

BUILDING STEP



3 juni 2019

Openbaar eindrapport Building STeP

Building STeP: Building Integrated Solar Thermal and PV

Project TEUE116177

GEGEVENS PROJECT

Projectnummer: TEUE116177

Projecttitel: Building Integrated Solar Thermal and PV: Building STeP

Projectperiode: 1 January 2017 - 15 maart 2019

Penvoerder: HRsolar BV

Medeaanvragers: TNO
SCX Solar BV
TU Eindhoven

Datum van inzending: Juni 2019

Contactpersoon: Robbert van Diemen
robbert@hrsolar.nl

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

INHOUDELIJK EINDRAPPORT

Samenvatting

Nederland moet duurzamer. Het energiegebruik van de gebouwde omgeving bestaat naast elektriciteit voor een groot deel uit warmte. Er zijn verschillende gebouw-geïntegreerde PV producten commercieel te koop, maar nauwelijks geïntegreerde zonnearmsystemen. Een volledig multifunctioneel dak met inpassing van gebouw-geïntegreerde hoog efficiënte zonthermische collectoren in hetzelfde dak als gebouw-geïntegreerde PV met de mogelijkheid voor dakramen of dakkapellen is binnen dit project ontwikkeld.

HRsolar heeft binnen het project Building STeP de nieuwe zonthermische collector Nero ontwikkeld. De Nero is even groot en dik als een standaard grootte zonnepaneel met frame. Vooral de uiteindelijke dikte van de collector, 40 mm, was een uitdaging. De eerste prototypes met verschillen in o.a. coating van de absorber en het glas zijn door de TU/e met een zonn simulator getest. Op basis van deze testresultaten is een definitieve keuze voor het ontwerp gemaakt. Bij elk ontwikkelpunt is rekening gehouden met de uiteindelijke productie van de collector die zoveel mogelijk geautomatiseerd moest worden.

Een verdere uitdaging lag in de plaatsing van de aansluitingen, zodat dit zowel binnen het Soloroof concept past, als makkelijk aan te sluiten is door de installateurs. SCX Solar en HRsolar hebben hierover veelvuldig afgestemd, wat uiteindelijk geresulteerd heeft in de huidige flexibele aansluitingen met aan- en afvoer bovenin de collector.

Op SEAC's testlocatie SolarBEAT is vervolgens een eerste proefopstelling gebouwd, waarin een Velux dakraam, zon-thermische collectoren en PV panelen zijn geïntegreerd in het multifunctionele dak. Dit gaf de gelegenheid om het hele dakconcept qua installatie en performance te testen. De performance van de collectoren en PV panelen is gemeten. De AC performance ratio was ongeveer 80%. De op SolarBEAT gemeten optische efficiëntie van thermische collectoren met dubbelgecoat glas is 0.68. Dit is lager dan de vorige HPC1.6 collector (0.75), wat vooral veroorzaakt wordt door de keuze voor een esthetischere zwartere coating met een lagere absorptie en door vuil op de panelen op Solar BEAT.

Het consortium kijkt terug op een geslaagd project met een mooi resultaat.

Inleiding

De gebouwde omgeving moet duurzamer. De doelen zijn ambitieus. Vanwege de beperkte ruimte in Nederland is de ontwikkeling van kostengunstige gebouwgeïntegreerde zonne-energieproducten, de zogenaamde BIPV&T, wenselijk. Bovendien wordt bij een hoger aandeel zonne-energiesystemen in de gebouwde omgeving, een esthetische en architectonisch verantwoorde integratie steeds belangrijker voor zowel maatschappelijke acceptatie, als voor het marktpotentieel. De verwachting is dat gebouw-geïntegreerde PV (BIPV) in de komende jaren een sterke groeimarkt wordt. De drivers hiervoor zijn naast esthetica, het vervangen van dakfuncties en op den duur kostenbesparing, wanneer volume /afzet voldoende omvang heeft.

In dit project wordt de HPC-1,6¹ collector van HRsolar ontwikkeld en geschikt gemaakt als generieke oplossing voor de markt om te combineren met standaard grootte PV modules, dakramen en dakkapellen. Daarvoor moeten een aantal collectorkarakteristieken veranderd worden. Het uitgangspunt van de innovatieve collector is een even hoge energieprestatie en significant lagere kostprijs van het totaalsysteem.

