

Niels Kristian Vejen

Ydelse og effektivitet for HT solfanger

Sagsrapport
BYG•DTU SR-02-08
2002
ISSN 1601-9504

Ydelse og effektivitet for HT solfanger

Niels Kristian Vejen



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2002

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	HT solfangeren.....	2
3	Teoretiske undersøgelser af designændringer for HT solfangeren	3
3.1	Isoleringsmateriale	3
3.2	Absorber	5
3.2.1	Strip antal	5
3.2.2	Strip type	7
3.3	Dæklag	8
3.3.1	Glastype	8
3.3.2	Antirefleksionsbehandlet glas	10
4	Ændringer	12
4.1	Solfangervæske	15
4.2	Tracking	17
5	Termografi-undersøgelse	18
6	Forsøgsopstilling.....	21
7	Målinger på to ens HT solfangere.....	22
8	Måling på HT solfangeren og den nye HT solfanger	23
8.1	Målte ydelser.....	23
8.2	Effektivitet	27
8.3	Indfaldsvinkelkorrektion.....	31
8.4	Årsydelse.....	34
9	Konklusion.....	35
	Referencer	37

1 Indledning

Der er foretaget en teoretisk undersøgelse af en række forskellige designændringer af HT solfangeren fra Arcon Solvarme A/S.

På baggrund af blandt andet de teoretiske undersøgelser er HT solfangeres design ændret.

Der er gennemført parallelle målinger på en standard HT solfanger og den nye ændrede HT solfanger. På basis af målingerne er den effektivitetsmæssige forbedring, der er opnået ved det ændrede design af HT solfangeren bestemt. Desuden er der foretaget en vurdering af den forventede ydelsesmæssige forbedring af den nye solfanger i forhold til den gamle solfanger.

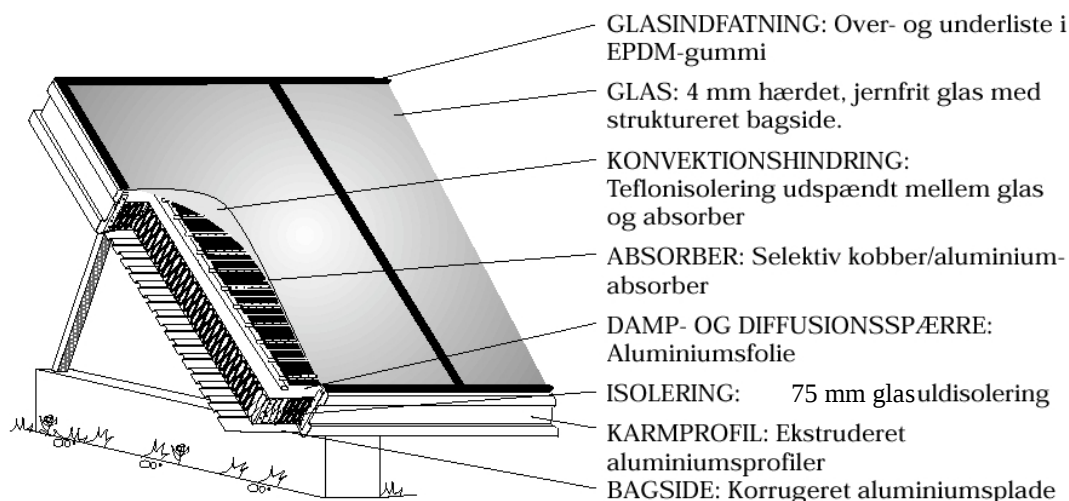
Projektet er gennemført som en del af BYG•DTU's aktiviteter indenfor projektet "Assistance til solenergibrancen", J. nr. 51181/00-0088.

Projektet er finansieret af Energistyrelsen.

2 HT solfangeren

Der gives her en kort præsentation af HT solfangeren fra Arcon Solvarme A/S. HT solfangeren er en traditionel plan solfanger med et areal på 12,53 m² til anvendelse i større solvarmeanlæg og solvarmecentraler.

Figur 2.1 viser en skitse af HT solfangeren og i tabel 2.1 er de vigtigste data for HT solfangeren angivet.



Figur 2.1 HT solfangeren.

Dæklag	Antal dæklag Materiale Tykkelse (glas)	2 Glas + teflonfolie 4 + 0,025
Absorber	Type Materiale Belægning Kanalsystem Kanaltværsnitsareal Pladetykkelse Væske indhold	Sunstrip Niox Kobber/aluminium Selektiv nikkel $\alpha=0,95$; $\epsilon=0,12$ 16 parallelle kanaler 60 mm ² 0,5 mm 8,5 kg
Solfangerkasse	Materiale Udvendige dimensioner	Aluminiumsprofil 2,27 x 5,96 x 0,14 m
Isolering	Materiale Bagsideisolering Kantisolering	Glasuld 75 mm 30 mm
Solfangerareal		12,53 m ²

Tabel 2.1 Data for HT solfangeren.

3 Teoretiske undersøgelser af designændringer for HT solfangeren

I det følgende er der foretaget en teoretisk undersøgelse af, hvilken betydning nogle designændringer af HT solfangeren har for solfangereffektiviteten og solfangerens årsydelse. De teoretiske solfangereffektiviteter er bestemt ved hjælp af programmet "SolEff", /1/. I det følgende er effektivitetsudtrykkene bestemt ved en solbestrålingsstyrke på 800 W/m^2 og en indfaldsvinkel på 0° . Massestrømmen gennem solfangeren er 25 kg/min , og det er forudsat at solfangervæsken er en 40 % propylenglykol/vand blanding med mindre andet er angivet

Solfangernes årsydelse er fundet ved hjælp af regnearksprogrammet "Excel ark til beregning af ydelser", /1/.

De designmæssige ændringer der er undersøgt er:

- Andet isoleringsmateriale
- Anden absorbertype
- Antallet af kanaler i absorberen
- Andet glas som dæklag
- Antirefleksionsbehandling af glasset.

På baggrund af blandt andet de teoretiske undersøgelser er der designet en ny HT solfanger. Der er fundet et teoretisk effektivitetsudtryk for den nye HT solfanger og der er beregnet hvor stor en årsydelse der kan forventes af den nye HT solfanger.

Der ud over er det undersøgt hvilken effekt, anvendelse af vand i stedet for glykol/vandblanding som solfangervæske, har.

3.1 Isoleringsmateriale

Der er gennemført beregninger af solfangereffektivitet og årsydelse med den nuværende Isover isolering, med Rockwool Industribatts 40 og med Rockwool Industribatts 80.

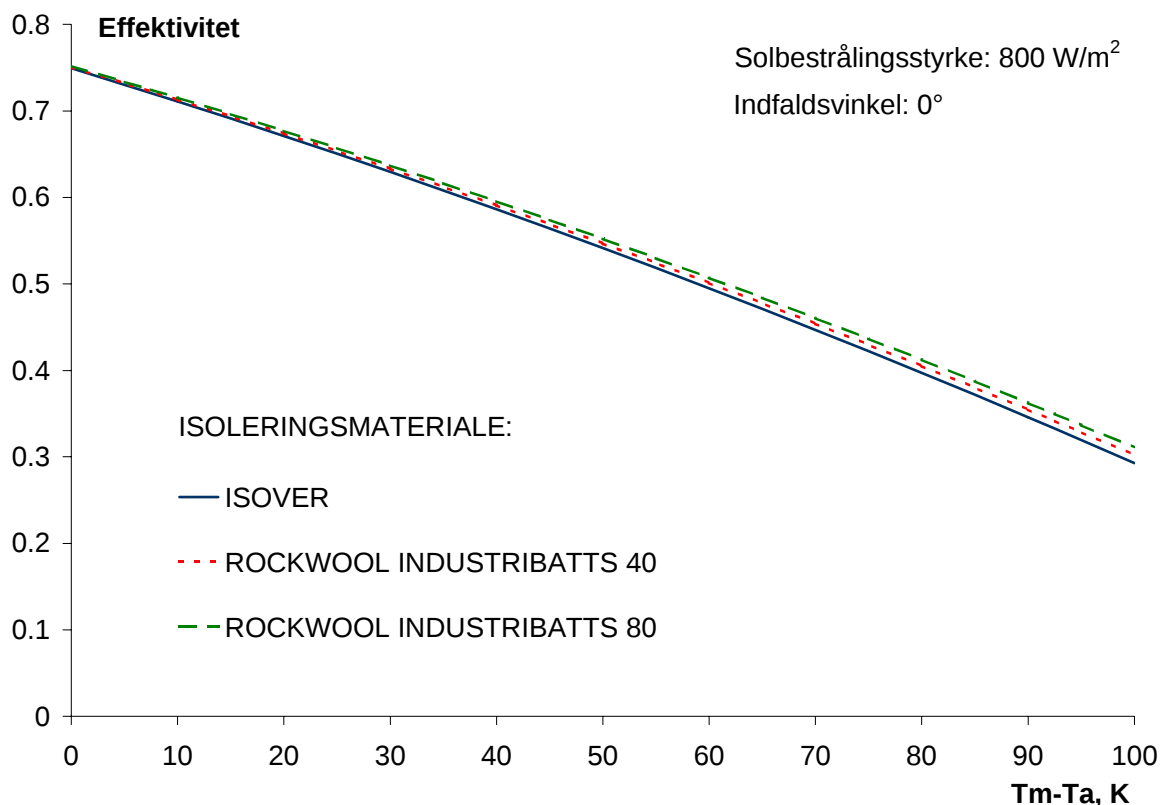
Der er regnet en konstant varmeledningsevne svarende til isoleringsmaterialets varmeledningsevne ved 40°C .

Varmeledningsevnen ved 40°C for de tre isoleringsmaterialer er:

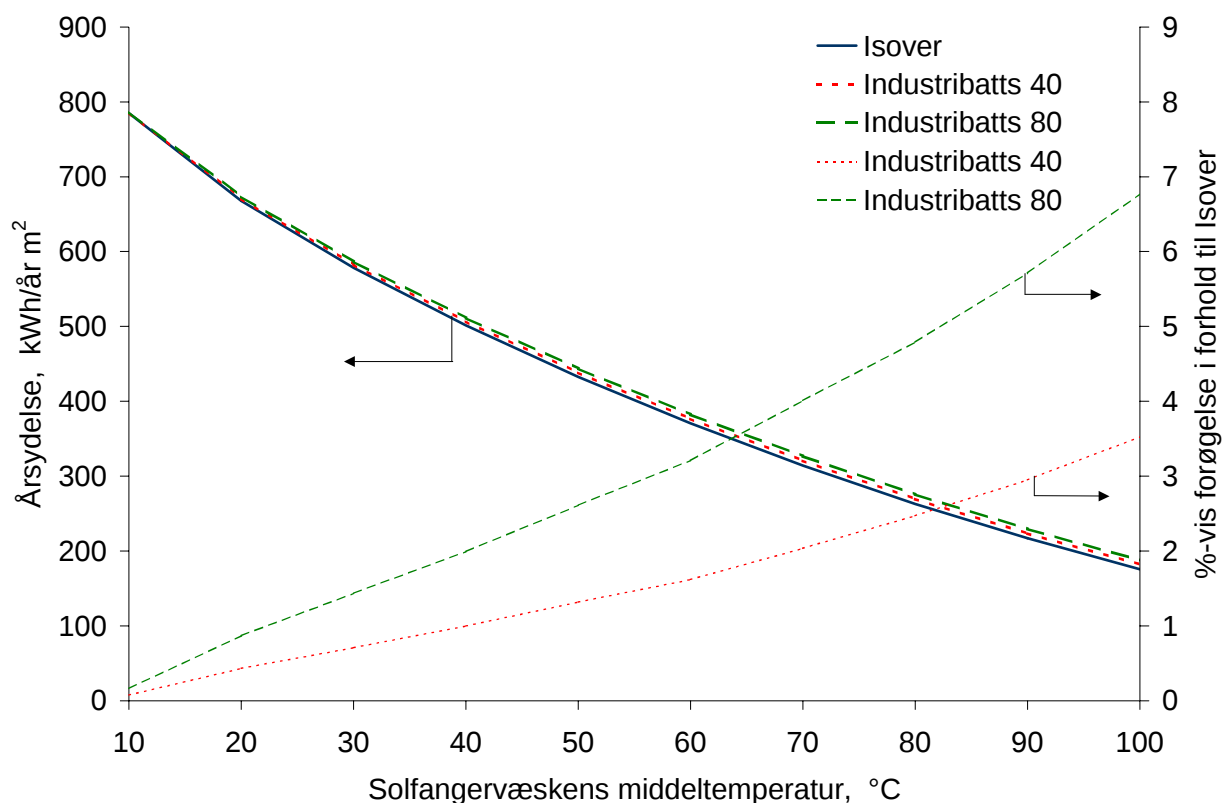
- Isover: $0,044 \text{ W/mK}$
- Industribatt 40: $0,040 \text{ W/mK}$
- Industribatt 80: $0,036 \text{ W/mK}$

Figur 3.1 viser effektivitetskurverne for HT solfangeren med de tre isoleringsmaterialer og figur 3.2 viser årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at udskifte Isover isoleringen med henholdsvis Rockwool Industribatts 40 og Industribatts 80.

Årsydelsen er beregnet med Design Referenceåret DRY's vejrdato under forudsætning af at solfangerne vender mod syd og har en hældning på 45° fra vandret. Desuden forudsættes det at middelsolfangervæsketemperaturen holdes konstant i alle solfangernes driftsperioder.



Figur 3.1 Solfangereffektivitet som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen ved forskellige typer bagside- og kantisolering.



Figur 3.2 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur ved forskellige typer bagside- og kantisolering samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at udskifte Isover isoleringen med henholdsvis Rockwool Industribatts 40 og Industribatts 80.

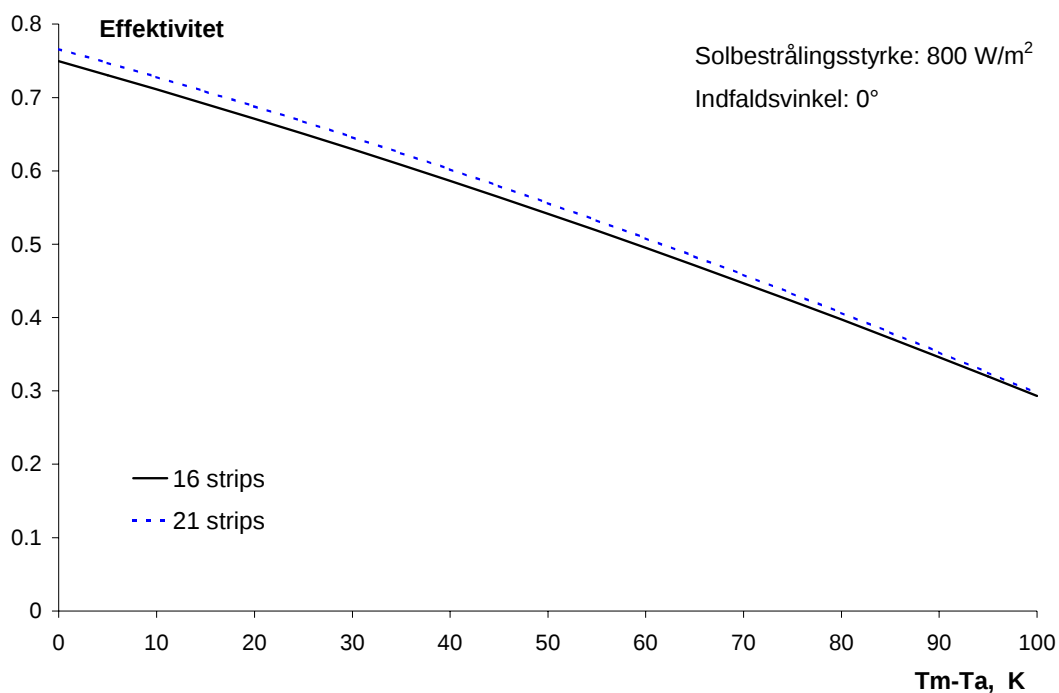
3.2 Absorber

Det er undersøgt, hvilken betydning antallet af parallelle kanaler i absorberen har for solfangereffektiviteten og årsydelsen og det er undersøgt, hvilken betydning anvendelsen af en ny type absorber har for solfangereffektiviteten og årsydelsen.

