

TNO-rapport

93-BBI-R1198
26 januari 1994

HAALBAARHEID VAN GECOMBINEERDE TOEPASSING VAN FOTOVOLTAÏSCHE EN THERMISCHE ZONNEËNERGIE

TNO Bouw

Datum

Auteur(s)

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Opdrachtgever : NOVEM BV
NOVEM-nummer : 146.300-040.1
TNO-nummer : 026.5.7808
Auteurs : drs. B.G.C. van der Ree

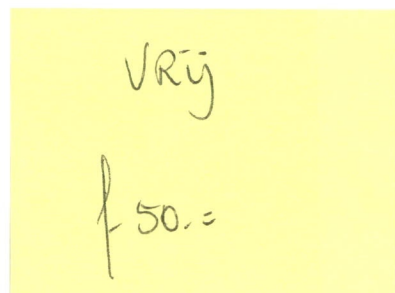
ing. J.M. van Heel
(Holland Energy Systems)

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, 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 onder-
zoeksovereenkomsten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Bladzijden : 83
Tabellen : 4
Figuren : 19
Bijlagen : 5

© TNO



SAMENVATTING

Zonneënergiesystemen waarbij een thermische en fotonvoltaïsche functie zijn geïntegreerd, worden ook wel hybridische zonneënergiesystemen genoemd. Dergelijke systemen zouden in de toekomst voordelen kunnen bieden wanneer grootschalige invoer van zonneboilers en PV-systemen hand in hand gaan in de woningbouw. Deze voordelen liggen bijvoorbeeld in het gereduceerde ruimtegebruik van een gecombineerd systeem en op het esthetische vlak. Bovendien zou integratie van de twee functies in één systeem een kostenvoordeel met zich mee kunnen brengen. In deze studie wordt op de haalbaarheid van hybridische PV/thermische zonneënergiesystemen voor de woningbouw ingegaan. Dat gebeurt op basis van een literatuurstudie en een case-studie, waarin de technische en economische haalbaarheid van een specifieke uitvoeringsvorm van dit principe worden onderzocht.

Uit de literatuurstudie bleek dat in de jaren zeventig met name in de USA onderzoek is verricht aan het ontwerpen van hybridische collectoren. Een verscheidenheid aan ontwerpen is onderzocht. Daarbij lag het accent sterk op de collector en minder op de toepassing in een systeem. Na het begin van de jaren 80 is echter weinig onderzoek meer verricht.

De case-studie gaat in op een hybridisch systeem, waarbij de collector wordt samengesteld uit standaard PV-panelen en onafgedekte zwembadcollectoren. Middels een opslagvat en eventueel een warmtepomp komt de opgewekte warmte ten goede aan tapwatervoorverwarming. De studie laat zien dat de technische en economische haalbaarheid van een dergelijk systeem gunstig is. Per eenheid bespaarde primaire energie kunnen de kosten lager zijn dan een PV-systeem pur sang. Ten opzichte van een 10 m² PV-systeem kan de kostentoeename zich beperken tot 11 % waar een dekking van de energiebehoefte voor tapwaterververwarming van circa 33 % tegenover staat.

INHOUD

1	INLEIDING	4
2	LITERATUURSTUDIE: GECOMBINEERDE FOTOVOLTAÏSCHE EN THERMISCHE TOEPASSING VAN ZONNEËNERGIE	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Ontwerp van de collector	8
2.2.1	Vloeistof PV/T collectoren	8
2.2.2	Lucht PV/T collectoren	15
2.2.3	Diverse ontwerpen	18
2.3	Conclusies	20
2.3.1	Algemeen	20
2.3.2	Ontwerprichtlijnen	21
2.4	Referenties	22
3.	CASE-STUDIE: PV/THERMISCH SYSTEEM MET ONAFGEDEKTE COLLECTOR	23
3.1	Inleiding	23
3.2	Keuze van het systeemontwerp	23
3.3	Uitvoering	27
3.3.1	Hybridische collector	27
3.3.2	Opslagvat	30
3.3.3	Thermische installatie	30
3.3.4	Elektrische installatie	32
3.3.5	Dimensionering	32
3.4	Berekeningsmethode	32
3.4.1	Het programma COLSPEC2	33
3.4.2	Het programma ZBOIL4	34
3.4.3	Weer- en tapgegevens	35
3.5	Prestatieberekeningen	36
3.5.1	Collectorrendement	36
3.5.2	Systeemopbrengst	39
3.6	Optimalisatie	41
3.6.1	Het PV-paneel	41

3.6.2	De tussenlaag	43
3.6.3	De collectoroppervlakte	44
3.7	Kostenberekeningen	46
3.8	Kosten/baten analyse	47
3.9	Conclusies	50
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	52
	LITERATUUR	54
BIJLAGE A	BEREKENING VAN HET COLLECTORRENDEMENT	56
BIJLAGE B	INVOERGEGEVENS SYSTEEMBEREKENINGEN	59
BIJLAGE C	CONSTRUCTIEMOGELIJKHEDEN VAN DE TUSSENLAAG TUSSEN DE PV-PANELEN EN DE ABSORBER	65
Optie 1:	Metaalprofiel klemmen tussen paneel en collector	65
Optie 2:	Gegolfde tussenlaag, gevuld met een kit met lijmeigenschappen.	67
Optie 3:	Golfprofiel in de kit ingebed, geen direct contact met paneel en collector.	69
Optie 4:	Warmtegeleidende kit.	70
BIJLAGE D	KOSTEN-BATEN BEREKENINGEN	71
BIJLAGE E	TECHNISCHE INFORMATIE	77
E.1	Specificatie PV paneel	77
E.2	Optische eigenschappen PV paneel	78
E.3	Materiaalgegevens van de polypropreen absorber	80

1 INLEIDING

Zoals inmiddels duidelijk is geworden is een belangrijke besparing van fossiele energie en een daaruit voortvloeiende beperking van de emissies van CO₂ en NO_x een noodzaak geworden om een duurzame samenleving in de 21ste eeuw te kunnen waarborgen.

Deze doelstelling is wellicht te bereiken, naast maatregelen voor landbouw, veeteelt, industrie en verkeer, indien onze visie omtrent de energievoorziening in de woningbouw wordt bijgesteld.

Het gebruik van zonne-energie biedt in dit verband een interessant perspectief voor zowel elektriciteits- als gasbesparing.

Met behulp van zonnecellen kan een deel van de elektriciteit, die voor de woning nodig is, individueel (dus per woning) worden opgewekt.

Stroomopwekking door middel van zonne-energie werkt versterkt door op brandstofbesparing en reductie van CO₂ en NO_x vanwege het omzettingsrendement van een elektriciteitscentrale.

Min of meer dezelfde opvatting kan ook worden gehanteerd inzake de diverse verwarmingsfuncties in een woning, te weten verwarming, de vóórverwarming van ventilatielucht en de warmwatervoorziening. Het gasverbruik in de woning, dus ook de hiermee verbonden emissies van CO₂ en NO_x, kan aanmerkelijk worden gereduceerd indien op het gebruik van zonne-energie voor deze doeleinden wordt overgegaan.

Uiteraard dienen dan eerst allerlei relatief goedkopere maatregelen zoals warmteïsolatie, passief gebruik van zonne-energie, het luchtdicht maken van de bouwconstructie, warmteterugwinning e.d. te worden getroffen, voordat aan duurdere maatregelen zoals toepassing van actieve zonne-energie moet worden gedacht.

Toepassing van een pv-systeem (bijvoorbeeld 10 m²) naast een standaard zonneboilersysteem (± 3 m² collectoroppervlak) op één dakvlak zal in veel gevallen op esthetische bezwaren stuiten omdat daardoor de architectuur van het dak en dus van de woning te veel wordt aangetast. Dit bezwaar kan worden ondervangen door de beide functies te integreren, zodat één gecombineerde collector ontstaat voor zowel elektriciteits- als warmteproductie. Dat kan tevens een beperking van de totaal benodigde oppervlakte en een kostenreductie met zich mee brengen.

Dergelijke collectoren worden ook wel hybridische collectoren genoemd; in bijvoorbeeld de Verenigde Staten zijn hiervan voorbeelden te vinden.

In de woningbouw valt het toepassingsgebied van een PV/thermisch zonne-energiesysteem uiteen in twee categorieën:

a. Bestaande bouw

Kenmerken:

- opwekking stroom t.b.v. algemeen gebruik;
- afvalwarmte zonnecellen t.b.v. voorverwarming tapwater.

b. Nieuwbouw en renovatie (groot onderhoud)

Kenmerken:

- opwekking stroom t.b.v. algemeen gebruik;
- afvalwarmte zonnecellen t.b.v. voorverwarming tapwater, voorverwarming ventilatielucht (buitenlucht) en t.b.v. de basisverwarming (laag temperatuursysteem) van de woning (bijv. vloer- of luchtverwarming).

In eerste instantie zal de toepassing van een hybridisch zonnestelsel vooral voor de duurdere woningbouw (koopsector) interessant zijn.

In deze studie wordt op de haalbaarheid van hybridische PV/thermische zonneënergie-systemen voor de woningbouw ingegaan. Dat gebeurt op basis van een literatuurstudie en een case-studie, waarin de technische en economische haalbaarheid van een specifieke uitvoeringsvorm van dit principe worden onderzocht.

De studie is uitgevoerd in opdracht van Novem in het kader van het NOZ-programma fotonvoltaïsche zonneënergie.

2 LITERATUURSTUDIE: GECOMBINEERDE FOTOVOLTAÏSCHE EN THERMISCHE TOEPASSING VAN ZONNEËNERGIE

2.1 Inleiding

Als onderdeel van de haalbaarheidsstudie op het gebied van gecombineerde fotonvoltaïsche en thermische zonneënergie toepassing (hier afgekort tot PV/T) is een literatuurstudie uitgevoerd. Daartoe zijn uit de bestanden 'Search Inspec' en 'Patent Database' ongeveer 50 artikelen opgevraagd die op één of andere manier over PV/T gingen. Van deze artikelen worden de vijf belangrijkste hier onder de loep genomen. De andere artikelen waren minder relevant of werden genoemd in één van de vijf wel behandelde artikelen; met name [1] was een samenvatting van de helft van de opgevraagde artikelen.

Het idee voor gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte d.m.v. de zon dateert reeds uit de jaren '70. In eerste instantie werden modellen getest waarbij de collector en het zonnepaneel naast elkaar lagen. Later is men gaan zoeken naar gecombineerde collectoren.

Baanbrekend in het onderzoek naar gecombineerde PV/T collectoren is een onderzoekprogramma van het Massachusetts Institute of Technology (MIT) geweest [1]. In 1978 startte het MIT, in opdracht van het Amerikaanse ministerie van energie, een programma voor de ontwikkeling van verschillende PV/T systemen. Dit programma was ervoor bedoeld om inzicht te krijgen in het gedrag van dergelijke collectoren. In 1981 werd de subsidie voor dit onderzoek stopgezet. Men was toen zover dat er twee ontwerpen productierijp waren, twee als prototype waren getest en drie waarvan alleen simulatiesresultaten bekend waren.

Na 1982 heeft nog een aantal andere instanties onderzoek naar de gecombineerde collectoren gedaan. Dit heeft echter niet geleid tot belangrijke nieuwe inzichten ten opzichte van het MAT-onderzoek. Daarom is hier vooral ingegaan op het MAT rapport. Tenslotte is tijdens het ISES-1993 congres in Budapest een poster gepresenteerd over een gecombineerde collector als verdampers van een warmtepomp [6].

2.2 Ontwerp van de collector

Een aantal uiteenlopende ontwerpen van PV/T collectoren is bestudeerd. Deze zijn grofweg in twee groepen onder te verdelen: luchtcollectoren en vloeistofcollectoren.

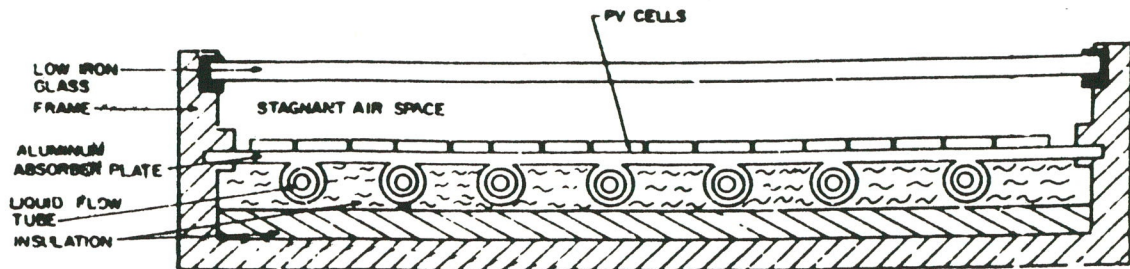
Daarnaast zijn er nog een aantal alternatieve ontwerpen, die, wat ontwikkeling betreft niet verder zijn gekomen dan de tekentafel.

2.2.1 Vloeistof PV/T collectoren

De gegeven rendementscijfers zijn, tenzij anders vermeld, door het MAT gemeten onder gestandaardiseerde omstandigheden:

Instraling	1000	W/m ²
Temperatuur cellen	45	°C
Werkpunt PV:	Maximum Power Point	
Werkpunt thermisch:	$\Delta T = 35$ °C	tussen uitgangstemperatuur en omgevingstemperatuur

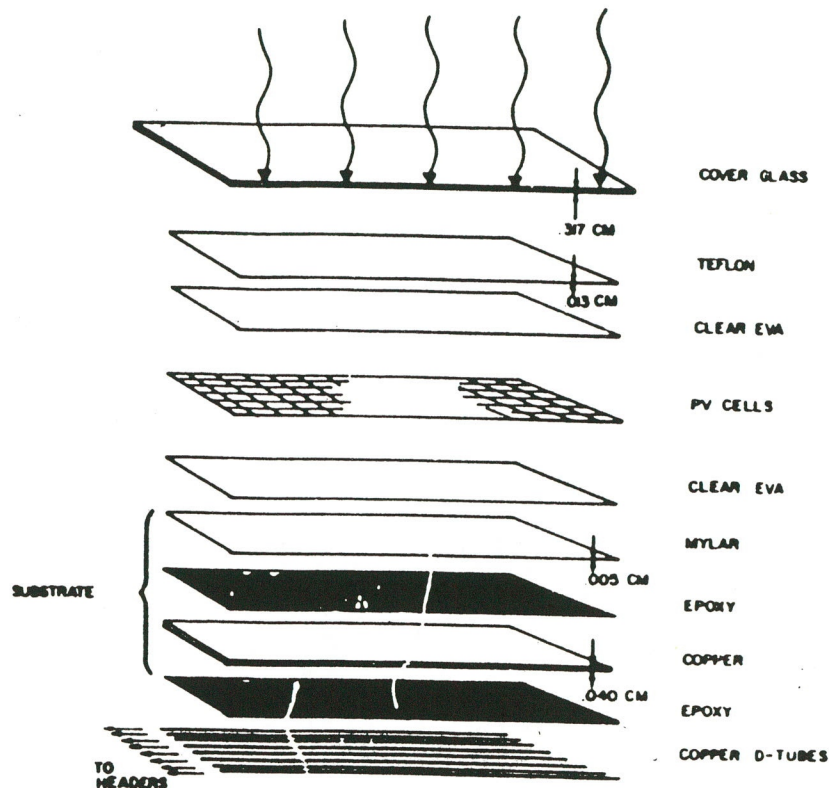
Dit maakt vergelijking mogelijk met een eveneens door het MAT opgestelde prestatienorm. In hoeverre de gekozen waarden realistisch zijn staat echter nog te bezien.

De 'ARCO' vloeistofcollector [1]**Figuur 1** *De Arco collector*

	Norm(min)	Test resultaat(max)
Elektrisch rendement :	6,5%	6,97%
Thermisch rendement :	40 %	42,6%
Gem. cel - vloeistof temp. verschil :	15°C	20°C

In dit eerste model waarmee M.I.T. begon te experimenteren, zijn de zonnecellen op de bestaande zonnecollector bevestigd (cel - opening verhouding 84%). Onder de cellen is een aluminium plaat gemonteerd, die invallend licht dat de cellen passeert, moet opvangen.

Omdat met name het gemiddelde cel - vloeistof temperatuurverschil te hoog was, heeft men een zogenaamde 'tweede generatie' vloeistofcollectoren ontwikkeld.

De 'productie' collector**Figuur 2** *De 'Productie' collector*

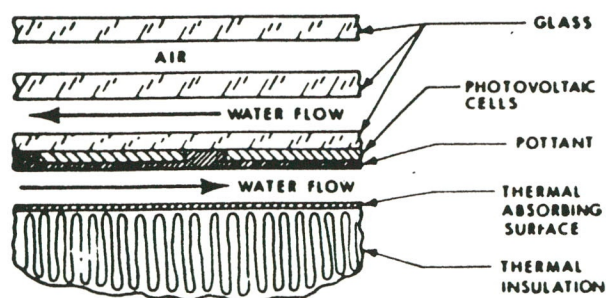
Met het in figuur 2 afgebeelde principe hebben twee teams, onder toezicht van het M.I.T., onafhankelijk van elkaar een collector gebouwd en getest.

Team 1, bestaande uit Solar Design Associates en de Spire Corporation, ontwierp een collector voor nieuwbouw-huizen. Hierbij vervangt de collector het conventionele dakmateriaal.

Team 2, bestaande uit het M.I.T. Lincoln Laboratory en de Spire Corporation, ontwierp een model voor bestaande huizen. Dit model kan direct op het dak gemonteerd worden.

	Norm	Test resultaten(max)	
		Team 1	Team 2
Elektrisch rendement :	6,5%	8,9 %	11,4%
Thermisch rendement :	40 %	48,9%	55%
Cel-opening verhouding :	90%		
Collector oppervlak :		1,47m ²	1,87m ²

De 'dual flow' collector [1]



Figuur 3 *De 'Dual Flow' collector*

In de 'dual flow' collector circuleert het water zowel boven als onder de zonnecellen. Dit is mogelijk omdat de absorptieband van water, die van silicium niet overlapt.

