

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Automatisering av metod för kostnadsreducering vid solcellstillverkning	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Automatization of production method for cost reduction in solar module manufacturing.	
Universitet/högskola/företag JB EcoTech AB /Sticky Solar Power AB	Avdelning/institution
Adress Lärktunet 13	
Namn på projektledare Jonas Buddgård	
Namn på ev övriga projektdeltagare Markus Rinio, Janne Oksannen, Mika Vihiniemi, Torgny Lagerstedt, Andrew Machirant, Beatriz Roza	
Nyckelord: 5-7 st Solceller, förnyelsebar el, silver, bly, kostnadsreducering, automatisering	

Förord

Projektet syftar till att utveckla en lösning för att automatisera den metod för kostnadsreducering vid solcellstillverkning som tidigare utvecklats av JB EcoTech AB.

Vi vill tacka alla som hjälpt oss under dessa tre år och ett speciellt tack vill vi ge Energimyndigheten som har möjliggjort projektet genom att hjälpa till med halva finansieringen!

Vi vill tacka våra samarbetspartners, Karlstads universitet, Luvata och Solar Finland.

Vi vill även tacka vår referensgrupp bestående av:

Janne Oksannen, Luvata special products, Technical Manager Global Technical Director – Photovoltaics

Mika Vihiniemi, Solar Finland/Salo Solar, Production Manager.

Markus Rinio, Professor, The Faculty of Health, Science and Technology, Department of Engineering and Physics på Karlstads universitet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	4
Genomförande	5
Resultat	20
Diskussion.....	20
Publikationslista.....	25
Referenser, källor.....	25
Bilagor	26

Sammanfattning

Solcellsindustrin växer kraftigt och allt fler solceller installeras världen över för att producera grön och förnyelsebar elektricitet. För att denna utveckling skall fortsätta i hög takt krävs dock fortsatt effektivisering av tillverkningsprocessen av solceller och solcellsmoduler. Tillverkningskostnaden måste sänkas ytterligare, solcellsmodulerna måste bli effektivare samt giftiga material i tillverkningen elimineras. Detta projekt, ”Automatisering av metod för kostnadsreducering vid Solcellstillverkning”, adresserar dessa mål. I projektet utvecklas en metod för automatisering av den tidigare utvecklade tejpmetoden The Tape Solution™. Metoden reducerar mängden silver som behövs för tillverkning av solcellsmoduler, möjliggör modultillverkning av högeffektiva solceller samt eliminerar bly från sammankopplingen av de individuella solcellerna i solcellsmodulen.

I detta projekt har vi uppnått en viktig milstolpe då vi har visat att The Tape Solution™ går att automatisera och att metoden kan användas i stor skala industriellt. I vår utvecklade prototyp har vi uppnått en produktionshastighet på 1,6 sekunders cykeltid per cell, vilket betyder att varje 1,6:e sekund kommer det ut en sammankopplad solcell ur tejpmaskinen. 1,6 sekunders cykeltid ger en årlig produktion av solcellsmoduler på ca 100 MWp. För jämförelse kan nämnas att det installerades ca 115 GWp solceller globalt 2019 vilket skulle motsvara produktionen från 1150 st tejpmaskiner. I Sverige installerades ca 300 MWp solcellsmoduler 2019 vilket skulle motsvara produktionen från 3 st tejpmaskiner. Vi skulle alltså med enbart 3 st tejpmaskiner kunna tillverka samtliga solceller som installeras i Sverige. Skulle Sveriges behov öka till 400 MW per år räcker det med att installera ytterligare 1 maskin osv. Skulle The Tape Solution™ få en marknadsandel på 5% globalt år 2025 skulle det motsvara ca 200 tejpmaskiner och årlig tejpförbrukning på ca 7 miljarder meter då den årliga globala installationen uppskattas bli ca 400 GWp år 2025.

Då projektets resultat anses mycket intressanta fick vi, 2019, presentera dessa som en oral presentation på den årliga solcellskonferens EU PVSEC i Marseille 2019. Utöver detta har vi haft ett samarbete med Karlstads Universitet där det bland annat har skrivits ett examensarbete där det studerats hur de optiska och elektriska egenskaperna påverkas av den nya produktionsmetoden The Tape Solution™.

Nästa steg för The Tape Solution™ blir att industrialisera den R&D maskin som framtagits i projektet. Vi planerar att den industrialiserade maskinen ska installeras hos 3–5 st utvalda early adaptors i ett första steg. För detta steg söker vi nu finansiering. Vi bedömer att det kommer att krävas 20 – 30 M kr i finansiering. Vi har bland annat ansökt till Horizon 2020, EIC accelerator, där ansökan fick ett **Seal of Excellence** med motiveringen ”THE TAPE SOLUTION The novel solar cell interconnecting technology enabling next generation high efficiency photovoltaics following evaluation by an international panel of independent experts WAS SCORED AS A HIGH-QUALITY PROJECT PROPOSAL IN A HIGHLY COMPETITIVE EVALUATION PROCESS* This proposal is recommended for funding by other sources, since Horizon 2020 resources available for this specific Call were already allocated following a competitive ranking”.

Summary

The solar PV industry is growing rapidly and more and more PV capacity is being installed worldwide to produce green and renewable electricity. In order for this development to continue at a high pace, however, further streamlining of the manufacturing process of solar cells and solar modules is required. The production cost must be further reduced, solar modules must become more efficient and toxic materials in the production must be eliminated. This project, "Automation of Method for Cost Reduction in Solar Module Manufacturing", addresses these goals. The project develops a method for automating the previously developed tape method The Tape Solution™. The method reduces the amount of silver needed for the production of solar modules, enables module production using highly efficient solar cells and eliminates lead from the interconnection process of individual solar cells in the solar module.

In this project, we have achieved an important milestone as we have shown that The Tape Solution™ can be automated and that the method can be scaled to industrial levels. In our developed prototype, we have achieved a production speed of 1.6 seconds cycle time per cell, which means that every 1.6 seconds an interconnected solar cell exits the tape machine. 1.6 seconds cycle time gives an annual production of solar modules of about 100 MWp. For comparison, it can be mentioned that approximately 115 GWp of solar cells were installed globally in 2019, which would correspond to the production from 1150 tape machines. In Sweden, approximately 300 MWp solar cell modules were installed in 2019, which would correspond to the production from 3 tape machines. We would thus with only 3 tape machines be able to interconnect all solar cells that are installed in Sweden. Should Sweden's needs increase to 400 MW per year, it is sufficient to install another machine, etc. Should The Tape Solution™ have a market share of 5% globally in 2025, it would correspond to about 200 tape machines and annual tape consumption of about 7 billion meters as the annual global installation is estimated to be about 400 GWp in 2025.

The encouraging results of this project were presented as an oral presentation at the annual scientific PV conference and exhibition, EU PVSEC in Marseille in 2019. In addition, we have had a collaboration with Karlstad University where, among other things, a degree project was completed examining how optical and electrical properties are affected by The Tape Solution™.

The next step for The Tape Solution™ will be to industrialize the R&D machine developed in the project. In a first step, we plan for the industrialized machine to be installed at the production sites of 3-5 selected early adopters. For this next step we are now seeking 20 -30 MSEK in financing. Among things we have sent an application to Horizon 2020 and the EIC accelerator where we received a **Seal of Excellence** with the motivation "THE TAPE SOLUTION The novel solar cell interconnecting technology enabling next generation high efficiency photovoltaics following evaluation by an international panel of independent experts WAS SCORED AS A HIGH-QUALITY PROJECT PROPOSAL IN A HIGHLY COMPETITIVE EVALUATION PROCESS* This proposal is recommended for funding by other sources, since Horizon 2020 resources available for this specific Call were already allocated following a competitive ranking".

Inledning/Bakgrund

Solceller är ett av de absolut bästa sätten att producera grön förnyelsebar energi. De är ljudlösa förbrukar inget material, har inga rörliga delar, kräver i stort sett inget underhåll, har lång livslängd och är skalbara! Solceller kan användas som enstaka paneler på segelbåtar för att driva några lampor och en kylanläggning, för att ersätta dieselaggregat eller fotogenlampor i länder utan utbyggt elnät till gigantiska solcellsparker med miljontals solcellsmoduler för storskalig energiproduktion. Elproduktion med solceller är utmärkt att kombinera med vindkraft då vinden ofta blåser när det är mindre sol och tvärt om.

Solcellsindustrin växer kraftigt och allt fler solceller installeras världen över. För att denna tillväxt skall fortsätta i hög takt krävs dock fortsatt effektivisering av tillverkningsprocessen för solceller och solcellsmoduler. Tillverkningskostnaden behöver sänkas ytterligare, solcellsmodulerna måste bli effektivare och giftiga material i tillverkningen behöver elimineras. Med denna kunskap startade vi utvecklingen av The Tape Solution™ redan 2012 för att sänka tillverkningskostnaden för solcellsmoduler och därmed också kostnaden för att producera el. Utöver detta reduceras användningen av bly vid tillverkningsprocessen till en tiondel.

