

Openbare Eindrapportage

TKI UE project

“PVT-Hybride warmtepomp Systeemconcept voor woningrenovatie”



TKI Urban Energy Project “PVT-Hybride warmtepomp Systeemconcept voor woningrenovatie”

Referentienummer RVO: TEUE218002

Uitvoeringsperiode van het onderzoek: 1 April 2019 tot 1 April-2023

Openbaar eindrapport

Versie: Definitief

Datum 29-5-2023

Belangrijke aandeel vanuit het project door diverse personen van diverse bedrijven en partners, o.a.:

Viridi PVT BV	Peter Pollemans
Saxion	Simon Hageman, Martin Buitink, Jonathan Montanes, Christian Struck, Richard van Leeuwen
TNO	Arie Kalkman
Domijn	Pascal Ten Berge
Reggewoon	Richard Bijl
Pioneering	Niki van Urk

Het project is uitgevoerd met Topsectoren Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

Projectpartners

Naam deelnemer	Rol in project
<p>Viridi B.V.</p> 	<p>Ontwikkeling, levering en installatie componenten en systeem, exploitatie projectresultaten</p>
<p>Saxion Hogeschool</p> 	<p>Penvoerder, PVT testexpert en Praktijkgericht onderzoek woningtesten, modelvorming</p>
<p>TNO</p> 	<p>R&D, componentontwikkeling, PVT, warmtepomp en -testexpert</p>
<p>Woningcorporatie Domijn</p> 	<p>Renovatie van woning met met Viridi concept, pilot locatie</p>
<p>Woningcorporatie Reggewoon</p> 	<p>Renovatie van woning met Viridi concept, pilot locatie</p>
<p>Stichting Pioneering</p> 	<p>Kennissessies met woningcorporaties en met de markt</p>

Samenvatting

Aanleiding

Aanleiding van dit project is om in het kader van de warmtetransitie (woningen van gas los) een geoptimaliseerd en robuust systeemconcept te ontwikkelen voor duurzame verwarming van woningen, met nadruk op de bestaande woningvoorraad. Hiervoor wordt een PVT-systeem gebruikt waarbij elektrische energie (PV) en thermische energie (T) wordt opgewekt. Een innovatief PVT-systeem van Viridi wordt doorontwikkeld om de warmteoverdracht te verbeteren. Daardoor neemt de thermische opbrengst van het systeem toe en ook de opbrengst van het PV-systeem wordt hoger. Het PVT-systeem van Viridi is uniek door de flexibele thermische collector die aan bestaande PV-panelen kan worden aangebracht. Op basis van eerdere meetdata kan de conclusie worden getrokken dat met een aantal van 6 tot 12 PVT-panelen er gemiddeld over het gehele jaar een acceptabel rendement kan worden gerealiseerd dat vergelijkbaar is met een ondergrondse bodembron gebonden warmtepomp systeem.

Een PVT-systeem van Viridi heeft diverse voordelen:

- Gelijkmatische koeling van het paneel
- De collector kan op ieder bestaand PV-paneel worden aangebracht
- Geen gebruik van gevel ontsierende buitenunit en geen geluid
- Interessant voor zon-thermische energieconcepten
- Elastisch bij lage temperaturen
- Goedkoop aanbrengen van thermische collector aan een PV-paneel
- Groot koelvolumen achter het PV-paneel
- Potentieel hoog rendement

Doel van het project

Dit project levert een gevalideerd systeemconcept voor warmtepomptoepassing in woningen met PVT als bronsysteem, dat een alternatief biedt voor buitenlucht- en bodemsystemen als bronsysteem voor de warmtepomp. Naar verwachting kan hiermee een goede COP worden bereikt die vergelijkbaar is met die van systemen met een bodembron. Daarnaast wordt ten behoeve van de dimensionering een wiskundig systeemmodel ontwikkeld en geverifieerd met behulp van een gedetailleerd systeemmodel. Tevens wordt het PVT-systeem in de praktijk beproefd in woningen. Voor het regelsysteem worden mogelijkheden voor optimalisatie onderzocht en tijdens de pilots beproefd.