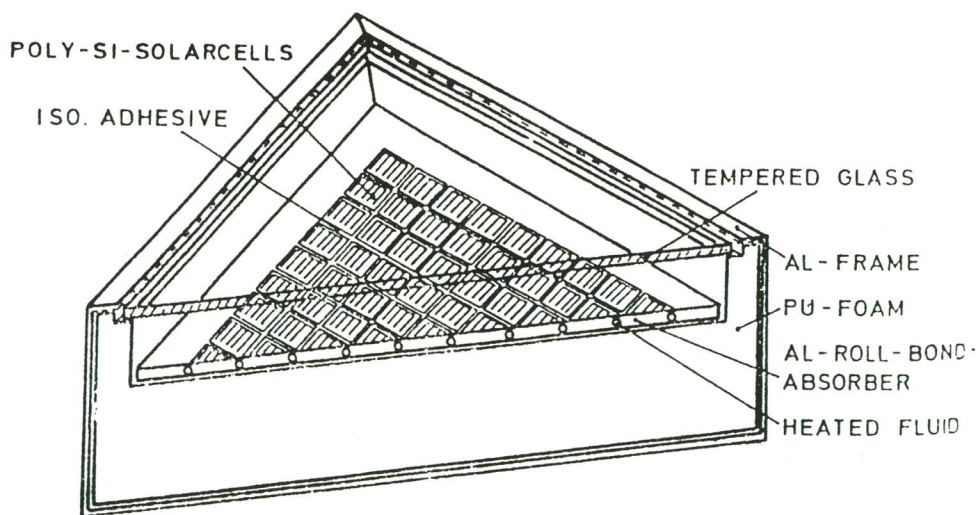
De prestaties van dit model zijn gemeten met een verkleind prototype. Om een beeld te krijgen van de prestaties van een model op ware grootte, zijn de resultaten opgeschaald.

	Norm(min)	Test resultaat(max)
Elektrisch rendement :	6,5%	10%
Thermisch rendement :	40 %	69%

Ondanks de hoopgevende resultaten is dit model, om financiële redenen, nooit verder ontwikkeld.

De 'Karl' collector [2]

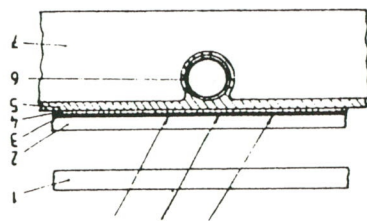
Door de universiteit van Stuttgart is, in 1979, de volgende gecombineerde collector ontworpen en getest;



Figuur 4 *De 'Karl' collector*

Over het maximaal thermisch rendement van deze collector valt weinig te zeggen omdat de manier waarop het bepaald is, afwijkt van de MAT methode. Het elektrisch rendement is 9%.

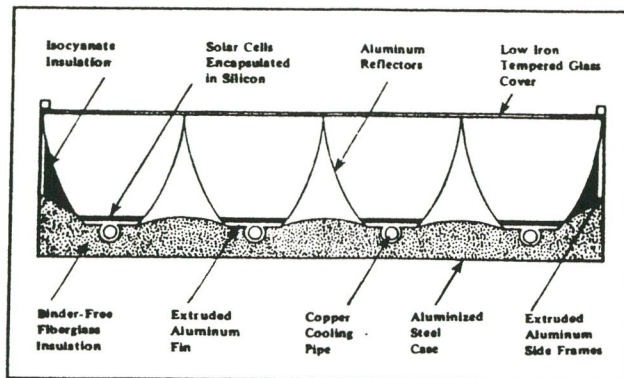
De 'Lalovic, Kiss, Weakliem' collector [3]



1. glass cover
2. glass panel
3. amorphous layers
4. adhesive
5. aluminium fin
6. copper tube
7. insulation

Figuur 5 *De 'Lalovic, Kiss, Weakliem' collector*

Een verbetering van dit ontwerp hield in dat de aluminium achterelektrode werd vervangen door Indium Tin Oxide. ITO is namelijk transparant voor zonnestralen boven $0,5 \mu\text{m}$. De warmtewissel-plaat moet nu wel zwart gemaakt worden.

De 'Sunwatt' collector [4]

Figuur 6 *De 'Sunwatt' collector*

Deze collector kan door zijn reflectoren, bij een hoog licht niveau, een hoger thermisch rendement halen dan een 'gewone' flat plate collector. Over het elektrisch rendement is niet veel bekend. Als algemene conclusie over de werking van de collector worden de volgende uitspraken gedaan in [4]:

- Twee van deze collectoren kunnen voorzien in de warm water behoefte van een gemiddeld gezin,
- Elektrisch komen de collectoren te kort, en moet er een aantal zonne-panelen ingeschakeld worden.

De 'Menzel' collector [5]

In Duitsland is in 1989 het eerste patent afgegeven voor een hybridische collector. Uit dit onderwerp blijkt duidelijk de invloed van het M.I.T. onderzoek. De constructie vertoont veel overeenkomsten met enkele aldaar ontwikkelde vloeistofcollectoren.

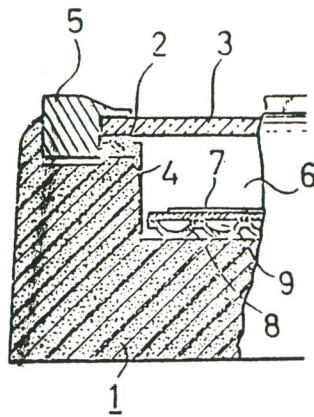
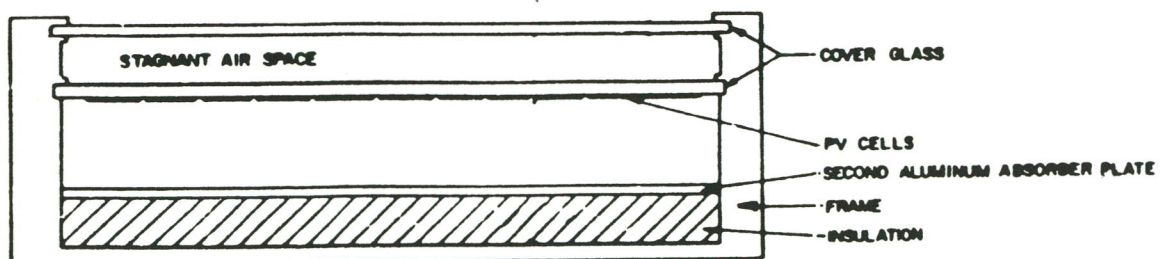


Bild 1: Schematischer Schnitt durch einen Teil des Hybrid-Kollektors
 1 Polyurethan-Hartschaum-Gehäuse, 2 Rundschmiedung, 3 Sicherheits-Glasscheibe, 4 Dichtungsnut, 5 Aluminium-Rahmenprofil, 6 Kühlkammer, 7 Solarzelle, 8 Kühlblech-Platte, 9 Kühlwasser-Kanäle

Figuur 7 *De Menzel collector*

2.2.2 Lucht PV/T collectoren

De spectrolab lucht PV/T collector [1]



Figuur 8 *De Spectrolab luchtcollector*

	Norm(min)	Test resultaat(max)
Elektrisch rendement :	6,5%	6,16%
Thermisch rendement :	40 %	32,1%
Gem. cel - vloeistof temp. verschil :	15°C	40°C

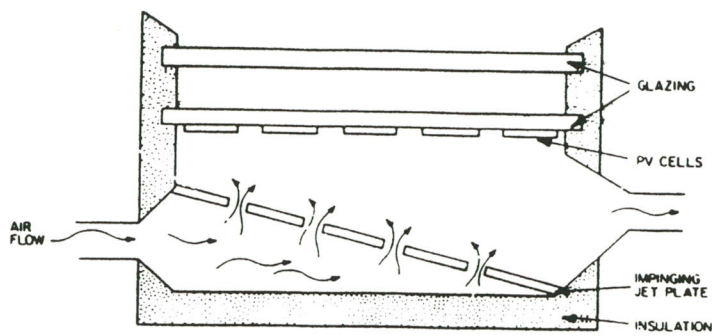
Problemen met deze collector waren de lage cel-opening verhouding van 68%, en de luchtstroom door de collector die onvoldoende warmte opneemt.

2.2.2.I De 'impringing jet' collector

M.I.T. heeft nog twee andere modellen luchtcollectoren ontwikkeld, die wat opbouw betreft weinig van de spectrolab collector afwijken. Het verschil zit in de luchtstroom en de absorptie-oppervlakken.

De ontwikkeling van deze collectoren is niet verder gekomen dan het testen van een prototype.

Bij de 'Impringing Jet' collector ligt de nadruk op het contact tussen stromende lucht en de zonnecellen.

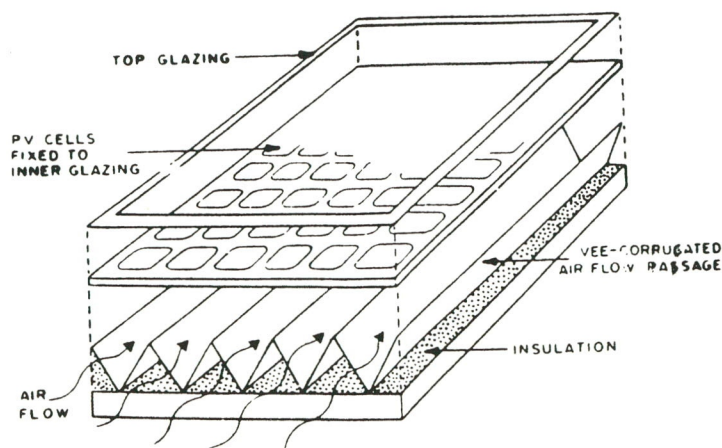


Figuur 9 *De Impinging Jet collector*

	Norm(min)	Test resultaat(max)
Elektrisch rendement :	6,5%	9,1%
Thermisch rendement :	40 %	42,0%

De V-vormige absorptie collector

Bij deze collector ligt de nadruk op het contact tussen de stromende lucht en de V-vormige absorptieplaat.



Figuur 10 *De V-vormige absorptie collector*

	Norm(min)	Test resultaat(max)
Elektrisch rendement :	6,5%	8,0%
Thermisch rendement :	40 %	40,5%

2.2.3 Diverse ontwerpen

De twee fasen PV/T collector [1]

De volgende twee collectoren zijn, vanwege het afronden van het onderzoek, niet verder gekomen dan de tekentafel.

Bij dit model verandert de fasetoestand van het circulerende medium (b.v Freon).

Het systeem werkt als volgt :

- de door de cellen en absorber opgenomen energie zorgt voor verdamping van het medium
- het ontstane gas wordt door een compressor (eventueel aangedreven door een elektromotor, die op zijn beurt weer wordt gevoed door de zonnecellen) op een hogere druk gebracht
- in de condensor condenseert het medium. De warmte die hierbij vrijkomt wordt afgegeven aan circulerend water
- voordat het medium de verdamper weer bereikt wordt eerst m.b.v. een expansie ventiel de druk verlaagd.

De 'unglazed' PV/T collector [1]

Dit is een enigszins onduidelijk ontwerp waarbij de glasplaat is vervangen door een gegroefde afdeklaag. Dit zou, ten koste van een kleine teruggang van het thermisch rendement, een toename van het elektrische rendement bewerkstelligen. Het systeem kan zowel voor lucht als voor een vloeistof toegepast worden.

Een hybridische collector als warmtepompverdamer [6]

In het ISES-1993 congres in Budapest is een artikel gepresenteerd over een gecombineerde PV/T collector die werd toegepast als verdamper voor een warmtepomp. Deze toepassing heeft veel weg van de case study die in hoofdstuk 3 wordt gepresenteerd. Een prototype van de collector is getest met een warmtepomp.

Conclusies waren dat de COP van de warmtepomp steeg tijdens perioden dat zonnestraling op de collector viel en dat het rendement van de zonnecellen toenam wanneer de warmtepomp in bedrijf was.

Het artikel gaat niet in op de mogelijkheden voor toepassing van de geproduceerde warmte, of op het gedrag van het systeem onder dynamische gebruiksomstandigheden.

2.3 Conclusies

2.3.1 Algemeen

Baanbrekend in het onderzoek naar gecombineerde PV/T collectoren is het Massachusetts Institute of Technology (MIT) geweest [1]. In 1978 startte het MIT, in opdracht van het Amerikaanse ministerie van energie, een programma voor de ontwikkeling van verschillende PV/T systemen. Dit programma was ervoor bedoeld om inzicht te krijgen in het gedrag van dit soort collectoren. In 1981 werd de subsidie voor dit onderzoek stopgezet.

De volgende conclusies kunnen uit de bestudeerde literatuur worden getrokken:

- Het onderzoek heeft zich sterk gericht op de collectoren. Een aantal uiteenlopende concepten is gegenereerd en bemeten.
- De bestudeerde collectoren zijn, op één na, allemaal voorzien van een afdekking.
- Geen van de onderzochte maakte gebruik van standaard, in de handel verkrijgbare, PV panelen.
- Over PV/T collectoren in combinatie met een warmtepomp is in beperkte mate nagedacht.
- In het algemeen kan gesteld worden dat, op de eerste modellen na, de gecombineerde PV/T collectoren, qua prestatie, vergelijkbaar zijn met afzonderlijk werkende PV en T modules.
- Dit betekent dat in principe de toepassing van gecombineerde PV en thermische zonneënergie mogelijk is.

- Het functioneren van de gecombineerde collectoren in een (thermisch en elektrisch) zonneënergiesysteem onder dynamische gebruiksomstandigheden (weer, warmtevraag) is vaak nog onderbelicht.

2.3.2 Ontwerprichtlijnen

Uit de literatuur valt op te maken dat het ontwerpproces van een gecombineerde PV/T collector verschilt van dat van een conventionele PV of thermische unit. Bij het ontwerpen van een gecombineerde collector moet een balans worden gevonden tussen de twee functies.

Een efficiënte PV energie omzetting vraagt een module ontwerp dat:

- ervoor zorgt dat de PV cellen werken bij een zo laag mogelijke temperatuur
- zoveel mogelijk licht, dat zich bevindt in de absorptieband van de cellen, doorlaat.

Het thermische energie-collectie proces maakt gebruik van een veel bredere stralingsbandbreedte dan een PV cel. Alle fotonen (van het ultraviolette tot het infra-rode deel van het zonnenspectrum) kunnen worden geabsorbeerd en omgezet in warmte.

Efficiënte thermische collectoren hebben een ontwerp waarin fotonen van alle golflengten met weinig verlies kunnen passeren tot op een goed absorberend oppervlak.

Wanneer een collector op een hoog temperatuurniveau werkt zal, zonder goede isolatie, een groot deel van de geabsorbeerde energie verloren gaan aan de omgeving. Wanneer de collector op een laag temperatuurniveau werkt is de isolatie van minder belang (zie ook paragraaf 2.3.2).

De thermische energie collectie heeft één eigenschap die in overeenstemming is met efficiënte PV energie produktie. De unit is ontworpen om geabsorbeerde warmte af te

geven aan een circulerend medium. Effectieve warmtewisseling (ofwel een goede vinfactor) resulteert in een optimale koeling van de absorber, een conditie die gunstig is voor het rendement zowel de warmte- als de elektriciteitsopwekking.

2.4 Referenties

- [1] S.D. Hendrie, "Photovoltaic/thermal collector development program - final report", M.I.T. Lincoln Laboratory, Lexington, maart 1982.
- [2] H. Karl, "Photovoltaic hybrid collector" gepresenteerd op het 4de int. congres Laser 79 opto-electronics, Munchen, Duitsland, 2 juli 1979.
- [3] Lalovic, Kiss, Weakliem, "A hybrid amorphous silicon photovoltaic and thermal solar collector", Boris Kidric Instituten of nuclear Sciences, Belgrado, Yugoslavia, en Chronar Corporation, Princeton, USA, november 1985.
- [4] J. Klomp, "Field experiance and performance evaluation of a novel PV/T hybrid solar energy collector, Sunwatt Corporation, English, Indiana, USA, 1985.
- [5] Sonne-energie & wärmepumpe, heft 3, 1990
- [6] Nishikawa, Sone, Ito, "A heat pump using solar hybrid panels as the evaporator", Japan, 1993, ISES Budapest

3. CASE-STUDIE: PV/THERMISCH SYSTEEM MET ONAFGEDEKTE COLLECTOR

3.1 Inleiding

In de literatuurstudie is geconcludeerd dat PV/T toepassing in principe mogelijk is. In de onderhavige haalbaarheidsstudie wordt nu aan de hand van een specifieke "case" verder onderzocht of een goed opgezet concept van gecombineerde PV/T zonne-energie voor Nederland goede mogelijkheden kan bieden.

3.2 Keuze van het systeemontwerp

De meeste op dit moment in het buitenland bekende hybridische collectoren zijn voorzien van een glazen of kunststof afdekking. In deze studie wordt uitgegaan van een nieuw type hybridische collector zonder afdekking, opgebouwd uit bestaande halffabrikaten (zie ook verder).

Bij het toepassen van hybridische collectoren zonder afdekking kan een warmtepomp, als schakel tussen het collector- en warmtedistributiesysteem, gewenst zijn omdat hiermee hogere temperaturen aan de gebruikerskant kunnen worden bereikt. Door gebruik te maken van een warmtepomp wordt immers de collectortemperatuur verlaagd (verhoging in-vangstrendement zowel elektrisch als thermisch), terwijl de warmteafgifte aan het warmtedistributiesysteem op een relatief hoog temperatuurniveau kan plaatsvinden.

Daarnaast is er de mogelijkheid om de warmtepomp weg te laten en het warme water uit de collector rechtstreeks te gebruiken voor de voorverwarming van het tapwater. Het

temperatuurniveau van het water aan de gebruikerskant daalt hierdoor. Aan de andere kant worden de kosten van de installatie, door het weglaten van de warmtepomp, verminderd.

Beide mogelijkheden zullen in deze studie worden behandeld. Naar het systeem met warmtepomp wordt gerefereerd als variant 1, het systeem zonder warmtepomp is variant 2. Hieronder wordt nader op het ontwerp van de twee varianten ingegaan.

