



Kostnadssänkning av solcellmoduler genom användning av polymermaterial

Elforsk rapport 10:106



Frank Fiedler, Shankar G. Sridhara

December 2010

ELFORSK

Kostnadssänkning av solcellmoduler genom användning av polymermaterial

Elforsk rapport 10:106

Förord

Projektet är ett samarbetsprojekt mellan SERC (Centrum för Solenergiforskning) vid Högskolan Dalarna och REC ScanModule AB i Glava. REC ScanModule tillverkar solcellsmoduler för nätanslutna solcellssystem.

Projektet har genomförts av Frank Fiedler vid Högskolan Dalarna som projektledare och Shankar Sridhara vid ScanModule AB i Glava. I arbetet har även David Hultman vid ScanModule deltagit.

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.

Sammanfattning

Tre polymermaterial har använts i projektet, PMMA (Polymethyl methacrylate) PC (Polycarbonate) och en Polyamid (Grillamid). Grillamid och PMMA har ungefär lika transmissionsgrader som solglas som används idag. PC har en lite sämre transmissionsgrad (-3%) men klarar jämfört med PMMA och Grillamid bättre de temperaturer som uppstår under en (vanlig) solcellslaminering. PC har använts i projektet för att tillverka ett solcellslaminat. P.g.a. problem med produktionsanläggningen hos ScanModule i Glava kunde inga vidare tester genomföras inom projektet.

Det återstår att studera fler lamineringsmetoder för att kunna laminera Grillamid och eventuellt PMMA som har bättre optiska egenskaper. PMMA har också visat väldigt bra långtidsbeständighet i ett annat projekt.

Dessutom återstår det att tillverka kompletta solcellmoduler, testa dem enligt IEC61215 och att undersöka vilka material som skulle vara lämpliga för tillverkning av ramar.

Summary

Three polymer materials have been used in the project, PMMA (Polymethyl methacrylate), PC (Polycarbonate) and a polyamide (Grillamid). Grillamid and PMMA have similar transmission rates as solar glass. PC has a slightly lower transmission rate (-3%) but can better handle temperatures that occur during a (regular) solar cell lamination compared to PMMA and Grillamid. PC has been used in the project to manufacture a solar cell laminate. Due to problems with the ScanModule production plant in Glava, no further tests have been carried out within the projects.

It remains to study lamination methods for laminating Grillamid and possibly PMMA which have better optical properties. PMMA has also shown very good long-term resistance in another project.

Moreover, it remains to manufacture complete solar modules, test them according to IEC61215 and to investigate what materials would be suitable for making frames.

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Problemställning och mål	2
3	Genomförande	3
4	Prototyputveckling	4
4.1	Urval material	4
4.2	Optiska mätningar	6
4.3	Uppvärmningstest	7
4.3.1	Test på SERC.....	7
4.3.2	Test på ScanModule.....	8
4.4	Lamineringstest	8
5	Diskussion	11
6	Sammanfattning	Fel! Bokmärket är inte definierat.
7	Referenser	12

1 Bakgrund

Projektet är ett samarbetsprojekt mellan SERC (Centrum för Solenergiforskning) vid Högskolan Dalarna och REC ScanModule AB i Glava. REC ScanModule tillverkar solcellsmoduler för nätanslutna solcellssystem.