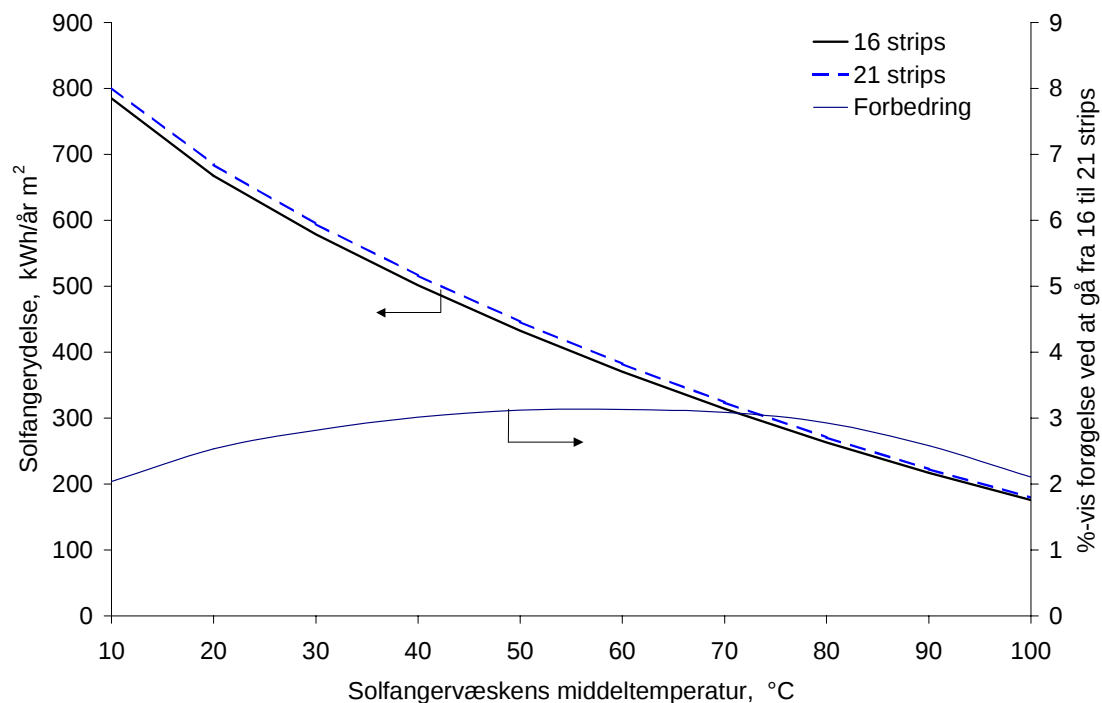
3.2.1 Strip antal

Der er gennemført beregninger af solfangereffektivitet og årsydelse med den nuværende absorber med 16 kanaler og en absorber med 21 kanaler. Begge absorbere er af den "gamle" type.

Figur 3.3 viser effektivitetskurverne og Figur 3.4 viser solfangerydelserne for HT solfangeren med en absorber med henholdsvis 16 og 21 kanaler.



Figur 3.3 Solfangereffektivitet som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen med en absorber med henholdsvis 16 og 21 kanaler.

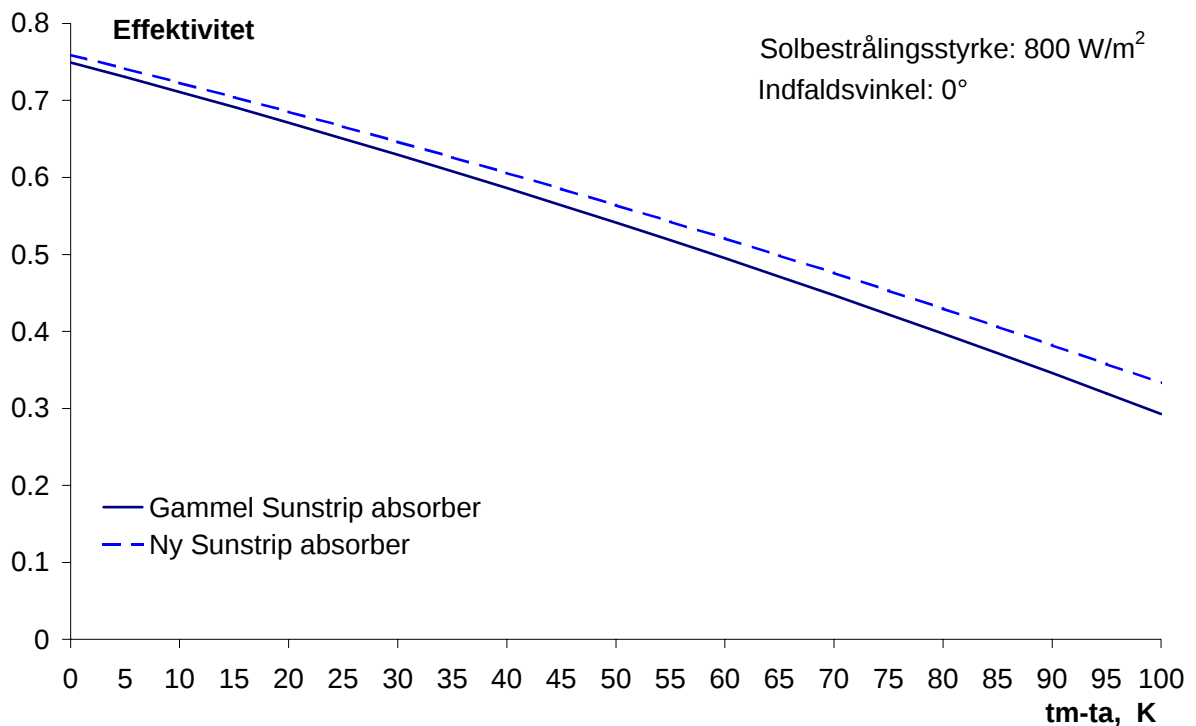


Figur 3.4 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur med en absorber med henholdsvis 16 og 21 strips samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at udskifte absorbereren med 16 strips med en absorber med 21 strips.

3.2.2 Strip type

Der er gennemført beregninger med den nuværende sunstrip (absorptans 0,95 og emittans 0,12) og med en ny sunstrip (absorptans 0,96 og emittans 0,07) som absorber. Absorberen har i begge tilfælde 16 kanaler.

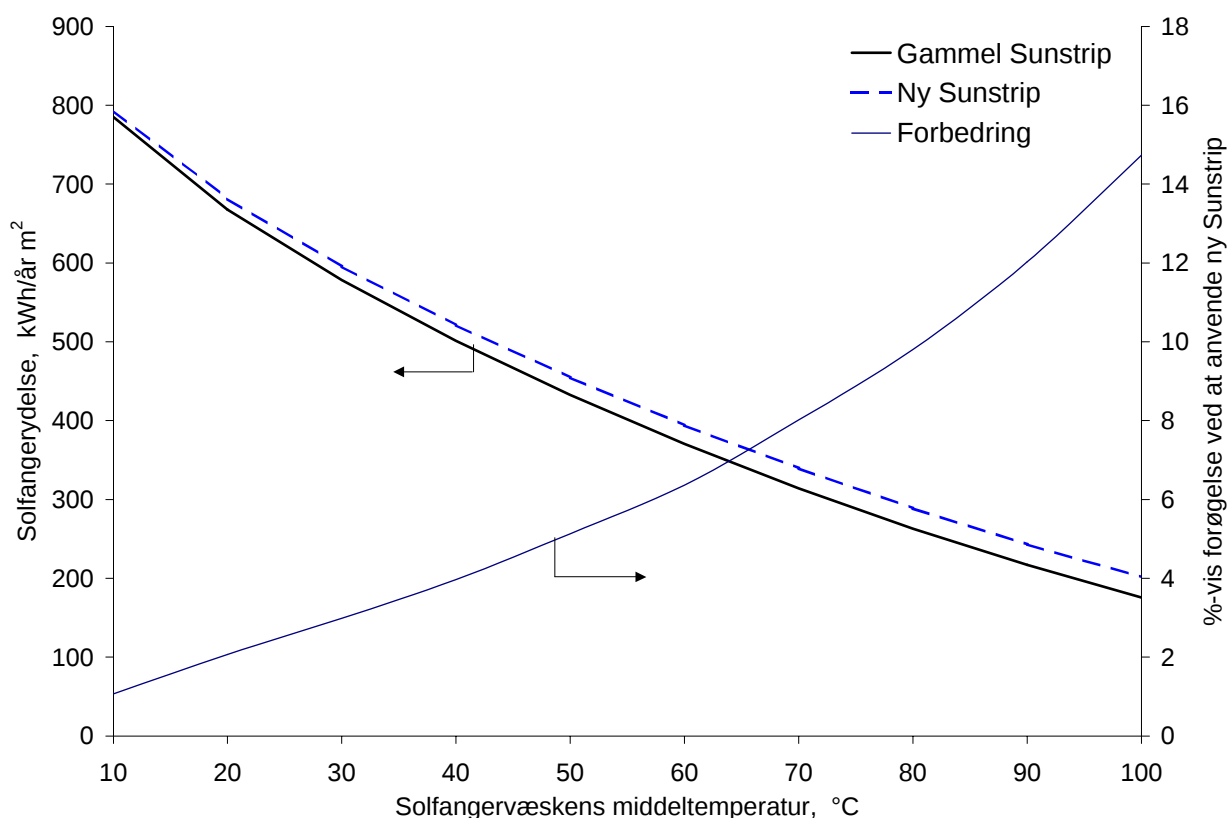
Figur 3.5 viser effektivitetskurverne og figur 3.6 viser solfangerydelserne for HT solfangeren med en absorber bestående af henholdsvis, gamle Sunstrips og nye Sunstrips.



Figur 3.5 Solfangereffektivitet som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen med forskellige absorbertyper.

Følgende effektivitetsudtryk er fundet med en absorber af henholdsvis Sunstrips og Ny Sunstrips:

- Sunstrips:
$$\eta = 0,75 - 3,00 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0065 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$
- Ny Sunstrips:
$$\eta = 0,76 - 2,84 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0057 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$



Figur 3.6 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur med den gamle Sunstrip absorber og en ny Sunstrip absorber samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at udskifte absorberen.

Ved at benytte den nye Sunstrip i stedet for den gamle Sunstrip opnås en ca. 6% forøgelse af årsydelsen, ved en solfangertemperatur på 60°C. Ydelsesforbedringen er størst ved høje temperaturer og mindst ved lave temperaturer.

3.3 Dæklag

HT solfangerens dæklag består af et glas og en teflonfolie udspændt mellem glasset og absorberen. Det er vurderet, hvilken betydning det vil have på solfangerydelsen, at udskifte glasdæklaget fra en glastype til anden glastype. Det er også vurderet, hvilken betydning en antirefleksionsbehandling af glasdæklaget vil have på solfangereffektiviteten og solfangerydelsen.

3.3.1 Glastype

HT solfangerens nuværende glasdæklag er et 4 mm glas med en struktureret overflade på indersiden.

Glasdæklaget tænkes udskiftet med et 3,3 mm glas med en mindre struktureret overflade på indersiden.

Transmittansen for de to glastyper ved forskellige indfaldsvinkler er givet i følgende tabel.

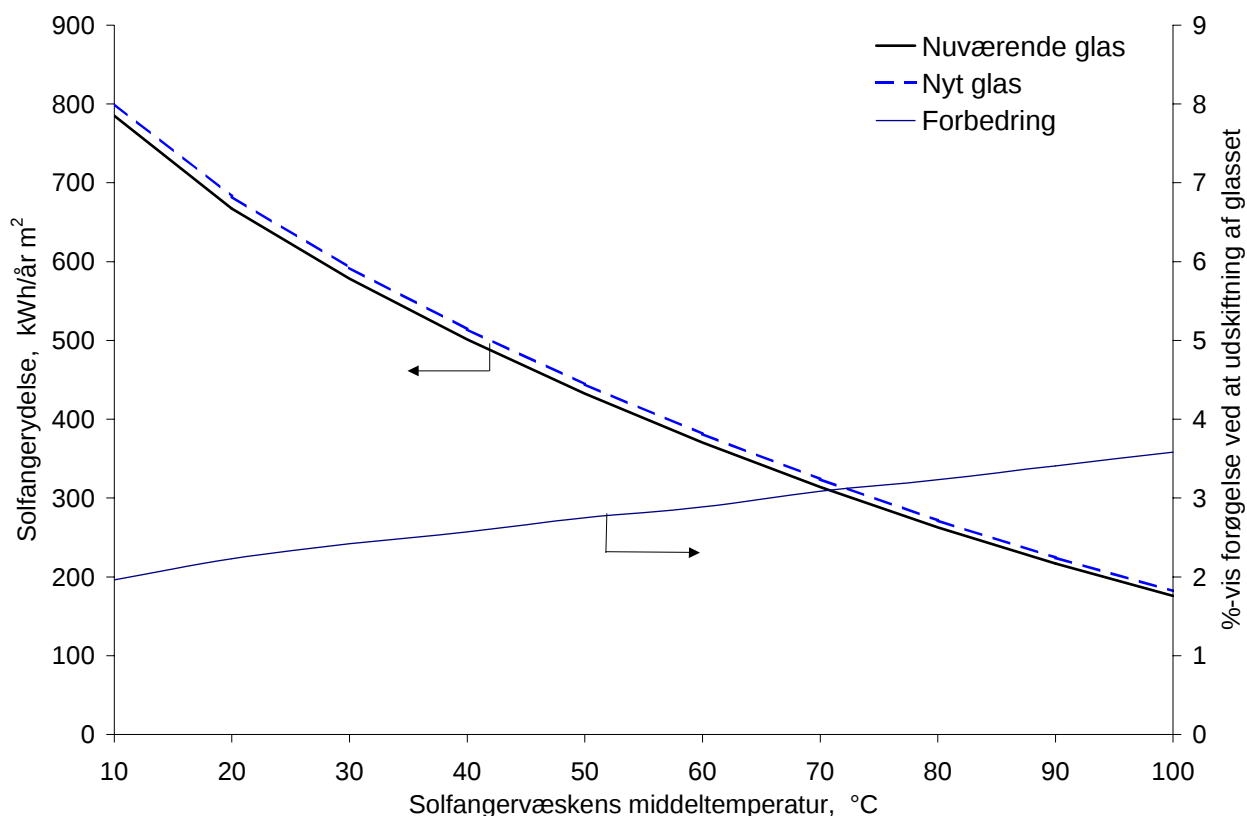
Indfaldsvinkel	Nuværende glas	Nyt glas
0°	0,913	0,913
15°	0,910	0,912
45°	0,782	0,820
70°	0,208	0,354

Tabel 3.1 Transmittans ved forskellige indfaldsvinkler.

Det ses at transmittansen for de to glastyper begge er 0,913 ved en indfaldsvinkel på 0°. Solfangereffektiviteten antages derfor at være ens mens indfaldskorrektionsfaktoren vil være forskellig da transmittansen ved indfaldsvinkler større end 0° er højere for det nye glas end for det nuværende glas.

Det vurderes, at en udskiftning af glasset, vil medføre en ændring af indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren, a , til tangensudtrykket fra 3,0 til 3,3.

Figur 3.7 viser den beregnede solfangerydelse for HT solfangeren med henholdsvis det nuværende glas og det nye glas.



