

Ole Holck
Jesper Kragh

Translucent isolerende klimaskærm Målinger og beregninger af et bygningselement med honeycomb.



Rapport
BYG·DTU R-045
2002
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877- 105-6

BYG•DTU

Danmarks Tekniske Universitet

Brovej - Bygning 118

2800 Kgs. Lyngby

Tlf.: 45 25 17 00

Fax: 45 88 32 82

E-mail: byg@byg.dtu.dk

R-045

ISSN 1601-2917

ISBN 87-7877- 105-6

Forord

BYG•DTU har i samarbejde med Michael Carlsen bidraget til gennemførelsen af projektet "Translucent isolerende klimaskærm". Ud over BYG•DTU's assistance har Michael Carlsen også fået assistance fra Teknologisk Institut af Lars Olsen. Projektet er gennemført under Energistyrelsens tilskudsordning for vedvarende energi. Projektets journalnummer er 51181/98-0021. Denne rapport er resultatet af BYG•DTU's arbejde og udgør én af flere rapporter. Rapporten udgør sammen med rapporter fra Michael Carlsen og Teknologisk Institut den samlede slutrapportering af projektet. Rapporten omhandler prøvningsresultater af det leverede bygningselement samt varianter af dette bygningselement. Resultaterne indbefatter:

- U-værdimåling (total- og centerværdi),
- G-værdi for direkte stråling,
- Transmittansmåling udendørs med varierende skydække og varierende indfaldsvinkler. To varianter af tykkelsen på honeycomb har været afprøvet. Prøvningselement er ændret til disse formål.
- Stagnationstemperaturprøvning i kunstig sol af ændret prøvningsselement.

Desuden omhandler rapporten beregning af strålingsbidrag ind gennem et 1 m² translucent bygningselement orienteret mod nord med en hældning på 11°. Beregningerne baserer sig på målinger foretaget af G-værdi for direkte stråling samt transmittansmålinger med varierende indfaldsvinkler. Resultaterne præsenteres i tabel-form med værdier opgivet på månedsbasis for hele året.

Indledning

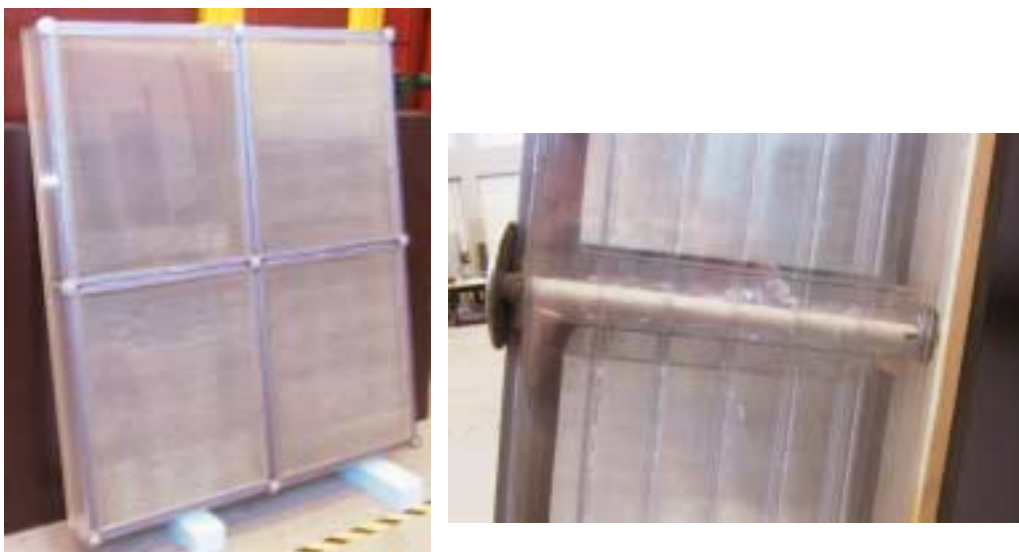
Traditionelle løsninger på nedbringelse af energiforbruget til bygningsopvarmning i form af mer- eller efterisolering alene har både praktiske og æstetiske problemer. Derfor er også kombinationer af traditionelle og alternative metoder i de seneste årtier forsøgt brugt. Honeycomb er et eksempel på nye materialer som kan anvendes i kombination med andre alternative løsninger for opnåelse af energibesparelser og dagslysudnyttelse. Med baggrund i hidtidigt opnåede forsøgsresultater med honeycomb [Carlsen, Rahbek], [Olsen], er det vurderet at være værdifuldt med prøvning af det konkrete bygningselement. Bygningselementet er designet af Michael Carlsen og der er foretaget optimering af honeycombe-tykkelsen (15 cm) af Lars Olsen, Teknologisk Institut [Olsen]. Der er i løbet af projektforsøget opstået et behov om at se på transmittansforhold for et element med mindre tykkelse (5 cm), idet honeycomben kombineres med henholdsvis aluminiumsgardiner ved translucente tage og solvægge; samt ved tagintegrerede luftsolfangere. Se Michael Carlsens rapport.

Indhold

FORORD	1
INDLEDNING.....	1
INDHOLD	3
1 BESKRIVELSE AF HONEYCOMB-ELEMENTET	5
2 MÅLING AF HONEYCOMBENS U-VÆRDI	6
2.1 TRYKPRØVNING	6
2.2 RESULTATER AF U-VÆRDI MÅLING	7
2.3 EKSPERIMENTEL BESTEMMELSE AF CENTER U-VÆRDIEN	8
3 MÅLING AF HONEYCOMBENS G-VÆRDI.....	10
3.1 MÅLEMETODE.....	10
3.2 RESULTATER AF G-VÆRDIMÅLING	12
4 TRANSMITTANSMÅLING.....	14
4.1 TRANSMITTANSMÅLING VED FORSKELLIGE INDFALDSVINKLER	14
4.2 TRANSMITTANSMÅLING FOR ET ELEMENT MED TYKKELSEN 5 CM.....	16
5 SOLSTRÅLING.....	18
5.1 ÅRSVARIATIONER AF SOLSTRÅLING PÅ EN FLADE MED 11° HÆLDNING ORIENTERET MOD NORD SAMT EN LODRET FLADE ORIENTERET MOD SYD	18
5.2 STRÅLINGSBIDRAG IND GENNEM 1 m ² AF DET TRANSLUCENTE BYGNINGSELEMENT.....	20
6 STAGNATIONSTEMPERATURER I 5 CM TYKT HONEYCOMB.....	22
7 OPSUMMERING AF RESULTATER.....	25
REFERENCER	26
A. APPENDIKS. SOLSTRÅLINGSDATA OG MÅLT TRANSMITTANS.....	27

1 Beskrivelse af HoneyComb-elementet

Det målte prøveemne består, regnet udvendigt fra, af en 6 mm glasplade (alm. float-glas), 150 mm honeycomb, og er indvendigt afsluttet med en 2 mm polycarbonatplade. Konstruktionen er opdelt i fire felter som vist på figur 1. Panelet benævnes herefter HoneyComben.



Figur 1: Til højre et billede af HoneyComben. Til venstre nærbillede af samlingsdetalje.

HoneyCombens ydre dimensioner er:

- | | |
|----------|---------|
| o Bredde | 1235 mm |
| o Højde | 1475 mm |
| o Dybde | 195 mm |

Rammekonstruktionens dybde (195 mm) er ca. 40 mm dybere end selve tykkelsen af det egentlige translucente panel (glasplade/honeycomb/polycarbonat).

Selve Honeycomb-udformningen med tykkelsen 150 mm har et tværsnit i form af en ligesidet trekant, med sidelængden 15 mm. Tykkelsen af folien anvendt til kanalvæggene er 0,036 mm. Kanalvæggene er af celluloseacetat.

2 Måling af HoneyCombens U-værdi

Følgende U-værdimåling er udført i overensstemmelse med ISO/DIS 12567. Princippet i forsøgsopstillingen (hot boxen) er at HoneyComben bygges ind i en væg af isolering. Foran HoneyComben (udvendig side) opretholdes en temperatur på omkring 0°C vha. et kølesystem. Bagved HoneyComben holdes en konstant temperatur på 20°C i en guarded hot box ved hjælp af et varmelegeme. Ved at måle den effekt varmelegemet afgiver på den varme side kan prøveemnets U-værdi beregnes.

Et billede af HoneyComben monteret i hot boxen ses på Figur 2.



Figur 2: Montering af HoneyComben i hot boxen. Billedet til venstre viser HoneyComben monteret i isoleringsvæggen set fra den varme side og billedet til højre viser hele forsøgsopstillingen før opstart. De tre kasser spændes helt sammen når forsøget startes.

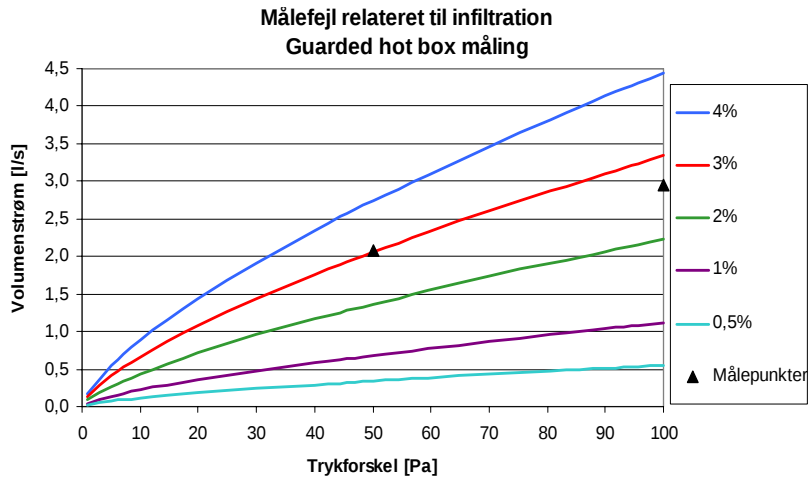
2.1 Trykprøvning

Inden den egentlige U-værdi måling påbegyndes, udføres først en trykprøvning af hot boxen for at vurdere evt. utætheder i forsøgsopstillingen. Jf. vejledningen i brugen af hot boxen, gøres dette for et overtryk på 50 Pa og 100 Pa. Resultaterne af trykprøvningen fremgår af tabel 1, og den resulterende maksimale målefejl er vist på Figur 3.