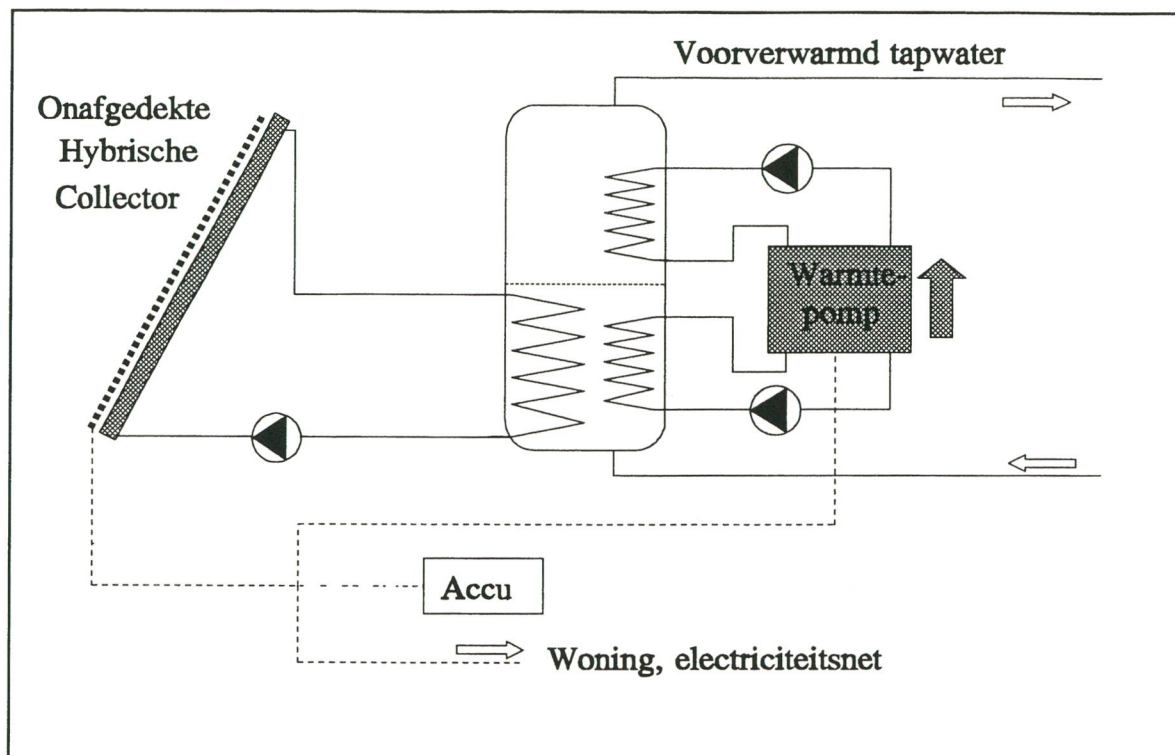
Variant 1

Het PV/thermisch zonne-energiesysteem bestaat uit een onafgedekte hybridische zonnecollector aangesloten op een zogenaamd warmtepompmoduul.

Het warmtepompmoduul is opgebouwd uit een verticaal opgesteld cilindrisch watervat en een elektrisch gedreven (compressor) warmtepomp. In het vat zijn twee spiralen (warmtewisselaars) opgenomen; één spiraal is in de top van het vat aangebracht, de andere is bij de bodem van het vat gemonteerd. Het onderste deel van het vat is voorzien van een mantel-warmtewisselaar voor de zonnecollector. Zie figuur 11.

Het tapwater wordt onder in het vat ingevoerd zodat het eerst door zonne-energie wordt voorverwarmd. Wanneer echter de temperatuur in het onderste deel van het vat te ver oploopt, slaat de warmtepomp aan. Deze heeft als functie het onttrekken van warmte aan het onderste deel van het vat, waardoor dit gekoeld wordt. Dit betekent dat de zonnecollector op een lager temperatuurniveau zal gaan werken, wat een verhoging van het thermische en elektrische rendement betekent. De onttrokken warmte wordt op een hoger temperatuurniveau afgestaan aan het bovenste deel van het opslagvat. Dit betekent dat het tapwater dat het vat verlaat zoveel mogelijk is voorverwarmd. Het tapwater kan vervolgens via een naverwarmingstoestel op de gewenste temperatuur worden gebracht.

Het warmtepompmoduul wordt samengebouwd tot één unit en geplaatst op de zolder van een woning. De uitvoering van de unit is voor zowel de nieuwbouw als voor de bestaande bouw gelijk.



Figuur 11 *De systeemvariant 1a (met isolatie van de achterkant van de collector) en 1b (zonder isolatie aan de achterkant van de collector)*

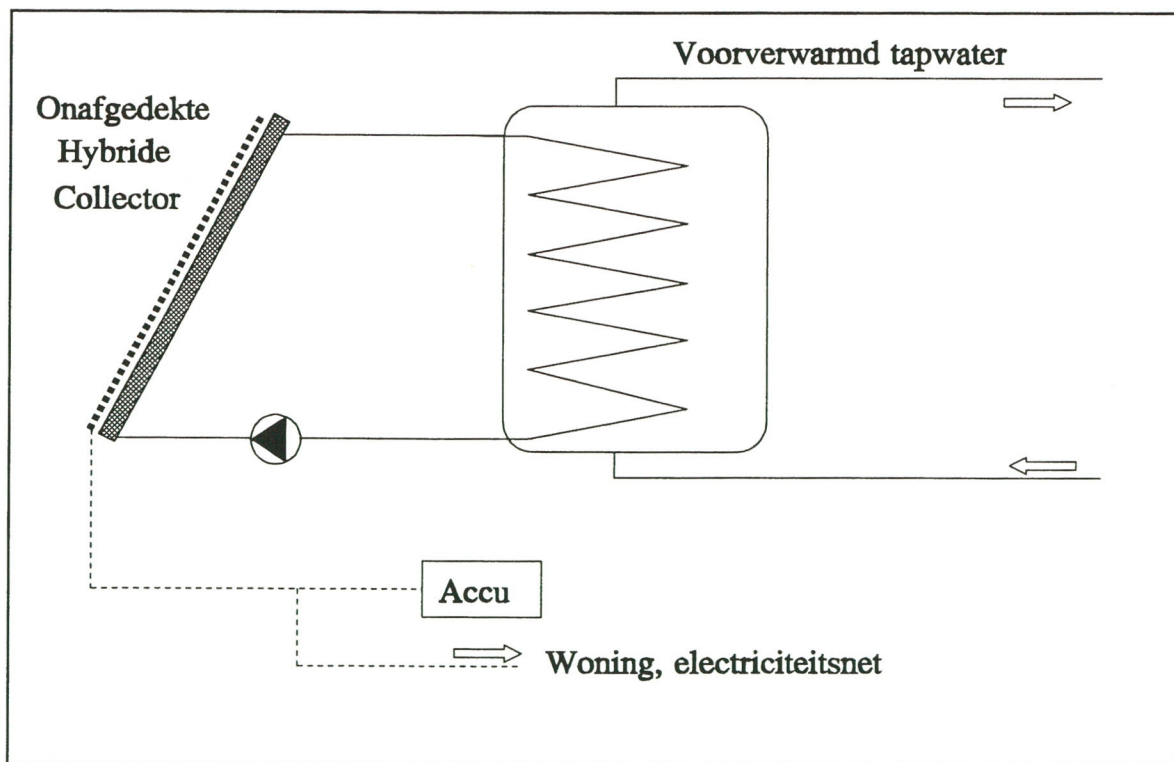
De collector en het warmtepompmoduul zijn uit standaard handelsprodukten samengesteld.

Een ontwerpvrijheid is het wel of niet aanbrengen van isolatie aan de achterkant van de collector. Beide opties hebben voordelen: bij isolatie van de achterkant van de collector worden de warmteverliezen gereduceerd en dus hogere temperaturen gehaald. Weglaten van de isolatie heeft tot gevolg dat de werking als warmtewisselaar ten bate van de warmtepomp toeneemt. Beide varianten worden daarom doorgerekend: variant 1a - collector met isolatie; variant 1b - collector zonder isolatie aan de achterzijde.

Variant 2

Zoals reeds eerder opgemerkt kan de warmtepomp uit het systeem worden weggelaten. De installatie lijkt dan sterk op een standaard zonneboiler en bestaat dan uitsluitend uit een hybridisch collectorsysteem, een pomp met bijbehorende regeling en beveiliging en een voorraadvat. Het voorraadvat kan in dit geval kleiner worden gekozen omdat het bovenste deel kan vervallen. Zie figuur 12. Dit systeem is eenvoudiger en goedkoper dan variant 1. Daartegenover staat dat het koelende effect van de warmtepomp op de collector ontbreekt.

Deze variant wordt alleen beschouwd met een collector die aan de achterzijde geïsoleerd is.

**Figuur 12***Systeemvariant 2, zonder warmtepomp*

3.3 Uitvoering

Hieronder wordt de uitvoering van de bovenstaande twee varianten in meer detail uitgewerkt. Daarbij ligt het accent op de meest innovatieve component: de collector. Het onderstaande pretendeert niet een volledig uitgewerkt ontwerp te zijn, daarvoor is nog nadere studie vereist.

3.3.1 Hybridische collector

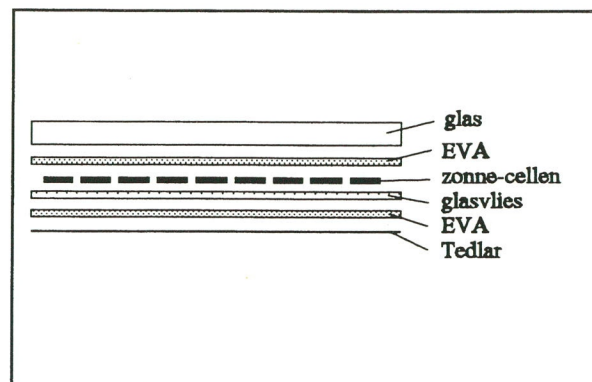
De zonnecollector is opgebouwd uit een aantal PV-panelen en een onafgedekte kunststof thermische collector (hierna te noemen absorber), zoals onder andere wordt toegepast voor zwembadverwarming. Door middel van een warmtegeleidende constructie wordt de geabsorbeerde zonnewarmte in het PV-paneel overgedragen naar de kunststof absorber waar water door heen stroomt. Het geheel is samengevat in een klemconstructie zodat een goed thermisch contact ontstaat tussen het PV-paneel en de kunststof absorber. Zoals boven gezegd kan aan de achterzijde van de absorber nog een isolatielaag worden aangebracht (variant 1a).

Door middel van eenzelfde montagesysteem als wordt gebruikt voor zwembadcollectoren kunnen deze hybridische zonnecollectoren op het dak worden gebruikt. Zowel voor de nieuwbouw als voor de bestaande bouw wordt dezelfde constructie toegepast.

Het PV-paneel

Gekozen is voor een type paneel met polykristallijn-siliciumcellen, leverbaar door het bedrijf Zontechnologie Nederland [8]. De cellen uit dit paneel worden aan de boven- en onderkant omsloten door een laag EVA (ethyleen vinyl acetaat). Aan de bovenkant wordt het paneel afdekt met getemperd glas, aan de onderkant met een laag Tedlar (een door Du Pont op de markt gebrachte polyvinylfluoride film).

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het paneel wordt verwezen naar bijlage E.



Figuur 13 *Opbouw van het polykristallijn-silicium zonnepaneel toegepast in de basisvariant*

Om mechanische problemen tussen paneel en tussenlaag te voorkomen mag het absolute verschil in uitzetting tussen paneel en collector niet te groot worden. Daarom is een paneel met kleine breedte gekozen.

De tussenlaag

Het paneel en de collector kunnen in verband met het verschil in uitzettingscoëfficiënten niet direct op elkaar gemonteerd worden.

Als tussenlaag zijn verschillende opties mogelijk, elk met z'n eigen voor- en nadelen op het gebied van warmtegeleiding, mechanische belasting en produktie. Het valt buiten het bestek van deze studie om daarin een gegronde keuze te kunnen maken. Daarom worden de diverse mogelijkheden genoemd in bijlage C. Voor de berekeningen is alleen de warmtegeleidingscoëfficiënt van belang; hiervoor wordt een typische waarde van 20 W/m²K aangenomen.

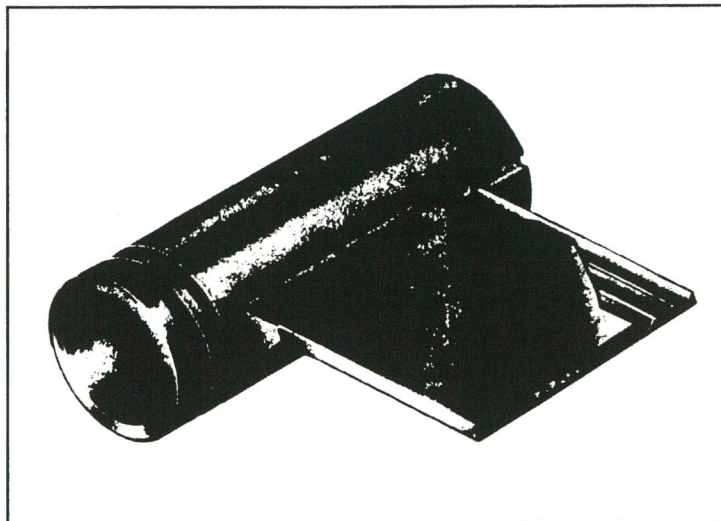
De onafgedekte thermische collector

De toegepaste collector is een zogenaamde onafgedekte vlakke plaat collector. Deze valt onder de categorie collectoren welke worden toegepast voor lage temperaturen, zoals bij

zwembaden. De warmteverliezen in deze collector beperken het bruikbare temperatuurniveau tot ongeveer 15°C boven de buitenluchttemperatuur.

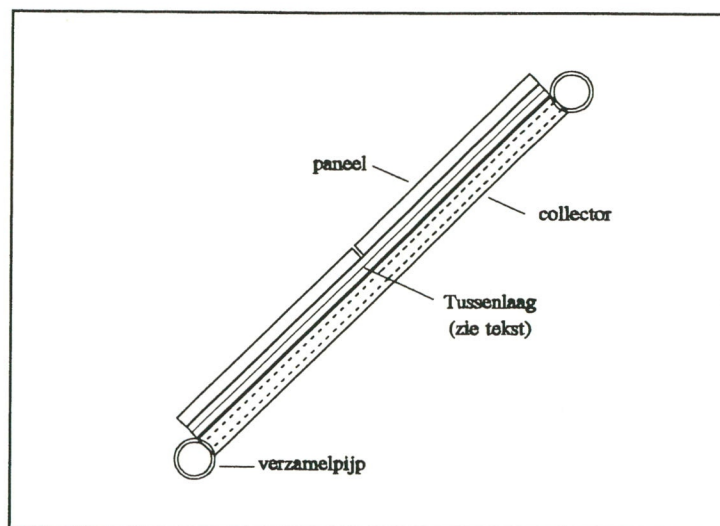
De collector is gemaakt van speciaal hitte/UV/corrosie bestendig polypropreen en zeer eenvoudig van constructie. Een geëxtrudeerde plaat met ronde kanalen mondt aan de boven- en onderkant uit in een ronde verzamelpijp zodat de collectorvloeistof kan circuleren.

De specificatie van de collector is opgenomen in bijlage E.



Figuur 14 *Sectie van de Robinsons onafgedekte collector*

De gecombineerde collector ziet er nu als volgt uit:



Figuur 15 *Principeschets van de gecombineerde collector*

3.3.2 Opslagvat

Als opslagvat wordt een standaard boilervat met een volume van 200 liter toegepast. Dit vat van roestvast staal is zo uitgevoerd dat een temperatuurverschil kan ontstaan tussen de boven- en de onderkant. Door deze zogenaamde thermische gelaagdheid kan de afnametemperatuur zo hoog mogelijk zijn en tegelijk de aanvoertemperatuur van de collector zo laag mogelijk.

3.3.3 Thermische installatie

Het water wordt in een gesloten systeem door de collector getransporteerd. De opgenomen warmte wordt via de spiraalvormige warmtewisselaar aan de inhoud van het opslagvat afgegeven.

Tussen het opslagvat en de collector bevindt zich een temperatuurregeling die, zoals gebruikelijk bij zonneboilers, de collectorpomp regelt aan de hand van het temperatuurverschil tussen de collector en het opslagvat.

Het toepassen van een opslagvat met warmtepomp in variant 1a en 1b heeft de volgende achterliggende gedachte: de elektrisch gedreven warmtepomp onttrekt, door middel van een verdamper, warmte onder uit het vat. Hierdoor wordt de collector-inlaattemperatuur lager, zodat het collectorrendement zal stijgen. De onttrokken warmte wordt door de condensor bovenin het opslagvat afgegeven, waardoor het bovenste deel van het vat in temperatuur zal stijgen. Deze warmte wordt benut wanneer getapt wordt.

De verdampertemperatuur van de warmtepomp waarvan de technische gegevens in deze studie zijn gebruikt, mag liggen tussen -15°C en $+20^{\circ}\text{C}$. Het bereik van de condensortemperatuur ligt, volgens de officiële gegevens, tussen 35°C en 55°C . Dit is te hoog voor deze toepassing: wanneer de condensortemperatuur niet beneden de 35°C kan komen, zal de warmtepomp nauwelijks aanslaan. Dit blijkt uit de modelberekeningen. Daarom is de aanname gemaakt dat een ander type warmtepomp wordt gekozen waarbij de condensortemperatuur tot 25°C mag dalen.

Het temperatuurverschil tussen de temperatuur van het water in het opslagvat ter plaatse van de verdamper enerzijds en de verdampingstemperatuur anderzijds is vast verondersteld op 5°C . De verdampingstemperatuur wordt dus verondersteld 5°C lager te liggen dan de vattemperatuur. Analooog wordt de condensatietemperatuur verondersteld 5°C hoger te liggen dan de vattemperatuur ter plaatse van de warmtewisselaar van de condensor.

De regeling van de warmtepomp is als volgt ingesteld:

- $T_{\text{verdamp}}^{\text{verdamper}}$ en $T_{\text{condensor}}$ liggen binnen hun toegelaten bereik (zie boven);
- Het aantal draaiuren van de warmtepomp kan worden gevarieerd door de ondergrens van $T_{\text{verdamp}}^{\text{verdamper}}$ te variëren.

3.3.4 Elektrische installatie

De opgewekte elektriciteit kan via een omvormer aan het net geleverd worden. Het is echter ook mogelijk een deel van de opgewekte elektriciteit te gebruiken om het elektriciteitsverbruik van pompjes en de warmtepomp te dekken. Hoogstwaarschijnlijk is daarvoor echter opslag (een accu met regeling) vereist. Deze zijn niet in de kostenberekening meegenomen.

