

Ydelse af trackende solfanger



Ziqian Chen
Simon Furbo

Sagsrapport

Institut for Byggeri og Anlæg
2011

DTU Byg Rapport SR 11-06 (DK)
Oktober 2011

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion	3
2. Forsøgsopstilling	3
3. Målte ydelser for stationær og trackende solfanger	4
4. Målte effektiviteter for solfangerne	6
5. Beregnet og målt ydelse af trackende solfanger	17
6. Beregnede årsydelser for stationær og trackende solfanger	28
7. Konklusion	31
Referencer	31

1. Introduktion

DTU Byg har i et samarbejde med N.N. Energi ApS gennemført eksperimentelle og teoretiske undersøgelser af ydelsen af to solfangere fra Sunmark A/S. Den ene solfanger vender mod syd og har en hældning på 45° . Den anden solfanger er placeret på en tracker med en konstant hældning på 45° . Denne solfangers azimuth ændres igennem hele dagen, så forskellen mellem solens og solfangerens azimuth hele tiden er ca. 15° . Altså er solfangeren næsten altid nogenlunde vendt i solens retning.

2. Forsøgsopstilling

Ydelsen af to 13.88 m^2 solfangere fra Sunmark A/S til solvarmecentraler måles i DTU Bygs prøvestand for solfangere.

Den ene solfanger vender mod syd og har en solfangerhældning på 45° . Den anden solfanger er installeret på en tracker med en solfangerhældning på 45° . Trackeren sørger for at ændre solfangerorienteringen ca. 6 gange pr. time, således at forskellen mellem solazimuth og solfangerens azimuth hele tiden er ca. 15° . Som solfangervæske benyttes en 40% propylenglykol/vand blanding.

Figur 1 viser fotos af solfangerne i forsøgsopstillingen.



Figur 1. Sunmark solfangerne i DTU Bygs prøvestand for solfangere. Til højre den stationære solfanger og til venstre solfangeren i trackeren.

3. Målte ydelser for stationær og trackende solfanger

Der blev gennemført målinger af ydelser af den stationære og den trackende solfanger i perioden marts, 2011-juli, 2011. Fremløbstemperaturerne til de to solfangere og volumenstrømmene gennem solfangerne er de samme hver enkelt dag. Igennem afprøvningsperioden er fremløbstemperaturen varieret mellem 17°C og 91°C, og volumenstrømmen igennem hver enkelt solfanger er varieret mellem 4 l/min og 21 l/min. Det vurderes, at skygger fra omgivelserne og fra solfangerne i størstedelen af afprøvningsperiodens dage ikke har nævneværdig indflydelse på solfangernes ydelser. Derfor er det rimeligt at sammenligne solfangernes daglige ydelser, når der ses bort fra ydelserne i den del af dagen, hvor skygger påvirker ydelserne.

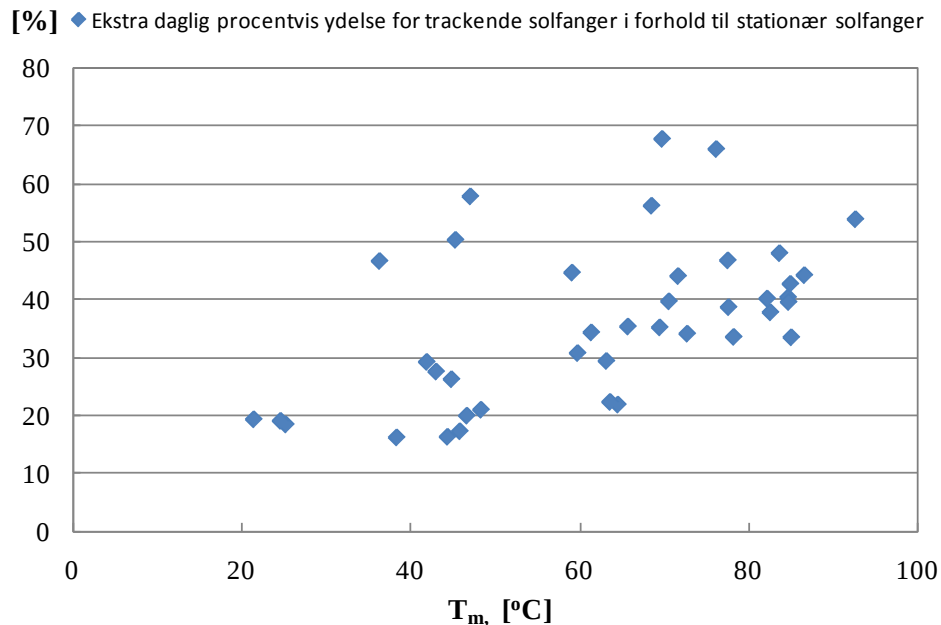
Disse målte daglige ydelser for de to solfangere fremgår af tabel 1. Den procentvise daglige ekstra ydelse, som opnås med den trackende solfanger i forhold til den stationære solfanger varierer mellem 16% og 222%. For hele perioden opnås en ekstra ydelse på 32% for den trackende solfanger i forhold til den stationære solfanger.

Dato	Dagligt solindfald på stationær solfanger, kWh/m ²	Dagligt solindfald på trackende solfanger, kWh/m ²	Volumenstrøm gennem solfanger, l/min	Fremløbstemperatur til solfanger, °C	Daglig ydelse af stationær solfanger, kWh/m ²	Daglig ydelse af trackende solfanger, kWh/m ²	Ekstra ydelse af trackende solfanger sammenlignet med stationær solfanger, %
08-03-2011	5,5	5,8	20,4	42,2	2,4	3,1	26
16-03-2011	4,5	4,5	20,3	62,2	1,5	1,8	22
02-04-2011	3,7	3,9	20,3	81,8	0,8	1,2	48
03-04-2011	1,3	1,4	20,0	74,9	0,0	0,1	222
04-04-2011	4,2	4,3	20,2	81,6	0,9	1,3	33
05-04-2011	1,2	1,2	19,9	75,1	0,1	0,1	66
06-04-2011	0,7	0,7	19,9	75,0	0,0	0,0	—
07-04-2011	3,8	4,0	19,9	75,1	0,7	1,1	47
08-04-2011	2,5	2,8	19,0	71,3	0,2	0,6	186
09-04-2011	6,3	6,9	19,5	91,1	1,5	2,3	54
10-04-2011	5,7	6,2	19,8	82,6	1,8	2,5	40
14-04-2011	2,2	2,6	20,0	78,5	0,2	0,6	204
15-04-2011	4,1	4,3	19,7	74,2	1,1	1,5	34
16-04-2011	0,7	0,8	19,8	74,5	0,0	0,0	—
17-04-2011	3,2	3,4	20,0	74,9	0,7	0,9	39
18-04-2011	5,9	6,4	20,0	79,9	1,9	2,7	40
19-04-2011	6,1	6,6	19,9	17,8	4,0	4,8	19
20-04-2011	4,4	4,7	20,1	67,2	1,2	1,7	40

21-04-2011	5,4	5,8	20,3	80,5	1,8	2,4	38
22-04-2011	5,9	6,4	20,3	82,5	1,9	2,7	40
23-04-2011	5,9	6,5	8,3	16,9	3,9	4,7	18
24-04-2011	6,1	6,6	10,1	17,5	4,0	4,8	19
25-04-2011	5,9	6,5	9,7	82,2	1,9	2,7	44
26-04-2011	5,5	5,9	9,9	80,6	1,7	2,4	43
27-04-2011	5,1	6,0	9,9	56,7	2,2	2,9	33
28-04-2011	5,0	5,5	10,0	58,6	2,2	2,6	22
29-04-2011	6,1	6,7	10,0	42,7	3,2	3,9	21
12-05-2011	3,2	3,5	20,3	39,3	1,5	1,9	29
13-05-2011	3,9	4,2	20,0	68,8	1,0	1,5	44
14-05-2011	2,8	2,9	20,0	66,6	0,5	0,7	35
15-05-2011	3,2	3,6	20,1	67,2	0,7	1,1	61
16-05-2011	2,2	2,3	20,1	65,7	0,3	0,5	56
17-05-2011	2,1	2,4	19,9	52,7	0,3	0,6	100
20-05-2011	4,6	5,0	20,6	70,3	1,4	1,9	34
21-05-2011	5,1	5,6	20,0	72,6	1,8	2,4	29
29-05-2011	2,9	3,0	21,1	39,8	1,2	1,5	27
15-06-2011	5,6	6,3	19,9	63,1	2,3	3,1	35
16-06-2011	4,4	4,8	19,4	60,2	1,6	2,1	29
17-06-2011	3,7	4,1	19,3	55,0	1,1	1,7	45
18-06-2011	1,3	1,3	18,8	35,3	0,2	0,3	47
19-06-2011	3,8	3,9	19,3	54,9	1,3	1,7	31
20-06-2011	2,2	2,4	19,0	42,1	0,5	0,8	56
29-06-2011	6,3	7,2	3,5	17,1	4,0	4,8	19
30-06-2011	3,4	3,7	20,6	39,7	1,8	2,1	17
01-07-2011	3,6	3,8	20,7	41,3	1,7	2,0	16
02-07-2011	2,4	2,8	20,5	36,1	1,1	1,6	50
03-07-2011	4,9	5,2	20,8	43,5	2,9	3,4	20
04-07-2011	1,4	1,4	20,6	37,3	0,5	0,5	16
Alle dage	189,9	205,8	—	—	69,5	91,6	32

Tabel 1. Daglige målte ydelser for stationær og trackende solfanger.

Målte ekstra daglige procentvis ydelser for den trackende solfanger i forhold til den stationære solfanger som funktion af den gennemsnitlige daglige solfangervæsketemperatur for den stationære solfanger fremgår af figur 2. Det er tydeligt at den ekstra daglige procentvis ydelse for den trackende solfanger afhænger stærkt af solfangervæsketemperaturen. Jo højere temperaturen er, des større er den procentvis merydelse for den trackende solfanger.



Figur 2. Målt ekstra daglig procentvis ydelse for den trackende solfanger i forhold til den stationære solfanger som funktion af den gennemsnitlige daglige solfangervæsketemperatur for den stationære solfanger.

4. Målte effektiviteter for solfangerne

Solfangereffektiviteten og indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren af den stationære solfanger blev målt ved tre forskellige volumenstrømme som beskrevet i [1]. De målte effektiviteter for solfangeren ved volumenstrømmen 20 l/min i 15 minutter måleperioder fremgår af tabel 2. Figur 3 viser målepunkterne samt solfangerens effektivitetskurve for små indfaldsvinkler bestemt ved regressionsanalyse ud fra målepunkterne. Effektiviteten er vist for en solbestrålingsstyrke på 963 W/m² svarende til den gennemsnitlige 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:

$$\eta = 0,714 - 4,178 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0093 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Solfangerens effektivitet blev desuden målt for solfangervæsketemperaturer tæt på udelufttemperaturen i perioder med forskellige indfaldsvinkler i intervallet 0°-50°.

