

Effektivitet af luft/væskesolfanger

Sagsrapport
BYG·DTU SR-07-07
2007
ISSN 1601 - 8605

Effektivitet af luft/væskesolfanger

Jørgen M. Schultz og Simon Furbo

Indholdsfortegnelse

Introduktion	6
Baggrund	6
Beskrivelse af luft/væskesolfangeren	7
Bestemmelse af effektivitet	8
Målinger kun med luft	9
Målinger kun med væske	10
Målinger med både luft- og væskegennemstrømning	12
Forslag til mulige forbedringer af solfangeren	13
Vurdering af luftsolfangerens evne til at sænke luftfugtigheden	14
Opstilling af husets varmebalance	15
Opstilling af husets fugtbalance	15
Beskrivelse af bygningsmodellen for sommerhuset	17
Simuleret effekt af luftsolfangerens udtørrende virkning	18
Konklusion	19
Referencer	20

Introduktion

Som en del af Energiforskningsprojektet "Kvalitetssikring af solvarmeanlæg", EFP-05/33036-0006, som finansieres af Energistyrelsen og gennemføres i et samarbejde mellem PlanEnergi, BYG.DTU, DS, SBI, Ellehauge & Kildemoes og Dansk Solvarme Forening, yder BYG.DTU assistance til fabrikanten med det formål at udvikle nye og bedre produkter.

Fabrikanten stillede ved projektets start forslag om 9 projekter, som de ønskede at gennemføre i et samarbejde med BYG.DTU. På grund af projektets begrænsede resurser var det nødvendigt at begrænse antallet af projekter til to. De to gennemførte projekter, som blev udvalgt af projektledelsens prioriteringsgruppe, er: "Effektivitet af luft-/væskesolfanger", som gennemføres i et samarbejde med Aidt Miljø A/S og "Optimal kappebeholder til små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning", som gennemføres i et samarbejde med Nilan A/S og METRO THERM A/S. Denne rapport beskriver førstnævnte projekt.

Baggrund

Aidt Miljø A/S har haft stor succes med udvikling og salg af luftsolfangere til sommerhuse, hvor luftsolfangerens primære opgave er at ventilere sommerhuset med opvarmet udeluft når solen skinner. Sammenfaldet mellem ventilation og solindfald har den fordel, at der dermed kan ske en udtørring af sommerhuset, idet opvarmningen af luften i huset medfører en reduktion i luftens relative fugtighed, hvorved adsorberet fugt i vægge, møbler, tæpper etc. frigives til rumluften og ventileres bort. Derved oplever beboerne, at sommerhuset virker friskt og tørt uden den typiske indelukthed man ellers møder efter at huset har været lukket ned i længere tid.

Ventilatoren i solfangeren drives af et indbygget PV-modul, hvilket bevirker, at ventilatoren kun kører når solen skinner og, at driften af solfangeren er helt gratis.

Imidlertid er der generelt ikke behov for luftsolfangerens udtørrende og opvarmende effekt om sommeren, når sommerhuset er i brug, hvorimod der vil være behov for varmt brugsvand eller varme til en swimmingpool. Derfor kan en kombineret luft- og væskesolfanger forøge brugsværdien af solfangeren specielt i sommermånederne.

Derfor har Aidt Miljø A/S ønsket at få målt effektiviteten af en kombineret luft- og væskesolfanger med henblik på at identificere eventuelle forbedringsmuligheder. Derudover har det også været et ønske, at få en vurdering af udtørringseffekten i et typisk sommerhus ved installation af luft/væskesolfangeren.

Beskrivelse af luft/væskesolfangeren

Luft/væskesolfangerens opbygning fremgår af figur 1 og figur 2.

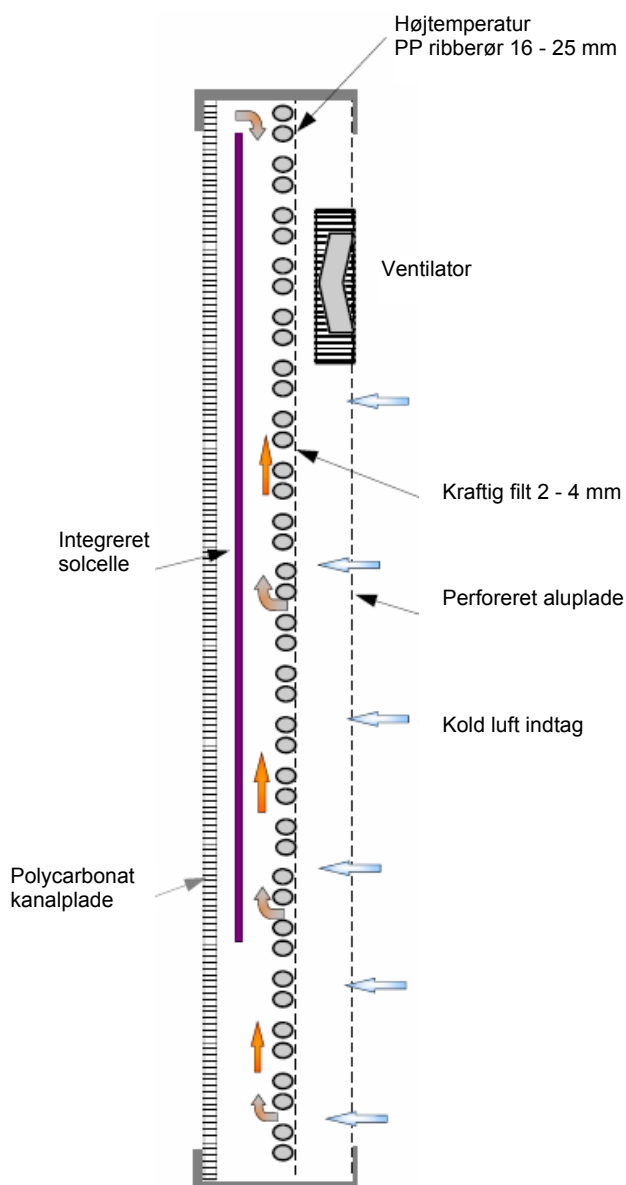


Figur 1. Foto af luft/væskesolfanger før montering af dæklag.

