Karakterisering av vakuumrörsolfångare

ett

examensarbete

av

Peter Strömberg

Sökord

Solenergi, solvärme, solfångare, vakuumrör, vakuumrörsolfångare

© copyright Institutionen för arkitektur och byggd miljö,
avdelningen för Energi och ByggnadsDesign,
Lunds tekniska högskola, Lund 2007

Tryckt av KFS AB, Lund 2007

Rapport
Karakterisering av vakuumrörsolfångare
Institutionen för arkitektur och byggd miljö, Lunds tekniska högskola, Lund

Lunds tekniska högskola
Institutionen för arkitektur och byggd miljö
Avd f Energi och ByggnadsDesign
Box 118
221 00 LUND

Telefon: 046 – 222 73 45
Telefax: 046 – 222 47 19
E-post: ebd@ebd.lth.se
Hemsida: www.ebd.lth.se

Sammanfattning

Detta examensarbete är ett arbete där fyra olika typer av vakuumrörsolfångare testas. De kommer från företaget Exoheat i Båstad importerade från det stora vakuumrör landet Kina. Testerna gjordes med en solsimulatorn hos Energi och Byggnadsdesign på LTH som består av sju lampor som belyser den uppställda solfångaren och på detta sätt ska imiterar solljuset. De viktigaste testerna var verkningsgradens temperaturberoende och verkningsgradens beroende av lutningsvinkel för solfångaren. Dessutom testade även longtudinellt och transversellt infallsvinkelberoende, stagnationstemperatur och mörker U-värde. De olika typerna av vakuumrörsolfångare var en plan absorbator med heatpipe, rund absorbator med heatpipe, rund absorbator med U-rör och rund absorbator helt vätskefylld.

Resultatet av verkningsgradens temperaturberoende ger den optiska verkningsgraden och temperaturberoendet för solfångaren. Den optiska verkningsgraden visar hur stor del av den infallande effekten i form av ljusinfall omvandlas till värme i solfångaren vid ingen temperaturskillnad mellan solfångarens temperatur och omgivning, medan temperaturberoendet U-värdet visar hur den nyttiga effekten minskar med ökande temperatur i solfångaren.

Tabell I.1 Optisk verkningsgrad och U-värde för de fyra olika solfångarna.

Solfångare	**Optisk verkningsgrad**	**U-värdet (W/m^2K)**
Plan absorbator heatpipes	0,70	3,2
Rund absorbator heatpipes	0,73	2,2
Rund absorbator U-rör	0,60	2,7
Rund absorbator helt vätskefylld	0,92	3,9

Den helt vätskefyllda har bäst optisk verkningsgrad men har också högst temperaturberoende. Den är den värmetrögaste beroende på att den innehöll 30 kg vatten vilket är betydligt mera än de andra solfångarna.

Lutningsvinkelberoendet visar hur verkningsgraden ändras beroende på solfångaren lutningsvinkel. Vinkelrätt infall mot solfångaren under mätningarna behålls genom att solhöjden ändras med lutningsvinkeln. Resultatet för lutningsvinkelberoendet visade att för de båda solfångarna med heatpipes så minskade effekten och därigenom verkningsgraden mycket vid låga lutningsvinklar. De bör inte monteras vid lutningsvinklar mindre än 30^{o}. Den helt vätskefyllda fungerade dåligt vid höga lutningsvinklar och bör monteras vid maximalt 60^{o} lutning. Verkningsgraden hos solfångaren med U-rör visade ingen skillnad beroende på vilken vinkel den monterades i.

För att beräkna årsutbytet för hur mycket energi de olika solfångarna ger, så gjordes en simulering med programmet Winsun. Simuleringen gjordes för Lund med 30 ^{o} lutningsvinkel på solfångaren. Drifttemperaturen i solfångaren varierades beroende på månad så att det var relativt låg drifttemperatur under vintermånaderna, 40 ^{o}C i januari, hög temperatur på sommar månaderna, 65 ^{o}C i juni, och en stigande skala där i mellan. Resultat kan ses i tabell I.2.

Tabell I.2 Simulerat årsutbyte för de fyra olika solfångarna med programmet Winsun.

Solfångare	**Årsutbyte kWh/(m^2 år)**
Plan absorbator heatpipes	617
Rund absorbator heatpipes	690
Rund absorbator U-rör	529
Rund absorbator helt vätskefylld	822

Abstract

This master thesis is a work where four different types of vacuumpipe solarcollectors are tested. The come from the company Exoheat in Båstad imported from the big vacuum-pipe country China. The test where made with a solar simulator at the division of Energy and Building Design at LTH. The simulator contains seven lamps, who illumate the present solar collector and there by imitate the sunlight. The most important tests were was the efficiency dependence of temperature and collector tilt. Horizontal and vertical angle of incidence dependent, stagnation temperature and dark U-value were also tested. The different types of vacuumpipe solarcollectors were one with plane absorber and heatpipe, one with a round absorbent and heatpipe, one with a round absorbent and U-pipe and a round absorber that was completely filled with water.

The dependence of the efficiency on temperature gives the optical efficiency and the temperature dependent. The optical efficiency shows how big part of the in falling intensity of radiation is converted to heat in the solar collector with no temperature difference between the solar collector and the surrounding temperature, while the temperature dependent U-value shows how the thermal power decreases with rising temperature in the solar collector.

Table II.1 Optical efficiency and U-value for the four different solarcollectors

Solar collector	**Optical efficiency**	**U-value (W/m^2K)**
Plane absorber with heat pipe	0,70	3,2
Round absorber with heat pipe	0,73	2,2
Round absorber with U-pipe	0,60	2,7
Round absorber completely liquid filled.	0,92	3,9

It can be seen that the completely liquid filled has the best optical efficiency and the highest heat loss factor. It contains a large volume of water, which means that it gets a very high thermal inertia.

The result of the efficiency dependence of the tilt of the solar collector shows that the solar collectors with heatpipes should not be installed in an angular tilt les then 30^{o}. On the contrary was discovered for the completely liquid filled solar collector, they worked poorly at high angular tilts and should not be installed with a higher angular tilt than 60^{o}. The solar collector with U-pipes exhibited no difference in the efficiency dependent which angular tilt.

An annual energy simulation with the program Winsun for Lund at a collector tilt of 30^{o} and with different operation temperature for different months, gives following result.

Table II.2 Estimated annual output with the simulation program Winsun.

Solarcollecter	**Year exchange kWh/(m^2 year)**
Plane absorber with heatpipe	617
Round absorber with heatpipe	690
Round absorber with U-pipe	529
Round absorber completely filled with water.	822

Innehåll

Sammanfattning 3
Abstract 5
Innehåll 7
Förord 9
1 Inledning 11
1.1 Bakgrund 11
1.2 Syfte 11
2 Teori 13
2.1 Vakuumrör 14
2.2 Heatpipe 15
3 Mätning 17
3.1 Mätutrustning 17
3.2 Mätprocedur 18
3.3 Plan absorbator VA 1670 19
3.3.1 Intensitet från lamporna 20
3.3.2 Verkningsgraden vid olika temperaturer 21
3.3.3 Longitudinellt vinkelberoende 24
3.3.4 Transversellt vinkelberoende 26
3.3.5 Kontroll av mätningarna 27
3.3.6 Solfångarens lutningsvinkelberoende 30
3.3.7 Stagnationstemperatur 32
3.4 Rörsolfångaren VA 1858 33
3.4.1 Intensiteten från lamporna 33
3.4.2 Mörker U-värde 34
3.4.3 Verkningsgraden vid olika temperaturer 34
3.4.4 Longitudinellt vinkelberoende 36
3.4.5 Transversellt vinkelberoende 38
3.4.6 Lutningsvinkeln för solfångaren 40
3.4.7 Stagnationstemperatur 42
3.4.8 U-värde enskilt rör 43
3.4.9 Mätning på enskild heatpipe 44
3.5 Rörsolfångaren med U-rör 46
3.5.1 Intensiteten från lamporna 46
3.5.2 Mörker U-värde 46
3.5.3 Verkningsgraden vid olika temperaturer 48
3.5.4 Longitudinellt vinkelberoende 50
3.5.5 Transversellt vinkelberoende 52
3.5.6 Lutningsvinkeln för solfångaren 53
3.5.7 Stagnationstemperatur 55
3.6 Rörsolfångaren helt vätskefylda kuzeySAN 56
3.6.1 Intensiteten från lamporna 56
3.6.2 Mörker U-värde 57
3.6.3 Verkningsgraden vid olika temperaturer 57
3.6.5 Lutningsvinkeln för solfångaren 59
3.6.6 Longitudinellt vinkelberoende 61
3.6.7 Transversellt vinkelberoende 63

3.5.8 Stagnationstemperatur 63
4 Simulering av årsutbytet 65
5 Analys av mätningarna 67
Referenser 71
Bilaga 1 Mätningar på plan absorbator 73
Bilaga 2 Rund absorbator 83
Bilaga 3 U-rör 93
Bilaga 4 Helt vätskefyllda 99

Förord

Denna rapport utgör mitt examensarbete vid avdelningen för Energi och Byggnadsdesign, institutionen Arkitektur och Byggd Miljö vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 30 p och innebär avslutningen på civilingenjörsutbildningen Maskintekning med inriktning mot energiteknik och energihushållning.

Examensarbetet är utfört i samarbete med Exoheat AB som har levererat solfångarna som har testat. Arbetet har utförts med en solsimultor på avdelningen för Energi och Byggnadsdesign institutionen Arkitektur och Byggd Miljö vid Lunds Tekniska Högskola.

Jag vill tacka examinatorn Björn Karlsson som initierade detta projekt och som jag har kunnat fråga under projektets gång och Håkan Håkansson som har lärt mig köra solsimulatorn och hjälpt mig att köra den, samt lagat den när den har gått sönder. Jag vill också tacka Robert Sundquist på Exoheat.

Slutligen vill jag tacka alla min familj för att de har stöttat mig under den här tiden.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vakuumrörsolfångare utvecklades redan på 80-talet men har haft begränsad användning på grund av dess höga kostnader. Denna situation har dock förändras tack vara att vakuumrörsolfångare tillverkas billigt i Kina och exporteras till Europa. I Kina är tillverkningen av avancerade vakuumrören stor industri och dominerar solfångarmarknaden. Ett flertal svenska företag importerar vakuumrör från Kina och installerar dessa i svenska solvärme system. Ett av de svenska företag som importerar ett flertal olika typer av vakuumrör från Kina är Exoheat i Båstad. Inom examensarbetes ram ska prestandan hos dessa vakuumrör karakteriseras. Karakteriseringen ska huvudsakligen ske med den solsimulatorn som finns vid institutionen för byggande och arkitektur vid LTH.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att testa de olika solfångarna för att se om där finns några skillnader på hur de fungerar, samt bestämma verkningsgrad och temperaturberoende för de olika solfångarna. Syftet är också att utröna om det går upptäcka några specifika egenskaper som de enskilda solfångarna har.

2 Teori

Ljuset från solsimulatorn är parallellt och är riktat mot solfångaren (bara lite ljus träffar golvet framför). Det innebär att den diffusa (I_d) och markreflekterade (I_g) instrålningen kan sättas till 0 och att $I = I_b$. En ekvationen för energiutbytet från solfångaren kan då skrivas.

$$Q/A = F'(\tau\alpha)_n K_b(\theta) I_b - F'U\Delta T \quad (2.1)$$

Där $F'(\tau\alpha)_n$ är den optiska verkningsgraden och $F'U$ temperaturberoendet för solfångaren. Det är dessa parametrarna som skall bestämmas.

$K_b(\theta)$ är infallsvinkelberoendet för solfångaren och är

$$K_b(\theta) = 1-|b_0|(1/\cos(\theta)-1) \text{ för } \theta \leq 60^o \quad (2.2)$$

Temperaturskillnaden ΔT bestäms genom

$$\Delta T = T_m - T_a$$

$$T_m = (T_{in} + Tut)/2$$

Q = Solfångarens effekt W
I_b = Solsimulatorns intensitet W/m^2
A = Solfångarens area
T_m = värmebärarens medeltemperatur ^{o}C
T_a = omgivande lufttemperatur ^{o}C
T_{in} = inloppstemperaturen hos värmebäraren ^{o}C
T_{ut} = utloppstemperaturen hos värmebäraren ^{o}C

Solfångarutbytet bestäms genom formeln:

$$Q = V_f * \rho * C_p * (T_{ut} - T_{in}) \quad (2.3)$$

V_f = volymflödet
ρ = densiteten för värmebäraren (i detta fall vatten)
C_p = specifika värmekapaciteten för värmebäraren (temperaturberoende)

Verkningsgraden för solfångaren kan då beräknas genom[1].

$$\eta = Q/(I_b A) = F'(\tau\alpha)_n K_b(\theta) - F'U\Delta T/ I_b \quad (2.4)$$

[1] Karlsson B 2005

2.1 Vakuumrör

Vakuumrörsolfångare består av en absorbator och ett glasrör med vakuum i som fungerar som isolering. Dessa är effektivare än plana solfångare eftersom vakuum förhindrar konvektionsförluster i högre utsträckning än vanlig isolering. Vakuumrör lämpar sig därför bra för högre temperaturer eller användning i kallare klimat där temperaturskillnaderna är större. Däremot har de nackdelen att de har lägre optiskt verkningsgrad än plana solfångare. De har länge varit dyrare men det ändrar sig med import av billiga vakuumrör från Kina.

Det finns två typer av vakuumrör på marknaden, dels med ett glas där absorbatorn är placerad i vakuum och dels med två glas med vakuum mellan där absorbatorn är placerad i atmosfärstryck, se figur 2:1 Det enkla glasröret innehåller en absorbatorfläns av samma typ som för plana solfångare medan det dubbla glaset har ett selektivt sikt på utsidan av det inre glasröret[2].

Figur 2.1 Övre bild: Heat-pipe med enkelt glas och plana absorbator.

Under bild: Heatpipe med dubbelt glasrör där det absorberande skiktet sitter på utsidan av det inre röret.

Det finns olika tekniker för att överföra värmen från absorbatorn till manifoldern. En av de teknikerna är heatpipe som man ser i figur 2.1 som beskrivs i 2.2. En annan teknikerna är U-rör där det strömmande mediet strömmar ner i vakuumröret i ett rör som är böjt längs ner och sedan vänder upp igen. Böjda aluminiumflänsar överför värmen från den absorberande ytan in till värmemediet. Hur dessa är utformade ger stor inverkan på värmeöverföringen och därigenom den optiska verkningsgraden för solfångaren. Detta gäller för både U-röret och heatpipen med rund absorbator. Den sista tekniken har ett helt vätskefyllt inre rör. Värmeöverföringen till samlingsröret sker genom att varm vatten stiger och kallt vatten sjunker naturligt ner i röret.

[2] Mundt-Petersen K 2007

2.2 Heatpipe

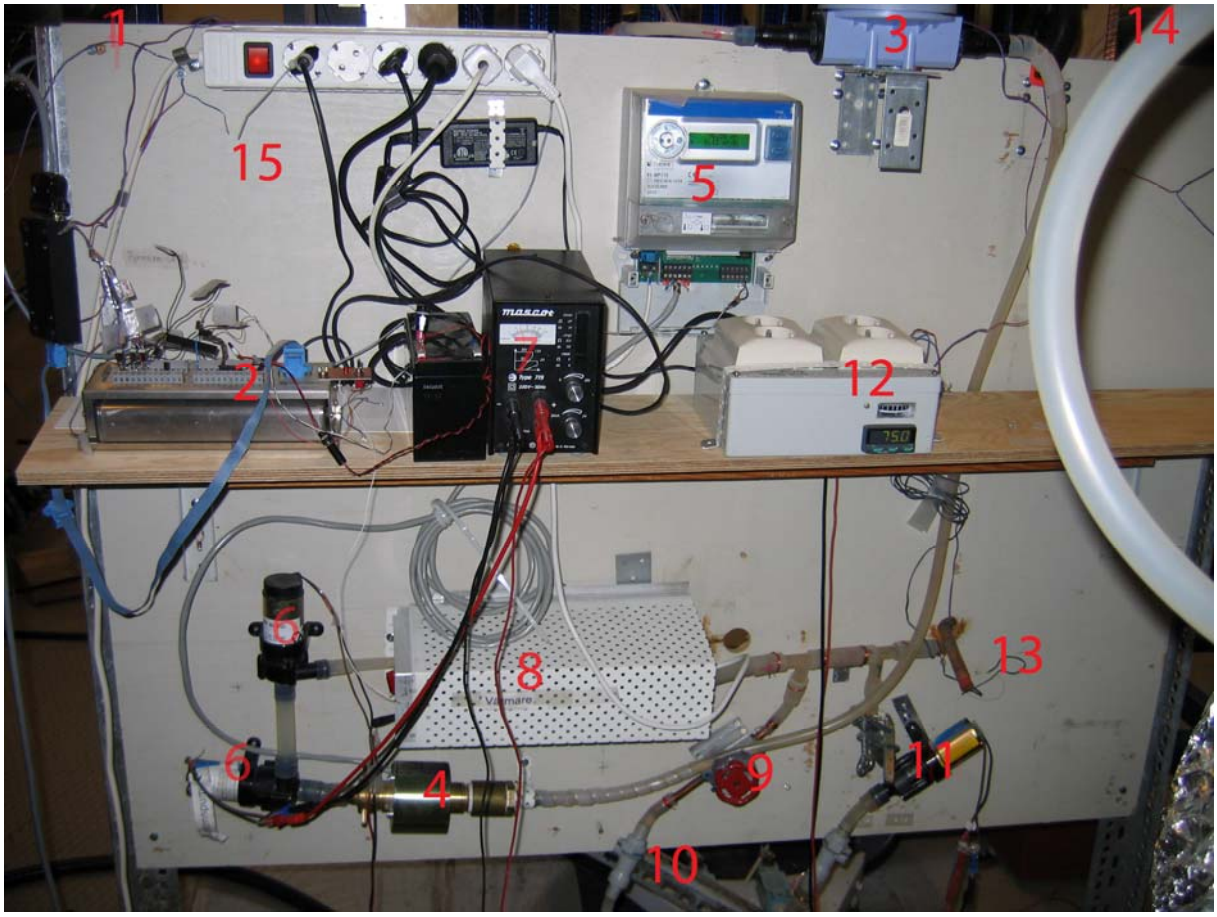
En heatpipe är en teknik för att förflytta värme energi från vakuumsolfångarens absorbator till vattnet i manifoldern. Den består av ett koppar rör som innehåller en förhållandevis liten mängd av ett värmemedium som lätt förångas. Värmemediet består oftast av vatten, etanol eller ammoniak, i vårt fall så är värme mediet vatten. När solfångaren belyses så absorberas strålningen av absorbatorn vilket leder värmen till kopparöret där mediet förångas och stiger uppåt till en vidgning i röret, som står i kontakt med vattnet i solfångarkretsen. Här kondenseras ångan, varvid förångningsvärmen lämnas till vattnet i solfångarkretsen genom cylinderns väggar. Mediet rinner neråt igen och kan åter förångas vid kontakt med kopparrörets insida. Fördelarna med heatpipe är att värmeöverföringen kan bli mycket högre än vid värmeledning i ett fast material. De har stor kan med stor effektivitet överföra energi. Det går lätt att byta ut ett vakuumrör utan att man behöver tömma hela kretsen. En nackdel med heatpipes är att de inte fungerar speciellt bra vid horisontellt läge eller låga lutningsvinklar eftersom det kondenserande mediet i bulben ska ha möjlighet att rinna tillbaka ner i heatpiperöret[3].

[3] Wikipedia 2007

3 Mätning

3.1 Mätutrustning

Solen simuleras med sju lampor som ger parallellt ljus mot solfångaren.



Figur 3.1 Mätutrustningen för att mäta energin och temperaturer från solfångaren.

Vattnet kommer ut ur solfångaren vid utloppet 1 där temperaturen mäts med en temperaturgivare. Informationen om utlopps temperaturen skickas till loggern 2 som skickar den vidare till datorn som samlar alla mätdata. Vattnet går sedan i slang till expansionskärlet 3, det går sedan vidare till en induktiv flödesgivare 4 som skickar information om flödet till mätaren 5. Sedan pumpas vattnet av två seriekopplade pumpar 6 vidare genom en värmare 7 som kan ställas in på fyra olika värmningseffekter. Vattnet delas upp, där en del går ner genom strypventil 8 och vidare genom en luftvärmeväxlare 9 där vattnet kyls ner till rumstemperatur. Flödet genom luftvärmeväxlaren 10 pumpas med en pump 11 som styrs av en PID-regulator 12. Det nerkylda vattnet blandas sedan med vattnet som inte gick genom slingan ner till luftvärmeväxlaren kort därefter så mäts temperaturen på vattnet med en temperaturgivare 13. Denna temperatur skickas till regulatorn 12. Vattnet går sedan vidare till inloppet till solfångaren 14. Inloppstemperaturen mäts med en temperaturgivare. Lufttemperaturen mäts också med en temperaturgivare 15.

3.2 Mätprocedur

Det krävs en viss procedur för att starta och ställa in utrustningen.
Mätningen starta genom att man gör följande.
Slår på huvudströmbrytaren.
Kopplar in logger till batteriet.
Sätter i kontakt till luftvärmeväxlarens fläktar.
Kollar strypventil öppen, styrningen kan regleras med strypventilen.
Ställer in flödet av vätska i solfångaren till ca 0,1 m^3/h med likspänningsnivån till cirkulationspumparna.
Ställer in inloppstemperaturens börvärde på regulatorn.
Ställer eventuellt in värmaren effekt.
På datorn görs följande.
Loggerprogrammet PC208W startas.
Trycker på connect på loggerprogrammet för att få kontakt med loggern.
Sätter klockan på programmet med set dattalogger Uk.
Kontrollerar sökväg för programmet för loggern (solcoll 6 eller solcoll 7).
Sänder iväg programmet med send.
Trycker på 1 för att kunna se de olika mätkanalerna. Kontrollera så alla kanalerna skickar data.

För att starta solriggen gör man följande.
Sätter igång 2 pumpar till en annan uppställning som måste vara igång för att solriggen ska kunna startas.
Slå på huvudströmbrytare1.
Slå av säkerhetsreläet.
Slå på huvudströmbrutrare2 för lamporna.
På datorn görs följande.
Solrigg.gef tryck stop stoppar projektet.
Solriggarbetsbild startas.
Trycker på Till på solriggprogrammet.
Trycker på Man kollar så att solriggen kan röra på sig.
Väljer belysninggrupp A.
Start när man vill flytta vinklarna solhöjd och azimut.
Bel startar belysningen.

För att få in mätdata in i exel
I loggerprogrammet PC208W välj collect all och välj filnamn som det aktuella datumet eller annat valfritt namn.
Välj öppna i Excel och välj visa alla filer. Öppna filen som du precis skapat i loggerprogrammet. I dialog rutan som kommer upp ska du välja komma som decimal avgränsare och välj sedan slutför.
Kopierar de fälten som du är intresserad av och kopiera in dem i ett dokument som transformerar loggerns tidsformat till Windows tidsformat.

3.3 Plan absorbator VA 1670

Solfångaren som skall karakteriseras är en vakuumrörsolfångare med plan absorbator. Med detta menas att det finns en plan absorbator inne i vakuumröret vilken är fäst vid ett kopparrör vilket är en heatpipe. Absorbatorn har en selektiv yta som har hög absorbtans för solstrålningen och låg emmitans för värmestrålning. Värmen absorberas alltså av den plana selektiva ytan som finns i ett vakuumrör. Vakuumet hindrar konvektiv värmeöverföring från absorbatorn. Värmen leds in till kopparöret som är en heatpipe där köldmediet vatten förångas och värmen stiger till heatpipens topp. Där kondenseras vattnet igen och avlämnar sin energi till det vatten som flyter förbi i samlingsröret. Solfångaren består av 10 vakuumrör uppsatta i ett samlingrör.

Figur 3.2 Ovandelen av ett vakuumrör med plan absorbator med heatpipe.

3.3.1 Intensitet från lamporna

Lamporna ska leverera parallellt ljus som ska ha så jämn intensitet möjligt. Mäter den genomsnittliga intensiteten på den area som den aktuella solfångaren upptar.

Figur 3.3 Lamporna med reflektorer som levererar parallellt ljus mot solfångarna.

Ljusintensiteten mäts med en flyttbar pyranometer på 5x8 punkter på solfångaren. En multimeter ansluten till pyranometer läses av manuellt när värdet har stabiliserat sig.

Tabell 3.1 Ljusintensiteten uppmätt i 40 punkter på solfångarens yta.

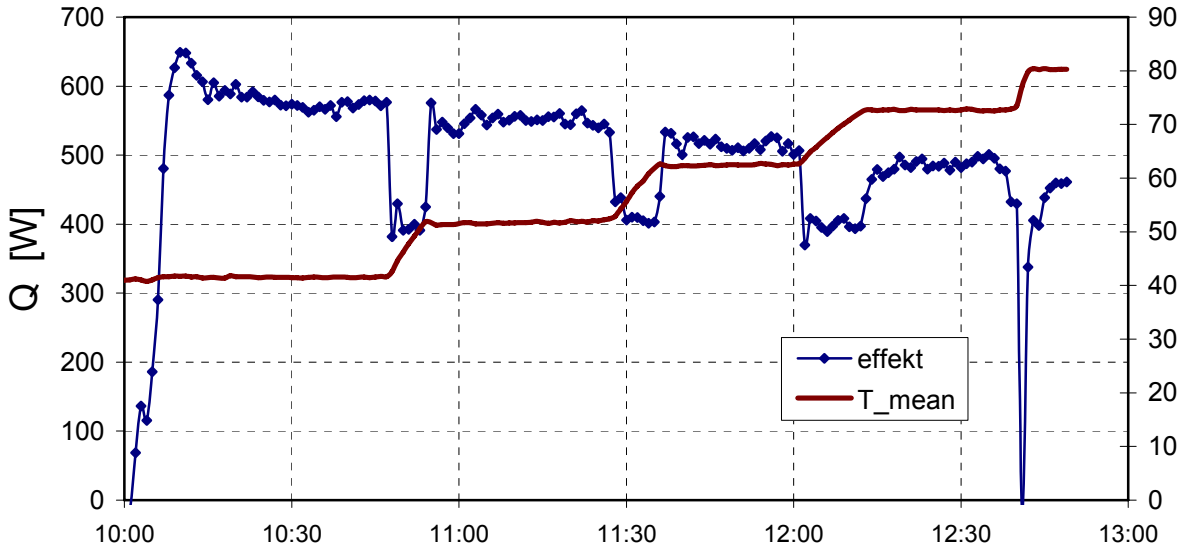
882	844	806	730	743
995	938	1008	957	856
1026	1058	1071	1052	919
1102	1071	1115	888	863
1134	932	806	724	781
1071	901	812	831	888
938	945	913	875	894
907	730	743	686	819
			Medelvärde	906

Intensiteten varierar från 724 till 1134 W/m^2 vilket är relativt stor variation. Därför måste instrålningen mätas ytriktigt och göras för varje solfångaruppställning.

3.3.2 Verkningsgraden vid olika temperaturer

Ur dessa mätningar bestäms parametrarna optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet U-värdet för solfångaren $F'U$ genom att mäta solfångarens verkningsgraden vid olika temperaturer. Mätningarna utförs vid inloppstemperaturerna 40, 50, 60, 70 och 78 °C. Den infallande intensiteten mäts med en pyranometer under försöket intill solfångaren.

$$\eta = Q/(I_b A) = F'(\tau\alpha)_n K_b(\theta) - F'U\Delta T / I_b \qquad (2.4)$$



Figur 3.4 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av temperaturen i solfångaren vid olika tidpunkter.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämnvikt för de olika temperaturerna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.2.

T_mean = (Tin+Tut)/2 medeltemperaturen i solfångaren.
DeltaT = T_mean – Tomg skillnaden mellan temperaturen i solfångaren och utanför.
Heat-pipens temperatur mäts med termoelement T_heat_p.
Termoelementet DT_yta visar temperaturskillnaden mellan glas och luft på rörets baksida.

Tabell 3.2 Medelvärden för mätningen figur 3.4 under olika tidpunkter.

Temperatur	40	50	60	70	78
Start	10:25	11:02	11:47	12:26	12:47
Slut	10:47	11:26	12:00	12:38	12:49
Q (W)	572,522	552,31	512,59	488,14	459,83
I (W/m^2)	932,174	929,44	928,29	928,23	924
T_mean	41,5252	51,763	62,502	72,662	80,267
DeltaT	20,5783	29,923	38,907	49,104	55,53
T_heat_p	65,7461	73,792	82,414	90,885	96,533
DT_yta	3,02952	3,6602	4,1029	4,574	4,542

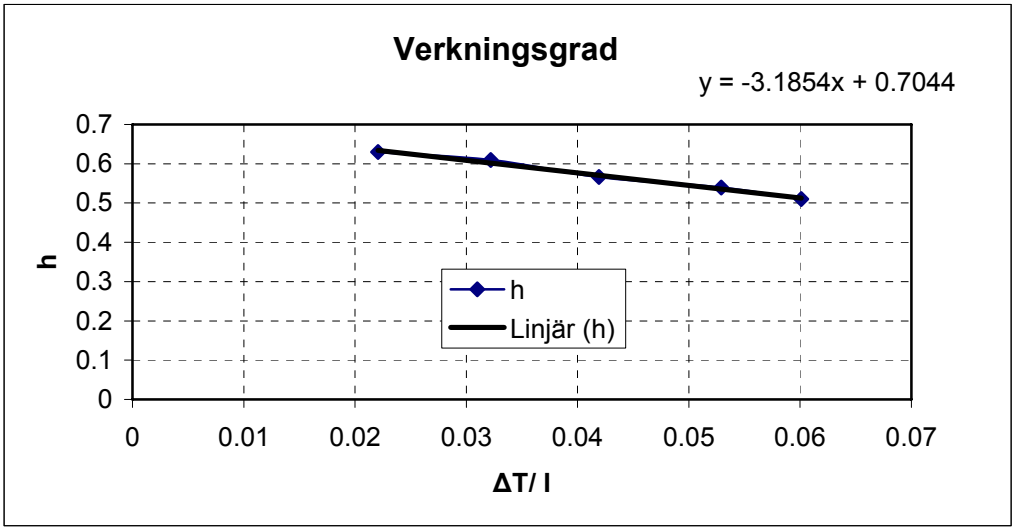
Temperaturskillnaden mellan heatpipen och värmebäraren är omkring 20 ^{o}C

Ur data från tabell 3.2 beräknas verkningsgraden för de olika temperaturerna. Parametern ΔT/ I fås ur ekvation 2.4.

Tabell 3.3 Beräknade verkningsgrader vid de olika temperaturerna.

Temperatur	40	50	60	70	78
η =Q/(I*A)	0,62993	0,6095	0,5663	0,5394	0,5104
ΔT/ I ($°C*m^2/W$)	0,02208	0,0322	0,0419	0,0529	0,0601

Ur data från tabell 3.3 görs en linjär trendlinje för att bestämma den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet $F'U$.



Figur 3.5 Trendlinje över verkningsgraderna vid olika temperaturer.

Detta ger den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet F´U från trendlinjen.

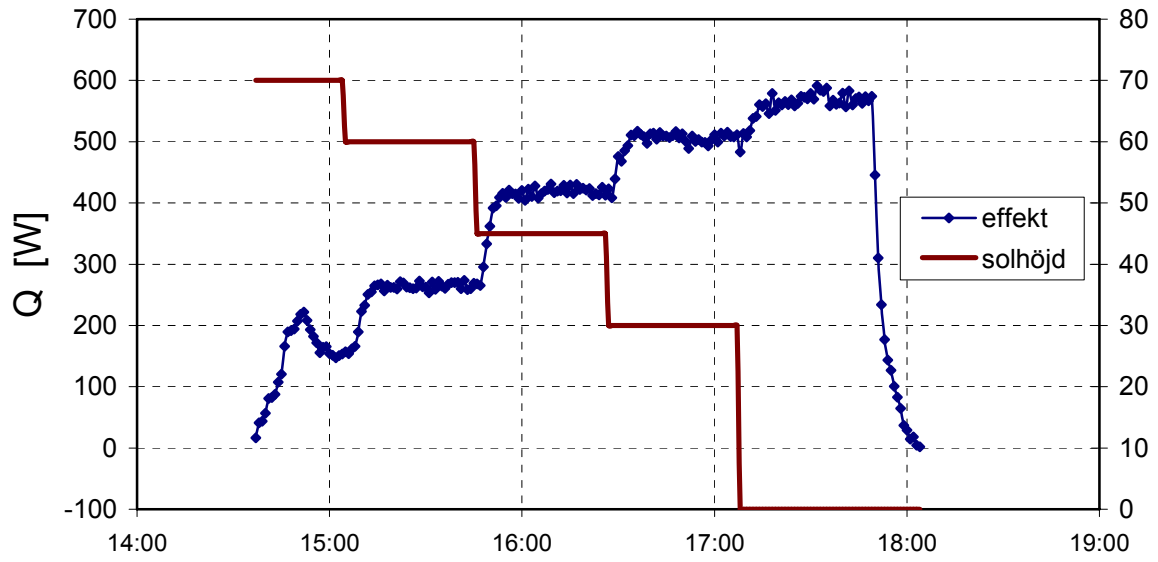
$F'(\tau\alpha)_n$=0,704

F´U=3,18 W/m^{2}K

Extrapoleringen av verkningsgraden mot låga temperaturer ger en överskattning optisk verkningsgrad och U-värde.