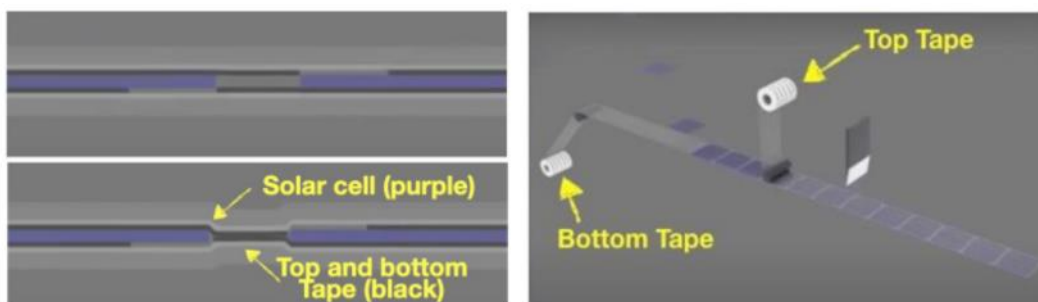
Inför starten av detta projekt hade vi utvecklat tejen (en patenterad design där en tejp bär ett mönster av elektriska ledare) som ingår i The Tape Solution™. Med The Tape Solution™ byggde vi solcellsmoduler manuellt för att visa att metoden fungerade och klarar den livslängd på mer än 25 år som krävs för solcellsmoduler. Marknaden visade intresse för lösningen men behövde se hur den skulle kunna automatiseras och implementeras storskaligt industriellt, det vill säga hur The Tape Solution™ skulle kunna sammanfoga solcellerna effektivt i hög takt. För att få möjlighet att hitta en lösning att visa för industrin sökte vi därför stöd för detta projekt.

Tejen som används är designad för att minska tillverkningskostnaden samt underlätta och effektivisera tillverkningen av solcellsmoduler. I stället för att använda traditionella tillverkningsmetoder där man löder en kopparråd från ovasidan på en solcell till

undersidan på nästa solcell så bygger The Tape Solution™ på en helt ny lösning. Solcellerna tejpas helt enkelt ihop med en tejp på undersidan och en på översidan av solcellerna, se figur 1. Sammankopplingen i serie mellan solcellerna sker i mellanrummet mellan två celler där den undre tejpens kontrakterar den övre tejpens.

Den övre och den undre tejpens kommer från olika tejproullar vilket ger fördelen att två olika typer av tejp kan användas om så önskas. Exempelvis kan en reflekterande tejp användas på framsidan av solcellen för att minska skuggningsbortfallet från den elektriska ledaren eller så kan en svart tejp användas vid tillverkning av helsvarta solcellsmoduler. Ytterligare ett alternativ för att minska skuggning är att använda en smal och hög tejp på solcellens framsida och en bred på solcellens baksida.

Den stora fördelen med två tejproullar är dock att maskinen inte behöver stoppas för placering av varje ny solcell. Tejporna kan dras ut helt kontinuerligt och solcellerna kan placeras i farten, lite som rulle till rulle tillverkning. Detta förenklar utformningen av tillverkningsmaskinen samt möjliggör högre produktionshastighet.



Figur 1. Sammankoppling av solceller med The Tape Solution™

Under projektets gång har utvecklingen av nya typer av högeffektiva solceller, till exempel heterojunction teknologi (HJT) och tandem-solceller, gått från labb till att börja användas kommersiellt. Detta är till fördel för The Tape Solution™ då dessa typer av solceller inte kan sammankopplas med traditionella tillverkningsmetoder. HJT och Tandem solceller tillverkas genom att man lägger olika typer av solceller ovanpå varandra för att bättre kunna utnyttja solens spektrum och uppnå högre verkningsgrad. Dessa koncept är känsligare än vanliga kisel-solceller och tål inte sammankoppling med lödning, vilket är den metod som används till närmare 100% idag. De kräver låg temperatur vid sammankopplingen vilket gör att The Tape Solution™ är perfekt för dessa typer av solceller då den sammankopplar solcellerna i rumstemperatur.

Genomförande

Projektdeltagare

JB EcoTech AB (sedan maj 2020 har vi bytt namn till Sticky Solar Power AB)

Jonas Buddgård – Projektledare och CTO

Andrew Machirant – Commercial manager

Torgny Lagerstedt – Technical expert and IP manager

Beatriz Costa Rosa – CEO

Automatisering

AP 1 Sammanslagning tejp + EVA

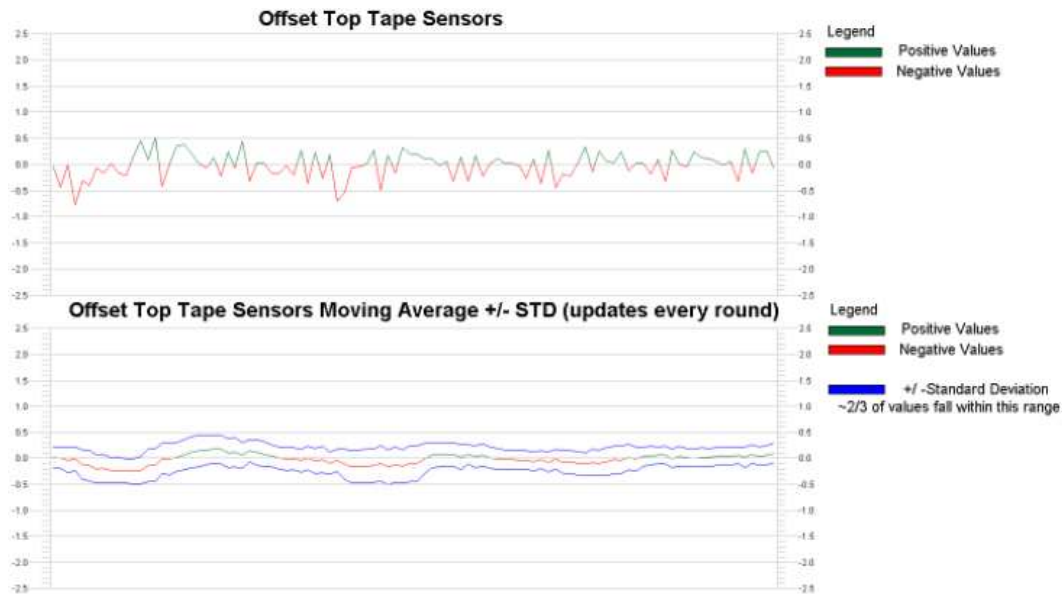
När vi planerade projektet inför ansökan var vår ursprungliga idé att applicera tejp på EVA-skiktet först, för att sedan placera solcellerna ovanpå (så kallad matrislösning). Efter de initiala teoretiska beräkningarna och förstudierna ändrade vi oss dock till att tillverka strängar av solceller med tejp för att sedan placera ut dessa på EVA-skiktet (så kallad stränglösning). Ändringen gjordes då analyserna visade att vi kunde hålla högre precision och högre toleranser i utplaceringen av tejp på detta sätt. Efter genomfört projekt känner vi att vi gjorde rätt val. Vi har dock inte helt övergett den ursprungliga idén på en matrislösning då det kan vara en metod som kan ge ännu högre produktionshastighet i tillverkningen men vi bedömde att den metod vi valde var en snabbare väg till marknaden.

AP 2: Högprecisionsplacering av celler

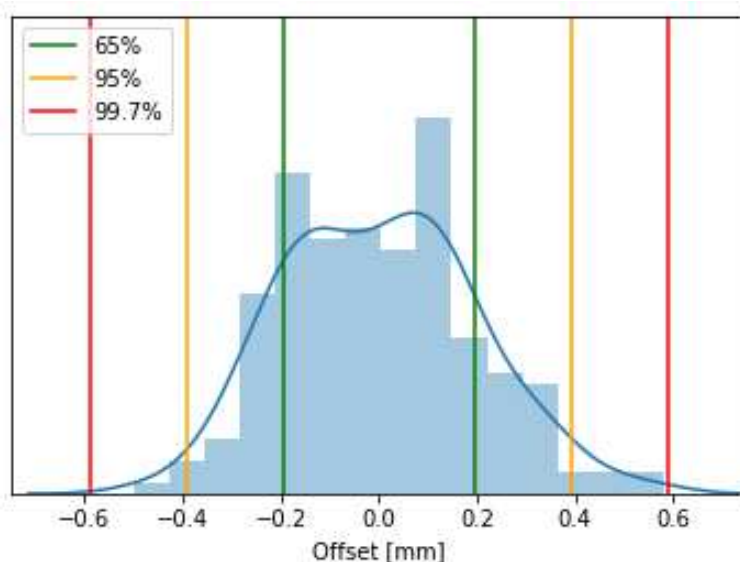
Solceller utvecklas ständigt mot högre verkningsgrad och lägre pris vilket i slutändan ger en lägre kostnad per el som de producerar. Ett led i detta är att placera solcellerna så tätt som möjligt i solcellsmodulen för att få in så hög effekt som möjligt på så liten yta som möjligt och därmed minska åtgången av övriga material som krävs t.ex. glas, EVA och back sheet.

För vår del resulterar detta i att The Tape Solution™ måste kunna placera ut solcellerna och tejp med så hög precision som möjligt.

För att få bra kontroll på detta har vi utvecklat ett system som mäter utplaceringen kontinuerligt samt presenterar detta i realtid, se Figur 2. För varje solcell som placeras ut uppdateras graferna samt standardavvikelse och moving average räknas ut.



Figur 2. Uppmätt noggrannhet av cellplacering.