Dagens forskningsansträngningar vid solcells företag och forskningsinstitut fokuserar mest på att öka verkningsgraden för solceller för att reducera deras kostnader per Watt peak. Kostnader för en solcellspanel består dock inte bara av kostnader för solceller. Cirka 15 % av kostnaden kommer från glas, ram och inkapsling. Dessutom står glaset för ca. 75% av solcellspanelens vikt. En 200W panel väger ca 22 kg. Den höga vikten orsakar kostnader för lagring, transport, installation och montering. En tydlig minskning av vikten skulle därför kunna minska kostnaderna och göra el från solcellspaneler mer konkurrenskraftig. Stigande priser för aluminium som används för ramkonstruktion och en förväntad brist på specialglas för solpaneler i framtiden är ytterligare argument för att undersöka möjligheter för alternativa material för glas och ram. Ett alternativ är användning av polymermaterial vilket redan används för termiska tillämpningar som plana solfångare. Företaget SolarNor i Norge har t.ex. sedan flera år en glasad solfångare på marknaden som består till 100% av polymermaterial. Materialet har utvecklats tillsammans med General Electric Plastics i Tyskland. Krav på material i solfångare är samma som för solpaneler vad gäller temperaturvaraktighet, långtids optisk beständighet och mekanisk stabilitet. Långtidsmätningar hos SPF (Institut für Solartechnik) i Schweiz har visat att en del polymermaterial för glas försämras t.o.m. mindre än glas under 20 år [1]. Inom IEA Task 39 "Polymeric Materials for Solar Thermal Applications" [2] arbetar forskare i Europa också med material för solcellspaneler. Intressanta resultat har presenterats på konferensen "2. Leobener Symposium Polymeric Solar Materials" 2008 i Österrike [3].

2 Problemställning och mål

Utan ekonomiskt stöd är el från solceller i dagsläget för de flesta användningar inte konkurrenskraftig. Stigande elpriser förbättrar ekonomin för solel men ytterligare kostnadssänkningar är nödvändigt. Solpaneltillverkare arbetar på kostnadssänkningar speciellt genom att förbättra verkningsgraden. Ett annat sätt att minska kostnader för solel är att minska kostnader för tillverkning, transport och installation av solcellspaneler. I projektet ska undersökas alternativa och eventuellt billigare material för solpanelglas och ram. Projektet ska bidra till att höja konkurrenskraften i svensk solcellsindustri.

Projektet syftar till att utveckla prototyper av solcellspaneler som använder polymermaterial för glas och ram. Solcellspaneler ska ha samma optiska, elektriska och mekaniska prestanda som ScanModules serieprodukter och uppfylla krav enligt IEC 61215 [4].

3 Genomförande

Projektet har planerats med genomförande i flera steg:

1. Insamling av information från andra genomförda forskningsprojekt och identifiera tillverkare och lämpliga produkter för utvecklingsarbetet (SERC).
2. Optiska mätningar på de utvalda materialen (SERC).
3. Uppvärmningstest på de utvalda materialen (SERC/ScanModule) .
4. Laminering of testpaneler/celler (ScanModule).
5. Test av prototyper enligt IEC 61215 (ScanModule).

På grund av resursproblem på ScanModule i Glava har bara några enstaka testceller tillverkats. Inga åldringstester för att undersöka långtidsstabilitet av de använda polymermaterialen har genomförts. Med de uppnådda resultaten var det inte heller möjligt att göra en ekonomisk evaluering.

4 Prototyputveckling

Steg 1 i utvecklingsprocessen var att välja ut lämpliga polymermaterial som kan ersätta glaset på solcellspaneler. Fokus har lagts på material med låg vikt, goda optiska egenskaper och hög långtidsstabilitet. Mekaniska egenskaper har inte beaktats i det första urvalet.

En långtidsstudie har genomförts under 20 år på SPF i Schweiz. Totalt 58 transparenta material har utsatts för utomhusförhållande på två olika ställen i Schweiz. Resultaten efter 20 års exponering visade att några polymermaterial hade ungefär lika eller mindre minskning av transmissionen än lågjärnglas som används för solfångare och solcellsmoduler. Minskningen av transmissionen har sin orsak i nedsmutsning och nedbrytning. Effekten från nedsmutsningen kan reduceras genom rengöring av glaset men i mellan- och nordeuropa är rengöring av solceller eller solfångare ovanlig. Tabell 1 visar en sammanfattning av testresultat från Schweiz. Rapperswil ligger nära Zürich och representerar stadsmiljö. Davos ligger i Alperna och representerar en ren miljö i fjällen med hög UV-instrålning.

Tabell 1. Jämförelse av transmissionsförluster efter 20 års exponering [1].

