Levetid for solfangere i solvarmecentraler



Institut for Byggeri og Anlæg

Rapport 2009

Ziqian Chen, Jianhua Fan, Bengt Perers og Simon Furbo
DTU Byg-Rapport R-210 (DK)
ISBN= 9788778772886
ISSN=1601-2917
10 2009

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

Levetid for solfangere i solvarmecentraler

Ziqian Chen, Jianhua Fan, Bengt Perers og Simon Furbo

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion 6
2. Baggrund 6
3. Bestemmelse af solfangereffektivitet for solfangere fra Ottrupgård og Marstal 7
   3.1 Solfanger fra Ottrupgård 10
   3.2 Solfanger fra Marstal 13
   3.3 Sammenfatning af måleresultater 16
4. Ydelsen af solfanger i Vattenfalls prøvestand 18
5. Ydelser af solfangere til solvarmecentraler 20
6. Inspektion af solfangerne fra Ottrupgård og Marstal 22
   6.1 Solfanger fra Ottrupgård 23
   6.2 Solfanger fra Marstal 28
7. Konklusion 35
Referencer 36

1. Introduktion

Denne rapport beskriver undersøgelser af effektivitet og levetid for solfangere til solvarmecentraler. Undersøgelserne er gennemført i EUDP08-I projektet "Levetid for solfangere i solvarmecentraler", j.nr. 63011-0032. Projektet, som er gennemført i et samarbejde mellem DTU Byg og Arcon Solvarme A/S, er støttet af Energistyrelsen.

2. Baggrund

HT solfangeren, som benyttes i solvarmecentraler, blev udviklet for ca. 25 år siden i Sverige. HT solfangeren, som i dag produceres og markedsføres af Arcon Solvarme A/S, benyttes i ca. halvdelen af alle Verdens solvarmecentraler.

HT solfangeren har gennemgået en markant teknologisk udvikling igennem de 25 år solfangeren har været på markedet, [1], [2], [3], [4] og [5]. Solfangeren, der markedsføres i dag, har derfor en ydelse som er væsentlig højere end ydelsen af de solfangere som blev markedsført i starten af dette årti. Eksempelvis er den årlige ydelse af solfangeren ved forbedringer af designet i perioden 2002-2007 forøget med 29% ved et temperaturniveau på 40°C, 39% ved et temperaturniveau på 60°C, 55% ved et temperaturniveau på 80°C og 80% ved et temperaturniveau på 100°C.

For at bestemme rentabiliteten for solvarmecentraler er det vigtigt at kende solfangerens levetid og effektiviteten igennem levetiden. For at undersøge disse forhold er der i dette projekt undersøgt solfangere fra to solvarmecentraler. Det drejer sig om en HT solfanger fra Ottrupgård solvarmecentral, som blev opført i 1994 og en HT solfanger fra Marstal solvarmecentral, som blev opført i 1996. Solvarmecentralen i Ottrupgård har været i drift med en konstant høj volumenstrøm mens solvarmecentralen i Marstal har været i drift med en variabel volumenstrøm, således at udløbstemperaturen fra solfangerrækkerne er forsøgt fastholdt på et konstant niveau omkring 80°C. Solfangerne fra de to solvarmecentraler er udvalgt således, at solfangernes driftstemperaturer har været så høje som muligt. Det vil sige at solfangerne har været placeret i slutningen af en solfangerrække. Solfangereffektiviteterne for begge solfangere er målt i en laboratorieprøvestand, og solfangerne er inspiceret omhyggeligt, blandt andet er solfangerne undersøgt for eventuel tæring i absorberrørene.

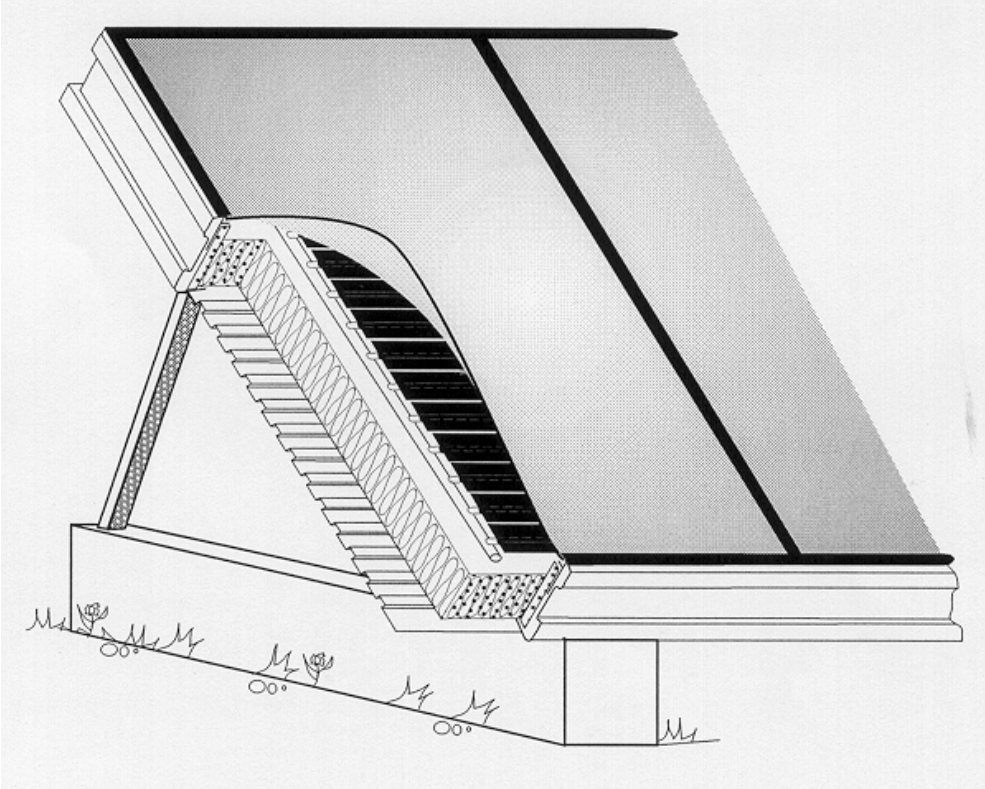
Ud over undersøgelserne af solfangerne fra de to solvarmecentraler er den første HT solfanger, som blev afprøvet ved Vattenfalls forskningsinstitution i Älvkarleby, Sverige i 1983, og som siden har været i drift i prøvestanden, undersøgt med hensyn til ydelse.

Solfangertypen, som blev installeret i 1994 i solvarmecentralen i Ottrupgård og i 1996 i solvarmecentralen i Marstal, blev afprøvet ved Laboratoriet for Varmeisolering, DTH i 1991 [6]. Figur 1 viser et snit af solfangeren. Solfangerens areal er 12,56 m² og det transparente lag består af 4 mm hærdet jernfrit glas med struktureret bagside og et lag 0,025 mm teflonfolie. Solfangerens absorber består af 16 parallelle Sunstrips mellem to manifoldrør. Bagsiden af absorberen er isoleret med 75 mm mineraluld eller glasuld.

Solfangeren blev afprøvet med en hældning på 40°, med vand som solfangervæske og med en volumenstrøm på 7,2 l/min. Vindhastigheden under afprøvningen var ca. 1 m/s. Solfangerens effektivitet ved små indfaldsvinkler blev bestemt til:

$$\eta = 0{,}76 - 3{,}5 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0{,}002 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren for solfangeren blev ikke bestemt ved afprøvningen i 1991.



Figur 1. Snit af HT solfanger med teflonfolie.

3. Bestemmelse af solfangereffektivitet for solfangere fra Ottrupgård og Marstal

I december 2008 blev en solfanger i solvarmecentralen i Ottrupgård og en solfanger i solvarmecentralen i Marstal erstattet med nye solfangere fra Arcon Solvarme A/S. Solfangerne, som har været i drift i solvarmecentralerne ved høje temperaturer, blev transporteret til DTU Byg, hvor de blev opstillet i en prøvestand for solfangere.

Figur 2 og 3 viser solfangeren fra Marstal mens den endnu var i drift i solvarmecentralen og under nedtagningen. Figur 4, 5 og 6 viser solfangerne opstillet på stativer på jorden i DTU Bygs prøvestand for solfangere. Det bemærkes at en del af teflonfolien i venstre del af solfangeren fra Ottrupgård er beskadiget.



Figur 2. Solfanger i Marstal solvarmecentral før udskiftning.



Figur 3. Solfanger fra Marstal nedtages.



Figur 4. Solfangerne i DTU Bygs prøvestand for solfangere. Til højre solfangeren fra Marstal, til venstre solfangeren fra Ottrupgård.



Figur 5. Solfangeren fra Ottrupgård i DTU Bygs prøvestand.

For at få et godt sammenligningsgrundlag for effektiviteterne af de to solfangere blev de i foråret 2009 afprøvet under de samme betingelser som under afprøvningen i 1991. Det vil sige at solfangerne blev afprøvet med en hældning på 40°, med vand som solfangervæske og med en volumenstrøm på ca. 7,2 l/min. Vindhastigheden under afprøvningen er ca. 1 m/s.

Solfangerne er koblet til DTU Bygs prøvestand for solfangere, så der kan opnås en konstant og ens indløbstemperatur for solfangervæsken til de to solfangere samt et konstant og lige stort flow igennem solfangerne.



Figur 6. Solfangeren fra Marstal i DTU Bygs prøvestand.

Den totale og den diffuse solstråling måles af to pyranometre, Kipp og Zonen type CM11, monteret på den ene solfanger. Pyranometrene har samme orientering og hældning som solfangerne.

Udelufttemperaturen samt solfangervæskens ind- og udløbstemperatur til/fra solfangerne måles med kobber/konstantan termoelementtråd, type TT. Temperaturforskellene over solfangerne måles med termosøjler.

Vindhastigheden langs solfangernes overflader måles med en vindmåler. Flowene igennem solfangerne måles med volumenstrømmålere med pulsudgang. Målingerne opsamles ved hjælp af en datalogger hvert minut.

Solfangereffektiviteter og indfaldsvinkelkorrektonsfaktorer for solfangerne blev målt i foråret 2009 ved hjælp af prøvemetoderne beskrevet i [7].