3.3.3 Longitudinellt vinkelberoende

Vakuumrörets infallsvinkelberoende är riktningsberoende. Det finns två infallsvinkelberoende ett längs röret, longitudinellt, och ett tvärs röret, transversellt. Solfångarens longitudinella vinkelberoende mäts genom att hålla solfångaren vertikalt och ändra solhöjden.



Figur 3.6 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av infallsvinkeln mot solfångaren.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.4.

Tabell 3.4 Medelvärden för mätningen 3.6 för de olika infallsvinklar.

solhöjd	70	60	45	30	0
start	15:01	15:15	15:59	16:44	17:21
Slut	15:05	15:46	16:26	17:07	17:48
Q (W)	151.9	264.72	419.08	506.02	569.94
I (W/m^2)	327.8	480.4	674	806	912
T_mean	19.154	19.528	19.944	20.168	20.82
DeltaT	-1.5188	-1.797	-1.951	-2.378	-2.481
T_heat_p	33.328	37.184	44.95	48.188	51.802
DT_yta	0.4144	1.161	1.9577	2.2512	2.67

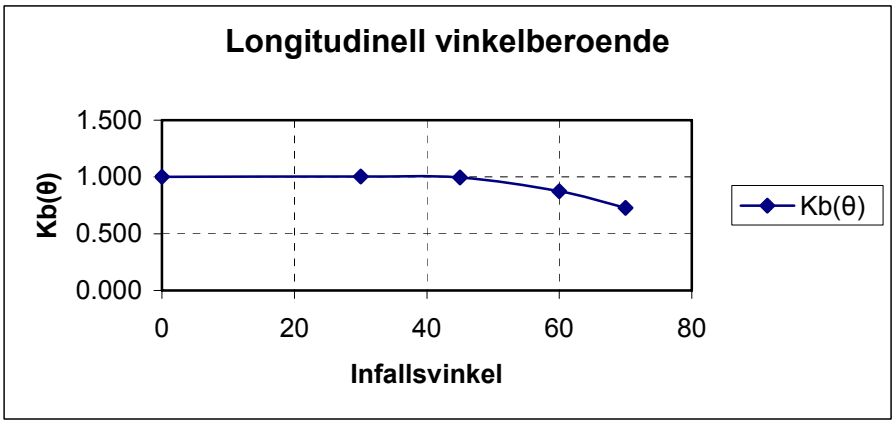
För att bestämma infallsvinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ som löses ut ur ekvation (2.4).

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna. Övriga data fås från tabell 3.4. Resultatet visas i tabell 3.5.

Tabell 3.5 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av longitudinell infallsvinkeln.

solhöjd	70	60	45	30	0
Kb(θ)	0.728	0.875	0.994	1.004	1.000



Figur 3.7 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) i longitudinell riktning.

Enligt modellen ska infalls vinkelberoendet $K_b(\theta)$ vara

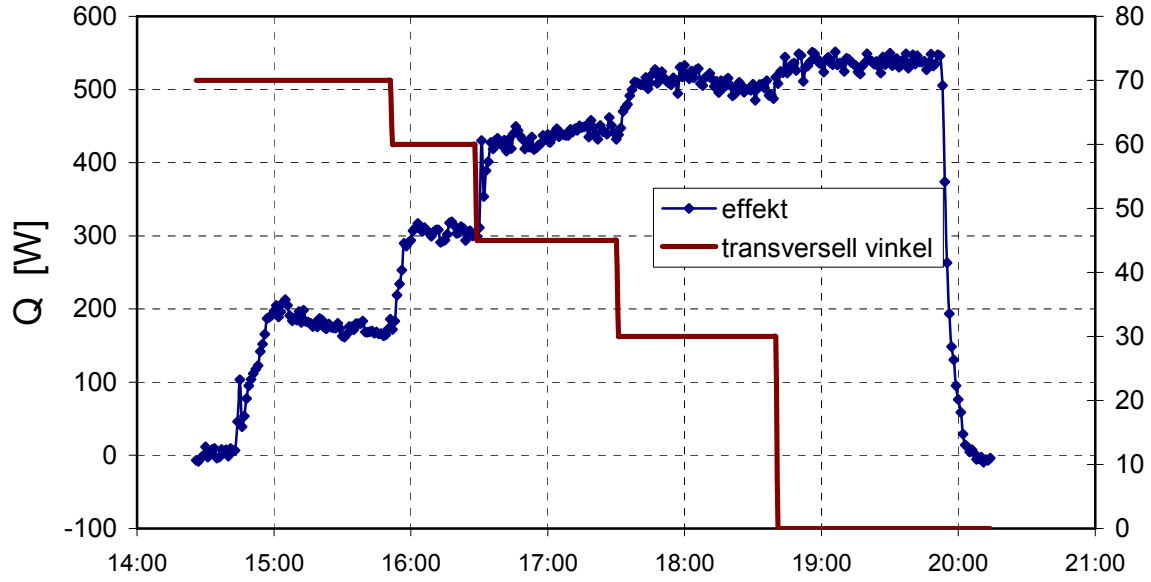
$K_b(\theta) = 1-|b_0|(1/\cos(\theta)-1)$ för $\theta \leq 60^o$ (2.2)

$b_0=1- K_b(60^o)= 1-0{,}875 = 0{,}125$ (3.2)

I denna riktning så är vinkelberoendet likartat som för en plan solfångare.

3.3.4 Transversellt vinkelberoende

Solfångarens transversella vinkelberoende mäts genom att solsimulatorn är stilla och solfångaren vrids kring en vertikal axel. Mäter från vinkel 70 ^{o} till 0 ^{o} vilket är vanligt normalt infall. Under mätningen mäts intensiteten med en pyranometer.



Figur 3.8 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av den transversella vinkel

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.6.

Tabell 3.6 Medelvärden för mätningen 3.8 under olika tidpunkter.

Transversell vinkel	70	60	45	30	0
Start	15:10	16:06	17:05	17:51	19:13
Slut	15:51	16:28	17:30	18:40	19:50
Q (W)	179.095	304.98	443.78	508.63	536.72
I (W/m^2)	310.7	452.4	641.2	788	912
T_mean	19.01	20.177	20.858	21.019	21.388
DeltaT	-1.6362	-1.786	-1.575	-2.381	-2.047
T_heat_p	31.38	39.487	46.337	48.525	49.465
DT_yta	1.118	2.9355	3.2587	3.5432	4.2026

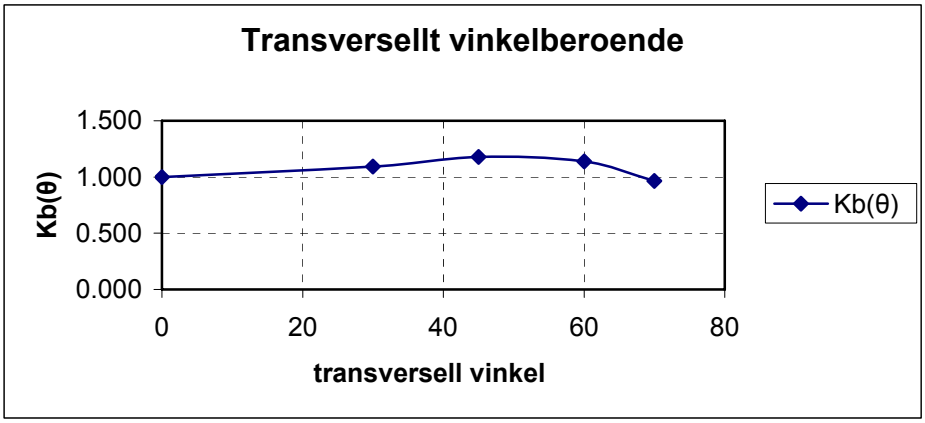
För att bestämma transversella vinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ med ekvation (3.1).

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna. Övriga data fås från tabell 3.6. Resultatet visas i tabell 3.7.

Tabell 3.7 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den transversella infallsvinkeln.

Transversell vinkel	70	60	45	30	0
Kb(θ)	0.964	1.138	1.177	1.094	1.000



Figur 3.9 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den horisontella infallsvinkeln.

Infallsvinkelberoendet blir svagt tvärs röret tack vare den cirkulära geometrin.

3.3.5 Kontroll av mätningarna

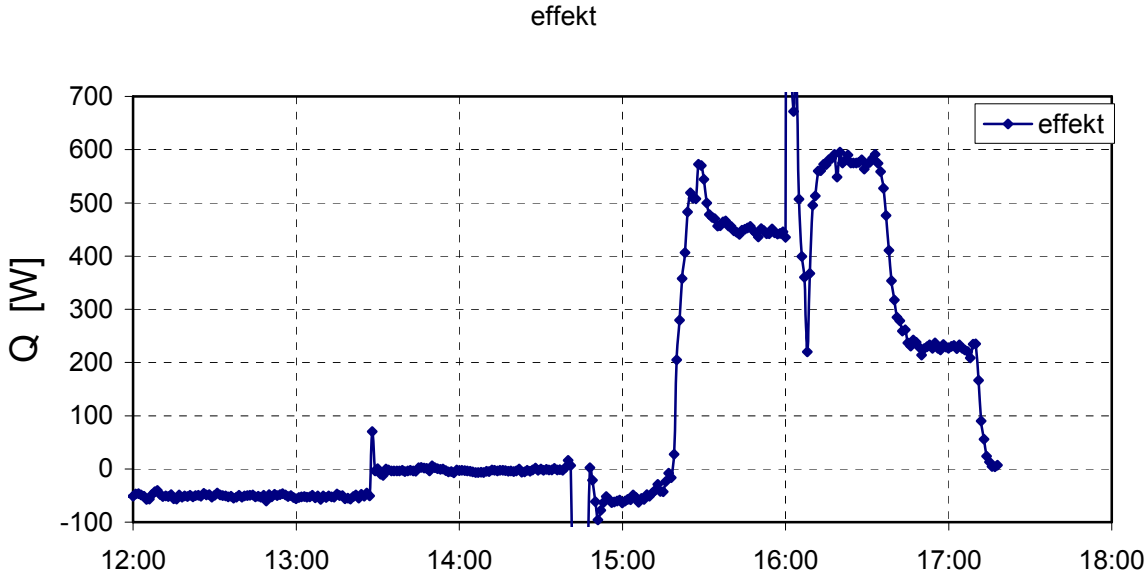
Kontrollerar resultaten vi har fått genom att göra en mätning där vi bestämmer de tre parametrarna för solfångaren nämligen $F'(\tau\alpha)_n$, $F'U$ och b_0. Vi mäter även upp mörker U-värdet.

$F'(\tau\alpha)_n$ är den optiska verkningsgraden
$F'U$ är värmeberoendet hos solfångaren
b_0 är longitudinella infallsvinkelberoendet $K_b(\theta)$

För att bestämma de tre parametrarna $F'(\tau\alpha)_n$, $F'U$ och $|b_0|$ behövs tre mätningar. Från två mätningar vid normalt infall, en vid låg och en vid hög värmebärartemperatur, kan $F'(\tau\alpha)_n$ och $F'U$ beräknas. En mätning vid 60 ^{o} infall ger sedan K_b och därmed $|b_0|$. En fjärde mätningen behövs för att bestämma mörke U-värdet det görs vid hög temperatur i solfångaren och ingen ljusinstrålning från solsimultatorn.

Arbetsgång
Fyra mätningar skall utföras:

0. Värmeförlustmätning utan sol och hög temperatur (ca 75 °C)
1. Mätning vid normalt infall och hög temperatur (ca 75 °C)
2. Mätning vid normal infall och låg temperatur (ca 30 °C)
3. Mätning vid 60 graders infallsvinkel och låg temperatur (ca 30 °C)



Figur 3.10 Effekten Q som fås ut ur solfångaren under de fyra olika mätningarna.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika mätningarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.4. Vid mätning 0 så är inlopp direkt anslutet till utloppet.

Tabell 3.8 Medelvärde för mätningen 3.10.

	0	01	1	2	3
Start	13:34	14:55	15:36	16:25	16:46
Slut	14:38	15:15	15:59	16:34	17:09
Q	-2.6704	-53.195	448.94	576.86	228.43
I	-2.6704	198.938	895.63	891.7	419
T_mean	76.531	76.4524	76.763	32.589	32.535
DeltaT	55.229	54.9524	54.059	8.941	9.699
T_heat_p	48.744	63.139	92.638	73.49	43.07
DT_yta	0.3734	0.34519	3.7931	2.5612	2.3497

Bestämmer U-värdet för samlingsröret genom 01 mätningen då det är hög temperatur och ingen lyse in på solfångaren. Effektförlusten blir Q watt.

Solfångararean A= 1,5m*0,65m *10st rör =0,975m^2

$$\text{Usamlingsröret} = \frac{Q}{A\Delta T} = \frac{53}{0{,}975 \cdot 55} = 0{,}992 \text{ W/m}^2\text{K} \qquad (3.3)$$

För att bestämma $F'U$ temperaturberoendet tas där Q_1 och Q_2 är total levererad effekt och I_1 och I_2 är instrålningen mätt med pyranometern (W/m^2)

$$\eta_1 - \eta_2 = \frac{Q_1}{I_1 A} - \frac{Q_2}{I_2 A} = \frac{\text{F´U}\Delta\text{T2}}{\text{I}_2} - \frac{F'U\Delta T1}{I_1} \Rightarrow \text{F'U} = \frac{1}{A} \cdot \frac{\frac{Q_1}{I_1} - \frac{Q_2}{I_2}}{\frac{\Delta T_2}{I_2} - \frac{\Delta T_1}{I_1}} \qquad (3.4)$$

F´U=2,97 W/m^{2}K

För att bestämma $F'(\tau\alpha)_n$ den optiska verkningsgraden sätter man in $F'U$ och punkt 1 eller 2 i ekvation (2.4) och löser ut $F'(\tau\alpha)_n$. För $K_b(\theta)$ för normalt infall är = 1

$$F'(\tau\alpha)_n = \frac{Q}{IA} + \frac{\text{F´U}\Delta\text{T}}{I} \qquad (3.5)$$

$F'(\tau\alpha)_n$=0,697

För att bestämma infallsvinkelberoendet b_0 beräknas $K_b(\theta)$ som fås ur ekvation (3.1) beräknar $K_b(60^o)$ genom att sätta in värden för mätning 3.

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

$K_b(60^o)$=0,905

b_0 löses ut ur ekvation (2.2) för $\theta = 60^o$

b_0=1- $K_b(60^o)$ (3.2)

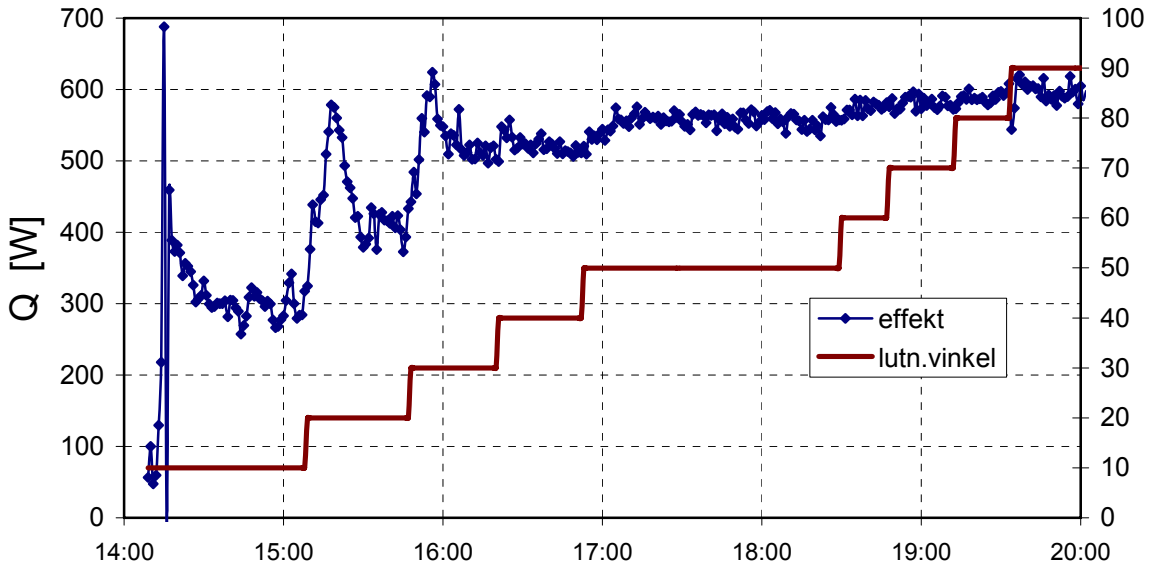
b_0=0,0944

Slutsatsen är att kontrollmätningen verifierar resultaten av tidigare mätningar.

3.3.6 Solfångarens lutningsvinkelberoende

Verkningsgraden mäts vid olika lutningsvinklar på solfångaren. Speciellt intressant är det se hur heatpipes fungerar då. Mätningarna utförs vid låg temperatur för solfångaren.

Figur 3.11 Visar hur effekten varierar med ökande lutningsvinkel. Simulatorns vinkel ändras så att normalt infall fås vid vinklarna 20 ^{o} till 90 ^{o}. Vid 10 ^{o} lutningsvinkel så är infallsvinkel 10^{o}.



Figur 3.11 Effekten Q som fås ut ur solfångare beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren .

De olika parametrarna för mätningen tas som medelvärde för mätningen genom att ta mätdata då effekten är stabil ur figur 3.11. Detta ger följande värde.

Tabell 3.9 Medelvärde för olika parametrar beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren.

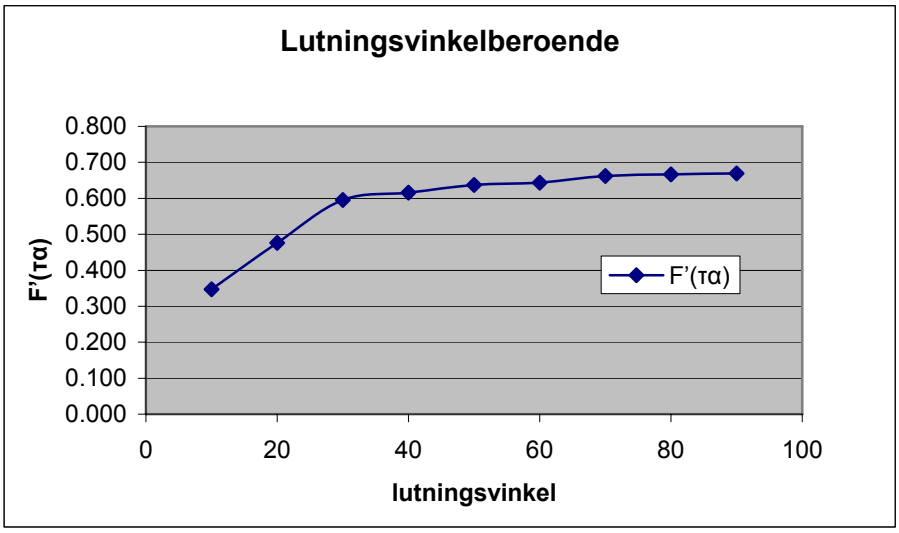
lutningsvinkel	10	20	30	40	50	60	70	80	90
start	14:34	15:36	16:08	16:32	17:18	18:33	18:55	19:17	19:40
slut	14:55	15:43	16:19	16:49	18:19	18:46	19:04	19:25	20:03
Q	297.882	418.81	512.39	518.74	557.99	566.06	584.55	587.07	595.56
I	940.409	946	918.33	904.5	938.81	941.29	943.6	942.11	949.88
T_mean	29.5427	30.058	30.065	30.588	30.489	30.736	30.741	30.847	30.763
DeltaT	6.95259	6.954	7.0106	8.36	8.5905	8.4886	8.626	8.6156	8.3258
T_heat_p	49.1614	58.26	57.958	54.208	55.613	56.206	56.578	56.372	57.124

Den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ beräknas för varje lutning vinkel med ekvation 3.6. Temperaturberoendet F´U fås från resultatet för temperaturberoende mätningen 3.3.2 övriga data fås från tabell 3.9. $K(\theta)=1$ för alla lutningsvinklar förutom för 10^o då $K_b(10^o)$=0,998.

$$F'(\tau\alpha)_n = \frac{Q}{IAK(\theta)} + \frac{F'U\Delta T}{IK(\theta)} \qquad (3.6)$$

Tabell 3.10 Beräknad optisk verkningsgrad beroendet på lutningsvinkel för solfångaren.

lutningsvinkel	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Optiskverkningsgrad	0.347	0.476	0.595	0.616	0.637	0.644	0.663	0.666	0.669

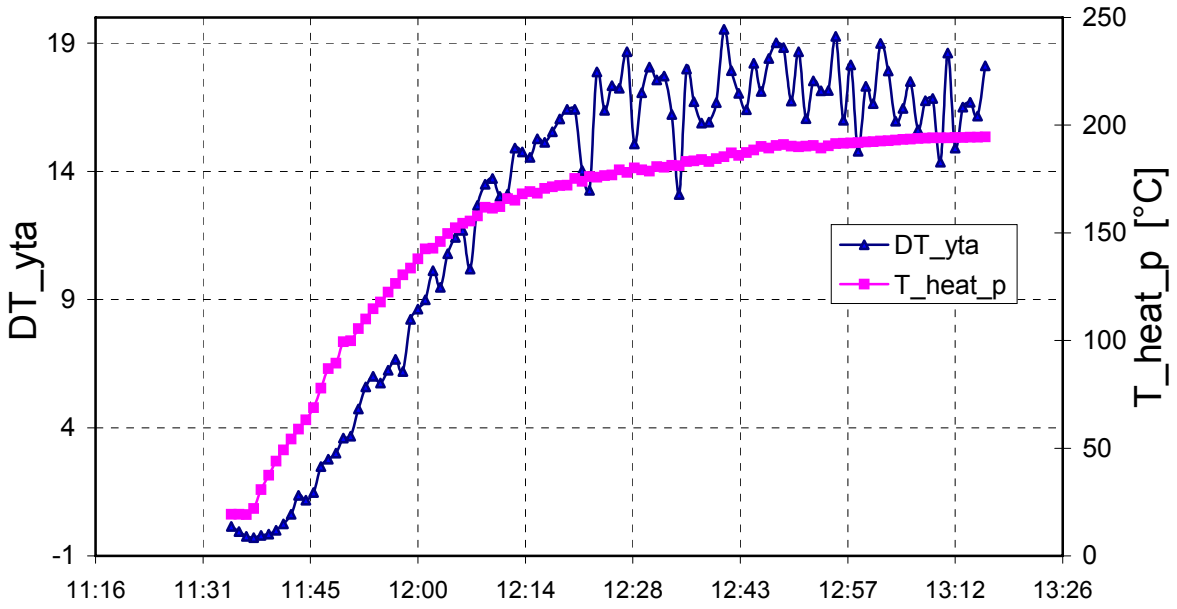


Figur 3.12 Lutningsvinkelberoende för solfångarens optiska verkningsgrad.

Resultatet visar att verkningsgraden avtar vid lutningsvinklar understigande 30^o. Det beror på att återrinningen av vätska i heatpipen försvåras vid låga lutningsvinklar.

3.3.7 Stagnationstemperatur

Stagnationstemperatur uppnås för en oskyld solfångare vid hög solintensitet. Vid denna temperatur ger solfångaren ingen effekt. För detta test så plockar vi ut ett vakuumrör ur solfångaren som vi ska testa på. Detta rör sätt framför simulatorn så det få så mycket ljus som möjligt. Röret kyls inte. Temperaturen mäts längst ut på heatpipen där den i vanliga fall överför värmen till det flödande vattnet. Dessutom mäts även skillnaden mellan temperaturen på glaset och i luften.



Figur 3.13 Mätning av temperaturen på heatpipen, T_heat_p, samt skillnaden mellan temperaturen på glaset och i luften, DT_yta, under ett stagnationstemperatur test.

Detta medförde en stagnationstemperatur enligt grafen ovan på 195 ^{o}C. Det innebär att solfångare, samlingsröret, isoleringen och värmebäraren måste tåla denna temperatur.

3.4 Rörsolfångaren VA 1858

Solfångaren som skall karakteriseras är en vakuumrörsolfångare med rund absorbator. Vakuumrörena består av två glasrör med vakuum i mellan, detta skapar isoleringen för vakuumröret ungefär som en termos. Absorbator ytan finns på det inre glasröret och består av ett selektivt skickt som absorberar solljus bra och emitterar värmestrålning dåligt. Värmen överförs sedan från absorbatorn in till heatpipen i mitten av vakuumröret med hjälp av vikta aluminiumplåtar. Värmen förs sedan vidare upp till samlingsröret med hjälp av heatpipen.

Solfångaren består av 24 st vakuumrör uppsatta i ett samlingsrör. Vakuumrörena på denna solfångaren har mindre diameter än för den förra solfångaren. Vi monterar endast upp 12 av de 24 rörena och dessa sätter vi upp i mitten av solfångaren. Detta för att solsimulatorn ger jämnast intensitet i mitten på solfångaren.

Figur 3.14 Ovandelen på ett vakuumrör med rund absorbator med heatpipe.

3.4.1 Intensiteten från lamporna

Ljusintensiteten mäts med en flyttbar pyranometer på 6x8 punkter på solfångaren. En multimeter ansluten till pyranometer läses av manuellt när värdet har stabiliserat sig.

Tabell 3.11 Ljusintensiteten uppmätt i 48 punkter på solfångarens yta.

441	497	529	460	409	378	W/m2
705	693	724	705	718	642	
982	856	913	957	963	863	
995	1077	1083	1159	1083	1001	
1083	1071	1127	1064	1014	938	
1152	1001	1008	894	825	863	
1058	1026	894	869	938	945	
957	995	970	926	926	945	
					894	W/m2

3.4.2 Mörker U-värde

Mörker U-värde är ett mått på hur mycket energi som strömmar ut ur solfångaren när den inte belyses. För solfångarna med heatpipes så blir det ett mått på värmeförlusterna från samlingsröret eftersom när solfångarna inte belyses så blir endast samlingröret varmt och man kan då isolera förlusterna från denna. Detta test görs genom att mäta hur stor effekt som strömmar ut ur solfångaren när solfångaren har en hög temperatur ca 70 °C och solsimulatorn inte är på.

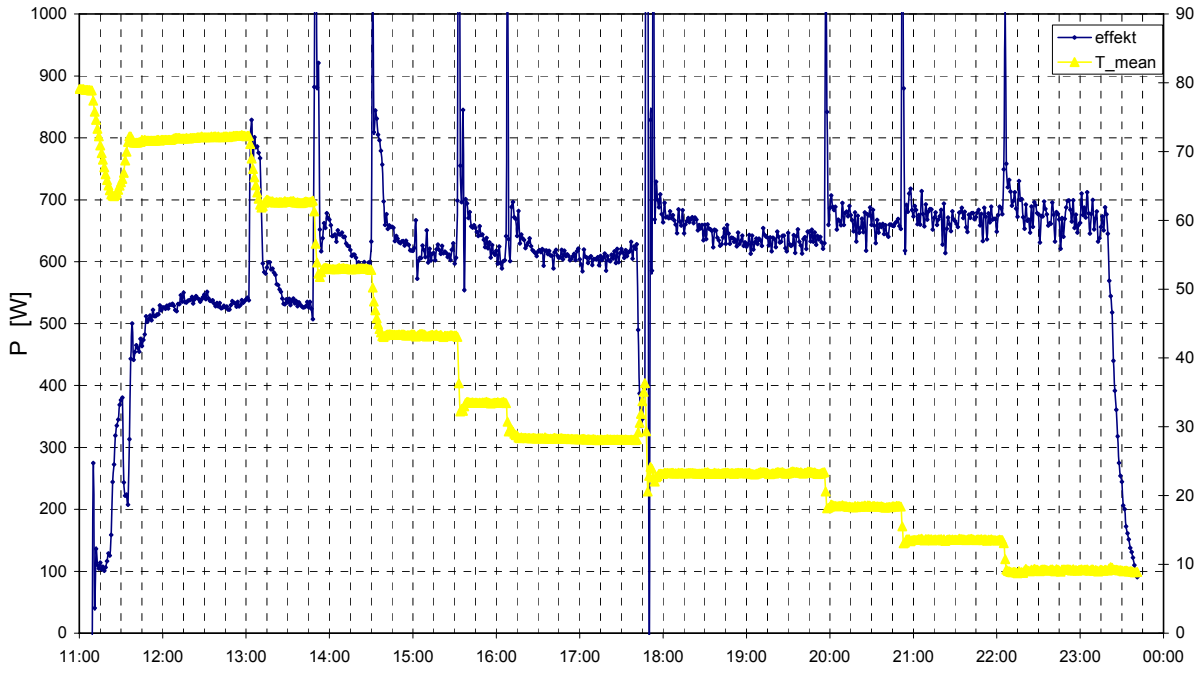
$$\text{Usamlingsrör} = \frac{Q}{A\Delta T} = \frac{56}{0{,}98 \cdot 57{,}5} = 0{,}998\ \text{W/m}^2\text{K} \qquad (3.3)$$

Solfångararean A= 0,0472m*1,73m *12st rör =0,98m^2

3.4.3 Verkningsgraden vid olika temperaturer

Ur dessa mätningar bestäms parametrarna optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet U-värdet för solfångaren $F'U$ genom att mäta solfångarens verkningsgraden vid olika temperaturer. Mätningarna utförs vid inloppstemperaturerna 78 °C till 5,5 °C.

$$\eta = Q/(I_b A) = F'(\tau\alpha)_n K_b(\theta) - F'U\Delta T/ I_b \qquad (2.4)$$



Figur 3.15 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av temperaturen i solfångaren.

Mätdata tas ur diagrammet figur 3.15 vid jämnvikt för de olika temperaturerna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.2.

Tabell 3.12 Medelvärden för olika parametrar under olika tidpunkter.

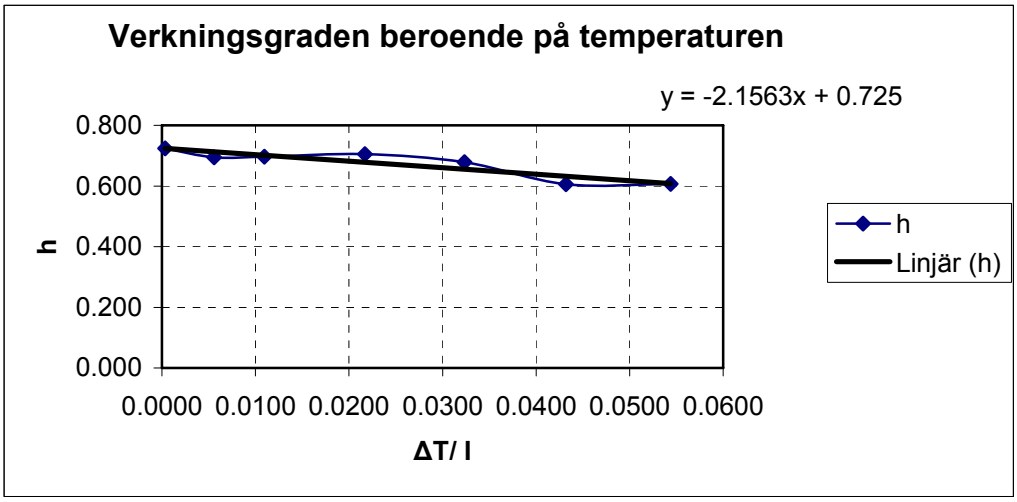
Temperatur	70	60	50	40	30	25	20	15	10	5.5
start	12:09	13:29	14:20	14:51	15:56	16:34	18:43	20:08	21:05	22:38
slut	13:01	13:48	14:29	15:31	16:07	17:40	19:55	20:50	22:00	23:19
Q (W)	531.73	530.95	594.18	617.43	610.63	608.63	634.71	661.99	669.03	670.46
I (W/m^2)	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00
T_mean	72.12	62.68	52.99	43.30	33.50	28.20	23.29	18.42	18.42	9.18
DeltaT	48.63	38.61	28.91	19.40	9.78	4.99	0.31	-4.46	-9.21	-13.45
T_heat_p	84.57	75.72	67.19	58.41	49.77	44.88	40.81	37.13	32.93	30.00

Ur data från tabell 3.12 beräknas verkningsgraden för de olika temperaturerna. Parametern ΔT/ I fås ur ekvation 2.4.

