



Utveckling av Hybrid MaReCo Solfångare

Elforsk rapport 11:14



João Gomes, Niclas Stenlund,
Stefan Larsson, Björn Karlsson

Februari 2011

ELFORSK

Utveckling av Hybrid MaReCo Solfångare

Elforsk rapport 11:14

João Gomes Niclas Stenlund,
Stefan Larsson, Björn Karlson

Februari 2011

Förord

Detta projekt ingår i det tillämpade solcellsprogrammet SolEI 08-11 etapp III.
Programmet finansieras av:

- Energimyndigheten
- Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC och JM
- Vattenfall
- E.ON Sverige
- Fortum
- ABB Corporate Research
- Göteborg Energi
- Exotech
- HSB
- Malmö stad Serviceförvaltningen
- Sharp Electronics Nordic
- Switchpower
- Mälarenergi
- Tekniska Verken i Linköping AB
- Jämtkraft
- Umeå Energi
- Falkenberg Energi
- Växjö Energi Elnät



Rapporten finns fritt nedladdningsbar från SolEI-programmets webbsajt:
www.solelprogrammet.se.

Monika Adsten

Elforsk AB

Sammanfattning

Företaget Solarus har utvecklat en dubbelsidig hybridabsorbator. Absorbatorn består av en vattenkyld tunn fena med solceller på båda sidor. Denna används som hybridabsorbator i Solarus koncentrerande solfångare. En sådan hybrid solfångare för produktion av el och värme har installerats för utvärdering på soltaket vid Lunds Tekniska högskola. Prestandan hos denna har jämförts med en identisk referenssolfångare med Teknotermabsorbator, som installerats parallellt. Resultaten av de termiska mätningarna visar att den optiska verkningsgraderna för de båda solfångarna är jämförbara. Värmeförlustfaktorn för hybriden är högre än för referensen eftersom hybriden inte har en selektivt absorberande yta. Detta innebär att den får lågt utbyte vid höga drifttemperaturer, som t.ex. vid fjärrvärmekoppling. Den skall med fördel användas vid lågtemperaturapplikationer. Detta ökar både termiskt och elektrisk utbyte. Den höga värmeförlustfaktorn för hybrid-solfångaren begränsar stagnationstemperaturen, vilket är en fördel ur hållbarhetssynpunkt.

En mätprincip för att samtidigt mäta IV-kurvor på fram och baksida har utvecklats i projektet och omfattande elektriska mätningar har genomförts. Resultatet av dessa visar att framsidans solcellmodul fungerar som avsett med omkring 15 % verkningsgrad. Baksidesmodulen fungerar tillfredsställande när solen står nära söderläge. Vid avvikelse från söderläget uppstår kraftig inverkan av skuggning vilket innebär att modulens ändceller inte belyses av reflektorn. Detta innebär att antalet celler på baksidan måste minskas, så att avståndet från gavlarna till första cellen förlängs, alternativt kan de yttersta cellerna förses med dioder som leder strömmen vid skuggning. Preliminära tester av en hybridabsorbator med dioder har genomförts. Dessa tester visar att inverkan av skuggning från gavlarna reduceras. Reflektors cirkulära geometri under absorbatorn medger att absorbatorn i princip kan placeras vertikalt. Det skulle gynna utbytet från underkantscellen som tar emot strålning som koncentrerats en faktor två. Skuggeffekterna från gavlarna innebär dock att detta alternativ inte är aktuellt. Elproduktionen från baksidescellerna kan förbättras genom att reflektorn ges en idealare passform och genom att dioder kopplas in över de yttersta cellerna på baksidan. En högre packningstäthet av cellerna på absorbatorn är angelägen eftersom det ökar utbytet och verkningsgraden per glasad area.

Solarus solfångare är en kommersiell produkt. För att kunna tillverka en PVT-hybrid som ger både el och värme har utvecklats en helt ny teknik för laminering av solceller med högre krav på drift under höga temperaturer än vanliga PV-moduler. En egen produktionsenhet för att tillverka hybridabsorbatorer och kompletta hybrid-solfångare uppförs under 2011 i Älvkarleby. Det finns få koncentrerande icke solföljande hybrider på marknaden.

Solarus kommersiella solfångare har arean $2,3 \text{ m}^2$. Om absorbatorerna ersätts med en dubbelsidig hybrid kommer utbytet av el och värme från två hybridmoduler att motsvara utbytet från en Solarus solfångare plus en 450 W_p PV-modul. En ekonomisk analys visar att hybridabsorbatorn bör tillverkas för en kostnad av i storleksordningen 25 kr/ $W_{p,el}$ för att hybriden skall bli ekonomiskt konkurrenskraftig i jämförelse med konventionella alternativ.

Summary

The Swedish company Solarus has developed a bifacial hybrid absorber which delivers both heat and electricity. It consists of a water cooled fin with solar cells on both sides. This is used in their concentrating MaReCo-collector. This concentrating and non tracking hybrid was installed on the solar laboratory at Lund University for long term testing. Its thermal performance was compared with the performance of the corresponding thermal absorber.

The results show that the reference and the hybrid collector have comparable optical efficiencies of around 0,60. The heat loss factor is characteristically higher for the hybrid, since this is not equipped with a selective surface like the absorber in the reference collector. The high value of the heat loss factor is partly an advantage since it limits the stagnation temperature. It also means that the hybrid should preferably be used in low temperature applications, which will favor both the electrical and thermal performance.

A measurement system for simultaneous registration of the IV-curves of the front and backside cells is developed. The results of the electrical measurements show that the front side solar cells work as expected with a high efficiency. The backside module has an acceptable performance when the solar azimuth angular is zero, i.e. when the sun is in the south direction. For higher azimuth angles the gables of the trough will shadow the reflector and prevent illumination of the bottom cells, which are close to the gables. This means that the electrical performance of the backside cells will be drastically lowered. These effects can be limited if by pass diodes are connected or if the cells close to the gables are omitted.

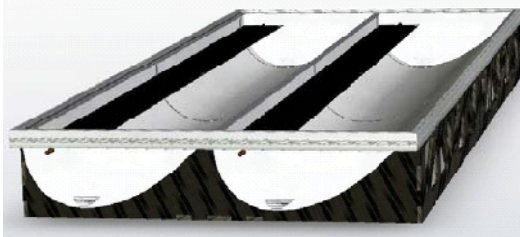
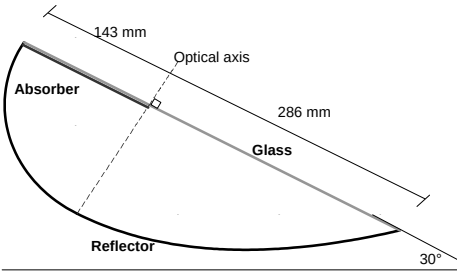
Solarus solar collector is already an commercial product. The company Solarus is now establishing an industrial production of the hybrid absorber and the hybrid collector. It is crucial for the competition with conventional products on the market that the hybrid absorber is produced for around 25 kr/W_p.

Innehåll

1	Inledning och bakgrund	1
2	Utveckling av en ny hybridabsorbator	4
3	Mätning av Elektrisk prestanda	6
3.1	Resultat av elektriska mätningar.....	9
3.2	Optimering av lutningsvinkel	9
3.3	Slutsatserna av elektriska mätningar.....	11
4	Mätning av termisk prestanda	12
4.1	Uppmätning av termisk verkningsgrad.....	12
4.2	Uppmätning av värmeförlustfaktor FÚ.	14
4.3	Prestanda vid varierande instrålning och temperatur	16
4.4	Resultat av simuleringar av årsutbyte.....	17
4.5	Slutsatserna av termiska mätningarna.....	18
5	Utbyte, utvecklingsläge och konkurrenssituation	19
6	Slutsatser	21

