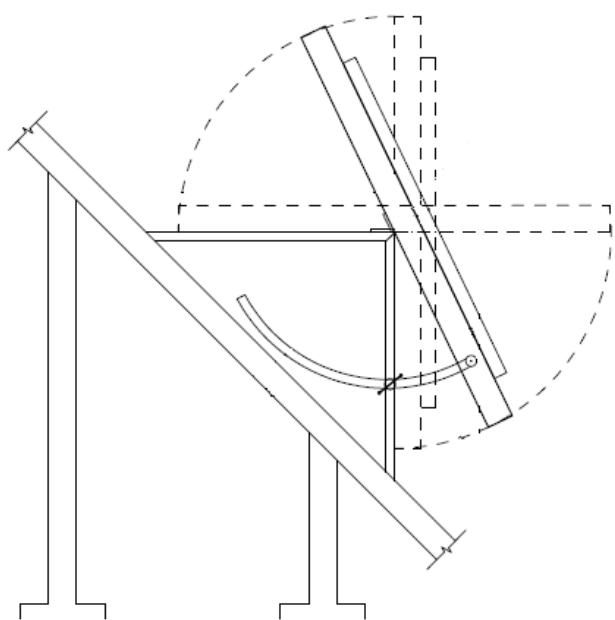


# Prøvestand til luvsolfangere



Elsa Andersen

Rapport

Institut for Byggeri og Anlæg  
2011

DTU Byg Rapport R 255 (DK)  
December 2011

# 1 Indhold

1	INDHOLD .....	1
2	FORORD .....	2
3	INDLEDNING .....	3
4	DESIGN AF LUFTSOLFANGERPRØVESTAND .....	4
4.1	PRØVESTANDENS UDFORMNING .....	4
4.2	MÅLEUDSTYR .....	7
4.3	DATALOGER .....	8
5	DEN EUROPÆISKE SOLFANGERNORM EN 12975 .....	9
5.1	BESTEMMELSE AF EFFEKTIVITETEN .....	11
5.2	AFPRØVNING AF SV14 FRA SOLARVENTI A/S .....	13
5.2.1	Beskrivelse af luftsolfangeren .....	13
5.2.2	Driftsbetingelser i måleperioden .....	13
5.2.3	Termisk effektivitet .....	14
6	KONSLUSION .....	15
7	SYMBOLLISTE .....	16
8	REFERENCER .....	17

## 2 Forord

I perioden 2010-2011 er forskningsprojektet "Termisk solvarme" gennemført på DTU Byg. Projektets formål er at etablere en prøvestand til afprøvning af luftsolfangere samt at afprøve en luftsolfanger.

Solvarmeprodukter afprøves i henhold til norm for det pågældende produkt. Luftsolfangere afprøves i henhold til den europæiske solfangernorm, EN 12975 del 1 og 2 fra 2006 samt udkast til norm for luftsolfangere som baserer sig på solfangernormen [1,2]. DTU Byg medvirker også ved udarbejdelse af standard for prøvning af luftsolfangere som et led i projektet.

Projektet er finansieret af Bjarne Saxhof fonden.

### 3 Indledning

Solenergi udgør en udtømmelig forureningsfri energikilde som er frit tilgængelig overalt på jordkloden. Forskningsprojekter der sigter på teknologisk udvikling af nye såvel som eksisterende solenergianlæg er grundlaget for en stadig bedre udnyttelse og anvendelse af solenergi.

I de senere år er der kommet mere fokus på luftsolfangere.

Luftsolfangere anvendes i stor udstrækning til fritidshuse hvor luftsolfangerens primære opgave er at ventilere med opvarmet udeluft når solen skinner. Behovet for opvarmning om sommeren er typisk ikke særlig stort, men om vinteren har sammenfaldet mellem ventilation og solindfald den fordel, at fugt ventileres ud af fritidshuset. Når luften i fritidshuset opvarmes ved solindfald gennem vinduer reduceres luftens relative fugtighed og fugt i vægge, møbler, tæpper etc. optages af rumluften. Uden ventilation forbliver fugten i huset, men hvis der ventileres med tør opvarmet luft udefra, ventileres fugt bort og efterlader et friskt og tørt indeklima.

Luftsolfangere anvendes også i stort udstrækning som solvægge/facadebeklædning og den producerede varme anvendes ikke bare til opvarmning, men også til køling (sorptionskøling) i mekaniske ventilationsanlæg.

I dag må producenter af solfanger, herunder luftsolfangere sende deres produkter til udlandet for at få målt effektiviteten af dem. Produkterne sendes til akkrediterede prøvestationer, typisk til den svenske prøvestation SP i Borås, den schweiziske prøvestation SPF i Rapperswill og til de tyske prøvestationer ITW i Stuttgart, ISFH i Hameln, ZAE i Bayern eller Fraunhofer ISE i Freiburg. Her bliver solfangerne afprøvet i henhold til den europæiske norm, EN 12975. Det er dog både dyrt og besværligt for de danske producenter.