3.1 Solfanger fra Ottrupgård

De målte effektiviteter for solfangeren fra Ottrupgård under stabile driftsbetingelser i 15 minutter måleperioder fremgår af tabel 1. Figur 7 viser målepunkterne samt solfangerens effektivitetskurve for små indfaldsvinkler bestemt ved regressionsanalyse ud fra målepunkterne. Effektivitetskurven er vist for en solbestrålingsstyrke på 986 W/m² svarende til en typisk solbestrålingsstyrke for målepunkterne. Det ses at der er en god overensstemmelse mellem de målte effektiviteter og effektiviteten bestemt ved hjælp af effektivitetsudtrykket.
Effektiviteten for små indfaldsvinkler er bestemt til:

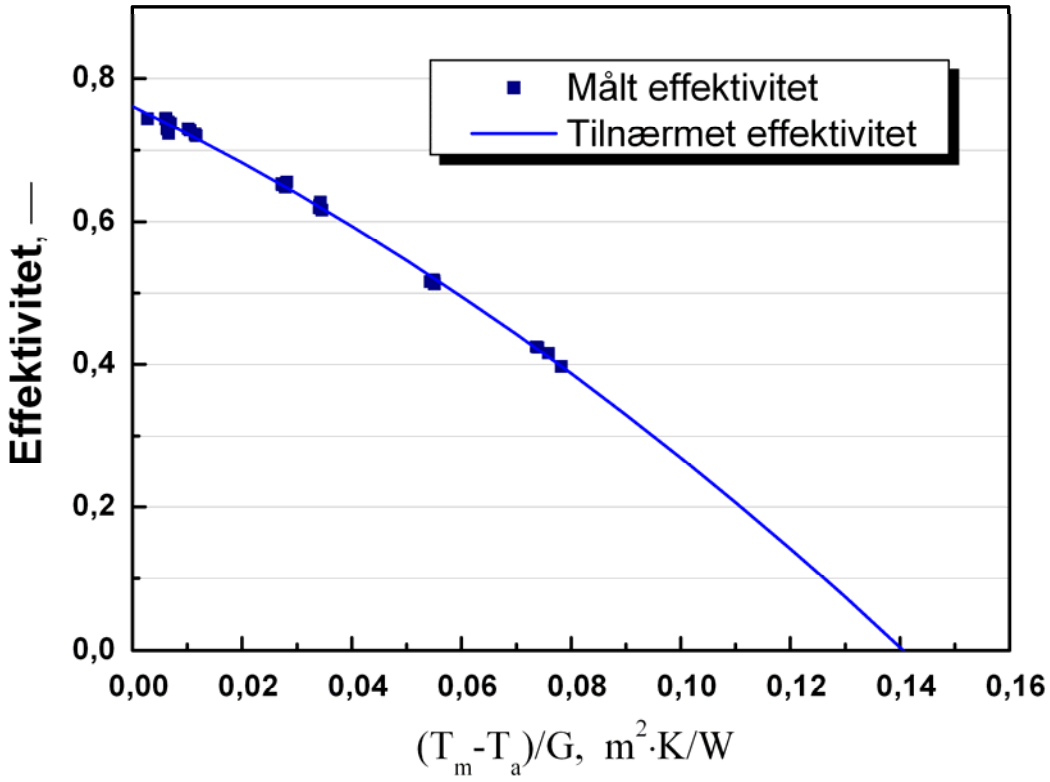
$$\eta = 0{,}76 - 3{,}72 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0{,}0122 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Dato	Start tid	Slut tid	θ	G	T_a	Vind	Flow	T_{ind}	T_{ud}-T_{ind}	T_m	$(T_m-T_a)/G$	η
d-m-år	kl.	kl.	°	W/m^2	°C	m/s	l/min	°C	K	°C	Km^2/W	-
02-04-09	12:12	12:37	11,5	993	11,9	1,3	7,3	82,1	10,44	87,3	0,076	0,42
03-04-09	12:04	12:29	10,9	976	15,9	1,0	7,2	82,5	10,69	87,9	0,074	0,42
03-04-09	13:03	13:18	16,7	967	15,4	1,9	7,2	81,6	10,52	86,8	0,074	0,42
21-04-09	13:00	13:15	13,7	982	12,4	2,1	7,1	84,6	10,04	89,7	0,078	0,40
04-04-09	11:46	12:01	12,2	936	16,3	0,6	7,4	14,2	16,41	22,4	0,007	0,72
04-04-09	12:01	12:16	10,8	935	16,4	0,8	7,4	14,1	16,60	22,5	0,007	0,73
04-04-09	12:16	12:31	10,5	938	16,4	0,3	7,4	14,1	16,69	22,4	0,006	0,73
04-04-09	12:57	13:12	15,4	911	16,8	1,5	7,4	11,1	16,51	19,4	0,003	0,74
10-04-09	11:54	12:09	9,0	1006	14,4	2,1	7,4	41,4	15,14	49,0	0,035	0,62
10-04-09	12:09	12:24	8,2	1009	14,4	2,4	7,4	41,4	15,31	49,1	0,034	0,62
10-04-09	12:39	12:54	11,0	1003	14,7	0,9	7,4	41,4	15,35	49,1	0,034	0,62
10-04-09	12:54	13:09	13,7	990	14,3	3,4	7,4	41,2	15,16	48,8	0,034	0,63
11-04-09	11:53	12:08	8,8	984	14,7	2,4	7,3	62,4	12,81	68,8	0,055	0,51
11-04-09	12:12	12:27	7,9	993	15,7	1,9	7,3	62,4	12,83	68,8	0,054	0,52
11-04-09	12:42	12:57	11,2	979	14,9	2,0	7,3	62,2	12,66	68,6	0,055	0,52
11-04-09	12:57	13:12	14,1	968	15,0	1,9	7,3	62,1	12,55	68,4	0,055	0,52
12-04-09	11:31	11:46	11,9	964	13,6	1,5	7,3	32,3	15,44	40,0	0,028	0,65
12-04-09	11:48	12:03	9,0	969	13,6	0,2	7,4	32,5	15,54	40,2	0,027	0,65
12-04-09	12:03	12:18	7,6	960	13,5	0,7	7,4	32,5	15,69	40,4	0,027	0,65
12-04-09	13:19	13:34	18,7	914	14,8	0,9	7,4	33,0	14,69	40,3	0,028	0,66
17-04-09	11:48	12:03	7,4	1021	12,6	0,5	7,5	15,9	17,63	24,8	0,012	0,72
17-04-09	12:03	12:18	5,8	1026	13,1	0,1	7,5	15,9	17,76	24,8	0,011	0,72
17-04-09	12:33	12:48	8,4	1023	14,1	0,5	7,5	15,9	17,80	24,8	0,011	0,73
17-04-09	12:48	13:03	11,4	1013	15,1	0,3	7,5	15,8	17,69	24,7	0,010	0,73
18-04-09	11:47	12:02	7,3	1010	15,5	0,7	7,3	12,9	18,42	22,2	0,007	0,74
18-04-09	12:02	12:17	5,5	1014	15,3	0,1	7,3	12,9	18,60	22,2	0,007	0,74
18-04-09	12:32	12:47	8,0	1008	15,6	0,2	7,3	12,9	18,58	22,1	0,006	0,74
18-04-09	12:47	13:02	11,0	998	15,8	0,1	7,3	12,9	18,40	22,1	0,006	0,74

Tabel 1. Målinger til bestemmelse af effektiviteten for solfangeren fra Ottrupgård.

Solfangerens effektivitet blev desuden målt for solfangervæsketemperaturer tæt på udelufttemperaturen i perioder med forskellige indfaldsvinkler i intervallet 0°-65°.

Afprøvningerne er foretaget så der ved hver indfaldsvinkel indgår målinger fra både formiddag og eftermiddag til bestemmelse af effektiviteten. På denne måde bestemmes indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren for forskellige indfaldsvinkler.



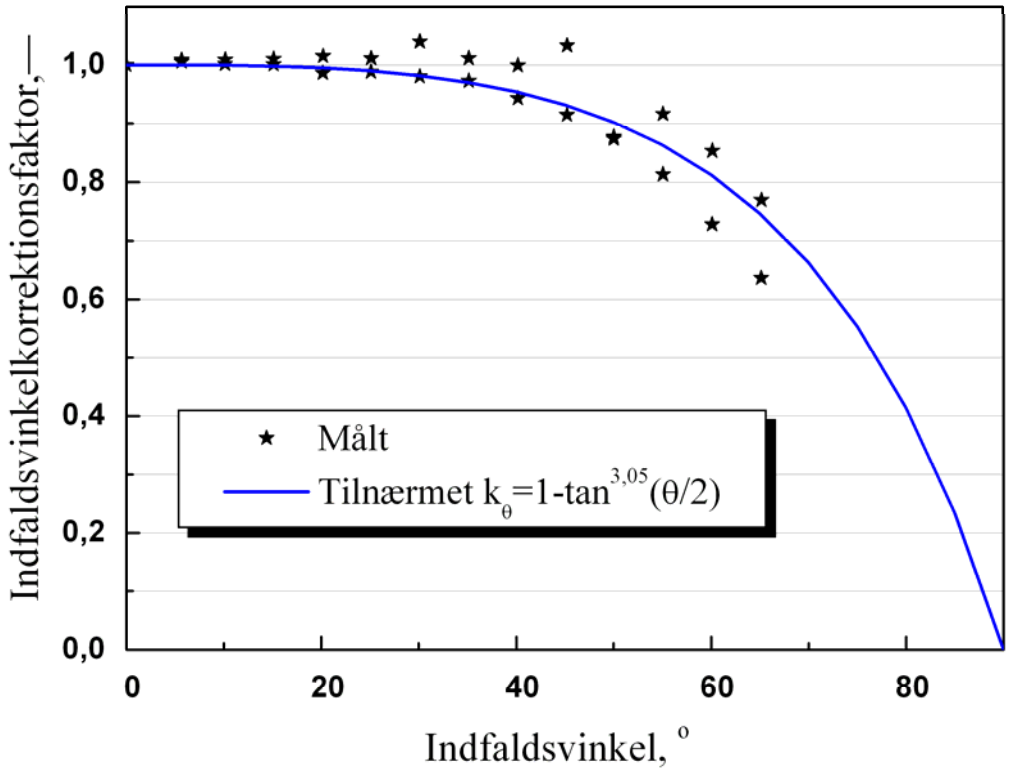
Figur 7. Målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurven samt den fundne effektivitetskurve for solfangeren fra Ottrupgård.

Figur 8 viser målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer samt det tilnærmede tangensudtryk, som blev bestemt til: $K_\theta = 1 - \tan^{3,1}(\theta/2)$

Solfangerens effektivitet er altså bestemt til:

$$\eta = K_\theta * 0{,}76 - 3{,}72 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0{,}0122 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$, hvor

$K_\theta = 1 - \tan^{3,1}(\theta/2)$



Figur 8. Målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer og det tilnærmede tangensudtryk for solfangeren fra Ottrupgård.

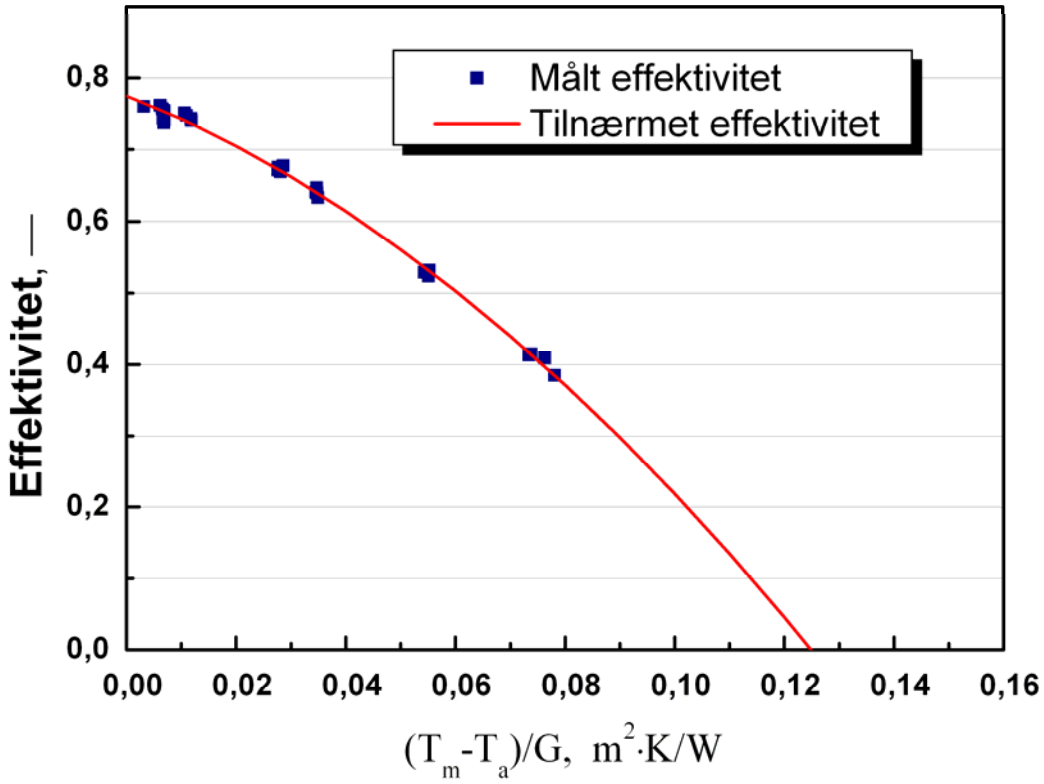
3.2 Solfanger fra Marstal

De målte effektiviteter for solfangeren fra Marstal under stabile driftsbetingelser i 15 minutter måleperioder fremgår af tabel 2. Figur 9 viser målepunkterne samt solfangerens effektivitetskurve for små indfaldsvinkler bestemt ved regressionsanalyse ud fra målepunkterne. Effektivitetskurven er vist for en solbestrålingsstyrke på 985 W/m² svarende til en typisk solbestrålingsstyrke for målepunkterne. Det ses at der er en god overensstemmelse mellem de målte effektiviteter og effektiviteten bestemt ved hjælp af effektivitetsudtrykket.
Effektiviteten for små indfaldsvinkler er bestemt til:

$$\eta = 0{,}78 - 3{,}00 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0{,}0261 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Dato	Start tid	Slut tid	θ	G	T_a	Vind	Flow	T_{ind}	T_{ud}-T_{ind}	T_m	$(T_m-T_a)/G$	η
d-m-år	kl.	kl.	°	W/m^2	°C	m/s	l/min	°C	K	°C	Km^2/W	-
02-04-09	12:11	12:36	11,5	996	11,9	1,3	7,1	82,3	10,56	87,6	0,076	0,41
03-04-09	12:04	12:29	10,9	976	15,9	1,0	7,2	82,4	10,38	87,6	0,073	0,41
03-04-09	13:02	13:17	16,5	965	15,7	1,7	7,2	81,6	10,21	86,7	0,074	0,41
21-04-09	13:03	13:18	14,4	982	12,8	1,5	7,3	84,7	9,59	89,5	0,078	0,38
04-04-09	11:46	12:01	12,2	936	16,3	0,6	7,3	14,1	17,04	22,6	0,007	0,74
04-04-09	12:01	12:16	10,8	935	16,4	0,8	7,3	14,1	17,19	22,7	0,007	0,74
04-04-09	12:16	12:31	10,5	938	16,4	0,3	7,3	14,1	17,27	22,8	0,007	0,74
04-04-09	12:56	13:11	15,2	911	16,8	1,0	7,3	11,2	17,16	19,8	0,003	0,76
10-04-09	11:54	12:09	9,0	1006	14,4	2,1	7,2	41,3	16,09	49,3	0,035	0,63
10-04-09	12:24	12:39	9,0	1008	14,8	1,8	7,2	41,3	16,28	49,4	0,035	0,64
10-04-09	12:39	12:54	11,0	1003	14,7	0,9	7,2	41,3	16,34	49,5	0,035	0,64
10-04-09	12:54	13:09	13,7	990	14,3	3,4	7,2	41,1	16,18	49,2	0,035	0,65
11-04-09	11:53	12:08	8,8	984	14,7	2,4	7,2	62,3	13,22	68,9	0,055	0,52
11-04-09	12:23	12:38	8,6	990	15,0	2,4	7,2	62,4	13,46	69,1	0,054	0,53
11-04-09	12:38	12:53	10,6	979	14,7	3,0	7,1	62,2	13,32	68,9	0,055	0,53
11-04-09	12:53	13:08	13,3	973	14,8	2,7	7,2	62,1	13,24	68,7	0,055	0,53
12-04-09	11:31	11:46	11,9	964	13,6	1,5	7,2	32,1	16,32	40,2	0,028	0,67
12-04-09	11:49	12:04	8,9	976	13,7	0,9	7,2	32,3	16,48	40,5	0,028	0,67
12-04-09	12:04	12:19	7,6	962	13,6	0,7	7,2	32,4	16,53	40,7	0,028	0,68
12-04-09	13:19	13:34	18,7	914	14,8	0,9	7,2	32,9	15,61	40,7	0,029	0,68
17-04-09	11:48	12:03	7,4	1021	12,6	0,5	7,3	15,7	18,76	25,0	0,012	0,74
17-04-09	12:03	12:18	5,8	1026	13,1	0,1	7,3	15,7	18,91	25,1	0,012	0,74
17-04-09	12:33	12:48	8,4	1023	14,1	0,5	7,3	15,7	18,94	25,2	0,011	0,75
17-04-09	12:48	13:03	11,4	1013	15,1	0,3	7,3	15,7	18,84	25,1	0,011	0,75
18-04-09	11:47	12:02	7,3	1010	15,5	0,7	7,3	12,6	18,90	22,1	0,007	0,75
18-04-09	12:02	12:17	5,5	1014	15,3	0,1	7,3	12,7	19,09	22,2	0,007	0,76
18-04-09	12:32	12:47	8,0	1008	15,6	0,2	7,3	12,7	19,08	22,2	0,006	0,76
18-04-09	12:47	13:02	11,0	998	15,8	0,1	7,3	12,7	18,89	22,2	0,006	0,76

Tabel 2. Målinger til bestemmelse af effektiviteten for solfangeren fra Marstal.



Figur 9. Målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurven samt den fundne effektivitetskurve for solfangeren fra Marstal.

Solfangerens effektivitet blev desuden målt for solfangervæsketemperaturer tæt på udelufttemperaturen i perioder med forskellige indfaldsvinkler i intervallet 0°-65°.

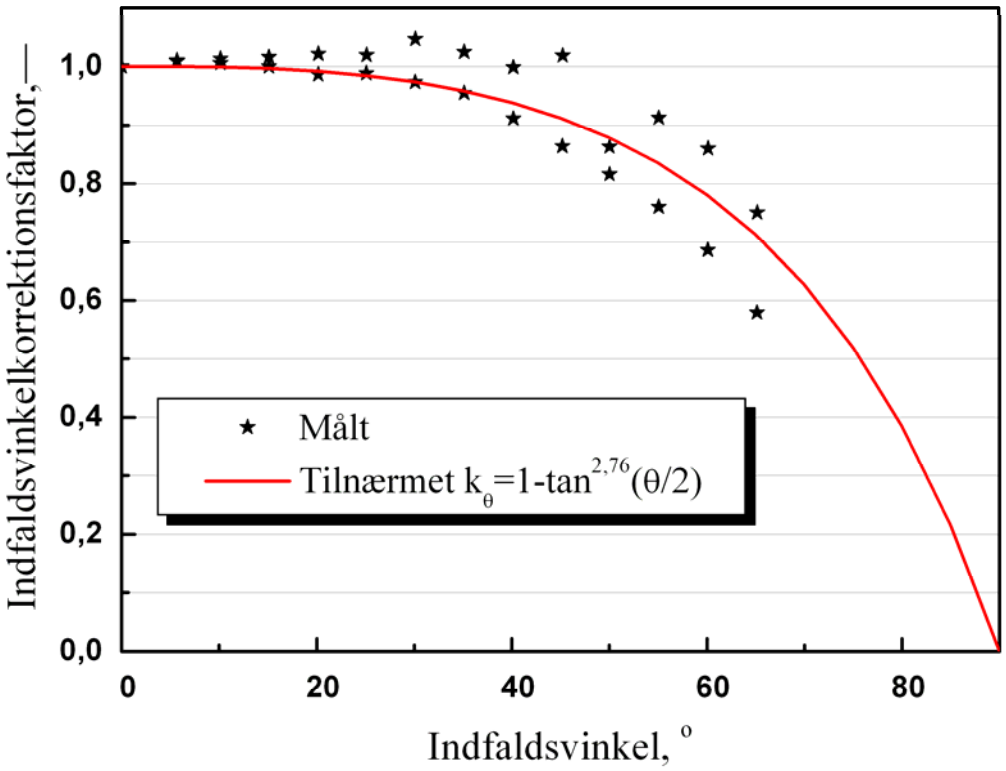
Afprøvningerne er foretaget så der ved hver indfaldsvinkel indgår målinger fra både formiddag og eftermiddag til bestemmelse af effektiviteten. På denne måde bestemmes indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren for forskellige indfaldsvinkler.

Figur 10 viser målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer samt det tilnærmede tangensudtryk, som blev bestemt til: $K_\theta = 1 - \tan^{2,8}(\theta/2)$

Solfangerens effektivitet er altså bestemt til:

$$\eta = K_\theta * 0{,}78 - 3{,}00 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0{,}0261 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$, hvor

$K_\theta = 1 - \tan^{2,8}(\theta/2)$.

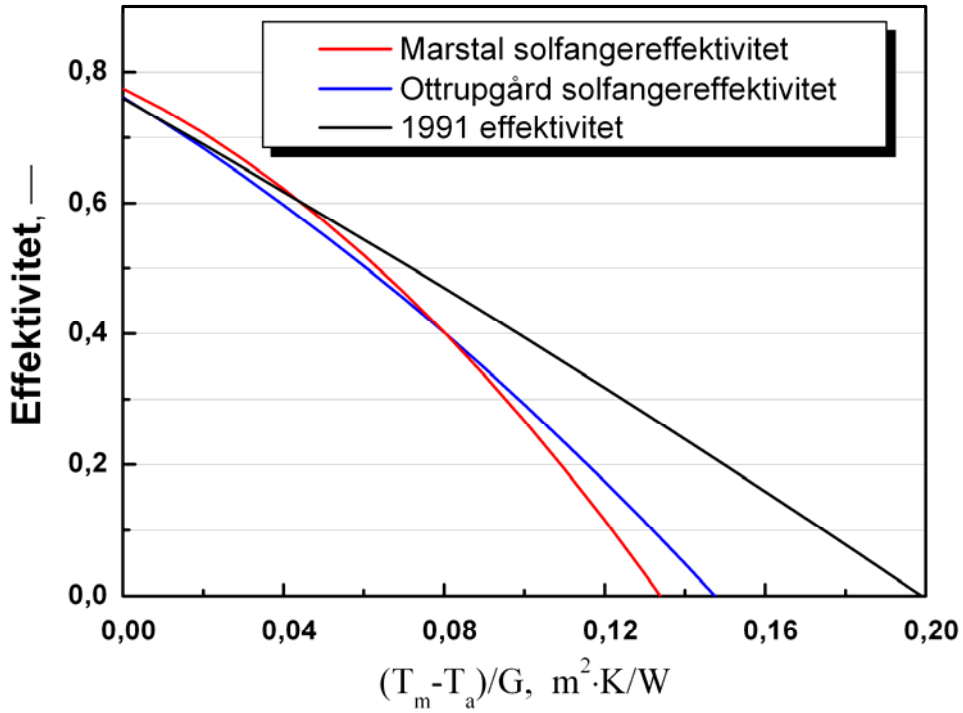


Figur 10. Målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer og det tilnærmede tangensudtryk for solfangeren fra Marstal.

