

Openbaar Eindrapport project “AERII”: Industrialization and System Integration of the Aesthetic Energy Roof Concept

*M.N. van den Donker, Solar Energy Application Centre (SEAC), High Tech Campus 21, Eindhoven, Nederland, vandendonker@seac.cc, www.seac.cc
E.J.M.G. Philipse, AERSpire B.V., Jan Campertstraat 5, Heerlen, Nederland, estherphilipse@aerspire.com, www.aerspire.com*

Project samenvatting

In het AERII project heeft een internationaal consortium onder aanvoering van AERSpire de uitdaging aangepakt om een nieuw ontwikkeld esthetisch, gebouw-geïntegreerd zonne-energie systeem te industrialiseren en in de markt te introduceren. Het project is gestart met een marktstudie. Hierin is onderzocht wat de marktprijs van bestaande gebouw-geïntegreerde systemen is, waarom de prijs hoger is dan conventionele zonne-energiesystemen en op welke wijze deze marktprijs omlaag gebracht kan worden. Parallel is de industrialisatie van de fabricage en afwerking van de AER PV elementen ontwikkeld, inclusief productie processen, productie hulpmiddelen, procedures, handleidingen en quality control. Een belangrijke mijlpaal was de realisatie van een prototype dak op de SolarBEAT veldtest locatie (TU-e) in Eindhoven waarbij zowel AER PV elementen als dummy elementen zijn geïnstalleerd. Ook is hier de nieuwe generatie van het montagesysteem geïnstalleerd. Dit unieke montagesysteem draagt bij aan een maximale natuurlijke warmteafvoer van de AERSpire PV elementen. Met het prototype dak is aangetoond dat de nieuwe generatie van het AERSpire montagesysteem de warmteafvoer aan de achterzijde van het paneel met 20% extra verbetert en de panelen met 5 °C extra afkoelt. Als sluitstuk is van een door AERSpire gerealiseerd grootschalig project, bestaand uit een 70 kWp PV systeem, op 14 rijwoningen, 8 maanden performance data verzameld en geanalyseerd. Hiermee is aangetoond dat de conclusies uit het prototypedak op de SolarBEAT locatie 1:1 vertaald mogen worden in de projecten die met de huidige generatie AERSpire systemen zullen worden uitgevoerd. Het door AERSpire en Heijmans Woningbouw gerealiseerde project aan de Karel de Grotelaan in Eindhoven heeft eind 2015 de Ensoc verkiezing ‘Mooiste zonnestroomproject van Nederland’ gewonnen. Het AERII project is binnen de looptijd en met slechts een lichte budgetoverschrijding gerealiseerd, waarbij alle projectdoelstellingen zijn gehaald. De projectresultaten zijn gepresenteerd op internationale conferenties en nationale beurzen. Ook heeft het project veel publiciteit en media-aandacht gegenereerd. De projectpartners kijken terug op een succesvol project waar veel commerciële spin-off en innovatieve vervolgprojecten uit zullen voortvloeien.

Project achtergrond

De toepassing van PV panelen neemt wereldwijd een grote vlucht. In de dicht bevolkte Nederlandse bebouwde omgeving is er beperkte ruimte voor grote energievelden vol PV panelen. Door de steeds strengere normen in de bouw en de doelstellingen voor 2020 worden er in de bebouwde omgeving op daken van woonhuizen steeds meer PV producten toegepast. Het gros van de huidige beschikbare producten hebben hier echter hun beperkingen in de mogelijkheden en toepasbaarheid. Een belangrijk nadeel van de huidige toegepaste PV systemen is de minder aantrekkelijke uitstraling, wat op dit moment nog voor een groot deel van de woning- en vastgoed-eigenaren een reden is om geen PV producten aan te schaffen.

Meerdere fabrikanten, wereldwijd maar ook in Nederland zelf, springen op deze marktbehoefte in en hebben of zijn bezig om esthetisch verantwoorde zonne-energieproducten te ontwikkelen. Van deze ‘Building Integrated PhotoVoltaic’ (BIPV) systemen wordt echter beweerd dat de prijs te hoog is

waardoor een groot marktaandeel voor BIPV uitblijft. Hoe hoog is deze prijs dan precies? Waarom is hij te hoog? En hoe kunnen we de prijs naar reduceren?

