

**Buildings, Infrastructure &
Maritime**Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft
Postbus 6012
2600 JA Delftwww.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport**2022 TNO R10588-Rev Openbare Samenvatting****FITS4E:****Facade panels with an invisible thermal solar
collector for energy**

Datum	6 september 2022
Auteur(s)	Marco Bakker (TNO) Sanne van Leeuwen (TNO) Bart Erich (TNO) Veronique Barthelemy (TNO) Gerrit Jan van Riessen (Emergo)

Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	10 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	RVO
Projectnaam	FITS4E
Projectnummer	TEUE116224

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Openbare samenvatting

Het verbeteren van de energie-efficiëntie van woningen is van cruciaal belang met het oog op de schaarste aan fossiele brandstoffen en de ecologische impact van energieverbruik. Snelle en grootschalige renovatie van het bestaande woningbestand is daarvoor essentieel. In de EU-28 is voor opwekking van duurzame energie in totaal zo'n 60 miljard vierkante meter aan geveloppervlak beschikbaar, evenveel als het beschikbare dakoppervlak. Dit beschikbare geveloppervlak wordt momenteel nog maar zeer beperkt gebruikt voor energiewinning, terwijl dit in potentie een grote bijdrage zou kunnen leveren, juist in lente en herfst, wanneer de zoninstralingshoek op gevels relatief gunstig is.

Het doel van dit project (FITS4E) is om gevelpanelen te demonstreren met onzichtbare thermische zonnecollectoren om de toepassing en het winnen van energie te vergroten. Deze gekleurde gevelcollectoren, met een zonne-absorptie van meer dan 40% (voor wit) tot 90% (voor andere kleuren, zoals rood), kunnen in verschillende toepassingen worden gebruikt, bv. voor voorverwarming van leidingwater of als bron voor een warmtepompsysteem.

In een eerder TKI-project (FITS) is een in de gevel geïntegreerde collector en coatingsysteem ontwikkeld dat de maximale hoeveelheid van het zonnespectrum (m.n. in het nabij-infrarood) oogst, ook bij andere (zichtbare) kleuren dan zwart. Het huidige project (FITS4E) is hiervan een voortzetting, die richt zich op het demonstreren van de prestatie van deze gevelpanelen in de praktijk.

De energetische prestaties van het paneel zijn gedurende een volledig jaar getest in de openluchttestfaciliteit van het Solar Energy Application Center (SEAC). Daarnaast zijn de fysische aspecten zoals isolatie en vochttransport gemonitord om te garanderen dat de prestaties van normale gevelpanelen worden gehaald.

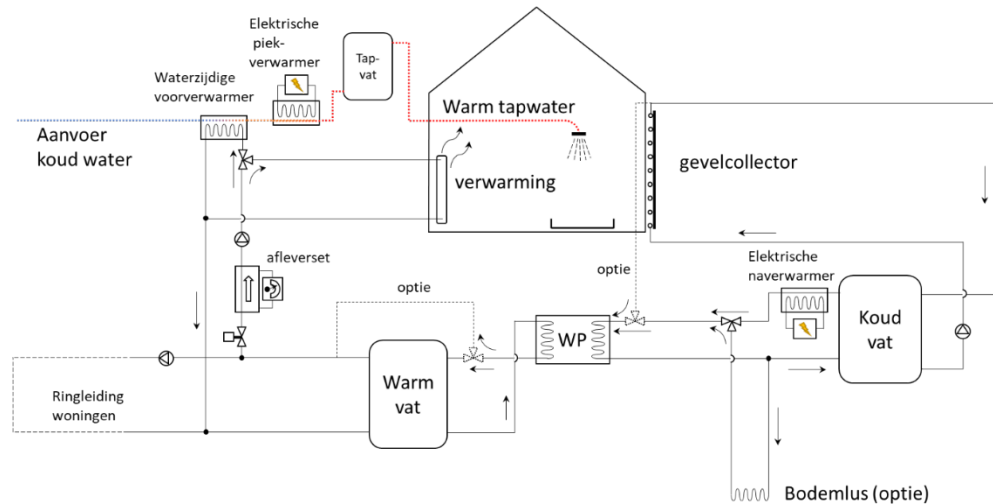
Vervolgens zijn de energetische prestaties van de panelen in de praktijk aangetoond in twee demonstratielocaties in Almere en Stadskanaal.