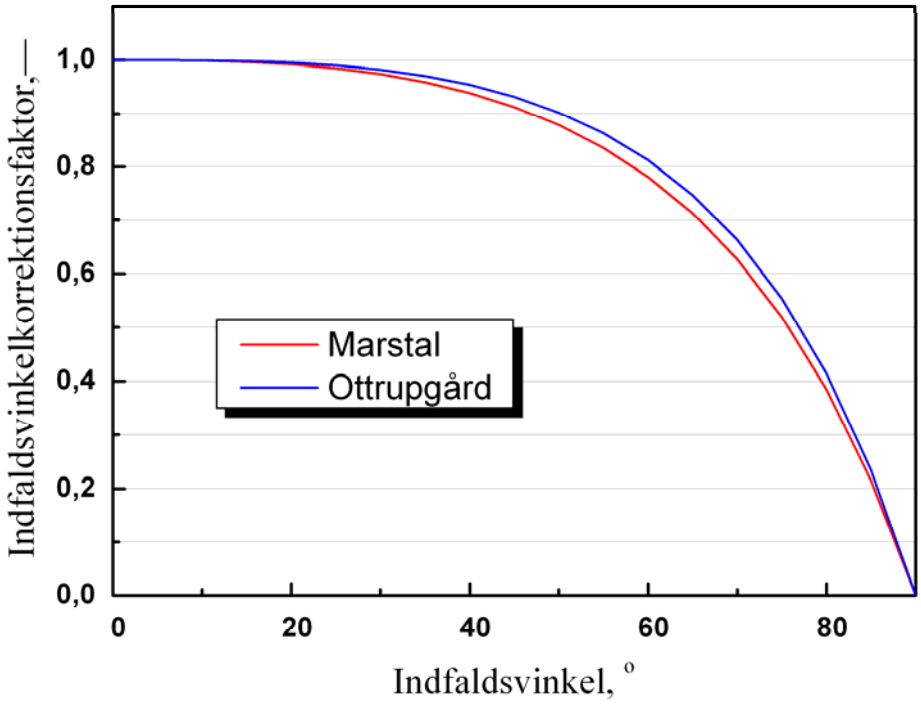
3.3 Sammenfatning af måleresultater

Solfangereffektiviteten for små indfaldsvinkler for solfangertypen, som blev målt i 1991 samt for solfangerne fra Ottrupgård og Marstal er vist i figur 11. Det ses at maksimaleffektiviteterne for de tre solfangere er næsten ens, målenøjagtigheden taget i betragtning. Endvidere ses det at både Ottrupgård og Marstal solfangerne har væsentlig højere varmetabskoefficienter end solfangeren afprøvet i 1991. Det vurderes at hovedårsagen til den forøgede varmetabskoefficient er teflonfoliens tilstand og opspænding. Specielt spiller den beskadigede teflonfolie for Ottrupgård solfangeren en rolle, mens ekspansionen af teflonfolien i begge solfangere har resulteret i at afstanden mellem absorber og teflonfolie i store dele af solfangeren er reduceret så meget at varmetabet fra absorberen ud gennem toppen af solfangeren er forøget væsentligt. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 6. Varmetabskoefficienten for Marstal solfangeren er noget højere end varmetabskoefficienten for Ottrupgård solfangeren. Det vurderes at forklaringen er at afstanden mellem teflonfolien og absorberen er noget mindre i Marstal solfangeren end i Ottrupgård solfangeren.

Figur 12 viser indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer for solfangerne fra Ottrupgård og Marstal. Som nævnt blev indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren ikke bestemt for solfangeren, som blev



Figur 11. Solfangereffektivitet for HT solfangeren før installationen (1991) samt for Ottrupgård og Marstal solfangerne (2009) ved små indfaldsvinkler og en solbestrålingsstyrke på 800 W/m².



Figur 12. Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor for solfangerne fra Ottrupgård og Marstal.

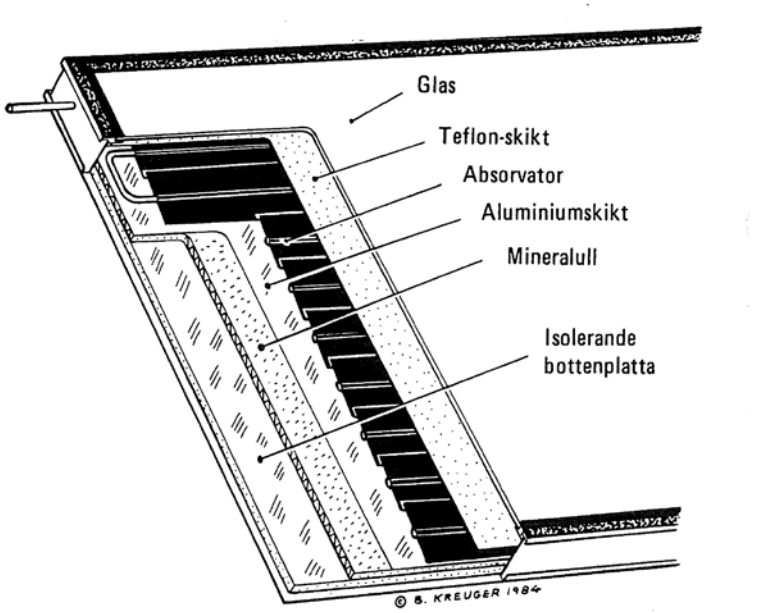
afprøvet i 1991. Indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren er noget bedre for Ottrupgård solfangeren end for Marstal solfangeren. Det vurderes, at det skyldes at teflonfolien er lidt mere rynket/foldet i Marstal solfangeren end i Ottrupgård solfangeren, og at der er hvide belægninger på indersiderne af glassene i Marstal solfangeren. Disse forhold er omtalt i afsnit 6.

4. Ydelsen af solfanger i Vattenfalls prøvestand

HT solfangeren blev udviklet i starten af 1980'erne i Sverige. I den forbindelse blev en prototype af solfangeren beregnet til Lyckebo solvarmcentral afprøvet i 1982 i Vattenfalls prøvestand for solfangere i Älvkarleby, Sverige. Denne solfanger, som har været i drift i prøvestanden siden 1982, blev testet igen i sommeren 2008. Figur 13 viser et foto af solfangeren i prøvestanden og figur 14 viser et tværsnit af solfangeren. Det bør bemærkes at solfangeren er udformet anderledes end HT solfangeren i dag: Absorberstripsene er serieforbundet i stedet for parallelforbundet som i dag og mellem absorber og glas er monteret en dobbelt teflonfilm i stedet for en enkelt teflonfolie i dag.

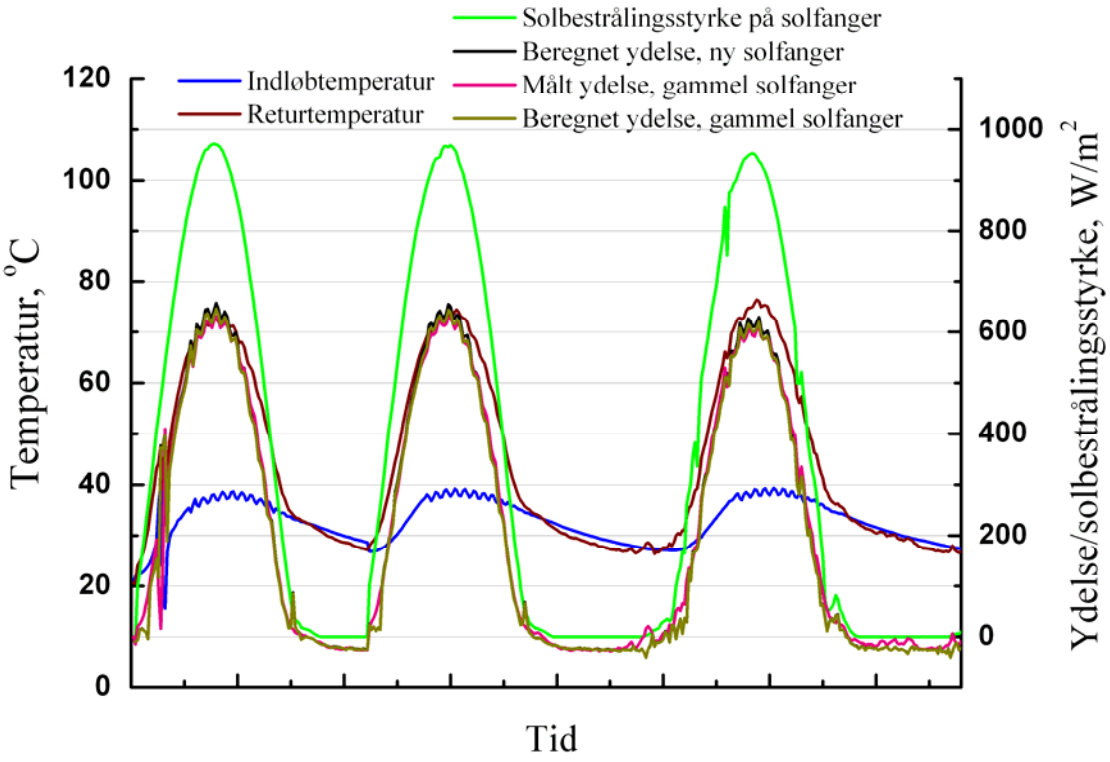


Figur 13. Lyckebo prototype solfangeren der blev retestet i 2008. (foto fra 2008).



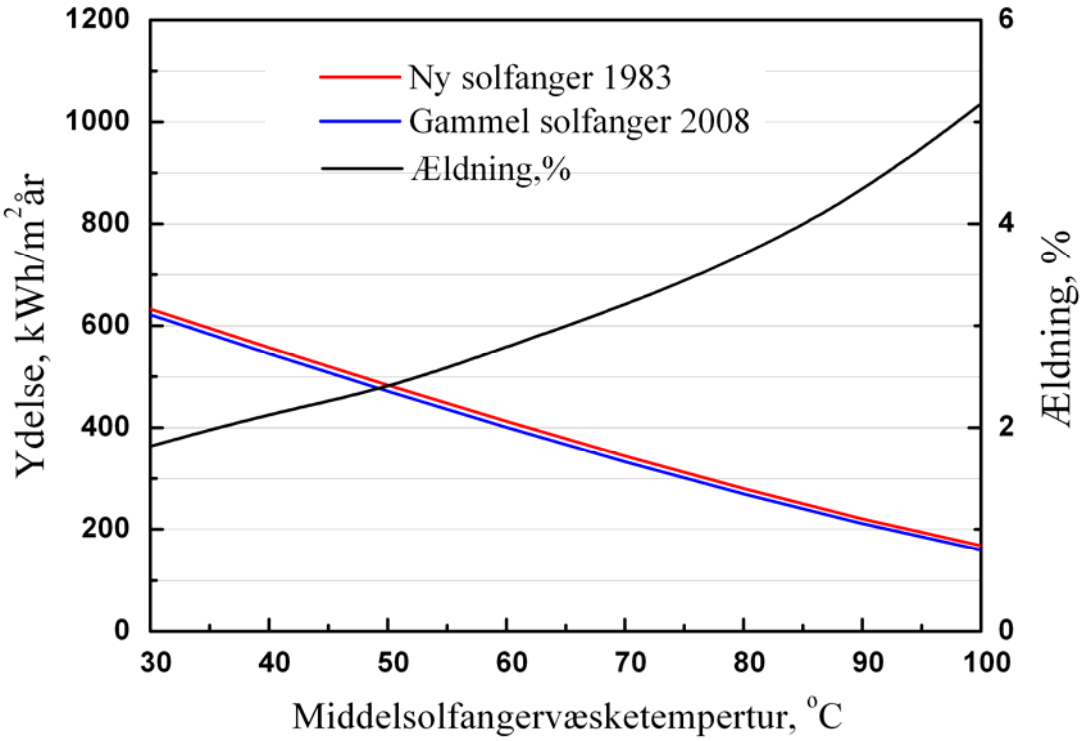
Figur 14. Lyckebo solfangeren i tværsnit. Bemærk de serieforbundne absorberstrips i denne model. I selve solfangeren var der dobbelt teflonfilm.

Figur 15 viser for en afprøvningsperiode på 3 dage målte fremløbs- og returtemperaturer for solfangeren, volumenstrømmen igennem solfangeren og solfangerydelsen. Desuden er beregnede ydelser med simuleringsmodeller for solfangeren, som den virkede i 1983 og som den virker i 2008, vist.



Figur 15. Målinger 2008, Älvkarleby Sverige, sammenlignet med modeller for ny og gammel solfanger.

