

EXPLICIT UDBYTTEFUNKTION FOR SOLFANGERE,

UDBYTTE AF SOLFANGERE UNDER DANSKE KLIMAFORHOLD

KRISTIAN KRÆGPØTH

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



JANUAR 1977

MEDDELELSE NR. 52

EXPLICIT UDBYTTEFUNKTION FOR SOLFANGERE, UDBYTTE AF SOLFANGERE UNDER DANSKE KLIMAFORHOLD

Kristian Krægpøth

INDLEDNING

Beregning af en solfangers udbytte er som regel en kompliceret og langvarig proces, hvis man ønsker et nuanceret billede af de virkelige forhold. Kun enkelte empiriske formler med et minimum af implikation er opbygget. Et eksempel er Kleins formel for det totale varmetab for en flat-plate solfanger (refereret i ref. 2). Denne formel har den fordel, at den passer på alle flat-plate solfangere. Den gælder desværre kun i temperaturområdet 40-130°C og indeholder en enkelt iteration. Andre mere nøjagtige formler med tilsvarende flere iterationer anvises i Solar Energy Thermal Processes af Duffie og Beckman (ref. 2).

Ved isolerede beregninger af en solfangers ydelse under visse klimatiske forhold betyder disse regneprocesser ikke så meget, men ved beregninger af solfangerydelsen for hver halve eller hele time året rundt er det væsentligt at reducere regnearbejdet så meget som muligt. Dette kan gøres ved at opstille en explicit udbyttefunktion.

En sådan funktion vil direkte give udbyttet som funktion af de kendte størrelser:

- 1) indfaldsvinkel for direkte stråling
- 2) middelindfaldsvinkel for diffus stråling
- 3) intensitet af direkte stråling
- 4) intensitet af diffus stråling
- 5) vindhastighed
- 6) lufttemperatur
- 7) indløbstemperatur
- 8) solfangerhældning
- 9) transportmedieflow

I denne rapport skal:

- 1) formen af et explicit udtryk for solfangerudbyttet beskrives.
- 2) konstanterne i dette udtryk bestemmes for 3 solfangere med grundlag i den teoretiske model, PSV, af en solfanger (ref.3).
- 3) det månedlige udbytte bestemmes som funktion af solfangerhældning og indløbstemperatur under danske klimaforhold, Referenceåret (ref. 8).
- 4) udtrykkets nøjagtighed, anvendelighed og begrænsninger diskuteres.

UDVIKLING AF UDBYTTEFUNKTION

Udbyttet UDB ($W m^{-2}$) kan skrives som:

$$UDB = ABS - TAB$$

hvor ABS er den energi, som absorberen absorberer ($W m^{-2}$).
TAB er det totale tab fra absorberen ($W m^{-2}$).

Den absorberede energi afhænger af:

indfaldsvinklen af den direkte stråling VI (grader),
middelindfaldsvinklen af den diffuse stråling VS (grader),
intensiteten af den direkte stråling på solfangerplanet HPDR ($W m^{-2}$),

intensiteten af den diffuse stråling på solfangerplanet HPDF ($W m^{-2}$) og

den del af absorberen, der er belyst, SKF.

Transmissionen gennem ét lag glas kan skrives som et 12.-grads polynomium af indfaldsvinklen af strålingen. Den resulterende transmission gennem eventuelle flere dækglasser og absorption i absorberen skal i denne model tilnærmes et 12.-grads polynomium.

Den belyste del af absorberen afhænger ligeledes af indfaldsvinklen men på en ret kompliceret måde, idet både solhøjde og -azimut, solfangerhældning og -azimut indgår. Da skyggeandelen som regel er lille i den tid, hvor de store solindfald finder sted, tilnærmes den belyste del med en konstant. Den transmitterede og absorberede stråling multipliceres således med en konstant for at

kompensere for skyggen på absorberen. Kun den direkte stråling regnes udsat for skyggevirksomhed.

I alt fås for den absorberede energi:

$$ABS = (C1 \cdot VI^{12} + C2 \cdot VI^6 + C3 \cdot VI + C4) \cdot HPDR \cdot C5 + (C1 \cdot VS^{12} + C2 \cdot VS^6 + C3 \cdot VS + C4) \cdot HPDF \quad (1)$$

hvor C1 - C5 er konstanter.

Konstanterne C1 - C4 bestemmes ved at finde sammenhørende værdier af VI og ABS/HPDR ved hjælp af den solfangermodel, som man ønsker skal ligge til grund for den explicite funktion for UDB. Konstanterne findes da ved en regressionsanalyse af de frie variable VI^{12} , VI^6 og VI og den afhængige variabel ABS/HPDR.

Konstanten C5 findes ved at lade solhøjde og -azimut, solfangerhældning og -azimut gennemløbe passende værdier og derved finde en passende middelværdi C5 af den belyste del af absorberen, SKF.

Det totale tab TAB kan skrives:

$$TAB = TABTOP + TABKNT + TABBND$$

hvor TABTOP er tab gennem dækglasser ($W m^{-2}$)

TABKNT er tab gennem sider ($W m^{-2}$)

TABBND er tab gennem bagsiden ($W m^{-2}$)

For at finde et explicit udtryk for TABTOP skal energistrømmene gennem dækglassene betragtes. Fig. 1 viser tilnærmet, hvorledes energistrømmene løber.

Strømmen H(I) mellem to lag dækglasser er da:

$$H(I) = TABTOP + \sum_{J=I+1}^{N-1} A(J) \cdot HP$$

hvor A(J) svarer til den vægtede, resulterende absorptionskoefficient for lag J (vægtet for den direkte, HPDR, og diffuse, HPDF, stråling)

HP er den totale indstråling.

For $2 \leq I \leq N$ har vi:

$$H(I) = (KKL(I) + KRA(I)) \cdot (T(I) - T(I-1))$$

hvor $KKL(I)$ er transmissionstal for konvektion og ledning mellem lag I og lag $(I-1)$ ($W m^{-2} ^\circ C^{-1}$)

$KRA(I)$ er transmissionstal for stråling mellem lag I og lag $(I-1)$ ($W m^{-2} ^\circ C^{-1}$)

$T(I)$ er temperatur af lag I ($^\circ K$).

For $I = 1$ gælder:

$$H(1) = KKL(1) \cdot (T(1) - TL) + KRA(1) \cdot (T(1) - TH)$$

hvor TL er omgivende lufttemperatur ($^\circ K$)

TH er middelstrålingstemperaturen ($^\circ K$)

I energistrømmene $H(I)$ indgår funktionerne $KKL(I)$ og $KRA(I)$.

For $I = 1$ er valgt:

$$KKL(1) = C \cdot WVA + C \quad (\text{ref. 10})$$

hvor C er en konstant (i det følgende vil C blot betegne en konstant; $X = C \cdot Y + C$ antyder således kun, at X er lineært afhængig af Y , de to C 'er behøver ikke at have samme værdi)

WVA er vindhastigheden i nærheden af solfangeren ($m s^{-1}$)

$$KRA(1) = C \cdot (T(1)^2 + TH^2) \cdot (T(1) + TH)$$

For $2 \leq I \leq N$ er valgt:

$$KKL(I) = (C \cdot SFH + C) \cdot (T(I) - T(I-1))^{0,25} + C$$

hvor SFH er solfangerhældning fra lodret (grader) og

$$KRA(I) = C \cdot (T(I)^2 + T(I-1)^2) \cdot (T(I) + T(I-1)) \quad (\text{ref. 3,4})$$

Ved at summere alle energistrømmene $H(I)$ fås:

$$\sum_{I=1}^N H(I) = N \cdot TABTOP + \sum_{K=1}^N \sum_{J=K}^{N-1} A(J) \cdot HP =$$

$$\begin{aligned} & (C \cdot WVA + C) \cdot (T(1) - TL) \\ & + C \cdot (T(1)^2 + TH^2) \cdot (T(1) + TH) \cdot (T(1) - TH) \\ & + \sum_{I=2}^N [(C \cdot SFH + C) \cdot (T(I) - T(I-1))^{0,25} + C \\ & + C \cdot (T(I)^2 + T(I-1)^2) \cdot (T(I) + T(I-1))] \cdot [T(I) - T(I-1)] \end{aligned}$$

I dette udtryk findes flere ukendte størrelser.