3.3.5 Dimensionering

Voor beide varianten worden voorlopig de volgende afmetingen gekozen:

Collectoroppervlakte: 10 m²

Inhoud opslagvat:

Variant 1:	300	liter (200 l zonneënergiedeel, 100 l warmtepompdeel)
Variant 2:	200	liter

3.4 Berekeningsmethode

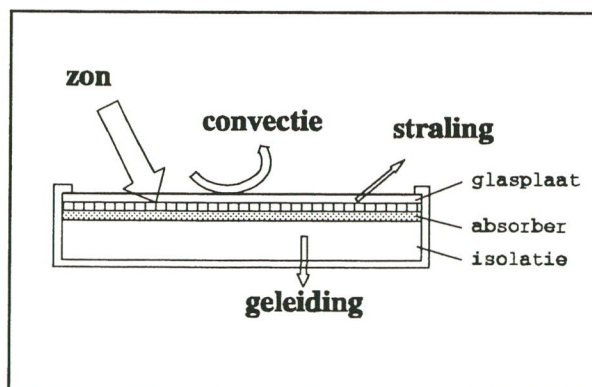
Om een globale kosten/baten analyse te kunnen doen is het noodzakelijk een schatting van de opbrengst van het systeem te maken. Hiertoe is een globale berekeningsmethode opgesteld. Deze is gebaseerd op het simulatiemodel voor zonneboilers dat bij TNO-Bouw aanwezig is. De methode bestaat uit twee stappen:

- Eerst wordt de collector doorgerekend om de rendementscurve te bepalen;
- Aan de hand van deze curve kan vervolgens de systeemprestatie van de complete zonneboiler worden berekend.

3.4.1 Het programma COLSPEC2

Met behulp van het bij TNO-Bouw ontwikkelde FORTRAN-programma COLSPEC2 kan aan de hand van gegevens met betrekking tot ontwerp, materiaaleigenschappen etcetera een rendementscurve van een thermische zonnecollector berekend worden.

Het model is geschikt voor collectoren met één of meerdere afdekkingen, waarbij de eigenschappen van de diverse afdekkingen mogen verschillen. Ook kan tussen de afdekkingen een luchtspouw worden aangebracht. In het model wordt rekening gehouden met afdekkingen zoals glas, die golflengte-afhankelijke transmissie/reflectie eigenschappen hebben.



Figuur 16 *Warmtestromen waarmee COLSPEC2 de collectorcurve berekent*

Het rekenmodel berekent uitgaande van een opgegeven stralingsniveau de warmtestromen tussen de diverse collectorafdekkingen onderling en tussen afdekking en absorber alsmede de warmtestromen van de collector naar de omgeving.

Dit gebeurt uitgaande van een geschat temperatuurniveau via een iteratief proces waarbij uit de warmtestromen de nieuwe temperaturen worden bepaald totdat aan een eindcriterium is voldaan. Hierna wordt de collectorefficiency bepaald.

Voor onafgedekte thermische collectoren is het moeilijk een rendementscurve te geven, daar de prestatie van deze collectoren afhangt van diverse factoren, zoals de windsnelheid en de stralingstemperatuur van de hemelkoepel. Dit is ondervangen door de berekeningen iteratief uit te voeren: bij een eerste berekening met het systeemmodel (zie verder) worden de gemiddelde waarden uitgevoerd van relevante grootheden (instraling, buitentemperatuur, windsnelheid, luchtvochtigheid) over de momenten waarop de collector in bedrijf is. Op basis van die gemiddelde waarden wordt vervolgens de rendementscurve berekend met behulp van het COLSPEC2 model. Met die rendementscurve, die dus voor gemiddelde bedrijfsomstandigheden geldt, worden vervolgens de systeemprestaties berekend.

3.4.2 Het programma ZBOIL4

Voor de prestatieberekeningen aan het gehele systeem wordt gebruik gemaakt van het simulatieprogramma voor zonneboilers ZBOIL4. Dit programma beschrijft het dynamisch gedrag van een zonneboilersysteem dat kan bestaan uit de volgende componenten:

- een zonnecollector met aanvoer- en retourleidingen;
- een thermisch gelaagd opslagvat;
- tapwaterafname;
- een tapwater-naverwarmer.

De werking van het programma is als volgt:

- Eerst worden de invoergegevens ingelezen en verwerkt. Dit betreft gegevens omtrent de regeling van de zonneboiler, de eigenschappen van de collector en andere componenten en de wijze van tapwaterafname.
- Bij de berekeningen wordt eerst bepaald of de collector in- of uitgeschakeld moet worden/blijven gedurende de rekentijdstap. Vervolgens wordt in een convergentie-loop alle warmtestromen en temperaturen in het zonneboilersysteem bepaald op

basis van gegevens voor de zonnestraling, de omgevingstemperatuur van de collector en opslag, de waterleidingtemperatuur en de tapwaterhoeveelheid.

- Tenslotte worden de warmtestromen gesommeerd en de temperaturen gemiddeld tot uur-, dag-, week-, en maandwaarden en tot totalen voor de gehele berekening. Zo kan met een tijdstap van bijvoorbeeld 15 minuten een heel jaar worden doorgerekend.

Opgemerkt moet worden dat ZBOIL4 een tamelijk nauwkeurig model is voor simulatie van zonneboilers. In deze studie wordt het model gebruikt voor globale berekeningen ten behoeve van het haalbaarheidsonderzoek. Dat betekent dat de gebruikte modelleringen van de onafgedekte collector en de warmtepomp minder nauwkeurig zijn dan de rest van het model. De berekeningsresultaten hebben daarom noodzakelijkerwijs een globaal karakter.

Voor deze studie is het model uitgebreid met een eenvoudig model van een warmtepomp zoals in figuur 11 is aangegeven. Tevens is een procedure toegevoegd die de elektrische opbrengst van de PV-panelen berekent, rekening houdend met de temperatuurafhankelijkheid van het rendement.

3.4.3 Weer- en tapgegevens

De berekeningen zijn alle uitgevoerd aan de hand van referentie klimaatgegevens volgens het CEC Test Reference Year van De Bilt. Deze file bevat de heersende weersomstandigheden zoals instraling, windsnelheid, luchttemperatuur en dampdruk voor een "standaard jaar". De gegevens zijn uurlijks beschikbaar.

Verder wordt de jaaropbrengst berekend bij een omgevingstemperatuur van het warmteopslagvat van 15°C en een referentie warmtapwatervraag van 110 liter per dag,

opgewarmd van 15°C tot 65°C en verdeeld over vijf gelijke tappingen per dag om 7, 8, 13, 17, en 18 uur [9].

3.5 Prestatieberekeningen

In deze paragraaf worden de belangrijkste berekeningsresultaten gegeven.

3.5.1 Collectorrendement

Het eerste resultaat betreft de eigenschappen van de gecombineerde PV/Thermische collector. Deze zijn berekend uit de geometrie en de materiaaleigenschappen van de collector. De invoergegevens van het COLSPEC programma zijn terug te vinden in bijlage A. In dit hoofdstuk wordt volstaan met het geven van het belangrijkste berekeningsresultaat.

Zoals boven reeds vermeld, is de rendementscurve van een onafgedekte collector afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden. In deze haalbaarheidsberekeningen wordt een systeemmodel gebruikt dat één enkele rendementscurve vereist. Deze curve wordt daarom bepaald voor de gemiddelde bedrijfsomstandigheden van de collector gedurende het simulatiejaar.

De gemiddelde bedrijfsomstandigheden hangen af van het systeem dat zich achter de collector bevindt. Daarom wordt de rendementscurve voor die gemiddelde omstandigheden voor iedere variant apart berekend.

Bepalend voor de rendementscurve zijn de coëfficiënten, η_0 , C_1 en C_2 volgens de volgende formule:

$$\eta = \eta_0 + C_1 * T^* + C_2 * G_0 * T^{*2}$$

Hierin is T^* het gereduceerde temperatuurverschil $T^* = (T_{\text{absorber}} - T_{\text{lucht}}) / G$ waarbij G de instraling in W/m^2 is.

In tabel 1 staan de resulterende rendementscurves voor gemiddelde bedrijfsomstandigheden voor de varianten 1a, 1b en 2.

Vergeleken met normale onafgedekte thermische collectoren ligt het invangstrendement η_0 voor deze collector vrij laag. Ter vergelijking: voor onafgedekte zwarte zwembadcollectoren ligt η_0 rond 0.9. Dit heeft verband met de reflectie van het licht aan de zonnecellen op de collector, alsmede met het effect dat een deel van de instraling door de cellen wordt omgezet in elektriciteit en dus niet meer beschikbaar is voor warmteopwekking.

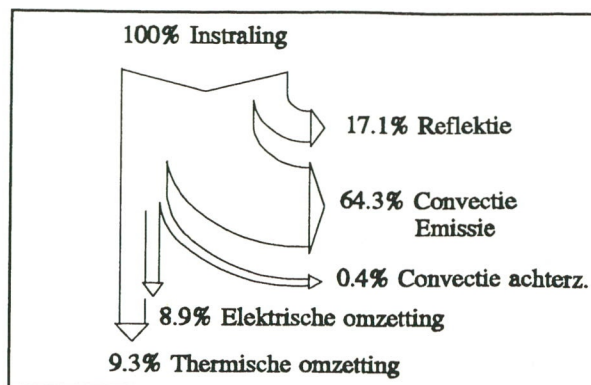
De warmteverliesfactoren C_1 en C_2 liggen in de orde van grootte die voor onafgedekte collectoren met, respectievelijk zonder isolatie aan de achterkant kan worden verwacht.

	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2
Gem. Instraling [W/m ²]	647	501	641
Gem. luchttemperatuur [°C]	15.4	15.9	15.2
Gem. windsnelheid [m/s]	3.6	3.5	3.7
Gem. dampdruk [mbar]	11.3	12.5	11.3
Isolatie achterkant	ja	nee	ja
Invangstrendement η_0 []	0.67	0.67	0.67
Verliesfactor C_1 [W/m ² K]	13.1	35.9	13.2
2e orde verliesfactor C_2 [W/m ² K ²]	0.08	0.08	0.08

Tabel 1 *Rendementscurves voor de collector onder gemiddelde bedrijfsomstandigheden*

Om een duidelijk beeld te krijgen waar nu eigenlijk de energieverliezen optreden, is een warmtebalans opgesteld voor de collector wanneer deze in het gehele systeem wordt bedreven (variant 2: geen warmtepomp). De balans is dus een jaargemiddelde. Zie figuur 17.

De warmtebalans geeft duidelijk te zien dat convector naar de bovenzijde de grootste verliezen geeft. Dit is in overeenstemming met de verwachting. Hiernaast is het relatief grote verlies ten gevolge van reflectie te zien.



Figuur 17 Warmtebalans van de gecombineerde collector in variant 2

3.5.2 Systeemopbrengst

Zoals boven reeds beschreven zijn de systeemberekeningen uitgevoerd met het zonneboilermodel ZBOIL4. Samen met de berekeningsresultaten zijn de invoergegevens terug te vinden in bijlage B. De thermische en de elektrische opbrengst worden hier in één tabel gegeven: tabel 2.

Een conventionele zonneboiler met een *afgedekte* thermische zonnecollector heeft, met een oppervlak van 2.7 m², een dekkingsgraad van rond de 50% [2]. Wanneer een zonneboiler wordt uitgerust met een *onafgedekte* zwembadcollector met een oppervlak van 5.2 m², kan een dekkingsgraad van ca. 43% worden verwacht. [2]. Dat variant 2 van het hybride systeem deze dekkingsgraad niet haalt met een collector van 10 m², is voornamelijk te wijten aan het lagere invangstrendement van de collector.

De elektrische opbrengst van de PV-panelen is bij variant 1b (gecombineerde collector zonder isolatie aan de achterzijde) even hoog als wanneer dezelfde panelen in een pure PV-toepassing worden toegepast. Het koelende effect van de warmtepomp op de panelen

blijkt dus tegen te vallen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de bedrijfstijd van de warmtepomp (circa 800 uur per jaar) die beduidend lager is dan de bedrijfstijd van de PV-panelen. In de andere twee varianten ligt de PV-opbrengst 3.5 % resp. 3.4 % lager. De oorzaak hiervan ligt bij de 5cm dikke isolatie aan de achterzijde van de gecombineerde collector. Deze zorgt voor een hogere paneeltemperatuur waardoor de werking van de panelen nadelig wordt beïnvloed.

	Alleen PV	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2
Thermische systeemopbrengst [GJ/jaar]	0	3.4	3.0	2.7
Dekking van tapwatervraag [%]	0	41	35	33
PV-opbrengst [kWh/jaar]	1060	1023	1063	1024
PV-rendement [%]	9.6	9.3	9.6	9.3
Verbetering PV-rendement [rel. %]	-	-3.5	+0.3	-3.4
El. verbruik collectorpomp [kWh/jaar]	0	25	20	32
El. verbruik warmtepomp [kWh/jaar]	0	249	211	0
Netto el. opbrengst [kWh/jaar]	1060	749	832	992

Tabel 2 *Thermische en elektrische opbrengst van de drie varianten*

3.6 Optimalisatie

In het navolgende wordt de invloed van wijziging van enkele systeemparementers berekend. Opgemerkt moet worden dat de dimensioneringen zoals die gelden voor de basisvarianten (10 m² collectoroppervlakte, 200 of 300 liter vatinhoud en diverse andere keuzes) wel het resultaat zijn van een globale optimalisatie maar dat voorafgaand aan produktie van dergelijke systemen nog nadere studie gewenst is. De volgende aanpassingen worden onderzocht naar hun eventuele bijdrage voor verbetering:

- *Het PV-paneel*
- *De tussenlaag*
- *De collectoroppervlakte*

3.6.1 Het PV-paneel

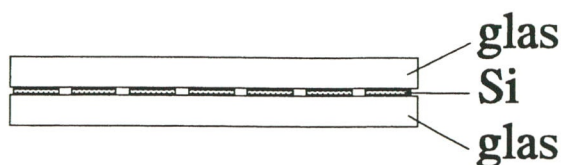
Wat betreft het PV-paneel worden drie veranderingen nader onderzocht:

- Een paneel waarbij de zonnecellen zowel aan de voorkant als aan de achterkant door glas zijn ingesloten;
- Een paneel waarbij de Tedlarlaag aan de achterzijde is vervangen door een aluminium plaat van 1.5 mm dik.
- Een paneel met zonnecellen van amorf silicium.

Het glas-zonnecellen-glas paneel

Bij deze variant wordt het polykristallijn-silicium PV-paneel vervangen door een PV-paneel waarbij het polykristallijn silicium door twee glasplaten en EVA wordt omsloten.

Dit heeft nauwelijks invloed op de thermische en elektrische opbrengst. Een kleine stijging van het invangstrendement zorgt voor een toename van de berekende thermische opbrengst met circa 1 %. De berekende elektrische opbrengst is gelijk.



Figuur 18 *Doorsnede van het glas-zonnecellen-glas zonnepaneel*

Tedlar vervangen door 1.5 mm dikke Al-plaat

Bij deze variant wordt de Tedlarlaag aan de achterzijde van het PV-paneel vervangen door een aluminium plaat. Deze wijziging heeft als voordeel dat, bij een eventuele klemverbinding tussen onafgedekte collector en PV-paneel, de glasplaat (en de cellen) minder worden belast.

Ook hier blijven de thermische en elektrische systeemopbrengsten gelijk.

Paneel met amorf silicium zonnecellen

Bij deze variant wordt een amorf silicium zonnepaneel toegepast. Amorf silicium is goedkoper per m² dan polykristallijn silicium. Het rendement daarentegen is beduidend lager [8].

De berekeningen (uitgevoerd aan variant 2) laten een opbrengst van de amorf silicium panelen zien van ca. 495 kWh/jaar, een rendement van 4.5 %. De thermische opbrengst stijgt met circa 8.3 %. Deze verbetering heeft direct te maken met dit elektrische verlies. De hoeveelheid instraling die nu niet in elektriciteit wordt omgezet kan nu namelijk

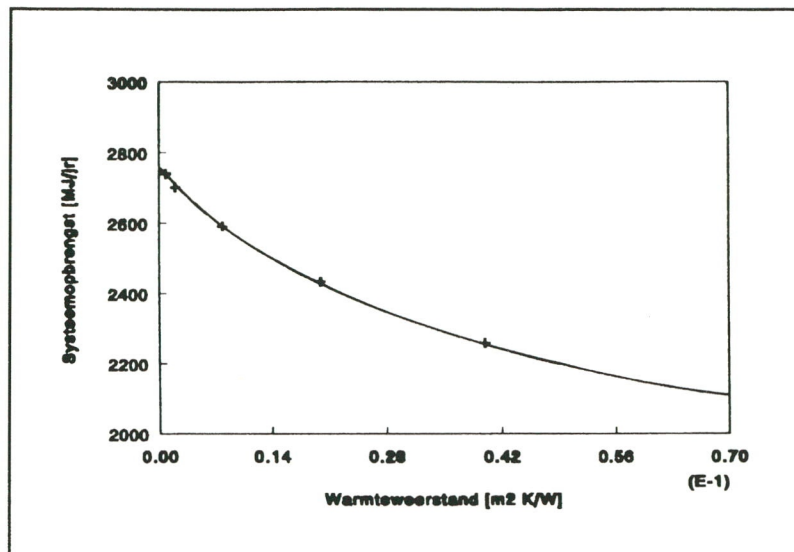
thermisch benut worden. Verder is het amorf silicium dunner dan polykristallijn silicium en heeft het een betere warmtegeleidingscoëfficiënt, wat de warmtegeleiding ten goede komt.

3.6.2 De tussenlaag

De tussenlaag tussen het PV-paneel en de thermische absorber is een kritisch punt in de constructie van de gecombineerde collector. De belangrijkste functie is het goed geleiden van de warmte. Daarnaast moet de tussenlaag het verschil in thermische uitzetting tussen paneel en thermische collector kunnen opvangen. Verder dient de constructie uiteraard betrouwbaar en weersbestand te zijn. Dit stelt tamelijk hoge eisen aan de constructie.

Bij het ontwerp van diverse constructies kwam naar voren dat de thermische geleiding van de constructie, dus de resulterende warmteoverdracht van het PV-paneel naar de thermische collector, niet eenvoudig is te voorspellen. Bij berekeningen moeten aannames worden gehanteerd die niet experimenteel zijn gecontroleerd. Bij verdere ontwikkeling van dit type PV/thermische collector zal hieraan dan ook aandacht moeten worden besteed. In dit rapport wordt een aantal mogelijkheden gepresenteerd, maar geen uitspraak gedaan over welke constructie van de tussenlaag het meest geschikt is. In bijlage C worden de diverse opties besproken.