Tabell 3.13 Beräknade verkningsgrader vid de olika temperaturerna.

Temperatur	70	60	50	40	30	25	20	15	10	5.5
Q/(I*A)	0.607	0.606	0.678	0.705	0.697	0.695	0.724	0.756	0.764	0.765
ΔT/ I	0.0544	0.0432	0.0323	0.0217	0.0109	0.0056	0.0003	-0.0050	-0.0103	-0.0150

Ur data från tabell 3.13 väljs data för vilka ΔT/ I är positiv. För dessa data görs en linjär trendlinje för att bestämma den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet $F'U$.

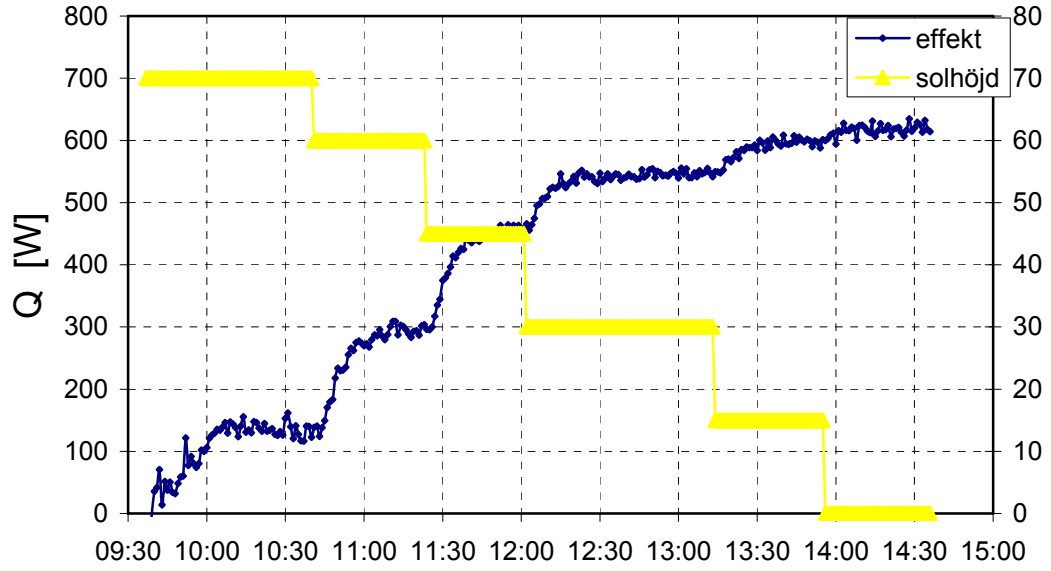


Figur 3.16 Trendlinje över verkningsgraderna vid olika temperaturer.

Detta ger den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoenden F´U från trendlinjen.
$F'(\tau\alpha)_n$=0,725
F´U=2,16 W/m^{2}K

3.4.4 Longitudinellt vinkelberoende

Vakuumrörets infallsvinkelberoende är riktningsberoende. Det finns två infallsvinkelberoende ett längs röret, longitudinellt, och ett tvärs röret, transversellt. Solfångarens longitudinella vinkelberoende mäts genom att hålla solfångaren vertikalt och ändra solhöjden.



Figur 3.17 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av den longitudinella vinkeln mot solfångaren.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.14. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.4.1 och reduceras med cosinus för infallsvinkeln. Kompenserar även intensiteten för att det är mer av det centrala ljuset som faller mot solfångaren vid höga infallsvinklar än vid låga.

Tabell 3.14 Medelvärden för mätningen 3.17 för de olika infallsvinklar.

solhöjd	**70**	**60**	**45**	**30**	**15**	**0**
Start	10:07	11:10	11:52	12:32	13:37	14:10
Slut	10:40	11:23	12:01	13:13	13:55	14:36
Q (W)	135.91	296.77	458.66	545.03	598.10	618.73
I (W/m^2)	305.77	447.00	632.15	774.23	863.54	894.00
T_mean	24.05	27.76	28.15	28.36	28.35	28.31
deltaT	2.55	5.23	5.69	5.87	5.96	5.95
Theatpipe	31.69	39.07	42.96	44.44	46.80	47.10

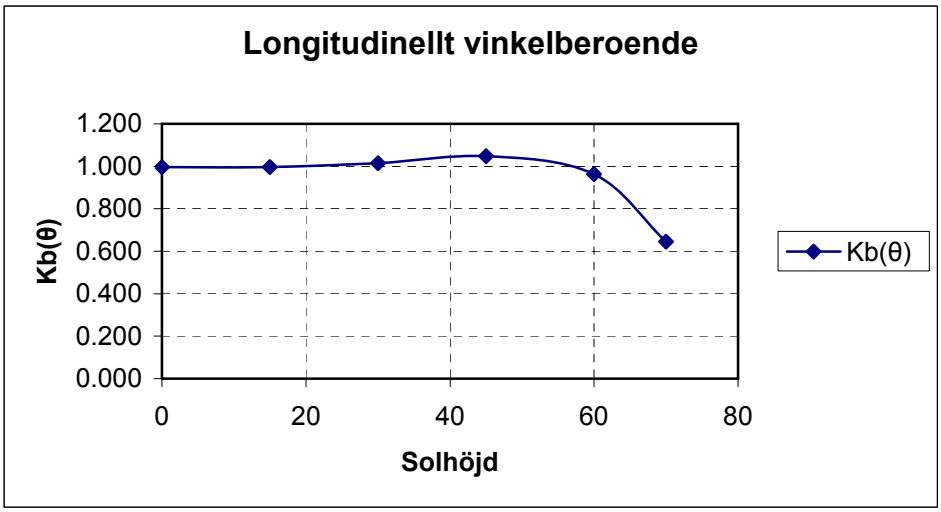
För att bestämma infallsvinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ som fås ut ur ekvation (3.1).

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna 3.43. Övriga data fås från tabell 3.14. Resultatet visas i tabell 3.15.

Tabell 3.15 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av longitudinell infallsvinkeln.

solhöjd	70	60	45	30	15	0
Kb(θ)	0.645	0.964	1.047	1.014	0.997	0.996



Figur 3.18 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av longitudinellt infallsvinkel.

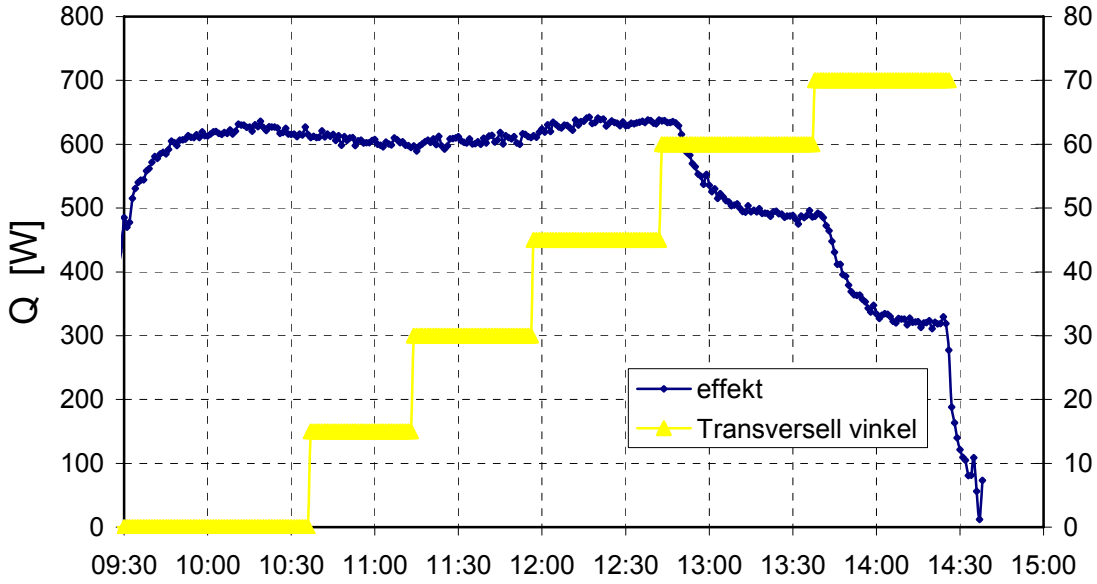
Beräknar parametern b_0

$$b_0 = 1 - K_b(60^o) = 1 - 0{,}964 = 0{,}036 \qquad (3.2)$$

Mätningen ger ett lågt b_0 värde. Mätningen är väldigt osäker speciellt den infallande intensiteten mot solfångaren är svår att veta vid varje infallsvinkel.

3.4.5 Transversellt vinkelberoende

Solfångarens transversella vinkelberoende mäts genom att solsimulatorn är stilla och solfångaren vrids kring en vertikal axel. Mäter från normalt infall 0 ° till 70 °.



Figur 3.19 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av den transversella vinkeln.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.6. Intensitet fås från intensitetsmätningen 3.4.1 och reduceras med cosinus för infallsvinklen.

Tabell 3.16 Medelvärden för mätningen 3.19 vid olika infallsvinklar.

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
start	10:13	10:39	11:19	12:07	13:20	14:09
slut	10:36	11:13	11:56	12:42	13:37	14:25
Q (W)	622.72	605.56	606.47	633.56	488.32	321.00
I (W/m2)	894.00	863.54	774.23	632.15	447.00	305.77
T_mean	25.69	26.15	26.60	27.17	26.16	24.60
DT	5.04	4.87	4.67	4.71	3.43	1.80
Theatpipe	45.39	45.28	46.36	47.61	41.93	36.49

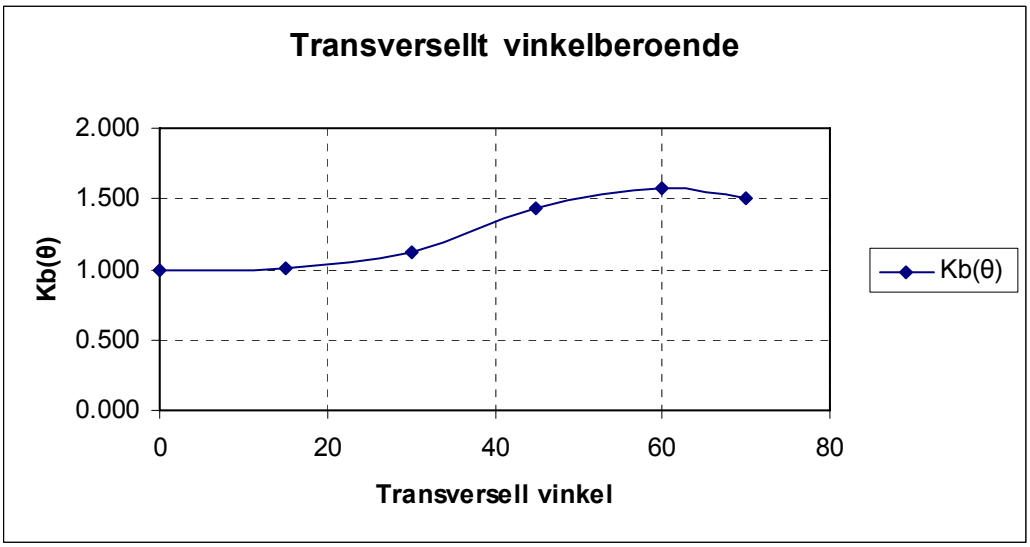
För att bestämma transversella vinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ som fås ur ekv 3.1.

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna. Övriga data fås från tabell 3.16. Resultatet visas i tabell 3.17. Intensiteten för mätningen tas från mätningen över intensiteten från lamporna 3.4.1.

Tabell 3.17 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den transversella infallsvinkeln.

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
Kb(θ)	1.000	1.007	1.124	1.438	1.567	1.505



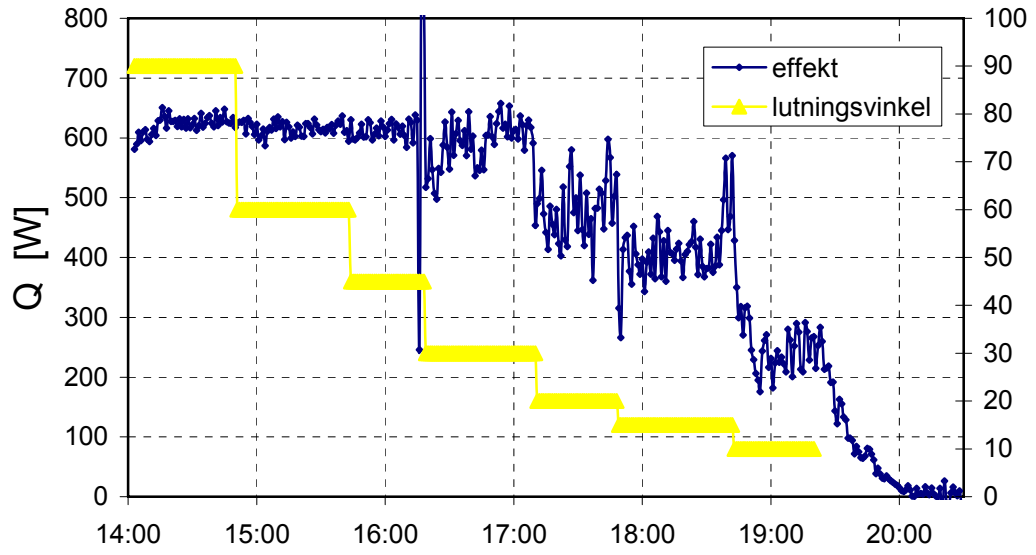
Figur 3.20 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den transversella infallsvinkeln.

Mätningen visar att effekten från solfångeren är bra ända fram till och med 45^o sen börjar rören skugga varandra och effekten sjunker.

3.4.6 Lutningsvinkeln för solfångaren

Verkningsgraden mäts vid olika lutningsvinklar på solfångaren. Speciellt intressant är det se hur heatpipes fungerar då. Mätningen utfördes vid låg temperatur för solfångaren.

Figur 3.21 Visar hur effekten varierar med minskade lutningsvinkel. Simulatorns vinkel ändras så att normalt infall fås vid vinklarna 20 ^{o} till 90 ^{o}. Vid 10 ^{o} lutningsvinkel så är infallsvinkel 10^{o} och för 15 ^{o} lutningsvinkel är infallsvinkeln 5 ^{o}.



Figur 3.21 Effekten Q som fås ut ur solfångare beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren

De olika parametrarna för mätningen tas som medelvärde för mätningen genom att ta mätdata då effekten är stabil ur figur 3.11. Detta ger följande värde. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.4.1. Intensiteten reduceras för lutningsvinkel 10^{o} och 15 ^{o} med cosinus (10^{o}) respektiver med cosinus (5 ^{o}).

Tabell 3.18 Medelvärde för olika parametrar beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren.

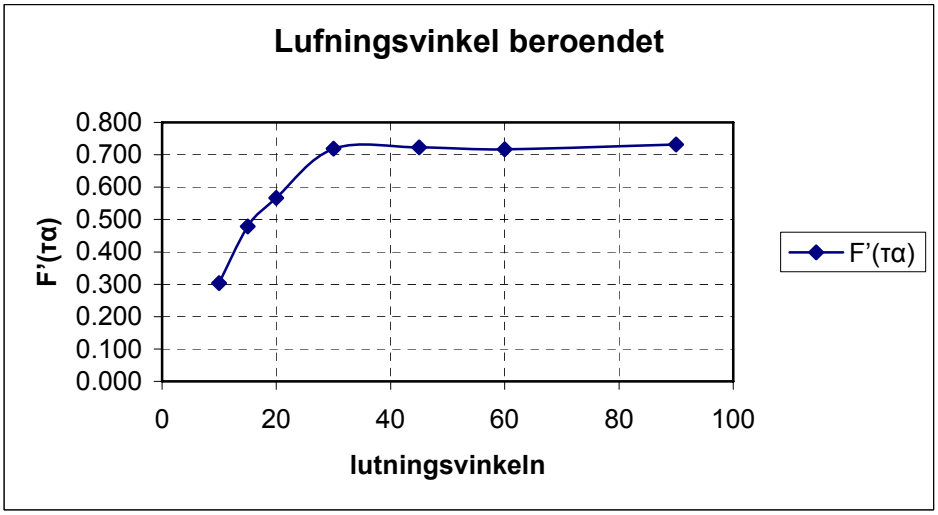
lutningsvinkel	90	60	45	30	20	15	10
start	14:23	15:13	15:49	16:48	17:20	18:02	19:05
slut	14:50	15:43	16:18	17:09	17:48	18:35	19:20
Q (W)	626,91	614,73	620,74	616,92	483,61	404,87	248,55
I (W/m^2)	894,00	894,00	894,00	894,00	894,00	890,60	880,42
T_mean	27,34	27,83	27,89	27,88	28,12	27,67	27,72
DT	6,57	6,37	6,13	5,94	6,20	5,95	6,28
Theatpipe	42,60	42,67	42,39	42,24	32,00	33,48	33,12

Den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ beräknas för varje lutning vinkel med ekvation 3.5. Temperaturberoendet F´U fås från resultatet för temperaturberoende mätningen 3.3.2 övriga data fås från tabell 3.18.

$$F'(\tau\alpha)_n = \frac{Q}{IA} + \frac{F'U\Delta T}{I} \qquad (3.5)$$

Tabell 3.19 Beräknad optisk verkningsgrad beroendet på lutningsvinkel för solfångaren.

lutningsvinkel	90	60	45	30	20	15	10
$F'(\tau\alpha)$	0,731	0,717	0,723	0,718	0,567	0,478	0,304

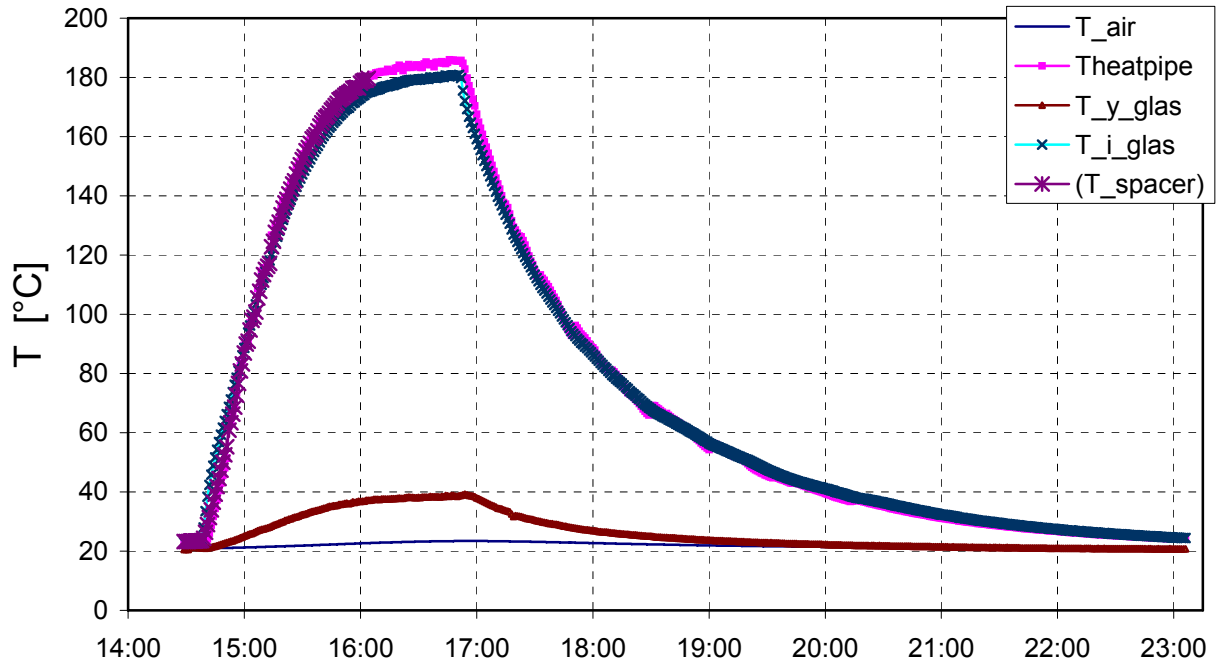


Figur 3.22 Lutningsvinkelberoende för solfångaren

Resultatet visar att verkningsgraden avtar vid lutningsvinklar understigande 30 ^{o}. Det beror på att återrinningen av vätska i heatpipen försvåras vid låga lutningsvinklar.

3.4.7 Stagnationstemperatur

Stagnationstemperatur uppnås för en oskyld solfångare vid hög solintensitet. Vid denna temperatur ger solfångaren ingen effekt. För detta test så plockar vi ut ett vakuumrör ur solfångaren som vi ska testa på. Detta rör sätt framför simulatorn så det få så mycket ljus som möjligt. Röret kyls inte. Temperaturen mäts längst ut på heatpipen där den i vanliga fall överför värmen till det flödande vattnet. Några andra punkter på heatpipen mäts också temperaturen.



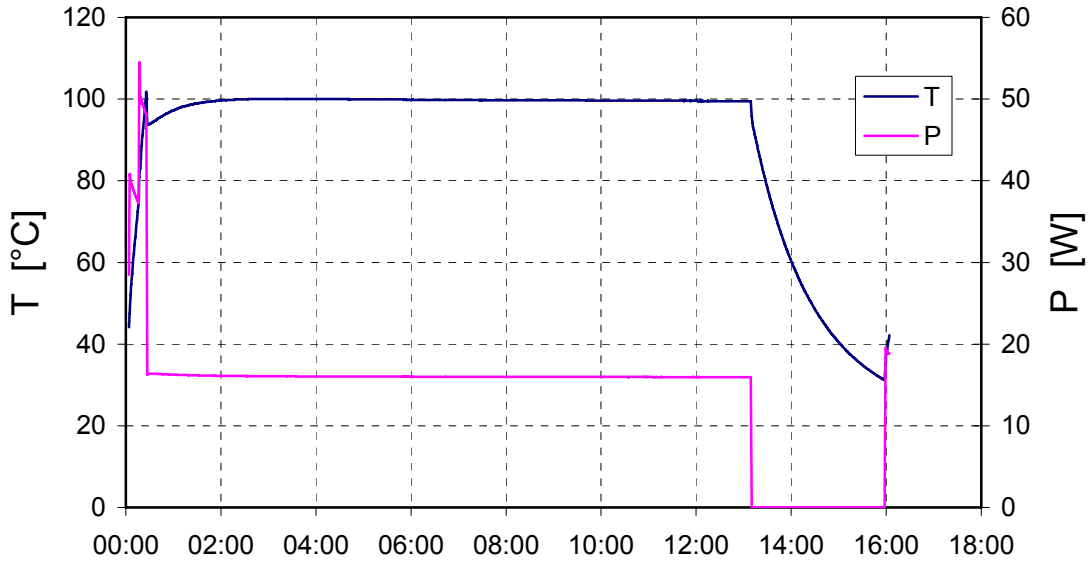
Figur 3.23 Mätning av Theatpipe temperaturen på heatpipen under ett stagnationstemperatur test samt några andra temperaturer på heatpipen.

Där T_air är lufttemperaturen, Theatpipe är temperaturen på bulben på heatpipen, T_y_glas är temperaturen på ytterglaset på vakuumröret, T_i_glas är temperaturen på innerglaset på vakuumröret och T_spacer är temperaturen på aluminumflänsen.

Detta test medförde en stagnationstemperatur enligt figuren ovan på 186 ^{o}C.

3.4.8 U-värde enskilt rör

Vi är intresserade av U-värdet för ett enskilt vakuumrör. Så vi tar ut ett tomt vakuumrör för att prova U-värdet på detta. För att göra detta så stoppar vi in en cellplastkärna med kopparslingor i vakuumröret. Vakuumröret värms upp inne ifrån genom att koppla ett spänningsaggregat till kopparslingorna. Mäter temperaturen på vakuumröret med en temperaturgivare.



Figur 3.24 Temperaturen i vakuumröret när värms upp med en kopparlindad cellplatskärna med effekten P.

Där T är temperaturen inne i vakuumröret och P är den pålagda effekten.

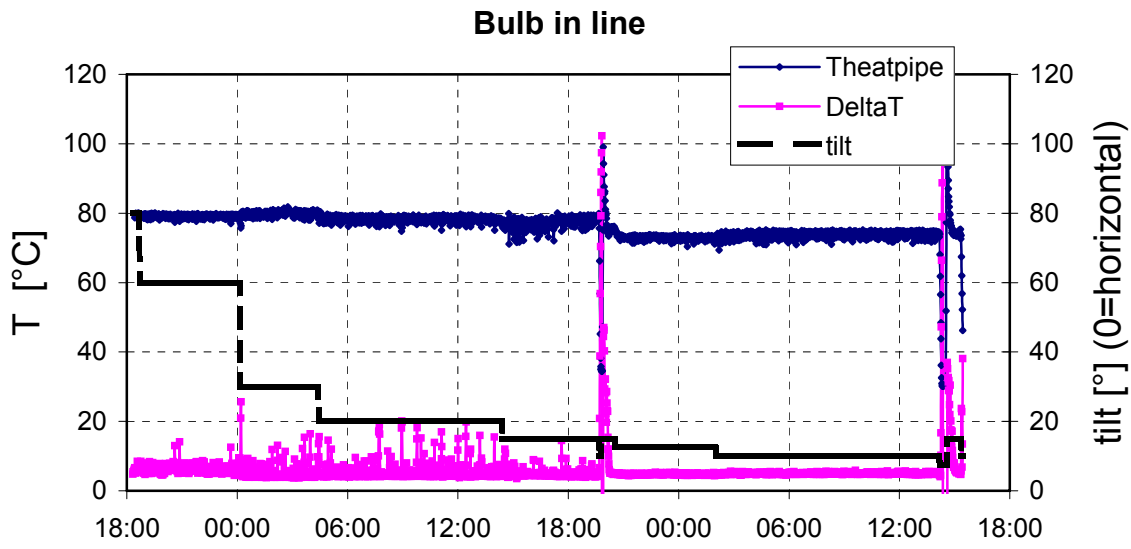
Vi värmer med konstant effekt P ca 16 W och väntar tills jämvikt för vakuumröret sker. Jämvikt sker när vakuumröret når 100 ^{o}C. Då kan U-värdet för ett enskilt vakuumrör beräknas.

$$\text{Urör} = \frac{Q}{A\Delta T} = \frac{16}{0{,}98/12 \cdot (100-20)} = 2{,}4\ \text{W/m}^2\text{K} \qquad (3.3)$$

U värdet för enskilt vakuumrör blev högre än värdet på F'U för hela solfångaren. Detta beror bland annat på inverkan av F,, vilken beror på temperaturskillnad mellan absorbatoryta och samlingsrör.

3.4.9 Mätning på enskild heatpipe

Vi är även intresserade av hur ett enskilt heatpipe fungerar. Därför tar vi ut en heatpipe ur ett vakuumrör för att mäta på detta. Vi är intresserade av hur det fungerar när det blir varmt och hur värmen överförs vid olika lutningsvinklar för heatpipen. För att värma heatpipen monteras nio stycken värmare bestående av nio weffektornsmotsånd som är monterade mot halvcirkelformade plåtar av koppar. Hela värmaren är pressad mot heatpipen med en tunn aluminiumplåt och värmeledande pasta för att minska kontaktmotståndet. Heatpipen isoleras nerifrån och upp till bulben som sitter längst upp på heatpipen. En kylfläns med fläkt ansluten till bulben monteras som kyler ner bulben. Två temperaturer mäts på heatpipen en i anslutning till bulben och en nere på tredjedelspunkten nerifrån på heatpipen. Heatpipen värms med konstant effekt inkopplat på weffektornsmotsånden. Heatpipen lutas i olika lutningsvinklar under försöket för att undersöka hur temperaturerna påverkas vid olika lutningsvinklar för heatpipen.

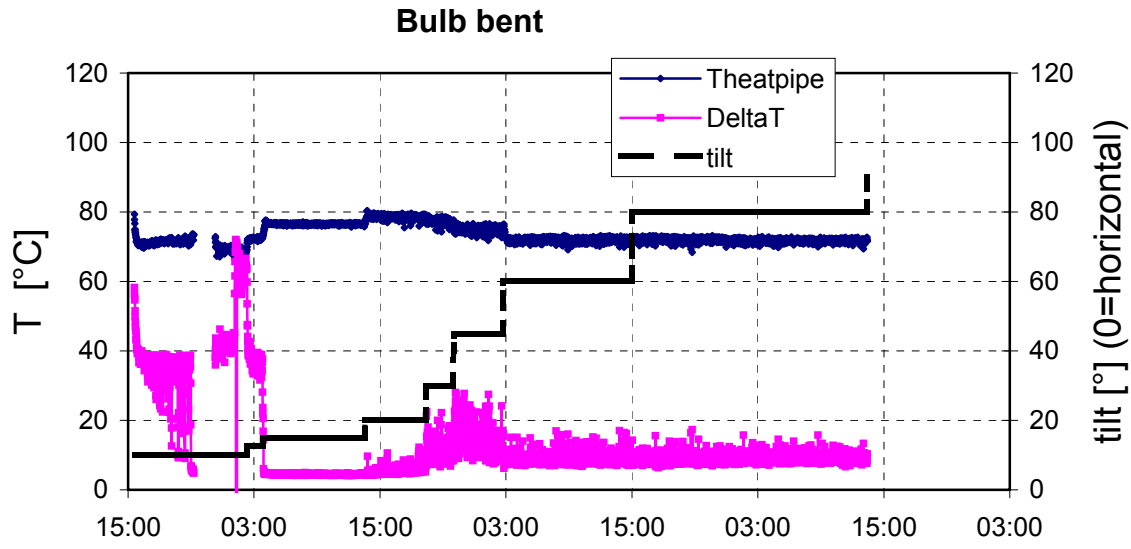


Figur 3.25 Temperaturen på heatpipen beroende på lutningen av heatpipen. Samt skillnaden mellan temperaturen på tredjedelpunkten från botten och temperaturen på heatpipen.

Där Theatpipe är temperaturen på bulben på heatpien, DeltaT är skillnaden mellan temperaturen från botten och temperaturn på hetpipen och tilt är lutningen på heatpipen i grader.

Mätningen visar att det blir en sänkning av temperaturen vid bulben, Theatpipe, när man går från 15^{o} lutning till 12,5^{o} lutning av heatpipen annars ser man ingenting från detta försöket mer än att temperaturen håller sig på en jämn nivå.

Nästa försök ska ske med bulben vinklad uppåt för att eventuell vätska i bulben ska kunna rinna ner lättar vid låga lutningsvinklar. Gör samma försök som ovan fast med bulben uppåt böjd.



Figur 3.26 Temperaturen på heatpipen som funktion av lutningen av denna med böjd bulb.

Mätningen från detta försöket visar att temperaturen blir ojämn och det är svårt att dra några slutsatser ur detta försök. Resultatet borde likna resultatet från försöket med rak bulb men det gör det inte.

Vi kan dra slutsaten från försöket att mäta på enskilld heatpipe inte gav speciellt mycket.

3.5 Rörsolfångaren med U-rör

Solfångaren som skall karakteriseras är en vakuumrörsolfångare med rund absorbator och U-rör. Vakuumrörena består av två glasrör med vakuum i mellan, detta skapar isoleringen för vakuumröret ungefär som en termos. Absorbator ytan finns på det inre glasröret och består av ett selektivt skickt som absorberar solljus bra och emitterar värmestrålning dåligt. Värmen överför sedan från absorbatorn in till U-röret med hjälp av vikta aluminiumplåtar. Värmen överför från U-röret genom att värmemediet i samlingröret pumpas ner i U-röret som är böjt längst ner som ett u och går upp igen, med pumparna som driver flödet i solfångarsystemet.

3.5.1 Intensiteten från lamporna

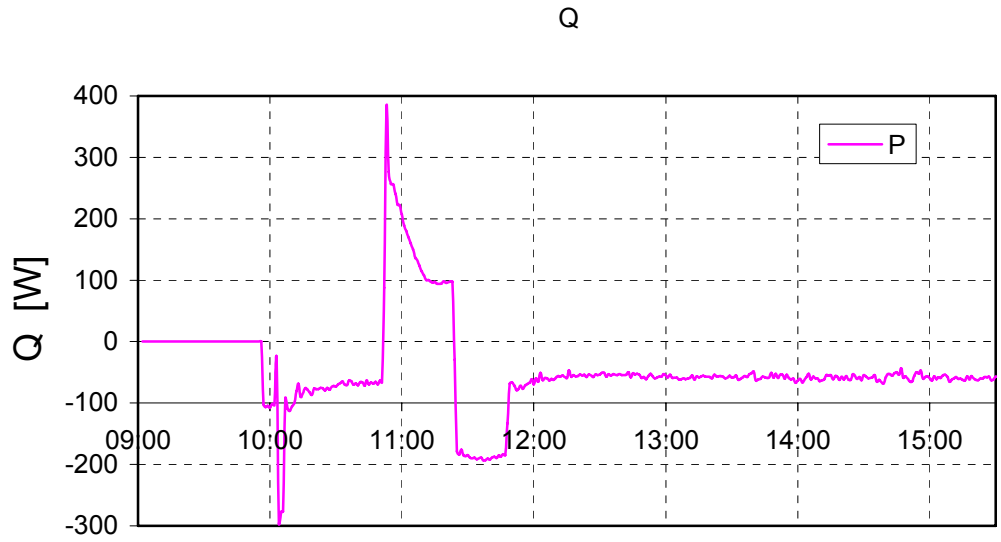
Ljusintensiteten mäts med en flyttbar pyranometer på 5x8 punkter på solfångaren. En multimeter ansluten till pyranometer läses av manuellt när värdet har stabiliserat sig.