Projectpartners

Dit project is uitgevoerd door penvoerder TNO, met projectpartners AkzoNobel, Emergo, Pilkington, Janssen de Jong en Gemeente Almere.

Concept

Onderstaande figuur 1 geeft een overzicht van het totale installatieconcept voor een FITS-warmtepompsysteem. Dit schema laat alle mogelijke varianten en opties zien; in specifieke gevallen (en in de twee demonstraties in dit project) zijn hier eenvoudigere varianten van afgeleid.



Figuur 1 Principe-installatieconcept van een FITS-systeem.

De dimensionering van het systeem draait daarbij vooral om de berekening van het benodigde oppervlak aan gevelpanelen en het volume van het buffervat. Uit de systeemberekeningen die in dit project zijn uitgevoerd, is voor een gemiddelde woning ca. 15 m² aan gevelpanelen nodig om de warmtevraag af te dekken, onafhankelijk van de oriëntatie. Dit betekent voor een rijtjeswoning dat enkel het geveloppervlak van de 1^e verdieping al voldoende zou zijn. Een buffervat van 200 liter is daarbij voldoende.

Toepassing van een FITS-systeem stelt wel enige eisen aan de woning, met name dat de warmtevraag door overige renovatiemaatregelen gereduceerd kan worden naar maximaal 5 kW op een koude dag, door (voor zover nodig) een combinatie van gevel- dak en vloerisolatie, kierdichting, warmteterugwinning en glasvervanging. Ook is ruimte benodigd voor een warmtepomp en warmtebuffer.

Prestatiemetingen individuele FITS-panelen

Ter voorbereiding van de demonstratie en optimalisatie van de gevelpanelen en het systeemontwerp zijn bij de start van dit project een aantal varianten van de gevelpanelen uitvoerig getest in het Solar Energy Application Centre (SEAC) van TNO in Eindhoven. Het doel van deze tests was om de thermische prestatie van de gevelpanelen onder realistische omstandigheden te testen onder verschillende condities zoals buitentemperatuur en windsnelheid. Het experimentele werk omvatte het testen van zes verschillende collectoren in de buitentestfaciliteit van SEAC (zie onderstaande figuur), van 7 september 2017 tot 26 september 2018.



Figuur 2 Afgedekte en onafgedekte FITS-panelen in de testopstelling bij SEAC.

Op basis van de meetresultaten is voor het uitvoeren van de demonstraties gekozen voor een concept met onafgedekte collectoren zonder glasafdekking (zie figuur 2). Een aantal zaken speelden hierbij een rol: hoewel de afgedekte collectoren een hogere kwaliteit warmte kunnen opleveren (hogere temperatuur) werken de onafgedekte collector directer als warmtewisselaar ook bij kleinere temperatuurverschillen met de buitenlucht en daarmee gemiddeld over het gehele jaar in verschillende seizoenen een betere prestatie leveren. Daarmee presteerden de onafgedekte collectoren beter dan vooraf was gedacht. Daarnaast spelen een aantal praktische overwegingen zoals kosten van de collectoren en het gewicht van collector aan de gevel mee.

Demonstratielocaties

Oorspronkelijk was gepland om de FITS-panelen op drie locaties te demonstreren: het bleek echter complex en zeer tijdrovend om binnen de looptijd van het project en binnen het portfolio van de daarvoor betrokken partijen (Gemeente Almere, en oorspronkelijk ook Gemeente Amsterdam en Woonbedrijf Eindhoven) drie geschikte locaties te vinden. Uiteindelijk is er daarom voor gekozen om de twee laatstgenoemde partners geen onderdeel van het project te laten zijn en de demonstraties uit te voeren op alternatieve locaties bij Gemeente Almere en Emergo.