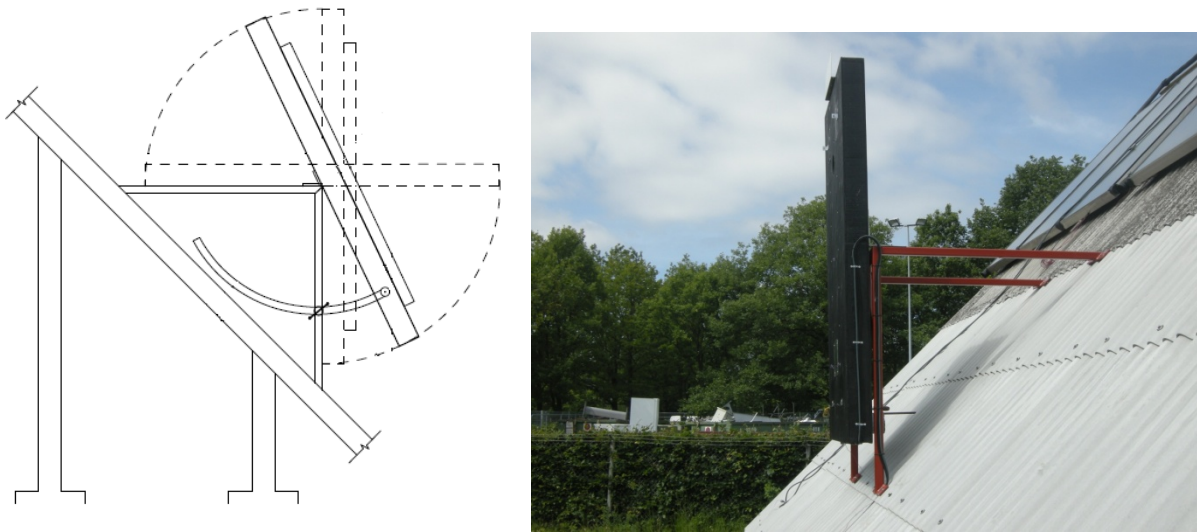
Det er et krav at prøvestationer er akkrediterede for at udføre certificerede prøvninger. DTU Byg er ikke en akkrediteret prøvestation, men et Universitet der leverer forskningsbaseret undervisning. DTU Byg kan således blot tilbyde fabrikanter uvildige prøvninger i henhold til gældende standarder samt samarbejde om produktforbedring og produktudvikling.

Forhåndenværende rapport beskriver projektet "Termisk Solvarme". Projektet består af tre hovedelementer: 1) Etablering af prøvestand for luftsolfangere, 2) Afprøvning af en markedsført solfanger og 3) Medvirker også ved udarbejdelse af standard til afprøvning af luftsolfangere. Der følger nu en beskrivelse af hovedelementerne.

#### 1) Etablering af prøvestand for luftsolfangere

Figur 1 viser en principskitse samt et foto af prøvestanden. Principskitsen er tegnet fra prøvestandens venstre side mens prøvestanden er fotograferet fra højre side. Prøvestanden vender mod syd og prøvestandens hældning kan indstilles mellem 0° svarende til vandret og 90° svarende til lodret. Til ven-

stre i Figur 1 er hældningen på prøvestanden godt 45° mens den på fotoet er 90°. Prøvestanden er fri for skygger det meste af dagen hele året.



Figur 1. Principskitse (venstre) og foto (højre) af prøvestand.

## 2) Afprøvning af en markedsført luftsolfanger

Til højre i Figur 3 ses et foto af den afprøvede luftsolfanger SV 14 fra SolarVenti A/S monteret på prøvestanden. Figuren viser også at pyranometeret der måler solbestrålingsstyrken på solfangeren er monteret på en metalplade ovenpå prøvestanden. Dette sikrer at orientering og hældning af solfanger og pyranometer altid er den samme.

## 3) Medvirker også ved udarbejdelse af standard til afprøvning af luftsolfangere

Den europæiske norm, EN 12975 del 1 og 2 er under revision og udbygges til også at omhandle afprøvning af luftsolfangere. EN 12975 del 1 omhandler holdbarhed, pålidelighed samt sikkerhedskrav for solfangere mens EN 12975 del 2 omhandler ydelseskarakterisering. I forbindelse med opbygning og ibrugtagning af prøvestanden til luftsolfangere på DTU Byg har der været løbende dialog med revisionsgruppen som udgøres af den Tekniske komite CEN/TC 312 "Thermal solar systems and components" og videregivet de på DTU Byg opnåede erfaringer.

# 4 Design af luftsolfangerprøvestand

## 4.1 Prøvestandens udformning

Følgende kravspecifikationer blev udarbejdet forud for konstruktion af prøvestanden med henblik på muligheden for:

- 1) At undersøge effekten af underlaget, f.eks. farve og beskaffenhed.
- 2) At undersøge effekten af hældningen af solfangeren.
- 3) Lufttæt rørføring til og fra solfanger.

## 4) Nøjagtige målinger.

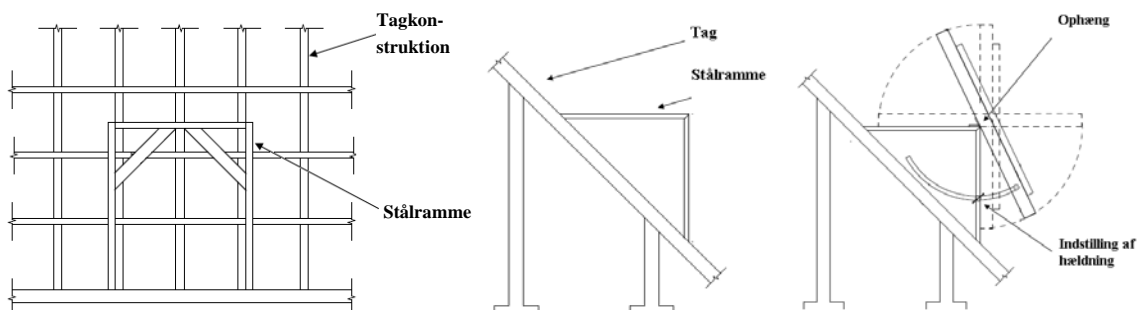
Luftsolfangerprøvestanden består af en topplade monteret på en stålramme. Stålrammen er konstrueret af stålprofiler med dimensionerne 50\*50 mm. Højde og dybde af stålrammen er 1,5 m mens bredden er 1,2 m. Toppladen er udført som en hul trækasse af krydsfiner indeholdende luftkanaler med måleudstyr. Toppladens dimensioner er 2,44 m\*1,22 m\*0,149 m. Toppladens hældning kan indstilles mellem 0° svarende til vandret og 90° svarende til lodret. Stålrammen er monteret på en sydvendt tagflade uden skygger af betydning. Luftsolfangerprøvestanden er vist i Figur 2. I Figur 3 ses fotos af metalrammen, den færdige luftsolfangerprøvestand samt prøvestanden påmonteret luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S og pyranometer til måling af den totale solbestrålingsstyrke på solfangeren.