Doelstelling

Het doel van het project is de verdere ontwikkeling van een generieke dunnere hoog efficiënte zon-thermische collector op PV formaat, zodat een compleet geïntegreerd multifunctioneel BIPV&T dak, inclusief dakramen en dakkapellen opgeleverd kan worden. Het doel is om dezelfde prestatiekarakteristieken als de huidige dikke HPC-1,6 collector te bereiken. Er worden verschillende prototypes gefabriceerd. Deze worden met een zonn simulator gekarakteriseerd. Naar aanleiding van deze resultaten, maar ook andere relevante karakteristieken (zoals kosten, en eenvoudige productie) wordt een keuze gemaakt voor de collector die geïntegreerd gaat worden in het BIPV dak. De collector wordt geïntegreerd in het Soleroof BIPV-concept, maar is ook toepasbaar als generieke collector. Een testopstelling inclusief dakramen wordt in een 'living lab' gerealiseerd en de performance wordt uitgebreid geanalyseerd.

¹ HPC 1.6 staat voor de high performance collector op PV formaat (1.6 m²), wat een stuk kleiner is dan de gebruikelijke collector maat van 2.5 m²

Ontwikkeling van de collector (Werkpakket 2: HRsolar)

HRsolar heeft voor en tijdens het traject uitvoerig marktonderzoek gedaan. Een belangrijke conclusie voor de ontwikkeling was in de beginstadia inpassing, kostprijs en performance. Het doel was om dezelfde prestatie te halen als de toen huidige collector. Gaandeweg het traject is er continue gespiegeld met de markt. Er is daarbij een belangrijk aspect toegevoegd aan het ontwikkeltraject; esthetiek. Dit is uiteindelijk de basis geworden voor de gehele verder ontwikkeling een vierhoek verhouding tussen inpassing, kostprijs, performance en esthetiek.

Het esthetische component is uiteindelijk een doorslaggevende marktindicator geworden voor de uiteindelijke keuzes in concept en materialen. Er is gekozen voor een formaat van 1640x990x40mm de beste compromis oplossing. Hierdoor is er een complete herontwikkeling van bijna alles wat een collector omvat. Naast de dikte waren ook de aansluitingen ingewikkeld. Er is gekozen om de aansluitingen plug & play te maken en te positioneren op de plaatst waar normaliter de junction-box van PV panelen zitten. Op deze manier is de collector generiek inpasbaar in het Soloroof HE dakconcept van SCX solar en met opdak situaties. Daarnaast is gewerkt met dunne materialen, zodat het gewicht van de collector onder de 25 kg bleef in verband met de ARBO.

Door het dunne ontwerp van de collector was al vroeg in het traject duidelijk dat er gebruik gemaakt moest worden van edelgas aan de voorkant van de collector. Dit gas werkt als isolator en heft de verminderde prestatie door het sterk reduceren van isolatie onder de collector (deels) op. Ander argument om de collector gasgevuld te maken was het esthetische component

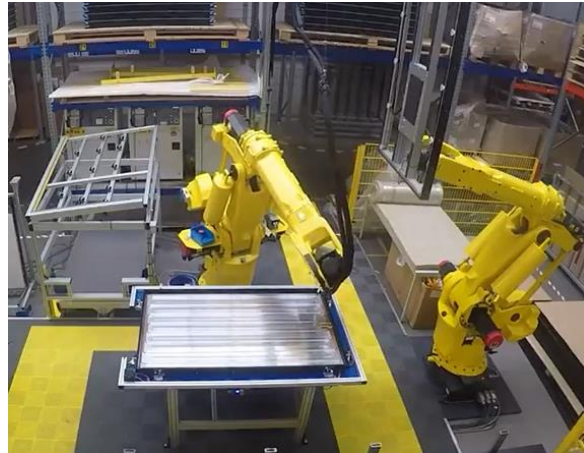
Ten slotte het glas. Er is getest met enkel en dubbel gecoat glas. Het nadeel van dubbel gecoat glas is dat bij lucht geventileerde collectoren glaserosie aan de binnenkant kan optreden waardoor de collectoren een grijze uitstraling krijgen. Voordeel is de performance. Omdat de collector gasgevuld is zal het nadeel er niet zijn. Er is daarom voor de prototypes getest met zowel enkel als dubbel gecoat glas.