Wel kan een grafiek worden opgesteld waarin de invloed van de warmteoverdracht van de tussenlaag op de thermische opbrengst wordt weergegeven. Dit maakt het mogelijk om de thermische opbrengst direct af te lezen wanneer van een bepaalde tussenlaag de warmteoverdracht bekend is.



Figuur 19 *Invloed van de warmteweerstand van de tussenlaag op de thermische systeempbrengst*

3.6.3 De collectoroppervlakte

Zoals reeds vermeld is bij de opbrengstberekeringen uitgegaan van een collectoroppervlakte van 10 m² en een vatinhoud van 200 liter. In onderstaande tabel wordt het een vergelijking gemaakt met een systeem met kleinere dimensies: een collectoroppervlakte van 5.3 m² en een vatinhoud van 120 liter. Dit zijn de afmetingen die voor een zonneboiler met onafgedekte zwembadcollector een optimum geven [2]. De vergelijking is uitgevoerd voor variant 2 (zonder warmtepomp).

Oppervlakte collector	[m ²]	5	10
Inhoud opslagvat	[l]	120	200
Thermische opbrengst	[GJ/jaar]	2.3	2.7
Elektrische opbrengst	[kWh/jaar]	469	1024
Elektrisch verbruik van circuitpomp	[kWh/jaar]	54	32
Netto elektrische opbrengst	[kWh/jaar]	415	992

Tabel 3 *Invloed van de collectoroppervlakte op de opbrengst*

Thermische opbrengst

Halvering van het collectoroppervlak geeft een thermische opbrengstafname van 18.6%. De collector heeft dus een hoger thermisch rendement. Dit effect wordt veroorzaakt door het feit dat de tapvraag niet is gehalveerd, maar gelijk blijft. Bij een grotere tapvraag zal een zonneboiler een hogere opbrengst geven. Dit is een bekend effect bij zonneboilers. Vanuit thermisch oogpunt is een kleiner systeem dus efficiënter zijn. Dit heeft echter een navenante daling van de elektriciteitsopbrengst tot gevolg. Welke keuze hier de beste is moet volgen uit de kosten/baten analyse.

Elektrische opbrengst

De elektrische opbrengst is wel evenredig aan de oppervlaktevergroting. Doordat de collectorpomp langer moet draaien is de netto elektrische opbrengst per m² van de 5m² collector kleiner dan bij de 10m² collector.

3.7 Kostenberekeningen

In deze paragraaf worden de verschillen in kosten bepaald voor een standaard PV-systeem en het gecombineerde PV/thermisch zonne-energiesysteem, beide toegepast in de woningbouw.

De kostenbegroting is opgezet ten behoeve van netgekoppelde systemen.

Het standaard PV-systeem in seriematige produktie is begroot op fl. 21.200,-- exclusief BTW per woning. Hierin is opgenomen: ± 10 m² zonnepanelen, verdeelkast met diode, overspanningsbeveiliging en aardlekschakeling, inverter, bliksembeveiliging, kabelset, ontstoringssset en montage.

Voor het gecombineerde PV/thermische collectorsysteem in serieproduktie, zijn de kosten begroot op fl. 22.100,-- exclusief BTW en exclusief de warmtepomp met toebehoren (wp-moduul).

De installatie is gelijk aan het hierboven beschreven standaard PV-systeem met uitzondering van de zonnecollectoren. In dit systeem zijn zogenaamde hybridische zonnecollectoren toegepast bestaande uit PV-laminaten aangebracht, via een warmteoverdragende constructie, op een kunststof absorber. De kunststof absorber is opgenomen in een montagesysteem speciaal geschikt voor dakconstructies.

Het wp-moduul met toebehoren in serieproduktie is begroot op fl. 7.700,-- exclusief BTW per woning. Hierin is opgenomen: een voorraadvat met een inhoud van 300 liter voorzien van twee spiraalbundels en aan de onderzijde uitgevoerd met een watermantel, een warmtepomp bestaande uit een compressor, een thermostatisch expansieventiel en twee platenwarmtewisselaars, een drietal pompen, apparatuur voor regeling en beveiliging, bekabeling, montage en een frame. De totale kosten van het gecombineerde PV/thermisch zonne-energiesysteem (variant 1a) bedragen dan fl. 29.800,-- exclusief BTW per woning.

Voor variant 1b, waarbij de collector geen isolatie aan de achterkant heeft, komt dit uit op fl. 29.650,- exclusief BTW per woning.

De extra kosten voor variant 2 (zonder warmtepomp) in serieproductie t.o.v. pv-standaard zijn begroot op fl. 1.520,- exclusief BTW per woning (pomp, regeling, voorraadvat 200 l en montage). De totale kosten inclusief het hybridisch collectorsysteem bedragen dan fl. 23.620,- exclusief BTW per woning.

Voor het systeem met 5,3 m² collectoren en een opslagvat van 120 liter wordt uitgegaan van de volgende kostenschattingen: collectorsysteem: fl. 12.650,-; extra kosten fl. 1.200,-; totale kosten fl. 13.850,- exclusief BTW per woning.

Bovengenoemde installatiekosten zijn samengesteld met medewerking van: Zontechnologie Nederland te Waalwijk (pv-systeem) en N.R. Koeling B.V. te Krimpen a/d IJssel (wp-moduul).

3.8 Kosten/baten analyse

In tabel 4 wordt een kosten/baten analyse weergegeven van enkele belangrijke varianten. In de eerste kolom van deze tabel staat het referentiegeval aangegeven: toepassing van de PV-panelen in een 'conventioneel' PV systeem. Hierbij is voor de systemen met warmtepomp een regelvariant gekozen waarbij de warmtepomp in werking treedt als de vattertemperatuur ter plaatse van de condensor hoger is dan 20 °C en de vattertemperatuur ter plaatse van de verdamper hoger is dan 5 °C.

Alle prijzen zijn exclusief BTW	Ref: Alleen PV	1a WP wel isol.	1b WP geen isol.	2 Geen WP Wel isol.
Investering [fl]	21200	29800	29650	23620
Afschrijving [fl/jaar]	2183	3068	3053	2432
Opbrengst thermisch [GJ/jaar]	0	3.4	3.1	2.7
Opbrengst PV [kWh/jaar]	1029	1023	1037	1024
Netto elektr. opbrengst [kWh/jaar]	1029	923	905	992
Opbrengst in guldens [fl/jaar]	157	207	197	204
Primaire energiebesp. [m ³ /jaar]	319	448	426	438
Netto kosten per bespaarde primaire energie [fl/m ³]	6,8	6,9	7,2	5,6

Tabel 4 *Kosten/baten verhoudingen van het PV/thermische systeem*

In de tabel is de afschrijving genomen over een levensduur van 15 jaar en een reëel renteniveau van 6 %. De netto elektrische opbrengst is de PV opbrengst minus het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en de collectorpomp. De opbrengst in guldens is de waarde van de totale bespaarde energie, rekening houdend met de gemiddelde energieprijzen voor kleinverbruikers in Nederland en een gasrendement voor tapwaterverwarming van 60 %. Aanname is hier tevens dat geen energie teruggelevert hoeft te worden aan het elektriciteitsnet, dat wil zeggen alle elektriciteit kan direkt worden benut

of in een accu opgeslagen (niet in de kosten opgenomen voor PV en de gecombineerde systemen).

De 'primaire energiebesparing' is de gasbesparing plus de besparing aan primaire brandstof in elektriciteitscentrales, waarbij is gerekend met een opwekkingsrendement van de centrales van 33 %.

Uit de tabel kan worden geconcludeerd dat per bespaarde "m³" primaire energie het hybride systeem zonder warmtepomp beter scoort dan een pure PV toepassing. De variant met warmtepomp heeft iets hogere kosten per bespaarde "m³" primaire energie dan alleen PV-toepassing.

In appendix D wordt de kosten/besparing verhouding nader uitgewerkt van deze en diverse andere varianten. Geconcludeerd daaruit wordt:

- De extra kosten gedeeld door de extra bespaarde hoeveelheid primaire energie komen voor variant 2 (zonder warmtepomp) op 2.1 fl/"m²". Voor een huidige eengezinszonneboiler is dit circa 2,8 fl/"m²".
De thermische toevoeging aan het PV-systeem heeft dus een betere kosten/besparing verhouding dan een aparte zonneboiler.
- Wanneer een kleiner systeem wordt gekozen (5.2 m² in plaats van 10 m²) stijgt de kosten/besparing verhouding van 5,6 naar 5,9 fl/"m³" (tabel 1).
- Vergroten van het vermogen van de warmtepomp heeft nauwelijks effect op het aantal draaiuren ervan. Dit betekent dat een grotere warmtepomp zich ongeveer gedraagt als een kleine warmtepomp met een groter aantal draaiuren (tabel 1).
- Een verhoging van het PV-rendement doet het relatieve voordeel van de hybride systemen ten opzichte van pure PV-systemen enigszins afnemen, echter niet zodanig dat het voordeel van variant 2 verdwijnt (tabel 3).
- Een verbetering van de COP van de warmtepomp heeft weinig effect op de kosten/baten verhouding van het systeem (tabel 4)

- Bij een lagere prijs van fotonvoltaïsche systemen neemt het voordeel van het PV/thermische systeem af, maar blijft wel bestaan (tabel 5).

3.9 Conclusies

In dit hoofdstuk is de haalbaarheid onderzocht van een gecombineerd thermisch en fotonvoltaïsch zonneënergiesysteem voor de woningbouw, dat gebruik maakt van een onafgedekte hybridische collector.

In het algemeen kan worden geconcludeerd dat het onderzochte zonneënergiesysteem technisch haalbaar lijkt. Doordat zo veel mogelijk gebruik is gemaakt van op de markt verkrijgbare componenten is het verwachte ontwikkelingstraject van een dergelijk systeem beperkt. In dit traject is nog nadere aandacht vereist voor:

- Het ontwerp van de hybridische collector, en speciaal de tussenlaag tussen de PV-panelen en de thermische absorber. Hiervoor is een aantal suggesties aangedragen waaruit nog een gegronde keuze moet worden gemaakt.
- De warmtepomp. Gezocht moet nog worden naar types met lagere condensatietemperaturen, zodat een groter aantal draaiuren mogelijk wordt.
- Het meer nauwkeurig karakteriseren van de collector en het gehele systeem. De berekeningen in dit rapport zijn globaal van karakter ten bate van de haalbaarheidsstudie. Het nagaan (testen) van de gemaakte aannames en vereenvoudigingen alsmede het valideren van de gebruikte modellen is noodzakelijk voor een meer accurate voorspelling van de prestatie van dergelijke systemen. Dit betekent tests op componentniveau (rendement collector) alsmede, in een later stadium, op systeemniveau (testen van prototype).
- Onderzoek naar de duurzaamheid en betrouwbaarheid van de hybridische collector en, met name bij toepassing van een warmtepomp, van het gehele systeem.

Uit deze studie komt voor het onderzochte systeem zonder warmtepomp een gunstige prijs/prestatieverhouding naar voren. De kosten per eenheid bespaarde primaire energie vallen lager uit dan bij een pure PV toepassing.

Ondanks een lager PV-rendement is de prijs/prestatieverhouding het gunstigst. De relatieve investeringskosten zijn laag: de meerinvestering ten opzichte van een 10 m² PV-systeem bedraagt 11 %. Dit systeem kan voor 33 % bijdragen in een tapvraag van 110 liter per dag.

Dit betekent dat het hybride PV/thermische systeem, ondanks de hogere aanschafkosten, een interessant economisch perspectief biedt.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In deze studie is ingegaan op de technische en economische haalbaarheid van gecombineerde toepassing van thermische en fotovoltaïsche zonneënergie. Voor dit doel is een korte literatuurstudie uitgevoerd. Vervolgens is een case-studie verricht op een specifieke uitvoering van dit principe.

De literatuurstudie toont een veelheid aan ontwerpen van gecombineerde PV/thermische collectoren. Een aantal daarvan is zonder meer interessant. Wel kwam naar voren dat het meeste onderzoek vooral gericht is op de (prestatie van de) collector. Hierdoor blijven het systeem en de omgeving achter de collector onderbelicht, alsmede economische aspecten.

De in hoofdstuk 3 uitgevoerde case-study laat zien dat de technische en economische haalbaarheid van een dergelijk systeem goede perspectieven biedt. Het onderzochte systeem bevat niet afgedekte collectoren die zoveel mogelijk zijn opgebouwd uit op de markt verkrijgbare componenten. Aan varianten met en zonder een warmtepomp om de collector te koelen zijn globale prestatieberekeningen uitgevoerd en is een economische analyse gemaakt.

De technische haalbaarheid van het onderzochte systeem is gunstig. Er zijn geen onoverkomelijke knelpunten in de ontwikkeling aangetroffen. Wel is er nog een aantal punten die nadere aandacht vereisen.

De economische analyse had als resultaat dat het onderzochte systeem lagere kosten per eenheid bespaarde primaire energie met zich mee kan brengen dan een PV-systeem pur sang. De kostentoeename ten opzichte van een 10 m² PV-systeem kan zich beperken tot

11 %, terwijl daar tegenover een dekking van circa 33 % van de energiebehoefte voor tapwaterverwarming staat.

Bij grootschalige invoering van PV in de woningbouw kan een moeilijkheid ontstaan met betrekking tot de eveneens voorziene grootschalige toepassing van zonneboilers. Dit uit zich op de volgende wijzen:

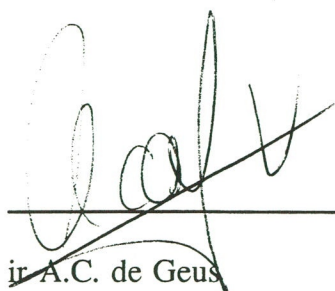
- Esthetische problemen, verbonden aan het naast elkaar monteren op hetzelfde dak van de zonneboiler en de fotonvoltaïsche panelen;
- Ruimteproblemen, vooral bij toepassing van grotere PV-oppervlakten naast een zonnecollector en eventuele andere objecten zoals dakramen;
- Economische inefficiëntie door het gescheiden installeren van twee systemen.

De in dit rapport beschreven techniek kan op economisch verantwoorde wijze aan het omzeilen van deze punten bijdragen. Het is een interessant antwoord op de vraag hoe in de toekomst grootschalige toepassing van fotonvoltaïsche energie in de woningbouw kan worden geïntegreerd met thermische zonneënergie. Het is dan ook aanbevelenswaard om deze techniek nader te onderzoeken.

Het in hoofdstuk 3 behandelde ontwerp van een gecombineerd PV/thermisch systeem heeft nog een zeker ontwikkelingstraject voor zich, waarbij vooral de constructie van de collector aandacht verdient. De aandachtspunten zijn in de conclusie van hoofdstuk 3 aangegeven.



drs B.G.C. van der Ree
projectleider



ir A.C. de Geus
sectiehoofd
Bouwfysica en Zonneënergie

LITERATUUR

N.B. De referenties voor de literatuurstudie (hoofdstuk 2) staan in par. 2.4.

- [1] ZONNEBOILERS ontwerp, uitvoering en advisering, uitgave inst. voor studie en stimulering van onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties (ISSO), 1992.
- [2] Van Amerongen, Kratz, van der Ree, Visser, concept aandachtpunten voor componentenonderzoek en alternatieve zonneboilerconcepten, uitgave TNO-Bouw, oktober 1992.
- [3] M.W.v.Dalen, Kunststoffen, eigenschappen en toepassingen, uitgave TU-Delft, 1990.
- [4] Zonnestroom, Uitgave Nederlandse maatschappij voor energie en milieu bv (NOVEM), 1992.
- [5] De zonneboiler, Uitgave Nederlandse maatschappij voor energie en milieu bv (NOVEM), 1992.
- [6] W.C.Sinke, C.Leguijt, De opmars van silicium zonnecellen, uitgave ECN, juni 1992.
- [7] J. Wijnen, dictaat warmtepompen, juni 1986.
- [8] Brochure van ZTN (zontechnologie Nederland) solar systems BV 1992.

- [9] Visser, van der Linden, van Amerongen, Definitie referentie-condities en referentie-warmwatersystemen voor verwerking van zonneboiler 'indoor' en 'outdoor' tests, Uitgave TNO-Bouw, april 1992.
- [10] Rohsenow, Hartnett, Ganić, Handbook of Heat Transfer Fundamentals, USA 1985.
- [11] W.C.Sinke, Zonne-energie vandaag en morgen, uitgave ECN, oktober 1992.

