

Openbaar Eindrapport
AER: A Novel Concept for an Aesthetic Energy Roof
TKIZ01014

Contactpersonen:

M.N. van den Donker, Solar Energy Application Centre (SEAC), High Tech Campus 5, Eindhoven, The Netherlands, vandendonker@seac.cc, www.seac.cc

E.J.M.G. Philipse, AERSpire B.V., Jan Campertstraat 5, building 7, Heerlen, The Netherlands, estherphilipse@aerspire.com, www.aerspire.com

Korte projectsamenvatting

Het project AER (Aesthetic Energy Roof) is het eerste project dat succesvol is afgerond binnen de Nederlandse Topsector Solar Energy. In dit project, dat in oktober 2012 begon, hebben AERSpire BV en het SEAC nauw samengewerkt om een nieuw type gebouw-geïntegreerd fotovoltaïsch dak concept te ontwikkelen. Het AER concept behelst een volledige dak oplossing die lage materiaalkosten combineert met een hoge esthetische waarde. Binnen het project is een functioneel prototype ontwikkeld. Vervolgens zijn hier in een veldtest diverse zonneënergetechnische en bouwfysische aspecten mee onderzocht. Tot slot is een eerste demonstratie dak opgeleverd. De onderzoeksresultaten werden gepubliceerd op de PVSEC conferentie in september 2013 te Parijs. Het concept kreeg aandacht van het bouwbedrijf Heijmans die er het BrightHouse ontwerp mee maakte. De projectpartners kijken terug op een zeer succesvol project met goede marktvooruitzichten.

Inleiding

De toepassing van fotovoltaïsche zonneënergie (afgekort: PV) is de afgelopen jaren wereldwijd sterk toegenomen. De huidige wereldwijde markt richt zich met name op de toepassing van PV als een financieel product, dat achteraf op een groot industrieel plat dak of braakliggend stuk grond wordt aangebracht met het doel de elektriciteit te verkopen en een zo hoog mogelijke return on investment te vergaren. Deze sterk opgekomen wereldwijde 'bulk'-markt heeft rendementsverbeteringen en kostenbesparingen aangejaagd, waardoor PV vandaag de dag een aantrekkelijk product is dat zichzelf ruimschoots binnen 10 jaar terug verdient.

De laatste jaren is er in Nederland een andere toepassing van PV sterk in opkomst, namelijk de zogenaamde residentiële dak toepassing. Hierbij wordt de PV op het dak van een woonhuis toegepast. De opgewekte stroom wordt hierbij hoofdzakelijk aangewend om het eigen verbruik in te vullen of te compenseren.

In de toekomst zal deze toepassing op daken van woonhuizen steeds belangrijker worden. Een belangrijke reden hiervoor is de ontwikkeling van de zogenaamde Energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Vanaf circa 2018 zal voldaan moeten worden aan de zogenaamde "Nearly Zero Energy Building Directive" van de EU, waarbij de EPC voor nieuwbouw zich dichtbij nul moet bevinden. Het gebruik van PV

is financieel en uitvoeringstechnisch een zeer aantrekkelijke optie om aan de EPC normen van morgen te kunnen voldoen. Hierdoor zal het dak zoals wij dat nu kennen een extra functionaliteit erbij krijgen: Het opwekken van energie.

Er zijn reeds vele producten beschikbaar voor het toepassen van PV op daken van woonhuizen. Echter, het gros van de huidige beschikbare producten heeft een tweetal tekortkomingen die de grootschalige toepassing in Nederland belemmeren. Ten eerste zijn de meeste producten beperkt toepasbaar, waardoor slechts een klein gedeelte van de beschikbare daken geschikt is. Zo moet een groot, rechthoekig dakoppervlak beschikbaar zijn, dat ook nog eens op het zuiden gericht moet zijn en vrij moet zijn van beschaduwing door dichtbijzijnde gebouwen of bomen. Ten tweede laat de esthetische uitstaling van de op dit moment in de markt beschikbare producten veel te wensen over. De blauwe cellen en aluminiumkleurige frames en montagebalken steken schril af tegen de rest van het dak. Het is voor veel huiseigenaren dan ook een belemmering om het dak voor een zonneënergie oplossing beschikbaar te stellen.

