

DAKRENOVATIE MET BEHULP VAN INNOVATIEVE PV ISOLATIE ELEMENTEN

MN van den Donker, B Hauck, R Valckenborg, K. Sinapis, W. Folkerts
Solar Energy Application Centre (SEAC), High Tech Campus 21, Eindhoven, Nederland

R. Borro
Zonnepanelen Parkstad BV, Albert Thijsstraat 4W, Eygelshoven, Nederland

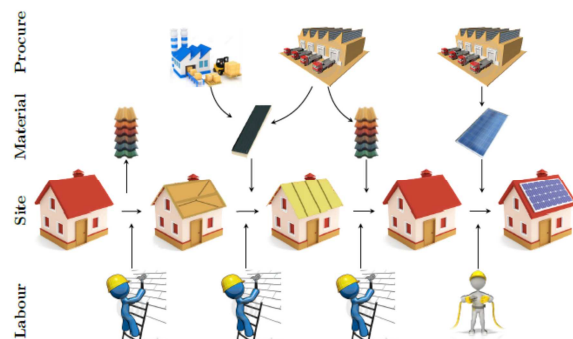
W. Passlack
Unilin Insulation BV, Postbus 3, Oisterwijk, Nederland

SAMENVATTING: Het LOCI project liep van 1 januari 2013 tot 31 december 2014. Het project werd uitgevoerd door Zonnepanelen Parkstad, Unilin Insulation en SEAC in opdracht van RVO. In het LOCI project is een PV isolatie element ontwikkeld. Met dit element is een veldtest uitgevoerd. Ook is er een technisch-financieel model ontwikkeld om de marktkansen voor dit product in kaart te brengen. Door de combinatie van dakrenovatie, dakisolatie én PV-systeem kunnen PV isolatie elementen de energie-index van het Nederlandse grondgebonden woningpark verlagen met meer dan 1.0, en het energielabel verbeteren met drie tot vier stappen (bijvoorbeeld van label E naar label A). Door dakbedekking, dakisolatie en PV-functionaliteiten te combineren in één product wordt het dakrenovatieproces sterk verkort en kunnen de totale systeemkosten dalen met 20%. De jaarlijkse energiebesparing op verwarming en elektriciteit van PV isolatie elementen bedraagt 1500 euro voor een gemiddeld huishouden. Een interne rendement op de initiële investering van bijna 10% kan worden behaald.

1 INTRODUCTIE

Een recente studie schat dat er de komende decennia in Nederland 300.000 woningen per jaar zullen moeten worden opgewaardeerd tot energie label A of beter [1]. Een dergelijk groot renovatieprogramma biedt een grote kans voor gebouw-geïntegreerde zonnestroom (BIPV, building integrated photo voltaics) toepassingen voor het hellende dak. Een belangrijke voorwaarde is dat de BIPV toepassing duidelijke kostenvoordelen ten opzichte van traditionele dak renovatie oplossingen biedt.

Het traditionele dak renovatie proces inclusief PV installatie is geschetst in Fig. 1. Hierbij worden gespecialiseerde dakwerkers vier maal ingezet: (1) De oude dakpannen verwijderen (2) isolatiematerialen plaatsen, (3) nieuwe dakpannen installeren en (4) het PV systeem installeren. Een enkel product dat de drie functies van isolatie, dakbedekking en PV combineert zou een grote vereenvoudiging van dit proces bieden, en significante kostenvoordelen bereiken.



Figuur 1 Schematische weergave van traditionele dak renovatie, bestaande uit de stappen (1) dakpan verwijderen (2) isolatie aanbrengen (3) dakpannen aanbrengen en (4) PV installeren.

In de afgelopen jaren hebben de instituten SEAC en SUPSI diverse onderzoeken over de beschikbaarheid BIPV producten verricht [2-5]. Ondanks het feit dat er meer dan honderd BIPV producten zijn gevonden, bestond er ten tijde van het LOCI project nog geen speciaal product voor de seriematige dakrenovatie van grondgebonden woningen dat de functies van dakbedekking, isolatie en PV combineert.