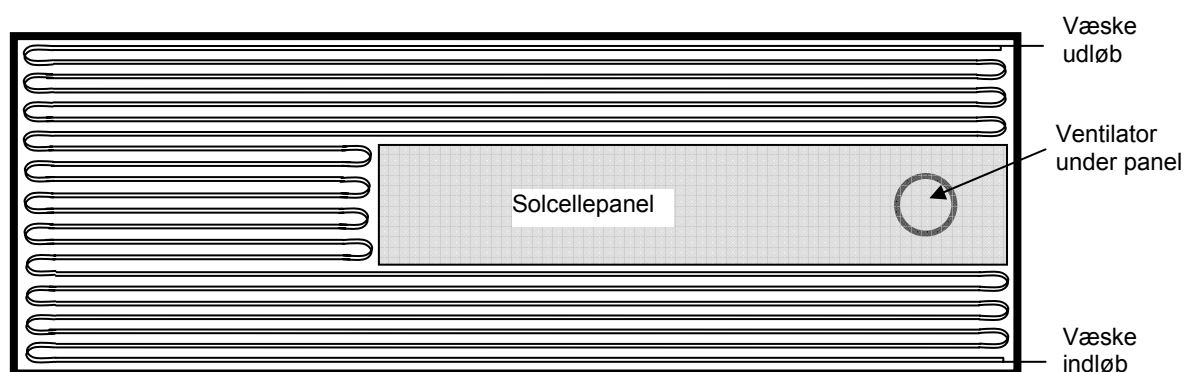
En ventilator koblet til den integrerede solcelle trækker udeluft ind gennem solfangerens bagside, der består af en perforeret aluminiumsplade. Luften passerer derefter gennem en kraftig sort filt, der sammen med de sorte ribberør og til dels solcellemodul udgør solfangerens absorber. Den opvarmede luft suges derefter ud gennem ventilatoren og blæses ind i sommerhuset gennem en aluminium flexslange der afsluttes med et indblæsningsarmatur.

Væske kredsen er opbygget af sorte PP ribberør, der for en kortere periode kan tåle op til ca. 140 °C. Der kan enten anvendes vand eller vand/glykol i væske kredsen afhængig af, om væsken tømmes af før vinteren. Cirkulationspumpen kan eventuelt drives af solcellemodul. Af hensyn til temperaturerne ved stagnation anbefales det, at solfangeren monteres liggende med en hældning større end 60°.

Luft/væskesolfangeren der er anvendt til bestemmelse af effektivitetsudtrykkene har et transparent areal på 3 m². Solcellemodul har et areal på ca. 0,7 m² og en mærkeeffekt på 24 W. Figur 3 viser en principskitse af solfangeren set forfra.



Figur 2. Skematisk tværsnit i luft/væskesolfangeren.



Figur 3. Principskitse af væske/luftsolfangeren set forfra.

Bestemmelse af effektivitet

Til bestemmelse af effektivitetsudtrykkene for luft/væskesolfangeren blev denne monteret med en hældning på 60° på et tag med fladeazimuth = 10° (figur 4).



Figur 4. Billede af væske/luftsolfanger monteret på tag under prøvningen.

Der er gennemført følgende målinger:

- Målinger med 3 forskellige luftmængder (50, 100 og 150 m³/h) uden cirkulation af væske.
- Målinger uden luftgennemstrømning, men med cirkulation af væske (1,2 l/min/m²) med indløbstemperaturer på hhv. 25 °C, 45 °C, 55 °C og 65 °C ved en udetemperatur på ca. 20 °C.
- Målinger med 3 forskellige luftmængder (50, 100 og 150 m³/h) og cirkulation af væske (1,2 l/min/m²) med indløbstemperaturer på ca. 27 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C og 60 °C ved en udetemperatur på 23 – 25 °C.

Luftmængden blev målt med en flowmåler med pitotrør koblet til ventilatorens trykside via en kort kanalstrækning. Flowmåleren blev tilsluttet en tryktransducer, så kontinuerlige målinger kunne lagres elektronisk. Opvarmningen af luften gennem solfangeren blev målt med en termosøjle hvis ene ende var skærmet og placeret i skyggen på en nordvendt væg (udetemperatur) mens den anden ende var monteret i den korte kanalstrækning lige efter afkastet fra ventilatoren.

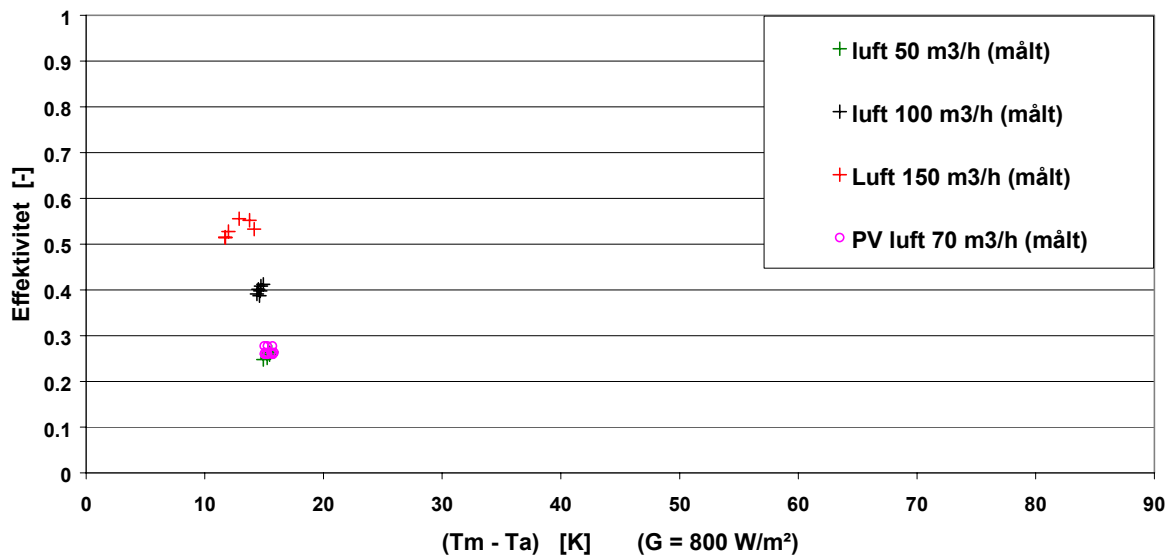
Indledningsvis blev der udført en måling med den luftmængde, som den solcelledrevne ventilator kunne yde, hvilket viste sig at være væsentlig mindre end forventet fra fabrikantens side. Det viste sig, at ventilatorydelsen i form af luftvolumenstrøm var meget følsom overfor selv små forøgelser af tryktabet i kanalstrækninger, bøjninger og måleblænde på ventilatorens trykside. Det blev derfor besluttet, at tilslutte en ekstern regulerbar ventilator, så effektiviteten kunne findes ved forskellige luftvolumenstrømme.