Trykprøvningen af HoneyComben viste et relativt stort tryktab mellem den varme og kolde box. Ved gennemgang af opstillingen blev det vurderet at utæthederne skyldes HoneyCombens konstruktion og ikke samlingerne mellem HoneyComben og isoleringen. Den maksimale målefejl er derved mindre end den på figur 3 viste værdi på 2,5-3 %.

Tabel 1: Trykprøvning af HoneyComben.

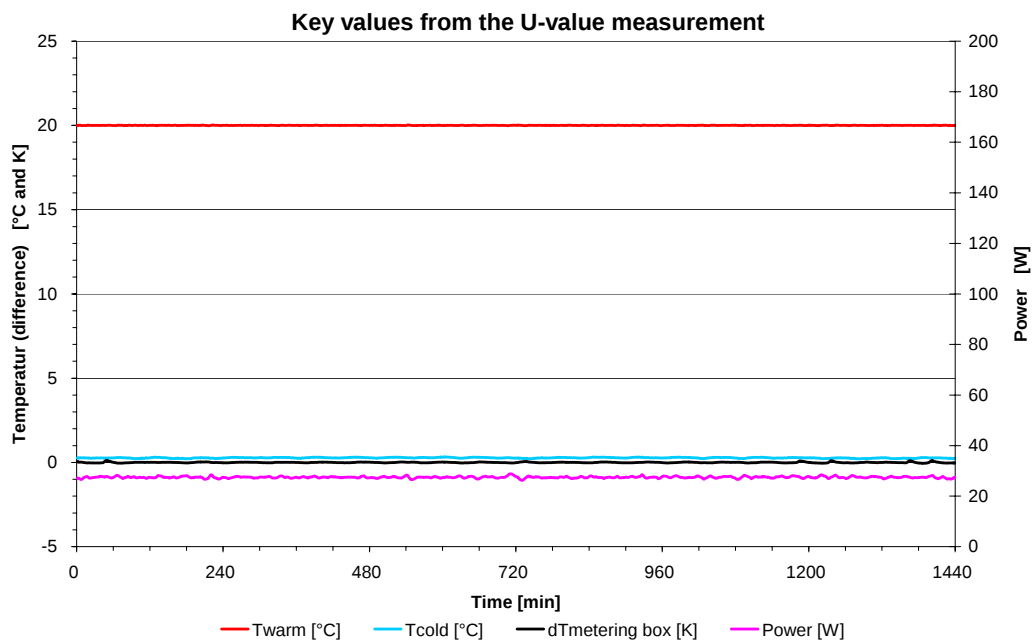
Trykdifferens	Gasmåler	Måleperiode	Volumenstrøm
Pa	m ³	min	l/s
50	0,375	3	2,1
100	0,530	3	2,9



Figur 3 : Trykprøvning af forsøgsopstilling.

2.2 Resultater af U-værdi måling

Når stabile forhold er opnået i hot boxen (efter ca. 24 timer) benyttes målingerne til at beregne HoneyCombens totale U-værdi. På figur 4 ses forskellige nøgleverdier, der viser at stabile forhold er opnået i hot boxen.



Figur 4: Nøgleverdier der viser at stabile forhold er opnået under afprøvning.

I Tabel 2 er angivet resultaterne fra U-værdi målingen af HoneyComben. I nederste højre hjørne af tabellen ses den målte U-værdi.

Som det fremgår af Tabel 2 er HoneyCombens samlede U-værdi målt til 0,74 W/m²K.

Tabel 2: Resultater fra U-værdi måling. U-værdien er målt til 0,74 W/m²K.

Asur	0,328	Fci	0,419
θme,sur	9,756 °C	Fce	0,787
Rsur	4,122 m²K/W	Rs,tot	0,178 m²K/W
λsur	0,035 W/mK	θri	19,638 °C
Ψedge	0,000 W/mK	θre	0,393 °C
Δθs,sur	18,028 K	θni	19,790 °C
Δθc	19,740 K	θne	0,289 °C
Φin	27,545 W	Δθn	19,501 K
Φsur	1,436 W	Um	0,735 W/m²K
Φedge	0,000 W	ΔUm	0,120 W/m²K
qsp	14,333 W/m²	Ust	0,740 W/m²K

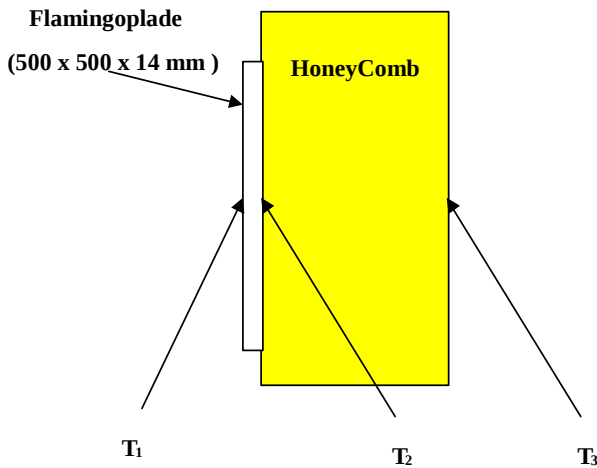
2.3 Eksperimentel bestemmelse af center U-værdien

I forbindelse med måling af HoneyCombens samlede U-værdi blev center U-værdi indirekte målt. Dette blev gjort ved at montere en 14 mm flamingoplade på ydersiden af HoneyComben. Ved at måle temperaturen på begge sider af flamingopladen samt på indersiden af HoneyComben kan center U-værdien bestemmes.

Flamingopladen benyttes som referencemateriale, dvs. varmeledningsevnen ($\lambda_{\text{flamingo}}$) og tykkelsen (d_{flamingo}) af flamingopladen er kendt. Isolansen af flamingopladen bestemmes af:

$$R_{\text{flamingo}} = \frac{d_{\text{flamingo}}}{\lambda_{\text{flamingo}}}$$

Når temperaturerne T_1 , T_2 og T_3 er kendte, se figur 5, kan temperaturforskellen over hhv. ruden og flamingopladen bestemmes.



Figur 5: Principskitse af måling af center U-værdi.

$$\Delta T_{flamingo} = T_1 - T_2$$

$$\Delta T_{honeycomb} = T_2 - T_3$$

Når stabile forhold er opnået vil varmemstrømmen gennem HoneyComben og flamingopladen være ens. Idet varmemstrømmen gennem de to lag er ens og da flamingopladens isolans ($R_{flamingo}$) samt temperaturforskellen $\Delta T_{flamingo}$ er kendt, kan HoneyCombens isolans ($R_{honeycomb}$) bestemmes:

$$Q_{rude} = Q_{flamingo}$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{honeycomb} &= \frac{A \cdot \Delta T_{honeycomb}}{R_{honeycomb}} \\ Q_{flamingo} &= \frac{A \cdot \Delta T_{flamingo}}{R_{flamingo}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{A \cdot \Delta T_{honeycomb}}{R_{honeycomb}} = \frac{A \cdot \Delta T_{flamingo}}{R_{flamingo}}$$

$\Downarrow$

$$R_{honeycomb} = \frac{\Delta T_{honeycomb}}{\Delta T_{flamingo}} \cdot R_{flamingo}$$

I den fundne isolans $R_{honeycomb}$ indgår ikke udvendig og indvendig overgangsisolans. Udfra det praktiske forsøg kan HoneyCombens center U-værdi bestemmes af:

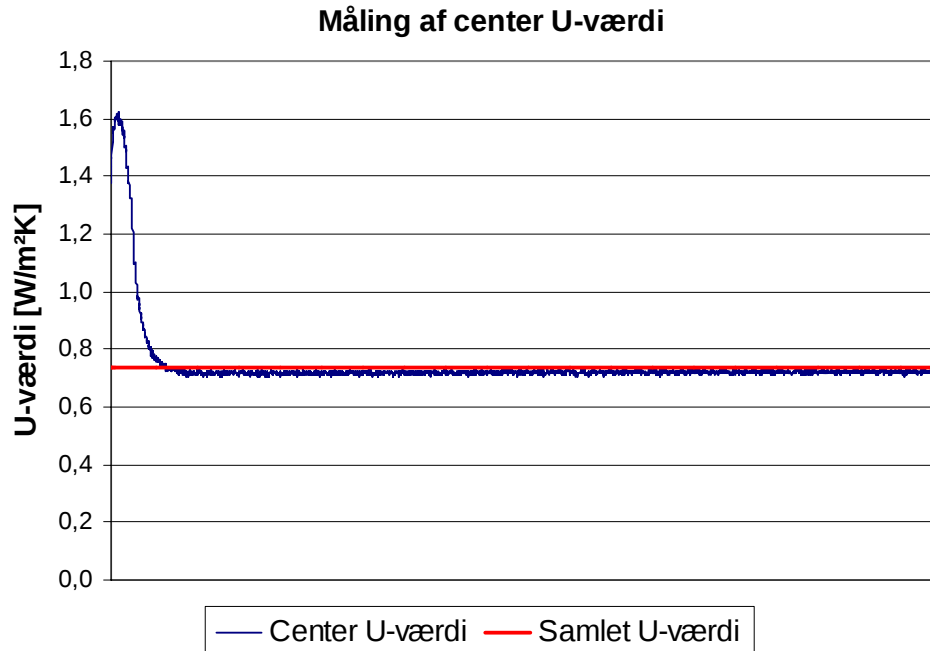
$$U_{praktisk} = \frac{1}{R_i + R_u + R_{honeyComb}}$$

hvor størrelsen af den indvendige og udvendige overgangsisolans er givet ved:

$$R_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_u = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}.$$

På Figur 6 er den målte center U-værdi sammenlignet med den samlede U-værdi for hele HoneyComb'en. Det ses at disse er næsten ens, hvilket således viser at rammekonstruktionen ikke påvirker den samlede U-værdi nævneværdigt.