Figur 16 viser beregnede årsydelser med det danske referenceårs vejrdata for solfangeren, som den virkede som ny solfanger i 1983 og som den virkede i 2008, som funktion af middelsolfangervæsketemperaturen. Desuden er ydelsesreduktionen forårsaget af ældning fra 1983 til 2008 vist som funktion af middelsolfangervæsketemperaturen. Det ses, at solfangerens ydelse er reduceret med 2-5% afhængig af solfangervæsketemperaturen.

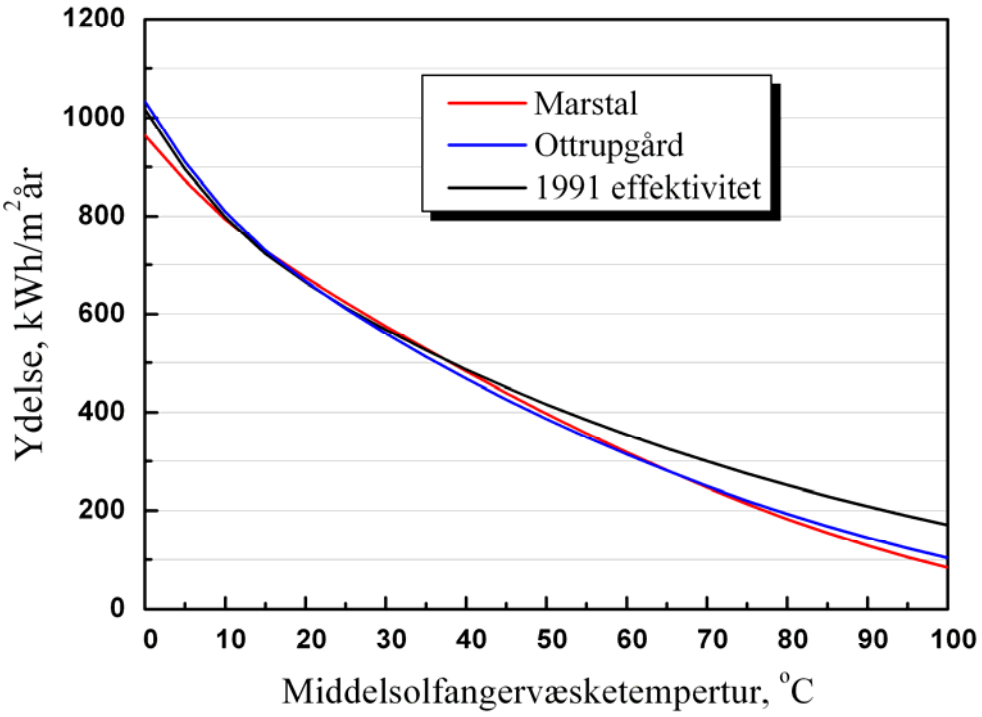


Figur 16. Årsydelsen for solfangeren i Vattenfalls prøvestand, som solfangeren virkede i 1983 og som den virkede efter 25 års drift.

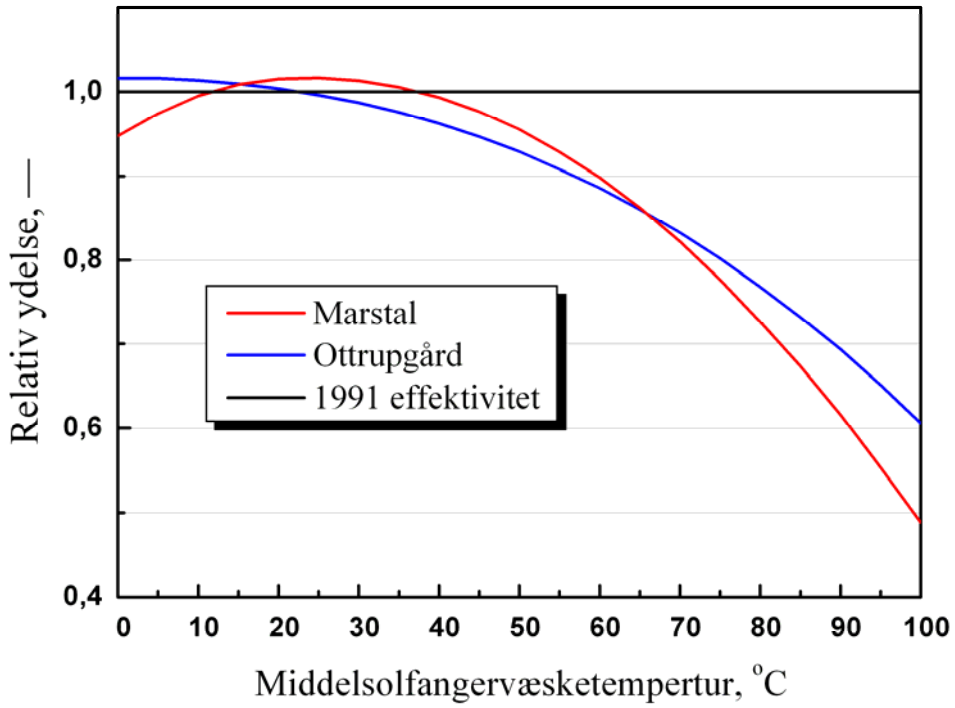
5. Ydelser af solfangere til solvarmecentraler

Som nævnt blev solfangerens indfaldsvinkelkorrektionsfaktor ikke bestemt ved afprøvningen i 1991. Det antages derfor at indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren for solfangeren, der blev afprøvet i 1991 er bestemt af $K_\theta = 1 - \tan^{2,9}(\theta/2)$, som svarer til en gennemsnitlig størrelse af indfaldsvinkelkorrektionsfaktorerne for solfangerne fra Ottrupgård og Marstal.

Ved hjælp af regnearket ”Solvarmecentraler”, [8] er den årlige ydelse med referenceårets vejrdata bestemt for solfangerne. Solfangerne antages at være vendt mod syd og have en hældning fra vandret på 40°. Figur 17 viser beregnede årlige ydelser for de tre solfangere som funktion af middelsolfangervæsketemperaturen, som er fastholdt igennem hele året. Figur 18 viser den relative årlige ydelse af solfangerne, defineret som forholdet mellem ydelsen af solfangeren og ydelsen af solfangeren testet i 1991.



Figur 17. Beregnede årsydelser for solfangeren testet i 1991, for Ottrupgård solfangeren og for Marstal solfangeren som funktion af solfangervæsketemperaturen.



Figur 18. Beregnede relative ydelser for solfangerne som funktion af solfangervæsketemperaturen.

Det ses, at årsydelsen af solfangerne fra Ottrupgård og Marstal er mindre end årsydelsen af solfangeren testet i 1991 i temperaturintervallet fra 40°C til 100°C. Ved en middelsolfangervæsketemperatur på 40°C yder Ottrupgård solfangeren 4% mindre end solfangeren fra 1991, mens Marstal solfangeren yder 1% mindre end solfangeren fra 1991. Ved en middelsolfangervæsketemperatur på 60°C yder Ottrupgård og Marstal solfangeren henholdsvis 11% og 10% mindre end solfangeren fra 1991, mens ydelsesreduktionen ved 80°C er henholdsvis 23% og 27% for Ottrupgård solfangeren og Marstal solfangeren.

For middelsolfangervæsketemperaturer lavere end 68°C yder Marstal solfangeren mere end Ottrupgård solfangeren, og for middelsolfangervæsketemperaturer højere end 68°C yder Ottrupgård solfangeren mere end Marstal solfangeren, på trods af at Ottrupgård solfangeren er ældre end Marstal solfangeren. Det vurderes at hovedforklaringen er at teflonfolien er mere rynket, foldet og slap i Marstal solfangeren end i Ottrupgård solfangeren.

6. Inspektion af solfangerne fra Ottrupgård og Marstal

Efter effektivitetsprøvningen blev solfangerne omhyggeligt inspiceret indendørs. Figur 19 viser nedtagningen af solfangeren fra Marstal.



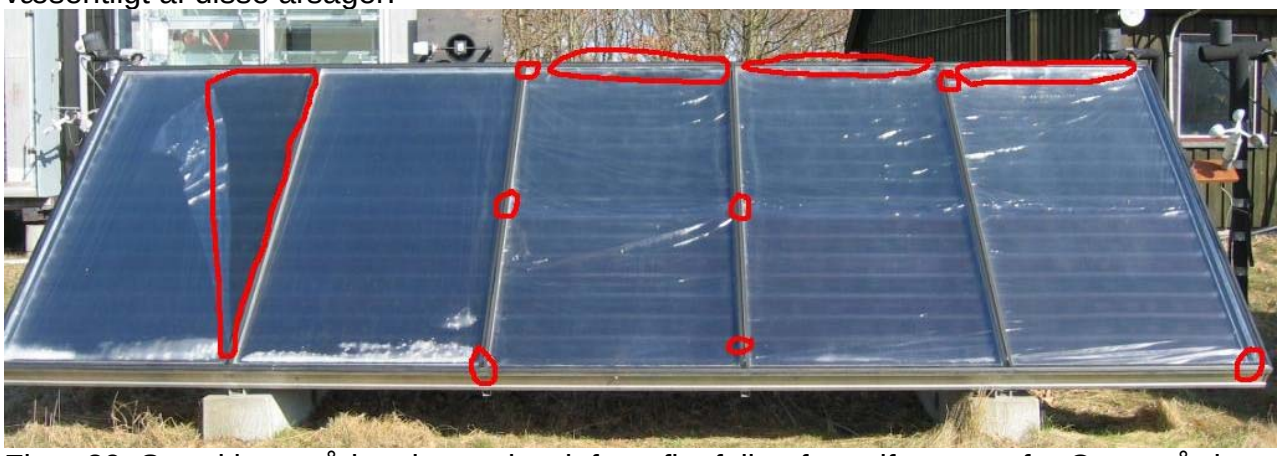
Figur 19. Nedtagning af solfangeren fra Marstal fra DTU Bygs prøvestand for solfangere.

De enkelte dele af solfangerne blev undersøgt. Undersøgelserne er beskrevet i afsnit 6.1 og 6.2.