Het LOCI project liep van 1 januari 2013 tot 31 december 2014 en werd door uitgevoerd door Zonnepanelen Parkstad, Unilin Insulation en SEAC in opdracht van RVO. In het LOCI project is een PV isolatie element ontwikkeld. Met dit element is een veldtest uitgevoerd. Ook is er een technisch-financieel model ontwikkeld om de marktkansen voor dit product in kaart te brengen.

2 METHODE

2.1 Marktstudie

We begonnen met het schatten van de omvang van de potentiële markt. De potentiële markt is een combinatie van de sectoren voor de traditionele dak renovatie en PV installatie. De grootte van deze twee sectoren is geraamd met behulp van openbare gegevens van het CBS en EPIA [6-7].

2.2 Techno-financiële modellering

Middels techno-financiële modellering onderzochten het business case potentieel voor PV isolatie elementen toegepast in een Nederlands rijtjeshuis gebouwd vóór 1974.

Gegevens zijn voornamelijk verzameld via het Nederlands Bouwkosten Instituut [8]. De data werd gecheckt en aangevuld via gesprekken met en richtprijs-offertes van partijen die actief zijn in de dakrenovatie en PV sectoren.

Een belangrijke prestatie indicator die wordt gebruikt in de technische modellering was de Energie Index (EI). De EI van een gebouw vertegenwoordigt de gestandaardiseerde en genormaliseerde energiebehoefte gebaseerd op de maat, isolatiewaarde en technische installaties zoals PV [9]. We hebben commercieel beschikbare software van W/E Adviseurs gebruikt om het effect van PV en isolatie berekenen op Energy Index en Energielabel van het gekozen huistype.

Het dak van een typisch Nederlands rijtjeshuis heeft een helling van 35° en een dak oppervlakte van 30 m² aan elke zijde. Om de PV opbrengst voor dit dak te verkrijgen namen we voor één zijde van het dak de nieuw gedefinieerde gemiddelde Nederlandse PV opbrengst van 875 kWh/kWp/a aan [10]. Voor de andere zijde van het dak veronderstelde wij 60% van deze waarde, te weten 525 kWh/kWp/a.

De verkregen kosten en technische gegevens werden gebruikt als input in een techno- financieel model ontwikkeld aan het SEAC. Het model

combineert ingangsparameters op het gebied van prestaties, kosten en financiële regeling om uitgangswaardes als netto contante waarde en intern rendement te berekenen.

2.3 Productontwikkeling

In de product ontwikkeling volgden we een gestructureerde aanpak van diverse iteratieslagen van brainstormen, prototyping en evaluatie. Oplossingen voor de bevestiging van PV paneel op het isolatie-element, het wegwerken van de bekabeling en PV systeem-componenten, het hijsen van de PV isolatie-elementen op het dak, de verankering van isolatie-element in het dak, en de aaneenschakeling van diverse isolatie-elementen op het dak zijn bedacht en doorontwikkeld. Nadat een functioneel prototype was vervaardigd hebben we dit geïnstalleerd op een test-locatie en een uitgebreide veldtest uitgevoerd.

2.4 Veldtest

Het prototype dak werd opgebouwd op de SolarBEAT testsite van SEAC [11]. Het bestaat uit een dak van 6.00 meter breed en 5.30 meter hoog gemonteerd onder een hellingshoek van 35°.

De energieproductie van het dak werd gemeten met een UPP Energy vermogensmeter. Daarnaast werden er diverse temperatuur, flow en elektrische sensoren aangesloten op het dak. Datalogging gebeurde elke minuut 24 uur per dag. De data werd opgeslagen en beheert in de SEAC database en opgehaald middels de SEAC DataRetrievalTool.

Een voorspellende simulatie van de energie-output is uitgevoerd middels de commercieel beschikbare software PVSYST. De invoerparameters voor de PVSYST simulatie waren als volgt:




Locatie: Eindhoven, NL
Hellingshoek: 35 graden
Oriëntatie: 180 graden zuid
Montage: U-waarde 15 W/m² K
Ohmse verliezen: 1,5% bij STC

3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1 Markt studie

De resultaten van het marktonderzoek van de Nederlandse woningvoorraad is weergegeven in figuur 2. Huizen gebouwd vóór de oliecrisis in de jaren '70 zijn slecht geïsoleerd en hebben een energie-index van meer dan 2.0, waardoor het huis een E, F of G-energie label heeft. Er zijn 2,7 miljoen

van deze huizen met schuine daken. De meerderheid van deze huizen zijn rijtjeshuizen. Een groot deel van deze rijtjeshuizen is eigendom van de sociale woningcorporaties.