Figur 3. Histogram över cellplacering

Som kan ses i Figur 2 och Figur 3 har vi i projektet uppnått en noggrannhet på $\pm 0,2$ mm vilket var målet. Vi ville i projektet uppnå en placeringsnoggrannhet som går att jämföra med branschens standard. Vanligt för stränglödare (maskiner som löder ihop solceller) är att dessa lovar en breakage ratio på 0,5 %. Detta kan då jämföras med vårt värde på placeringsnoggrannhet då vi har ett fönster på $\pm 0,6$ mm för att vår metod ska fungera och tejpen bilda en hållbar kontakt. Som kan ses i histogrammet nedan uppnår vi en placeringsnoggrannhet på $\pm 0,2$ mm för 1a standardavvikelsen vilket ger en noggrannhet på $\pm 0,6$ mm i 3e standardavvikelsen och betyder att 99,7 % ligger innanför detta värde. Endast 0,3 % ger en placering som riskerar att falla vilket är bättre än branschstandard på 0,5 %. Vi är övertygade om att detta inte är vägs ände och har flera idéer på hur vi ska

vidareutveckla reglermetoden för utplacering av tejpén för att uppnå ännu högre precision.

AP 3: Hastighetsoptimering av cellplacering

Detta arbete har utförts enligt trial and error. Hastigheten på maskinen har ökat tills något fallerat, därefter har data från körningen analyserats och flaskhalsar har identifierats och eliminerats. Vi har jobbat bort dessa flaskhalsar och kört om enligt samma mönster. Den högsta hastigheten vi uppnådde var en cykeltid på 1,6 sekunder per cell vilket är betydligt snabbare än det mål vi satte inför projektet på 2,0 sekunder. Detta betyder alltså att varje 1,6:e sekund kommer det ut en sammankopplad solcell ur tejpmaskinen. 1,6 sekunders cykeltid ger en årlig produktion för maskinen på ca 100 MW_p solcellsmoduler. För jämförelse kan nämnas att det installerades ca 115 GW_p solceller globalt 2019 vilket skulle motsvara produktionen från 1150 st tejpmaskiner. I Sverige installerades ca 300 MW_p solcellsmoduler 2019 vilket skulle motsvara produktionen från 3 st tejpmaskiner. Vi skulle alltså med enbart 3 st tejpmaskiner kunna tillverka samtliga solceller som installeras i Sverige. Skulle Sveriges behov öka till 400 MW per år räcker det med att installera ytterligare 1 maskin osv. En marknadsandel för The Tape Solution™ på 5 % år 2025 skulle motsvara 200 tejpmaskiner då den årliga installationen uppskattas till ca 400 GW_p 2025. Som referens har branschens snabbaste lödmaskin en cykeltid på 1,7 sekunder per cell. Vid 1,6 sekunders cykeltid är det robotarmen som placerar solcellerna som är tejpmaskinens flaskhals. En lösning för att uppnå ännu lägre cykeltid och högre produktionskapacitet i maskinen skulle kunna vara att addera ytterligare en robotarm för att placera två solceller på samma tid som en.

AP 4: Modultester hos SP DH 1000 och TC 200

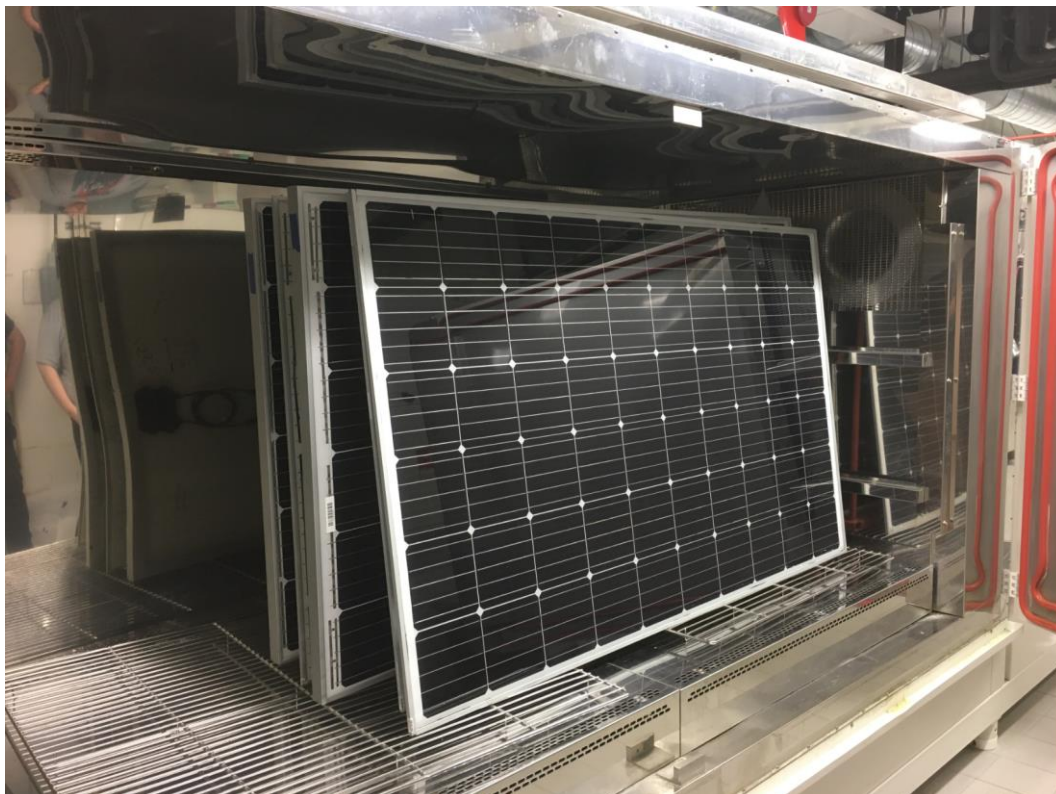
Sedan ansökan och namngivningen av arbetspaketet gjordes har SP blivit Research Institutes of Sweden AB (RISE).

För att säkerställa att solcellerna har en lång livslängd simuleras det som solcellerna utsätts för under sitt liv i ett accelererat tempo i klimatkammare, se figur 3. På så sätt kan en livslängd på 30 år simuleras på några månader.

Damp Heat 1000 h eller DH 1000 går ut på att solcellsmodulen utsätts för 85°C temperatur och 85% luftfuktighet i 1000 timmar.

Thermal Cycling 200 eller TC 200 utsätter solcellsmodulen för termisk cykling vilket simulerar temperaturförändringar så som sommar-vinter. Temperaturen cyklas från +85°C ner till -40°C och upp till 85°C igen 200 gånger. När modultemperaturen är över 25°C körs en ström motsvarande modulens ström i maxpunkten genom modulen för att även simulera att de producerar el.

Tejplösningen har tidigare klarat dessa tester på handgjorda, mindre solcellsmoduler men syftet med den nya testomgången var att repetera dem på fullstora moduler tillverkade med den automatiseringsmetod vi utvecklat i projektet.



Figur 4. De fullstora modulerna i klimatkammaren innan testet startar.

Resultat

DH 1000

Vi valde att utföra dessa tester hos RISE i Borås då vi har jobbat med dem tidigare och har goda erfarenheter av deras effektiva rutiner. Denna gång uppstod det dock några problem. Tidigare har vi testat mindre moduler som får plats i flera av deras klimatkammare men nu skulle vi testa fullstora solcellsmoduler som vi tillverkat med den automatiserade metoden. RISE har endast en klimatkammare som rymmer dessa fullstora paneler vilket gör att det är svårare att få en tid för testerna som tar ca 40 dagar. Detta gjorde att projektet blev försenat och vi var tvungna att förlänga det med 3 månader under sommaren 2020 för att få med resultatet från testerna.

Vi hade tillverkat 12 st moduler för testerna DH 1000 (5 st) och TC 200 (7 st). 2 stycken var tillverkade hos vår partner Solar Finland i Finland och 2 st hos Swemodule i Glava. För dessa moduler hade vi tillverkat strängar av solceller med den automatiserade metoden i vårt labb och skickat till respektive partner för laminering mm. Resterande moduler tillverkade vi fullt ut i vårt labb på Lidingö.

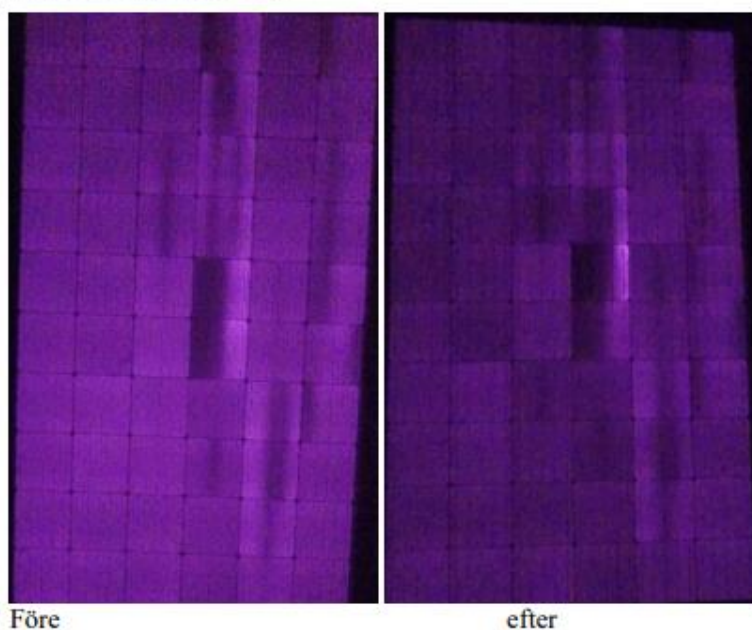
För att kontrollera modulerna före och efter testerna användes elektroluminisens (EL) fotografering samt ström-spännings mätning (IV). EL- fotografering identifierar spruckna celler samt vilka delar av cellen som är strömsatta. När EL-bilden har en jämn färg betyder det att samtliga celler har bra kontakt. IV-mätningen ger den faktiska effekten av solcellsmodulen och kan även ge en indikation på vad som har hänt om effekten är lägre

efter testet, t.ex. om serie- eller kortslutningsresistansen har ökat eller minskat. Se Figureerna 4 och 5.

