

compact solar 2.0

Openbare verslaglegging project Hernieuwbare Energie 2016



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Projecttitel : Compact Solar 2.0
 Projectnummer : TEHE116367
 Publicatiedatum : 10-06-2021
 Projectperiode : april 2017 – maart 2021
 Projectlocaties : Utrecht, Schagen, Best, Zwaag, Ursem, Woudenberg, Delft, Limmen, Lelystad
 Focus project : Het ontwikkelen van een systeemontwerp voor kleine zonnepanelen met intelligente elektronica en montagematerialen wat leidt tot snelle en eenvoudige assemblage en installatie op vlakke residentiële in industriële daken.

	Naam deelnemer	Rol in project
Penvoerder:	Compact Solar BV Maatlat 21A 1906 BL Limmen www.compactsolar.nl	Penvoerder, totale systeemintegratie
Mede-aanvragers:	Expice BV	Ontwikkelen converteretechnologie
	Heliox BV	Ontwikkelen converteretechnologie
	Automatic Electric Europe BV	Ontwikkeling intelligente interconnectie, systeemintegratie en productie-eisen
	Ruiter Advies Verkoop BV	Toepassing systeem, advies over praktijk
	NewSolar BV	Toepassing systeem, advies over praktijk
	TU Delft	Onderzoek levensduur-karakteristieken en materiaalsoptimalisatie
	Huiberts & Keller	Projectmanagement

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met H. van Kruijssen via info@compactsolar.nl. Dit rapport en de hierin genoemde openbare stukken zijn tegen vergoeding van €5,00 per stuk digitaal dan wel op papier te verkrijgen bij Compact Solar BV. Aanvragen kunnen worden ingediend per e-mail (info@compactsolar.nl) of per post (Compact Solar BV, Maatlat 21A, 1906 BL Limmen).

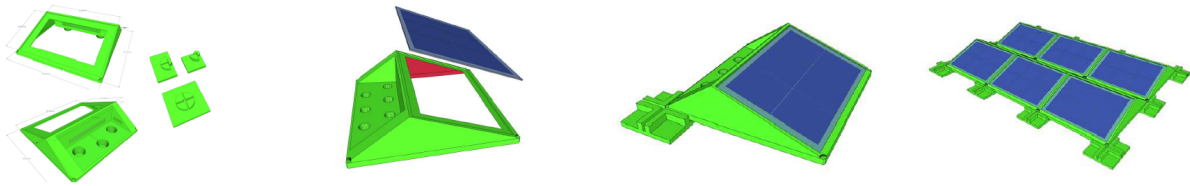
Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Samenvatting.....	1
Inleiding.....	2
Projectpartners	4
Onderzoeksvragen.....	5
Doelstelling	6
Werkwijze.....	6
Resultaten	7
WP1: Modulehouder	7
WP2: Systeemarchitectuur	8
WP3: Bevestigingssysteem	11
WP4: Systeemintegratie	16
WP5: Pilots en testen	18
Mogelijkheden spin-off en vervolgactiviteiten.....	20
Publicaties	21
Bijlagen	22

Samenvatting

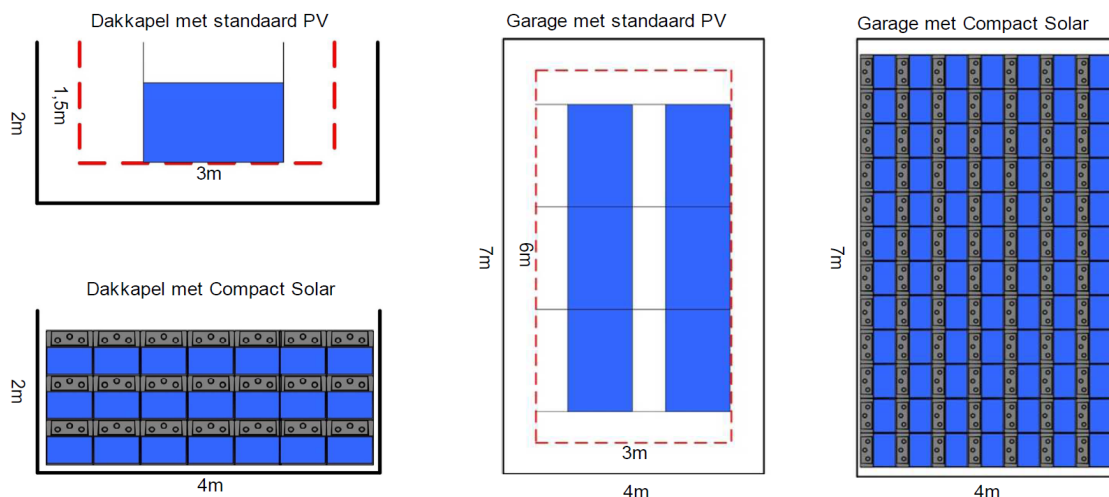
Op de huidige zonnepanelenmarkt worden vrijwel uitsluitend PV-systemen aangeboden met standaard afmetingen. De vraag naar zonne-energie wordt steeds groter, maar niet iedereen heeft een dak dat geschikt is om de grote standaard PV panelen met bijbehorende ballast te plaatsen. Daarnaast is er een groep mensen die wel duurzame energie wil, maar zichtbare zonnepanelen op hun woning niet esthetisch vindt. Voor deze mensen biedt Compact Solar de oplossing.

Compact Solar BV is de bedenker van het Compact Solar (CS) systeem. Een eerste vroege versie van het CS55 systeem was reeds in house ontwikkeld door kleine (30 Wp 6 cels) PV-panelen op kunststof houders te lijmen, deze samengestelde modules met behulp van kunststof voetjes op het dakmateriaal te verlijmen en op een conventionele manier aan te sluiten (*afbeelding 1*). Ook het concept van de CS140, op basis van 120 Wp 24 cels panelen, was al ontwikkeld. In dit project heeft Compact Solar, samen met de projectpartners, onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor het verder ontwikkelen van het CS PV-systeem. De focus ligt daarbij op een systeemontwerp met intelligente elektronica en montagematerialen dat leidt tot snelle en eenvoudige assemblage en installatie.



Afbeelding 1: Het concept voor het CS55 systeem.

Het CS PV-systeem heeft een aantal voordelen ten opzichte van conventionele PV-systemen. Door de beperkte afmetingen is het efficiënter in te passen op kleine dakoppervlakten (*afbeelding 2*). Daarnaast zijn de modules beter hanteerbaar en dus eenvoudiger op het dak te monteren. Ook is het systeem minder zichtbaar vanaf de grond en daarmee een esthetische oplossing. Door het aerodynamische ontwerp en montagesysteem is er voor het CS PV-systeem geen zware ballast nodig. Hierdoor wordt het systeem zeer lichtgewicht en zo uitstekend toepasbaar op daken die constructief niet sterk genoeg zijn voor reguliere systemen.



Afbeelding 2: Efficiëntere vulling van het dakoppervlak met het CS PV-systeem ten opzichte van conventionele panelen.

Dit maakt Compact Solar een goede oplossing voor bijvoorbeeld dakkapellen, schuurtjes, carports, garages, (vakantie)bungalows en bedrijfsgebouwen. Door de eenvoud van het concept wordt het ook mogelijk gemaakt dat consumenten zelf hun Compact Solar systeem kunnen installeren. Op deze manier wordt een toegankelijker consumentenproduct gerealiseerd en maakt Compact Solar toepassing van PV-systemen mogelijk op locaties waar dat op dit moment technisch gezien niet mogelijk of vanuit esthetisch oogpunt niet gewenst is.