Figuur 1 Nieuw collectorontwerp

Bij elk ontwikkelpunt is rekening gehouden met de uiteindelijke productie van de collector welke zover als mogelijk geautomatiseerd moet gebeuren. Hierdoor kunnen kosten worden gedrukt en

repeteerbare kwaliteit worden behaald. Het productieproces liep hierdoor behoorlijk parallel aan het ontwikkelproces..



Figuur 2 Geautomatiseerde productie

Op basis van bovenstaande parameters en keuzes zijn er diverse prototypes ontwikkeld om met name de prestatie te kunnen meten ten opzichte van de benchmark. Uit de beste opties zijn prototypes gemaakt voor labtesten door TNO en TUE. Deze verschilden in absorbercoating.

De keuze voor de juiste prototypes zijn uiteindelijk niet alleen gebaseerd op performance maar ook op kostprijs, kwaliteit, productiehaalbaarheid en esthetiek. Hierbij is door HRsolar toch wel een verrassende keuze gemaakt. Uit de diverse labtesten kwam duidelijk naar voren welke maatregelen welke impact op de performance hadden. Met name de absorber-coating was hierbij bepalend naast dat er overtuiging was voor de gasvulling. HRsolar heeft uiteindelijk na spiegeling met de marktvraag gekozen om esthetiek boven de performance te plaatsen. Er is gekozen voor de zwartere maar minder presterende coating. Een keuze welke lastig was vanuit alle betrokken partijen, maar uiteindelijk gekozen omdat deze variant meeste marktpotentieel heeft.

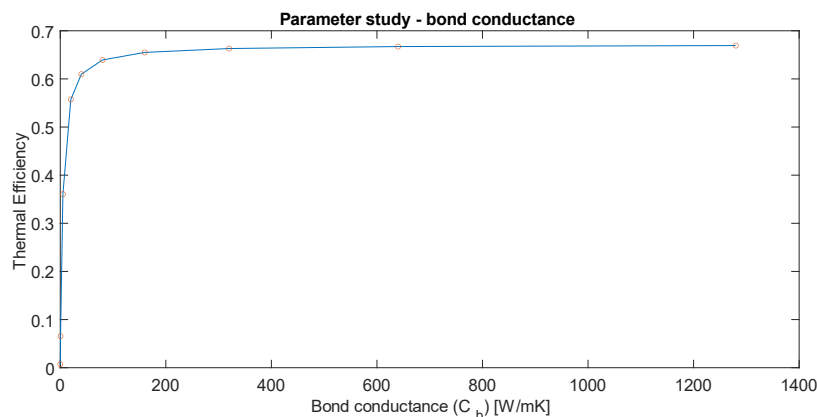
Een belangrijk aandachtspunt was het montage-gemak: de collector moet eenvoudig aan te sluiten zijn en op een soortgelijke methode te plaatsen als reguliere PV-panelen: van bovenaf in het montagesysteem leggen, waarbij de te koppelen leidingen op moment van plaatsen, aangesloten worden; dit verlangt een iets langere en flexibele leiding waarbij de collector omhoog gehouden kan worden tijdens het koppelen van de leidingen. Bovendien moeten de aansluitpunten goed bereikbaar zijn en was de beschikbare ruimte rondom zeer beperkt door de aluminium dragers van het solorooft HE systeem. Zoals reeds eerder is gesteld bleek dit uiteindelijk één van de grotere uitdagingen binnen dit project, maar uiteindelijk is dit zeer bevredigend opgelost.

Performance prototypes collectoren (WP 3, TU/e)

In dit werkpakket is gebruik gemaakt van een Eternal Sun zonn simulator om de thermische opbrengst van de dunne HRsolar collector op PV formaat te meten en te vergelijken met de opbrengst van de dikke collector variant. Hiertoe is eerst de huidige opstelling aangepast om een hogere meetnauwkeurigheid te kunnen bewerkstelligen. Daarnaast is een bestaand rekenmodel voor een klassieke sheet-and-tube collector gemodificeerd om berekeningen uit te kunnen voeren aan de verschillende types HRsolar collectoren.