Material	#	Davos; losses in % (rel.)			Rapperswil; losses in % (rel.)		
		Total	After cleaning	Gain from cleaning in % (rel.)	Total	After cleaning	Gain from cleaning
Low Fe glass	8	-0.2–4.5	-0.6–2.9	0.7–2.1	6.3–17.3	0.1–8.8	4.8–8.3
Float glass	8	0.7–2.7	0.0–2.0	0.0–1.1	7.7–12.1	0.7–6.7	4.2–10.3
PMMA plate	6	-0.2–1.4	-1.2–0.5	0.7–1.2	7.3–8.6	0.6–1.7	7.0–8.3
PC plate	5	3.3–7.7	0.7–10.5	-2.8–2.3	6.7–15.0	2.5–9.8	4.2–8.0
ETFE	3	15.7–18.7	14.1–18.3	-2.5–4.5	13.7–24.8	-0.3–12.9	3.3–14.1
FEP	2	9.0	0.0	9.0	9.2–15.3	-0.2–0.0	9.2–15.1
PVF	1	-1.0	-2.6	1.6	12.9	-2.0	15.0
UP	3	26.8–41.7	-	-	36.7–43.2	-	-
PET, PVC and PC films	6	destroyed	destroyed	destroyed	destroyed	destroyed	destroyed

Resultaten visar att PMMA och PC har liknande eller mindre transmissionsförluster än lågjärnglas [1]. Detaljerade resultat av denna studie finns i slutrapporten av SPF (på tyska) [5].

4.1 Urval av material

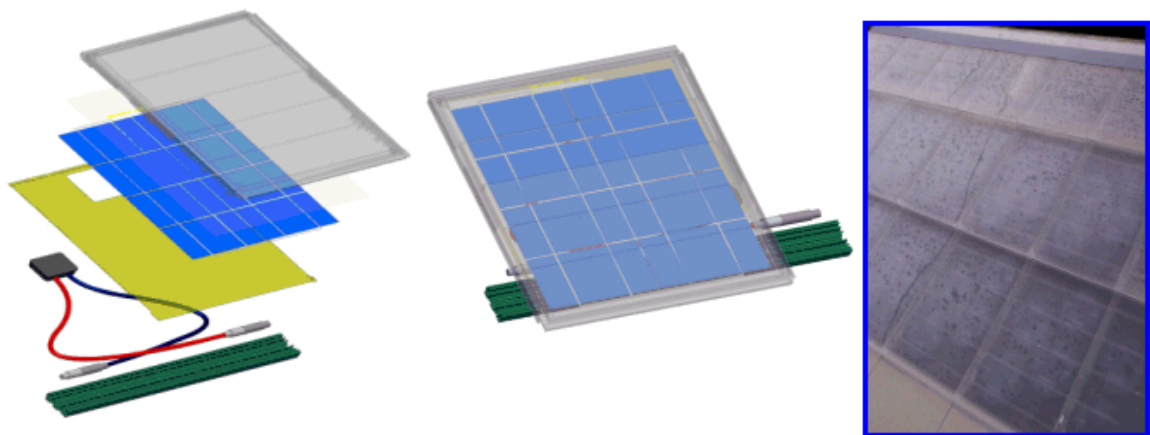
SPF studie har använts som bas för urval av polymermaterial för testning och prototyputveckling. PMMA (Polymethyl methacrylate) och PC (Polycarbonate) visade sig mycket lämpligt med hänsyn till transmissionsförhållanden. Materialen produceras av olika tillverkare och säljs för många ändamål med olika produktnamn. Som referens har tester även gjorts på det material som används idag på ScanModule, ett 4 mm lågjärnglas med

antirefleksionsbehandlad yta. Det tredje polymermaterial som ingår i projektet är Polyamid som tillverkas av EMS Chemie AG i Schweiz. Materialet med produktnamn Grilamid har tagits fram för hårda miljöförhållanden och har redan använts för tillverkning av solcellspaneler i ett tidigare projekt. Tabell 2 visar en sammanställning av alla material som har valts ut för optiska mätningar.

Tabell 2. Valda material för projektet.