Project doelstelling

In het AERII project heeft een internationaal consortium, bestaande uit Nederlandse en Belgische partijen, de uitdaging aangepakt om het Aesthetic Energy Roof (AER) concept te industrialiseren en op te schalen. Onder leiding van AERSpire, samen met de partners Soltech, Heijmans Woningbouw en SEAC, is het project gerealiseerd.

Project werkplan

Het project was opgedeeld in een vijftal werkpakketten met zelfsturende teams. WP1 hield zich bezig met het projectmanagement, planning, doelstellingen, budgeten en rapportage.

WP2 verzorgde een mondiale marktstudie naar BIPV producten en mondde uit in een functionele specificatie van het te ontwikkelen BIPV systeem.

WP3 ontwikkelde een geïndustrialiseerde economische fabricagemethode voor de productie en afwerking van de AER PV elementen. WP4 ontwikkelde een nieuwe generatie montagesysteem, realiseerde een prototype dak op de onderzoekslocatie SolarBEAT (TU-e) en onderzocht de performance van het prototype dak in een veldtest. Hierbij werd speciale aandacht gegeven aan de optimalisatie van de het natuurlijk ventilerende montagesysteem.

In WP5 werd 8 maanden data verzameld uit een grootschalig functioneel project, gerealiseerd door Heijmans Woningbouw en AERspire. Met deze data werd de werking van dit grootschalige functionele dak vergeleken met de werking en de uitkomsten van de resultaten van het prototype dak op de SolarBEAT locatie. Dit met als doelstelling om met de resultaten van het prototypedak ook onderbouwde uitspraken te kunnen doen voor de resultaten op functionele projecten.

Project resultaten

Marktstudie

De marktstudie startte in 2014 met een product survey. Middels een internet zoektocht, beursbezoeken en een samenwerking met de database www.bipv.ch van het Zwitserse SUPSI werd een overzicht verkregen van de nationaal en internationaal beschikbare BIPV producten.

De resultaten staan weergegeven in figuur 1. Er zijn een aantal opvallende observaties te maken aan de hand van dit onderzoek:

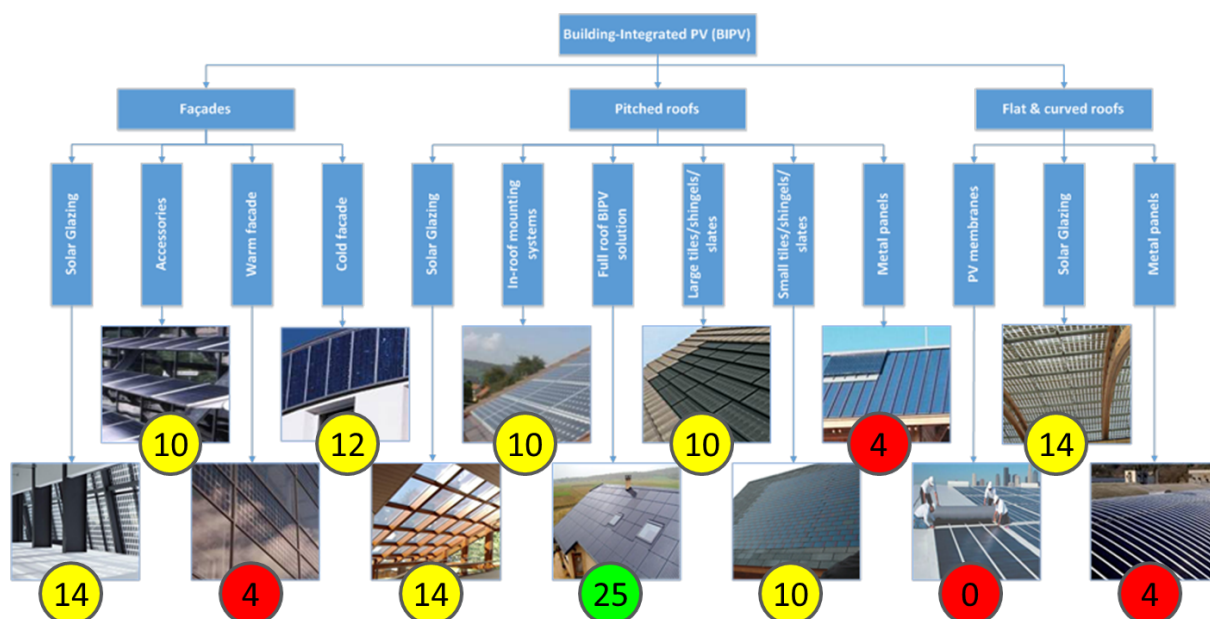
- Er zijn in totaal 109 producten gevonden, wat veel meer is dan vooraf gedacht. Blijkbaar leeft er meer in de BIPV sector dan initieel gedacht en zijn er veel partijen bezig om deze markt te betreden.
- De categorie 'full roof systems' is veruit het