Parameter studie

Door middel van een parameter studie is de invloed van meerdere parameters op de thermische efficiëntie van het paneel onderzocht. In het figuur hieronder is thermische efficiëntie te zien als functie van verschillende waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt, die een maat is voor de weerstand in de koppeling tussen de absorber en de buis. Te zien is dat voornamelijk de invloed van de parameter significant is voor waarden kleiner is dan 200 W/m/K. Voor hogere waarden stabiliseert de invloed van deze parameter.

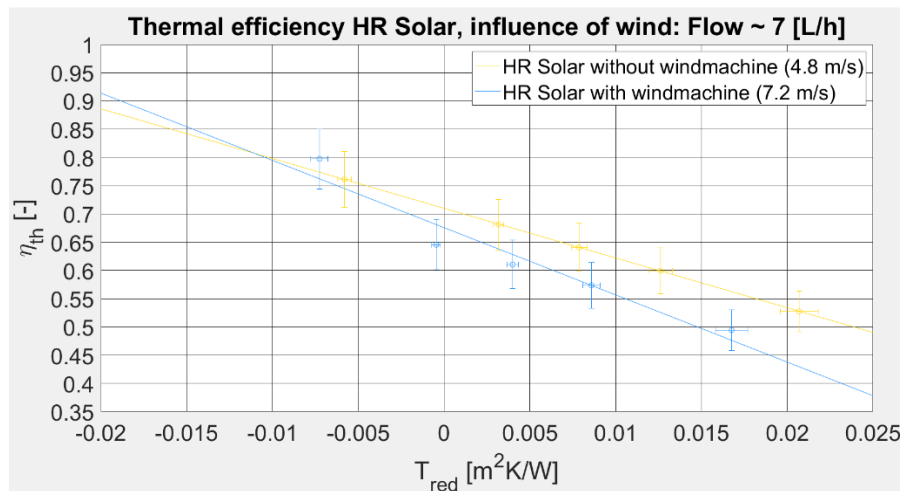


Figuur 3 Invloed van de warmtegeleidingscoëfficiënt op de thermische opbrengst

Voor de invloed van de isolatiedikte, de windsnelheid en de massastroom op de thermische efficiëntie wordt verwezen naar Moerenhout (2018).

Windgenerator

Als laatste onderdeel van het project zijn er metingen uitgevoerd aan thermische efficiëntie als functie van de windsnelheid. Met de aangekochte windgenerator was de windsnelheid instelbaar tussen 2 en 5 m/s additioneel aan de bestaande ventilatiesnelheid. Onderstaande figuur geeft het resultaat voor de standaard HRsolar collector.



Figuur 4 Gemeten thermische efficiëntie bij verschillende windsnelheden

Ontwerp en realisatie BI(PV)T prefab testdak (Werkpakket 4, SCX Solar)

Voor afmetingen van lengte en breedte is nauw overleg geweest waar het optimum zat. Omdat de collector voor het SCX Soloroof HE dak maar ook voor reguliere “Opdak” situaties toepasbaar moet zijn. Een ideale maat bleek 1640x990 te zijn. Hierbij zijn 3D modellen van de collector ingepast in de modellen van SCX Soloroof.

SCX Solar heeft zich vooral gefocust op het aanleveren van de input ten behoeve van de constructieve eisen en oplossingen voor adequate montage. De testopstelling was een uitstekende opportunity om in praktijk de knelpunten aangaande waterdicht ontwerpen en monteren van de diverse dakelement binnen het Soloroof HE systeem te ondervinden. PV-paneel, thermisch collector en een veluxraam vergen elk hun specifieke aansluitelementen om ze goed in het montagesysteem te integreren.

Flexibiliteit en montagegemak leidden tot een redelijk aantal varianten van deze aansluitingen op de tekentafel, temeer dat naast de praktische eisen, waterdicht en eenvoudige te monteren, ook de esthetische en duurzame component in het eisen pakket een belangrijke rol spelen.