BIJLAGE A BEREKENING VAN HET COLLECTORRENDEMENT

In deze bijlage wordt de invoer en uitvoer gegeven van een berekening met het programma COLSPEC2. Het betreft hier de berekening van de collector voor variant 2: collector met isolatie aan de achterzijde, toegepast in een systeem zonder warmtepomp.

collectorberekening: colsp1

Gegevens collector

=====

Oppervlak absorber	AC	1.0000 m2
Hoogte absorber	HC	1.0000 m
Oppervlak collectorbak	AB	1.0000 m2
Hoogte collectorbak	HB	1.0000 m
Dikte collectorbak	DB	0.0000 m
Indicator verlies naar omgeving	IRW	1 -
IRW = 0 nee, IRW = 1 ja		
Dikte isolatie	DISO	0.0500 m
Warmte geleidings coeff.	WGLISO	0.0050 W/mK
Warmte weerstand achterzijde	RW	10.0000 W/m2K
Collector hoek tov vertikaal	BETHA	45.0000 graden
Warmteoverdr. coeff. isol-lucht	WOISO	23.0000 W/m2K

Gegevens afdekking collector

=====

Aantal afdekkingen	NLAG							7 -
Cover or spouw No:	1	2	3	4	5	6	7	
Sublayers per cover:	1	1	1	1	1	1	1	1
R cover (m2K/W):	0.0038	0.0023	0.0000	0.0012	0.0023	0.0010	0.0002	
Breedte spouw (m):	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

Resterende gegevens absorber

=====

Wijze berekenen coll. eff. factor	ICEF	1 -
ICEF = 0 CEF volgens invoer		
ICEF = > 0 CEF water berekend		
ICEF = < 0 CEF lucht berekend		
Coll. eff. factor	CEF	0.0000 -
Collector flow per m2 collector	FLOW	0.0500 l/s
W.O. coeff. plaat-collector medium	ALWA	300.0000 W/mK

Gegevens absorber

=====

Breedte collector vin	WPL	0.0058 m
Dikte absorber	DPL	0.0055 m
Geometrie absorberkanaal DCH * DCHI	0.0040 *	0.0040 m
Geleidings coeff. absorberplaat	GPL	0.2200 W/mK

Optische eigenschappen absorber

=====

SW reflectie coefficient	0.07
SW absorptie	0.93
LW reflectie coefficient	0.90
Emissie	0.10

Optische eigenschappen afdekking: 1

```

=====
SW transmissie coefficient      0.91
SW reflectie                    "      0.04  0.04
SW absorptie                    "      0.05  0.05
LW transmissie coefficient      0.00
LW reflectie                    "      0.12  0.12
Emissie                         "      0.88  0.88

```

Optische eigenschappen afdekking: 2

```

=====
SW transmissie coefficient      0.91
SW reflectie                    "      0.09  0.09
SW absorptie                    "      0.00  0.00
LW transmissie coefficient      0.00
LW reflectie                    "      0.12  0.12
Emissie                         "      0.88  0.88

```

Optische eigenschappen afdekking: 3

```

=====
SW transmissie coefficient      0.25
SW reflectie                    "      0.16  0.16
SW absorptie                    "      0.59  0.59
LW transmissie coefficient      0.80
LW reflectie                    "      0.16  0.16
Emissie                         "      0.04  0.04

```

Optische eigenschappen afdekking: 4

```

=====
SW transmissie coefficient      0.97
SW reflectie                    "      0.00  0.00
SW absorptie                    "      0.03  0.03
LW transmissie coefficient      0.25
LW reflectie                    "      0.68  0.68
Emissie                         "      0.07  0.07

```

Optische eigenschappen afdekking: 5

```

=====
SW transmissie coefficient      0.91
SW reflectie                    "      0.09  0.09
SW absorptie                    "      0.00  0.00
LW transmissie coefficient      0.00
LW reflectie                    "      0.12  0.12
Emissie                         "      0.88  0.88

```

Optische eigenschappen afdekking: 6

```

=====
SW transmissie coefficient      0.00
SW reflectie                    "      0.10  0.10
SW absorptie                    "      0.90  0.90
LW transmissie coefficient      0.00
LW reflectie                    "      0.10  0.10
Emissie                         "      0.90  0.90

```

Optische eigenschappen afdekking: 7

```

=====
SW transmissie coefficient      0.00
SW reflectie                    "      0.00  0.00
SW absorptie                    "      1.00  1.00
LW transmissie coefficient      0.00
LW reflectie                    "      0.10  0.10
Emissie                         "      0.90  0.90

```

```

Berekenings methode spouwoverdracht Ntype = 0
Warmteoverdracht spouw standaard: Ntype=0
Warmteoverdracht spouw geleiding: Ntype=1

```

Gegevens weersomstandigheden

=====

Luchttemperatuur TL : 15.17 C
 Windsnelheid VW : 3.68 m/s
 Waterdampspanning P : 11.26 mbar
 Bewolgingsgraad B : 0.45 -
 (als B < 0 is dan wordt B berekend)

Rendements berekening collector, Tlucht= 15.2 Tsky= 5.9

E0	TP	TW	ETA	C	DT/E0	QABS	QP1	QGEL	CW	XW	FF	TG1	TG2
TG3	TG4	TG5	TG6	TG7									
641.0	15.2	15.2	0.669	0.000	0.000	0.0	-428.9	0.0	0.000	0.000	0.000	16.7	16.8
16.8	16.6	16.0	15.5	15.2									
641.0	17.2	16.7	0.630*****	0.003	0.003	0.0	-403.9	0.2*****	0.002	1.272	18.5	18.6	
18.7	18.5	18.0	17.5	17.2									
641.0	19.2	18.6	0.588-94.224	0.006	0.006	0.0	-377.3	0.4*****	0.005	1.152	20.2	20.5	
20.6	20.4	19.9	19.5	19.2									
641.0	21.2	20.7	0.544-58.168	0.009	0.009	0.0	-349.6	0.6-63.676	0.009	1.095	22.0	22.3	
22.4	22.3	21.9	21.4	21.2									
641.0	23.2	22.7	0.500-40.023	0.012	0.012	0.0	-321.0	0.8-42.629	0.012	1.065	23.7	24.1	
24.3	24.1	23.8	23.4	23.2									
641.0	25.2	24.7	0.453-29.055	0.016	0.016	0.0	-291.5	1.0-30.426	0.015	1.047	25.5	25.9	
26.1	26.0	25.7	25.4	25.2									
641.0	27.2	26.8	0.406-21.684	0.019	0.019	0.0	-261.4	1.2-22.446	0.018	1.035	27.2	27.8	
28.0	27.9	27.6	27.4	27.2									
641.0	29.2	28.8	0.358-16.371	0.022	0.022	0.0	-230.6	1.4-16.805	0.021	1.026	28.9	29.6	
29.8	29.8	29.6	29.4	29.2									
641.0	31.2	30.9	0.308-12.349	0.025	0.025	0.0	-199.2	1.6-12.595	0.024	1.020	30.6	31.4	
31.7	31.6	31.5	31.3	31.2									
641.0	33.2	32.9	0.258-9.189	0.028	0.028	0.0	-167.2	1.8-9.325	0.028	1.015	32.3	33.2	
33.5	33.5	33.4	33.3	33.2									
641.0	35.2	35.0	0.207-6.634	0.031	0.031	0.0	-134.7	2.0-6.705	0.031	1.011	34.0	35.0	
35.4	35.4	35.3	35.3	35.2									
641.0	37.2	37.0	0.155-4.520	0.034	0.034	0.0	-101.6	2.2-4.553	0.034	1.007	35.7	36.8	
37.2	37.2	37.2	37.3	37.2									
641.0	39.2	39.1	0.103-2.738	0.037	0.037	0.0	-68.1	2.4-2.750	0.037	1.004	37.4	38.6	
39.0	39.1	39.1	39.2	39.2									
641.0	41.2	41.1	0.049-1.213	0.041	0.041	0.0	-34.1	2.6-1.215	0.040	1.002	39.1	40.4	
40.9	40.9	41.1	41.2	41.2									
641.0	43.2	43.2	-0.005 0.111	0.044	0.044	0.0	0.3	2.8 0.111	0.044	1.000	40.8	42.2	
42.7	42.8	43.0	43.2	43.2									

ETA0 volgens berekening: ETA0 = 0.000

ETA als 2e graads polynoom waarin Tster=(TP-TL)/E0:

ETA = 0.671 + *****Tster + -0.0826*E0*Tster**2

Stagnatie temperatuur (uit fit): TSTAG = 42.9 C

Covers temperatures when TP=TSATG :

40.6 42.0 42.5 42.6 42.8 42.9 42.9

Collector efficiency curve, Tlucht= 15.2 Tsky= 5.9

TL	E0	ETA0	C0	C1	C2	TSTAG
15.2	641.0	0.000	0.671	-13.197	-0.0826	42.9

Temperature distribution in collector, Tlucht= 15.2 Tsky= 5.9

E0	TP	TG11	TG21	TG31	TG41	TG51	TG61	TG71
641.0	15.2	16.7	16.8	16.8	16.6	16.0	15.5	15.2
641.0	17.2	18.5	18.6	18.7	18.5	18.0	17.5	17.2
641.0	19.2	20.2	20.5	20.6	20.4	19.9	19.5	19.2
641.0	21.2	22.0	22.3	22.4	22.3	21.9	21.4	21.2
641.0	23.2	23.7	24.1	24.3	24.1	23.8	23.4	23.2
641.0	25.2	25.5	25.9	26.1	26.0	25.7	25.4	25.2
641.0	27.2	27.2	27.8	28.0	27.9	27.6	27.4	27.2
641.0	29.2	28.9	29.6	29.8	29.8	29.6	29.4	29.2
641.0	31.2	30.6	31.4	31.7	31.6	31.5	31.3	31.2
641.0	33.2	32.3	33.2	33.5	33.5	33.4	33.3	33.2
641.0	35.2	34.0	35.0	35.4	35.4	35.3	35.3	35.2
641.0	37.2	35.7	36.8	37.2	37.2	37.2	37.3	37.2
641.0	39.2	37.4	38.6	39.0	39.1	39.1	39.2	39.2
641.0	41.2	39.1	40.4	40.9	40.9	41.1	41.2	41.2
641.0	43.2	40.8	42.2	42.7	42.8	43.0	43.2	43.2
641.0	42.9	40.6	42.0	42.5	42.6	42.8	42.9	42.9

BIJLAGE B INVOERGEGEVENS SYSTEEMBEREKENINGEN

In deze bijlage wordt een voorbeeld gegeven van een systeemberekening met behulp van het model ZBOIL4. Het betreft hier variant 1a: systeem met warmtepomp en isolatie aan de achterzijde van de collector.

==> Berekening uitgevoerd op 20-10-93 *** 13.40h

Berekening uitgevoerd met ZBOIL4 Versie 2.0

Berekeningen met solarprocessor ZONTRY V2.1
Gebruikt TRY-referentie WEERSTATION Debilt

LOKATIE VAN DE MEETPLAATS WEERGEGEVENS

Breedte graad lokatie RLATD 52.100 gr.
Lengte " " DLONGD 5.180 gr.
De grondreflectie RO 0.20*100 %
Omrekenen van diffuus horizontaal naar een
hellend vlak met behulp van model van Perez.
direct normaal : inlezen van CEC-TRY
diffuus horizontaal : inlezen van CEC-TRY

1

AAN- EN UITSCHAKELCRITERIA

Aanschakelcriterium collector - vat DTCVA = 4.00 C
Uitschakelcriterium collector - vat DTCVU = 0.50 C
Plaats temperatuuropnemer in het
vat (segmentnummer) IPLTS = 5 -
Maximum temperatuur opslagvat TVMAX = 90.00 C
Aantal tijdstappen per uur NUUR = 30 -
Tijdstap voor de berekening DTYD = 120.00 s

GEGEVENS TAPWATERAFNAME

Rekentijdstappen, waarin getapt wordt:
begin tappen in tijdstap ITTAPS 4
einde tappen in tijdstap ITTAPE 4

De leidingwatertemperatuur TVI,
de gewenste tapwatertemperatuur TGEER,
de delta-T van de externe bijstook DTNV,
de dagelijkse tapwaterafname TAPWO en
de uurlijkse percentages daarvan FWO
zijn afhankelijk van de dag van het jaar.
Deze variabelen worden gelezen van file.

1

Gebruikte opslagvat-routine: VAT Versie 2.0

Geen HOT TOP gedefinieerd

GEGEVENS OPSLAGVAT

Massa opslag		30.000 kg
Totaal volume opslag	V	0.300 m3
Volume hot top gedeelte	VTOP	0.000 m3
Totale hoogte opslag	HVAT	2.100 m
Hoogte hot top gedeelte	HTOP	0.000 m
Totaal aantal rekensegmenten	MAXSG	15 -
Aantal segmenten in hot top gedeelte	NTOP	0 -
Warmtecapaciteit vatwand	WCWAND	30000. J/K
Warmtegeleidingscoefficient vatwand	GELCOS	16.00 W/mK
Soortelijke warmte vatmedium	CPV	4180.00 J/kgK
Soortelijke massa vatmedium	SMV	1000.00 kg/m3
Warmtegeleidingscoeff. vatmedium	GCV	0.63 W/mK
Debiet in primair circuit	FMP	0.500 kg/s
Pompvermogen gedissipeerd in primair circuit	QPOMPP	0.000 W
Pomp primair circuit in segment no.	NSP	1 -
Debiet in secundair circuit (moet gelijk zijn aan FMCVM)	FMS	0.000 kg/s
Pompvermogen gedissipeerd in secundair circuit	QPOMPS	0.000 W
Pomp secundair circuit in segment no.	NSS	1 -
Debiet tapwater (momentaan)	FMT	0.100 kg/s

GEGEVENS WARMTEUITWISSELING OPSLAG

UAVTO : warmtestroomcap. tussen opslag en woning
 UAVTL : warmtestroomcap. tussen opslag en buitenlucht
 UAVTC : warmtestroomcap. tussen opslag en collector
 UAVGL : warmtestroomcap. tussen opslagsegment i en i+1
 Onderverdeling rekestijdstap voor de berekening van het
 warmteverlies in 1 tijdstap(pen)

Warmtestroomcapaciteit tussen opslagsegmenten als
 gevolg van geleiding van de vatwand : 0.20408 W/K

Segment nummer	UAVTO W/K	UAVTL W/K	UAVTC W/K	UAVGL W/K
1	0.2984	0.0000	0.0000	0.8469
2	0.1694	0.0000	0.0000	0.8469
3	0.1694	0.0000	0.0000	0.8469
4	0.1694	0.0000	0.0000	0.8469
5	0.1694	0.0000	0.0000	0.8469
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
8	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.8469
15	0.1290	0.0000	0.0000	0.8469

GEGEVENS WARMTEUITWISSELING MANTEL

UAMTO : warmtestroomcap. tussen mantel en woning
 UAMTL : warmtestroomcap. tussen mantel en buitenlucht
 UAMTC : warmtestroomcap. tussen mantel en collector
 UAMGL : warmtestroomcap. tussen mantelsegment i en i+1
 UAMV : warmtestroomcap. tussen mantel en vat
 Onderverdeling rekentijdstap voor de berekening van het
 warmteverlies in 1 tijdstap(pen)

Warmtestroomcapaciteit tussen opslag segmenten als
 gevolg van geleiding van de vatwand : 0.20408 W/K

Segment nummer	UAMTO W/K	UAMTL W/K	UAMTC W/K	UAMGL W/K	UAMV W/K
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.2113	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
7	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
8	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
9	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
10	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
11	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
12	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
13	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
14	0.1855	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000
15	0.2113	0.0000	0.0000	0.3327	45.0000

GEGEVENS MANTEL WARMTEWISSELAAR PRIMAIR CIRCUIT

Massa van de mantel 30.000kg
 Volume van de mantel VM 0.040m3
 (UA)-waarde AFWM 450.000W/K
 Effectiviteit (van segment) EFFM 0.021 -
 Berekeningswijze stationair? MSTAT F -
 Mantel start op vatsegment ISP 6 -
 en stopt op vatsegment IEP 15 -

1

Gebruikte zonnecollector-routine: ATCOL Versie 2.0

Opties: - hoekafhankelijk invangrendement;
 - warmteuitwisseling met buitenomgeving,
 binnenomgeving en opslagvat.

GEGEVENS ZONNECOLLECTOR

Type collector: ITYPE = 1; VLAKKE PLAAT WATER
 Hoek met de vertikaal BET(1) 45.00 gr.
 Hoek met het zuiden GAM(1) 0.00 gr.
 Oppervlakte OCOL 10.0000 m2
 Indicator opgegeven rendementscurve MCOL 0 -
 Opties berekeningswijze:
 - MCOL=0, theoretische rendementscurve gebaseerd op
 Tplaat-Tomgeving
 - MCOL=1, gemeten rendementscurve gebaseerd op
 Tcol,gem-Tomgeving met Tcol,gem=(Tc,in+Tc,uit)/2
 - MCOL=2, gemeten rendementscurve gebaseerd op
 Tc,in-Tomgeving
 Theoretisch alfa*tau produkt ALTA 0.6700 -
 U-waarde naar buitenomgeving C 13.1000 + .0830 * (Tplaat-Tomgeving) W/m2K
 U-waarde naar binnenomgeving UCIND 0.0000 W/m2K
 UA-waarde naar binnenomgeving 0.000 W/K
 U-waarde naar opslag SIGUCS 0.0000 W/m2K

UA-waarde naar opslag		0.000 W/K
Warmtecapaciteit lege collector/m2	WCM2L	4287.50 J/m2K
Warmtecapaciteit collector/m2	WCM2	21704.20 J/m2K
Collector efficiency factor F' bepaald uit absorbereigenschappen	F	1.0160 -
Massastroom	FMC	0.50000 kg/s
Soortelijke warmte collectormedium	CPM	4180.00 J/kgK
Soortelijke massa collectormedium	SMM	1000.00 kg/m3
Warmtegeleidingscoeff. coll.medium	GCM	0.6300 W/mK

Gegevens hoekafhankelijkheid invangrendement:
 De hoekafhankelijkheid wordt berekend met functie FAT
 volgens $A1 - \exp(A2 \cos(Q)^{A3})$ met Q de hoek met de normaal
 op het apertuuroppervlak en

A1	2.0000 -
A2	0.0000 -
A3	1.0000 -

==> N.B. Als FAT ongelijk is aan 1 bij Q = 0, dan moet
 de opgegeven ALTA gecorrigeerd zijn

Absorptie voor diffuus licht	ATD	0.6700 -
------------------------------	-----	----------

----- GEGEVENS LEIDINGEN TUSSEN COLLECTOR EN OPSLAGVAT -----

Leidinglengte vat -> collector	PYLVC	2.50 m
Leidinglengte collector -> vat	PYLCV	2.50 m
Warmtecapaciteit leiding/m	WPYM	750.00 J/mK
UA-waarde leiding/m	VPYM	0.200 W/mK

----- STARTTEMPERATUUR COLLECTOR EN LEIDINGEN -----

Starttemperatuur collector	TCSTART	3.20 gr.C
Starttemperatuur leidingen = temperatuur binnenomgeving	TOMG	15.00 gr.C

----- CONVERGENTIEBEREKENING -----

Convergentiecriterium	DELT	0.0010000 -
-----------------------	------	-------------

----- CONVERGENTIEBEREKENING -----

Convergentiecriterium	DELFRAC	0.0000100 -
-----------------------	---------	-------------

----- CONVERGENTIEBEREKENING -----

Convergentiecriterium	DELFMB	0.0010000 -
-----------------------	--------	-------------

----- MODULERENDE NAVERWARMER Versie 1.0 -----

Minimaal vermogen	PXMIN	0.0 W
Maximaal vermogen	PXMAX	1000000.0 W
Max. in/uit schakelingen tijdens een convergentie- berekening	ISWMAX	5