populairst, met 25 geïdentificeerde producten. De bedrijvigheid in deze categorie wijst erop dat deze markt als meest aantrekkelijk wordt ervaren en er veel partijen mee bezig zijn om in deze categorie producten te ontwikkelen.

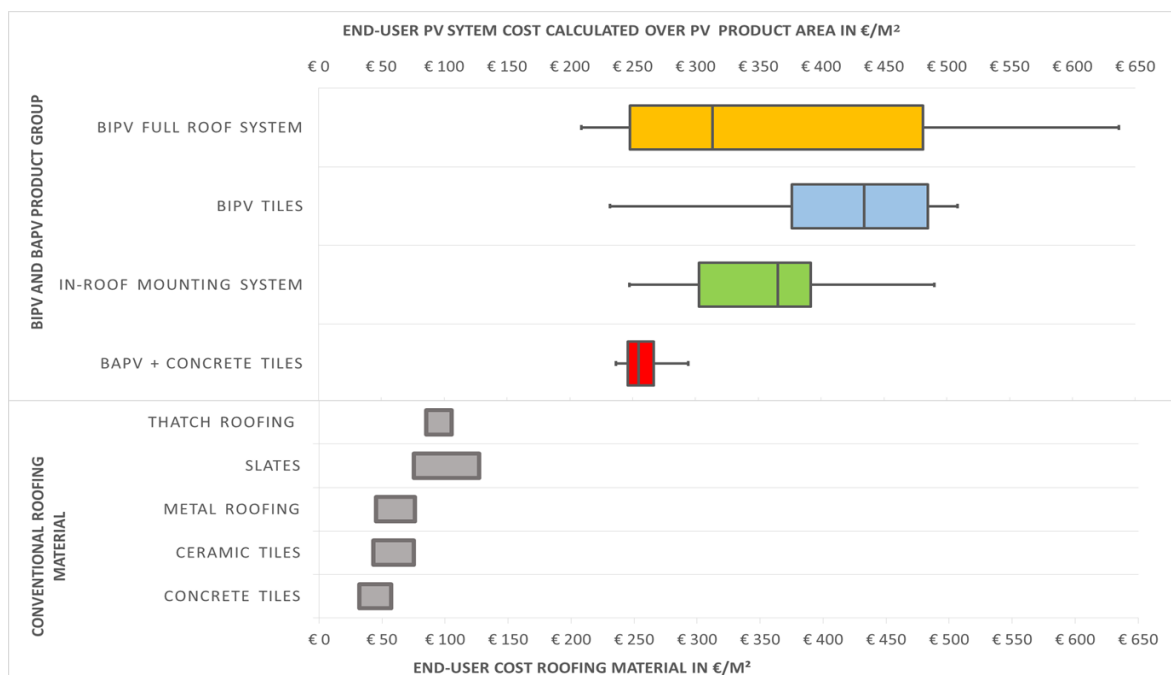
Het binnen AERII ontwikkelde product laat zich als 'full roof system' categoriseren. Om een doorbraak te bewerkstelligen zal het product zich binnen deze categorie moeten onderscheiden in uitstraling, prijs en marktbenadering.

