

**Ydelsen for solvarmeanlæg til kombineret forvarmning  
af brugsvand og friskluft til bygningen**

**Søren Østergaard Jensen**

**Juni 1994**

## Indledning

Det formodes, at kombineret forvarmning af brugsvand og friskluft i samme solfanger kan øge et solvarmeanlægs ydelse, men hvor stor er denne forøgelse? I (Jensen, 1991) anslås en ydelsesforøgelse på mellem 10 og 25%, højest for anlæg, hvor der ikke er varmegenvinding i ventilationsanlægget. Det er med de i dag eksisterende simuleringværktøjer for solvarmeanlæg ikke muligt at beregne ydelsen af denne type kombineret anlæg.

I nærværende dokument er det forsøgt at give et realistisk bud på forøgelsen af et solvarmeanlægs ydelse, hvis bygningens friskluft forvarmes i en "traditionel" væskesolfanger - se principskitzen af et sådant anlæg i figur 1, hvor der ikke er varmegenvinding i ventilationsanlægget.

## Forudsætninger

Der er taget udgangspunkt i den i dag eneste markedsførte solfanger, der både kan forvarme væske og luft. Solfangeren produceres af Aidt Miljø og er principielt magen til deres traditionelle væske solfanger - se bilaget. Blot er der anbragt nogle indsugningshuller gennem bagsiden i et af de nederste hjørner og et ventilationsrør til udsugning i det øverste hjørne diagonalt modsat indsugningshullerne. Solfangeren er afprøvet på Laboratoriet for Varmeisolering, DTU i projektet "Forøgelse af solvarmeanlægs ydelse", støttet af Energistyrelsens udviklingsprogram for vedvarende energi (under rapportering).

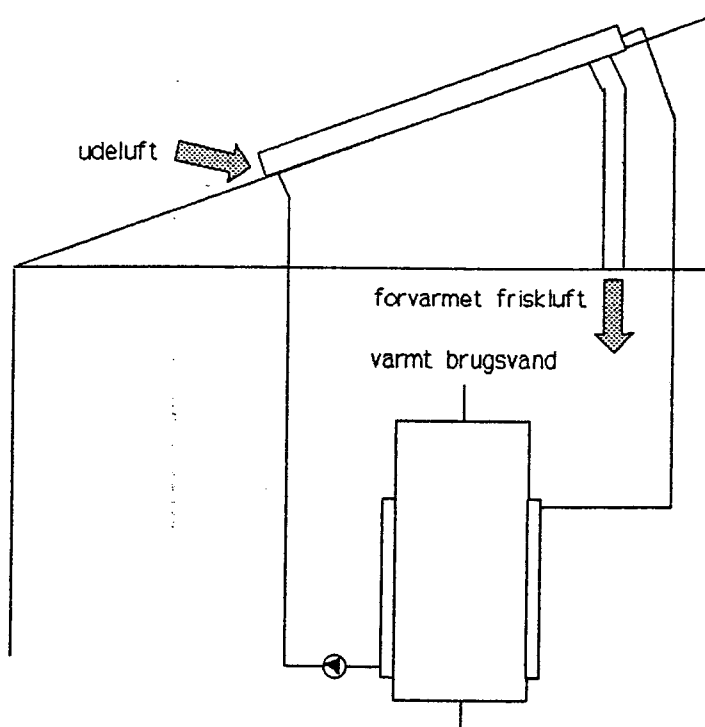
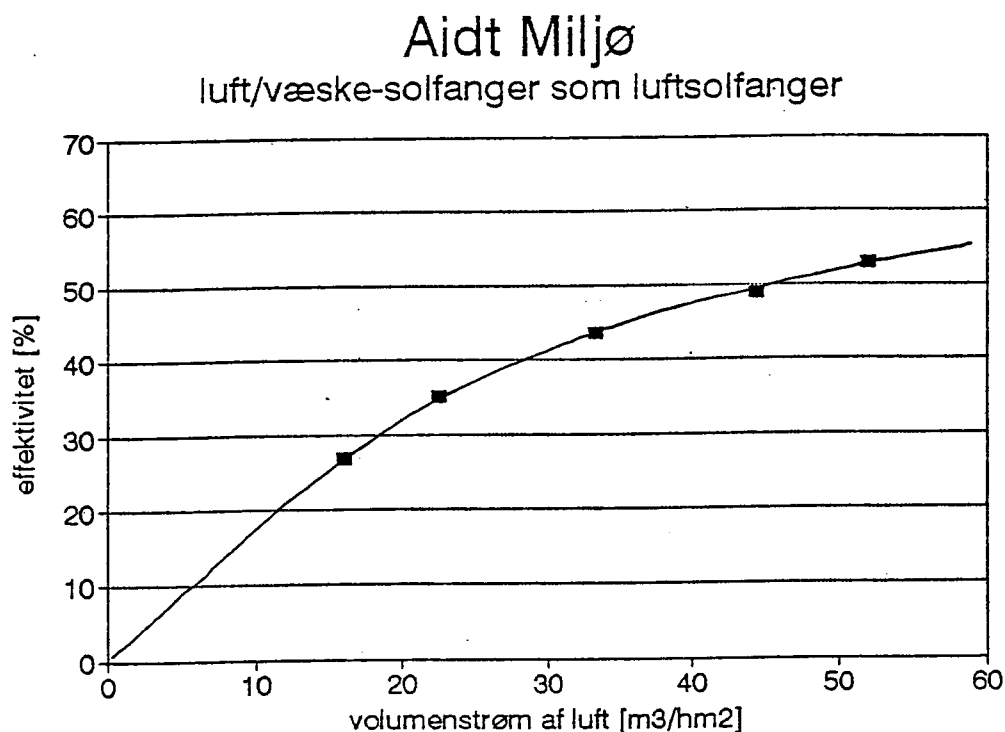