Tabell 3.20 Ljusintensiteten uppmätt i 40 punkter på solfångarens yta.

947.2		889.2		927.8		882.7		908.5
1114.7		1108.2		1127.6		1082.5		947.2
1082.5		1082.5		1114.7		1063.1		1005.2
1063.1		1076.0		1211.3		844.1		934.3
1082.5		914.9		921.4		876.3		850.5
1069.6		998.7		927.8		985.8		1024.5
1018.0		1043.8		1037.4		992.3		960.1
902.1		741.0		799.0		818.3		895.6
							Medel	981.8

3.5.2 Mörker U-värde

Mörker U-värde är ett mått på hur mycket energi som strömmar ut ur solfångaren när den inte belyses. För solfångaren med U-rör så värms hela solfångaren upp vid ett sådan test eftersom U-rörena för med sig värmen ner i vakuumrörna. Detta test görs genom att mäta hur stor effekt som strömmar ut ur solfångaren när solfångaren har en hög temperatur ca 70 ^{o}C och solsimulatorn inte är på.



Figur 3.27 Mätning av mörker U-värde mäter effekten Q.

För tiderna mellan 10:19 - 10:50 och 12:06 – 17:31 så är testet för mörker U-värdet stabilt. Där emellan så är solsimulatorn igång.

$$\text{U-mörker} = \frac{Q}{A\Delta T}\ \text{W/m}^2\text{K} \qquad (3.3)$$

Solfångararean A= 0,0337m*1,41m*15st rör= 0,712m^2.

Tabell 3.21 Mörker U-värde.

start	10:19	12:06
slut	10:50	17:31
Q	-71,07	-66,72
DeltaT	48,55	48,06
U värde	-2,05	-1,95

För att beräkna ett mörker U-värde så beräknas ett av de två mörker U-värde från tabell 3.21 viktat till hur många mätpunkter varje mätning är gjord vid. Resultatet blir.

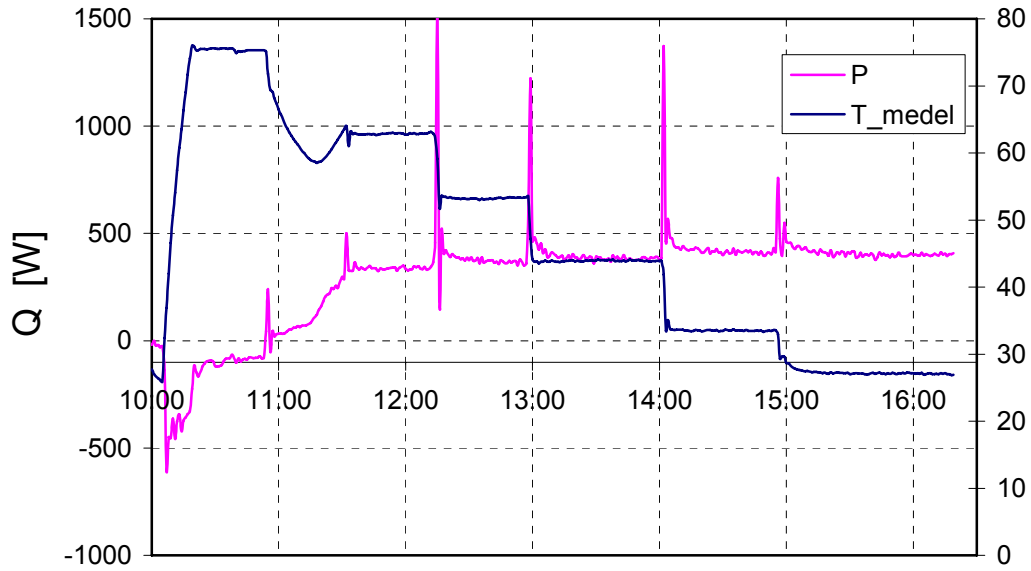
U-mörker=1,96 W/m^{2}K.

Det är ett betydligt högre mörker U-värde än för solfångarna med heatpipes. Detta beror på att hela vakuumröret blir uppvärmd med vätskan U-rörna som går ner i vakuumrören och inte som heatpipen där bara samlingröret blir uppvärmt.

3.5.3 Verkningsgraden vid olika temperaturer

Ur dessa mätningar bestäms parametrarna optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet U-värdet för solfångaren $F'U$ genom att mäta solfångarens verkningsgraden vid olika temperaturer. Mätningarna utförs vid inloppstemperaturerna 70 °C till 20 °C. Mätvärdet för 70 °C utgår dock för detta mätvärdet fick vi inte en stabil effekt.

$$\eta = Q/(I_b A) = F'(\tau\alpha)_n K_b(\theta) - F'U\Delta T / I_b \qquad (2.4)$$



Figur 3.28 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av temperaturen i solfångaren.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämnvikt för de olika temperaturerna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.22. Intensiten fås från intensitetsmätningen 3.5.1.

Tabell 3.22 Medelvärden för mätningen under olika tidpunkter.

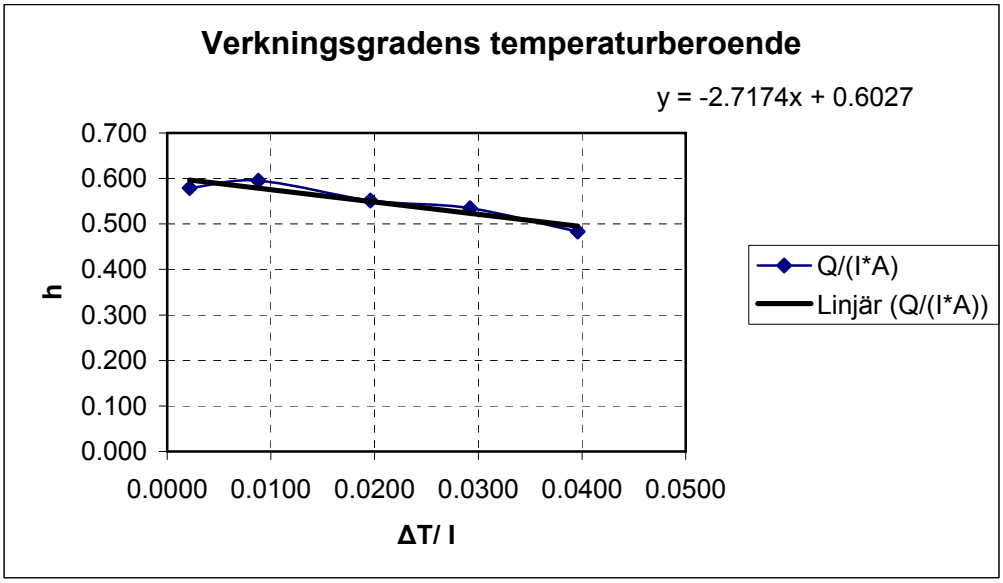
Temperatur	60	50	40	30	20
start	11:35	12:21	13:09	14:10	15:05
slut	12:11	12:56	14:00	14:55	16:19
Q (W)	337.84	373.79	385.71	416.19	404.93
I (W/m^2)	981.00	981.00	981.00	981.00	981.00
T_mean	62.85	50.18	40.71	30.56	24.33
DeltaT	38.83	28.65	19.22	8.63	2.12

Ur data från tabell 3.22 beräknas verkningsgraden för de olika temperaturerna. Parametern ΔT/ I fås ur ekvation 2.4.

Tabell 3.23 Beräknade verkningsgrader vid de olika temperaturerna.

Temperatur	60	50	40	30	20
η =Q/(I*A)	0.483	0.535	0.552	0.595	0.579
ΔT/ I (°C*m²/W)	0.0396	0.0292	0.0196	0.0088	0.0022

Ur data från tabell 3.23 görs en linjär trendlinje för att bestämma den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet $F'U$.



Figur 3.29 Trendlinje över verkningsgraderna vid olika temperaturer.

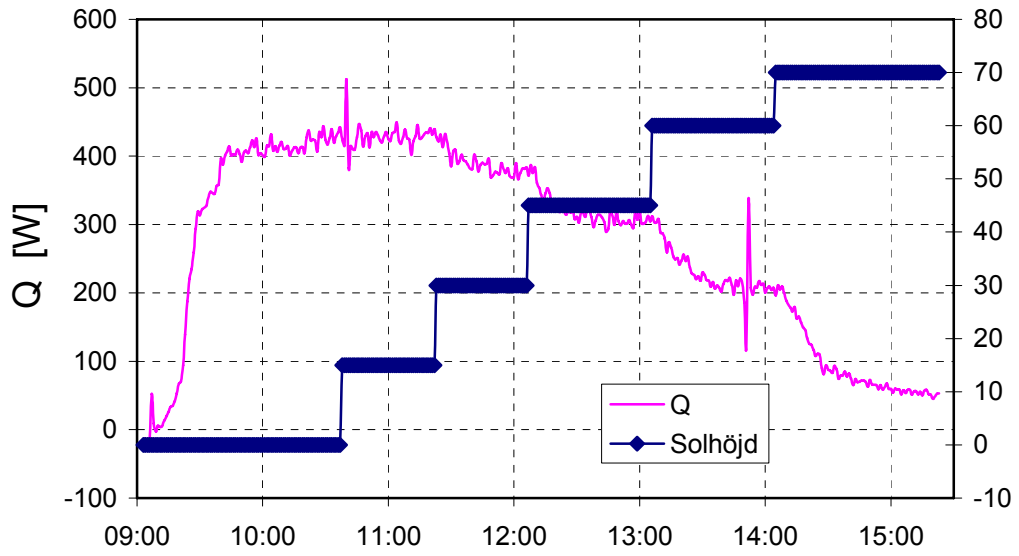
Detta ger den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoenden F´U från trendlinjen.

$F'(\tau\alpha)_n$=0,603

F´U=2,72 W/m²K

3.5.4 Longitudinellt vinkelberoende

Vakuumrörets infallsvinkelberoende är riktningsberoende. Det finns två infallsvinkelberoende ett längs röret, longitudinellt, och ett tvärs röret, transversellt. Solfångarens longitudinella vinkelberoende mäts genom att hålla solfångaren vertikalt och ändra solhöjden.



Figur 3.30 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av longitudinella infallsvinkeln.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.24. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.5.1 och reduceras med cosinus för infallsvinkeln.

Tabell 3.24 Medelvärden för mätningen 3.30 för de olika infallsvinklarna.

Solhöjd	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**	**70**
start	09:44	10:45	11:40	12:24	13:38	14:42
slut	10:37	11:22	12:06	13:05	14:04	15:23
Q (W)	415.40	429.57	380.80	308.89	210.80	59.72
I (W/m^2)	981.00	947.57	849.57	693.67	490.50	335.52
T_mean	28.03	25.19	25.44	26.01	26.27	26.61
DeltaT	4.67	3.73	3.29	3.44	3.24	3.06

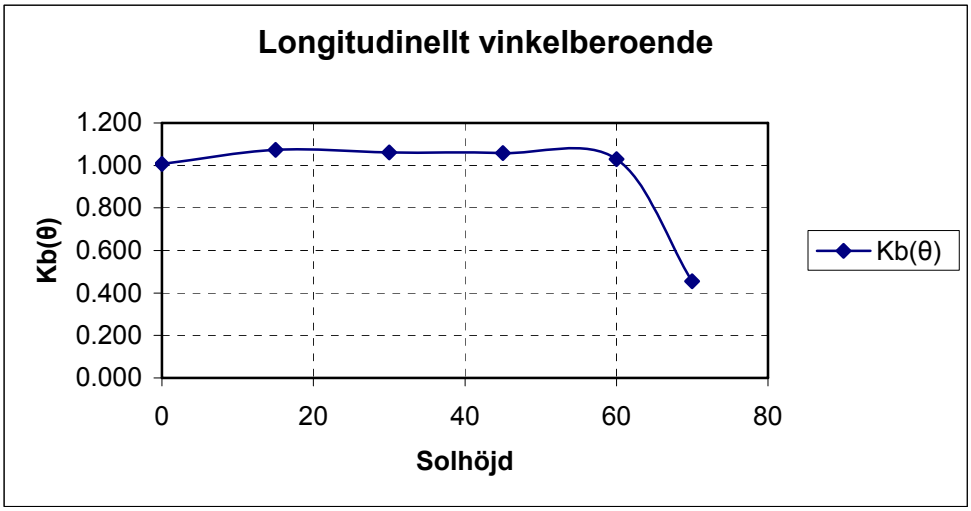
För att bestämma infallsvinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ som bestäms med ekvation (3.1).

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna 3.4.3. Övriga data fås från tabell 3.24. Resultatet visas i tabell 3.25.

Tabell 3.25 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av longitudinell infallsvinkeln.

solhöjd	0	15	30	45	60	70
Kb(θ)	1.007	1.073	1.061	1.059	1.030	0.455

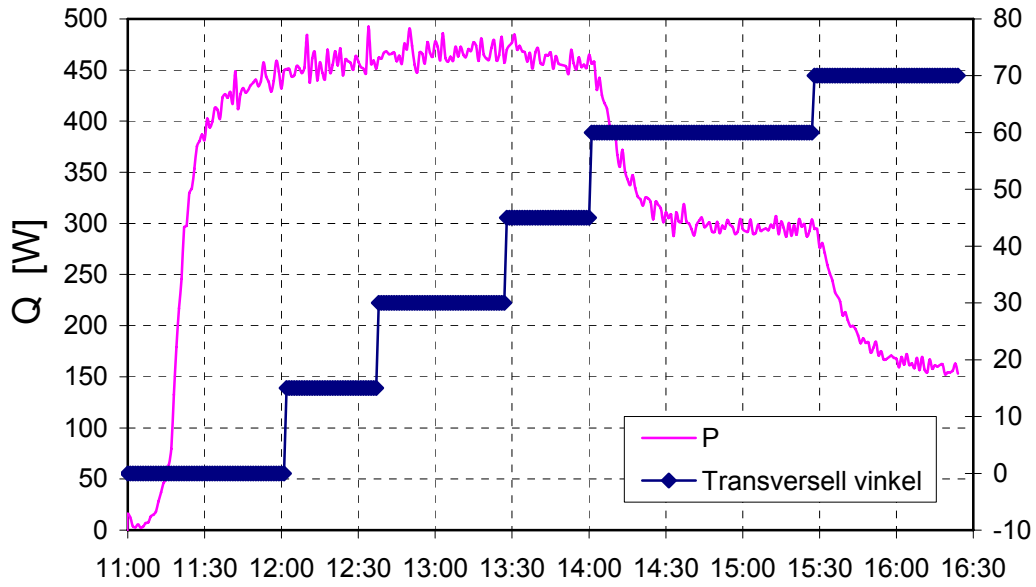


Figur 3.31 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av infallsvinkeln.

Mätningen visar inget bra resultat. Kb(60^o) är större än ett så inget b_0 kan beräknas. De dåliga resultaten beror framförallt på intensiteten reducerad med cosinus för vinkel blir för låg i förhållande till vad den egentligen är. Intensiteten blir högre därför att mer från det centrala ljuset används och ljuset på kanterna inte används när solhöjden höjs.

3.5.5 Transversellt vinkelberoende

Solfångarens transversella vinkelberoende mäts genom att solsimulatorn är stilla och solfångaren vrids kring en vertikal axel. Mäter från normalt infall 0 ° till 70 °.



Figur 3.32 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av den transversella vinkel.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.26. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.5.1.

Tabell 3.26 Medelvärden för mätningen 3.19 vid olika infallsvinklar.

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
start	11:42	12:02	12:38	13:28	14:46	16:04
slut	12:01	12:37	13:27	14:00	15:27	16:24
Q (W)	438.16	455.65	467.06	462.25	295.82	160.17
I (W/m2)	981.80	948.35	850.26	694.24	490.90	335.80
T_mean	28.06	25.11	25.37	25.21	25.64	25.91
DeltaT	5.28	5.21	4.95	3.77	3.17	2.60

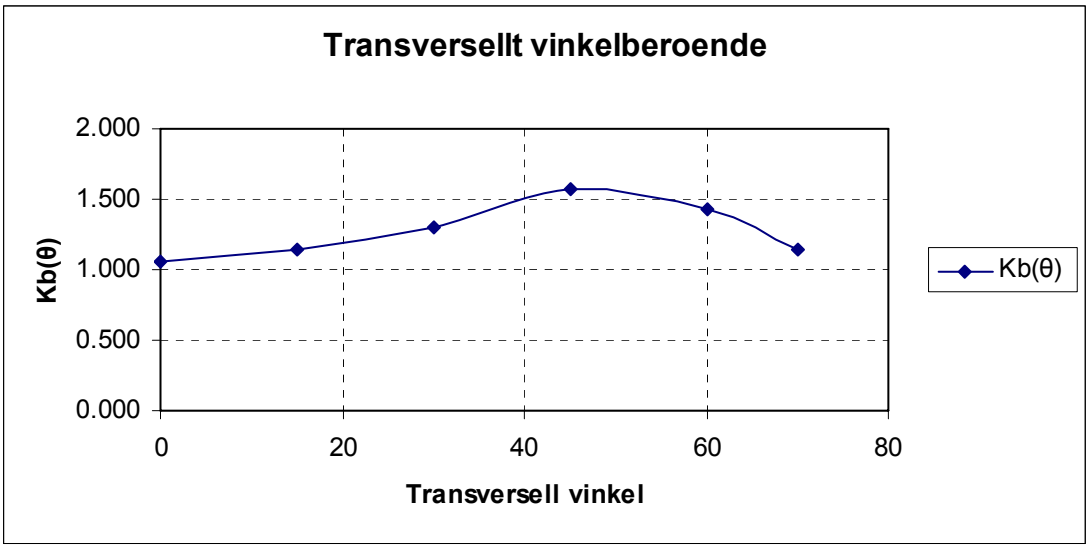
För att bestämma transversella vinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ som fås ur ekvation 3.1.

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna 3.5.2. Övriga data fås från tabell 3.26. Resultatet visas i tabell 3.27. Intensiteten för mätningen fås från mätningen över intensiteten från lamporna 3.5.1.

Tabell 3.27 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den transversella infallsvinkeln.

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
Kb(θ)	1.063	1.143	1.305	1.575	1.432	1.145



Figur 3.33 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den transversella infallsvinkeln.

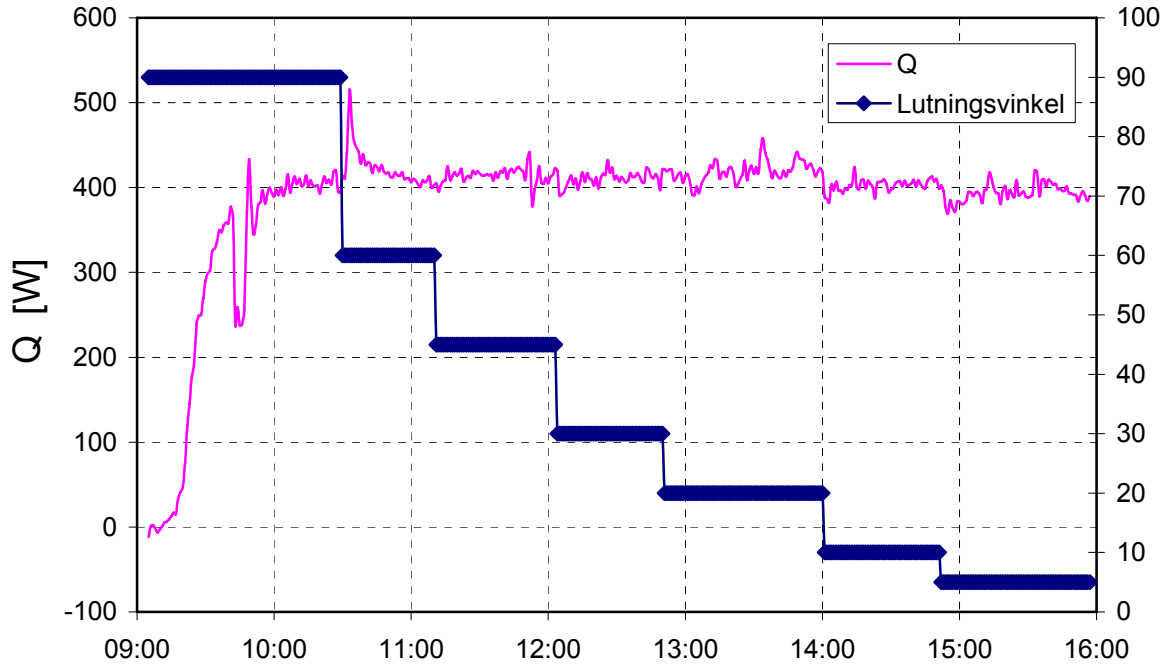
Mätningen visar att effekten från solfångeren är bra ända fram till och med 45° sen börjar rören skugga varandra och effekten sjunker.

3.5.6 Lutningsvinkeln för solfångaren

Verkningsgraden mäts vid olika lutningsvinklar på solfångaren. Mätningen utfördes vid låg temperatur för solfångaren.

Figur 3.34 Visar hur effekten varierar med minskade lutningsvinkel. Simulatorns vinkel ändras så att normalt infall fås vid vinklarna 20° till 90°. Vid 10° lutningsvinkel så är infallsvinkel 10° och för 5° lutningsvinkel är infallsvinkeln 15°.

.



Figur 3.34 Effekten Q som fås ut ur solfångare beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren.

De olika parametrarna för mätningen tas som medelvärde för mätningen genom att ta mätdata då effekten är stabil ur figur 3.11. Detta ger följande värde. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.5.1. Intensiteten reduceras för lutningsvinkel 10^{o} och 5^{o} med cosinus (10^{o}) respektiver med cosinus (15^{o}).

Tabell 3.28 Medelvärde för olika parametrar beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren.

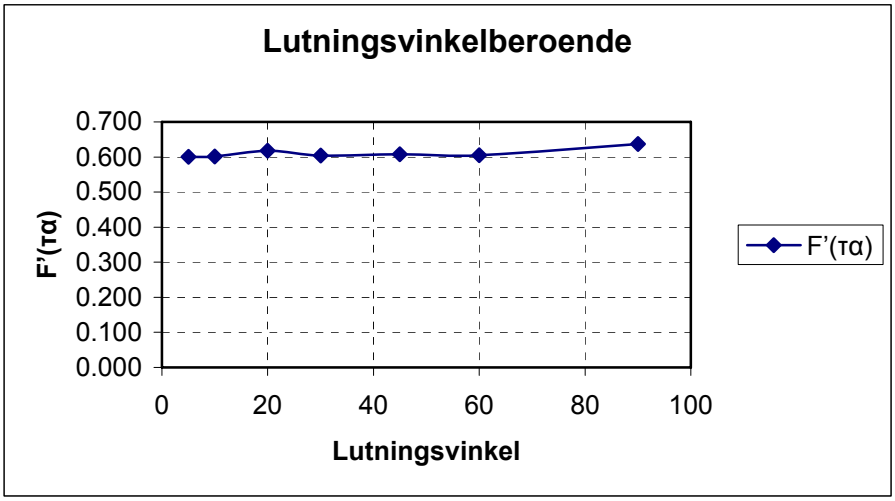
Lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	5
start	09:57	10:43	11:13	12:07	13:04	14:01	14:52
slut	10:29	11:10	12:03	12:50	14:00	14:51	15:57
Q (W)	432.58	412.66	414.70	411.29	420.21	402.45	393.84
I (W/m^2)	981.00	981.00	981.00	981.00	981.00	966.10	947.57
T_mean	29.79	27.01	27.44	28.22	28.03	27.93	27.91
DeltaT	6.53	5.33	5.27	5.67	5.99	5.99	5.96

Den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ beräknas för varje lutning vinkel med ekvation 3.5. Temperaturberoendet F´U fås från resultatet för temperaturberoende mätningen 3.5.3 övriga data fås från tabell 3.28.

$$F'(\tau\alpha)_n = \frac{Q}{IA} + \frac{F'U1\Delta T}{I} \qquad (3.5)$$

Tabell 3.29 Beräknad optisk verkningsgrad beroendet på lutningsvinkel för solfångaren.

lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	5
$F'(\tau\alpha)$	0.637	0.605	0.608	0.604	0.618	0.601	0.600



Figur 3.35 Lutningsvinkelberoende för solfångaren.

Mätningen visar att solfångaren fungerar bra för alla lutningsvinklar. Verkningsgraden är i princip oberoende av lutningen på solfångaren. Vilket är precis som förväntat att ett U-rör inte ska påverkas av vilken lutning den hålls i eftersom värmen från absorbatorn pumpas upp i samlingsröret med hjälp av U-röret.

3.5.7 Stagnationstemperatur

Stagnationstemperaturen för denna solfångare går inte att mäta eftersom solfångaren är i helt i hopsatt och det går inte att komma in med en temperaturgivare för att mäta temperaturen utan att ta i sönder solfångaren.

3.6 Rörsolfångaren helt vätskefylda kuzeySAN

Solfångaren som skall karakteriseras är en vakuumrörsolfångare med rund absorbator som är helt vätskelfylld. Vakuumrörena består av två glasrör med vakuum i mellan, detta skapar isoleringen för vakuumröret ungefär som en termos. Absorbator ytan finns på det inre glasröret och består av ett selektivt skickt som absorberar solljus bra och emitterar värmestrålning dåligt. Innan för det inre glasröret så är vakuumrören helt fyllt med vatten, det blir mycket vatten för att fylla alla vakuumrörena nämligen hela 30,85 kg vätska. Det är betydligt mer än de andra solfångarna de innehöll bara ca 1,6 kg vätska. Vattnet i vakuumrörena är samma vatten som pumpas runt i solfångarkretsen. Värme överföringen sker genom när absorbatorn blir varm värms vattnet i vakuumrören upp och varmt vatten har lägre densitet än kallt vatten så det varma vattnet stiger i vakuumrörena och det kalla vattnet sjunker och på det viset sker värmeöverföringen till samlingröret. Det stora mängd vatten som denna solfångaren innehåller kommer medföra att den kommer att ha väldigt stora tidskonstanter.

3.6.1 Intensiteten från lamporna

Ljusintensiteten mäts med en flyttbar pyranometer på 5x7 punkter på solfångaren. En multimeter ansluten till pyranometer läses av manuellt när värdet har stabiliserat sig.

Tabell 3.29 Ljusintensiteten uppmätt i 35 punkter på solfångarens yta.

683.0		895.6		876.3		934.3		579.9
914.9		1159.8		1211.3		1063.1		702.3
1069.6		1146.9		1114.7		1011.6		811.9
1172.7		1050.3		1172.7		857.0		831.2
1140.5		1018.0		902.1		863.4		786.1
902.1		1127.6		1069.6		1069.6		786.1
734.5		902.1		882.7		850.5		792.5
							Medel	945.3

3.6.2 Mörker U-värde

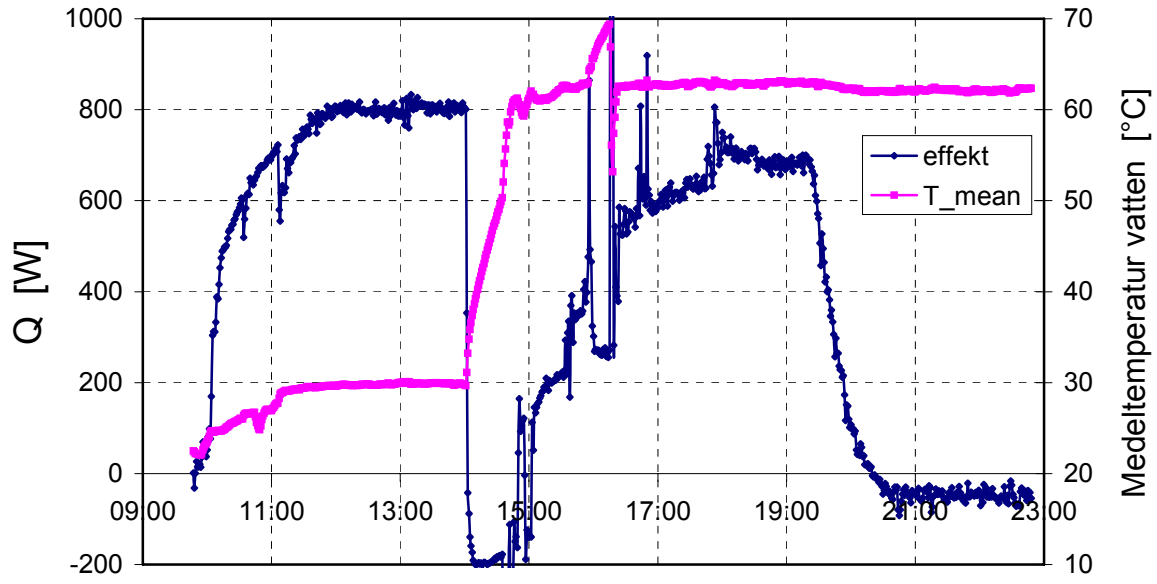
Mörker U-värde är ett mått på hur mycket energi som strömmar ut ur solfångaren när den inte belyses. För solfångaren som är helt vätskefylld så blir vakuumrörena delvis uppvärmda vid ett sådant test. Detta test görs genom att mäta hur stor effekt som strömmar ut ur solfångaren när solfångaren har en hög temperatur ca 70 °C. Testet gör vid en solfångarlutning på 30 °.

$$\text{U-mörker} = \frac{Q}{A\Delta T} = \frac{63}{0.952 \cdot 46{,}47} = 1{,}43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Solfångararean A= 0,034m*1,4m*20st rör= 0,952m^2.

3.6.3 Verkningsgraden vid olika temperaturer

Ur dessa mätningar bestäms parametrarna optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet U-värdet för solfångaren $F'U$ genom att mäta solfångarens verkningsgraden vid olika temperaturer. Mätningarna utförs endast vid två temperaturer eftersom solfångaren är så värmetrög så får vi endast med två temperaturer. Mäter vid inloppstemperaturerna 27 °C och 60 °C. Mellan temperaturerna 27 °C och 60 °C så slås värmaren på för att snabbare komma upp i rätt temperatur. Testet utfördes för en lutningsvinkel på 30° för solfångaren.



Figur 3.36 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av temperaturen i solfångaren.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämnvikt för de olika temperaturerna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.30. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.61.

Tabell 3.30 Medelvärden för mätningen 3.36 under olika tidpunkter.

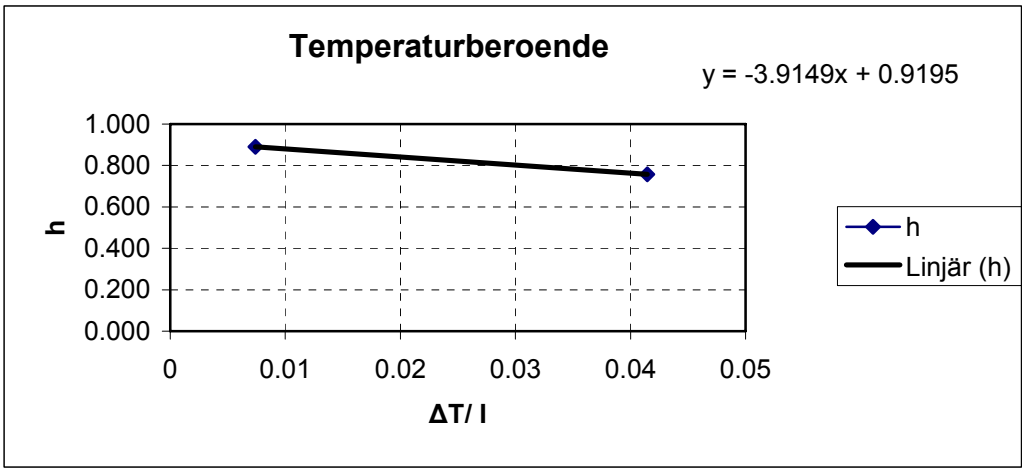
Temperatur	27	60
start	12:13	18:40
slut	14:00	19:23
Q (W)	801.44	681.42
I (W/m^2)	945.30	945.30
T_mean	29.86	62.99
DeltaT	7.00	39.20

Ur data från tabell 3.30 beräknas verkningsgraden för de olika temperaturerna. Parametern ΔT/ I fås ur ekvation 2.4.

Tabell 3.31 Beräknade verkningsgrader vid de olika temperaturerna.