Dit heeft uiteindelijk geleid tot een variant vanaf de tekentafel waarbij de aansluitingen in de praktijk prima voldoen, deze laatste variant is als aparte bijlage toegevoegd (niet voor publieke publicatie beschikbaar !).

Het finale resultaat van de testopstelling op de TUE is in elk geval een mooi en evenwichtig modulair dak geworden.



Figuur 5 Building STeP opstelling op SolarBEAT

Performance metingen en data analyse (WP5: TNO-SEAC)

De veldtest is uitgevoerd op de outdoor onderzoekslocatie van TNO-SEAC 'SolarBEAT'. De specificaties voor de veldtest zijn in 2017 geschreven. De volgende opstelling is geïnstalleerd op een testgebouw op SolarBEAT in oktober 2017.

- 11 260 Wp monokristallijne PV modules in het SCX Solar Soloroof opstelling, één string van 11 modules is verbonden met een SMA Sunnyboy 3600 TL inverter.
- 8 HRsolar zonthermische collectoren (0-serie, 4 links met een enkele coating, 4 rechts met een dubbele coating), het zijn 2 series van vier collectoren.
- 1 dakgeïntegreerd Velux raam

De data acquisitie loopt per 1 november 2017. De thermische collectoren zijn in twee series aangesloten op de thermische opstelling. Deze zorgt ervoor dat de aangevoerde temperatuur constant is (variabel in te stellen) en dat de geproduceerde warmte afgevoerd wordt. De ingaande temperatuur wordt gevarieerd om de volledige collectorcurve te meten.

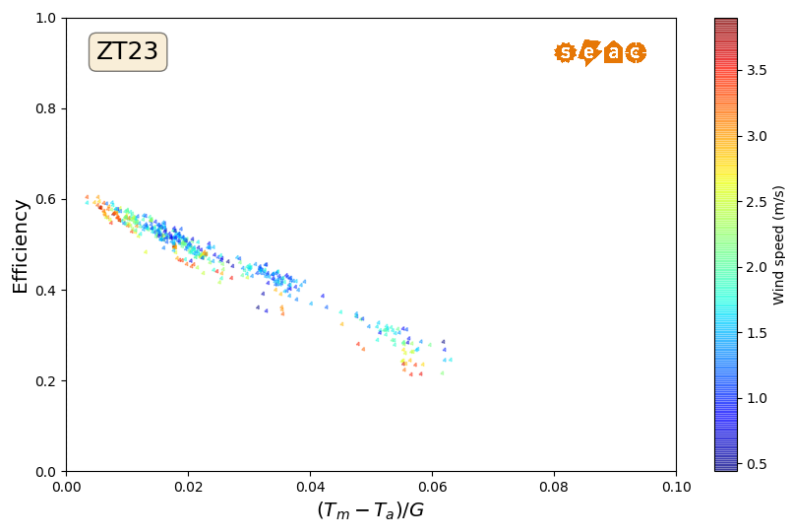
De thermische opbrengst wordt berekend met de volumestroom en de ingaande en uitgaande temperatuur van elke collector. De volumestroom wordt per serie gemeten met een *Krohne*

Optiflux 1100C. De ingaande en uitgaande temperatuur wordt voor elk paneel in de vloeistof gemeten met een Pt100 sensor. De DC en AC elektrische opbrengst van de panelen is per string gemeten met een Yokogawa Power Analyzer WT500. Verder is de temperatuur van elk paneel gemeten met een T-type thermokoppel (nauwkeurigheid 1 °C). Er zijn twee hot-wire anemometers geïnstalleerd voor de windsnelheid onder de PV panelen (onder het paneel boven het dak raam, en op dezelfde hoogte in de linker kolom).

Performance analyse veldtest

Voor de evaluatie van de collectorperformance is zowel de Steady State als de Quasi-Dynamische Methodes uit de NEN-ISO 9806:2013 toegepast.