Materialtyp	Produktnamn	Tjocklek	Struktur
Glas	Sunarc	4 mm	solid
PMMA	Repsol	4 mm	solid
PMMA	Plexiglas	4 mm	solid
PC	Lexan	4 mm	twin vägg
PC	Makrolon	4 mm	solid
Polyamide	Grilamid TR 90 UV	4 mm	solid
Polyamide	Grilamid TR 90 nature	4 mm	solid

Enligt EMS Chemie har Grilamid använts för ett solcellprojekt i Kanada. På en yta av 225m² har 20kW solceller som använder Grilamid som glas och som har utformats som taktegel installerats (Figur 1) [6].



Figur 1. Användning av Grilamid för solcellstegel i ett projekt i Kanada [6].

De viktigaste egenskaper som bestämmer om materialet är lämpligt för solcellsmoduler inom målet för projektet är vikten och temperaturen som materialet måste tåla under tillverkningsprocessen.

Tabell 3 visar densitet och glasomvandlingstemperatur för valda materialtyper. Glasomvandlingstemperatur (T_g) är den temperatur då materialet börjar mjukna.

Tabell 3. Egenskaper för Polymermaterial.

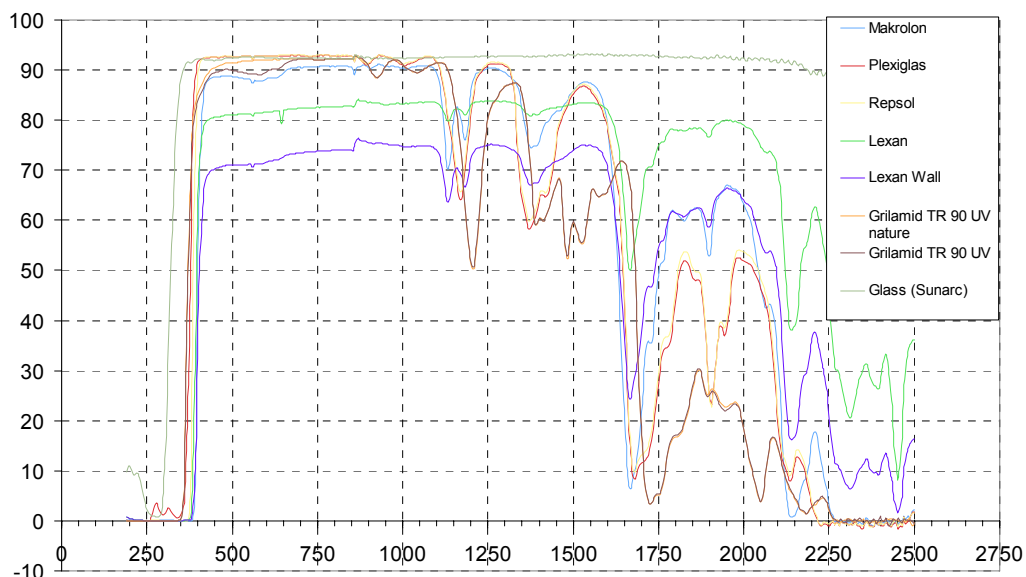
Egenskap	PMMA - Polymethyl methacrylate	PC - Polycarbonate	Polyamide - Grilamid TR 90 UV
Densitet	1.19 g/cm ³	1.2-1.22 g/cm ³	1 g/cm ³
Glasomvandlingstemperatur (T_g)	110°C	150°C	155°C

I tillverkningsprocessen lamineras solcellerna med hjälp av en folie mellan glaset och en plastskiva på baksidan. Lamineringstemperaturen är ca. 150°C. Det betyder att PMMA troligen blir för mjuk. Vi har ändå materialet inkluderat i studierna för att kunna undersöka vilka problem som uppstår med en mjukning av materialet.

4.2 Optiska mätningar

Polymermaterialen ska heller inte försämra verkningsgraden för solcellerna. Det betyder att transmissionsgraden ska vara lika som glaset som används idag. På SERC genomfördes optiska mätningar med en spektrofotometer från Optronic Lab i Florida för att bestämma transmissionsgraden för våglängder mellan 350nm och 2500nm. I mätningen ingick alla material från tabell 2.