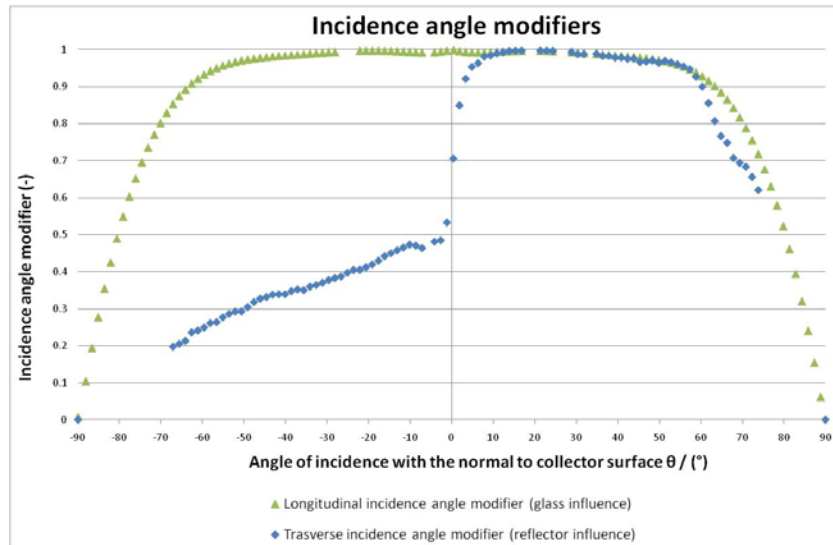
1 Inledning och bakgrund

MaReCo solfångaren utvecklades ifrån början vid Vattenfall Utveckling AB i Älvkarleby. Namnet MaReCo kan utläsas "Maximum Reflector Collector", d.v.s solfångarens geometri är utvecklad för maximal användning av reflektorn. Utvecklingen fortsatte vid Lunds Tekniska Högskola där en hybridabsorbator provades. Företaget Solarus har sedan 2006 tillverkat och vidareutvecklat den s.k. "Tak-MaReCo solfångaren" under namnet Blenda, figur 1. Denna solfångare har den unika egenskapen att lutningen kan anpassas så att solfångaren har låg verkningsgrad under sommarhalvåret och hög verkningsgrad under vinterhalvåret. Om solfångaren har en lutning understigande ortens latitud minus 30° fungerar den som en plan solfångare. Solfångaren är typprovad hos SP och är bidragsberättigad och för närvarande under Key-mark testning, som är en produktcertifiering för solvärmeprodukter på Europainivå. Den består utav en dubbelsidig absorbator, reflektorplåt och låda. Solfångaren innehåller ingen isolering. Utformningen innebär att den få extremt lågt materialinnehåll. Denna egenskap blir viktigare ju rationellare solfångaren tillverkas.

	
Figur 1. Blenda solfångaren med dubbelsidig Sun-Strip absorbator och aluminium-reflektor.	Figur2. Principskiss av Blenda Solfångaren. Koncentrationsfaktorn är 3. Hybridabsorbatorn föreslås sitta längs optiska axeln med solceller på framsidan mot reflektorn.

Solfångarens konstruktion innebär att verkningsgradens vinkelberoende blir fundamentalt olika längs eller tvärs reflektorn. När solen rör sig i ett öst-västligt plan är vinkelberoendet likartat med en plan solfångare. När solen rör sig i ett nordsydligt plan blir vinkelberoende enligt figur 3 helt annorlunda. När infallsvinkeln är högre än reflektorns optiska axel ger reflektorn inget bidrag och verkningsgraden faller snabbt. Denna egenskap kan användas för att undertrycka solfångarens utbyte under sommaren när solen står högt. Solfångaren kan lutas så att reflektorn inte ger bidrag till utbytet under sommaren. Det innebär att en större area kan installeras utan att överskott och kokning uppstår under sommaren. Detta uppträdande illustreras i figur 4.

Det innebär att en Blenda solfångare får högre totalt solenergitillskott och högre täckningsgrad utan att kokning uppstår än en vanlig plan solfångare.



Figur 3. Verkningsgradens vinkelberoende i longitudinell respektive transversell riktning.

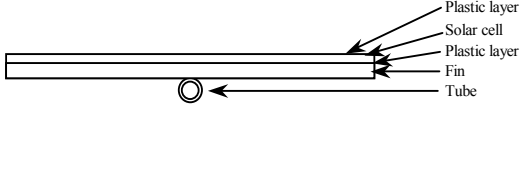
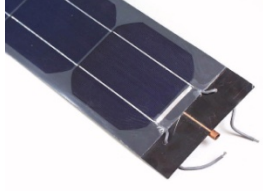


Figur 4. Principiell fördelning av årsutbytet för en Blenda solfångare och en konventionell solfångare.

I de bidragsregler som infördes under 2009 innefattas stöd till PV-T hybrider. Det innebär att det finns ett stort intresse att vidareutveckla Blenda till en PV-hybrid genom att solceller limmas på absorbatoren. Denna kan utformas så att reflektorn utnyttjas för att koncentrera ljus mot solcellen på undersidan så att högre elutbyte per cellarea erhålls

En solcellsmodul levererar omkring 15% elektrisk energi. Den resterande andelen solstrålning bidrar till att önskat värma upp solcellen och avges till omgivningen i form av värme. Idag utgör solcellen och solfångaren två olika enheter placerade var för sig. Det är attraktivt att bygga ihop dessa till en

enda enhet för att spara utrymme och minska materialåtgången. Det är i princip enkelt att åstadkomma genom att man limmar solcellen på solvärmeabsorbatorn enligt figur 5, så att en PV-T hybrid erhålls, figur 6.

	
Figur 5. Principskiss av en solcell laminerad på en solvärmeabsorbator	Figur 6. Gammal Hybridabsorbator med solceller laminerade på en absorbator. Det vattenförande röret och de elektriska ledningarna sticker fram.

Hybridabsorbatorn som visas i figur 6 är inte tillräckligt mekaniskt stabil, vilket medför att solcellerna spricker. Det finns därför ett stort behov att utveckla en industriellt tillverkad hybridabsorbator, bestående av solceller som lamineras på en plan metallabsorbator. Absorbatorn skall tillverkas i bredden 150 mm. Hybridabsorbatorn skall användas i Blenda solfångaren. Det innebär att den antingen har celler på båda sidor av absorbatorn eller alternativt en selektivt absorberande beläggning på baksidan. Absorbatorn skall vara mekaniskt stabil och ha goda värmeöverföringsegenskaper, så att övertemperaturer på cellerna undviks.

Solarus driver ett pågående utvecklingsarbete för att i egen regi tillverka en egen absorbator med laminerade solceller. I projektet ingår absorbatorutveckling, laminering och elektrisk ihopkoppling av cellerna. En komplett absorbator monterad i en Blenda solfångare skall testas i detta projekt. Figur 7 visar den hybridabsorbator som utvecklats med stöd av detta projekt.

	Figur 7. Bild på den hybridabsorbator som utvecklats av Solarus. Den består av en extruderad och vattenförande aluminiumabsorbator med solceller laminerade på över och undersida. Figuren visar hur underkantscellerna reflekteras i underkantsreflektorn
---	--

2 Utveckling av en ny hybridabsorbator

Utvecklingen av hybridabsorbatorn till Solarus PVT-modul delades upp i tre delar:

1. Utveckling av hybridabsorbator samt dess tillverkningsmetod
2. Utveckling av lamineringsmetod för högttemperaturlaminat
3. Utveckling av tabbnings- eller kopplings-teknik för string-ribbon solceller i "single-strings" för höga strömmar

En absorbator som avses utgöra värmeupptagande del i en PVT-hybrid bör vara utformad så att den har en konstant temperatur över absorbatorns tvärsnitt, samt en jämnt stigande temperatur i längsled, där temperaturskillnaden över varje enskild solcell är så låg att den inte orsaka skador på solcellen p.g.a. termisk expansion. I detta fall har detta åstadkommits med en ny metod för designen av den hydrauliska kanalens utformning, samt en ny tillverkningsmetod som baseras på extrudering av en aluminiumprofil. En prototyp av den förslagna tekniken framställdes under vintern 2010 vilken har använts i mätning och utvärdering i detta projekt.

Utvecklingen av en ny lamineringsmetod genomfördes under 2009-2010 i syfte att framställa en PVT-hybrid som klarar stagnationstemperaturer på upp till 260°C utan degradering av laminatet. Metoden baseras på en övergång ifrån EVA-laminat till ett siloxanbaserat material som har mycket goda optiska egenskaper och god vidhäftning till absorbatorn. Det nya materialet krävde en omfattande test- och optimeringsperiod innan godkänd temperaturtålighet och cykeltålighet uppnåddes. Under projektet utvecklades en processcykel som tillsammans med övriga parametrar ger ett solcellslaminat som har intressanta egenskaper för högttemperatursolceller. Testmoduler installerades i USA, Sydafrika samt i Kroatien vid Adriatiska havet enligt figurerna 8 och 9. Dessa utsattes för omfattande stagnationsprovning under längre perioder. Resultaten påvisade att det är möjligt att tillverka PVT-hybrider som klarar stagnation, vilket är samma kravbild som gäller för traditionella termiska solfångare för varmvattenuppvärmning.