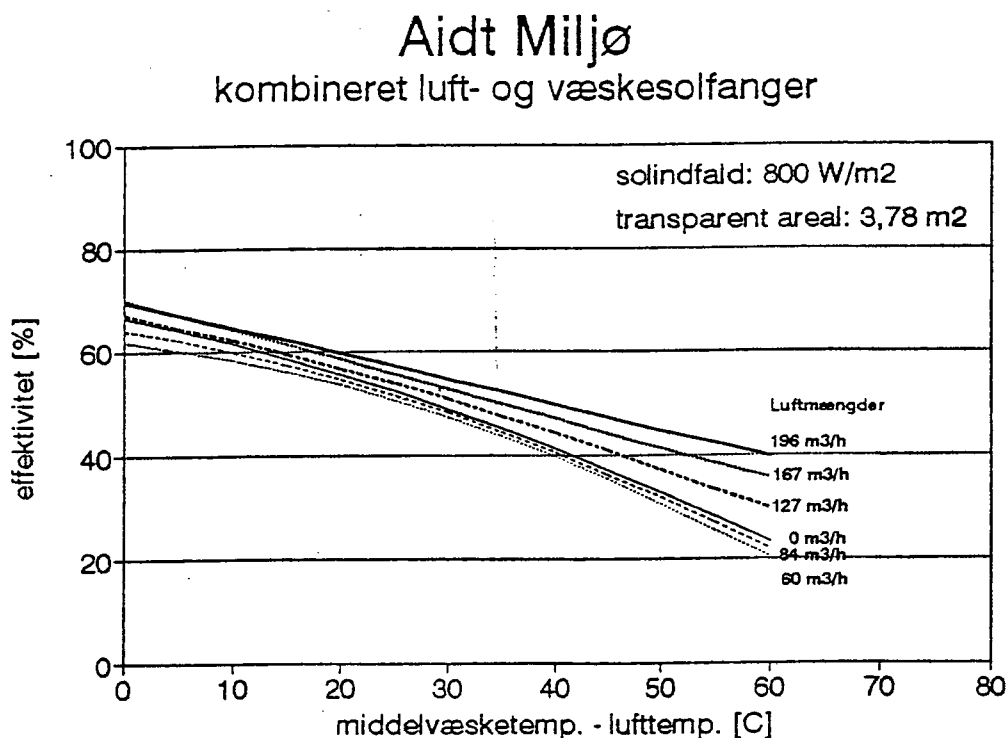
Figure 1 Principskitse af et solvarmeanlæg, hvor bygningens friskluft forvarmes i en traditionel væskesolfanger.