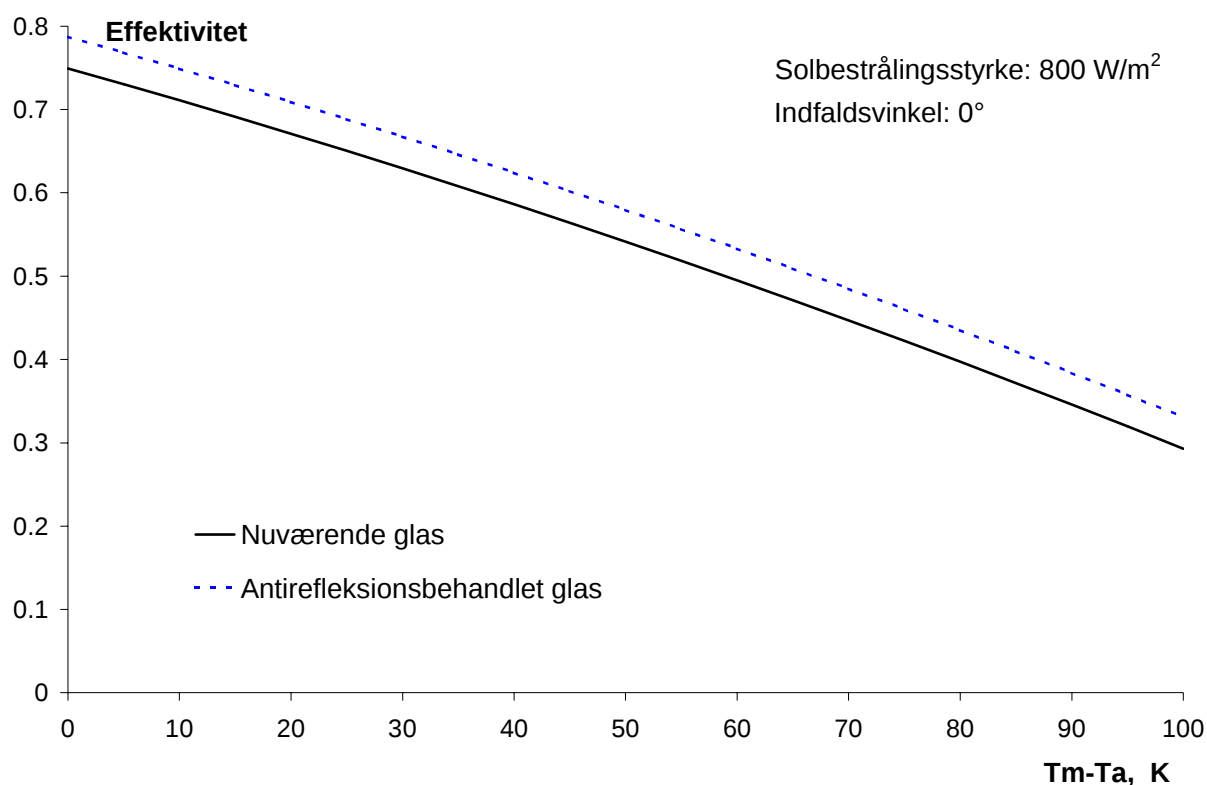
Figur 3.7 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur med henholdsvis det nuværende glas og det nye glas samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at udskifte glasset.

Ved alene at udskifte dæklaget opnås en forbedring af solfangerydelsen med 2 % – 3,5 %.

3.3.2 Antirefleksionsbehandlet glas

Der er gennemført beregninger med det nuværende glas og med et tilsvarende antirefleksionsbehandlet glas.

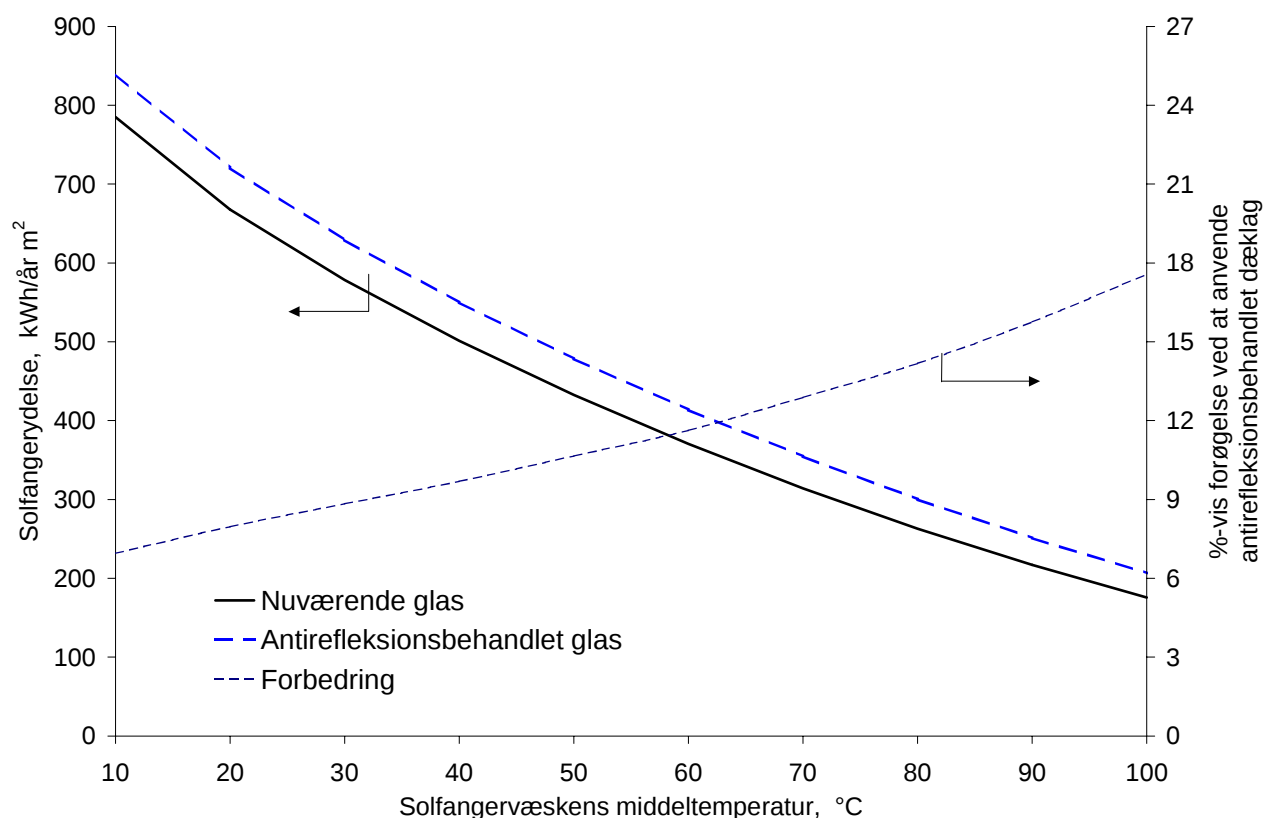
Figur 3.8 viser effektivitetskurverne og figur 3.9 viser solfangerydelserne for HT solfangeren med et almindeligt og et antirefleksionsbehandlet glas.



Figur 3.8 Solfangereffektivitet som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen med almindeligt og antirefleksionsbehandlet glas.

Det vurderes, at en udskiftning af glasset med et antirefleksionsbehandlet glas, vil medføre en ændring af indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren til tangensudtrykket fra de nuværende 3,0 til 3,3.

Figur 3.9 viser den beregnede solfangerydelse for HT solfangeren med det nuværende glas og med et antirefleksionsbehandlet glas.



Figur 3.9 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur med henholdsvis det nuværende og et antirefleksionsbehandlet glas samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at udskifte glasset med et antirefleksionsbehandlet glas.

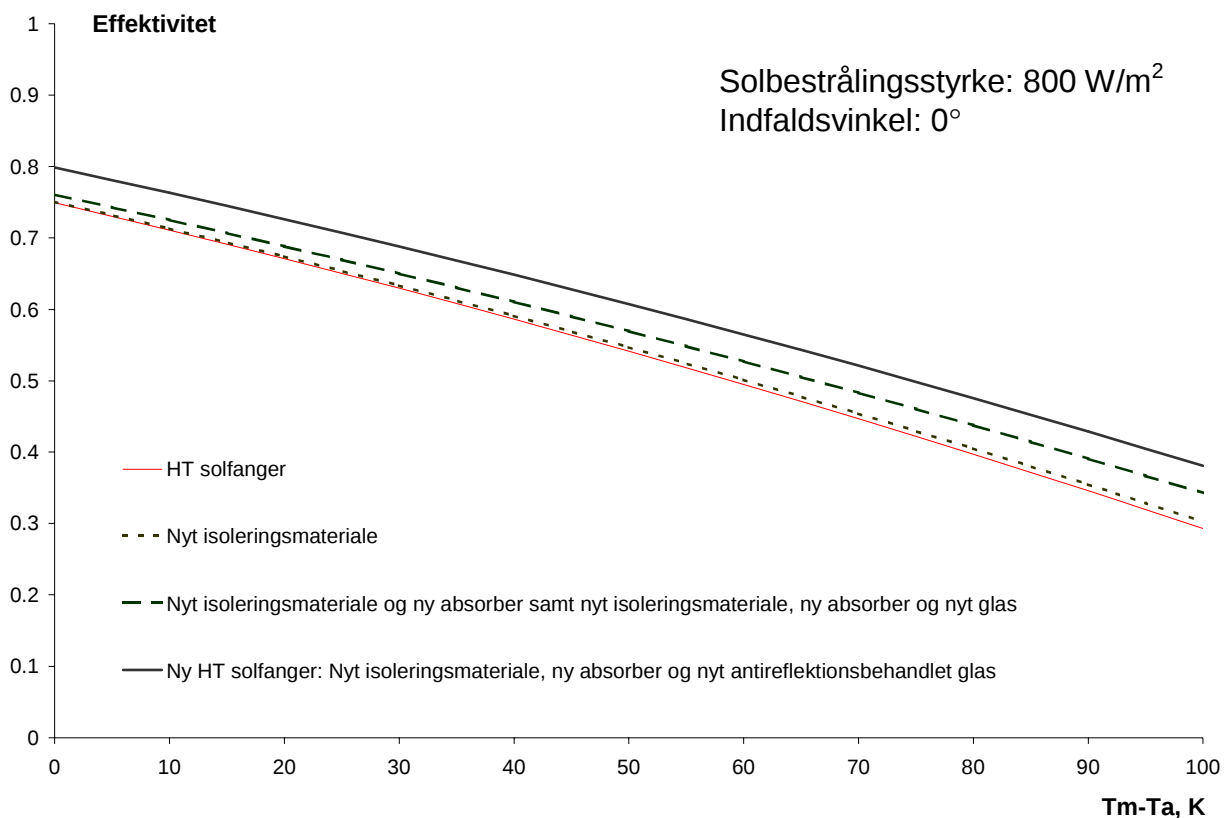
Det ses at anvendes et antirefleksionsbehandlet glas opnås en forbedring af solfangerydelsen ved 60°C med ca. 12 %. Forbedringen bliver større ved højere solfangertemperaturer og lavere ved lavere solfangertemperaturer.

4 Ændringer

Blandt andet med baggrund i de teoretiske undersøgelser er følgende design ændringer på HT solfangeren foretaget:

- Isoleringsmaterialet udskiftes fra Isover til Rockwool.
- Absorberen udskiftes fra Sunstrip med absorptans 0,95 og emittans 0,12 til den ”nye Sunstrip” med absorptans 0,96 og emittans 0,07.
- Glasdæklaget udskiftes.
- Det nyt glasdæklag antirefleksionsbehandles.

Figur 4.1 viser solfangereffektiviteten for HT solfangeren og den nye HT solfanger, hvor isoleringsmaterialet, absorberen og glasdæklaget er udskiftet og glasset er antirefleksionsbehandlet. Desuden er solfangereffektiviteten for HT solfangeren, hvor henholdsvis 1) isoleringsmaterialet, 2) isoleringsmaterialet og absorberen og 3) isoleringsmaterialet, absorberen og glasset er udskiftet, vist.



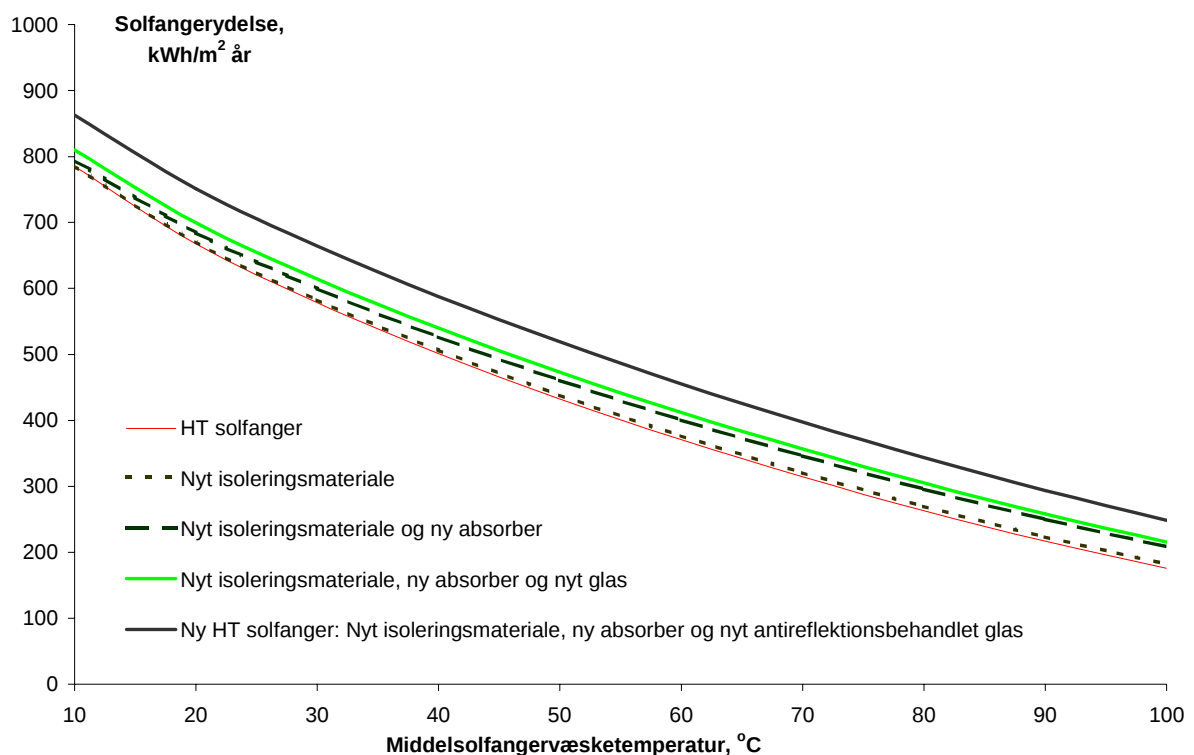
Figur 4.1 Solfangereffektivitet som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen for fem forskellige solfangere.

Det vurderes at den nye HT solfanger med et antirefleksionsbehandlet glas vil få et effektivitetsudtryk af følgende størrelse:

- HT solfanger:
$$\eta = 0,75 - 3,00 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0065 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$
- Ny HT solfanger:
$$\eta = 0,80 - 2,77 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0057 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

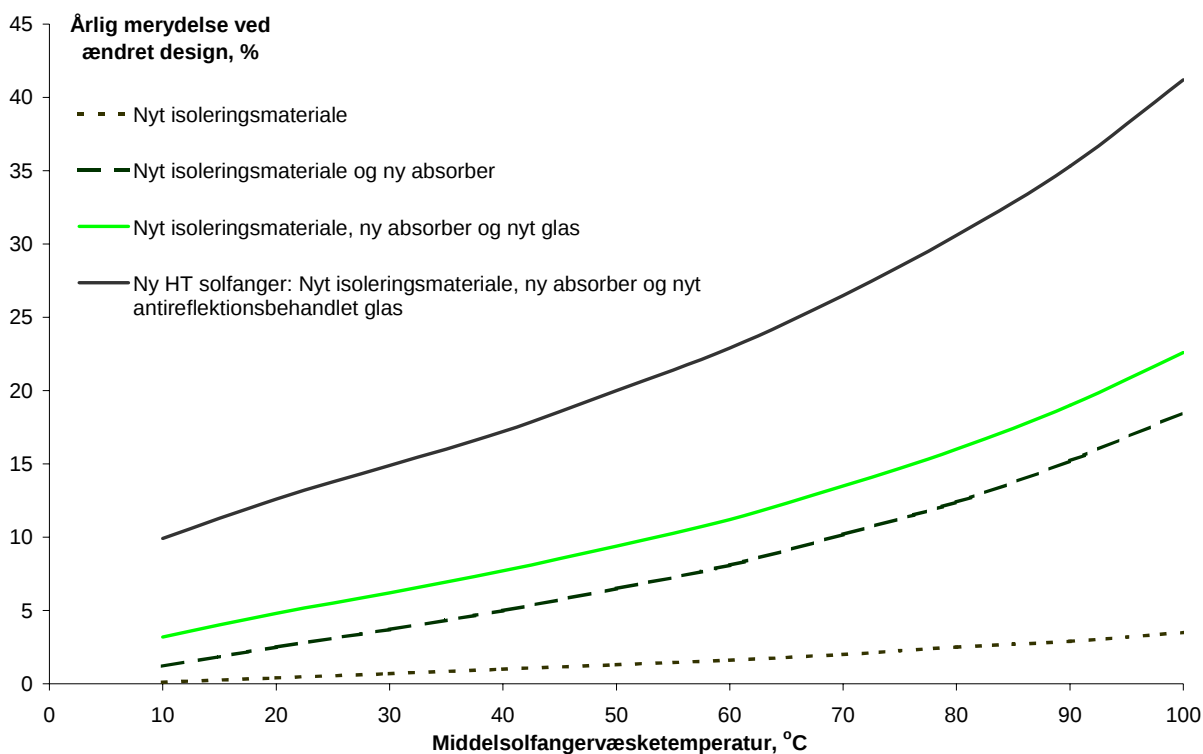
Det vurderes, at en udskiftning af glasset, vil medføre en ændring af indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren til tangensudtrykket fra de nuværende 3,0 til 3,3 og at anvendelsen af et nyt antirefleksionsbehandlet glas vil medføre en indfaldsvinkelkorrektionsfaktor på 3,6.