Figur 6: Måling af center U-værdi.

3 Måling af HoneyCombens g-værdi

3.1 Målemetode

Den totale solenergitransmittans, g-værdi, defineres som forholdet mellem den solenergi der transmitteres gennem panelet i forhold til den totale bestrålingsstyrke:

$$g = \frac{q_{\text{trans}}}{G \cdot A}$$

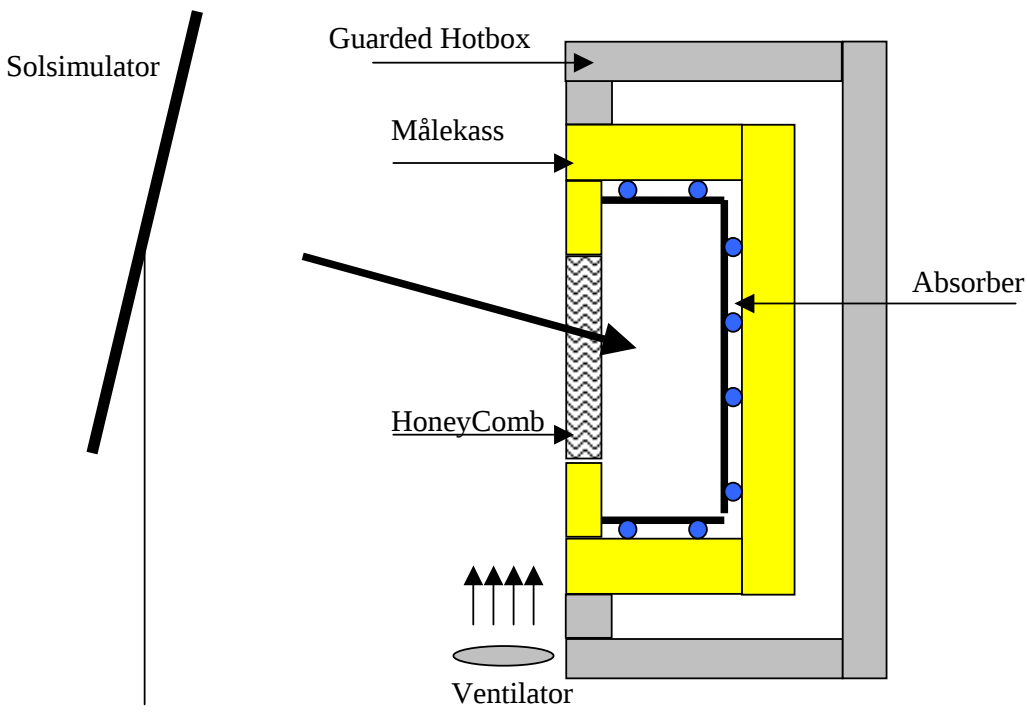
hvor

q_{trans}	er den transmitterede solenergi	[W]
G	er den totale bestrålingsstyrke	[W/m ²]
A	er HoneyCombens areal	[m ²]

En måling af HoneyCombens g-værdi ved en indfaldsvinkel på 22,5° er foretaget i BYG·DTU's forsøgsopstilling kaldet METSET'en (Measuring Equipment for Total Solar Energy Transmittance). Til målingen benyttes en solsimulator bestående af 64 CSI 1000 C lamper på 1 kW. Foran METSET'en er monteret 5 ventilatorer til simulering af vindpåvirkning.

Princippet i forsøgsopstillingen er at prøveemnet monteres i en målekasse, der har en temperaturdifferens med omgivelserne på 0°C (optimalt). Den indvendige side af målekassen er

beklædt med absorberstrips, der er forbundet til et kølesystem. Den energi der således transmitteres gennem HoneyComben, vil i princippet være lig med den energi som kølesystemet "fjerner" fra målekassen. Dog skal målingen korrigeres for forskellige mindre fejl. En principskitse af forsøgsopstillingen ses på figur 7.



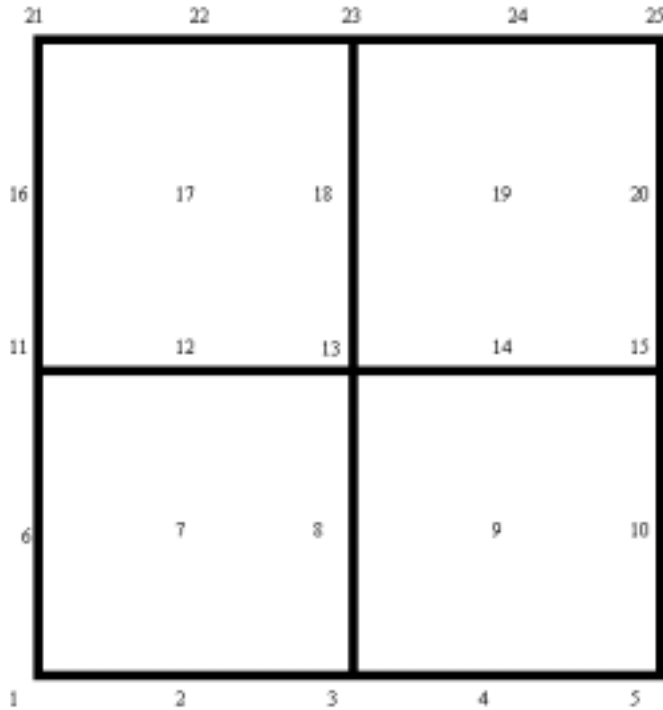
Figur 7: Principskitse af METSET forsøgsopstilling.



Figur 8: Til højre ses HoneyComben monteret i målekasse. I midten ses solsimulatoren, og til venstre ses hele forsøgsopstillingen.

Billeder af HoneyComben, Solsimulatoren og METSET'en er vist på figur 8. Bestrålingsstyrken foran METSET'en blev umiddelbart efter forsøget opmålt med tre pyranometre. Målingerne blev

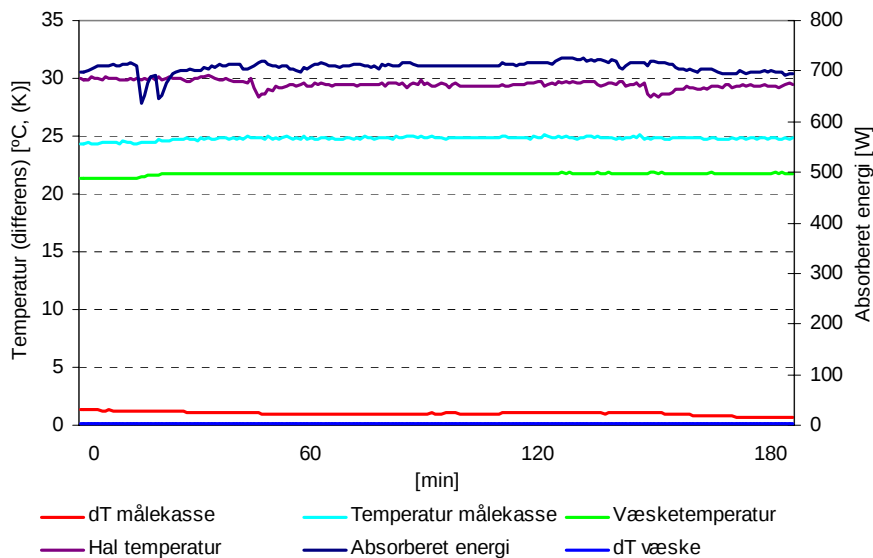
foretaget i et net af 25 punkter som vist på figur 9. Middelbestrålingsstyrken under forsøget blev således målt til 820 W/m^2 .



Figur 9: Målepunkter til måling af bestrålingsstyrken foran METSET'en.

3.2 Resultater af g-værdimåling

På Figur 10 ses de vigtigste måledata fra forsøget. Efter en længere indkøringsperiode på et par timer ses at stationære forhold er opnået. Desuden ses at temperaturdifferensen mellem målekasse og omgivelserne er mindre end 1 K og at den absorberede energi ligger forholdsvis konstant på ca. 700 W .



Figur 10: Temperaturmålinger og absorberet energi af absorberen ved måling af g-værdi i METSET.

De sidste 20 minutters måledata er valgt til beregning af HoneyCombs g-værdi, idet de benyttes til beregning af middelværdier. Værdierne er angivet i Tabel 3.

Tabel 3: Middelværdier af udvalgte data fra de sidste 20 minutter af g-værdi målingen.

