

Light Weight Rooftop BIPV

LiRoB eindrapportage



Projectgegevens

Projectnummer: TKIZ01006
Projecttitel: Light Weight Rooftop BIPV – LiRoB
Penvoerder: TULIPPS Solar BV
Projectpartners: Solar Energy Application Center – SEAC
DSM Advanced Surfaces BV
Yparex BV
Kiwa Nederland BV
SolNed BV
The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research – TNO
Energieonderzoek Centrum Nederland – ECN
Sabic Petrochemicals BV
SCX Solar BV
Resin Products & Technology BV
Projectperiode: 17 juli 2012 t/m 31 december 2015

Contactgegevens

Deze rapportage is opgesteld door Chematronics. Chematronics is projectleider van het LiRoB project. Voor vragen inzake het project, de resultaten en vervolgmogelijkheden kunt u contact opnemen met:

Chematronics BV	TULIPPS Solar BV
Rutger Stultiëns	Paul Stassen
+31 6 145 313 88	+31 6 462 304 52
r.stultiens@chematronics.nl	stassen@tulipps.com

Subsidie

Het LiRoB project is deels uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, voor het TKI Solar Energy, uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Samenvatting

Het LiRoB project is gericht op onderzoek naar en de ontwikkeling van een innovatief gebouwgeïntegreerd zonnepaneelsysteem (Building Integrated PV - BIPV). De achterliggende technologie betreft de COSMOS technologie zoals ontwikkeld door TULiPPS Solar. Het COSMOS systeem is een kunststof bevestigingssysteem dat aan de achterzijde van zonnepanelen wordt bevestigd en daarmee een eenvoudige blinde bevestiging van frameloze zonnepanelen mogelijk maakt. In het LiRoB project is het volledige BIPV systeem met succes 'from scratch' ontwikkeld. De benadering van het zonnepaneel als bouwproduct is een dusdanig andere benadering van de traditioneel bekende zonnepanelen dat onderzoek en ontwikkeling naar een groot aantal facetten noodzakelijk is. Resultaten betreffen onder andere:

- Ontwerp, prototypeproductie en kwalificatie van het COSMOS BIPV systeem;
- Ontwikkeling en ontwerp van kunststof componenten, materialen en vlamvertragers;
- Ontwikkeling van bevestigingsgoten, passtukken en randafwerking;
- Ontwerp van H-patroon en achterzijdecontact PV laminaten die in diverse afmetingen kunnen worden toegepast in het COSMOS BIPV systeem;
- Ontwikkeling van een innovatieve junction box voor BIPV toepassingen;
- Ontwikkeling van een polyolefinen encapsulant met superieure eigenschappen t.o.v. EVA;
- Ontwikkeling van antireflectie coatings voor opbrengstverhoging;
- Ontwikkeling van glasstructuren voor opbrengstverhoging;
- Ontwikkeling van ondersteunende productietechnologie voor prototypeproductie;
- Kwalificatie en analyse van de diverse innovaties door intensieve testtrajecten bij KIWA/BDA en de kennisinstellingen ECN, TNO en SEAC.

Het LiRoB project is erin geslaagd om alle vereiste doelstellingen te behalen. Daarnaast is het systeem toepasbaar op façades, wordt het uitgevoerd met hoog efficiënte laminaten, is toepassing van diverse kleuren gedemonstreerd en is (vrijwel) complete flexibiliteit qua maatvoering constructief mogelijk. De resultaten krijgen grotendeels een vervolg in vervolgprojecten en/of commercialisatie van componenten, materialen en het COSMOS BIPV systeem als geheel. Ondanks de hoge ambities en daarmee gepaard gaande uitdagingen kijken de projectpartners terug op een succesvolle samenwerking met uitstekende resultaten. Het project heeft de kennispositie van de betrokken bedrijven en kennisinstellingen op het gebied van BIPV en bijbehorende materiaalontwikkelingen versterkt en kent een directe spin-off in vervolgactiviteiten die binnen afzienbare termijn tot commercialisatie van de projectresultaten zullen leiden. De projectresultaten dragen direct bij aan de mogelijkheden om op een economisch en esthetisch verantwoorde wijze de Nederlandse bebouwde omgeving verder te verduurzamen.

Openbaar eindrapport

Deze rapportage betreft de openbare eindrapportage van het subsidieproject Light Weight Rooftop BIPV (hierna te noemen LiRoB) zoals uitgevoerd in het kader van de TKI regeling uit 2012. In onderstaande rapportage wordt ingegaan op de inhoudelijke doelstellingen en eindresultaten.

Inleiding

Het LiRoB project is in 2012 opgezet als een van de eerste TKI projecten binnen het nieuwe topsectorenbeleid. Het project is gericht op onderzoek naar en de ontwikkeling van een innovatief gebouwgeïntegreerd zonnepaneelsysteem (Building Integrated PV - BIPV). De achterliggende technologie betreft de COSMOS technologie zoals ontwikkeld door TULiPPS Solar. TULiPPS heeft in 2012 de Dutch Solar Award voor Best Industrial Development gewonnen met deze technologie. Het COSMOS systeem is een kunststof bevestigingssysteem dat aan de achterzijde van zonnepanelen wordt bevestigd en daarmee een eenvoudige blinde bevestiging van frameloze zonnepanelen mogelijk maakt. Door middel van dit systeem wordt een glazen dak gecreëerd waarin zonnepanelen op esthetisch fraaie wijze zijn geïntegreerd. Het systeem combineert de toepassing van hoog rendement zonnepanelen gebaseerd op achterzijdecontacttechnologie met een eenvoudig montagesysteem, flexibele maatvoering, lage systeemkosten en laag gewicht.

In het LiRoB project is het volledige BIPV systeem met succes 'from scratch' ontwikkeld. De benadering van het zonnepaneel als bouwproduct is een dusdanig andere benadering van de traditioneel bekende zonnepanelen dat onderzoek en ontwikkeling naar een groot aantal facetten noodzakelijk is. De diverse materiaal-, component- en systeemontwikkelingen en bereikte resultaten worden in de onderstaande rapportage verder omschreven.

Doelstelling

De bebouwde omgeving moet verduurzamen. Europese en Nederlandse regelgeving dwingt de bouwindustrie om steeds energiezuinigere gebouwen op te leveren. Om de energiedoelstellingen te halen is tevens energieopwekking geïntegreerd in het gebouw noodzakelijk. De toepassing van zonnepanelen biedt hiervoor een belangrijke en kosteneffectieve oplossing. Een groot nadeel is echter dat zonnepanelen vooralsnog met name als add-on product (Building Applied PV – BAPV) worden toegepast. Van functionele en esthetische integratie is nog zelden sprake.



Figuur 1 Voorbeeld van BAPV systemen

BIPV producten kennen enkele belangrijke uitdagingen die in LiRoB zijn geadresseerd:

- Onbekendheid / beperkte toepasbaarheid van codes en standaarden. Regelgeving vanuit de PV industrie is niet gericht op bouwtechnische kwaliteit. Bij de opstart van het project waren bouwnormen en de toepassing daarvan nog onbekend met BIPV producten.
- De kostprijs van een BIPV installatie ligt veelal hoger dan die van een BAPV installatie. BIPV producten integreren functies en kunnen daardoor ook andere producten, zoals dakpannen, uitsparen. Het werken met esthetisch aantrekkelijke materialen / zonnepanelen is kostenverhogend. BIPV producten worden nog in kleine oplages geproduceerd waardoor schaalvoordelen ontbreken. Doorgaans kost installatie van BIPV producten meer tijd en zijn BIPV producten qua montage complexer dan BAPV oplossingen.
- Het rendement van BIPV producten (opgewekte kWh per geïnstalleerde Wp) is vaak lager dan dat van BAPV producten.

In LiRoB zijn deze uitdagingen opgepakt en is een nieuwe generatie BIPV systeem ontwikkeld dat deze uitdagingen het hoofd biedt. Doelstelling van het project was het creëren van een productplatform waarmee aan de behoeften van de bouwindustrie met betrekking tot BIPV producten kon worden voldaan. Als eerste product binnen dit platform is een BIPV daksysteem ontwikkeld. De doelstellingen met betrekking tot het product worden in onderstaande tabel samengevat.

ONDERWERP	VEREISTE	WENS
DOELMARKT	Schuine daken	Ook toepasbaar op façades
BOUWREGELGEVING	Voldoen aan huidige en toekomstige Nederlandse en EU regelgeving	Inclusief Noord-Amerika
LAMINAATONTWERP	Dun glas (2mm) i.c.m. backsheet PV laminaat op basis van H-patroon kristallijn silicium cellen	Hoog efficiënt laminaat op basis van achterzijdecontact cellen
LAAG GEWICHT	<10kg/m ²	
INSTALLATIE	Snel en eenvoudig montagesysteem + eenvoudige vervangbaarheid	
ESTHETIEK	Frameloos, volledig dakvullend, voorkeur voor volledig zwart product	Diverse kleuren beschikbaar
SYSTEEMPRIJS PER Wp	Concurrerend met BAPV systemen	Goedkoper dan BAPV systemen
LEVENSDUUR	25 jaar	50 jaar
GEBOUWSCHIL	Wind en waterdichtheid	Aanvullende functionaliteiten zoals isolatie
FUNCTIONALITEIT		
FLEXIBILITEIT IN AFMETINGEN	Enkele diverse paneelmaten beschikbaar	Complete flexibiliteit qua maatvoering

Figuur 2 Oorspronkelijke doelstellingen LiRoB

Werkwijze

Het project kende een vijftal werkpakketten:

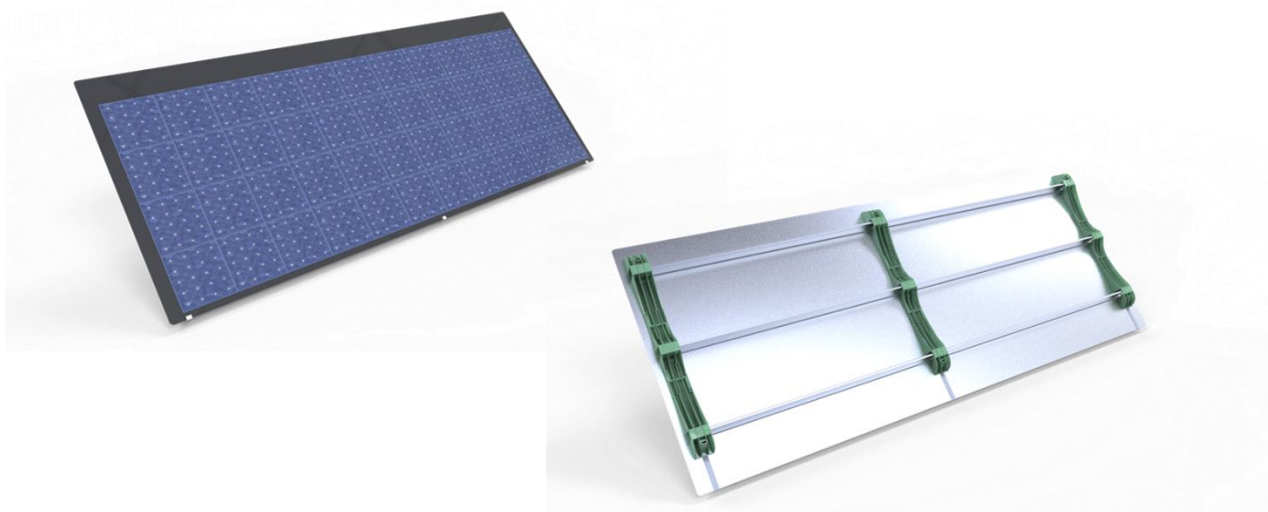
- WP1 – Project- en productmanagement. In dit werkpakket heeft de productdefinitie en conceptontwikkeling plaatsgevonden en is onderzoek gedaan naar marktbehoeftes, concurrerende technologieën (een overzicht van andere BIPV producten) en de product businesscase (inclusief milieuprestatieanalyse). Tevens zijn de technologische ontwikkeling en marktontwikkeling geëvalueerd door een Review Board met daarin vertegenwoordigers van de bouwindustrie en zijn de projectresultaten extern gecommuniceerd. Tot slot hebben de penvoerders en projectmanagementactiviteiten vanuit dit werkpakket plaatsgevonden.
- WP2 – Advanced materials. In dit werkpakket hebben diverse materiaalontwikkelingen plaatsgevonden om tot een kwalitatief hoogwaardig product te komen. Ontwikkeling betroffen een nieuwe encapsulant ter vervanging van EVA (vanwege levensduur), een nieuw type junction box speciaal gericht op BIPV toepassing, de ontwikkeling van de kunststof materialen inclusief vlamvertrager en matrijsontwerp voor de achterzijdeconstructie en onderzoek naar de toepassing van gestructureerd glas en/of coatings om de opbrengst van zonnepanelen te verhogen.
- WP3 – Product prototype. In dit werkpakket zijn de specifieke PV laminaten ontwikkeld (zowel H-patroon als achterzijdecontact), is onderzoek gedaan naar gebouwinegratie, lettend op mechanische sterkte en bouwfysica, en is het systeemontwerp ontwikkeld (BOS componenten, montagesysteem/dakinterface, randafwerking van daken).
- WP4 – Productietechnologie. In dit werkpakket heeft de productie van de PV laminaten en de (materialen voor de) achterzijdeconstructie plaatsgevonden. Productie van PV laminaten heeft plaatsgevonden bij Soltech (H-patroon) en Eurotron (achterzijdecontact). Diverse varianten vlamvertragers en compounds voor de kunststof onderdelen zijn geproduceerd door Resin en Sabic en in samenwerking met Fraunhofer zijn de materialen toegepast in een spuitgietproces met de prototype matrijzen om de achterzijde onderdelen voor de prototypes te vervaardigen.
- WP5 – Product qualification. In dit werkpakket hebben diverse testen plaatsgevonden met het prototype product. Op de SEAC testsite is een compleet daksysteem opgebouwd en uitvoerig getest. De monitoringsgegevens zijn geanalyseerd en laten de grote potentie van de ontwikkelde technologie zien. Tevens heeft KIWA in samenwerking met BDA pre-certificeringstesten uitgevoerd m.b.t. PV technische en bouwfysische eigenschappen.

Resultaten

In het project is een groot aantal resultaten bereikt. Onderstaand worden enkele belangrijke resultaten toegelicht.

Het COSMOS BIPV systeem

Het COSMOS systeem van TULiPPS heeft centraal gestaan in de ontwikkelingen in LiRoB. Dit systeem is een 'Glass building skin and BIPV solution'. De gedachte achter het systeem is dat met eenzelfde montagesysteem een volledig dak (of gevel) voorzien kan worden van een glazen schil. Deze schil bevat bouwfysische eigenschappen (wind- en waterdichtheid i.c.m. de onderconstructie), is esthetisch aantrekkelijk, en kan worden uitgevoerd met zonnepanelen. De bevestigingsconstructie is verplaatst naar de achterzijde en wordt verlijmd op het paneel. Door gebruik te maken van kunststof onderdelen gebaseerd op automotive technologie vindt functie-integratie plaats en is de constructie op industriële schaal tegen lage systeemkosten te produceren. Bovendien is de constructie modulair en daarmee geschikt voor bevestiging van vrijwel iedere maat zonnepaneel of glasplaat.



Figuur 3 Schematisch overzicht achterzijdeconstructie - de groene delen zijn vervaardigd van kunststof en worden verbonden middels metalen profielen

Het systeem heeft de volgende eigenschappen:

- PV moduletechnologie onafhankelijk; doordat iedere celtechnologie geïntegreerd kan worden, kan het systeem altijd profiteren van de best beschikbare producten qua kosten en prestaties. Bovendien is het systeem getest met zowel glas-glas als glas-backsheet modules. De achterzijdeconstructie kan zowel op glas als backsheets worden verlijmd;
- Universeel toepasbaar op dak en wand; de bevestigingsconstructie kan met minimale aanpassing zowel voor schuine daken als voor gevels worden ingezet;
- "Click & Go" installatie; de installatie is zeer snel en eenvoudig. Het systeem wordt voorbereid door middel van bevestigingsgoten die goed gepositioneerd worden, vervolgens worden de panelen op de bevestigingsgoten geschoven en vastgeklikt. De handling en installatie van de zonnepanelen zelf wordt daarmee geminimaliseerd;

- Van boven naar beneden te installeren; de zonnepanelen overlappen elkaar in verticale richting. Bestaande BIPV systemen worden van beneden naar boven geïnstalleerd om een overlap te creëren die moet zorgen voor waterdichtheid. Dit geeft echter een lastige werksituatie op het dak waardoor de montage tijd en montagekosten toenemen.
- Individueel uitwisselbaar; de zonnepanelen zijn ook na montage individueel uitwisselbaar. Doorgaans dient een volledige rij of kolom te worden verwijderd om bij een paneel midden in het dakvlak te kunnen komen. Het unieke COSMOS systeem zorgt ervoor dat panelen individueel gedemonteerd en indien nodig vervangen kunnen worden. Het systeem is daarmee uitermate onderhoudsvriendelijk. Bovendien bleek de demontagemogelijkheid ideaal tijdens de testfase. Daar zijn panelen meerdere keren succesvol en snel gedemonteerd, vervangen of aangepast voor specifieke testdoeleinden.
- Esthetisch geheel; het systeem is volledig dakvullend en kan door gebruik te maken van passtukken ook de nok, goot en randen van het dak op dezelfde montagewijze invullen. Dit zorgt voor een esthetisch geheel. Bovendien is verdere individualisering mogelijk door bijvoorbeeld te kiezen voor afwijkende afmetingen, het al dan niet plaatsen van panelen in steens verband of het werken met gekleurde zonnepanelen en randafwerking;
- Concurrerende kosten; het COSMOS BIPV systeem zal beschikbaar zijn tegen vergelijkbare kosten als standaard dakbedekking plus op-dak geplaatste zonnepanelen (BAPV), zodra de industriële opschaling van het productieproces gerealiseerd is.



Figuur 4 Het COSMOS BIPV systeem gemonteerd op TULiPPS Solars demonstratietruck

Productmanagement

Vanuit productmanagement zijn naast coördinatie van het algehele productontwerp zoals hierboven geïllustreerd diverse overkoepelende activiteiten uitgevoerd. Hier wordt een viertal activiteiten benoemd:

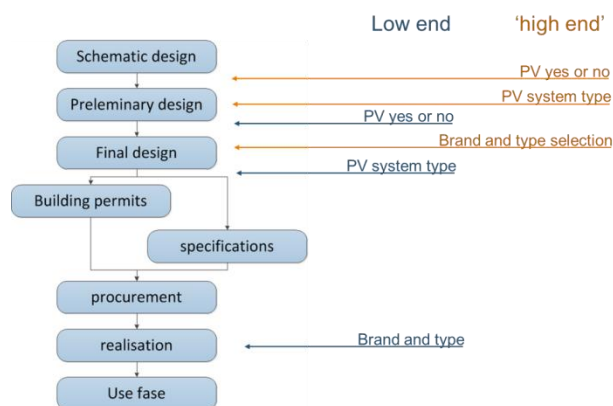
- Onderzoek naar beschikbare BIPV producten;
- Onderzoek naar marktkarakteristieken;
- Analyse van milieuprestaties / productlevenscyclusanalyse (LCA);
- Evaluatie van het productontwerp met de LiRoB Review Board.

Beschikbare BIPV producten

De ontwikkeling van Building Integrated Photovoltaics (BIPV) kent een ruim 25 jarige geschiedenis. Desalniettemin vormt de toepassing van BIPV producten slechts een kleine niche doordat producten voorheen veelal op unieke toepassingen waren gericht en daarmee niet geschikt waren voor grootschalige toepassing. Om inzicht te krijgen in reeds beschikbare producten en eerdere ontwikkelingen is daarom een overzicht gemaakt van in 2013 beschikbare BIPV producten met voor schuine daken de volgende categorieën: indak systemen, kleine solar dakpannen of leien, grote solar dakpannen of leien, prefab solar daken. De resultaten van deze inventarisatie zijn terug te vinden in het SEAC BIPV rapport (verkrijgbaar via www.seac.cc/downloads/).

Marktkarakteristieken

Naast beschikbare producten is de Nederlandse markt voor BIPV producten in kaart gebracht gericht op schuine daken. De werkzaamheden zijn verricht onder leiding van TNO Delft (Built Environment groep). Ondanks dat er veel BIPV producten beschikbaar zijn, is de marktpositie van veel producten slecht. In LiRoB is daarom een inventarisatie gedaan van de Nederlandse markt waarin gekeken is naar toepassingsgebieden, marktomvang, technische toepasbaarheid, economisch perspectief en verkoopkanalen. Op basis van deze inventarisatie zijn 15 marktsegmenten aangewezen waarvan vier interessante segmenten diepgaand zijn geëvalueerd. Interessante conclusies betreffen onder andere dat de waarde van esthetiek minder hoog lijkt dan vaak gedacht (ordegrootte €20-€30/m²). Daarnaast bedraagt de kostenreductie door het integreren van functionaliteiten en daarmee het uitsparen van andere bouwmaterialen ook ca. €20-€30/m². Tot slot variëren het bouwproces en de bepalende actoren in dit proces sterk van propositie tot propositie. Enkele typische processen zijn in kaart gebracht (zie bijvoorbeeld onderstaande figuur).