Eftersom cellsträngarna i detta fall förläggs som enkla cellrader i laminatet, anordnades den elektriska kopplingen i en något omkonstruerad "tabbningsmaskin" som tillverkades i USA under projektets löptid. Vidare har olika typer av material testats i den elektriska delen av PVT-hybriden, i avsikt att undersöka möjlig optimering av den maximala strömkapaciteten, samt att åstadkomma en förbättrad inkoppling av bypassdioderna. Denna sista del har ännu inte hunnit utvärderas i detta projekt, dock påvisar mätresultaten tydligt behovet av vidareutvecklade bypasskretsar i denna typ av PVT-hybrider. Kontakter och kablage valdes ut och testades för att tåla en maximal ström

på 15A. Tester av isolationsmotstånd genomfördes vid 600VDC respektive 1000VDC. Moduler provas i olika delar av världen, figurerna 8 och 9.



Figur 8. Stagnationsprovning av den nya hybridabsorbatoren i Kroatien.



Figur 9. Demonstration av den nya hybridabsorbatoren i Sydafrika.

3 Mätning av Elektrisk prestanda

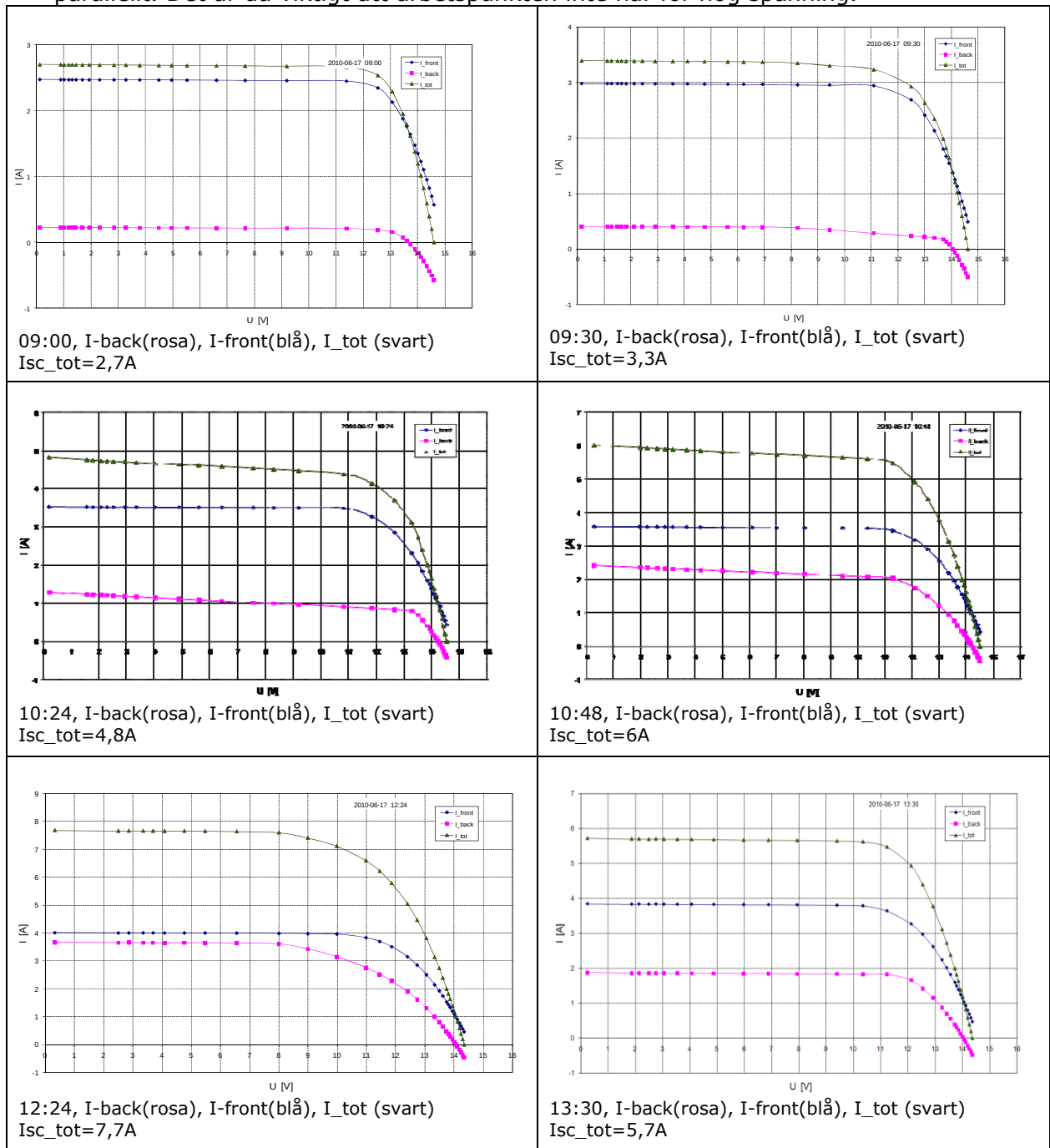


Figur 10. Solarus CPC-PV-300W installerad för utvärdering på EBD-laboratoriet vid Lunds Tekniska Högskola.

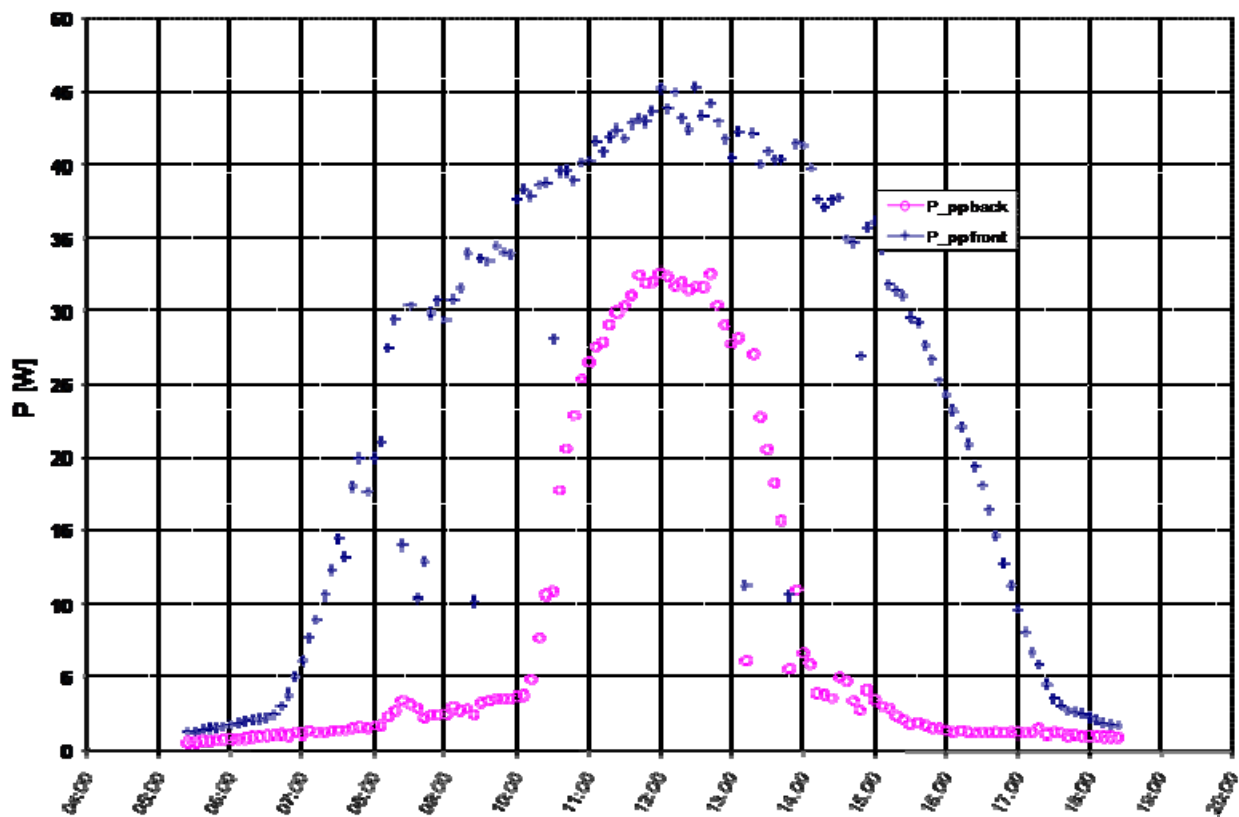
En solarushybrid med dubbla tråg i en enhet installerades på EBD-laboratoriet vid Lunds Tekniska Högskola vid 35° lutningsvinkel. Den glasade arean är $2,3\text{m}^2$ medan den effektiva solfångararean är $2,18\text{ m}^2$. Den utvecklade absorbatoren har 26 solceller på varje sida. Varje cell har dimensionerna $0,07 \times 0,145\text{m}$. Det innebär att en sträng med 26 celler har enkelsidig area $0,264\text{m}^2$. Den totala cellarean hos de båda absorbatorenerna för fångaren i figur 10 summeras till $4 \times 0,264 = 1,06\text{ m}^2$. Den effektiva glasade arean för elproduktion hos en modul med dubbla tråg är $2 \times 3 \times 0,264 = 1,58\text{ m}^2$. Den geometriska koncentrationsfaktorn är 3 gånger, men eftersom det är solceller på både fram och baksida av absorbatoren blir den teoretiska koncentrationsfaktorn 1,5 gånger, d.v.s. $1,5 \times 1,06 = 1,58$. Koncentrationsfaktorn för cellerna på framsidan är 1 gång och för cellerna på baksidan 2 gånger.

