

Openbaar Eindrapport project “WenSDak”: Esthetisch gebouwgeïntegreerd zonneWarmte- en StroomDak

*Ruud van de Voort, SCX Solar, www.scx-solar.eu
Corry de Keizer, Minne de Jong, Wiep Folkerts, Solar Energy Application Centre (SEAC), Eindhoven,
dekeizer@seac.cc, www.seac.cc
Alexander Schiebroek, Solartech International
Alfred van Hese, Esther Philipse, AERspire
Camilo Rindt, Munish Katiyar, TU Eindhoven
Ger Schoeber, Hotraco
Herbert Zondag, ECN
Hein Enneking, Dimark Solar
Lucek Wolthekker, Pieter van Veen, GEO Holland
Jaring Rijpmar, deMâr 2D
Paul Heimbach, Suntrap*

Project samenvatting

In het WenSDak project is een consortium van acht bedrijven en drie kennisinstellingen de uitdaging aangegaan om verschillende oplossingen voor de productie van warmte en stroom op een dak verder te ontwikkelen en te onderzoeken. In huishoudens en in een deel van de overige gebouwde omgeving bestaat het energiegebruik voor een groot deel uit warmte. Multifunctionele daken kunnen een belangrijke rol spelen om lokaal en decentraal zowel zonnewarmte als zonnestroom te produceren. PV systemen zetten ca. 15 % van de zoninstraling om in elektriciteit en ca. 75 % in niet gebruikte restwarmte. In PVT systemen wordt deze warmte gebruikt om lucht of een vloeistof te verwarmen.

In totaal zijn vijf productconcepten voor PVT daken verder ontwikkeld door verschillende partners:

- SCX Solar en Hotraco hebben een dak-geïntegreerd BIPVT-lucht systeem ontwikkeld dat zonnestroom en warme lucht produceert en transporteert.
- SolarTech heeft uitgebreid onderzoek verricht naar de mogelijkheid tot ombouw van willekeurige zonnepanelen naar PVT-paneel, genaamd Multi Energy Paneel. Verschillende varianten zijn doorgemeten.
- Er zijn twee typen thermische collectoren geïntegreerd in het AERspire-dak. De keuze is gemaakt en valt op het commerciële paneel vanwege een betere performance.
- Dimark heeft een nieuwe generatie onafgedekte PVT collector ontwikkeld waarmee de zero-loss efficiëntie bijna verdubbeld is ten opzichte van generatie 1.
- GEO Holland heeft een aantal verschillende PVT prototypes ontwikkeld, waarbij de absorber dicht achter het PV paneel geklemd is of verder van het PV paneel af zit en functioneert als een warmtewisselaar.

De TU/e heeft de onafgedekte PVT-collectoren met een zonn simulator doorgemeten en gedetailleerd gemodelleerd. Met behulp van de metingen aan de verschillende prototypen en de modellering ervan, zijn mogelijkheden voor de verbetering van de collectoren voorgesteld. ECN heeft de absorptie van de verschillende PV en thermische panelen gemeten die als input dienden voor de modellering. SEAC heeft een outdoor veldtest opgezet, waarin de elektrische en thermische performance van verschillende collectoren gemeten is. Er zijn grote verschillen tussen de thermische performance van de verschillende collectoren. De modules gedragen zich ook als warmtewisselaar met de buitenlucht, hierdoor kan bij lage vloeistoftemperaturen een hoge efficiëntie gehaald worden. De DC elektrische performance van de verschillende PVT panelen is zeer goed. Een PVT collector is maar een deel van een het warmtesysteem en de prestaties hangen sterk af van het systeemontwerp en de toepassing. De grootste uitdagingen liggen dan ook op systeemniveau.

Het project heeft geresulteerd in verschillende nieuwe PVT producten en veel operationele ervaring. 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 vervolprojecten uit zullen voortvloeien.

Project achtergrond

In het Energieakkoord wordt gestreefd naar een aandeel van hernieuwbare energieproductie van 14% in 2020. De gebouwde omgeving is verantwoordelijk voor ca. 1/3 van het primaire energiegebruik in Nederland. Vanwege de beperkte ruimte in Nederland is de ontwikkeling van kostengunstige gebouwgeïntegreerde zonne-energieproducten wenselijk. In huishoudens en in een deel van de overige gebouwde omgeving bestaat het energiegebruik uit elektriciteit en (vooral laagwaardige) warmte. Multifunctionele daken kunnen een belangrijke rol spelen om lokaal en decentraal zowel zonnewarmte als zonnestroom te produceren. 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 het voor het marktpotentieel.