Figuur 5 Overzicht bouwproces en beslissingen

Productlevenscyclusanalyse

In de laatste fase van het project heeft ECN een Life Cycle Assessment (LCA) van het COSMOS BIPV systeem uitgevoerd. Een LCA wordt gebruikt om de milieuprestatie (belasting van het milieu door productie en

materiaalgebruik) en de energiestaat (opgewekte energie) gedurende de totale productlevenscyclus te bepalen. Dit geeft een belangrijke input voor bouwbedrijven in de ontwerpfasen van gebouwen en is noodzakelijk om aan te tonen dat nieuwe of gerenoveerde gebouwen aan de gestelde duurzaamheidseisen voldoen. Het BIPV systeem is vergeleken met een referentiesysteem bestaande uit traditionele dakbedekking in combinatie met een BAPV installatie. De berekeningen zijn gedaan voor een typische Nederlandse rijtjeswoning. De energierugverdiensduur van het COSMOS BIPV systeem is 14% lager (2 jaar versus 2,3 jaar) dan voor het referentiesysteem doordat gewerkt wordt met hoog rendementspanelen gebaseerd op achterzijdecontacttechnologie. De carbon footprint van het ontwikkelde systeem is vergelijkbaar met een standaard systeem. Indien uitgevoerd met een glas-glas paneel wordt de levensduur van de installatie langer en wordt daarmee zelfs een lagere carbon footprint bereikt. Het COSMOS BIPV systeem is dus ook wat betreft energie- en milieuprestatie en sterk concurrerend alternatief voor traditionele PV systemen.

LiRoB Review Board

Er is een LiRoB Review Board samengesteld bestaande uit vertegenwoordigers van de bouwindustrie. De volgende bedrijven hebben aan een of meerdere LiRoB Review Boards deelgenomen:

- Han van Zwieten Architecten
- Leikon
- Buro Spin
- Archisol
- Inno-experts
- Verkoelen
- Tiemstra Beheer
- Heijmans
- Dapan
- Vericon

Tijdens de LiRoB Review Board bijeenkomsten heeft kennisuitwisseling plaatsgevonden omtrent de laatste stand van zaken van de COSMOS ontwikkeling en zijn specifieke onderwerpen uitgelicht, waaronder de voordelen van achterzijdecontacttechnologie, dunne film PV ontwikkelingen, windbelasting, evaluatie van de testopstelling bij SEAC, milieuprestaties en vergelijk met concurrerende technologieën (onder andere SCX Soleroof, Solinso, Robisol, ZigZagSolar). De LiRoB Review Board heeft eraan bijgedragen dat reeds in een vroeg stadium input vanuit de bouwindustrie beschikbaar was. Dit zorgde voor ontwerpaanpassingen gericht op een optimale toepasbaarheid in de bouw in combinatie met een esthetisch aantrekkelijk product.

Component- en materiaalontwikkelingen

Om het COSMOS systeem mogelijk te maken zijn er diverse componenten ontwikkeld. Deze ontwikkelingen worden hieronder verder toegelicht. Het betreft ontwikkeling van:

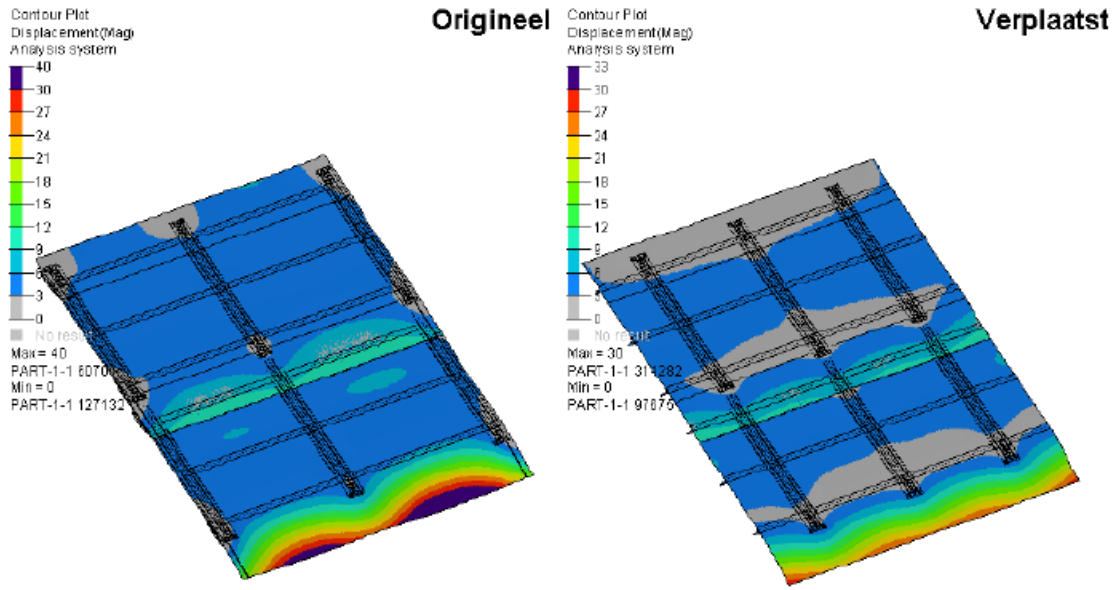
- Achterzijdeconstructie / wanddelen;
- Kunststof compound en vlamvertrager;
- Bevestigingsgoten, randafwerking en passtukken;
- Laminaatontwerp (achterzijdecontact en H-patroon);
- Ontwikkeling polyolefinen encapsulant (EVA vervanger);
- Junction box ontwikkeling;
- Antireflectie coatings en folies;
- Gestructureerd glas.

Achterzijdeconstructie / wanddelen

De multifunctionele kunststof achterzijdeconstructie vormt de basis voor de eenvoudige en veelzijdige toepassingsmogelijkheden van COSMOS. De panelen zijn frameloos en worden aan de achterzijde ondersteund door twee of drie wanddelen (afhankelijk van paneelafmetingen) die in twee lengtes beschikbaar zijn. Tussen de wanddelen worden meerdere metalen profielen bevestigd die zorgen voor stijfheid en het verdelen van de krachten op de panelen (zie figuur 3 voor een schematische weergave). In de wanddelen zijn functies geïntegreerd die zorgen voor de click & go montage. Door middel van de wanddelen worden de panelen op bevestigingsgoten gezet die zorgen voor de afwatering.

De wanddelen worden verlijmd op de achterzijde glasplaat (bij een glas-glas PV paneel) of op de backsheet (bij een glas-backsheet paneel).

In samenwerking met Sabic is een stressanalyse op het eerste CAD paneelontwerp uitgevoerd. Deze analyse laat de deformatie van het zonnepaneel zien als gevolg van statische belasting door bijvoorbeeld sneeuw of onder- en overdruk door wind. Naar aanleiding van deze analyse is het ontwerp aangepast om voldoende robuust te zijn.



Figuur 6 Resultaat ontwerpverificatie inzake spanningen en vervormingen bij diverse ontwerpconfiguraties

Materiaalontwikkeling kunststoffen

PV panelen worden traditioneel met aluminium of stalen profielen gemonteerd. Vanwege functie-integratie en kostenvoordelen kiest TULiPPS deels voor kunststof componenten (de wanddelen). Deze componenten moeten voldoen aan de eisen met betrekking tot levensduur, mechanische sterkte, UV bestendigheid en vlamvertragende eigenschappen. In LiRoB is door Sabic en Resin in samenwerking met TULiPPS uitvoerig onderzoek gedaan naar kunststof compounds en vlamvertragers.

Er is gekozen voor het werken met lang glasvezel versterkte kunststoffen. Sabic kiest voor deze materialen vanwege de hoge stijfheid, sterkte en impact. Een juiste formulering van de kunststof is van belang aangezien er een sterke interactie plaatsvindt tussen bijvoorbeeld de hoeveelheid glasvezel en vlamvertrager ten opzichte van de juiste vlamvertragende eigenschappen.

Een belangrijk punt in het bepalen van de mechanische sterkte van de kunststof betreft anisotropie. Dat wil zeggen dat rekening gehouden moet worden met de richting van de glasvezels en de richting waarin de testsamples worden gekozen zodat een realistisch beeld van de materiaalsterkte in diverse richtingen ontstaat. Sabic heeft op kleine schaal een materiaal ontwikkeld dat uitstekend presteert op het gebied van weersbestendigheid, vlamvertraging (voor en na veroudering), UV- en warmteweerstand en mechanische eigenschappen. Na opschaling en indien er voldoende marktpotentieel is, overweegt Sabic de materialen op commerciële schaal in productie te nemen en in diverse toepassingsgebieden te introduceren.

Waar Sabic heeft gefocust op de compoundontwikkeling, zijn de activiteiten van Resin puur gericht geweest op de vlamvertrager. Resin ontwikkelt vlamvertragers die aan kunststof compounds kunnen worden toegevoegd (bijvoorbeeld aan die van Sabic) om de gewenste vlamvertragende eigenschappen te behalen. Voor aanvang van het project had Resin beperkte ervaring met de ontwikkeling van vlamvertragers voor lang glas versterkte compounds. In samenwerking met Fraunhofer en TULiPPS heeft Resin daarom onderzoek gedaan naar diverse formuleringen voor de vlamvertrager. De kunststof met vlamvertrager moet uiteindelijk de volgende eigenschappen hebben:

- Categorie UL94 V0 bij 2mm materiaaldikte;
- Halogeenvrij;
- Lange levensduur en temperatuurstabiel;
- Toe te passen i.c.m. diverse kleuren materialen.

Bij Fraunhofer zijn proefsamples gemaakt waarvoor Resin diverse masterbatches heeft aangeleverd. Deze proefsamples zijn met positief resultaat getest op vlamvertragende, UV en mechanische eigenschappen voor en na veroudering.



Figuur 7 Voorbeeld resultaat testen samples Resin

Aan het eind van het project heeft Resin tevens een freedom-to-operate onderzoek uitgevoerd waaruit geen belemmeringen voor commerciële opschaling zijn gebleken.