WARMTEPOMP TUSSEN ONDERSTE EN BOVENSTE VATDEEL
BvdR, 27-4-1993

```
=====
Aantal onderste vatseg. voor verdamper NVE : 10
Aantal bovenste vatseg. voor condensor NCO : 5
Delta-T tussen verd.temp. en vat DTVE : 5.00 C
Delta-T tussen cond.temp. en vat DTCE : 5.00 C
Minimale vattemp. verdamper TVMINVE : 5.00 C
Maximale vattemp. verdamper TVMAXVE : 25.00 C
Minimale vattemp. condensor TVMINCO : 20.00 C
Maximale vattemp. condensor TVMAXCO : 55.00 C

Schaalfactor gehele wp: SCHFAC : 1.00
Verm. factor voor COP: COPFAC : 1.00
```

ZONNEPANEEL VAN HYBRIDE COLLECTOR:

```
Gem. temp. verschil met absorber DTP1 0.30 C
Nominale paneeltemperatuur TNOM 45.00 C
Rendement bij TNOM ETANOM 0.0890 -
RELATIEVE afhankelijkheid rend. DETA -0.0038 1/K
```

1

MAANDOVERZICHT PRESTATIE ZONNEBOILER

=====

```
MND : maand van het jaar
AANBOD : aanbod zonne-energie op het collector vlak MJ
QPRIM : aan het vat overgedragen energie MJ
QTAP : aan het vat onttrokken energie tap. MJ
QVERD : VERDAMPINGSWARMTE WARMTEPOMP MJ
QEL : ELEKTRICITEITSVERBRUIK WARMTEPOMP MJ
QXTAP : door naverw. tapwater geleverde energie MJ
HPRI : bedrijfstijd primaire loop h
HWP : BEDRIJFSTIJD WARMTEPOMP h
FT : percentage heet water uit opslag %
```

1 kWh = 3.6 MJ

	MND	AANBOD	QPRIM	QTAP	QVERD	QEL	QXTAP	HPRI	HWP	FT
1	1067	82	77	49	14	636	19	16	100	
2	1582	150	109	38	11	535	27	12	100	
3	3383	366	309	125	37	404	58	40	100	
4	4331	453	363	103	32	327	62	35	100	
5	5162	508	407	92	28	306	74	30	100	
6	5430	580	424	114	37	266	70	38	100	
7	5011	562	403	31	10	310	75	11	100	
8	5531	607	438	32	11	275	73	11	100	
9	3611	442	341	67	22	349	69	24	100	
10	2505	360	275	59	16	438	52	18	100	
11	1325	163	200	142	41	489	29	45	100	
12	888	61	65	43	12	647	16	14	100	
93	39826	4334	3410	895	271	4981	623	296	100	

WARMTEBALANS OVER HET VAT

=====

```
Starttemperatuur vat 15.00 gr.C
Warmte inhoud vat start 21.77 MJ
Eindtemperatuur vat 15.58 gr.C
Warmte inhoud vat einde 22.53 MJ
Ingaande warmte 4334.21 MJ
Pompenergie t.g.v. vat 0.00 MJ
Warmte hot top element 270.85 MJ
Uitgaande warmte tapwater 3409.92 MJ
Uitgaande warmte r.v. 0.00 MJ
Vatverlies 1194.38 MJ
Warmteverlies is sluitpost!
```

RENDEMENTEN

=====

Collectorrendement	$Q_{OVTOT}/AANBOD$	10.88 %
Vatrendement	$Q_{WWT}/(Q_{OVTOT}+Q_{POMP}+Q_{AUX})$	74.05 %
Systeemrendement	$Q_T+Q_S/(AANBOD+Q_{POMP}+Q_{AUX})$	8.50 %

Negatieve energieinvang collector	:	-83.57 MJ
Aantal pompschakelingen	NPOMP:	1303
Aantal pompuren (excl. overload)	HPOMP:	623.03 uur
Aantal pompuren in overload	HOPOMP:	0.00 uur

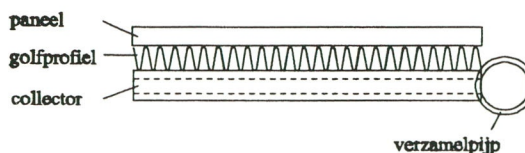
Elektriciteitsopbrengst PV-paneel QCEL : 102.26 kWh/m2

==> Berekening beeindigd op 20-10-93 *** 13.53h

BIJLAGE C CONSTRUCTIEMOGELIJKHEDEN VAN DE TUSSENLAAG TUSSEN DE PV-PANELEN EN DE ABSORBER

In hoofdstuk 3 en 4 is beschreven dat voor de tussenlaag tussen de PV-panelen en de thermische absorber van de gecombineerde collector nog diverse opties open staan, waartussen nog een onderbouwde keuze moet worden gemaakt. In deze bijlage worden de verschillende opties uitgewerkt.

Optie 1: Metaalprofiel klemmen tussen paneel en collector



Bij deze constructie wordt het PV paneel door een gegolfd profiel van bijvoorbeeld koper of roestvast staal met een dikte van 0.2 mm, verbonden met de thermische collector. Een klemconstructie klemt de drie componenten op elkaar. De dikte van deze tussenlaag bedraagt bijvoorbeeld 4 mm.

Voordelen:

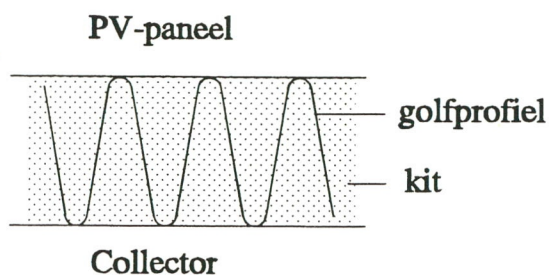
- eenvoudig te produceren
- geen problemen met opvangen van het verschil in thermische uitzetting tussen PV-paneel en thermische collector
- flexibel
- geen probleem met veroudering van kitverbindingen etc.

Nadelen:

- Door de 'lijn-'contacten wordt een beperkte warmteoverdracht verkregen. Deze warmteoverdracht is afhankelijk van de druk en de mate van oneffenheid van de oppervlakken en is moeilijk te voorspellen.
- De thermische collector zou kunnen doorbuigen waardoor het contact van de tussenlaag met de thermische collector of met het PV paneel vermindert. Ook dit beïnvloedt de warmteoverdracht in negatieve zin.
- De keuze van het PV-paneel is, in verband met het doorbuigen van de thermische collector, beperkt tot een uitvoering met kleine afmetingen (wanneer een paneel met kleine afmeting wordt toegepast kan door middel van klemmen het doorbuigen tot een minimum worden beperkt).
- De thermische collector kan niet uit één plaat bestaan maar moet in banen worden uitgevoerd om het klemmen mogelijk te maken.
- De klemconstructie veroorzaakt een belasting op het glas van het PV-paneel. Op den duur zou dit tot breuk kunnen leiden.

Een variant is om het effect van doorbuiging op te vangen met een profiel dat in dikte verloopt: in het midden een dikker profiel en naar de klemverbindingen toe steeds smallere profielen.

Optie 2: Gegolfde tussenlaag, gevuld met een kit met lijmeigenschappen.



Bij deze constructie moet de kit aan twee mechanische eigenschappen voldoen:

- Het moet sterk zijn om de kracht te kunnen opvangen die ontstaat door het verschil in uitzetting van de verschillende componenten.
- Het moet elastisch zijn zodat het mogelijk is dat de componenten ook daadwerkelijk kunnen uitzetten.

Voordelen van deze constructie:

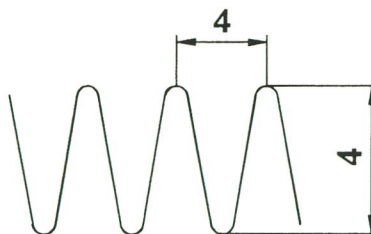
- Het thermische contact van de tussenlaag met paneel en thermische collector, en dus de warmteoverdracht, is nu gewaarborgd.
- De lijncontacten zijn nu oppervlakken geworden zodat een betere overdracht kan worden verkregen.
- Klemmen is nu niet meer nodig zodat er geen extra belasting op het glas hoeft worden uitgeoefend.
- De thermische collector kan nu uit één geheel bestaan waarop verschillende panelen worden gekit.
- Bij de keuze van het PV paneel zijn de afmetingen minder belangrijk. Dit maakt het mogelijk panelen met een hoger rendement te gebruiken.

Nadelen:

- Door de vele temperatuurschommelingen, en daardoor de uitzettingsbewegingen van het paneel en de onafgedekte collector, kan op den duur de kitverbinding loslaten.
- Produktietechnisch is het moeilijk de tussenlaag direct contact met de thermische collector en het PV paneel te laten maken. De kans bestaat dat er wat kit achterblijft waardoor de warmteoverdracht slechter wordt.

In de opbrengstberekeningen in hoofdstuk 3 wordt een typische waarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt genomen. Deze is gebaseerd op deze constructie onder aanname van de volgende veronderstellingen:

- het golfprofiel bestaat uit een koperplaat met een dikte van 0.2 mm ($\lambda = 390 \text{ W/mK}$)
- de dikte van het gegolfde profiel (van top tot dal) is 4 mm.
- het kit dat is gebruikt heeft een w.g.coëff. van 0.5 W/mK
- de helling van de golven is exact verticaal

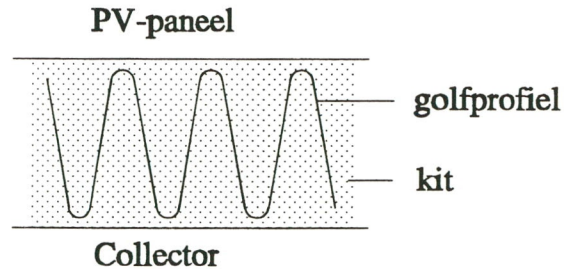


Dikte profiel 0.2mm

De volgende formule is gebruikt om de gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt van de tussenlaag uit te rekenen [10]:

$$\lambda_{gem} = 0.05 * \lambda_{koper} + 0.95 * \lambda_{kit}$$
$$\lambda_{gem} = 0.05 * 390 + 0.95 * 0.5 \approx 20 \frac{W}{mK}$$

Optie 3: **Golfprofiel in de kit ingebed, geen direct contact met paneel en collector.**



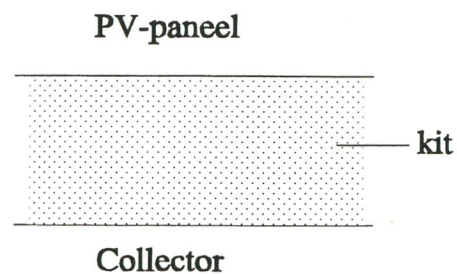
Voordelen:

- Minder belasting voor de kitverbinding waardoor de levensduur van de constructie hoger wordt dan bij optie 2.

Nadelen:

- Moeilijk te produceren
- Slechtere warmtegeleiding dan bij optie 2

Optie 4: Warmtegeleidende kit.



Voordelen:

- goede warmtegeleiding
- flexibel
- het PV-paneel is niet aan maximale afmetingen gebonden

Nadelen:

- de kit moet redelijke warmtegeleiding hebben
- bij niet hechtende kit is een klemconstructie nodig
- bij wel hechtende kit is de duurzaamheid een onduidelijke factor.

BIJLAGE D KOSTEN-BATEN BEREKENINGEN

In deze bijlage wordt een aantal kosten-baten berekeningen meer gedetailleerd weergegeven.

TABEL 1

1 PV/thermisch zonneenergiesysteem

2 KOSTEN EN BATEN

3 BvdR 25-Jan-94

4 File: Kostbat.xls

5

6 ELEKTRICITEITSKOSTEN KWH:

7 Hoogtarief 0.18 f/kWh Werkdagen 700-2300, excl. BTW

8 Gebruiken dag: 0.15 f/kWh voor compensatie van de weekends

9 Nachttarief: 0.09 f/kWh Excl. BTW

10 Rend. Centrale: 0.33 -

11 GASKOSTEN: 0.41 f/m3 Excl. BTW

12 Rend. Naverw. 0.60 -

13 Bovenwaarde gas 35.18 MJ/m3

14

15 Run nr: 28 1 4 7 9 15 17 25 26 29

16			Alleen PV	PV/TH zonder WP		PV-thermisch met warmtepomp							
17			Ref.			Collector met geïsoleerde achterzijde				Geen isolatie achterzijde			
18	AFSCHRIJVING:	Berekening:		10 m2	5.2 m2	Tv=5/20	Tv=15/20	pWPx2	Tv=5/10	Tv=5/20	Tv=15/20	Tv=5/10	Eenheid
19	Investering:	invoer	21200	23620	13850	29800	29800	29800	29800	29650	29650	29650	hfl
20	Levensduur:	invoer	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	jaar
21	Rente:	invoer	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	-
22	AFSCHRIJVINGSKOSTEN	PMT(19,20,21)	2183	2432	1426	3068	3068	3068	3068	3053	3053	3053	hfl/jaar
23													
24	OPBRENGST:												
25	Tapvraag besparing	invoer	0	2744	2260	3410	3226	3835	4487	3064	2798	4373	MJ/jaar
26	In m3 gas:	25/12/13	0	130	107	162	153	182	213	145	133	207	m3/jaar
27	In guldens:	26*11	0	53	44	66	63	74	87	60	54	85	hfl/jaar
28	Elektr. opbrengst PV	invoer	1029	1024	487	1023	1022	1021	1020	1037	1037	1036	kWh/jaar
29	E-verbr. Coll.pomp	invoer	0	32	54	25	24	24	20	23	21	12	kWh/jaar
30	E-verbr. warmtepomp	invoer	0	0	0	75	49	167	291	110	80	375	kWh/jaar
31	Netto elektr. opbrengst	28-29-30	1029	992	433	923	949	830	710	905	936	649	kWh/jaar
32	In "m3 gas primair":	31*3.6/10/13	319	308	134	286	294	257	220	280	290	201	"m3"/jaar
33	In guldens:	31*8	157	151	66	141	144	126	108	138	143	99	hfl/jaar
34	TOTAAL "m3 gas primair"	26+32	319	438	241	448	447	439	433	426	423	408	"m3"/jaar
35	TOTAAL besp. in guldens:	27+33	157	204	110	207	207	201	195	197	197	184	hfl/jaar
36													
37	Netto Kosten/"m3 primair"	22/34	6.8	5.6	5.9	6.9	6.9	7.0	7.1	7.2	7.2	7.5	hfl/"m3"
38	Meerkosten/extra "m3"	(22-ref)/(34-ref)	Ref.	2.1	n.v.t.	6.9	6.9	7.4	7.8	8.2	8.4	9.7	hfl/"m3"

Opm: Tv=5/20 betekent: regeling warmtepomp op:

- Vatteratuur tpv verdamper > 5 C

- Vatteratuur tpv condensor > 20 C

BIJ 20 % HOGER RENDEMENT ZONNECELLEN:

TABEL 2

(Invloed van celrendement op de thermische eigenschappen van de collector is verwaarloosd)

16			Alleen PV	PV/TH zonder WP		PV-thermisch met warmtepomp							
17			Ref.			Collector met geïsoleerde achterzijde				Geen isolatie achterzijde			
18	AFSCHRIJVING:	Berekening:		10 m2	5.2 m2	Tv=5/20	Tv=15/20	pWPx2	Tv=5/10	Tv=5/20	Tv=15/20	Tv=5/10	Eenheid
19	Investing:	invoer	21200	23620	13850	29800	29800	29800	29800	29650	29650	29650	hfl
20	Levensduur:	invoer	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	jaar
21	Rente:	invoer	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	-
22	AFSCHRIJVINGSKOSTEN	PMT(19,20,21)	2183	2432	1426	3068	3068	3068	3068	3053	3053	3053	hfl/jaar
23													
24	OPBRENGST:												
25	Tapvraag besparing	invoer	0	2744	2260	3410	3226	3835	4487	3064	2798	4373	MJ/jaar
26	In m3 gas:	25/12/13	0	130	107	162	153	182	213	145	133	207	m3/jaar
27	In guldens:	26*11	0	53	44	66	63	74	87	60	54	85	hfl/jaar
28	Elektr. opbrengst PV	invoer*1.2	1235	1229	585	1228	1226	1225	1224	1244	1244	1243	kWh/jaar
29	E-verbr. Coll.pomp	invoer	0	32	54	25	24	24	20	23	21	12	kWh/jaar
30	E-verbr. warmtepomp	invoer	0	0	0	75	49	167	291	110	80	375	kWh/jaar
31	Netto elektr. opbrengst	28-29-30	1235	1197	531	1127	1153	1034	914	1112	1144	856	kWh/jaar
32	In "m3 gas primair":	31*3.6/10/13	383	371	165	350	358	321	283	345	355	265	"m3"/jaar
33	In guldens:	31*8	188	182	81	172	176	158	139	169	174	130	hfl/jaar
34	TOTAAL "m3 gas primair"	26+32	383	501	272	511	510	502	496	490	487	473	"m3"/jaar
35	TOTAAL besp. in guldens:	27+33	188	236	125	238	238	232	226	229	229	215	hfl/jaar
36													
37	Netto Kosten/"m3 primair"	22/34	5.7	4.9	5.2	6.0	6.0	6.1	6.2	6.2	6.3	6.5	hfl/"m3"
38	Meerkosten/extra "m3"	(22-ref)/(34-ref)	Ref.	1.4	n.v.t.	4.6	4.6	4.8	5.0	5.1	5.2	5.7	hfl/"m3"

TABEL 3

BIJ 40 % HOGER RENDEMENT ZONNECELLEN:

(Invloed van celrendement op de thermische eigenschappen van de collector is verwaarloosd)