Als tweede onderwerp binnen de marktstudie hebben we een prijs survey uitgevoerd. Hierin werden 22 bedrijven bereid gevonden een offerte te maken voor het dak van een denkbeeldig referentie huis. De verkregen prijzen staan weergegeven in figuur 2, waarin ze tevens worden vergeleken met de reguliere bouwmaterialen. Met de uitkomsten van deze studie zijn de volgende observaties te maken:

- Een PV paneel bovenop de dakbedekking (BAPV) geïnstalleerd kost circa 250 €/m² en is hiermee circa 5x zo duur als reguliere dakbedekking van circa 50 €/m².
- De goedkoopste BIPV oplossingen zijn vergelijkbaar in prijs met de conventionele PV panelen bovenop de dakbedekking en liggen ook rond de 250 €/m².
- Gemiddeld genomen zijn BIPV systemen echter een stuk duurder dan conventionele PV oplossingen, circa 350 €/m² voor in-roof en full roof systemen en zelfs 450 €/m² voor zonnepanelen systemen.
- De prijs spreiding binnen de BAPV offertes was klein. Dit duidt erop dat hier veel op prijs geconcentreerd wordt en de diverse aanbiedingen elkaar op basis van prijs niet veel ontlopen.
- De prijs spreiding binnen de BIPV offertes was erg groot. Dit duidt erop dat er in deze markt nog nauwelijks op prijs geconcentreerd wordt en



Figuur 1. Resultaten van de product survey. Het getal geeft het aantal gevonden producten per product categorie weer.



Figuur 2. Resultaten van de BIPV prijs survey, weergegeven als box-and-whisker plots voor de gevonden prijzen per product categorie.

er voor de verkochte systemen andere criteria dan prijs doorslaggevend zijn in de koopbeslissing van de consument, zoals esthetische uitstraling, vertrouwen in techniek of organisatie, lokale bekendheid, vindbaarheid en communicatie.

Ook mag gezegd worden dat voor een groot aantal systemen, de hogere prijs te wijten is aan de complexiteit van de oplossing en voor een ander deel de beperkte afzet in de markt, die direct invloed heeft op de kostprijs van de specifieke onderdelen.

Om nader te kunnen onderbouwen op welk onderdeel en waarom de BIPV producten duurder zijn hebben we alle 22 bedrijven gevraagd hun verkoopprijs op te splitsen in diverse categorieën. Een zeer belangrijk verschil werd gevonden in de prijs van de PV panelen zelf.

Standaard PV panelen werden in 2014 aan consumenten aangeboden voor circa 0.90€/Wp. Bij BIPV oplossingen werden weliswaar standaard panelen gebruikt, maar werd doorgaans wel een duurder merk paneel met hogere kwaliteit aangeboden waardoor de consumenten prijs voor de PV panelen op 1.20€/Wp uitkwam. Wanneer er een niet-standaard paneel gebruikt werd, zoals bij zonnedakpan systemen en sommige full roof systemen, kwam de prijs voor het PV paneel nog veel hoger uit, namelijk 2.70€/Wp. Hier speelt de complexiteit van het product en de economy of scale in de productie een belangrijke rol. Een tweede belangrijk verschil in kosten was te zien bij het montage systeem en de installatiekosten, dat voor de conventionele PV systemen totaal 0.35€/Wp kostte en voor BIPV systemen op circa 0.70€/Wp lag. Naast de economy of scale die hier ook weer een rol speelt kunnen deze

extra kosten deels verklaard worden door de extra benodigde materialen voor het bereiken van het waterkerende oppervlak en de extra arbeidsuren om deze extra materialen te installeren.

De prijsstudie uitgevoerd in 2014 gaf belangrijke aanknopingspunten voor het binnen AERII verder te ontwikkelen product. Om een succesvol esthetisch BIPV systeem in de markt te zetten diende dus als richtlijn de 250€/m² als verkoopprijs aangehouden te worden. De industrialisatie van de productie en de afwerking van de AER PV elementen diende zo opgezet te worden dat er eenvoudig naar grotere volumes opgeschaald kan worden. Een tweede aanknopingspunt was dat het montagesysteem zo ontwikkeld diende te worden dat de installatie eenvoudig en snel kon verlopen. Het AERSpire systeem heeft al het voordeel heeft dat gootjes en andere materialen om het oppervlak waterkerend te maken niet nodig zijn.

Prototype dak

Met Soltech werd er gewerkt aan een economische productiemethode die de throughput per uur aanzienlijk liet toenemen en die het mogelijk maakte de BIPV panelen tegen een verbeterde prijs te vervaardigen.