Det elektriska utbytet registrerades genom att IV-kurvor uppmättes kontinuerligt. Från dessa beräknas och sparas den maximala effekten. Medelvärdet av denna sparas för varje 6:minuters-period. Resultatet av mätningarna under en solig dag presenteras i figurerna 11 och 12. Intensitet på solfångarna mitt på dagen registrerades till 1000 W/m^2 . Mätningarna har genomförts på det ena tråget i figur 10 under en tidsperiod av omkring 2 månader. Resultaten i figurerna 11 och 12 representerar väl de allmänna resultaten. Den nyutvecklade mätprincipen med gemensam spänning enligt

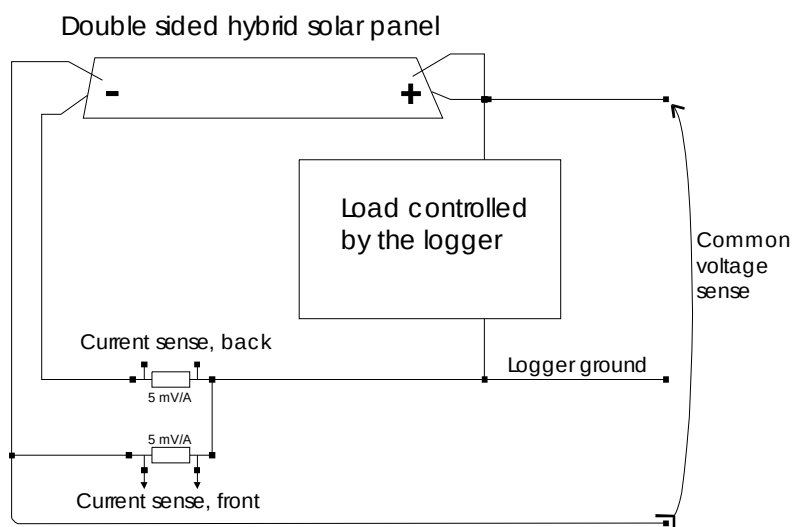
figur 13 innebär att framsidescellerna kan pressa strömmen baklänges genom baksidescellerna vid spänningar nära tomgångsspänningen. Resultaten av dessa mätningar indikerar att framsides och baksidescellerna kan kopplas in parallellt. Det är då viktigt att arbetspunkten inte har för hög spänning.



Figur 11. Uppmätta IV-kurvor 2010-06-17 för cellerna på fram respektive baksida samt summan av dessa två mätningar under tiderna 09:00 till 13:30, 2010:06:17. Mätningarna har gjorts på det ena tråget. Lutningsvinkeln är 35°. $I_{tot}=I_{front}+I_{back}$



Figur 12. Från IV-kurvorna enligt figur 11 beräknade maxeffekter för cellerna på fram respektive baksida samt summan av dessa två mätningar under dagen 2010-06-17. Mätningarna har utförts på det ena tråget. Lutningsvinkeln är 35°.



Figur 13. Ritning på den elektriska kopplingen för samtidig mätning av IV-kurvorna för fram och baksida vid gemensam spänning.

3.1 Resultat av elektriska mätningar.

IV-kurvorna i figur 11 och den beräknade effekten i figur 12 visar att framsidescellerna fungerar som förväntat med verkningsgraden mitt på dagen vid intensiteten 1000 W/m²:

$$\eta_{\text{front}} = \frac{45}{1000 * 0,264} = 0,17$$

Utbytet för baksidescellerna är relativt högt mitt på dagen men faller snabbt vid ökande infallsvinklar. Verkningsgraden mitt på dagen per glasad area:

$$\eta_{\text{back}} = \frac{32,5}{2 * 1000 * 0,264} = 0,06$$

Divisionen med en faktor 2 förklaras av att koncentrationsfaktorn för baksidescellerna är 2. Den låga verkningsgraden för baksidescellen förklaras av optiska förluster i reflektorn och ojämn belysning. Det låga utbytet vid stora infallsvinklar beror på skuggeffekter från solfångarens gavlar. Dessa innebär att de yttersta cellerna på solsidan inte belyses av reflektorn.

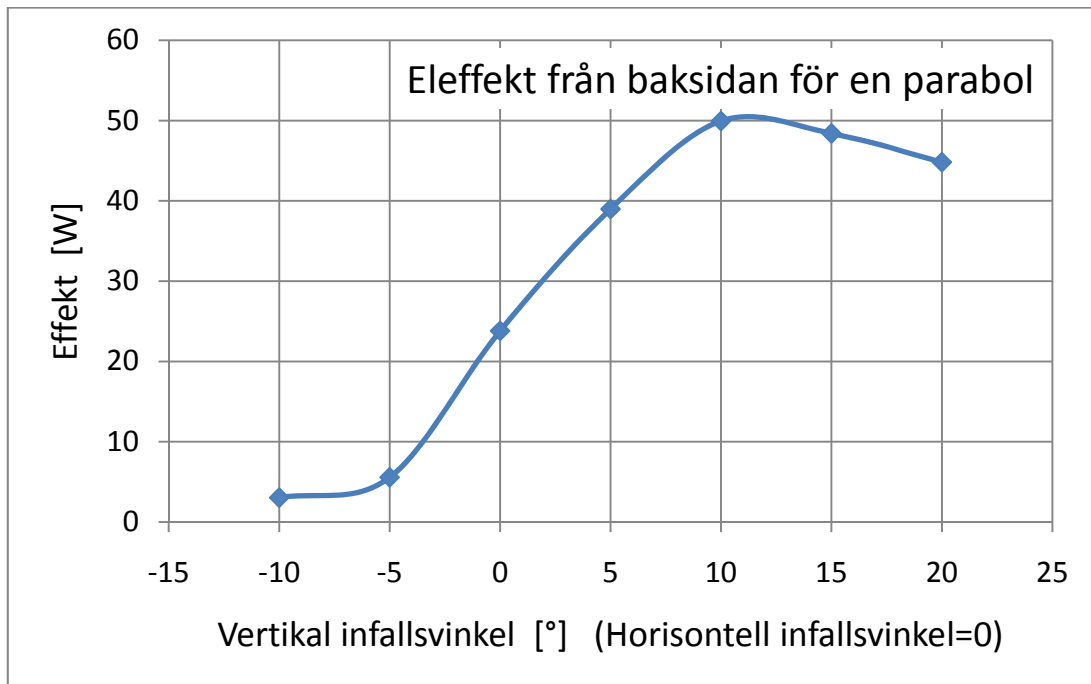
IV-kurvorna för framsidescellerna resulterar i en fillfaktor eller fyllnadsfaktor på 0,75. Det indikerar att absorbatoren kyler cellerna väl utan lokala övertemperaturer. Fyllnadsfaktor ger ett mått på IV-kurvans profil. En hög fyllnadsfaktor innebär att IV-kurvan har ett skarpt knä, vilket indikerar hög kvalitet och låg serieresistans hos modulen. En ojämn temperaturprofil förväntas ge upphov till en flackare IV-kurva, lägre fyllnadsfaktor och verkningsgrad

IV-kurvan för baksidescellerna vid tidpunkten 12:24 resulterar i en fyllnadsfaktor på 0,60. Det indikerar effekterna av ojämn belysning av cellerna. En ideal reflektor ger varierande intensitet över cellerna men samma total intensitet på alla celler. En icke ideal reflektor ger olika total intensitet över cellerna. Båda dessa effekter minskar fyllnadsfaktorn. Den varierande totala intensiteten har störst negativ inverkan på fyllnadsfaktor och prestanda.