De kunststofontwikkeling heeft hiermee geresulteerd in de beschikbaarheid van materialen die voldoen aan de gewenste eigenschappen voor toepassing in een BIPV concept. Ook zijn bijbehorende productietechnieken en matrijsontwerp beproefd. Er zijn dus geen belemmeringen meer voor verdere opschaling.

Bevestigingsgoten en randafwerking

De laminaten worden op het dak bevestigd door middel van aluminium goten die voor afwatering tussen de panelen zorgen. Deze goten vormen de interface met het dak. TULiPPS heeft de bevestigingsgoten ontworpen en geoptimaliseerd op montage-eenvoud en kosten. Op de bevestigingsgoten worden de laminaten geklikt en gefixeerd door middel van het click&go montagesysteem. De bevestigingsgoten dienen perfect uitgelijnd te worden om een strak dakvlak te creëren, waarna de montageactiviteiten voor het monteren van de zonnepanelen minimale inspanning vergen. De bevestigingsgoten zorgen in combinatie met de op de zonnepanelen verlijmd kunststof wanddelen en profielen voor de benodigde sterkte. Hier zijn uitvoerig testen op uitgevoerd die later worden toegelicht.

De bevestigingsgoten dienen ook als draagconstructie voor de randafwerking. In samenwerking met SCX Solar is de dakrandafwerking ontwikkeld. De afwerking is vervaardigd van zwart aluminium zetwerk om

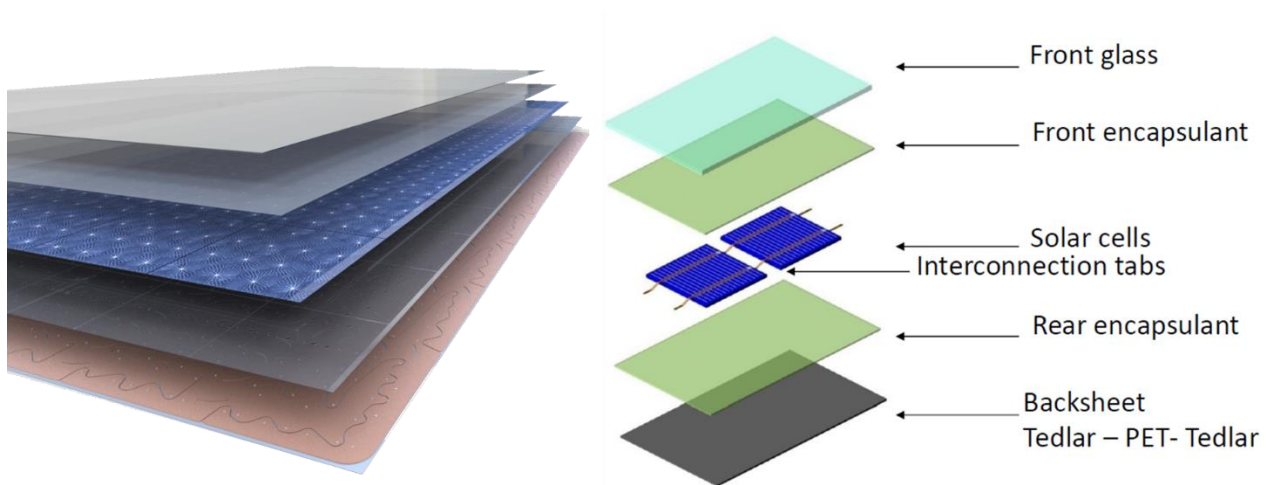
een uniforme uitstraling met het dak te creëren. Aan een zijde wordt een passtuk toegepast dat op dezelfde wijze wordt bevestigd (met een verlijmd wanddeel op de bevestigingsgoot) als de zonnepanelen. Door middel van een dergelijk passtuk kan de variatie in dakafmetingen worden opgevangen indien met de diverse maten laminaten het dak niet volledig gevuld kan worden. De boven- en onderzijde van het dak worden voorzien van geventileerde afwerking om koeling van de zonnepanelen te faciliteren. De ontwikkelde randafwerking is op de SEAC testsite succesvol toegepast. Het uiteindelijke resultaat is een esthetisch aantrekkelijk BIPV dak.



Figuur 8 Installatie van bevestigingsgoten en randafwerking op SEAC testsite

Achterzijdecontact en H-patroon laminaatontwerp

Het COSMOS BIPV systeem is PV technologie onafhankelijk. In het LiRoB project is gewerkt met zowel H-patroon als achterzijdecontact (MWT) zonnepanelen. Het laminaatontwerp van de H-patroon panelen is uitgewerkt in samenwerking tussen TULiPPS, ECN en Soltech (België). Het laminaatontwerp van de MWT panelen is uitgewerkt in samenwerking tussen TULiPPS, ECN en Eurotron.



Figuur 9 Opbouw achterzijdecontact versus H-patroon zonnepaneel

Het COSMOS systeem kan met diverse afmetingen zonnepanelen worden uitgevoerd. In hoogte is gekozen voor een 3-cels en een 4-cels variant. Qua lengte is het aantal cellen variabel te kiezen. In het project zijn

ontwerpen gemaakt voor een 3x6, 4x5 en 4x11 paneel. De 4x5 en 4x11 panelen zijn toegepast op de SEAC testsite. De panelen zijn uitgevoerd met zwarte cellen en de Solned junction box.

Yparex encapsulant

In de huidige PV industrie wordt als encapsulant standaard EVA gebruikt. De encapsulant moet het zonnepaneel beschermen tegen vuil- en vochttoetreding, een goede hechting geven van de diverse paneelcomponenten en een hoge transmissie van zonlicht naar de cellen hebben. EVA is zeer transparant, heeft goede mechanische eigenschappen en een lage €/kg prijs. EVA is echter gevoelig voor vochttoetreding en kan daardoor corrosie en vergeling veroorzaken met uiteindelijk een kortere levensduur van de zonnepanelen tot gevolg. Juist in BIPV toepassingen zijn esthetisch degradatie (vergeling) en een kortere levensduur nadelig. Andere encapsulanten worden toegepast maar hebben ieder eigen nadelen. PVB is stabiel, maar duurder dan EVA en water kan nog steeds doordringen. Siliconen zijn erg stabiel maar ook zeer duur.

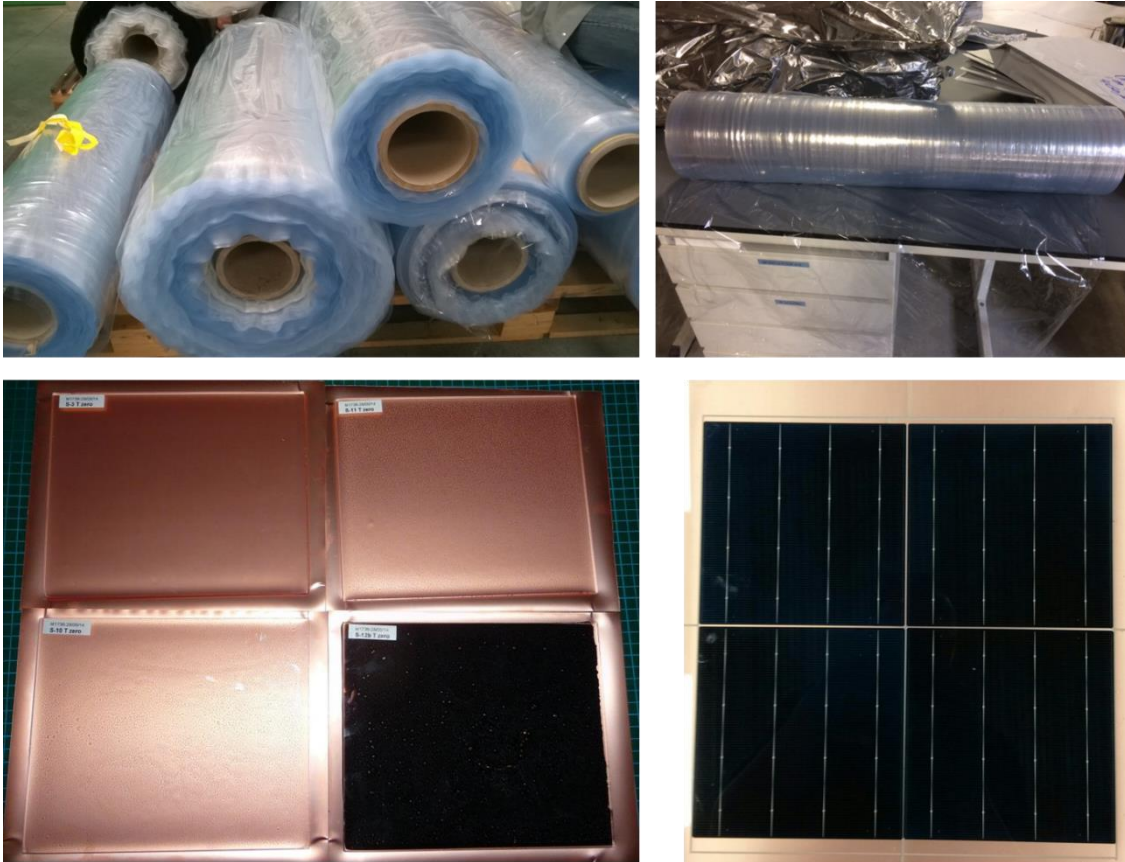
Yparex ontwikkelde in LiRoB daarom een alternatieve encapsulant op polyolefinen basis met superieure eigenschappen ten opzicht van huidige EVA's. De ontwikkeling van Yparex bestond uit drie fases:

- Chemische aanpassing van geschikte polymeren;
- Ontwikkeling van folies;
- Ontwikkeling van prototypeproductie in werkende minimodule.

Op Chemelot heeft Yparex geschikte polymeren gemodificeerd en getest. De juiste PO materialen zijn gevonden en in Enschede is een productielijn ingericht om deze materialen te kunnen produceren. Vervolgens zijn diverse formuleringen van de folie geproduceerd op Yparex' pilotproductielijn. Deze samples zijn gebruikt om bij ECN te lamineren en te testen. Er hebben vier testrondes plaatsgevonden en op basis van de testresultaten is de formulering geoptimaliseerd. Tot slot is in samenwerking met een commerciële partij een eerste batch op industriële schaal geproduceerd en in samenwerking met Eurotron verwerkt tot werkende minimodules (4-cels panelen). Deze zijn vervolgens ook getest bij ECN.

ECN heeft vier testrondes uitgevoerd waarin gekeken is naar visuele effecten, adhesie en transmissie, zowel voor als na veroudering (dampheat 500 en 1000 uur en thermal cycling 100 en 200 uur). Daarnaast zijn DMTA (dynamic mechanical thermal analysis) en transmissie metingen uitgevoerd.