PV systemen zetten ca. 15 % van de zoninstraling om in elektriciteit en ca. 75 % in niet gebruikte restwarmte. In PVT systemen wordt deze warmte gebruikt om lucht of een vloeistof te verwarmen. De geproduceerde warmte kan voor verschillende doeleinden gebruikt worden, bijvoorbeeld voor warm tapwater, ruimteverwarming, drogen van landbouwproducten, proceswarmte en verwarming van zwembaden. Een bijkomend voordeel zou kunnen zijn dat de PV cellen gekoeld kunnen worden en daardoor een hogere efficiëntie bereiken. Bij een goede systeemintegratie, leidt het toepassen van PVT systemen tot een hogere energieopbrengst per m² als ook tot lagere kosten voor de consument, vanwege vermeden materiaalgebruik en lagere installatiekosten.

Dit project richt zich concreet op een optimale productie van esthetisch in het dak geïntegreerde zonnestroom en zonnewarmte. Binnen het project worden in totaal vijf productconcepten voor PVT producten ontwikkeld door verschillende partijen of miniconsortia in parallelle tracks. Voor verschillende marktsegmenten is er vraag naar diverse esthetische en technische concepten. Door meerdere concepten in één project te verenigen, kunnen cross-cutting kennisvragen aangegaan worden die voor de ontwikkeling van PVT producten in het algemeen en voor de deelnemende partijen in het consortium in het bijzonder nodig zijn.

Project doelstelling

Het doel van het project WenSDak is de ontwikkeling van kennis omtrent PVT systemen en het vertalen daarvan naar concrete PVT producten van goede kwaliteit die op de markt geïntroduceerd worden. Onafhankelijk van het specifieke systeem is functionele en esthetische integratie in het dak van groot belang. Naast een goed product is een goede integratie in het energiesysteem en een optimale

regelingsstrategie belangrijk voor de opbrengst van een PVT dak. Een tweede doel is daarom de optimalisatie van het PVT dak in de context van de warmtevraag en het energiesysteem.

Project werkplan

Binnen het project WenSDak zijn verschillende producten ontwikkeld door een aantal miniconsortia. Al deze productontwikkelingen waren ondergebracht in een eigen werkpakket (WP 2 t/m 6), van allemaal is minimaal één prototype opgeleverd. In principe zijn de PVT daken onafhankelijk van elkaar ontwikkeld. De elektrische en thermische performance van de prototypen is gemeten in een outdoor veldtest (WP 7) en onder een indoor zonn simulator. Bovendien zijn opbrengstsimulaties voor collectoren en complete systemen uitgevoerd.

Project resultaten

PVT-lucht systeem

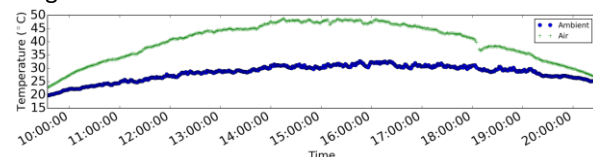


Fig. 1a) Opzet metingen Zuid-West dak VIC Sterksel



Fig 1b) Ventilator en meetopstelling aan de binnenzijde van het dak

SCX Solar en Hotraco hebben een dakgeïntegreerd BIPVT-lucht systeem ontwikkeld dat zonnestroom en warme lucht produceert en efficiënt transporteert. Vervolgens is ook de FiwiHex, waterlucht warmtewisselaar onderzocht, zodat water gebruik kan worden voor warmtetransport over langere afstanden.



Figuur 2: BIPVT uitgaande luchttemperatuur (groen) in vergelijking met de buitentemperatuur (blauw).

In principe is het door SCX en Hotraco ontwikkelde PVT-systeem, zowel de directe als indirecte variant, na dit project inzetbaar op stallen waar men een redelijk modern beluchtingssysteem heeft dan wel laagwaardige warmte voor mestdroging en/of andere toepassingen wil inzetten.