Målinger kun med luft

Resultaterne udelukkende med luftgennemstrømning viser at jo højere luftmængde jo bedre effektivitet (figur 5), idet luftvolumenstrømmen kun i begrænset omfang påvirker afkasttemperaturen. Årsagen hertil kan være en mindre god flowfordeling i solfangeren ved de lavere luftvolumenstrømme, hvor der kan være mulighed for, at der dannes en varm luftpude øverst i solfangeren.

Ud over målingerne ved de 3 faste luftvolumenstrømme viser figur 3 også resultatet af en måling, hvor det udelukkende er den solcelledrevne ventilator der trækker luft gennem solfangeren – "PV luft 70 m³/h (målt)". I figur 5 ligger effektiviteten ved 50 m³/h og effektiviteten ved 70 m³/h næsten på samme niveau.

Effektivitetskurver for Aidt SV30 Hybrid T_m bestemt ud fra lufttemperaturer



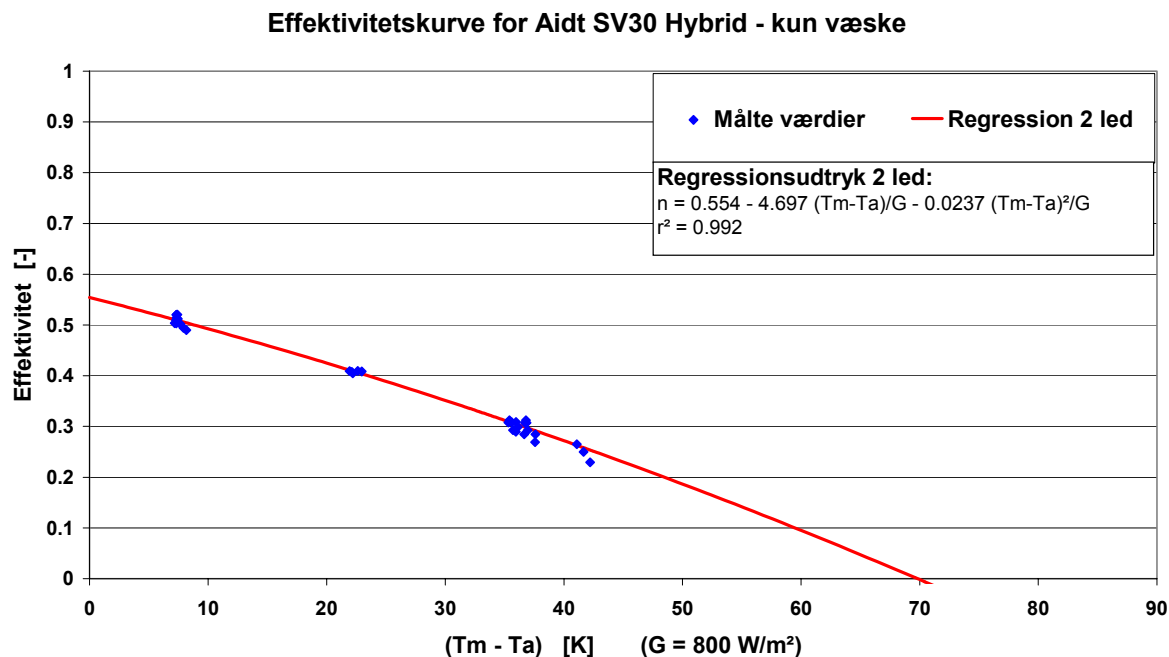
Figur 5. Målt effektivitet, hvor solfangeren kun anvendes som luftsolfanger.

Luftmængden, som den PV forsynede ventilator kan trække gennem solfangeren, er meget afhængig af tryktabet i hele systemet, hvorfor dette må ofres stor opmærksomhed ved installationen – både med hensyn til kanalføring og indblæsningsarmatur, men også med hensyn til, at den indblæste luftmængde også skal have let ved at komme ud af huset igen.

Målinger kun med væske

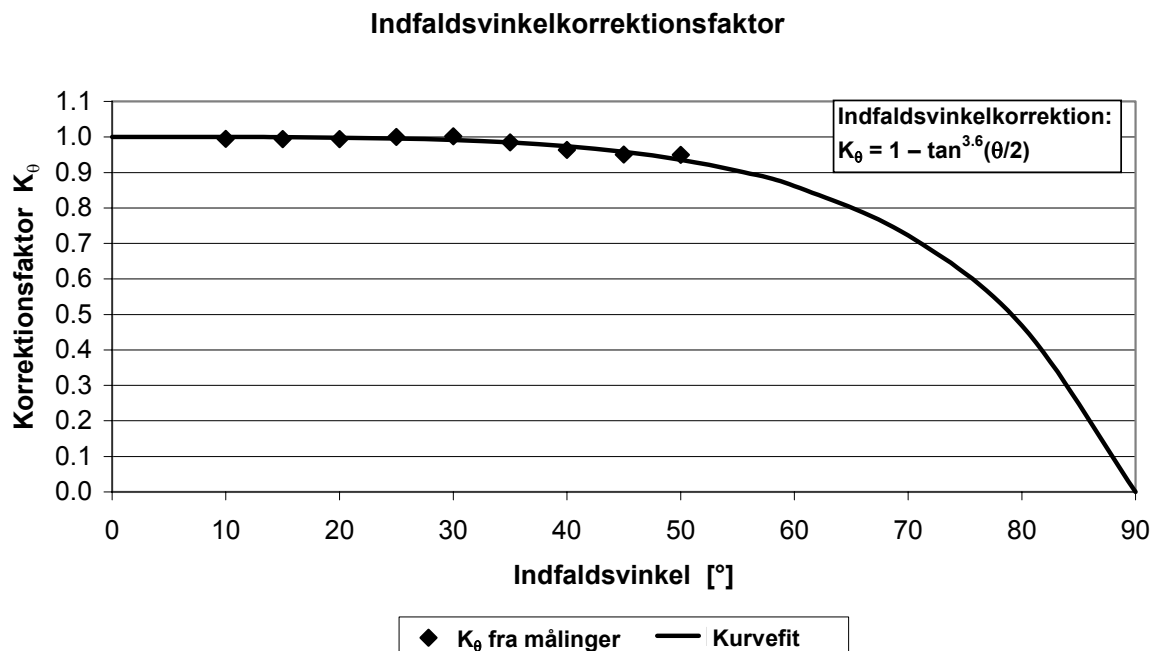
Resultatet fra målingerne kun med væske er vist i figur 6. Baseret på målingerne ved de 4 forskellige væskefremløbstemperaturer er der ved regression fundet et 2. ordens effektivitetsudtryk, der også fremgår af figur 6. Starteffektiviteten ligger på 0,55.

