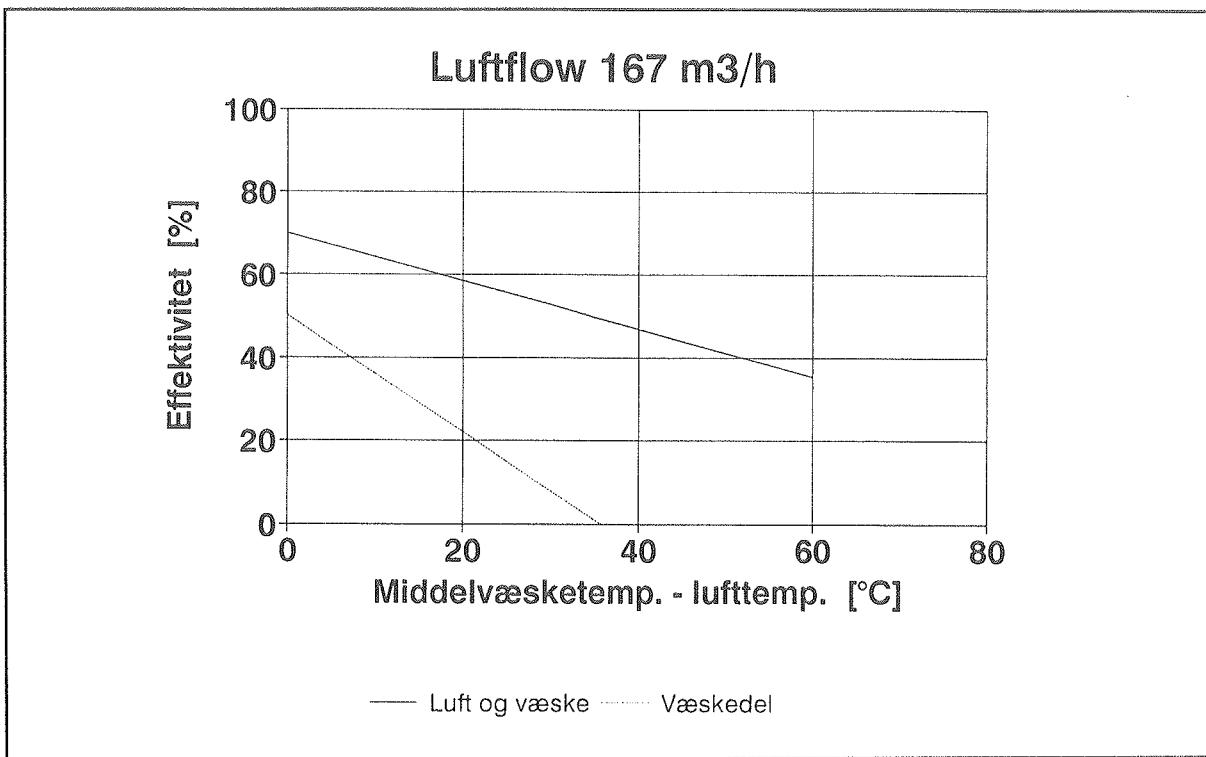
Figur 5.1.3 Effektivitetskurver ved en volumenstrøm af luft på ca. $61 \text{ m}^3/\text{h}$.



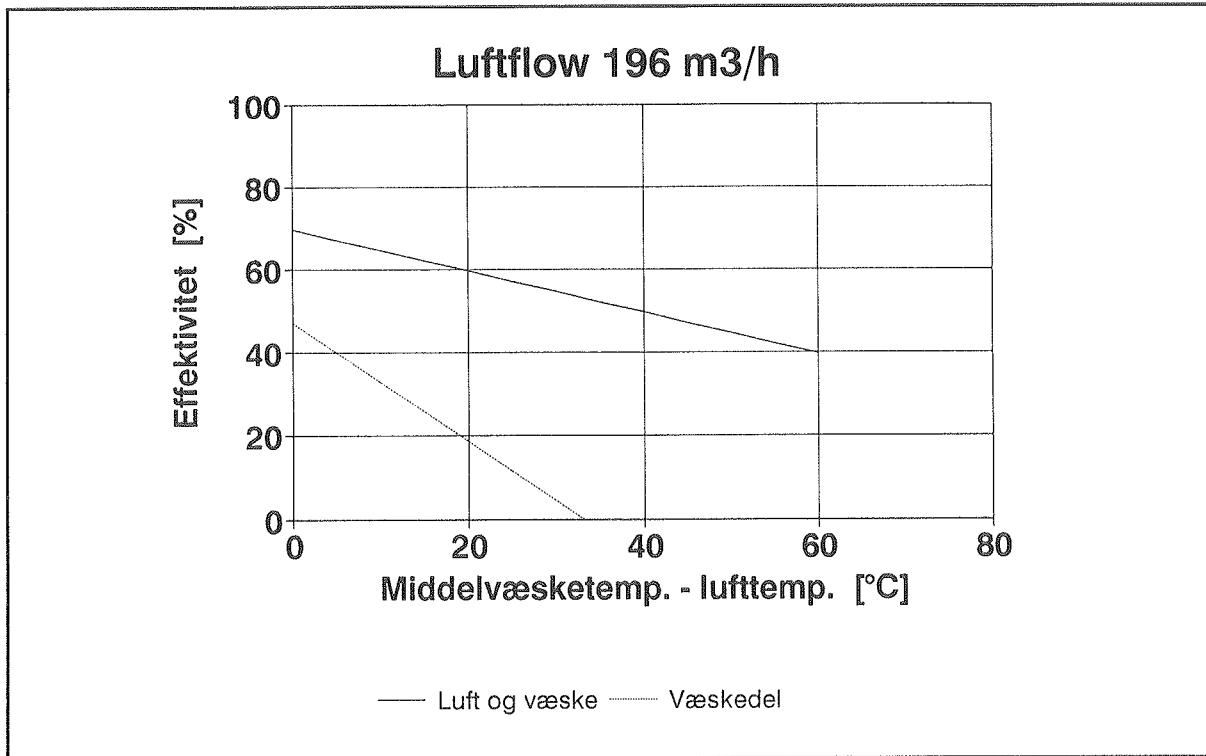
Figur 5.1.4 Effektivitetskurver ved en volumenstrøm af luft på ca. 84 m³/h.



Figur 5.1.5 Effektivitetskurver ved en volumenstrøm af luft på ca. 127 m³/h.

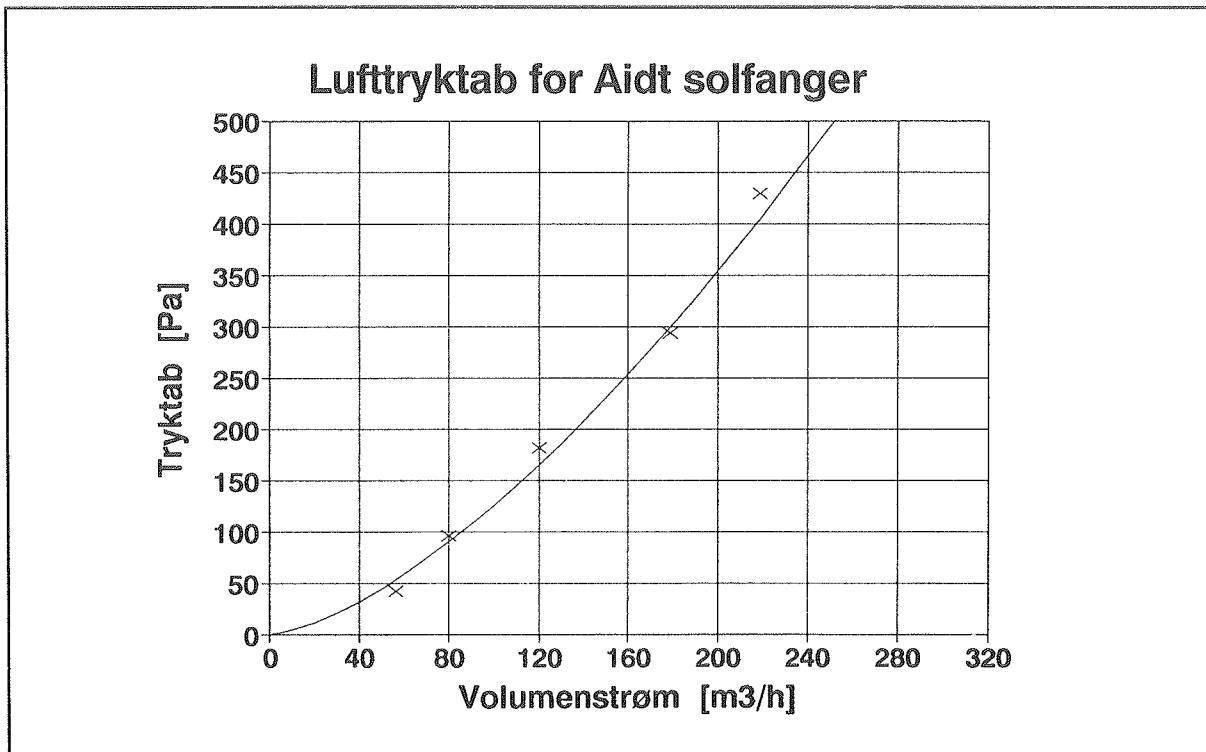


Figur 5.1.6 Effektivitetskurver ved en volumenstrøm af luft på ca. 167 m³/h.



Figur 5.1.7 Effektivitetskurver ved en volumenstrøm af luft på ca. 196 m³/h.

I nedenstående figur er målepunkter samt kurven for tryktabet som funktion af volumenstrømmen af luft vist.



Figur 5.1.8 Tryktabskurve for luftdelen i luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø.

Ved regression er der fundet følgende udtryk for ovenstående tryktabskurve:

$$[Pa] \quad P = 0,124751 \cdot x^{1,500675}, \quad x \text{ [m}^3/\text{h}]$$

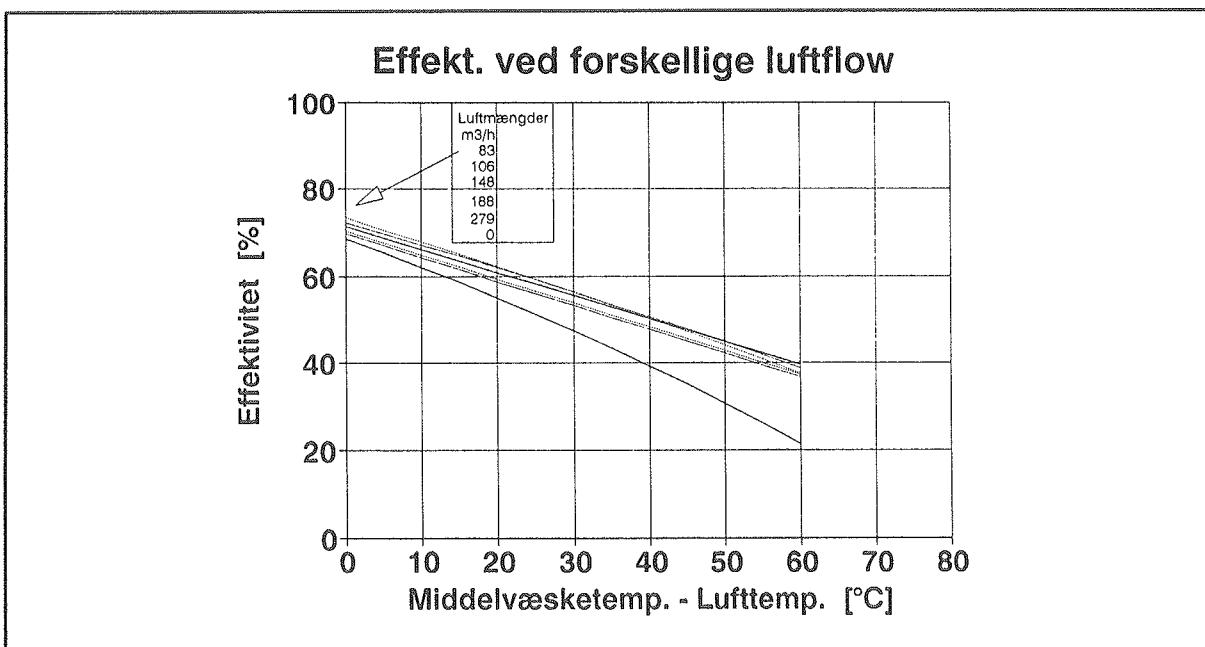
5.2 Prototype af MF/AW-elementet

Ved regression er effektivitetskonstanterne for prototypen af MF/AW-elementet fundet ved de forskellige luftflow. Konstanterne er angivet i den efterfølgende tabel.

Luftstrøm Q_{luft} m ³ /h	Væskestørrelse $Q_{væske}$ kg/min·m ²	n _{0, total} -	K _{0, total} -	K _{1, total} -	n _{0, væske} -	K _{0, væske} -	K _{1, væske} -
0	1,2	0,686	4,97	0,022	0,686	4,97	0,022
83	1,2	0,734	4,29	0,008	0,631	9,73	0,007
106	1,2	0,722	3,93	0,009	0,598	9,50	0,019
148	1,2	0,713	4,18	0,001	0,578	12,40	0,013
188	1,2	0,705	4,42	0,007	0,558	12,75	0,021
279	1,2	0,698	4,40	0,001	0,505	15,08	0,014
70-277	0,0	0,622	14,26	-0,282	****	****	****

Tabel 5.2.1 Effektivitetskonstanterne for MF/AW-elementet ved forskellige volumenstrømme af luft.

Nedenstående figur viser effektivitetskurverne for prototypen ved forskellige volumenstrømme af luft. De anvendte effektivitetskonstanter er fra ovenstående tabel. Kurverne er optegnet for en solintensitet på 800 W/m².