In de Steady-State analyse wordt alleen meetpunten onder ‘stabiele’ en zonnige omstandigheden meegenomen in de analyse. Figuur 6 laat de daadwerkelijk gemeten efficiëntie voor één van de panelen zien. Het nadeel van deze methode is dat bij kortere analyses zeer weinig datapunten overblijven. Aan de rechterkant van de curve is weinig data, dit wordt veroorzaakt doordat de temperaturen daar al redelijk maximaal zijn, bijvoorbeeld 95 °C bij een instraling van 1000 W/m² en een buitentemperatuur van 30 °C. Verder is te zien dat de prestatie ook van de windsnelheid afhangt.



Figuur 6 Gemeten steady-state efficiëntiewaarden versus de gereduceerde temperatuur

In de Quasi-Dynamisch Analyse worden verschillende collectorparameters gefit die de afhankelijkheid van de warmteopbrengst van verschillende factoren aangeeft: windsnelheid, temperatuurverschil met de buitenlucht, hoek van inval.

Vergelijking 1: Quasi-dynamische vergelijking

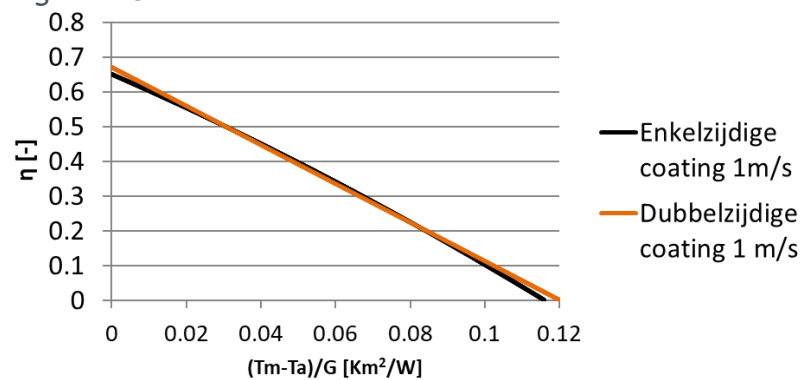
$$\frac{\dot{Q}_{col}}{A} = \underbrace{\eta_{0,b} K_b(\theta)}_{\text{optical beam rad.}} G_b + \underbrace{\eta_{0,b} K_d}_{\text{optical diffuse rad.}} G_d - \underbrace{c_6 u G}_{\text{wind on optical}} - \underbrace{c_1 (t_m - t_a)}_{\text{dependence on optical eff.}} - \underbrace{c_2 (t_m - t_a)^2}_{\text{temp. dependence of heat loss/gain}} + \underbrace{c_3 u (t_m - t_a)}_{\text{wind dependence of heat loss/gain}} + \underbrace{c_4 (E_L - \sigma T_a^4)}_{\text{long wave radiation}} - \underbrace{c_5 \frac{dt_m}{d\tau}}_{\text{heat loss/gain at no wind thermal capacitance}}$$

De resultaten voor de vier collectoren aan de linkerkant en de drie collectoren zonder condensatie aan de rechterkant staan afgebeeld in Figuur 7 en Tabel 1. Het 0-rendement van de collector met de dubbelzijdige coating is een paar procent hoger. Verder lijkt er een groot verschil tussen de warmteverliesfactor c1 te zitten, terwijl er geen c2 is. Als alle parameters mee worden genomen voor de berekening van de collectorcurve (bij 1000 W/m² instraling en 1 m/s windsnelheid) is er weinig verschil in richting tussen de twee curves.