Preliminära tester av en modifierad hybridabsorbator har genomförts i Solarus regi. Dessa visar att skuggningseffekterna på baksidescellerna från gavlarna kan minskas om de yttersta cellerna shuntas med skyddsdioder.

3.2 Optimering av lutningsvinkel

Effekten från baksidesreflektorn är beroende av infallsvinkeln. Den bestäms av lutningsvinkel och solhöjd. Figur 14 visar hur effekten från baksidescellerna beror av infallsvinkel vid soltiden 12:00, d.v.s. då solen står i söder. Hela modulen har vridits omkring sin östvästliga axel samtidigt som effekten registrerats. Idealt bör effekten gå från noll till hög effekt vid acceptansvinkel 0°, d.v.s. normalt infall. Den otydliga övergången vid 0° i figuren beror delvis på att reflektorn inte är en perfekt parabol och på att hybridabsorbatorn hänger ned så att framkanten inte ligger precis i fokus.



Figur 14. Uppmätt maxeffekt från baksidesceller 2010-07-01 som funktion av infallsvinkeln 12:00. Solhöjden är då 57°. Tråget vrids omkring en östvästlig axel. 0° i figuren innebär att tråget lutar (90-57)=33°. +10° innebär att tråget har lutningen 23°. -10° innebär att tråget har lutningen 43°. Den otydliga övergången vid 0° beror på att modulen hänger ned så att framkanten inte ligger i fokus.

Den maximala effekten för två parabler i en komplett modul enligt figur 12 och figur 14 är $2 \cdot (50 + 45) = 190$ Wp. Då den glasade arean är $2,3 \text{ m}^2$ och den effektiva cellarean är $1,58 \text{ m}^2$ innebär det att:

$$\text{Verkningsgraden per effektiv glasad area : } \eta_{\text{effektiv}} = \frac{190}{1,58 \cdot 1000} = 0.12$$

$$\text{Verkningsgraden per total glasad area: } \eta_{\text{total}} = \frac{190}{2,3 \cdot 1000} = 0.08$$

En högre packningstäthet av cellerna på absorbatoren är önskvärd eftersom det ökar utbytet och verkningsgraden per glasad area.

Hybridmodulen har alltså den totala verkningsgraden 8 procent per glasad area och 12 procent per effektiv glasad area. Den maximala effekten är nära 200 Wp.

Resultatet i figur 14 visar att modulen har för hög lutningsvinkel i de mätningar som redovisas i figurerna 11 och 12, vilket innebär att baksidescellen inte ger maximal verkningsgrad.

3.3 Slutsatserna av elektriska mätningar.

Resultatet av mätningarna kan summeras enligt följande:

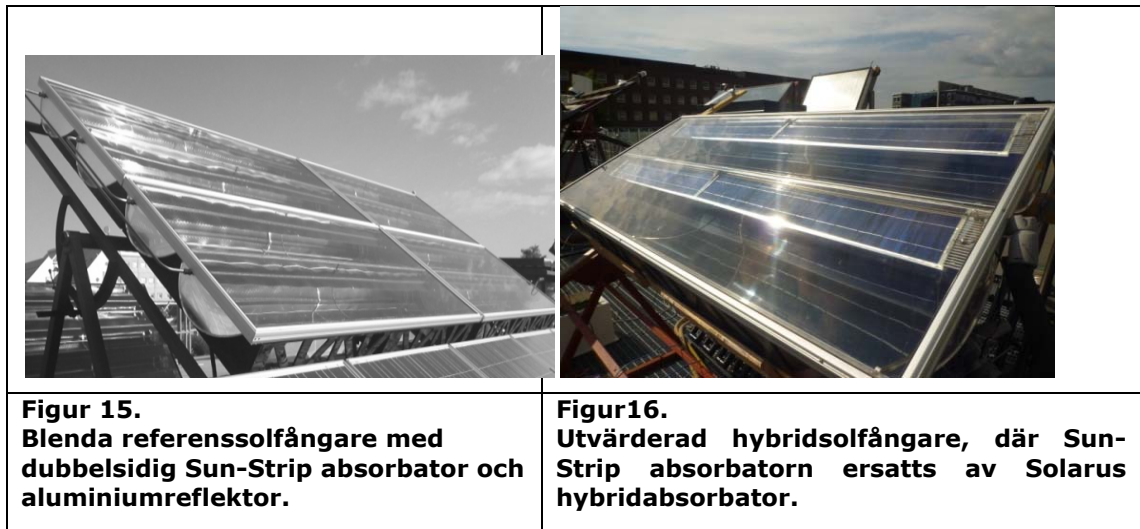
- Hybridens maximala elverkningsgrad per glasad area är 8 procent.
- Framsidescellerna uppvisar hög verkningsgrad.
- Skuggeffekter från gavlarna ger lågt utbyte för baksidescellerna på förmiddag och eftermiddag
- När solen står i söder uppnås jämförbart utbyte från fram och baksida, Det innebär att reflektorns optiska verkningsgrad är 0,5, vilket är ett tillfredsställande resultat.
- Framsidescellernas höga fyllnadsfaktor visar att den nya hybridabsorbatorn kyler cellerna effektivt.
- Baksidescellernas låga fyllfaktor och effekt indikerar att reflektorns form avviker från den ideala formen.
- Solcellernas relativt lilla täckande area på absorbatorn och att reflektorn måste vara längre än absorbatorn gör att det totala elutbytet per glasad area begränsas.
- Effekten från baksidesreflektorn är beroende av infallsvinkeln. Den bestäms av lutningsvinkel och solhöjd.
- Reflektors cirkulära geometri under absorbatorn medger att absorbatorn i princip kan placeras vertikalt. Det skulle gynna utbytet från underkantscellen som tar emot strålning som koncentrerats en faktor två. Skuggeffekterna från gavlarna innebär dock att detta alternativ inte är aktuellt.

Slutsatser

- Solceller med hög verkningsgrad och låg serieresistans ger god prestanda för hybridmodulen. Reflektorns icke ideala form försämrar utbytet från baksidescellerna
- De 2-3 yttersta cellerna på baksidan bör tas bort för att undvika inverkan av kanteffekter. Alternativt kan de förbikopplas med dioder.
- Solcellernas packningstäthet bör ökas för att maximera det totala elutbytet.
- Hybridabsorbatorn bör placeras parallellt med glaset.

4 Mätning av termisk prestanda

4.1 Uppmätning av termisk verkningsgrad.

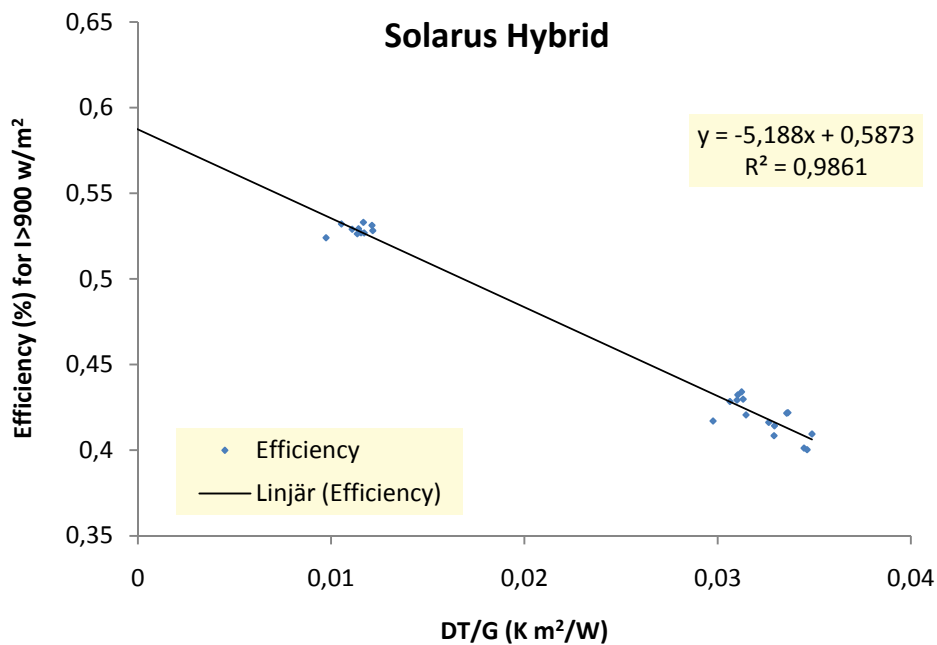


Den termiska prestandan hos solfångaren i figur 15 och hybriden i figur 16 har utvärderats. Uppmätta verkningsgrader vid intensiteter på solstrålningen överstigande 900 W/m^2 presenteras i ett standarddiagram för solfångarprovning i figurerna 17 och 18.