Resultatet av mätningarna visar att det finns två typer av polymermaterial som uppnår nästan samma optiska egenskaper som solglas för det spektrum som används av solceller, PMMA (Polymethyl methacrylate) och Polyamide (Figur 2).

**Figur 2. Spektrala transmissionsvärden för alla testade material.**

Tabell 4 visar totala, viktade transmissionsgrader för solinstålningspektrum och för spektrum med våglängder som absorberas av kristallina kiselceller (300-1200nm). De sista är värden som är viktiga inom projektet. Man kan se att PMMA har ungefär samma transmissionsgrad som glas för solcellsanvändningsområdet. Grilamid och PC (Makralon) har lite sämre transmissionsgrader men är fortfarande ganska bra. Twin-väggsivor har för höga transmissionsförluster och är inte lämpliga för användning med solceller.

Tabell 4. Transmissionsgrader för solinstrålning och för solcellsspektrum (kristallina kiselceller)

	Makrolon (PC)	Lexan (PC)	Lexan Wall (PC)	Plexiglas (PMMA)	Repsol (PMMA)	Grilamid TR 90 UV nature (Polyamid)	Grilamid TR 90 UV (Polyamid)	Glas (Sunarc)
Transmissions- grad	0.852	0.815	0.713	0.877	0.88	0.824	0.818	0.924
Transmissions- grad för solcells- spektrum (kristallina kiselceller)	0.896	0.821	0.728	0.925	0.926	0.917	0.909	0.923
Avvikelse jämförd med glas (Sunarc)	-3.0%	-11.1%	-21.1%	0.2%	0.3%	-0.7%	-1.5%	-

4.3 Uppvärmningstest

4.3.1 Test på SERC

Uppvärmningstester har genomförts i en programmerbar ugn för att simulera temperaturförloppet i lamineringsprocessen.

Temperaturprov kommer att avgöra vilka material som slutligen ska användas för att tillverka prototyper av solcellsmoduler.

I första steget har prov av 5 cm² storlek utsatts för 155°C i 18 minuter och 45 sekunder. Storleken har mätts innan och efter uppvärmning. Andra steget var att värma prov till 155°C i 14 minuter och 15 sekunder och samtidigt utsätta det för en tryckbelastning av 1 atm genom en vikt. Mellan vikten och polymerproverna har en teflonfolie placerats på samma sätt som i laminatorn. Syftet var att undersöka om proverna kommer att fastna på folien.

Testproceduren liknar förhållandena under lamineringsprocessen för ScanModules solcellspaneler.

Testade material: PMMA (Plexiglas, Repsol), PC (Macrolon), Polyamide (Grilamid TR 90 UV, Grilamid TR 90 UV nature)

Resultatet blev att alla prov hade mindre deformeringar som inte ansågs påverka tillverkningsprocessen. Folien fastnade inte på proverna.

Efter uppvärmningstesten har vi skickat flera prov av varje material till ScanModule.

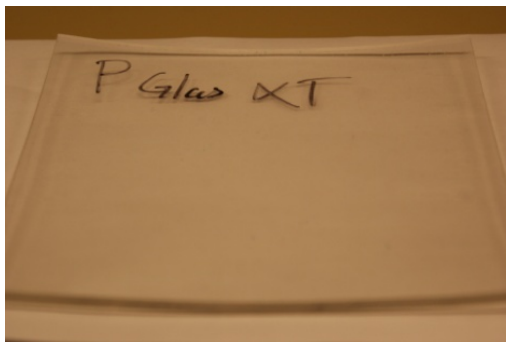
4.3.2 Test på ScanModule

ScanModule genomförde en upprepning av uppvärmningstesten för att säkerställa att utrustningen inte skadats under lamineringsprocessen.