$A(J)$ afhænger af indfaldsvinklen.

Da størrelserne $A(J) \cdot HP$ som regel er små i forhold til $TABTOP$, antages det, at:

$$\sum_{K=1}^N \sum_{J=K}^{N-1} A(J) \cdot HP = C \cdot ABS$$

For at eliminere de ukendte temperaturer $T(I)$ indføres funktionerne:

$$e_I(T(N), TL) = \frac{T(I) - T(I-1)}{T(N) - TL}$$

$$f_I(T(N), TL) = \frac{(T(I)^2 + T(I-1)^2) \cdot (T(I) + T(I-1))}{(T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL)} \quad \text{og}$$

$$g_I(T(N), TL) = \frac{(T(I) - T(I-1))^{0,25}}{(T(N) - TL)^{0,25}} = (e_I(T(N), TL))^{0,25}$$

Summen af energistrømmene kan da skrives:

$$\begin{aligned} \sum_{I=1}^N H(I) &= N \cdot TABTOP + C \cdot ABS \\ &= \left[(C \cdot WVA + C + C \cdot f_1(T(N), TL) \cdot (T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL)) \right. \\ &\quad \cdot e_1(T(N), TL) \cdot [T(N) - TL] \\ &\quad + \sum_{I=2}^N [(C \cdot SFH + C) \cdot g_I(T(N), TL) \cdot (T(N) - TL)^{0,25} + C \\ &\quad + C \cdot f_I(T(N), TL) \cdot (T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL)] \\ &\quad \cdot e_I(T(N), TL) \cdot [T(N) - TL] \end{aligned}$$

idet $(T(1)^2 + TH^2) \cdot (T(1) + TH)$ og $(T(1) - TH)$ antages proportionale med henholdsvis $(T(1)^2 + TL^2) \cdot (T(1) + TL)$ og $(T(1) - TL)$.

Som tilnærmelse til e_I , f_I og g_I kan anvendes:

$$e_I(T(N), TL) = C + C \cdot (T(N) - TL)$$

$$f_I(T(N), TL) = C + C \cdot (T(N) - TL)$$

$$g_I(T(N), TL) = C + C \cdot (T(N) - TL)$$

(Se appendix A).

Indsættes disse funktioner i udtrykket for summen af $H(I)$, ordnes leddene, og flyttes $C \cdot ABS$ over på højre side af lighedstegnet og divideres med N , fås:

$$\begin{aligned} TABTOP = & [C \cdot WVA + (C \cdot SFH + C \cdot SFH \cdot (T(N) - TL) + C) \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \\ & + (C \cdot (T(N) - TL) + C) \cdot (T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) + C] \cdot [T(N) - TL] \\ & + [C \cdot WVA + (C \cdot SFH \cdot (T(N) - TL) + C \cdot (T(N) - TL)) \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \\ & + C \cdot (T(N) - TL) \cdot (T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) + C] \cdot [T(N) - TL]^2 \\ & + C \cdot ABS \end{aligned}$$

For tabene mod siderne og bagsiden antages:

$$TABKNT = C \cdot (T(N) - TL) \quad \text{og}$$

$$TABBND = C \cdot (T(N) - TL)$$

$TAB = TABTOP + TABKNT + TABBND$ vil da have samme form som den for $TABTOP$ angivne.

Da udbyttet kan udtrykkes:

$$UDB = ABS - TAB,$$

vil formen for UDB være den samme som for $TABTOP$.

Ved et passende valg af de frie variable:

$$\begin{aligned} & WVA \cdot (T(N) - TL) \\ & SFH \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \cdot (T(N) - TL) \\ & SFH \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \cdot (T(N) - TL)^2 \\ & (T(N) - TL)^{0,25} \cdot (T(N) - TL) \end{aligned}$$

$$(T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) \cdot (T(N) - TL)^2$$

$$(T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) \cdot (T(N) - TL)$$

$$T(N) - TL$$

$$WVA \cdot (T(N) - TL)^2$$

$$SFH \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \cdot (T(N) - TL)^3$$

$$(T(N) - TL)^{0,25} \cdot (T(N) - TL)^3$$

$$(T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) \cdot (T(N) - TL)^3$$

$$(T(N) - TL)^2$$

$$ABS$$

kan den afhængig variable UDB beregnes eller måles ved hjælp af den model af solfanger, som ligger til grund for den explicite funktion for UDB . Ved en lineær regression af resultaterne bestemmes konstanterne C , således at UDB kan skrives:

$$UDB =$$

$$\begin{aligned} & [C11 \cdot WVA + (C12 \cdot SFH + C13 \cdot SFH \cdot (T(N) - TL) + C14 \cdot (T(N) - TL) + C15) \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \\ & + (C16 \cdot (T(N) - TL) + C17) \cdot (T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) + C18] \cdot [T(N) - TL] \\ & + [C19 \cdot WVA + (C20 \cdot SFH \cdot (T(N) - TL) + C21 \cdot (T(N) - TL)) \cdot (T(N) - TL)^{0,25} \\ & + C22 \cdot (T(N) - TL) \cdot (T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL) + C23] \cdot [T(N) - TL]^2 \\ & + C24 \cdot ABS + C25 \end{aligned} \quad (3)$$

For direkte at kunne bestemme udbyttet, når indløbstemperaturen TI ($^{\circ}K$) er kendt, må vi etablere en direkte forbindelse mellem indløbstemperatur TI og absorbertemperatur $T(N)$.

Som en tilnærmelse kan varmestrømmen fra absorberplade til energitransporterende medie skrives:

$$UDB = ALFA \cdot (T(N) - TM)$$

hvor $ALFA$ er produktet af en transmissionskoefficient (absorberplade-transportmedie) og et areal, karakteristisk for den betragtede solfanger (WOC^{-1}).

TM er middeltemperaturen af transportmediet ($^{\circ}K$).

Tilnærmet kan T_M udtrykkes:

$$T_M = T_I + \frac{T_U - T_I}{2} = T_I + \frac{UDB}{2 \cdot M \cdot CP}$$

hvor T_I er indløbstemperatur ($^{\circ}K$)
 T_U er udløbstemperatur ($^{\circ}K$)
 M er masseflow ($m^3 m^{-2} s^{-1}$)
 CP er varmekapacitet ($J m^{-3} ^{\circ}C^{-1}$)

(I dimensionerne for M og CP indgår m^3 og m^{-3} , idet massefylde-ændringerne regnes for ubetydelige ved de temperaturændringer, der sker i en solfanger).