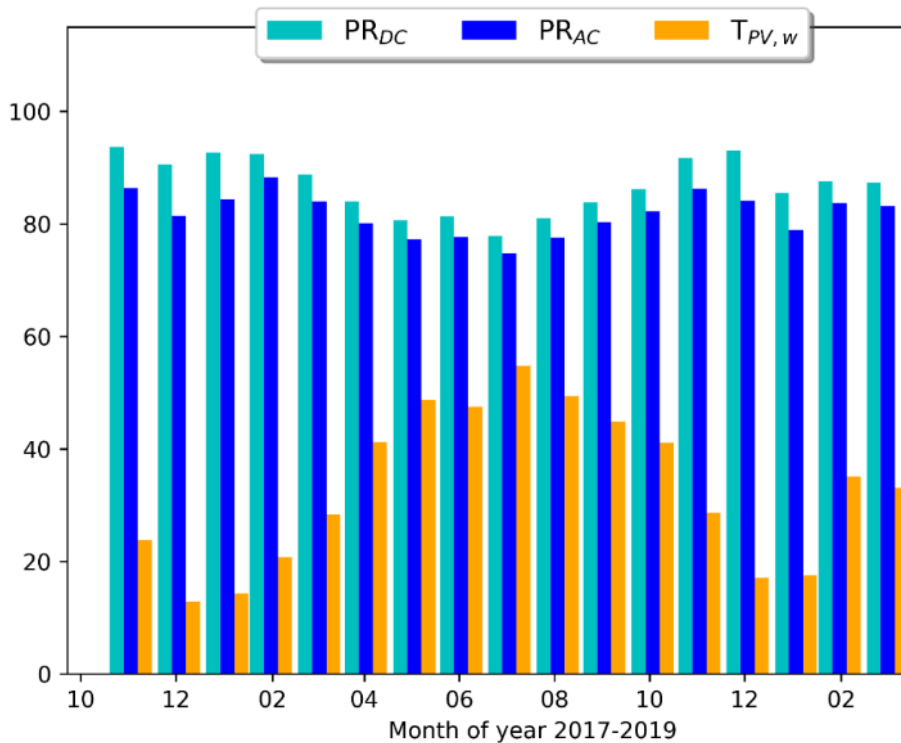
Tabel 1 Collectorparameters

		ZT21-24 single	ZT31-33 double
η_0	[-]	0.65	0.68
b_0	[-]	0.13	0.13
K_d	[-]	0.95	0.96
c_1	W/m ² K	4.42	5.40
c_2	W/m ² K ²	0.01	
c_3	J/m ³ K	0.25	0.16
c_5	kJ/kgK	11	13
c_6	s/m	0.0	0.01

Figuur 7 Collectorcurve



De elektrische performance wordt berekend vanuit het gemeten DC en AC vermogen van de hele string. Daarnaast is achterop elk PV paneel een temperatuursensor bevestigd. De maandelijkse DC performance ratio (PR), AC performance ratio en naar instraling gewogen gemiddelde PV module temperatuur staan afgebeeld in Figuur 6. De overall DC PR over de gehele meetperiode (30-10-2017 to 3-4-2019) was 84.4%, de AC PR 80.3 %.



Figuur 8 De maandelijkse Performance Ratio (DC en AC) en de gewogen gemiddelde PV temperatuur van november 2017 tot en met maart 2019.

A. Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

Door een volledig nieuwe collector te ontwikkelen heeft HR-Solar een waardevolle dimensie toegevoegd aan de voor SCX Solar zeer belangrijke BIPV markt; inmiddels meer dan 60% van haar omzet realiseert SCX Solar uit BIPV met haar Soloroof HE (Home Edition) indak-systeem.

Met name in nieuwbouwprojecten worden nieuwe energie prestatie eisen snel overgenomen en dat resulteert in een merkbare toename van de PV panelen; het percentage dak-geïntegreerd neemt de laatste jaren met rasse schreden toe.

Door toevoeging van deze nieuwe HRsolar collectoren kan het Soloroof-systeem nu ook met de hoog-noodzakelijk thermische collectoren worden uitgerust; als gevolg van nieuwe normeringen is een thermisch systeem bijna noodzakelijk om aan de steeds strenger wordende nieuwe eisen (BENG en Energielabels) te kunnen voldoen; deze trend zal sterk toenemen de komende jaren.

Een eerste goede aanzet is al gemaakt met twee woonhuizen voorzien van een BIPV&T dak, respectievelijk in Gilze en Driemond.



Figuur 9 Twee voorbeelden met een BIPV&T dak

Conclusie en aanbevelingen

HRsolar heeft binnen het project Building STeP een nieuwe zonthermische collector van 40 mm dikte op standaard PV formaat ontwikkeld. Daarvoor zijn veel innovaties met betrekking tot o.a. coatings, gebruik van edelgas, leidingen in de collector en aansluitingen gemaakt. De collector presteert uitstekend, gezien de vele aanpassingen die nodig waren voor esthetiek en functionaliteit. De performance is, vanwege de functionele en esthetische eisen, iets lager dan de vorige collector.