Inleiding

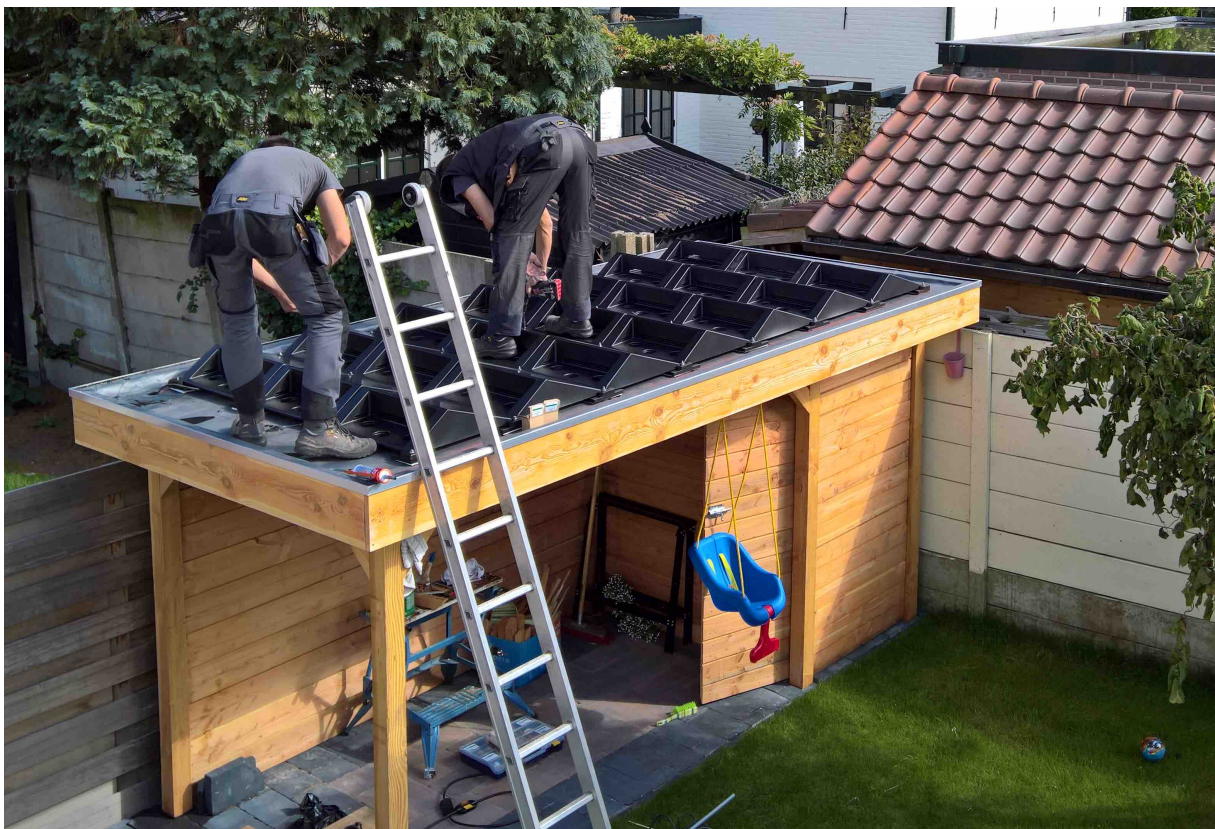
Floris Bruning, oprichter van Compact Solar, is reeds jaren actief in de PV branche. Vanuit zijn andere bedrijf, Soft Energy, begeleidt hij zowel particulieren als bedrijven bij de aankoop en installatie van PV-systemen. Regelmatig is Soft Energy geconfronteerd met klanten die een PV-systeem op hun platte dak willen. Vaak is het platte dak constructief (te lage draaglast) of qua afmetingen niet geschikt voor de installatie van een standaard PV systemen. Deze moeten doorgaans met zware ballast (tot 100kg/m²) gezekerd worden tegen de windbelasting. Daarom zijn bestaande systemen vaak niet geschikt voor daken van met name oudere woningen en appartementen, maar ook niet voor bijvoorbeeld dakkapellen, carports en veel bedrijfsgebouwen.

Daarnaast hoort Soft Energy vaak de kritiek dat standaard PV systemen niet esthetisch zijn. Dit blijkt voor sommige mensen een belangrijk obstakel om geen zonnepanelen aan te schaffen. Verder ziet Soft Energy regelmatig situaties waarin de installatie niet vlekkeloos verloopt. Dit leidt vaak tot extra kosten of onveilige situaties. Op basis van deze ervaringen heeft Floris besloten het CS systeem te ontwikkelen. Door het lichte gewicht en de beperkte afmetingen is het CS systeem uitermate geschikt voor kleine, platte dakoppervlakten zoals dakkapellen, carports, aanbouwen en schuurtjes, en bovendien snel en gemakkelijk te installeren.

Om het werkingsprincipe aan te tonen heeft Compact Solar zelf een aantal prototype modules gebouwd en getest op basis van ≈ 30 Wp panelen. Hierbij zijn de PV-panelen in thermogevormde houders gelijmd. Er zijn een aantal pilots met deze 'CS55 – 1.0' systemen geïnstalleerd voordat dit project van start ging (afbeelding 3). Deze pilots zijn succesvol verlopen en het CS55 – 1.0 systeem is voorzichtig op de markt gebracht. De eerste versie van het Compact Solar systeem is te typeren als een 'Minimum Viable Product'; het systeem is bedoeld voor early adopters.

Om te komen tot een grootschalige uitrol was het noodzakelijk om het Compact Solar systeem verder te ontwikkelen en verbeteren. Dat is gebeurd binnen dit project. Hierbij lag de focus op het verbeteren van het ontwerp, ontwikkeling van geoptimaliseerde elektronica en interconnectie, vereenvoudiging van montagesysteem en –methode en volledige integratie van alle componenten (PV paneel, oogst- en conversie elektronica, interconnectie) in de module.

Daarbovenop wordt naast de ontwikkeling van het 'CS55 – 2.0' systeem ook de vertaalslag gemaakt naar een systeem dat opgebouwd wordt uit grotere modules: CS140. Deze modules bevatten een 120 Wp paneel en sluiten qua afmetingen, kostprijs en installatiegemak beter aan bij wat grotere platte dakoppervlakten zoals (rij)woningen en appartementen. Uiteindelijk leidt het project tot een PV-concept met volledig geïntegreerde modules in 2 verschillende maatvoeringen. Deze Compact Solar 2.0 modules onderscheiden zich door hun lage gewicht, snelle en eenvoudige installatie en esthetiek.



Afbeelding 3: Een van de eerste pilotinstallaties van het CS55 systeem.

Projectpartners

Gedurende de looptijd van dit project is er samengewerkt met een aantal bedrijven en instellingen met verschillende specialisaties op het gebied van (innovaties in) elektrotechniek, installatie van zonnepanelen en materiaalonderzoek:

Expice is een gerenommeerd producent van hoogwaardige innovatieve elektronica, heeft al 30 jaar ervaring met de ontwikkeling en productie van vermogenselektronica en richt zich binnen dit project op de ontwikkeling van convertertechnologie waarmee het CS55 systeem intelligent wordt geschakeld. Expice is na afloop van het project beoogd leverancier van de ontwikkelde convertertechnologie.

Heliox richt zich op ontwikkeling, ontwerp en productie van high performance power elektronica en is vooral actief in de professionele en high-end consumenten markt. Recent heeft Heliox een micro omvormer voor PV panelen ontwikkeld welke reeds beschikbaar is op de markt. Binnen dit project is Heliox medeontwikkelaar van de elektronica.

Automatic Electric Europe (AEE) is specialist in het ontwikkelen en produceren van klantspecifieke transformatoren. Ook assembleren ze complete installaties voor een verscheidenheid aan klanten in diverse segmenten. AEE is de voorziene leverancier van de intelligente interconnectie. Daarnaast voeren zij in de beginfase de assemblage van de modules uit.

Ruiter is de grootste producent van dakkapellen in Nederland. Zij zien het Compact Solar systeem vanwege de modulariteit, het lage gewicht en de plug and play installatie als mogelijk waardevolle toevoeging aan hun product. Hun deelname aan het project onderbouwt de commerciële potentie van Compact Solar. Binnen het project zal Ruiter als klant zijn eisen en wensen inbrengen voor de fysieke plaatsing van het Compact Solar systeem op hun dakkapellen. Ook brengen zij hun eisen in m.b.t. de inpasbaarheid van Compact Solar in hun productieproces. Tot slot zal Ruiter meerdere prototype dakkapellen met Compact Solar systeem bouwen, plaatsen en testen.