Binnen de productie processen zijn procedures, werkinstructies, productie hulpmiddelen en een verscherpte quality control ontwikkeld, die ervoor hebben gezorgd dat alle handelingen niet alleen foutloos maar ook sneller uitgevoerd kunnen worden. De ontwikkelde productiemethodes zijn getoetst en geoptimaliseerd in een aantal productie testbatches, onder andere tijdens de vervaardiging van de 16 AER PV elementen en 8 passtukken voor

het prototype dak op de SolarBEAT testlocatie in Eindhoven, welke in februari 2015 daadwerkelijk gebouwd en in bedrijf genomen is. Voor het prototype dak is een vooraf goed doordacht meetplan opgesteld, waarbij uiteindelijk meer dan 100 sensoren geïnstalleerd zijn om de temperatuurhuishouding van de ventilatieschacht en de stroomproductie van het PV dak nauwkeurig te kunnen onderzoeken en volgen.

Een 4-seizoenen meting van het prototype dak heeft onder andere de volgende observaties opgeleverd:

- De performance van het AERII prototype dak, met een jaaropbrengst van 950-1000 kWh/kWp/a, is erg goed gebleken. Het dak had een performance ratio van circa 85%, wat 6-7% beter is dan het op de testlocatie aanwezige commerciële BIPV referentiedak.
- Het AERspire montagesysteem draagt significant bij aan extra koeling van de panelen. Warmte lekt extra weg aan de achterlangs stromende ventilatielucht. De natuurlijke stroming van lucht volgt een directe, ononderbroken weg, zonder obstakels, achter de panelen langs, van de goot naar de nok van het dak. Het ontwerp van het montagesysteem verhoogt hiermee de warmteoverdracht van de panelen op de achterlangs stromende lucht met circa 20% en kan op een hete dag de panelen lokaal met 5 °C extra koelen.



Figuur 3. Prototype AER dak op de SolarBEAT (TU-E) testlocatie in Eindhoven.

Metingen grootschalig functioneel dak

Ter afsluiting van het project zijn er 8 maanden performance data gegenereerd van een grootschalig project uitgevoerd door AERspire en Heijmans Woningbouw met als doel de uitkomsten van het SolarBEAT prototypedak te vertalen in een functioneel werkend project. Dit nieuwbouw project is gebouwd voor Woonbedrijf op de Karel de Grotelaan in Eindhoven en bestaat uit 14 rijwoningen. Het Zuidelijk georiënteerde dakvlak, is volledig voorzien van een AERspire oplossing met circa 70 kWp geïnstalleerd vermogen, bestaande uit

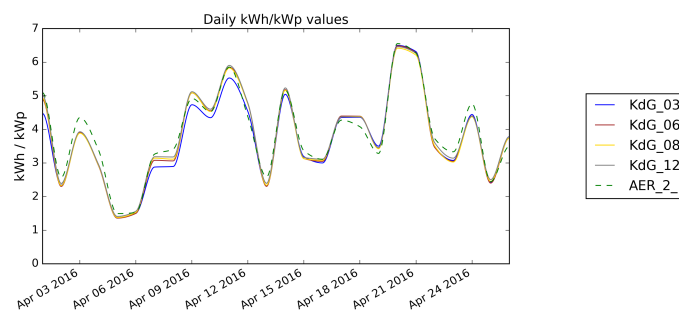
zo'n 400 AER PV elementen en AER dummy elementen. Tijdens de fabricage van deze zonnepanelen kon de industrialisatie verder geïmplementeerd en geoptimaliseerd worden. Ook werden voor de randafwerking rond schoorsteen, nok, goot en boeiboord detailleringen in overleg met Heijmans Woningbouw nader vormgegeven en gerealiseerd. Het dak is in juli 2015 geïnstalleerd en het AERspire systeem is in augustus 2015 in bedrijf genomen. Eind 2015 won dit project de prestigieuze Ensoc verkiezing tot 'Mooiste Zonnestroom Project van Nederland'. Het dak is te bezichtigen op GPS coördinaten 51.420940, 5.448110.



Figuur 4. Functioneel AERspire dak op de Karel de Grotelaan in Eindhoven.