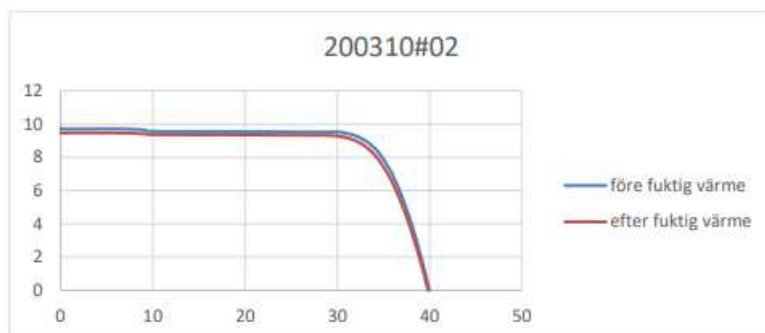
Av de 5 moduler som gick igenom DH 1000 testet klarade 4 av 5 moduler 1000 timmar i 85°C och 85% luftfuktighet. Ett mycket tillfredsställande resultat. Tillverkningen av strängar är nu automatiserad men, vid tillverkning av dessa moduler fanns fortfarande en del manuella moment samt andra möjliga felkällor, t.ex. skeppning av moduler, som kan påverka modulen negativt innan den är på plats i testkammaren.

Kravet för att klara testet är att modulerna inte får tappa mer än 5% av maxeffekten efter utfört test. De moduler som gjordes hos våra partners klarade testet väl med endast 2,2% resp. 3,4% förlust i maxeffekt. Den modul som inte klarade testet tappade 5,7% och var gjord i vårt eget labb.

20 03 10 # 02 Swemodule



Figur 5. Elektroluminisens fotografi av en av de godkända modulerna före och efter DH 1000.



Figur 6. IV-mätning före och efter DH 1000.

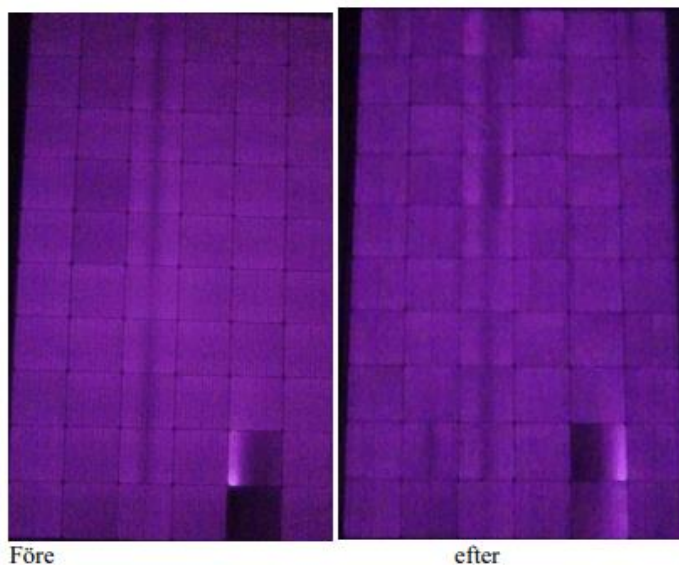
Tabell 2. Testresultat från 5 testade moduler enligt DH 1000.

Före klimattest	Isc	Imp	Voc	Vmp	Pmp	F.F.	Cell eff.	Module eff.	Rs
	[A]	[A]	[V]	[V]	[W]	[%]	[%]	[%]	mΩ
200310#2	9,70	9,16	39,98	32,54	297,99	76,82	20,30	18,13	3,24
200306#3	9,85	9,19	39,91	31,68	291,29	74,10	19,85	17,72	4,87
200220#1	9,07	8,70	39,96	32,91	286,18	78,94	19,50	17,41	2,03
200214#1	9,07	8,69	39,90	32,84	285,32	78,86	19,44	17,36	2,47
200407#1	9,08	8,63	39,72	30,61	264,13	73,26	18,00	16,07	2,01
Efter									
200310#2	9,47	8,93	39,85	32,22	287,73	76,24	19,60	17,51	4,56
200306#3	9,62	8,96	40,03	31,78	284,78	73,98	19,40	17,33	6,39
200220#1	8,96	8,56	39,71	32,08	274,52	77,19	18,70	16,70	2,91
200214#1	8,96	8,55	39,59	31,46	268,93	75,80	18,32	16,36	3,83
200407#1	8,88	8,39	39,07	30,37	254,80	73,47	17,36	15,50	7,38
skillnad									
200310#2	98%	98%	100%	99%	96,6%	99%	97%	97%	1,32
200306#3	98%	97%	100%	100%	97,8%	100%	98%	98%	1,52
200220#1	99%	98%	99%	97%	95,9%	98%	96%	96%	0,88
200214#1	99%	98%	99%	96%	94,3%	96%	94%	94%	1,36
200407#1	98%	97%	98%	99%	96,5%	100%	96%	96%	5,37

En fullständig testrapport finns som bilaga ”Provning av 12 solcellsmoduler: 5 Fuktig värme och 7 Temp cykling enligt IEC 61215-2:2016”

TC 200

Ytterligare försening i projektet blev det då modulerna vid TC 200 körningen olyckligtvis utsattes för en allt för hög temperatur, 150 °C i stället för de 85 °C som specificeras i testförfarandet. Detta ledde till att alla moduler utom en förstördes och därmed gick det tyvärr inte att dra några slutsatser från testet. En modul klarade trots detta gränsen på mindre än 5% förlust av maxeffekt efter testet, se figur 6 och 7. Modulen var tillverkad hos Swemodule och mätte en förlust på endast -1,6 % av maxeffekt men var tyvärr inte stömsatt under testet.



Figur 7. EL fotografering av den modul som klarade sig med endast – 1,6 % förlust av maxeffekt vid första TC200 körningen.

IV-kurvor före och efter termiska cyklingen

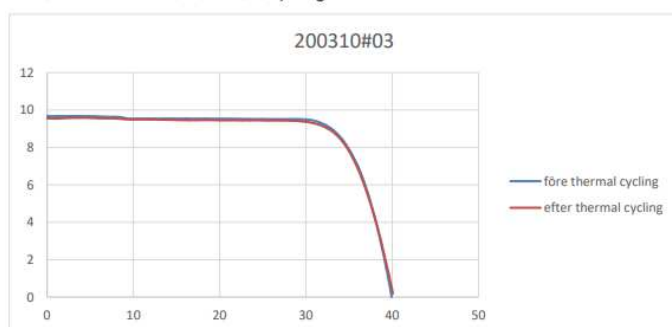
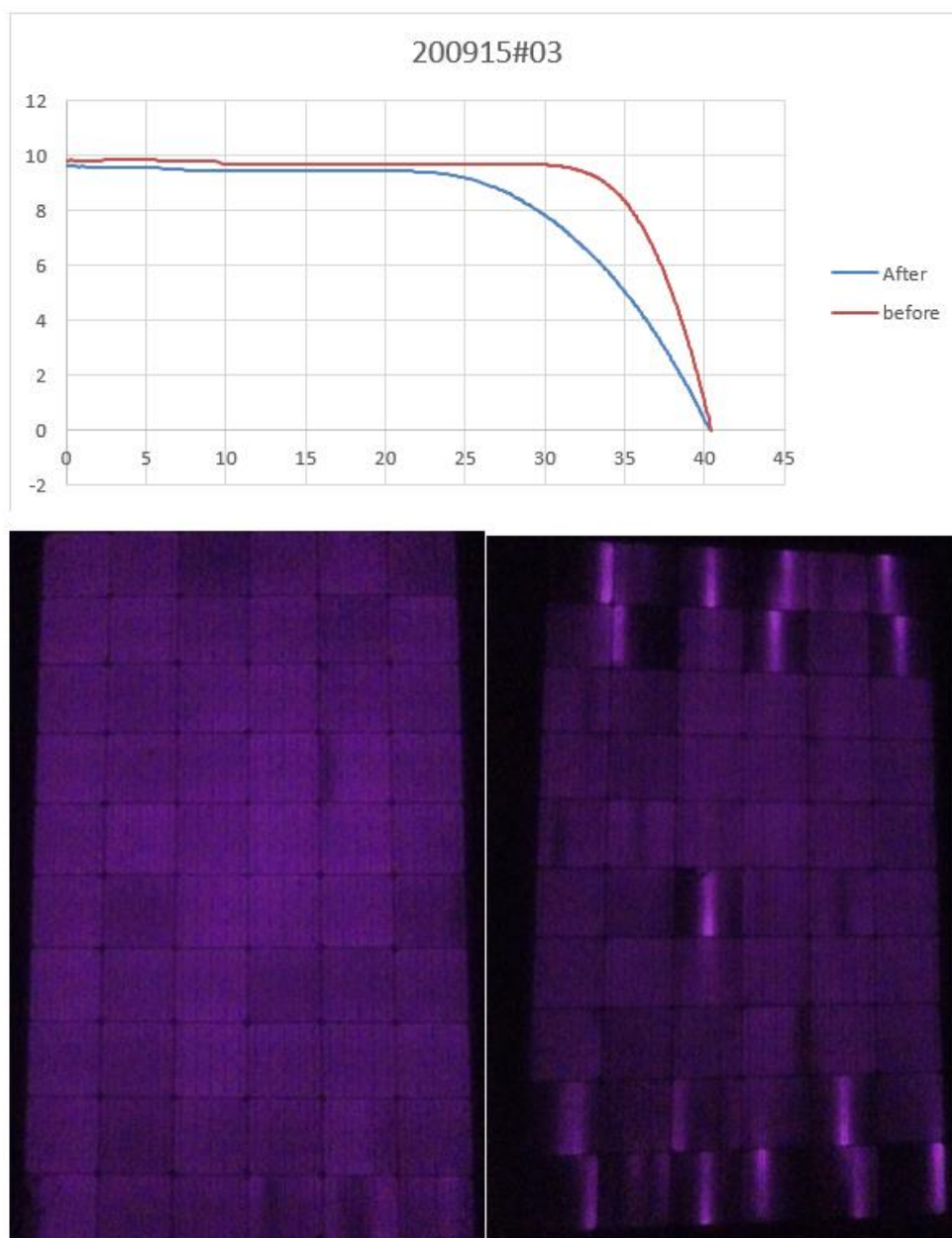


Diagram: modul 200310#03 klarade test för termisk cykling men var ej strömsatt under testet

Figur 8. IV-mätning av den modul som klarade sig med endast – 1,6 % förlust av maxeffekt vid första TC200 körningen.