De FITS-panelen zijn op twee locaties gedemonstreerd: een gymzaal naast een school aan de Vrijmark in Almere, en een woning aan de Industriestraat in Stadskanaal, nabij de fabriek van Emergo.

Bij het ontwerp van de gevel voor de gymzaal in Almere is een architect betrokken die verantwoordelijk was voor een ontwerp dat goed past in de omgeving. Voor het ontwerp van de gevel is gekozen voor een ensemble aan groentinten met verticale belijning. Door de gevelcassettes verschillende diktes te geven wordt een reliëf in de gevel gecreëerd, zie figuur 3. De visie van de architect is dat door dit gevelontwerp de gymzaal opgenomen wordt in de boomrijke groene omgeving.

De zuidoost-, zuidwest- en noordoostgevel zijn uitgevoerd met in totaal 140 m² FITS-panelen. Dit is voldoende om met FITS panelen de warmtevraag van de gymzaal te dekken; de noordwestgevel blijft zo beschikbaar voor raampartijen en daglicht in de gymzaal. De opgewekte warmte wordt in de gymzaal gebruikt voor verwarming van de zaal en kleedruimtes via vloerverwarming. Daarnaast is er een relatief grote buffer geplaatst zodat de opgewekte warmte ook voor meerdere douches tegelijk gebruikt kan worden (grotere vraag naar warmte in korte tijd). De gymzaal is toepassing van dit systeem geheel van het gas af.



Figuur 3 Gymzaal de Vrijmark Almere, na installatie van de FITS-panelen.

De tweede demonstratie heeft plaatsgevonden op een woning in Stadskanaal nabij Emergo. Deze woning werd in het begin van de demoperiode bewoond door een gezin; tijdens de demoperiode is het gebruik veranderd naar kantoorruimte voor een afdeling van Emergo. De woning, ook wel *House of Innovations* genoemd is gedurende de demoperiode intensief gebruikt. Er worden naast de FITS-panelen diverse andere innovaties getest.



Figuur 4 Woning Industriestraat 18, Stadskanaal, na installatie van de FITS-panelen.

De woning is uitgerust met een gasgestookte HR CV-ketel, vloerverwarming op de begane grond en radiatoren op de verdieping. Er is gekozen voor een energiesysteem waarin de warmtepomp warmte levert aan het bestaande CV-systeem, zodat die bij kan springen wanneer de warmtevraag hoger is dan de warmtepomp kan leveren. Ook is er gekozen voor een buffer aan de bronzijde van de warmtepomp: ten opzichte van een buffer aan de afgiftezijde heeft dit het voordeel dat er geen warmtepomp nodig is om warmte uit de panelen te bufferen.

Op de woning is in totaal 20 m² FITS-panelen geïnstalleerd op de zuidoost- en zuidwestgevel (resp. de achter- en zijgevel). Daarbij is gekozen voor donkerrode panelen (RAL3007): deze kleur was goed maakbaar met de coatings van AkzoNobel die reeds waren geoptimaliseerd voor dit doel, en paste volgens Emergo goed in het beeld van de woningmarkt gezien de overeenkomst met de kleur van baksteen.

Resultaten monitoring

In verband met enkele technische complicaties is het niet mogelijk gebleken de besparing door het FITS-systeem in Almere direct te meten. Indirect blijkt echter zonder twijfel dat het systeem bespaart: ten opzichte van een andere, vergelijkbare gymzaal in Almere heeft de gymzaal met het FITS-systeem 17 MWh per jaar aan elektriciteit verbruikt, versus 30 MWh voor de gymzaal met een conventionele lucht/water-warmtepomp.