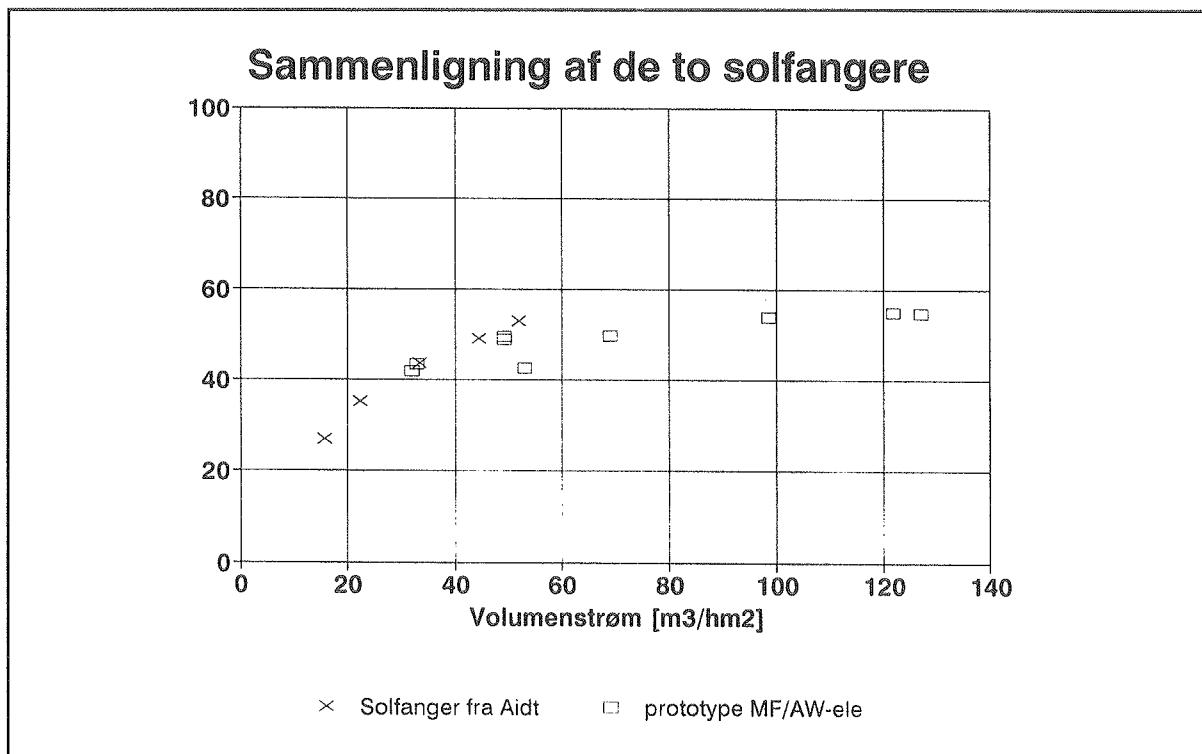
Figur 5.2.1 Effektivitetskurver for MF/AW-elementet ved forskellige volumenstrømme af luft.

Efter effektivitetsmålingerne blev solfangeren som en kontrol undersøgt for utæthed vha. en røgampul, ved en volumenstrøm af luft på ca. 280 m³/h. Det viste sig, at solfangeren sugeede "falsk" luft ind, især ved overgangen mellem kantprofilerne og bagpladen. En mulig tæt-

ning med silicone var mulig, men dette ville medfører endnu 4 effektivitetsmålinger. Utætherne skyldes fejl i konstruktionen af solfangeren.

Stort set gælder følgende for den kombinerede drift (de øverste 5 kurver på figur 5.2.1): jo større volumenstrøm af luft gennem solfangeren jo mindre bliver effektiviteten. Dette forhold vil være omvendt, hvis solfangeren var tæt. Effektiviteten ved den kombinerede drift ligger dog stadig højere end effektiviteten ved kun væskedrift (nederste kurve). Det er altså vigtigt at gøre luftdelen af solfangeren lufttæt, hvis man vil have det fulde udbytte.

I nedenstående figur er målingerne på de to solfangere som rene luftsolfangere angivet. Ved denne fremstilling af målingerne ses at effektiviteten er næsten ens for de to solfangere ved en volumenstrøm på $30-50\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Her skal det bemærkes at prototypen af MF/AW-elementet var utæt, hvilket bevirker en lavere effektivitet end ved et tæt element. Især ved de høje luftstrømme har det stor indflydelse at solfangeren er utæt.

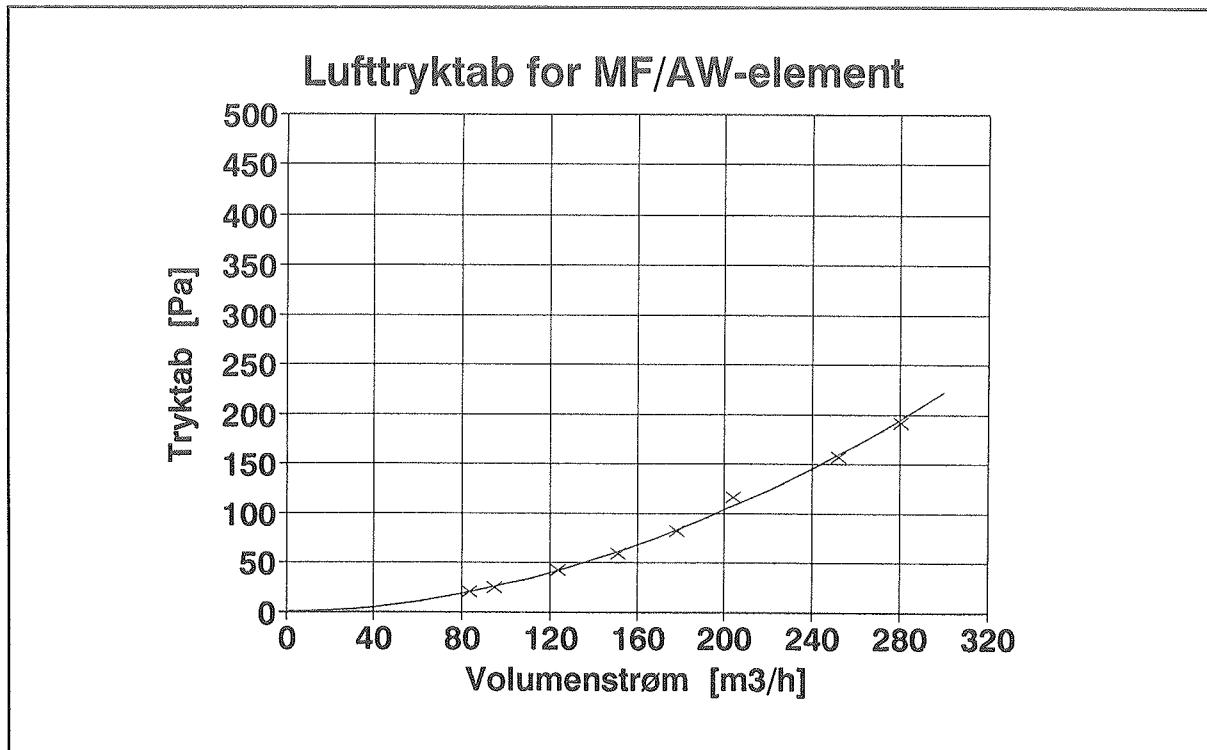


Figur 5.2.2 MF/AW-elementet og solfangeren fra Aidt Miljø som rene luftsolfangere.

I figur 5.2.3 er målepunkterne samt kurven for tryktabet som funktion af luftflowet vist.

Af figuren ses, at tryktabet er meget mindre end tryktabet for luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø (figur 5.1.8). Tryktabet er målt ved at måle trykdifferencen mellem udløbet fra luftdelen og omgivelserne. Det mindre tryktab skyldes hovedsagelig udformningen af ind- og udlø-

bene, samt det større areal af ind- og udløbsstudene. Tryktabet har betydning ved valg af ventilatorstørrelse, og dermed anlæggets energiforbrug. Tryktabet havde været lidt større, hvis solfangeren havde været tæt, men det er skønnet, at forøgelsen kun havde været på ca. 20 %.



Figur 5.2.3 Tryktabskurve for luftdelen i MF/AW-elementet.

Ved regression er der fundet følgende udtryk for tryktabskurve for MF/AW-elementet:

$$[Pa] \quad P = 0,00464 \cdot x^{1,889072}, \quad x [m^3/h]$$

5.3 Sammenligning af de to solfangere

Sammenlignes de to solfangere mht. effektiviteten som rene væskesolfangere (se figur 5.1.2 og 5.2.1) ses, at solfangeren fra Aidt Miljø har en begyndelseseffektivitet på 67% og en effektivitet på 24% ved en middeltemperatur minus lufttemperatur på 60°C, hvorimod MF/AW-elementet starter ved 69% og falder til ca. 22% ved 60°C. Solfangerne er altså næsten ens, hvad angår ydelsen.

For de to solfangere gælder desuden, at ved kombinationen luft/væske stiger effektiviteten i forhold til ren væskedrift. Stigningen er størst jo større middelvæsketemperaturen minus lufttemperaturen er. Pga. utæthedet i MF/AW-elementet er det ikke hensigtmæssigt at sam-

menlige de to solfangere, hvad angår kombineret drift. Et tæt MF/AW-element ville givetvis have haft den største effektivitet af de to solfangere.

Tryktabet for solfangeren fra Aidt Miljø er meget større end for MF/AW-elementet.

Målingerne på MF/AW-elementet blev foretaget efter målingerne på solfangeren fra Aidt Miljø, dvs. at der var mere tid til beregninger ved at benytte effektivitetskonstanterne fra solfangeren fra Aidt Miljø. Af den grund, samt især at prototypen af MF/AW-elementets luftdel var utæt, blev beregningerne i næste kapitel udelukkende foretaget med effektivitetskonstanterne fra solfangeren fra Aidt Miljø.

Målingerne på de to solfangere har vist, at det er nødvendigt nærmere at undersøge, hvordan denne type solfangere bedst karakteriseres: Hvilket effektivitetsudtryk er mest velegnet og ved hvilke forhold skal de(t) findes.

6 BEREGNINGER

De mest anvendte beregningsprogrammer i Danmark EMGP3, EURSOL og KVIKSOL til beregning af solvarmeanlæg kan ikke umiddelbart regne på anlæg med kombineret luft/væske-solfangere. Men man kan få et skøn over, hvad et kombineret anlæg vil yde, ved at gøre visse antagelser. De følgende beregninger er foretaget vha. simuleringsprogrammet EMGP3, som er det mest detaljerede og præcise program af de tre ovenfor nævnte. Ved simuleringerne (beregningerne) af ydelsen for kombinerede anlæg, er det forudsat, at væske- og luftdelen ikke er i drift samtidig. Hermed får man ikke kombineret drift af solfangeren med i beregningerne, hvilket egentlig var hensigten.

Anlægget med den kombinerede solfanger er i simuleringsprogrammet opbygget som to separate systemer (se figur 6.1.2).

6.1 Den første approksimation

I den første approksimation anvendes to systemer til at beskrive ydelsen af et kombineret luft/væske-anlæg. I beregningerne er de to systemer ikke i drift samtidig. Stopper system 1 (væskeanlagget) overtager system 2. Når system 2 overtager, er solfangerne i system 2 varmet mere op end en kombineret solfanger i virkeligheden ville være. Dette medfører at effektiviteten og dermed ydelsen er lavere end for en kombineret luft/væske-solfanger. Derimod oplages der en større mængde energi i solfangeren pga. varmekapaciteten end under virkelige forhold.

Det forudsættes, at al den opvarmede luft kan udnyttes, dvs. at der ikke opstår overtemperaturer i rummet, hvortil luften ledes.

Effektivitetskonstanterne for solfangeren fra Aidt Miljø, fundet under afsnit 5 "Behandling af forsøgsresultater", anvendes i simuleringerne. Konstanterne fundet for MF/AW-elementet benyttes ikke pga. problemerne med tætheden af solfangeren. Effektivitetskonstanterne for ren væskedrift anvendes for system 1 (se tabel 5.1.1) i simuleringerne, og udtrykket for ren luftdrift anvendes for system 2 (se tabel 5.1.7). Effektivitetskonstanterne for ren luftdrift gælder for forskellige volumenstrømme af luft og anvendes i et første forsøg på beregne ydelsen af et kombineret luft/væske-anlæg. Ifølge figur 5.1.1 vil luftsolfangeren have en fast effektivitet på lidt over 40% ved denne volumenstrøm, hvilket ofte er højere end den variable fra tabel 5.1.7.

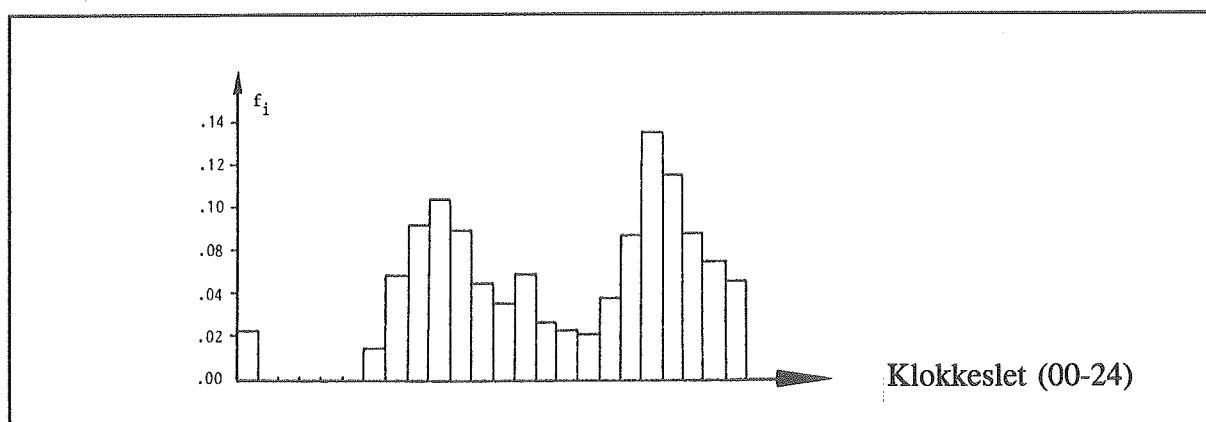
Det ene system, som anvendes i beregningsprogrammet, består af en væskesolfanger, som opvarmer en varmtvandsbeholder (traditionelt anlæg). Systemet (væskedelen af den kombinerede luft/væske-solfanger) består af en solfanger på $3,78 \text{ m}^2$ med effektivitetsudtrykket for

den rene væskedel af solfangeren fra Aidt Miljø. Solfangervæsken cirkuleres med en volumenstrøm på $0,15 \text{ kg/min} \cdot \text{m}^2$, altså low flow, af en pumpe på 30 W. Solfangeren overfører energien til en 300 l varmtvandsbeholder vha. en indbygget varmeveksler med en varmeoverføringskoefficient på 250 W/K. Veksleren er placeret i bunden af beholderen. En suppleringsvarmekilde på 1,1 kW er placeret i toppen af beholderen. Varmtvandsforbruget er 200 l/dag med et tappeprofil, som er vist i figur 6.1.1, opvarmet fra 10 til 45°C.