Vi var återigen tvungna att förlänga projektet tre månader t.o.m. november 2020 då nya moduler behövde tillverkas och testas. De moduler som förstördes var tillverkade av Solar Finland i Finland, Swemodule i Glava samt i vårt eget lab. Tyvärr hade vi ingen möjlighet att tillverka moduler hos våra partners till den andra körningen vilket ledde till att samtliga moduler till den andra körningen tillverkades i vårt eget labb. Den laminator vi har tillgång till i labbet är en enklare modell där temperaturuniformiteten inte är så god. Detta leder till att lamineringstemperaturen är ojämn med en högre temperatur i mitten och en lägre vid modulens ytterkanter när fullstora moduler lamineras. Laminatorn fungerar bättre vid laminering av mindre moduler. Eftersom The Tape solution bygger på att den slutgiltiga kontaktingen mellan cellerna görs i laminatorn med hjälp av dess temperatur och tryck påverkar detta modulerna negativt. En för låg temperatur leder till att sammankopplingen blir sämre och en för hög temperatur ger bubblor i laminatet som i sin tur leder till ojämn kontakt mellan cellerna. En för ojämn temperaturuniformitet kan därför leda till att det inte går att få kanten på modulen tillräckligt var utan att få mitten för varm.

Vid TC 200 testet av de nya modulerna som tillverkats i vårt labb fallerade tyvärr samtliga moduler. Efter att ha granskat EL-bilderna före och efter testet misstänker vi att detta har att göra med den ojämna temperaturen vid lamineringen. Man kan tydligt se felaktigheter på cellerna längst ut i kanten på modulen, alltså samma celler som fått lägst temperatur vid laminering, Se Figur 8. Nästa uppenbara steg är att tillverka nya moduler i en industriell laminator och göra om testet. Vi har stark anledning att tro att detta skulle vara felkällan då en modul som var tillverkad hos Swemodule klarade testet den första omgången trots att modulerna blev mycket varmare än specificerad temperatur. Tyvärr rymdes inte detta i projektiden och budget men det är något vi vill göra så fort vi får möjligheten. Hela testrapporten finns som bilaga.



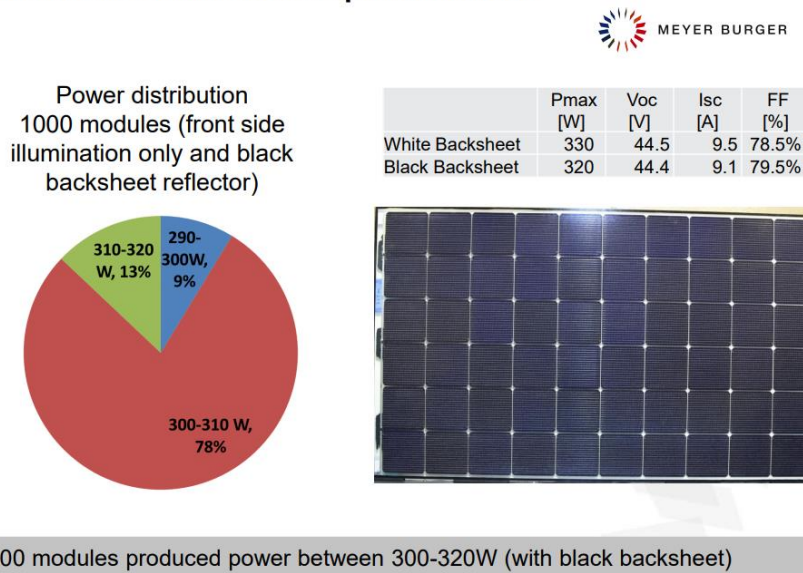
Figur 9. IV-mätning samt EL-fotografier före och efter TC 200 test.

Hur jämför sig de moduler som tillverkas i projektet med kommersiella moduler?

Ett av målen med projektet var att modulerna skall få lika eller högre verkningsgrad som solcellsmoduler tillverkade med den traditionella lödningen. Solceller med verkningsgrad 18–19 % skulle användas vilket bör ge moduler med 16–17 % verkningsgrad. Både enkelsidiga och dubbelsidiga solceller skulle användas.

Vid prestandamätning av modulerna uppmättes den bästa modul som tillverkades i projektet med vanliga PERC celler till 306,06 Wp med en verkningsgrad på 19 %. Den bästa modulen med dubbelsidiga (bifacial) celler uppmättes till 304,64 Wp och en verkningsgrad på 18,8 %, se Tabell 3. Karlstads universitet har mätt upp celler av vardera typen och räknat ut deras medelvärde för effekt och verkningsgrad. De vanliga PERC cellerna hade en medeleffekt på 5,28 Wp och en medelverkningsgrad på 21,67 %. Multiplicerar vi 5,28 Wp med 60 celler får vi en teoretisk effekt på 316,6 Wp för en färdig modul med 60 st av dessa celler. Detta kan jämföras med vår modul på 306,06 Wp vilket ger en cell to module ratio (CTM) på 96,7 %. Det skiljer desto mer om man jämför cellernas verkningsgrad med den färdiga modulens verkningsgrad vilket beror på att för modulens verkningsgrad används glasets storlek. För att få en hög verkningsgrad måste ett så litet glas som möjligt användas och detta hade vi inte möjlighet att optimera i projektet. Samma jämförelse kan göras med bästa modulen med dubbelsidiga celler där vår modul mätte 304,64 Wp, 18,8 % verkningsgrad och cellernas medelvärde var 5,15 Wp, 21,17 % vilket ger en CTM på 98,5 %. Vi är övertygade om att vi kan förbättra CTM ytterligare om vi får möjlighet att tillverka flera moduler. I detta projekt tillverkades ca 30 st solcellsmoduler. Som jämförelse kan nämnas en produktionskörning på 1000 moduler från en solcellstillverkare med konkurrerande teknik, Smart Wire (SWCT), där endast 13 % får en CTM på 93,8 % och högre och bästa CTM var 96,8% [5]. Se figur 9. Celler på 5,51 Wp och verkningsgrad 22,6 % användes i produktionen.

Bifacial SWCT HJT Module performances



Figur 10. Fördelning av maxeffekt på 1000 tillverkade solcellsmoduler.

Tabell 3. Uppmätt prestanda inför TC 200

Before	Isc	I _{max}	Uoc	U _{max}	P _{max}	FF [%]	Efficiency	R mΩ	
200909#01	9,82	9,30	40,54	32,76	304,64	76,53	20,76	4,14	Bifaciel
200909#02	9,79	9,27	40,02	31,20	289,07	73,81	19,70	6,87	
200910#01	9,74	9,20	39,67	30,98	285,16	73,78	19,43	8,78	PERC
200910#03	9,79	9,27	40,44	32,92	305,16	77,10	20,79	4,14	
200915#01	9,77	9,25	40,43	32,60	301,42	76,33	20,54	2,27	
200915#02	9,75	9,28	40,49	32,93	305,56	77,44	20,82	2,49	
200915#03	9,81	9,27	40,47	33,02	306,06	77,08	20,85	3,62	