Temperatur	27	60
η=Q/(I*A)	0.891	0.757
ΔT/ I (°C*m^2/W)	0.007402	0.041468

Ur data från tabell 3.31 görs en linjär trendlinje för att bestämma den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoendet $F'U$.



Figur 3.37 Trendlinje över verkningsgraderna vid olika temperaturer.

Detta ger den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ och temperaturberoenden F´U från trendlinjen.

$F'(\tau\alpha)_n$=0,92

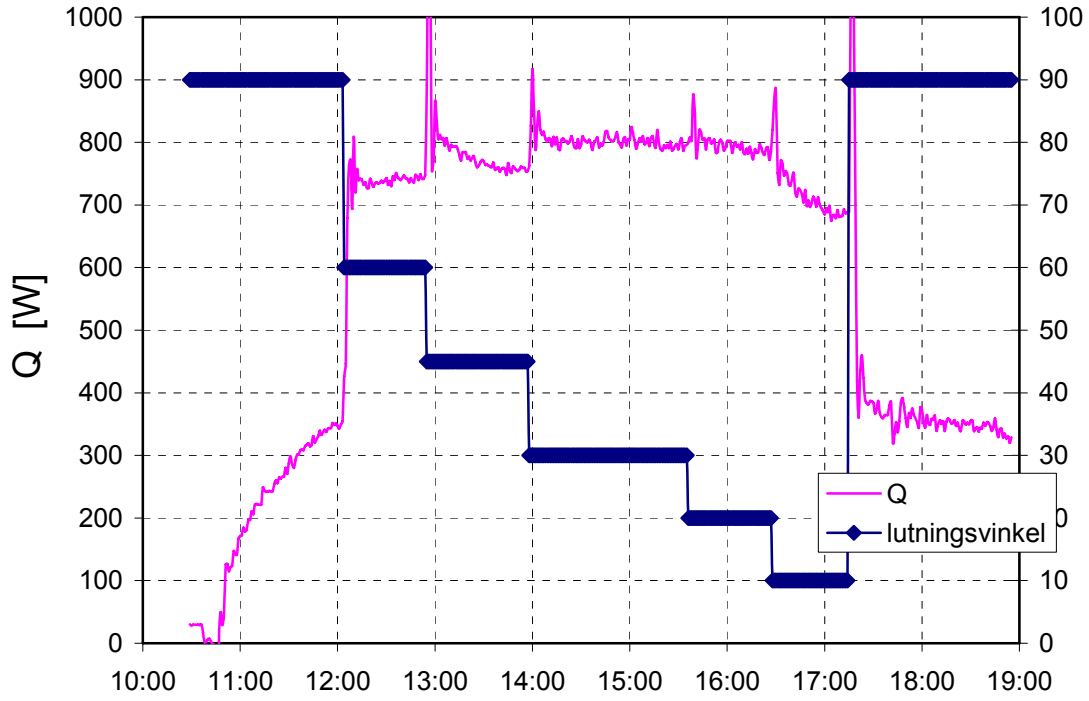
F´U=3,91 W/m^{2}K

Mätningen gav en väldigt hög optiskverkningsgrad samt temperaturberoendet är högre än för de andra solfångarna.

3.6.5 Lutningsvinkeln för solfångaren

Verkningsgraden mäts vid olika lutningsvinklar på solfångaren. Intressant att se hur den helt vätskefyllda solfångaren fungerar under olika lutningsvinklar. Mätningarna görs vid låg temperatur. Två mätningar gör vid 90 ^{o} för att verifiera att effekten sjunker när solfångaren hålls vertikalt.

Figur 3.11 Visar hur effekten varierar minskande lutningsvinkel. Simulatorns vinkel ändras så att normalt infall fås vid vinklarna 20 ^{o} till 90 ^{o}. Vid 10 ^{o} lutningsvinkel så är infallsvinkel 10^{o}.



Figur 3.38 Effekten Q som fås ut ur solfångare beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren.

De olika parametrarna för mätningen tas som medelvärde för mätningen genom att ta mätdata då effekten är stabil ur figur 3.38. Detta ger följande värde. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.6.1. Intensiteten reduceras för lutningsvinkel 10^{o} med cosinus (10^{o}).

Tabell 3.32 Medelvärde för olika parametrar beroendet på lutningsvinkeln för solfångaren.

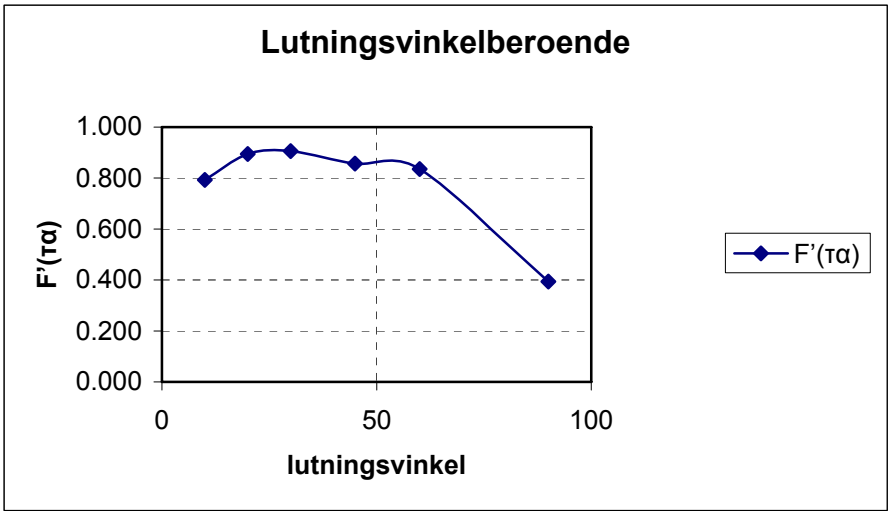
lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	90
start	11:59	12:16	13:32	14:16	15:51	16:55	17:37
slut	12:03	12:54	13:57	15:35	16:27	17:14	18:55
Q (W)	349.28	739.21	758.15	800.33	790.51	689.49	351.55
I (W/m^2)	945.00	945.00	945.00	945.00	945.00	930.64	945.00
T_mean	26.34	26.45	27.59	28.52	28.30	27.45	25.98
DeltaT	2.62	5.75	6.21	7.00	6.91	6.02	2.75

Den optiska verkningsgraden $F'(\tau\alpha)_n$ beräknas för varje lutning vinkel med ekvation 3.5. Temperaturberoendet F´U fås från resultatet för temperaturberoende mätningen 3.5.3 övriga data fås från tabell 3.32.

$$F'(\tau\alpha)_n = \frac{Q}{IA} + \frac{F'U1\Delta T}{I} \qquad (3.5)$$

Tabell 3.33 Beräknad optisk verkningsgrad beroendet på lutningsvinkel för solfångaren.

lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	90
$F'(\tau\alpha)$	0.394	0.835	0.857	0.906	0.894	0.792	0.397

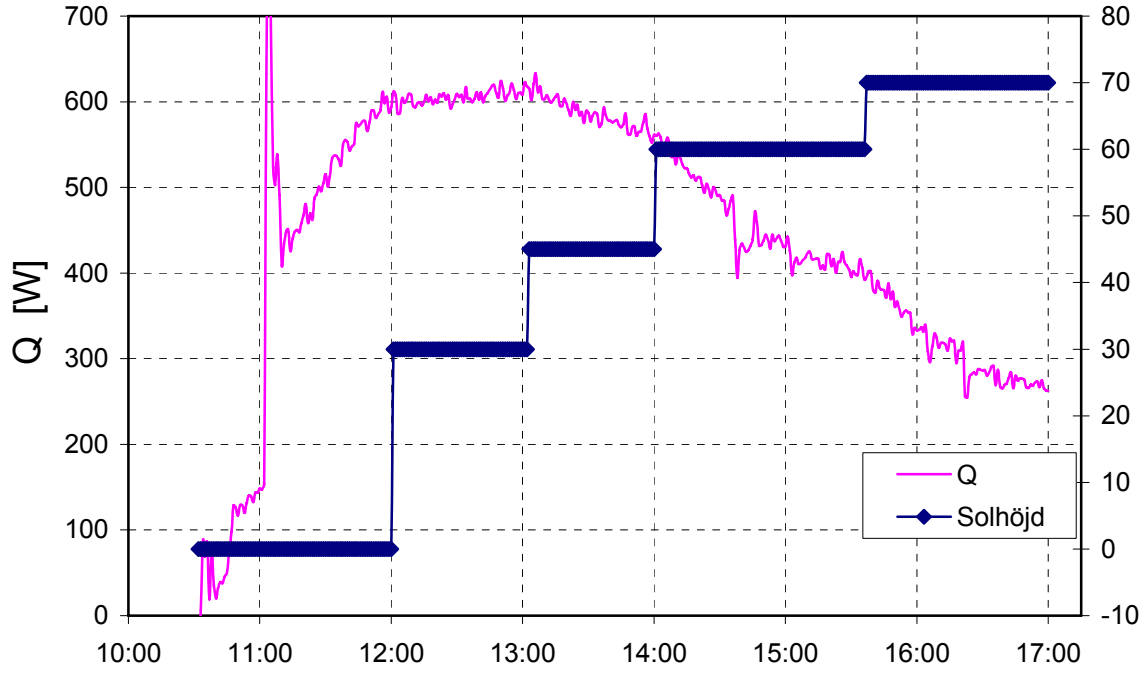


Figur 3.39 Lutningsvinkelberoende för solfångarens optiska verkningsgrad.

Resultatet visar att verkningsgraden avtar för lutningsvinkel 90 °. Verkningsgraden för lutningsvinklarna 10 ° till 60 ° är relativt konstant. Det skulle ha behövs en till mätpunkt mellan 60 ° och 90 ° lutningsvinkel för att kunna veta hur bra solfångaren fungerar för dessa lutningsvinklar. Med dessa resultaten så kan vi konstatera att solfångaren bör monteras på en lutningsvinkel på högst 60 °. Bäst effekt levererar solfångaren vid 30 ° lutning så 30 ° lutning används vid för att bestämma solfångarens temperaturberoende. Min teori över varför solfångaren fungeras så dålig vid höga lutningsvinklar beror på för då måste värmen i rören stiga mycket för att komma upp till samlingsröret. För lägre lutningsvinklar kan ett skikt med vatten bildas överst i vakuumröret och ett kallt underst så att värmecirkulationen i vakuumröret blir bättre.

3.6.6 Longitudinellt vinkelberoende

Solfångarens longitudinella vinkelberoende mäts genom att hålla solfångaren vertikalt och ändra solhöjden.



Figur 3.41 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av longitudinella infallsvinkeln.

Mätdata tas ur diagrammet ovan vid jämvikt för de olika infallsvinklarna och beräknar följande medelvärden, tabell 3.34. Intensiteten fås från intensitetsmätningen 3.6.1 och reduceras med cosinus för infallsvinkeln.

Tabell 3.34 Medelvärden för mätningen 3.41 för de olika infallsvinklarna.

Solhöjd	**0**	**30**	**45**	**60**	**70**
start	11:58	12:09	13:49	15:08	16:28
slut	12:00	13:02	13:59	15:36	17:00
Q (W)	595.77	606.57	566.91	410.94	275.23
I (W/m^2)	945.00	818.39	668.22	472.50	323.21
T_mean	28.95	25.57	25.95	25.93	26.29
DeltaT	4.38	4.29	3.56	3.61	3.79

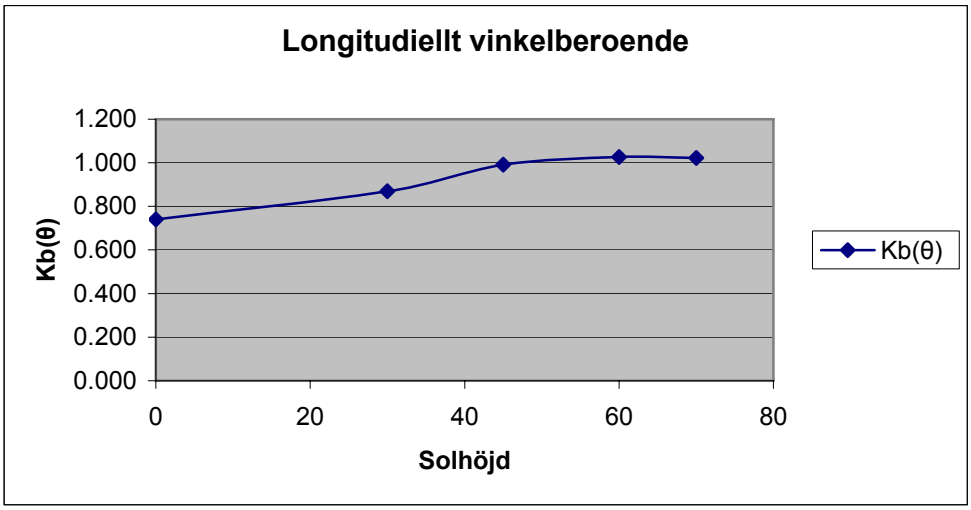
För att bestämma infallsvinkelberoendet beräknas $K_b(\theta)$ som bestäms med ekvation (3.1).

$$K_b(\theta) = \frac{\frac{Q}{A} + F'U\Delta T}{F'(\tau\alpha)_n I_b} \qquad (3.1)$$

Infallsvinkelberoendet beräknas genom att sätta in värden på $F'U$ och $F'(\tau\alpha)_n$ från resultatet från verkningsgradsmätningarna 3.5.3. Övriga data fås från tabell 3.34. Resultatet visas i tabell 3.35.

Tabell 3.35 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av longitudinell infallsvinkeln.

solhöjd	0	30	45	60	70
Kb(θ)	0.740	0.869	0.992	1.026	1.023

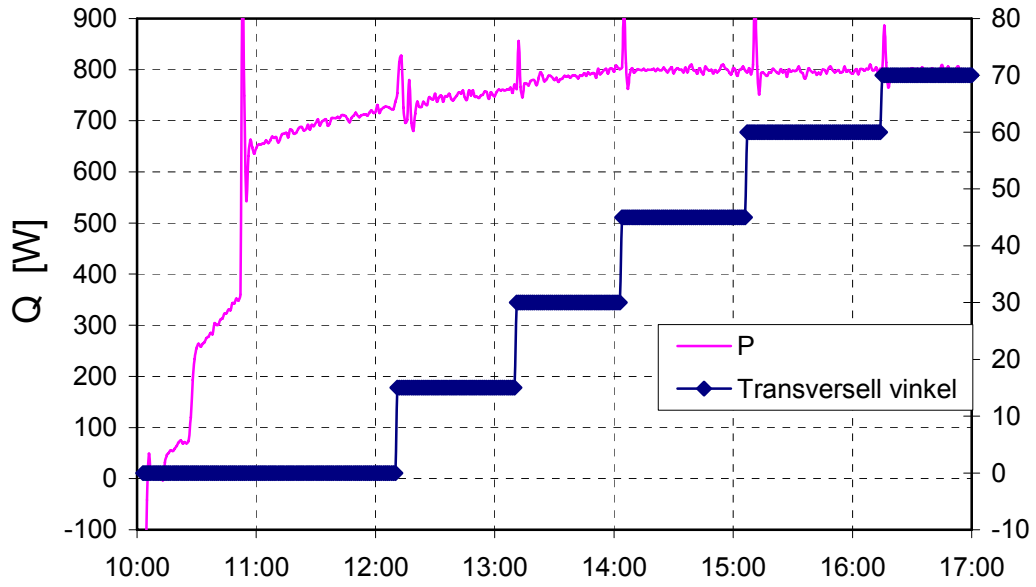


Figur 3.42 Infallsvinkelberoendet Kb(θ) som funktion av den longitudinella infallsvinkeln.

Mätningen visar inget bra resultat. Kb(θ) ska börja på ett men det gör den inte beroende på att denna mätningen är gjord vid en 90 ^{o} lutning då effekten var betydligt lägre än för lutningsvinkel 30 ^{o} där parametrarna för verkningsgrads mätningen bestämdes. Kurvan går uppåt beror nog på att reducerade intensiteten nog visar för lågt värde i relation till vad den egentligen är.

3.6.7 Transversellt vinkelberoende

Solfångarens transversella vinkelberoende mäts genom att solsimulatorn är stilla och solfångaren vrids kring en vertikal axel. Mäter från normalt infall 0 ^{o} till 70 ^{o}. Solfångaren monteras i en lutning på 30 ^{o}. Solhöjden är 60 ^{o} så att normalt infall sker mot solfångaren.



Figur 3.40 Effekten Q som fås ut ur solfångaren som funktion av den transversella vinkel.

Mätningen visar att effekten från solfångaren inte beror på vilken transversell vinkel den sätt i. Detta beror på att solfångaren lutningsvinkel är 30 ^{o}. Vilket gör att när man vrider solfångarna så skuggar vakuumrören inte varandra så som de skulle ha gjort om jag hade haft solfångaren i 90 ^{o} lutning. Vilket vi hade för de andra solfångarna. Så testet skulle ha gjorts för 90 ^{o} för att ge något resultat även om det inte skulle ha varit bra eftersom solfångaren gav så låg effekt vid 90 ^{o} lutning. De slutsatser man kan dra från mätningen är att det tar 4 timmar innan solfångaren kommer upp i full effekt

3.5.8 Stagnationstemperatur

Stagnationstemperaturen för denna solfångare går inte att mäta eftersom solfångaren är i helt i hopsatt och det går inte att komma in med en temperaturgivare för att mäta temperaturen utan att ta i sönder solfångaren.

4 Simulering av årsutbytet

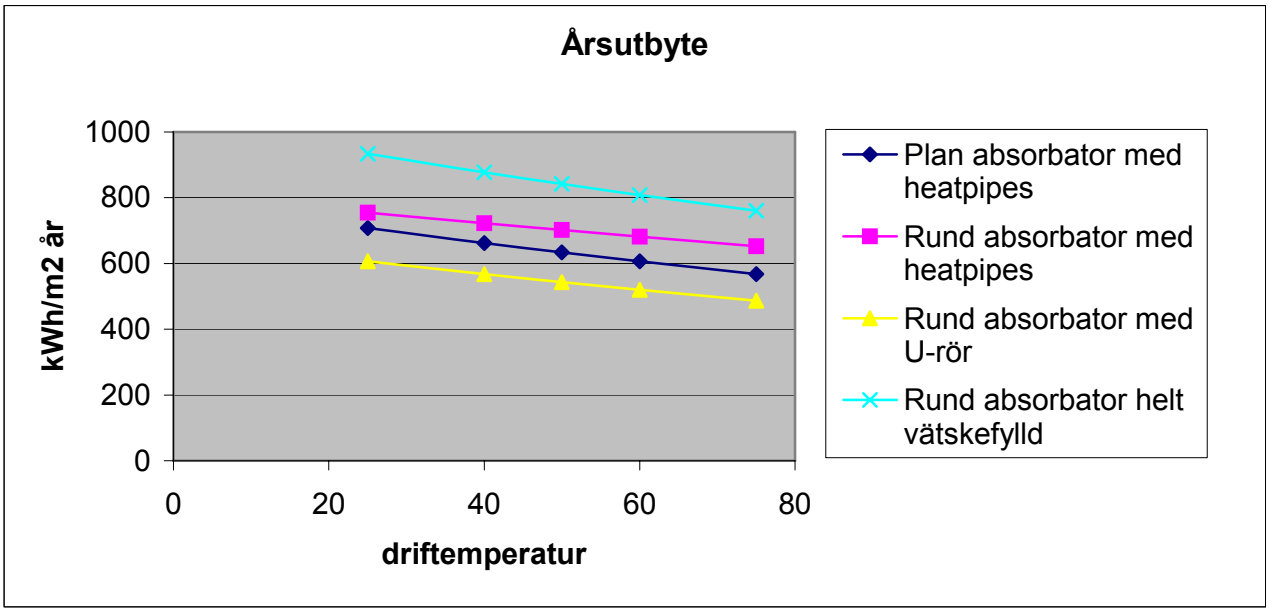
För att få reda på hur mycket energi respektive solfångare kan leverera under ett år så görs en simulering av årsutbytet. Simuleringen görs med programmet Winsun skrivet av Bengt Peres på Energi och Byggnadsdesign. Simuleringen gör med utgångspunkt från de optiska verkningsgraderna och temperaturberoendet U-värdet för de olika solfångarna. Dessa har beräknas utifrån en mätning av solfångarens temperaturberoende.

Indata till programmet ändras i Coll1.dat filen. Indata till programmet kan ses i tabell 4.1.

Tabell 4.1 Indata till programmet Winsun.

Typ av solfångare	$F'(\tau\alpha)_n$	**U1**	**U2**	b_0
Plan absorbator heatpipes	0.70	3.19	0.00	0.01
Rund absorbator heatpipes	0.73	2.16	0.00	0.01
Rund absorbator u-rör	0.60	2.72	0.00	0.01
Rund absorbator helt vätskefylld	0.92	3.91	0.00	0.01

Simuleringen av årsutbytet görs för geografisk plats som Lund för lutningsvinkel 30 ^{o} på solfångaren för drift temperaturerna 25, 40, 50, 60 och 75 ^{o}C för varje solfångare. Resultatet kan ses i figur 4.1.



Figur 4.1 Simulerat årsutbyte för de olika solfångarna beroende på drifttemperatur för Lund vid 30 ^{o} lutningsvinkel.

En simulering gör även för årsutbytet vid variabel temperatur i solfångarna. Där temperaturen är 40 ^{o}C i januari, 45 ^{o}C i februari osv till 65^{o}C i juni och juli sedan ner igen till 40^{o}C i december i solfångaren. Resultatet ger följande årsutbyten.

Tabell 4.2 Årsutbytet vid variabel temperatur.

Typ av solfångare	**Årsutbyte kWh/(m^2 år)**
Plan absorbator heatpipes	617
Rund absorbator heatpipes	690
Rund absorbator U-rör	529
Rund absorbator helt vätskefylld	822

Resultat visa att den helt vätskefyllda gav högst årsutbyte. Men ingen hänsyn har tagit i simuleringen till att denna solfångare är värme trög beroende på att den innehåller så mycket vatten. Detta leder till att årsutbytet överskattas.

5 Analys av mätningarna

Analys och sammanfattning över vad de olika mätningarna har visat görs här.

Tabell 5.1 Sammanställning av temperaturberoendet för de olika solfångarna.

Solfångare	**Optisk verkningsgrad**	**U-värdet**
Plan absorbator heatpipe	0,70	3,19
Rund absorbator heatpipe	0,73	2,16
Rund absorbator U-rör	0,60	2,72
Rund absorbator helt vätskefylld	0,92	3,91

Tabell 5.2 Sammanställning av longitudinellt och transversellt vinkelberoende för de olika solfångarna.

Solfångare	**Longitudinellt vinkelberoende Kb(60^o)**	**Transversellt vinkelberoende Kb(60^o)**
Plan absorbator heatpipe	0,875	1,138
Rund absobator heatpipe	0,964	1,567
Rund absorbator U-rör	1,030	1,432
Rund absorbator helt vätskefylld	1,026	-

Tabell 5.3 Sammanställning av mörker U-värde och stagnationstemperaturer för de olika solfångarna.

Typ av solfångare	**Mörker U-värde**	**Stagnationstemperatur**
Plan absorbator heatpipe	0,992 W/m^{2}K	195 ^{o}C
Rund absobator heatpipe	0,998 W/m^{2}K	186^{o}C
Rund absorbator U-rör	1,96 W/m^{2}K	-
Rund absorbator helt vätskefylld	1,43 W/m^{2}K	-

Resultaten man kan dra av denna sammanställning är att den helt vätskefylld solfångarna hade bäst optisk verkningsgrad men den var samtidigt väldigt värmetrög samt hade det högst U-värdet. Den solfångaren som hade näst bäst optisk verkningsgrad var den med rund absorbator och heatpipe för att överföra värmen med. Den hade även lägst U-värde. Sammantaget kan denna solfångare anses bäst. Heatpipen har även fördelen att de går lätt att byta ut om ett rör går sönder.

En nackdel för de solfångarna med heatpipes som jag har upptäckt i detta examensarbete är att de fungerar väldigt dåligt vid låga lutningsvinklar så de bör monteras på minst 30 ^{o} lutning. Om detta inte går att ordna så är det bättre att använde de andra teknikerna som U-rör eller helt vätskefyllda.

En annan sak som upptäcktes var att det helt vätskefyllda fungerade dåligt vid höga lutningsvinklar precis tvärt emot de med heatpipe gjorde. De bör monteras vid 60 ^{o} eller mindre lutning.

En jämförelse görs för resultaten för den optisk verkningsgraden och U-värdet med uppmätta värden från SP för två av solfångarna.

Tabell 5.4 Optisk verkningsgrad och U-värde samt årsutbytet för drifttemperaturen 50 ^{o}C för två av solfångarna mätta av SP[4].

Solfångare	**Optisk verkningsgrad**	**U-värde (W/m^{2}C)**	**Årsutbyte kWh/(m^2 år)**
VA1670 Plan absorbator heatpipe	0,702	2,1	525
VA1858 Rund absorbator heatpipe	0,718	2,46	618

Jämförelsen av resultaten visar att den optiska verkningsgraderna överensstämmer bra. Jag har fått något högre optisk verkningsgrad för VA1858. SP test av U-värdet ger lägre U-värde för VA1670. Årsutbytena har jag fått något högre för båda solfångarna.

En jämförelse görs även för resultaten för infallsvinkelberoendena med uppmätta värden från SP för två av solfångarna.

Tabell 5.4 Longitudinellt och transversellt vinkelberoende för två av solfångarna mätta av SP[4].

Solfångare	**Longitudinellt vinkelberoende Kb(60^{o})**	**Transversellt vinkelberoende Kb(65^{o})**
VA1670 Plan absorbator heatpipe	1,03	1,042
VA1858 Rund absorbator heatpipe	0,98	1,626

Jämförelsen av resultaten visar at överstämmelsen är bra det är för det longitudinella vinkelberoendet för VA1670 som jag har fått ett något lägre värde.

[4] SP 2006

Till sist görs en jämförelse resultaten för optiks verkningsgrad och U-värdet med några andra Kinesiska vakuumrör.

Tabell 5.6 Optisk verkningsgrad och U-värde för några andra Kinesiska vakuumrörsolfångare[5].

Solfångare	**Optisk verkningsgrad**	**U_1 (W/m^{2}C)**	**U_2 (W/m^{2}C^2)**
SLL-1200/50 SPF Helt vätskefylld	0,944	2,15	0,005
SLU 1500/12 II, Fraunhofer ISE Rund absorbator U-rör	0,5928 baserat på apertur area	0,8625	0,0109
SEIDO 2-6, wet, coaxial, flat plate absorber, SPF Plan absorbator i vakuum	0,813	2,19	0,00
SEIDO 5-16 dry, heat pipe, half circle absorber , SPF Rund absorbator heatpipe	0,736	1,78	0,013

Jämförelsen visar att värdet på den optisk verkningsgrad 0,92 som jag fick på den helt vätskefyllda inte är orimligt eftersom den här ovan har hela 0,94 för sin helt vätskefyllda. Annars är resultaten generellt sett lite bättre för de solfångarna här ovan jämfört med de resultaten jag fick för mina solfångare.

[5] Zhiqiang Y 2004

Referenser

Karlsson B. Kompendium i solvärmeteknik, 2005
Solenergi – grundkurs i solvärmeteknik AEB010
Energi och ByggnadsDesign Lunds Tekniska Högskola

Mundt-Petersen K. Solfångare i kombination med luft- vattenvärmepump, 2007
Examensarbete på avdelningen för Värmeöverföring institutionen för
Energivetenskaper Lunds Tekniska Högskola

SP Staten provningsanstalt, 2006. Mätningar av verkningsgrad och U-värd gjorda av Henrik Quicklund på SP åt Exoheat.på solfångare VA16770 och VA1858.

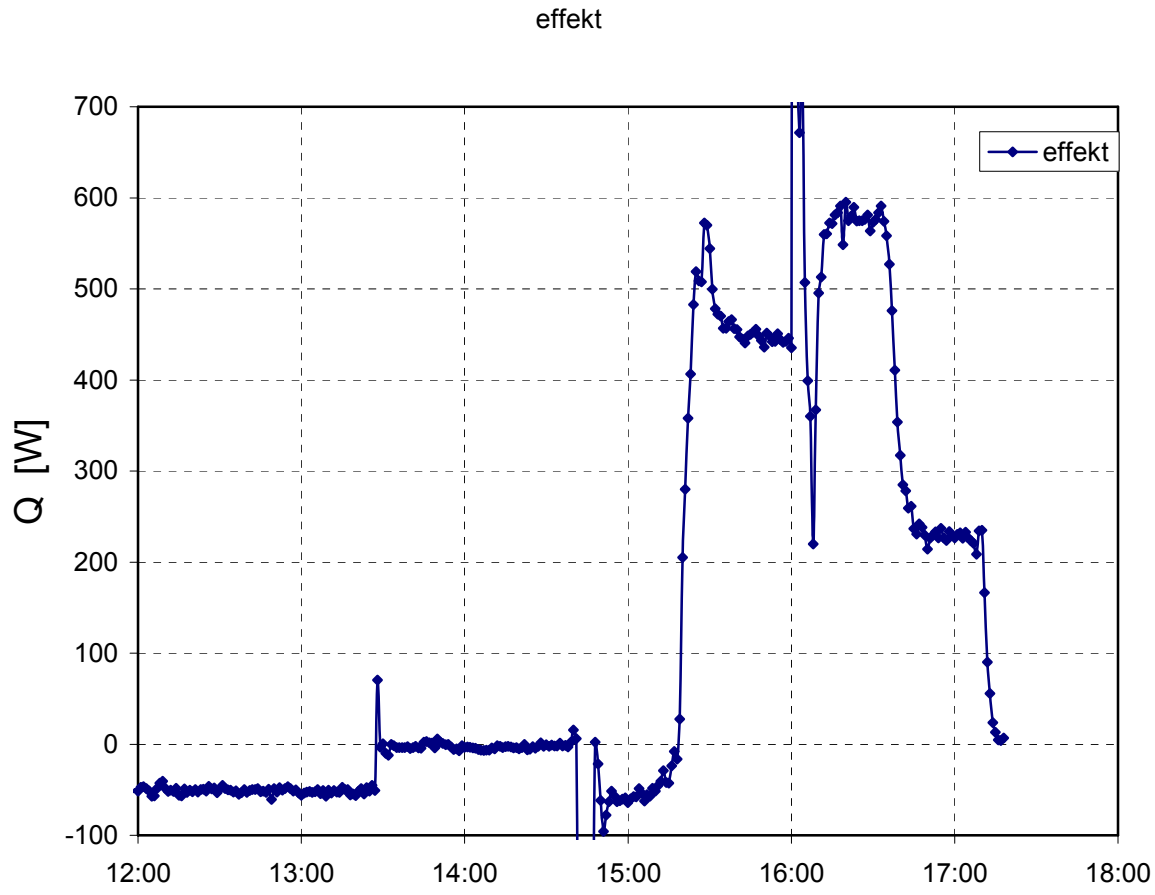
Zhiqiang Y. Development of solar thermal systems in China, 2004

Solar Energy Materials & Solar Cells 86 (2005) 427–442

Wikipedia. Heatpipe, 2007 http://sv.wikipedia.org/wiki/Heatpipe

Bilaga 1 Mätningar på plan absorbator

070117 4 mätningar

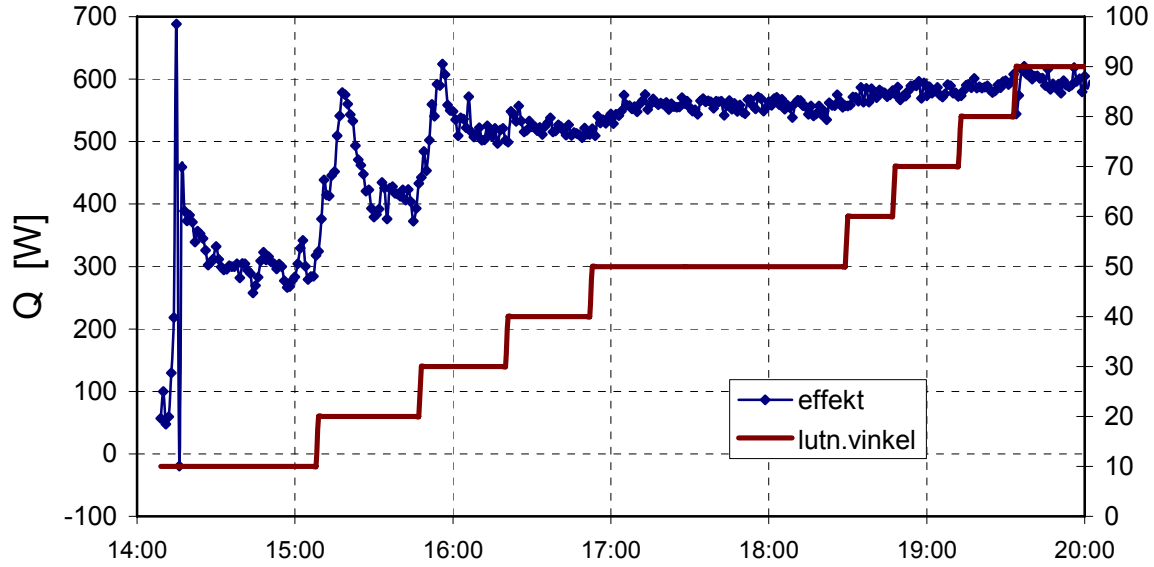


	1	2	3	4	5
start	13:34	14:55	15:36	16:25	16:46
slut	14:38	15:15	15:59	16:34	17:09
Q (W)	-2.6704	-53.195	448.94	576.86	228.43
I (W/m^2)	-2.6704	198.938	895.63	891.7	419
T_mean	76.531	76.4524	76.763	32.589	32.535
DeltaT	55.229	54.9524	54.059	8.941	9.699
T_heat_p	48.744	63.139	92.638	73.49	43.07
DT_yta	0.3734	0.34519	3.7931	2.5612	2.3497