Toppladens overfladen let kan ændres. Den har formodentlig betydning, f.eks. ved afprøvning af åbne solfangere hvor udeluften passerer hen over pladens overflade. Overfladens farve har indflydelse på solfangerens effektivitet og indflydelsen af f.eks. et sort tag eller en hvid facade kan undersøges. Endvidere er det let at montere en ny solfanger med andre dimensioner på toppladen da beslag let flyttes.

Toppladen kan anvendes til test af både åben og lukket solfanger, se opstalt af toppladen samt lodret snit i toppladen i Figur 4. I figuren er solfangeren vist monteret med udløb i toppen og pilene viser luftens strømningsretning, men prøvestanden er bygget så solfangeren også kan monteres med udløb i bunden og dermed vil luftens strømningsretning være modsat og pilene vende den modsatte ved.

I Figur 5 er luftkanalsektionen med temperaturfølere vist. De 5 termoelementer vist på opstalten af toppladen i Figur 4 er vist som fotos i Figur 6 og Figur 7. Figur 8 viser bagsiden af toppladen med to inspektionslemme.

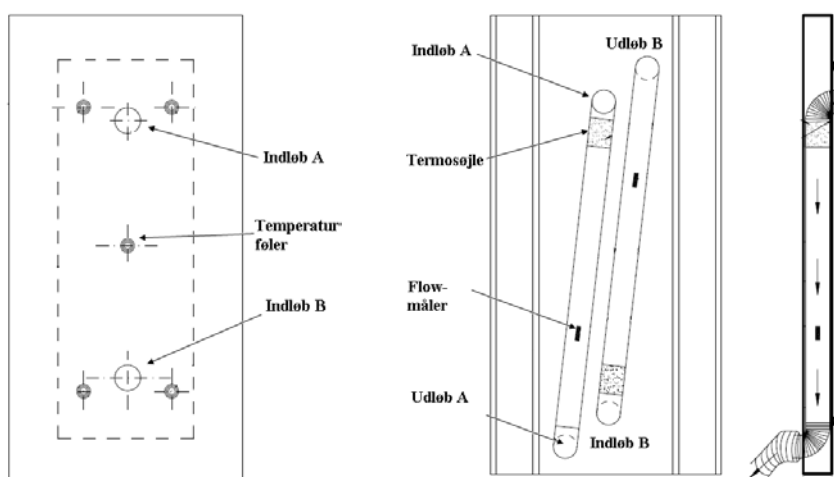
Luftsolfangere har ofte en indbygget ventilator, og driftsområdet er specificeret af fabrikanten. Er der ikke en indbygget ventilator foreskriver normen at luftsolfangeren bør afprøves ved tre forskellige volumenstrømme ligeligt fordelt i intervallet 30-300 kg/h/m<sup>2</sup> transparent solfangerareal. Uanset om luftsolfangeren har indbygget ventilator eller ej, er der behov for en kraftig ventilator når effektiviteten som funktion af volumenstrømmen ønskes undersøgt. Figur 9 viser fotos af den eksterne ventilator samt en trinløs spændingsregulator til styring af ventilatoren.



Figur 2. Opstalt(venstre) og tværsnit af metalramme på tagkonstruktion (midt) samt tværsnit af hele solfangerprøvestanden (højre).



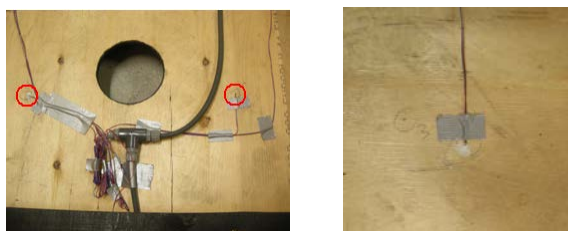
Figur 3. Foto af metalrammen (venstre), hele luftsolfangerprøvestanden (midt) samt prøvestanden med luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S og pyranometer monteret (højre).



Figur 4. Opstalt af topplade med 5 temperaturfølere fordelt på pladens forside (venstre), den indvendige opbygning af toppladen (midt) samt et lodret snit i topplade (højre).



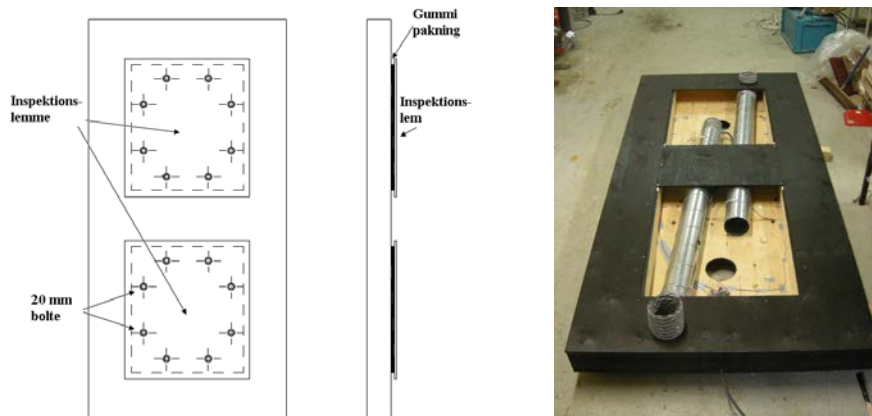
Figur 5. Luftkanal med temperaturfølere. Termoelmenttråd type TT er anvendt til temperaturmålinger. Temperaturføleren PT 100 til højre i figuren anvendes til temperaturkorrektion af volumenstrømmen.