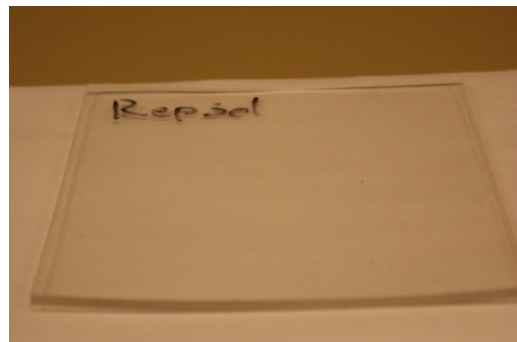
Testprocedur: Uppvärmning till 140C i 15 min i en ugn (Nuve FN500), två Aluminiumplattor, två teflonfolier

Resultat från visuell granskning (Figur 3):

- Plexiglas XT och Repsol; blev något böjda.
- Grilamid; märke från Teflonfolie.
- Makrolon; inga förändringar.



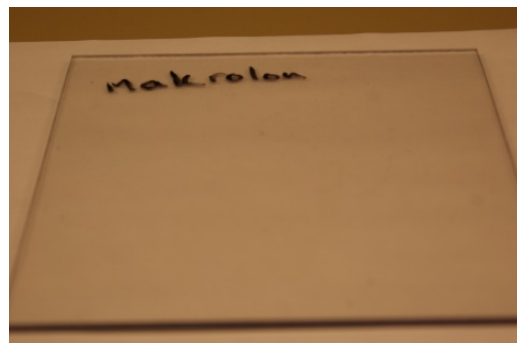
Plexiglas XT



Repsol



Grilamid



Makrolon

Figur 3. Proverna efter uppvärmningstest på ScanModule.

4.4 Lamineringstest

Under våren 2010 har ScanModule genomfört flera lamineringstest för Makrolon. Företaget har bestämt sig för att i fortsättningen bara använda Makrolon eftersom materialet inte visade några förändringar efter uppvärmningstesten.

Den **första lamineringstestserien** har genomförts med en liknande lamineringsmetod som använts för solcellspaneler med glasskiva. I andra testserien har lamineringsreceptet ändrats och en "peelingtest" har genomförts. För de laminerade proven har även I-U mätningar genomförts före och efter lamineringen.

Tre prov har använts med följande sammansättning:

- Makrolon
- EVA (RC02B)
- Polyester Backsheet (PYE)
- ScanCell 14.8% cells
- Tin-coated Copper ribbon

Lamineringsförhållande: 159 °C, 14.2 minuter

Resultat

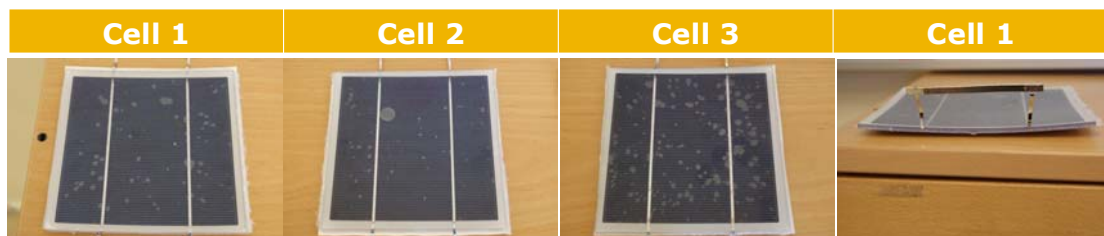
Det var möjligt att laminera Makrolon med samma processförhållanden som används idag i ScanModules produktionsanläggning men materialet deformades och luftbubblor bildades (Figur 4). Det är nödvändigt att vidareutveckla processen och anpassa den till materialet.

Celleffekten ökade som förväntat. Laminering minskar reflektioner från solcellsytan (Tabell 5).

Tabell 5. Resultat IV mätningar lamineringstest 1.

Cell	Celleffekt innan (W)	Celleffekt efter (W)	Ökning (W)	Ökning (%)
1	3,3	3,5	0,2	6
2	3,23	3,43	0,2	6,2
3	3,28	3,4	0,12	3,7

○



Figur 4. Laminierade testceller.