Enkele pioniers zijn reeds op de échte marktbehoefte naar breed toepasbare, esthetisch verantwoorde PV oplossingen ingesprongen en hebben hiervoor producten ontwikkeld. Doorgaans vervangen deze

producten de traditionele dakpan, waardoor ze één esthetisch geheel vormen met het huis. De vakterm die hiervoor gebruikt wordt is gebouwgeïntegreerde PV (BIPV). Echter, ook bij deze reeds in de markt beschikbare BIPV producten zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen waaronder de prijsstelling en de complexiteit.

Op basis van deze analyse en de beschikbare kennis en expertise uit de solar en bouwindustrie heeft de Nederlandse start-up AERspire de afgelopen 2 jaar gewerkt aan het Aesthetic Energy Roof (AER) concept. Het AER concept behelst een esthetisch verantwoorde, stroomproducerende en betaalbare volledige dak oplossing, tevens flexibel en in te zetten als bouwcomponent. Het AER concept vormde de basis voor het AER project.

Doelstelling

In het AER project hebben de organisaties AERspire en SEAC zich tot doel gesteld het AER concept verder uit te werken en middels een uitgebreid testprogramma op gedrag in het veld te onderzoeken.

Een belangrijke randvoorwaarde hierbij was dat de levensduur van het AER dak minimaal gelijk of beter dan de levensduur van een conventioneel dak zou moeten zijn. Ook werd gemikt op een PV functionaliteit die minimaal gelijk zou moeten zijn aan die van de bestaande producten. Het concept werd hierom gebaseerd op glas-glas module technologie. Het is bekend uit de literatuur dat het lamineren met glas-glas technologie de moduledegradatie sterk terug dringt en er zodoende meer dan 30 jaar garantie op de stroomproductie afgegeven kan worden.

Allereerst was in het sub-project 1 het doel gesteld om in meerdere stappen een functioneel prototype op te leveren. Onderzochte vraagstukken lagen hierin rond de waterdichtheid, bouwtoleranties en installatie principes. Tot slot is met de functionele prototypes een veldtest opgebouwd. In het daaropvolgende sub-project 2 was het doel de veldtest te gebruiken om diverse zonneënergietechnische en bouwfysische aspecten te onderzoeken. Uiteindelijk was het doel sub-project 2 af te sluiten met een gerealiseerd demonstratie dak. Tussen sub-

project 1 en sub-project 2 was een go/no go beslismoment opgenomen.



Figuur 1 – Opgeleverd demonstratiedak.

Resultaten sub-project 1

Allereerst zijn via meervoudige sequentieel opgebouwde experimentele daken de optimale dimensionering en de maximaal toegestane en haalbare toleranties van het glas-glas product bepaald.

Het montage profiel is hierbij ontwikkeld tot een uitvoering die onafhankelijk van de onderconstructie is en de bouwtoleranties van het dak compenseert. Voor de verlijming en dimensionering van de beugels op de glas-glas panelen is in nauwe samenwerking met leveranciers het optimale product geselecteerd en getest. Ook voor de op de modules aan te brengen sealing is na het opstellen van de criteria, in nauwe samenwerking met specialisten, een product geselecteerd wat volledig voldoet aan de benodigde eisen.

Gebruikmakend van de opgestelde specificatie en de geselecteerde materialen zijn bij een externe partij een twintigtal functionele prototype panelen vervaardigd. Van essentie is te noemen dat voor het vervaardigen van de modules cellen zijn gebruikt uit zogenaamde 'buur-wafers' van dezelfde power klasse. Elke module is voor en na de laminatie en na blootstelling aan de zon conform de IEC standaarden geklassificeerd. Tijdens de fabricage zijn belangrijke stappen gemaakt wat betreft de manufacturability van het moduleconcept.