Type	Period	Usage [%]			Stock [1000]	EI	EL
		private	rental	social			
	until 1945	71	6	23	523	3,18	G
	1946 to 1964	40	3	57	478	2,49	F
	1965 to 1974	47	6	47	606	2,08	E
Terraced houses	total	52,7	5,1	42,2	1637	2,56	F
	until 1964	84	6	10	285	2,79	F
	1965 to 1974	84	2	14	142	2,38	E
	total	84	4,7	11,3	427	2,65	F
	until 1964	91	8	1	441	2,96	G
	1965 to 1974	95	4	1	119	2,42	F
	total	91,9	7,1	1	660	2,84	F
Total		67,1	5,5	27,4	2724	2,64	F

Figuur 2 Woningtypes, bouwperiode, gebruikstype, voorraad, gemiddelde Energie Index (EI) en Energie Label (EL) voor Nederlandse huizen met een schuin dak gebouwd vóór 1974.

De omvang van de Nederlandse renovatiemarkt van hellende daken is ongeveer 1.000.000 m²/a. De Nederlandse PV markt is nu al groter en groeit snel. In 2013 steeg de geïnstalleerde PV-capaciteit in Nederland van 350 tot 700 MWp. Ongeveer 85% van de capaciteit bestond uit kleinschalige, residentiële PV systemen. Fig. 3 schetsen van de positie van de doelgroep van BIPV voor dak renovatie. Het is een opkomende nichemarkt die voortkomt uit de overlap tussen de twee bestaande markten van PV-installaties en dak renovatie.

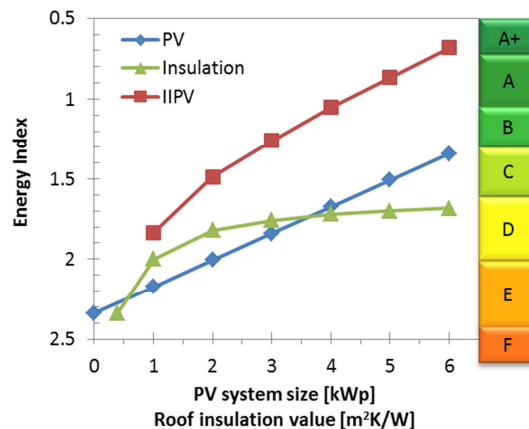


Figuur 3 Schematische weergave van de PV en dakrenovatie-markten, met daartussen de opkomende niche markt van “BIPV voor dak renovatie”.

3.2 Techno-financiële modellering

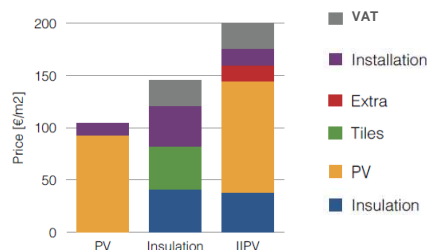
Fig. 4 toont hoe dakisolatie en een dakgebonden PV systeem de Energy Index (EI) van een huis beïnvloeden. In deze berekening hebben wij uitgegaan van een typisch rijtjeshuis gebouwd vóór 1974. De figuur laat zien dat een PV-systeem van 4 kWp hetzelfde effect op de EI heeft als een dakisolatie van 4 m²K/W. Indien zowel 4 kWp PV als ook 4 m²K/W dakisolatie wordt aangebracht, zal de EI van het huis met méér dan 1.0 afnemen. Het Energielabel van het huis zal in dat geval van label E opgeschroefd worden naar label A of B, en dit met een éénvoudige ingreep waarin slechts het dak onder handen wordt genomen en er nog niet naar

zaken als spouwmuur-isolatie en dubbel glas is gekeken.