Afprøvningsen 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 4 viser målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer samt det tilnærmede tangensudtryk, som blev bestemt til:

$$K_{\theta} = 1 - \tan^{3,5}(\theta/2)$$

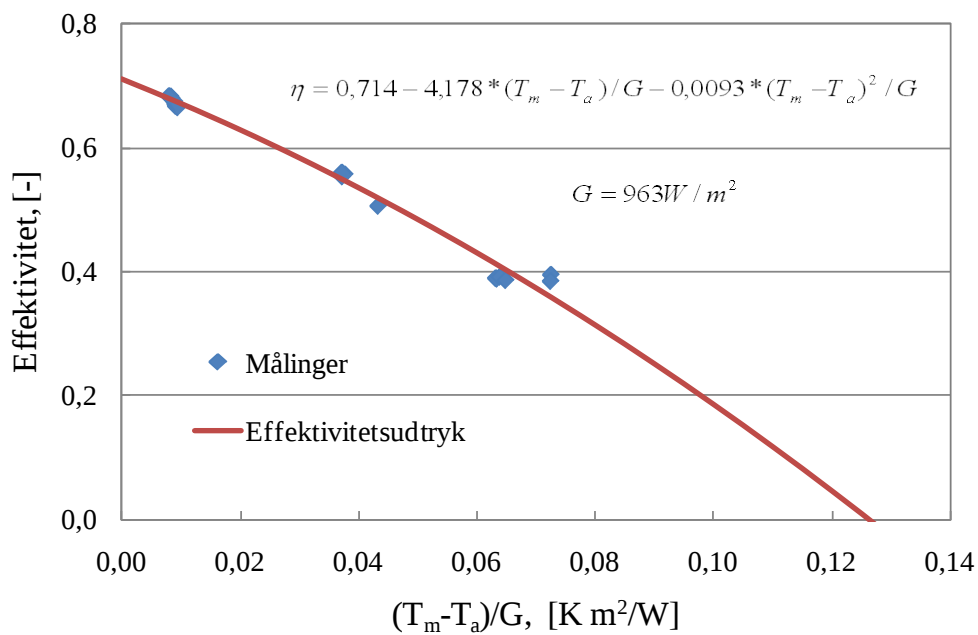
Solfangerens effektivitet er altså bestemt til:

$$\eta = K_{\theta} * 0,714 - 4,178 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0093 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}, \text{ hvor}$$

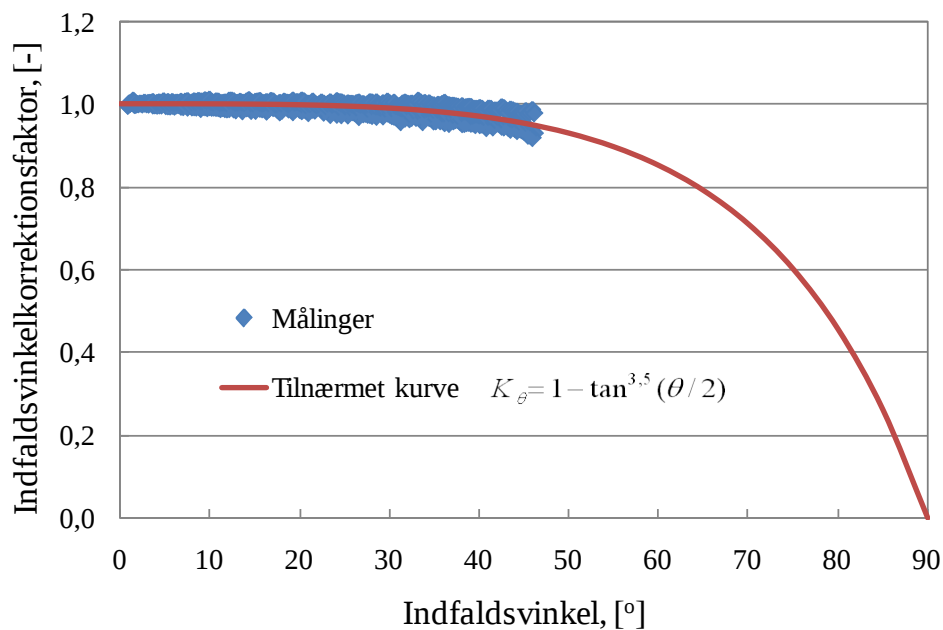
$$K_{\theta} = 1 - \tan^{3,5}(\theta/2)$$

Dato	Start tid	Slut tid	θ	G	T_a	Flow	T_{ind}	$T_{ud} - T_{ind}$	T_m	$(T_m - T_a)/G$	η
d-m-år	kl.	kl.	°	W/m ²	°C	l/min	°C	K	°C	Km ² /W	-
08-03-2011	11:53	12:08	17	930	5,8	20,5	43,5	4,9	46,1	0,0434	0,51
16-03-2011	12:00	12:15	14	979	3,4	20,2	63,5	4,0	65,6	0,0635	0,39
16-03-2011	12:15	12:30	14	979	3,7	20,3	63,6	4,0	65,6	0,0633	0,39
16-03-2011	12:30	12:45	15	969	3,6	20,2	63,6	4,0	65,6	0,0640	0,39
16-03-2011	12:50	13:05	18	947	3,7	20,2	63,3	3,9	65,2	0,0650	0,39
20-03-2011	12:02	12:17	12	955	6,9	20,2	39,6	5,6	42,5	0,0373	0,55
20-03-2011	12:17	12:32	13	948	6,8	20,2	39,6	5,6	42,5	0,0377	0,56
20-03-2011	12:32	12:47	14	947	7,2	20,2	39,6	5,6	42,5	0,0372	0,56
20-03-2011	12:47	13:02	16	932	7,7	20,2	39,4	5,6	42,3	0,0372	0,56
18-04-2011	12:52	13:07	14	979	17	20,0	82,0	3,9	84,4	0,0726	0,40
19-04-2011	11:03	11:18	12	963	13,4	20,1	18,7	6,9	22,5	0,0094	0,67
19-04-2011	11:18	11:33	9	984	13,8	20,1	18,8	7,0	22,7	0,0090	0,67
19-04-2011	11:33	11:48	5	996	13,9	20,1	19,0	7,1	22,8	0,0089	0,67
19-04-2011	11:48	12:03	2	1002	14,1	20,1	19,0	7,2	22,9	0,0088	0,68
19-04-2011	12:23	12:38	7	991	14,4	20,1	18,7	7,2	22,6	0,0083	0,68
19-04-2011	12:38	12:53	11	982	14,7	20,1	18,5	7,2	22,7	0,0081	0,68
19-04-2011	12:53	13:08	15	969	15,0	20,1	18,5	7,1	22,6	0,0079	0,68
22-04-2011	12:48	13:02	13	934	21,2	20,2	86,7	3,8	89,0	0,0726	0,39

Tabel 2. Målinger til bestemmelse af effektiviteten for den stationære solfanger ved volumenstrømmen 20 l/min.



Figur 3. Målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurven samt den fundne effektivitetskurve for den stationære solfanger ved små indfaldsvinkler og ved volumenstrømmen 20 l/min.



Figur 4. Målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer og det tilnærmede tangensudtryk for den stationære solfanger ved en volumenstrøm på 20 l/min.

De målte effektiviteter for solfangeren ved volumenstrømmen 10 l/min i 15 minutter måleperioder fremgår af tabel 3. Figur 5 viser målepunkterne samt solfangerens effektivitetskurve for små indfaldsvinkler bestemt ved regressionsanalyse ud fra målepunkterne. Effektiviteten er vist for en solbestrålingsstyrke på $984 \text{ W} / \text{m}^2$ svarende til den gennemsnitlige 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:

$$\eta = 0,710 - 4,818 * \frac{T_m - T_a}{G}$$

Solfangerens effektivitet blev også ved 10 l/min målt for solfangervæsketemperaturer tæt på udelufttemperaturen i perioder med forskellige indfaldsvinkler i intervallet 0°-50°.

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 6 viser målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer samt det tilnærmede tangensudtryk, som blev bestemt til:

$$K_\theta = 1 - \tan^{3,6}(\theta/2)$$

Solfangerens effektivitet er altså bestemt til:

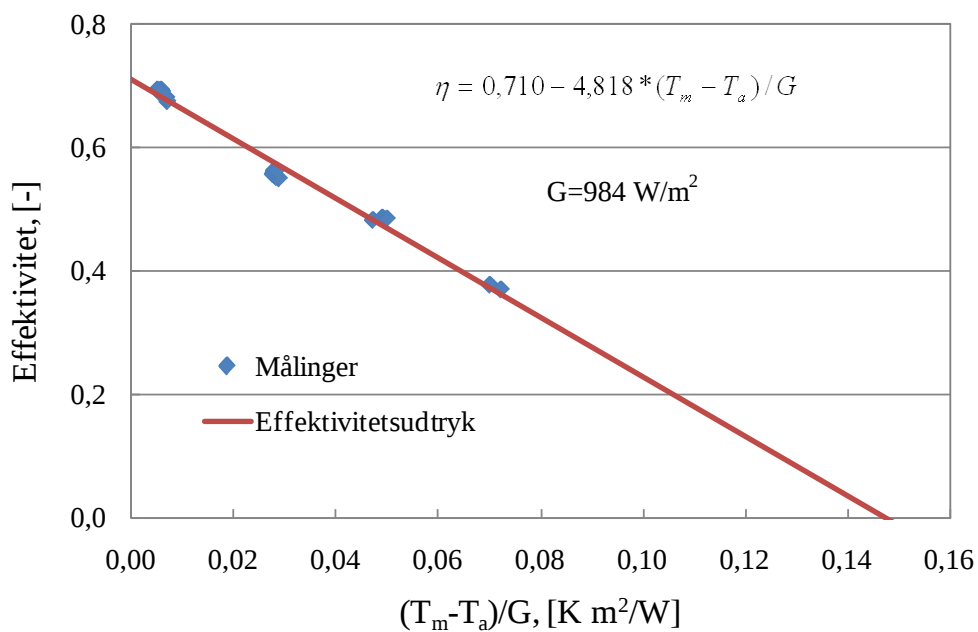
$$\eta = K_\theta * 0,710 - 2,818 * \frac{T_m - T_a}{G}, \text{ hvor}$$

$$K_\theta = 1 - \tan^{3,6}(\theta/2)$$

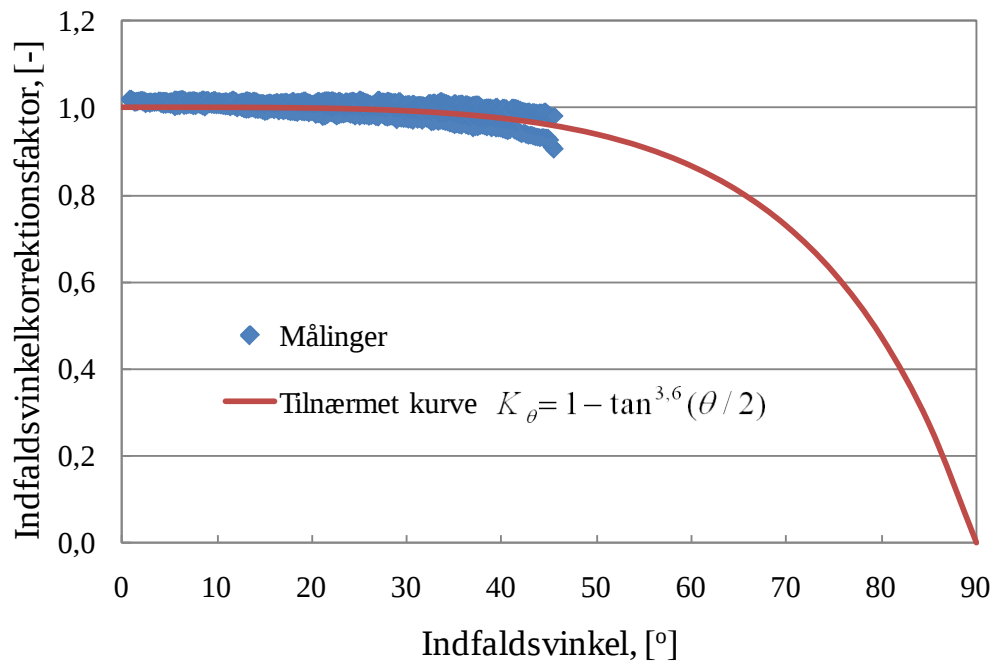
Dato	Start tid	Slut tid	θ	G	T_a	Flow	T_{ind}	$T_{ud} - T_{ind}$	T_m	$(T_m - T_a)/G$	η
d-m-år	kl.	kl.	°	W/m ²	°C	l/min	°C	K	°C	Km ² /W	-
24-04-2011	11:20	11:35	8	972	19,0	10,0	18,3	14,2	25,8	0,0069	0,68
24-04-2011	11:35	11:50	4	981	19,8	10,0	18,3	14,5	25,8	0,0061	0,69
24-04-2011	11:50	12:05	1	984	19,9	10,0	18,4	14,6	25,9	0,0061	0,69
24-04-2011	12:21	12:36	7	981	20,0	10,0	18,1	14,6	25,7	0,0059	0,69
24-04-2011	12:36	12:51	11	970	20,0	10,0	18,0	14,4	25,7	0,0059	0,69
24-04-2011	12:51	13:06	14	956	19,9	10,0	17,8	14,2	25,5	0,0059	0,69
24-04-2011	13:06	13:21	18	936	20,5	10,0	17,7	13,9	25,4	0,0052	0,69
25-04-2011	12:18	12:33	6	970	21,6	9,6	85,3	8,2	89,4	0,0699	0,38
26-04-2011	12:32	12:47	10	916	22,9	10,0	85,2	7,3	88,9	0,0721	0,37
28-04-2011	11:33	11:48	5	976	19,1	10,1	59,9	10,0	65,1	0,0472	0,48
28-04-2011	12:26	12:41	9	916	19,2	10,1	59,1	9,4	64,0	0,0490	0,49