Ved udregning af effektivitetsudtrykket er der anvendt det transparente areal af solfangeren, hvilket kan diskuteres, idet absorberarealet relateret til væskeopvarmningen er væsentlig mindre end det transparente areal. Imidlertid vil anvendelse af et andet areal end det transparente areal ikke kunne anvendes i tilfældet med både væske- og luftgennemstrømning i solfangeren. Endelig er det også sådan, at solfangerarealet defineres i henhold til EN 12975-2.



Figur 6. Solfangereffektivitet ved en indfaldsvinkel på 0° for væskesolfanger alene.

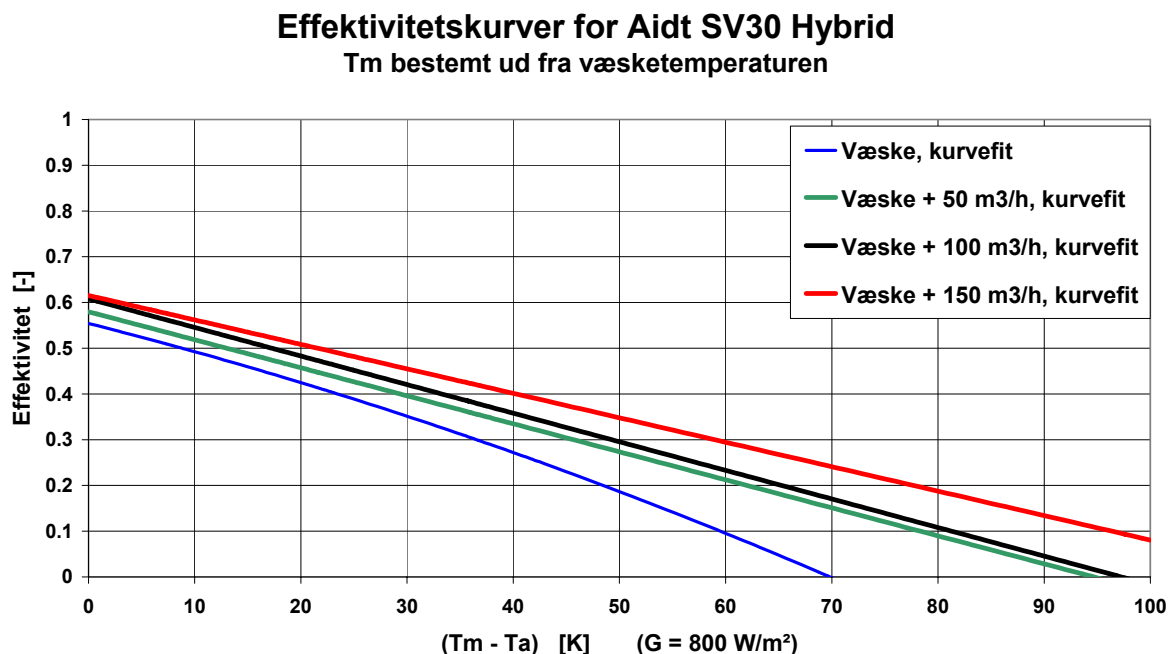
Målinger ved en fremløbstemperatur på ca. 25 °C (punkterne til venstre i figur 4) er anvendt til bestemmelse af indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren, figur 7, som er fundet til 3,6 (tangensrelation). Værdien svarer til tidligere målinger udført på samme type dæklag [1].



Figur 7. Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor.

Målinger med både luft- og væskegennemstrømning

Resultatet af målinger foretaget med kombineret væske- og luftstrømning er vist i figur 8. Væskevolumenstrømmen er holdt konstant på 1,2 l/min/m² mens luftvolumenstrømmen er hhv. 50 m³/h, 100 m³/h og 150 m³/h. Effektiviteten er afbilledet som funktion af temperaturforskellen mellem middel væsketemperatur og udelufttemperaturen, og er beregnet ud fra summen af varmetilførslen til hhv. væsken og luften. Det har ikke ud fra de kombinerede målinger været muligt at opstille et 2. ordens udtryk for effektiviteten, hvorfor figur 8 viser de lineære kurvetilpasninger for de kombinerede målinger.



Figur 8. Samlet solfangereffektivitet ved en indfaldsvinkel på 0°. For målingerne med både luft og væske er væsketemperaturen alene anvendt til bestemmelse af T_m.

De tilsvarende effektivitetsudtryk ved en indfaldsvinkel på 0° er:

$$\text{Væske alene: } \eta = 0,55 - 4,70 (T_m - T_a)/G - 0,024 (T_m - T_a)^2/G$$

$$\text{Væske + 50 m}^3/\text{h: } \eta = 0,58 - 4,90 (T_m - T_a)/G$$

$$\text{Væske + 100 m}^3/\text{h: } \eta = 0,61 - 5,00 (T_m - T_a)/G$$

$$\text{Væske + 150 m}^3/\text{h: } \eta = 0,62 - 4,28 (T_m - T_a)/G$$

Resultatet af målingerne viser en øget effektivitet, når solfangeren anvendes som kombineret luft- og væskesolfanger. Dette stemmer godt overens med opbygningen af solfangeren, hvor luften trækkes ind gennem solfangerens bagside, der er uden isolering. Når luftstrømmen øges reduceres varmetabet mellem absorberen og solfangerens bagside, dels fordi varmetabet ved ledning og konvektion i luften mellem absorber og bagplade elimineres og dels fordi filteren, der udgør absorberen, afkøles mere, jo større luftstrømmen er, med deraf følgende reduktion af strålingsudvekslingen.

Det er tidligere nævnt, at effektivitetsudtrykkene er bestemt ud fra det transparente areal, hvilket resulterer i en reduceret effektivitet på grund af, at det integrerede solcellemodul ikke medvirker til varmeoverføring til væsken og kun i mindre omfang medvirker til opvarmningen af luften i luftsolfangeren. Hvis det ifølge EN 12975-2 var muligt at basere effektiviteten på et effektivt transparent areal eller effektivt absorberareal, hvor der tages hensyn til det integrerede solcellemodul, der andrager ca. 25% af det transparente areal, anslås det, at starteffektiviteten vil blive øget til ca. 0.70 – 0.75.

Forslag til mulige forbedringer af solfangeren

Det blev ved målingerne konstateret, at ventilatorens ydeevne er meget følsom overfor selv relativt små tryktab i kanalføringen på ventilatorens trykside, hvorfor det kunne være en mulighed at finde en ventilator med en bedre karakteristik.