Samenvattend zijn goede resultaten behaald m.b.t. processing, transmissie (vrijwel gelijk met EVA, hoger dan PVB), adhesie aan verschillende materialen (goede hechting aan glas, koper, backsheet), veroudering (DH en TC) en hydrolyse weerstand.



Figuur 10 Foliesamples van de Yparex pilotlijn (30cm breed, linksboven) en commerciële lijn (1m breed, rechtsboven), laminaten voor testen bij ECN zonder cellen (linksonder vier varianten waaronder een zwarte encapsulant) en in een werkende minimodule (rechtsonder)

Junction box ontwikkeling

Solned heeft in LiRoB een speciale junction box ontwikkeld die bijzonder geschikt is voor toepassing in BIPV systemen. De junction box, de SP2-SL905, is klein en compact, flexibel in het aantal aansluitingen en diodes, toepasbaar voor diverse PV technologieën, en zorgt voor een optimale warmteafvoer (maximaal 15A). Bovendien is de junction box als eerste ter wereld getest op fretting corrosion.

Fretting corrosion is een fenomeen dat ontstaat door minuscule beweging van contacten als gevolg van uitzetting van materiaal. Door deze bewegingen ontstaat een oxidatie laag die een verhoogde weerstand veroorzaakt. Door deze verhoogde weerstand kan er uiteindelijk een vlamboog ontstaan, dit is een potentieel brandgevaar. De fretting corrosion test is ontwikkeld i.s.m. KIWA en ECN en uitgevoerd door ECN in LiRoB. Om in een testomgeving fretting corrosion te veroorzaken is een testopstelling gebouwd waarin junction boxen aan snelle temperatuurswisselingen worden blootgesteld in een thermal shock cabine met twee kamers, één van -40°C en één van +85°C. Door verschillen in uitzettingscoëfficiënt van de junction box materialen ontstaan bij snelle temperatuurswisselingen bewegingen van de contacten. De temperatuursverandering is abrupt doordat de junction boxen fysiek worden verplaatst van de koude naar de warme kamer en omgekeerd. Tijdens de test staan de junction boxen onder een load van 10A.



Figuur 11 Overzicht van de fretting corrosion testopstelling

De contacten in de SP2-SL905 zijn vervaardigd van een hoog geleidende koper legering. De contacten zijn verend en verbinden de bodem en de deksel van junction box. In totaal zijn er drie testruns uitgevoerd door ECN. De data zijn geanalyseerd door Solned en vertaald naar ontwerpaanpassingen.

De eerste testrun liet zien dat in sommige gevallen inderdaad fretting corrosion kan optreden. Met name de gapsize is hiervoor bepalend. N.a.v. deze testresultaten is het contact aangepast. De tweede testrun liet zien dat deze ontwerpaanpassing inderdaad leidde tot een junction box waarin geen fretting corrosion meer optrad.

Initieel werd de junction box uitgevoerd met een actieve diode bevestigd op een leadframe. Aangezien bij de leverancier van deze diode problemen optraden en de diode daardoor niet betrouwbaar functioneerde (dit kwam naar voren uit de SEAC testsite en aanvullende testen door Solned), is vervolgens gekozen voor het toepassen van een andere diode bevestigd op een PCB. Dit heeft geleid tot een ontwerpaanpassing en derde testrun m.b.t. fretting corrosion. Ook deze testrun is succesvol afgesloten.

Antireflectie coatings en folies

Om de opbrengst van zonnepanelen te verhogen kunnen antireflectie coatings of folies worden aangebracht op de voorzijde van het paneel. De belangrijkste uitdagingen voor DSM inzake de ontwikkeling van een AR coating betroffen uniformiteit en stabiliteit, niet alleen qua performance maar ook wat betreft kleur/esthetiek. DSM is erin geslaagd een coating te ontwikkelen die ruimschoots voldoet aan de gestelde PV testnormen m.b.t. damp/heat, UV, thermocycling, humidity freeze en hageltesten. De coating geeft met name een voordeel bij niet optimale invalshoeken van zonlicht.

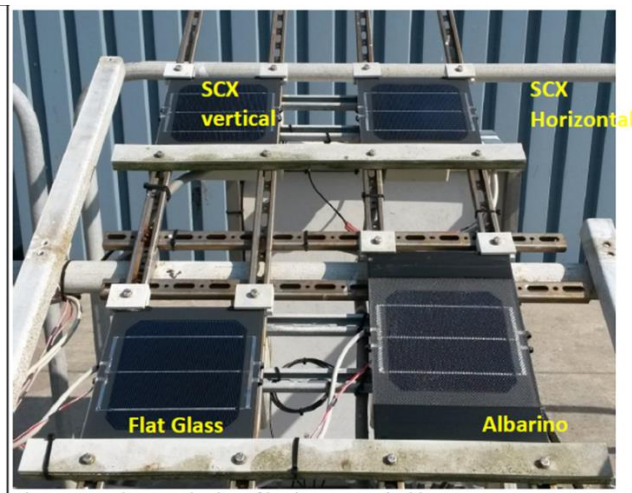
Een belangrijke uitdaging voor DSM vormde de processing van de coating voor BIPV applicaties. DSM heeft daarom onderzoek gedaan naar diverse applicatiemethodes. In Nederland en China zijn forward & reverse roll coating onderzocht. Hiermee bleef het randeffect echter bestaan. Daarom is een samenwerking opgestart met Beneq om Aerosol coatingtechnologie te ontwikkelen voor applicatie van de AR coating.

Naast AR coatings werkt DSM ook aan AR folies. Door de gekozen structuur van de folie wordt uiteindelijk al het gereflecteerde licht ingevangen. De folie is een combinatie van light trapping en antireflectie coating.

Gestructureerd glas

SCX Solar heeft voorafgaand aan LiRoB een oppervlaktestructuur voor solar glas ontwikkeld met als doel meer licht in te koppelen en daarmee de opbrengst te verhogen, vergelijkbaar met het toepassen van AR coatings, maar dan middels het etsen van glas. In LiRoB heeft SCX Solar samengewerkt met ECN om de structuur te modelleren, een optimale structuur te definiëren en metingen te verrichten om het effect van deze structurering te bepalen.

SCX Solar heeft glas aangeleverd met horizontale en met verticale etspatronen. Uit de eerste ECN testen is gebleken dat het etsen van een parallelle lijn-structuur in solarglas bemoedigende resultaten gaf. Opbrengstverbetering bij lage zonstanden liep op tot 6 à 7%. Daarop heeft ECN het SCX etspatroon geïmplementeerd in haar eigen ontwikkelde raytracing software, om te bezien of er een ideaal model mogelijk is. Het bleek van belang om de effecten van de lijnstructuur onder verschillende oriëntaties te onderzoeken. Hiervoor zijn indoor en outdoor metingen verricht waarmee het simulatiemodel van ECN is geverifieerd. In de metingen is tevens Albarino-P glas meegenomen, een commercieel beschikbaar gestructureerd glas. Het grote voordeel van het SCX glas is dat patronen vrij te kiezen zijn en in principe middels diverse maskers verschillende etspatronen kunnen worden aangebracht.



Figuur 12 Outdoor testopstelling van diverse glastypen bij ECN

Naast de modellering en metingen aan glas met lijnstructuren, heeft ECN een 3D gestructureerd glas gemodelleerd. Op de parallelle lijnstructuur was hierdoor een lichte winst te behalen. De grootste bijdrage had echter de oriëntatie van de structuur ten opzichte van de zoninstraling. Vooral bij ongunstige (lage) instralingshoeken treedt, equivalent aan de AR coating van DSM, een positief effect op de opbrengst op. De piramidestructuur van het Albarinoglas bleek echter onder alle omstandigheden het best te presteren.

Vervolgens is gekeken hoe de potentiële meeropbrengst zich vertaalt naar output (kWh) en hoe zich dit verhoudt ten opzichte van de kosten van het structureren van glas. Uit deze analyse bleek dat de toegepaste techniek onvoldoende economisch perspectief biedt om de ontwikkeling te continueren.

Een eventuele toepassing zou het structureren van grote glasoppervlakten voor het maken van afbeeldingen/logo's kunnen zijn. De etsstructuur wordt daarmee voor meer commerciële toepassingen ingezet, zoals het etsen van een bedrijfslogo in een solar gevel.

Productietechnologie

Bij de ontwikkeling van materialen en componenten is rekening gehouden met industriële opschaling en de mogelijkheid om de diverse componenten geautomatiseerd en kwalitatief hoogwaardig te kunnen produceren. De aandachtspunten met betrekking tot productie van de diverse materialen en componenten zijn hierboven reeds grotendeels benoemd.

De laminaatproductie heeft plaatsgevonden in samenwerking met Eurotron (achterzijdecontact) en Soltech (H-patroon). In samenwerking met Rimas is het verlijmingsproces voor het aanbrengen van de wanddelen op de zonnepanelen ontwikkeld. Zij hebben tevens de prototypes die in LiRoB zijn toegepast verwerkt. Kunststof onderdelen zijn door middel van spuitgieten vervaardigd met een proefmatrijs bij Fraunhofer.

Productkwalificatie

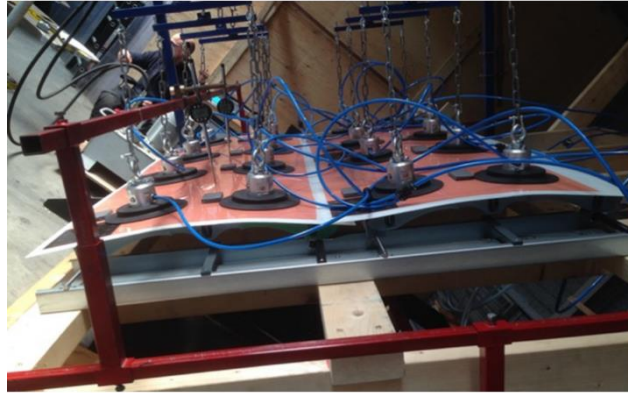
De ontwikkeling van een compleet nieuw BIPV systeem in combinatie met diverse nieuwe componenten is onmogelijk zonder uitvoerige test en kwalificatieactiviteiten. De werkzaamheden van de projectpartners KIWA/BDA, TNO, ECN en SEAC hebben met name hierop betrekking gehad. Diverse testen die op componentniveau zijn uitgevoerd zijn hierboven reeds toegelicht. Hieronder wordt ingegaan op testen op systeemniveau, te weten:

- Certificeringsbehoeften en bouwtechnische evaluatie;
- Thermo-mechanische analyse en ontwikkeling Accelerated Stress Test (AST);
- Testen windbelasting;
- Outdoor performance op SEAC testsite SolarBEAT.