Figur 4.2 viser den beregnede solfangerydelse for HT solfangeren og for den nye HT solfanger. Desuden er solfangerydelsen vist for HT solfangeren, hvor henholdsvis 1) isoleringsmaterialet, 2) isoleringsmaterialet og absorberen og 3) isoleringsmaterialet, absorberen og glasset er udskiftet.



Figur 4.2 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur for fem forskellige solfangere.

Figur 4.3 viser den %-vise forbedring af ydelse for den nye HT solfanger i forhold til HT solfangeren. Desuden er, ydelsesforbedringerne for HT solfangeren, hvor henholdsvis 1) isoleringsmaterialet, 2) isoleringsmaterialet og absorberen og 3) isoleringsmaterialet, absorberen og glasset er udskiftet, vist.



Figur 4.3 Den procentvise forøgelse af årsydelsen for fire solfangere i forhold til HT solfangeren.

Det ses at den nye HT solfanger kan forventes at yde ca. 23% mere end HT solfangeren ved 60°C. Forbedringen bliver større ved højere solfangertemperaturer og lavere ved lavere solfangertemperaturer.

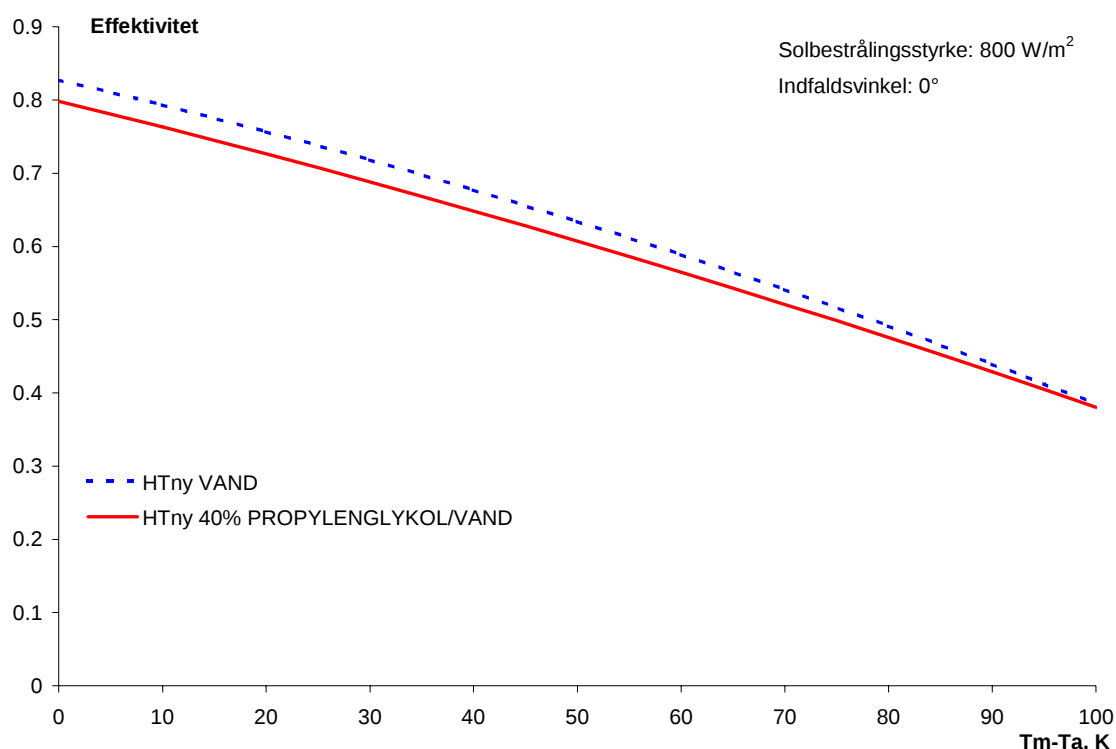
Det fremgår desuden af figuren, at det specielt er udskiftningen af absorberen og antirefleksionsbehandlingen af glasset der medfører de største ydelsesforbedringer den nye HT solfanger mens udskiftningen af isoleringsmaterialet og glasset med andre typer kun medfører mindre ydelsesforbedringer.

4.1 Solfangervæske

Det er undersøgt hvilken betydning, det vil have for solfangereffektiviteten og på solfangerydelsen, hvis det er muligt at anvende vand i stedet for 40 % propylenglykol/vand som solfangervæske.

Anvendelsen af vand som solfangervæske stiller nogle specielle krav til solvarmeanlægget for at undgå frysning med skader på rør og solfangere til følge.

Figur 4.4 viser solfangereffektiviteten for den nye HT solfanger hvor henholdsvis vand og 40 % propylenglykol/vand er benyttet som solfangervæske.

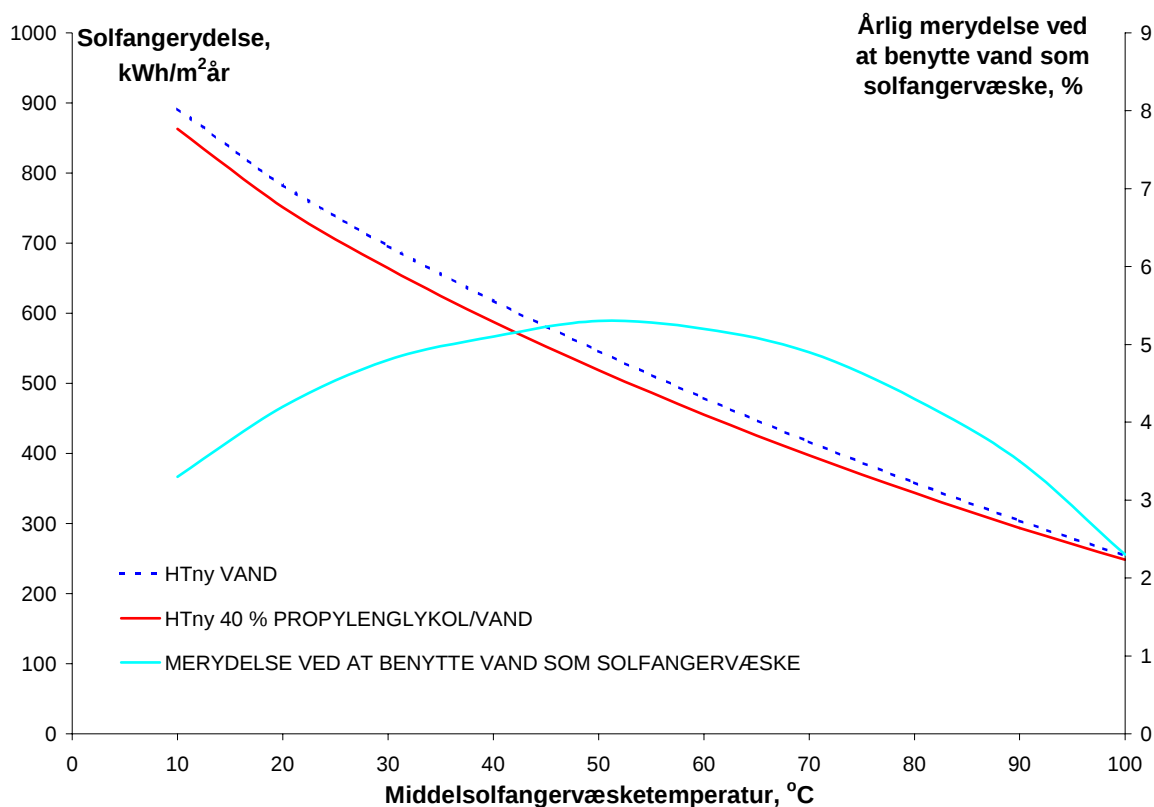


Figur 4.4 Solfangereffektivitet som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen for den nye HT solfanger, hvor henholdsvis vand og 40 % propylenglykol/vand er benyttet som solfangervæske.

Følgende effektivitetsudtryk er fundet med henholdsvis 40 % propylenglykol/vand og rent vand som solfangervæske:

- 40 % propylenglykol/vand:
$$\eta = 0,80 - 2,77 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0057 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$
- Vand:
$$\eta = 0,83 - 2,65 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0089 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Figur 4.5 viser den beregnede solfangerydelse for den nye HT solfanger hvor henholdsvis rent vand og 40 % propylenglykol/vand er benyttet som solfangervæske.



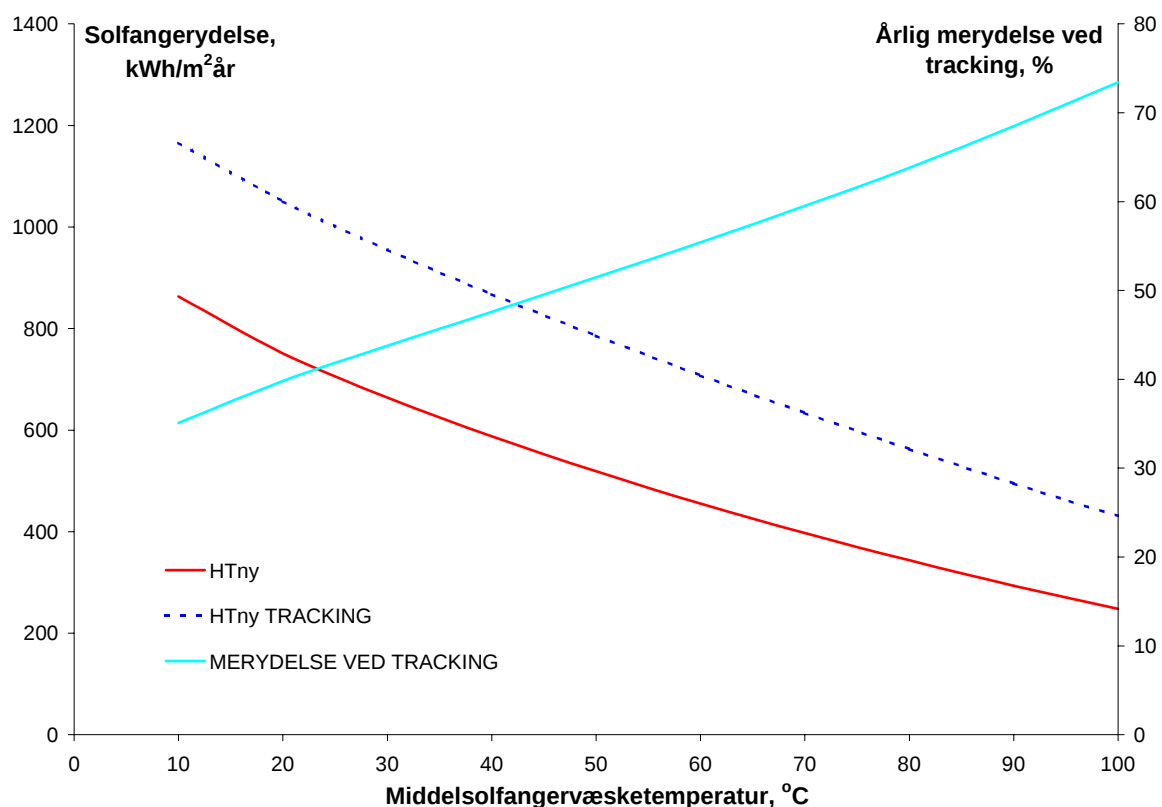
Figur 4.5 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur for den nye HT solfanger, hvor henholdsvis vand og 40 % propylenglykol/vand er benyttet som solfangervæske samt den procentvise forøgelse af årsydelsen ved at benytte vand i stedet for 40 % propylenglykol/vand som solfangervæske.

Det ses at der opnås en merydelse på ca. 2 % til 5 % ved at benytte vand i stedet for 40 % propylenglykol/vand. Merydelsen er størst når solfangertemperaturen ligger i intervallet fra 40°C til 70°C.

4.2 Tracking

Det er undersøgt hvilken betydning, det vil have på solfangerydelsen, hvis det er muligt at opstille/montere solfangerne således at de tracker efter solen så indfaldsvinkel konstant er 0° .

Figur 4.6 viser den beregnede solfangerydelse for den nye HT solfanger når den er henholdsvis stationært og trackende opstillet.



Figur 4.6 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur for den nye HT solfanger, hvor solfangerne er stationære henholdsvis trackende.

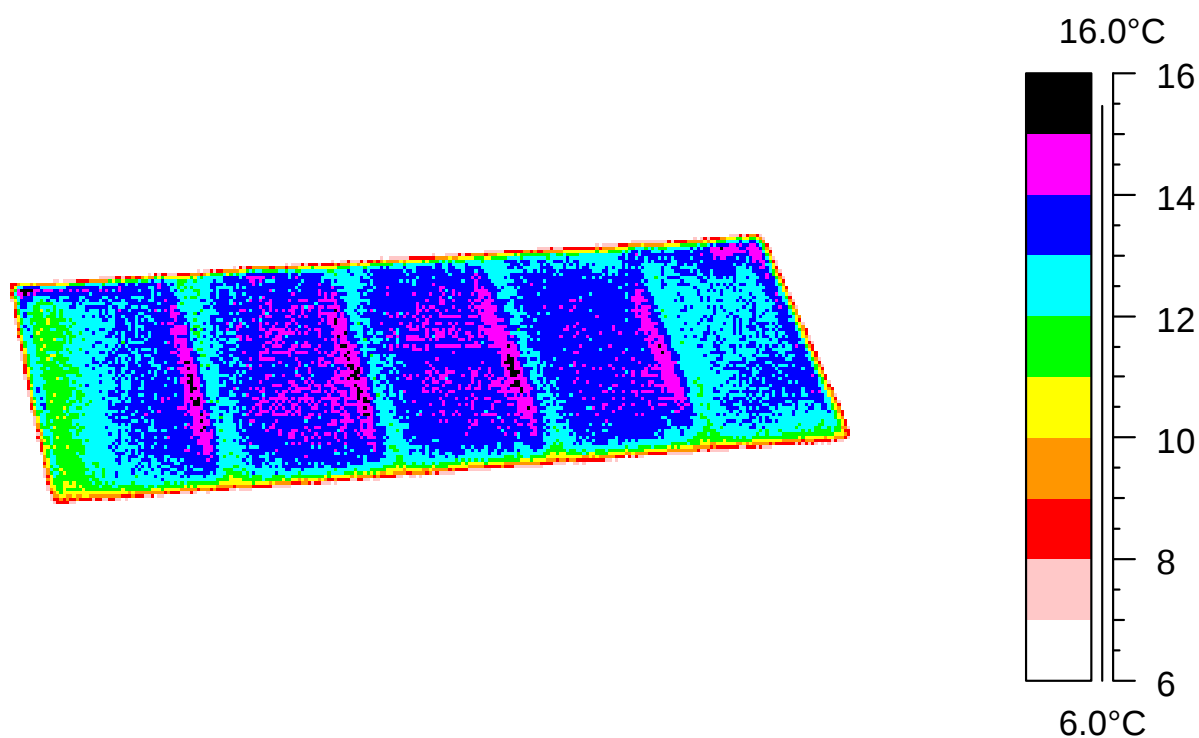
Det ses at der opnås en merydelse på ca. 35 % til 73 % ved at solfangerne er trackende frem for stationære. Ved solfangertemperatur på 60°C er merydelsen ca. 55%. Merydelsen er størst når solfangertemperaturen er høj.