Indfalds -vinkel	Temperatur målekasse	dT målekasse	Temperatur hal	dT væske	Bestrålning	Absorberet energi	Korrektion HoneyComb	Korrektion målekasse
[°]	[°C]	[K]	[°C]	[K]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
22,5	24,8	0,72	29,4	1,8	820	697,0	6,2	2,9

De sidste to kolonner i tabel 3 angiver korrektionen for at der dels er en varmestrøm ud gennem HoneyComben til omgivelserne og dels er en varmestrøm ud gennem målekassen sider, trods den lille temperaturdifferens på 0,72 K. Korrektionen ses dog samlet at være mindre end 1,5 %.

HoneyCombs korrigerede g-værdi bestemmes således af:

$$g_{\text{målt}} = \frac{q_{\text{abs}} - U_{\text{HoneyComb}} \cdot \Delta T_{\text{HoneyComb}} \cdot A - H_{\text{mb}} \cdot \Delta T_{\text{målekasse}} \cdot A_{\text{målekasse}}}{G \cdot A}$$

hvor

$g_{\text{målt}}$	er den målte g-værdi	[-]
q_{abs}	er den absorberede energi af absorberne	[W]
$U_{\text{HoneyComb}}$	er HoneyCombs U-værdi (Tidligere målt til 0,74 W/m ² K)	[W/m ² K]
A	er HoneyCombs areal	[m ²]
H_{mb}	er målekassens varmetabskoefficient	[W/m ² K]
$A_{\text{målekasse}}$	er målekassens areal	[m ²]
G	er bestrålingsstyrken	[W/m ²]

Den målte g-værdi fås således til:

$$\frac{697 \text{ W} - 0,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot (29,4 - 24,8)\text{K} \cdot 1,82 \text{ m}^2 - 0,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0,72\text{K} \cdot 6,66\text{m}^2}{820 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 1,82 \text{ m}^2} = \underline{0,46}$$

4 Transmittansmåling

4.1 Transmittansmåling ved forskellige indfaldsvinkler

Soltransmittansen ved forskellige indfaldsvinkler er for Honeycomben målt i DTU's udendørs soltracker. Transmittansen er målt til at være 0,54 ved høj solbestrålingsstyrke og lille indfaldsvinkel. Ved lav solbestrålingsstyrke og lille indfaldsvinkel er transmittansen målt til 0,50. Ved større indfaldsvinkler falder transmittansen. For en indfaldsvinkel på 30° er transmittansen reduceret med 7% til 0,50 for høj solbestrålingsstyrke, og ved indfaldsvinklen 60° er reduktionen 50% og transmittansen dermed til 0,27.

På basis af målingerne er indfaldsvinkelafhængigheden for den totale soltransmittans fastlagt ved to rette linier, en som dækker over målepunkterne for indfaldsvinkler op til 35° og for større indfaldsvinkler en ret linie som ender med transmittansen 0 for en 90° indfaldsvinkel. De rette linier dækker over følgende udtryk.

$$\begin{aligned}k_v &= 1 - 0,0025(v) && \text{For } v \text{ mindre end } 35^\circ, \\k_v &= 1,5 - 0,0166(v) && \text{For } v \text{ større end } 35^\circ.\end{aligned}$$

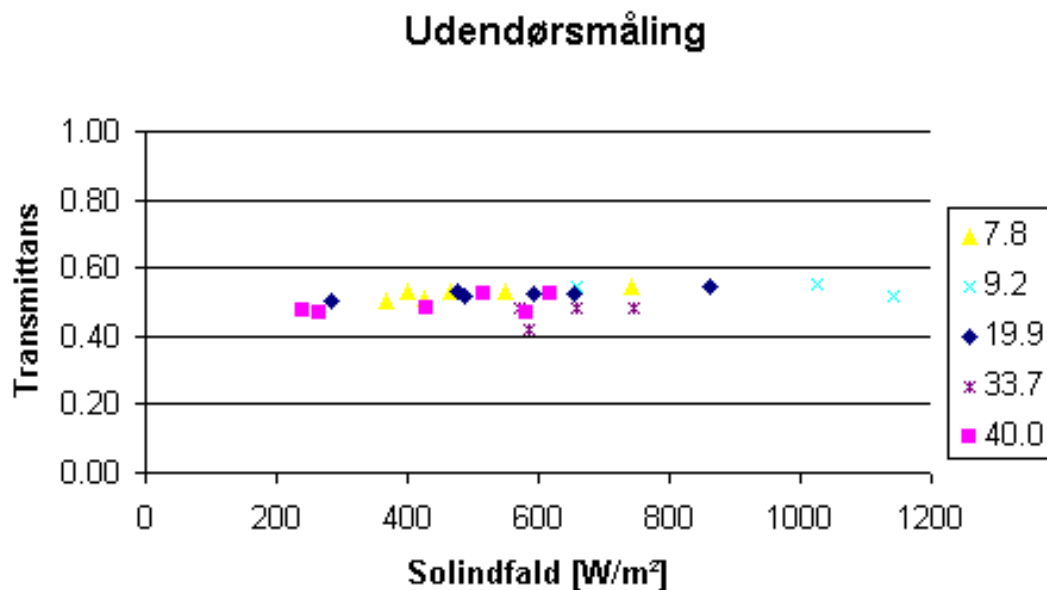
v er indfaldsvinklen og k_v er indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren, der reducerer transmittansen for stråling vinkelret på elementets overflade. Solstrålingens indfaldsvinkel til prøveplanet måles ved hjælp af en skyggepind. Vertikalt til målefladen er anbragt en skyggepind med en højde på 62 cm. På måleplanet afsættes skyggeposition og tidspunkt. Udfra skyggelængden bestemmes solstrålingens indfaldsvinkel. Målingerne er foretaget den 9/8 2002, henover middag med sol og let skydække. På Figur 20 ses soltracker med skyggepind til måling af indfaldsvinkel.

Indfaldsvinklen til elementet ændres i løbet af tiden og ændringen i indfaldsvinkel er desuden foretaget ved at ændre planets hældning i fem omgange. Hældning nær lodret, 57,4°, 45,1°, 31,2° og 8,2°. To solarimetre (af typen Kipp og Zonen CM11) er anvendt, et placeret frit mod himlen og et placeret bag elementet. Fra målingerne kan både uddrages oplysninger om transmittans for let skydække samt for klart vejr, idet der i løbet af måleperioden forekom huller i det lette skydække.

Ved målingerne måles solstrålingens indfaldsvinkel, v , den totale bestrålingsstyrke, E , og den totale transmitterede bestrålingsstyrke, E_t , gennem elementet. Målepunktet er anbragt centreret i den nedre venstre kvadrant af elementet. Ud fra disse størrelser beregnes den hemisfæriske transmittans for den valgte position af solarimeter som E_t/E .

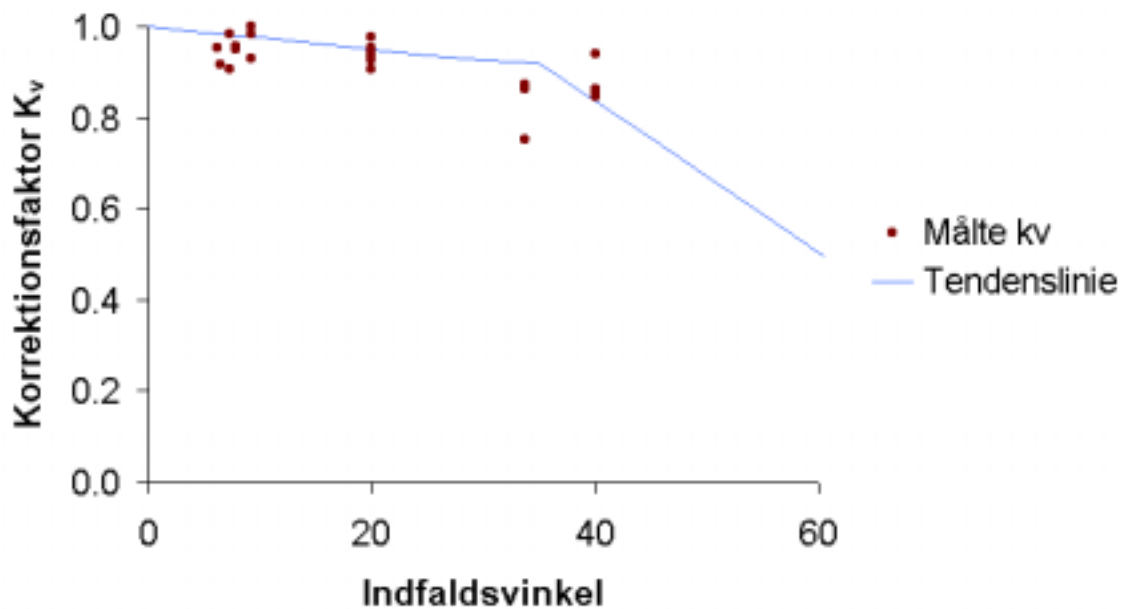
Solindstrålingen i løbet af dagen varierer fra ca. 1100 W/m² til ca. 200 W/m², som det ses på figur 17. Middelværdien af transmittans ved lav solindstråling (200 til 400 W/m²) er ca. 0,50 og ved høj solindstråling (400 til 1100 W/m²) 0,54, altså en svag stigning af transmittansen ved stigende solindstråling. De målte værdier findes i appendiks A skema A4. Forklaringsnøglen til højre i Figur 17 viser serier med forskellige indfaldsvinkler. Middelværdien af transmittans for de store indfaldsvinkler er 0,48. På Figur 18 er endeligt optegnet kurven for k_v . Denne kurve kan benyttes til at korrigere for indfaldsvinklen.