New Solar Energy Solutions (NSES) levert en installeert zonne-energie systemen aan zowel de particuliere als zakelijke markt. Ze zien Compact Solar als een interessante potentiële aanvulling op hun productenportfolio, waarmee ze een groep klanten kunnen bedienen waaraan ze nu geen goede oplossing kunnen bieden. Omdat NSES exact weet wat er belangrijk is bij het installeren van PV systemen, leveren zij kritische input met betrekking tot het ontwerp van het CS systeem, met name waar het gaat om geoptimaliseerde installatie. Verder hebben zij een aantal pilotsystemen, die in dit project ontwikkeld zijn, geïnstalleerd en getest.

De 'Structural Integrity and Composites group' (SI&C) is onderdeel van de faculteit Luchtvaart en Ruimtevaart Techniek van TU Delft. Het project CS 2.0 is voor TU Delft een aanvulling op een van de onderzoekspijlers van SI&C:

levensduurkarakteristieken. SI&C heeft een uitgebreid track record op het gebied van de ontwikkeling van nieuwe materiaalconcepten en bij het ondersteunen van onderzoek om de industrie te helpen om de materialen te vinden voor allerlei toepassingen. Voor de projectpartners is de uitgebreide expertise over lijmverbindingen en materialen van TU Delft van groot belang, omdat de levensduurkarakteristieken van de lijmverbinding en materialen essentieel zijn voor de levensduur van het Compact Solar systeem en daarmee voor het succes op zowel korte als lange termijn.

Huiberts en Keller maximaliseert de commerciële waarde van duurzame innovaties en helpt ondernemers om snel en succesvol een innovatie naar de markt te brengen. Voor dit project onderhouden zij contact tussen projectdeelnemers en met derde partijen, daarnaast houden ze alle organisatorische projectadministratie bij.

Onderzoeksvragen

1. Welke combinatie van materiaalkeuze en ontwerp zorgt voor een optimale balans tussen kostenefficiëntie, levensduurkarakteristieken en assemblage- en installatiegemak?

- Aerodynamische eisen ontwerp met betrekking tot windbelasting
- Ontwerp faciliteert snelle installatie en assemblage
- Materialen bestendig tegen vocht en UV-straling voor een minimale periode van 20 jaar

2. Welke systeemarchitectuur zorgt voor de beste balans tussen kosten en performance?

- Ontwikkeling robuuste en efficiënte convertertechnologie voor CS55
- Ontwikkeling robuuste en efficiënte convertertechnologie voor CS140
- Efficiënte aansluiting overige systeemcomponenten op converter/micro-omvormer technologie
- Ontwikkeling intelligente interconnectie met minimale overdrachtsverliezen

3. Hoe kan het materiaalgebruik in het montagesysteem geminimaliseerd en installatiegemak gemaximaliseerd worden met behoud van sterke (lijm)verbinding en goede duurkarakteristieken?

- Juiste lijmkeuze voor diverse soorten dakbedekking
- Juiste match tussen lijmmoppervlakten, lijm en omgevingsfactoren
- Minimalisatie van aantal componenten montagesysteem

4. Hoe kan de optimale (fysieke) integratie van afzonderlijke componenten gerealiseerd worden?

- Realiseren van fysiek ontwerp waarbij alle onderdelen gemakkelijk geassembleerd kunnen worden in een geïntegreerde module

- Bouwen, demonstreren werking en testen performance en duurkarakteristieken van prototype op systeemniveau

5. Presteert het Compact Solar systeem in haar operationele omgeving zoals verwacht?

- Validatie ontwerp modulehouder in operationele omgeving
- Validatie montagesysteem en installatiegemak in operationele omgeving
- Validatie systeem performance in operationele omgeving

Doelstelling

Ontwikkelen, testen en demonstreren van een volledig geïntegreerd (zonnepanelen, omvormer, onderconstructie en interconnectie), klein, kostenefficiënt, duurzaam, lichtgewicht en esthetisch modulair PV-systeem voor vlakke residentiële- en utiliteitsdaken.

Werkwijze

Door het project op te delen in vijf onderzoeksvragen en die vervolgens te vertalen naar vijf werkpakketten is er een stappenplan met een logisch verloop neergezet. De werkpakketten zijn opgedeeld in te behalen deelresultaten die zijn toegewezen aan één of meerdere deelnemende partijen. Door regelmatige meetings met alle deelnemende partijen te organiseren kon de voortgang met elkaar afgestemd worden. Het opzetten van onderzoeksvragen met betrekking tot levensduur van materialen en eigenschappen van lijmproducten heeft geresulteerd in de door TU Delft uitgevoerde experimenten. De ontwikkelde productconcepten zijn door Expice, Heliox, AEE en Compact Solar opgeleverd als een aantal fysieke producten, die zijn onderzocht en beoordeeld op hun functioneren.

Er is voor een aantal onderdelen uitstel aangevraagd, onder andere in verband met vertraging door de Coronacrisis en doordat de ontwikkelde converters in de praktijk niet goed functioneerden in combinatie met meerdere merken omvormers. Enkele deelvragen zijn komen te vervallen; inductieve koppeling bleek niet haalbaar, EMC-testen bleken niet binnen de scope van dit project te vallen dus deze zijn op eigen gelegenheid uitgevoerd en het ontwikkelen van micro-omvormers is vervangen voor het ontwikkelen van step-up converters. Verder zijn, op een enkele wijziging na, de deelresultaten grotendeels behaald en opgeleverd zoals verwacht.

Resultaten

WP1: Modulehouder

Onderzoek productiemethode en materiaal modulehouders

Er is voor werkpakket 1 een onderzoek gedaan naar de benodigde materiaaleigenschappen en productiemethodes behorende bij de nieuwe modulehouders, met als doel om te beoordelen of er materialen of verwerkingsmethodes bestaan die geschikt zijn voor het CS systeem. De houders moeten onder invloed van diverse weersomstandigheden meer dan 20 jaar voldoende intact blijven om hun functie te vervullen. Zodoende is er door TU Delft onderzoek gedaan naar de duurkenmerken van diverse kunststoffen. Daarnaast is door Compact Solar onderzoek gedaan naar de best passende productiemethode. Hieruit is gebleken dat het thermovormen van zwart HDPE de beste optie is voor een kostenefficiënt, bestendig product bij de beoogde eerste oplages.

Optimalisatie ontwerp modulehouders

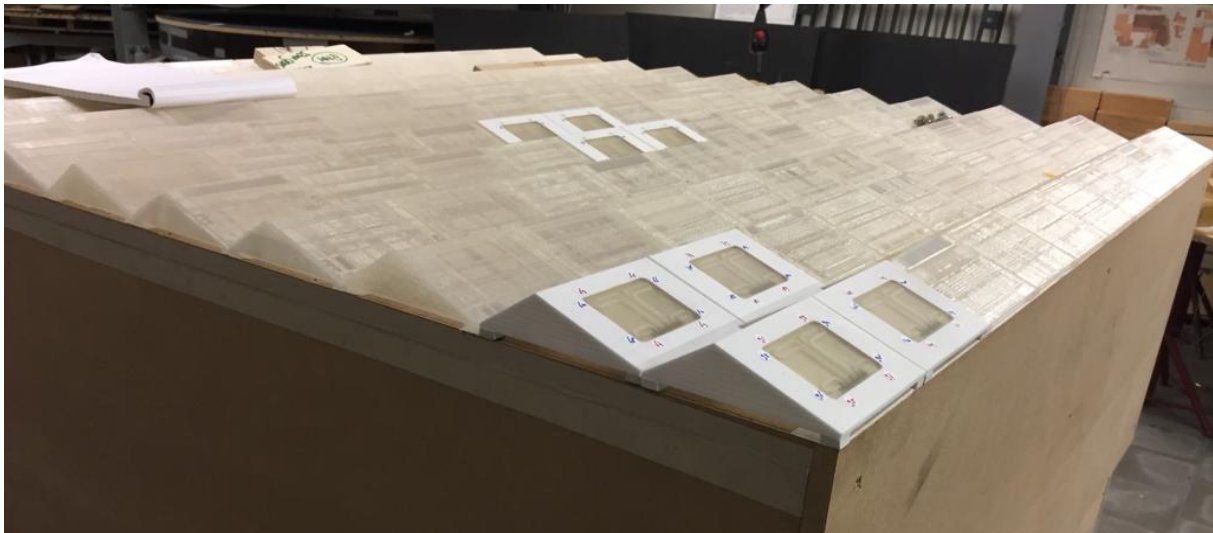
In werkpakket 1 is verder onderzocht hoe het ontwerp van de modulehouders nog te verbeteren is. Het doel hierbij was om de assemblage, installatie en het onderhoud te vergemakkelijken. Daarnaast speelde de vormgeving een rol. Er zijn voor werkpakket 4 een aantal alternatieve versies van het montagesysteem bedacht en getest, onder andere een kliksysteem voor het bevestigen van modules aan de profielen op het dakoppervlak (*afbeelding 4*). Hier is een uiteindelijke versie uitgekomen voor zowel de CS140 als de CS55 modules die met kleine aanpassingen van de mallen gemakkelijk te produceren is. Ook zijn er wijzigingen in het freesproces voorgesteld, bijvoorbeeld om de ventilatie en het kabelmanagement beter te laten verlopen.