Det andet system består af en luftsolfanger på $3,78 \text{ m}^2$, der opvarmer luften, som cirkulerer ($125 \text{ m}^3/\text{h}$) igennem en kanal (et rør i simuleringsprogrammet) med en stor varmetabskoefficient ($1000 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) til udeluftens, således at lufttemperaturen i kanalen er meget nær udelufttemperaturen, når luften returnerer til solfangeren. Luftmængden på $125 \text{ m}^3/\text{h}$ svarer ca. til et luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$ for et hus på omkring 100 m^2 . Systemet skal simulere et anlæg, hvor udeluft opvarmes og anvendes som forvarmning af ventilationsluften til rumopvarmningen. Luftsolfangeren er kun i drift i fyringssæsonen, som her er defineret som varende fra 1. oktober til 1. maj.

Det antages, at al energi leveret fra luftsolfangeren kan udnyttes til opvarmning af friskluften til bygningen.

For de to systemer gælder at solfangerhældningen er 45° med en orientering, som er stik syd.



Figur 6.1.1 Tappeprofil for det varme brugsvand.

De detaljerede inputdata for nogle af beregningerne findes i bilag 3.

Der er foretaget simulationer med 3 forskellige styringsstrategier.

1. Styringsstrategi:

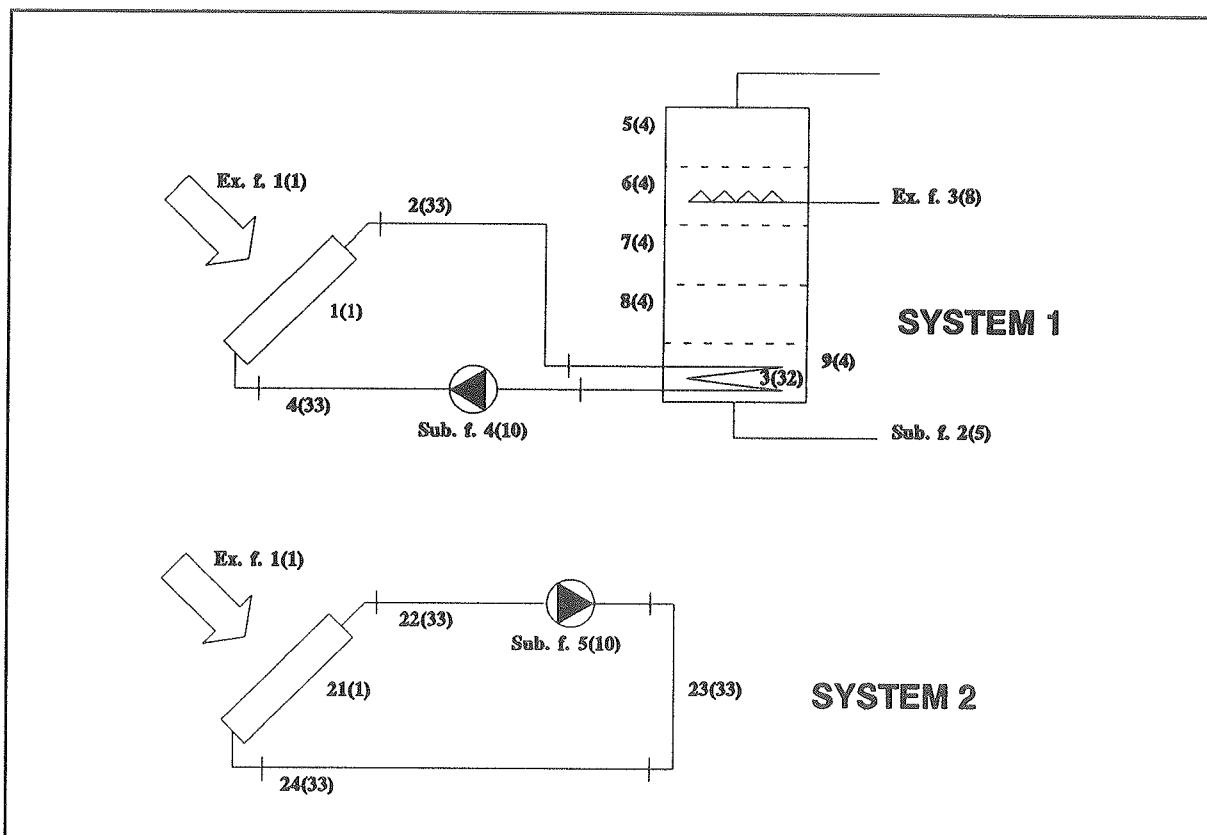
Væskedelen er i drift hele året, når den kan opvarme varmtvandsbeholderen. Når der ikke kan overføres mere energi til varmtvandsbeholderen, startes luftdelen til opvarmning af udeluftten, hvis temperaturen i solfangeren er mindst 5 K højere end udelufttemperaturen.

2. Styringsstrategi:

Når temperaturen i lagerets bund når en temperatur på 30°C , slukkes pumpen i system 1 og en ventilator (Sub. f. 5(10) på figur 6.1.2), i system 2 startes, hvis solfangertemperaturen er mindst 5 K højere end lufttemperaturen. Er dette ikke tilfældet, så fortsættes med væskedrift.

3. Styringsstrategi:

Når temperaturen i lagerbunden er 5 K højere end udetemperaturen, slukkes pumpen, og ventilatoren startes.



Figur 6.1.2 Luft/væske-solfangeranlægget opbygget i simuleringsprogrammet EMGP3.

Der foretages følgende simuleringer:

- En simulering, hvor der er ren væskedrift, dvs. kun system 1 i drift. Når solfangernens temperatur er 5 K højere i solfangeren end i lagerbunden, startes pumpen.

- B. En simulering, hvor der er ren luftdrift, dvs. kun system 2 i drift. Når solfangerens temperatur er 5 K højere end udetemperaturen, startes ventilatoren.
- C. En simulering, hvor der er luft- og væskedrift, dvs. enten system 1 eller 2 i drift. Styringsstrategi nr. 1 anvendes.

I de efterfølgende skemaer ses resultaterne fra de tre simuleringer.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.509	1.808
Pumpeenergi	277	77
Nettoydelsen	3.912	1.087

Tabel 6.1.1 Nettoydelsen ved ren væskedrift. Simulering A. I drift hele året.

Ydelsen er 288 kWh/m². Man skal bemærke at solvarmen overføres til varmtvandsbeholderen via en varmevekslerspiral i bunden af beholderen og ikke gennem en kappe som i et standardanlæg fra Aidt Miljø. Dette forklarer tildels den lidt lave ydelse, i forhold til et standardanlæg fra Aidt Miljø med kappebeholder.

	MJ	kWh
Luftsolfangerydelse	1.670	464
Ventilators el-forbrug	296	82
Nettoydelsen	1.374	382

Tabel 6.1.2 Nettoydelsen ved ren luftdrift. Simulering B. I drift fra 1. oktober til 1. maj.

Ydelsen er 101 kWh/m². Her skal det bemærkes, at det forudsættes at al den opvarmede luft kan anvendes til opvarmning uden overophedning. Dette er ikke realistisk i de perioder (forår, efterår), hvor udetemperaturen er høj, og der er meget solstråling. Her opnår man, at rumtemperaturen stiger over 20°C, hvorved der opnås en overtemperatur som i nogle tilfælde må ventileres væk ved at åbne et vindue. Desuden er solfangerligningen fra tabel 5.1.7 og ikke fra figur 5.1.1 anvendt. Dette giver en lavere ydelse.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.697	2.972
Suppleringsenergi	6.509	1.808
Pumpeenergi	277	77
Luftsolfangerydelse	258	72
Ventilators el-forbrug	95	26
Nettoydelsen	4.074	1.132

Tabel 6.1.3 Nettoydelsen ved kombineret væske- og luftdrift. Simulering C. Styringsstrategi nr. 1.

Af tabel 6.1.1 og 6.1.3 findes forøgelsen af nettoydelsen ved at benytte en kombineret væske- og luftsolfanger i stedet for en væskesolfanger. Forøgelsen er $1132 - 1087 = 45 \text{ kWh}$

$$i \% \text{ fås } \frac{1132 - 1087}{1087} \cdot 100\% = 4,1\%$$

Nedenstående tabel viser nettoydelsen ved kombineret drift af luft og væske, når 2. styringsstrategi benyttes.

	MJ	kWh
Forbrug af brugsvand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.665	1.851
Pumpeenergi	267	74
Energi fra luftdel	496	138
Ventilators el-forbrug	116	32
Nettoydelsen	4.147	1.152

Tabel 6.1.4 Nettoydelsen ved brug af styringsstrategi nr. 2.

Forøgelsen af nettoydelsen ved 2. styringsstrategi i forhold til ren væskedrift er 6,0%.

Den følgende tabel viser nettoydelsen ved kombineret drift af luft og væske, når 3. styringsstrategi benyttes.

	MJ	kWh
Forbrug af brugsvand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	7.634	2.123
Pumpeenergi	193	54
Energi fra luftdel	1.583	441
Ventilators el-forbrug	274	76
Nettoydelsen	4.180	1.161

Tabel 6.1.5 Nettoydelsen ved 3. styringsstrategi.

Forøgelsen af nettoydelsen ved 3. styringsstrategi i forhold til ren væskedrift er 6,8%.

Det ses, at med den anvendte tilnærmede model (2 separate systemer), er styringsstrategi 3 er den mest effektive styringsstrategi af de tre forskellige. Dette skyldes, at det altid er det koldeste medium, som opvarmes.

I ovenstående simuleringer af det kombinerede system er der nogle forhold, som ikke stemmer overens med virkeligheden. Når luftdelen, dvs. system 2, skal producere varm luft, er solfangeren i system 2 varmere end den kombinerede solfanger ville være i virkeligheden pga. de to separate solfangersystemer, som simuleringerne er opbygget af. (I praksis er der kun én solfanger, som bliver opvarmet). Dette betyder at den effektivitet, man starter med, er lavere pga. den højere temperatur i solfangeren. Omvendt fås en større ydelse pga. den større energimængde, som er lagret i solfangeren ved den højere temperatur. Det er altså to forhold, der trækker i hver sin retning. Desuden anvendes ikke det volumenstrømafhængige effektivitetsudtryk for luftdelen (figur 5.1.1), da dette ikke kan anvendes direkte i EMGP3.

6.2 Beregninger med forskellige effektivitetsudtryk

I dette afsnit er der foretaget beregninger for ren væskedrift, men med effektivitetsudtryk som gælder for kombinationen luft/væske. I vintermånedene anvendes effektivitetsudtrykket for kombinationen væske/luft og i sommermånedene anvendes effektivitetsudtrykket gældende for ren væskedrift. Hermed forsøges på anden vis at få en indikation for ydelsen af et luft/væske-system.

Styringsstrategi nr. 1 anvendes.

Simuleringer med effektivitetsudtryk ud fra målingerne på solfangeren fra Aidt Miljø gældende for luftmængderne 127, 167 og 196 m³/h foretages.

	MJ	kWh
Forbrug af brugsvand	10.697	2.971
Suppleringsenergi	6.429	1.786
Pumpeenergi	278	77
Nettoydelsen	3.990	1.108

Tabel 6.2.1 Nettoydelsen ved anvendelse af effektivitetsudtryk ved 127 m³/h.
Styringsstrategi 1.

Forøgelsen af nettoydelsen er $1.108 - 1.087 = 21 \text{ kWh}$ i forhold til ren væskedrift fra tabel 6.1.1.

$$\text{i \% fås } \frac{21}{1087} \cdot 100\% = 1,9\%$$

	MJ	kWh
Forbrug af brugsvand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.397	1.725
Pumpeenergi	276	76
Nettoydelsen	4.025	1.118

Tabel 6.2.2 Nettoydelsen ved anvendelse af effektivitetsudtryk ved 167 m³/h.
Styringsstrategi 1.

Forøgelsen af nettoydelsen er 2,9 %.

	MJ	kWh
Forbrug af brugsvand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.294	1.748
Pumpeenergi	280	78
Nettoydelsen	4.124	1.146

Tabel 6.2.3 Nettoydelsen ved anvendelse af effektivitetsudtryk ved 196 m³/h.
Styringsstrategi 1.

Forøgelsen af nettoydelsen er 5,3 %.

Af de 3 ovenstående beregninger ses at, ydelsen for det "rene" væskeanlæg med effektivitetsudtryk for en kombineret solfanger, kun stiger med 5,3 %.

6.3 Anden beregningsmetode til estimation af merydelsen

Ovenfor beskrevne simuleringer antyder kun en ringe merydelse ved at forvarme en bygnings ventilationsluft i en traditionel væskesolfanger. Det skyldes sandsynligvis, at det mere korrekte effektivitetsudtryk for luft/væske-solfangeren (figur 5.1.1) ikke har været anvendt. Dette effektivitetsudtryk (en volumenstrømsafhængig effektivitet) kan ikke direkte anvendes i EMGP3.

I de efterfølgende beregninger foretages følgende ændringer: Luften strømmer altid igennem solfangeren i system 2, hermed fås en "koldere" solfanger og dermed en større effektivitet, men der oplagres mindre energi i solfangeren. I dette tilfælde "køles" luftdelen mere ned end den kombinerede solfanger ville være blevet under virkelige forhold. Luftdelen får hermed en større effektivitet og dermed en større ydelse end under reelle forhold. Til gengæld oplagres der mindre energi i solfangeren ved denne beregningsgang. Effektivitetskonstanterne som anvendes, er de samme som er anvendt i de øvrige beregninger.