28-04-2011	12:41	12:56	12	912	19,1	10,1	58,9	9,3	63,9	0,0491	0,49
28-04-2011	12:56	13:11	16	885	19,5	10,1	58,8	9,1	63,7	0,0499	0,49
29-04-2011	11:18	11:33	9	1038	16,8	10,0	40,4	12,2	46,8	0,0289	0,55
29-04-2011	11:33	11:48	5	1063	17,0	10,0	40,6	12,5	47,2	0,0284	0,55
29-04-2011	11:48	12:03	3	1069	17,3	10,0	40,7	12,7	47,3	0,0280	0,56
29-04-2011	12:20	12:35	7	1068	17,6	10,0	40,5	12,7	47,1	0,0277	0,56
29-04-2011	12:35	12:50	11	1053	17,8	10,0	40,4	12,6	47,1	0,0279	0,56
29-04-2011	12:50	13:05	14	1031	18,1	10,0	40,3	12,4	47,0	0,0280	0,56
29-04-2011	13:05	13:20	18	1009	18,2	10,0	40,2	12,1	46,8	0,0284	0,56

Tabel 3. Målinger til bestemmelse af effektiviteten for den stationære solfanger ved volumenstrømmen 10 l/min.



Figur 5. Målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurven samt den fundne effektivitetskurve for den stationære solfanger ved små indfaldsvinkler og ved volumenstrømmen 10 l/min.



Figur 6. Målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer og det tilnærmede tangensudtryk for den stationære solfanger ved en volumenstrøm på 10 l/min.

De målte effektiviteter for solfangeren ved volumenstrømmen 3,5 l/min i 15 minutter måleperioder fremgår af tabel 4. Figur 7 viser målepunkterne samt solfangerens effektivitetskurve for små indfaldsvinkler bestemt ved regressionsanalyse ud fra målepunkterne. Effektiviteten er vist for en solbestrålingsstyrke på 985 W/m² svarende til den gennemsnitlige 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:

$$\eta = 0,669 - 3,965 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0408 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Solfangerens effektivitet blev også ved 3,5 l/min målt for solfangervæsketemperaturer tæt på udelufttemperaturen i perioder med forskellige indfaldsvinkler i intervallet 0°-50°.

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 8 viser målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer samt det tilnærmede tangensudtryk, som blev bestemt til:

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

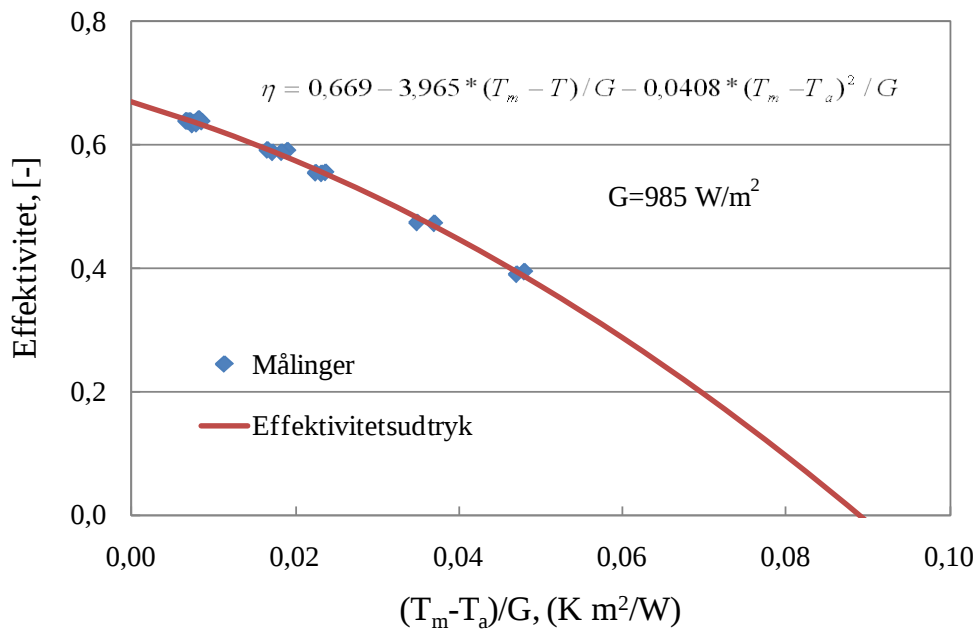
Solfangerens effektivitet er altså bestemt til:

$$\eta = K_{\theta} * 0,669 - 3,965 * \frac{T_m - T_a}{G} - 0,0408 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}, \text{ hvor}$$

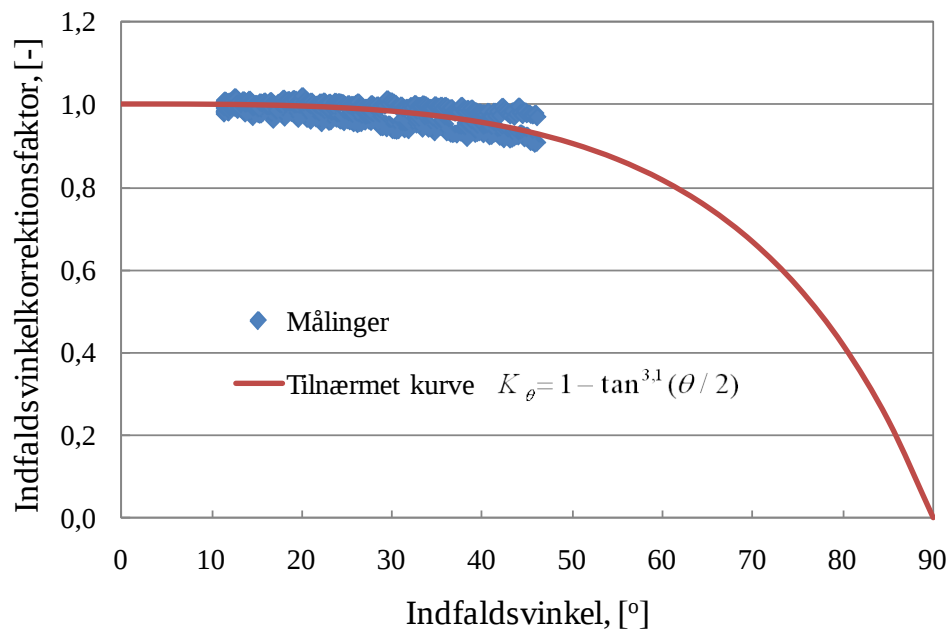
$$K_{\theta} = 1 - \tan^{3,1}(\theta / 2)$$

Dato	Start tid	Slut tid	θ	G	T_a	Flow	T_{ind}	$T_{ud} - T_{ind}$	T_m	$(T_m - T_a)/G$	η
d-m-år	kl.	kl.	°	W/m ²	°C	l/min	°C	K	°C	Km ² /W	-
01-06-2011	11:21	11:36	13	1032	23,1	3,5	29,9	34,22	47,0	0,0232	0,55
01-06-2011	11:36	11:51	11	1050	22,5	3,5	29,9	34,92	47,4	0,0237	0,55
01-06-2011	11:51	12:06	10	1061	23,7	3,5	29,9	35,26	47,6	0,0225	0,55
03-06-2011	11:53	12:08	10	1009	29,8	3,5	31,0	35,78	48,9	0,0190	0,59
03-06-2011	12:08	12:23	11	1012	30,3	3,5	30,9	35,78	48,8	0,0183	0,59
03-06-2011	12:46	13:01	17	999	31,4	3,5	30,8	35,61	48,6	0,0172	0,59
03-06-2011	13:01	13:16	19	985	32,2	3,5	30,8	35,29	48,4	0,0165	0,59
04-06-2011	12:29	11:44	12	999	29,3	3,5	52,0	28,45	66,2	0,0370	0,47
04-06-2011	12:35	12:50	15	1002	31,5	3,5	52,0	28,79	66,4	0,0349	0,47
05-06-2011	11:19	11:34	13	962	32,0	3,5	66,7	23,11	78,3	0,0481	0,39
05-06-2011	11:35	11:50	11	972	32,6	3,4	66,7	23,36	78,4	0,0471	0,39
06-06-2011	12:15	11:40	13	930	29,0	3,5	18,1	35,41	35,8	0,0073	0,63
06-06-2011	11:40	11:55	11	931	29,8	3,5	17,9	35,95	35,9	0,0066	0,64
06-06-2011	11:55	12:10	11	944	29,7	3,5	17,8	36,49	36,0	0,0068	0,64
06-06-2011	12:10	12:25	12	954	29,5	3,5	17,8	36,93	36,2	0,0071	0,64
06-06-2011	12:25	12:40	13	954	29,2	3,5	17,7	36,81	36,1	0,0073	0,64
06-06-2011	12:40	12:55	16	945	28,8	3,5	17,7	36,52	36,0	0,0076	0,64
06-06-2011	12:55	13:10	18	932	28,4	3,5	17,7	35,98	35,7	0,0078	0,63
29-06-2011	11:42	11:57	12	1014	28,7	3,5	17,7	39,21	37,3	0,0085	0,64
29-06-2011	12:11	12:26	12	1015	29,0	3,5	40,2	39,53	37,3	0,0081	0,64

Tabel 4. Målinger til bestemmelse af effektiviteten for den stationære solfanger ved volumenstrømmen 3,5 l/min.



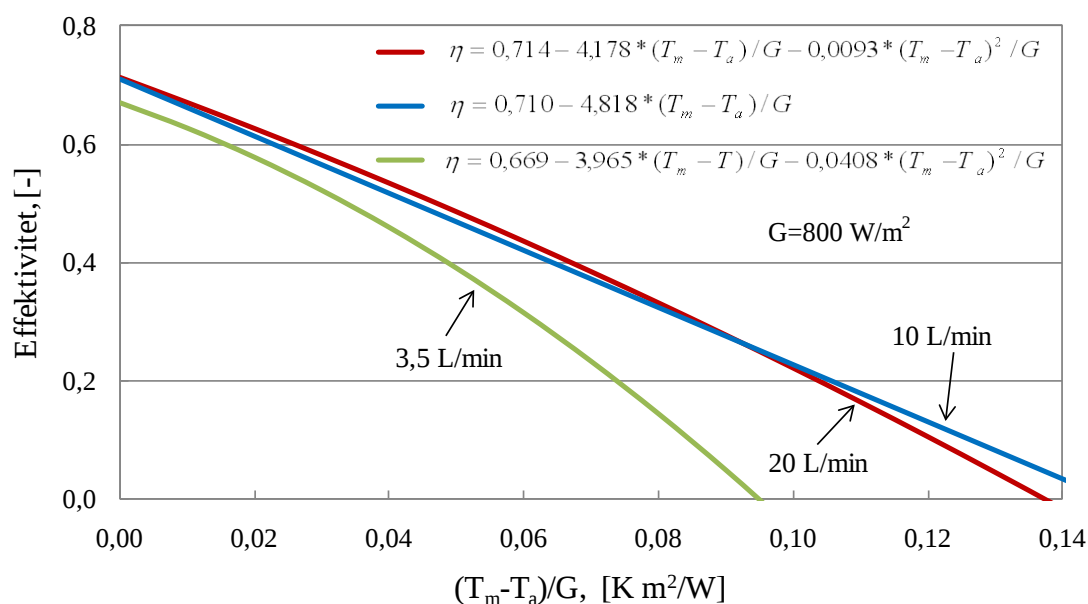
Figur 7. Målepunkter til bestemmelse af effektivitetskurven samt den fundne effektivitetskurve for den stationære solfanger ved små indfaldsvinkler og ved volumenstrømmen 3,5 l/min.