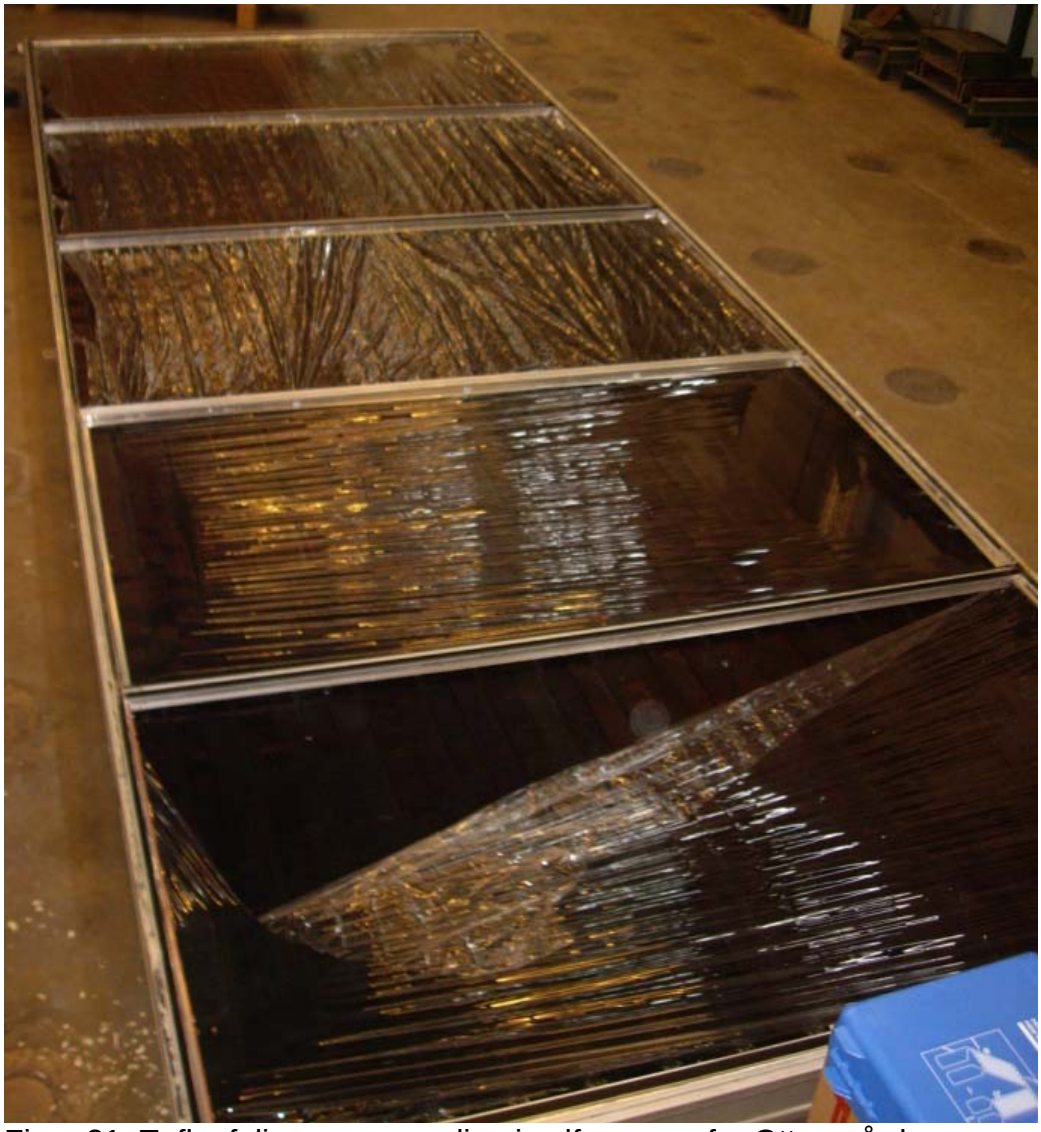
6.1 Solfanger fra Ottrupgård

Alle solfangerens glas, butylbånd og EPDM gummelister er i fin stand.

Teflonfolien er som nævnt i afsnit 3 beskadiget i venstre modul. Teflonfolien er i to moduler fastgjort lodret og i tre moduler vandret. I disse tre moduler er opspændingen så slap at teflonfolien i store områder af solfangerens areal er meget tæt på absorberen eller i direkte kontakt med absorberen. Desuden er der områder med sprækker i teflonfolien, se figur 20 og 21. Det ses desuden at teflonfolien har en masse folder/rynker. Med hensyn til solfangerens effektivitet er det særdeles kritisk både at afstanden mellem folie og absorber er så lille og at der er så mange sprækker. Varmetabskoefficienten for solfangeren forøges væsentligt af disse årsager.



Figur 20. Sprækkeområder vist med rødt for teflonfolien for solfangeren fra Ottrupgård.


Figur 21. Teflonfoliens opspænding i solfangeren fra Ottrupgård.

Absorberens absorptans og emittansblev målt i indendørs laboratorieopstillinger. Figur 22 og 23 viser fotos af forsøgsopstillingerne til bestemmelse af henholsvis absorptans og emittans.

Prøver fra solfangerens næstøverste og nederste sunstrip ved indløb og udløb for solfangeren blev udvalgt til disse målinger. Målingerne viste at absorptansen for alle 4 prøver er 0,97 og at emittanserne for de 4 prøver varierer mellem 0,14 og 0,18 med en gennemsnitlig emittans på 0,16. Sunstrip AB har oplyst at absorptans og emittans for absorberstrips i 1993 var henholdsvis 0,95-0,96 og 0,14-0,16. På den baggrund vurderes det at absorberens overflade ikke har været udsat for ældning igennem solfangerens 15 årige driftsperiode.



Figur 22. Forsøgsopstilling til bestemmelse af absorptans for absorberstrips.



Figur 23. Forsøgsopstilling til bestemmelse af emittans for absorberstrips.

Både absorberens manifoldfrør og absorberens vandrette sunstrips blev skåret op for at se om de har været udsat for korrosion. Alle solfangerens 16 parallelle sunstrips blev inspiceret ved solfangerens indløb og udløb samt i midten af solfangeren.

Manifoldrørene er i usædvanlig god stand uden nogen form for korrosion. Sunstripsene viste tegn på korrosion. Der observeres hvide/grå belægninger både i toppen og bunden af kobberrørene. De største belægninger forekommer i de midterste sunstrips, mens belægningerne er beskedne i bunden og toppen af solfangeren. Desuden er belægningerne størst i midten af sunstripsene og mindre tæt på absorberens fremløbs- og returmanifold. Figuer 24 viser foto af absorberens 16 opskårne sunstrips. Belægningerne består sansynligvis af korrosionsprodukter fra kobber. Undersøgelse under steriomikroskop viser ikke dybe lokale angreb som pitting. Den lille del af kobberoverfladen der ikke er dækket ser "pæn" ud. I betragtning af emnets lange brugstid er det sansynligt at gennemtæring på grund af pitting eller jævn korrosion ville have vist sig på nuværende tidspunkt. Det må derfor antages at rørene stadig har en betragtelig restlevetid.



Figur 24. Undersiden af 16 opskårne sunstrips med belægninger i de midterste strips.

Desuden observeres for en del sunstrips korrosion i form af sorte pletter på kobberrørenes indvendige side i solsidens øverste del, det vil sige det varmeste og højest beliggende sted i absorberstripsene, se figur 24 og 25.



Figur 24. Nedre del af opskåret 7. sunstrip talt fra oven af i midten af solfangeren.

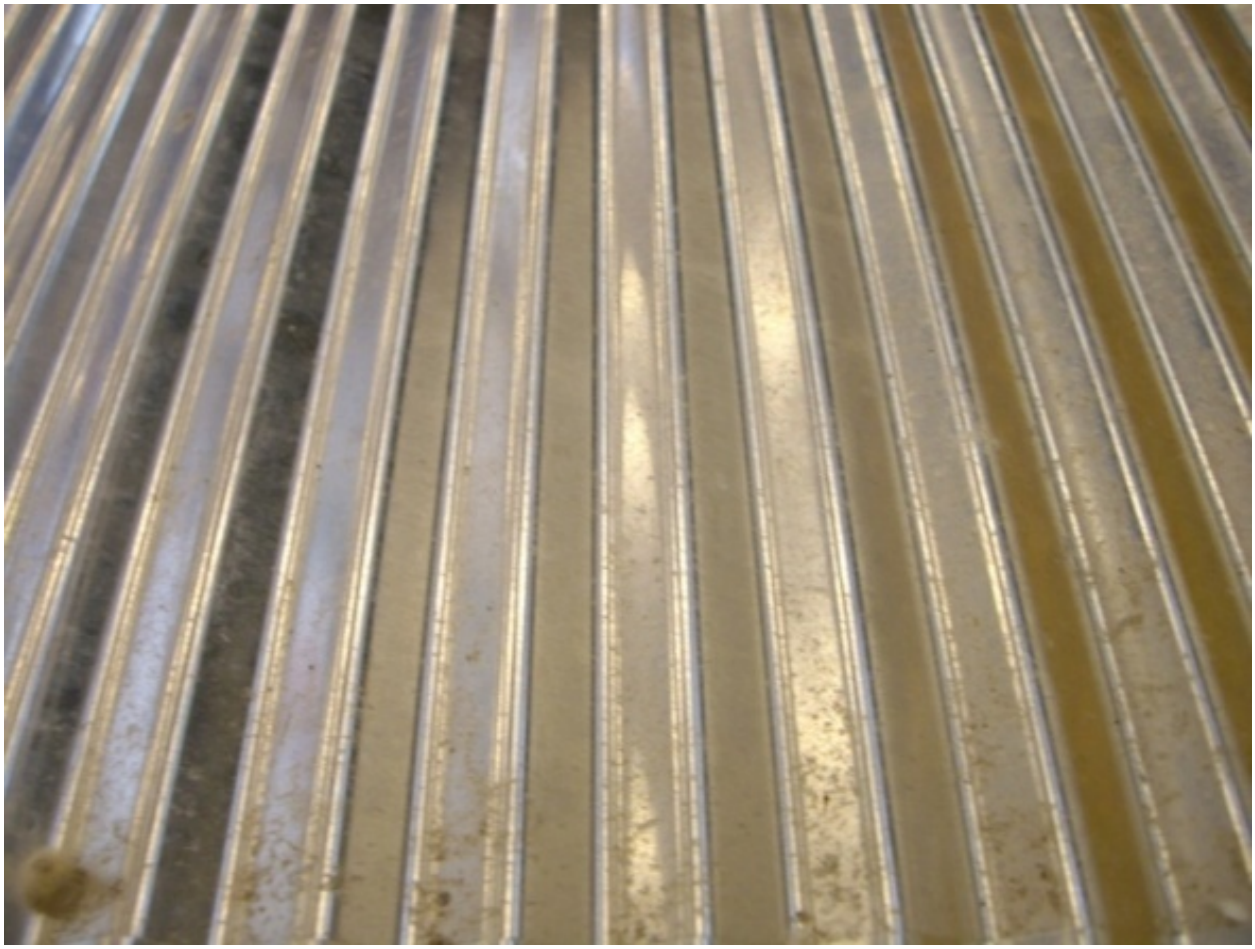


Figur 25. Øvre del af opskåret 7. sunstrip talt for oven af i midten af solfangeren.

Sandsynligvis er de sorte pletter forårsaget af stillestående luft/gas-bobler i røret. Undersøgelse under steriomikroskop viser at der ikke ses dybe lokale angreb i form af gruber eller pitting. Der ses kun en jævn misfarvning. I betragtning af emnets lange brugstid er det sansynligt at gennemtæring på grund af pitting ville have vist sig på nuværende tidspunkt. Det må derfor antages at rørene stadig har en betragtelig restlevetid på skønsmæssigt 15 år.

Der observeres enkelte revner i folien placeret under absoberen, men det vurderes at dette ikke har væsentlig indflydelse på solfangereffektivitet og heller ikke på solfangerens levetid.

Solfangerens aluminiumsramme er i god stand, dog observeres en smule tæring på bagsidens invendige overflader, hvorpå isoleringsmaterialet ligger, se figur 26. Det vurderes at dette ingen indflydelse har på solfangerens levetid.



Figur 26. Indvendig overflade af solfangerkassens aluminiumsbagside.

Isoleringsmaterialet, som er glasuld, er i fin stand, dog har overfladen fået en rød/orange misfarvning. Det vurderes, at årsagen til misfarvningen er at solfangeren har været udsat for så høje temperaturer at isoleringsmaterialets bindemiddel phenolharpiks er destrueret. Dette sker ved ca. 180°C. Det vurderes, at dette ingen betydning har for solfangerens effektivitet og levetid.

6.2 Solfanger fra Marstal

Alle solfangerens glas, butylbånd og EPDM gummelister er i fin stand.

Dog er der på indersiden af glassene hvide belægninger, se figur 27. Det vurderes at disse belægninger stammer fra nedbrydning af isoleringsmaterialets bindemiddel og/eller fra fordampning af isoleringsmaterialets olie. Det vurderes at belægningerne reducerer solfangerens maksimaleffektivitet og indfaldsvinkelkorrektionsfaktor en smule.