For at sammenligne med resultater fra den indendørs g -værdimåling ($g = 0,46$) skal man huske at henhøre til samme areal. G -værdi målingen benytter et ydre areal på 1,82 m², hvorimod det transparente areal består af de fire felter og tilsammen giver et areal på 1,52 m². Betydningen af



dette er en faktor $1,82/1,52 = 1,2$.

Figur 17. Visning af transmittans og solindstråling, den store variation i solindstråling skyldes let overskyet vejr med enkelte gennembrud af klar sol. Forklaringsnøglen henviser til indfaldsvinklen under hvilken transmittansen er målt.



Figur 18: K_v værdien angiver korrektionsfaktoren for indfaldsvinklen. Ved en indfaldsvinkel på 40° er transmittansen faldet til ca. 84% af indstråling ved 0° indfaldsvinkel.

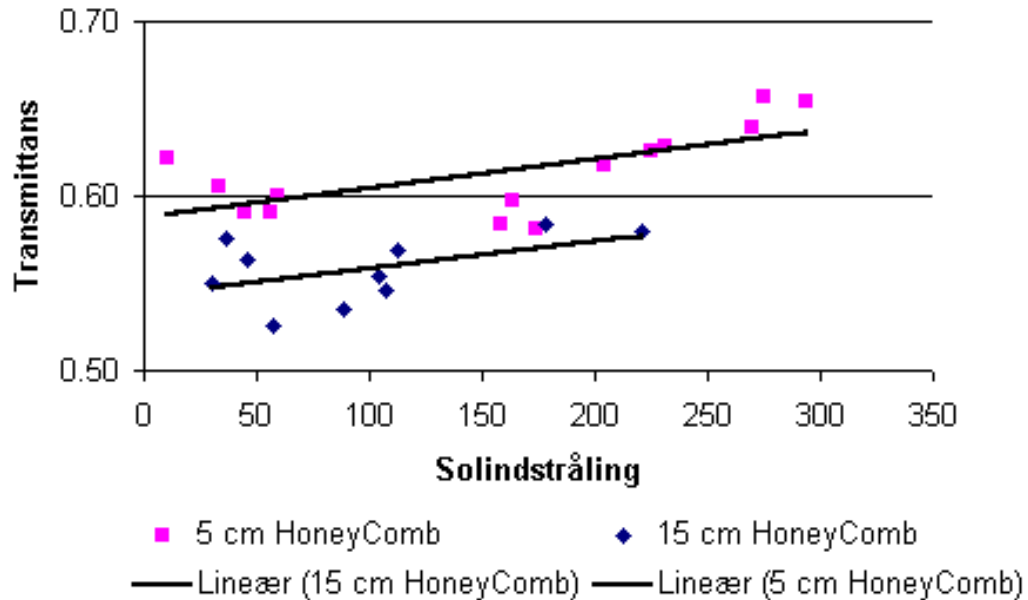
4.2 Transmittansmåling for et element med tykkelsen 5 cm

Michael Carlsen har udført eksperimenter med HoneyCombelementer. Eksperimenterne er udført ved målinger af temperaturer i bokse med dæklag opadtil bestående af HoneyCombelementer med forskellige tykkelser, og viste gennemgående højere temperaturer i de tilfælde hvor dæklaget havde en tykkelse på 5 cm sammenlignet med de tilfælde hvor dæklaget havde en tykkelse på 15 cm. Dette har givet anledning til at vi har lavet sammenlignende målinger af 2 ekstra elementer bestående af HoneyComb i tykkelserne 15 cm og 5 cm imellem to lag glas. Målingerne skal ikke sammenholdes med de målinger som er foretaget på HoneyComben, det isoleringspanel som er genstand for denne prøvningsrapport. Undersøgelsen kan bruges til at vurdere den optiske betydning af at ændre tykkelsen på elementet. Resultatet viser at transmittansen for elementet med tykkelsen 5 cm øges med 4,5 %-point i forhold til elementet med tykkelsen 15 cm.

Soltransmittansen er for de to tykkelser HoneyComb målt i DTU's udendørs soltracker. Solstrålingens indfaldsvinkel til prøveplanet er målt til ca. 15° . Målingerne er foretaget den 25/10-2002 hen over middag med skydække. To solarimetre (af typen Kipp og Zonen CM11) er anvendt, et placeret frit mod himlen og et placeret bag ved elementet. Ved målingerne måles den totale bestrålingsstyrke, E , og den totale transmitterede bestrålingsstyrke, E_t , gennem elementet. Ud fra disse størrelser beregnes den hemisfæriske transmittans for den valgte position af solarimeter som E_t/E . Målingerne som er illustreret på figur 19, viser en forskel i transmittans på 4,5 %-point. Dette er illustreret ved, for målepunkterne af de to serier, at indtegne rette tendenslinier. Tendenslinierne holder den samme afstand, 4,5 %-point, i det målte område for solbestrålingsstyrke.

Ved større indfaldsvinkler kan det tænkes at tykkelsen har større betydning. Afhængigheden af indfaldsvinkel kan dermed være ændret ved ændret tykkelse af HoneyComb i elementet. For den diffuse stråling er resultatet uændret.

På billedet i figur 20 er vist opsætningen af de to elementer med henholdsvis 5 cm tykkelse og 15 cm tykkelse. Det ses at det tynde element er trukket tilbage i forhold til det andet. For at sikre os at dette ikke gav randeffekter, blev de sidste målinger foretaget med kun et element monteret ad gangen. Denne øvelse gav ikke anledning til nogen forskel i den målte transmittans, hvilket vil sige at de to elementer monteret ved siden af hinanden ikke forstyrrer målingerne.



Figur 19. Transmittansmålinger af elementer med HoneyComb-tykkelser på 5 cm og 15 cm tykkelse. Der er tegnet rette tendenslinier for de to tykkelser af HoneyComb hvilket viser at der i det målte område for solbestrælingsstyrke er en forskel i transmittans på 4,5 %-point.



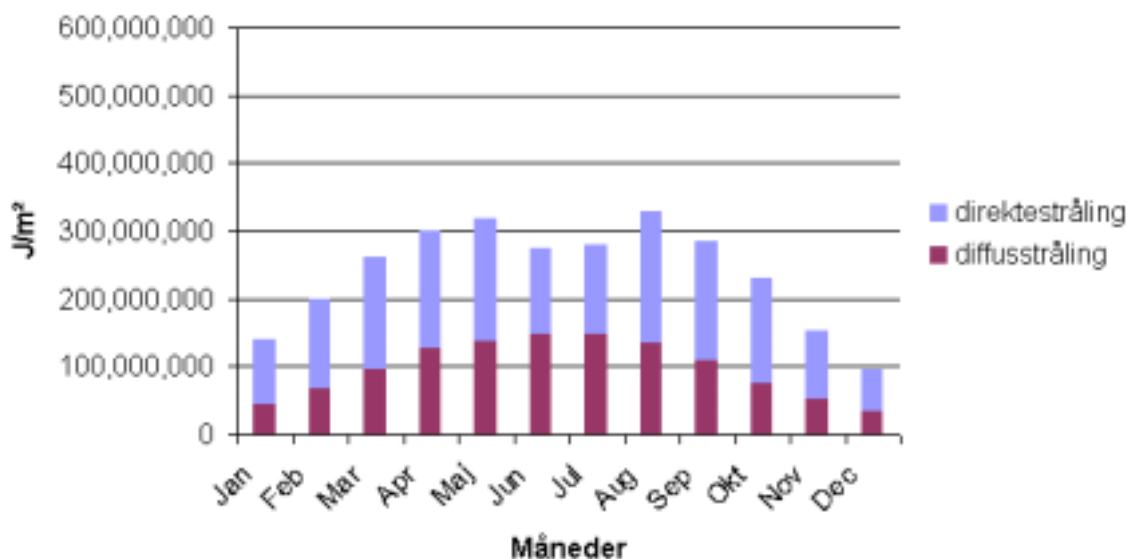
Figur 20: Billede af elementer med forskellig tykkelse HoneyComb opsat i DTU's udendørs soltracker. Planet med målepind til registrering af indfaldsvinkel ses til venstre.

5 Solstråling

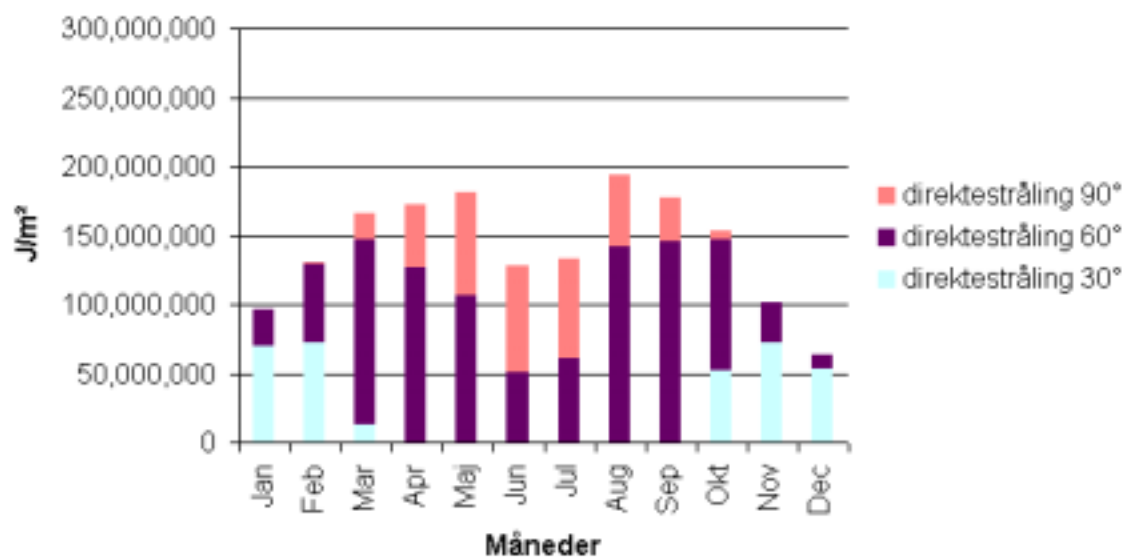
5.1 Årsvariationer af solstråling på en flade med 11° hældning orienteret mod nord samt en lodret flade orienteret mod syd

Af hensyn til overslagsvurderinger af betydningen ved montering af Honeycomben, enten som solvæg orienteret mod syd i et enfamiliehus eller Honeycomben monteret tagintegreret som luftsolfanger orienteret mod nord med en lille hældning, er der udarbejdet tabeller over solindfald for de to flader som indkommen energi pr. m² på månedsbasis. Tabellerne gælder for en lokalitet med breddegrad 55,5 og længdegrad -12,5.