Styringsstrategi 1 er anvendt.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.697	2.971
Suppleringsenergi	6.509	1.808
Pumpeenergi	277	77
Luftsolfangerydelse	134	37
Ventilators el-forbrug	55	15
Nettoydelsen	3.990	1.108

Tabel 6.3.1 Nettoydelse ved kombineret luft/væske-drift. Altid luftstrøm gennem luftdel. Styringsstrategi 1.

Forøgelsen af nettoydelsen i forhold til en væskesolfanger er:

$$i \% \text{ fås } \frac{1108 - 1087}{1087} \cdot 100\% = 1,9\%$$

Ydelsesforøgelsen ved styringsstrategi 2 og 3 er vist i tabel 6.3.2 og 6.3.3.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.662	1.851
Pumpeenergi	267	74
LuftOLFangerydelse	368	102
Ventilators el-forbrug	76	21
Nettoydelsen	4.062	1.128

Tabel 6.3.2 Nettoydelse ved kombineret luft/væske-drift. Altid luftstrøm gennem luftdel.
Styringsstrategi 2.

Forøgelsen af nettoydelsen er 3,8 %.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	7.631	2.120
Pumpeenergi	195	54
LuftOLFangerydelse	1.482	412
Ventilators el-forbrug	236	65
Nettoydelsen	4.119	1.144

Tabel 6.3.3 Nettoydelse ved kombineret luft/væske-drift. Altid luftstrøm gennem luftdel.
Styringsstrategi 3.

Forøgelsen af nettoydelsen er 5,2 %.

Sammenlignes beregningerne med afsnit 6.1 tabel 6.1.3-6.1.5, ses at merydelsen ikke bliver større ved at simulere, at der altid er luftstrøm gennem luftOLFangeren. Dette indicerer, at der oplagres en del energi i luftOLFangeren, når der ikke er luftstrøm gennem solfangeren,

og at energien er større end den energiforøgelse, som opnås ved at solfangeren er koldere (alltid volumenstrøm gennem solfangeren), som tabel 6.3.1-6.3.3 viser.

6.4 Estimation af merydelsen ved brug af et konstant effektivitetsudtryk

I dette afsnit "trickes" EMGP3 derfor for at opnå et mere korrekt estimat for merydelsen ved kombineret forvarmning af luft og vand med den samme solfanger.

I de følgende tre tabeller er beregningerne udført ved et effektivitetsudtryk for luftsystemet (system 2), som er konstant. Effektiviteten er 41,5%, en værdi som er baseret på målingerne fra luft/væske-solfangeren fra Aidt Miljø, jf. figur 5.1.1. Ved en luftstrøm på 125 m³/h, dvs. 33 m³/h·m², er effektiviteten ca. 41,5% (se figur 5.1.1), svarende til et luftskifte, for et almindeligt parcelhus, på 0,5 gange i timen. Forudsætningerne er ellers som i foregående afsnit.

Styringsstrategi 1 er anvendt.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.507	1.808
Pumpeenergi	277	77
LuftOLFangerydelse	217	60
Ventilators el-forbrug	69	19
Nettoydelsen	4.061	1.128

Tabel 6.4.1 Nettoydelse ved kombineret luft/væske-drift. Altid luftstrøm gennem luftdel. Styringsstrategi 1.

Forøgelsen af nettoydelsen i forhold til en væskesolfanger er:

$$i \% \text{ fås } \frac{1128 - 1087}{1087} \cdot 100\% = 3,8\%$$

Ydelsesforøgelsen ved styringsstrategi 2 og 3 er vist i tabel 6.4.2 og 6.4.3.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.698	2.972
Suppleringsenergi	6.661	1.850
Pumpeenergi	267	74
LuftOLFangerydelse	611	170
Ventilators el-forbrug	90	25
Nettoydelsen	4.291	1.192

Tabel 6.4.2 Nettoydelse ved kombineret luft/væske-drift. Altid luftstrøm gennem luftdel.
Styringsstrategi 2.

Forøgelsen af nettoydelsen er 9,7 %.

	MJ	kWh
Forbrug af varmt vand	10.699	2.972
Suppleringsenergi	7.655	2.126
Pumpeenergi	192	53
LuftOLFangerydelse	2.132	592
Ventilators el-forbrug	249	69
Nettoydelsen	4.735	1.315

Tabel 6.4.3 Nettoydelse ved kombineret luft/væske-drift. Altid luftstrøm gennem luftdel.
Styringsstrategi 3.

Forøgelsen af nettoydelsen er 21,0 %.

Det variable effektivitetsudtryk for luftdelen i de foregående afsnit 6.1 + 6.3 har sikkert været for pessimistisk. Det andet og tredje led i udtrykket har tilsammen givet et for stort varmetab, hvilket skyldes, at udtrykket er lavet ud fra målinger med forskellige volumenstrømme gennem solfangeren.

6.5 Beregninger af merydelsen vha. et andet simuleringsprogram

Solvarmeanlægget, der er regnet på i dette afsnit (fra reference /8/), er Aidt Miljøs lille brugsvandsanlæg med en solfanger med et transparent areal på 4,83 m² og et lager bestående

af en kappebeholder på 265 l. Dette solvarmeanlæg markedsføres i dag. Kappen indeholder 16,5 l. Solvarmeanlægget er et såkaldt low flow anlæg, hvor væskestrømmen i solkredsen er meget lille, omkring $0,2 \text{ kg/min} \cdot \text{m}^2$ solfanger. Dette giver en stor temperaturstigning over solfangeren og på grund af varmeveksleren (kappen) en stor temperaturlagdeling i lageret.

Til beregning af ydelsen for anlægget er anvendt et simuleringsprogram udviklet specielt til simulering af denne type anlæg uden forvarmning af luft, reference /4/. Simuleringsprogrammet kan ikke regne på kombineret forvarmning af udeluft og brugsvand, men udelukkende på forvarmning af brugsvand. Anlægget er derfor simuleret som et almindeligt brugsvandsanlæg. Der er i programmet indlagt skrivesætninger, således at visse temperaturer og energistrømme udskrives. Herved er det muligt at vurdere, hvor meget anlægget ville have ydet, hvis det også forvarmede luft.

De anvendte effektivitetskonstanter for væskesolfangeren er: $n_0 = 0,68$, $K_0 = 5,73$, $K_1 = 0,012$.

Brugsvandsanlægget er i simuleringsprogrammet ellers opbygget som beskrevet i reference /7/. Der tappes 150 liter pr. dag fra lageret opvarmet fra 10 til 45°C . Kl. 7:00, 19:00 og kl. 22:00 tappes 50 liter.

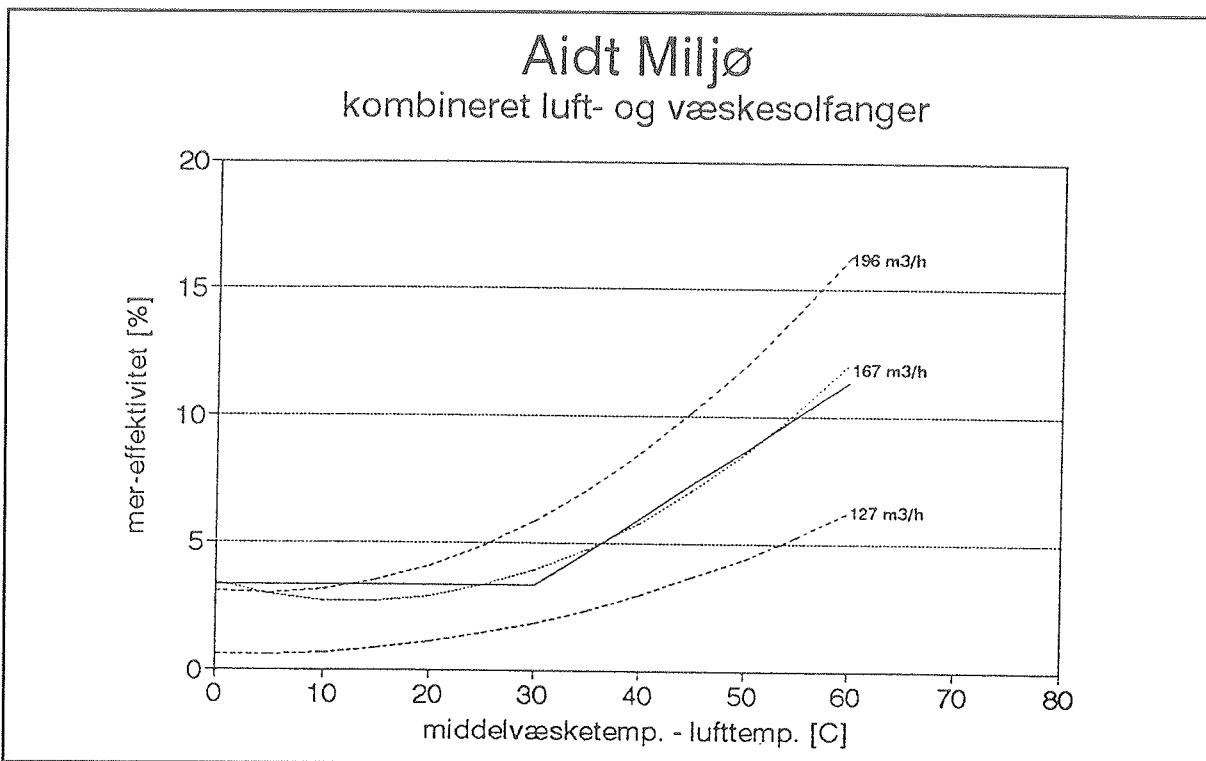
Det antages at bygningen i forvejen har et ventilationssystem, der kører hele døgnet. Solfangerens luftdel kobles foran dette ventilationsanlæg, således at udeluft passerer gennem solfangeren. Solfangeren bypasses dog helt eller delvis, hvis temperaturen af luften er for høj.

Volumenstrømmen af udeluft antages at være $150 \text{ m}^3/\text{h}$, hvilket omtrent svarer til ventilationsbehovet for et parcelhus. Friskluften forvarmes ikke i sommerperioden fra 5/5 til 22/9.

Erl væskekredsen ude af drift overføres solenergien udelukkende til luften med en effektivitet som er konstant på 41,5%.

Når væskekredsen er i drift, vil udløbstemperaturen af væsken være mindre end i et traditionelt væskeanlæg, idet luften også opvarmes. I simuleringsprogrammet er det ikke muligt at tage højde for dette, derfor antages det at anlægget fungerer som et traditionelt væskeanlæg, men at der overføres en mindre mængde energi til luften. Den energi der tilføres luften beregnes på basis af figur 5.1.1. Dette er vist tydeligere i figur 6.5.1. Figur 6.5.1 viser hvor stor en procentdel af den udnyttelige solstråling, der kan overføres til luften afhængig af volumenstrømmen af luft og middeltemperaturen af væsken i solfangeren, når det antages, at energitilskuddet til væsken er som i et traditionelt brugsvandsanlæg. Her anvendes kurven for en volumenstrøm af luft på $167 \text{ m}^3/\text{h}$. Det antages at energitilførslen er 3,5% ved en middelvæske-

temperatur minus lufttemperatur på 0 til 30 K. Derefter stiger den til 12 % ved 60 K, se figur 6.5.1.



Figur 6.5.1 Den ekstra energimængde, der kan tilføres luften, når det antages, at energitilførslen til væsken er som i et traditionelt brugsvandsanlæg. Den fuldt optrukne kurve repræsenterer det tilnærmede udtryk, der er anvendt i Fortran-programmet.

På baggrund af ovenstående er det beregnet, at anlægsydelsen forøges med 66 kWh pr. år, eller ca. 6 %. Dette er mindre end den forventede merydelse, som var anslået til at ligge mellem 10 og 20 %. Det skyldes, at der i beregningerne ikke tages hensyn til varmekapaciteten i solfangeren. Solfangeren indeholder 26 l væske, dvs. at om aftenen er der lagret omkring 1 kWh i solfangeren i form af varmt vand. Denne energimængde kan næsten fuldstændigt overføres til luften, da ventilationsluften altid trækkes gennem solfangeren - også om natten.

Antages det, at 80% af den energimængde solfangeren indeholder om aftenen, når væskekredsen stopper, kan overføres til luften, fås en forøgelse på 265 kWh pr. år; dvs. at forøgelsen af ydelsen i forhold til ren væskedrift bliver 23 %.

I ovenstående beregninger er der ikke taget hensyn til at solfangeren i praksis arbejder ved et lavere temperaturniveau (da der trækkes mere energi ud af den). Den virkelige solfanger er mere effektiv end i beregningerne. Til gengæld er der ikke taget hensyn til varmetabet fra

ventilationsrøret mellem solfanger og ventilationsanlæg. Det er desuden antaget at bygningen kan aftage al den forvarmede luft.

En anden driftsstrategi er også undersøgt. Luftkredsen startes først, når temperaturen i bunden af kappen er 25°C . Pga. temperaturlagdelingen af lageret, vil toppen af lageret ofte have nået en brugbar temperatur, når temperaturen i bunden af kappen har nået de 25°C . Der leveres kun luft til bygningen, når solfangeren kan levere luft med en temperatur på 24°C .

Der er her ikke taget hensyn til solfangerens varmekapacitet.

Beregningerne viser, at forøgelsen af ydelsen er ca. 8 kWh, altså under 1% af ydelsen. Forøgelsen kan øges betydeligt, hvis blot en del af varmen som er lagret i solfangeren kan nyttigøres. Beregninger viser dog, at anlægget bør bruges til forvarmning af brugsvand og ventilationsluft og ikke til forvarmning af brugsvand + rumopvarmning.