Et anvendeligt udtryk for $ALFA$ er:

$$ALFA = C \cdot M^{1/3}$$

Vi har da for udbyttet:

$$UDB = C \cdot M^{1/3} \cdot (T(N) - T_I - \frac{UDB}{2 \cdot M \cdot CP})$$

$$\Rightarrow UDB = \frac{(T(N) - T_I) \cdot 2 \cdot C \cdot M^{4/3} \cdot CP}{2 \cdot M \cdot CP + C \cdot M^{1/3}}$$

En anden tilnærmelse til udbyttet er:

$$UDB = C \cdot ABS + C \cdot (T_I - T_L)$$

Sammenholdes disse to tilnærmelser for udbyttet, fås:

$$\frac{T(N) - T_I}{T_I - T_L} \cdot M^{4/3} = C \cdot \frac{ABS}{T_I - T_L} \cdot M + C \cdot \frac{ABS}{T_I - T_L} \cdot M^{1/3} + C \cdot M + C \cdot M^{1/3}$$

Ved et passende valg af de frie variable:

$$\frac{ABS}{T_I - T_L} \cdot M, \quad \frac{ABS}{T_I - T_L} \cdot M^{1/3},$$

M og $M^{1/3}$ og den deraf afhængige variable $\frac{T(N) - T_I}{T_I - T_L} \cdot M^{4/3}$

kan $C_6 - C_{10}$ i udtrykket:

$$\frac{T(N) - T_I}{T_I - T_L} \cdot M^{4/3} = C_6 \cdot \frac{ABS}{T_I - T_L} \cdot M + C_7 \cdot \frac{ABS}{T_I - T_L} \cdot M^{1/3} + C_8 \cdot M + C_9 \cdot M^{1/3} + C_{10}$$

bestemmes ved regressionsanalyse.

Absorberpladens temperatur er da bestemt ved:

$$T(N) = T_I + \frac{ABS \cdot (C_6 \cdot M + C_7 \cdot M^{1/3}) + (T_I - T_L) \cdot (C_8 \cdot M + C_9 \cdot M^{1/3} + C_{10})}{M^{4/3}} \quad (2)$$

Udbyttet kan da direkte beregnes ud fra formel (3), når først den absorberede energi ABS og absorberpladetemperaturen $T(N)$ er beregnet af henholdsvis (1) og (2).

BESTEMMELSE AF UDBYTTEFUNKTION FOR TRE SOLFANGERE

Som model for bestemmelse af funktionerne (1), (2) og (3) kan anvendes dels målte værdier fra prøvninger af test-solfangere, dels matematiske modeller. Med den matematiske model PSV (ref.3) for plane, stationære, vandgennemstrømmede solfangere som basis er funktionerne (1), (2) og (3) beregnet.

Dette er gjort ved først at beregne de resulterende absorptionskoefficienter for indfaldsvinklerne 0° , 5° , ..., 85° , 90° og ved lineær regression at finde konstanterne i formel (1).

Derefter er C_5 fundet ved at bestemme middel af skyggeandelen for en lodret solfanger, som vender mod syd, for alle kombinationer af solhøjden $H_0 = 0^{\circ}$, 20° , 40° , 60° og solazimut $AZ = 0^{\circ}$, 20° , 40° .

Endelig er udbyttet og absorberpladetemperaturen beregnet med en modificeret udgave af PSV (ref.3) for alle kombinationer af de indgående variable som angivet i tabel 1, ialt 648 kombinationer. Modifikationen af PSV består i, at der ikke er taget hensyn til en nedsættelse af den indstrålede energi p.gr.a. støvaflejringer på det yderste dækglas.

Ved trinvis regression (ref.7) bestemmes konstanterne i formel (2). Med absorberpladetemperaturen beregnet efter (2) og de fundne udbytter bestemmes konstanterne i formel (3), ligeledes ved trinvis regression.

Som solfangermodeller er anvendt:

- En sektion af Nul-energihusets solfanger (ref.5) skitseret på fig. 2 og 3.
- En sektion af Nul-energihusets solfanger, dog kun forsynet med 1 lag glas.

- C) En sektion af Nul-energihusets solfanger, dog kun forsynet med 1 lag glas og en selektiv belægning på absorberen (black chrome) med optiske data som vist på fig. 4.

Konstanterne C1 - C25 i formlerne (1), (2) og (3) er angivet i tabel 2. Med disse konstanter er udbyttet beregnet for hver halve time hele året igennem med anvendelse af Referenceårets data (ref.8), ved solfangerhældninger fra 30° til 90° og indløbstemperaturer fra 10°C til 90°C. Resultaterne er angivet i tabellerne 3, 4 og 5 for respektive solfangere A, B og C. Solfangerazimut er holdt konstant lig 0° (solfangeren vender mod syd), og vandflow'et er 0,167·10⁻⁴ m³ s⁻¹ m⁻² (svarer til 1 liter min⁻¹ m⁻²). Der er regnet med en jordrefleksion på 0,2 ved beregning af den diffuse stråling.

DISKUSSION

Formel 1

Den absorberede energi ABS indgår som det mest betydningsfulde led i udtrykket (3) for udbyttet. Det er derfor væsentligt, at ABS er godt bestemt.

Det, der har interesse her, er selve tilnærmelsesunøjagtighederne. Vi ser altså bort fra unøjagtigheder på bestemmelse af VI, VS, HPDR og HPDF i formel (1).

Formel (1) kan skrives:

$$ABS = a_{VI} \cdot C5 \cdot HPDR + a_{VS} \cdot HPDS, \text{ og da}$$

$$HPDS < HPDR \text{ og } C5 \sim 1,0, \text{ fås tilnærmelse:}$$

$$ABS = a_{VI} \cdot C5 \cdot HP$$

Ubestemtheden ved bestemmelsen af ABS er da:

$$\begin{aligned} s_{ABS} &= \sqrt{\left(\frac{\partial ABS}{\partial a_{VI}} s_{a_{VI}}\right)^2 + \left(\frac{\partial ABS}{\partial C5} s_{C5}\right)^2} \\ &= \sqrt{(C5 \cdot HP \cdot s_{a_{VI}})^2 + (a_{VI} \cdot HP \cdot s_{C5})^2} \\ &= HP \sqrt{(C5 \cdot s_{a_{VI}})^2 + (a_{VI} \cdot s_{C5})^2} \end{aligned}$$

$s_{a_{VI}}$ angives af regressionsanalysen for de enkelte solfangere til:

TABEL 6

solfanger	A	B	C
$s_{a_{VI}}$	0,0037	0,0091	0,0082

s_{C5} skønnes for alle solfangerne til:

$$s_{C5} = 0,65(1,0 - C5) \sim 0,65(1,0 - 0,95) \sim 0,03$$

Vi har da, idet $HP \sim \frac{ABS}{C5 \cdot a_{VI}} = \frac{ABS}{0,95 \cdot a_{VI}}$:

$$s_{ABS} = \frac{ABS}{0,95 \cdot a_{VI}} \sqrt{(0,95 \cdot s_{a_{VI}})^2 + (a_{VI} \cdot 0,03)^2},$$

som i værste fald (a_{VI} størst mulig) for de enkelte solfangere giver:

TABEL 7

solfanger	A	B	C
s_{ABS}/HP	0,021	0,026	0,024
s_{ABS}/ABS	0,034	0,034	0,034

Formel (2)

Ubestemtheden $s_{T(N)}$ som funktion af TI - TL og $M^{4/3}$ er angivet i tabel 8.

TABEL 8

solfanger	A	B	C
$s_{T(N)} \cdot \frac{TI - TL}{M^{4/3}}$	0,15·10 ⁻⁸	0,32·10 ⁻⁸	0,21·10 ⁻⁸

Ved en temperaturforskel $T_I - T_L$ på 100°K og et vandflow på $8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ giver det for solfanger A en ubestemthed på bestemmelsen af $T(N)$ på ca. 1°K .

Dette er en meget større nøjagtighed, end der kræves ved bestemmelse af $T(N)$, hvis man anvender værdier for $T(N)$ udregnet med formel (2) ved bestemmelse af konstanterne $C_{11} - C_{25}$ i formel (3).

