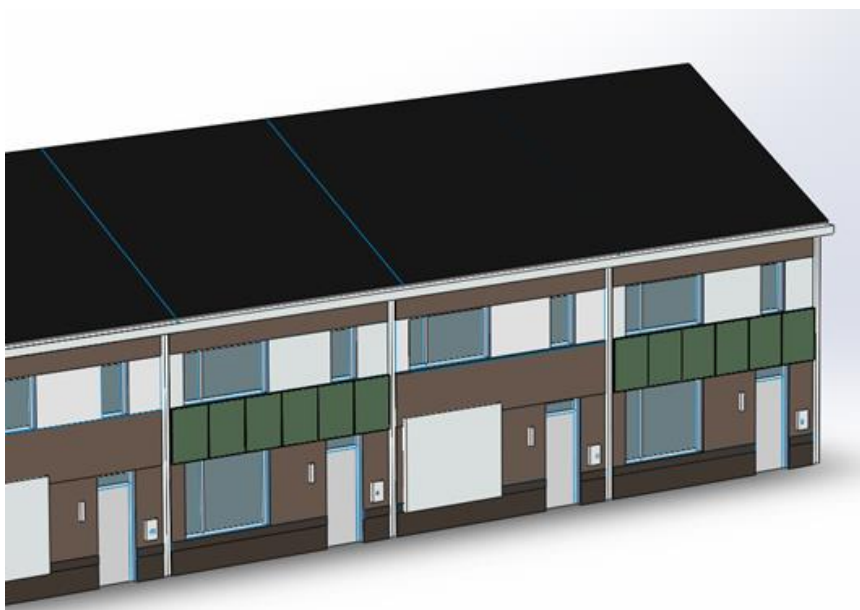


TNO

Gevelpanelen met geïntegreerde thermische zonnecollectoren

Eindrapport TKI project FITS – openbare rapportage



S.J.F Erich
S.L. van Leeuwen

TNO-rapport**TNO 2017 R10624***Gevelpanelen met geïntegreerde thermische zonnecollectoren***Technical Sciences**Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delftwww.tno.nl

T +31 88 866 22 00

F +31 88 866 06 30

Datum	11 september 2017
Auteur(s)	S.L. van Leeuwen, MSc., dr. ir. S.J.F. Erich
Aantal pagina's	20 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	0
Projectnaam	Facade panel with invisible thermal solar collector (FITS)
Projectnummer	060.10496

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.

© 2017 TNO

Samenvatting

Het project 'Facade panel with invisible thermal solar collector (FITS)' richt zich op de gevel en maakt gebruik van het onzichtbare deel van zonnestraling, namelijk het nabij infrarood (NIR). Dit is ongeveer 50% van de totale zonne-energie. Het efficiënt benutten van zonnestraling op gebouwen heeft enorme potentie aangezien er in totaal 60 miljard m² aan geveloppervlak is in de EU28. Als deze technologie daarnaast ook op daken wordt toegepast is er 120 miljard m² beschikbaar.

Er vanuit gaande dat twee derde van de gebouwen in 2050 nu al bestaat, zullen er grote renovaties plaatsvinden in de komende jaren. Ongeveer 85% van de woningen is gebouwd voor 1990 en is slecht geïsoleerd ($R \leq 1.6 \text{ m}^2\text{K/W}$). Om de energie prestatie te verbeteren biedt een paneel, dat binnen en buiten van elkaar scheidt, een mogelijkheid voor industriële partners die onderdeel uitmaken van de keten: bouwbedrijven en producenten van coatings, panelen, ventilatiesystemen en materialen.

Het toepassen van de FITS-panelen is gericht op de renovatie van woningen waarin ook de standaard warmtesystemen worden vervangen door warmtepompen en bodem systemen (ground loops). Ook is dit paneel toe te passen in situaties waarin warmtepompen niet gebruikt kunnen worden. Door de gevelcollector is het mogelijk het gehele dakoppervlak te blijven gebruiken voor PV-panelen. Het efficiënt benutten van zonnestraling op de gebouw schil voor duurzame opwekking van warmte en elektriciteit!

In dit rapport zijn de eerste resultaten weergegeven van de ontwikkeling van de FITS-panelen met gekleurde NIR absorberend coatings.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Project details	4
1.1	Programma Urban Energy.....	4
1.2	Contact	4
2	Inleiding	5
2.1	Aanleiding	5
2.2	Doelstelling	5
3	Resultaten	7
3.1	Type collectoren	7
3.2	NIR absorberende gekleurde coatings	7
3.3	De collectorfunctie	10
3.4	Prefab Concepten Geïntegreerde Gevelcollectoren	11
3.5	Energiesimulaties voor toepassing van de opgewekte warmte	17
4	Conclusie.....	20

1 Project details

1.1 Programma Urban Energy

Het project 'Facade panel with invisible thermal solar collector (FITS)' is uitgevoerd van oktober 2014 t/m januari 2017 door het volgende samenwerkingsverband: TNO (als coördinator), AkzoNobel en Emergo. Het project referentienummer is TEGB114021.