Figur 2 og 3 viser resultatet af denne afprøvning. Figur 2 viser solfangeren, hvor den fungerer som ren luftsolfanger, mens figur 3 viser solfangeren som ren væskesolfanger og som kombine-

ret væske- og luftsol-fanger. Figur 3 viser, at effektiviteten af solfangeren stiger, når der både forvarmes luft og vand. At kurverne ved små volumenstrømme af luft gennem solfangeren ligger under kurven for den rene væskeabsorber, skyldes måleusikkerheden. Det er svært at måle på luft - især ved små volumenstrømme.



Figur 2. Effektiviteten af den kombinerede væske- og luftsol-fanger fra Aidt Miljø som ren luftsol-fanger.



Figur 3. Effektiviteten af den kombinerede væske- og luftsol-fanger fra Aidt Miljø som ren væskesolfanger og som kombineret væske- og luftsol-fanger.

Effektiviteten af luftsol-fangeren øges med øget luftgennemstrømning af luft gennem solfangeren, idet solfangeren da afkøles mere, hvorved varmetabet falder og mere solenergi kan nyttiggøres.

Solvarmeanlægget, der regnes på i nærværende dokument, er Aidt Miljøs lille brugsvandsanlæg med en solfanger med et transparent areal på 4.83 m<sup>2</sup> og et lager bestående af en kappebeholder på 265 l. Kappen indeholder 16.5 l. Solvarmeanlægget er et såkaldt low-flow anlæg, hvor væskestrømme i solkredsen er meget lille omkring 0.2 l/min. pr. m<sup>2</sup> 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 low-flow anlæg med kappebeholder (Berg, 1990). Simuleringsprogrammet er senest sammenlignet - med godt resultat - med måleresultater i (Jensen, 1993). Simuleringsprogrammet kan ikke regne på kombineret forvarmning af friskluft og brugsvand; men udelukkende på forvarmning af brugsvand. Anlægget er derfor simuleret som et almindeligt brugsvandsanlæg. Dog er der i programmet indlagt skrivesætninger, således at visse temperaturer og energistrømme udskrives for hvert simuleringstidsskridt, således at det er muligt at vurdere, hvor meget anlægget ville have ydet, hvis det også forvarmede luft. Således udskrives udetemperaturen, det direkte og diffuse solindfald på fladen, temperaturen ind og ud af solfanger og kappe, om væskekredsen kører eller ej, samt den udnyttelige solindstråling. Den udnyttelige solindstråling er det totale solindfald korrigeret for dæklagets transmittans afhængighed af solindstrålingens indfaldsvinkel. Dataene er derefter blevet behandlet med et Fortran-program.