Ved anvendelse af udtrykket:

$T(N) = T_I + (1,47 \cdot 10^{-7} \cdot \text{ABS} + (-4,06 \cdot 10^{-7} \cdot \text{WF} - 1,74 \cdot 10^{-12}) \cdot (T_I - T_L)) / \text{WF}^2$
ved bestemmelse af formel (3) for solfanger A fås en ubestemt-
hed s_{UDB} på UDB på:

$$s_{\text{UDB}} = \sqrt{(0,022 \cdot \text{HP})^2 + 7,2^2}$$

Dette skal sammenlignes med ubestemtheden for solfanger A i tabel 10. Forøgelsen i ubestemthed er ubetydelig for $\text{HP} > 500 \text{ W m}^{-2}$.

Formel (3)

Ubestemtheden ved bestemmelsen af udbyttet UDB med formel (3) findes under regressionsanalysen til:

TABEL 9

solfanger	A	B	C
s'_{UDB}	3,2	5,1	2,2

Der er heri ikke taget hensyn til usikkerhed på bestemmelsen af den absorberede energi.

Resulterende ubestemthed ved tilnærmelse

Udbyttet kan skrives:

$$\text{UDB} = C_{24} \cdot \text{ABS} - \text{TAB}' \quad (\text{TAB}' = \text{TAB} + (C_{24} - 1) \cdot \text{ABS})$$

Ubestemtheden på UDB, når der tages hensyn til ubestemt-
heden på ABS, er:

$$s_{\text{UDB}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \text{UDB}}{\partial \text{ABS}} \cdot s_{\text{ABS}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{UDB}}{\partial \text{TAB}'} \cdot s_{\text{TAB}'}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(C_{24} \cdot s_{\text{ABS}})^2 + (-1 \cdot s_{\text{TAB}'})^2}$$

hvor $s_{\text{TAB}'} = s'_{\text{UDB}}$

For de tre solfangere giver det med værdierne i tabel 7 og 9 ubestemtheden s_{UDB} i tabel 10.

TABEL 10

solfanger	A	B	C
s_{UDB}	$\sqrt{(0,022 \cdot \text{HP})^2 + 3,2^2}$	$\sqrt{(0,027 \cdot \text{HP})^2 + 5,1^2}$	$\sqrt{(0,024 \cdot \text{HP})^2 + 2,2^2}$

Det ses, at for $\text{HP} > 500 \text{ W m}^{-2}$ vil ubestemtheden på bestemmelsen af UDB stort set kun afhænge af den indstrålede energi HP, og ubestemtheden s_{UDB} for $\text{HP} > 500 \text{ W m}^{-2}$ vil være lig s_{ABS} som angivet i tabel 7, svarende til 2-3% af den indstrålede energi.

Dette er en rimelig nøjagtighed sammenlignet med den nøjagtighed (1-2%), der kræves ved måling af solindfaldet (ref.12). En bedre tilnærmelse til den belyste del af absorbereren vil bedre nøjagtigheden betydeligt, idet den største usikkerhed ligger her.

For en lodret solfanger vendt mod syd med en jordrefleksion på 0,2 vil den årlige indstråling udgøre ca. $1000 \text{ kWh m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. D.v.s. at ubestemtheden af udbyttet højst vil være 20-30 $\text{kWh m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Det betyder også, at jo mindre en solfanger yder, desto større må den procentvise ubestemthed på resultatet forventes at blive.

Ved beregning af årsudbyttet af solfanger A ved forskellige indløbstemperaturer med udregning af udbyttet hver halve time er konstateret følgende fejl (solfanger A er lodret, og vandflow'et er $0,167 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$):

TABEL 11

TI	OK ~ OC	273 10	303 30	323 50	343 70	363 90
UDB (Formel (1), (2) og (3)) kWh m ⁻² år ⁻¹		650,0	438,3	282,3	158,5	66,5
UDB (med PSV ref.3) kWh m ⁻² år ⁻¹		641,3	431,4	275,6	153,7	66,3
FEJL kWh m ⁻² år ⁻¹		8,7	6,9	6,7	4,8	2,2
FEJL %		1,4	1,6	2,4	3,1	3,4

Det ses, at fejlene er acceptable (ligger inden for den forventede ubestemthed), og at den procentvise fejl som ventet vokser med faldende ydelse af solfangeren.

Det skal bemærkes, at resultaterne angivet i tabel 11 ikke er så direkte sammenlignelige, idet der i beregningerne efter PSV indgår en "støvfaktor" på 0.984 (for en lodret solfanger) i den indstrålede energi. Hensyntagen hertil vil dog blot føre til endnu bedre overensstemmelse end angivet i tabel 11.

Overensstemmelse med målinger

P.I. Cooper har ved målinger på solfangere (ref.11) fundet, at nyttevirkningen η kan udtrykkes:

$$\eta = \eta_0 - CC1 \cdot (TM - TL) / HP - CC2 \cdot (TM - TL)^2 / HP$$

$$\Rightarrow \eta \cdot HP = UDB = \eta_0 \cdot HP - CC1(TM - TL) - CC2(TM - TL)^2$$

ved konstant vandflow og indfaldsvinkel.

Antages TM at svare til T(N) er formen på udtrykket for UDB det samme som (3), når:

$$\eta_0 \cdot HP = C24 \cdot ABS - C25 \cdot C4 \cdot C5 \cdot HP - C25 \quad \text{for } VI = 0^\circ,$$

$$- CC1 = [C11 \cdot WVA + \dots + C18] \quad \text{og}$$

$$- CC2 = [C19 \cdot WVA + \dots + C23]$$

Der kan således etableres en rimelig forbindelse mellem den teoretiske model (3) og målte sammenhænge mellem udbytte og temperaturforskelle og indstråling.

Anvendelse

Formlerne kan kun anvendes ved beregning af udbyttet under stationære forhold. Der er ikke taget hensyn til eventuelle varmekapaciteter i solfanger og transportmedie.

Formlerne kan anvendes til:

- 1) at forenkle komplicerede procedurer for beregning af udbytte af solfangere.
- 2) at udtrykke en testsolfangers ydeevne, så den er direkte anvendelig i en beregning af udbytte under "vilkårlige" klimaforhold, orienteringer, indløbstemperaturer og vandflow. "Vilkårlige": inden for de målte størrelser.

Regnetid

Ved beregningen af udbyttet med formlerne (1), (2) og (3) for en solfanger er beregningstiden ca. 15 sec. for et helt år med beregning af udbyttet for hver halve time. D.v.s. ca. 18.000 udregninger af udbyttet. Dette kan nedsættes dels ved kun at beregne udbyttet hver hele time og ved at udelukke de timer, hvor man på forhånd kan sige, at udbyttet bliver negativt (indstrålet energi 0 og lufttemperaturen mindre end indløbstemperaturen). Man vil derved kunne nedsætte antallet af udregninger til ca. 4000 for et år. Det vil give en regnetid på ca. 4 sec. Til sammenligning med de 90-120 sec., som anvendes af PSV for beregning hver halve time i et år og med udelukkelse af beregninger, som på forhånd kan siges at give negative udbytter.

KONKLUSION

Det er muligt at anvende en explicit funktion for udbyttet af en solfanger, som giver udbyttet med en nøjagtighed, som er rimelig i forhold til den nøjagtighed, hvormed strålingsintensiteten kan måles.

Strålingsintensiteten er den vigtigste variabel, bestemmelsen af strålingsintensiteten er helt afgørende for nøjagtigheden af bestemmelsen af udbyttet ved anvendelse af en explicit udbyttefunktion.