Figur 6. Fotos af termosøjlen med de 5 termoelementer der er ført til forsiden af toppladen (venstre) samt hvorledes et termoelement er ført igennem pladen.



Figur 7. Fotos af termoelementerne på forsiden af toppladen, hvor de yderste 20 cm af termoelementer er viklet i en spiral.



Figur 8. Inspektionslemme på bagsiden af toppladen.



Figur 9. Trinløs spændingsregulering, Lübcke Vario type R54-260B / 0-260 Volt (venstre) og ventilator (højre).

## 4.2 Måleudstyr

Måleudstyret der benyttes kan ses i Tabel 1. Som det fremgår af tabellen er det ikke alle relevante størrelser, nævnt i solfangernormen der måles. Figur 10 viser fotos af microprocessor samt volumenstrømsmåler og Figur 11 viser fotos af kondensopsamlere der anvendes til at beskytte microprocessoren i volumenstrømsmåleudstyret.



Tabel 1. Måleudstyr til luftsolfangereprøvestanden.

Micatrone MF-PFTT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microprocessor der måler volumenstrømmen (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>) baseret på differensstrykket over flowmåleren (MFS) og foretager temperaturkompensation.</li> <li>- PT100 føler til temperaturkompensation</li> </ul>
Micatrone MFS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumenstrømmåler</li> </ul>
Micatrone VM-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kondensfælde / kondensopsamler, se Figur 11</li> </ul>
Kipp & Zonn, CM11	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pyranometer til måling af solbestrålingsstyrken (<math>\text{Wm}^{-2}</math>)</li> </ul>
Termoelementtråd type TT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperaturføler (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</li> </ul>
Termosøjle type TT med 5 målepunkter. Målepunkterne er placeret i luftkanal med temperaturfølere vist i Figur 5 samt på oversiden af topladen vist i Figur 4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperaturdifferensmåling (K)</li> </ul>



Figur 10. Microprocessor, Micatrone MF-PPFTT (venstre) og Volumenstrømmåler, Micatrone MFS (højre).



Figur 11. Kondensfælde/kondensopsamler

### 4.3 Datalogger

Figur 12 viser dataloggeren, type EdgeBox V12. Alle målinger bliver optaget af dataloggeren. Dataloggeren er batteridrevet og har indbygget hukommelse. Der opnås adgang til data på dataloggeren med en kabelforbindelse mellem dataloggeren og en bærbar computer med softwaren EMS32 installeret. Softwaren kan downloades fra internettet gratis.



Figur 12. Datalogger type EdgeBox V12 (venstre) og kontrolboksen til luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S. Kontrolboksen får strøm fra det indbyggede PV-modul ligesom den i SV14 indbyggede ventilator.



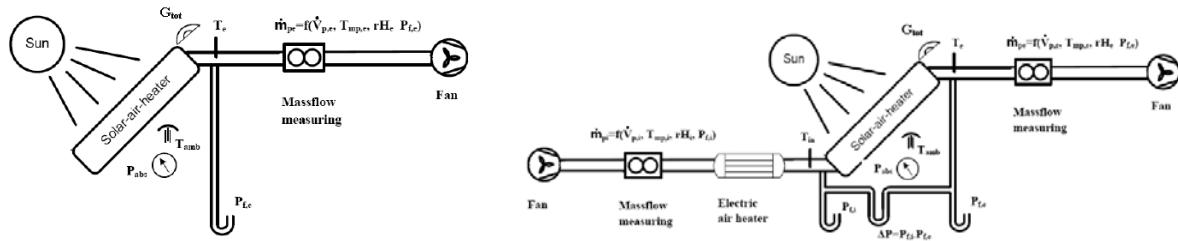
Figur 13. Micatrone microprocessor, MF-PFTT (venstre) og måleopstillingen (højre).

## 5 Den Europæiske solfangernorm EN 12975

Luftsolfangere afprøves i henhold til den europæiske solfangernorm, EN 12975 del 1 og 2 fra 2006 samt udkast til norm for luftsolfangere som baserer sig på solfangernormen. Prøvebetingelserne i det udkast der foreligger i efteråret 2011 er anvendt ved afprøvningen af luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S.

Luftsolfangere findes i to versioner, som åbne solfangere der opvarmer frisk udeluft eller som solfangere der indgår i lukkede kredsløb. I Figur 14 er der vist eksempler på hvorledes prøvestande med måleudstyr kan tage sig ud. Det er tydeligt at det er mere kompliceret at måle på en luftsolfanger i et lukket kredsløb end en åben luftsolfanger. Endvidere gælder at overfladen hvorpå solfangeren ligger, skal være hvid.

Prøvestanden på DTU Byg ser indtil videre ud som principskiten til venstre i Figur 14. Bemærk at overfladen på toppladen ikke er hvid som forskrevet i normen, men sort. Dette kan bevirke at luften der suges ind i solfangeren er varmere end omgivelsestemperaturen og dermed er der risiko for at der måles en for høj solfangereffektivitet når solfangereffektiviteten baseres på forskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og omgivelsestemperaturen.



Figur 14. Test af åben luftsolfanger (venstre) og i lukket kredsløb (højre).

De målinger der er behov for når effektiviteten af luftsolfangere skal bestemmes er vist i Tabel 2.

Tabel 2. Nødvendige målinger til bestemmelse af effektiviteten af luftsolfangere.