5 Termografi-undersøgelse

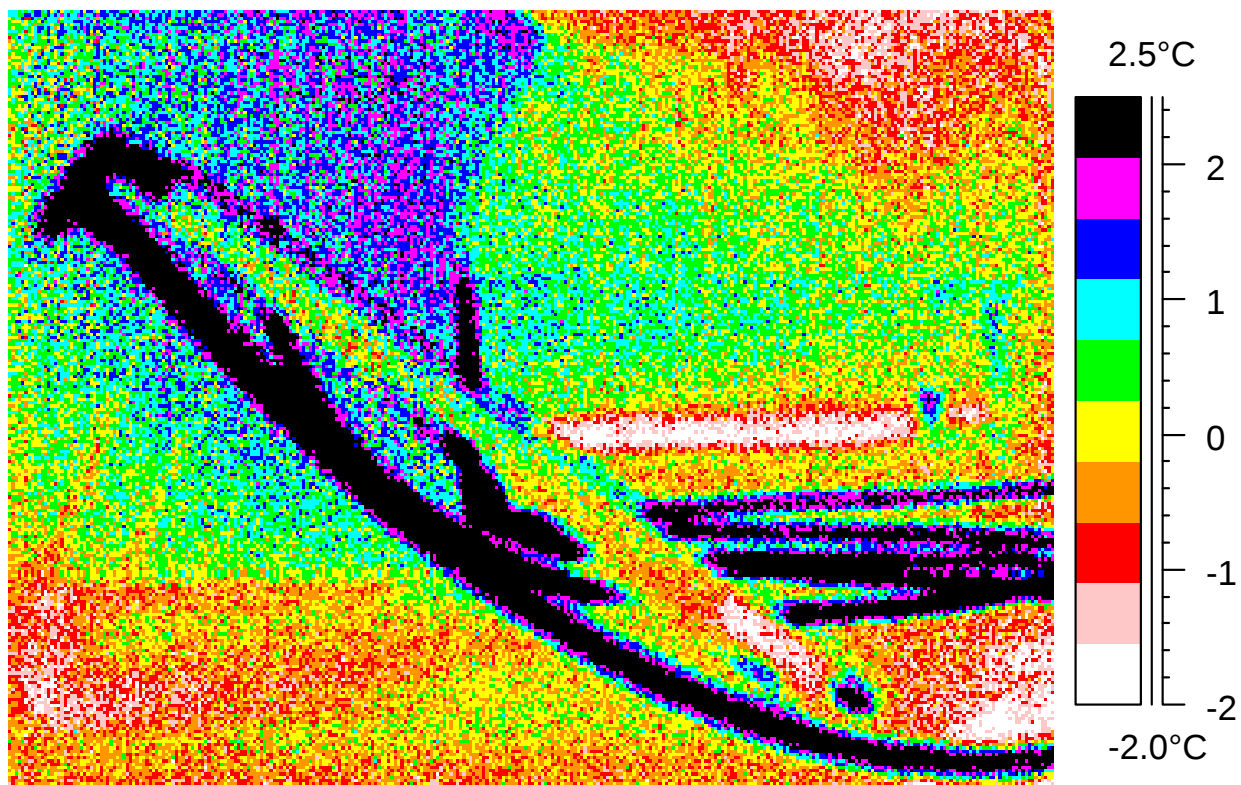
Der er gennemført en termografiundersøgelse af en HT solfanger for at afsløre eventuelle kuldebroer eller utilsigtede konstruktionsfejl.

Termografiundersøgelserne er foretaget den 9. januar 2002. Vejret var overskyet med en lufttemperatur på ca. 3°C. Solfangerne blev gennemstrømmet med solfangervæske opvarmet til ca. 70°C.

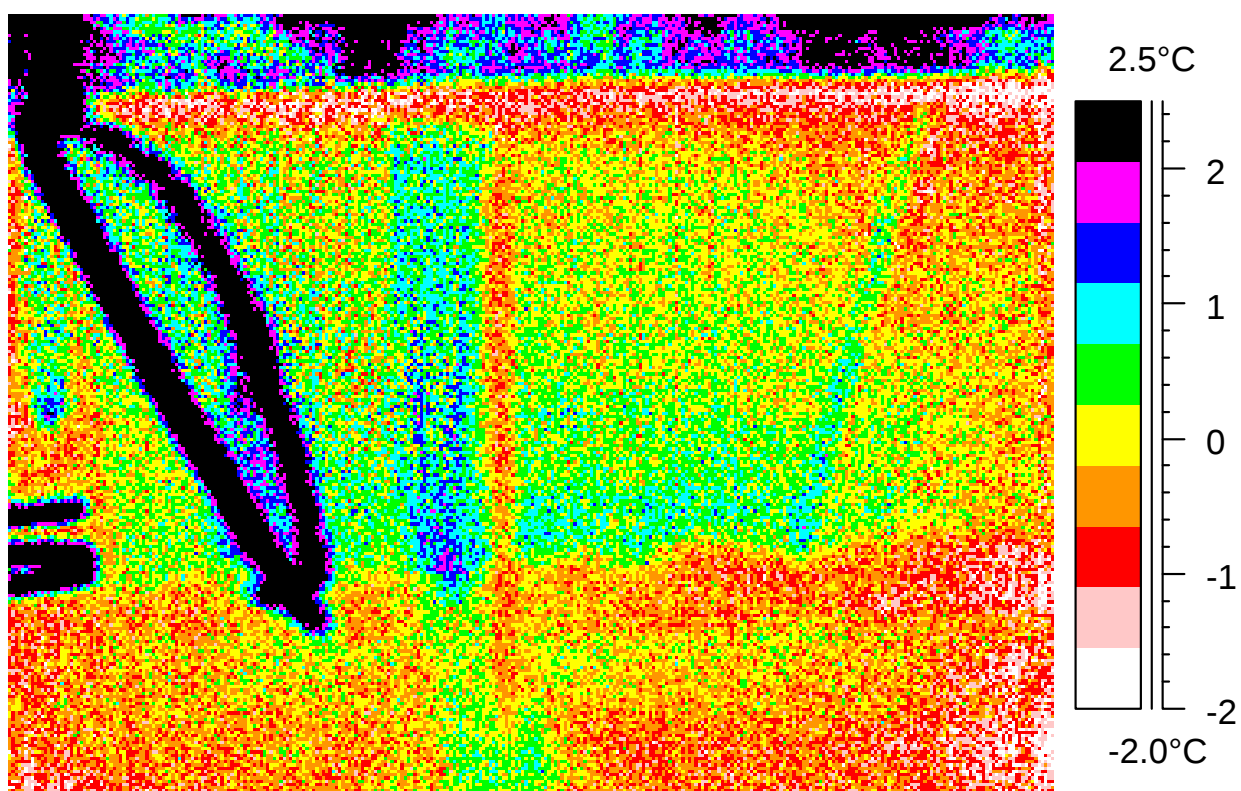
Figur 5.1 til Figur 5.5 viser termografibilleder af HT solfangeren. Generelt viser termografibillederne at der hverken er kuldebroer eller andet der bevirker forhøjede temperaturer på solfangerkassens yderside.



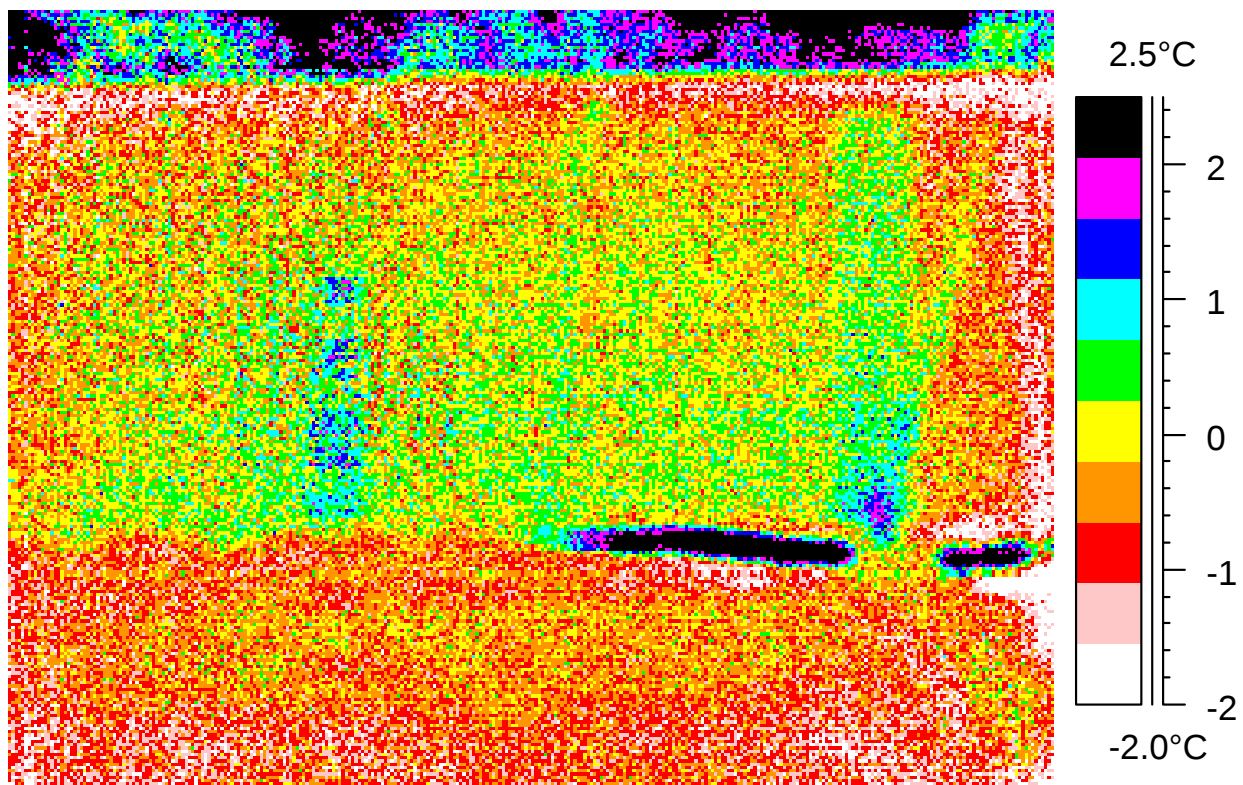
Figur 5.1 Forsiden af solfangeren.



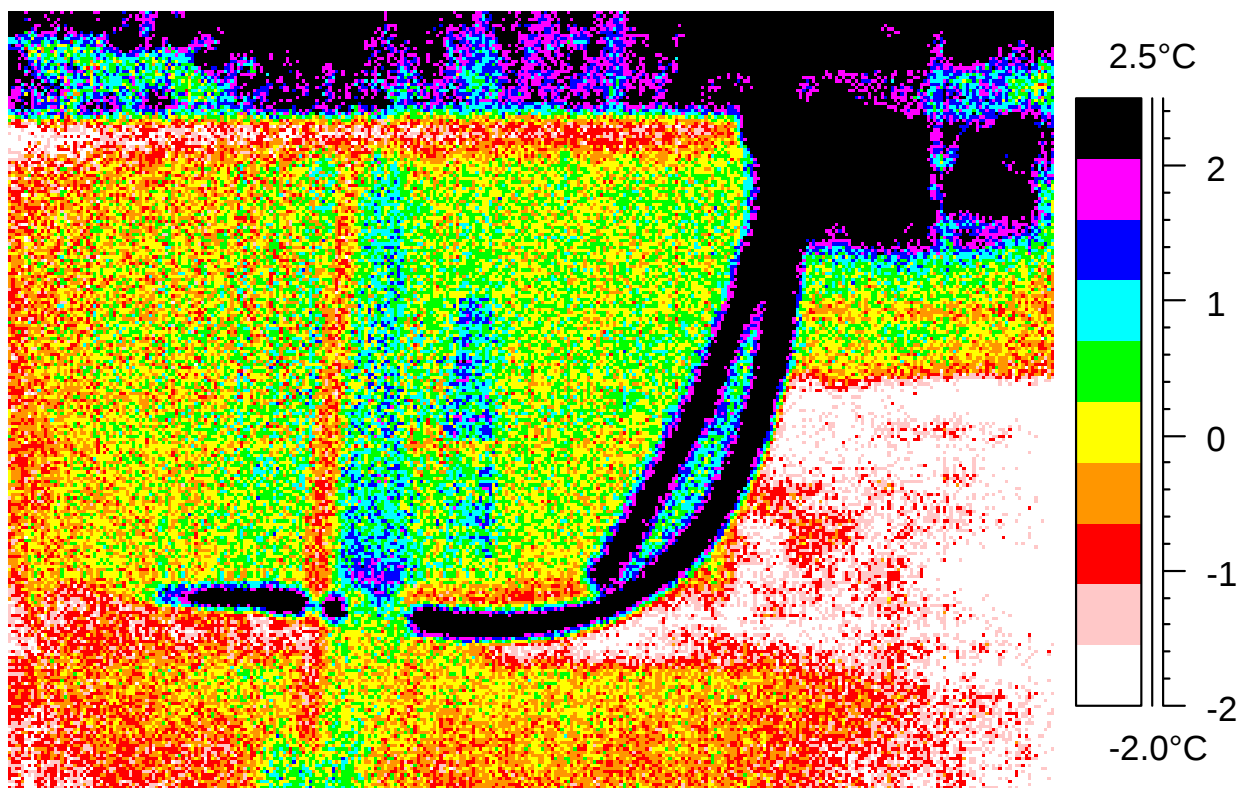
Figur 5.2 Venstre ende af solfangeren.



Figur 5.3 Bagside af solfangeren – højre side.



Figur 5.4 Bagside af solfangeren – midterparti.



Figur 5.5 Bagside af solfangeren – venstre side.

6 Forsøgsopstilling

To solfangere var opstillet på stativer på jorden på BYG•DTU's forsøgsareal, se figur 6.1. Solfangerne var opstillet så de var orienteret direkte mod syd med en hældning på 40°.



Figur 6.1 Solfangerne opstillet på BYG•DTU's forsøgsareal.

Solfangeren var koblet til instituttets store mobile lagerprøvestand således at der kan opnås en konstant og ens indløbstemperatur til de to solfangere samt et konstant og lige stort flow igennem de to solfangere.

Den totale og den diffuse solstråling blev målt af to solarimetre monteret på den ene solfanger (Kipp og Zonen, Type CM 5). Solarimetrene havde samme orientering og hældning som solfangerne.

Udelufttemperaturen samt væskens ind- og udløbstemperatur til/fra solfangeren blev målt med kobber/konstantan-termotråd type TT. Temperaturforskellen over solfangerne blev målt med termosøjler.

Flowet igennem solfangerne målt med flowmålere med pulsudgang.

Målingerne blev opsamlet ved hjælp af en datalogger hvert minut.

7 Målinger på to ens HT solfangere

Der er foretaget målinger på to ens HT solfangere i perioden fra den 11. februar til den 5. marts 2002.

Solfangerarealet for solfangerne er 12,53 m².

Målingerne på to ens HT solfangere er foretaget for at vise at forsøgsopstillingen og måleudstyret fungerer og måler med god nøjagtighed.

Der var en del måletekniske problemer i begyndelsen af måleperioden. Disse problemer blev udbedret før de egentlige målinger blev påbegyndt.

I Tabel 7.1 er målinger for de to ens solfangere, den ene placeret længst mod øst og den anden længst mod vest, vist.