Anvendelse af en explicit udbyttefunktion ved beregning af udbytte hver time et år igennem betyder en væsentlig reduktion i regnetid.

Nomenklatur

a_{VI}	resulterende absorptionskoefficient ved indfaldsvinkel VI	dim.løs
a_{VS}	resulterende absorptionskoefficient ved indfaldsvinkel VS	dim.løs
$A(I)$	resulterende absorptionskoefficient for lag I	dim.løs
ABS	absorberet energi	$W m^{-2}$
ALFA	produkt af varmeoverføringskoefficient og areal	$W oC^{-1}$
C	symboliserer en konstant	
CC1, CC1	konstanter	
C1, C2, ..., C25	konstanter	
CP	varmefylde	$J m^{-3} oC^{-1}$
$e_I(T(N), TL)$	$= (T(I) - T(I-1)) / (T(N) - TL)$	dim.løs
$\bar{e}_I(T(N), TL)$	$= \frac{(T(I)^2 + T(I-1)^2) \cdot (T(I) + T(I-1))}{(T(N)^2 + TL^2) \cdot (T(N) + TL)}$	dim.løs
$g_I(T(N), TL)$	$= (T(I) - T(I-1))^{0,25} / (T(N) - TL)^{0,25}$	dim.løs
$H(I)$	varmestrøm mellem lag I og I-1	$W m^{-2}$
HP	$= HPDF + HPDR$	$W m^{-2}$
HPDF	diffus stråling	$W m^{-2}$
HPDR	direkte stråling	$W m^{-2}$
KKL(I)	varmetransmissionskoefficient for konvektion og ledning mellem lag I og I-1	$W m^{-2} oC^{-1}$
KRA(I)	varmetransmissionskoefficient for stråling mellem lag I og I-1	$W m^{-2} oC^{-1}$
M	masseflow	$m^3 s^{-1} m^{-2}$
N	antal lag i solfanger (incl. absorberplade)	dim.løs

s_X	ubestemthed på bestemmelsen af X	dim. som X
SFH	solfangerhældning fra lodret	grader
SKF	belyst del af absorbereren	dim.løs
T(I)	middeltemperatur af lag I	$^{\circ}\text{K}$
TAB	totalt varmetab fra solfanger henført til absorberareal	W m^{-2}
TABBND	varmetab gennem bund	W m^{-2}
TABKNT	varmetab gennem sider henført til absorberareal	W m^{-2}
TABTOP	varmetab gennem dækglas	W m^{-2}
TH	middelstrålingstemperatur af omgivelser til solfanger	$^{\circ}\text{K}$
TI	indløbstemperatur	$^{\circ}\text{K}$
TL	omgivende lufttemperatur	$^{\circ}\text{K}$
TM	middeltemperatur af transportmedie	$^{\circ}\text{K}$
TU	udløbstemperatur	$^{\circ}\text{K}$
UDB	udbytte	W m^{-2}
VI	indfaldsvinkel for direkte stråling	grader
VS	indfaldsvinkel for diffus stråling	grader
WVA	vindhastighed	m s^{-1}
η	nyttevirkning af solfanger	dim.løs
η_o	nyttevirkning af solfanger ved $T_M = T_L$	dim.løs

REFERENCER

- 1 Klein, S.A. & M.S. Thesis, University of Wisconsin, 1973: "The Effects of Thermal Capacitance upon the Performance of Flat-Plate Solar Collectors".
- 2 Duffie, A. & W.A. Beckman, University of Wisconsin - Madison, 1974: "Solar Energy Thermal Processes".
- 3 Krægpøth, K. & V. Korsgaard, Danmarks tekniske Højskole, 1976: "Plane, stationære, vandgennemstrømmede solfangeres effektivitet under danske klimaforhold".
- 4 ASHRAE, Technical Committee on Solar Energy Utilization, edited by R.C. Jordan, New York: "Low Temperature Engineering Application of Solar Energy".
- 5 Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole, Meddelelse nr. 51, 1976: "Solenergidagen 1976".
- 6 Mc Donald, G.E., Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, 1974, NASA TM X-71596: "Spectral reflectance properties of black chrome for use as a solar selective coating".
- 7 Spliid, H., Instituttet for Matematisk Statistik og Operationsanalyse (IMSOR), Danmarks tekniske Højskole, 1974: "User Guide for Stepwise Regression Program REGGO".
- 8 Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-rapport 89, Kbh. 1974: "Vejrdata for VVS-tekniske beregninger, Referenceår".
- 9 Hans Lund, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole, Meddelelse nr. 46, 1976: "Program BA4 til beregning af rumtemperaturer og varme- og kølebehov, Brugervejledning".

- 10) Bisgaard, N.F., Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, Danmarks tekniske Højskole, 1969:
"Opvarmning og Ventilation, I Varmetransmission".
- 11) Cooper, P.I., ISES-ANZ Section, Technical Meeting on Applications of Solar Energy Research & Development in Australia, National Science Centre, Melbourne, July 1975:
"A method of testing flat-plate solar water heaters to determine performance characteristics".
- 12) Hill, J.E. & T. Kusuda, National Bureau of Standards, Dec. 1974, NBSIR 74-635:
"Method of Testing for Rating Solar Collectors Based on Thermal Performance".

TABEL 1

TL	273	293			$^{\circ}\text{K}$
TI	283	308	333	358	$^{\circ}\text{K}$
SFH	15	45	75		grader
WVA	3	6	9		m s^{-1}
M	$0.083 \cdot 10^{-6}$	$0.125 \cdot 10^{-4}$	$0.167 \cdot 10^{-4}$		$\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$
ABS	200	500	800		W m^{-2}

TABEL 2

Konstanterne C1-C25 i formlerne

$$(1) \quad \text{ABS} = (C1 \cdot \text{VI}^{12} + C2 \cdot \text{VI}^6 + C3 \cdot \text{VI} + C4) \cdot \text{HPDR} \cdot C5 \\ + (C1 \cdot \text{VS}^{12} + C2 \cdot \text{VS}^6 + C3 \cdot \text{VS} + C4) \cdot \text{HPDF}$$

$$(2) \quad T(N) = T_I + \frac{\text{ABS} \cdot (C6 \cdot M + C7 \cdot M^{1/3}) + (T_I - T_L) \cdot (C8 \cdot M + C9 \cdot M^{1/3} + C10)}{M^{4/3}}$$

$$(3) \quad \text{UDB} = \left[C11 \cdot \text{WVA} + (C12 \cdot \text{SFH} + C13 \cdot \text{SFH} \cdot (T(N) - T_L) + C14(T(N) - T_L) + C15) \cdot (T(N) - T_L)^{0.25} \right. \\ \left. + (C16 \cdot (T(N) - T_L) + C17) \cdot (T(N)^2 + T_L^2) \cdot (T(N) + T_L) + C18 \right] \cdot [T(N) - T_L] \\ + \left[C19 \cdot \text{WVA} + (C20 \cdot \text{SFH} \cdot (T(N) - T_L) + C21 \cdot (T(N) - T_L)) \cdot (T(N) - T_L)^{0.25} \right. \\ \left. + C22 \cdot (T(N) - T_L) \cdot (T(N)^2 + T_L^2) \cdot (T(N) + T_L) + C23 \right] \cdot [T(N) - T_L]^2 \\ + C24 \cdot \text{ABS} + C25$$

FORTSÆTTES

TABEL 2 (FORTSAT)