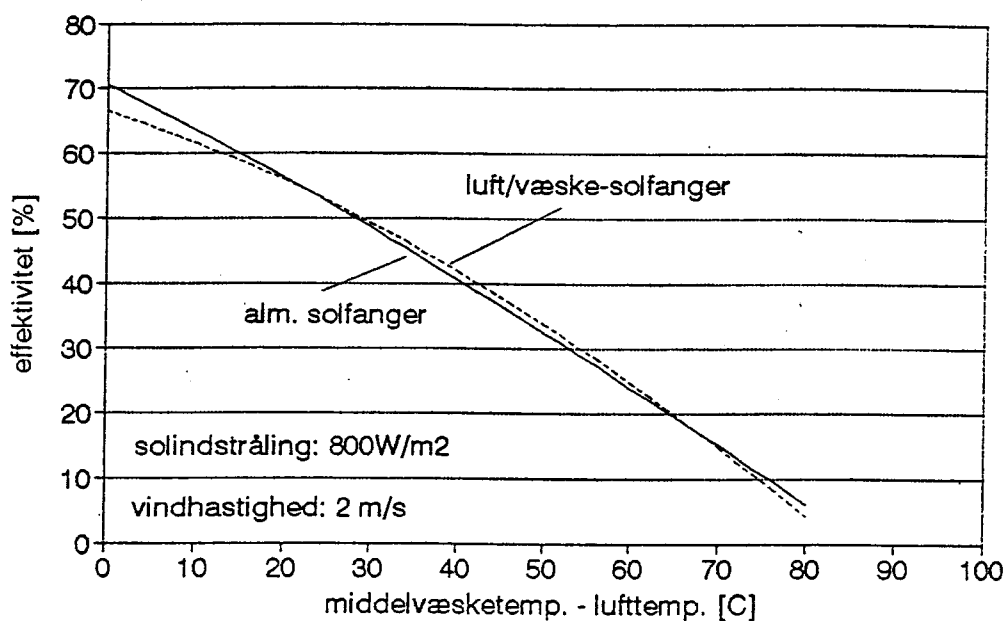
Effektivitetskurven i figur 3 for solfangeren som ren væskesolfanger stemmer ikke helt overens med solfangerligningen i bilaget. Det skyldes, at effektivitetsudtrykkene er fundet under lidt forskellig forhold. Udtrykket i bilaget er målt ved en vindpåvirkning langs dæklaget på 5 m/s, mens udtrykket for den kombinerede solfanger er fundet ved 3 m/s. Effektivitetsudtrykket i bilaget er fundet ved en væskegennemstrømning på 1 l/min. pr. m<sup>2</sup> solfanger, mens den for den kombinerede solfanger er fundet ved low-flow - ca. 0.2 l/min. pr. m<sup>2</sup>. I figur 4 er de to udtryk sammenlignet ved ens betingelser: Vindpåvirkning = 2 m/s og low-flow. Som det ses, er effektivitetskurverne nu stort set ens. Derfor anvendes effektivitetsudtrykket fra bilaget som beskrevet i (Jensen, 1993).

Brugsvandsanlægget er i simuleringsprogrammet ellers opbygget som beskrevet i (Jensen, 1993), og vil ikke nærmere blive beskrevet her. Der tappes 150 liter pr. dag fra lageret opvarmet fra 10 til 45°C. Der tappes 50 liter kl. 7:00, 19:00 og kl 22:00.

I nærværende undersøgelse antages det, at bygningen i forvejen har et ventilationsanlæg, der kører hele døgnet. Det antages desuden, at ventilationsanlægget er uden varmegenvinding. Solfangerens luftdel kobles foran dette ventilationsanlæg, således at friskluft til bygningen passerer gennem solfangeren; men evt. bypasses helt eller delvis, hvis temperaturen af solfangeren er for høj. Volumenstrømmen af friskluft antages at være 150 m<sup>3</sup>/h, hvilket svarer til ventilationsbehovet for et parcelhus. Friskluften forvarmes ikke i sommerperioden - 9/5 - 22/9.

Hvis væskekredsen ikke kører overføres solenergien udelukkende til luften med en effektivitet, der som vist på figur 2, er 41.5%, da volumenstrømmen af luft er 150 m<sup>3</sup>/h svarende til 30 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>.

## Aidt Miljø alm. solfanger vs. luft/væske-solfanger



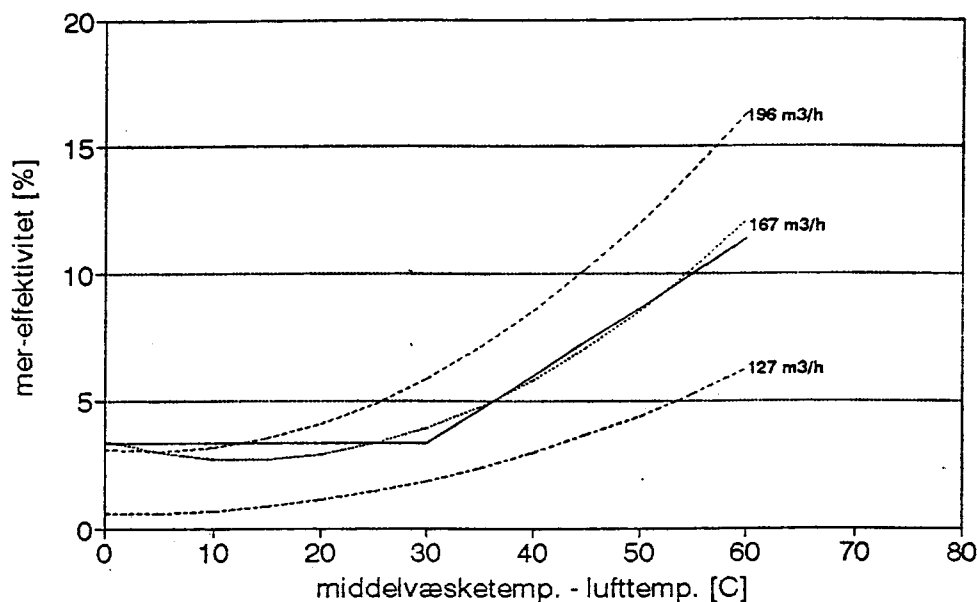
Figur 4. Effektivitetskurverne for den traditionelle væskesolfanger og den kombinerede solfanger som ren væskesolfanger.