De 8 maanden monitoring van deze 14 functionele woningen en de vergelijking van deze resultaten met de resultaten van het prototype op SolarBEAT hebben de volgende inzichten opgeleverd:

- De goede performance van het SolarBEAT prototype dak wordt geëvenaard door het functionele dak. Ook in het functionele dak worden de performance ratio's van ongeveer 85% gemeten.
- De bomenrij die voor de rijwoningen staat werpt deels schaduw op het systeem tijdens lage zonstanden in de winterochtend en -namiddag. Desondanks komt de jaaropbrengst van de beschaduwde woningen naar verwachting toch nog uit op circa 900-950 kWh/kWp/a wat, ondanks de schaduw, nog steeds hoger is in vergelijking met het gemiddelde CBS getal van 875 kWh/kWp/a voor Nederlandse PV installaties met deze oriëntatie op deze locatie.



Figuur 4 kWh output of the Karel de Grotelaan (KdG) project compared to the SolarBEAT system (AER_2).

Project conclusies

De BIPV product survey heeft aangetoond dat er in de ontwikkeling en toepassing van BIPV veel meer leeft dan men er zich mogelijk van bewust is. In totaal zijn er 109 producten in diverse product categorieën gevonden. De grootste categorie is die van 'full roof system' waartoe ook het AER concept behoort. Dit toont aan dat er in deze categorie veel activiteiten lopen.

BIPV oplossingen zijn in Nederland nog steeds duur. Vergeleken met de concurrerende gangbare oplossing van traditionele dakpannen met een BAPV systeem, zijn de BIPV systemen circa 100 EUR/m² duurder. Wanneer er van 'standaardpanelen' wordt afgeweken wordt het prijsverschil nog groter, tot circa 2x zo duur voor de high-end BIPV systemen.

Het AERspire concept is goed gepositioneerd tussen de overige 109 concepten. De marktkansen voor 'full roof systems' worden hoog ingeschat door vele marktpartijen. De glas-glas technologie die AERspire toepast heeft een zeer geringe degradatie en lange levensduur. De AERspire oplossing heeft de belofte om een zeer concurrerende oplossing te worden door de eenvoud van het concept.

Binnen het AERII project zijn de projectkosten met circa 30% teruggebracht door de optimalisatie van productieprocessen, invoeren van gedetailleerde werk-instructies, handleidingen, quality control en de ontwikkeling van productie hulpmiddelen.

De productie en finishing van de AER PV elementen is verder geïndustrialiseerd, waardoor een kostprijsreductie kan plaatsvinden die de kostprijs van de beschikbare goedkopere BIPV oplossingen kan benaderen.

Deze optimalisaties zijn doorgevoerd tijdens diverse testruns van de productie en de finishing van

de AER PV elementen voor het prototype dak en tevens voor de grote productiebatch van 400 AER PV elementen en dummy elementen voor het functionele dak, wat samen met Heijmans Woningbouw is gerealiseerd.

Het prototype AER dak is een jaar lang gemonitord op de SolarBEAT test locatie. De veld test op SolarBEAT heeft aangetoond dat het AER montagesysteem de koeling aan de achterzijde van het paneel met circa 20% verbeterd. Op een zonnige dag is het AER PV element gemiddeld 5 °C koeler door het slimme ontwerp. De jaaropbrengst van het AERspire systeem is bijna 1000 kWh/kWp/a wat zeer hoog is in vergelijking tot het gemiddelde CBS getal voor Nederlandse PV systemen van 875 kWh/kWp/a voor deze locatie met dezelfde oriëntatie.

Een grootschalig functioneel AER dak van 14 rijwoningen in de Karel de Grotelaan in Eindhoven is gedurende een periode van 8 maanden gemonitord. De monitoring van het grootschalige project toont aan dat de performance ook in deze functionele woningen net zo goed is als in het prototype dak op SolarBEAT. Ondanks energieverlies door de beschaduwing van een deel van het functionele dak in de wintermaanden zal de jaaropbrengst van deze woningen op circa 900-950 kWh/kWp/a uitkomen. Dit is nog steeds boven het CBS getal van 875 kWh/kWp/a.

Dankbetuiging

Het AERII project is uitgevoerd binnen het internationale Solar ERA.NET raamwerk in een Nederlands-Belgische samenwerking. Het project is financieel gesteund door het Nederlandse TKI solar energie, RVO en het IWT.