KONSTANT	SOLFANGER		
	A	B	C
C1	1.639 · 10 ⁻²⁴	9.483 · 10 ⁻²⁵	7.665 · 10 ⁻²⁵
C2	-2.125 · 10 ⁻¹²	-2.036 · 10 ⁻¹²	-1.822 · 10 ⁻¹²
C3	-3.178 · 10 ⁻⁴	0	0
C4	6.913 · 10 ⁻¹	8.032 · 10 ⁻¹	7.419 · 10 ⁻¹
C5	9.582 · 10 ⁻¹	9.582 · 10 ⁻¹	9.582 · 10 ⁻¹
C6	6.256 · 10 ⁻⁵	6.760 · 10 ⁻⁵	5.604 · 10 ⁻⁵
C7	1.103 · 10 ⁻⁷	9.663 · 10 ⁻⁸	1.070 · 10 ⁻⁷
C8	-4.785 · 10 ⁻⁴	-8.432 · 10 ⁻⁴	-3.586 · 10 ⁻⁴
C9	0	0	0
C10	-6.131 · 10 ⁻⁹	-1.047 · 10 ⁻⁸	-5.495 · 10 ⁻⁹
C11	-6.323 · 10 ⁻²	-1.334 · 10 ⁻¹	-2.808 · 10 ⁻²
C12	-2.046 · 10 ⁻³	-4.685 · 10 ⁻³	-9.073 · 10 ⁻³
C13	0	2.126 · 10 ⁻⁵	1.414 · 10 ⁻⁴
C14	0	0	2.341 · 10 ⁻³
C15	0	-4.887 · 10 ⁻¹	9.104 · 10 ⁻¹
C16	-9.095 · 10 ⁻¹¹	0	-6.645 · 10 ⁻¹⁰
C17	-1.184 · 10 ⁻⁸	-2.646 · 10 ⁻⁸	2.560 · 10 ⁻⁸
C18	-1.545	-1.458	-5.316
C19	0	-6.182 · 10 ⁻⁴	-3.906 · 10 ⁻⁴
C20	0	0	-9.448 · 10 ⁻⁷
C21	0	0	-2.791 · 10 ⁻⁵
C22	3.791 · 10 ⁻¹³	0	3.932 · 10 ⁻¹²
C23	0	0	0
C24	1.069	1.022	1.013
C25	-2.611	-2.427	-4.781

TABEL 3: SOLFANGER A, UDBYTTE PR. MÅNED (kWh m⁻² md⁻¹), UDBYTTE PR. ÅR (kWh m⁻² år⁻¹)

SFHV °	TI °C	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	TOTAL
30	10	21.2	33.2	67.1	88.5	105.7	122.7	119.8	98.4	73.9	40.7	18.0	16.1	805.4
	30	13.4	22.0	49.7	65.3	77.7	91.1	88.9	69.4	50.4	25.3	9.2	8.8	571.1
	50	7.2	13.1	35.5	45.5	53.8	64.6	63.2	45.8	32.1	15.2	4.0	3.7	383.8
	70	2.4	5.6	22.9	28.4	32.8	41.0	40.7	26.5	16.9	7.8	1.2	0.9	227.1
	90	0.2	0.7	11.9	14.5	16.1	21.7	21.6	11.8	6.1	2.6	0.1	0.1	107.5
45	10	29.0	40.8	73.9	90.6	102.5	116.9	115.2	97.3	77.2	45.3	22.2	22.7	833.8
	30	20.7	29.4	56.8	68.0	75.3	85.8	84.8	68.8	54.1	30.0	13.2	14.6	601.5
	50	13.5	19.7	42.4	48.9	52.7	60.8	60.5	46.1	36.0	19.6	7.1	8.1	415.6
	70	7.3	11.1	29.3	32.1	32.8	38.9	39.4	27.5	20.6	11.5	3.0	3.7	257.1
	90	2.3	3.9	17.4	17.9	16.7	20.9	21.4	13.1	9.0	5.1	0.8	1.0	129.5
60	10	34.2	45.3	75.9	87.2	94.4	106.2	105.9	92.1	77.0	47.4	24.8	27.2	817.4
	30	25.7	33.9	59.3	65.5	68.1	75.8	76.1	64.1	54.4	32.4	15.9	18.8	590.0
	50	18.1	24.1	45.2	47.4	47.0	52.5	53.4	42.7	36.8	22.1	9.3	11.7	410.3
	70	11.3	14.9	32.0	31.5	28.8	32.7	34.1	25.3	21.7	13.8	4.7	6.2	256.9
	90	5.3	6.9	19.9	17.9	14.2	16.7	18.0	11.9	10.2	6.9	1.6	2.6	132.2
75	10	36.6	46.4	72.6	78.5	81.4	90.8	91.9	82.8	72.9	46.8	25.7	29.5	755.8
	30	28.3	35.4	56.7	57.8	56.2	61.2	62.9	55.4	50.8	32.3	17.0	21.2	535.3
	50	20.5	25.6	43.2	41.2	37.0	39.7	42.0	35.7	34.2	22.3	10.4	13.8	365.6
	70	13.5	16.3	30.4	26.7	21.2	22.8	24.9	20.0	19.9	14.2	5.5	7.8	223.2
	90	7.2	8.2	18.8	14.5	9.1	9.9	11.7	8.6	9.1	7.3	2.2	3.7	110.3
90	10	36.2	44.0	63.9	64.3	64.2	71.6	73.8	69.5	64.7	43.3	24.9	29.5	650.0
	30	28.1	33.5	49.1	45.1	40.1	42.9	45.7	42.9	43.4	29.5	16.5	21.3	438.3
	50	20.4	24.0	36.4	30.4	23.3	23.7	26.8	25.1	28.0	20.1	10.0	14.1	282.3
	70	13.5	15.0	24.6	17.9	10.8	10.5	13.1	12.1	15.1	12.5	5.4	8.1	158.5
	90	7.3	7.2	14.0	8.3	2.9	2.7	4.1	3.8	6.1	6.0	2.1	3.9	68.5

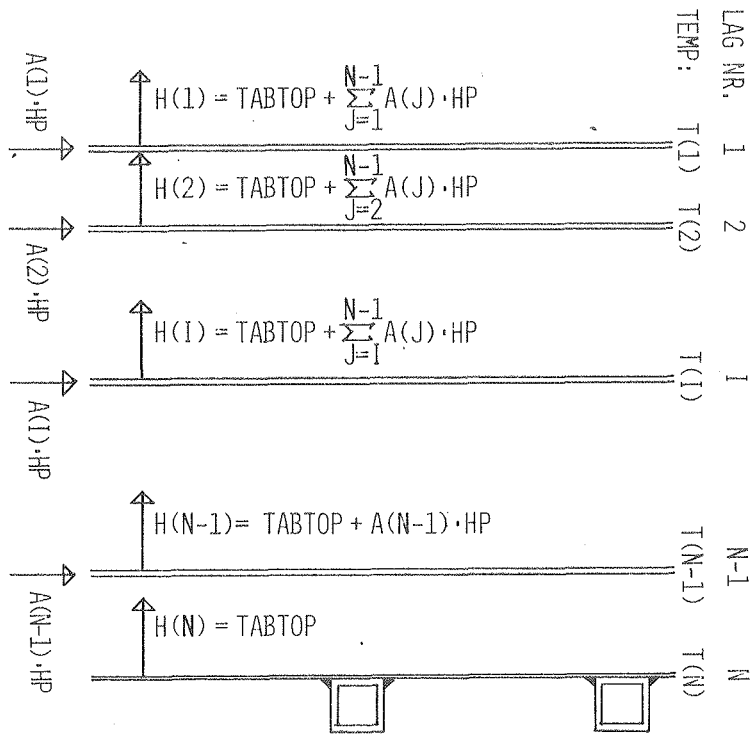
TABEL 4: SOLFANGER B, UDBYTTE PR. MÅNED (kWh m⁻² md⁻¹), UDBYTTE PR. ÅR (kWh m⁻² år⁻¹)