Figuur 4 Effect van dakisolatie en PV op de energie-index (linker y-as) en het energielabel (rechter y-as) van een typisch Nederlands rijtjeshuis gebouwd vóór 1974. Getoond is het effect van een PV-systeem (PV - blauwe lijn), de isolatie van het dak (Insulation - groene lijn) en de gecombineerde Isolatie Integrated PV op het dak (IIPV - rode lijn).

Fig. 5 toont het resultaat van de kostenanalyse voor dakrenovatie en PV-installatie. De figuur toont de kostensamenstelling van een conventionele PV-installatie en de kostensamenstelling van een traditionele dakrenovatie en -isolatie. Bij elkaar opgeteld kost de traditionele aanpak van isolatie, dakrenovatie en PV installatie meer dan 250 €/m² voor een typisch renovatieproject. Een integrale aanpak met PV isolatie-elementen zal de kosten voor de dakpannen uitsparen en de arbeidskosten van dakwerkers sterk terugdringen. We schatten dat hierdoor de integrale kosten van het systeem zakken tot onder de 200 €/m².



Figuur 5 Typische prijzen per vierkante meter voor de PV-installatie, dak isolatie en de gecombineerde installatie van isolatie geïntegreerde PV (IIPV).

De figuren 4 en 5 tonen tezamen de sterkte van de dakisolatie geïntegreerde PV benadering: Het effect op de energie-index van de combinatie is dermate

hoog dat 4 volle energielabel stappen genomen kunnen worden, en de integrale kosten van de gecombineerde aanpak ligt 20% lager dan die van de traditionele aanpak.

De berekende energiebesparing en installatiekosten zijn gebruikt als input in SEAC's techno-financiële model. De resultaten zijn als volgt. De kostenbesparing per huishouden zal typisch € 1500 per jaar bedragen. Deze besparingen zijn ongeveer gelijkelijk verdeeld over isolatie-gerelateerde kostenbesparingen en PV-gerelateerde kostenbesparingen. Een typische terugverdientijd voor de dakrenovatie is 11 jaar. Een typisch interne rendement is 9%.

3.3 Product prototyping

Uit de marktstudie en interviews met verschillende partijen die actief zijn in de hellende daken renovatie markt zijn aantal belangrijke voorwaarden voor een succesvolle dakisolatie geïntegreerde PV productontwikkeling afgeleid, die hieronder puntsgewijs besproken worden.

1) Om de laagste kosten te bereiken, moeten de isolatie-elementen & PV-panelen in een geautomatiseerd productieproces geassembleerd worden en via een snelle kraan-montage op het dak worden gelegd.

2) De elektriciteitsproductie van het dak moet overeenkomen met de vraag van ongeveer 4000 kWh/a voor een typisch Nederlands huishouden. Voor een typische dak grootte van 30 m² aan weerszijden betekent dit een ideale energiedichtheid van de panelen van 150 Wp/m² indien alleen het zuid-dak beschouwd wordt en 95 Wp/m² indien beide dakhelften bedekt worden.

3) De dakrenovatie wordt liefst volledig van buitenaf uitgevoerd, zodat de bewoner niet gestoord wordt en zijn zolder intact kan laten. Hetzelfde geldt voor eventueel toekomstig onderhoud, reparatie en vervanging.

4) Het dak moet worden ontworpen worden voor een goede isolatiewaarde, grote diffusielengtes en voldoende ventilatie om schimmel en houtrot in het dak te voorkomen.

5) De esthetische waarde van het PV dak zoals dat waargenomen wordt door architecten en eindgebruikers moet hoog zijn. In de praktijk betekent dit dat kleine, volledig zwarte panelen de voorkeur genieten boven grote blauwe panelen met metalen frames.

6) De PV-panelen zijn bij voorkeur 1.20 m breed om goed aan te sluiten bij de gebruikelijke 'beukmaat' in de Nederlandse bouw.

7) De PV panelen zouden bij voorkeur een lage temperatuur coëfficiënt moeten hebben, omdat in BIPV opstellingen de PV panelen behoorlijk warm kunnen worden.

8) De PV-panelen tonen bij voorkeur een hoge resistentie tegen gedeeltelijke schaduw. Dit zal een tot een product leiden dat geschikt is voor alle daken en geen project-specifieke engineering nodig heeft.