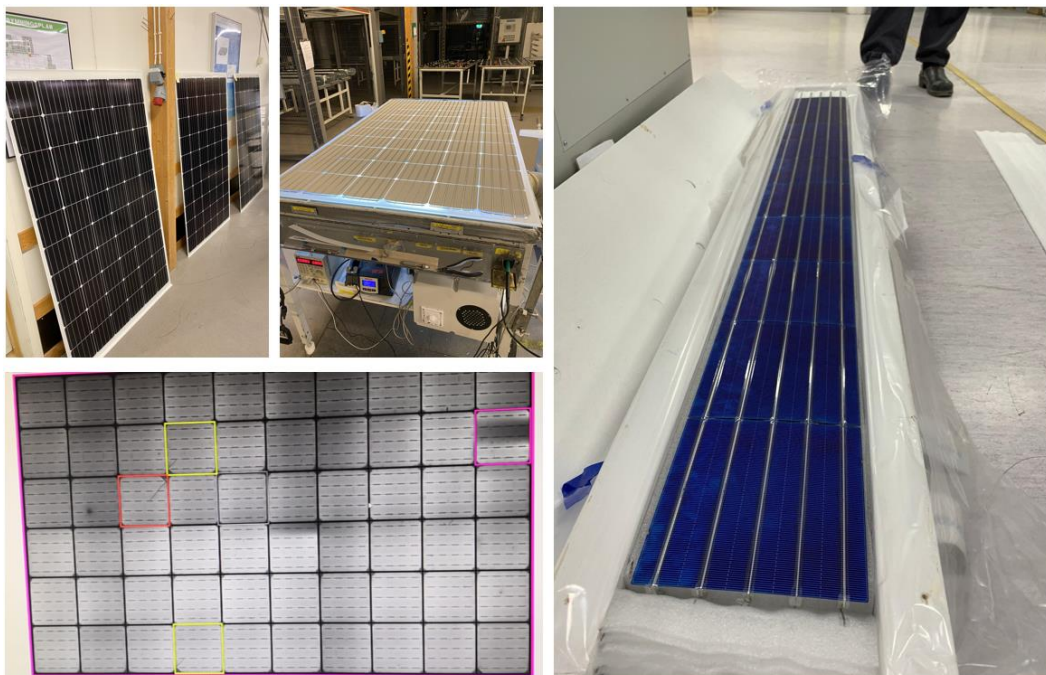
AP 5: Pilottester hos modultillverkare

Vi har utfört tester hos Solar Finland i Finland vid tre tillfällen. Vi startade genom att göra strängar hos dem manuellt för att introducera dem till metoden. Därefter tillverkades strängar av solceller med den automatiserade metoden i vårt labb och skickades till Solar Finland där fullstora solcellsmoduler tillverkades. Modulerna har där analyserats med IV-mätningar samt EL-fotografering därefter skickades de även för analys till RISE i Borås.

Till Swemodule i Glava skickade vi färdiga strängar som tillverkats i vårt labb på Lidingö. Vid besök på Swemodule laminerade vi dessa och färdigställde fullstora paneler som testades med IV och EL. Även dessa moduler skickats till RISE för analys.

Vi har även inlett tester som ännu inte hunnit slutföras hos INES i Frankrike, hos en asiatisk modultillverkare med europeiskt ursprung samt hos en europeisk modultillverkare. Alla dessa är modultillverkare är intresserade av att hitta en bra teknik för sammankoppling av HJT-solceller. Utöver det har vi besökt ytterligare tre modultillverkare i Europa som är intresserade av vår metod, men som vill att vi återkommer när vi har en färdig maskin att sälja.

Vi har lärt oss oerhört mycket av testerna hos modultillverkare. Det är oerhört värdefullt att kunna bekräfta eller förkasta vad vi tror att kunderna värdesätter i vår lösning. Besöken på olika produktionsanläggningar har hjälpt oss att se hur vi ska anpassa metoden för att på bästa sätt kunna implementera den i redan existerande tillverkningslinor.



Figur 11. Blandade bilder från pilottesterna. uppe till vänster: färdiga moduler från Swemodule. Längst till höger leverans av tejpade strängar vid ankomst hos Solar Finland. Nere till vänster, EL-foto av en av de tillverkade modulerna hos Solar Finland.

AP 6 – AP 9 Forskning på tejen och högeffektiva celler

Forskning på tejen och dess egenskaper har utförts på Karlstads universitet under styrning av professor Markus Rinio, The Faculty of Health, Science and Technology, Department of Engineering and Physics. Vi har valt att klippa professor Rinios sammanfattning från utlåtandet på originalspråket engelska nedan.

Objective: To compare the effect of soldering and taping the busbar ribbons on the performance of a mini module with a single silicon solar cell.

Experiment:

- Individual solar cells were laminated into mini modules using both taped and soldered busbar ribbons. The IV curves and the LBIC maps of the cells were measured before and after lamination.

Samples measured:

- JB1 – laminated with all busbars taped.
- JB8 – laminated with both soldered and taped busbars.
- JB2 – reference sample used to gauge repeatability of IV tester.

Results:

- The sample JB1 had around 1.1 % (absolute) less efficiency when measured at the end of the interconnected taped busbar ribbons after lamination compared to a

measurement directly on the solar cell before lamination. This is due to an increase of the series resistance with lower fill factor and a reduction of the short circuit current. The larger series resistance is likely due to the fact that the measurement was done at the end of the busbars after lamination compared to the measurement directly on the cell before lamination. The loss of the short circuit current can be due to reflection from the module glass and absorption in the EVA encapsulant.

- Comparing the taped and soldered contacts of sample JB8, the taped contacts have a slightly lower efficiency compared to soldered busbars (15.55 % vs 15.47 %) mainly driven by having lower fill factor and higher series resistance.
- The short circuit current measured from the taped and soldered busbars were comparable.
- LBIC mapping before and after lamination showed a lower EQE at 826 nm wavelength after lamination, consistent with the decrease in I_{sc} .
- The reflectance at 826 nm wavelength is larger after lamination by around 2.31 % absolute in regions not covered by tape and around 3.23 % absolute in regions covered by the tape.

Conclusion:

Based on the measurements conducted on the mini modules, the electrical performance is not significantly affected by using taped over soldered busbar ribbons.

- The observed efficiency degradation when using the taped contacts vs the soldered contacts (≈ 0.08 % abs) is much less than the decrease in efficiency due to lamination (≈ 1.1 % abs).
- The increased series resistance and lower fill factor of the taped contacts does not significantly affect the current collection as suggested by the comparable short circuit current.

The repeatability of the efficiency measurement was excellent, shown by the little deviation (0.08 %) of the efficiency measured on the reference cell at the times before and after lamination.

	EFF (%)		FF (%)		Isc (A)		Voc (V)		Rs (Ω)		Rsh (Ω)	
	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error
cell	17.672	0.016	79.74	0.07	8.616	0.003	0.6341	0.0002	0.0013	0.0003	1284.0	62.6
module	16.575	0.066	77.43	0.33	8.314	0.009	0.6346	0.0007	0.0023	0.0016	1106.5	93.9

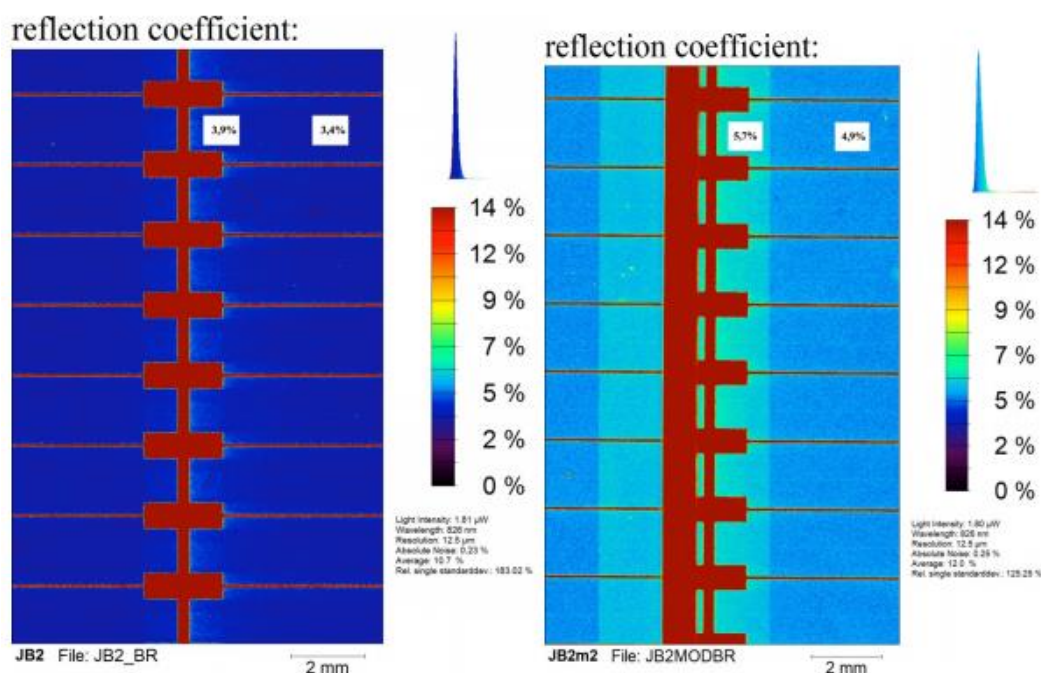
	EFF	FF	Isc	Voc	Rs	Rsh
cell	17.591	79.47	8.61	0.6337	0.0018	1268.7
cell	17.605	79.62	8.60	0.6338	0.0015	1940.2

- Sample JB1 was laminated with all busbars taped.
- IV measurements were taken before and after lamination.
- The values reflect the average and standard error of the mean of 5 measurements.

- Sample JB2 serves as an additional insight on the repeatability of the IV measurement system. The two measurements in the table were measured around the same time as JB1 (cell and module respectively) and kept in the dark between measurements.
- The combined effect of taping and laminating the cell into a mini module lowers the efficiency by around 1.1 % absolute.
- The lower efficiency is due to lower I_{sc} , R_s and FF.
- The decrease in I_{sc} is because of the combined effect of increased shading/reflection from the metal ribbons and glass as well as possible absorption in the encapsulant.
- The larger series resistance is likely due to the fact that the sample was contacted at the end of the busbars after lamination compared to the measurement directly on the cell before lamination.