Op een geselecteerde testlocatie in het dorp Dilsen-Stokkem (B) is vervolgens een veldtest opgebouwd dat onder andere bestond uit een direct vergelijk van zes verschillende systeemconcepten die varieerden in de mate van dakintegratie en ventilatie.



Figuur 2 – Direct vergelijk tussen zes verschillende systeemconcepten met variërende mate van (dak)integratie en ventilatie.

Resultaten sub-project 2

De veldtest opstelling bevatte een zestal PV systemen die op verschillende details nauwkeurig gemonitord zijn. De werkwijzes zijn ontwikkeld om grote hoeveelheden veldtest-data te verwerken en om ondanks de dag-tot-dag weerschommelingen tóch reproduceerbare uitkomsten te vergaren. Hierbij moet met name de berekening van effectieve dagwaarden en het introduceren van de zogenaamde U-waarde genoemd worden. Deze U-waarde geeft redelijk weersafhankelijk weer hoe goed het PV systeem in staat is zijn warmte af te staan aan de omgeving.

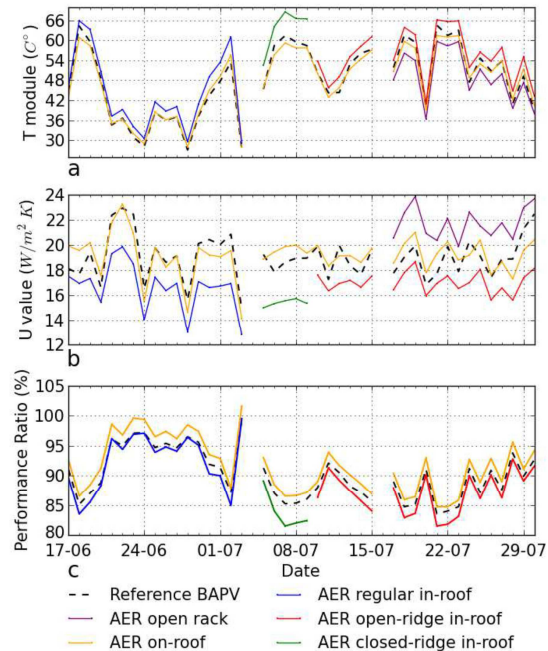
Vervolgens zijn de U waarden en de DC performance ratios van de verschillende systemen experimenteel gekwantificeerd. Een sterke correlatie tussen U-waarde en performance ratio is gevonden.

In de metingen en analyses is veel kennis opgedaan over onder andere de temperatuur-huishouding. Hiervoor is een breed toepasbaar fysisch model ontwikkeld dat de temperatuur van een PV systeem en haar componenten beschrijft als functie van de weersomstandigheden en de mate van ventilatie. De overeenstemming van het model met de metingen was uitstekend.

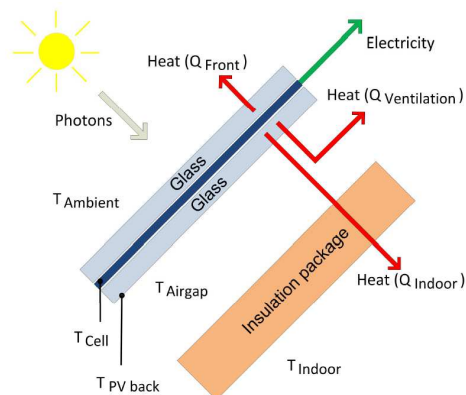
Het model kon vervolgens gebruikt worden om de warmtestromen in kaart te brengen en verbeterpunten te identificeren. Van het dakgeïntegreerde systeem werd circa drie kwart van de warmte afgevoerd aan de voorzijde van het paneel. De overige kwart van de warmte werd voor de helft door de dakisolatie heen naar binnen getransporteerd en voor de andere helft door de ventilatie in de luchtschacht via de daknok afgevoerd. De beperkende factor van het warmteverlies bij dak geïntegreerde PV systemen kon worden toegeschreven aan de

warmteoverdracht van de achterzijde van de module aan de lucht in de ventilatie schacht. Het ontwerp van de nok van het dak was niet de limiterende factor in het optimaliseren van de warmte afdracht.