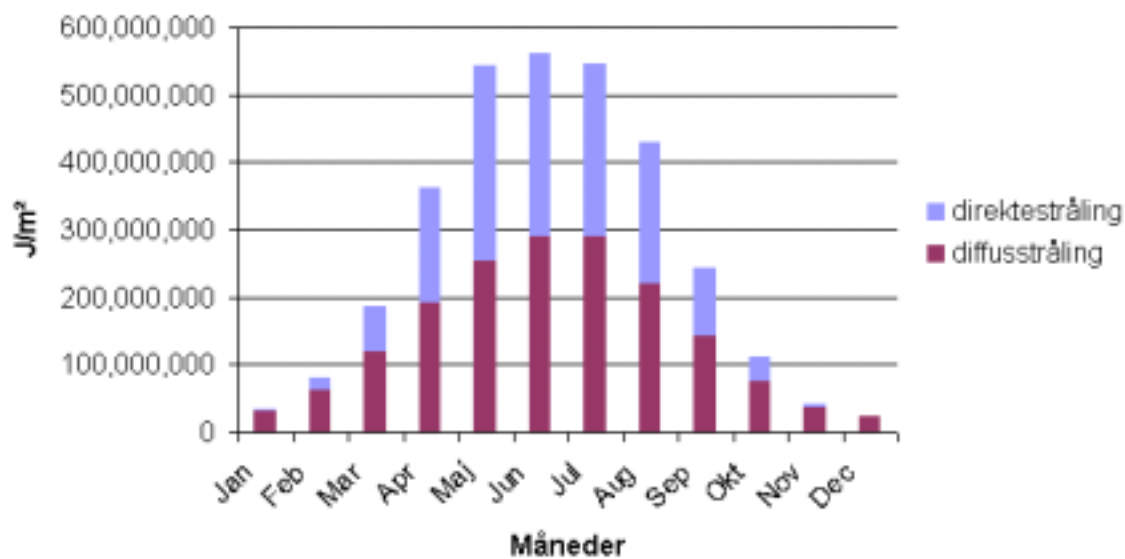
Tabellerne er fremkommet ved at benytte det BYG.DTU udviklede program Soldia [Rafnsson], som ud fra vejrdatasettet ”reference året DRY” [Møller Jensen, Lund] kan bestemme nye vejrdataset for den aktuelle flade og orientering. Vi har baseret vejrdataset på 5 min værdier hvilket er tilgængeligt i DRY for solstrålingsdata. Udfra de fundne vejrdataset er der lavet en akkumulering af energien for hver måned for sig. Solstrålingsdata er delt op på hvad der er diffusstråling og hvad der er direktestråling, desuden er der ved opsummeringen opdelt i den del af den direkte stråling som har indfaldsvinkler under 30°, den del som har indfaldsvinkler imellem 30° og 60° og den del som har indfaldsvinkler større end 60°. I appendiks A findes tabellerne for solstrålings data, for de to flader. Figur 11 og 12 viser søjlediagrammer pr. måned af solstrålingsdata for en lodret flade mod syd, delt op efter diffus og direkte stråling samt efter forekommende indfaldsvinkler. Figure 13 og 14 viser tilsvarende for en flade orienteret mod nord og med en hældning på 11°.



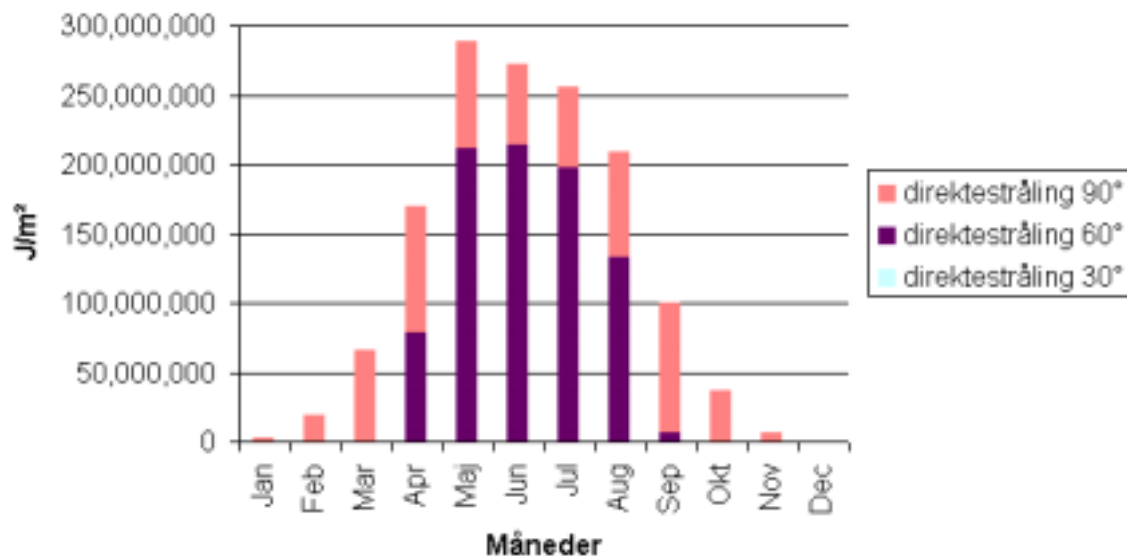
Figur 11: Solstråling som kommer ind på en lodret flade orienteret mod syd delt op på diffus og direkte stråling.



Figur 12: Den direkte solstråling som kommer ind på en lodret flade orienteret mod syd delt op på 3 grupper af forekommende indfaldsvinkler: 0-30°, 30°-60°, 60°-90°.



Figur 13: Solstråling som kommer ind på en flade orienteret mod nord og med en hældning på 11°, delt op på diffus og direkte stråling.



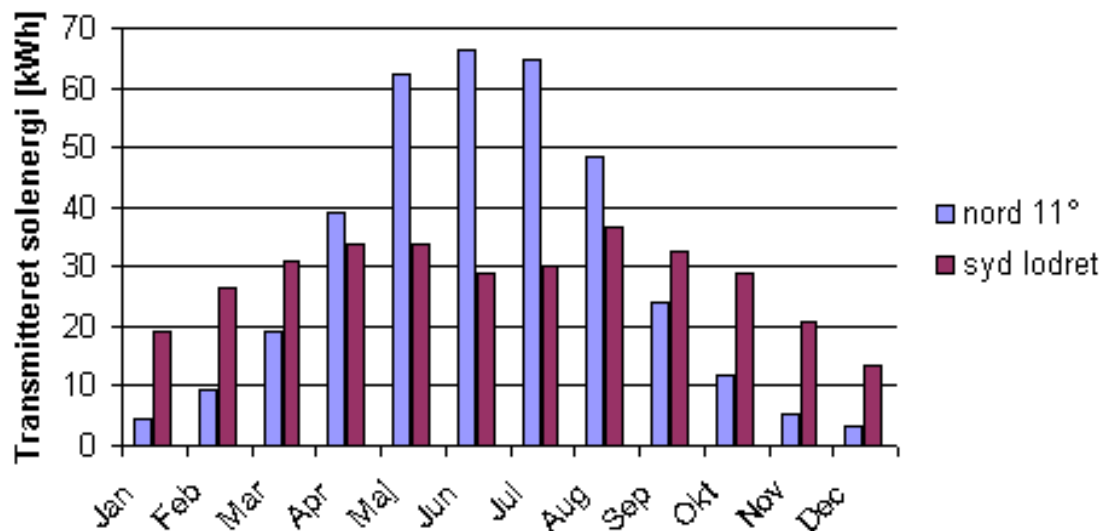
Figur 14: Den direkte solstråling som kommer ind på en flade orienteret mod nord og med en hældning på 11°, delt op på 3 grupper af forekommende indfaldsvinkler: 0-30°, 30°-60°, 60°-90°.

5.2 Strålingsbidrag ind gennem 1 m² af det translucente bygningselement

De månedsbaserede solstrålingsdata er i dette afsnit benyttet til at få et overslag over den transmitterede solstråling igennem Honeycomben, orienteret mod nord og med en hældning på 11°. I Tabel 4 er de i overslaget benyttede transmittansværdier angivet. Værdierne for transmittans er taget fra de målte værdier, og korrektionen for indfaldsvinkel er taget som gennemsnit for de 3 grupperinger 0 – 30°, 30°-60° og 60°- 90°. Der er ikke taget hensyn til skyggevirkning fra omgivelser og heller ikke taget hensyn til reflekteret stråling fra omgivelserne. Tabellerne i appendiks A indeholder værdierne for transmitteret energi baseret på overslaget. I figur 15 ses den transmitterede energi for fladen med hældning mod nord og for den lodrette flade mod syd. Det ses at den lodrette flade mod syd har en pænere jævn fordeling over året end fladen mod nord har.