De ontwikkeling van geïntegreerde gevelcollectoren draagt bij aan de doelstellingen van het TKI Urban Energy programma vanwege het voorzien in de warmtevraag in gebouwen die op een duurzame manier wordt opgewekt. Met dit consortium is een eerste stap gezet in deze ontwikkeling. Vanwege de succesvolle eerste resultaten is besloten om een vervolg TKI aan te vragen waarbij de performance van collectoren in de praktijk wordt getest en gedemonstreerd in een echte woonsituatie. Ook wordt er vanuit de opgebouwde kennispositie met deze partners eind 2017 een vervolg project gestart met een groter consortium in EU verband.

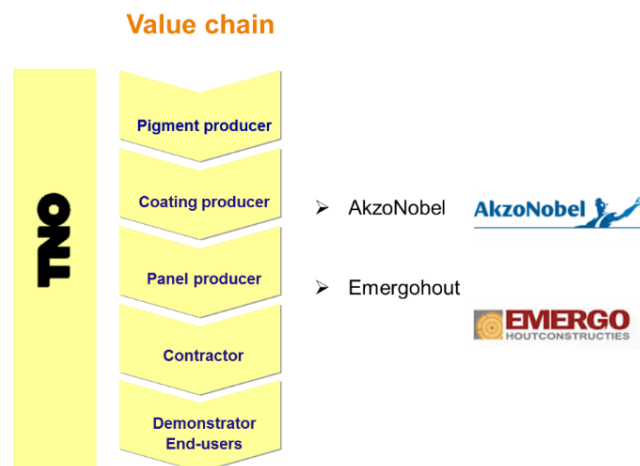
Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

1.2 Contact

De samenwerking met AkzoNobel en Emergo zal worden voortgezet op dit onderwerp. Binnen de TKI Urban Energy regeling is FITS4E de opvolger van FITS waarin met een groter consortium wordt gewerkt aan de verdere ontwikkeling en demonstratie van de collectoren in de praktijk (project FITS4E). Daarnaast zal deze geïntegreerde gevelcollector ook een van de concepten zijn in een aanpalend EU project waarin gewerkt wordt aan de ontwikkeling van energieleverende woningen. (project ENVISION).

Voor meer informatie over dit project en de vervolg projecten kunt u terecht bij TNO.

Projectleider: Sanne van Leeuwen (sanne.vanleeuwen@tno.nl)



2 Inleiding

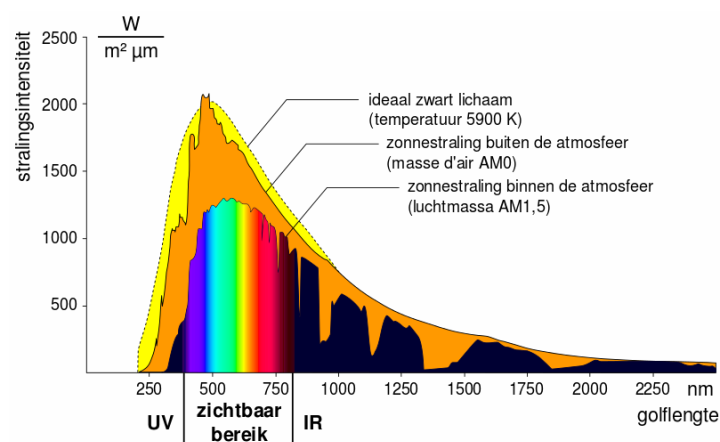
2.1 Aanleiding

Het is cruciaal de energie-efficiëntie van huizen te verbeteren vanuit het oogpunt van schaarse fossiele energiebronnen en de milieu impact van energieverbruik. Om het Europese doel te bereiken om energie-neutraal te bouwen in 2050 is het van belang om het benutten van zonne-energie van de verschillende oppervlakken van gebouwen te optimaliseren zowel in de zomer- als winterperiode. Op dit moment is het benutten van zonnestraling op ondoorzichtige oppervlakken nog minimaal. Het toepassen van fotovoltaïsche zonnepanelen en/of collectoren is de afgelopen jaren wel sterk toegenomen, maar beperkt zich vooral tot plaatsing op daken vanwege architectonische en praktische redenen. Het effectief benutten van zonnestraling op gebouwen biedt een enorm potentieel voor duurzame energieopwekking aangezien in de EU28 er een totaal aan 60 miljard m² aan geveloppervlak bestaat naast de 60 miljard m² aan dakoppervlak.

Twee derde van de gebouwvoorraad in 2050 bestaat op dit moment al en is in veel gevallen slecht geïsoleerd ($R \leq 1.6 \text{ m}^2\text{K/W}$). De komende jaren zullen er dus volop renovaties plaatsvinden aan de gebouwschil om de doelstelling richting 2050 te bereiken. Deze grootschalige renovatie biedt een kans om nieuwe energieconcepten te ontwikkelen voor de gebouwschil. Daarom de ontwikkeling van FITS-panelen die geschikt zijn om direct in de gevelrenovatie maar ook in nieuwbouw toe te passen.