Afbeelding 4: prototype van een 'kliksysteem' voor de CS55 modules.

Windtunneltesten

Er zijn windtunneltesten uitgevoerd bij laboratorium voor windtechnologie Peutz om de aerodynamica, winddruk en windbelasting van het Compact Solar systeem bij plaatsing op daken van diverse hoogten te bepalen. Hiermee is een rekenmodel opgesteld waarmee bekeken kan worden of de beoogde verbindingen met het dakmateriaal en de montagematerialen sterk genoeg zijn. De windtunneltest is alleen uitgevoerd voor het CS140 systeem; met het CS55 systeem is al een windtunneltest uitgevoerd vóór het begin van dit project. Er zijn geen significante wijzigingen in het ontwerp die het noodzakelijk zouden maken om de windtunneltest opnieuw uit te voeren voor de CS55 modules. De testrapporten tonen aan dat het ontwerp van zowel de CS55 als van de CS140 modules en de beoogde onderconstructie en montagewijzen voldoen aan de geldende eisen met betrekking tot windbelasting.



Afbeelding 5: model voor windtunneltesten van de CS140 modules.

WP2: Systeemarchitectuur

Onderzoek en ontwerp

In dit werkpakket is onderzocht wat de best passende systeemarchitectuur voor het CS55 en CS140 systeem is. Leidend hierin was de wens voor optimaal installatiegemak door systeemintegratie tegen concurrerende systeemkosten. Voor zowel CS55 als CS140 zijn een aantal mogelijke oplossingsrichtingen onderzocht. Voor de CS55 is vrijwel direct gekozen voor het ontwikkelen van een step-up converter. Voor de CS140 is eerst het ontwikkelen van micro-omvormertechnologie overwogen, dit is echter door de beoogde toepassing van het systeem, de geringe toegevoegde waarde ten opzichte van reeds verkrijgbare systemen en vanuit kostenoverwegingen niet verder meer uitgewerkt.

Ontwikkeling intelligente interconnectie

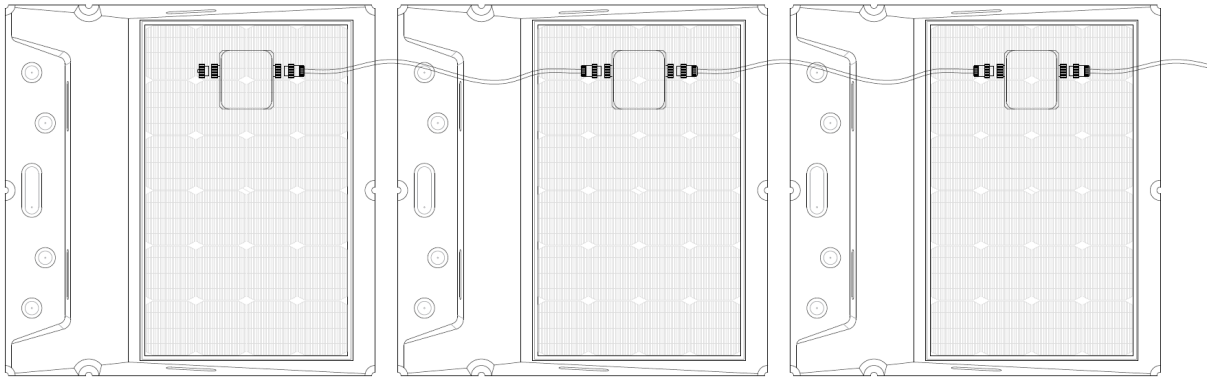
De onderzoeksrichting van inductieve koppeling zou het installatiegemak en de veiligheid aanzienlijk kunnen vergroten. Dit concept is echter niet verder onderzocht omdat de haalbare rendementen bij de benodigde vermogens, beperkingen in ontwerpvrijheid en de hoge kosten een te grote beperking zouden gaan vormen. Ook is er onderzocht of de conversie- of omvormertechnologie opgenomen kan worden in het montagemateriaal, dit brengt echter nodeloos veel complicaties met zich mee en is zodoende ook niet verder onderzocht.



Afbeelding 6: prototype step-up converter van Heliox.

In plaats daarvan is voorlopig gekozen voor een daisy chain principe (afbeelding 7); de outputs van de converters in de string worden als een ketting aan elkaar geregen. Hierbij is met het doorverbinden van de output maar één aanraakveilige en tegen verkeerde installatie beveiligde stekker gemoeid, wat de installatiesnelheid en de veiligheid ten goede komt. In de tijdens dit project ontwikkelde versie moeten de draden die uit de junction box van de panelen komen nog handmatig in de converter worden geplugd en moet de converter zelf nog aan de modulehouder vastgemaakt worden. Bij een volgende versie zou alle techniek – in overleg met de paneelfabrikant – in de junctionbox

opgenomen kunnen worden, waardoor er tijdens installatie alleen nog de handeling met de daisy chain stekker overblijft.