Certificeringsbehoeften en bouwtechnische evaluatie

KIWA en zusterbedrijf BDA hebben onderzoek gedaan naar de toe te passen normen op het COSMOS BIPV product. Het product moet voldoen aan de internationaal geldende PV normen. Daarnaast gelden er voor op-dak montage specifieke normen die per land kunnen verschillen. Tevens zijn bouwnormen in Europa niet geharmoniseerd en zijn normen vanuit bouwkundig perspectief dus sterk regioafhankelijk. Aangezien BIPV een groeiende toepassing is, wordt in Nederland wel de NEN7250 vastgelegd als richtlijn waaraan BIPV producten zouden moeten voldoen.

In LiRoB is in meer detail gekeken naar bouwkundige evaluatie in samenwerking met BDA (zusterbedrijf van KIWA). Hierbij zijn drie aandachtsgebieden cruciaal: waterdichtheid, sterkte (sneeuw- en windbelasting) en vlieg vuur. Aangezien eerder succesvol testen zijn gedaan met brandproeven en het prototypesysteem sowieso met een waterdicht onderdak wordt uitgevoerd, is prioriteit gegeven aan het testen van de sterkte bij BDA.



Figuur 13 BDA testopstelling

De modules en het click&go montagesysteem werden zeer intensief getest, net zo lang totdat de eerste faalmechanismen zichtbaar werden. Op basis van deze resultaten werden nieuwe inzichten verkregen die hebben geleid tot verdere optimalisatie van het click&go montagesysteem. Het zwaarder uitvoeren van de materialen was voldoende om de prototypes veilig in de prototype testopstelling te kunnen installeren. De verlijmde wanddelen behoefden geen aanpassing.

Thermo-mechanische analyse en ontwikkeling Accelerated Stress Test (AST)

Met reguliere testen het kan geen goed inzicht gekregen worden in de levensduur en faalmechanismen van het COSMOS BIPV systeem. Dit komt doordat gewerkt wordt met nieuwe materialen en nieuwe wijze van bevestiging (verlijming van constructieve elementen op de achterzijde van een backsheet in plaats van bevestiging aan een frame) waar reguliere testen niet op gericht zijn. Daarom heeft TNO een testopzet ontwikkeld om het systeem te testen met de volgende doelen:

- Testen of systeem voldoet aan industrie standaarden;
- Versnelde levensduurtesten;
- Snelle beoordeling van technologie en ontwerpvarianten.

Uitgangspunt van de activiteiten was de Physics of Failure methodiek, waarop modellering en ontwerp van testapparatuur is gebaseerd waarmee de testen zijn uitgevoerd. Physics of Failure is een concept gebaseerd op het begrijpen en voorspellen van de effecten van ontwerpkeuzes, productievariaties en materiaaldegradatie. Het onderzoek heeft de volgende stappen doorlopen:

1. Inventarisatie van potentiële faalmechanismen en definitie van samples voor Accelerated Lifetime Tests;
2. Ontwerp en bouwen van dynamische thermo-mechanische testopstelling;
3. Finite Element Modelling;
4. Uitvoeren van testen en analyse van gedefinieerde samples.

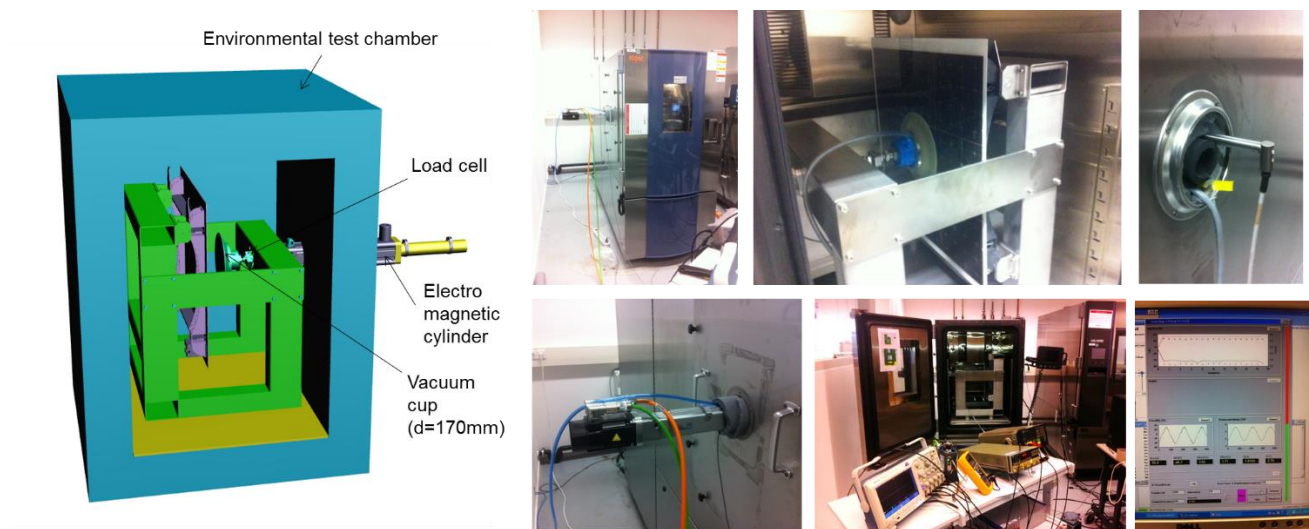
Inventarisatie faalmechanismen en definitie samples ALT

In twee brainstormsessie hebben TNO en TULiPPS 89 potentiële faalmechanismen geïdentificeerd. Voor deze faalmechanismen zijn versnellingsmethoden bedacht die op hun beurt vertaald zijn naar een testspecificatie. Vervolgens zijn de te testen samples gedefinieerd. Er is gekozen om te testen met 3x3-cels laminaten (achterzijdecontactcellen, 500x500mm omvang, 2mm glasdikte) vanwege de diverse

configuratie-opties van de COSMOS achterzijdeconstructie en de beperkte afmetingen van de beschikbare klimaatkamer waarin de tests zijn uitgevoerd. Op deze laminaten kunnen afhankelijk van de testdoeleinden diverse varianten wanddelen, profielen en verlijmingstechnieken worden toegepast.

Ontwerp en bouwen van dynamische thermo-mechanische testopstelling

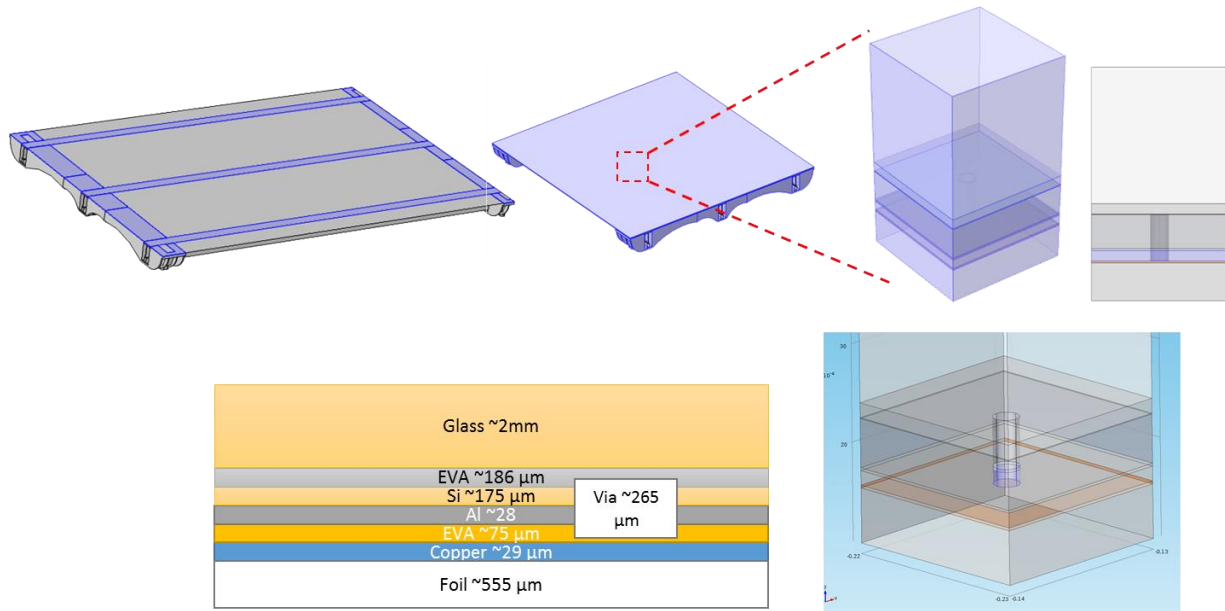
In onderstaand figuur is de testopstelling weergegeven. De opstelling bestaat uit een klimaatkamer waarbinnen testcondities kunnen worden gevarieerd tussen -70°C en 180°C en 50-85% luchtvochtigheid. De samples worden in een load cel gefixeerd door middel van een vacuüm. Vervolgens worden de samples gebogen (duw- en trekbeweging) door een elektromagnetische cilinder. De elektrische parameters (in situ weerstandsmeting), de aangebrachte belasting voor de buiging en de deflectie van het laminaat worden gemonitord.