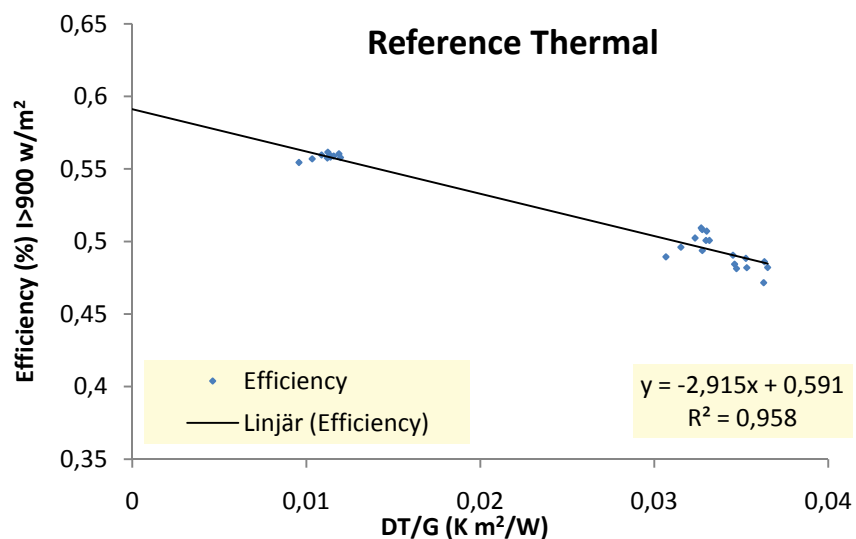
Parametrarna DT/G på x-axeln representerar temperaturskillnaden mellan absorbator och omgivning dividerat med solinstrålningen. Det innebär att linjens skärning med y-axeln ger solfångarens optiska eller förlustfria verkningsgrad η_0 . Linjens lutning ger solfångarens totala värmeförlustkoefficient FU .

Referenssolfångaren i figur 15 har en Sun-Strip absorbator med en selektivt absorberande yta. Denna yta kännetecknas av att den har hög absorptans för solstrålning medan den har låg emittans för värmestrålning, $\alpha_{sol} \approx 0,95$ och $\epsilon_{värmestrålning} \approx 0,10$. Den låga emittansen minskar solfångarens värmeförlustfaktor d.v.s. värdet på FU . När solceller lammineras på absorbatorn kommer dessa att bestämma värdet på emittansen. De lamminerade solcellerna har hög emittans. Det innebär att hybridabsorbatorn får större värmeförluster och ett betydligt högre värde på FU än referenssolfångaren.

En koncentrerande solfångare kännetecknas vanligen av ett lågt FU -värde tack vare att den varma arean är liten och en låg optisk verkningsgrad p.g.a. optiska förluster i reflektorn. Detta är också utmärkande för den testade Blenda solfångaren.



Figur 17. Uppmätt verkningsgrad för hybridolfångaren för $I > 900 \text{ W/m}^2$. Optisk verkningsgrad $\eta_0 = 0,59$ och Värmeförlustfaktor $F_U = 5,2 \text{ W/m}^2, \text{K}$.



Figur 18. Uppmätt verkningsgrad för referensolfångaren för $I > 900 \text{ W/m}^2$. Optisk verkningsgrad $\eta_0 = 0,59$ och Värmeförlustfaktor $F_U = 2,9 \text{ W/m}^2, \text{K}$.

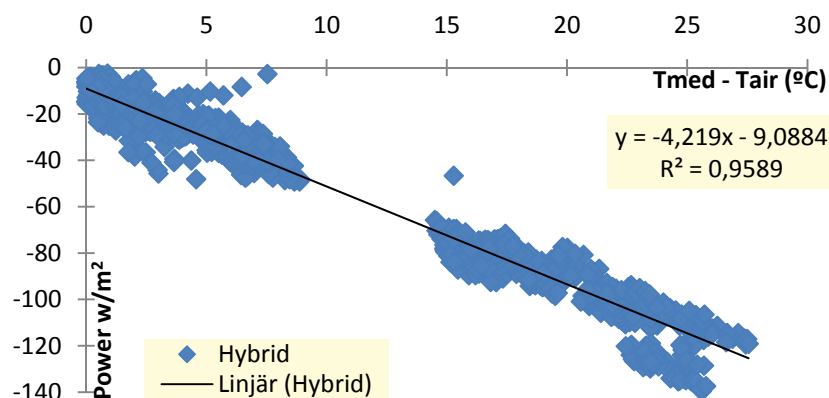
Resultatet av verkningsgradsmätningarna sammanfattas i tabell 1. Den optiska verkningsgraden är omkring 0.59 för referens och hybrid medan värmeförlustfaktorn är 2,9 respektive 5,2 ($\text{W}/\text{m}^2, \text{K}$). Den höga emittansen hos hybridabsorbatorn ökar värmeförlusterna och $F'U$ -värdet betydligt i förhållande till referenssolfångaren med en selektiv yta.

Tabell 1 –Optisk verkningsgrad och värmeförlustfaktor från verkningsgradsmätning.

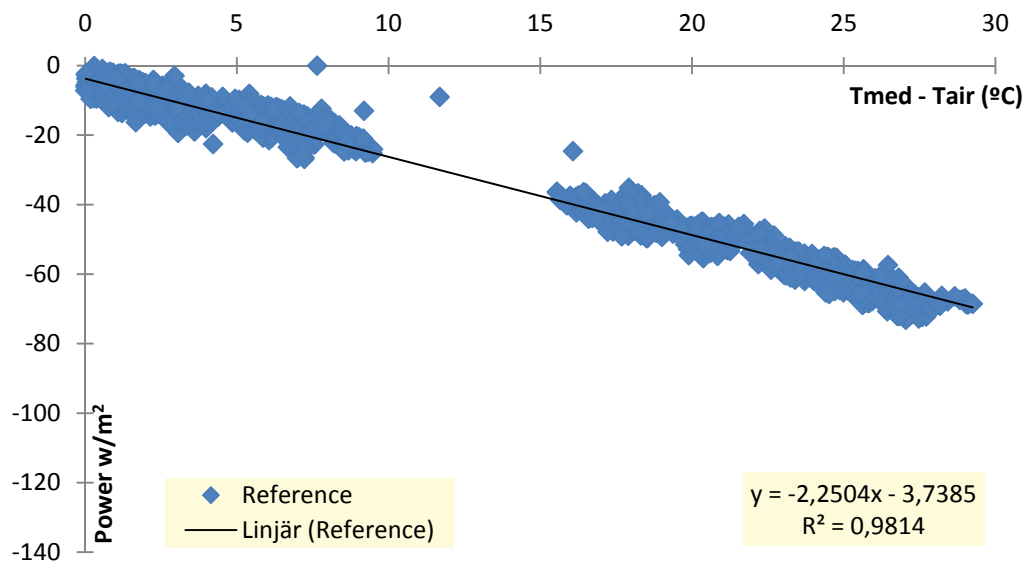
	Referens	Hybrid
Optisk verkningsgrad η_0	59.1%	58.7%
Värmeförlustfaktor ($\text{W}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$)	2,9	5,2

4.2 Uppmätning av värmeförlustfaktor $F'U$.

Under verkningsgradsmätningarna matas solfångaren med vatten av konstant temperatur från en ackumulator. Det innebär att solfångaren under nattetid matas med varmt vatten som kyls ned i solfångaren. Detta kan utnyttjas för att under nattetid mäta solfångarens värmeförluster och $F'U$ -värde. Resultatet av dessa mätningar visas i figurerna 19 och 20.