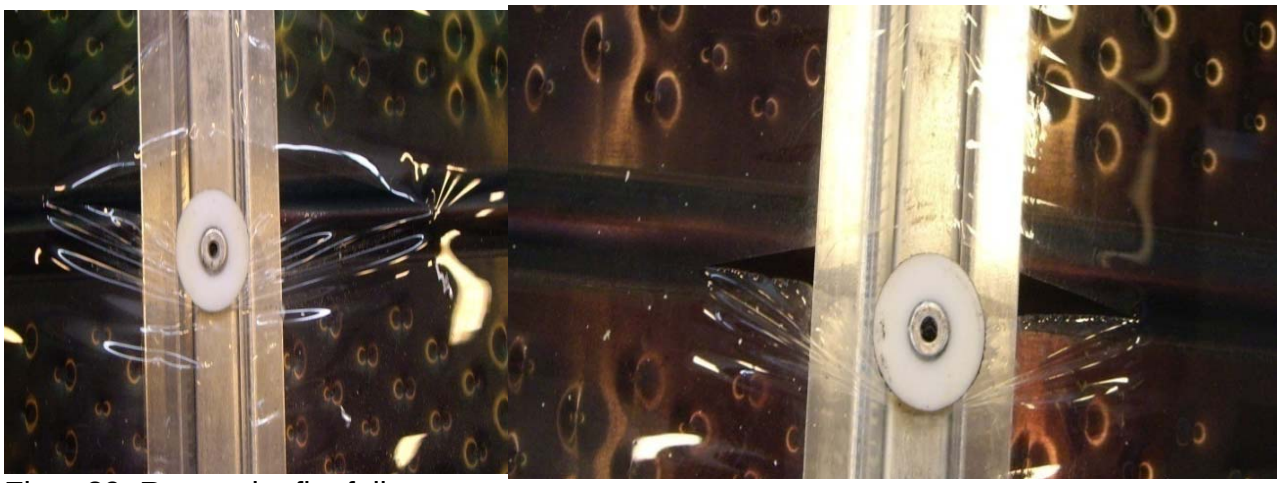


Figur 27. Hvide belægninger på indersiden af glas for solfangeren fra Marstal.

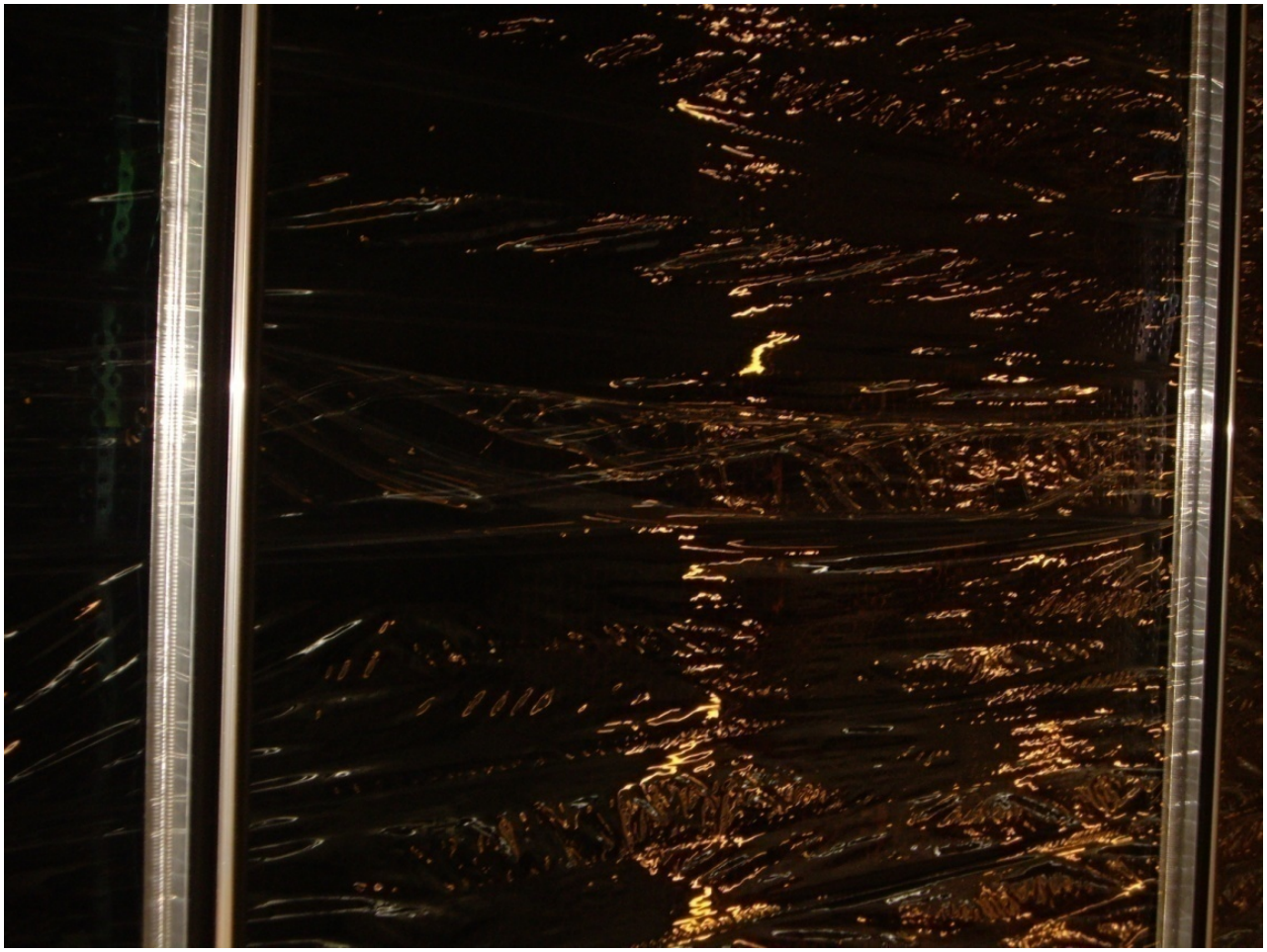
Teflonfolien er fastgjort vandret. Opspændingen er så slap at teflonfolien i store områder af solfangerens areal er meget tæt på absorberen eller i direkte kontakt med absorberen. Desuden er der områder med sprækker i teflonfolien, se figur 28, 29 og 30. Det ses desuden at teflonfolien har en masse folder/rynker, sandsynligvis forårsaget af varmepåvirkning, se figur 31. Med hensyn til solfangerens effektivitet er det særdeles kritisk både at afstanden mellem folie og absorber er så lille og at der er så mange sprækker. Varmetabskoefficienten for solfangeren forøges væsentligt af disse årsager.



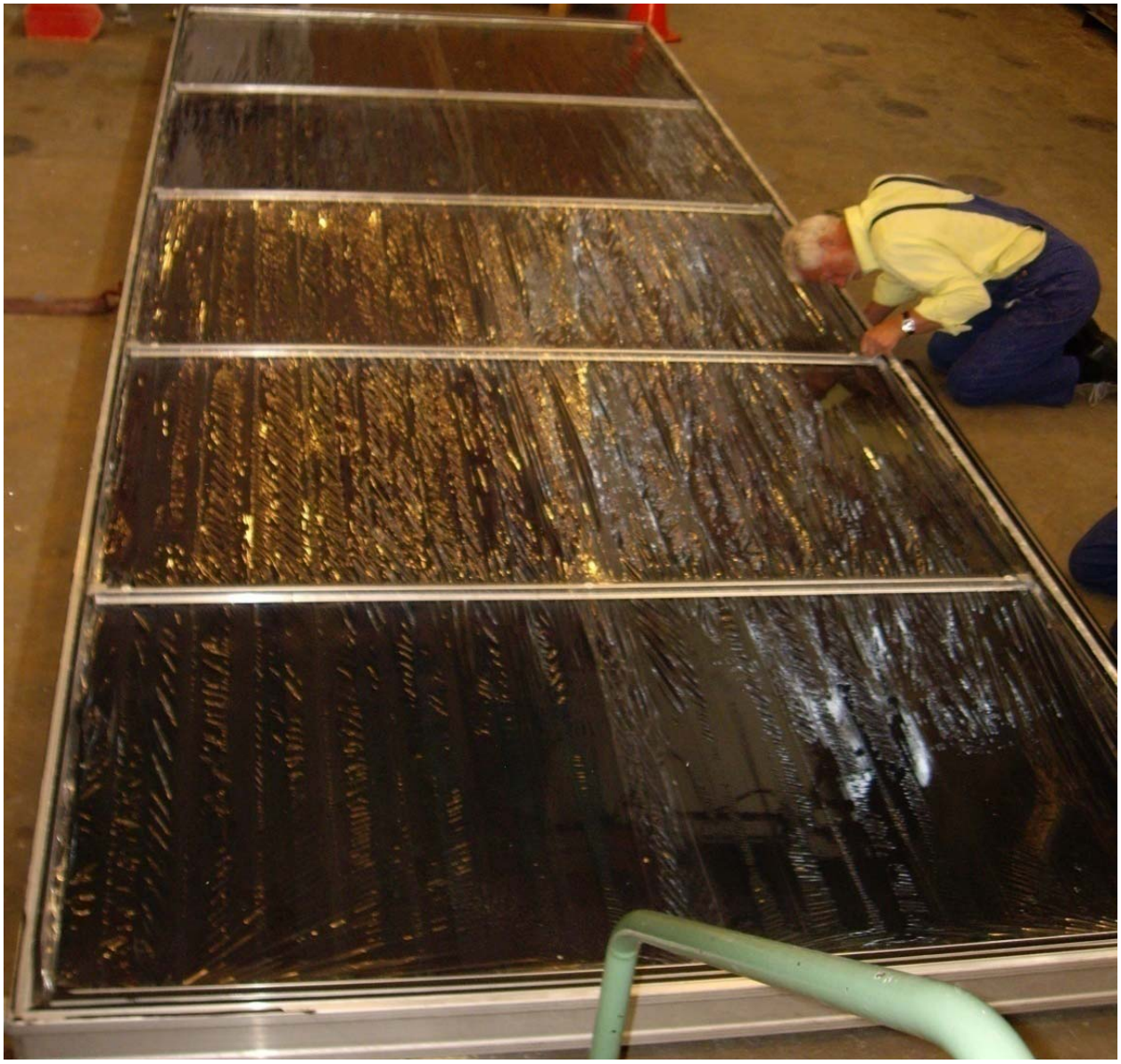
Figur 28. Sprækkeområder mærket med rødt for teflonfolien for solfangeren fra Marstal.



Figur 29. Revner i teflonfolien.



Figur 30. Teflonfolien i kontakt med absorberen for Marstal solfangeren.