Når væskekredsen kører, vil udløbstemperaturen af væsken være mindre end i et traditionelt væskeanlæg, idet luften også opvarmes. Men da det ikke er muligt at tage højde for dette i det anvendte simuleringsprogram, benyttes en anden metode til bestemmelse af den indvundne energimængde fra solfangeren. Det antages således, at anlæggets væskedel fungerer som et traditionel væskeanlæg, mens der overføres en tilsvarende mindre mængde energi til luften. Den energi der tilføres luften beregnes på basis af figur 3. Dette er vist tydeligere i figur 5. Figur 5 viser hvor stor en procentdel af den udnyttelige solindstråling, der kan overføres til luften afhængig af volumenstrømmen af luft og middelvæsketemperaturen 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 m<sup>3</sup>/h.

### Beregnet merydelse

På baggrund af ovenstående er det beregnet, at anlægsydelsen forøges med 66 kWh pr. år, eller med ca. 6%. Dette er væsentlig mindre end forventet. Det skyldes, at der i nærværende beregninger ikke er taget hensyn til varmekapaciteten i solfangeren, der er meget høj, idet den indeholder 26 l væske. Om aftenen er der således op til omkring 1 kWh "lagret" i solfangeren i form af varmt vand. Denne energimængde kan næsten fuldstændigt overføres til luften. Da luften hele tiden strømmer gennem solfangeren, er det underordnet, hvor lang tid det tager at overføre varmen til luften.

## Aidt Miljø kombineret luft- og væskesolfanger



Figur 5. Den ekstra energimængde, der kan tilføres luften, når det antages, at energitilførslen til væsken er som i et traditionelt brugsvandsanlæg. Den fuldtoptrukne kurve repræsenterer det tilnærmede udtryk, der anvendes i Fortran-programmet.

Hvis det antages, at 80% af den varme, solfangeren indeholder om aftenen, når væskekedsen stopper overføres til luften, bliver forøgelsen af anlægsydelsen ikke 66 men 265 kWh pr. år, eller ca. 23%.

I ovenstående beregninger er der ikke taget hensyn til, at solfangeren arbejder ved et lavere temperaturniveau (da der trækkes mere energi ud af den), hvorved den kombinerede solfanger er lidt mere effektiv end antaget her. Til gengæld er der ikke taget hensyn til varmetabet fra ventilationsrøret mellem solfanger og ventilationsanlæg. Det antages desuden, at bygningen kan aftage al den forvarmede friskluft. I visse tilfælde er dette ikke muligt; men da det er den lagrede varme i solfangeren, når væskekedsen stopper, der har størst betydning, betyder det ikke meget, at der af og til ikke eller kun delvist forvarmes luft i dagtimerne, når væskekedsen kører. Det er da kun lidt varme der mistes - få procent af solindfaldet.

På baggrund af ovenstående vurderes det, at anlægsforøgelsen kan være op til 25% som anslået i (Jensen, 1991). Der er dog behov for yderligere undersøgelser for at fastslå den præcise forøgelse af ydelsen og den bedste driftstrategi for denne type anlæg, samt hvilken betydning varmegenvinding i ventilationsanlægget har for merydelsen for solvarmeanlægget. Det er således nødvendigt at udvikle en edb-model, der kan regne detaljeret på denne type anlæg, hvor væske- og luftdel simuleres simultant.