Figur 19. Värmeförlusten som funktion av temperaturskillnaden mellan absorbator och omgivning, $T_{med} - T_{air}$, under nattetid för solfångare med hybridabsorbator. $F'U=4,2$ ($\text{W}/\text{m}^2, \text{K}$)



Figur 20. Värmeförlustmätning som funktion av temperaturskillnaden mellan absorbator och omgivning, $T_{med} - T_{air}$, under nattetid för referenssolfångare med Sunstrip absorbator. $F'U = 2,25$ ($W/m^2, K$)

De samlade resultaten av mätningarna av $F'U$ redovisas i tabell 2. Solfångaren med hybridabsorbator uppvisar betydligt högre värmeförluster och $F'U$ -värde än referenssolfångaren. Det förklaras av att referensen har en selektiv yta med låg termisk emittans som undertrycker strålningsförlusterna. Hybriden har solceller med hög termisk emittans. Det innebär att denna får en prestanda liknande en enkel svartmålad absorbator.

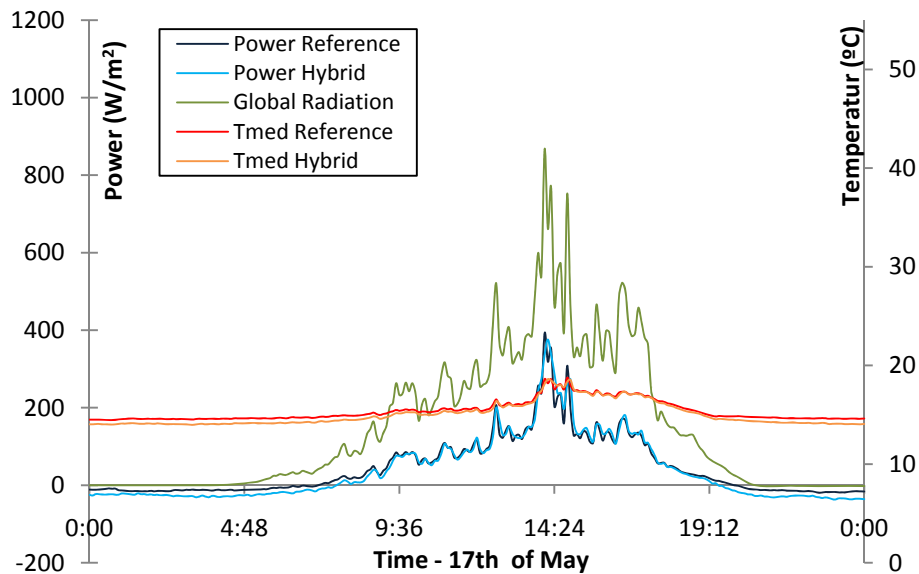
Mörker $F'U$ -värdena är som förväntat betydligt lägre än de värden som fås från verkningsgradskurvan under belysning. Detta förklaras av att vid mätning under belysning är absorbatorns medeltemperatur högre än vätskans temperatur. I mörkerfallet är vätsketemperaturen högre än absorbatorns temperatur.

Tabell 2. Värmeförlustfaktor från solfångarprovning under dagtid respektive nattetid.

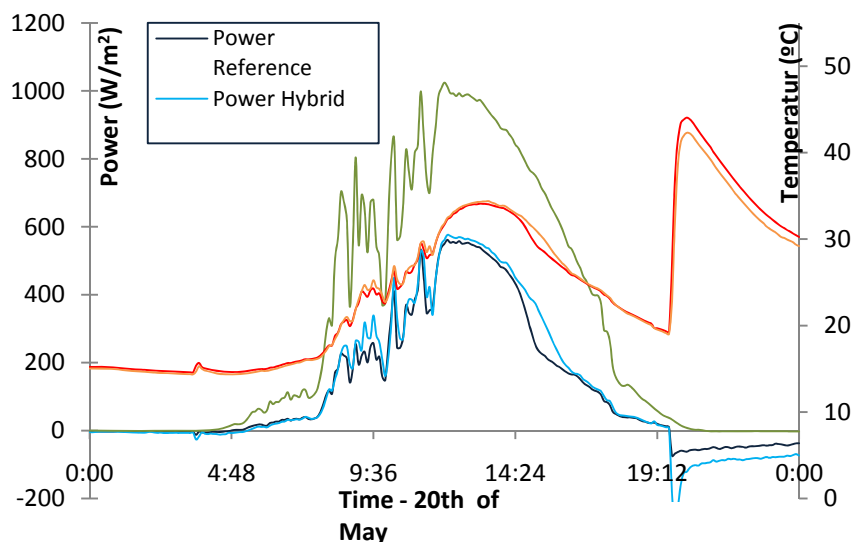
	Mörker $F'U$ -värde ($W/m^2, K$)	Strålnings $F'U$ -värde ($W/m^2, K$)
Hybridabsorbator	4,2	5,2
Sunstripabsorbator	2,3	2,9

4.3 Prestanda vid varierande instrålning och temperatur

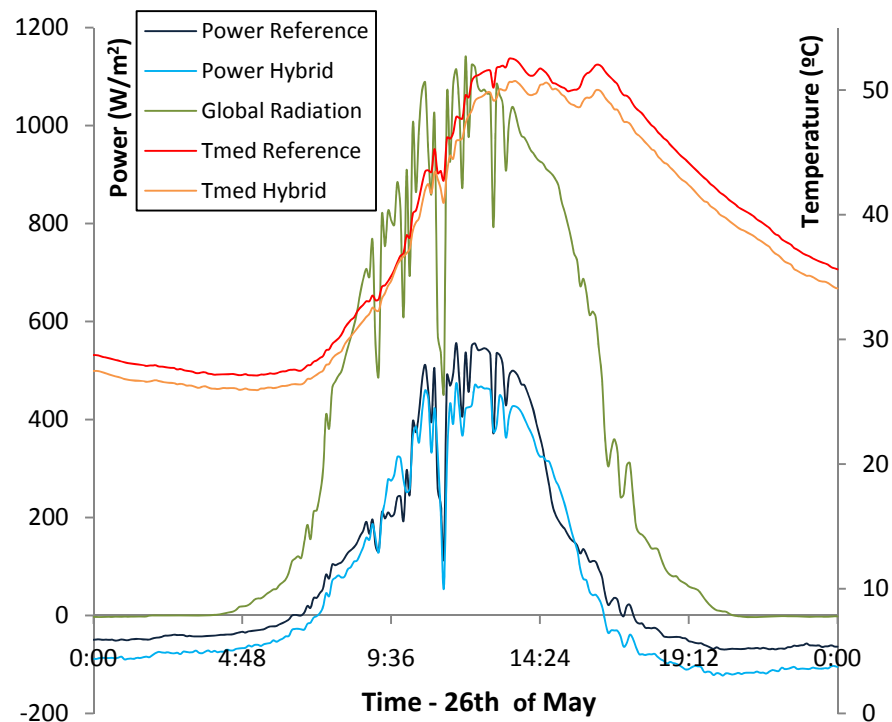
Figurerna 21-23 visar solinstrålning, termiskt utbyte och drifttemperatur för referens och hybrid under tre olika och representativa dagar.



Figur 21. Jämförelse av termiskt utbyte mellan hybrid och referenssolfångare under en molnig dag och låg drifttemperatur T_{med} i solfångarna.



Figur 22. Jämförelse av termiskt utbyte mellan hybrid och referenssolfångare under en solig dag och relativt låg drifttemperatur T_{med} i solfångarna.



Figur 23. Jämförelse av termiskt utbyte mellan hybrid och referenssolfångare under en solig dag och hög drifttemperatur Tmed i solfångarna.

Resultaten visar jämförbara prestanda vid låga drifttemperaturer, figurerna 21-22. I figur 23 vid relativt hög drifttemperatur under eftermiddagen visar referensen högre utbyte. Värmeförlusterna under nattetid är högre för hybridens vid högre temperaturer, figurerna 22-23. Dessa resultat är helt i överensstämmelse med de sammanfattande resultaten i tabellerna 1 och 2.

Profilen på utbyteskurvan för hybrid och referens avviker under förmiddag och eftermiddag. Det förklaras av att hybridens absorbator inte sitter exakt i fokus för den paraboliska reflektorn. Den relativt höga vikten på hybridabsorbatorn innebär att den hänger ned något.