6.6 Sammenfatning af afsnit 6.1-6.5

I afsnit 6.1 er ydelsen af et rent væskeanlæg beregnet. Ydelsen af et kombineret luft/væske-anlæg er ligeledes beregnet. Ved styringsstrategi 1, dvs. at styringen har væskeopvarmningen som førsteprioritet, er merydelsen for luft/væske-anlægget beregnet til 4,1%. Ved at ændre styringsstrategien fås en merydelse på 6,0% ved styringsstrategi 2, opvarmning af brugsvand i bunden at tanken til 30°C , og 6,8% ved styringsstrategi 3, altid opvarmning af det koldeste medium. Dette viser at ydelsesforøgelsen er afhængig af den valgte styringsstrategi. I dette afsnit er der anvendt et effektivitetsudtryk for luftdelen, som er mere pessimistisk end et effektivitetsudtryk baseret på forskellige indløbstemperaturer. Derfor fås en lavere ydelse end under virkelige forhold.

I afsnit 6.2 er der forsøgt at finde en indikation af merydelsen ved at simulere et væskeanlæg, men med forskellige effektivitetsudtryk for en kombineret luft/væske-solfanger. Her er merydelsen beregnet til at være i området 1,9-5,4%. Styringsstrategi 1 er anvendt. Ved denne metode opvarmes kun væske i lagertanken. Temperaturen der opvarmes ved, vil altid være større end eller den samme som temperaturen ved opvarmning af en luft/væske-solfanger, forudsat at styringsstrategien er som 1, 2 eller 3.

I afsnit 6.3 er merydelsen beregnet for et system, hvor der altid er luftstrøm gennem solfangeren. Pga. den altid konstante luftstrøm bliver solfangeren i beregningerne kølet mere end den i virkeligheden ville være blevet. Herved tager det længere tid inden luftdelen kommer i drift, dvs. at drifttiden bliver forkortet. Merydelsen ligger mellem 1,9 og 5,2%, ved at gå fra styringsstrategi 1 til 3. Her er der ligeledes benyttet det samme effektivitetsudtryk for luftdelen som omtalt i afsnit 6.1. Merydelsen er altså undervurderet.

I afsnit 6.4 beregnes merydelsen ved at benytte en konstant effektivitet for luftdelen i stedet for en variabel som i de andre afsnit. Der er altid luftstrøm gennem solfangeren som i afsnit 6.3. Merydelsen er større end merydelsen i afsnit 6.1, fordi luftsolfangeren i drift ikke mister så meget energi som luftsolfangeren i afsnit 6.1. Dette skyldes det konstante effektivitetsudtryk. Drifttiden for luftsolfangeren i afsnit 6.4 er ikke længere, men energien, som ydes er større, pga. det konstante effektivitetsudtryk. Merydelsen ligger mellem 3,8 og 21,0 %, ved at gå fra styringsstrategi 1 til 3.

I afsnit 6.5 er merydelsen beregnet vha. et program til beregning af low flow anlæg med en kappebeholder. Programmet kan ikke regne på kombinationen luft/væske-drift. I stedet antages at en vis procentdel af energitilførslen til solfangeren oversøres til luften. Beregningerne viser en merydelse på 6 %. Tages der hensyn til varmekapaciteten af solfangeren bliver merydelsen 23 %.

Ud fra beregningerne kan det konkluderes at valg af styringsstrategi er meget vigtig for at få det fulde udbytte af et kombineret solvarmeanlæg.

Et overslag ud fra afsnit 6.1-6.5, på forøgelsen af ydelsen ved at benytte en luft/væske-solfanger er, at merydelsen vil ligge mellem 10 og 20 %.

Da den valgte styringsstrategi har meget stor indflydelse på et luft/væske-solvarmeanlægs (mer)ydelse, er det vigtigt, at der udvikles et simuleringsværktøj, hvormed der detaljeret kan regnes på denne type solvarmeanlæg, således at solvarmefabrikanterne sættes i stand til at dimensionere anlæggene korrekt.

7 OPFØRTE LUFT/VÆSKE-ANLÆG

Siden 1991 har firmaet Aidt Miljø solgt og leveret kombinerede luft/væske-solvarmeanlæg. Solfangeren er en kombineret luft- og væskesolfanger, hvis opbygning er som standardsolfangeren fra Aidt Miljø, men med et luftindtag i bunden af bagpladen og et udtag i toppen (se kapitel 2.1).

Firmaet oplyser, at der siden '91 er opsat ca. 40 anlæg med et samlet solfangerareal på mellem 400 og 500 m². Anlæggene har hovedsagelig været mindre anlæg til enfamiliehuse, men lidt større anlæg til campingpladser, vandlande, korntørring og lignende er også blevet leveret. Aidt Miljø har i september '94 foretaget et rundspørge til i alt 8 ejere af luft/væske-anlæg. Ejerne udtrykte en generel tilfredshed med anlæggene.

De små anlæg leverer primært varmt vand hele året. Når det varme vand er produceret, er solfangerens funktion derefter at levele varm luft til forvarmning af 2 til 3 udvalgte rum.

Produktionen af varmt vand og af varm luft kan foregå uafhængigt af hinanden. Der er tre termostater i systemet. Én differenstermostat mäter temperaturdifferensen mellem solfangeren og beholderbunden. Denne termostat har forbindelse med pumpen i væskesystemet. Én termostat er placeret i solfangeren og én placeret på returnen fra beholderen. Disse to termostater er serieforbundet således at ventilatoren først aktiveres når både temperaturen i solfangeren (f.eks. 28°C) og returntemperaturen til solfangeren (f.eks. 30°C) er opnået. Ved en returntemperatur til solfangeren på 30°C er man ifølge Aidt Miljø nogenlunde sikker på at have varmt vand i toppen af beholderen.

De store anlæg leverer primært varmt vand i sommerhalvåret, idet der er tale om campingpladser, ferielejre, vandlande og lignende. I sommerhalvåret er ønsket først og fremmest produktion af varmt brugsvand. Derfor hæves termostatindstillingerne for, hvornår ventilatoren skal gå i gang. Indstillingerne hæves således at ventilatoren virker som en "kogningsring". I vinterhalvåret sænkes indstillingerne på termostaterne således at det er ventilatoren som har førsteprioritet da der ikke er brug for så meget varmt vand. Ifølge Aidt Miljø er denne ventilation medvirkende til at bevare bygningen bedre og mindske vedligeholdelsen.

I de ovenstående eksempler er væskedelen anvendt til opvarmning af brugsvand mens luftdelen er anvendt til opvarmning af rumluft f.eks. de nord vendte rum samt toilet. En anden anvendelse er i forbindelse med korntørring. Her anvendes luftdelen til korntørring mens væskedelen anvendes til opvarmning af det varme vand i forbindelse med rengøring efter malkning. Der har tidligere været lavet solvarmeanlæg udelukkende til korntørring, men brugstiden af disse korntørringsanlæg har været lille.

I et normalt luft/væske-anlæg blæses den opvarmede luft direkte fra solfangeren ind i rummet/(ene). Et nyt system er opsat i foråret '94, hvor luften fra solfangeren er tilsluttet et varmegenvindingssystem. Er luften i solfangeren over 25°C og er temperaturen i stuen mindre end 23°C, suges luften til stuen gennem solfangeren.

Efterfølgende er nogle enkelte opførte luft/væske-solvarmeanlæg omtalt. Anlæggene er forskellige i størrelse, opbygning samt til hvilket formål de er anvendt.

Eksempler på opsatte anlæg:

Lille anlæg

Et lille anlæg på 5 m² med en beholder på 150 liter er opsat i Rødekro i oktober 1993. Luftindblæsningen foretages til køkken og badeværelse. Husstanden består af 3 personer, hvor der oplyses fra brugerne at badeværelset virker lunt og tørt. Lufttilførslen fra solfangeren hæver temperaturen i køkkenet, som er nordvendt, og bevirket en udluftning (luftskifte) af rummet.

Stort anlæg

I foråret 1991 blev et 151 m² stort tagintegreret anlæg opført i forbindelse med et nybyggeri på Fyns Sommerland. I forbindelse med et nybygget vandland blev en sanitetsbygning på ca. 400 m² med to 3000 liters varmtvandsbeholdere udelukkende opvarmet med solvarme, idet vandlandet kun havde åbningstid i dagtimerne fra midt i maj til slutningen af august.

Solvarmeanlæggets hovedopgave er at producere varmt vand til bruserne i sanitetsbygningen. Uden for sæsonen anvendes solvarmesystemet udelukkende til opvarmning af luft som anvendes til opvarmning ("bygningsbevarer") af bygningen. Indblæsningen af luft sker først, når temperaturen i solfangeren er over termostatindstillingen som i vintersæsonen typisk er mellem 25 og 30°C. I sommersæsonen sættes termostaten til 70-90°C; herved fungerer luftsystemet som kogningssikring for væskesystemet.

Ejeren af Fyns Sommerland udtales: Solvarmeanlægget leverer alt varmt brugsvand til trods for et stort antal besøgende. Den varme luft fra luftdelen forhindrer sanitetsbygningen i at være jordslæt og fugtig efter vinteren.

Anlæg til korntørring

Et økologisk jordbrug i Roslev har fået installeret et korntørringsanlæg med to luft/væske-solfangere på 2 × 6 m² og en 280 liters varmtvandsbeholder. Anlægget er placeret i stalden, da 60 liter varmt vand fra solvarmebeholderen bruges i forbindelse med malkningen. Brugererfaringer: Korntørringen fungerer godt. Sæde- og brødkorn tørres ned til en fugtighedsprocent på 8%. Urter tørres ligeledes vha. anlægget.

Andre anlæg

Et nyt lejlighedskompleks, BO-90 i København (Tjørnegade) har ca. 150 m² in situ opbyggede tagrumssolfangere, som leverer varme til brugsvand og til forvarmning af ventilationsluft.

I et nyt anlæg fra firmaet Aidt Miljø, VP-SOL, anvendes en varmepumpe i forbindelse med en kombineret luft/væske-solfanger.

8 KONKLUSION

Målinger på to solfangere har vist at effektiviteten stiger, hvis man benytter en kombineret luft/væske-solfanger, frem for kun at benytte væskedelen af solfangeren.

På baggrund af de gennemførte undersøgelser kan det konkluderes, at det er muligt at forøge ydelsen af traditionelle væskesolfangere betydeligt, hvis friskluft til bygningen også forvarmes i solfangeren.

Ved en luftstrøm gennem solfangeren på ca. $50 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ er stigningen af begyndelses-effektiviteten ca. 3 %-point i forhold til effektiviteten ved ren væskedrift. Er middelvæsketemperaturen minus lufttemperaturen 60 K er stigningen ca. 16 %-point.

Ved afprøvningen af prototypen af MF/AW-elementet som luft/væske-solfanger viste det sig, at er solfangerens luftdel utæt, så falder effektiviteten ved forøget luftflow. Dette skyldes, at den del af luften, som kommer ind gennem revner og sprækker, kun delvis eller overhovedet ikke kommer i kontakt med absorberen og dermed kun i ringe grad eller slet ikke opvarmes. Effektiviteten er dog stadig større end ved ren væskedrift. For at få det fulde udbytte af en kombineret luft/væske-solfanger er det derfor vigtigt, at solfangerens luftdel er tæt, dvs. at det er vigtigt at tægne fuldstændigt mellem luftkanalerne og omgivelserne. Tæthedskravet er større jo større luftmængder, der skal trækkes igennem solfangeren.

Resultaterne fra afprøvningerne er dog opmuntrende, idet de indicerer, at uden utætheder vil effektiviteten af MF/AW-elementet være høj. Dette ses ud fra figur 5.2.1. Her ligger effektivitetskurverne, ved højere og højere volumenstrømme af luft, under hinanden, hvilket skyldes at mere og mere falsk luft suges ind i solfangeren. Uden utætheder ville effektivitetskurverne for de høje volumenstrømme af luft ligge højest, dvs. over 73 % i starteffektivitet.

Effektiviteten af de to undersøgte solfangere - som rene væskesolfangere - ligger inden for normalområdet for danskproducerede solfangere.

Tryktabet for luftdelen af solfangeren fra Aidt Miljø er ca. 10 gange større end prototypen af MF/AW-elementets tryktab, ved en luftstrøm på $53 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$.

I det anvendte simuleringsprogram EMGP3 er der en del vanskeligheder med at beregne anlægsydelerne for luft/væske-anlæg, da EMGP3 ikke direkte er anvendeligt til sådanne anlægstyper. Beregningerne er derfor foretaget ved hjælp af mere eller mindre grove tilnærmelser.

Af de tre styringsstrategier som blev anvendt ved beregningerne opnås den største merydelse ved at benytte den 3. styringsstrategi (altid opvarmning af det koldeste medium). Styringsstrategi 1 giver den mindste merydelse. Ved denne strategi opvarmes varmtvandsbeholderen først helt op før luften opvarmes.

Vha. beregningsprogrammet EMGP3 er ydelsen af et væske-solfangeranlæg og et luft/væske-anlæg beregnet. Ydelsesforøgelsen ved et luft/væske-anlæg i forhold til et væske-anlæg ligger, ved styringsstrategi 1, mellem 1,9 og 4,1 %. Ved styringsstrategi 2, opvarmning af væsken til 30°C i bunden af varmtvandsbeholderen, er merydelsen mellem 2,9 og 9,7 %. Styringsstrategi 3 giver en merydelse på mellem 5,2 og 21 %.

Ifølge beregninger foretaget vha. et program til simulering af low flow væskeanlæg, (reference /8/), er merydelsen beregnet til 23 %.

Ved beregningerne af ydelserne er der foretaget visse antagelser og der er en del usikkerhed om, hvor meget merydelserne i virkeligheden er. Merydelser mellem 1,9 og 23 % er et stort usikkerhedsområde.

Ud fra beregningerne tyder alt på, at merydelsen kan indkredses til 10-20%.

Nuværende beregningsprogrammer til beregning af solvarmeanlæg kan ikke regne på kombinerede luft/væske-solvarmeanlæg. Det er derfor nødvendigt at udvikle et beregningsprogram, der kan beregne ydelsen af kombinerede luft/væske-anlæg mere præcist og uden brug af specielle "tricks", som er nødvendig ved brug af de nuværende programmer. Sådan et program er nødvendigt for præcist at kunne fastlægge den optimale styringsstrategi for luft/væske-solvarmeanlæg. Det er vigtigt, da styringsstrategien har en altafgørende betydning for den merydelse, der kan opnås med denne type anlæg.