Åbent kredsløb	Lukket kredsløb
Omgivelsestemperatur ( $t_{omg}$ )	Omgivelsestemperatur ( $t_{omg}$ )
Det absolutte lufttryk i omgivelserne ( $P_{atm}$ )	Det absolutte lufttryk i omgivelserne ( $P_{atm}$ )
Den relative fugtighed i udeluften ( $\Phi$ )	Den relative fugtighed i udeluften ( $\Phi$ )
Solbestrålingsstyrken på solfangeren ( $G$ )	Solbestrålingsstyrken på solfangeren ( $G$ )
Vindhastighed ved solfangeren ( $v_{vind}$ )	Vindhastighed ved solfangeren ( $v_{vind}$ )
Temperatur ved udløb fra solfangeren ( $t_{ud}$ ). Indløbstemperaturen er omgivelsestemperaturen.	Temperatur ved indløb til og udløb fra solfangeren ( $t_{ind}, t_{ud}$ )
Volumenstrømmen ved udløb fra solfangeren ( $v_{ud}$ )	Volumenstrømmen ved indløb til og udløb fra solfangeren ( $v_{ind}, v_{ud}$ )
Der er ikke behov for at kende det statiske tryk ved indløb til og udløb fra solfangeren. Det er tilstrækkeligt at kende atmosfæretrykket ( $P_{atm}$ )	Det statiske tryk ved indløb til og udløb fra solfangeren ( $P_{statisk, ind}, P_{statisk, ud}$ )
Den relative fugtighed i luften ved indløb til solfangeren er den relative fugtighed i udeluften ( $\Phi$ ).	Den relative fugtighed i luften ved indløb til og udløb fra solfangeren ( $\Phi_{ind}, \Phi_{ud}$ )

Ved bestemmelse af solfangereffektivitet skal nedenfor listede normkrav til vejrforhold og måleperiode overholdes:

- Total solbestrålingsstyrke  $> 700 \text{ Wm}^{-2}$
- Diffus bestrålingsstyrke  $< 30 \%$  af total solbestrålingsstyrke
- Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor  $\pm 2 \%$  i forhold til værdi ved vinkelret solindfald. Dette svarer til en indfaldsvinkel  $< 20^\circ$
- Måleperiode = 15 minutter
- Konditioneringsperiode = 1,5 gange solfangerens tidskonstant, dog mindst 20 minutter.

Endvidere må der ikke forekomme for store variationer i de målte størrelser i en måleperiode. Tabel 3 viser hvor store afvigelser fra måleperiodens middelværdier der tillades i en måleperiode.

Tabel 3. Maksimalt tilladte variationer på målte størrelser.

Parameter	Tilladt afvigelse fra middelværdi
Total solbestrålingsstyrke, G	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Omgivelsestemperatur, $t_{\text{omg}}$	$\pm 1,5 \text{ K}$
Massestrøm, m	$\pm 2 \%$
Indløbstemperatur, $t_{\text{ind}}$	$\pm 1 \text{ K}$
Udløbstemperatur, $t_{\text{ud}}$	$\pm 1 \text{ K}$

## 5.1 Bestemmelse af effektiviteten

Der er forskel på hvorledes effektiviteten bestemmes for luftsolfangere i åbne og i lukkede kredsløb. I lukkede kredsløb skal der tages hensyn til solfangerens tæthed og dermed om der forekomme infiltration.

Effektiviteten  $\eta$  bestemmes som effekten der produceres i solfangeren Q delt med effekten der rammer solfangeren,  $G \cdot A$

$$\eta = Q / (G \cdot A) \quad (\text{Lign. 1})$$

$$Q = (v_{\text{ud}} \cdot \rho_{\text{ud}} \cdot c_{\text{pf,ud}} \cdot t_{\text{ud}}) - (v_{\text{ind}} \cdot \rho_{\text{ind}} \cdot c_{\text{pf,ind}} \cdot t_{\text{ind}}) - ((v_{\text{ud}} \cdot \rho_{\text{ud}} - v_{\text{ind}} \cdot \rho_{\text{ind}}) \cdot c_{\text{pf,omg}} \cdot t_{\text{omg}}) \quad [\text{W}] \quad (\text{Lign. 2})$$

I åbne kredsløb foregår luftstrømmen netop ved infiltration. Dermed kan teorien forenkles og effekten der produceres i solfangeren reduceres

$$Q = v \cdot \rho \cdot (c_{\text{pf,ud}} \cdot t_{\text{ud}} - c_{\text{pf,ind}} \cdot t_{\text{ind}}) \quad [\text{W}] \quad (\text{Lign. 3})$$

$$t_{\text{ind}} = t_{\text{omg}} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Materialeparameterne densiteten  $\rho$  og varmekapaciteten for den fugtige luft  $c_{\text{pf}}$  er afhængige af temperaturen  $t$ , vandindholdet i luften  $x$  samt lufttrykket  $P_t$  og bestemmes i det efterfølgende.

Densiteten  $\rho$  bestemmes ved temperaturen  $t$  ved flowmåleren, som er placeret efter udløbet fra solfangeren

$$\rho = (1 + x/1000) / (R_L + x/1000 \cdot R_D) \cdot (P_{\text{atm}} + P_f) / t_{\text{ud}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (\text{Lign. 4})$$

Den specifikke varmekapacitet for fugtig luft  $c_{\text{pf}}$  bestemmes som tilvæksten i entalpi  $I$  mellem ind- og udløb divideret med forskellen i temperatur  $t$  mellem ind- og udløb, dvs. hældningen på entalpikurven

$$c_{\text{pf}} = (I_{\text{ud}} - I_{\text{ind}}) / (t_{\text{ud}} - t_{\text{ind}}) \quad [\text{kJ/kgK}] \quad (\text{Lign. 5})$$

$c_{\text{pf}}$  er dermed den samme ved ind- og udløb idet vandindholdet i den indstrømmende luft er det samme som vandindholdet i den udstrømmende luft og udtrykket for effektiviteten kan derfor omskrives til

$$\eta = Q / (G \cdot A) = v \cdot \rho \cdot c_{pf} \cdot (t_{ud} - t_{ind}) / (G \cdot A) \quad (\text{Lign. 6})$$

Entalpi ved indløb til solfangeren  $I_{ind}$ :