4.4 Resultat av simuleringar av årsutbyte

Simuleringar visar att en hybrid med parametrarna $\eta_0=0,50$ och $FÚ=5$ W/m²,K vid 50 °C drifttemperatur får omkring halva årsutbytet i jämförelse med en referenssolfångare med parametrarna $\eta_0=0,60$ och $FÚ=3$ W/m²,K. Hybridens optiska verkningsgrad har reducerats med 0,1 enheter eftersom den förutsätts leverera el med 10 procent verkningsgrad.

4.5 Slutsatserna av termiska mätningarna.

Resultatet av mätningarna kan summeras enligt följande:

- Referenssolfångaren uppvisar relativt låg optisk verkningsgrad och låg värmeförlustfaktor. Resultaten är som förväntat för en koncentrerande solfångare.
- Hybridsolfångaren har jämförbar optisk verkningsgrad med referensen men betydligt högre värmeförluster. Det förklaras av att hybridabsorbatorn har hög emittans för värmestrålning.

Slutsatser av termiska mätningar

- Hybridsolfångaren har relativt höga värmeförluster. Detta innebär att den får lågt utbyte vid höga drifttemperaturer, som t.ex. vid fjärrvärmekoppling. Den skall med fördel användas vid lågtemperaturapplikationer. Detta ökar både termiskt och elektriskt utbyte.
- Det höga FU -värdet för hybridsolfångaren begränsar stagnationstemperaturen, vilket är en fördel ur hållbarhetssynpunkt.
- Årsutbytet av värme vid 50 °C drifttemperatur för en hybrid som levererar el blir omkring 50 procent av utbytet för en solfångare med en selektivt absorberande Sun-Strip absorbator.

5 Utbyte, utvecklingsläge och konkurrenssituation

Utbyte

Solarus kommersiella solfångare har ytan omkring 2,3 m². När absorbatoren ersätts med en dubbelsidig hybrid kommer utbytet av el och värme från två hybridmoduler att motsvara utbytet från en Solarus solfångare plus en konventionell 450 W_p PV-modul. Det innebär att hybridabsorbatorn skall tillverkas för en kostnad av i storleksordningen 25 kr/W_p för att vara konkurrenskraftig med konventionella alternativ.

Utvecklingsläge och Kommersialisering

Solarus solfångare Blenda är idag en kommersiell produkt. Solarus etablerar nu en egen produktionsenhet för hybrider i Älvkarleby. Kommersialiseringen omfattar även etablering av partnerföretag i ett flertal länder. Solarus utvecklar en helt ny teknik för laminering av solceller med högre krav på drift under höga temperaturer än vanliga PV-moduler. Produkten genomgår certifiering i ett stort internationellt paket med bl.a. IEC6125, UL1703, EN12975 och OG600.

En egen produktionsenhet för att tillverka hybrid-absorbatorer och kompletta hybrid-solfångare uppförs under 2011 i Älvkarleby. Figur 24 visar en komplett modul avsedd för solföljning genom att den vrider sig omkring en öst-västlig axel.

Konkurrens på marknaden

Solfångare

Den kund som idag står inför valet att satsa på solvärme väljer ofta mellan plana solfångare eller vakuumrörssolfångare. De plana solfångarna är robusta och billiga, men har lägre verkningsgrad vid höga drifttemperaturer än vakuumrörssolfångarna. De bästa vakuumrörssolfångarna på marknaden har goda högttemperaturegenskaper, men är inte robusta och är dyra. Det finns många stora producenter av solfångare runt om i världen som bygger plana solfångare och vakuumrörssolfångare. Några exempel på stora tillverkare i Europa är Schüco International från Tyskland, Green One Tech från Österrike och Velux-Arcon från Danmark. Sunstrip/Exoheat i Finspång är sedan lång tid en stor tillverkare av absorbatoren och etablerar tillverkning av kompletta solfångare. Boröpannan AB i Kalix är idag Sveriges största solfångartillverkare. Vakuumrören utgör 90% av den stora Kinesiska marknaden för solfångare och en stor exportprodukt från Kina till Europa. Plana solfångare tillverkas med rationella metoder. Priset pressas genom att materialinnehållet minskas och genom en kontinuerlig trimning av produkternas prestanda. Både plana solfångare och vakuumrörssolfångare har

funnits under långt tid på marknaden. Produkterna utvecklas ständigt, men om inte något tekniksprång genomförs kommer sannolikt inte priserna på sådana solfångare att kunna sänkas i någon större omfattning. Den internationella marknaden är för närvarande inne i en kraftig expansion. Många lokala marknader är dock mycket omogna.

Koncentrerande termiska solfångare

Koncentrerande solfångare byggs av flera aktörer, men då främst för tillämpningar i stora solkraftsanläggningar för elproduktion, s.k. CSP system.

Det finns idag relativt få företag som bygger koncentrerande och icke solföljande solfångare.

Solceller

Världen största solcellspaneltillverkare är Suntech från Kina med ca 12 % av marknaden. Europas största solcellstillverkare är Q-Cells i Tyskland som bl.a. äger Solibro i Sverige. De har ca 10% av marknaden. Andra stora aktörer är REC från Norge, Solar World från USA samt Motech, Yingli, JA Solar och Ningbo från Kina och Taiwan. På marknaden finns dessutom olika former av tunnfilmsteknik. De billigaste tunnfilmsmodulerna är kadmiumtellurid moduler från företaget First Solar. Tunnfilmceller kännetecknas av ett lägre pris per areaenhet än kiselceller och relativt låg verkningsgrad. Priset per W_p är jämförbart för tunnfilms och kiselceller.

Den största andelen av solcellspaneler har multikristallina kiselceller. Dessa har cellverkningsgrader på omkring 16% och modulverkningsgrad på 13%. Lägsta pris enligt analysorganet Solarbuzz för denna kategori låg i augusti 2010 på 1,74 dollar/W. Monokristallina kiselceller har cellverkningsgrader på upp till 20%. Lägsta pris på Solarbuzz för dessa celler med högsta verkningsgrader låg i augusti 2010 på 2,15 dollar/W. Denna typ av paneler med höga verkningsgrader utgör för närvarande endast en liten del av marknaden. Mycket stora investeringar görs dock för närvarande runt om i världen för att snabbt öka produktionskapaciteten.

Celler med hög verkningsgrad är av stort intresse för användning i Solarus Hybrid.

Solcellshybrider

Världen har under de senaste åren haft en mindre grupp PVT-tekniker och en handfull företag verkar globalt med en begränsad omsättning. De kan delas upp i högkoncentrerande heliostatiska system samt icke koncentrerande, vätskekylda solcellsmoduler. De högkoncentrerande systemen är endast ämnade för marknader i "solbältet", dvs de har en begränsad marknad geografisk sett och samtidigt ett för högt pris för att nå höga försäljningsvolymmer. De kännetecknas av en mycket avancerad, svårhanterlig teknik med dyra material. Vätskekylda solcellsmoduler får nytta av ökad temperaturkontroll, men har höga termiska förluster och ett väsentligt högre pris än standardmoduler.

6 Slutsatser

- De elektriska och termiska mätningarna visar att hybriden med den nya absorbatoren fungerar tillfredsställande när solen står i söder, men visar kraftiga skuggeffekter vid högre asimutvinklar. Utbytet kan förbättras genom att dioder kopplas in över de yttersta cellerna på baksidan eller genom att de 2-3 yttersta cellerna på baksidan tas bort för att undvika inverkan av kanteffekter. Ett tredje alternativ är att skarva modulerna till långa enheter med färre gavlar och långt avstånd från kantcell till gavel.
- Utbytet från baksidan är känsligt för ojämn belysning av cellerna. Det största problemet uppstår om någon cell får låg total instrålning, eftersom den då begränsar utbytet. Det innebär att det är viktigt att reflektorn har en perfekt parabolisk geometri och att absorbatoren sitter rätt placerad.
- Solcellernas packningstäthet bör ökas för att maximera det totala elutbytet per glasad area och per modulenhet.
- Solceller med hög verkningsgrad och låg serieresistans är viktiga för att ge hybridmodulen hög elverkningsgrad.
- Utbytet av el och värme från två hybridmoduler motsvarar utbytet från en Solarus solfångare plus en konventionell 450 W_p PV-modul. Denna jämförelse bestämmer den tillåtna prisnivån för hybridfångaren.



Figur 24. Komplet moduls avsedd för solföljning genom vridning omkring en öst-västlig

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se