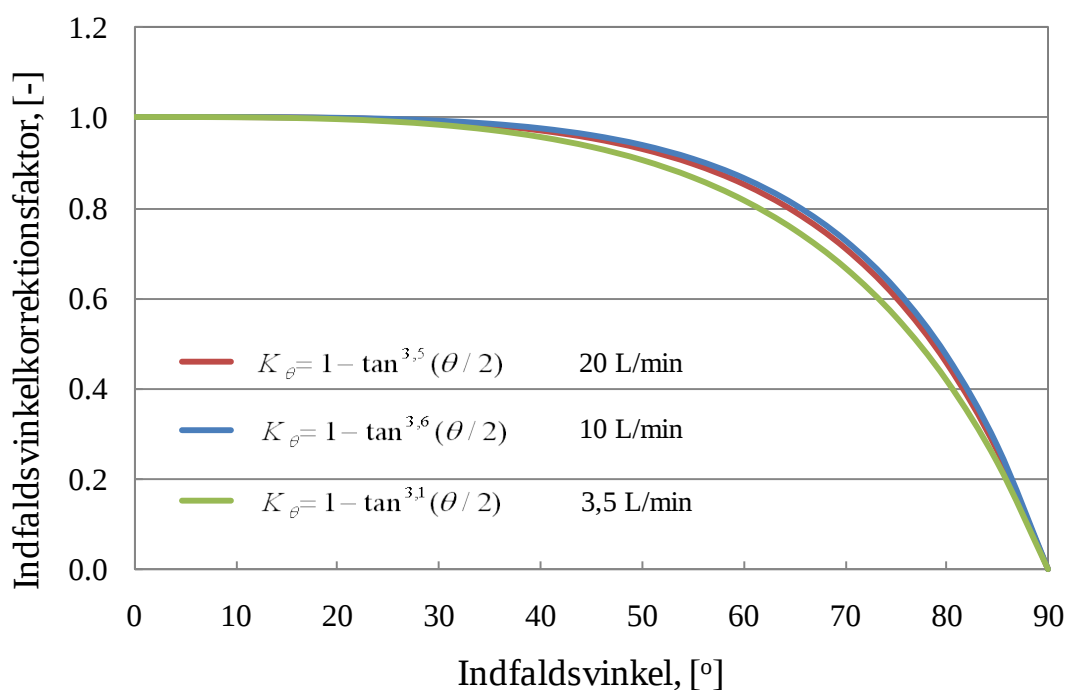
Figur 8. Målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer og det tilnærmede tangensudtryk for den stationære solfanger ved en volumenstrøm på 3,5 l/min.

Figur 9 viser den målte effektivitet for den stationære solfanger ved volumenstrømme på 20 l/min, 10 l/min og 3,5 l/min som funktion af forskellen mellem middelsolfangevæsketemperaturen og udelufttemperaturen ved en solbestrålingsstyrke på 800 W/m² og en indfaldsvinkel på 0°. Det ses, at jo lavere volumenstrømmen er des lavere er solfangereffektiviteten.

Figur 10 viser de målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer som funktion af indfaldsvinklen for den stationære solfanger for volumenstrømme på 20 l/min, 10 l/min og 3,5 l/min. Det ses, at der ikke er væsentlige forskelle mellem indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren for forskellige volumenstrømme.

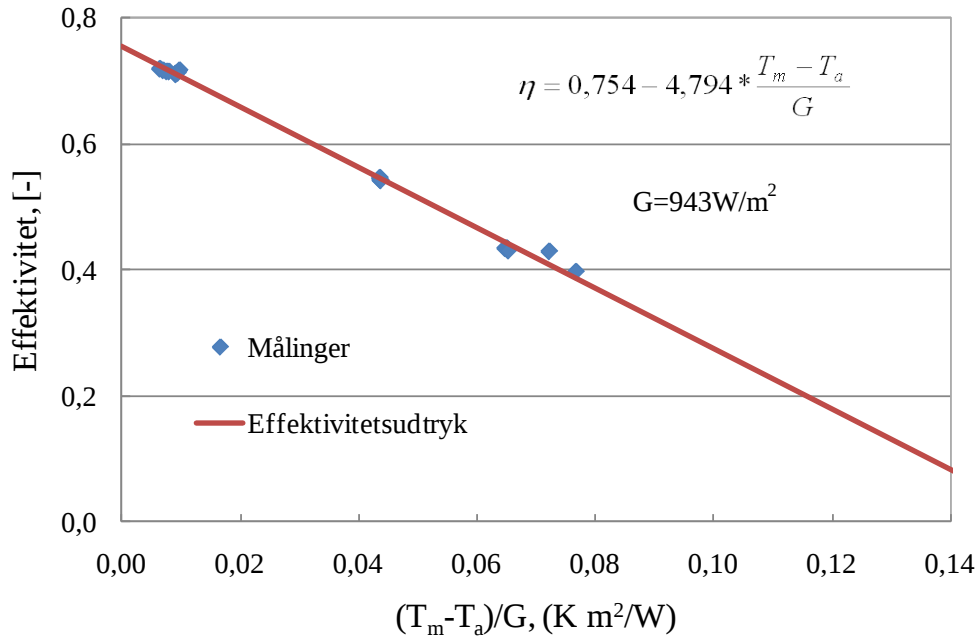


Figur 9. Effektivitet for den stationære solfanger ved forskellige volumenstrømme for en solbestrælingsstyrke på 800 W/m² og en indfaldsvinkel på 0°.

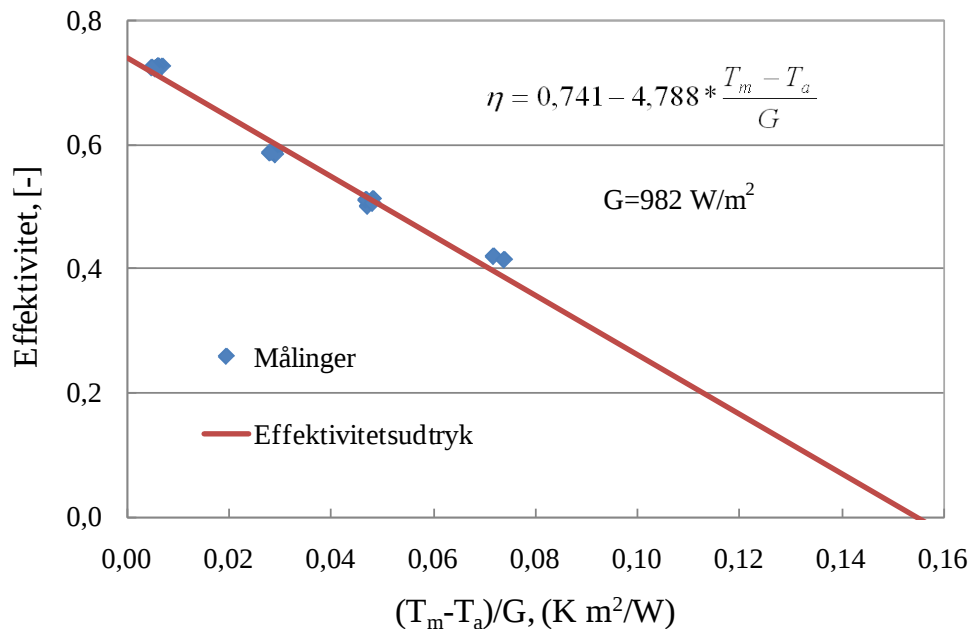


Figur 10. Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor for den stationære solfanger ved forskellige volumenstrømme.

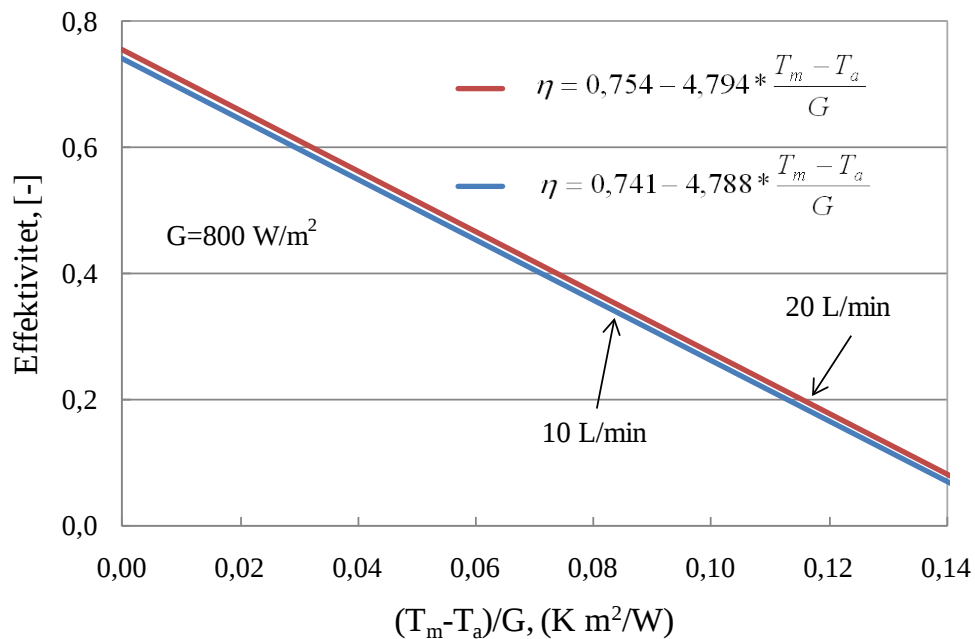
Effektiviteten af den trackende solfanger er bestemt for små indfaldsvinkler ved volumenstrømme på 20 l/min og 10 l/min på samme måde som effektiviteten af den stationære solfanger ud fra målinger fra perioder, hvor solfangeren er vendt mod syd. Figur 11 og 12 viser de målte effektiviteter ved henholdsvis 20 l/min og 10 l/min, og figur 13 viser effektiviteten af den trackende solfanger både ved 20 l/min og 10 l/min. Det ses, at effektiviteten for solfangeren er en smule højere ved 20 l/min end ved 10 l/min.



Figur 11. Effektivitet for den trackende solfanger ved volumenstrømmen 20 l/min for en solbestrålingsstyrke på 943 W/m² og en indfaldsvinkel på 0°.



Figur 12. Effektivitet for den trackende solfanger ved volumenstrømmen 10 l/min for en solbestrålingsstyrke på 982 W/m² og en indfaldsvinkel på 0°.



Figur 13. Effektivitet for den trackende solfanger ved forskellige volumenstrømme for en solbestrålingsstyrke på 800 W/m^2 og en indfaldsvinkel på 0° .