1	ihopkopplat Tin Tout
2	Utan sol hög temp 75grader
3	normalt infall hög temp 75grader
4	normalt infall låg temp 30grader
5	60 graders infall låg temp 30grader

Q3/I3-Q4/I4				
ger F´U	2.89411	W/grad		
***F'*(*τα*)**	0.67594	optisk verkningsgrad		
Kb(60grader)	0.90563	**b0**	0.0944	

070123 Lutningsvinkelberoende



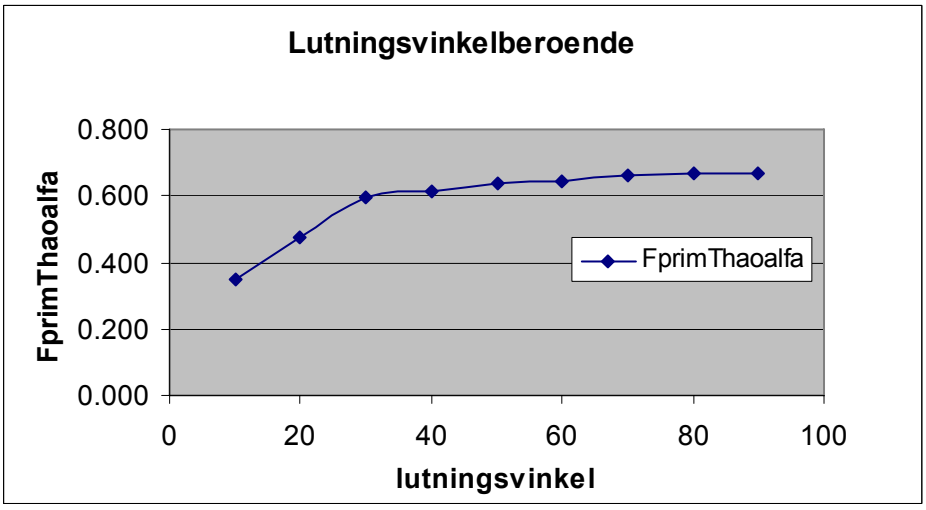
lutningsvinkel	10	20	30	40	50	60	70	80	90
start	14:34	15:36	16:08	16:32	17:18	18:33	18:55	19:17	19:40
slut	14:55	15:43	16:19	16:49	18:19	18:46	19:04	19:25	20:03
Q	297.882	418.81	512.39	518.74	557.99	566.06	584.55	587.07	595.56
I	940.409	946	918.33	904.5	938.81	941.29	943.6	942.11	949.88
T_mean	29.5427	30.058	30.065	30.588	30.489	30.736	30.741	30.847	30.763
DeltaT	6.95259	6.954	7.0106	8.36	8.5905	8.4886	8.626	8.6156	8.3258
T_heat_p	49.1614	58.26	57.958	54.208	55.613	56.206	56.578	56.372	57.124

FprimU=	2.968	watt/grad
b0	0.0944	

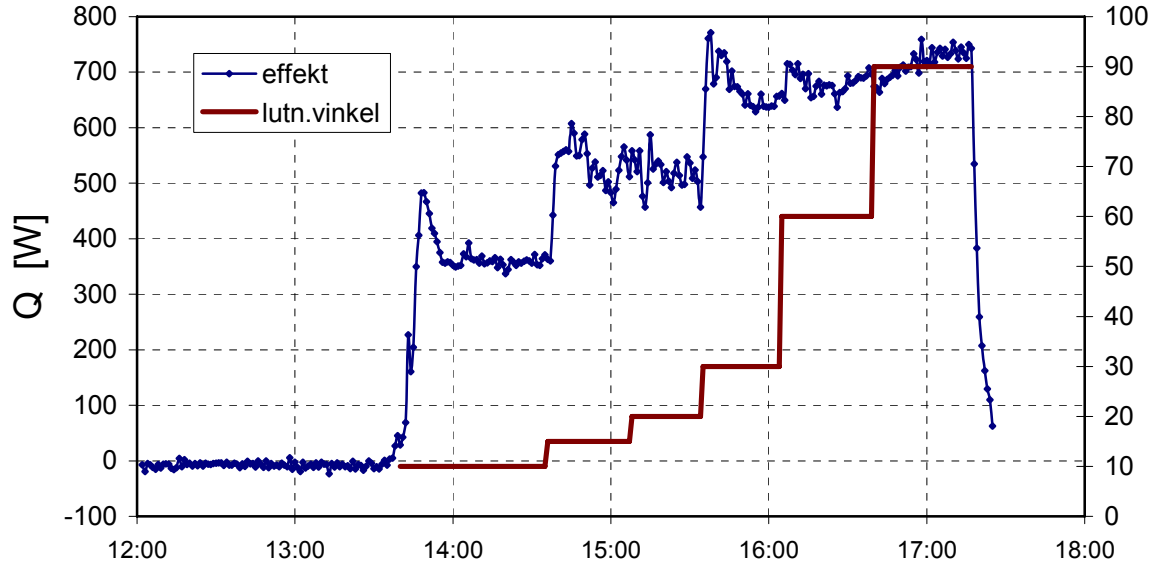
Kbfi 0.99854

lutningsvinkeln	10	20	30	40	50	60	70	80	90
FprimThaoalfa	0.347	0.476	0.595	0.616	0.637	0.644	0.663	0.666	0.669

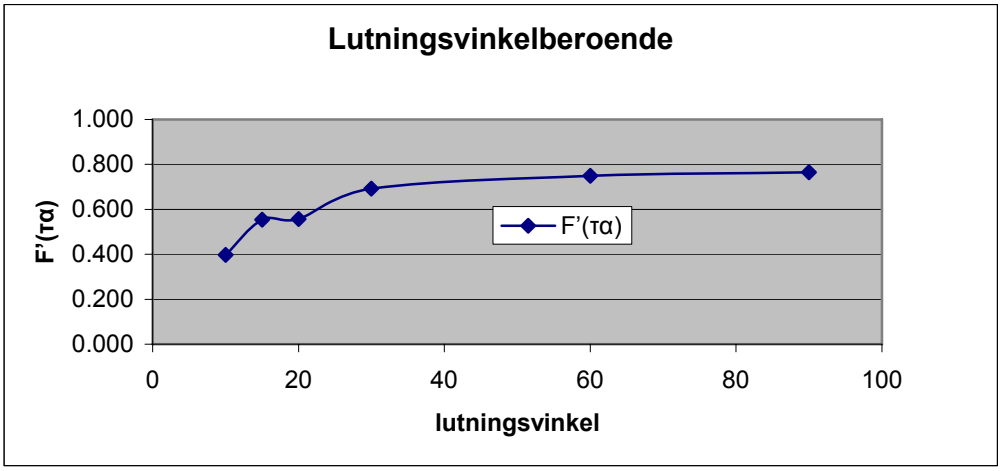
Jämfor med verkningsgrads labben 0.69



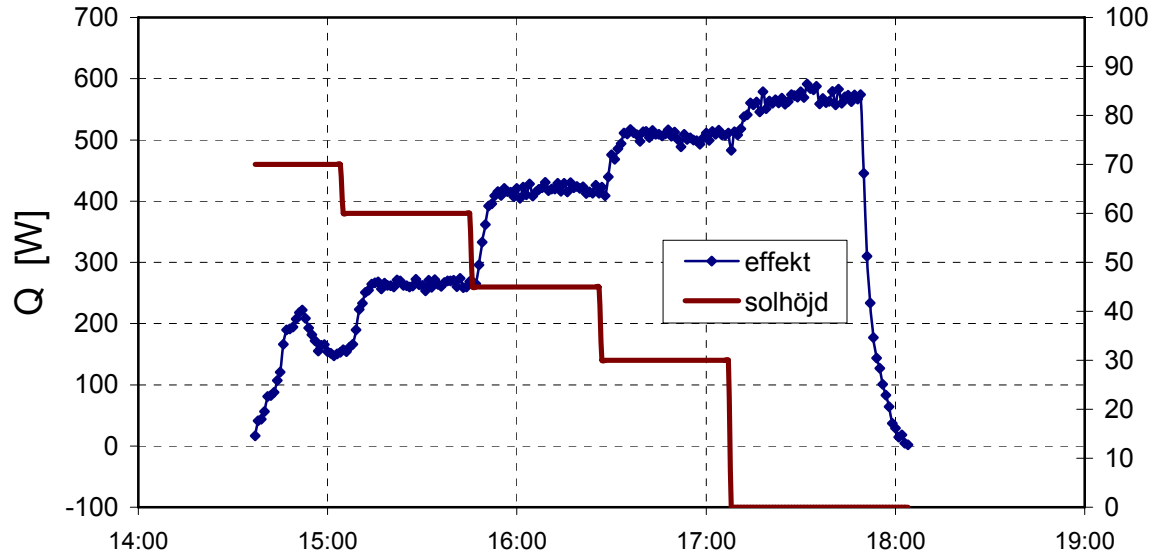
070124 Lutningsvinkelberoende



lutningsvinkel	10	15	20	30	60	90
start	13:57	14:52	15:10	15:49	16:13	17:04
slut	14:35	15:07	15:34	16:04	16:38	17:16
Q (W)	358.98	514.175	515.72	643.83	677.25	737
I (W/m^2)	960.46	966.063	963.2	960.69	926.54	980.77
T_mean	28.779	29.2625	29.314	29.639	29.207	29.37
DeltaT	7.4873	7.47344	7.3621	7.3585	6.0643	4.609
T_heat_p	48.368	51.1356	53.991	65.415	61.091	63.902
F'U	2.89	W/grad				
b0	0.0944					
Kbfi	0.9985					
F'(τα)	0.397	0.555	0.558	0.692	0.750	0.765
Jämfor med verkningsgrads labben				0.675		
Undre lampor på full effekt						


Lutningsvinkelberoende
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
F'(τα)
0
20
40
60
80
100
lutningsvinkel
F'(τα)

070131 Longitudinellt vinkelberoende

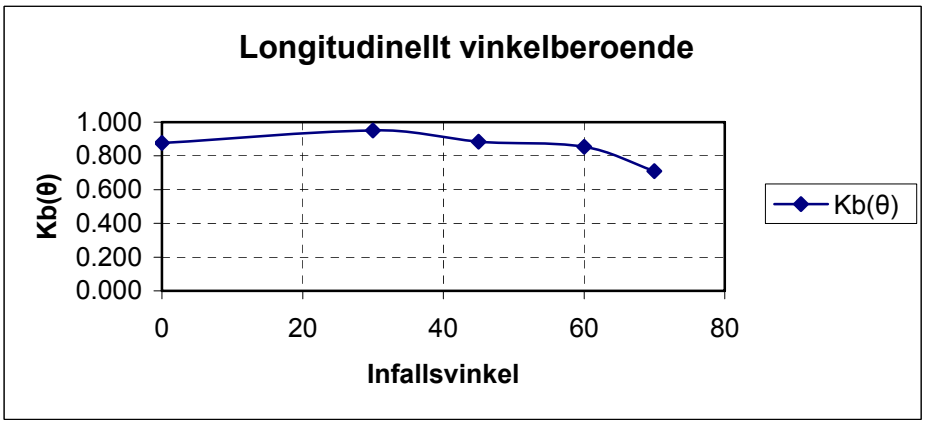


solhöjd	70	60	45	30	0
start	15:01	15:15	15:59	16:44	17:21
slut	15:05	15:46	16:26	17:07	17:48
Q (W)	151.9	264.72	419.08	506.02	569.94
I (W/m^2)	301.84	441.56	680.47	763.75	934.61
T_mean	19.154	19.528	19.944	20.168	20.82
DeltaT	-1.5188	-1.797	-1.951	-2.378	-2.481
T_heat_p	33.328	37.184	44.95	48.188	51.802
DT_yta	0.4144	1.161	1.9577	2.2512	2.67

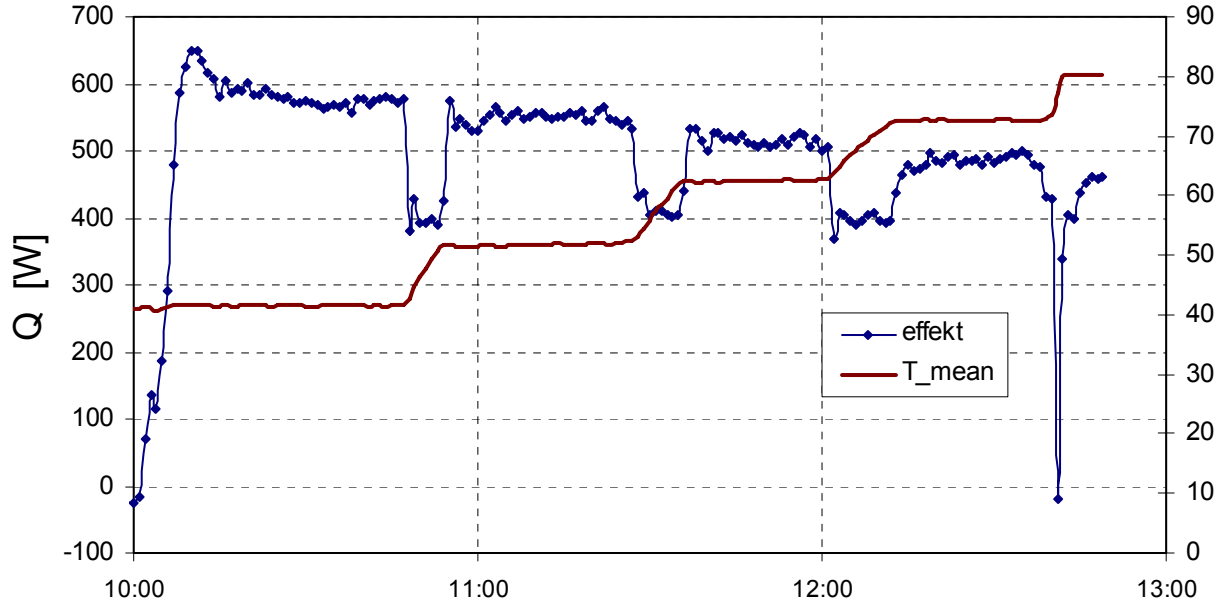
F'U	3.185	watt/grad	3.185	2.89
F'(τα)	0.7044		0.7044	0.697
A (m^2)	0.975	m2		

solhöjd	70	60	45	30	0
Kb(θ)	0.710	0.855	0.884	0.951	0.876

Jämför med raport värdet	0.905



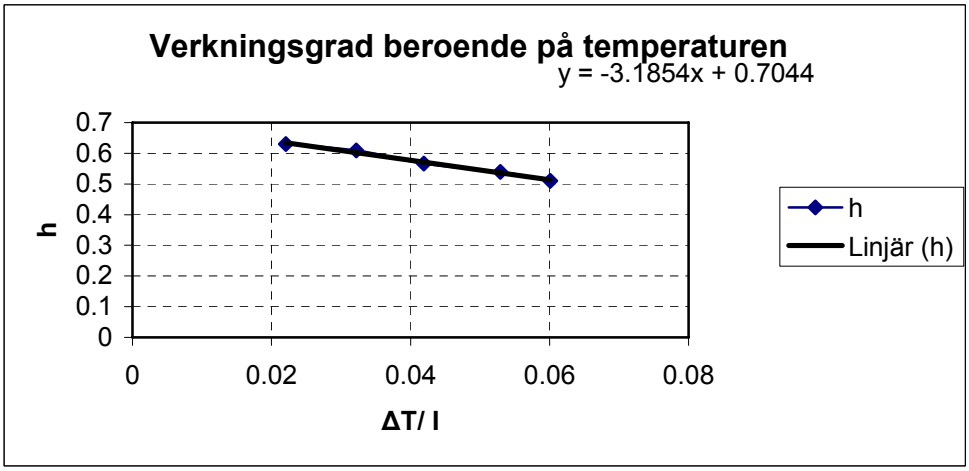
070201 Verkningsgraden beroende av temperaturen



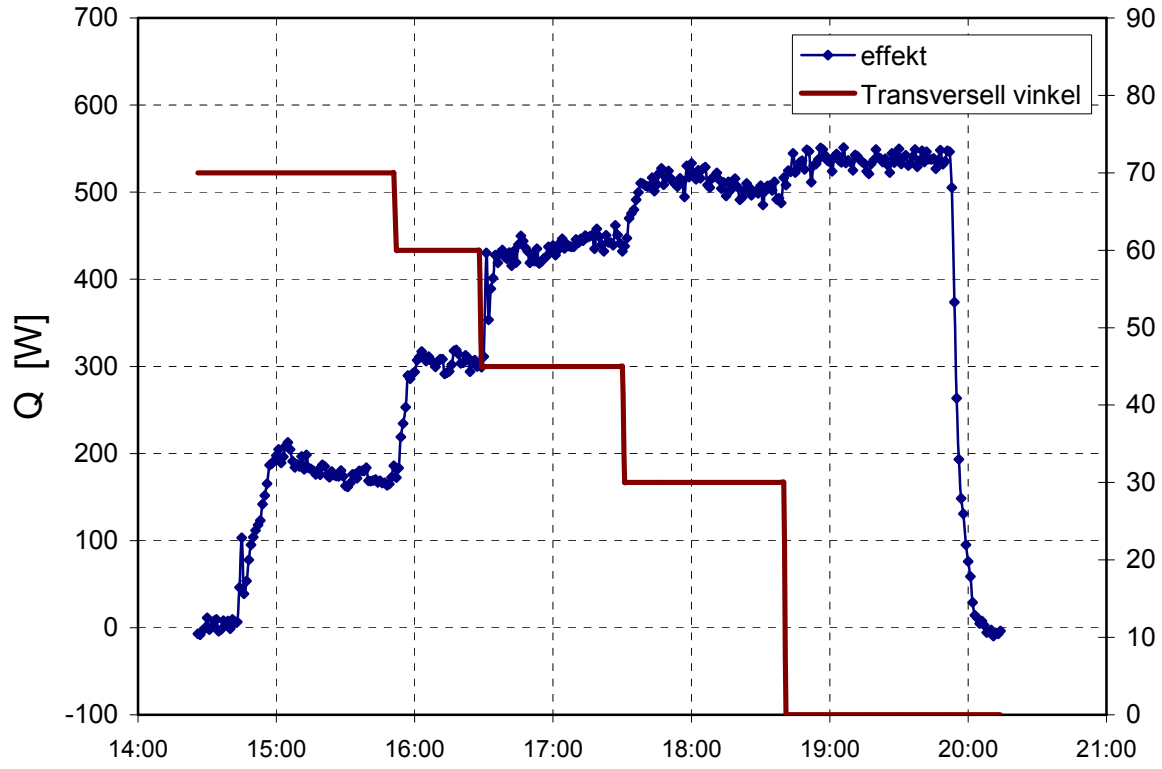
Temperatur	40	50	60	70	78
start	10:25	11:02	11:47	12:26	12:47
slut	10:47	11:26	12:00	12:38	12:49
Q (W)	572.522	552.31	512.59	488.14	459.83
I (W/m^2)	932.174	929.44	928.29	928.23	924
T_mean	41.5252	51.763	62.502	72.662	80.267
DeltaT	20.5783	29.923	38.907	49.104	55.53
T_heat_p	65.7461	73.792	82.414	90.885	96.533
DT_yta	3.02952	3.6602	4.1029	4.574	4.542

η=Q/(I*A)	0.62993	0.6095	0.5663	0.5394	0.5104
ΔT/ I C*m^2/W	0.02208	0.0322	0.0419	0.0529	0.0601

A (m^2)	0.975 m2
F'(τα)	0.7044
F´U (W/m^{2}C)	3.185



070202 Transversellt vinkelberoende

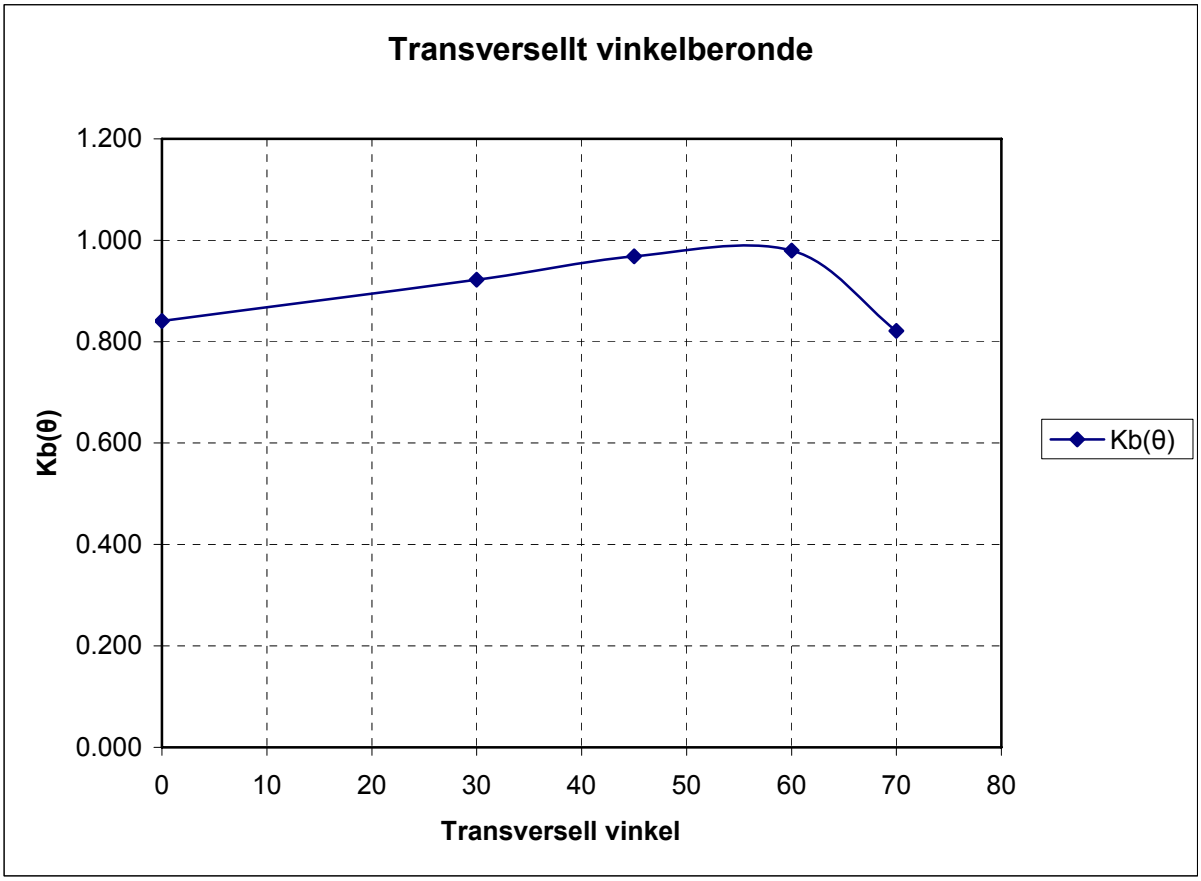


Transversell vinkel	70	60	45	30	0
start	15:10	16:06	17:05	17:51	19:13
slut	15:51	16:28	17:30	18:40	19:50
Q	179.095	304.98	443.78	508.63	536.72
I	312.62	450.5	667.68	800.6	929.47
T_mean	19.01	20.177	20.858	21.019	21.388
DeltaT	-1.6362	-1.786	-1.575	-2.381	-2.047
T_heat_p	31.38	39.487	46.337	48.525	49.465
DT_yta	1.118	2.9355	3.2587	3.5432	4.2026

F´U	2.89	watt/grad
F'(τα)	0.697	
A	0.975	m^2

Transversell vinkel	70	60	45	30	0
Kb(θ)	0.821	0.980	0.968	0.923	0.841

Jämför med raport värdet 0.905


Transversellt vinkelberonde
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
Kb(θ)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Transversell vinkel
Kb(θ)

Intensitets mätning

882	844	806	730	743	W/m2
995	938	1008	957	856	
1026	1058	1071	1052	919	
1102	1071	1115	888	863	
1134	932	806	724	781	
1071	901	812	831	888	
938	945	913	875	894	
907	730	743	686	819	
			Medel	906	W/m2

856	775	838	781	775	W/m2
951	913	982	970	913	
1008	1020	1064	1089	963	
1077	1121	1134	989	901	
1089	932	844	768	844	
1026	894	850	875	901	
913	970	926	957	907	
850	718	762	756	844	
			Medel	919	W/m2
			Medel av 2	912	

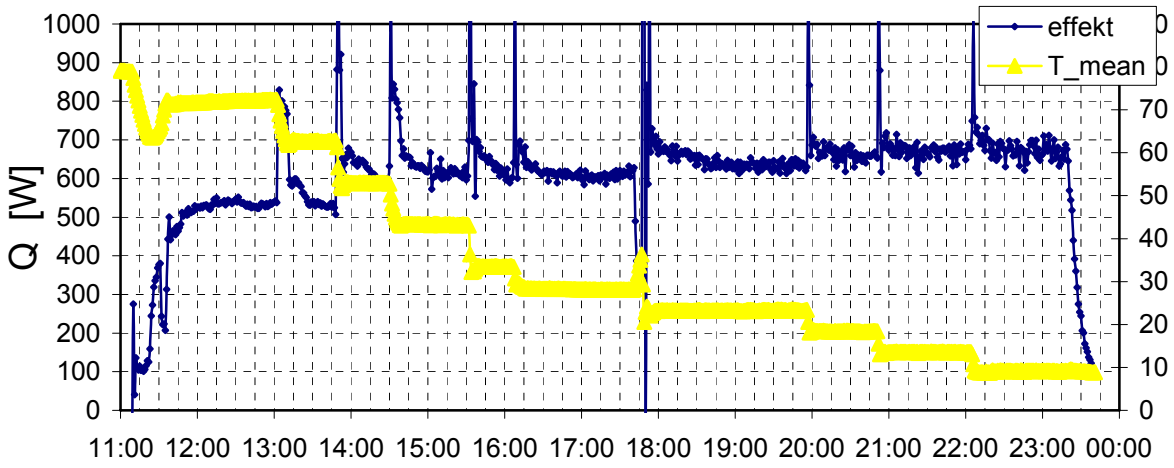
Bilaga 2 Rund absorbator

Intensiteten från lamporna

		(Väster om solen står i	Väster					Öster	
			1	2	3	4	5	6	
		Koordinater	0.08	0.24	0.4	0.56	0.72	0.88	
Upp	1	0.105	7.0	7.9	8.4	7.3	6.5	6.0	mV
	2	0.315	11.2	11.0	11.5	11.2	11.4	10.2	
	3	0.525	15.6	13.6	14.5	15.2	15.3	13.7	
	4	0.735	15.8	17.1	17.2	18.4	17.2	15.9	
	5	0.945	17.2	17.0	17.9	16.9	16.1	14.9	
	6	1.155	18.3	15.9	16.0	14.2	13.1	13.7	
	7	1.365	16.8	16.3	14.2	13.8	14.9	15.0	
Ner	8	1.575	15.2	15.8	15.4	14.7	14.7	15.0	

mV/(W/m2)	441	497	529	460	409	378	W/m2
0.01588	705	693	724	705	718	642	
	982	856	913	957	963	863	
	995	1077	1083	1159	1083	1001	
	1083	1071	1127	1064	1014	938	
	1152	1001	1008	894	825	863	
	1058	1026	894	869	938	945	
	957	995	970	926	926	945	
						894	W/m2

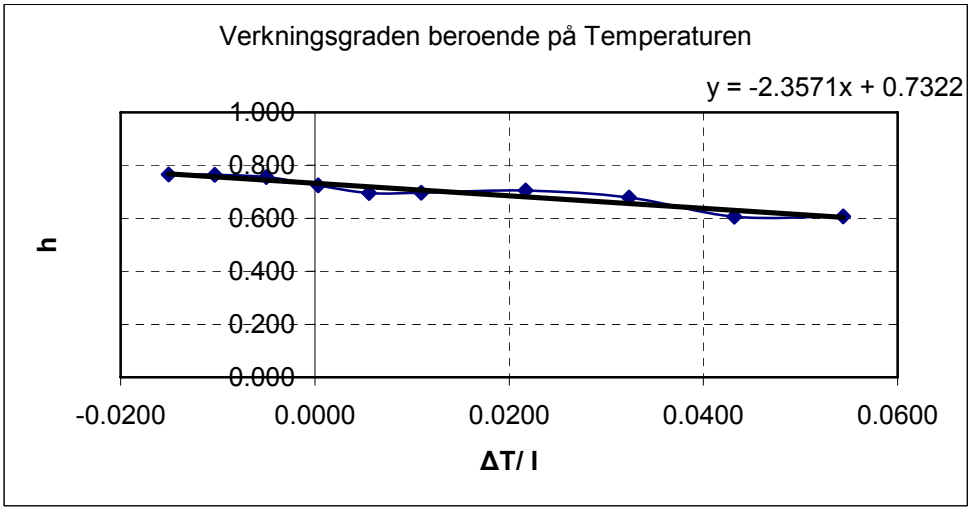
070220 Verkningsgraden beroende på temperaturen



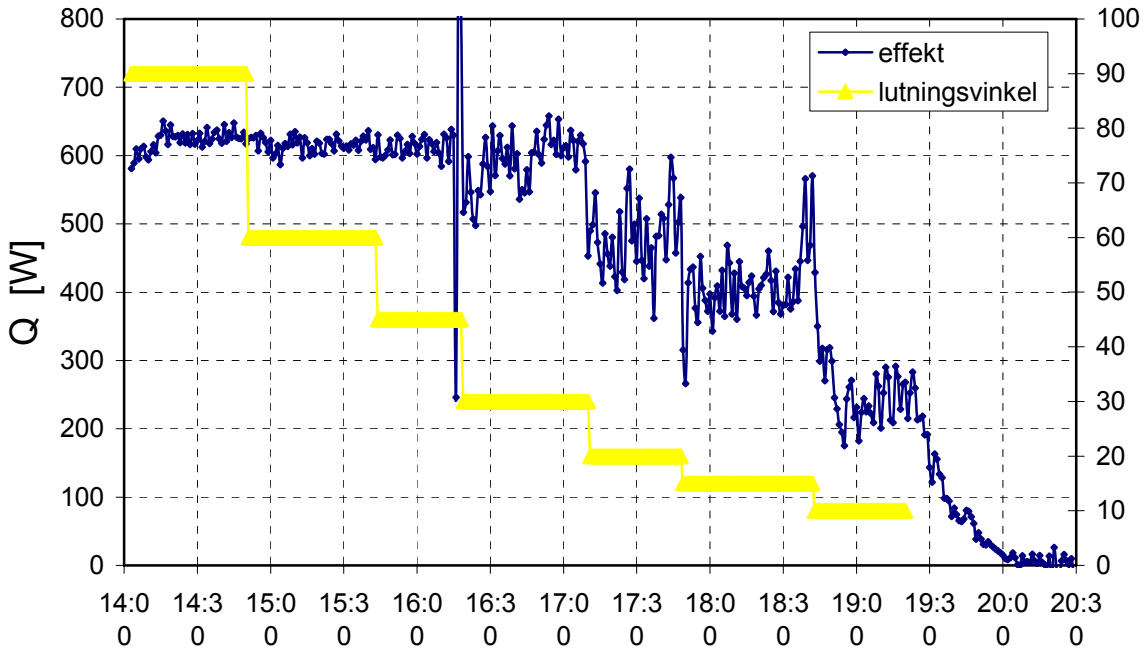
Temperatur	70	60	50	40	30	25	20	15	10	5.5
start	12:09	13:29	14:20	14:51	15:56	16:34	18:43	20:08	21:05	22:38
slut	13:01	13:48	14:29	15:31	16:07	17:40	19:55	20:50	22:00	23:19
Q (W)	531.73	530.95	594.18	617.43	610.63	608.63	634.71	661.99	669.03	670.46
I (W/m2)	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00	894.00
T_mean	72.12	62.68	52.99	43.30	33.50	28.20	23.29	18.42	18.42	9.18
DeltaT	48.63	38.61	28.91	19.40	9.78	4.99	0.31	-4.46	-9.21	-13.45
T_heat_p	84.57	75.72	67.19	58.41	49.77	44.88	40.81	37.13	32.93	30.00