Figuur 14 Schematische weergave en uiteindelijke dynamische thermo-mechanische testopstelling

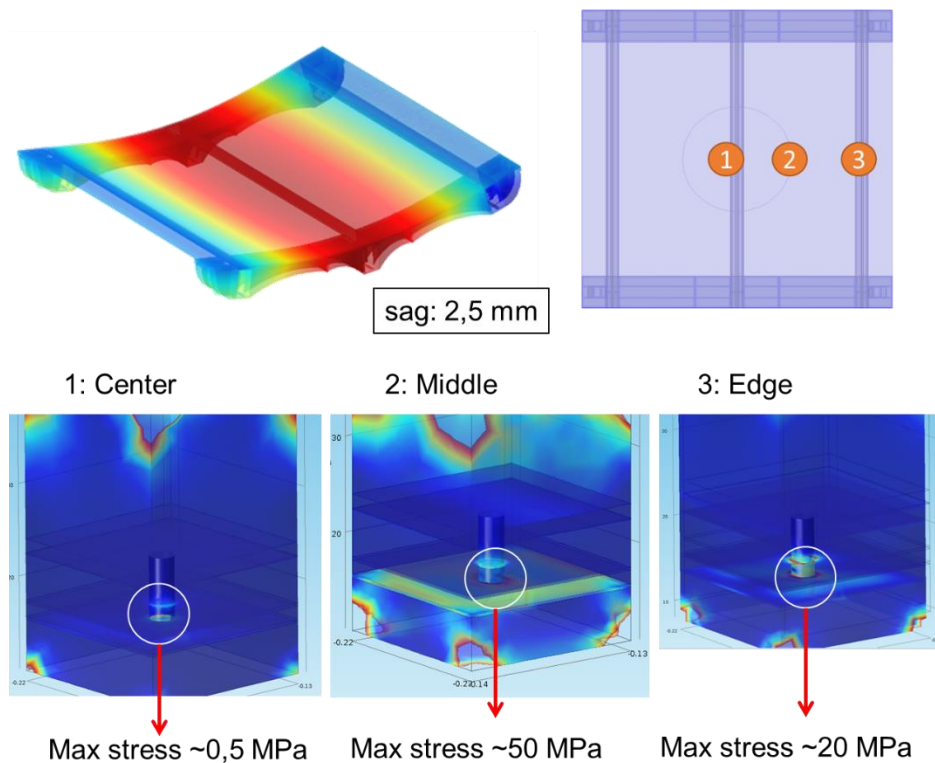
Finite Element Modelling (FEM)

Om het onderzoek naar het systeemgedrag te kunnen vertalen naar full-size panelen en het ontwerp van de testopstelling te ondersteunen zijn een lokaal en globaal model van de laminaten en achterzijdeconstructie ontwikkeld. Met deze modellen kan het effect van ontwerpwijzigingen op het totale pakket aan materialen worden onderzocht.



Figuur 15 Model laminaat

Op basis van het dit model kan bijvoorbeeld een globale simulatie worden gecreëerd van een statische belasting van 2400Pa, waarbij de materiaalstress die op diverse plaatsen in het laminaat optreedt kan worden geëvalueerd (zie onderstaand voorbeeld). Dit is van belang om het effect van bepaalde belastingen op bijvoorbeeld de cellen of verbindingen in het laminaat te kunnen beoordelen.



Figuur 16 Voorbeeld lokaal resulterende stress in het laminaat op basis van 2400Pa statische belasting

Uitvoeren van testen en analyse van gedefinieerde samples

Initieel zijn exploratieve testen uitgevoerd om faalmechanismen en het bereik te bepalen. Hiertoe is zowel een destructieve push als pull test uitgevoerd (waarbij de pull test moest worden aangepast om daadwerkelijk tot breuk te kunnen testen). Tijdens de test zijn de elektrische karakteristieken in situ gemonitord. Tot slot heeft TNO de testopstelling gebruikt om de PV panelen inclusief COSMOS bevestigingssysteem te onderwerpen aan gecombineerde belastingen, bijvoorbeeld bij warmte, koude, dynamische belasting etc. Tijdens het belasten is tevens de elektrische karakteristiek gemeten om te bepalen of er degradatie van cellen en verbindingen optrad. Enkele resultaten zijn:

- Duw- en trekproef van -2/+2mm van het paneel bij kamertemperatuur met 5Hz (5 cycli per seconde): gestaakt na 4,6 miljoen cycli zonder merkbaar effect;
- Duw- en trekproef van -2/+2mm van het paneel bij -40°C met 5Hz (5 cycli per seconde): gestaakt na 4 miljoen cycli zonder merkbaar effect;
- Duw- en trekproef van -2/+2mm van het paneel in dampheat condities (85°C/85% luchtvochtigheid) met 5Hz (5 cycli per seconde): ten tijde van de afronding van het project nog lopende, na 2 miljoen cycli nog altijd stabiel gedrag.

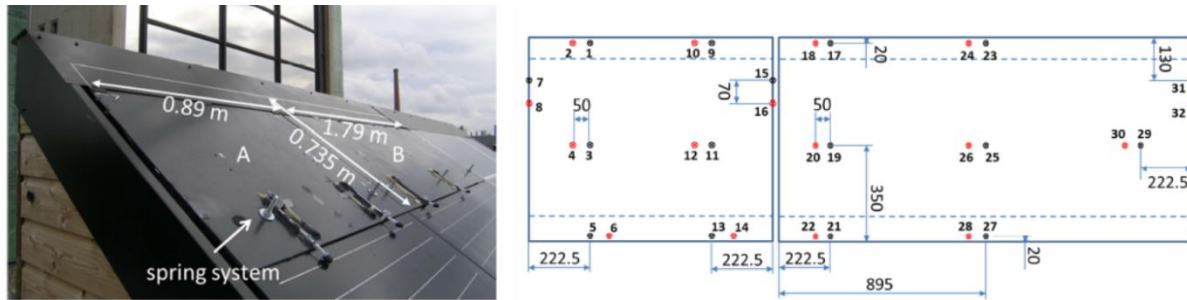
TNO beschikt door deze ontwikkeling over een unieke testopstelling die in staat is om (over)stress aan te brengen om snel ontwerp- of materiaalzwaktes te achterhalen, testen conform industriële richtlijnen en normen uit te voeren, versnelde levensduurtesten uit te voeren gefocust op het laminaat en de achterzijdeconstructie en de mogelijkheden van toekomstige materiaal- of ontwerpverbeteringen snel te toetsen.

Testen windbelasting

Op de SolarBEAT testsite van SEAC is een volledig COSMOS BIPV systeem opgebouwd en uitvoerig getest. Een van de testen, uitgevoerd door TNO, had als doel de eigenschappen van het systeem onder windbelasting in situ te bepalen. De metingen zijn gericht op:

- De drukvereffening die optreedt in het systeem en het effect daarvan op drukverschillen in het systeem;
- De dynamische respons van het systeem onder windbelasting.

In 2014 is een experimentele set-up ontworpen en gebouwd op SolarBEAT, waarbij de meetinfrastructuur van SEAC is uitgebreid om betrouwbare windsnelheidsmetingen en richtingen te kunnen bepalen met een Windmaster ultrasonic anemometer geplaatst op een mast 6m boven het testdak. In het testdak zijn twee dummypanelen verwerkt voor windmetingen, bestaande uit twee aluminium platen van 0,5mm met een polyethyleen kern van 3mm. Op, tussen en onder deze platen zijn sensoren geplaatst, zie onderstaande figuur.



Figuur 17 Opzet windmetingen

In 2015 zijn in situ metingen uitgevoerd om de rekenregels voor windbelasting te bepalen. Met name de drukvereffeningscoëfficiënt en de dynamische respons zijn hierbij van belang. De drukvereffeningscoëfficiënt is een rekenwaarde die wordt toegepast om aan te geven in hoeverre het systeem in staat is om plotselinge drukverschillen door windvlagen op te vangen om onder/overdruk in het systeem te beperken. Dynamische respons is een indicatie voor onder welke omstandigheden een systeem kan gaan resoneren als gevolg van windbelasting. De belangrijkste conclusies zijn:

- De bepalende windrichting ligt tussen de 255° en 300°;
- Er zijn grote externe drukken waargenomen, waarschijnlijk veroorzaakt door de specifieke locatie van het testdak (op de Vertigo laagbouw, in de buurt van een hoogbouw);
- Drukvereffeningscoëfficiënten die gebruikt kunnen worden zijn vastgelegd;
- De dynamische responstest laat zien dat er geen risico op dynamische respons door windbelasting.

Outdoor performance op SEAC testsite SolarBEAT

Op de SolarBEAT testsite van SEAC is een testdak ingericht met de LiRoB innovaties. LiRoB is een zeer ambitieus project geweest waarin een groot aantal innovaties zijn samengekomen in één BIPV systeem, zoals eigen PV paneelontwerp, eigen junction box, innovatief click&go bevestigingssysteem, verlijming frameloze panelen, diverse PV technologieën, vermogenselektronica, passtukken en randafwerking. Ondanks enige vertraging door de complexiteit van deze innovaties zijn de LiRoB partners erin geslaagd een compleet pilotsysteem op te leveren waar uitvoering metingen op zijn uitgevoerd.



Figuur 18 COSMOS systeem op SEAC testsite SolarBEAT

In het systeem zijn diverse varianten verwerkt. Het linkerdeel bestaat uit H-patroon panelen (4x5 en 4x11-cels), het rechterdeel bestaat uit achterzijdecontact panelen in dezelfde afmetingen. Bij de prototypeproductie van de achterzijdecontact panelen was niet voldoende zwarte backsheet beschikbaar, waardoor deze een witte rand hebben. Alle panelen zijn uitgevoerd met Solned's junction box en per tweetal (een grote en een kleine) aangesloten op een Femtogrid power optimizer. De twee panelen linksboven zijn de dummypanelen die gebruikt zijn voor windmetingen. Tevens is in de opstelling de randafwerking van SCX Solar te zien die het dak een uniforme uitstraling geeft. Onderstaand figuur geeft deze configuratie schematisch weer.

nok				rand- afwer- king
dummy	dummy paneel	overlap	overlap	
		MWT	MWT	
1/2 H	H patroon	MWT	1/2 M	
1/2 H	H patroon	MWT	1/2 M	
1/2 H	H patroon	MWT	1/2 M	
1/2 H	H patroon	MWT	1/2 M	
1/2 H	H patroon	MWT	1/2 M	
1/2 H	H patroon	MWT	1/2 M	
goot				

Figuur 19 Schematische weergave dakconfiguratie

Alle panelen zijn voorzien van thermokoppels voor temperatuurmetingen en tevens vinden geijkte opbrengstmetingen plaats per koppel panelen. De gegevens worden geanalyseerd met behulp van een referentiecel en pyranometer, ondersteund met weersgegevens verzameld door het meetstation van SEAC op SolarBEAT. Er zijn door SEAC dan ook zowel performance als temperatuuranalyses uitgevoerd. De belangrijkste conclusies zijn:

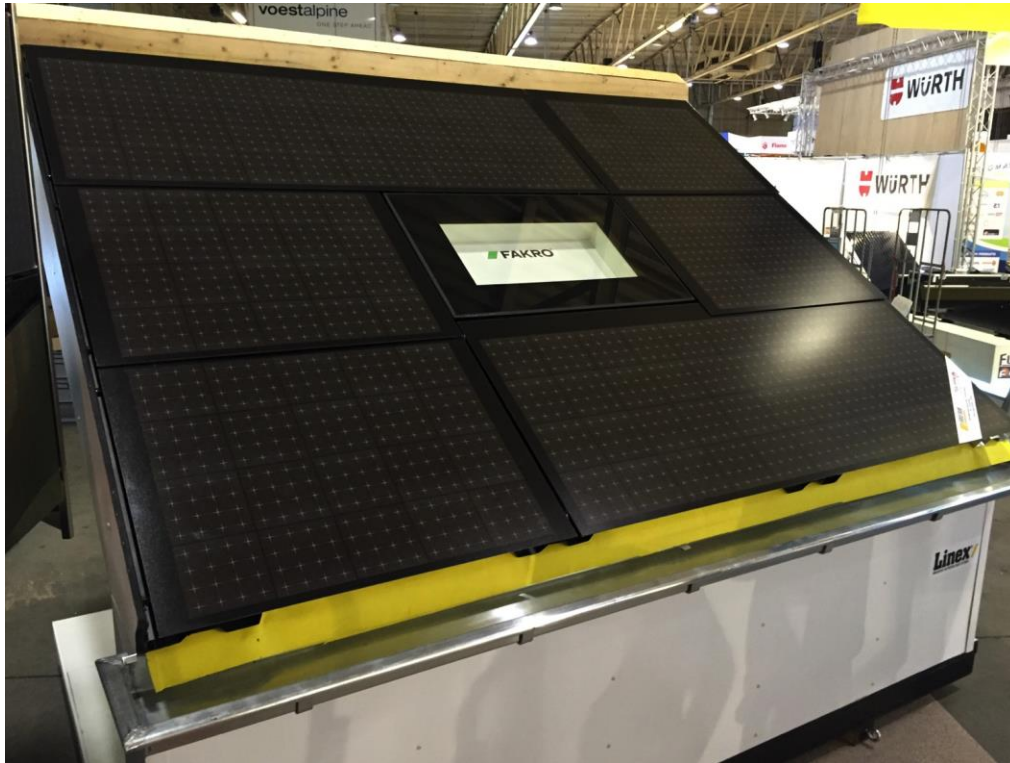
- Er zijn regelmatig aanpassingen uitgevoerd (onder andere inzake diodes) waardoor individuele panelen gedemonteerd en herplaatst zijn. Het innovatieve click&go systeem functioneerde hierbij perfect.
- De testsite is uitgevoerd met twee varianten van ventilatiespleethoogten. Het rechterdeel (achterzijdecontact panelen) kent een kleinere ventilatieopening die ertoe heeft geleid dat de power optimizer tegen de isolatie aan ligt. Hierdoor is er geen convectie rondom de power optimizer mogelijk en wordt deze op warme zomerdagen te heet ($>85^{\circ}\text{C}$) en schakelt daardoor terug in vermogen (de-rating) voor veiligheid. Dit geeft belangrijk inzicht in de positionering van de poweroptimizer.
- Thermische analyses laten zien dat de kleinere ventilatieopening ca. 1,5% verlies in de performance ratio van het systeem veroorzaakt. Dit verschil is slechts klein, belangrijker is de slechte koeling van de power optimizers.
- Vanaf augustus (H-patroon) t/m eind 2015 (gehele systeem) zijn betrouwbare performance metingen gedaan. Deze metingen laten zien dat het systeem gelijk aan of beter presteert dan het BIPV referentiesysteem op dezelfde locatie.

Vervolgactiviteiten

LiRoB heeft een groot aantal resultaten opgeleverd waar na afloop van het project een vervolg aan wordt gegeven. Het COSMOS BIPV systeem wordt door TULiPPS in samenwerking met de bouwindustrie marktrijp gemaakt en als (prefab) systeem in de markt gezet. Dit systeem moet naast PV panelen ook ruimte bieden aan dakramen, dakkapellen en een uitgebreid assortiment aan rand/hoekoplossingen om een grote diversiteit aan daken in te kunnen vullen. TULiPPS is hiertoe een samenwerking gestart met Fakro Nederland en Linex Prefab Daksystemen. De samenwerking is onderdeel van het project PRIME, waarin tevens Femtogrid en IBC Solar partners zijn.

De diverse materiaalontwikkelingen worden in 2016 afgerond en commercieel opgeschaald. Sabic, Resin en Yparex zetten de laatste stap in industriële productie waarna de ontwikkelde producten kunnen worden vrijgegeven voor commercialisatie. Solned's junction box wordt gecertificeerd en daarna in productie genomen en op de markt gebracht. DSM zal vanaf medio 2016 een pilotlijn gereed hebben voor het aanbrengen van haar AR coating op frameeloze zonnepanelen. SCX Solar gebruikt de opgedane kennis omtrent passtukken en randafwerking in haar eigen projecten. Alleen de activiteiten met betrekking tot de glasstructurering van SCX Solar krijgen vooralsnog geen vervolg.

Ook voor de kennisinstellingen heeft LiRoB unieke resultaten opgeleverd waar in toekomstige projecten gebruik van gemaakt gaat worden. De SEAC testopstelling op SolarBEAT blijft operationeel, er zal in 2016 vervolgonderzoek plaatsvinden (o.a. in het kader van PRIME). De testopzet voor dynamische thermomechanische belasting van TNO en ECN's testopzet voor het testen van fretting corrosion zijn uniek en zullen ook in toekomstige onderzoeksprojecten van toegevoegde waarde zijn.



Figuur 20 TULiPPS, Linex en Fakro werken samen aan een totale dakoplossing op basis van het COSMOS BIPV systeem

Kennisverspreiding

Gedurende de looptijd van LiRoB is op diverse manieren de opgedane kennis verspreid door de consortiumpartners. Ten eerste is kennis verspreid door samenwerking van LiRoB partners met externen, met name in de vorm van de LiRoB Review Board. Tijdens de Review Board sessies is steeds ingezoomd op diverse aspecten van de ontwikkelingen en is kennis gedeeld met de aanwezige representanten uit de bouwindustrie. Tevens heeft kennisuitwisseling plaatsgevonden met diverse concullega's, die tijdens Review Board bijeenkomsten hun innovaties hebben gepresenteerd naast de LiRoB innovaties en ook feedback van de bouwindustrie hebben ontvangen. Een overzicht van genodigden, onderwerpen en frequentie van bijeenkomsten is te vinden op pagina 10.

Verder heeft een groot aantal partijen de SEAC testsite bezocht. Er zijn gericht bedrijven uit de bouwindustrie uitgenodigd om het systeem te komen bezichtigen en de mogelijkheden gezamenlijk te evalueren. Op aanvraag is het mogelijk een afspraak in te plannen om de SEAC testsite te bezoeken. Neem hiervoor contact op met de contactpersonen genoemd bij deze rapportage.

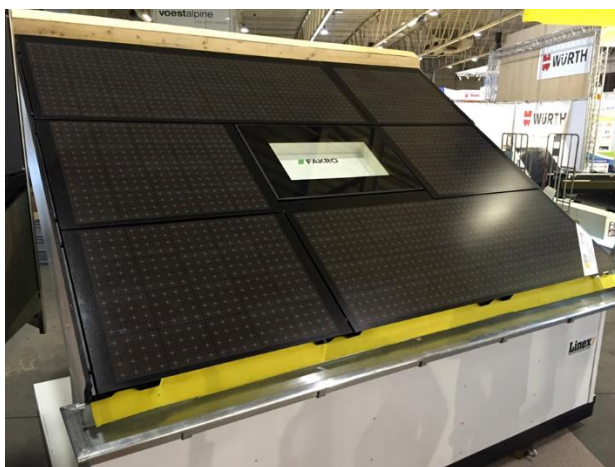
Tot slot zijn tijdens een slotbijeenkomst georganiseerd op 16 december 2015 op de High Tech Campus te Eindhoven de innovaties gepresenteerd voor derden, waaronder de TKI Solar.



Figuur 21 Openbare slotbijeenkomst LiRoB

PR project en verdere PR mogelijkheden

Het project heeft op diverse momenten publiciteit gekend. Een voorbeeld hiervan is een uitgebreid artikel verschenen in Dakenraad waarin de LiRoB resultaten aan bod komen. TULiPPS heeft bovendien haar innovaties getoond op de Intersolar 2015 en een demonstratietruck ingericht die door het hele land locaties, potentiële partners en events als de Sunday 2015 heeft bezocht. Vanuit de nieuwe samenwerking met Fakro en Linex heeft TULiPPS een prototype van haar systeem i.c.m. Linex' prefab daksysteem en een Fakro dakraam getoond op de Energiebeurs 2015. Tot slot heeft op 13 januari 2016 het LiRoB project uitgebreid de aandacht gehad tijdens een ronde tafel sessie georganiseerd door de TKI Urban Energy.



Figuur 22 Prototypesysteem op Energiebeurs 2015 (links) en demonstratietruck

TULiPPS Solar en de overige projectpartners worden graag benaderd voor eventuele verdere publicitaire activiteiten.

Conclusie

LiRoB was een ambitieus project met een groot aantal innovatieve doelstellingen. Deze doelstellingen zijn onderverdeeld in vereisten en een wensenlijst. Het LiRoB project is erin geslaagd om alle vereiste doelstellingen te behalen. Daarnaast is het systeem toepasbaar op façades, wordt het uitgevoerd met hoog efficiënte laminaten, is toepassing van diverse kleuren gedemonstreerd en is (vrijwel) complete flexibiliteit qua maatvoering constructief mogelijk.

ONDERWERP	VEREISTE	WENS
DOELMARKT	Schuine daken	Ook toepasbaar op façades
BOUWREGELGEVING	Voldoen aan huidige en toekomstige Nederlandse en EU regelgeving	Inclusief Noord-Amerika
LAMINAATONTWERP	Dun glas (2mm) i.c.m. backsheet PV laminaat op basis van H-patroon kristallijn silicium cellen	Hoog efficiënt laminaat op basis van achterzijdecontact cellen
LAAG GEWICHT	<10kg/m ²	
INSTALLATIE	Snel en eenvoudig montagesysteem + eenvoudige vervangbaarheid	
ESTHETIEK	Frameloos, volledig dakvullend, voorkeur voor volledig zwart product	Diverse kleuren beschikbaar
SYSTEEMPRIJS PER Wp	Concurrerend met BAPV systemen	Goedkoper dan BAPV systemen
LEVENSDUUR	25 jaar	50 jaar
GEBOUWSCHIL FUNCTIONALITEIT	Wind en waterdichtheid	Aanvullende functionaliteiten zoals isolatie
FLEXIBILITEIT IN AFMETINGEN	Enkele diverse paneelmaten beschikbaar	Complete flexibiliteit qua maatvoering

Figuur 23 Doelstellingen LiRoB (de behaalde doelstellingen zijn groen gearceerd)

Concluderend kijken de projectpartners terug op een uitdagend project dat uiteindelijk heeft geleid tot positieve resultaten voor alle betrokkenen.