2.2 Doelstelling

Het doel van het project is het ontwikkelen van een gevelpaneel met een onzichtbare geïntegreerde thermische zonnecollector (FITS). Dit paneel maakt het mogelijk warmte van de zonnestraling te benutten terwijl het esthetisch niet afsteekt tegen de rest van de gevel. Dit wordt gerealiseerd door een collectorplaat te coaten met een speciale verf. De verf is zo samengesteld dat deze de zonnestraling in het nabij infra rood (NIR) absorbeert en in bepaalde mate ook doorlaat, maar de normale kleur blijft in het zichtbare licht wel behouden. Hierdoor is het mogelijk om tenminste 50% van de totale 'solar influx' te benutten.



Figuur 1: het spectrum van zonlicht

Het toepassen van de FITS-gevelpanelen is gericht op de renovatie van woningen waar de gebouwschil wordt aangepakt ten behoeve van betere isolatie en waarin ook de standaard warmtesystemen worden vervangen door warmtepompen en bodemsystemen (bodemplussen). Ook kan dit paneel worden toegepast in situaties waarin warmtepompen niet gebruikt kunnen worden. Door de gevelcollector is het mogelijk het gehele dakoppervlak te blijven gebruiken voor PV-panelen.

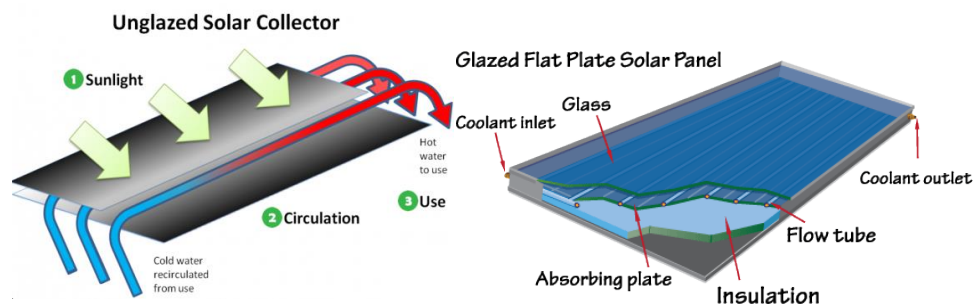
Om een esthetische gevelcollector te kunnen ontwikkelen focust dit project zich op twee doelstellingen:

- Het ontwikkelen van een gekleurde coating die samen met de 'zwarte' collectorplaat absorbeert in het niet zichtbare deel van het zonnespectrum (nabij infra rood) en daarmee tenminste 50% van de zonne-energie absorbeert.
- Het ontwikkelen van een paneelontwerp waarbij de gevelcollector slim en mooi geïntegreerd kan worden in de buitenste schil van de gevel.

3 Resultaten

3.1 Type collectoren

In principe kunnen twee type collectoren worden onderscheiden. In Figuur 2 zijn de verschillen weergegeven. Het belangrijkste verschil is dat bij de afgedekte variant er minder energieverlies optreedt door convectiestromen. In het geval van de ongedekte variant zorgt het warme oppervlak van de collector voor opwarming van de lucht. Hierdoor ontstaat een convectie luchtstroom langs de collector naast de al aanwezige luchtstroom als gevolg van de wind. In dit project zijn beide type collectoren onderzocht.



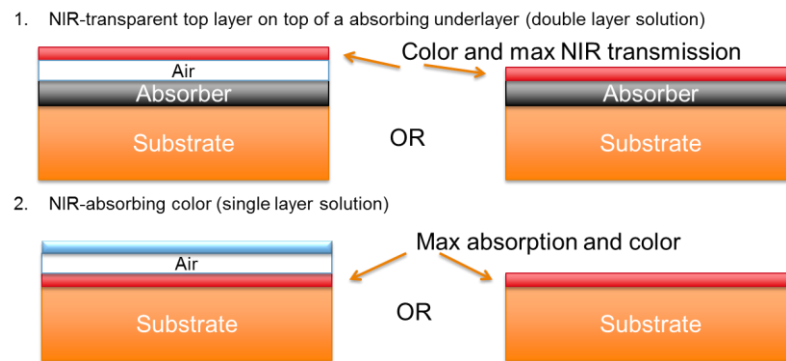
Figuur 2: twee voorbeelden van zonnecollectoren: een ongedekte variant (links) en een afgedekte variant (rechts).

3.2 NIR absorberende gekleurde coatings

Om een coating te ontwikkelen die absorbeert in het nabij infrarood (NIR) zijn verschillende opties onderzocht. Op hoofdlijnen kunnen drie oplossingen worden onderscheiden.

- Twee lagen systeem: een absorberende primer (zwart) met een gekleurde toplaag (die transparant is voor NIR licht)
- Twee lagen systeem: een absorberende primer (zwart) met een gekleurde NIR absorberende en deels NIR transparante top coating
- Één laag systeem: een gekleurde NIR licht absorberende coating.

Alle drie de varianten zijn onderzocht om te kijken welke het beste resultaat kan opleveren. Er is gekozen om de focus te leggen op de ontwikkeling van de NIR absorberende coating (derde variant). Het voordeel van deze optie is dat slechts één coating hoeft te worden aangebracht (zie ook onderstaande figuur 3).