Der er desuden brug for at udvikle og forbedre målemetoder, som kan bruges til at sammenligne væskesolfangere med luft/væske-solfangere, samt til brug ved simuleringer af anlæg.

Der mangler udviklede målemetoder, som giver et udtryk for, hvor god en luft/væske-solfanger er. Effektivitetsudtrykket skal kunne indgå som inddatadel i et beregningsprogram til beregning af ydelsen af et luft/væske-solfangeranlæg.

Solvarmeanlæg med luft/væske-solfangere er leveret og opsat af firmaet Aidt Miljø siden 1991. Der er opsat ca. 40 anlæg med et samlet solfangerareal på 400-500 m².

Små anlæg på omkring 5 m² er anvendt i enfamiliehuse til opvarmning af brugsvand samt til forvarmning af rumluft.

Større anlæg er anvendt på campingpladser, ferielejre, vandlande og lignende. Om sommeren er det opvarmning af brugsvandet, som har førsteprioritet mens luftdelen virker som "kogningssikring". I vinterperioden er det luftdelen, som har førsteprioritet da der ikke er brug for så meget varmt vand.

Luft/væske-solfangere er også anvendt til korntørring. Luftdelen virker som korntørrer, mens væskedelen leverer varmt vand. Ved at anvende en kombineret luft/væske-solfanger i stedet for en ren luftOLFanger, øges drifttiden betydeligt.

Ovenstående undersøgelser er vigtige, idet luft/væske-solvarmeanlæg allerede findes på det danske marked, og der sandsynligvis vil komme flere i de kommende år. Fabrikanter (men også kunder) har behov for at få fastlagt, under hvilke forhold og ved hvilken styringsstrategi luft/væske-solvarmeanlægget vil give en merydelse, samt hvor stor denne merydelse er.

9 REFERENCER

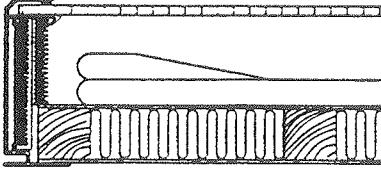
- 1 Jensen, S.Ø. Simulering af et tagrumssolfangeranlæg til forvarmning af friskluft og brugsvand samt dækning af en del af rumopvarmningsbehovet i et flerfamiliehus
Søren Østergaard Jensen
1991 juli
- 2 Jensen, S.Ø. Udvikling af MF/AW-element
Søren Østergaard Jensen
1994 juni
- 3 Dutré, W.L. Simulation of Thermal Systems (EMGP3)
Commission of the European Communities
KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS
1991
- 4 Berg, P. Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme
Teoretisk undersøgelse
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH
ISSN 0905-1511 Meddelelse nr. 209
1990
- 5 Jensen, S.Ø. Afprøvning af solvarmeanlæg fra Aidt Miljø
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH
Rapport nr. 93-38
1993
- 6 Jensen, S.Ø. Results from tests on a Multi-Function Solar Energy Panel
Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark
ISSN 0905-1511 Report 213
1990 June
- 7 Kristiansen, F. Prøvning af solfangereffektivitet og driftsikkerhed foretaget for Prøvestationen for Solvarmeanlæg. Solfangerfabrikat: Aidt Miljø
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH
Rapport nr. 91-9
1991 marts

8 Jensen, S.Ø. Ydelsen for solvarmeanlæg til kombineret forvarmning af brugsvand
og friskluft til bygninger
Prøvestationen for Solenergi, DTI Energi
1994 juni

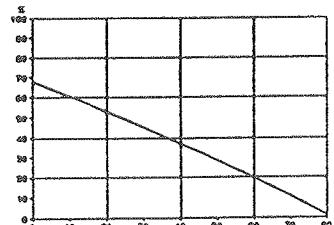
BILAG 1

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		D 2061
Fabrikat/forhandler Aidt Miljø A/S, Kongensbrovej, Aidt, 8881 Thorsø tlf.: 86 96 67 00		Type LF 4
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 230

SOLFANGER DATA

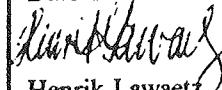
 <p><i>Snit af solfanger</i></p> <p>Udvendige dimensioner 2.00 x 2.00 x 0.10 m</p> <p>Areal Udvendigt 4.00 m² Transparent 3.81 m²</p>	Vægt Væskeindh.	40.2 kg 20.8 liter	Isolering Bagside Sider	30 mm glasuld 20 mm filt
	Dækklag Type Materiale	ribbeplade acrylbelagt polycarbonat	Solfangerkasse Bagside Sider	træfiberplade aluminiumsprofiler
	Tykkelse	6 mm		
	Absorber Type	ribbenør 2 parallele rørslange på sort træfiberplade	Tætning	EPDM gummi
	Materiale	sort polypropylen 16/12 mm	Prøvetryk	150 kPa
			Varmekapacitet Excl. væske Incl. væske	12.8 kJ/°C 88.7 kJ/°C

PRØVNING OG RESULTATER

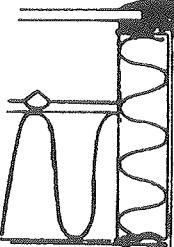
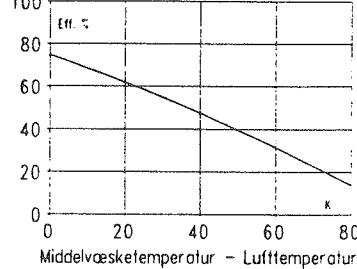
Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Juli 1992	Effektivitet $\eta_0 = 0.68$ $k_0 = 5.73 \text{ W/K/m}^2$ $k_1 = 0.012 \text{ W/K}^2/\text{m}^2$	$G = 800 \text{ W/m}^2$ 
Prøvningbetegnelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Væskestrøm 0.02 kg/s/m ² Bestråling ca. 951 W/m ²	Væskestrømskorrektion $m_0 = 1.047$ $m_1 = -0.623 \text{ s/kg}$ $M > 0.0025 \text{ kg/s/m}^2$	
Beregnet stagnationstemperatur $T_{STAG} = 128 \text{ }^\circ\text{C}$ ved: $G = 1000 \text{ W/m}^2$ $T_A = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	Hældningskorrektion $s_0 = 1.015$ $s_1 = -0.0003 \text{ pr. grad}$	
	Indfaldsvinkelkorrektion Ikke målt	<i>Effektivitetskurve (baseret på transparents areal)</i>

FORMLER OG SYMBOLER

Effektivitet : $\eta = \eta_0 \cdot k_0 \cdot (T_m - T_a) / G \cdot k_1 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$	T_a Lufttemperatur [°C]
Korr. effektivitet : $\eta_K = k_M [\eta_0 \cdot k_G \cdot k_0 \cdot k_S \cdot (T_m - T_a) / G \cdot k_1 \cdot k_S \cdot (T_m - T_a)^2 / G]$	T_m Væsketemperatur [°C]
Væskestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 \cdot M$	M Massestrøm [kg/s]
Hældningskorr. : $k_S = s_0 + s_1 \cdot S$	S Hældning fra vandret [°]
Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_y(v) \cdot G_{DIR} + k_y(60^\circ) \cdot G_{DF}] / G$ hvori $k_y(v) = 1 - \tan^2(v/2)$	v Indfaldsvinkel [°]
	G Bestrålingsstyrke [W/m ²]

BEMÆRKNINGER	Dato 1993-05-10  Henrik Lawaetz
--------------	--

BILAG 2

DATABLADE FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET																								
Fabrikat/forhandler BATEC Solvarme, Danmarksvej 8, 4681 Herfølge tlf.: 56 27 50 50		Type BA 22 selektiv																						
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 246																						
SOLFANGER DATA																								
 <p><i>Snit i solfanger</i></p> <p>Udvendige dimensioner 2,07 x 1,12 x 0,09 m</p> <p>Areal</p> <table> <tr> <td>Udvendigt</td><td>2,32 m²</td></tr> <tr> <td>Transparent</td><td>2,19 m²</td></tr> </table>	Udvendigt	2,32 m ²	Transparent	2,19 m ²	<p>Vægt 39 kg</p> <p>Væskeindh. 1,9 liter</p> <p>Dækning</p> <table> <tr> <td>Type</td><td>Et lag glas</td></tr> <tr> <td>Materiale</td><td>Jernfattigt glas</td></tr> <tr> <td>Tykkelse</td><td>4 mm</td></tr> </table> <p>Absorber</p> <table> <tr> <td>Type</td><td>Sunstrip 8 langsgående paralleltforbundne rør med ford.rør</td></tr> <tr> <td>Materiale</td><td>alu. og kobber</td></tr> <tr> <td>Tykkelse</td><td>0,5 mm</td></tr> </table> <p>Belægning selektiv, sort nikkel</p>	Type	Et lag glas	Materiale	Jernfattigt glas	Tykkelse	4 mm	Type	Sunstrip 8 langsgående paralleltforbundne rør med ford.rør	Materiale	alu. og kobber	Tykkelse	0,5 mm	<p>Isolering</p> <table> <tr> <td>Bagside</td><td>50 mm mineraluld</td></tr> <tr> <td>Sider</td><td>15 mm mineraluld</td></tr> </table> <p>Solfangerkasse</p> <table> <tr> <td>Bagside</td><td>1,5 mm alu.profil 0,5 mm alu. plade</td></tr> </table> <p>Tætning butylbånd og silicone</p> <p>Prøvetryk 1000 kPa</p> <p>Anbef.max.tryk 250 kPa</p>	Bagside	50 mm mineraluld	Sider	15 mm mineraluld	Bagside	1,5 mm alu.profil 0,5 mm alu. plade
Udvendigt	2,32 m ²																							
Transparent	2,19 m ²																							
Type	Et lag glas																							
Materiale	Jernfattigt glas																							
Tykkelse	4 mm																							
Type	Sunstrip 8 langsgående paralleltforbundne rør med ford.rør																							
Materiale	alu. og kobber																							
Tykkelse	0,5 mm																							
Bagside	50 mm mineraluld																							
Sider	15 mm mineraluld																							
Bagside	1,5 mm alu.profil 0,5 mm alu. plade																							
PRØVNING OG RESULTATER																								
<p>Prøvning</p> <p>Periode Maj 1993</p> <p>Prøvningbetegnelser</p> <table> <tr> <td>Væske</td><td>50 % glycol</td></tr> <tr> <td>Vind</td><td>5 m/s</td></tr> <tr> <td>Væskestrøm</td><td>0,02 kg/s/m²</td></tr> <tr> <td>Bestråling</td><td>Ca. 840 W/m²</td></tr> </table> <p>Tryktab</p> $P_d = 27,32 M^{1,42}$ <p>Tryktab ved 0,02 Kg/(s m²)</p> $P_d = 0,32 \text{ Kpa}$	Væske	50 % glycol	Vind	5 m/s	Væskestrøm	0,02 kg/s/m ²	Bestråling	Ca. 840 W/m ²	<p>Effektivitet</p> $\eta_0 = 0,75$ $k_0 = 4,85 \text{ W/(K m}^2)$ $k_1 = 0,016 \text{ W/(K}^2 \text{ m}^2)$ <p>Hældningskorrektion</p> $s_0 = 1,111$ $s_1 = -0,002 \text{ pr. grad}$	<p>G = 800 W/m²</p>  <p>Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)</p>														
Væske	50 % glycol																							
Vind	5 m/s																							
Væskestrøm	0,02 kg/s/m ²																							
Bestråling	Ca. 840 W/m ²																							
FORMLER OG SYMBOLER																								
<p>Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G$</p> <p>Korr. effektivitet : $\eta_K = k_M [\eta_0 k_G - k_0 k_S (T_m - T_a)/G - k_1 k_S (T_m - T_a)^2/G]$</p> <p>Væskestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 M$</p> <p>Hældningskorr. : $k_S = s_0 + s_1 S$</p> <p>Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_v(V) G_{DIR} + k_v(60^\circ) G_{DIF}] /G$ hvor $k_v(V) = 1 - \tan^2(V/2)$</p>	T_a Lufttemperatur [°C] T_m Væsketemp. [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] V Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m ²]																							
BEMÆRKNINGER		DATO Henrik Lawaetz																						

BILAG 3

* EMGP3 - Version 1.1 (December 1990) *
* Product of OPSYS, a Solar Energy R&D project of the *
* COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES *

Date: 9 (month) - 9 (day), 1994
 Time: 13 h 02 min 59 s

Input file: C:\EMGP3\INPUT\kunvask.01

Kun vaskedrift
 Traditionelt anlæg

METEOROLOGICAL DATA USED:

TEST REFERENCE YEAR COPENHAGEN (DK)

CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM ELEMENTS

ELEMENT 1: FLAT PLATE COLLECTOR WITH FLUID	
Back side ambient temperature serial number	5
Collector global radiation: excitation function nr	1
Initial temperature	5.0000 °C
Surface area	3.7800 m ²
Thermal capacity	22.6000 kJ/(K.m ²)
Back side heat loss coefficient	0.0000 W/(K.m ²)
Top heat loss coefficient	3.7106 W/(K.m ²)
Constant alpha*tau	0.6656
Collector efficiency factor	1.0000
Volumetric flow rate of the collector fluid	34.0200 L/h
Fluid density	1063.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	3.9140 kJ/(kg.K)

ELEMENT 2: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY

Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.3000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	1
Power of circulation pump	0.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	34.0200 L/h
Fluid density	1063.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	3.9140 kJ/(kg.K)

ELEMENT 5: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 1 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.2000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
Departure to external function(s)	2

ELEMENT 6: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 2 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.3000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
Heat extraction by external function(s)	3

ELEMENT 7: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 3 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.4000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)

ELEMENT 8: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 4 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.5000 W/K

Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
ELEMENT 9: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK	
Layer 5 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.6000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
Submerged heat exchanger 3:	250.0000 W/K
Return from external function(s)	2
ELEMENT 3: SUBMERGED HEAT EXCHANGER	
Submerged in element 9	
with constant total heat transfer coefficient	250.0000 W/K
ELEMENT 4: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.3000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	1
Power of circulation pump	30.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.5000
Volumetric flow rate	34.0200 L/h
Fluid density	1063.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	3.9140 kJ/(kg.K)
ELEMENT 10: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 1 of external function number	1
ELEMENT 11: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 3 of external function number	2
ELEMENT 12: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 2 of external function number	3
ELEMENT 14: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 1 of external function number	4
ELEMENT 15: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	5
ELEMENT 16: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	9
ELEMENT 17: HEAT LOSS METER OF ELEMENTS:	
5 6 7 8 9	
ELEMENT 18: HEAT LOSS METER OF ELEMENTS:	
2 4	
ELEMENT 19: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	1
ELEMENT 20: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	1
ELEMENT 21: FLAT PLATE COLLECTOR WITH FLUID	
Back side ambient temperature serial number	5
Collector global radiation: excitation function nr	1
Initial temperature	5.0000 °C
Surface area	3.7800 m ²
Thermal capacity	22.6000 kJ/(K.m ²)
Back side heat loss coefficient	0.0000 W/(K.m ²)
Top heat loss coefficient	3.2892 W/(K.m ²)
Constant alpha*tau	0.6375
Collector efficiency factor	1.0000
Volumetric flow rate of the collector fluid	125.0000 cbm/h
Fluid density	1.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	1000.0000 J/(kg.K)
ELEMENT 22: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.3000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	1
Power of circulation pump	60.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	125.0000 cbm/h
Fluid density	1.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	1000.0000 J/(kg.K)
ELEMENT 24: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.0000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	5
Power of circulation pump	0.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	125.0000 cbm/h

Fluid density 1.0000 kg/cbm
 Fluid specific heat 1000.0000 J/(kg.K)

ELEMENT 26: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY
 Integrates quantity 1 of external function number 5

ELEMENT 27: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR
 Sensor is located in element number 21

ELEMENT 28: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR
 Sensor is located in element number 23

ELEMENT 23: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY
 Pipe length 100.0000 m
 Heat loss coefficient 1000.0000 W/(m.K)
 Ambient temperature serial number 5
 Power of circulation pump 0.0000 W
 Fractional pump power dissipation in the fluid 0.0000
 Volumetric flow rate 125.0000 cbm/h
 Fluid density 1.0000 kg/cbm
 Fluid specific heat 1000.0000 J/(kg.K)

ELEMENT 13: HEAT METER WITH FOLLOWING SENSOR LOCATIONS:
 Flow meter in element 4
 High temperature sensor in element 1
 Low temperature sensor in element 4

ELEMENT 25: HEAT METER WITH FOLLOWING SENSOR LOCATIONS:
 Flow meter in element 24
 High temperature sensor in element 21
 Low temperature sensor in element 24

ELEMENT 29: HEAT LOSS METER OF ELEMENTS:
 22

CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM CONTROLLERS

=====

CONTROLLER 1: ON-OFF DIFFERENTIAL THERMOSTAT
 Initial position: OFF
 High temperature sensor: in element 1
 Low temperature sensor: in element 9
 Starting differential 5.0000 °C
 Stopping differential 2.0000 °C

CONTROLLER 2: ON-OFF THERMOSTAT
 Initial position: OFF
 Temperature sensor: in element 5
 Starting differential -1.0000 °C
 Stopping differential 1.0000 °C
 Thermostat setpoint: (45.5000 + 0.0000*T-amb.) °C

CONTROLLER 3: ON-OFF SAFETY THERMOSTAT
 Initial position: OFF
 Temperature sensor: in element 5
 Starting differential 0.0000 °C
 Stopping differential -5.0000 °C
 Thermostat setpoint: (95.0000 + 0.0000*T-amb.) °C

CONTROLLER 4: ON-OFF DIFFERENTIAL THERMOSTAT
 Initial position: OFF
 High temperature sensor: in element 21
 Low temperature sensor: in given temperature 5
 Starting differential 200.0000 °C
 Stopping differential 0.2000 °C

SUBSYSTEMS AND EXCITATION FUNCTIONS

=====

EXCITATION FUNCTION 1: SOLAR IRRADIANCE EXCITATION FUNCTION (Type 1)
 Solar irradiance calculation for:
 Constant cloud cover factor = 4
 Azimuth angle of the considered plane = 0.0000 degrees
 Tilt angle of the considered plane = 45.0000 degrees
 Quantities available for integration:
 1. global irradiance in the considered plane

SUBSYSTEM 2: HOT WATER CONSUMPTION SUBSYSTEM (Type 5)
 Hot water draw-off from (preheating) tank element 5
 With three-way valve outlet temperature regulation
 Auxiliary energy supply: series connected once through heater with outlet temperature regulation.
 Cold feed water temperature 10.0000 K
 Hot water consumption temperature 45.0000 K
 Total daily hot water usage 200.0000 L/day
 Hot water usage distributed according to day profile 1
 Preheating tank: directly connected to the mains (flow through tank)
 Quantities available for integration:
 1. net heat output of the considered DHW-tank
 2. net auxiliary power to be supplied by an ideal, series connected once through heater
 3. net heat demand of the DHW-draw-off

EXCITATION FUNCTION 3: SUBMERGED HEATING ELEMENT (Type 8)
 Direct power supply to storage element 6
 Nominal power of the heat supply 1.1000 kW
 On-off controlled by controller 2
 Quantities available for integration:

GENERAL INPUT DATA AND PARAMETERS

SIMULATED SYSTEM CONFIGURATION CHARACTERISTICS:

Total number of system elements:	29
number of differential system components:	7
number of algebraic system components:	6
number of integrating instrument elements:	10
number of algebraic combinations of elements:	0
number of maximum or minimum indicators:	6
Number of stratified liquid storage tanks:	1
Number of switching valves:	0
Number of heat pumps and/or absorption coolers:	0
Control devices: elementary controllers:	4
combined on-off controllers:	0
multilevel flow rate selectors:	0
Number of external functions and subsystems:	5
Number of different operational modes:	4
Number of operational modes defining controllers	2
Controllers used to select the operational modes:	1 4
Day profile 1:	
0.0220 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0140 0.0480	
0.0720 0.0840 0.0700 0.0450 0.0360 0.0500 0.0270 0.0230	
0.0210 0.0380 0.0680 0.1160 0.0960 0.0690 0.0550 0.0460	

METEOROLOGICAL INPUT DATA:

Location characteristics:	
Geographical latitude	55.6800 degrees
Geographical longitude	-12.5700 degrees
Time zone longitude	-15.0000 degrees
Ground reflection coefficient	0.2000
Meteorological input data time step	60 minutes
Number of quantities in each meteo-file record	11
Radiation data: conversion factor to W/m ² :	1.0000
Solar processor is used, based on:	
Horizontal diffuse radiation : meteofile quant.	7
Direct radiation : meteofile quant.	8
Horizontal total radiation : meteofile quant.	9
Cloud cover factor: constant = 4	
Constant temperatures used:	
Temperature 1 =	20.0000 °C
Temperature 2 =	20.0000 °C
Temperature 3 =	50.0000 °C
Temperature 4 =	100.0000 °C
Group 2 meteo-file quantities used (variable temp. or temp.differences)	
Conversion factor to °C for all variable temp.: 0.1000 °C/unit	
Temperature 5 = meteofile records quantity nr	5

COMPUTATION PARAMETERS:

Simulated period:	
Length as multiple of input data time steps:	8760
Starting day: day number	1 of the year
Starting hour on starting day:	0 o'clock
Number of the integration algorithm used:	3
Index of the precision request:	1.0000
Instrument elements are reset after every output period.	

TABLE OF REQUESTED RESULTS

=====

R_i = the i-th requested output quantity as listed below, at the time of output.
 Units used: For temperatures : °C
 For energy : Mega-Joules (MJ)
 For integrated irradiance: MJ/m²
 For ratios of elements : percent (%)
 For time averaged values : same as for considered quantity.

R 1 = Y 10 =	Solenergi på solfanger pr. m ² .
R 2 = Y 11 =	Varmt brugsvand
R 3 = Y 12 =	Suppleringsenergi
R 4 = Y 13 =	Solenergi fra solfanger.
R 5 = Y 14 =	Energi pumpel.
R 6 = Y 15 =	Max. temp. i beholdertop.
R 7 = Y 16 =	Max. temp i beholderbund.
R 8 = Y 17 =	Varmetab fra VVB.
R 9 = Y 18 =	Varmetab fra rør.
R 10 = Y 19 =	Max. temp i solfanger.
R 11 = Y 20 =	Max. temp. i solfanger.
R 12 = Y 25 =	Solenergi fra luftsolfanger
R 13 = Y 26 =	Energi pumpe 2.
R 14 = Y 27 =	Max. temp. i luftsolfanger.
R 15 = Y 28 =	Max. temp. i rør.
R 16 = Y 29 =	Varmetab fra ventilationsrør.

MONTH	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7
	R 8	R 9	R10	R11	R12	R13	R14
	R15	R16					

January	97.40	908.71	837.90	71.89	5.08	46.86	28.56
	4.84	1.79	48.16	48.16	0.00	0.00	27.70
	0.00	0.00					

February	208.61	820.96	651.34	179.49	11.49	46.82	36.83
	15.70	7.54	60.08	60.08	0.00	0.00	30.52
	0.00	0.00					

March	270.96 22.86 0.00	908.14 11.78 0.00	681.46 61.27 0.00	249.82 61.27 0.00	16.75 0.00 0.00	46.86 0.00 0.00	40.10 36.11 0.00
April	483.10 49.23 0.00	879.27 38.27 0.00	445.87 73.07 0.00	511.64 73.07 0.00	28.40 0.00 0.00	48.14 0.00 0.00	48.67 46.57 0.00
May	566.92 62.70 0.00	908.58 54.42 0.00	370.89 74.19 0.00	632.93 74.19 0.00	33.82 0.00 0.00	48.89 0.00 0.00	49.38 50.98 0.00
June	635.12 76.21 0.00	879.27 76.84 0.00	249.83 78.71 0.00	764.77 78.71 0.00	37.85 0.00 0.00	51.68 0.00 0.00	52.06 54.64 0.00
July	564.97 70.95 0.00	908.59 67.13 0.00	314.96 75.32 0.00	701.47 75.32 0.00	38.27 0.00 0.00	50.41 0.00 0.00	50.60 53.15 0.00
August	537.96 67.43 0.00	908.66 61.76 0.00	331.57 73.91 0.00	690.17 73.91 0.00	35.30 0.00 0.00	48.57 0.00 0.00	48.87 54.43 0.00
September	385.41 48.43 0.00	879.27 35.21 0.00	454.35 66.38 0.00	488.92 66.38 0.00	28.68 0.00 0.00	46.88 0.00 0.00	43.15 48.26 0.00
October	247.61 28.71 0.00	908.60 14.05 0.00	635.74 62.31 0.00	292.33 62.31 0.00	20.74 0.00 0.00	46.92 0.00 0.00	39.17 46.44 0.00
November	140.00 12.31 0.00	878.97 2.96 0.00	737.59 50.79 0.00	142.81 50.79 0.00	11.83 0.00 0.00	46.83 0.00 0.00	31.22 33.56 0.00
December	123.54 8.52 0.00	908.58 2.06 0.00	797.24 41.46 0.00	112.25 41.46 0.00	8.52 0.00 0.00	46.87 0.00 0.00	24.75 28.61 0.00
TOTAL	4261.61 467.87 0.00	10697.61 373.81 0.00	6508.74 78.71 0.00	4838.49 78.71 0.00	276.73 0.00 0.00	51.68 0.00 0.00	52.06 54.64 0.00

Number of time steps performed = 65197

Execution time = 0 h 3 min 58 s

* EMGP3 - Version 1.1 (December 1990) *
* Product of OPSYS, a Solar Energy R&D project of the *
* COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES *

Date: 9 (month) - 9 (day), 1994
 Time: 14 h 23 min 43 s

Input file: C:\EMGP3\INPUT\3konflow.01

Luft/væske-drift; 3. Styringsstrategi.
 Konstant effektivitet af luftdel, 41,5%.
 Altid flow gennem luftsolfangeren.