Het model en de meetresultaten zijn gepubliceerd op de internationale PVSEC conferentie te Parijs, Frankrijk¹.



Figuur 3 – Gemeten (a) module temperatuur, (b) U-waarde en (c) Performance Ratio van de verschillende systeemconcepten met variërende mate van dakintegratie en ventilatie.



Figuur 4 – Schematische opzet van het model en de diverse erbij betrokken warmtestromen.

¹ Sinapis *et al*, 28^{ste} EU-PVSEC, Parijs, Frankrijk, 30 september - 4 oktober 2013, <http://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?fulltext=sinapis&paper=26043>

Loss channel	Symbol	Q [%]	Q (W/m^2)	U (W/m^2K)
Front side	Q_{front}	76	548	12.2
Back side	Q_{back}	24	172	3.8
Underroof	Q_{indoor}	11	76	1.7
Ventilation	$Q_{ventilation}$	13	96	2.1

Figuur 5 – De diverse warmtestromen bepaald d.m.v. het opgestelde fysisch model.

Het parallel lopende onderzoek naar de verschillen in prestatie tussen glas-glas en glas-folie gelamineerde zonnepanelen heeft een tweetal effecten naar voren gebracht die in het voordeel spreken van de glas-glas panelen en nog niet eerder in de literatuur beschreven zijn. Enerzijds wekten de glas-glas panelen circa 0.3% meer energie per jaar op dan glas-folie panelen onder weersomstandigheden met een *zwakke* zonne-instraling. Dit effect kon worden toegeschreven aan een vermindering van lekstromen in het paneel. Anderzijds wekten de glas-glas panelen gemonteerd volgens het AER principe circa 0.4% meer energie per jaar op dan conventioneel gemonteerde glas-folie panelen onder weersomstandigheden met een *sterke* zonne-instraling. Dit effect kon worden toegeschreven aan een betere passieve koeling, waardoor de bedrijfstemperatuur meer dan 1 °C lager lag dan bij de glas-folie panelen.

Tot slot is, gebruikmakend van de kennis opgedaan in sub-project 1 en de kennis opgedaan tijdens de veldtesten in sub-project 2, een demonstratiedak opgeleverd. Hiervoor zijn zwarte zonnepanelen van 1x1 m² vervaardigd en middels het AER concept gemonteerd op een speciaal daarvoor ontworpen dakconstructie. Dit demonstratiedak is te zien in Figuur 1.

Conclusie

Het AER concept is ontwikkeld tot een volwaardig BIPV systeem met toereikende ventilatie en een performance ratio vergelijkbaar met het referentie BAPV systeem.

Vanuit eindgebruikers en vanuit de industrie komt veel interesse voor het ontwikkelde dakconcept. Zo heeft Heijmans inmiddels gebruikmakend van het AER concept en in samenwerking met Van Helmond Zuidam Architecten het zogenaamde Heijmans BrightHouse concept ontwikkeld.

De projectpartners SEAC en AERspire BV kijken terug op een zeer succesvol project met goede marktvooruitzichten.



Figuur 6 – Het Heijmans BrightHouse concept.

Colofon

Het AER project is uitgevoerd met steun van het Ministerie van Economische Zaken, voor de TKI Solar Energy uitgevoerd door Agentschap NL.

Dit rapport is te downloaden op de websites van het SEAC en AERspire BV.