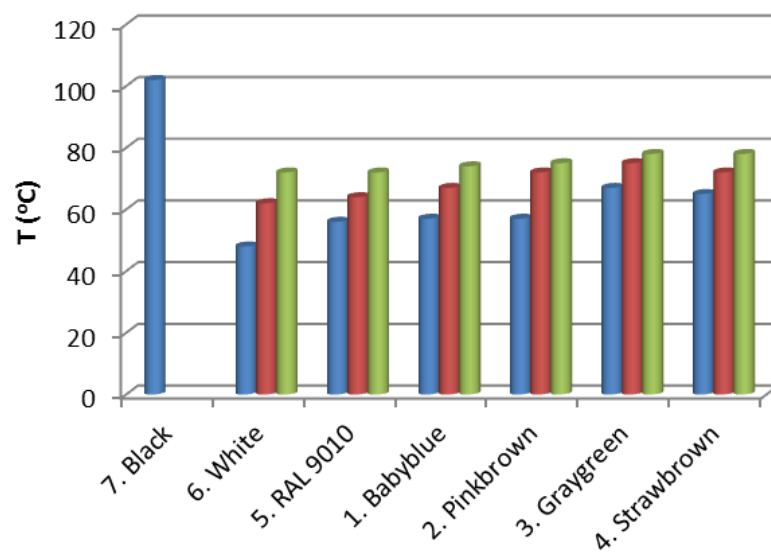


Figuur 3: twee voorbeelden hoe absorptie van het NIR deel van het zonlicht kan worden bereikt. In de bovenste variant is de gekleurde coating transparant voor NIR en absorbeert de primer eronder. In de onderste variant is de gekleurde coating NIR absorberende gemaakt.

Met een relatief eenvoudige lab test is bepaald wat het effect is van verschillende samenstellingen op de NIR licht absorptie van de coating. Hiervoor is een opstelling gemaakt waarbij twee lampen zijn gebruikt die samen zo goed mogelijk het spectrum van de zon nabootsen. De temperatuur is aan de achterkant van de collector bepaald met behulp van een gekalibreerde thermokoppel (zie Figuur 4). De resultaten van een eerste serie coatings laten zien dat door toevoeging van specifieke nano-deeltjes de absorptie significant kan worden verbeterd. Voor de witte coating is al een temperatuurstijging van circa 24 °C te zien (zie coating 6 in Figuur 5). Een aantal gangbare verkleuren is gekozen met een focus op lichtere tinten, omdat hier de grootste uitdaging ligt in termen van absorptie.



Figuur 4: collector met rode coating die absorbeert in het NIR (links). Lab opstelling waarmee de performance van de coating is bepaald, met twee lampen (rechts) en thermokoppel aan de achterkant (midden).

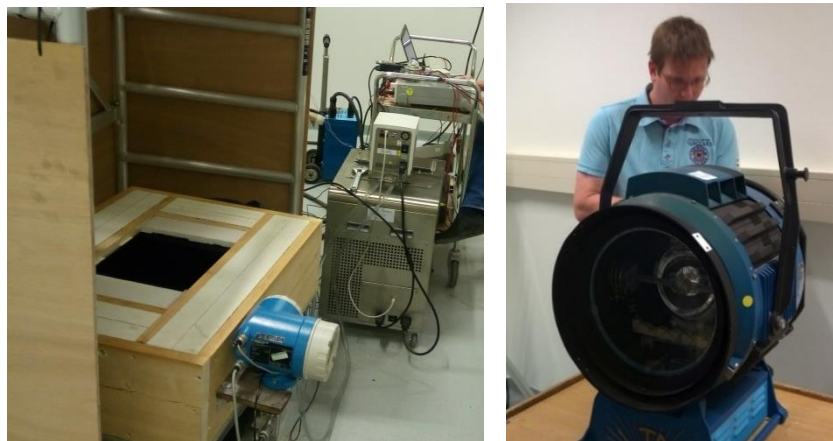


Figuur 5: Resultaten van de thermische eigenschappen van de coating. Coating 7 is de standaard zwarte coating die wordt toegepast op commercieel verkrijgbare zonnecollectoren. De verschillende kleuren zijn coating formuleringen van AkzoNobel: een standaard coating (■), en twee optimalisaties door toevoeging van specifieke nanodeeltjes in twee concentraties (■ en ■).

3.3 De collectorfunctie

Om de efficiency van het gehele energiesysteem te kunnen beoordelen is de collectorfunctie bepaald in het lab voor verschillende collectoren.

Hiervoor is een prototype gemaakt van een geïsoleerd paneel dat werd beschienen met een lamp die het spectrum van de zon nabootst. De temperatuur van het water wat door de collector heen stroomde werd gemeten (zie Figuur 6). Het prototype wat gemaakt is lijkt op concept 1 zoals uitgewerkt in 3.4. Vanwege een groot aantal variabelen in het bepalen van de collectorfunctie is gekozen om een beperkter aan kleuren te testen: zwart en wit als twee uiterste kleuren en daarnaast rood.