JB8	EFF (%)		FF (%)		Isc (A)		Voc (V)		Rs (Ω)		Rsh (Ω)	
	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error	Ave	Std Error
cell	17.514	0.001	79.20	0.02	8.614	0.004	0.6328	0.0002	0.0016	0.0001	784.6	15.4
solder	16.517	0.008	77.35	0.08	8.300	0.008	0.6341	0.0002	0.0036	0.0007	896.9	64.5
module-solder	15.552	0.019	77.67	0.09	7.831	0.016	0.6302	0.0001	0.0034	0.0004	826.9	29.1
module-tape	15.472	0.013	76.82	0.18	7.849	0.005	0.6325	0.0007	0.0051	0.0004	987.7	127.8

- Sample JB8 was laminated with both soldered and taped busbar ribbons.
- IV measurements were conducted using either the soldered busbars (both front and back side) or the taped busbars (front is taped, back uses soldered contacts)
- The values reflect the average and standard error of the mean of 5 measurements.
- Taped contacts have a slightly lower efficiency compared to soldered busbars (15.55 % vs 15.47 %).
- The lower efficiency is mainly driven by a lower fill factor from the higher series resistance.
- This could indicate that the soldered ribbons have a little better contact on the cell compared to the taped ribbons.
- The soldered and taped contact ribbons gave comparable short circuit currents.
- This implies that the effect of increased series resistance for the taped contacts is not severe enough to cause problems in current collection.



Figur 12. visar den uppmätta reflektionen på cell 2 (vänster) och JBT2M (höger vid position B). Vid specifika positioner markerat med vitt visas reflektionen.

Resultat

Under projektet har vi sett att The Tape Solution™ går att automatisera med hög precision och hög produktionskapacitet och därmed är industriellt skalbar. Våra moduler, tillverkade med The Tape Solution™, uppnår samma prestanda som moduler tillverkade med den traditionella lödtekniken. Skillnaden är att våra moduler går att tillverka till lägre kostnad, med en tiondel så mycket bly samt vid lägre temperatur vilket möjliggör tillverkning av solcellsmoduler med högeffektiva solceller t.ex. HJT, tandem och Perovskitsolceller. De finns ett starkt intresse på marknaden för vår lösning för denna typ av solceller.

För att uppnå bra resultat på de färdiga modulerna krävs hög temperaturuniformitet och hög kontroll vid lamineringen av modulerna.

Diskussion

EU har höjt ambitionerna för att minska utsläppen av växthusgaser till 55% fram till 2030 för att göra Europa till den första klimatneutrala kontinenten 2050. För att uppnå detta krävs snabbare energieffektivitetsåtgärder, djupare elektrifiering av sektorer som för närvarande konsumerar konventionella bränslen och en snabbare omställning till förnyelsebar energiteknik.

I en studie från mars 2020 [1], utfärdad av Europakommissionens forskningscentrum, The Joint Research Centre (JRC), analyseras solcellernas roll utifrån scenarier från

kommissionens långsiktiga strategi för energi och klimat från 2018. Där föreslås en utökad solcellsindustri i Europa vilket möjliggör en utvecklingsstrategi för hela tillverkningskedjan.

Vår metod tangerar klimatförändringar och minskning av utsläpp av växthusgas genom ett renare alternativ till fossilbränslebaserad elproduktion. Utöver det kan solcellsmoduler tillverkade med The Tape Solution™ fungera som en bas för implementering av annan grön teknik så som batterier för energilagring, elektriska fordon och grön vätgas med potential att hantera klimatförändringar.

Mer specifikt kan The Tape Solution™ bidra till:

1. Ökade möjligheter att nå en giftfri miljö utan föroreningar genom minskning av bly i tillverkningsprocessen av solceller.

Kristallina kiselbaserade solcellsmoduler står för över 97% av solcellsmarknaden idag och en standardkiselmodul innehåller ca 12g bly, varav 85% ingår i lödtennet och 15% används i silverpasta som trycks på solcellens utsida. The Tape Solution™ eliminerar blyet i lödtennet helt och minskar dessutom användningen av silverpasta med ca 60 %, vilket minskar behovet av bly med totalt 90%.

År 2030 planerar vi att 75 miljoner solcellsmoduler har producerats med The Tape Solution™ vilket innebär att användningen av 825 ton bly undviks genom att dessa moduler inte tillverkas med traditionella lödning.

Redan idag förbjuder EU:s RoHS-direktiv bly i vissa applikationer. I nuläget är solcellsmoduler undantagna på grund av tekniska begränsningar. Detta undantag skulle kunna tas bort då tillverkning av solceller med The Tape Solution™ överensstämmer med strängare regler för bly.

2. En mobilisering inom solcellsindustrin för en ren och cirkulär ekonomi.

Solcellsindustrin står idag för 18,5% av världens efterfrågan av silver. Andra växande industrisektorer, exempelvis elektronik, digitalisering och rymdapplikationer, kommer att öka silverbehovet, och positionera silver som en strategisk råvara och utsätta tillverkarna för prisfluktuationer på medellång till lång sikt. År 2030 kommer 75 miljoner moduler att ha producerats med The Tape Solution™ vilket sparar 495 ton silver på bara 10 år.

3. Ren, prisvärd och säker energi.

Lean-kostnadsstrukturer är nyckeln till att få den europeiska solcellsindustrin att växa på ett hållbart sätt på den globala marknaden. Kostnaderna för solcellsmoduler tillverkade med The Tape Solution™ är ca 6% lägre än för traditionella moduler.

År 2030 uppskattar vi att en total solelskapacitet på 85 GW kommer att ha installerats med hjälp av moduler tillverkade med The Tape Solution™, och som en följd av den nya tillverkningsmetoden kommer 100 Mt CO₂-utsläpp ha undvikits [3].

Nästa steg är att vidareutveckla den i projektet framtagna R&D maskinen från TRL 6 till en fullt fungerande industriell maskin, TRL9 och därefter ska 3–5 av dessa maskiner installeras hos early adaptors. Nedan, i Figur 8 och 9, ses vår planerade roadmap för utvecklingen av den industriella maskinen samt den specifikation vi planerar för denna.

Kombinationen av en ökad användning av högeffektiva solcellstekniker som inte klarar de höga temperaturerna vid traditionell lödning men lämpar sig utmärkt för montage med The Tape Solution™, samt att vi nu närmar oss en industriell maskin som väl uppfyller krav på precision och snabbhet gör att intresset för The Tape Solution™ ökat rejält under projektets gång. Med flera intressenter i Europa med planer på europeiska projekt med tillverkning i GW storlekar ser vi en ljus framtid för The Tape solution™.



Production Equipment Roadmap

Capability	Version		
	Alfa	Beta	Gamma
Wafer rate max (wafer/sec)	0,5	1	(1,5)
Variable wafer rate	yes	yes	yes
Wafer rate min (wafer/sec)	0,1	0,1	0,1
Sync first tape and wafer	yes	yes	yes
Sync system	Yes	Yes	Yes
Total string length control	Yes	Yes	Yes
Curve control	No	yes	yes
Wafer size	M2	All?	All
Placing of crossbars	Yes	Yes?	Yes
Flux application	Yes	Yes	Yes
Lay up	Yes	Yes	Yes
Number of busbars	4 - 6	4 - 6	Versatile
Roll change system	Simple	Advanced	Perfect
Start up after roll change	Simple	Advanced	Perfect
Placing of by pas diodes	No	Yes?	Yes?
Cabinet	Yes	Yes	Yes
Environment control of partides.	Yes	Yes	Yes
Environment control of temperature	No	Yes	Yes
Labelling	No	No	Maybe
Quality control	Manual	Yes	Yes
Traceability system	No	Maybe	Yes
Multiwire system	No	No/yes	No/yes

Alpha: 1 Lines to be built now and used in Glava - Swemodule.
 Beta: 3-5 Lines for the first customers.
 Gamma: Serie product.

Figur 13. Planerad utveckling av Tejpmaskinen.



The Tape Solution Production Equipment 2200 cells/h (TTS PE 2200)

Technical specifications:

TTS PE 2200 and 150 MWp system (2 stringers TTS PE 2200 and Lay-up)

Soldering technology: No soldering, connection is done in lamination step. <160 °C

Cell technology, types: HJT, mono-/poly-crystalline, front & back side contacted, bi-facial, all commercially available types.

Cell alignment: Robot for busbar or edge positioning, optical alignment via camera option possible

Cell inspection: Option: vision system (camera), detection of cracks, broken edges and scratches: 0.4 x 0.4 mm, grid-completeness check

Lead-free (Pb) ribbons: yes

Number of interconnection ribbons: 4 - 5 - 6 (5 as standard)

Range of solar cells: 156 x 156 mm - 156.75 x 156.75 mm (6") as standard; half cells, changeover parts required; other cell sizes on request.

Cell thickness processing capability: 160 - 250 µm, 180 µm as standard.

Busbar spacing: 26 - 39 mm; 26, 31.2, 39 mm as standard, other dimensions require changeover parts.

Cell spacing (varies with cell size): 2.25 mm as standard M2 format.

Positioning accuracy, string on matrix: ± 1 mm as standard.

Max. length of strings: max. 2.000 mm, accuracy in length ± 1 mm.

Throughput

TTS PE 2200 (5 W per cell, 22.5 h, 300/325/350 days p.a.): max. 2.200 cycles/h, 65/70/75 MW

2 stringers + lay-up (5 W per cell, 22.5 h, 300/325/350 days p.a.): 4.400 cycles/h; 130/140/150 MW p.a.