Effektiviteten for små indfaldsvinkler er ved 20 l/min bestemt til:

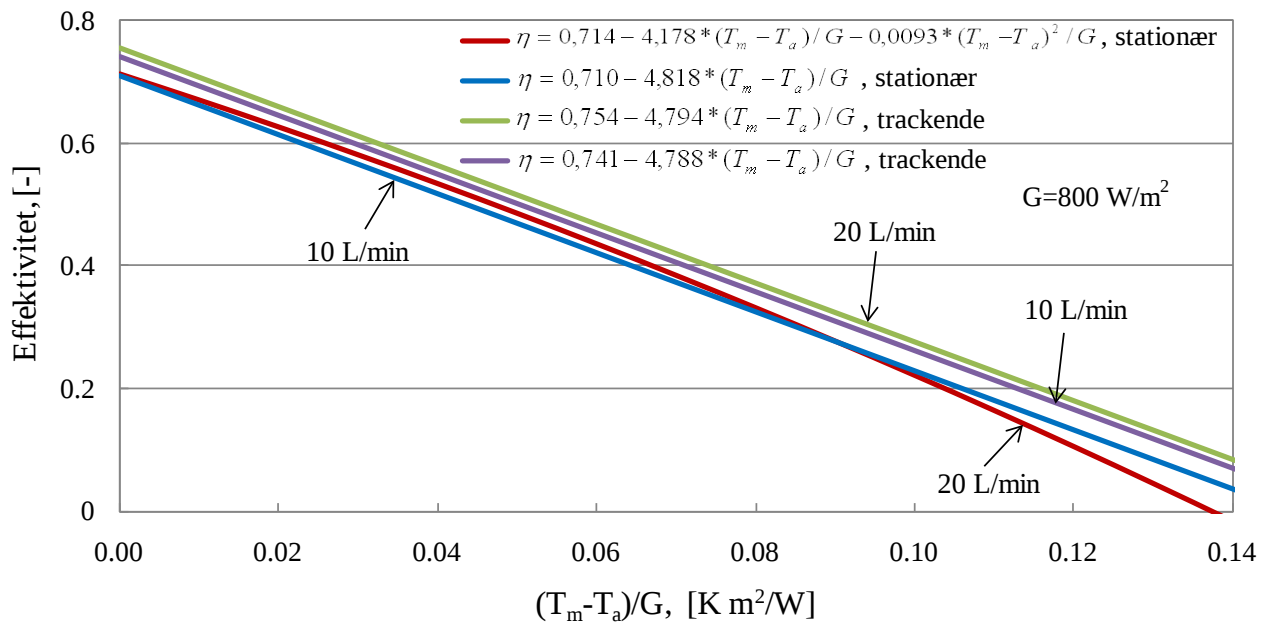
$$\eta = 0,754 - 4,794 * \frac{T_m - T_a}{G},$$

og effektiviteten for små indfaldsvinkler er ved 10 l/min bestemt til:

$$\eta = 0,741 - 4,788 * \frac{T_m - T_a}{G}$$

Indfaldsvinkelkorrektionsfaktorerne for den trackende solfanger blev ikke bestemt ved målinger, men det antages at indfaldsvinkelkorrektionsfaktorerne for den trackende og for den stationære solfanger er ens.

Figur 14 viser effektiviteten for den stationære og den trackende solfanger ved små indfaldsvinkler ved forskellige volumenstrømme. Det ses, at den trackende solfanger har en lidt højere effektivitet end den stationære solfanger.



Figur 14. Effektivitet for den stationære og den trackende solfanger ved forskellige volumenstrømme for en solbestrålingsstyrke på 800 W/m² og en indfaldsvinkel på 0°.

5. Beregnet og målt ydelse af trackende solfanger

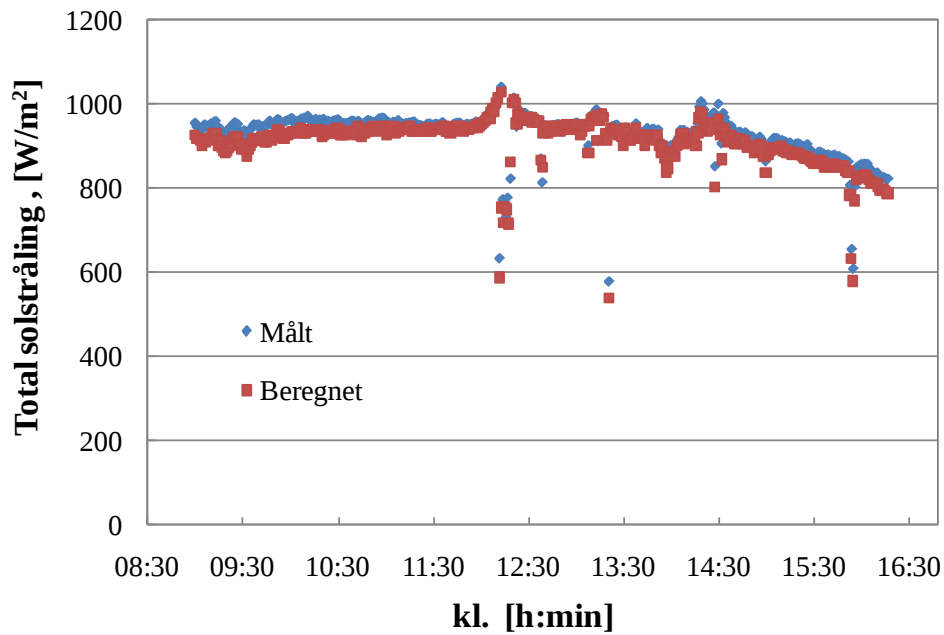
Den målte totale stråling og diffuse stråling på den stationære solfanger benyttes til at bestemme den direkte og diffuse stråling på den trackende solfanger. Det forudsættes at den diffuse stråling er isotropisk, det vil sige at den diffuse stråling på den stationære og den trackende solfanger er den samme. Den målte totale stråling på den trackende solfanger sammenlignes med den beregnede totale stråling, altså summen af den beregnede direkte og diffuse stråling, på den trackende solfanger. Tabel 5 viser den målte og beregnede daglige totale solstråling på den trackende solfanger, og figur 15 og 16 viser den totale målte og beregnede solstråling på den trackende solfanger igennem en solskinsdag og en overskyet dag. Der er set bort fra de dele af dagene, hvor skygger påvirker solfangernes ydelser. Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem målt og beregnet total solstråling på den trackende solfanger, både for solskinsdage og dage med overskyet vejr.

Dato	Målt daglig total solstråling på trackende solfanger, kWh/m²	Beregnet daglig total solstråling på trackende solfanger, kWh/m²	Målt daglig total solstråling på trackende solfanger/Beregnet daglig total solstråling på trackende solfanger
08-03-2011	5,8	5,9	0,97
16-03-2011	4,4	4,6	0,97
02-04-2011	3,7	3,8	1,00
03-04-2011	1,3	1,3	1,02
04-04-2011	4,2	4,3	0,98

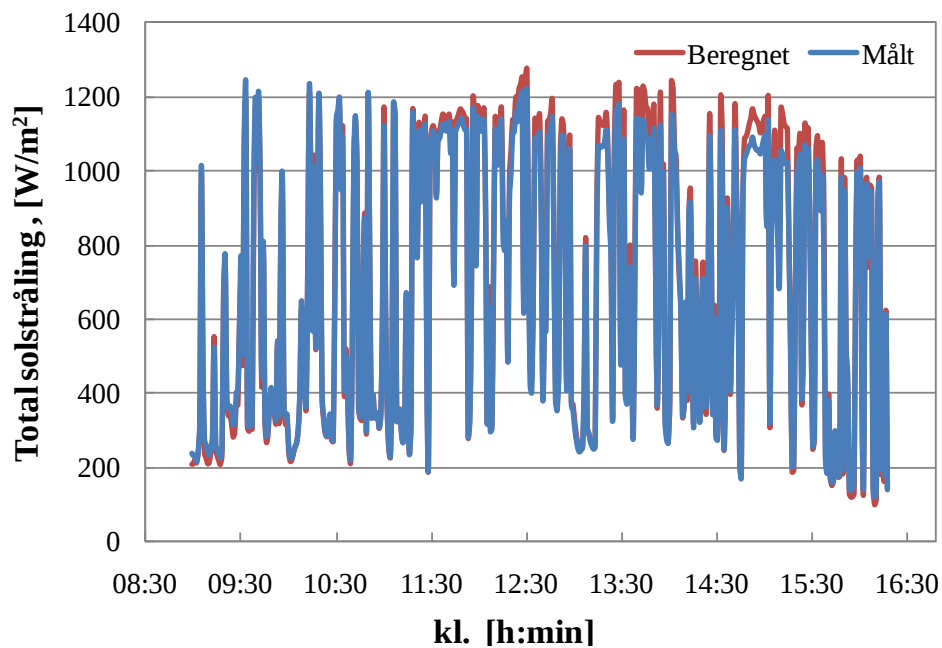
05-04-2011	1,1	1,1	0,99
06-04-2011	0,7	0,7	1,01
07-04-2011	3,8	3,9	0,99
08-04-2011	2,7	2,7	1,00
09-04-2011	6,8	6,9	0,98
10-04-2011	6,1	6,1	0,99
14-04-2011	2,5	2,5	1,00
15-04-2011	4,2	4,2	0,99
16-04-2011	0,8	0,8	1,01
17-04-2011	3,2	3,3	0,98
18-04-2011	6,4	6,5	0,99
19-04-2011	6,6	6,6	0,99
20-04-2011	4,5	4,5	1,00
21-04-2011	5,7	5,7	1,00
22-04-2011	6,3	6,3	1,00
23-04-2011	6,4	6,4	0,99
24-04-2011	6,6	6,6	0,99
25-04-2011	6,4	6,5	0,99
26-04-2011	5,8	5,9	0,99
27-04-2011	5,9	5,4	1,09
28-04-2011	5,4	5,1	1,05
29-04-2011	7,0	6,6	1,06
12-05-2011	3,5	3,5	1,02
13-05-2011	4,2	4,1	1,02
14-05-2011	2,9	2,9	1,01
15-05-2011	3,6	3,5	1,01
16-05-2011	2,3	2,3	1,01
17-05-2011	2,4	2,3	1,02
18-05-2011	1,3	1,3	0,99
19-05-2011	5,3	5,2	1,01
20-05-2011	5,0	4,9	1,03
21-05-2011	5,6	5,5	1,02

22-05-2011	2,9	2,9	1,01
23-05-2011	4,6	4,8	0,98
29-05-2011	3,0	3,1	0,97
30-05-2011	4,9	5,1	0,96
31-05-2011	5,9	5,8	1,02
01-06-2011	7,0	7,2	0,98
04-06-2011	7,0	6,9	1,01
05-06-2011	6,8	6,7	1,02
06-06-2011	5,3	5,2	1,02
07-06-2011	1,5	1,5	1,00
08-06-2011	4,6	4,5	1,03
09-06-2011	1,0	0,9	1,02
10-06-2011	5,0	5,1	0,98
11-06-2011	6,9	6,9	1,00
12-06-2011	4,3	4,2	1,03
13-06-2011	5,2	5,0	1,04
14-06-2011	4,3	4,2	1,01
15-06-2011	6,3	6,3	1,00
16-06-2011	4,8	4,6	1,04
17-06-2011	4,1	4,1	1,00
18-06-2011	1,3	1,3	1,00
19-06-2011	3,9	4,0	0,99
20-06-2011	2,4	2,4	1,01
28-06-2011	7,1	7,0	1,02
29-06-2011	7,2	7,0	1,02
30-06-2011	3,7	3,6	1,01
01-07-2011	3,8	3,7	1,02
02-07-2011	2,8	2,9	0,99
03-07-2011	5,2	5,3	0,97
04-07-2011	1,4	1,4	1,00
Alle dage	294,6	293,3	1,00

Tabel 5. Målt og beregnet total solstråling på trackende solfanger.



Figur 15. Målt og beregnet total solbestrålingsstyrke på trackende solfanger den 5. juni 2011.



Figur 16. Målt og beregnet total solbestrålingsstyrke på trackende solfanger den 10. juni 2011.

På basis af de målte effektiviteter og indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer for den stationære solfanger, den målte direkte og diffuse stråling på den stationære solfanger, udelufttemperaturen og

fremløbstemperaturen beregnes den øjeblikkelige solvarmeydelse for den stationære solfanger igennem hele afprøvningsperioden. Daglige ydelser er beregnet for den del af dagene, hvor skygger ikke har indflydelse på ydelsen. De beregnede ydelser er sammenlignet med målte ydelser i tabel 6 og figur 17. Det ses at der er en god overensstemmelse mellem målte og beregnede daglige ydelser for den stationære solfanger. Beregnede og målte ydelser er sammenlignet igennem tre dage med forskellige fremløbstemperaturer i figur 18, 19 og 20. Det ses, at der også igennem dagene er en god overensstemmelse mellem målte og beregnede ydelser.