Vanddamps mætningstryk ved indløb til solfangeren  $P_{s,ind}$  afhænger af indløbstemperaturen  $T_{ind}$

$$P_{s,ind} = \exp(77,345 + 0,0057 \cdot T_{ind} - 7235 / T_{ind}) / (T_{ind})^{8,2} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{Lign. 7})$$

Ved den relative fugtighed  $\Phi$  og totaltrykket i atmosfæren  $P_{atm}$  er vandindholdet  $x_{ind}$

$$x_{ind} = 0,6222 \cdot \Phi \cdot P_{s,ind} / (P_{atm} - \Phi \cdot P_{s,ind}) \quad [\text{kg/kg(tør luft)}] \quad (\text{Lign. 8})$$

Enthalpien for den fugtig indløbsluft  $I_{ind}$  er

$$I_{ind} = 1,01 \cdot t_{ind} + x \cdot (2500 + 1,84 \cdot t_{ind}) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (\text{Lign. 9})$$

Entalpi ved udløb fra solfangeren:

Vanddamps mætningstryk ved udløb fra solfangeren  $P_{s,ud}$  afhænger af udløbstemperaturen  $T_{ud}$

$$P_{s,ud} = \exp(77,345 + 0,0057 \cdot T_{ud} - 7235 / T_{ud}) / (T_{ud})^{8,2} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{Lign. 10})$$

Idet der ikke tilføres fugt til luften ved gennemløb i solfangeren er vandindholdet ved indløb i solfangeren  $x_{ind}$  også vandindholdet ved udløb fra solfangeren  $x_{ud}$

$$x_{ind} = x_{ud} \dots [\text{kg/kg(tør luft)}] \quad (\text{Lign. 11})$$

Enthalpien for den fugtige udløbsluft  $I_{ud}$  er

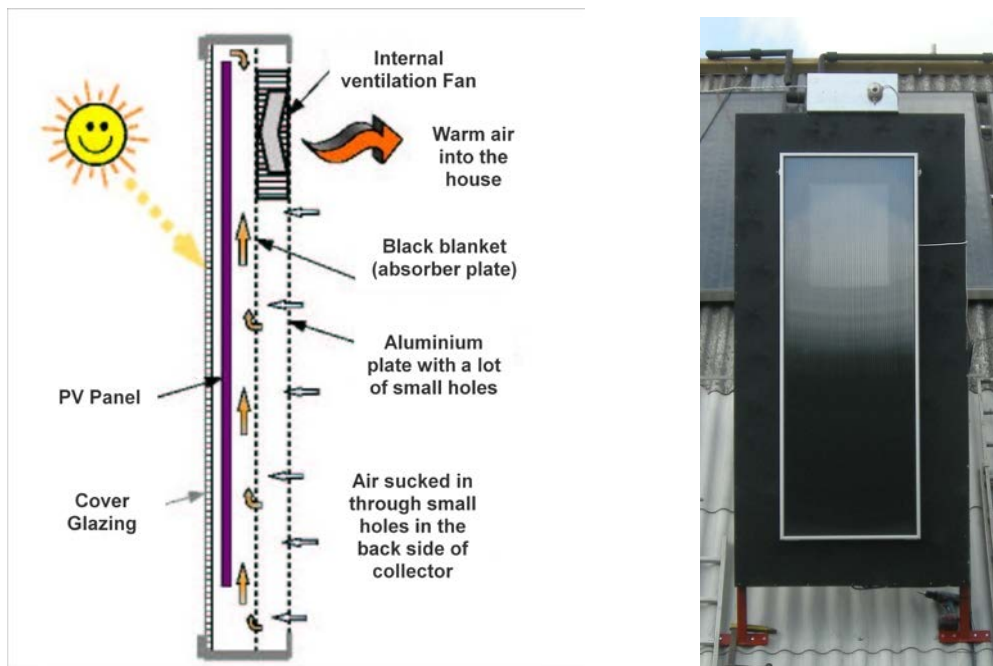
$$I_{ud} = 1,01 \cdot t_{ud} + x_{ud} \cdot (2500 + 1,84 \cdot t_{ud}) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (\text{Lign. 12})$$

## 5.2 Afprøvning af SV14 fra SolarVenti A/S

### 5.2.1 Beskrivelse af luftsolfangeren

Figur 15 viser en principskitse og et funktionsdiagram for luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S samt et foto af solfangeren monteret på prøvestanden. Figuren viser også at pyranometeret der måler solbestrålingsstyrken på solfangeren er monteret på en metalplade ovenpå prøvestanden. Dette sikrer at orientering og hældning af solfanger og pyranometer altid er den samme.

Luftsolfangeren fra SolarVenti A/S er ikke isoleret med isoleringsmateriale. Den har et dæklag bestående af en polykarbonat kanalplade, der fungerer som transparent isolering på solfangerens forside. Solfangeren fungerer således : Ved hjælp af en ventilator, drevet af et indbygget strømproducerende PV-modul suges frisk udeluft ind gennem bagsiden af solfangeren som består af en aluminiumsplate med små huller fordelt ligeligt over hele pladens areal og videre ind igennem en sort filtduk, der også udgør absorbereren. Udeluften bliver på den måde opvarmet når solen skinner. Ventilatoren blæser opvarmet luft ud gennem en 125 mm åbning på bagsiden af solfangeren.