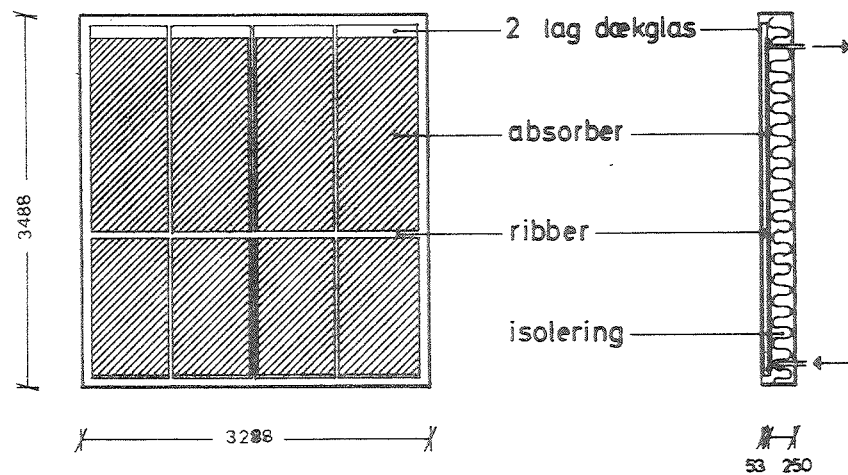
SFHV °	TI °C	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	TOTAL
30	10	21.3	33.5	71.1	96.9	121.0	144.1	141.0	117.0	87.0	46.5	19.0	15.6	914.0
	30	9.5	16.8	44.1	58.2	73.9	90.9	89.4	68.1	47.4	22.2	6.3	5.2	532.0
	50	1.9	5.0	23.6	30.1	37.7	49.7	50.4	32.8	20.5	9.3	1.2	0.7	262.9
	70	0.1	0.1	8.1	10.7	13.0	20.2	21.5	10.4	4.5	2.1	0.0	0.0	90.7
	90	0.0	0.0	0.7	1.2	1.2	4.6	4.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5
45	10	29.5	41.6	78.4	99.0	117.5	137.6	135.9	115.6	90.5	51.3	23.5	22.6	943.0
	30	16.4	24.0	51.5	61.6	72.1	85.9	85.6	67.7	51.5	27.2	9.9	10.4	563.8
	50	6.7	10.4	30.3	33.9	37.7	47.2	48.9	33.8	24.6	13.3	3.1	3.2	293.2
	70	0.9	1.4	13.0	13.8	13.8	19.6	21.5	11.7	7.2	4.3	0.5	0.4	108.2
	90	0.0	0.0	2.4	2.4	1.7	4.8	5.3	1.4	0.2	0.4	0.0	0.0	18.6
60	10	34.9	46.3	80.6	95.6	108.7	125.9	125.7	109.9	90.2	53.5	26.2	27.3	924.9
	30	21.4	28.7	54.4	60.0	65.3	75.8	76.8	63.2	52.1	29.8	12.8	14.3	554.2
	50	10.7	14.2	33.2	33.5	33.5	40.3	42.9	31.4	25.8	15.8	4.7	5.7	291.6
	70	2.8	3.4	15.4	14.1	11.7	15.8	18.2	10.7	8.4	5.9	1.1	1.2	108.7
	90	0.3	0.0	3.5	2.7	1.2	3.4	4.0	1.3	0.5	1.1	0.0	0.2	18.2
75	10	37.6	47.7	77.5	86.4	94.6	109.0	110.4	99.7	85.8	52.8	27.2	29.8	858.6
	30	24.0	30.3	52.4	52.9	53.5	60.7	63.2	54.5	48.8	30.0	13.6	16.6	500.5
	50	13.0	15.7	31.8	28.6	25.2	29.2	32.5	25.5	23.9	16.2	5.6	7.3	254.5
	70	4.3	4.5	14.5	11.3	7.2	9.4	11.9	7.6	7.6	6.2	1.4	2.0	87.9
	90	0.6	0.1	3.0	1.7	0.3	1.1	1.5	0.6	0.4	1.3	0.1	0.4	10.9
90	10	37.3	45.6	68.7	71.3	75.8	87.9	90.5	85.1	77.0	49.1	26.5	29.9	744.7
	30	24.0	28.7	45.1	40.7	37.2	41.5	45.2	41.7	41.5	27.5	13.3	16.9	403.2
	50	13.1	14.5	25.8	19.6	13.8	15.2	18.8	16.4	18.7	14.4	5.5	7.5	183.3
	70	4.4	3.8	10.1	5.9	2.0	2.8	4.2	3.3	4.9	5.2	1.3	2.2	50.0
	90	0.6	0.1	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.8	0.0	0.5	3.6

TABEL 5: SOLFANGER C, UDBYTTTE PR. MÅNED (kWh m⁻² md⁻¹), UDBYTTTE PR. ÅR (kWh m⁻² år⁻¹)

SFHV °	TI °C	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	TOTAL
30	10	22.8	35.4	70.8	93.0	109.2	125.4	122.3	99.9	75.4	42.1	19.0	17.3	832.7
	30	15.4	24.9	55.0	72.6	85.7	99.7	97.0	76.4	56.1	28.6	11.0	10.4	632.7
	50	9.3	16.3	41.3	53.5	64.0	76.3	74.3	55.5	39.4	18.7	5.6	5.2	459.4
	70	4.3	8.8	28.9	36.6	43.3	53.3	52.6	36.0	24.1	11.1	2.2	1.9	303.2
	90	1.0	3.1	18.4	22.6	25.8	33.5	33.3	20.3	12.0	5.4	0.6	0.4	176.4
45	10	30.8	43.3	77.9	95.2	106.0	119.4	117.5	98.6	78.7	46.7	23.3	24.2	861.5
	30	23.2	32.8	62.8	76.1	84.0	95.0	93.5	76.4	60.4	33.9	15.4	16.8	670.3
	50	16.2	23.7	49.1	57.8	63.7	73.3	72.4	56.7	44.2	23.8	9.2	10.4	500.6
	70	10.2	15.2	36.3	41.2	44.0	51.8	52.0	37.9	28.8	15.6	4.8	5.5	343.4
	90	5.5	8.5	25.4	27.3	27.3	33.2	33.7	22.5	16.2	9.3	2.1	2.6	213.4
60	10	36.1	48.0	80.2	92.1	97.8	108.5	108.0	93.3	78.4	48.7	25.9	28.8	846.0
	30	28.7	37.9	66.0	74.4	77.4	85.5	85.4	72.3	61.2	36.8	18.4	21.5	665.6
	50	21.4	28.7	52.6	57.1	58.7	65.5	65.9	54.0	45.8	26.9	12.0	14.6	503.2
	70	15.0	19.8	39.9	41.3	40.3	45.6	46.9	36.2	30.8	18.5	7.0	8.9	350.1
	90	9.8	12.7	29.2	28.1	25.0	28.9	30.2	21.7	18.2	11.9	3.7	5.2	224.5
75	10	38.8	49.5	77.4	83.5	84.7	92.7	93.7	83.8	74.3	48.2	27.0	31.3	784.9
	30	31.7	40.0	64.3	67.4	65.9	71.2	72.5	64.0	58.3	37.2	20.0	24.3	616.7
	50	24.4	30.8	51.4	51.4	48.9	52.9	54.7	47.3	43.9	27.7	13.5	17.2	464.0
	70	17.7	21.9	39.1	36.8	32.3	35.1	37.5	31.0	29.5	19.4	8.2	11.1	319.8
	90	12.7	15.0	29.0	24.9	19.0	20.7	22.8	17.8	17.5	12.9	4.7	7.1	204.2
90	10	38.6	47.5	69.2	69.4	67.1	73.0	75.2	70.2	66.1	44.8	26.3	31.6	679.0
	30	32.1	38.7	57.3	55.0	50.0	52.9	55.3	51.7	51.3	34.8	19.9	24.9	523.8
	50	24.9	29.8	45.2	40.7	34.7	36.3	39.3	36.6	38.1	26.0	13.6	18.0	383.1
	70	18.3	21.2	33.7	27.6	20.6	21.2	24.3	22.2	24.7	18.1	8.3	11.9	252.0
	90	13.5	14.7	24.4	17.5	10.1	10.0	12.6	11.2	14.1	11.9	5.0	7.9	152.9