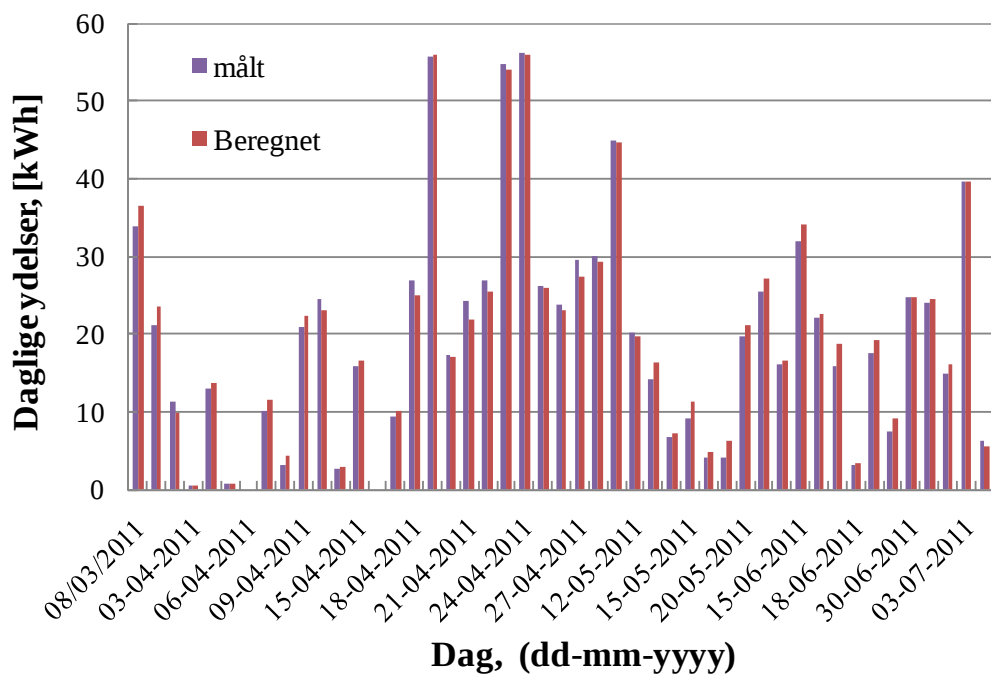
På basis af de målte effektiviteter for den trackende solfanger, de målte indfaldsvinkelkorrektionsfaktorer for den stationære solfanger, den beregnede direkte og diffuse stråling på den trackende solfanger, udelufttemperaturen, fremløbstemperaturen og den trackende solfangers orientering beregnes den øjeblikkelige solvarmeydelse for den trackende solfanger igennem hele afprøvningsperioden. Daglige ydelser er beregnet for den del af dagene, hvor skygger ikke har indflydelse på ydelsen. De beregnede ydelser er sammenlignet med målte ydelser i tabel 7 og figur 21. Det ses at der er en god overensstemmelse mellem målte og beregnede daglige ydelser for den trackende solfanger. Beregnede og målte ydelser er sammenlignet igennem tre dage med forskellige fremløbstemperaturer i figur 22, 23 og 24. Det ses, at der også igennem dagene er en god overensstemmelse mellem målte og beregnede ydelser. Altså er der både for den stationære og for den trackende solfanger en god overensstemmelse mellem målte og beregnede ydelser.

Dato	Målt daglig ydelse, kWh	Beregnet daglig ydelse, kWh	Målt daglig ydelse/Beregnet daglig ydelse
08-03-2011	33,8	36,6	0,92
16-03-2011	21,1	23,7	0,89
02-04-2011	11,3	9,9	1,15
03-04-2011	0,5	0,5	1,08
04-04-2011	13,1	13,7	0,95
05-04-2011	0,8	0,9	0,94
06-04-2011	0,0	0,0	-
07-04-2011	10,1	11,6	0,87
08-04-2011	3,1	4,4	0,69
09-04-2011	21,0	22,4	0,93
10-04-2011	24,5	23,2	1,06
14-04-2011	2,8	2,9	0,95
15-04-2011	15,9	16,6	0,96
16-04-2011	0,0	0,0	-

17-04-2011	9,4	10,2	0,93
18-04-2011	27,0	25,1	1,08
19-04-2011	55,8	55,9	1,00
20-04-2011	17,3	17,2	1,00
21-04-2011	24,4	21,9	1,11
22-04-2011	26,9	25,6	1,05
23-04-2011	54,7	54,1	1,01
24-04-2011	56,2	56,0	1,00
25-04-2011	26,3	26,0	1,01
26-04-2011	23,7	23,2	1,02
27-04-2011	29,7	27,3	1,09
28-04-2011	30,0	29,4	1,02
29-04-2011	44,9	44,7	1,01
12-05-2011	20,2	19,8	1,02
13-05-2011	14,1	16,5	0,86
14-05-2011	6,8	7,3	0,93
15-05-2011	9,2	11,3	0,81
16-05-2011	4,1	4,8	0,85
17-05-2011	4,2	6,4	0,66
20-05-2011	19,6	21,3	0,92
21-05-2011	25,4	27,2	0,93
29-05-2011	16,1	16,6	0,97
15-06-2011	32,0	34,0	0,94
16-06-2011	22,2	22,7	0,98
17-06-2011	15,8	18,7	0,85
18-06-2011	3,2	3,5	0,90
19-06-2011	17,7	19,3	0,91
20-06-2011	7,5	9,2	0,82
30-06-2011	24,9	24,8	1,00
01-07-2011	24,0	24,5	0,98
02-07-2011	15,0	16,0	0,94
03-07-2011	39,6	39,7	1,00

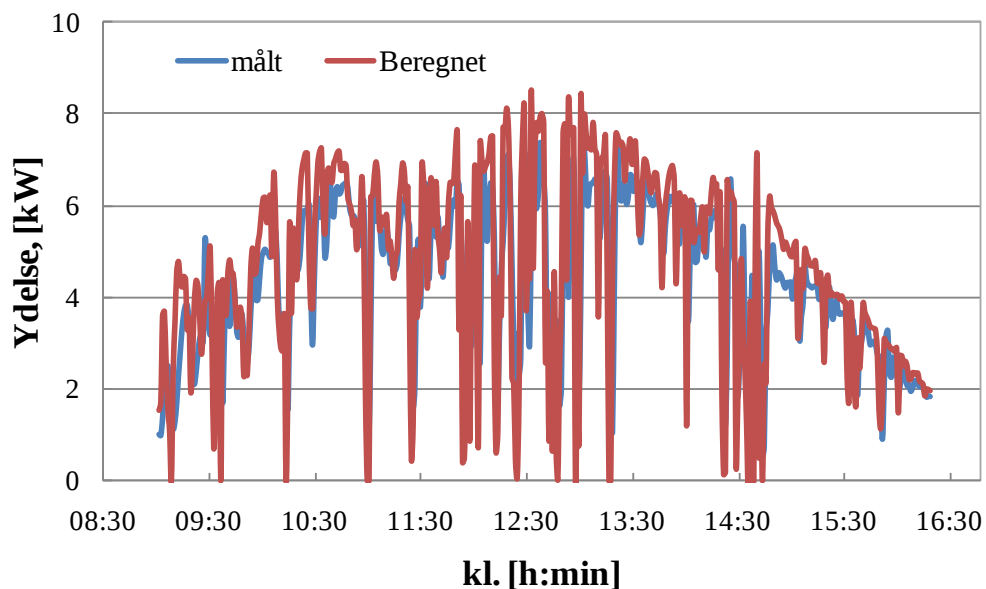
04-07-2011	6,4	5,5	1,16
Alle dage	912,2	931,8	0,98

Tabel 6. Beregnede og målte daglige ydelser for den stationære solfanger.



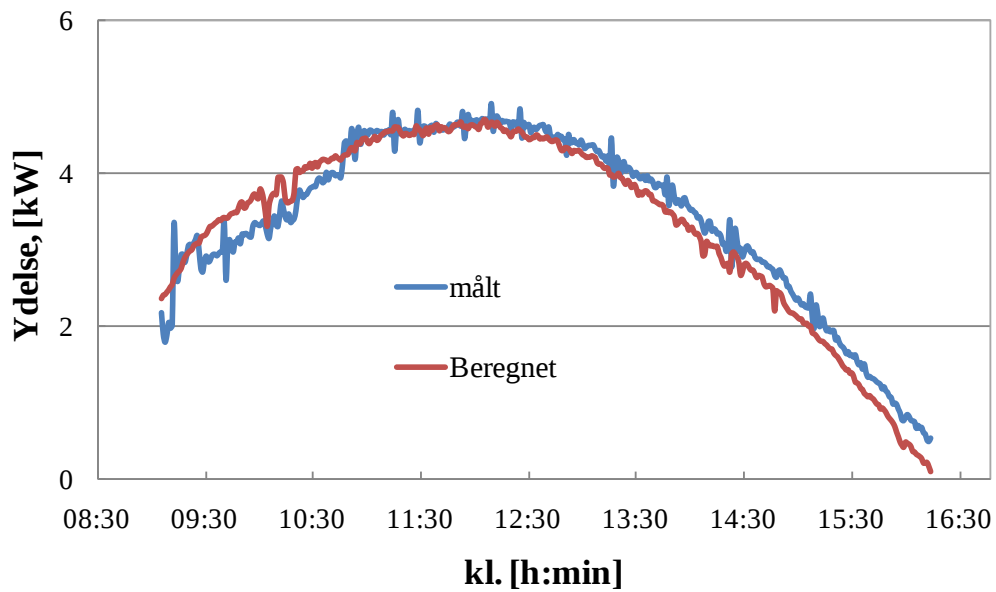
Figur 17. Beregnede og målte daglige ydelser for den stationære solfanger.

15. juni, 2011



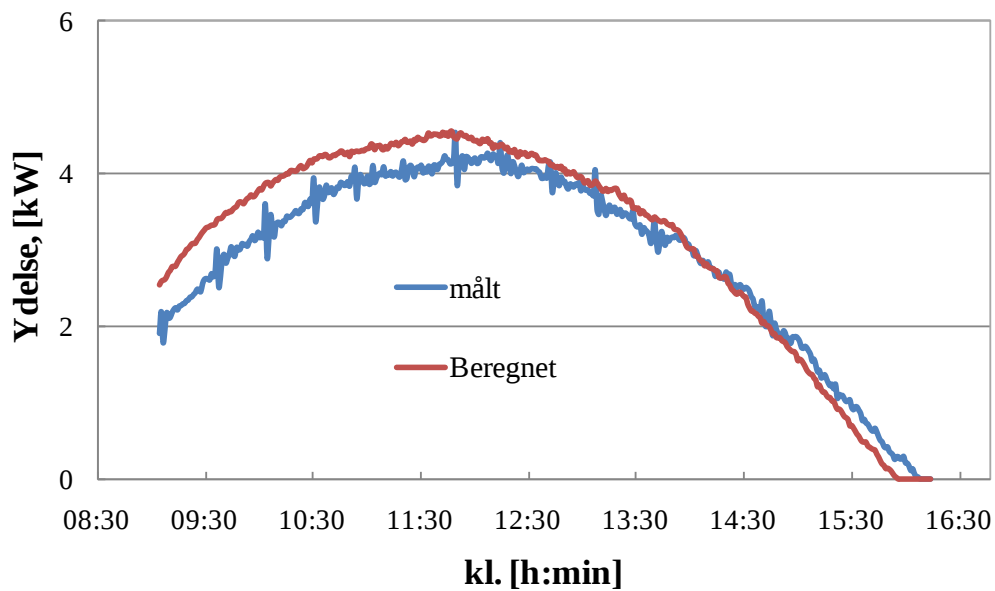
Figur 18. Beregnet og målt daglig ydelse for den stationære solfanger for den 15. juni ved en volumenstrøm på 19,9 l/min og en fremløbstemperatur på 63,1°C.

10. april, 2011



Figur 19. Beregnet og målt daglig ydelse for den stationære solfanger for den 10. april ved en volumenstrøm på 19,8 l/min og en fremløbstemperatur på 82,6°C.