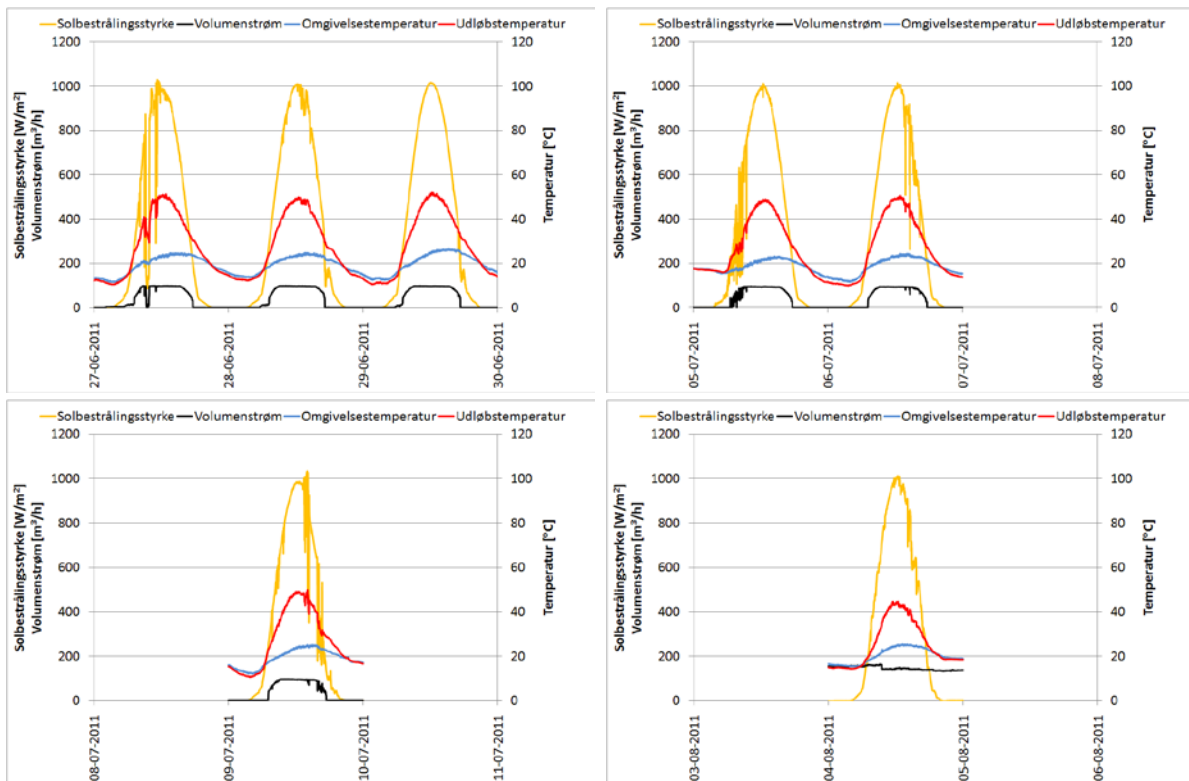
Figur 15. Principskitse og funktionsdiagram af SolarVenti SV14 (venstre) samt monteringen på prøvestanden (højre).

I henhold til fabrikanten kan luftsolfangeren monteres med ventilatoren placeret øverst eller nederst. I øvrigt kan solfangeren vendes 90°, så ventilatoren enten er placeret til højre eller venstre i solfangeren. Ved afprøvningen på DTU er ventilatoren placeret i toppen af luftsolfangeren som vist på Figur 15.

### 5.2.2 Driftsbetingelser i måleperioden

Figur 16 viser driftsbetingelserne på de dage i måleperioden hvor kravene i normen kan overholdes og effektiviteten af luftsolfangeren kan bestemmes. Værdierne der vises er solbestrålingsstyrke ( $W/m^2$ ),

volumenstrøm ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), omgivelsestemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) samt udløbstemperatur fra solfangeren ( $^{\circ}\text{C}$ ). Bemærk at omgivelsestemperaturen er lig solfangerens indløbstemperatur.



Figur 16. Driftsbetingelser ved bestemmelse af effektiviteten af luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S.

### 5.2.3 Termisk effektivitet

Resultaterne fra prøvningen kan ses i Tabel 4. Det er ikke muligt at optegne effektivitetskurver for luftsolfangere der anvender udeluften direkte som det er tilfældet her, men blot effektivitetspunkter ved forskellige driftsbetingelser.

Effektivitetsudtrykket er givet i Lign. 1 og Lign. 3. Den reducerede temperaturdifferens  $T^*$  og middeltemperaturen i luftsolfangeren er beregnet som:

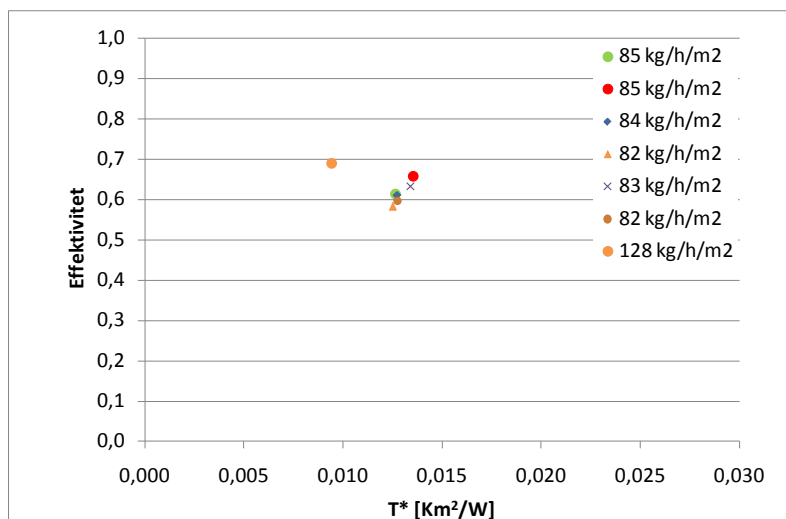
$$T^* = (t_m - t_{\text{omg}}) / G \quad [\text{K} \cdot \text{m}^2 / \text{W}] \quad (\text{Lign. 13})$$

$$t_m = (t_{\text{ud}} + t_{\text{ind}}) / 2 = (t_{\text{ud}} + t_{\text{omg}}) / 2 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{Lign. 14})$$

Effektiviteten af solfangeren som funktion af den korrigerede temperaturdifferensen er vist i Figur 17.