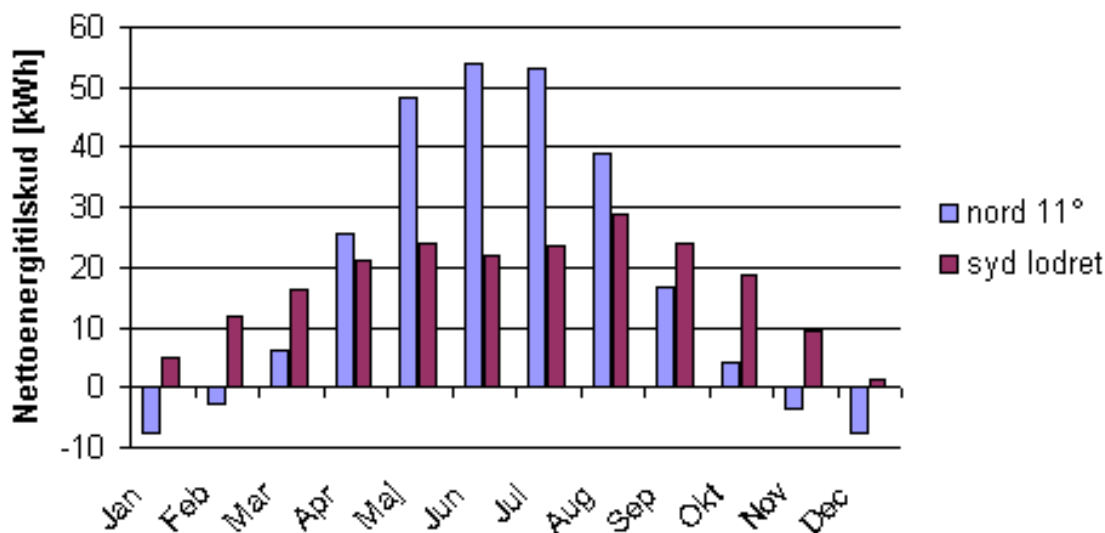
Tabel 4: Transmittansværdier benyttet i overslag for transmitteret solstråling.

Indfaldsvinkel	Transmittans	0 - 30°	30° - 60°	60° - 90°
Faktor for indfaldsvinkel		0.96	0.75	0.26
Transmittans diffuse	0.5	0.5	0.5	0.5
Transmittans direkte	0.54	0.52	0.41	0.14



Figur 15: Overslag over transmitteret solenergi pr. måned igennem en m² af Honeycomben for en orientering mod nord, hældende 11 grader og for en orientering mod syd i lodret position.

Varmetabet gennem det translucente bygningselement kan bestemmes ud fra U-værdi og gradtimer pr. måned. Baseres gradtimerne på forskellen imellem 20°C som indetemperatur og udetemperaturen samt en g-værdi der er 0,46, kan vi beregne et nettoenergitilskud. Tabel over nettoenergitilskud og gradtimer findes i appendiks A skema A3. I figur 16 ses nettoenergitilskuddet gennem bygningselementet pr. m² for en flade orienteret mod nord og med en hældning på 11°.



Figur 16: Nettoenergitilskud pr. måned for to flader baseret på g-værdi og gradtimer i forhold til en indetemperatur på 20°C.

6 Stagnationstemperaturer i 5 cm tykt HoneyComb

Der er udført en temperaturstagnationprøvning af en søjle, som svarer til en opbygning af solvæg med HoneyCombelementer som dæklag i en isoleret boks foret med sort filt og åbninger i bund og top. Imellem dæklag og sort filt er der en luftspalte. Søjlen bestod i første omgang af 4 dæklags-elementer, bredde ca. 600 mm og højde ca. 700 mm. På grund af for ringe fastgørelse af dæklag til boksen, havde vi et uheld hvor et element gik tabt. Søjlen kom derfor til at bestå af 3 elementer med en samlet højde på 210 cm. HoneyCombdæklagselmenterne bestod yderst af et 6 mm glas og inderst af 50 mm HoneyComb pakket ind i polykarbonatfolie. Luftspalten havde en dybde på 100 mm og var som start helt åben i bund og top.

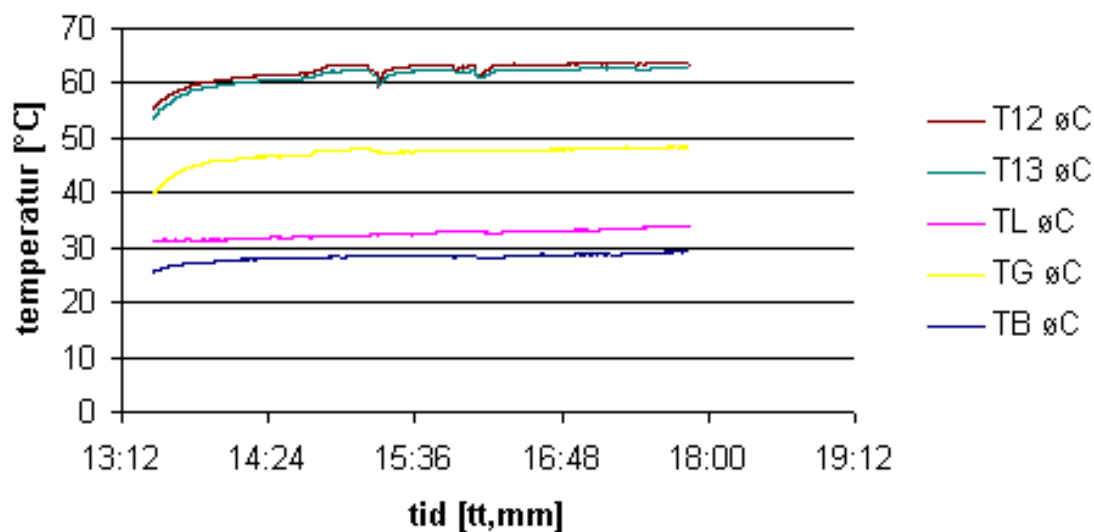
Stagnationsprøvningen blev foretaget i BYG•DTU's kunstige sol, med søjleelementet anbragt vertikalt og dermed en indfaldsvinkel på 22,5 grader for solstrålingen. Dette giver gode muligheder for absorption i HoneyCombelementet og derfor stor opvarmning af HoneyComb materialet. Efter opnået stagnation, blev der til sidst eksperimenteret med tillukning af ventilationsspaltens åbning foroven. Herved opnåede vi temperaturer over materialets holdbarhedsevne og vi kan derfor konkludere at HoneyComb ikke kan anvendes i solvægge uden omtanke for ventilation af det bagved værende rum.

Nedbrydningen af materialet, som skete ved omkring 90°C, viste sig ved begyndende smeltning af kanter samt udfældning af materiale på glasset. Polykarbonatfolien begyndte at hænge i bølger på bagsiden af dæklagselementet

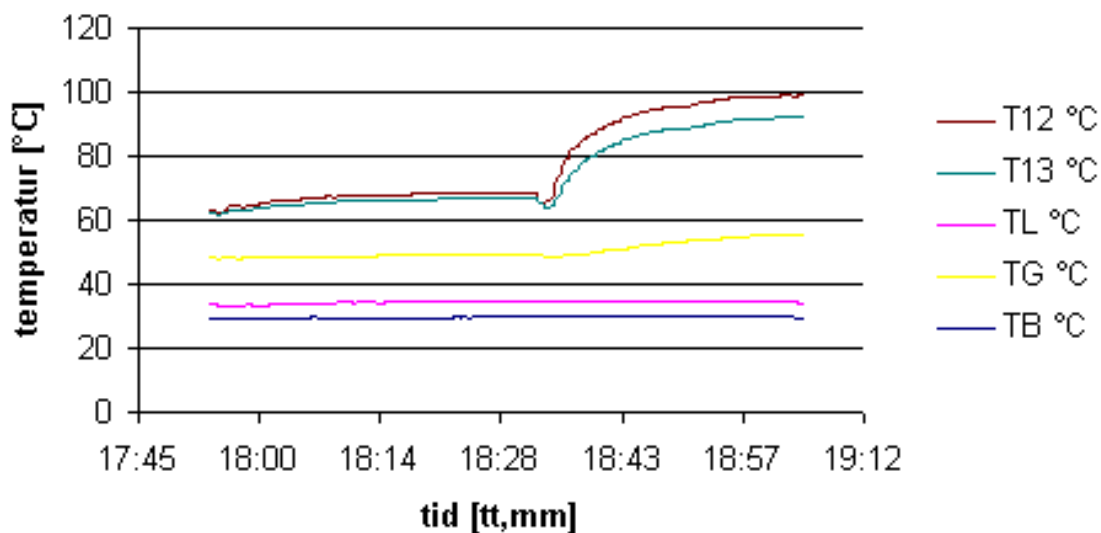
Der blev målt temperaturer på udvendig side af glas, i luftrum indvendigt i honeycomb og på bagsiden af honeycomb lige inden for polykarbonatfolien. Desuden målt temperaturer på filtbelægningen i boksen samt lufttemperaturer foran og bagved solvægssøjlen. Solbestrålingsstyrken blev målt løbende med solarimetre placeret ved siden af søjlen. Af hensyn til flytning af solarimetre fra bund til top, befandt de sig i et plan ca. 10 cm foran glassets plan. På grund af indfaldsvinklen varierer bestrålingsstyrken en del fra bund til top af søjleelementet, men belastningen, taget den høje omgivelsestemperatur i betragtning, må siges at være værst tænkelig.