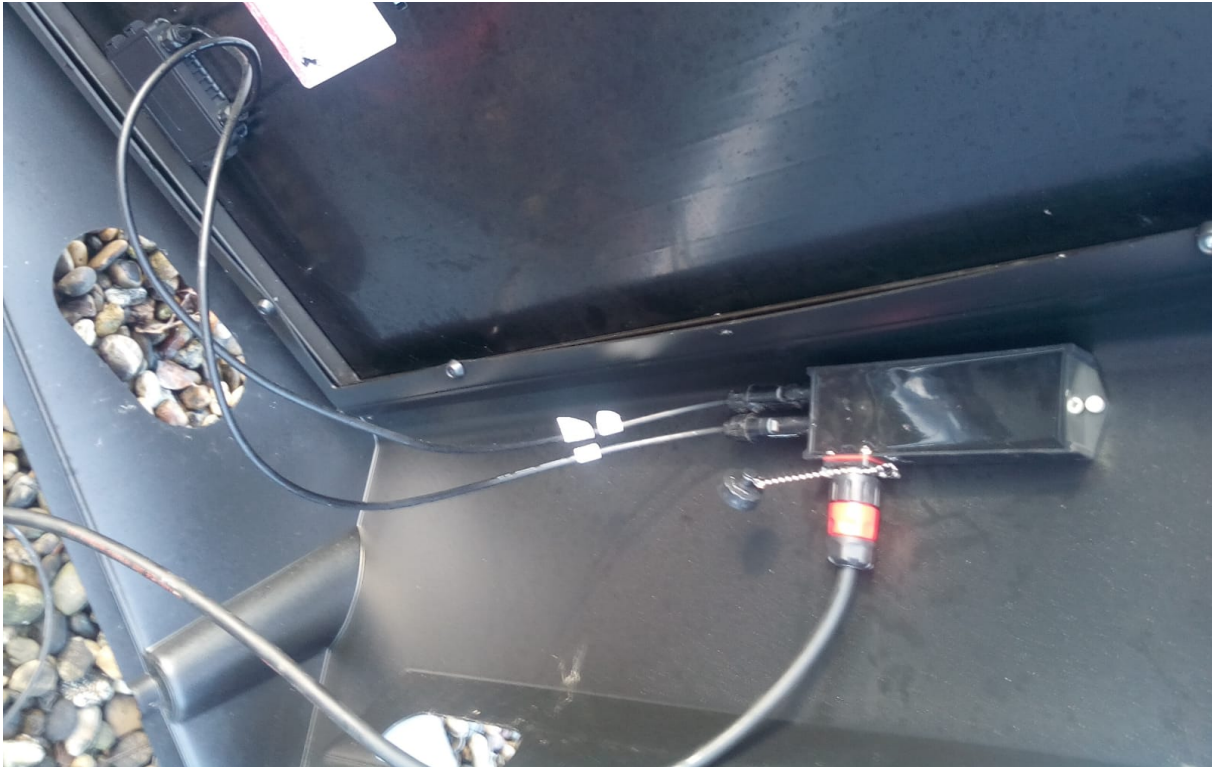


Afbeelding 7: daisy chain principe voor step-up converters bij de CS140 modules.

Ontwikkeling converter

Voor de ontwikkeling van deze innovatieve technologie is een aantal eisen en wensen opgesteld met betrekking tot onder andere gewicht, rendement, logistiek, flexibiliteit, installatiegemak, veiligheid en prijs. Uiteindelijk is er één concept verder doorontwikkeld, namelijk een step-up converter die een hoge outputspanning geeft ongeacht de paneelinput. Deze moet geschikt zijn voor zowel CS55 als CS140 en te gebruiken zijn in combinatie met vele verschillende merken en typen omvormers. Door de parallelschakeling van de modules kan MPP (Maximum Power Point) tracking op systeemniveau worden gedaan. Voor gebruik met CS55 zijn vier modules van 30 Wp nodig op één converter om dezelfde spanning en hetzelfde vermogen te krijgen als een 120 Wp CS140 module. Er is gekozen voor een concept zonder monitoring per converter maar op systeemniveau via de centrale omvormer, omwille van de kosten en omdat het rendement anders omlaag zou gaan.

De uitkomst van dit werkpakket is dat het technisch haalbaar is om de ontwikkelde technologie in de praktijk toe te passen. De convertertechnologie is op dit moment nog te duur is voor gebruik in grote utiliteitsprojecten, maar er kan voor particuliere opdrachten wel binnen de gestelde eisen worden gebleven.



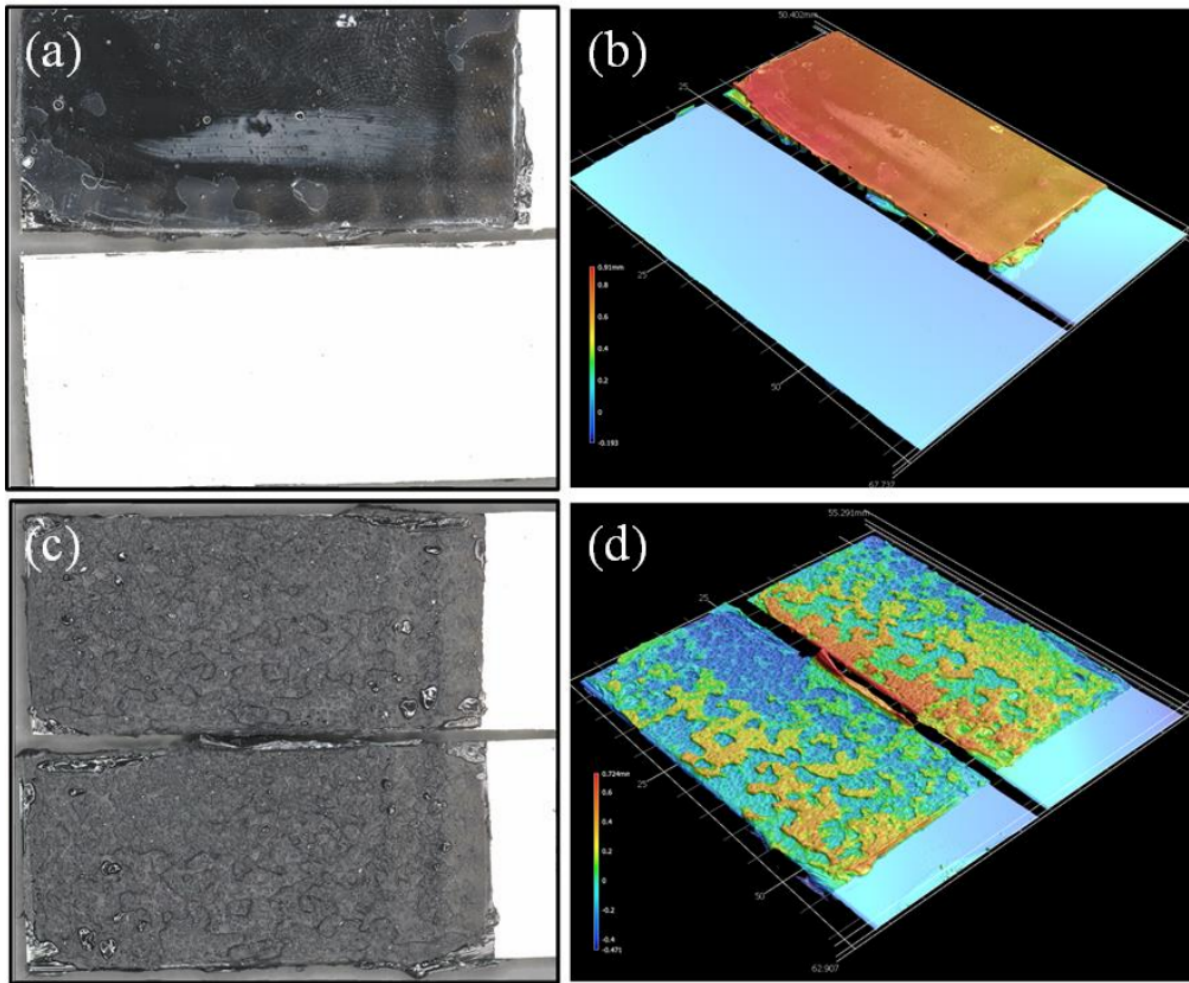
Afbeelding 8: prototype step-up converter van Expice gemonteerd op een CS140 module.

WP3: Bevestigingssysteem

Onderzoek naar verbindingstechniek

De eerste experimentele prototypes van de CS55 modules zijn mechanisch verbonden aan voetjes die bestaan uit een aantal componenten, waaronder een ABS plaatje. Het ABS plaatje is op zijn beurt weer aan het dakmateriaal verlijmd. Voor de CS140 modules wordt er een aluminium profiel op het dakmateriaal gelijmd. Er was door Compact Solar al theoretisch onderzoek verricht naar diverse lijmsoorten en in de initiële opzet zijn er een aantal lijmen gebruikt die de krachten die met de windtunneltest zijn gemeten vrij gemakkelijk kunnen weerstaan.

Er is echter door de TU Delft meer onderzoek verricht naar de duurkarakteristieken van lijmverbindingen, op diverse ondergronden en in combinatie met diverse soorten kunststof en metaal ten behoeve van het montagemateriaal. Ook is mogelijke voorbehandeling van het dakmateriaal aan bod gekomen, zoals behandeling met primers, door schuren of met UV-licht. Dit alles heeft plaatsgevonden met zowel natuurlijk in de buitenlucht verouderde proefstukken als door gebruik te maken van klimaatkasten en accelerated lifetime testen. Uit dit onderzoek blijkt dat de sterkte en levensduur van de lijmverbindingen ten goede te beïnvloeden zijn tijdens montage, door gebruik te maken van de juiste materialen en verschillende technieken op verschillende ondergronden.