Tabel 4. Måledata til bestemmelse af termisk luftsolfangereffektivitet.

Dato	Time	Solbe- strålings- styrke [W/m <sup>2</sup> ]	Omgivelses- temperatur [°C]	Udløbs- tempera- tur [°C]	Volumen- strøm [m <sup>3</sup> /h]	Warme- effekt [W]	Korrigeret tempera- tur T* [K*m <sup>2</sup> /W]	Effek- tivitet [-]
27-06-11	12:25 – 13:59	943	23,7	49,2	96,8	789	0,0136	0,658
28-06-11	11:00 – 12:59	991	23,3	48,4	96,3	762	0,0127	0,613
29-06-11	11:33 – 13:59	983	25,3	50,2	96,0	759	0,0127	0,610
05-07-11	11:35 – 13:46	977	21,9	48,1	94,8	782	0,0134	0,632
06-07-11	11:00 – 13:32	989	23,4	49,3	94,3	745	0,0128	0,597
09-07-11	11:21 – 13:29	976	24,0	48,3	93,8	716	0,0125	0,583
04-08-11	11:07 – 13:37	961	24,5	42,5	143,1	834	0,0094	0,689



Figur 17. Målepunkter for luftsolfangerens termiske effektivitet.

## 6 Konklusion

Der er opbygget en prøvestand til luftsolfangere og den er med succes benyttet til afprøvning at en luftsolfanger type SV14 fra SolarVenti A/S.



## 7 Symbolliste

$G$	Solbestrålingsstyrke på solfanger [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
$A$	Transparent areal af solfanger [ $\text{m}^2$ ]
$Q$	Effekten fra solfangeren [ $\text{W}$ ]
$v_{\text{vind}}$	Vindhastighed ved solfanger [ $\text{m}/\text{s}$ ]
$m$	Massestrøm [ $\text{kg}/\text{h}$ ]
$v$	Volumenstrøm i solfangeren [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
$v_{\text{ind}}$	Volumenstrøm ind i solfangeren [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
$v_{\text{ud}}$	Volumenstrøm ud af solfangeren [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
$\rho$	Densitet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$\rho_{\text{ind}}$	Densitet ved indløb i solfangeren [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$\rho_{\text{ud}}$	Densitet ved udløb fra solfangeren [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$c_{\text{pl}}$	Specifik varmekapacitet for tør luft [ $1,01 \text{ kJ}/\text{kgK}$ ]
$c_{\text{pv}}$	Specifik varmekapacitet for tør mættet vanddamp [ $1,84 \text{ kJ}/\text{kgK}$ ]
$c_{\text{pf}}$	Specifik varmekapacitet for fugtig luft [ $\text{kJ}/\text{kgK}$ ]
$c_{\text{pf,ind}}$	Specifik varmekapacitet for fugtig luft ved indløb i solfangeren [ $\text{kJ}/\text{kgK}$ ]
$c_{\text{pf,ud}}$	Specifik varmekapacitet for fugtig luft ved udløb fra solfangeren [ $\text{kJ}/\text{kgK}$ ]
$\Phi$	Relativ fugtighed [%,-]
$\Phi_{\text{ind}}$	Relativ fugtighed ved indløb i solfangeren [%,-]
$\Phi_{\text{ud}}$	Relativ fugtighed ved udløb fra solfangeren [%,-]
$P_{\text{statisk,ind}}$	Statisk tryk ved indløb til solfanger [ $\text{Pa}$ ]
$P_{\text{statisk,ud}}$	Statisk tryk ved udløb fra solfanger [ $\text{Pa}$ ]
$P_{\text{s,ind}}$	Tryk for mættet vanddamp ved indløb til solfanger [ $\text{Pa}$ ]
$P_{\text{s,ud}}$	Tryk for mættet vanddamp ved udløb til solfanger [ $\text{Pa}$ ]
$P_{\text{atm}}$	Det absolutte tryk, atmosfæretrykket [ $\text{Pa}$ ]
$P_{\text{f}}$	Tryktabet i solfangeren [ $\text{Pa}$ ]
$R_{\text{L}}$	gaskonstant for luft [ $287,1$ ]
$R_{\text{D}}$	gaskonstant for vanddamp [ $461,4$ ]
$l_{\text{ud}}$	Entalpi for fugtig luft ved udløb [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ]
$l_{\text{ind}}$	Entalpi for fugtig luft ved indløb [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ]
$T_{\text{omg}}$	Omgivelsestemperatur [ $\text{K}$ ]
$x_{\text{ind}}$	Vandindholdet ved indløb i solfangeren [ $\text{kg}/\text{kg}(\text{tør luft})$ ]
$x_{\text{ud}}$	Vandindholdet ved udløb fra solfangeren [ $\text{kg}/\text{kg}(\text{tør luft})$ ]
$T_{\text{ind}}$	Temperatur ved indløb til solfanger [ $\text{K}$ ]
$T_{\text{ud}}$	Temperatur ved udløb fra solfanger [ $\text{K}$ ]
$t_{\text{omg}}$	Omgivelsestemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_{\text{ind}}$	Temperatur ved indløb til solfanger [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_{\text{ud}}$	Temperatur ved udløb fra solfanger [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_{\text{m}}$	Middeltemperatur i solfanger [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\tau$	Solfangerens tidkonstant [ $\text{s}$ ]

## 8 Referencer

- [1] EN 12975-1:2006. Thermal solar systems and components - Solar collectors - Part 1. CEN publication date 2006-03-29
- [2] EN 12975-2:2006. Thermal solar systems and components - Solar collectors - Part 2. CEN publication date 2006-03-29

**DTU Byg**  
**Institut for Byggeri og Anlæg**  
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Tlf. 45 25 17 00

[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

**ISBN 9788778773371**