Onafgedekte PVT collectoren

Binnen het WenSDak consortium zijn drie verschillende onafgedekte PVT collectoren verder ontwikkeld door Solartech, Dimark Solar en GEO Holland. In tegenstelling tot afgedekte collectoren zijn onafgedekte collectoren gevoelig voor de windsnelheid en infraroodstraling. Naast dat deze collectoren zonlicht omzetten in zonnewarmte en stroom, functioneren deze ook in een bepaalde mate als warmtewisselaar met de buitenlucht.



Figuur 3 Veldtestopstelling met systemen van Solartech/Energiedak, GEO Holland en Dimark Solar.

Energiedak

SolarTech heeft uitgebreid onderzoek verricht naar de mogelijkheid tot ombouw van willekeurige zonnepanelen naar PVT-paneel, genaamd Multi Energy Paneel, hierna MEP. Verschillende varianten zijn doorgemeten. Inmiddels worden de MEP-panelen op beperkte schaal verkocht. Ook zijn meerdere geïntegreerde platdak oplossingen voor de winning van thermische en elektrische energie in de praktijk aangelegd. Een eigen monitorings- en controlunit is ontwikkeld ter aansturing van het systeem.

GEO Holland

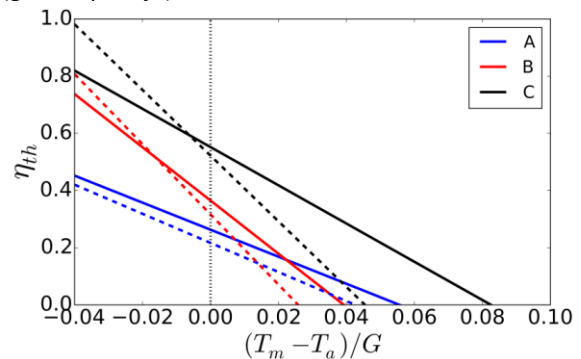
GEO Holland heeft verschillende versies van een onafgedekt PVT systeem ontwikkeld bestaande uit standaard PV panelen en daartegenaan geklemde absorberplaten of absorberplaten op wat meer afstand. Hierdoor wordt de thermische absorber vooral gebruikt als warmtewisselaar.

Dimark Solar

Dimark Solar heeft een tweede generatie van hun Modular Energy Roof ontwikkeld. De tweede generatie onafgedekte PVT panelen zijn in de veldtest op SolarBEAT ingebouwd. Bij deze generatie is de serpentinebuis vervangen door een aluminium plaat collector. De zero-loss efficiëntie is verdubbeld. Bovendien kan elke glas/glas PV-module op de drager gebouwd worden. Speciale aandacht is besteed aan de waterkerende functie.

Performance onderzoek (SEAC, TU/e, ECN)

SEAC heeft een outdoor veldtest faciliteit opgebouwd. De PVT modules worden gekoppeld aan een thermische loop die een constante temperatuur tussen 7°C en 60°C levert. Door bij verschillende ingaande temperaturen en weersomstandigheden te meten kunnen de steady state thermische efficiëntiecurve en parameters bepaald worden volgens NEN-ISO 9806. De thermische efficiëntiecurves staan afgebeeld in Figuur 4 voor een windsnelheid van 0 m/s (doorgetrokken lijn) en 3 m/s (gestreepte lijn).



Figuur 4 Thermische efficiëntie van verschillende binnen het project ontwikkelde onafgedekte collectoren.

Ook de DC elektrische performance is gemeten. Deze was hoog voor de c-Si PVT panelen tot zeer hoog voor de CIGS panelen.

De TU/e heeft verder verschillende prototypes van de verschillende producenten binnen onder een AAA zonn simulator gemeten. Ook zijn gedetailleerde numerieke modellen ontwikkeld om de performance van de PVT collectoren te modelleren. Deze modellen zijn met de indoor- en outdoor metingen gevalideerd. Als input zijn daarvoor ook absorptiemetingen van ECN gebruikt. Verder zijn de numerieke modellen gebruikt voor een designoptimalisatie van PVT collectoren.