Dato 2002	Periode	Flow		Middelsolfanger- væsketemperatur		Energi fra solfanger			Solind- fald på solfanger	Udnyttelse	
		Øst	Vest	Øst	Vest	Øst	Vest	Afvig- else		Øst	Vest
		[l/min.]	[l/min.]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[%]		[%]	[%]
2/3	09:00- 13:45	25,2	24,8	48,2	48,1	4,04	4,09	1,30	18,9	21,4	21,7
3/3	10:30- 12:30	25,2	24,9	52,3	52,3	4,76	4,83	1,45	8,5	39,4	40,0
4/3	11:00- 15:00	25,2	24,9	54,9	54,9	19,7	20,0	1,64	36,5	54,0	54,9
5/3	10:00- 15:00	25,2	24,9	53,7	53,6	15,4	15,8	2,32	26,7	57,9	59,3
Perioden		25,2	24,9	Ca. 53	Ca. 53	43,9	44,7	1,83	90,4	48,5	49,5

Tabel 7.1 Flow, middelsolfangervæsketemperatur og leveret energi fra solfangerne samt solindfaldet på en solfanger i de angivne perioder.

Det ses af tabel 7.1 at flowet er lidt højere igennem den østlige end igennem den vestlige solfanger. Middelsolfangervæsketemperaturene for de to solfangere er næsten ens. Den vestlige solfanger yder ca. 1-2% mere end den østlige solfanger. Forskellen er dog så lille at det vurderes at det ligger indenfor usikkerheden på målingerne.

8 Måling på HT solfangeren og den nye HT solfanger

Der er foretaget målinger på en HT solfanger og den nye HT solfanger i perioden fra den 14. marts til den 12 maj 2002. HT solfangeren, som viste den højeste ydelse under de indledende målinger, er benyttet i disse grundigere målinger.

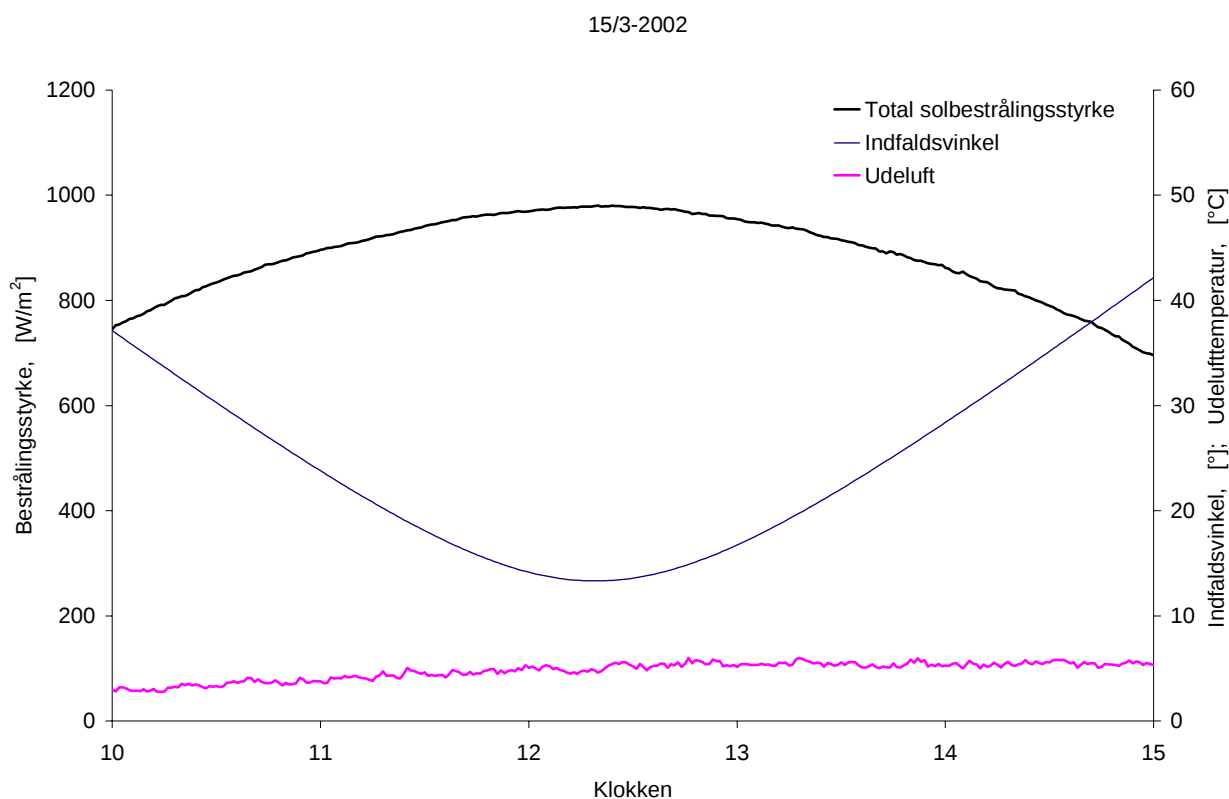
Ud fra målingerne er der desuden bestemt et effektivitetsudtryk og en indfaldsvinkelkorrektionsfaktor for de to solfangere.

Baseret på de fundne effektivitetsudtryk og indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer er en forventet årsydelse for de to solfangere beregnet og merydelsen for den nye HT solfanger er bestemt.

8.1 Målte ydelser

I det følgende er måledataene vist. Først er der vist detaljerede måledata fra en enkelt dag, den 15. marts 2002 og derefter er der vist en tabel med de daglige summerede solfangerydelser.

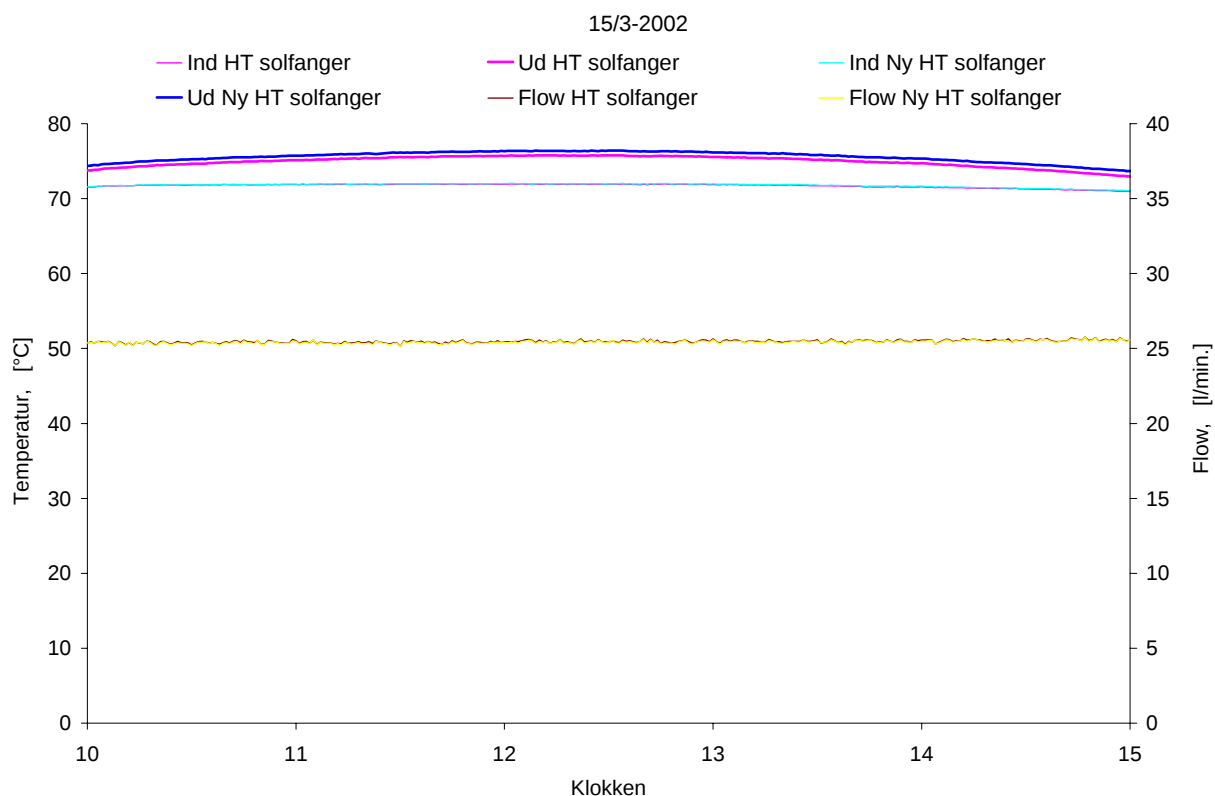
Figur 8.1 viser solbestrålingsstyrken og solstrålingens indfaldsvinkel på solfangerne samt udelufttemperaturen den 15. marts.



Figur 8.1 Målt solbestrålingsstyrke og udelufttemperatur samt indfaldsvinkel.

Det ses at den 15. marts 2002 var en flot solbeskinnet dag med solstråling mellem 700 og 1000 W/m². Udeluftens temperatur lå imellem 3°C og 6°C og den mindste indfaldsvinkel var ca. 13°.

Figur 8.2 viser temperaturerne ind og ud af de to solfangerne samt væskestrømmen igennem solfangerne.

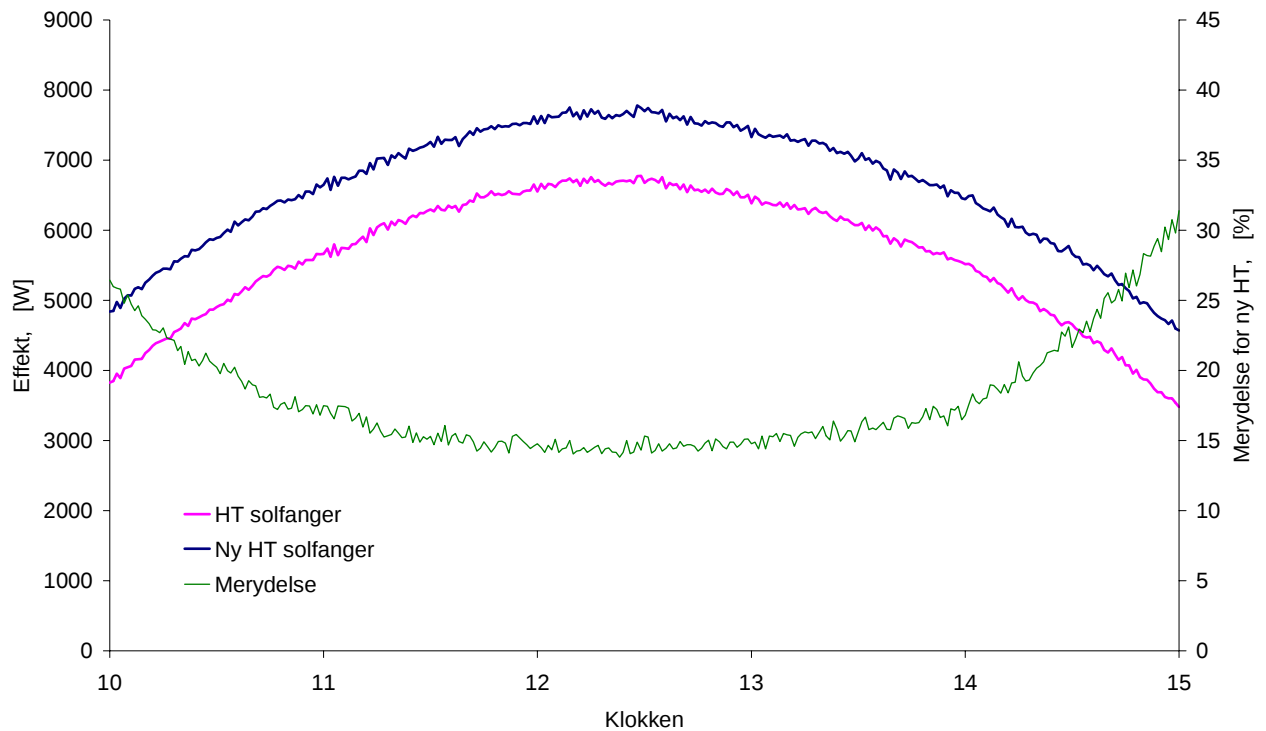


Figur 8.2 Målte ind- og udløbstemperaturer til/fra solfangerne samt flowet gennem solfangerne.

Det ses at flowene gennem solfangerne var lidt større end 25 l/min. og at de er stort set sammenfaldende. Indløbstemperaturerne til solfangerne er ligeledes sammenfaldende og indløbstemperaturerne har ligget på ca. 72°C gennem hele dagen. Det ses at udløbstemperaturen fra den nye HT solfanger er ca. 0,6 K højere end udløbstemperaturen fra HT solfangeren. Temperaturstigningen over HT solfangeren varierede mellem ca. 2 K til 4 K mens temperaturstigningen over den nye HT solfanger varierede mellem ca. 2,6 K til 4,6 K.

Figur 8.3 viser effekten fra de to solfangerne gennem dagen sammen med den procentvise merydelsen for den nye HT solfanger i forhold til HT solfangeren.

15/3-2002



Figur 8.3 Målte solfangereffekter samt merydelsen for den nye HT solfanger i forhold til HT solfangeren.

Det ses at effekten fra den nye HT solfanger er ca. 1000 W større end effekten fra HT solfangeren igennem hele dagen. Den procentvise merydelse for den nye HT solfanger varierer mellem ca. 14% og 30%. Merydelsen er størst først og sidst på dagen og mindst midt på dagen, hvor solstrålingens indfaldsvinkel på solfangerne er mindst og bestrålingsstyrken er størst.

I tabel 8.1 er de daglige solfangerydelser i de angivne perioder for HT solfangeren og den nye HT solfanger samt merydelsen for den nye HT solfanger i forhold til HT solfangeren angivet. Desuden er solindfaldet på én solfanger, middelsolfangervæsketemperatur og middeludelufttemperaturen angivet i måleperioderne.

Perioderne er valgt så mindst en af solfangerne har en positiv ydelse og således at der ikke er skygger på nogle af solfangerne.

Volumenstrømmen igennem solfangerne var ca. 25 l/min. i alle måleperioderne.

Dato	Periode		Solindfald	Middelsolfanger- væsketemperatur	Udeluft- temperatur	Ydelse		Merydelse
	Start	Slut				HT	Nye HT	
			kWh	°C	°C	kWh	KWh	%
14-03-02	11:00	16:30	55.7	61	3	29,4	34,4	16,9
15-03-02	10:00	15:00	55.8	74	5	28,4	33,3	17,3
16-03-02	09:30	14:15	12.2	47	4	0	1,1	-
17-03-02	10:00	16:00	34.6	56	5	12,0	15,8	31,8
20-03-02	10:00	16:00	48.1	40	8	28,4	32,5	14,4
21-03-02	10:00	17:00	59.1	34	6	35,6	40,8	14,4
26-03-02	09:00	18:00	77.3	22	5	50,2	56,3	12,3
27-03-02	09:00	15:30	61.7	23	8	41,7	46,3	11,1
29-03-02	09:00	17:00	72.8	40	11	44,6	50,7	13,7
30-03-02	09:00	17:00	68.4	40	13	41,6	47,7	14,5
31-03-02	09:00	17:00	42.6	38	13	22,2	26,3	18,6
01-04-02	09:00	17:00	54.1	39	13	30,3	35,4	16,7
02-04-02	09:00	17:00	49.4	68	14	15,6	21,7	39,8
03-04-02	09:00	16:00	65.7	80	11	26,9	34,3	27,3
04-04-02	09:00	16:00	73.7	82	9	33,7	41,6	23,2
05-04-02	09:00	16:00	74.6	77	7	34,6	42,2	21,9
06-04-02	09:00	16:00	71.5	55	8	39,6	46,4	17,2
07-04-02	10:00	14:30	15.8	51	7	2,3	4,5	96,7
08-04-02	09:00	16:00	70.3	56	6	38,1	44,8	17,5
09-04-02	09:00	16:00	69.6	56	9	37,5	44,2	17,8
10-04-02	09:00	16:00	70.2	25	11	47,4	53,0	12,0
11-04-02	09:00	16:00	25.8	50	11	6,2	9,4	51,3
12-04-02	11:15	13:15	6.9	45	11	1,8	2,6	47,1
19-04-02	11:00	16:00	18.2	47	8	4,3	6,5	50,5
20-04-02	09:00	16:00	73.7	67	13	40,7	48,0	18,0
21-04-02	09:00	16:30	64.6	66	15	32,2	38,9	20,9
22-04-02	09:00	17:00	78.4	67	16	40,3	48,8	21,1
23-04-02	11:30	17:00	28.6	57	15	11,6	14,6	26,6
24-04-02	09:00	15:00	12.5	14	12	8,1	9,1	13,4
25-04-02	09:00	15:00	13.9	14	15	9,7	10,8	11,7
26-04-02	07:00	14:45	7.1	26	10	0,7	1,4	118,7
30-04-02	11:00	17:30	29.9	30	12	15,8	18,9	19,6
01-05-02	09:00	18:00	28.8	38	14	10,0	13,3	32,9
02-05-02	09:00	17:00	45.6	18	14	31,1	34,6	11,3
03-05-02	11:30	14:30	5.6	33	12	1,5	2,1	41,5
06-05-02	09:00	17:00	67.4	57	17	35,1	41,8	18,9
07-05-02	09:00	16:00	39.6	61	15	14,7	19,3	31,2
08-05-02	09:00	18:00	79.7	16	19	57,5	63,7	10,9
09-05-02	09:00	18:00	71.7	16	19	51,5	57,2	11,2
10-05-02	09:00	18:00	81.4	17	18	58,2	64,8	11,4
11-05-02	09:00	18:00	78.6	17	20	56,8	63,0	11,0
12-05-02	09:00	18:00	27.3	14	17	19,5	21,6	10,7
SUM :			2088,5	-	-	1147,3	1343,9	17,1

Tabel 8.1 Måledata.