I nærværende undersøgelse er en anden driftstrategi for solvarmeanlægget også undersøgt. Her er der givet førstehedsrang til brugsvandsdelen. Der suges desuden kun luft gennem solfangeren, når det er muligt at levere varme til bygningen. Dvs. når solfangeren kan levere luft med en overtemperatur - her 24°C. Luftkredsen startes først, når temperaturen i bunden af kappen når

25°C. På grund af den store temperaturlagdeling af lageret, vil toppen af lageret da ofte have nået en brugbar temperatur.

Der er i første omgang heller ikke her taget hensyn til solfangerens varmekapacitet, idet det ikke vides, hvor hurtigt varmen kan overføres fra væsken i solfangeren til luften, og dermed hvor stor en del af den lagrede varme i solfangeren, der kan nyttiggøres før lufttemperaturen ud af solfangeren falder så meget, at luftkredsen stopper.

Forøgelsen af ydelsen bliver da ca. 8 kWh - altså yderst beskedene - under 1%. Forøgelsen er endnu lavere - tæt på 0, når forudsætningerne til beregning af standardtilskud anvendes: 200 l tappet pr. dag med lige store mængder kl. 7:00, 12:00 og 19:00. Forøgelsen kan dog sikkert øges betydeligt (fordobles? tredobles?), hvis blot en del af varmen lagret i solfangeren kan nyttiggøres. Det er derfor vigtigt, at der laves undersøgelser over varmeoverføringsevnen mellem den stillestående væske og den strømmende luft i solfangeren. Dette kan gøres rimeligt let ved at lade solfangeren stagnere uden væske- og luftgennemstrømning, hvorefter solfangeren køles ved en fast luftstrøm, mens lufttemperaturen ud af solfangeren måles.

## Konklusion

På baggrund af de ovenfor gennemførte undersøgelser kan det konkluderes, at det er muligt at forøge ydelsen af traditionelle væskesolvarmeanlæg betydeligt, hvis friskluften til bygningen også forvarmes i solfangeren. Undersøgelserne viser, at den største energigevist opnås i bygninger, der har et konstant ventilationsbehov. Her belastes solvarmeanlæggets installation og drift desuden ikke af ventilatoren. At forvarme luft i denne type solfangere udelukkende til dækning af rumopvarmning giver kun et ringe energitilskud, sandsynligvis i samme størrelsesorden som den nødvendige energi til ventilatoren. Anvendelse af denne type anlæg skal derfor ikke være på baggrund af energimæssige overvejelser, men for at hæve komforten i bygningen - f.eks. ved at føre den forvarmede luft til kolde, klamme rum, eller anvendes i bygninger, der har et rumopvarmningsbehov om sommeren. Til sidst viser undersøgelserne, at solfangere med en stor varmekapacitet sandsynligvis er at foretrække, idet den lagrede varme i solfangeren kan forskubbe forvarmningen af friskluften til tider, hvor forvarmningen ikke er i konflikt med solindfaldet gennem store sydvendte vinduer.

Desværre er det i dag ikke muligt at regne på/simulere ydelsen af disse anlæg. Det anbefales derfor, at der igangsættes et udviklingsarbejde, 1) for bedre at få fastlagt effektiviteten af solfangere til kombineret forvarmning af luft og væske, samtidigt med at varmeoverføringsevnen mellem den stillestående væske og den strømmende luft i solfangeren fastlægges, og 2) for at udvikle simuleringsprogrammer der kan regne detaljeret og simultant på denne type anlæg, således at den optimale konstruktion og driftstrategi i et givet tilfælde kan fastlægges.

## Referencer

- Berg, P., 1990. Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Teoretiske undersøgelser. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet. Meddelelse nr. 209.
- Jensen, S.Ø., 1991. Simulering af et tagrumssolfangeranlæg til forvarmning af friskluft og brugsvand samt dækning af en del af rumopvarmningsbehovet i et flerfamiliehus. BO-90.
- Jensen, S.Ø., 1993. Afprøvning af solvarmeanlæg fra Aidt Miljø. Ydelsesberegning. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet. Rapport nr. 93-38.