In de basis bestaat het project uit 3 inhoudelijke werkpakketten:

- Doorontwikkeling van het PVT-component
- Systeemoptimalisatie met rekenmodel en *predictive control*
- Testen pilot systeem in woning

Resultaten van het project

Doorontwikkeling PVT-component

Viridi heeft een uniek PVT-concept ontwikkeld op basis van een 3D gewoven textiel met aan weerskanten een siliconen laag. Een goed PVT-paneel met hoge opbrengst valt of staat met een goede verlijming en productie en verwerkingsmethode. Daarom zijn een aantal *verbetermogelijkheden* geformuleerd.

- De gebruikte lijm (siliconen) vervangen door een lijm met een betere warmtegeleiding.
- Verbeteren thermische contact tussen warmtewisselaar en PV-paneel
- Onderzoeken hoe dun de lijm kan/moet zijn om toch voldoende mechanische stabiliteit te behouden.

Voor het selecteren van een geschikte lijm is een lijst met 93 diverse soorten lijm samengesteld. Als uitgangspunt is de huidige lijm genomen die Viridi gebruikt; De 93 lijmsorten zijn onderworpen aan diverse criteria met als belangrijkste criteria de thermische geleiding en het dunner aanbrengen van de lijm. Het opstellen van criteria is niet gemakkelijk, omdat deelinformatie over de lijm ontbreekt waardoor dit het onderling vergelijken bemoeilijkt. Ook is gekeken naar criteria die buiten de chemische lijmeigenschappen vallen zoals de kosten van de lijm. Hierbij is de aan te brengen lijmdikte ook van belang. Uiteindelijk zijn bij het onderzoek naast de referentie lijmen 3 soorten lijm naar voren gekomen als geschikte kandidaten.

Met de huidige lijm van Viridi PVT is een warmte geleidbaarheidstest uitgevoerd. Hiervoor is een groter stuk gelijmd paneel verdeeld in meerdere kleinere stukken. Van deze kleinere stukken is de warmtegeleidbaarheid afzonderlijk gemeten. Hierdoor kan bepaald worden of de warmteoverdracht van het geproduceerde PVT paneel homogeen is. Uit het onderzoek komt naar voren dat de gemeten warmtegeleiding afhangt van de lijmdiktes. Het is daarom essentieel de lijm gelijkmatig te verdelen tijdens de productie.

Een dunne laag lijm zorgt juist voor meer stabiliteit. De mechanische stabiliteit is onderzocht met een trekbankstelsel. Hierbij is gebruik gemaakt van proefstukken van 25 mm x 170 mm. Na de trekbanktest is de lijm zichtbaar op zowel het PV- en T-paneel. Op enkele plekken is de lijm niet meer zichtbaar op het T-paneel, waardoor geconcludeerd kan worden dat het PV-paneel iets beter hecht dan het T-paneel. De trektesten zijn uitgevoerd met verschillende folies (diverse PV-merken), het resultaat verandert daardoor niet. Het gebruikte materiaal (folie en mat) was sterker dan de lijm. Om de mechanische trekkracht te verhogen is het daarom van essentieel belang de lijmlaagdikte te minimaliseren.

Systeemoptimalisatie met rekenmodel en *predictive control*

Een rekenmodel is ontwikkeld van het totale PVT-systeem. Met dit rekenmodel kan een goede inschattingen gemaakt worden bij welke type woningen het PVT-systeem uiteindelijk toepasbaar is. Het rekenmodel bestaat uit verschillende componenten: PVT-panelen, warmtepomp, buffervat en woning. Het rekenmodel is een vereenvoudigd model en dit is gerealiseerd door het gebruik van een zgn. thermisch netwerkmodel. De verschillende systeemcomponenten zijn gemodelleerd in Python. Het woningmodel is op twee manieren gevalideerd, allereerst aan de hand van de BESTEST en daarnaast ook aan metingen van de co-heatingtest in combinatie met gebouwddata uit IDA-ICE. Het PVT-model is geverifieerd aan de hand van meetdata.

Voor dit onderzoek zijn woningen gerenoveerd en is de isolatie verbeterd. Door Saxion is een co-heatingtest en een blower-door-test uitgevoerd van de gerenoveerde woningen, zowel voor de renovatie als na de renovatie. Deze testen laten het effect van de renovatie zien en de data van na de renovatie is gebruikt voor validatie van het rekenmodel van de woning.