Målingerne ved forskellige luftvolumenstrømme gennem solfangeren viste en meget lille forskel i luftens temperaturstigning, hvilket til dels skyldes en bedre varmeoverføring til luften ved større lufthastigheder men også, at der ved små volumenstrømme sandsynligvis er en mindre god fordeling af luftstrømmen i solfangeren. Det kan betyde, at der kan dannes en varm luftpude øverst i solfangeren, som ikke udnyttes i ventilationsluften. En løsning på dette problem kan være, at ventilatoren flyttes fra en placering midt på solfangeren til en placering i det øverste hjørne. Sandsynligvis vil sådan en placering også resultere i en højere volumenstrøm, da det naturlige drivtryk forårsaget af den opvarmede luft forøges.

Solcellernes placering i solfangeren er meget tæt på ventilatoren, hvilket betyder, at solcellerne i praksis sidder et af de varmeste steder i solfangeren med deraf forringet ydelse. En mulighed for at forbedre ydelsen og dermed måske også at reducere arealet af solcellerne kunne være at flytte solcellerne til det koldeste sted i solfangeren, f.eks. nederst og længst væk fra ventilatoren.

I den nuværende udformning trækkes luften fra bagsiden af solfangeren og op gennem absorberen, hvor den opvarmes, hvorefter den varme luft strømmer mellem absorberen og dæklaget hen til ventilatoren. Herved sker der et væsentlig varmetab gennem dæklaget, der er i direkte kontakt med den varme strømmende luft. Der er ikke nogen form for isolering bag absorberen, hvilket betyder, at der om sommeren, hvor der ikke er behov for den varme luft og ventilatoren stoppes, er et væsentligt varmetab gennem solfangerens bagside. Dette reducerer solfangerens ydelse mht. til opvarmning af varmt brugsvand. En forbedring af effektiviteten kunne opnås ved at vende tilbage til en tidligere udformning af luftsolfangeren, hvor udeluften via en kort kanal fra bagsiden af solfangeren blev ført frem til spalten mellem dæklag og absorber, hvorefter den blev trukket ned gennem filtabsorberen, hvor luften blev opvarmet. Herved lå den kolde luft mellem absorber og dæklag, hvilket reducerer varmetabet gennem solfangerens front. Derudover var den tidligere udgave af luftsolfangeren forsynet med en bagsideisolering, hvilket specielt vil være en fordel for den kombinerede luft/væskesolfanger.

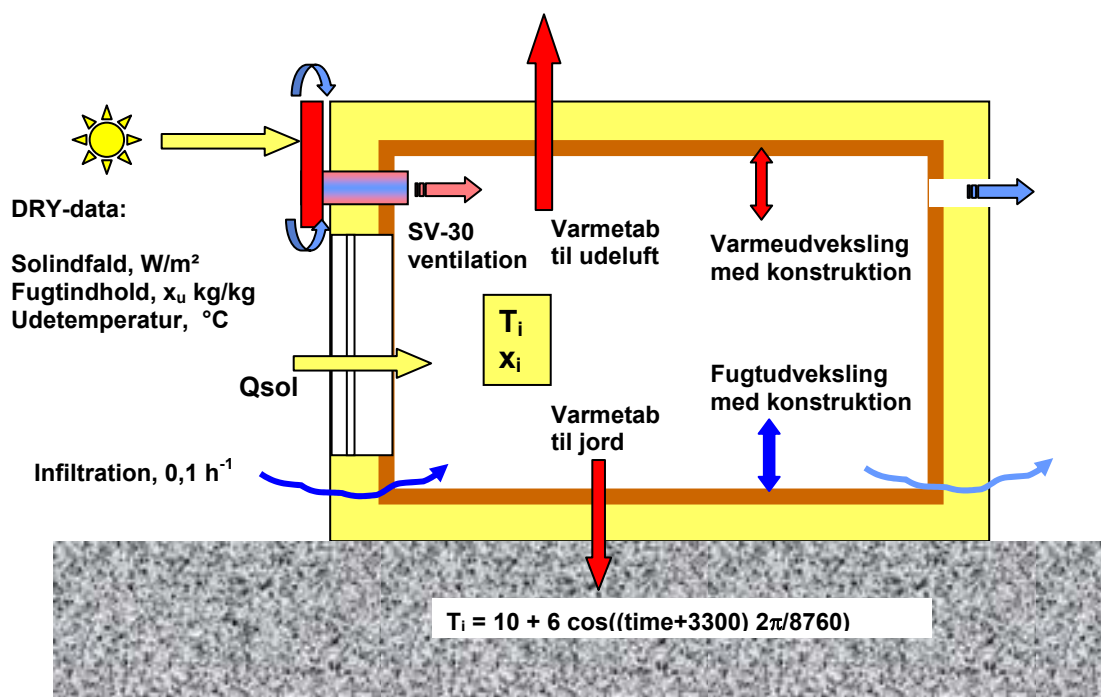
Integrationen af solcellerne i solfangeren har den fordel, at de sidder beskyttet mod vejrliget, men til gengæld sidder de også i en position med høje temperaturer. Derudover

optager de en væsentlig del af absorberarealet, der alternativt kunne være anvendt til en forøgelse af væskedelen af absorberen med deraf forøget effektivitet til følge. En placering af solcellemodul uden for solfangeren vil være en fordel ved beregning af effektiviteten i henhold til EN 12975-2, men vil være et produktteknisk tilbageskridt.

I installationsvejledningen for solfangeren står der, at solfangeren skal monteres liggende med en hældning på mindst 60° for at undgå for høje temperaturer i solfangeren under stagnation. Imidlertid vil en "stående" montering resultere i et højere drivtryk for luftstrømmen, så volumenstrøm og dermed effektiviteten forøges.

Vurdering af luftsolfangerens evne til at sænke luftfugtigheden

Vurderingen af luftsolfangerens evne til at sænke luftfugtigheden i et sommerhus, der står aflukket hele vinteren, er foretaget ved opstilling af en simpel bygningsmodel for sommerhuset. Modellen er illustreret i figur 9.



Figur 9. Illustration af bygningsmodellen anvendt til vurdering af den udtørrende virkning af luftsolfangeren.

Værdier for udetemperatur, solindfald og luftfugtighed er hentet fra det danske Design Reference Year (DRY) [2], hvor data ligger som timeværdier. Den opstillede bygningsmodel vil derfor blive gennemregnet time for time for et helt år.

Ved vurdering af den udtørrende virkning af luftsolfangeren er det nødvendigt at opstille både en varmebalance og en fugtbalance, der tager hensyn til henholdsvis varmekapaciteten og fugtkapaciteten i bygningen.

Opstilling af husets varmebalance

Ved opstilling af varmebalancen er der to tilfælde der skal tages hensyn til: 1) tilfældet, hvor der ikke er noget solindfald og derfor heller ikke nogen mekanisk ventilation og 2) tilfældet, hvor solen skinner og luftsolfangeren blæser varm luft ind i bygningen.