A	0.98 m^2

η=Q/(I*A)	0.607	0.606	0.678	0.705	0.697	0.695	0.724	0.756	0.764	0.765
ΔT/ I (C*m^2/W)	0.0544	0.0432	0.0323	0.0217	0.0109	0.0056	0.0003	-0.0050	-0.0103	-0.0150



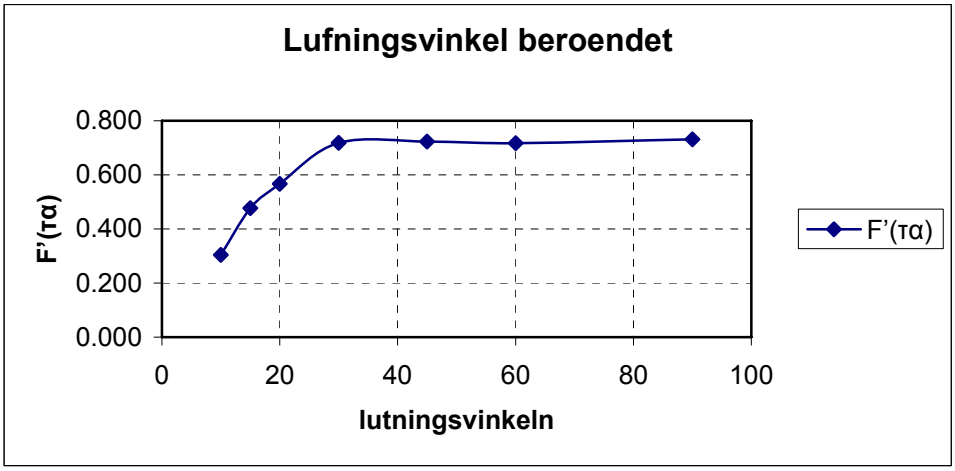
070221_2 Lutningsvinkelberoendet



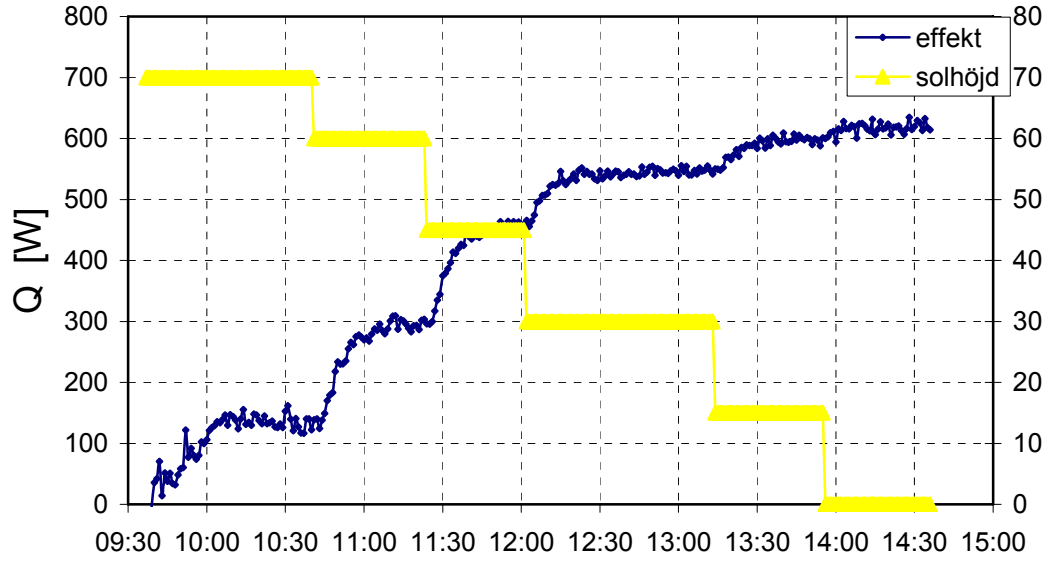
lutningsvinkel	90	60	45	30	20	15	10
start	14:23	15:13	15:49	16:48	17:20	18:02	19:05
slut	14:50	15:43	16:18	17:09	17:48	18:35	19:20
Q (W)	626,91	614,73	620,74	616,92	483,61	404,87	248,55
I (W/m2)	894,00	894,00	894,00	894,00	894,00	894,00	880,42
T_mean	27,34	27,83	27,89	27,88	28,12	27,67	27,72
DT	6,57	6,37	6,13	5,94	6,20	5,95	6,28
Theatpipe	42,60	42,67	42,39	42,24	32,00	33,48	33,12

y = -2,1563x + 0,725 Från verkningsgraden beroende på temperaturen

F´U1 (W/m2C)	2,1563						
F´U2 (W/m2C)	0						
A	0,98	m2			Kb(theta)	0,999862	0,9994446
lutningsvinkel	90	60	45	30	20	15	10
F'(τα)	0,731	0,717	0,723	0,718	0,567	0,477	0,304


Lufningsvinkel beroendet
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
F'(τα)
0
20
40
60
80
100
lutningsvinkeln
F'(τα)

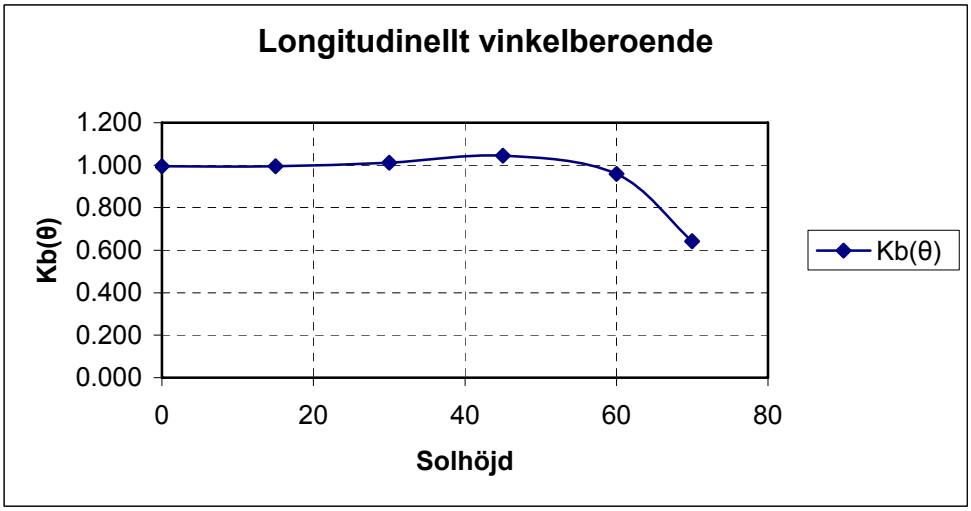
070227 Longitudinellt vinkel beroende



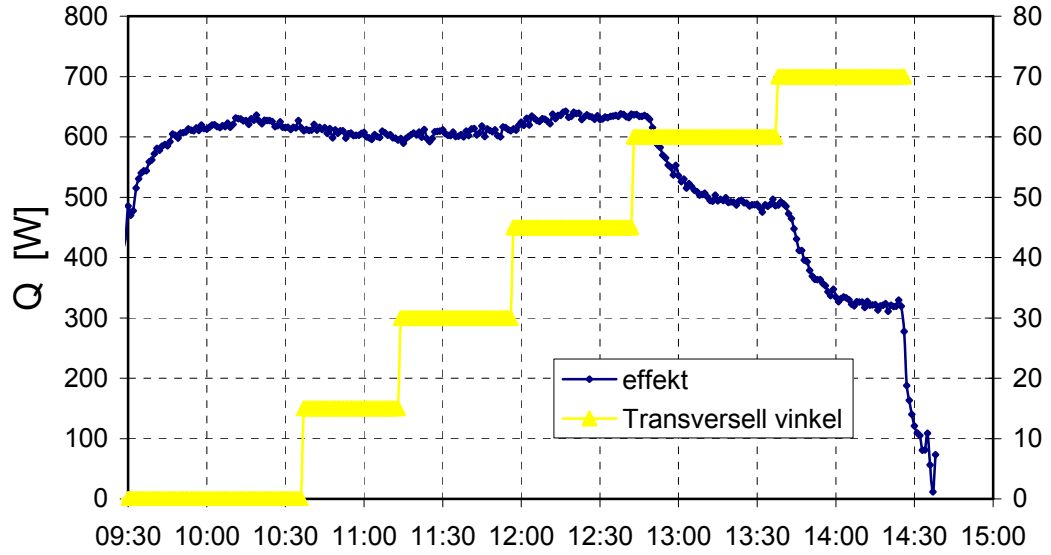
Solhöjd	70	60	45	30	15	0
start	10:07	11:10	11:52	12:32	13:37	14:10
slut	10:40	11:23	12:01	13:13	13:55	14:36
Q (W)	135.91	296.77	458.66	545.03	598.10	618.73
I (W/m2)	305.77	447.00	632.15	774.23	863.54	894.00
T_mean	24.05	27.76	28.15	28.36	28.35	28.31
DT	2.55	5.23	5.69	5.87	5.96	5.95
Theatpipe	31.69	39.07	42.96	44.44	46.80	47.10

F´U1 (W/m2C)	0.5767
F´U2 (W/m2C)	29.425
A	0.98 m2
FprimThaoalfa	0.714

solhöjd	70	60	45	30	15	0
Kb(θ)	0.643	0.959	1.044	1.012	0.995	0.994



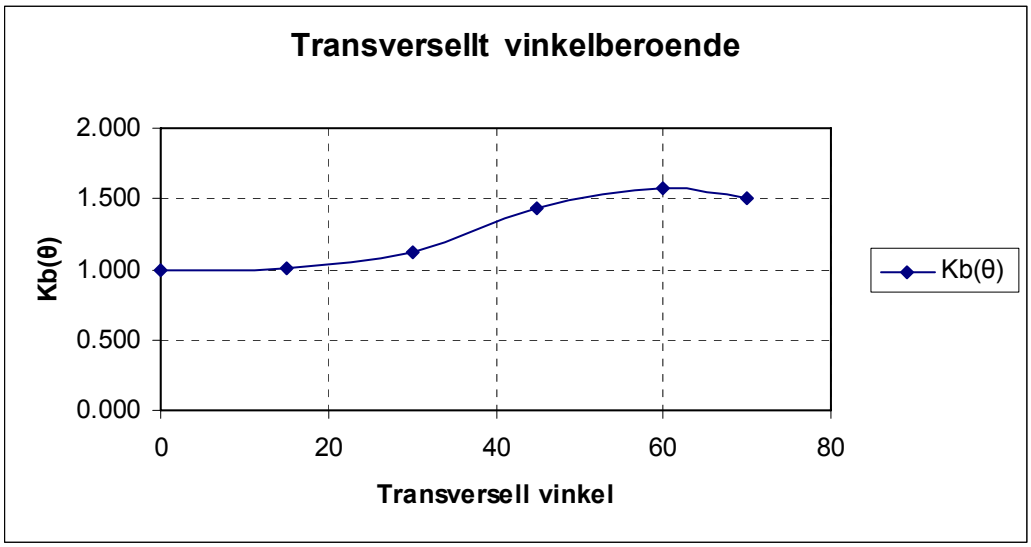
070228 Transversell vinkelberoende



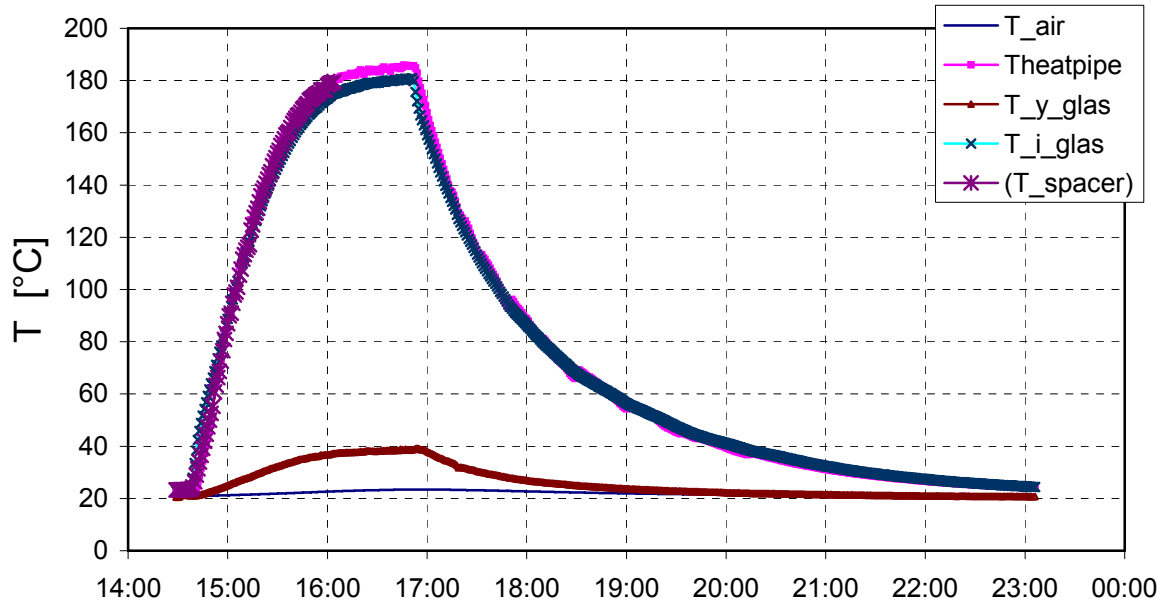
Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
start	10:13	10:39	11:19	12:07	13:20	14:09
slut	10:36	11:13	11:56	12:42	13:37	14:25
Q (W)	622.72	605.56	606.47	633.56	488.32	321.00
I (W/m2)	894.00	863.54	774.23	632.15	447.00	305.77
T_mean	25.69	26.15	26.60	27.17	26.16	24.60
DT	5.04	4.87	4.67	4.71	3.43	1.80
Theatpipe	45.39	45.28	46.36	47.61	41.93	36.49

F´U1 (W/m2C)	0.5767	
F´U2 (W/m2C)	29.425	
A	0.98	m2
F'(τα)	0.714	

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
Kb(θ)	1.000	1.007	1.124	1.438	1.567	1.505

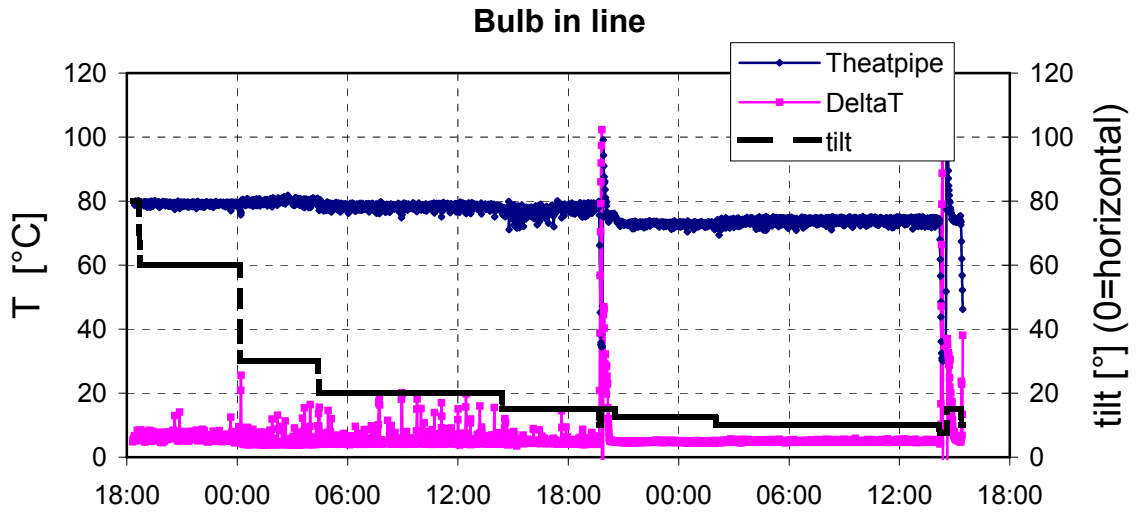

Transversellt vinkelberoende
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
Kb(θ)
0
20
40
60
80
Transversell vinkel
Kb(θ)

070315 Stagnationstemperatur

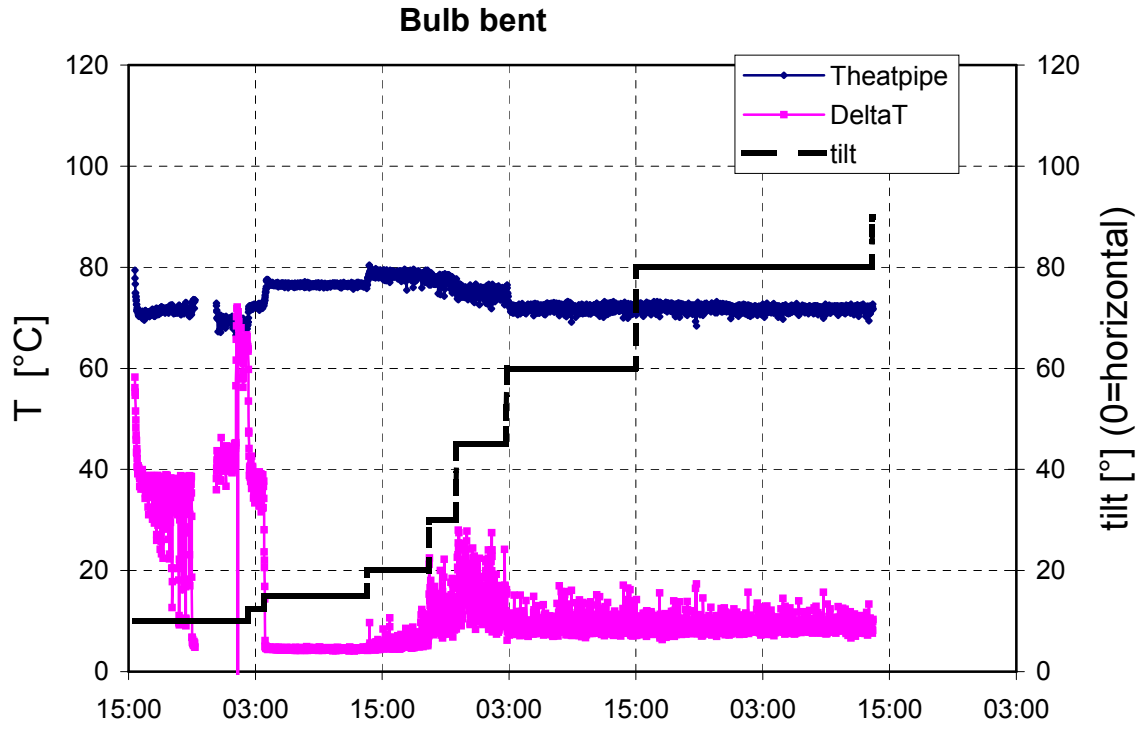


070312TP Enskild heatpipe

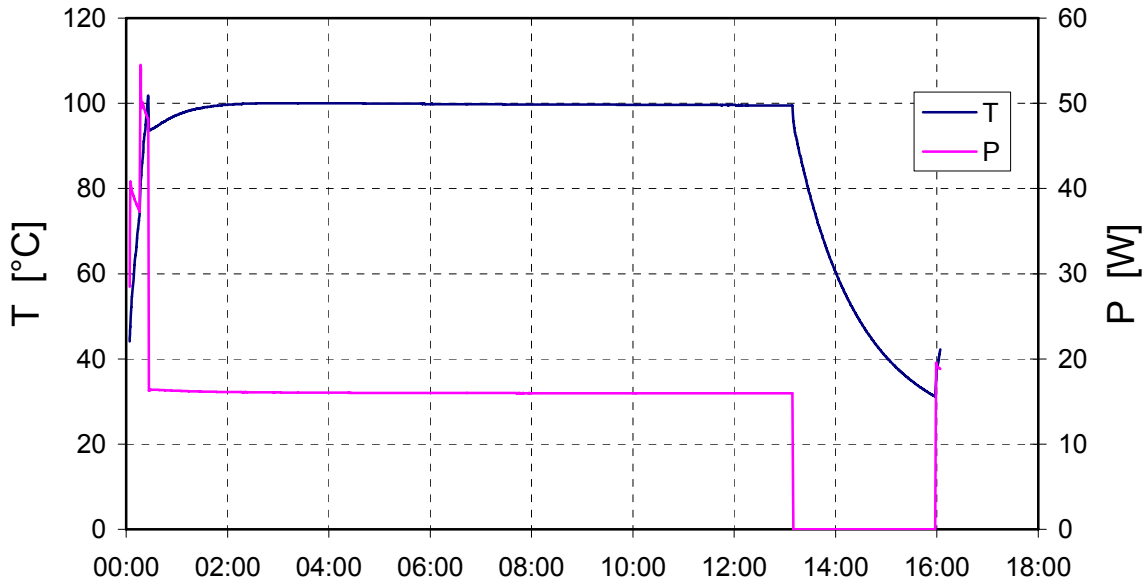
Rak bulb



Vinklad bulb

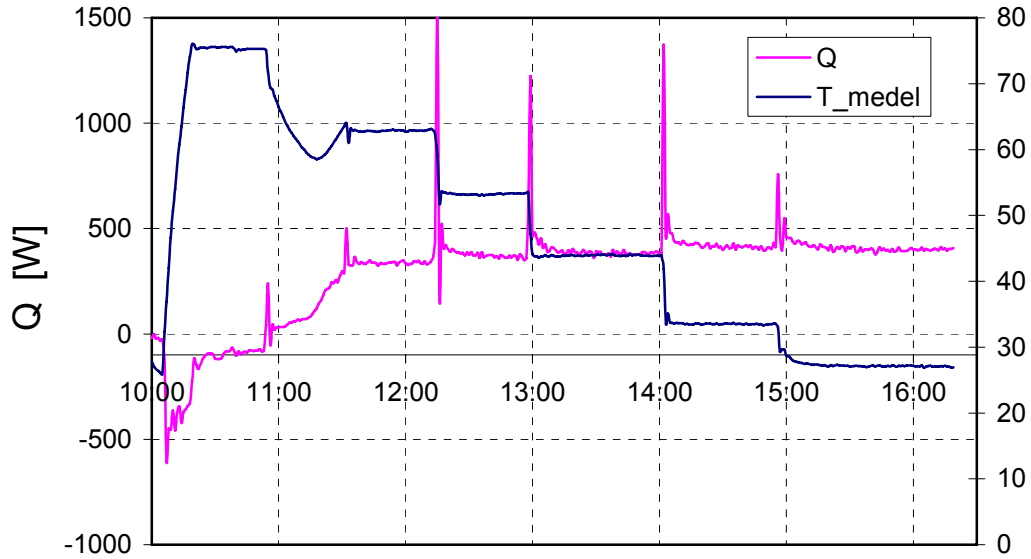


070327_TVI Enskilt vakuumrör



Bilaga 3 U-rör

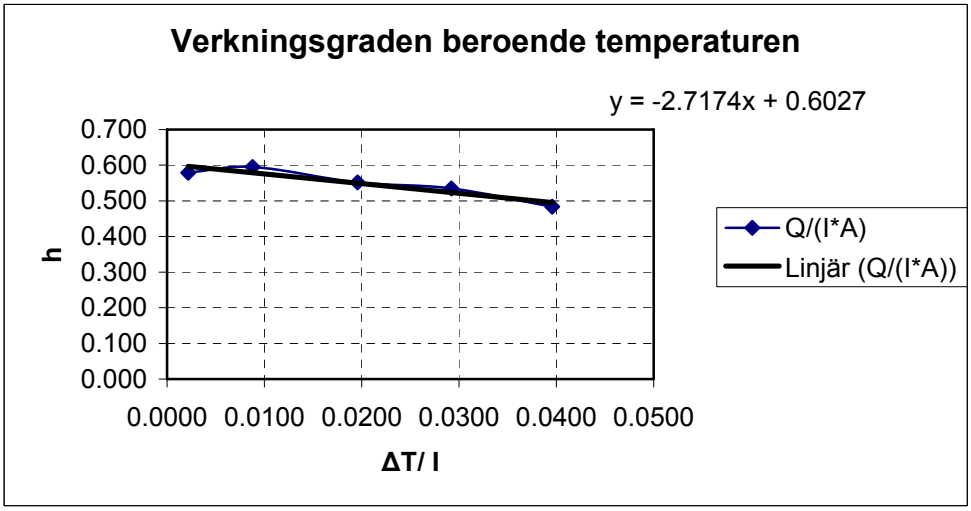
070410 Temperaturberoende



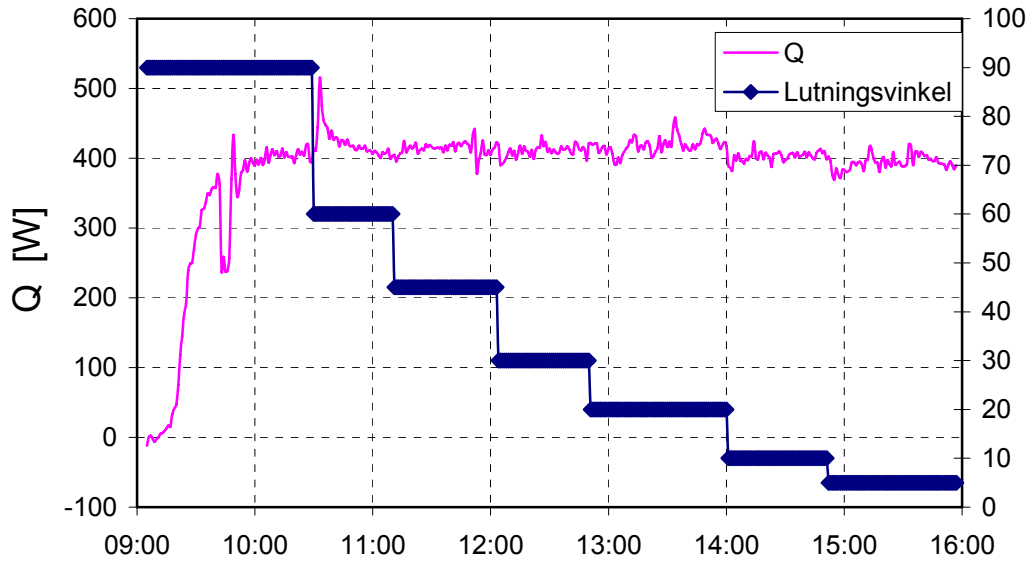
Temperatur	60	50	40	30	20
start	11:35	12:21	13:09	14:10	15:05
slut	12:11	12:56	14:00	14:55	16:19
Q (W)	337.84	373.79	385.71	416.19	404.93
I (W/m2)	981.00	981.00	981.00	981.00	981.00
T_mean	62.85	50.18	40.71	30.56	24.33
DeltaT	38.83	28.65	19.22	8.63	2.12

A	0.712755	m2

η=Q/(I*A)	0.483	0.535	0.552	0.595	0.579
ΔT/ I	0.0396	0.0292	0.0196	0.0088	0.0022



070411 Lutningsvinkelberoende



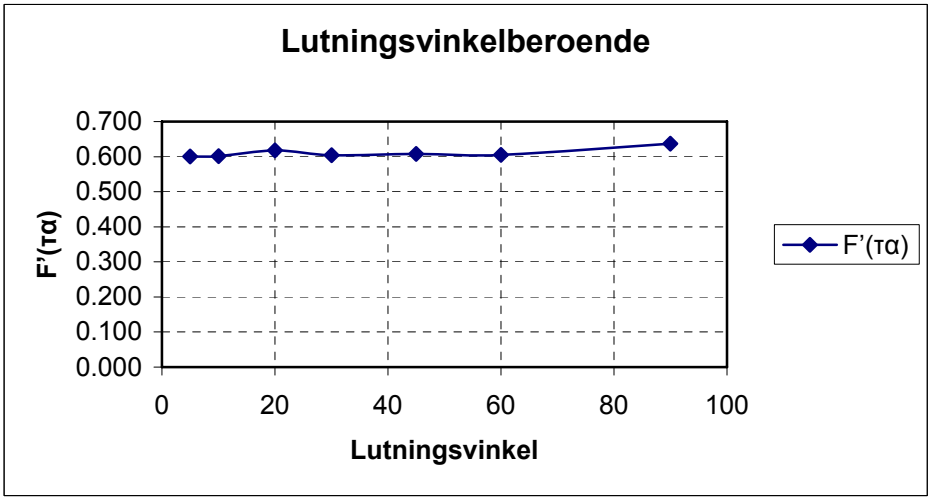
Lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	5
start	09:57	10:43	11:13	12:07	13:04	14:01	14:52
slut	10:29	11:10	12:03	12:50	14:00	14:51	15:57
Q (W)	432.58	412.66	414.70	411.29	420.21	402.45	393.84
I (W/m^2)	981.00	981.00	981.00	981.00	981.00	966.10	947.57
T_mean	29.79	27.01	27.44	28.22	28.03	27.93	27.91
DeltaT	6.53	5.33	5.27	5.67	5.99	5.99	5.96

y = -2.7174x + 0.6027 Från verkningsgraden beronde på temperaturen

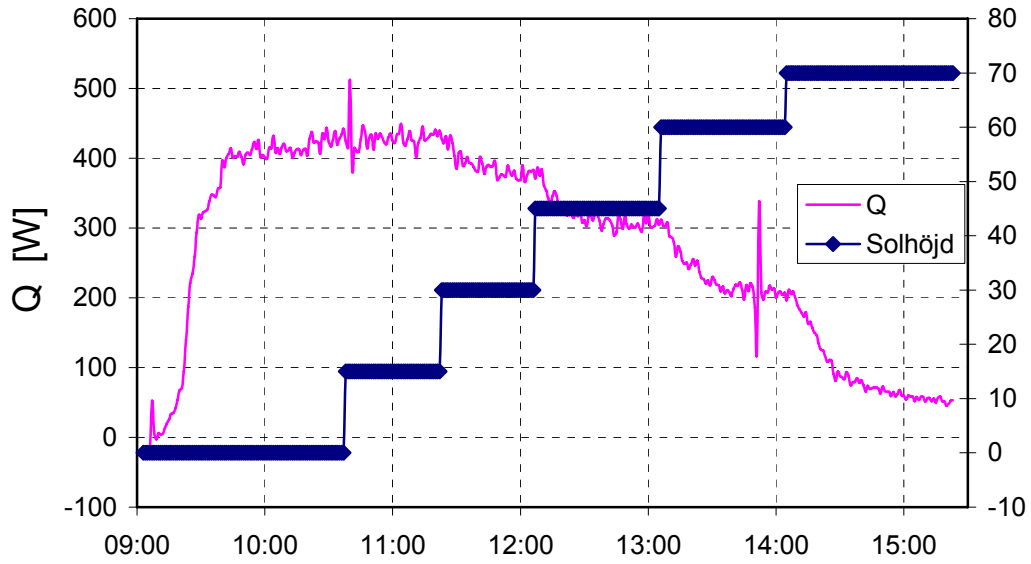
F´U (W/m2C)	2.7174	
A	0.712755	m2

Kb(theta) 0.999862

lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	5
F'(τα)	0.637	0.605	0.608	0.604	0.618	0.601	0.600