Side-by-side PV+T dak

Omdat warmte een groot deel uitmaakt van de energievraag in een woning is het als producten van geïntegreerde PV systemen belangrijk om ook een passende zonnecollector aan te bieden. Voor een zonthermische oplossing in het AERspire BIPV concept zijn twee afgedekte zonthermische collectoren ontwikkeld of aangepast. Deze dienen passend, waterkerend en met eenzelfde uitstraling als het BIPV dak van AERspire te zijn. Suntrap heeft een nieuwe zonnecollector voor het AERspire dak ontwikkeld. Verder is een bestaande commerciële zonnecollector aangepast en geïntegreerd in het dak. Beide collectoren zijn geïntegreerd in een proefopstelling op het SolarBEAT dak (Figuur 5). De commerciële collector presteerde beter, maar is nog niet geschikt voor volledige integratie, vanwege de

dikte, de grootte en de positie van de aansluitingen. Daarvoor wordt nog een oplossing gezocht.



Figuur 5. Prototype AER dak op de SolarBEAT, links onder zijn 2 commerciële zonthermische collectoren, rechtsboven de Suntrap collectoren geïntegreerd.

Project conclusies

De belangrijkste conclusies die kunnen worden getrokken zijn:

- SCX Solar en Hotraco hebben een dakgeïntegreerd BIPVT-lucht systeem ontwikkeld dat zonnestroom en warme lucht produceert en transporteert. In de zomer zijn hoge temperaturen gehaald, de verwachte jaarlijkse efficiëntie bij een $\Delta T > 15^\circ \text{C}$ is ongeveer 7%. In principe is het PVT systeem na dit project inzetbaar op stallen waar men een redelijk modern beluchtingssysteem heeft dan wel laagwaardige warmte voor mestdroging en/of andere toepassingen wil in zetten. Een pré is dat de extra investeringen ten opzichte van een regulier BAPV-systeem relatief zeer beperkt zijn.
- SolarTech heeft uitgebreid onderzoek verricht naar de mogelijkheid tot ombouw van willekeurige zonnepanelen naar PVT-paneel, genaamd Multi Energy Paneel. Verschillende varianten zijn doorgemeten. Inmiddels worden de MEP-panelen op beperkte schaal verkocht. Ook zijn meerdere geïntegreerde platdak oplossingen voor de winning van thermische en elektrische energie in de praktijk aangelegd. Een eigen monitorings- en controlunit is ontwikkeld ter aansturing van het systeem.
- Er zijn twee typen thermische collectoren geïntegreerd in het AERspire-dak. De keuze voor de integratie in het AER-dak van een thermische collector is gemaakt en valt op de commerciële zonthermische collector vanwege een betere

performance. Er zijn nog wel een aantal ontwikkelstappen nodig: de collector is nog te dik en net iets te groot voor een goede integratie in het AERspire dak.

- Dimark Solar heeft een tweede generatie van hun modular energy roof ontwikkeld. Door een ander PVT collector concept is de efficiëntie bijna verdubbeld.
- GEO Holland heeft een aantal verschillende PVT prototypes ontwikkeld, waarbij de absorber dicht achter het PV paneel geklemd is of verder van het PV paneel af zit en functioneert als een warmtewisselaar met de buitenlucht.

De verschillende PVT en zonthermische collectoren zijn zowel outdoor op een dakopstelling als indoor onder een zonn simulator doorgemeten. Er zijn grote verschillen tussen de thermische performance van de verschillende collectoren. De modules gedragen zich ook als warmtewisselaar met de buitenlucht, hierdoor kan bij lage vloeistoftemperaturen een hoge efficiëntie gehaald worden. Verder is de DC elektrische performance van de verschillende PVT panelen zeer goed. De performance ratio ligt tussen 86 en 92 %. De elektrische performance van de Dimark-performance wordt beïnvloed door de PVT-vloeistoftemperatuur, terwijl de performance van Energiedak en GEO Holland juist meer beïnvloed worden door de buitentemperatuur.

Door de TU/e zijn verdere numerieke modellen ontwikkeld die gevalideerd zijn met binnen en buitenmetingen van de PVT collector performance. ECN heeft de absorptiecoëfficiënt van verschillende collectoren gemeten. Met behulp van de numerieke modellen is de impact van veranderingen op het design geoptimaliseerd.

Een PVT collector is maar een deel van het warmtesysteem en de prestaties hangen sterk af van het systeemontwerp en de toepassing. De grootste uitdagingen liggen dan ook op systeemniveau. Het verdient de aanbeveling om in volgende projecten vooral onderzoek te verrichten naar systeemontwerp en hoe dat kan bijdragen aan het bereiken van een goede energie performance van een woning of gebouw.

Dankbetuiging

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