Module size -

max. 2.000 x 1.000 mm;

min. 1.500 x 750 mm

Cycle time per module -

56.5 sec. (6 strings with 10 cells each)

66.7 sec. (6 strings with 12 cells each)

Flux application method for cells: cells fluxed with adjustable, metered micro spray; top and bottom side

Breakage rate

on cell thicknesses down to 180 µm < 0.5 % (varies according to cell quality)

Ribbon sizes: width ≥ 0.6 mm, different sizes may require changeover parts

Technical availability > 95 % (VDI 3423) Layup: > 98% (VDI 3423)

Noise level max. 69 dB

Dimensions 5.50 m x 1 m x 2.30 m and with Lay up: 9.1 m x 6.0 m x 3.0 m

Weight 1000 kg Layup: 3.000 kg

Electrical power requirement 10 kW Layup: 30 kW

Average power consumption (p. hour) 6 kWh Layup: 9 kWh

Compressed air requirement 600 kPa (6 bar)

Compressed air consumption (at 1 bar) 0.4 Nm³/min Layup: 0.25 Nm³/min

Changeover time from e.g. 4 to 5 bb, 5 to 6 bb approx. 2 - 3 hours per tape machine

Operator interface (HMI) color touch screen with English language

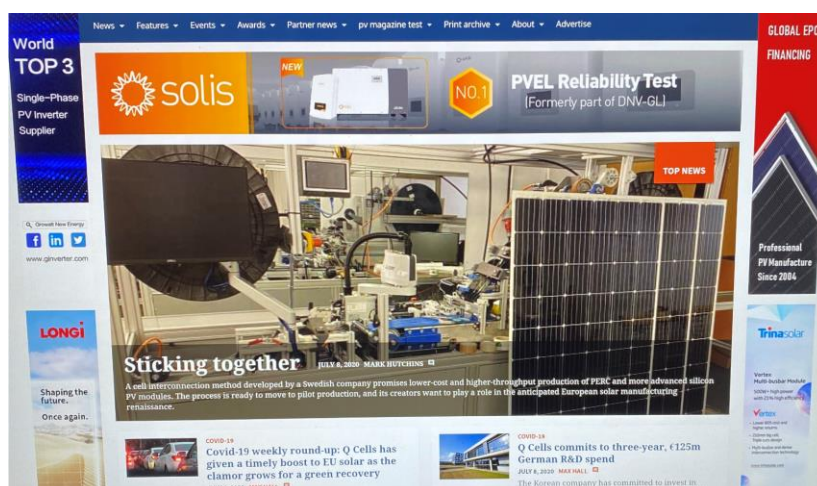
Unloading system (Layup) flipping unit automatic with 6-axis robot

Warranty 12 months

Figur 14. Specifikation på de maskiner vi planerar att leverera till kund.

Publikationslista

- Poster, 2017, EU PVSEC Amsterdam, “TAPE INTERCONNECTION FOR SILICON SOLAR CELLS WITH EXTENDED LONG-TERM STABILITY”
- Föredrag, 2019, EU PVSEC Marseille, “AUTOMATION OF SILICONE SOLAR MODULE PRODUCTION WITH LOW-COST TAPE INTERCONNECTION METHOD”
- Examensarbete, Alexander Potter, Karlstads universitet, ”Tape solution in photovoltaic mini modules”
- Vi fick även med en artikel i PV Magazine Sticking Together: <https://www.pv-magazine.com/2020/07/08/sticking-together/>



Referenser, källor

1. Jager-Waldau et al. How PV can contribute to GHG emission reductions of 55% in the EU by 2030. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
2. IEA Photovoltaic Power Systems Programme, 2019
3. Uträkningarna är baserade på de utsläpp som skulle ha genererats från produktionen av samma mängd energi med ett genomsnitt av alla världens länders energimix med avseende på utsläppen från solceller under dess livslängd.
4. Source IEA, 2020.
5. Meyer Burger - Effective Efficiency of Busbarless solar cells P. Papet1 , J. Levrat2 , N. Bassi3 , Y. Yao4 , A. Waltinger5 , V. Fakhfour3 , T. Soderstrom4 , B. Strahl1

Bilagor

Projektet har lett till att vi kunnat ingå samarbeten med strategiska partners och framtida kunder. Exempel på detta visas nedan:

Seal of Excellence Certificate delivered by the European Commission, as the institution managing Horizon 2020, The project proposal 968537, THE TAPE SOLUTION The novel solar cell interconnecting technology enabling next generation high efficiency photovoltaics submitted under the Horizon 2020's SME Instrument call H2020-EIC-SMEInst-2018-2020 of 7 October 2020 JB EcoTech AB following evaluation by an international panel of independent experts WAS SCORED AS A HIGH-QUALITY PROJECT PROPOSAL IN A HIGHLY COMPETITIVE EVALUATION PROCESS* This proposal is recommended for funding by other sources, since Horizon 2020 resources available for this specific Call were already allocated following a competitive ranking.

REC Solar (Norway) LOI Leading vertically integrated solar energy company. Through integrated manufacturing from silicon to wafers, cells, high quality panels and extending to solar solutions, REC provides the world with a reliable source of clean energy. REC employs more than 2,000 employees worldwide, producing 1.4 GW solar panels annually.

Lohmann (Germany) LOI Lohmann works on highly specialized and technologically advanced products for industrial segments, including the automotive, photovoltaic and medical ones, among others. Joint developer and supplier of the Tape used in The Tape Solution™. We have been collaborating with them for 5 years.

SVEA Renewable Solar AB (Sweden) LOI Svea Solar was founded in 2014, currently being one of the market leaders in roof top solar in Europe. Their main goal is to make renewable energy an easy and profitable choice and an investment that solves economical as well as environmental questions.

Voltec Solar (France) LOI Since 2010, VoltecC Solar, the largest French solar PV panels producer, offers a wide range of high efficiency PV panels, dual glass or glass/backsheets, mainly based on 120 or 144 mono PERC bifacial half-cells designs. Located at the French-German border near Strasbourg, Voltec Solar continuously optimizes its world-class Life Cycle Analysis (LCA) and Product Carbon Footprint (PCF) to support environmental challenges as well as the local European solar industry and to improve the complete supply chain. Voltec Solar is planning an ambitious investment (the Belenos project) to scale their production to GW levels in a merger with the French company Systovi. The Belenos project could be strategic for the future of Sticky Solar.

Heckert Solar (Germany) LOI Heckert Solar is focused on the sustainable production of solar modules. They were already certified according to ISO 14001: 2015 on the subject of environmental management in 2018. With a Heckert Solar 330 Wp module, approx. 155 kg CO₂ can be saved per year. They have expressed a strong interest in the development of The Tape Solution™ and are willing to examine the possibilities of a collaboration for pilot testing, should an external verification of positive test results be made available.

Solar Finland (Finland) LOI Solar Finland's scope of business extends from manufacturing solar panels to installing complete solar energy systems. They also design and build production lines for solar panel manufacturing and offer investment opportunities within the Finnish solar energy sector. They strive for more powerful and affordable solar and has shown interest in being an early adopter of The Tape Solution™ that suits well perovskite solar cell's highly efficient tandem solar cells.

Oxford PV (Germany; HQ: UK) LOI Pioneer and technology leader in the field of perovskite solar cells. The company was established in 2010, as a spin-out from the University of Oxford. Nowadays, has the largest team globally, exclusively focused on developing and commercializing a perovskite based solar technology and in 2019, full commercial manufacturing plans were announced. They are interested in the integration of The Tape Solution to the production of their technology perovskite on silicon tandem solar cells, aiming at enabling a superior module assembly approach.

Fraunhofer ISE (Germany) LOI Internationally recognized and globally renowned test institute able to conduct the required tests to prove that solar PV modules manufactured with our solution fulfill the requirements for a long lifetime. Sticky Solar Power AB has established a valuable and close cooperation with Fraunhofer ISE, including but not limited to the ambitious bus bar less solar cells with passivated contacts for next generation gen module integration project (Bussard project).

Pheenix Alpha (Sweden) LOI Joint developer and supplier of the tool - The Tape Solution Production Equipment. We have been working with Pheenix Alpha for the last 5 years.

EcoSolifer AG (Hungary; HQ: Switzerland) LOI Vertically integrated Swiss Company involved in PV power generation. The Corporation and its subsidiaries have the know-how and control the entire PV technology value chain with the ultimate goal of producing electricity via the lowest achievable cost structure. Manufacturer of heterojunction solar technology and highly interested in The Tape Solution.

Swemodule Renewable Sun Energy Sweden AB (Sweden) LOI Solar Modules produced at Swemodule by Renewable Sun Energy Sweden AB are designed for various markets and applications. High quality production, combined with strictest process control, ensure maximum lifespan and the highest performance. Ongoing discussion on rental of pilot line production capacity, access to testing and quality control equipment to allow for external verification of test results.

National Institute of Solar Energy (CEA-Ines) MTA Internationally recognized and globally renowned test institute able to conduct the required tests to prove that solar PV modules manufactured with our solution fulfill the requirements for a long lifetime. Sticky Solar Power AB has established a valuable and close cooperation with CEA-Ines.

EcoSolifer AG (Hungary; HQ: Switzerland) CIL We have entered a collaboration agreement with EcoSolifer for sample string test, a jointly specified pilot production and commissioning of beta testers.

Almi Invest Green Tech (Sweden) NBL Almi Företagspartner AB is owned by the Swedish state and is the parent company of a group consisting of 16 regional subsidiaries

and the Almi Invest AB subgroup. The regional subsidiaries, which provide loans and business development, are 51 percent owned by the parent company and 49 percent owned by regional owners. Almi Invest is wholly-owned by the parent company and conducts venture capital activities.

The Tape Solution™ - Production Equipment 2,200 cells /hour (TTS PE 2200).

Document of Technical Specifications and Production roadmap.

Tape solution in photovoltaic mini modules – Examensarbete – Alexander Potter – Karlstads universitet.