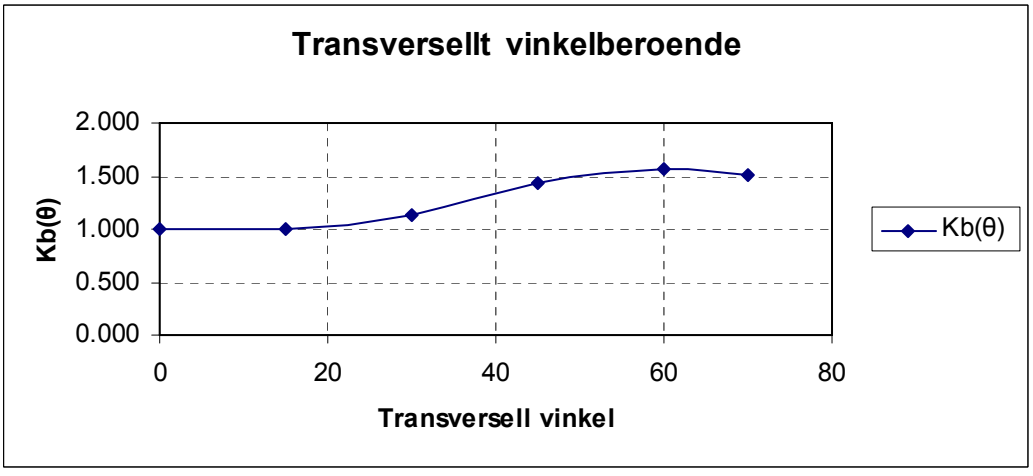
070412 Longitudinell vinkelberoende



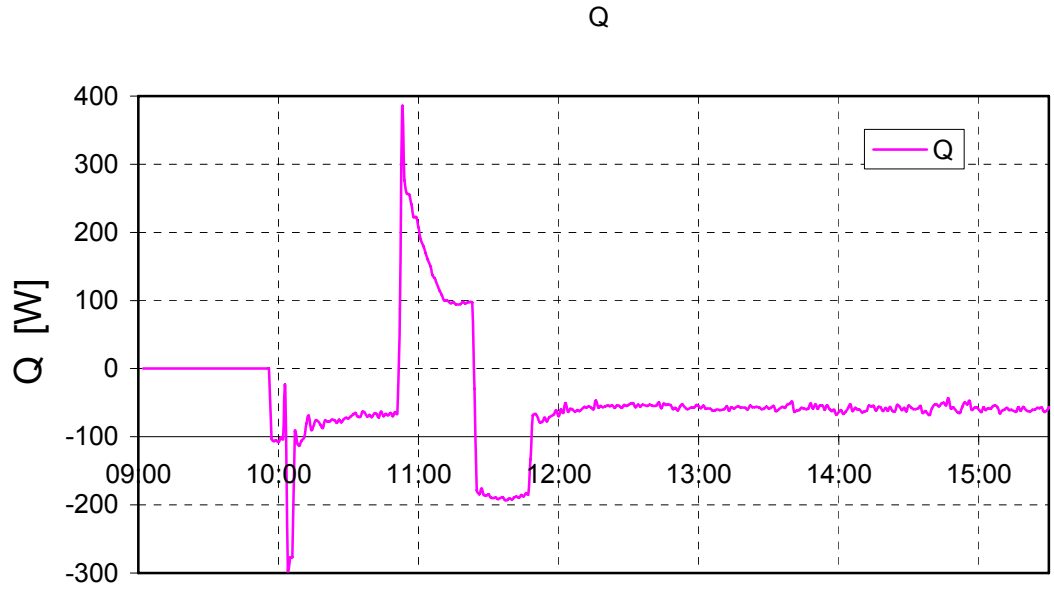
Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
start	10:13	10:39	11:19	12:07	13:20	14:09
slut	10:36	11:13	11:56	12:42	13:37	14:25
Q (W)	622.72	605.56	606.47	633.56	488.32	321.00
I (W/m2)	894.00	863.54	774.23	632.15	447.00	305.77
T_mean	25.69	26.15	26.60	27.17	26.16	24.60
DT	5.04	4.87	4.67	4.71	3.43	1.80
Theatpipe	45.39	45.28	46.36	47.61	41.93	36.49

F´U1 (W/m2C)	0.5767
F´U2 (W/m2C)	29.425
A	0.98 m2
F'(τα)	0.714

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
Kb(θ)	1.000	1.007	1.124	1.438	1.567	1.505

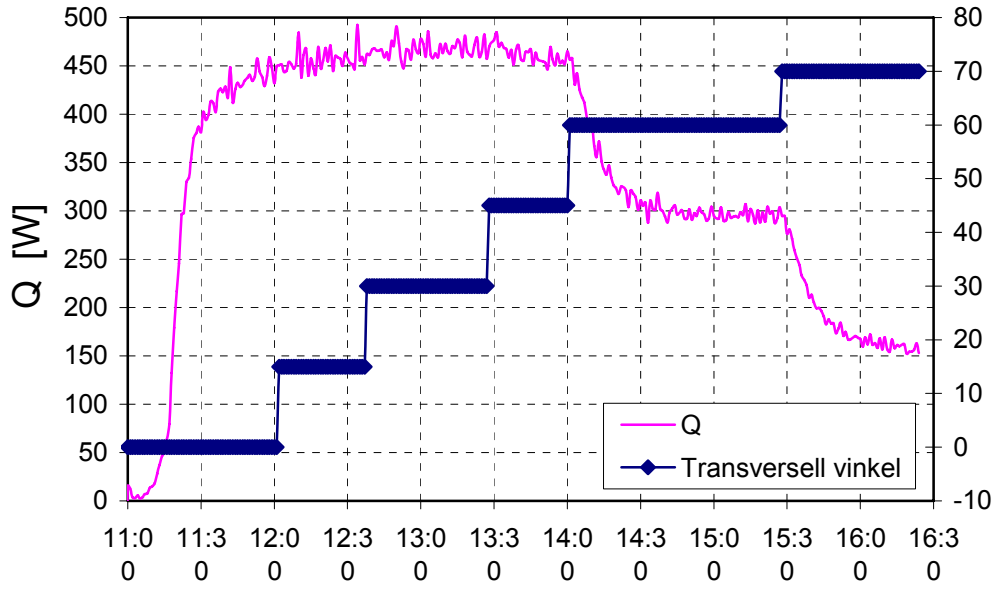


070417 Mörker U-värde



start	10:19	12:06
slut	10:50	17:31
Q	-71,07	-66,72
DeltaT	48,55	48,06
U värde (W/m2C)	-2,05	-1,95
I (W/m2)	0,00	0,00
T_mean	70,93	71,95
U värde (W/m2C)	-1,95715	W/m2C

070419 Transversellt vinkelberoende

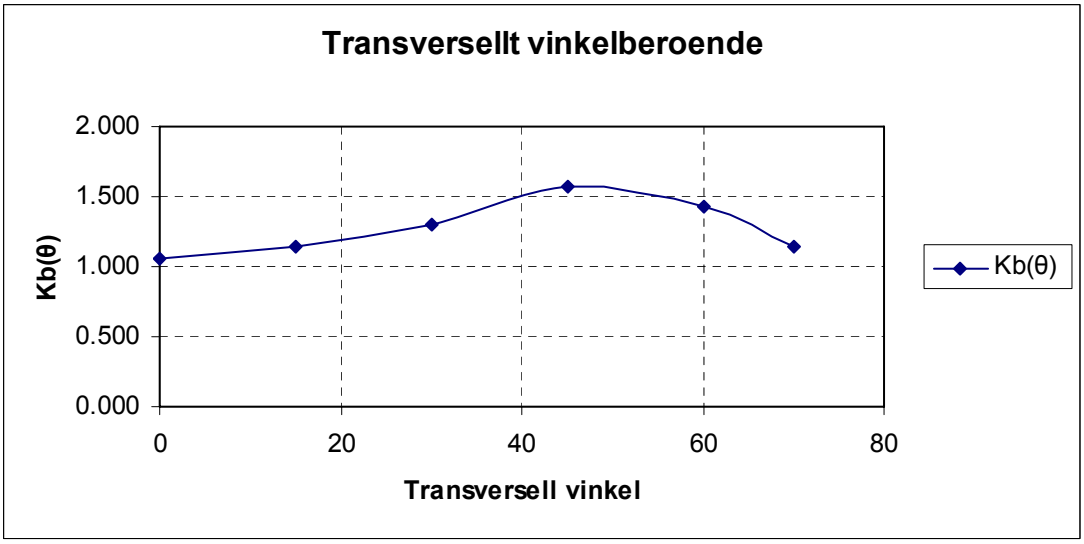


Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
start	11:42	12:02	12:38	13:28	14:46	16:04
slut	12:01	12:37	13:27	14:00	15:27	16:24
Q (W)	438.16	455.65	467.06	462.25	295.82	160.17
I (W/m2)	981.80	948.35	850.26	694.24	490.90	335.80
T_mean	28.06	25.11	25.37	25.21	25.64	25.91
DeltaT	5.28	5.21	4.95	3.77	3.17	2.60

y = -2.7174x + 0.6027

FprimU1	2.7174	watt/grad
FprimU2	0	
A	0.712755	m2
F'(τα)n	0.6027	

Transversell vinkel	0	15	30	45	60	70
Kb(θ)	1.063	1.143	1.305	1.575	1.432	1.145

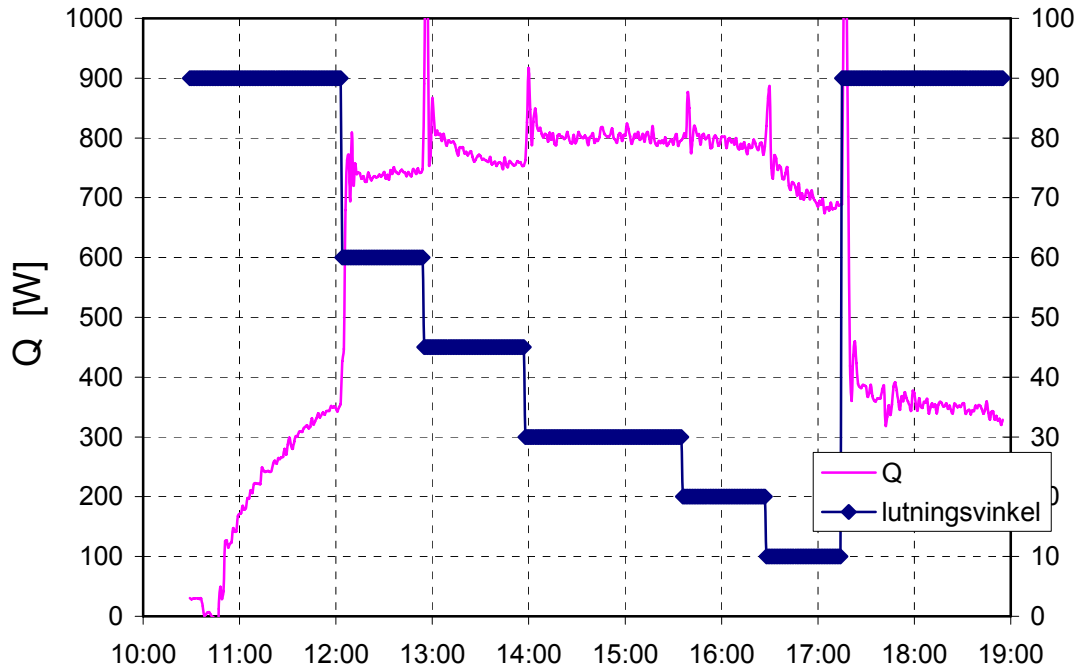


Bilaga 4 Helt vätskefyllda

Ytinegr_20-sifonrör

683.0		895.6		876.3		934.3		579.9
914.9		1159.8		1211.3		1063.1		702.3
1069.6		1146.9		1114.7		1011.6		811.9
1172.7		1050.3		1172.7		857.0		831.2
1140.5		1018.0		902.1		863.4		786.1
902.1		1127.6		1069.6		1069.6		786.1
734.5		902.1		882.7		850.5		792.5
							Medel	945.3

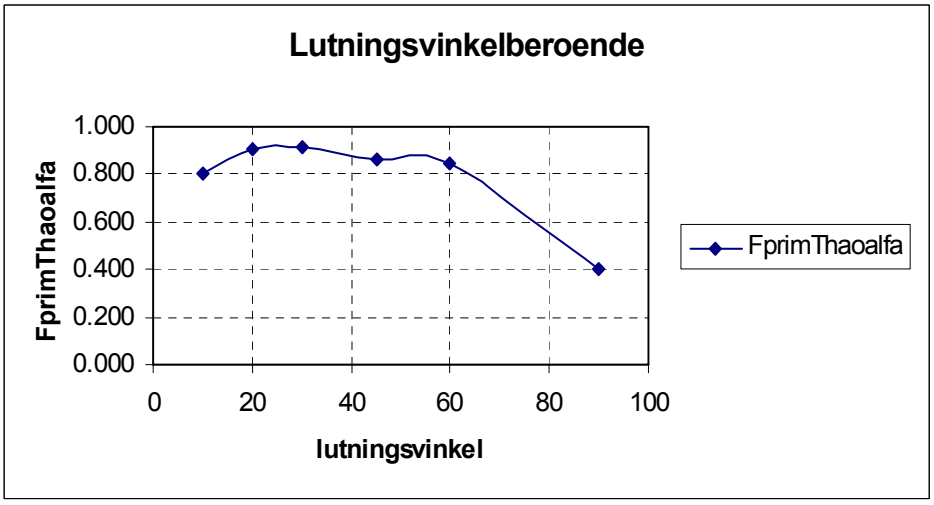
070503 Lutningsvinkel beroende



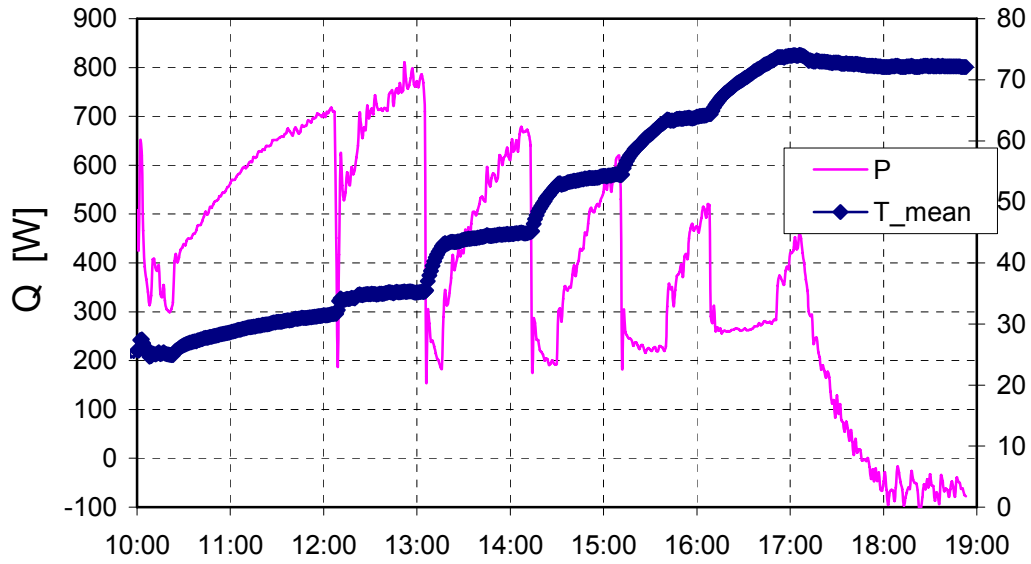
lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	90
start	11:59	12:16	13:32	14:16	15:51	16:55	17:37
slut	12:03	12:54	13:57	15:35	16:27	17:14	18:55
Q	349.28	739.21	758.15	800.33	790.51	689.49	351.55
I	933.70	933.70	933.70	933.70	933.70	919.51	933.70
T_mean	26.34	26.45	27.59	28.52	28.30	27.45	25.98
DeltaT	2.62	5.75	6.21	7.00	6.91	6.02	2.75

F´U (W/m2C)	2.1563	Premilinärt
A (m2)	0.952	

lutningsvinkel	90	60	45	30	20	10	90
F'(rα)	0.399	0.845	0.867	0.917	0.905	0.802	0.402



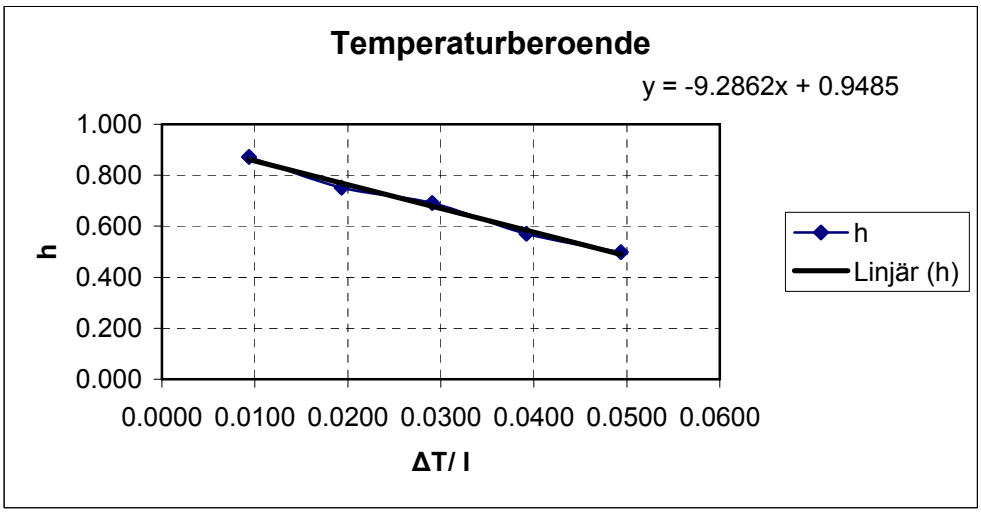
070504 Temperaturberoendet



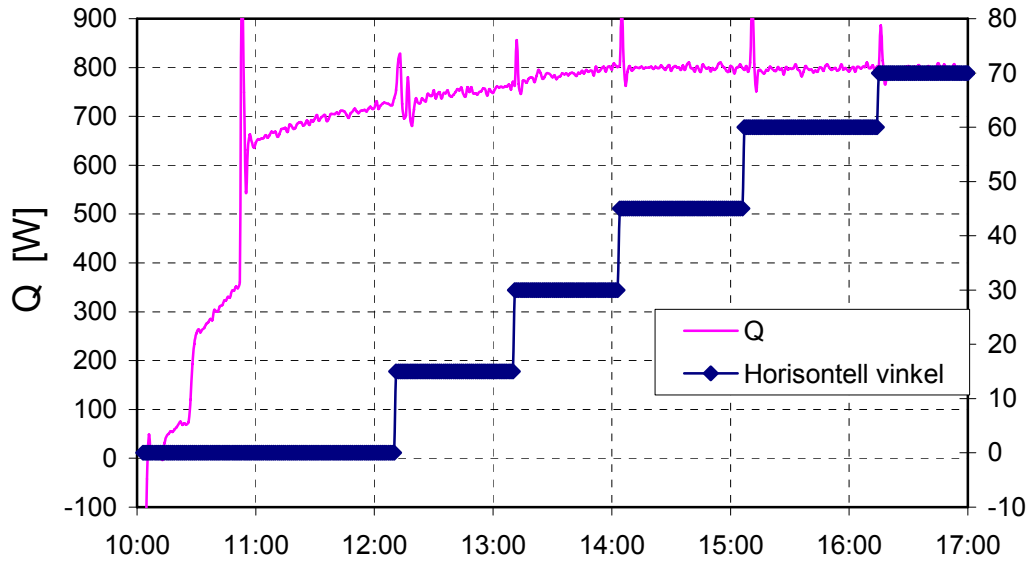
Temperatur	20	30	40	50	60	70	70mörker
start	12:02	12:52	14:09	15:08	16:05	17:03	18:11
slut	12:06	13:04	14:12	15:09	16:07	17:06	18:53
Q (W)	711.40	775.00	667.88	614.50	507.43	442.98	-63.34
I (W/m^2)	933.70	933.70	933.70	933.70	933.70	933.70	0.00
T_mean	31.53	29.93	40.31	50.57	60.95	71.15	72.58
DeltaT	5.75	8.74	18.04	27.16	36.60	46.10	46.47

A	0.952	m2			Umörker	-1.432

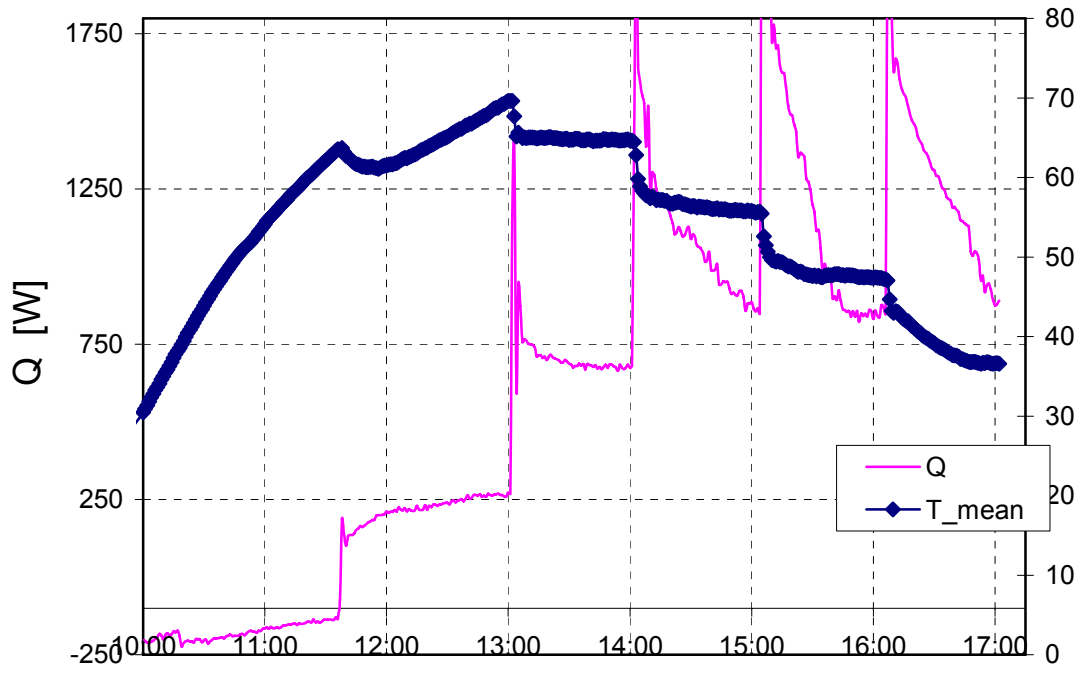
η=Q/(I*A)	0.800	0.872	0.751	0.691	0.571	0.498
ΔT/ I (C*m2/W)	0.0062	0.0094	0.0193	0.0291	0.0392	0.0494



070508 Transversell vinkelberoende



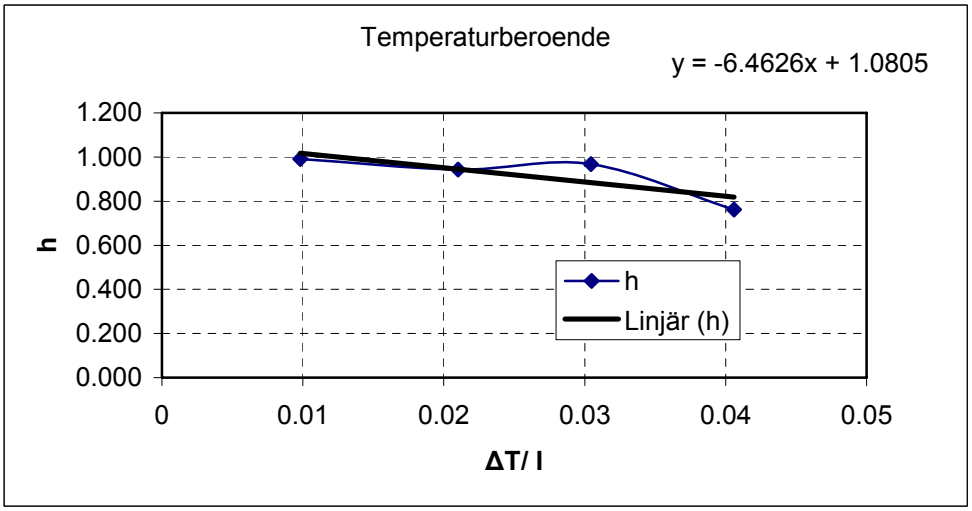
070509 Temperatruberoendet2



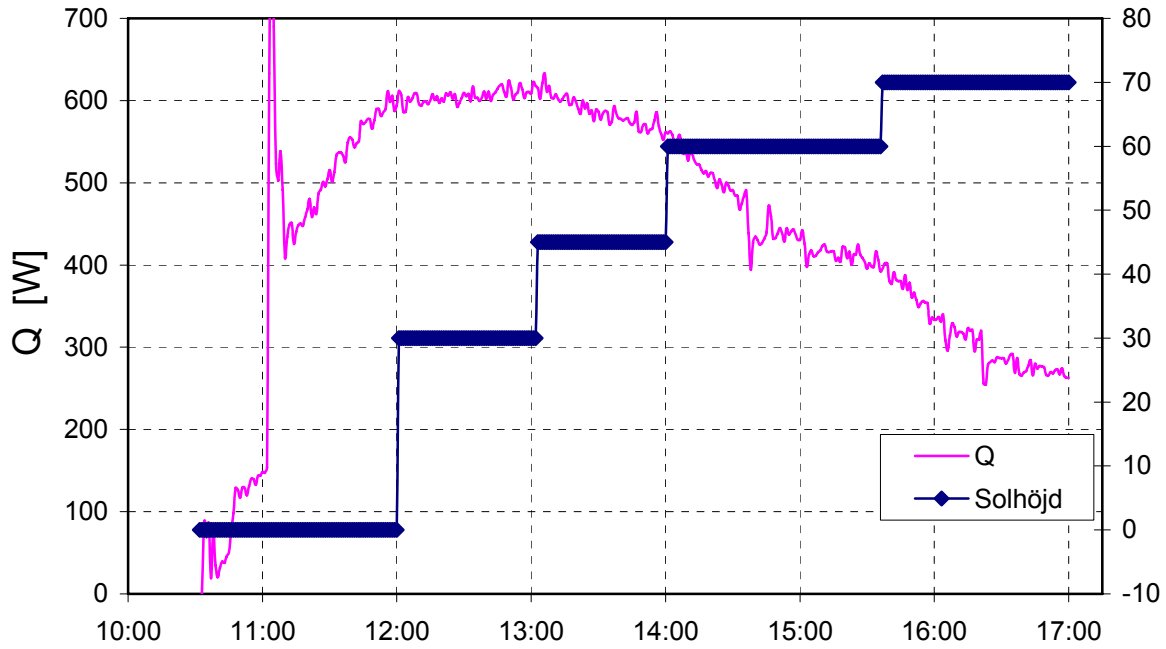
Temperatur	70	60	50	40	30
start	12:56	13:17	14:59	15:49	17:02
slut	13:00	14:00	15:03	16:05	17:02
Q	264.26	685.90	870.60	848.53	891.00
l	945.00	945.00	945.00	945.00	945.00
T_mean	69.30	60.48	50.22	40.04	29.95
DeltaT	44.57	38.36	28.78	19.86	9.27

A	0.952	m2

η=Q/(l*A)	0.294	0.762	0.968	0.943	0.990
ΔT/ l (C*m^2/W)	0.047164	0.040588	0.030451	0.02102	0.00981



070510 Longitudinell vinkelberoende

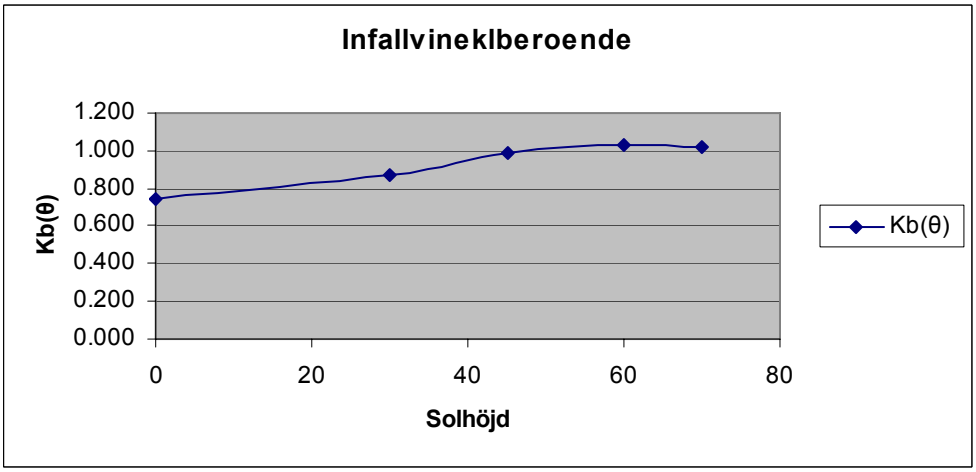


Solhöjd	0	30	45	60	70
start	11:58	12:09	13:49	15:08	16:28
slut	12:00	13:02	13:59	15:36	17:00
Q (W)	595.77	606.57	566.91	410.94	275.23
I (W/m^2)	945.00	818.39	668.22	472.50	323.21
T_mean	28.95	25.57	25.95	25.93	26.29
DeltaT	4.38	4.29	3.56	3.61	3.79

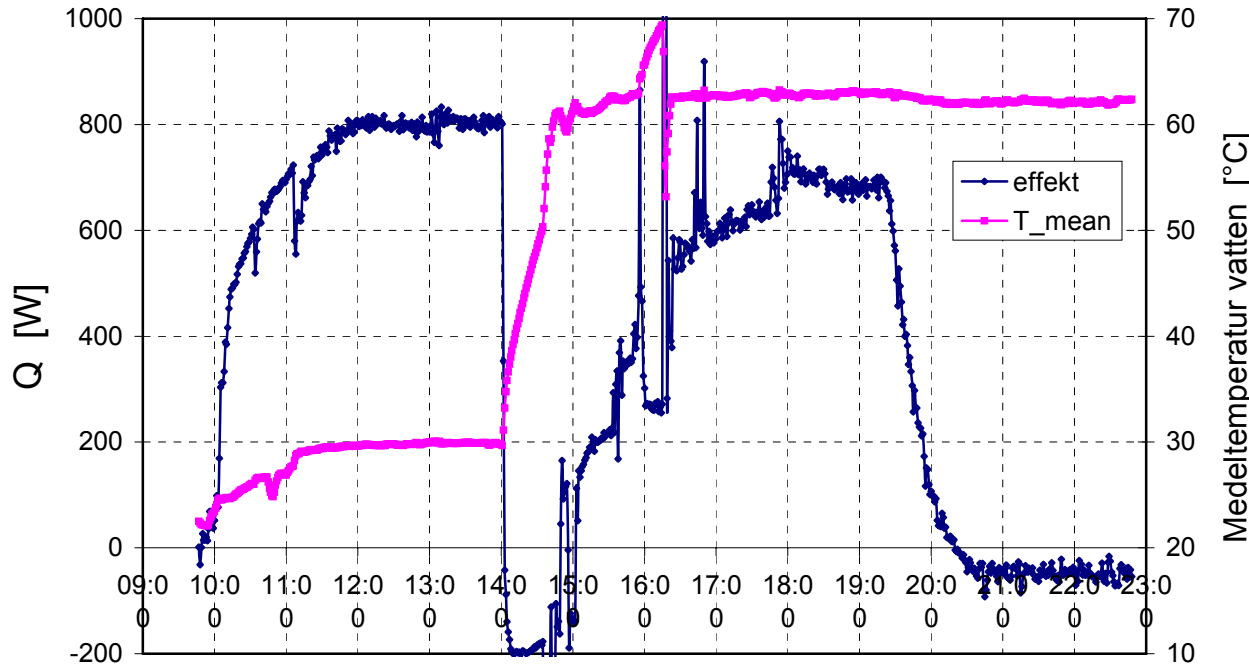
y = -3.9149x + 0.9195

*F'*U	3.9149
F'(τα)	0.920
A	0.952 m2

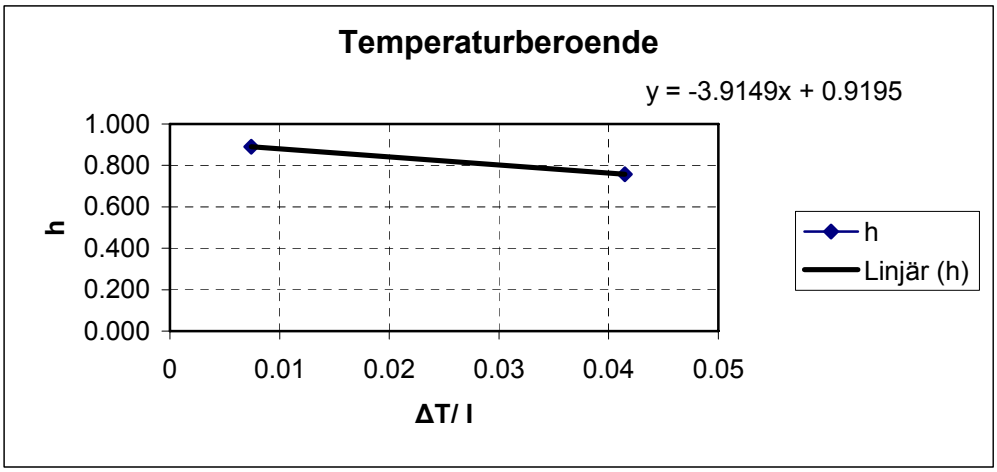
solhöjd	0	30	45	60	70
Kb(θ)	0.740	0.869	0.992	1.026	1.023



070516 Temperaturberoendet3



Temperatur	27	60
start	12:13	18:40
slut	14:00	19:23
Q (W)	801.44	681.42
I (W/m2)	945.30	945.30
T_mean	29.86	62.99
DeltaT	7.00	39.20

A	0.952	m2

η=Q/(I*A)	0.891	0.757
ΔT/ I (C*m^2/W)	0.007402	0.041468