Een proefopstelling is op TNO-SEAC's outdoor onderzoekslocatie gebouwd met 11 PV panelen en 8 zonthermische collectoren.

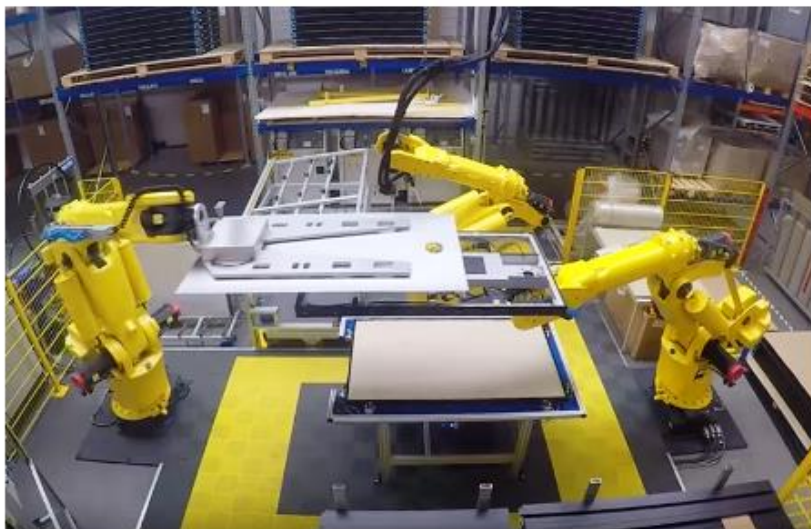
De projectpartners kijken terug op een succesvol project!

Toelichting wijze van kennisverspreiding

Conferentiepapier: Corry de Keizer, Minne de Jong, Camilo Rindt, Robbert van Diemen, Martijn van Paassen and Ruud van der Voort; An Aesthetic Energy Producing Roof with Integration of PV Modules and Solar Thermal Collectors, Proceedings of Eurosun 2018, Rapperswil, Switzerland (beschikbaar via <http://proceedings.ises.org/>)

Slim all-black collectors: the next generation of solar heating

Submitted by Baerbel Epp on September 3, 2018



In March, Dutch-based HRsolar began manufacturing a completely redesigned collector on a fully automated production line. Called Nero, the black-coloured unit is 40 millimetres thick – as slim as a photovoltaic panel. According to the manufacturer, the aim had been to “reinvent the concept of solar thermal, since it is increasingly being integrated with other sustainable technologies, such as photovoltaic systems and

heat pumps.” Nero’s width and length correspond to the dimensions of commonly available PV panels, which measure 1,640 by 990 millimetres.

Photo: HRsolar

In 2014, the company had already offered a first version of its collector, which had been incorporated into a standard PV frame to allow installers to combine solar thermal and PV on a roof. “The collector opened new markets for us, as installers of PV systems, heat pump suppliers and developers of high-efficiency building concepts came to appreciate its design and compatibility,” said Robbert van Diemen, Commercial Manager at HRsolar. Positive feedback from customers encouraged HRsolar to develop the system further. The result has been a panel which is black all around and has the same thickness as typical PV panels.

Artikel over collector in Solar Thermal World: <https://www.solarthermalworld.org/content/slim-all-black-collectors-next-generation-solar-heating>

Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden

Er is veel aandacht geweest voor de ontwikkeling en finale product. HRsolar heeft een “Apple achtige” launch georganiseerd voor haar klanten, energiemaatschappijen, pers, RVO en partners.

Daarnaast is er veel offline en online aandacht voor gekomen. Een overzicht is eerder gegeven in het voortgangsverslag 2018. Media zoals Solar Magazine, Cobouw, installatie.nl en Uneto-vni.nl hebben er aandacht aan besteed.

Building STeP

Naast de vakmedia in Nederland is er ook over geschreven in wereldwijde vakmedia zoals solarthermalworld.org. Ook heeft een Frans onderzoek- en opleidingsinstituut een systeem aangeschaft ter promotie aan de Franse zonthermische installatiebedrijven.

Als kers op de slagroomtaart heeft de collector de Duurzaam verwarmd - Innovation Award 2018 gewonnen.