I tilfældet uden sol, vil der være et vist luftskifte (infiltration) gennem utætheder i bygningens klimaskærm og gennem den friskluftventil, der nødvendigvis skal være der, for at den luft, der blæses ind af luftsolfangeren når solen skinner, også kan komme ud. I modellen er infiltrationen sat til $0,1 \text{ h}^{-1}$. I tilfældet med sol, skaber luftsolfangeren et overtryk i huset, hvorfor hele luftskiftet svarer til den luftmængde der blæses ind af luftsolfangeren. Varmebalancen i de to tilfælde kan skrives som:

SV-30 inaktiv:

$$Q_{\text{sol}} - 0,1 V \rho c (T_i - T_{\text{ude}}) - (UA)_{\text{udeluft}} (T_i - T_{\text{ude}}) - (UA)_{\text{jord}} (T_i - T_j) = (V \rho c)_{\text{masse}} dT_i/dt$$

SV-30 aktiv:

$$Q_{\text{sol}} - q_{\text{indbl}} \rho c (T_{\text{indbl}} - T_{\text{ude}}) - (UA)_{\text{udeluft}} (T_i - T_{\text{ude}}) - (UA)_{\text{jord}} (T_i - T_j) = (V \rho c)_{\text{masse}} dT_i/dt$$

Af speciel betydning for indetemperaturen i huset er størrelsen af den aktive termiske masse, hvilket blandt andet afhænger af mængden og arten af inventar samt den indvendige vægbeklædning. Det er i modellen forudsat, at alle indvendige overflader består af træ og at kapaciteten af møbler etc. tillægges den aktive termiske masse i den indvendige vægbeklædning.

Til vurdering af, hvor stor en del af vægbeklædningen der deltager aktivt i husets termiske masse, er der set på, hvor stor en mængde energi, der i løbet af en time lagres i en væg af træ, hvis overfladetemperaturen på væggen pludselig øges med 1 K. Dette kan udtrykkes som [3]:

$$Q(3600 \text{ s}) = 1,13 \times b \times \Delta T \times \sqrt{3600}$$

hvor Q: er den lagrede energimængde efter 1 time $[\text{J/m}^2]$

b: er den termiske effusivitet $[\text{J/m}^2 \text{ K s}^{0,5}]$

ΔT : er den momentane temperaturstigning $[\text{K}]$

Den termiske effusivitet er for træ ca. $365 [\text{J/m}^2 \text{ K s}^{0,5}]$, hvorved den lagrede energimængde ved en momentan temperaturstigning på 1 K på overfladen bliver ca. 25 kJ/m^2 . Denne værdi ($25 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$) ganget med det indvendige overfladeareal anvendes derfor som en tilnærmet værdi for den aktive varmekapacitet i huset. Den aktive termiske masse antages at få samme temperatur som indetemperaturen i hvert tidsskridt. Varmebalancen løses med hensyn til indetemperaturen T_i .

Opstilling af husets fugtbalance

Beregning af resulterende fugtighed i indeluften udføres på følgende måde:

1. Fugtindholdet beregnes til slutningen af tidsskridtet hvis der ikke forekom fugtudveksling med materialer i rummet:

$$X_{i,ny} = ((Vol - q_{indbl} \times \tau) X_{i,gammel} + q_{indbl} \times \tau \times X_u) / Vol$$

hvor $X_{i,ny}$ er det nye absolutte fugtindhold i indeluften [kg/kg]
 Vol er bygningens indre volumen [m^3]
 q_{indbl} er luftskiftet [m^3/s]
 τ er tidsskridtet [s]
 $X_{i,gammel}$ er det absolutte fugtindhold ved start af tidsskridtet [kg/kg]
 X_u er udeluftens absolutte fugtindhold [kg/kg]

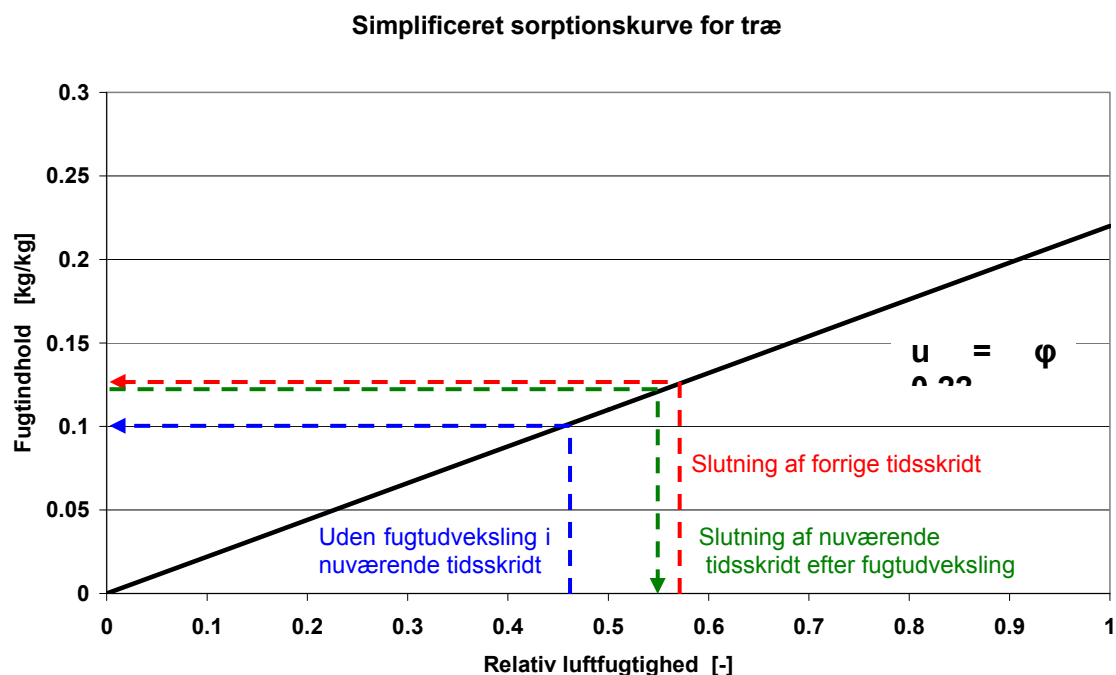
2. Det fundne fugtindhold omregnes til en tilsvarende relativ fugtighed i rumluften:

$$\phi_1 = p_d / p_s = [(101325 X_{i,ny}) / (X_{i,ny} + 0,62198)] / \exp(23,5771 - (4042,9/(T-37,58)))$$

hvor ϕ_1 er luftens relative fugtighed [-]
 p_d er vanddamptrykket i indeluften [Pa]
 p_s er mætningsvanddamptrykket i indeluften [Pa]
 T er indetemperaturen [K]

I ovenstående udtryk regnes med at totaltrykket i atmosfæren er konstant 101325 Pa.