Met behulp van het rekenmodel is een verkenning gemaakt naar geavanceerde 'model predictive control' voor het complexe systeem (PVT/warmtepomp/buffervat/warmteafgifte). Deze vorm van sturing wijkt af van de huidige sturing op basis van watertemperatuur en buitentemperatuur. De 'model predictive control' is een belangrijk element om te komen tot optimale inzet van de ontwikkelde hardware en de hier ontwikkelde kennis is ook van belang voor andere energiesystemen.

Volgens de uitgevoerde simulaties kan met eenvoudige aanpassingen van de thermostaatregeling het percentage eigen gebruik van de opgewekte elektriciteit (PV) voor de warmtepomp aanzienlijk stijgen in vergelijking met een systeem dat alleen op een warmtevraag reageert. Dit is op wijkniveau belangrijk om de kans op netcongestie te verminderen. Ook was het mogelijk de COP van de warmtepomp te beïnvloeden door slimme sturing toe te passen. Uiteindelijk kan volgens de simulaties ook de PV opbrengst worden verhoogd door op het juiste moment te koelen.

Testen pilot systeem in woning

Naast productontwikkeling en simulaties is het PVT-systeem ook getest op locaties en gekoppeld aan weersomstandigheden. Het PVT-warmtepumpsysteem is opgebouwd en daar is ook een meetopstelling geplaatst om de weersomstandigheden en het systeem te meten. Hierbij zijn voor twee meetseries de parameters van de collectorcurve bepaald. Belangrijk resultaat van de meting is de invloed van neerslag/regen/vocht op het PVT-proces. Water heeft een grote warmtecapaciteit en de aanwezigheid van regen heeft daardoor een grote invloed op de prestatie van het PVT-systeem. Ook belangrijk daarbij is wanneer waterdamp condenseert op het paneel er grote hoeveelheden condensatiewarmte vrijkomt welke opgenomen kan worden door het PVT-systeem.

Het integrale PVT-systeem van Viridi is geplaatst in een woning. Tevens is een data-analyse systeem aangebracht. Hiervoor zijn een meetplan en installatiehandleiding opgeleverd. Het PVT-systeem is met een minimaal aantal panelen bijna een gehele winter gemonitord.

Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

Met het testen en ontwikkelen van het PVT-systeem is een bijdrage geleverd voor verbetering van energieprestaties van bestaande woningen: Met het concept bestaande uit 6 PVT-panelen betreft dit 12% van de woningvoorraad en met het concept bestaande uit 12 panelen betreft dit 36% van de woningvoorraad. Het systeem maakt geen gebruik van een buitenunit. Tevens kan een slimme sturing van het systeem het rendement verhogen.

Met het project is de kennispositie versterkt op het gebied van productontwikkeling PVT-systemen, modelvorming van woningen en PVT-systemen, monitoring van woningen en PVT-systemen, slimme regeling van PVT-systemen, interpretatie van PVT-data en PVT als bron voor warmtepumpsystemen als optie voor verduurzaming van woningen.

Overzicht van openbare publicaties over het project

Solar Magazine: Physycon: stroom en warmte hand in hand"; Solar Magazine, Mei 2019, P31:
<https://solarmagazine.nl/u/magazine/sm2-2019.pdf>

Abstract en presentatie: "Viridi PVT-panelen als bron voor warmtepompen" Online op Nationaal Warmtecongres 2021, 14 december 2020, Ebook -Warmtetransitie Nationaal warmte Congres, p19. S.Hageman, J.Visser, R. van Leeuwen.

Solar Magazine: „Bij renovatieprojecten is de keuze voor PVT vaak logisch" Solar Magazine, December 2020, p38 : <https://solarmagazine.nl/u/magazine/sm5-2020.pdf#page=38>

Abstract geaccepteerd voor presentatie: **"Effects of smart control of PVT heat pump systems on PV self-consumption"** Kopenhagen van 12 tot 13 september 2023: <https://smartenergysystems.eu/>.
M. Buitink, J. Reurslag, S. Hageman, R. van Leeuwen, Sustainable Energy Systems, Saxion University of Applied Sciences, the Netherlands

Informatie over PVT paneel van Viridi
Dhr. Peter Pollemans,
P.Pollemans@viridipvt.com

Algemene informatie over het onderzoek:
dr. ir. Simon Hageman,
dr. ir. Richard van Leeuwen,
sustainableenergysystems.led@saxion.nl