Ook is een vergelijking voor en na renovatie gemaakt: in 2018 (voor renovatie) verbruikte de gymzaal 10 MWh elektriciteit en 4.000 m³ gas (38 MWh), samen goed voor een CO₂-uitstoot van 6.490 + 7.200 = 13.690 kg CO₂. In 2020 (na renovatie) was het verbruik 17 MWh elektriciteit (en geen gas), goed voor 11.033 kg CO₂-uitstoot. Dat vertaalt zich in een jaargemiddelde COP van 5.5 en een CO₂-besparing van 2.657 kg CO₂ per jaar.

Voor de evaluatie van de demonstratielocatie in Stadskanaal zijn meer gedetailleerde data beschikbaar: naast temperaturen op diverse plaatsen in het

systeem zijn ook het door de panelen geleverde vermogen, de COP van de warmtepomp en de warmtevraag gemeten. Het systeem in Stadskanaal is gemonitord van 2 oktober 2020 tot 14 oktober 2021.

De uit de metingen volgende seasonal COP en de jaargemiddelde COP is weergegeven in onderstaande tabel 1. Deze is lager dan oorspronkelijk verwacht, vanwege de hoge warmtevraag in deze beperkt geïsoleerde woning, in combinatie met een relatief beperkte hoeveelheid geplaatste panelen.

Tabel 1 Jaargemiddelde COP van het FITS-systeem.

	Full year	Winter 2020-21	Spring 2021	Summer 2021	Fall * 2020 / 2021
Average COP	3.38	2.98	4.01	3.44	3.28

Het gebruik van zonnewarmte als bron voor een warmtepomp vertaalt zich in een significante verhoging van de SCOP t.o.v. de luchtwarmtepomp en resulteert bij de juiste dimensionering in een betere SCOP dan een bodemwarmtepomp. Daarbij is voor toepassing van een FITS-systeem geen bodemboring nodig.

Conclusies

In dit project zijn de prestaties van gevelpanelen met onzichtbare thermische zonnecollectoren bemeaten, zowel op componentniveau als in een verwarmingssysteem, en zijn de panelen gedemonstreerd op twee locaties (in Almere en Stadskanaal). Hoewel door praktische omstandigheden de beide demonstratielocaties niet één op één correspondeerden met de beoogde toepassing in een woning, hebben de resultaten wel laten zien dat dit systeem presteert als verwacht, en als zodanig toegepast kan worden voor de duurzame verwarming van woningen. Ook heeft het uiterlijk van de gevelpanelen op beide demonstratielocaties tot veel positieve reacties geleid.

Wel is tijdens de demonstraties gebleken dat dit soort relatief complexe installaties (veel) extra aandacht vereisen, al vroeg in het ontwerp- en realisatieproces. Om veel installatie- en monitoringstijd te kunnen besparen, is het daarom cruciaal met complete kant-en-klare installatieconcepten te komen. Daarnaast heeft de keuze voor een FITS-systeem impact op zowel het bouwkundige als het installatietechnische ontwerp. Nauwe samenwerking tussen deze beide disciplines is daarom al in het ontwerpstadium essentieel.

Voor vragen over dit project of de FITS-technologie kunt u contact opnemen met Bart Erich (bart.erich@tno.nl).