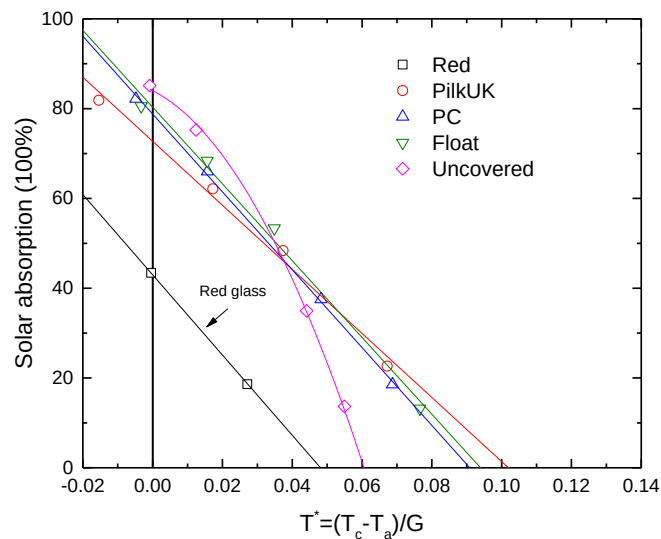


Figuur 6: opbouw in het lab voor het bepalen van collector functie. Verschillende varianten van afgedekt en ongedekte collectoren werden gemeten. Hierbij stroomde het water met een constante flow door de collector en werd de ingangs- en uitgangstemperatuur van het water gemeten. De collectoren werden van bovenaf beschienen met een lamp (rechts) die de zon nabootst.

Om te bepalen welk effect de verschillende componenten van de gevelcollectoren hadden op de collectorfunctie zijn de volgende variabelen gekozen:

- Type afdek materiaal (polycarbonaat, standaard glas, speciale glassoorten)
- Afgedekt versus ongedekt
- Samenstelling van de coating (specifieke nanodeeltjes toegevoegd)
- Samenstelling van de coating in combinatie met de afgedekte variant
- Aanbrenging van de coating op de collectorplaat en aan de binnenkant van het afdek materiaal

Hieronder is een overzicht van de resultaten getoond in de grafiek met collectorfuncties (Figuur 7). In deze grafiek is te zien wat het effect is van het type afdek materiaal. In deze meting is de collector met zwarte coating van AkzoNobel gebruikt. Ook is te zien dat de ongedekte collector beter presteert dan de andere varianten met afdek materiaal. Voor de afgedekte varianten zijn polycarbonaat (PC), standaard glas (float) en speciaal glas (Pilk UK) gebruikt. Deze presteren allemaal ongeveer gelijk. Het aanbrengen van een coating op het glas zou vanwege esthetische redenen een mooi resultaat kunnen opleveren voor een afgedekte collector. Het effect hiervan is bepaald voor glas met een rode coating (red). Hierbij is te zien dat efficiëntie van de collector met een factor twee lager wordt. De collectorfuncties zijn ook bepaald voor collectoren met verschillende coatings voor afgedekte en ongedekte varianten (resultaten niet getoond).



Figuur 7: Collector functies bepaald als functie van verschillende afdek materialen. De efficiëntie van de collector is afgezet tegen de gereduceerde temperatuur (T_c = temperatuur collector; T_a = omgevingstemperatuur, G = instraling op de collector)

3.4 Prefab Concepten Geïntegreerde Gevelcollectoren

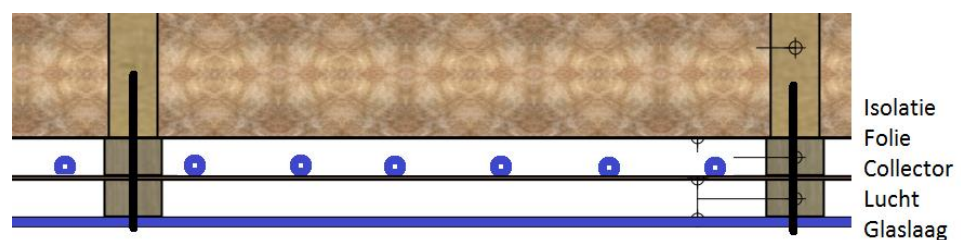
Emergo heeft verschillende ontwerpen voor de gevelpanelen onderzocht. De varianten zijn op beoordeeld op de volgende aspecten:

1. Esthetica
2. Makkelijk te installeren en onderhouden
3. Productiekosten

Deze factoren bepalen mede de business case en de toepasbaarheid in de praktijk. Afhankelijk van de situatie en type gebouw kunnen verschillende eisen worden gesteld. Bij nieuwbouw in de utiliteitsbouw kan bijvoorbeeld de uitstraling van het gebouw een belangrijke uitgangspunt zijn waarbij de gevel een grote rol speelt. Wanneer een gevelcollector wordt toegepast bij renovatie van een rijtjeswoning kan het zijn dat kosten en onderhoud belangrijker worden gevonden. De verschillende concepten zijn hieronder toegelicht, zowel afgedekte collectoren (concept 1, 2, 3) als ongedekte varianten (concept 4 en 5).

3.4.1.1 Concept 1: Gedekte variant op houten constructie

Collectorplaat wordt bevestigd op houten raamwerk. Glazen gevelbekleding wordt later bevestigd voor collector d.m.v. afstandsbussen of houten latten.