9. april, 2011

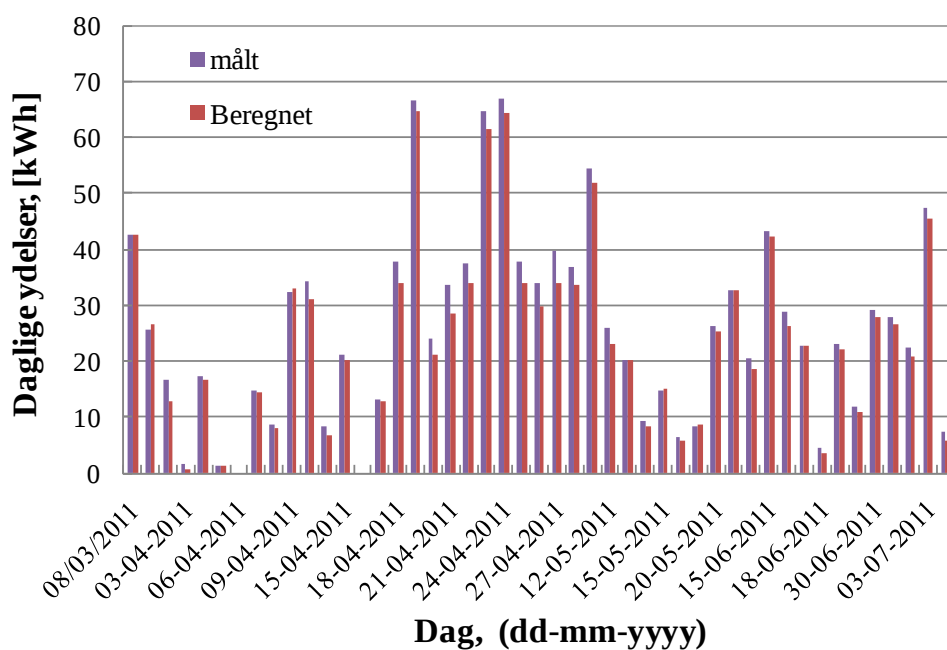


Figur 20. Beregnet og målt daglig ydelse for den stationære solfanger for den 9. april ved en volumenstrøm på 19,5 l/min og en fremløbstemperatur på 91,1°C.

Dato	Målt daglig ydelse, kWh	Beregnet daglig ydelse, kWh	Målt daglig ydelse/Beregnet daglig ydelse
08-03-2011	42,7	42,6	1,00
16-03-2011	25,7	26,7	0,96
02-04-2011	16,7	13,0	1,29
03-04-2011	1,7	0,9	1,93
04-04-2011	17,4	16,9	1,03
05-04-2011	1,4	1,2	1,15
06-04-2011	0,0	0,0	-
07-04-2011	14,8	14,5	1,02
08-04-2011	8,8	8,0	1,10
09-04-2011	32,3	32,9	0,98
10-04-2011	34,4	31,0	1,11
14-04-2011	8,5	7,0	1,23
15-04-2011	21,2	20,2	1,05
16-04-2011	0,0	0,0	-
17-04-2011	13,1	13,0	1,01
18-04-2011	37,9	33,9	1,12
19-04-2011	66,5	64,6	1,03
20-04-2011	24,1	21,3	1,13
21-04-2011	33,6	28,6	1,18
22-04-2011	37,5	33,9	1,11
23-04-2011	64,7	61,6	1,05
24-04-2011	66,9	64,3	1,04
25-04-2011	37,9	33,9	1,12
26-04-2011	33,9	29,8	1,14
27-04-2011	39,9	33,9	1,18
28-04-2011	36,7	33,7	1,09
29-04-2011	54,4	51,8	1,05
12-05-2011	26,1	23,1	1,13
13-05-2011	20,4	20,1	1,01
14-05-2011	9,2	8,4	1,10

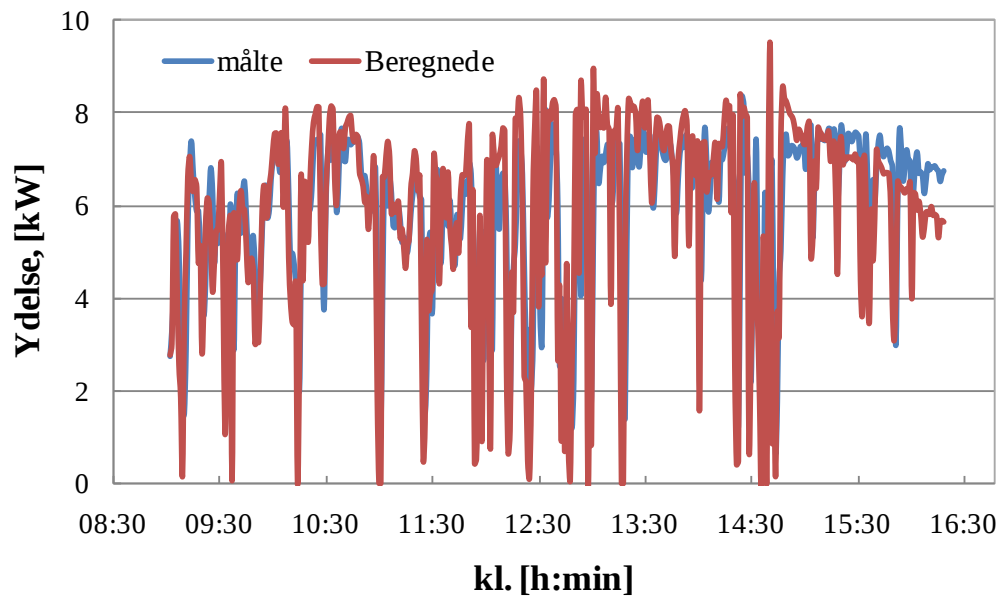
15-05-2011	14,8	15,0	0,99
16-05-2011	6,4	5,8	1,10
17-05-2011	8,4	8,6	0,97
20-05-2011	26,3	25,2	1,04
21-05-2011	32,7	32,6	1,00
29-05-2011	20,4	18,5	1,10
15-06-2011	43,3	42,4	1,02
16-06-2011	28,8	26,3	1,09
17-06-2011	22,9	22,9	1,00
18-06-2011	4,6	3,6	1,29
19-06-2011	23,1	22,3	1,04
20-06-2011	11,8	11,0	1,07
30-06-2011	29,2	27,9	1,04
01-07-2011	27,9	26,6	1,05
02-07-2011	22,6	20,8	1,09
03-07-2011	47,5	45,6	1,04
04-07-2011	7,4	5,7	1,29
Alle dage	1206,4	1131,6	1,07

Tabel 7. Beregnede og målte daglige ydelser for den trackende solfanger.



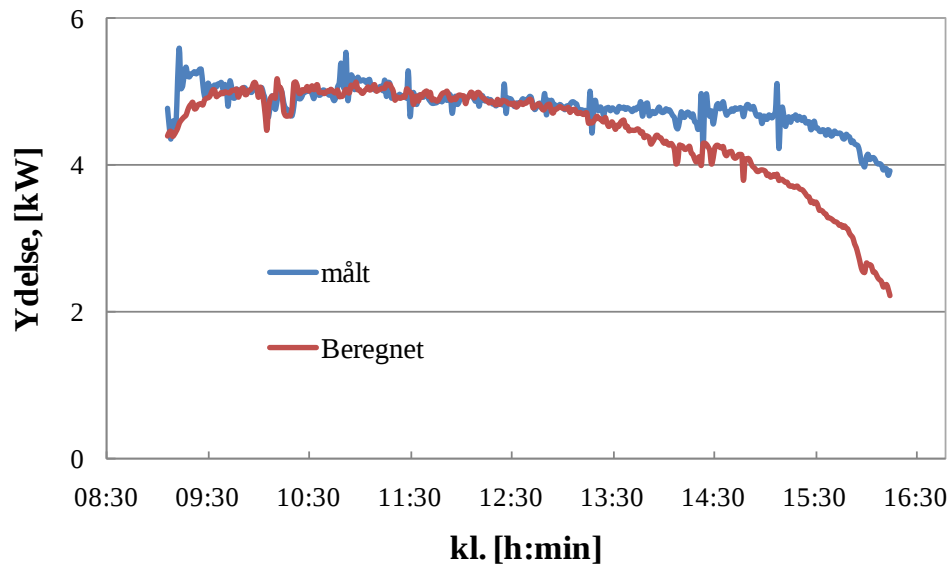
Figur 21. Beregnede og målte daglige ydelser for den trackende solfanger.

15. juni, 2011



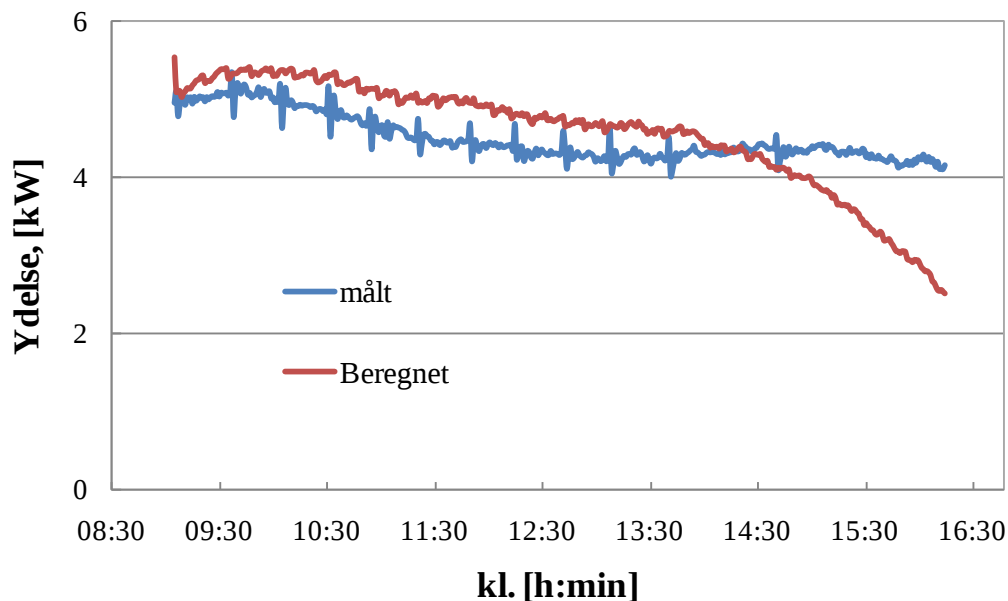
Figur 22. Beregnet og målt daglig ydelse for den trackende solfanger for den 15. juni ved en volumenstrøm på 19,9 l/min og en fremløbstemperatur på 63,1°C.

10. april, 2011



Figur 23. Beregnet og målt daglig ydelse for den trackende solfanger for den 10. april ved en volumenstrøm på 19,8 l/min og en fremløbstemperatur på 82,6°C.

9. april, 2011

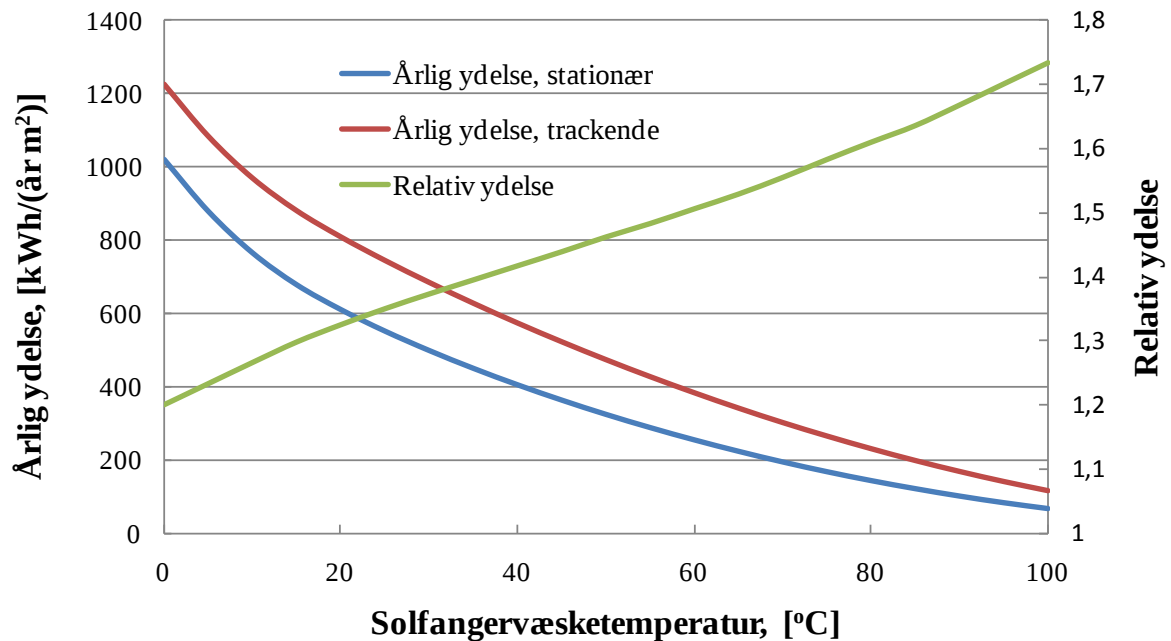


Figur 24. Beregnet og målt daglig ydelse for den trackende solfanger for den 9. april ved en volumenstrøm på 19,5 l/min og en fremløbstemperatur på 91,1°C.