Den nye HT solfanger yder i alle perioder mere end HT solfangeren. Specielt er merydelsen af den nye HT solfanger høj i perioder med høje driftstemperaturer og med små solindfald.

Det ses at for hele måleperioden har HT solfangeren ydet 1147,3 kWh og den nye HT solfanger har ydet 1343,9 kWh det svarer til at den nye HT solfanger har ydet ca. 17 % mere end HT solfangeren. Solindfaldet på solfangeren har været 2088,5 kWh det vil sige at effektiviteten har været henholdsvis 55 % og 64 % for HT solfangeren og den nye HT solfanger.

8.2 Effektivitet

For at bestemme solfangerens effektivitetskurve er solfangeren testet for normale driftstemperaturer i klart vejr, /3/. Der er gennemført målinger ved forskellige indløbstemperaturer. Mindst en indløbstemperatur er valgt så middelvæsketemperaturen i solfangeren ligger i nærheden af omgivelsernes temperatur for at opnå en præcis bestemmelse af η_0 . Den maksimale indløbstemperatur var ca. 95°C.

Hver måling er foretaget med konstant indløbstemperatur og under konstante vejrforhold med en indsvingningsperiode efterfulgt af en testperiode med konstante temperaturforhold på mindst 15 minutter.

Den totale solstråling under prøvningerne var større end 800 W/m² på solfangerplanet. Indfaldsvinklen for den direkte solstråling var 0° ± 30°. Solfangervæskens volumenstrøm var ca. 25 l/min. pr. solfanger.

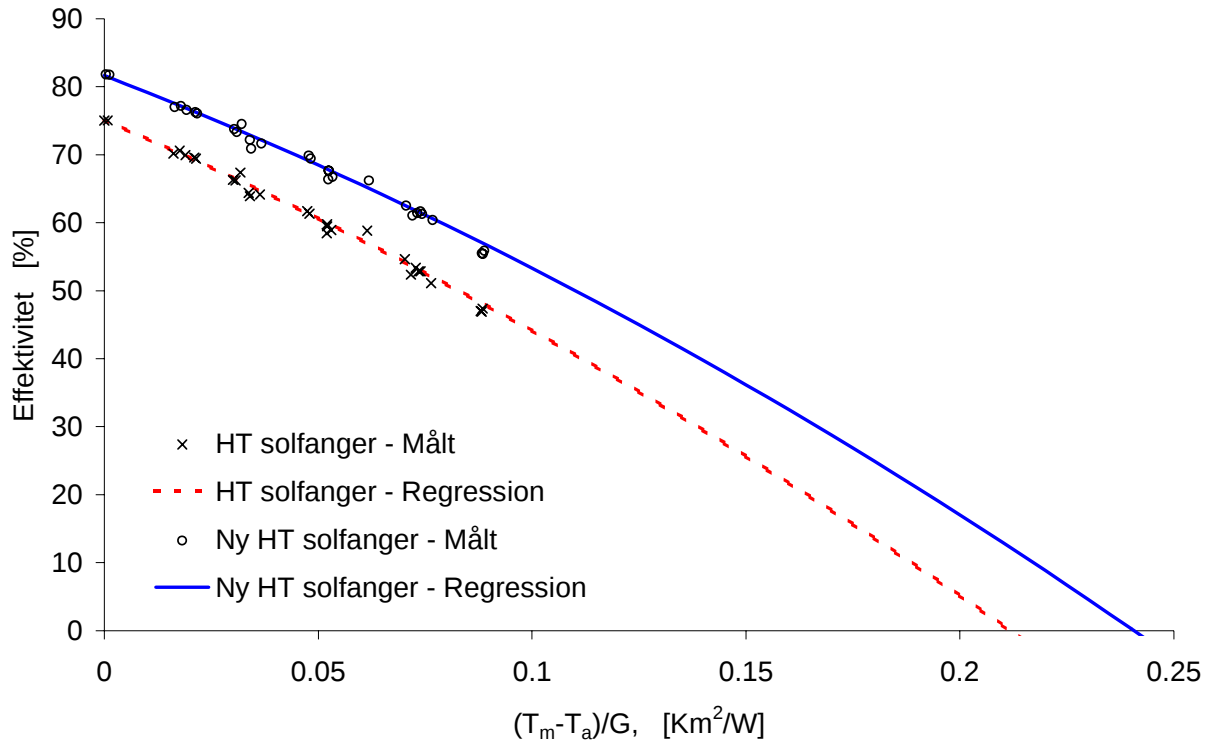
I tabel 8.2 er målepunkterne til bestemmelse af effektiviteterne for HT solfangeren og den nye HT solfanger angivet. I tabellen er dato og start- og sluttidspunktet for målingerne angivet efterfulgt af indfaldsvinklen, θ , solbestrålingsstyrken, G , og udelufttemperaturen, T_a . Derefter følger solfangervæskens middeltemperatur, T_m , størrelsen, $(T_m - T_a)/G$, og effektiviteten, η , for HT solfangeren og til slut de tilsvarende værdier for den nye HT solfanger.

Der er opnået 30 målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurverne.

Dato	Start	Slut	θ	G	T_a	HT solfanger			Ny HT solfanger		
						T_m	$(T_m - T_a)/G$	η	T_m	$(T_m - T_a)/G$	η
d-m-år	kl.	kl.	°	W/m ²	°C	°C	K m ² /W	-	°C	K m ² /W	-
14-03-02	13:00	13:15	18	964	3,1	59,2	0,061	0,59	59,6	0,062	0,66
15-03-02	11:30	11:45	17	951	4,5	69,3	0,073	0,53	69,6	0,073	0,61
15-03-02	12:15	13:15	15	979	5,1	68,7	0,070	0,55	69,1	0,071	0,63
20-03-02	12:09	12:24	11	1018	8,0	34,7	0,034	0,64	35,0	0,034	0,71
21-03-02	13:45	14:00	26	968	7,3	35,2	0,036	0,64	35,6	0,037	0,72
26-03-02	11:45	12:00	11	983	5,1	21,1	0,021	0,69	21,4	0,022	0,76
26-03-02	12:15	12:30	9	975	5,5	20,5	0,021	0,70	20,7	0,021	0,76
27-03-02	11:45	12:00	10	961	7,7	18,2	0,019	0,70	18,5	0,019	0,77
27-03-02	12:45	13:00	13	950	9,0	16,8	0,018	0,71	17,0	0,018	0,77
29-03-02	11:30	11:45	12	982	11,4	30,2	0,031	0,66	30,5	0,031	0,73
29-03-02	13:15	13:30	18	893	12,5	28,4	0,032	0,67	28,7	0,032	0,75
30-03-02	11:10	11:25	16	865	12,0	29,2	0,034	0,64	29,5	0,034	0,72
30-03-02	12:15	12:45	8	940	13,1	28,3	0,030	0,66	28,6	0,030	0,74
03-04-02	12:45	13:00	11	981	12,5	70,3	0,072	0,52	70,7	0,072	0,61
04-04-02	11:45	12:00	7	1000	9,1	73,9	0,074	0,53	74,3	0,074	0,61
04-04-02	12:00	12:15	6	1002	9,3	73,7	0,074	0,53	74,1	0,074	0,62
05-04-02	11:15	11:30	13	1005	6,3	76,8	0,076	0,51	77,2	0,077	0,60
05-04-02	12:00	12:15	5	1025	6,4	90,3	0,088	0,47	90,7	0,089	0,55
05-04-02	12:15	12:30	5	1022	7,0	89,9	0,088	0,47	90,3	0,088	0,55
05-04-02	12:30	12:45	8	1015	7,2	89,8	0,088	0,47	90,1	0,089	0,56
06-04-02	11:30	11:45	10	1033	8,2	49,0	0,047	0,62	49,4	0,048	0,70
06-04-02	13:15	13:30	18	1001	8,9	48,0	0,048	0,61	48,4	0,048	0,69
08-04-02	11:35	11:50	8	977	5,7	51,8	0,053	0,59	52,2	0,053	0,67
08-04-02	12:20	12:35	5	984	6,3	51,2	0,052	0,60	51,6	0,052	0,68
09-04-02	11:30	11:45	9	936	8,5	48,8	0,052	0,59	49,1	0,052	0,68
09-04-02	12:30	12:45	7	920	9,3	47,8	0,052	0,58	48,2	0,052	0,66
10-04-02	11:30	12:45	3	951	11,6	15,4	0,016	0,70	15,7	0,016	0,77
08-05-02	11:30	12:45	5	966	17,6	0,8	0,001	0,75	1,2	0,001	0,82
10-05-02	11:50	12:20	3	995	18,9	0,0	-0,000	0,75	0,4	0,000	0,82
11-05-02	11:40	12:30	4	967	20,6	-1,5	-0,002	0,75	-1,1	-0,001	0,82

Tabel 8.2 Måledata til bestemmelse af effektiviteterne.

Figur 8.4 viser målepunkterne der er benyttet til bestemmelse af effektivitetsudtrykkene for henholdsvis HT solfangeren og den nye HT solfanger sammen med effektivitetskurverne fundet ved regression på basis af målepunkterne.

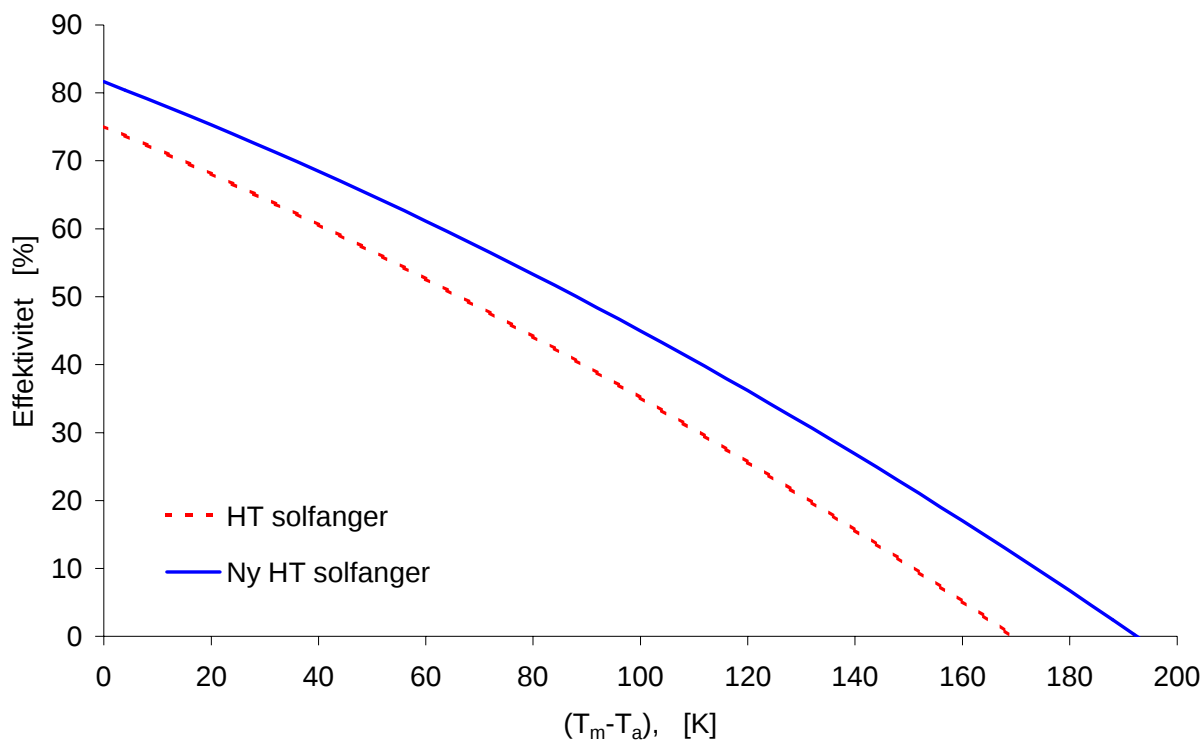


Figur 8.4 Målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurverne samt de fundne effektivitetskurver for små indfaldsvinkler.

Følgende regressionsudtryk for effektiviteten for små indfaldsvinkler for henholdsvis HT solfangeren og den nye HT solfanger er fundet udfra målingerne:

- HT solfanger: $\eta = 0,75 - 2,69 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0050 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$
- Ny HT solfanger: $\eta = 0,82 - 2,44 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0050 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$

Figur 8.5 viser effektiviteterne for de to solfangere som funktion af temperaturdifferensen $T_m - T_a$ ved en bestrålingsstyrke på 800 W/m^2 .



Figur 8.5 Solfangereffektiviteter som funktion af differensen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og omgivelsestemperaturen for små indfaldsvinkler ved en bestrålingsstyrke på 800 W/m^2 .

8.3 Indfaldsvinkelkorrektion

Solfangeres ydelse er afhængig af solstrålingens indfaldsvinkel på solfangeren. Solfangerydelsen er størst ved solstråling vinkelret på solfangeren og aftager med stigende indfaldsvinkler. I solfangerligningen indgår korrektionsfaktoren for indfaldsvinklen, K_θ . Indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren, K_θ , bestemmes ud fra den målte effektivitet ved en given indfaldsvinkel i forhold til effektiviteten målt ved indfaldsvinkelen 0° .

For at bestemme solfangernes indfaldsvinkelkorrektionsfaktor er solfangerne testet ved indfaldsvinkler fra 0° til 45° . På grund af skygger på solfangerne om morgenen har det ikke været muligt at foretage målinger ved indfaldsvinkler større end 45° . Målingerne er foretaget således, at der ved hver indfaldsvinkel indgår målinger fra både formiddag og eftermiddag til bestemmelse af effektiviteten.

Solfangervæskens indløbstemperatur til solfangeren var indstillet så tæt på omgivelsestemperaturen som muligt.

Solfangervæskens volumenstrøm var ca. 25 l/min.