De hierboven genoemde lijst begeleidde ons in de iteratieve productontwikkeling. Een belangrijke keuze hierin was de PV technologie. Bij kristallijn silicium PV technologie met een energiedichtheid van typisch 150 Wp/m² hoeft slechts één zijde van het dak te worden gebruikt voor energieproductie. Het nadeel hiervan is dat er op de niet-gebruikte zijde additionele kosten worden gemaakt in de vorm van dakpannen. In het geval van dunne film PV technologie, zou het volledige dak moeten worden gebruikt voor energie-productie. Tabel I geeft de voors en tegens weer van kristallijn silicium en dunne film technologie op de ontwerpcriteria.

Tabel I Respons van kristallijn silicium en dunne film technologie op de LOCI ontwerpcriteria.

Criterion	Crystalline silicon (south roof only)	Thin film (both roof sides)
High 'avoided costs' for roof tiles?	Partly (only half of the total roof covered with PV)	Yes (both roof sides covered).
Size 1.20m available?	Only on specific request, leading to higher price and lower power density.	Yes.
Tolerant to partial shading?	No. A shaded cell blocks all current.	Yes. A shaded cell does not block the current.
High in-roof temperature allowed?	No. High temperature coefficient of typically 0.4-0.5 %/K	Yes. Low temperature coefficient of typically <0.25 %/K
Low price per m ² ?	No. Typically 100 euro/m ² .	Yes. Typically 40 euro/m ² .
Aesthetic black appearance?	Not really. Tabs and cell-to-back foil contrast are distorting the view.	Yes.

Uit deze analyse kwam dunne film technologie als duidelijke winnaar naar boven wat betreft toepassing in BIPV dakoplossingen. We kozen er derhalve voor om het product prototype met behulp van dunne film PV panelen te vervaardigen. Het prototype product bestond uit een isolatie-element van 1.20m × 5.30m met daarop bevestigd 8 zwarte dunne film PV-panelen van 1.20m × 0.60m en een dummy paneel van 1,20 m × 0,30 m. De 8 panelen in een element werden parallel geschakeld om een nog betere performance bij partiële beschaduwing te

verkrijgen. Micro omvormers werden op de elementen geschroefd voor de DC naar AC conversie.

De voorgemonteerde en bedrade elementen werden middels een hijskraan gemonteerd op een proef dak zoals getoond in Fig. 6.

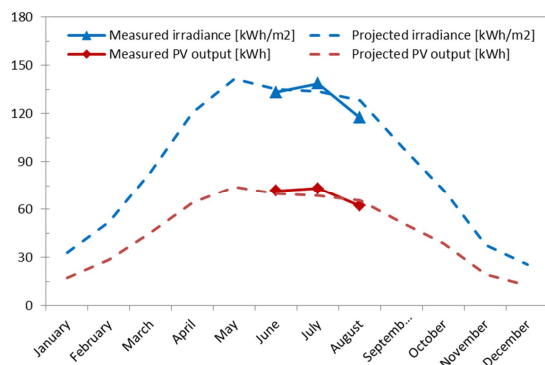


Figuur 6 Het monteren van de het product prototype op het proefdak in mei 2014.

3.3 Veldtest

Vanaf de installatie in mei 2014 werd de veldtest zorgvuldig gemonitord op diverse key performance parameters, met inbegrip van waterdichtheid, ventilatiestromingen, thermische huishouding en energieproductie.

Een voorbeeld van een analyse is getoond in Fig. 7. De energieproductie van het PV-systeem in zijn eerste drie maanden in werking is vergeleken met de voorspellende simulatie middels de commercieel beschikbare software PVSYSY. De voorspelling komt goed overeen met de gemeten waarde. Het LOCI systeem produceert tenminste 900 kWh/kWp/a.



Figuur 7 De voorspelling en meting van de instraling [kWh/m²/maand] en energieproductie [kWh/maand] voor het product prototype.

4 CONCLUSIES

Er is een opkomende nichemarkt in Nederland voor de gelijktijdige toepassing van dakrenovatie, dakisolatie en PV-installatie. Bij in totaal zo'n 3 miljoen huizen met schuine daken is er behoefte aan een 'energie-upgrade', bijvoorbeeld middels een dergelijke geavanceerde dakrenovatie. Deze nichemarkt wordt vooral gedreven door de Europese en nationale duurzaamheids-doelstellingen voor 2020 en 2050.