FIG. 1.
ENERGISTRØMME Gennem DEKLAGE



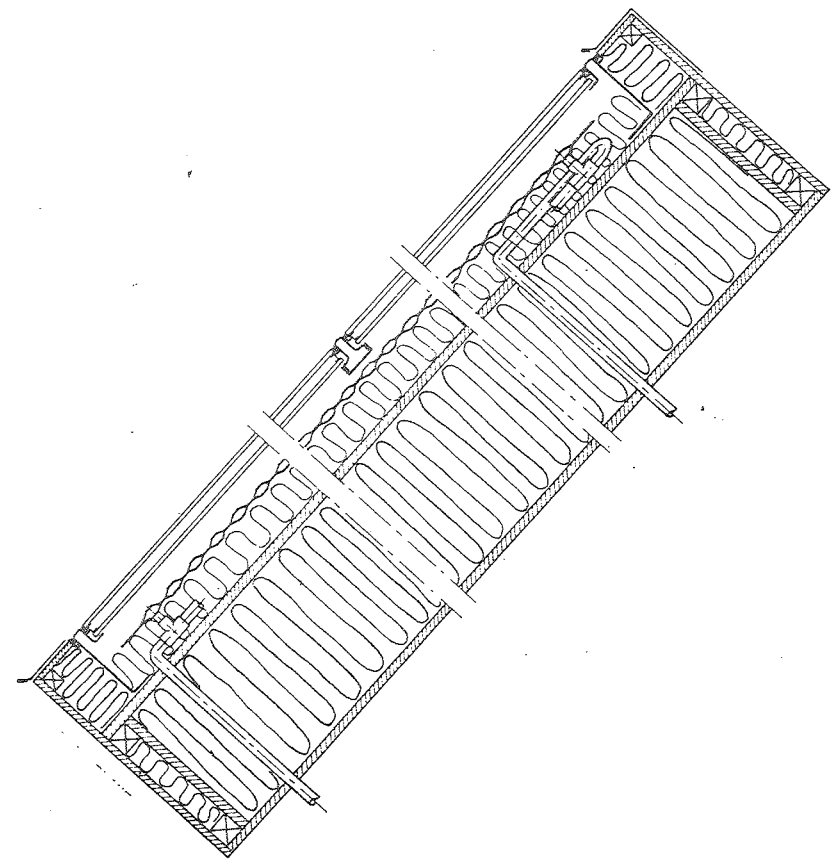


Alle mål i mm

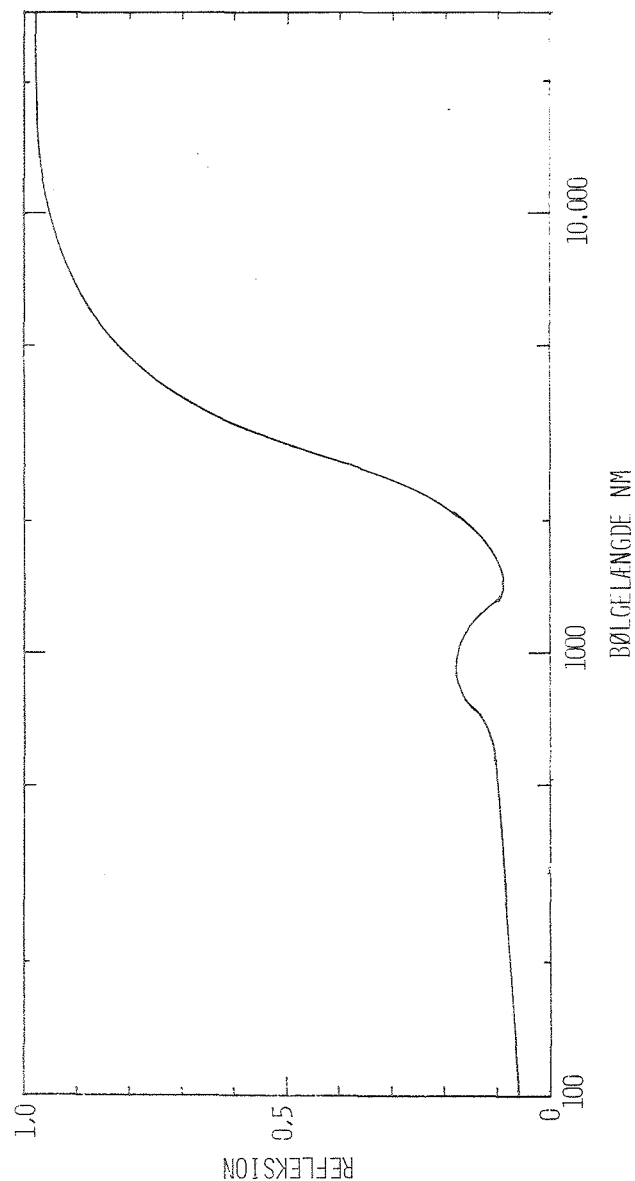
Solfangerareal: $11,47 \text{ m}^2$

Absorberareal: $9,38 \text{ m}^2$

SEKTION AF O-ENERGIHUS SOLFANGER
FIG. 2



VERTIKALT SNIT I NUL-ENERGIHUS SOLFANGER.
FIG. 3.



REFLEKSION VS BØLGELÆNGDE FOR ABSORBER MED BLACK CHROMI BEKLÆGNING.
FIG. 4.

APPENDIX A

Tilnærmelser til funktionerne $e_I(T(N), TL)$, $f_I(T(N), TL)$ og $g_I(T(N), TL)$ (side 6).

Ved at betragte en solfanger med 2 dækglass og ved at antage, at al varmetab fra absorber gennem dækglassene sker ved stråling, kan man med et passende valg af T_N og varmetab beregne dækglassenes og himmelhvalvingens temperaturer. Derved kan værdierne af funktionerne e_I , f_I og g_I bestemmes. Man får derved et indtryk af funktionernes form.

Værdierne af e_I , f_I og g_I for passende valgte absorbertemperaturer og tab gennem 2 dækglass er indtegnet som funktioner af $T(N) - T_H$ i fig. A1.

Det ses, at alle tre funktioner med god nøjagtighed kan tilnærmes lineære funktioner af $T(N) - T_H$.

Er konvektion og ledning gennem dæklagen det eneste tab, der finder sted, ses at e_I og g_I bliver konstante.

Værdierne for f_I med de samme temperaturdifferenser $T(N) - T_H$ som anvendt ved strålingstab alene er også indtegnet på fig. A1 (markeret med +), og det ses, at f_I også her kan tilnærmes lineære funktioner af $T(N) - T_L$.

FIG. A1.