3.4.1.2 Voor- en nadelen

- + Standaard maat collectorplaten
- + Vrijheid indeling gevel voor architect
- + Weinig materiaalgebruik
- Bevestiging in het zicht

3.4.1.3 Impressie



3.4.2 Concept 2: Gedekte variant module in (klik) paneel vorm

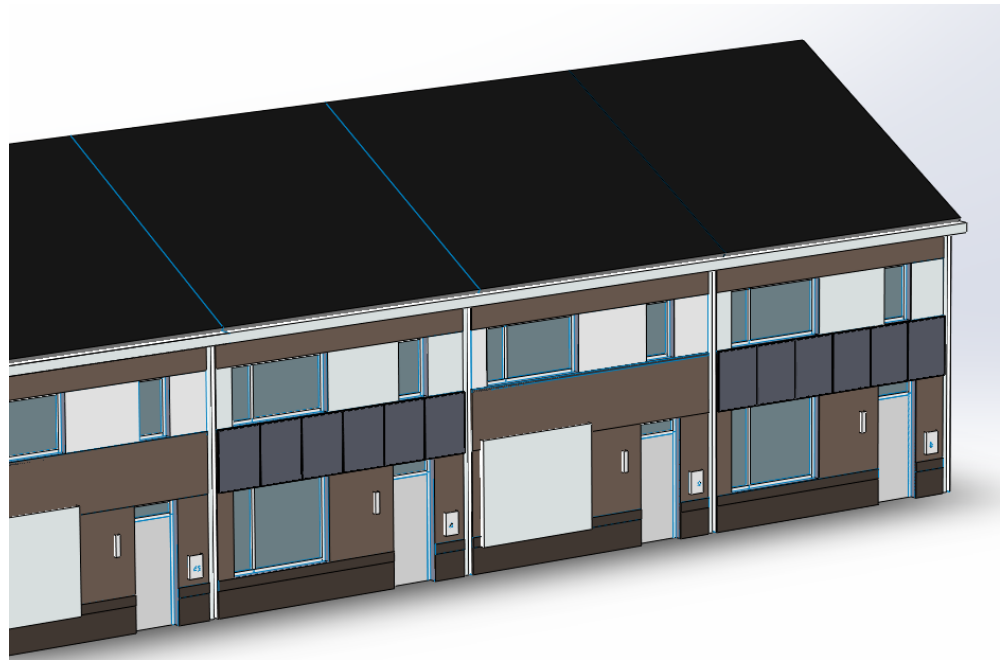
“Kant en klare” warmte collectiemodules die aan de gevel geklikt of geschroefd worden. De module bevat zowel de collectorplaat als de glasplaat.

3.4.2.1 Voor- en nadelen

- + uitwisselbare modules
- Minder vormvrijheid

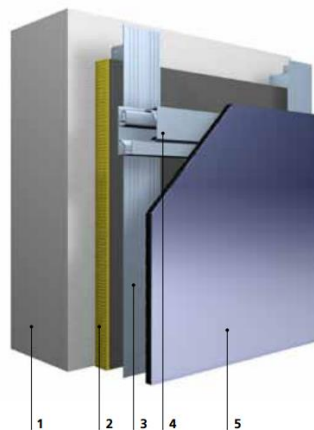
3.4.2.2 Impressie





3.4.3 Concept 3: Gedekte variant met losse glazen bekledingspanelen

De collectorplaat wordt, bij voorkeur in de fabriek, gemonteerd aan de wand. De glazen gevelbekleding modules worden met een framework over de collectorplaat bevestigd.



Properties of StoVentec Glass

- For internal and external use
- Also approved as overhead glazing
- Fixing of panels not visible from the outside
- Ideal for combination facades
- Limited combustibility
- Also for high-rise buildings in individual cases with special approval
- Tempered safety glass adhered to carrier board to make a sandwich panel
- No limitation to the lightness value
- Element thickness approx. 30 mm, max. approved size 1250 x 2600 mm, larger panels on request
- Approval: in accordance with national application document

- 1 Anchorage substrate
- 2 Thermal insulation (fleece-laminated)
- 3 Sub-construction
- 4 Agraffe profiles
- 5 StoVentec Glass Panel

3.4.3.1 Voor- en nadelen

- + Standaard maat collectorplaten
- + Maximale vrijheid voor architect.
- + Blinde bevestiging
- Veel materiaal gebruik

3.4.3.2 *Impressie*



3.4.4 *Concept 4: Ongedekte variant fels bekleding*

Collector bestaat uit aluminium fels-beplating met daaraan de collecterende buizen verbonden.

3.4.4.1 *Voor- en nadelen*

- + Weinig materiaal gebruik
- Lange smalle modules
- Werken met standaardlengtes
- Na installatie is het lastig modules los te maken (i.v.m. onderhoud)

3.4.4.2 *Impressie*



3.4.5 *Concept 5: Ongedekte variant, module in (klik)paneel vorm*

Kant en klare warmte collectiemodules die aan de gevel geklikt of geschroefd worden. De collecterende plaat is tevens de gevelafwerking. Door de randen van de plaat om te zetten ontstaat een stevig (frame loos) paneel