Afbeelding 9: Optische microscoop- en 3D-afbeeldingen van onbehandelde (a-b) en 10 minuten met UV behandelde (c-d) door middel van MS polymeer verlijmd ABS plaatjes na trekproeven.

Ontwikkeling montagesysteem

Er zijn verschillende brainstormsessies gewijd aan het verbeteren van het concept van Compact Solar. Eén van de conceptringen die uiteindelijk in meer detail is onderzocht is een kliksysteem, zoals weergegeven in afbeelding 10. De modules worden hierbij met gebogen strips in een profiel geklikt. Dit concept is echter om verschillende redenen als onpraktisch bestempeld. Omdat er geen verbetering van het totaalplaatje van gemak, kostenbesparing en gewichtsreductie mee verkregen kon worden, is deze richting na een kleine installatie met enkele prototypes niet verder verkend.



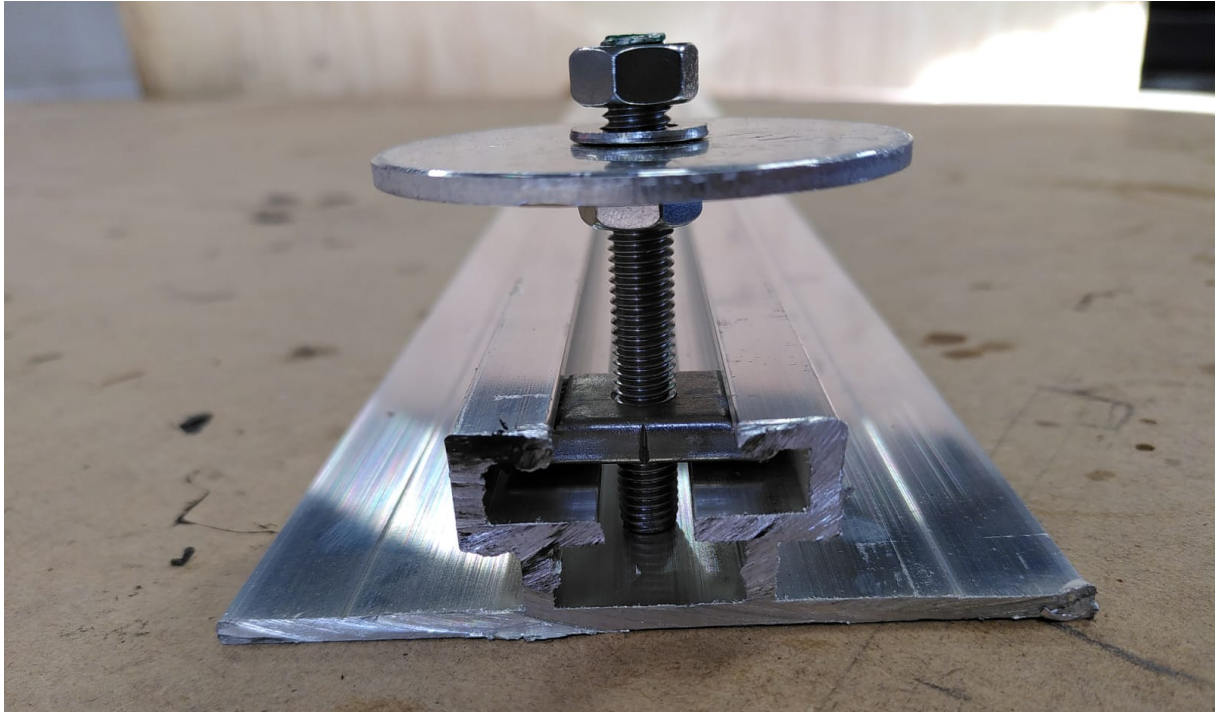
Afbeelding 10: testversie van een CS55 module met klikelementen.

Bij de prototypes van de CS55 zijn de modules mechanisch aan voetjes bevestigd, die stuk voor stuk op het dak verlijmd zijn. Elk voetje is opgebouwd uit een ABS plaatje, opvulling van gerecycled rubbermateriaal en een HDPE afdekkap die met een bout, ring en moer verbonden zijn. Hiermee bestaat elk voetje uit zes componenten, wat zowel qua kosten als installatiegemak geen optimale oplossing biedt (zie afbeelding 11).



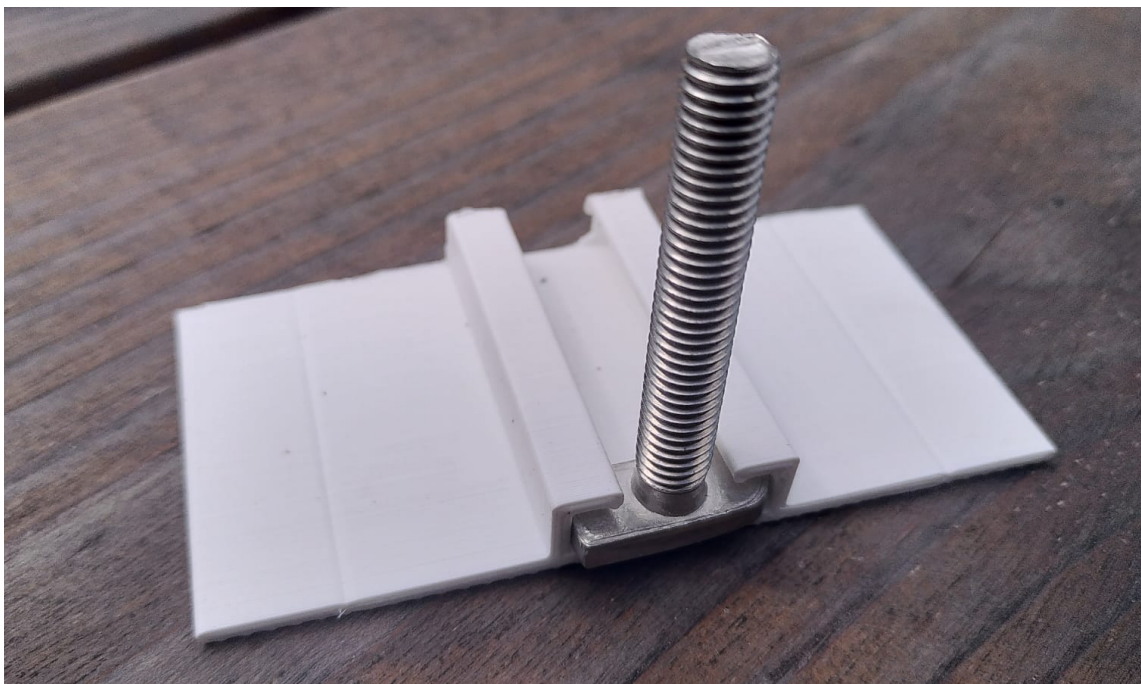
Afbeelding 11: componenten initiële montagesysteem CS55.

Ook voor de montage van de CS140 modules geldt dat de initiële wijze van monteren vatbaar is voor verbetering. Bij de eerste versie werd het aluminium profiel gelijmd op het dakmateriaal, waarna een excentrische plaatmoer, een draadeind, twee moeren en twee ringen nodig zijn om de module te bevestigen (zie afbeelding 12). Compact Solar heeft mogelijke verbeteringen in het huidige ontwerp onderzocht, hierbij kijkend naar kosten, gewicht en installatiegemak.



Afbeelding 12: componenten initiële montagesysteem CS140.

Het concept van verlijmen van aluminium profielen op het dak is voor de CS140 modules al succesvol gebleken wat betreft montagegemak. Zo kunnen er in één handeling meerdere modules in een rechte lijn geplaatst worden. Nadat er met verschillende modellen gerekend is, kwam er één optie naar voren die aan alle eisen voldeed en een significante besparing in kosten en gewicht opleverde ten opzichte van de initiële montagewijzen (tabel 1). Er is een kunststof model vervaardigd met een 3D-printer, zoals te zien op afbeelding 13. Er zijn verschillende montagematerialen getest en er is besloten om dit model in een testoplage te laten vervaardigen van aluminium om proefopstellingen mee te maken.