Figur 21 og 22 gengiver temperaturforløbet under stagnationprøvningen. T12 og T13 er temperaturer i det øverste element i luftrum indvendigt i HoneyComb og på bagsiden af HoneyComb lige inden for polykarbonatfolie. TL er lufttemperaturen foran søjlen, og TB er lufttemperaturen bag ved søjlen. TG er glassets temperatur udvendigt. Solbestrålingsstyrken var ca. 900 W/m² ved øverste dæklagselement og 700 W/m² ved nederste dæklagselement.

Stagnationstemperaturen er med fuld spalteåbning 63°C. Ved reduktion af spalten til 2,5 cm øges stagnationstemperaturen til 66 °C. Helt uden spalteåbning opnåede vi temperaturer på 99 °C.



Figur 21: Stagnationstemperaturer, luftspalten er fuldt åben i bund og top.



Figur 22: Stagnationstemperaturer, luftspalten reduceres til 2,5 cm, fuld brede. Senere er luftspalten helt tilstoppet.



Figur 23: Billede af søjle med tre dæklagselmenter med HoneyComb.



Figur 24: Billede af dæklagelementet efter stagnationsprøvning. Det ses at polykarbonatfolien hænger i bølger på bagsiden. Desuden ses der aflejring af materiale på glasset svarende til hvis der havde været forekomst af dug indvendigt. Kanterne af celluloseacetat i HoneyComb materialet blev hvidligt som tegn på begyndende smeltning.

7 Opsummering af resultater

Prøvningsresultaterne af det leverede bygningselement har givet os U-værdi, g-værdi og τ -værdi.

- resultatet af U-værdimåling er 0,74,
- resultatet af G-værdi for direkte stråling er 0,46,
- resultatet af transmittansmåling udendørs med varierende indfaldsvinkler har givet os mulighed for at fastlægge en korrektionsfaktor for vinkler op til 40°.
- Transmittansen for diffus stråling øges med 4,5 %-point ved at benytte HoneyCombtykkelsen 5 cm i stedet for 15 cm.
- ved stagnationsprøvning i kunstig sol har vi fundet materialets øvre grænse for hvad det kan tåle af temperaturer, ca. 90 °C. Materialet kan ikke indgå i en vægkonstruktion udsat for direkte solbestråling, uden at der er et ventileret hulrum bag ved det.

Desuden giver rapporten, på månedsbasis, strålingsbidrag ind gennem 1 m² af bygningselement orienteret mod nord med en hældning på 11° og tilsvarende for en orientering mod syd for et lodret placeret element.

Referencer

- [Møller Jensen, Lund] DESIGN REFERENCE YEAR, DRY – Et nyt Dansk referenceår, Jerry Møller Jensen, Hans Lund, DTU LFV meddelelse nr. 281, Oktober 1995.
- [Rafnsson] Soldia for windows 95, Rafn Yngvi Rafnsson, DTU IBE, februar 1997.
- [Carlsen, Rahbek] Translucent isolerende klimaskærm, DTU IBE, Sagsrapport SR-9723, 1997.

Tilknyttede rapporter

- [Olsen] Translucent isolerende klimaskærm. Optimering af konstruktion, Lars Olsen, Teknologisk Institut, Byggeri, Juni 2000.
- [Olsen] Translucent isolerende klimaskærm. Overslagsmæssig beregning af energiforbrug, Lars Olsen, Teknologisk Institut, Byggeri, august 2003.
- [Carlsen] Translucent isolerende klimaskærm. Slutrapport 2. fase, 2003.
- [Carlsen] Translucent isolerende klimaskærm. Tegninger, 2003.

A. Appendiks. Solstrålingsdata og målt transmittans

Skema A1: Solstrålingsdata for en flade orienteret mod nord med en hældning på 11°. Sidste kolonne er et overslag over transmitteret solstråling igennem et 15 cm tykt honeycomb element.

	direktestråling	diffusstråling	totalstråling	direktestråling 30°	direktestråling 60°	direktestråling 90°	Transmitteret solstråling
	J	J	J	J	J	J	kWh
Jan	95,832,000	43,147,800	144,553,800	68,474,000	26,368,000	0	19.0
Feb	130,823,400	67,895,700	210,236,400	72,759,800	55,895,400	2,168,400	26.3
Mar	165,818,100	94,736,700	283,944,000	12,629,100	134,311,800	18,877,200	30.8
Apr	172,281,000	126,620,100	339,920,400	0	127,196,400	45,064,600	33.7
Maj	181,004,100	137,007,600	376,829,400	0	106,049,700	74,954,400	33.9
Jun	127,601,700	146,872,800	333,820,200	0	50,188,200	77,413,500	29.1
Jul	132,703,200	146,473,800	336,790,500	0	60,363,700	72,349,500	30.0
Aug	193,299,900	134,785,200	376,340,100	0	141,236,100	52,063,800	36.6
Sep	177,178,200	108,362,200	314,970,800	0	145,363,500	31,814,700	32.6
Okt	153,294,900	75,834,000	244,477,500	51,553,800	94,804,800	6,936,300	28.9
Nov	101,250,900	50,625,700	158,888,700	72,595,500	28,655,400	0	20.7
Dec	62,667,000	33,304,200	99,681,900	52,734,900	9,932,100	0	13.3

Skema A2: Solstrålingsdata for en vertikalflade orienteret mod syd. Sidste kolonne er et overslag over transmitteret solstråling igennem et 15 cm tykt honeycomb element.

	direktestråling	diffusstråling	totalstråling	direktestråling 30°	direktestråling 60°	direktestråling 90°	Transmitteret solstråling
	J	J	J	J	J	J	kWh
Jan	2,133,900	31,224,900	33,466,200	0	0	2,133,900	4.4
Feb	18,406,800	61,464,600	80,081,700	0	0	18,406,800	9.3
Mar	66,028,800	120,093,600	186,540,000	0	0	66,028,800	19.3
Apr	168,044,300	192,541,500	362,357,400	0	78,293,700	90,750,600	39.1
Maj	268,036,900	254,378,700	543,508,800	0	211,677,000	76,359,900	62.1
Jun	272,379,000	288,816,000	562,295,800	0	214,532,400	57,846,600	66.5
Jul	255,529,200	289,676,100	546,232,800	0	197,037,600	58,491,600	64.7
Aug	209,057,100	219,708,300	429,646,800	0	132,916,200	76,140,900	48.4
Sep	100,018,800	142,341,600	242,902,800	0	6,652,500	93,366,300	24.2
Okt	36,965,100	74,210,100	111,472,200	0	0	36,965,100	11.7
Nov	6,206,400	35,679,300	42,021,900	0	0	6,206,400	5.2
Dec	162,000	22,233,600	22,463,100	0	0	162,000	3.1

Skema A3: Graddage baseret på en indetemperatur på 20°C og tilsvarende varmetab pr måned.

	Graddage	1000 Gradtimer	Varmetab
			kWh
Jan	637	15	11
Feb	589	14	10
Mar	567	14	10
Apr	432	10	8
Maj	269	6	5
Jun	153	4	3
Jul	115	3	2
Aug	122	3	2
Sep	226	5	4
Okt	337	8	6
Nov	456	11	8
Dec	574	14	10
	4,477	107	80

Skema A4. Resultater fra måling af transmittans udendørs i DTU's soltracker.99

		Indvendigt solarimeter 923920	Udvendigt solarimeter 913814	Transmittans	Indfaldsvinkel	Tid (sommer)
Solarimeter konstant		4.38 mV V/m^2 (1) 228311 $\text{W/m}^2/\text{V}$	4.82 mV V/m^2 (3) 207469 $\text{W/m}^2/\text{V}$			
Indfaldsvinkel						
Hældning	Nær lodret	274	581	0.47	40.0	12:23
		114	239	0.48	40.0	12:28
dato		126	267	0.47	40.0	12:30
9. august 2002		205	428	0.48	40.0	12:34
		322	617	0.52	40.0	12:36
		269	516	0.52	40.0	12:36
	57.4	468	861	0.54	19.9	12:56
		342	654	0.52	19.9	12:58
		308	591	0.52	19.9	13:00
		251	488	0.52	19.9	13:02
		251	475	0.53	19.9	13:04
		144	285	0.50	19.9	13:07
	45.7	211	399	0.53	7.8	13:08
		248	467	0.53	7.8	13:12
		186	368	0.50	7.4	13:13
		405	742	0.55	7.4	13:14
		217	425	0.51	6.4	13:18
		291	550	0.53	6.2	13:20
	31.2	571	1027	0.56	9.2	13:24
		591	1141	0.52	9.2	13:26:30
		360	659	0.55	9.2	13:26:00
		274	571	0.48	33.7	13:45
		320	659	0.48	33.7	13:50
	8.2	245	586	0.42	33.7	13:53
		360	744	0.48	33.7	14:02
Hældning	Nær lodret				14.9	12:21
	5 cm HoneyComb	192	293	0.65		
		181	275	0.66		
dato		98	164	0.60		
25. oktober 2002		141	225	0.63		
		145	231	0.63		
		126	204	0.62		
		173	270	0.64		
		92	158	0.58		
		101	174	0.58		
		20	33	0.61		
		26	45	0.59		
		6	10	0.62		
		33	56	0.59		
		36	60	0.60		
	15 cm HoneyComb	58	104	0.55		
		64	112	0.57		
		104	178	0.58		
		58	107	0.55		
		128	221	0.58		
		546	869	0.63		
		370	590	0.63		
		66	123	0.54		
		69	128	0.54		
		47	88	0.54		
		30	57	0.53		
		26	46	0.56		
		21	37	0.58		
		16	30	0.55		