Een groot deel van de Nederlandse rijtjeshuizen is in het bezit van woningcorporaties. De "Energy Index" en de bijbehorende "energielabel" zijn belangrijke begrippen voor deze organisaties. De gecombineerde aanpak van dakisolatie en PV-toepassing kan de energie-index met meer dan 1.0 doen afnemen en het energielabel met 4 stappen verbeteren (ofwel van label E naar label A).

In de traditionele aanpak van afzonderlijke dakisolatie, dakpan installatie en PV-paneel installatie, moeten dakwerkers voor drie verschillende activiteiten het dak op. Benaderingen die dakbedekking, isolatie en PV functies combineren in één product reduceren dit tot slechts één dak-activiteit. Deze aanpak laat de integrale kosten met minimaal 20% afnemen.

Financieel is de gecombineerde aanpak van dakbedekking, isolatie en PV zeer aantrekkelijk. De jaarlijkse energiebesparing op verwarming en elektriciteit zijn van vergelijkbare waarde en bedragen tot 1500 euro voor een gemiddeld huishouden. Een intern rendement van bijna 10% kan worden bereikt op de initiële investering. De renovatie betaalt zichzelf in ongeveer 11 jaar terug.

In opdracht van RVO ontwikkelde SEAC, Unilin Insulation en Zonnepanelen Parkstad binnen het LOCI project een product dat inderdaad de dakbedekking, isolatie en PV-functionaliteiten combineert. Het prototype product is gebaseerd op dunne film PV technologie, omdat deze technologie het mogelijk maakt de 'vermeden kosten' voor dakpannen te maximaliseren, beschikbaar is op een afmeting van 1.20m, goed met partiële beschaduwing om kan gaan, lage temperatuur coëfficiënten kent, wordt verkocht tegen een lage prijs per m² en een homogene zwart uiterlijk heeft.

Een prototype dak is geconstrueerd en uitvoerig bemeten in een veldtest. Hieruit kwam naar voren dat het volledig functioneel is en circa 900 kWh/kWp/a aan elektriciteit opbrengt.

DANKWOORD

De auteurs dragen dit rapport op aan Jan van Schijndel†. Zonder zijn hulp zou het prototype niet zijn wat het is geworden. Daarnaast bedanken de auteurs Geert Litjens, Ben Ludlage, Pieter Nuyten en Geert Verbong voor praktische hulp en het delen van inzichten. Dit werk is ondersteund door 'Rijksdienst voor Ondernemend Nederland' (RVO) en de Nederlandse Topteam Energie via het project LOCI met subsidie nummer TKIZ01013.

REFERENTIES

- [1] Van den Wijngaart, Folkert and Van Middelkoop, *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050*, online available at www.pbl.nl
- [2] K. Sinapis and M.N. van den Donker, *BIPV Report 2013*, online available at www.seac.cc
- [3] www.bipv.ch
- [4] G. Verberne *et al.*, *BIPV Products for Façades*

- and Roofs: A Market Analysis*, 29th EU-PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, September 2014
- [5] P. Bonomo *et al.*, *BIPV Product Overview for Solar Façades and Roofs*, to be published
- [6] Centraal Bureau voor de Statistiek, www.cbs.nl/statline
- [7] G. Masson, M. Latour, M. Rekingier, I.T. Theologitis, M. Papoutsi, *Global Market Outlook 2013*, online available at www.epia.org
- [8] Nederlands Bouwkosten Instituut, *Bouwkosten per m² – kostenkengetallen*
- [9] Dutch building codes *NEN7120* and *NEN7120-Nader Voorschrift*
- [10] W. van Sark *et al.*, *Update of the Dutch PV Specific Yield for Determination of PV Contribution to Renewable Energy Production: 25% More Energy!*, 29th EU-PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, September 2014
- [11] R. Valckenborg *et al.*, *The BIPV Research Facility 'SolarBEAT' in the Netherlands*, 29th EU-PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, September 2014