Solfangeres indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer er ofte tilnærmet ved tangensudtrykket :

$$K_\theta = 1 - \tan^a(\theta/2)$$

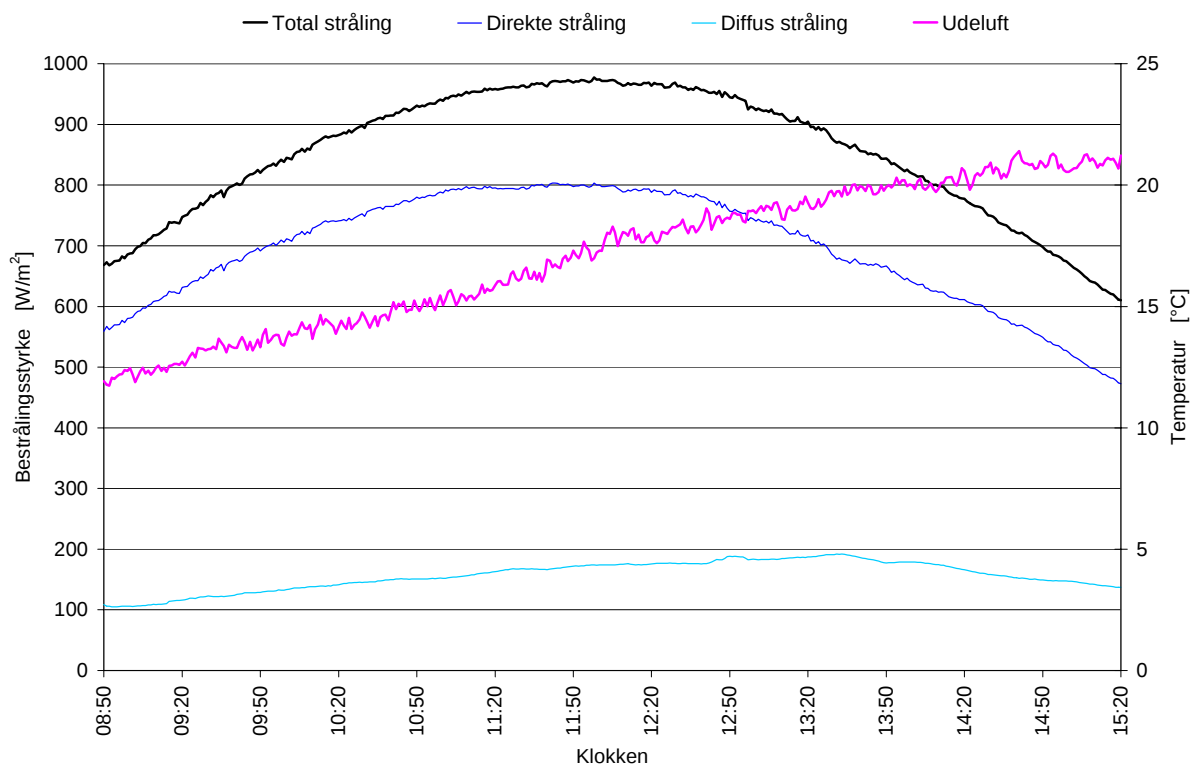
hvor

θ	Indfaldsvinklen	$[\circ]$
a	Koefficient	$[-]$

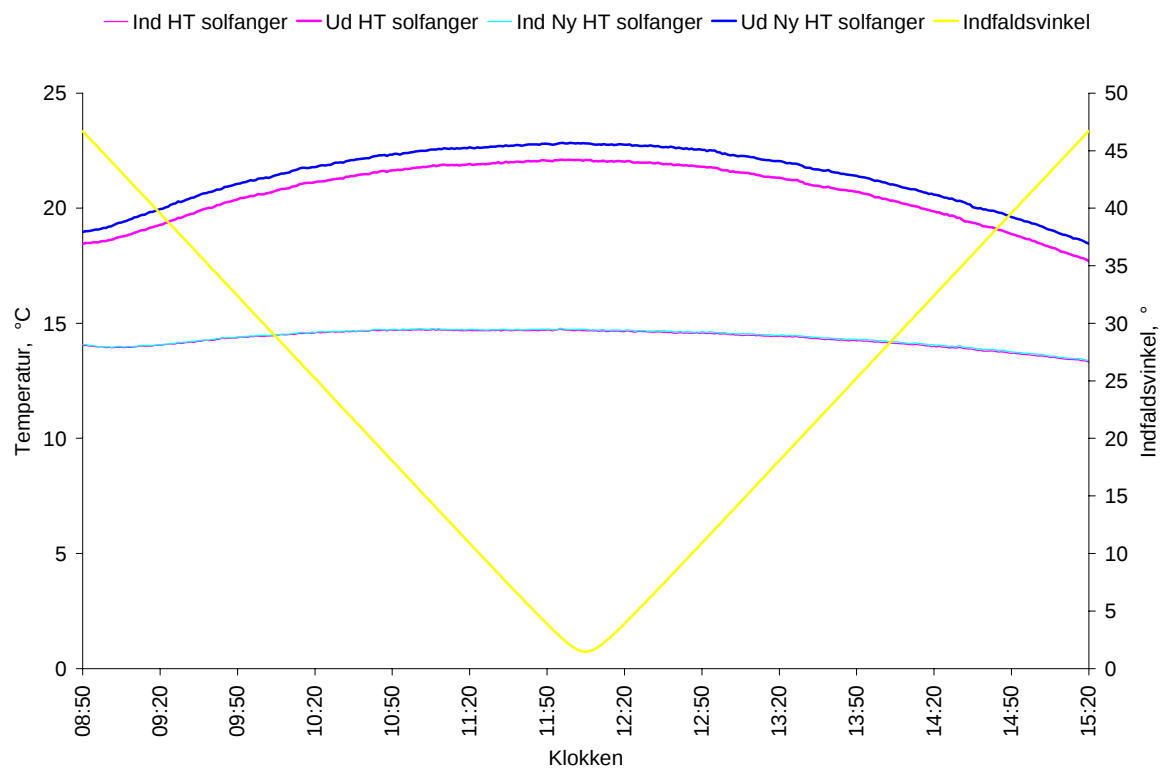
Målingerne til bestemmelse af korrektionen for indfaldsvinkel er foretaget den 8. maj 2002 fra kl. 8:50 til kl. 15:20 vintertid.

Figur 8.6 viser de målte bestrålingsstyrker (total, direkte og diffus) og udelufttemperaturen.

Figur 8.7 viser de målte indløbstemperaturer til solfangerne og udløbstemperaturer fra solfangerne samt volumenstrømmen gennem solfangerne og solstrålingens indfaldsvinkel på solfangerne.

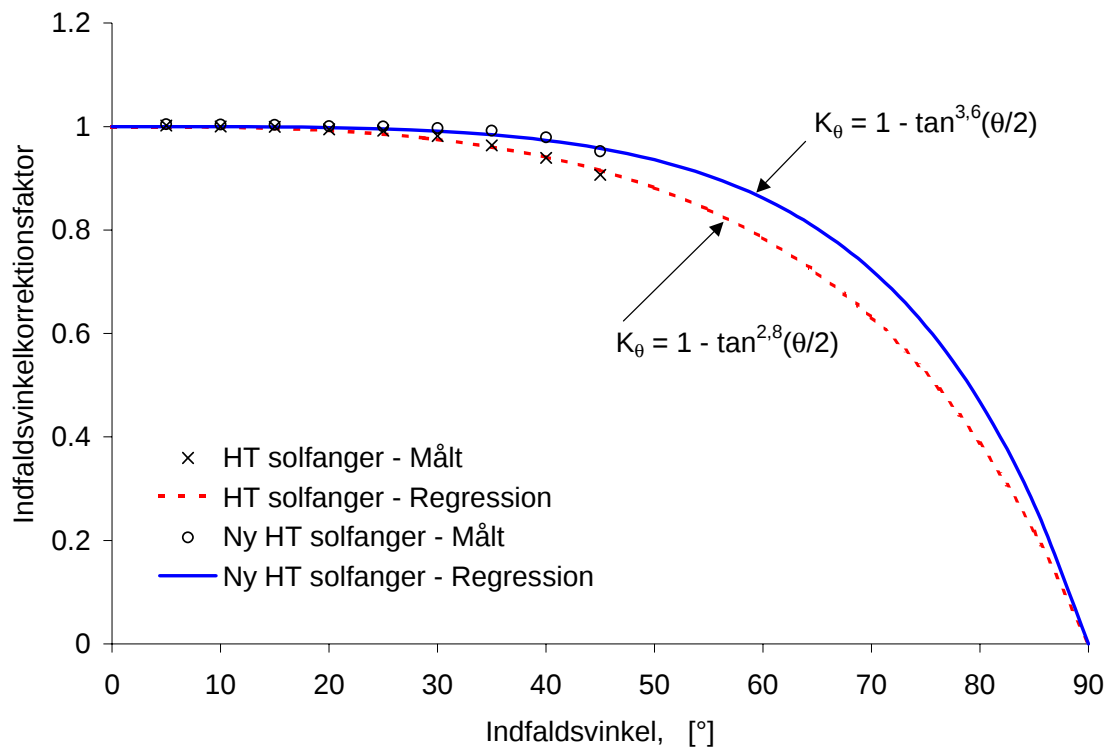


Figur 8.6 Stråling og udelufttemperatur den 8. maj 2002.



Figur 8.7 Ind- og udløbstemperaturer til/fra solfangerne samt solstrålingens indfaldsvinkel på solfangerne den 8. maj 2002.

I figur 8.8 er de målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer ved forskellige indfaldsvinkler vist sammen med de tilnærmede tangensudtryk.



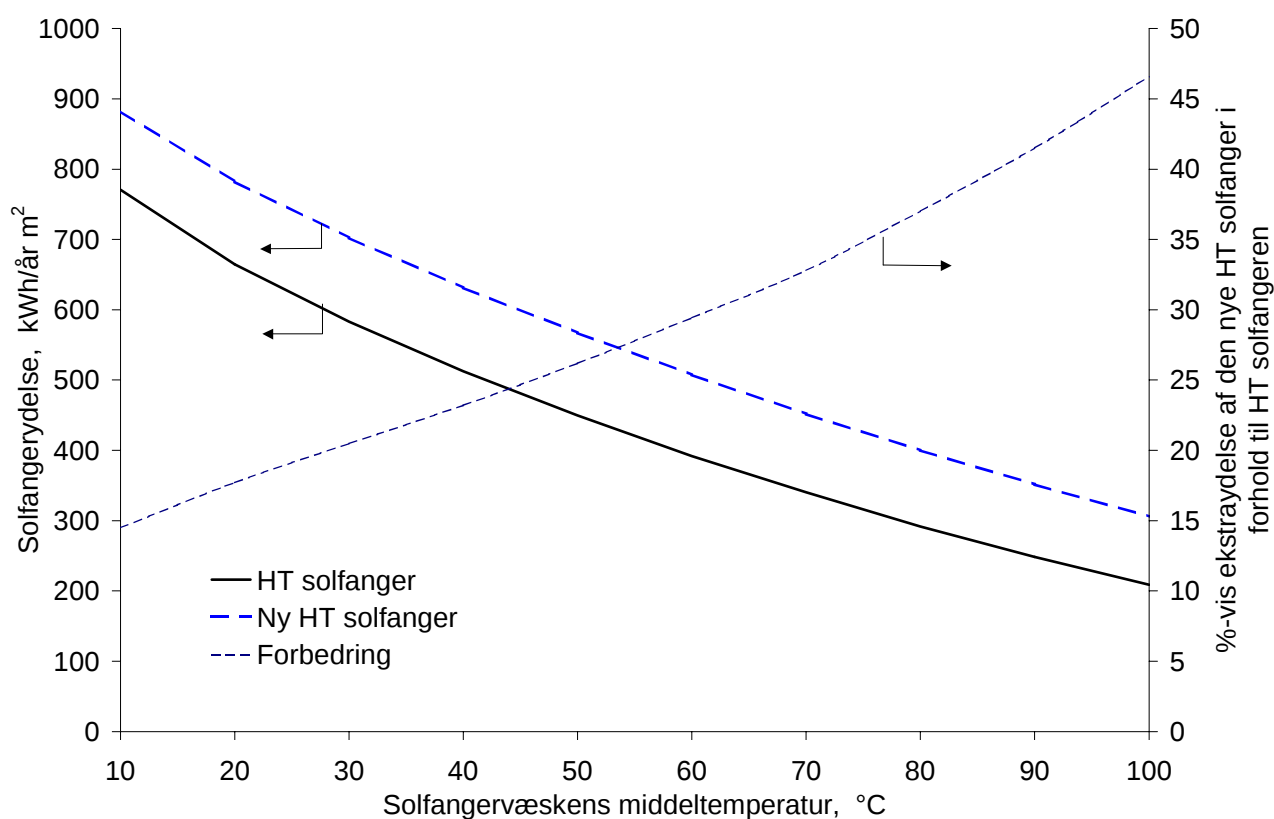
Figur 8.8 Målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer samt de tilnærmede tangensudtryk.

Koefficienten a er fundet til henholdsvis 2,8 for HT solfangeren og til 3,6 for den nye HT solfanger.

8.4 Årsydelse

Med udgangspunkt i de effektivitetsudtryk og indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer der er fundet på baggrund af målinger er årsydelse for solfangerne beregnet ved hjælp af regnearksprogrammet "Excel ark til beregning af ydelser", /2/.

Figur 8.9 viser den beregnede solfangerydelse for HT solfangeren og for den nye HT solfanger samt den %-vise forbedring af ydelsen for den nye HT solfanger i forhold til HT solfangeren.



Figur 8.9 Årsydelse som funktion af solfangervæskens middeltemperatur for HT solfangeren og den nye HT solfanger samt den procentvise forøgelse af årsydelsen for den nye HT solfanger i forhold til HT solfangeren.

Solfangere i solvarmecentraler arbejder typisk i temperaturområdet fra 40°C til 80°C. I dette temperaturinterval kan der opnås ydelsesforbedringer på ca. 23% - 37% ved at anvende den nye HT solfanger i stedet for HT solfangeren.

9 Konklusion

Der er foretaget en teoretisk undersøgelse af, hvilken betydning nogle designændringer af HT solfangeren har for solfangereffektiviteten og solfangerens årsydelse.

De teoretiske solfangereffektiviteter er bestemt ved hjælp af programmet "SolEff" og solfangernes årsydelse er fundet ved hjælp af et regnearksprogram.

Blandt andet med baggrund i de teoretiske undersøgelser er følgende design ændringer for HT solfangeren foretaget:

- Isoleringsmaterialet udskiftes fra Isover til Rockwool.
- Absorberen udskiftes fra Sunstrip med absorptans 0,95 og emittans 0,12 til den "nye Sunstrip" med absorptans 0,96 og emittans 0,07.
- Glasdæklaget er udskiftet.
- Glasdæklaget antirefleksionsbehandles.

Ud fra de teoretiske undersøgelser er følgende effektivitetsudtryk for HT solfangeren og den nye HT solfanger fundet:

- HT solfanger:
$$\eta = 0,75 - 3,00 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0065 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

- Ny HT solfanger:
$$\eta = 0,80 - 2,77 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0057 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Det vurderes, at ændringerne medfører at koefficienten i tangensudtrykket for indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren ændres fra de nuværende 3,0 til 3,6 for den nye HT solfanger.

Der er foretaget målinger på en HT solfanger og den nye HT solfanger i perioden fra den 14. marts til den 12 maj 2002.

Ud fra målingerne er der bestemt et effektivitetsudtryk og en indfaldsvinkelkorrektionsfaktor for de to solfangere.

De eksperimentelt fundne effektivitetsudtryk er:

- HT solfanger:
$$\eta = 0,75 - 2,69 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0050 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

- Ny HT solfanger:
$$\eta = 0,82 - 2,44 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0050 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Og koefficienten a er fundet til henholdsvis 2,8 for HT solfangeren og til 3,6 for den nye HT solfanger.

Baseret på de fundne effektivitetsudtryk og indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer er en forventet årsydelse for de to solfangere beregnet og merydelsen for den nye HT solfanger er bestemt.

Solfangere i solvarmecentraler arbejder typisk i temperaturområdet fra 40°C til 80°C. I dette temperaturinterval kan der opnås ydelsesforbedring er på ca. 23% - 37% ved at anvende den nye HT solfanger i stedet for HT solfangeren.

Referencer

- /1/ "SolEff Program til beregning af solfangeres effektivitet. Brugervejledning og generel programdokumentation" Per B. Rasmussen, Svend Svendsen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU, notat i kurset Solvarmeanlæg, Marts 1996.
- /2/ " Solfangerydelser i solvarmecentraler ved forskellige temperaturniveauer ", Kasper Lyng Jensen, Tryggvi Nielsen og Kenneth Rask Andersen, Fagpakkeprojekt udarbejdet ved BYG•DTU i kursus 64090 i foråret 2001.
- /3/ "Thermal performance tests for solar collectors - Part 1: Glazed liquid heating collectors". Draft International Standard, ISO/DIS 9806-1.2. International Organization for Standardization, 1992.