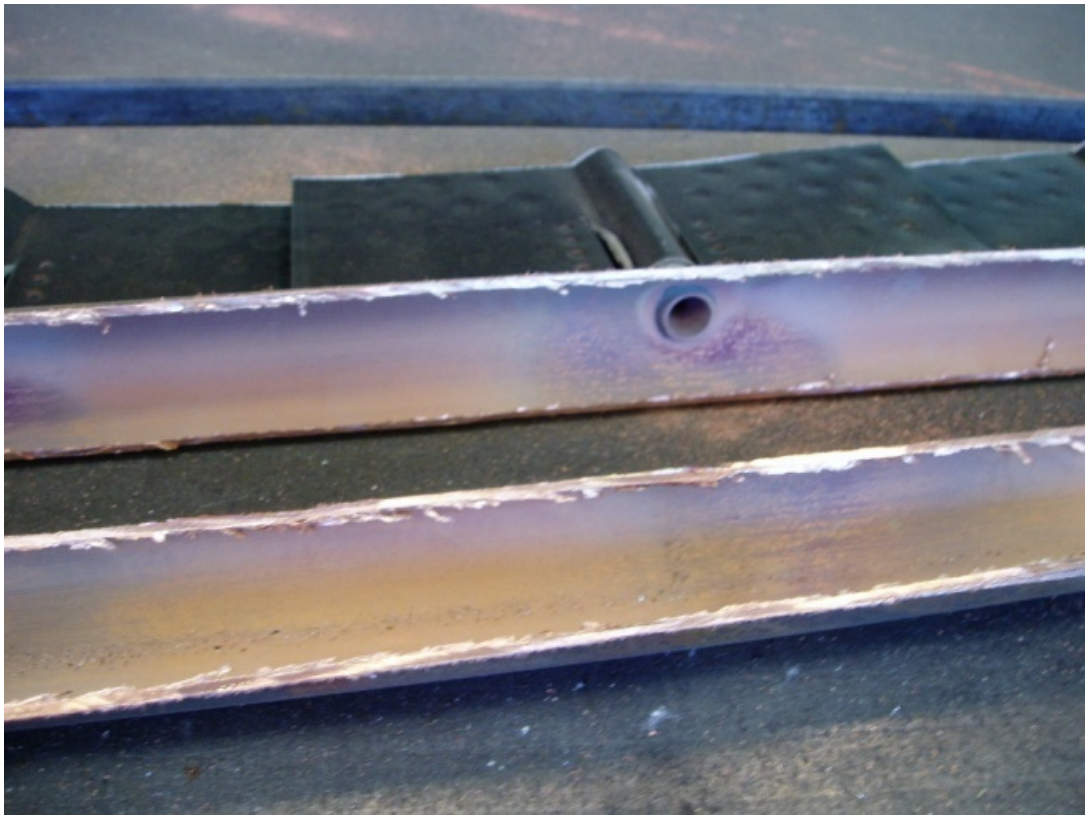
Figur 31. Teflonfoliens folder/rynker for solfangeren fra Marstal.

Absorberens absorptans og emittans blev målt i de i afsnit 6.1 omtalte indendørs laboratorieopstillinger.

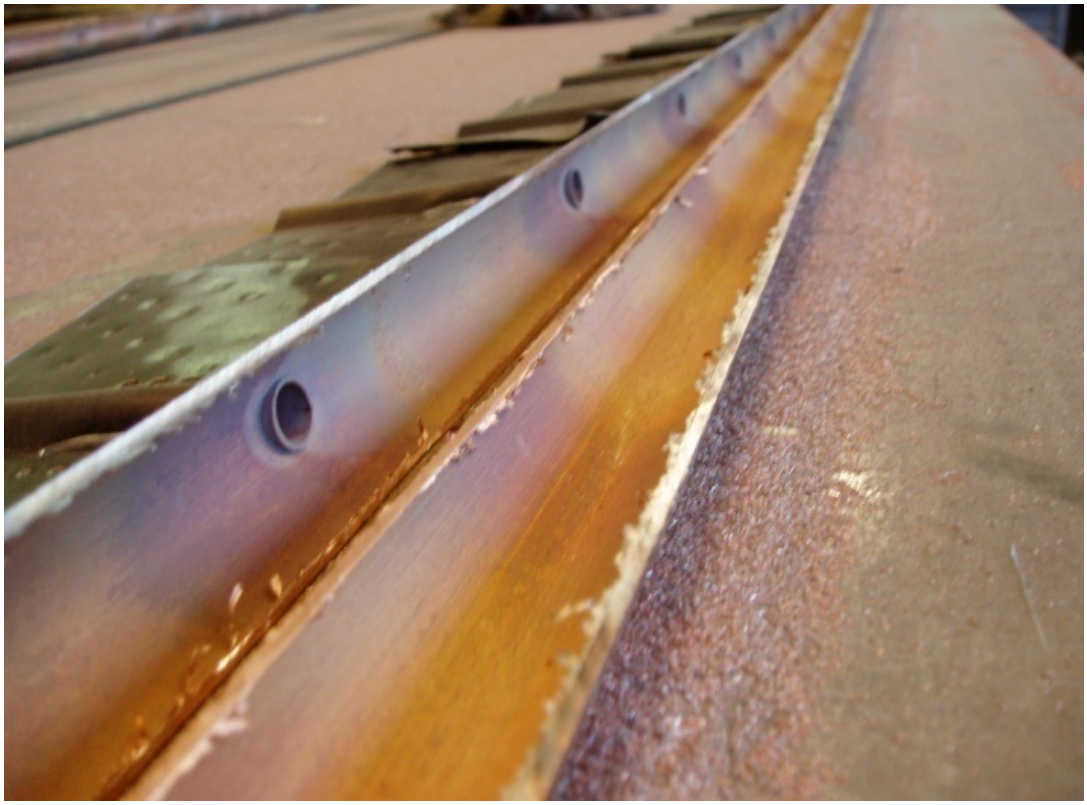
Prøver fra solfangerens næstøverste og nederste sunstrip ved indløb og udløb for solfangeren blev udvalgt til disse målinger. Målingerne viste, at absorptansen for alle 4 prøver er 0,96 og at emittanserne for de 4 prøver varierer mellem 0,16 og 0,17 med en gennemsnitlig emittans på 0,16. Som nævnt har Sunstrip AB oplyst at absorptans og emittans for absorberstrips i 1993 var henholdsvis 0,95-0,96 og 0,14-0,16. På den baggrund vurderes det at absorberens overflade ikke har været udsat for ældning igennem solfangerens 13 årige driftsperiode.

Både absorberens manifoldfrør og absorberens vandrette sunstrips blev skåret op for at se om de har været udsat for korrosion. Alle solfangerens 16 parallelle sunstrips blev inspiceret ved solfangerens indløb og udløb samt i midten af solfangeren.

Manifoldrørene er i usædvanlig god stand uden nogen form for korrosion, se figur 32 og 33.



Figur 32. Indløbsmanifold for Marstal solfanger.



Figur 33. Udløbsmanifold for Marstal solfanger.

Sunstripsene viste tegn på korrosion. Der observeres ligesom for solfangeren fra Ottrupgård i en del sunstrips korrosion i form af sorte pletter på kobberrørenes indvendige side i solsidens øverste del, det vil sige det varmeste og højest beliggende sted i absorberstripsene. De øvrige overflader af kobberrørene viste ingen tegn på korrosion. Der er flest sorte pletter i sunstrips placeret nederst i solfangeren og i midten af solfangeren, det vil sige lige langt indløbs- og udløbsmanifolden. Figur 34, 35 og 36 viser fotos af de de sorte pletter på de øverste dele af kobberrørene for sunstrips fra midten af solfangeren fra Marstal.



Figur 34. Opskårne sunstrips i øverste del af solfangerens midte.



Figur 35. Opskårne sunstrips i midterste del af solfangeren midte.



Figur 36. Opskårne sunstrips i nederste del af solfangerens midte.

De sorte pletter er identiske med de sorte pletter på rørene for solfangeren fra Ottrupgård, og det vurderes at restlevetiden også for disse rør er ca. 15 år. Det vurderes derfor at solfangernes totale levetid er ca. 30 år.

Der observeres enkelte revner i folien placeret under absoberen, se figur 37. Det vurderes dog, at dette ikke har væsentlig indflydelse på solfangereffektivitet og heller ikke på solfangerens levetid.



Figur 37. Sprække i den reflekterende folie i solfangeren fra Marstal.

Solfangerens aluminiumsramme er i god stand, dog observeres en smule tæring både på rammens indvendige og udvendige overflader. Det vurderes at dette ingen indflydelse har på solfangerens levetid.

Isoleringsmaterialet, som er rockwool, er i fin stand. Dog er isoleringen misfarvet både ved indløbet og udløbet. Det vurderes at årsagen til misfarvningen er nedbrydningsrester fra isoleringsmaterialets bindemiddel, som er nedbrudt på grund af for høje temperaturer. Det vurderes, at dette ingen betydning har for solfangerens effektivitet og levetid.

7. Konklusion

HT solfangere, som har været i drift ved høje temperaturer i solvarmecentralerne i Ottrupgård og Marstal i henholdsvis 15 og 13 år, blev afprøvet med hensyn til effektivitet og inspiceret for at vurdere eventuel ældning.

En ældre version af en HT solfanger, som har været i drift i en svensk prøvestand siden 1982 blev afprøvet med hensyn til ydelse.

Målingerne viste at effektiviteterne for solfangerne fra Ottrupgård og Marstal er blevet reduceret siden installationen. Reduktionen af solfangernes årsydelse er ved en driftstemperatur på 40°C 1% og 4%, henholdsvis for Marstal solfangeren og for Ottrupgård solfangeren. Ved en driftstemperatur på 60°C er reduktionen af årsydelsen 10% og 11% henholdsvis for Marstal solfangeren og Ottrupgård solfangeren, og ved en driftstemperatur på 80°C er reduktionen af årsydelsen henholdsvis 27% og 23% for Marstal solfangeren og Ottrupgård solfangeren. Det vurderes at årsagen til ydelsesreduktionen er teflonfoliens stand og opspænding. Teflonfolien er rynket og foldet og desuden så slap, at afstanden mellem teflonfolien og absorberen er blevet alt for lille. Desuden er der konstateret sprækker i teflonfolien.

Den svenske solfanger i prøvestanden yder også efter 26 års drift mindre end ved installationstidspunktet. Men ydelsesreduktionen er kun 2-5% for denne solfanger.

Inspektionen af solfangerne fra Ottrupgård og Marstal viste at de er i overraskende god stand bortset fra problemerne med teflonfolien.

Der blev konstateret en smule korrosion i de vandrette absorberstrips. Det skønnes at korrosionen ikke er fremskreden, og at solfangernes levetid kan blive 30 år.

På basis af undersøgelserne konkluderes det derfor at HT solfangerens største problem er knyttet til teflonfolien og dens opspænding.

Referencer

[1] “Undersøgelse af HT solfangere med og uden teflonfolie”. Jianhua Fan, Jørgen M. Schultz og Simon Furbo. Rapport SR-04-12. 2004. BYG.DTU, DTU.

[2] ”Effektivitet og flowfordeling for HT solfangere”. Jianhua Fan og Simon Furbo. Rapport SR-05-11. 2005. BYG.DTU, DTU.

[3] ”Optimering og afprøvning af solfanger til solvarmecentraler”. Jianhua Fan og Simon Furbo. Rapport SR-07-06. 2007. DTU Byg.

[4] ”Flow distribution in a solar collector panel with horizontally inclined absorber strips”. Jianhua Fan, Louise Jivan Shah og Simon Furbo. Solar Energy, Vol. 81, pp. 1501-1511, 2007.

[5] ”Buoyancy effects on thermal behavior of a flate plate solar collector”. Jianhua Fan og Simon Furbo. Solar Energy Engineering. Vol. 130, no. 2, May 2008.

[6] ”Prøvning af solfangers effektivitet og driftssikkerhed foretaget for Prøvestationen for Solenergi. Solfangerfabrikant: AR-CON”. Finn Kristiansen. Rapport 91-26, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Januar 1993.

[7] prEN 12975-2 (2004). Thermal solar systems and components – solar collectors – Part 2: Test Methods.

[8] ”Solfangerydelser i solvarmecentraler ved forskellige temperaturniveauer”. K.L. Jensen, T. Nielsen, K.R. Andersen. Fagpakkeprojekt. 2001. BYG.DTU, DTU.

Arcon Solvarmes HT solfangere, som benyttes i store solvarmecentraler, er blevet undersøgt med hensyn til effektivitet og ældning. To solfangere, som har været i drift i solvarmecentralerne i Ottrupgård og Marstal i henholdsvis 15 og 13 år, er udvalgt til undersøgelserne.

Undersøgelserne viste, at solfangernes ydelser er blevet reduceret noget siden installationen. Årsagen til ydelsesreduktionen er teflonfoliens stand og opspænding. Teflonfolien er rynket og foldet og desuden så slap, at afstanden mellem teflonfolien og absorberen er blevet alt for lille. Bortset fra problemerne med teflonfolien er solfangerne i usædvanlig god stand. Det vurderes, at solfangernes levetid er ca. 30 år.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

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

www.byg.dtu.dk