På basis af sammenligningerne konkluderes det, at det er muligt med en rimelig nøjagtighed at beregne ydelsen af den stationære og af den trackende solfanger, når solindfaldet på den stationære solfanger kendes. Derfor er det muligt at beregne ydelsen af den trackende og den stationære solfanger med referenceårets vejrdata.

6. Beregnede årsydelser for stationær og trackende solfanger

Figur 25 viser teoretisk beregnede årlige ydelser i Danmark for en stationær og en trackende solfanger med konstante solfangervæsketemperaturer ved en volumenstrøm på 20 l/min. Beregningerne er foretaget med den målte solfangereffektivitet for den stationære solfanger og modellen der er benyttet i kapitel 4 og 5. Den stationære solfanger antages at være sydvendt og at have hældningen 45°, og den trackende solfanger har hældningen 45° og vender hele tiden direkte mod solen. Figuren viser også den relative årlige ydelse af den trackende solfanger, defineret som forholdet mellem ydelsen af den trackende solfangeren og ydelsen af den stationære solfanger. Den årlige ydelse af den trackende solfanger er højere end ydelsen for den stationære solfanger. Jo højere solfangervæsketemperaturen er, des større er merydelsen: Ved 40°C er merydelsen 42%, ved 60°C 51% og ved 80°C 61%.



Figur 25. Beregnede årsydelser for en stationær og trackende solfanger som funktion af solfangervæsketemperaturen. Den undersøgte stationære solfangers effektivitet er benyttet i beregningerne.

Figur 26 viser teoretisk beregnede årlige ydelser i Danmark for en stationær og en trackende solfanger med konstante solfangervæsketemperaturer ved en volumenstrøm på 20 l/min. Beregningerne er foretaget med den målte solfangereffektivitet for den trackende solfanger og modellen der er benyttet i kapitel 4 og 5. Den stationære solfanger antages at være sydvendt og at have hældningen 45°, og den trackende solfanger har hældningen 45° og vender hele tiden direkte mod solen. Figuren viser også den relative årlige ydelse af den trackende solfanger, defineret som forholdet mellem ydelsen af den trackende solfangeren og ydelsen af den stationære solfanger. Den årlige ydelse af den trackende solfanger er højere end ydelsen for den stationære solfanger. Jo højere solfangervæsketemperaturen er, des større er merydelsen: Ved 40°C er merydelsen 42%, ved 60°C 51% og ved 80°C 60%.

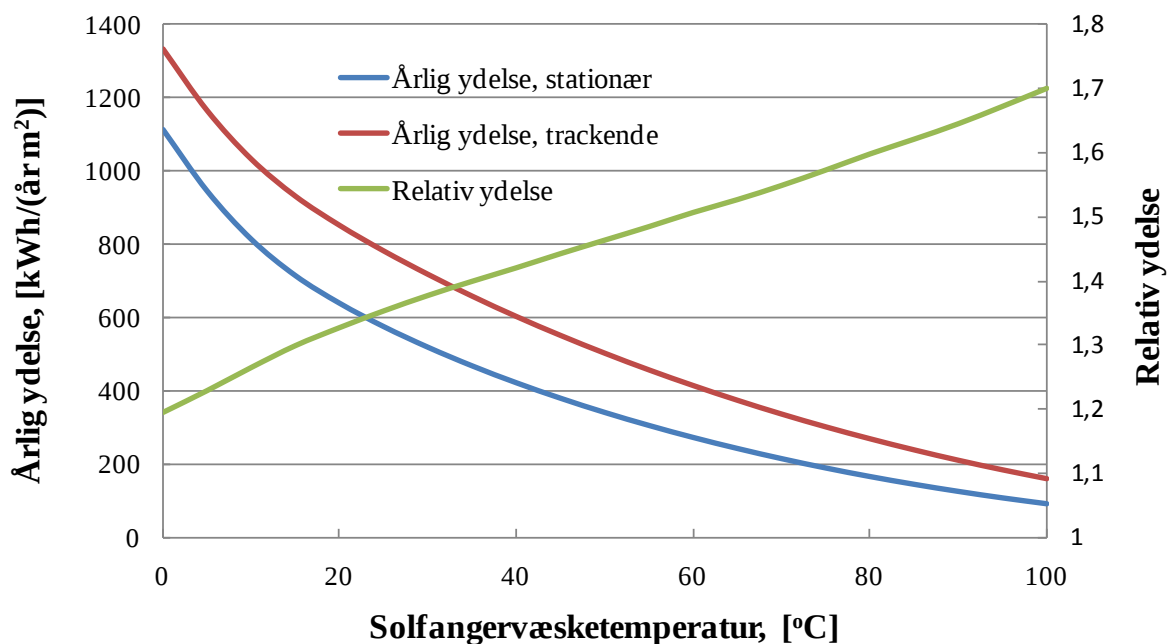
På Dansk Fjernvares hjemmeside [2] er fremløbstemperaturer og returtemperaturer for sommer- og vinterperioder for 219 fjernvarmeanlæg angivet for 2009/2010. De gennemsnitlige fremløbstemperaturer og returtemperaturer for de 219 anlæg fremgår af tabel 8.

Periode	Fremløbstemperatur	Returtemperatur	(Fremløbstemperatur + Returtemperatur)/2
Sommer	74°C	46°C	60,0°C
Vinter	79°C	40°C	59,5°C

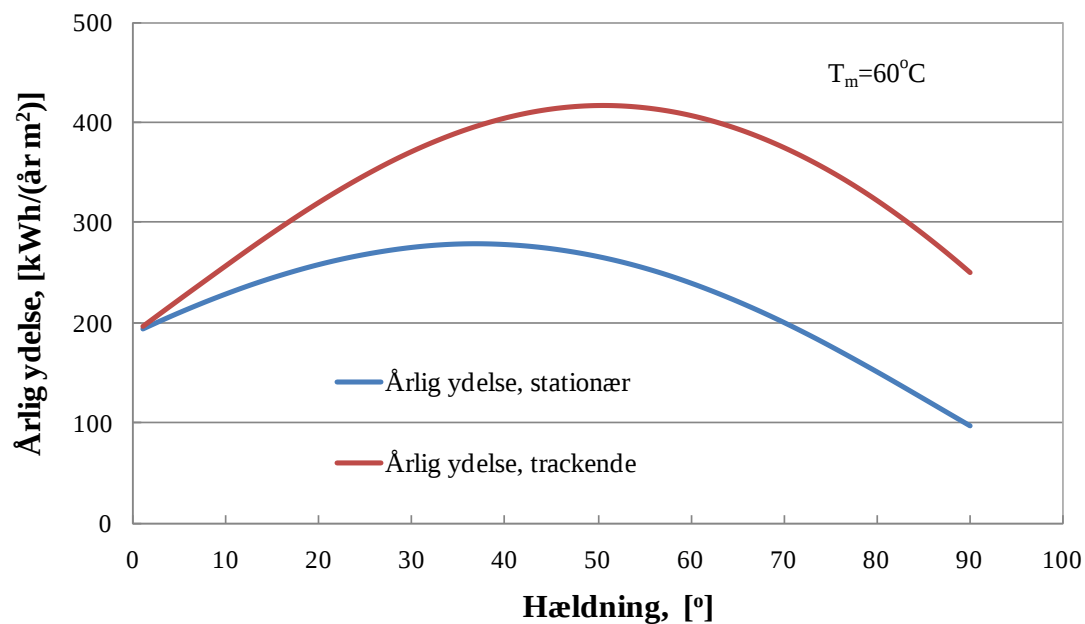
Tabel 8. Gennemsnitlige fremløbs- og returtemperaturer for 219 fjernvarmeanlæg i 2009/2010.

Det ses, at gennemsnitstemperaturen i de danske fjernvarmeanlæg er ca. 60°C igennem hele året. Det vurderes derfor at den årlige merydelse der opnås ved at benytte trackende solfangere i stedet for stationære solfangere i solvarmecentraler er ca. 51%, hvis begge solfangere har en hældning på 45°.

Med en solfangervæsketemperatur på 60°C er der gennemført beregninger af den årlige ydelse af en sydvendt stationær solfanger og en trackende solfanger med forskellige hældninger. Den undersøgte trackende solfangers effektivitet er benyttet i beregningerne. Figur 27 viser den årlige ydelse for den stationære og den trackende solfanger for forskellige solfangerhældninger. Det ses at den optimale hældning for den stationære solfanger er 37° og at den optimale hældning for den trackende solfanger er 51°. Ydelsen for en trackende solfanger med en optimal solfangerhældning er ca. 58% højere end ydelsen af en stationær solfanger med en optimal solfangerhældning.



Figur 26. Beregnede årsydelser for en stationær og trackende solfanger som funktion af solfangervæsketemperaturen. Den undersøgte trackende solfangers effektivitet er benyttet i beregningerne.



Figur 27. Beregnede årsydelser for en stationær og trackende solfanger som funktion af solfangerhældningen ved en solfangervæsketemperatur på 60°C. Den undersøgte trackende solfangers effektivitet er benyttet i beregningerne.

7. Konklusion

Ydelsen af to solfangere fra Sunmark A/S er undersøgt eksperimentelt og teoretisk. Den ene solfanger vender mod syd og har en hældning på 45°. Den anden solfanger er placeret på en tracker med en konstant hældning på 45°. Denne solfangers azimuth ændres igennem hele dagen, så forskellen mellem solens og solfangerens azimuth altid er ca. 15°. Altså er solfangeren næsten altid nogenlunde vendt i solens retning.

Undersøgelserne viste, at den årlige ydelse af en trackende solfanger er højere end ydelsen for en stationær solfanger. Jo højere solfangervæsketemperaturen er, des større er merydelsen. Undersøgelserne viste også at den optimale solfangerhældning er ca. 37° for en stationær solfanger og ca. 51° for en trackende solfanger. Ved en typisk solfangervæsketemperatur på 60°C opnås en merydelse på ca. 58% for en solfanger ved at benytte den undersøgte tracker.

Referencer

- [1] "Undersøgelse af HT solfangere med og uden teflonfolie". Jianhua Fan, Jørgen M. Schultz og Simon Furbo. BYG.DTU, DTU, rapport SR-04-12.
- [2] www.danskfjernvarme.dk

Ydelsen af to solfangere fra Sunmark A/S er undersøgt eksperimentelt og teoretisk. Den ene solfanger vender mod syd og har en hældning på 45° . Den anden solfanger er placeret på en tracker med en konstant hældning på 45° . Denne solfangers azimuth ændres igennem hele dagen, så forskellen mellem solens og solfangerens azimuth altid er ca. 15° . Altså er solfangeren næsten altid nogenlunde vendt i solens retning.

Undersøgelserne viste, at den årlige ydelse af en trackende solfanger er højere end ydelsen for en stationær solfanger. Jo højere solfangervæsketemperaturen er, des større er merydelsen. Undersøgelserne viste også, at den optimale solfangerhældning er ca. 37° for en stationær solfanger og ca. 51° for en trackende solfanger. Ved en typisk solfangervæsketemperatur på 60°C opnås en merydelse på ca. 58% for en solfanger ved at benytte den undersøgte tracker.

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

ISSN 1601-8605