METEOROLOGICAL DATA USED:

TEST REFERENCE YEAR COPENHAGEN (DK)

CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM ELEMENTS

ELEMENT 1: FLAT PLATE COLLECTOR WITH FLUID	
Back side ambient temperature serial number	5
Collector global radiation: excitation function nr	1
Initial temperature	5.0000 °C
Surface area	3.7800 m ²
Thermal capacity	22.6000 kJ/(K.m ²)
Back side heat loss coefficient	0.0000 W/(K.m ²)
Top heat loss coefficient	3.7106 W/(K.m ²)
Constant alpha*tau	0.6656
Collector efficiency factor	1.0000
Volumetric flow rate of the collector fluid	34.0200 L/h
Fluid density	1063.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	3.9140 kJ/(kg.K)

ELEMENT 2: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY

Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.3000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	1
Power of circulation pump	0.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	34.0200 L/h
Fluid density	1063.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	3.9140 kJ/(kg.K)

ELEMENT 5: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 1 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.2000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
Departure to external function(s)	2

ELEMENT 6: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 2 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	0.0200 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.3000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
Heat extraction by external function(s)	3

ELEMENT 7: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 3 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.4000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)

ELEMENT 8: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK

Layer 4 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.5000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)

Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
ELEMENT 9: LAYER OF A STRATIFIED MODEL OF A LIQUID TANK	
Layer 5 (numbered from top to bottom) of stratified tank 1	
Initial temperature	20.0000 °C
Cross section	0.1988 m ²
Height of the layer	0.3018 m
Total heat loss coefficient	0.6000 W/K
Ambient temperature serial number	1
Thermal capacity	4250.0000 kJ/(cbm.K)
Thermal conduction coefficient	0.6200 W/(m.K)
Thermal expansion coefficient	0.0340 %/K
Mixing length	0.1000 m
Density of the fluid	998.0000 kg/cbm
Specific heat of the fluid	4.1850 kJ/(kg.K)
Submerged heat exchanger 3:	250.0000 W/K
Return from external function(s)	2
ELEMENT 3: SUBMERGED HEAT EXCHANGER	
Submerged in element	9
with constant total heat transfer coefficient	250.0000 W/K
ELEMENT 4: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.3000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	1
Power of circulation pump	30.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.5000
Volumetric flow rate	34.0200 L/h
Fluid density	1063.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	3.9140 kJ/(kg.K)
ELEMENT 10: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 1 of external function number	1
ELEMENT 11: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 3 of external function number	2
ELEMENT 12: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 2 of external function number	3
ELEMENT 14: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 1 of external function number	4
ELEMENT 15: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	5
ELEMENT 16: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	9
ELEMENT 17: HEAT LOSS METER OF ELEMENTS:	
5 6 7 8 9	
ELEMENT 18: HEAT LOSS METER OF ELEMENTS:	
2 4	
ELEMENT 19: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	1
ELEMENT 20: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	1
ELEMENT 21: FLAT PLATE COLLECTOR WITH FLUID	
Back side ambient temperature serial number	5
Collector global radiation: excitation function nr	1
Initial temperature	5.0000 °C
Surface area	3.7800 m ²
Thermal capacity	22.6000 kJ/(K.m ²)
Back side heat loss coefficient	0.0000 W/(K.m ²)
Top heat loss coefficient	0.0000 W/(K.m ²)
Constant alpha*tau	0.4150
Collector efficiency factor	1.0000
Volumetric flow rate of the collector fluid	125.0000 cbm/h
Fluid density	1.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	1000.0000 J/(kg.K)
ELEMENT 22: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.3000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	1
Power of circulation pump	60.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	125.0000 cbm/h
Fluid density	1.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	1000.0000 J/(kg.K)
ELEMENT 24: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	5.0000 m
Heat loss coefficient	0.0000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	5
Power of circulation pump	0.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	125.0000 cbm/h
Fluid density	1.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	1000.0000 J/(kg.K)

ELEMENT 26: INTEGRATOR OF AN EXCITATION FUNCTION OR SUBSYSTEM QUANTITY	
Integrates quantity 1 of external function number	5
ELEMENT 27: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	21
ELEMENT 28: A MAXIMUM TEMPERATURE INDICATOR	
Sensor is located in element number	23
ELEMENT 23: A PIPE WITH NEGLECTED THERMAL CAPACITY	
Pipe length	100.0000 m
Heat loss coefficient	1000.0000 W/(m.K)
Ambient temperature serial number	5
Power of circulation pump	0.0000 W
Fractional pump power dissipation in the fluid	0.0000
Volumetric flow rate	125.0000 cbm/h
Fluid density	1.0000 kg/cbm
Fluid specific heat	1000.0000 J/(kg.K)
ELEMENT 13: HEAT METER WITH FOLLOWING SENSOR LOCATIONS:	
Flow meter in element	4
High temperature sensor in element	1
Low temperature sensor in element	4
ELEMENT 25: HEAT METER WITH FOLLOWING SENSOR LOCATIONS:	
Flow meter in element	24
High temperature sensor in element	21
Low temperature sensor in element	24
ELEMENT 29: HEAT LOSS METER OF ELEMENTS:	
	22

CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM CONTROLLERS

=====	
CONTROLLER 1: ON-OFF DIFFERENTIAL THERMOSTAT	
Initial position: OFF	
High temperature sensor: in element	1
Low temperature sensor: in element	9
Starting differential	5.0000 °C
Stopping differential	2.0000 °C
=====	
CONTROLLER 2: ON-OFF THERMOSTAT	
Initial position: OFF	
Temperature sensor: in element	5
Starting differential	-1.0000 °C
Stopping differential	1.0000 °C
Thermostat setpoint:	(45.5000 + 0.0000*T-amb.) °C
=====	
CONTROLLER 3: ON-OFF SAFETY THERMOSTAT	
Initial position: OFF	
Temperature sensor: in element	5
Starting differential	0.0000 °C
Stopping differential	-5.0000 °C
Thermostat setpoint:	(95.0000 + 0.0000*T-amb.) °C
=====	
CONTROLLER 4: ON-OFF DIFFERENTIAL THERMOSTAT	
Initial position: OFF	
High temperature sensor: in element	21
Low temperature sensor: in given temperature	5
Starting differential	5.0000 °C
Stopping differential	2.0000 °C
=====	
CONTROLLER 5: ON-OFF DIFFERENTIAL THERMOSTAT	
Initial position: OFF	
High temperature sensor: in given temperature	5
Low temperature sensor: in element	9
Starting differential	-3.0000 °C
Stopping differential	-5.0000 °C

SUBSYSTEMS AND EXCITATION FUNCTIONS

=====	
EXCITATION FUNCTION 1: SOLAR IRRADIANCE EXCITATION FUNCTION (Type 1)	
Solar irradiance calculation for:	
Constant cloud cover factor = 4	
Azimuth angle of the considered plane =	0.0000 degrees
Tilt angle of the considered plane =	45.0000 degrees
Quantities available for integration:	
1. global irradiance in the considered plane	
=====	
SUBSYSTEM 2: HOT WATER CONSUMPTION SUBSYSTEM (Type 5)	
Hot water draw-off from (preheating) tank element	5
With three-way valve outlet temperature regulation	
Auxiliary energy supply: series connected once through heater with outlet temperature regulation.	
Cold feed water temperature	10.0000 K
Hot water consumption temperature	45.0000 K
Total daily hot water usage	200.0000 L/day
Hot water usage distributed according to day profile	1
Preheating tank: directly connected to the mains (flow through tank)	
Quantities available for integration:	
1. net heat output of the considered DHW-tank	
2. net auxiliary power to be supplied by an ideal, series connected once through heater	
3. net heat demand of the DHW-draw-off	

EXCITATION FUNCTION 3: SUBMERGED HEATING ELEMENT (Type 8)

Direct power supply to storage element 6
 Nominal power of the heat supply 1.1000 kW
 On-off controlled by controller 2
 Quantities available for integration:
 1. power extraction from considered element = -(power supply)
 2. power supplied to the considered element

SUBSYSTEM 4: FLUID FLOW CONTROLLED ENERGY CONSUMPTION METER (Type 10)

Power consumption of circulation pump according to:
flow condition on-off control in element 4

Power of the pump(s) 30.0000 W
Quantity available for integration:

1. circulation pump(s) power consumption according to specified power

SUBSYSTEM 5: FLUID FLOW CONTROLLED ENERGY CONSUMPTION METER (Type 10)

Power consumption of circulation pump according to:
flow condition on-off control in element 22

Power of the pump(s) 60.0000 W
Quantity available for integration:

1. circulation pump(s) power consumption according to specified power

OPERATIONAL MODES INFORMATION

Row and column numbers correspond to the fluid flow element serial numbers.
Missing serial numbers are either switched off or non-fluid elements.
"1" in column j of row i indicates that element j is the inlet of element i.
Only the operational modes selection controllers are specified below.

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 1

Controller 1: OFF
Controller 4: OFF
Controller 5: OFF

	5	6	7	8	9	21	22	23	24
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 2

Controller 1: OFF
Controller 4: OFF
Controller 5: ON

	5	6	7	8	9	21	22	23	24
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 3

Controller 1: OFF
Controller 4: ON
Controller 5: OFF

	5	6	7	8	9	21	22	23	24
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 4

Controller 1: OFF
Controller 4: ON
Controller 5: ON

	5	6	7	8	9	21	22	23	24
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 5

Controller 1: ON
 Controller 4: OFF
 Controller 5: OFF

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	21	22	23	24
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 6

Controller 1: ON
 Controller 4: OFF
 Controller 5: ON

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	21	22	23	24
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 7

Controller 1: ON
 Controller 4: ON
 Controller 5: OFF

	5	6	7	8	9	21	22	23	24
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0

CONTROLLER POSITIONS AND INTERCONNECTIONS IN OPERATIONAL MODE 8

Controller 1: ON
 Controller 4: ON
 Controller 5: ON

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	21	22	23	24
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

INSTRUMENT ELEMENTS ON-OFF INFORMATION FOR EACH OPERATIONAL MODE

Row index = operational mode number.
 Column index = instrument element serial number.
 "0" indicates that the instrument element is switched off.
 "1" indicates that the instrument element is switched on.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	26	27	28	29
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1

GENERAL INPUT DATA AND PARAMETERS

=====

SIMULATED SYSTEM CONFIGURATION CHARACTERISTICS:

Total number of system elements:	29
number of differential system components:	7
number of algebraic system components:	6
number of integrating instrument elements:	10
number of algebraic combinations of elements:	0
number of maximum or minimum indicators:	6
Number of stratified liquid storage tanks:	1
Number of switching valves:	0
Number of heat pumps and/or absorption coolers:	0
Control devices: elementary controllers:	5
combined on-off controllers:	0
multilevel flow rate selectors:	0
Number of external functions and subsystems:	5
Number of different operational modes:	8
Number of operational modes defining controllers	3
Controllers used to select the operational modes:	1 4 5
Day profile 1:	
0.0220 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0140 0.0480	
0.0720 0.0840 0.0700 0.0450 0.0360 0.0500 0.0270 0.0230	
0.0210 0.0380 0.0680 0.1160 0.0960 0.0690 0.0550 0.0460	

METEOROLOGICAL INPUT DATA:

Location characteristics:	
Geographical latitude	55.6800 degrees
Geographical longitude	-12.5700 degrees
Time zone longitude	-15.0000 degrees
Ground reflection coefficient	0.2000
Meteoro logical input data time step	60 minutes
Number of quantities in each meteo-file record	11
Radiation data: conversion factor to W/m ² :	1.0000
Solar processor is used, based on:	
Horizontal diffuse radiatio : meteofile quant.	7
Direct radiation : meteofile quant.	8
Horizontal total radiation : meteofile quant.	9
Cloud cover factor: constant = 4	
Constant temperatures used:	
Temperature 1 =	20.0000 °C
Temperature 2 =	20.0000 °C
Temperature 3 =	50.0000 °C
Temperature 4 =	100.0000 °C
Group 2 meteo-file quantities used (variable temp. or temp.differences)	
Conversion factor to °C for all variable temp.: 0.1000 °C/unit	
Temperature 5 = meteofile records quantity nr	5

COMPUTATION PARAMETERS:

Simulated period:	
Length as multiple of input data time steps:	8760
Starting day: day number	1 of the year
Starting hour on starting day:	0 o'clock
Number of the integration algorithm used:	3
Index of the precision request:	1.0000
Instrument elements are reset after every output period.	

TABLE OF REQUESTED RESULTS

R_i = the i-th requested output quantity as listed below, at the time of output.
 Units used: For temperatures : °C
 For energy : Mega-Joules (MJ)
 For integrated irradiance: MJ/m²
 For ratios of elements : percent (%)
 For time averaged values : same as for considered quantity.

R 1 = Y 10 =	Solenergi på solfanger pr. m ² .
R 2 = Y 11 =	Varmt brugsvand
R 3 = Y 12 =	Suppleringsenergi
R 4 = Y 13 =	Solenergi fra solfanger.
R 5 = Y 14 =	Energi pumpel.
R 6 = Y 15 =	Max. temp. i beholdertop.
R 7 = Y 16 =	Max. temp i beholderbund.
R 8 = Y 17 =	Varmetab fra VVB.
R 9 = Y 18 =	Varmetab fra rør.
R 10 = Y 19 =	Max. temp i solfanger.
R 11 = Y 20 =	Max. temp. i solfanger.
R 12 = Y 25 =	Solenergi fra luftsolfanger
R 13 = Y 26 =	Energi pumpe 2.
R 14 = Y 27 =	Max. temp. i luftsolfanger.
R 15 = Y 28 =	Max. temp. i rør.
R 16 = Y 29 =	Varmetab fra ventilationsrør.

MONTH	R 1 R 8 R15	R 2 R 9 R16	R 3 R10	R 4 R11	R 5 R12	R 6 R13	R 7 R14
January	97.40 -3.02 5.00	908.65 -0.09 -74.55	904.62 77.76	0.38 77.76	0.12 117.63	46.83 15.02	20.00 31.50
February	208.61 -2.81 6.50	820.65 -0.28 -61.06	807.40 92.85	1.46 92.85	0.44 295.71	46.87 32.77	12.96 43.17
March	270.96 -2.20	908.58 -0.83	885.26 96.24	8.71 96.24	1.49 380.44	46.90 47.15	13.99 47.13

	9.50	-50.40					
April	483.10	879.40	797.47	78.90	3.54	46.86	25.87
	5.94	1.13	109.06	109.06	691.02	68.54	58.61
	20.80	-18.94					
May	566.92	908.52	752.11	168.34	8.42	46.88	29.89
	16.24	3.09	109.12	109.12	773.03	72.78	60.95
	24.80	0.78					
June	635.12	879.28	597.82	313.25	16.62	46.90	30.40
	33.54	11.40	113.29	113.29	782.07	60.61	67.78
	25.20	25.58					
July	564.97	908.73	610.77	331.40	19.34	46.89	32.53
	35.70	13.02	109.32	109.32	651.26	56.61	65.02
	27.40	23.46					
August	537.96	908.57	602.32	339.81	19.37	46.87	33.96
	35.81	13.33	108.12	108.12	594.11	50.22	63.78
	28.80	22.54					
September	385.42	879.34	666.75	225.79	14.09	46.85	26.69
	22.83	5.29	100.90	100.90	436.47	45.00	56.33
	21.40	1.57					
October	247.61	908.72	797.69	103.84	9.21	46.88	24.21
	9.46	-0.35	94.24	94.24	294.29	35.73	54.30
	19.00	-26.14					
November	140.00	879.45	848.87	17.62	2.91	46.85	14.60
	-0.80	-1.43	79.14	79.14	181.13	25.66	39.06
	10.20	-47.78					
December	123.54	908.62	891.89	2.41	0.55	46.89	11.97
	-3.02	-0.36	67.49	67.49	171.91	23.78	29.49
	7.50	-63.94					
TOTAL	4261.61	10698.50	9162.96	1591.90	96.10	46.90	33.96
	147.65	43.93	113.29	113.29	5369.08	533.88	67.78
	28.80	-268.89					

Number of time steps performed = 438651

Execution time = 0 h 3 min 39 s