Afbeelding 13: kunststof model van het CS 2.0 model profiel met een hamerkopbout.

	CS55	CS140
Besparing kosten	12,8%	37,1%
Besparing gewicht	40,8%	47,8%

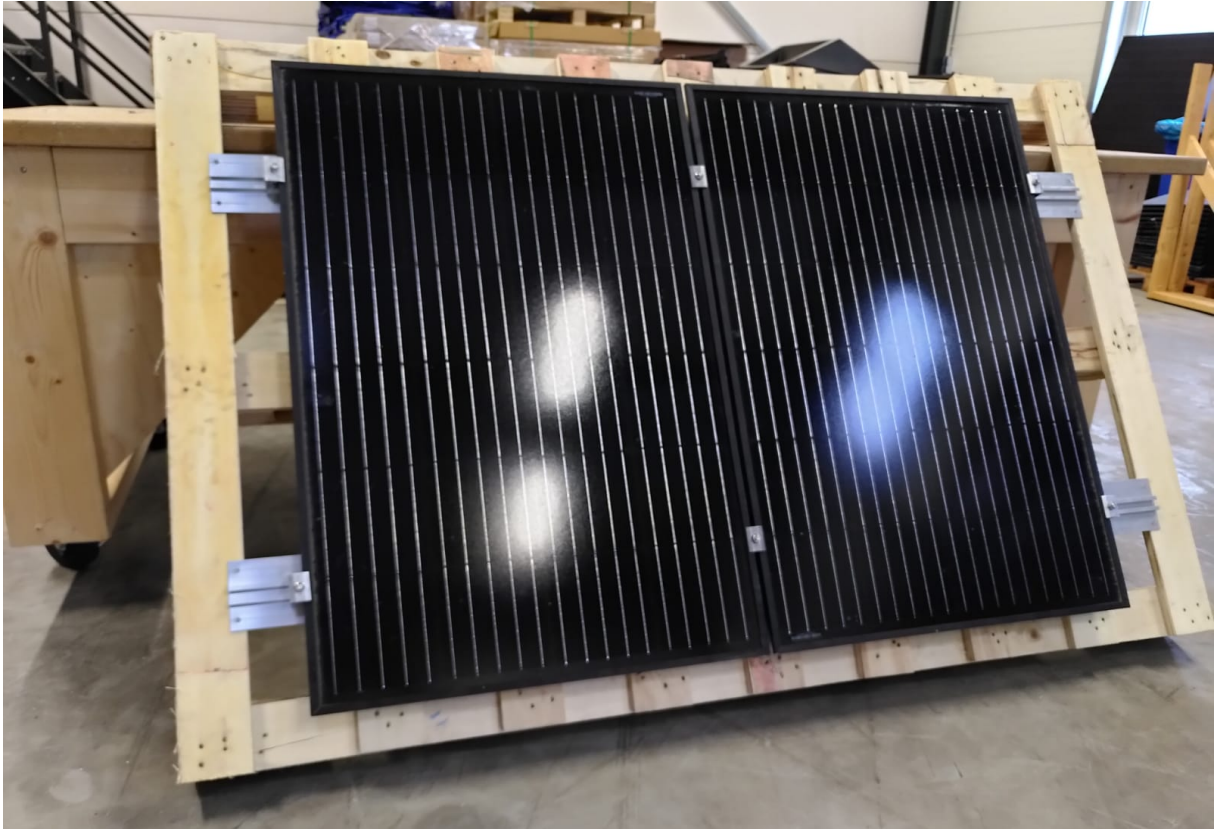
Tabel 1: Kosten- en gewichtsbesparing van het nieuwe ontwerp montagesysteem.

De uitkomst van deze test is dat de assemblage- en montagetijd ook verkort wordt, zeker bij toepassing voor de CS55 modules omdat niet elke paneelhoek meer afzonderlijk op het dak uitgemeten en gelijmd hoeft te worden.



Afbeelding 14: test met nieuwe aluminium profielen met zowel CS140 als handmatig aangepaste CS55 modules.

Een wens bij het ontwikkelen van een nieuw montagesysteem was dat er ook 'standaard' zonnepanelen met aluminium frame mee gemonteerd kunnen worden. De mogelijkheden hiervoor zijn kort onderzocht, zoals weergegeven in afbeelding 15. De meest waarschijnlijke toepassing bij montage van standaard panelen is dat de aluminium profielen op metalen trapeziumvormige dakplaten geschroefd zullen worden, met zelftappende schroeven. Om dit geheel waterdicht te maken zal er nog EPDM-tape aan de onderkant van het profiel geplakt moeten worden.



Afbeelding 15: resultaat van onderzoek naar toepassing van alternatief railsysteem voor 'standaard' zonnepanelen.

WP4: Systeemintegratie

Fysieke integratie

In deze taak komen de eerste 3 werkpakketten fysiek bij elkaar. Het ontwerp van de step-up converters en de onderdelen voor de elektronische doorverbinding zijn afgestemd met het ontwerp van de module-houders. De afzonderlijke componenten moeten nog zodanig ontworpen worden dat ze tijdens assembleren eenvoudig en snel in de modulehouder aangebracht kunnen worden, waarmee zelfs automatisch de elektrische doorverbinding van de afzonderlijke onderdelen kan worden gerealiseerd, dit is in dit project echter nog niet gerealiseerd.

Prototyping systeem

Als resultaat van werkpakket 4 is gekozen voor het uitvoeren van praktijktesten van de verschillende ontwikkelde systemen. Het doel is om de technische werking en performance op systeemniveau in de operationele omgeving aan te tonen. Er zijn enkele proeven gedaan met het installeren van nieuwe montagesystemen op verschillende typen dakbedekking, waaronder bitumen, PVC en op balken op hijsogen bij prefab dakkapellen van Ruiters (afbeelding 16). Ook is de werking van de ontwikkelde step-up converters onderzocht. Ervaringen tijdens de opbouw van de prototypes en uitkomsten van de testen kunnen worden gebruikt voor verdere optimalisatie van het systeem voor de realisatie van een definitief ontwerp.

De ontwikkelde montagesystemen zijn meermaals in de praktijk getest en aan de hand van bevindingen tijdens montage en assemblage aangepast en toegespitst op het beoogde gebruik.



Afbeelding 16: onderzoek naar de toepassing van verschillende nieuwe vormen van onderconstructie op PVC dakbedekking.

Bij het testen van de verschillende step-up converters zijn zowel de CS55 als de CS140 modules gebruikt, in combinatie met omvormers van een aantal verscheidene merken. Voor werkpakket 5 zijn de ontwikkelde prototypes in de laatste testopstelling vier maanden lang getest, waarna de meetgegevens zijn geëxtrapoleerd naar een verwachte jaaropbrengst. Er zijn ook testen uitgevoerd om de invloed van schaduw op de werking van het totale systeem weer te geven (afbeelding 17).



Afbeelding 17: Schaduwtesten van de CS55 modules met step-up converters op de testlocatie in Lelystad.

WP5: Pilots en testen

Testen en CE markering

Er was CE-markering nodig om de pilotinstallaties van werkpakket 5 te kunnen installeren. Om aan de CE-eisen te voldoen is een EMC (Elektro Magnetische Compatibiliteit) verklaring nodig. Omdat EMC-testen niet subsidiabel zijn en daarmee buiten de scope van dit project vallen, zijn deze op eigen gelegenheid uitgevoerd en is er vervolgens toch een CE-conformiteitsverklaring verkregen.

Opzetten en installeren pilotprojecten

Om de werking van het totale ontwikkelde systeem te meten en om de montage- en installatietijd te valideren zijn er een aantal pilotprojecten geïnstalleerd bij klanten. Deze projecten zijn op diverse wijzen geplaatst (profielen direct verlijmd aan het dakmateriaal, verlijmd op tegels bij wijze van ballast, geschroefd) op een variëteit aan dakbedekkingen (bitumen, PVC, EPDM) en met diverse systeemafmetingen (afbeelding 18).