3. Rummets begrænsningsflader antages alle at være af træ med en simplificeret sorptionskurve som vist i figur 10:



Figur 10. Illustration af den iterative proces til bestemmelse af det nye fugtindhold i henholdsvis fugtaktive masse og i indeluften.

4. Uden fugtudveksling med rummets begrænsningsflader, møbler etc. ville den relative fugtighed i rumluften svare til φ_1 ved slutningen af aktuelt tidsskridt (blå kurves skæring med x-aksen). Ved fugtudveksling vil ændringen i rumluftens relative fugtighed til φ_1 imidlertid umiddelbart betyde, at fugtindholdet i rummets begrænsningsflader ændres svarende til at gå fra den "røde" tilstand til den "blå" tilstand (skæring med y-aksen) i ovenstående diagram. Derved frigives imidlertid fugt til rumluften, hvorfor den endelige relative fugtighed i rumluften findes ved at opstille en fugtbalance:

$$(\varphi_{ny} - \varphi_{slut, forrige}) 0,22 M_{træ} = (\varphi_{ny} - \varphi_1) (Vol \rho)_{rumluft}$$

hvor $M_{træ}$ er massen af den aktive fugtkapacitet [kg]
 ρ er indeluftens massefylde [kg/m^3]
 φ er den relative luftfugtighed [-]

Fugtbalancen løses med hensyn til φ_{ny} (resultat = "grøn" tilstand i ovenstående diagram)

Ved opstilling af fugtbalancen skal der analogt til opstillingen af varmembalancen defineres en aktiv fugtkapacitet. Dette gøres analogt til tilfældet med varmembalancen ved at anvende fugteffusiviteten [3], der for træ er ca. $4 \times 10^{-7} [\text{kg/Pa m}^2 \text{ s}^{0.5}]$ og beregne, hvor meget vanddamp der kan adsorberes i løbet af en time, hvis den relative luftfugtighed øges med 1 % ved overfladen af materialet.

Den beregnede aktive fugtkapacitet bliver dermed $2,7 \times 10^{-5} [\text{kg/m}^2 \text{ Pa}]$, hvilket svarer til, at et lag på knap 1 mm af den inderste del af væggen deltager aktivt i fugtudvekslingen ved et tidsskridt på en time.

Ovenstående valg af den fugtaktive masse resulterer i en for positiv vurdering af den udtørrende effekt af luftsolfangeren ved længere perioder uden sol, hvor de dybereliggende lag i væggen også vil få betydning for den relative fugtighed i indeluften. Omvendt vil den valgte fugtaktive masse sandsynligvis give et fornuftigt billede af indeluftens relative luftfugtighed på dage, hvor solen skinner og indetemperaturen varierer kraftigt.

Beskrivelse af bygningsmodellen for sommerhuset

Luftsolfangeren der har været afprøvet i dette projekt er på 3 m^2 , hvilket iflg. fabrikantens egne oplysninger er passende til et sommerhus på $70 - 140 \text{ m}^2$. Der er derfor valgt at opstille en bygningsmodel for et sommerhus på 75 m^2 . Detaljerne fremgår af nedenstående tabel 1.

Volumenstrømmen som funktion af solindfaldet samt effektiviteten som funktion af volumenstrømmen er fundet ud fra målingerne på solfangeren. Den maksimale effektivitet med solcelledrevet ventilator bliver i dette tilfælde 40%.

Tabel 1. Nøgletal til beskrivelse af den anvendte bygningsmodel ved vurdering af luftsolfangerens udtørrende effekt.

Bebygget areal	75 m ²
Indvendigt volumen	175 m ³
Indvendigt overfladeareal	225 m ²
Vægtet U-værdi for konstruktioner mod udeluft	0,5 W/m ² K
U-værdi af konstruktion mod jord	0,2 W/m ² K
Sydvendt vinduesareal	7 m ² (svarer til 4 m ² med 100% transmittans)
Infiltration	0,1 h ⁻¹ når ventilatoren ikke kører, ellers 0
Solfangerens orientering	Syd
Solfangerens hældning	Lodret
Ventilator starter ved en indstråling på	$I_0 = 200 \text{ W/m}^2$
Maksimal ventilator ydelse på $V_{\text{maks}} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$	Når indstrålingen $> I_{\text{maks}} = 600 \text{ W/m}^2$
Volumenstrøm afhængig af indstråling I , [m ³ /h]	$V = [(I - I_0) V_{\text{maks}}] / (I_{\text{maks}} - I_0)$
Solfangerens effektivitet (kun luft)	$0,00325(V) + 2,1\text{E-}5(V)^2 - 2,2\text{E-}7(V)^3 + 5,37\text{E-}9(V)^4$