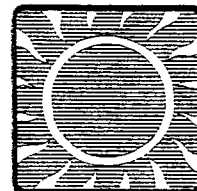
# Prøvestationen for Solenergi

Dansk Teknologisk Institut

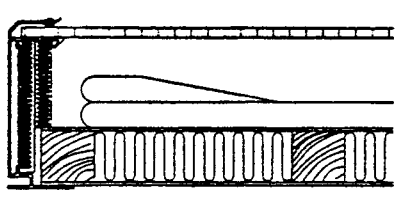
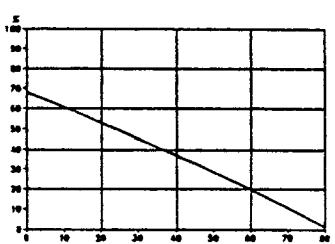
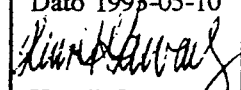
Gregersensvej  
Postboks 141  
DK-2630 Taastrup

Telefon 42 99 66 11  
Telefax 42 99 47 44  
Giro 4 65 65 63

Telegramadresse:  
Teknologisk  
Telex 334 16 ti dk



## Bilag

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 m<sup>2</sup> Transparent 3.81 m<sup>2</sup></p>	<p>Vægt 40.2 kg</p> <p>Væskeindh. 20.8 liter</p> <p>Dæklag Type ribbeplade Materiale acrylbelagt poly-carbonat Tykkelse 6 mm</p> <p>Absorber Type ribberør 2 parallelle rør-slange på sort træfiberplade Materiale sort polypropylen 16/12 mm</p>	<p>Isolering Bagside 30 mm glasuld Sider 20 mm filt</p> <p>Solfangerkasse Bagside træfiberplade Sider aluminiumsprofiler</p> <p>Tætning EPDM gummi</p> <p>Prøvetryk 150 kPa</p> <p>Varmekapacitet Excl. væske 12.8 kJ/°C Incl. væske 88.7 kJ/°C</p>
	PRØVNING OG RESULTATER	
<p>Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Juli 1992</p> <p>Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Væskestrøm 0.02 kg/s/m<sup>2</sup> Bestråling ca. 951 W/m<sup>2</sup></p> <p>Beregnet stagnationstemperatur T<sub>STAG</sub> 128 °C ved: G 1000 W/m<sup>2</sup> T<sub>A</sub> 30 °C</p>	<p>Effektivitet η<sub>0</sub> = 0.68 k<sub>0</sub> = 5.73 W/K/m<sup>2</sup> k<sub>1</sub> = 0.012 W/K<sup>2</sup>/m<sup>2</sup></p> <p>Væskestrømskorrektion m<sub>0</sub> = 1.047 m<sub>1</sub> = -0.623 s/kg M &gt; 0.0025 kg/s/m<sup>2</sup></p> <p>Hældningskorrektion s<sub>0</sub> = 1.015 s<sub>1</sub> = -0.0003 pr. grad</p> <p>Indfaldsvinkelkorrektion Ikke målt</p>	<p>G = 800 W/m<sup>2</sup></p>  <p><i>Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)</i></p>
FORMLER OG SYMBOLER		
<p>Effektivitet : <math>\eta = \eta_0 - k_0 \cdot (T_m - T_a) / G - k_1 \cdot (T_m - T_a)^2 / G</math></p> <p>Korr. effektivitet : <math>\eta_K = k_M \cdot [\eta_0 - k_0 \cdot k_G - k_0 \cdot k_s \cdot (T_m - T_a) / G - k_1 \cdot k_s \cdot (T_m - T_a)^2 / G]</math></p> <p>Væskestrømskorr. : <math>k_M = m_0 + m_1 \cdot M</math></p> <p>Hældningskorr. : <math>k_s = s_0 + s_1 \cdot S</math></p> <p>Indfaldsvinkelkorr. : <math>k_G = [k_r(v) \cdot G_{DIR} + k_r(60^\circ) \cdot G_{DF}] / G</math> hvor <math>k_r(v) = 1 - \tan^2(v/2)</math></p>	<p>T<sub>a</sub> Lufttemperatur [°C] T<sub>m</sub> Væsketemperatur [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] v Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m<sup>2</sup>]</p>	
BEMÆRKNINGER		Dato 1993-05-10  Henrik Lawaetz