Afbeelding 18: Pilotproject met CS140 modules geïnstalleerd bij een klant.

De prototype systemen op de testlocatie in Lelystad zijn de belangrijkste pilot systemen voor het meten van de prestaties van de converters. Hier zijn ook de testen gedaan met partiële schaduw. Bij de overige pilotsystemen worden de converters niet toegepast omdat er binnen het project geen budget meer beschikbaar was om nog tientallen converters te bouwen. Hier is vooral gekeken naar de prestaties van het montagesysteem en de modulehouders zelf.

Performancetesten

De assemblageduur van zowel de CS55 als de CS140 modules is bijgehouden tijdens het vervaardigingsproces. Ook is voor beide types de tijd bijgehouden die het gehele installatieproces in beslag nam. Voor een realistisch beeld van de duur van een installatie zoals deze bij een klant plaatsvindt is er ook inclusief de benodigde tijd voor logistiek, bekabeling en monitoring gerekend.

Voor assemblage van zowel de CS55 als de CS140 modules blijkt dat het samenstellen van een grotere partij tegelijkertijd gunstiger is; de gemiddelde tijd per module is dan korter. Dit komt grotendeels omdat het klaarzetten van spullen en gereedschappen een éénmalige tijdsinvestering is die gedaan moet worden ongeacht de grootte van de partij. Daarnaast blijkt dat de gemiddelde tijd per module lager ligt voor de CS140 modules. Mede omdat er van de CS55 modules vier nodig zijn om hetzelfde vermogen te halen als één CS140 module, valt het deel van de uit arbeid afkomstige kosten hoger uit voor de CS55 modules.

Bij de installatietijden is een zelfde trend waarneembaar: grotere oplages betekenen een lagere gemiddelde installatietijd per paneel. Het verschil tussen de tijdsinvestering per Wattpiek voor een CS55 en een CS140 module is minder groot dan bij assemblage, maar de CS55 modules vragen nog steeds een significant hogere input. Dat komt voornamelijk door de hoeveelheid handelingen die bij installatie uitgevoerd moet worden om het zelfde vermogen te plaatsen.

De conclusies van werkpakket 5 zijn dat de functionaliteit van de modulehouders verbeterd is op het gebied van hanteerbaarheid, bereikbaarheid, ventilatie, afwatering, kabelmanagement en assemblagetijd. De installatietijden van het nieuwe montagesysteem zijn significant korter geworden ten opzichte van het oude systeem door een kleiner aantal onderdelen en eenvoudigere montagewijze. De prestaties in termen van opwekking van vermogen zijn gedurende de looptijd van dit project verhoogd.

De werking van het totale systeem op de lange termijn zal gemonitord blijven worden door de proefopstellingen regelmatig te bezoeken en door de omvormerdata te analyseren. Vooralsnog is er geen reden om aan te nemen dat het CS2.0 systeem onderdoet voor reguliere systemen en dat de beoogde levensduur en de opbrengsten gehaald zullen worden.

Mogelijkheden spin-off en vervolgactiviteiten

De resultaten van dit project zijn veelbelovend en de innoverende eindproducten zullen door een aantal van de deelnemende partijen op de markt gebracht kunnen gaan worden. Er is echter nog niet aan alle van te voren opgestelde behoeften voldaan. Gezien de samenhang tussen de eerste vier werkpakketten, de wensen die binnen de grenzen van dit project niet haalbaar zijn gebleken en de ontwikkelingen in de markt zijn er nog enkele iteraties en aanpassingen voorzien, voordat er een definitief ontwerp op systeemniveau dat nog meer lijkt op het beoogde product gereed zal zijn voor verkoop.

Het concept van doe-het-zelfpakketten is een richting die verder verkend kan gaan worden. Het Compact Solar concept zou erg geschikt kunnen zijn om een markt van handige mensen aan te spreken en de participatie aan de energietransitie te vergroten. Er zijn al enkele proefprojecten gedaan waarbij klanten alle benodigdheden opgestuurd kregen en met een handleiding erbij zelf de installatie succesvol hebben uitgevoerd, maar om nog meer mensen hiervoor in aanmerking te laten komen kan het concept misschien nog eenvoudiger gemaakt worden.

Daarnaast is het denkbaar dat er een haalbaarheidsstudie voor een vergelijkbaar innovatief systeem voor standaard formaat panelen gestart zou kunnen worden. Het blijft zaak om ontwikkelingen in de branche te volgen en

de producten aan te passen als de markt dat vereist. Zo zal met name het deel van de interne elektronica en de output van de PV-panelen continu om verbetering blijven vragen. Er zal op het gebied van bredere naamsbekendheid en schaalvergroting ook een hoop gewonnen kunnen worden.

Bijdrage aan de doelstellingen van de regeling

Dit project draagt bij aan de doelstellingen van de regeling door zich te richten op de realisatie van additionele productie van duurzame energie door kleinschalige (<15kWp) PV-systemen. Uit een in 2014 door GfK in opdracht van Milieu Centraal uitgevoerd onderzoek, blijkt dat 20% van de respondenten als reden om (waarschijnlijk) niet over te gaan op de aanschaf van zonnepanelen noemt dat hun dak niet geschikt is. 8% van de respondenten geeft aan zonnepanelen ronduit lelijk te vinden. Deze cijfers worden ondersteund door de praktijkervaringen van NSES en Ruiters. Vanwege eerder genoemde oorzaken (afmetingen, gewicht, esthetiek) hebben zij op dit moment nog geen PV-systeem geïnstalleerd, terwijl ze dat wel graag zouden willen.

Compact Solar onderscheidt zich van reguliere PV-systemen door een lager gewicht per vierkante meter, kleinere afmetingen en een aerodynamische en esthetische vormgeving. Door deze eigenschappen maakt Compact Solar zonne-energie toegankelijk voor doelgroepen en dakoppervlakten waarvoor eerder nog geen passende oplossing voorhanden was. Zo leidt dit project tot een verbreding van de toepassingsmogelijkheden van PV-systemen en daarmee tot additionele duurzame energieproductie, waarmee een bijdrage geleverd wordt aan het behalen van de klimaatdoelstellingen en het verduurzamen van de energiesector.

Publicaties

De binnen het project gegenereerde kennis is binnen het consortium gedeeld tijdens de reguliere projectbesprekingen. Niet vertrouwelijke resultaten en opgedane kennis worden buiten het project gedeeld door onder andere publicatie van onderzoeksresultaten door TU Delft in passende wetenschappelijke tijdschriften en op internationale wetenschappelijke conferenties, presentatie van het Compact Solar systeem op conferenties en beurzen (zoals EU PVSEC, Silicon PV, Solar Solutions en Intersolar Europe) en door het openstellen van pilotlocaties voor installateurs en andere geïnteresseerden.

Er zijn gedurende de looptijd van dit project een aantal vertrouwelijke publicaties verschenen. Dit zijn, onder andere, de notulen van alle meetings, meetwaarden van pilotinstallaties, voorlopige rapporten van het hechtingsinstituut van de TU Delft, rapporten van de windtunneltesten van Peutz en rapporten van onderzoek naar en ontwikkeling van onderconstructie en elektrische schakelingen.

Het Hechtingsinstituut van de TU Delft heeft in het kader van dit project een openbaar rapport gepubliceerd. Gedurende de looptijd van dit project zijn er verder – behalve dit verslag – nog geen openbare publicaties verschenen. Om meer inhoudelijke (vertrouwelijke) informatie te verkrijgen kunt u contact opnemen met Compact Solar BV. Aanvragen kunnen worden ingediend per e-mail (info@compactsolar.nl) of per post (Compact Solar BV, Maatlat 21A, 1906 BL Limmen).

Bijlagen

1. Marouen Hamdi and Hans Poulis, “HI 202001: Durability of Bonded Joints Used for Solar Panel Applications, Effect of Natural and Accelerated Ageing”, *Hechtingsinstituut TU Delft*, Augustus 2020