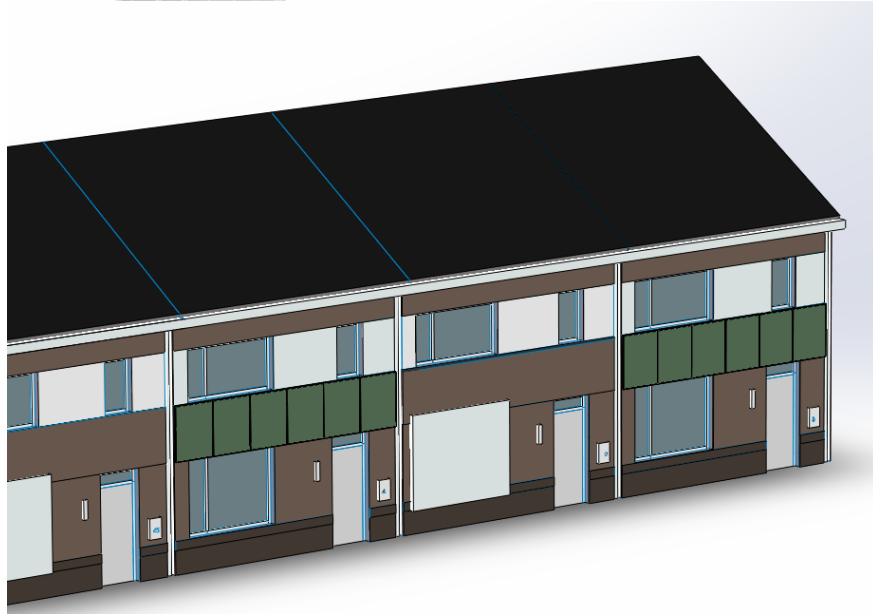
3.4.5.1 *Voor- en nadelen*

+ Uitwisselbare modules

- Mogelijk minder vormvrijheid

- Kwetsbaar bij brede panelen. (breder dan 300 mm is alleen mogelijk met aluminium dikker dan 1,2 mm)

3.4.5.2 *Impressie*



3.4.6 Eerste indicatie kosten van de verschillende collector concepten

In de onderstaande tabel staan de indicatieve kosten per m² voor de verschillende componenten van de FITS-paneel concepten. Opmerkelijk is dat de ongedekte concepten (rechts) niet per definitie een lagere kostprijs hebben dan de gedekte concepten (links). Dit is te wijten aan de collectorplaat welke, wanneer deze ongedekt op een gevel bevestigd wordt, aanzienlijk sterker moet zijn dan wanneer deze afgeschermd is door een glazen paneel.

De gegevens in onderstaande tabel laten zien dat toepassing van een geïntegreerde collector in de gevel goedkoper is dan reguliere zonnecollectoren als losse modules. Hiervan liggen de prijzen¹ zo rond de €220-€350 per m². Daarnaast worden nog kosten bespaard van gevelbekleding materiaal vanwege integratie van de collector in gevelpanelen. Typische prijzen² voor gevelbekleding bij renovatie liggen rond de €150 per m².

	Afgedekte collector			Ongedekte collector		Omschrijving
	Concept 1: Glasplaten op houten constructie	Concept 2: Module als (klik)- paneel	Concept 3: Glazen bekledings- panelen met frame	Concept 4: Fels bekleding	Concept 5: Module als (klik)-paneel	Onderdelen afhankelijk van ontwerp concept
Collector plaat	€ 50	€ 50	€ 55	€ 100	€ 120	Plaat, tubes, koppelingen, etc.
Coating	€ 50	€ 50	€ 50	€ 50	€ 50	Incl. aanbrengen
Glasplaat	€ 30	€ 25	€ 25			Geslepen gehard glas
Frame		€ 25	€ 25			Frame paneel
Bevestiging	€ 20	€ 20	€ 70	€ 5	€ 20	Extra houten regels, schroeven, klik- systeem, frame, etc.
Totaal	€ 150	€ 170	€ 225	€ 155	€ 190	per m²

3.5 Energiesimulaties voor toepassing van de opgewekte warmte

Om het potentieel van de verschillende FITS-panelen in zijn toepassing te bepalen zijn energiesimulaties uitgevoerd. Met behulp van TrnSYS is het mogelijk om warmtesystemen in de toepassing te simuleren, inclusief warmtepompen, warmte opslagvaten (boilers) en zonnecollectoren.

De energieopbrengsten zijn voor een heel jaar doorgerekend voor twee toepassingen van de opgewekte warmte: warm tapwater en de verwarming van een woning. De resultaten geven een eerste indicatie van de verwachte opbrengsten. Nog niet alle componenten van de warmtesystemen konden volledig juist gesimuleerd worden. Aanvullende meer nauwkeurige berekeningen van het gehele systeem zullen in het vervolg project worden uitgevoerd (TKI project FITS4E).

¹ Bron: <http://www.zonnepanelen-weetjes.nl>

² Steenstrips en leien gevelbekleding. Bron: <http://www.gevelrenovatie-info.nl>

3.5.1 Systeem aannames

- De weersomstandigheden zijn gekozen volgens referentie klimaat NEN 5060.
- Oppervlak van de gevelcollectoren: 10 m².
- Gevelcollectoren: afgedekte en ongedekte variant, met een absorberende witte, rode en zwarte coating. De referentie collector is een zwarte commercieel verkrijgbare collector.
- Als input voor de werking van de gevelcollectoren zijn de collectorfuncties gebruikt zoals bepaald in het lab.