FITS in de media

- 1) “Nederlandse bedrijven maken ‘onzichtbare’ zonnecollector”
<https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i14639/nederlandse-bedrijven-maken-onzichtbare-zonnecollector>
- 2) “Warmtewingeverl onthuld: zonnecollector opwekken met warmte-absorberende verf”
<https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i22438/warmtewingeverl-onthuld-zonnecollector-opwekken-met-warmte-absorberende-verf>
- 3) “Zijn deze collectoren de warmtebron van de toekomst?”
<https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/zijn-deze-collectoren-de-warmtebron-van-de-toekomst>
- 4) “Warmte-absorberende verf zorgt voor win-winsituatie”
DGBC toekomstbouwers 2020 magazine
<https://dgbcf.foleon.com/toekomstbouwers-2020-1/toekomstbouwers-2020-1/paris-proof-innovatie/>
- 5) Webinar georganiseerd door TNO i.s.m. Emergo en Gemeente Almere tijdens de Dutch Green Building Week 2020 van DGBC
<https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2020/9/warmte-absorberende-verf-maakt-van-gevel-energieopwekker/>
- 6) “Warmte opwekken met gekleurde coatings op gevelbeplating”
<https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/duurzaamheid/warmte-opwekken-met-gekleurde-coatings-op-gevelbeplating/>
- 7) “Coating op gevel gymzaal absorbeert warmte”
<https://www.renovatietotaal.nl/2020/05/04/coating-op-gevel-gymzaal-absorbeert-warmte/>
- 8) “Innoveren is samenwerken”
<https://www.janssendejongbouw.nl/3947-2/>
- 9) “Kan de gevel een energieopwekker zijn?”
<https://www.installatie.nl/nieuws/kan-de-gevel-een-energieopwekker-zijn/>
- 10) “De moeizame weg naar het verfschap”
<https://www.nemokennislink.nl/publicaties/de-moeizame-weg-naar-het-verfschap>
- 11) “Warmte-absorberende verf op gevel verwarmt en koelt gebouw”
<https://www.change.inc/energie/warmte-absorberende-verf-op-gevel-verwarmt-en-koelt-gebouw-34747>
- 12) “TNO ontwikkelt verf die fungeert als zonnecollector”
<https://www.essent.nl/overessent/duurzaamheid-nieuws/index.html/tno-ontwikkelt-verf-die-fungeert-als-zonnecollector/#>
- 13) “Warmte-absorberende verf maakt van gevel energieopwekker”
<https://emis.vito.be/nl/artikel/warmte-absorberende-verf-maakt-van-gevel-energieopwekker>

- 14) “Warmte-absorberende verf maakt van gevel energieopwekker”
<https://www.energienieuws.info/2020/10/warmte-absorberende-verf-maakt-van.html>
- 15) Emergo Visie magazine 2017
<https://indd.adobe.com/view/a0288059-4158-4411-87e2-3a02b645285a>
- 16) Emergo Visie magazine 2019
<https://indd.adobe.com/view/d035e3b7-93c5-4bdb-b9d0-4639348ce13e>
- 17) FITS - warmte oogsten uit de gevel
<https://www.emergo.nl/inzichten/fits-warmte-oogsten-uit-de-gevel>
- 18) <https://www.emergo.nl/producten-en-oplossingen/energiesystemen/fits>
- 19) <https://www.linkedin.com/pulse/elektriciteit-van-het-dak-en-warmte-uit-de-gevel-hendrik-jan-weggeman/>
- 20) “Calosol – nieuwe coating haalt meer energie uit zonlicht”
<https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/techtransfer/projecten/calosol-nieuwe-coating-haalt-meer-energie-uit-zonlicht/>
- 21) Horizon Magazine “How Europe’s city façades and pavements are being used to harvest clean energy” (ENVISION project)
<https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2018/10/envision-energie-winnen-door-middel-van-onzichtbaar-geintegreerde-zonnepanelen-in-gebouwgevels/>
- 22) TNO #zie je het voor je campagne: de toekomst van zonne-energie.
 - <https://www.nu.nl/advertorial/advertorial-tno-innovation-for-life/6051312/in-de-toekomst-gaan-zonnepanelen-uit-het-straatbeeld-verdwijnen.html>
 - <https://youtu.be/pMyQLEMhNVE> (FITS bij 0:08)
- 23) “Warmtewinpanelen geven Brabantse proefhuizen warm water” (ENVISION project)
<https://www.cobouw.nl/innovatie/nieuws/2022/01/warmtewinpanelen-geven-brabantse-proefhuizen-warm-water-101302440>

Ondertekening

Delft, 6 september 2022

TNO

Ir. Ing. M. Steins
Afdelingshoofd

Drs. M. Bakker, MTD
Projectleider