Simuleret effekt af luftsolfangerens udtørrende virkning

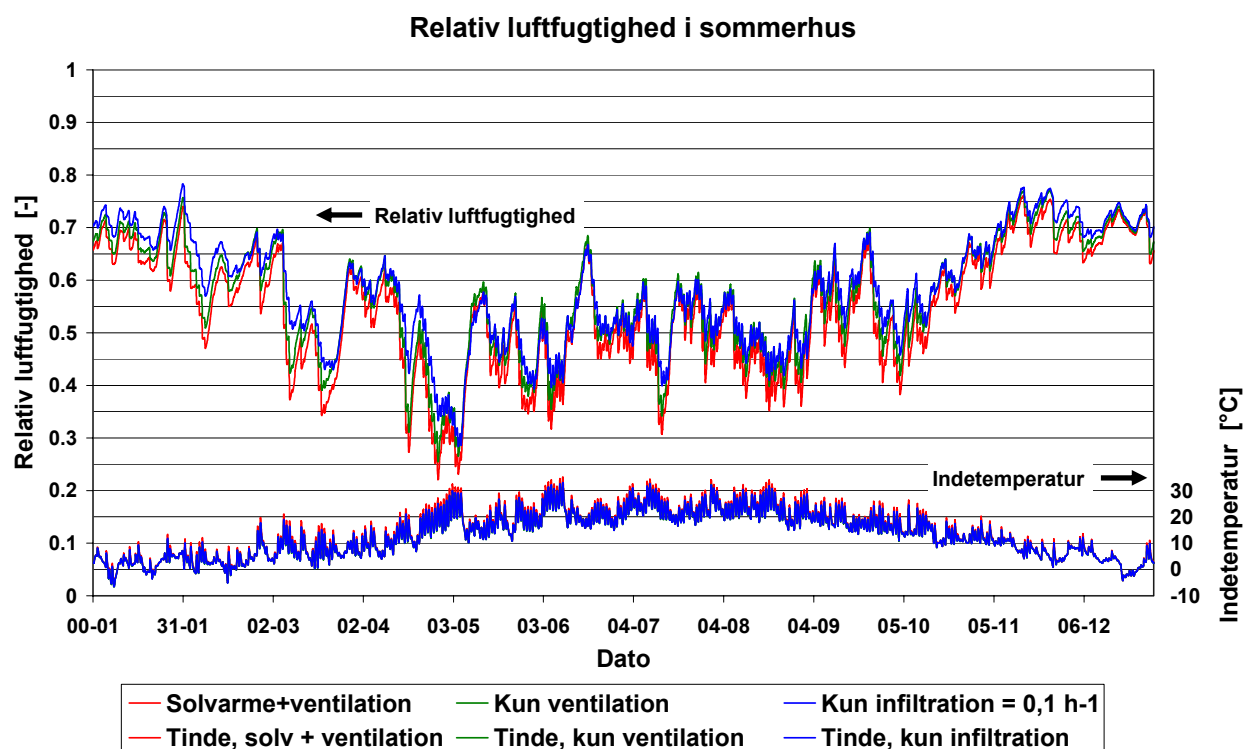
Alle beregningsrutinerne er lagt ind i Excel regneark, hvor det er muligt at ændre på de forskellige parametre. Simuleringen udføres iterativt ved at gætte på en start indetemperatur og et start fugtindhold i indeluften, hvorefter programmet beregner indetemperatur og fugtindhold på timebasis for et helt år. Hvis slutværdierne af indetemperatur og fugtindhold afviger fra gættet, anvendes slutværdierne som nyt gæt på startværdierne i en ny beregning.

Figur 11 viser resultatet af simuleringer med hhv. ingen solfanger (kun infiltration), solfanger med en effektivitet på 0 (PV-styret ventilation, men uden opvarmning af ventilationsluften) og SV-30 (PV-styret ventilation og opvarmning af ventilationsluften).

Betragtes kurverne for indetemperaturene i figur 11 ses det, at indetemperaturen kun i meget begrænset omfang påvirkes af, om solfangeren blæser varm luft ind i huset eller ej. Det skyldes, at solindfaldet gennem vinduerne har langt den største indflydelse på indetemperaturen sammenlignet med tilskuddet fra luftsolfangeren.

Betragtes kurverne for den beregnede relative luftfugtighed ses det, at luftfugtigheden midt på vinteren er næsten den samme i alle tre tilfælde, men at den relative luftfugtighed er ca. 0,05 lavere i tilfældet med luftsolfanger sammenlignet med tilfældet uden luftsolfanger. Det fremgår også af figur 11, at der i solrige perioder (starten af februar, midt i marts) sker en væsentlig ekstra udtørring på ca. 0,1 i relativ luftfugtighed ved anvendelse af luftsolfangeren sammenlignet med tilfældet uden solcelledrevet ventilation. Men det fremgår også, at en solcelledrevet ventilator uden opvarmning af indblæsningsluften vil give næsten samme udtørringseffekt. Den store fordel er, at ventilationen på denne måde

automatisk sker i perioder, hvor solindfaldet gennem bygningens vinduer opvarmer indeluften og dermed sænker luftfugtigheden.



Figur 11. Resultat fra simulering af indetemperatur og relativ luftfugtighed med hhv. ingen solfanger (kun infiltration), solfanger med en effektivitet på 0 (PV-styret ventilation, men uden opvarmning af ventilationsluften) og SV-30 (PV-styret ventilation og opvarmning af ventilationsluften).

Konklusion

Effektiviteten af den kombinerede luft/væskesolfanger er blevet bestemt for følgende tilfælde: 1) væskesolfanger uden luftgennemstrømning, 2) luftsolfanger uden væskegennemstrømning og 3) kombineret væske- og luftgennemstrømning. Målingerne viser at starteffektiviteten ligger i intervallet 0,55 – 0,62, størst for den kombinerede løsning. Målingerne viser også, at den kombinerede løsning resulterer i en væsentlig højere effektivitet jo højere luftvolumenstrømmen bliver, hvilket skyldes en reduktion af varmetabet gennem solfangerens bagside, når der suges luft ind gennem denne.

Målingerne viste også, at den luftvolumenstrøm, som den solcelledrevne ventilator kan yde er meget følsom overfor ændringer i tryktabet på ventilatorens trykside. Målingerne gav en luftvolumenstrøm på ca. 70 m³/h.

Baseret på erfaringerne fra målingerne er der peget på en række muligheder for at forbedre solfangerens effektivitet, hvilket selvfølgelig må vurderes på baggrund af en produktionsteknisk og økonomisk vurdering.

Luftsolfangerens udtørrende virkning på et aflukket sommerhus er vurderet med en simpel bygningsmodel gennemregnet med timeværdierne for udeklimaet fra det danske Design Reference Year. Resultatet af simuleringen viser, at luftsolfangeren sænker den relative luftfugtighed med 5 %-point midt på vinteren, hvor der er sparsomt med sol, mens der i solrige perioder om foråret opnås en sænkning af den relative luftfugtighed med op til 10 %-point i forhold til et sommerhus uden anden ventilation end en infiltration på $0,1 \text{ h}^{-1}$.

Den udtørrende effekt baseret på de forenklede beregninger er i modstrid med erfaringerne fra mange af de installerede anlæg, hvorfor der er behov for yderligere undersøgelser af den udtørrende virkning – både eksperimentelt og gennem detaljerede beregninger.

Den oplevede forbedring af luftkvaliteten i sommerhuse med luftsolfangeren installeret skyldes dels den lavere luftfugtighed, men også den forøgede ventilation med udeluft, der medvirker til at fjerne fornemmelsen af "indelukkethed". Denne effekt skal ikke undervurderes, og at det sker uden købt energi er et meget stort plus.

Referencer

- [1] Shah, Louise Jivan. Dæklag for Djurs Solvarmes solfanger type DS-3. Laboratoriet for Varmeisolering, Rapport nr. 95-17, DTU, 1995.
- [2] Jensen, Jerry Møller & Lund, Hans. Design reference year, DRY – et nyt dansk referenceår. Laboratoriet for Varmeisolering, Meddelelse nr. 281, DTU, 1995.
- [3] Peuhkuri, Ruut H. & Rode, Carsten. Moisture Buffer value: Analytical determination and use of dynamic measurements. Working paper IEA Annex 41 Meeting, Trondheim. BYG•DTU, 2005.