3.5.2 Verwarming van een woning

Als referentiewoning voor de simulaties van verwarming van een woning is de AgentschapNL rijtjeswoning gekozen. Het opgewarmde water uit de collectoren gaat naar een opslagvat van 7m³ (kruipruimte). Een warmtepomp (8 kW) verwarmt het water in het opslagvat naar 35 °C van daar wordt het water naar een vloerverwarming systeem in de rest van de woning gepompt. Voor de toepassing van de warmte voor ruimteverwarming is uitgegaan van de volgende specificaties:

- Oppervlak woning: 124m².
- Verwarming op 20 °C in de gehele woning.
- Isolatie: Gevel $R_c = 3.5 \text{ m}^2\text{K/W}$, Dak $R_c = 4.0 \text{ m}^2\text{K/W}$, Vloer $R_c = 3.5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Raam $U = 1.65 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Vloerverwarming systeem: ingaande watertemperatuur 35 °C, 1200kg/h.



Figuur 8: Referentiewoning AgenschapNL.

3.5.3 Warm tapwater

Het opgewarmde water uit de collectoren gaat naar een opslagvat van circa 500 liter. Wanneer de temperatuur van het opgewarmde water niet hoog genoeg is wordt er aanvullend verwarmd met een warmtepomp (8 kW). Volgens NEN 7120 is de warmtevraag voor warm tapwater gemiddeld 117 liter per dag met een temperatuur van 60 °C³. Dit komt overeen met warmtevraag van 8,6 GJ per jaar.

3.5.4 Resultaten

3.5.4.1 Verwarming van de woning

Op basis van de simulaties is te concluderen dat voor alle varianten circa 50% van de warmtevraag voor verwarming van de referentiewoning opgewekt kan worden met de gevelcollector.

Verrassend genoeg doet de ongedekte collector het in alle gevallen net iets beter dan de afgedekte variant. Dit is te verklaren omdat de ongedekte variant als een soort warmtewisselaar werkt. De warmtepomp zorgt ervoor dat het temperatuurverschil tussen de buitentemperatuur en de temperatuur van de collector kleiner wordt. Hierdoor is er minder convectieverlies en wanneer de temperatuur van de collector onder de buitentemperatuur zakt kan een efficiëntie van meer dan 100% worden gehaald.

Tabel 1: Resultaten simulatie voor verschillende varianten van de gevelcollector, toepassing is verwarming van de woning.

Verwarming van de woning (Warmtevraag 29 GJ)	Afgedekte collector	Ongedekte collector
Zwarte referentie collector	>15 GJ	>16 GJ
Zwarte coating	>15 GJ	>17 GJ
Rode coating	>14 GJ	>14 GJ
Rode coating (20m ²)	>20 GJ	
Witte coating	>13 GJ	>13 GJ

3.5.4.2 Warm tapwater

Op basis van de simulaties is te concluderen dat er voor toepassing van warm tapwater er grotere verschillen zijn tussen de collector varianten. Omdat een hogere temperatuur vereist wordt voor warm tapwater, leveren de collectoren met een donkere coating hiervoor significant meer energie op. Voor de witte coating zal er meer moeten worden bij verwarmd met een warmtepomp.

Tabel 2: Resultaten simulatie voor verschillende varianten van de gevelcollector, toepassing is warm tapwater.

Warm tapwater (Warmtevraag 8,6 GJ)	Afgedekte collector	Ongedekte collector
Zwarte referentie collector	>4,2 GJ	>4,6 GJ
Zwarte coating	>3,3 GJ	>4,0 GJ
Rode coating	>3,5 GJ	>2,5 GJ
Witte coating	>2,3 GJ	>1,8 GJ

³ Beoordelingsrichtlijn BRL 1 juli 2015 voor het productcertificaat voor GASKEUR CW Label Comfort Warmwater voor Centrale Verwarmingstoestellen, Warmwater Doorstroomtoestellen en Warmwater Voorraadtoestellen.

4 Conclusie

1. Het is technisch mogelijk een NIR absorberende coating te ontwikkelen zowel in een één als twee lagen systeem in verschillende kleuren.
2. De toevoeging van specifieke nanodeeltjes draagt significant bij aan NIR absorptie. Een temperatuurstijging van 25 graden werd al behaald voor een witte coating. Ook in de collectorfuncties was een verbetering in resultaat zichtbaar.
3. Verschillende scenario's voor de gevelpanelen zijn uitgedacht en vertaald naar praktische prefab ontwerpen. De kosten van deze systemen zijn significant lager in vergelijking met losse collector modules, doordat de panelen geïntegreerd worden in de gevel.
4. De doelstelling om een esthetische gevelcollector te ontwikkelen is behaald. De nieuw ontwikkelde coating levert een fraai gekleurd oppervlak en de uitgewerkte prefab ontwerpen maken het mogelijk architecten ontwerpvrijheid te bieden bij het toepassen van de FITS-panelen in de gevel.
5. Wanneer kosten, rendement en esthetica samen worden beschouwd is er niet eenduidig te zeggen welk concept het meest belovend is om verder te ontwikkelen. Afhankelijk van de gekozen toepassing voor warm tapwater of ruimte verwarming levert respectievelijk een afgedekte of ongedekte collector het meeste rendement. In het vervolgproject FITS4E (TKI Urban Energy 2017-2019) zullen dan ook beide varianten verder worden onderzocht.