Den **andra lameringstestserien** har genomförts med samma materialanordning som den första men utan solceller. Igen, Makrolon var det enda substratmaterial som har använts för lamineringen. Dessutom har vidhäftning av laminaten testats med en "peel test".

Lamineringen genomfördes med två olika lamineringsförhållanden;

1. 141° C, 19 minuter
2. 160° C, 19 minuter
 - Prov från första testet visade många luftbubblor mellan folien och glaset men inga deformationer.
 - Prov från andra testet visade inga luftbubblor men små deformationer på ränderna av glaset.



Figur 5. Makrolonprov från första lamineringstesten i andra testserien. Många luftbubblor har utvecklats.

Peel test

Vidhäftning av lamineringsprov har testats med en "peel tester" (Lloyd instruments LRX) med en 2.5 kN lastcell. Dragprov utfördes på prover av baksida och EVA med en bredd av 10 mm. Resultaten visar att vidhäftning för Makrolon är bara en tredjedel av vidhäftning på glas (Tabell 6).

Tabell 6. Resultat peel test.

<i>Test</i>	<i>Material</i>	<i>Medelkraft nödvändig för att separera EVA och glas</i>
1	Makrolon	36.618 N
2	Makrolon	30.114 N
3	Makrolon	35.272 N
4	Glas (Solite, 3.2mm)	98.803 N
5	Glas (Solite, 3.2mm)	102.72 N
6	Glas (Solite, 3.2mm)	101.02 N

5 Diskussion

Urvalet av de testade materialen har baserats på en långtidsstudie av SPF i Schweiz. Två material (PC och PMMA) visade lämpliga långtidsprestanda och har valts ut för projektet. Dessutom har ett till material identifierats med bra optiska och termiska egenskaper (Grilamid). Det är möjligt att det finns ytterligare lämpliga material som ännu inte finns som kommersiella produkter och som utvecklats t.ex. inom IEA SHC task 39 "Polymeric Materials for Solar Thermal Applications" där vårt projekt tyvärr inte kunde medverka.

De optiska mätningarna visar att PMMA och Grilamid har liknande transmissionsgrader i solcellsspektrum som glaset som används idag. PC har en 3% lägre transmissionsgrad än glas.

Uppvärmningstesterna för polymerer var en större utmaning. Lamineringstemperaturen ligger för alla tre material över eller nära glasomvandlingstemperaturen. De test som genomfördes visade ändå att bara minimala deformationer har uppstått, och att de var minst för Makrolon (PC). Därför bestämde sig ScanModule att enbart fortsätta med Makrolon för de kvarvarande lamineringstesten.

Lamineringstesterna visade att det är möjligt att producera en testcell med Makrolon som lamineringssubstrat. Pga av olika resursproblem på ScanModule har inga fler test genomförts.

En högvärdig laminering av solceller kräver en hel del tester för att identifiera optimala temperatur- och tidsparametrar. Tyvärr var det inte möjligt att arbeta med den frågan utöver det som presenterats i den här rapporten. Det är mycket möjligt att den finns parametrar som även fungerar för PMMA och Grilamid.

6 Referenser

- [1] Ruesch F., Brunold S., Ageing Performance of Collector Glazing Materials – Results from 20 Years of Outdoor Weathering. SPF Switzerland, presented at Eurosun 2008 Lisbon, Portugal.
- [2] International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, Task 39 Polymeric Materials for Solar Thermal Applications. <http://www.iea-shc.org/task39/index.html>
- [3] Polymeric Solar Materials 2008, 2nd Symposium Polymer Solar Materials. Leoben, Austria, 7-8 February 2008.
http://www.pccl.at/seite.php?name=psm08_prog
- [4] IEC61215, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval. International Electrotechnical Commission. 2005.
- [5] Ruesch F., Brunold S., Langzeitalterungsuntersuchung and Abdeckungsmaterialien für thermische Sonnenkollektoren – Ergebnisse einer 20 jährigen Freibewitterungsstudie. Schlussbericht, Institut für Solartechnik SPF, 2008
- [6] Email Christian Rytka, EMS Chemie AG, 2009-03-26

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