		Alleen PV Ref.	PV/TH zonder WP		PV-thermisch met warmtepomp							
					Collector met geïsoleerde achterzijde				Geen isolatie achterzijde			
	Berekening:		10 m2	5.2 m2	Tv=5/20	Tv=15/20	pWPx2	Tv=5/10	Tv=5/20	Tv=15/20	Tv=5/10	Eenheid
AFSCHRIJVING:												
Investering:	invoer	21200	23620	13850	29800	29800	29800	29800	29650	29650	29650	hfl
Levensduur:	invoer	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	jaar
Rente:	invoer	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	-
AFSCHRIJVINGSKOSTEN	PMT(19,20,21)	2183	2432	1426	3068	3068	3068	3068	3053	3053	3053	hfl/jaar
OPBRENGST:												
Tapvraag besparing	invoer	0	2744	2260	3410	3226	3835	4487	3064	2798	4373	MJ/jaar
In m3 gas:	25/12/13	0	130	107	162	153	182	213	145	133	207	m3/jaar
In guldens:	26*11	0	53	44	66	63	74	87	60	54	85	hfl/jaar
Elektr. opbrengst PV	invoer * 1.4	1441	1434	682	1432	1431	1429	1428	1452	1452	1450	kWh/jaar
E-verbr. Coll.pomp	invoer	0	32	54	25	24	24	20	23	21	12	kWh/jaar
E-verbr. warmtepomp	invoer	0	0	0	75	49	167	291	110	80	375	kWh/jaar
Netto elektr. opbrengst	28-29-30	1441	1401	628	1332	1357	1239	1118	1319	1351	1063	kWh/jaar
In "m3 gas primair":	31*3.6/10/13	447	435	195	413	421	384	347	409	419	330	"m3"/jaar
In guldens:	31*8	219	213	96	203	207	189	170	201	206	162	hfl/jaar
TOTAAL "m3 gas primair"	26+32	447	565	302	575	574	566	559	554	552	537	"m3"/jaar
TOTAAL besp. in guldens:	27+33	219	267	140	269	269	263	257	260	260	247	hfl/jaar
Netto Kosten/"m3 primair"	22/34	4.9	4.3	4.7	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.7	hfl/"m3"
Meerkosten/extra "m3"	(22-ref)/(34-ref)	Ref.	1.0	n.v.t.	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	4.0	hfl/"m3"

BIJ LAGERE KOSTPRIJS PV:
Kostprijs daalt met 1000 hfl per m2 PV

TABEL 5

16			Alleen PV		PV/TH zonder WP		PV-thermisch met warmtepomp						
17			Ref.			Collector met geïsoleerde achterzijde				Geen isolatie achterzijde			
18	AFSCHRIJVING:	Berekening:		10 m2	5.2 m2	Tv=5/20	Tv=15/20	pWPx2	Tv=5/10	Tv=5/20	Tv=15/20	Tv=5/10	Eenheid
19	Investing:	invoer	11200	13620	8650	19800	19800	19800	19800	19650	19650	19650	hfl
20	Levensduur:	invoer	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	jaar
21	Rente:	invoer	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	-
22	AFSCHRIJVINGSKOSTEN	PMT(19,20,21)	1153	1402	891	2039	2039	2039	2039	2023	2023	2023	hfl/jaar
23													
24	OPBRENGST:												
25	Tapvraag besparing	invoer	0	2744	2260	3410	3226	3835	4487	3064	2798	4373	MJ/jaar
26	In m3 gas:	25/12/13	0	130	107	162	153	182	213	145	133	207	m3/jaar
27	In guldens:	26*11	0	53	44	66	63	74	87	60	54	85	hfl/jaar
28	Elektr. opbrengst PV	invoer	1029	1024	487	1023	1022	1021	1020	1037	1037	1036	kWh/jaar
29	E-verbr. Coll.pomp	invoer	0	32	54	25	24	24	20	23	21	12	kWh/jaar
30	E-verbr. warmtepomp	invoer	0	0	0	75	49	167	291	110	80	375	kWh/jaar
31	Netto elektr. opbrengst	28-29-30	1029	992	433	923	949	830	710	905	936	649	kWh/jaar
32	In "m3 gas primair":	31*3.6/10/13	319	308	134	286	294	257	220	280	290	201	"m3"/jaar
33	In guldens:	31*8	157	151	66	141	144	126	108	138	143	99	hfl/jaar
34	TOTAAL "m3 gas primair"	26+32	319	438	241	448	447	439	433	426	423	408	"m3"/jaar
35	TOTAAL besp. in guldens:	27+33	157	204	110	207	207	201	195	197	197	184	hfl/jaar
36													
37	Netto Kosten/"m3 primair"	22/34	3.6	3.2	3.7	4.6	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	5.0	hfl/"m3"
38	Meerkosten/extra "m3"	(22-ref)/(34-ref)	Ref.	2.1	n.v.t.	6.9	6.9	7.4	7.8	8.2	8.4	9.7	hfl/"m3"

BIJLAGE E TECHNISCHE INFORMATIE

Het type PV paneel dat wordt toegepast is afkomstig van ZTN solar systems BV.

E.1 Specificatie PV paneel

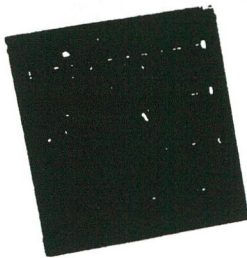
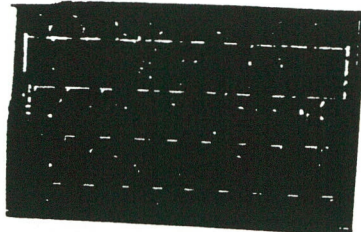
MSX - 10/12V			
Lengte	l	42.00	cm
Breedte	b	26.90	cm
Gewicht	G	1.50	kg
Typical peak power	P_p	10.00	W
Voltage at peak power	V_{pp}	17.50	V
Current at peak power	I_{pp}	0.57	A
Quaranteed min. output		9.00	W
Open-circuit voltage	V_{oc}	21.40	V
Short-circuit current	I_{sc}	0.60	A
Temp. coefficient of voltage		-72.00	mV/°C
Temp. coefficient of current		0.50	mA/°C
Temp. coefficient of power		-0.38	%/°C
Nominal operating cell temp		45.00	°C

E.2 Optische eigenschappen PV paneel

	dikte mm	warm- tegel. coeff. W/mK	Optische eigenschappen					
			kortgolvig			langgolvig		
			τ %	α %	ρ %	τ %	ρ %	ϵ %
low-iron glas	3.0	0.8	91	5	4		88	12
EVA	0.5	0.22	91	9			88	12
Silicium	0.25	260		97	3	60	36	4
glasvlies	0.29	0.25	97	3		25	68	7
Tedlar	0.125	0.12		90	10		10	90

Cursief: geschatte waarden

SOLAREX'S LOW-POWER MODULES



The solar modules MSX-10 and MSX-5

The low-power photovoltaic modules are designed to operate DC loads with small requirements. Typical applications include security sensors, electric fence chargers, portable power and small electrical jobs around the home or farm. These low-power modules are designed primarily for use in single-module systems, but may be interconnected to provide increased current or voltage as required.

These modules consist of 36 semicrystalline silicon solar cells electrically configured as two series strings of 18 cells each and are factory-wired to provide either 6 or 12 volt output. Output is via a rugged sealed junction box with a polyethylene jacketed output cable. The cable and junction box give reliable service in extremely harsh environments. As a cost-saving option a blocking diode - to prevent battery discharge under low-light conditions - is prewired to the output cable, allowing the module to be directly connected to a battery.

Proven materials and construction

- Semicrystalline silicon solar cells: efficient, attractive, reliable and stable.
- Modules are rugged and weatherproof; cell strings are laminated between sheets of ethylene vinyl acetate (EVA) and tempered glass with a durable Tedlar backsheet.
- Tempered glass superstrate ensures many years of trouble-free service: self-cleaning, highly transmissive, inert, impact-resistant.
- Corrosion-resistant, bronze-anodised extruded aluminium frame.
- The weatherproof, improved, versatile NEMA-4 rated junction box mounted at the back of the module is large enough for easy connection and manipulation of wiring and diodes.

Reliability and environmental specifications

The low-power modules are subjected to intense quality control during manufacture and rigorous testing before shipment. They meet or exceed ISPR / JPL Block V test criteria, including the following tests with no performance degradation:

- Repetitive cycling between -40°C and 90°C;
- Repetitive cycling between -40°C and 85°C at 85 % relative humidity;
- Wind loading exceeding 125 mph;
- Impact of one-inch hail at terminal velocity (52 mph).

Warranty

Each low-power module is covered by our five-year limited warranty, which guarantees:

- that no module will generate less than its guaranteed minimum power when purchased;
- continued power (at least 90 % of guaranteed minimum) for five years.

Typical characteristics of the low-power modules based on measurements made at Standard Test Conditions (STC).

Description of solar module	MSX-10/12V	MSX-5/12V
Article number	4.4.0.280	4.4.0.270
Dimensions	42.00 x 26.90 x 2.30 cm.	24.90 x 29.90 x 2.30 cm.
Weight	1.50 kg.	0.77 kg.
Typical peak power (Pp)	10.00W	4.50W
Voltage at peak power (Vpp)	17.50V	17.50V
Current at peak power (Ipp)	0.57A	0.26A
Guaranteed min. output	9.00W	4.00W
Open-circuit voltage (Voc)	21.40V	21.40V
Short-circuit current (Isc)	0.60A	0.28A
Temperature coefficient of voltage	-72.00 mV/°C	-72.00 mV/°C
Temperature coefficient of current	0.50 mA/°C	0.28 mA/°C
Temperature coefficient of power	-0.38 %/°C	-0.38 %/°C
Nominal operating cell temperature	45.00°C	45.00°C

E.3 Materiaalgegevens van de polypropreen absorber

Warmtegeleidingscoëff.	λ	0.22	W/mK
Soortelijke warmte	c	1.47	kJ/kgK
Elasticiteits-modulus	E	1000	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëff.	α	0.00017	1/K
Reflectie (kort golvig)	ρ	7	%
Absorptie (kort golvig)	α	93	%
Transmissie (kort golvig)	τ	0	%
Reflectie (lang golvig)	ρ	90	%
emissie	ϵ	10	%
Breedte collectorvin	b	5.8	mm
Dikte absorber	d	5.5	mm
Diameter absorberkanaal	D	4	mm

Robinsons

CI/SfB

54 (53.3) Xy

Technical Leaflet
November 1984

Suncell Oasis Solar Panels – Technical Specification

Applications

Suncell Oasis solar panels are intended for 'low temperature' solar heating applications. The panels are especially suitable for heating swimming pools. This technical leaflet refers mainly to pool heating but the panels may also be used in other solar applications where it is appropriate to pre-heat cold water to temperatures up to 15°C above the ambient temperature.

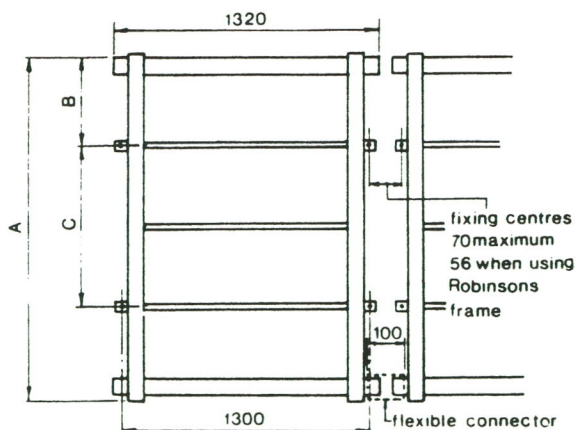
Specification

Suncell Oasis solar panels are flat plate solar collectors made from polypropylene. A cross section of the polypropylene collector plate is shown opposite. The diagram below shows the collector plate mounted in the standard aluminium frame.

The panels are made from a specially formulated grade of heat stabilised polypropylene. An extruded wafer section with a special profile has header pipes (manifolds) welded onto each end using a patented manufacturing process. A fluid can then be circulated through the wafer section via the header pipes. Heat from the sun's rays, absorbed by the matt black surface of the panel, can thus be transferred to the circulating fluid.

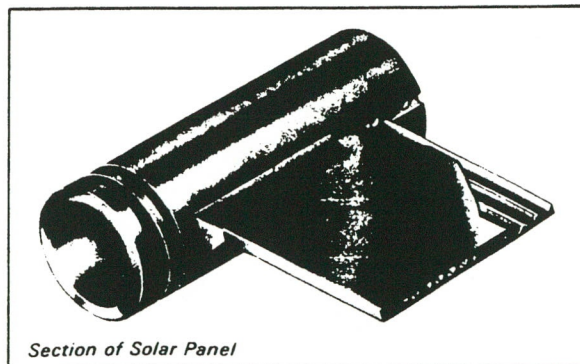
This grade of polypropylene is fully treated against ultra-violet (UV) degradation and is corrosion resistant. Swimming pool water, whether treated with chlorine or other pool chemicals, may be passed directly through the panels. This avoids the use of a heat exchanger. Sea water may also be used and there is no risk of scale deposits forming even in hard water areas, due to the low operating temperature of the panels.

The panels have been tested extensively in both laboratory and field trials. Each panel is pressure tested to 4 Bar (60 psi) and the maximum working pressure is 1.3 Bar (20 psi). The panels should be drained in winter, either manually or automatically, to provide protection against freezing.



Sizes and Weights

Suncell Oasis panels are manufactured in two standard sizes. The width of the panels is 1.2 m and two lengths are available, 2 m and 3 m. These panels are supplied mounted in an aluminium frame and are referred to as models O2 and O3.



Section of Solar Panel

Suncell Oasis-Matrix panels comprise polypropylene collector plates only, supplied without any aluminium frame. Two sizes are available, models OM2 and OM3.

Suncell Oasis solar panels are very light and although it is of great importance to secure them against wind lift, the additional dead load on a roof is minimal. The weights, nominal dimensions and collector areas are tabulated below.

Model	Weight		Nominal Dimensions	Collector area
	empty	full		
O2	11 kg (24lb)	22 kg (48lb)	1.2 m wide x 2 m long (4' wide x 6'6" long)	2.4 m ² (26ft ²)
OM2	7 kg (16lb)	17 kg (38lb)		
O3	15 kg (33lb)	29 kg (64lb)	1.2 m wide x 3 m long (4' wide x 10' long)	3.6 m ² (39ft ²)
OM3	9 kg (20lb)	23 kg (51lb)		

Dimensions

Dimensions are given in the table below. Note that the fixing centres between panels can vary slightly but it is important to maintain an expansion gap between the ends of adjacent header pipes. The panel illustrated in the diagram is the model O2. The model O3 has four sets of tie rods across the front of the panel in place of the three shown.

Model	A	B	C
O2	2095	540	1000
O3	3095	640	1800

The header pipes are 1½" nominal bore with an I.D. of 38 mm and an O.D. of 48 mm. Robinsons standard flexible connectors slip over the outside of the header pipes to join adjacent panels. They also fit over 1½" uPVC or ABS swimming pool pipework for the connections at each end of a bank of panels.

As a quick guide to the overall length of a bank of panels, allow 1.4 m (4'6") per panel and an extra 0.3 m (1') at each end for pipework connections.

Robinsons

Technical Specification

Operating Conditions

Required Panel Area

For swimming pool heating the following panel areas are recommended. These are appropriate for outdoor pools and will maintain the pool temperature at 3–6°C (5–10°F) above the unheated equilibrium temperature during the months May to September (N. Europe). Advice on the correct panel area for indoor pools may be obtained from our Technical Department. Note that a translucent pool blanket floating on the water will further enhance the pool temperature.

Pool situated in a normally sheltered location:
Panel area to equal 50% of pool surface area.

Pool situated in a particularly exposed location:
Panel area equal to 80% of pool surface area.

Mounting the Panels

The panels should be mounted in a completely unshaded location facing South (N. Hemisphere). Orientations up to 20° E of South and 40° W of South are acceptable. The panels should be inclined at an angle to the horizontal of between 15°–45°. The minimum slope is 15° to ensure that the panels can be drained.

The panels should be fixed securely, at ground level, on a bank, on a suitable roof or on a purpose designed structure. For installations on level ground and flat roofs Robinsons offer a range of prefabricated support frames in kit form.

Flow through the Panels

Swimming pool solar panels work on the basis of a high flow rate with a low temperature rise. Therefore it is important to maintain an adequate flow rate through the panels. The minimum flow rate is 2 gpm per panel (0.15 l/s). The preferred flow rate is 2–4 gpm (0.15–0.3 l/s).

At these flow rates the pressure drop across a panel is virtually nil but the resistance of the pipework connecting the solar panels to the filtration pump should be taken into account. In most cases the existing filtration pump will cope with the very small extra resistance with little decrease in the filtration rate.

No more than 8 panels should be mounted in one bank. If more than one bank of panels is installed it is important to ensure that an equal flow of water passes through each bank. This is best achieved by using a 'reverse return' pipework arrangement or by installing regulating valves to each bank. (For a more detailed consideration of these and other technical points, consult Robinsons Design and Installation Manual.)

Additional Components

The panels are joined together (and also to the flow and return pipework) using Flexible Connectors. Two Connectors are required per panel plus an extra two per bank of panels. Two Cap Ends are required to blank off the spare top and bottom connections of each bank of panels.

The solar panels are usually connected into the existing pool filtration circuit and control is achieved using a Suncell 3-way Motorised Valve. In certain cases it may be more convenient to use a separate pump. In either case the panels are connected using standard plastic swimming pool pipework which does not usually need to be insulated.

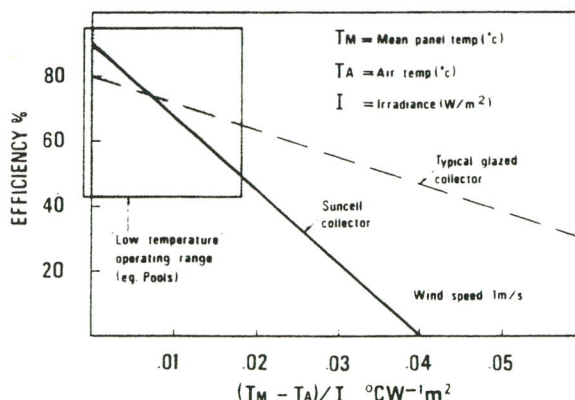
The motorised valve or separate pump should be activated by an automatic control system which will only allow water to pass through the panels when there will be a net heat gain. Two options are available. For small pools the most cost effective unit is the Suncell Controller (Type Z). For medium to large pools the extra cost of the Robinsons Differential Temperature Controller (DTC) is justified.

Durability and Maintenance

Polypropylene is a tough plastic and the panels should have a life in excess of ten years. The panels require little maintenance but should be washed occasionally to keep the surface clean. The panels should be drained before the onset of freezing conditions at the end of the season (unless an automatic self-drain system is installed). Please refer to Owners Documentation supplied with the panels for full instructions.

5 Year Guarantee

The Manufacturer undertakes to replace any Suncell polypropylene solar collector which may become defective within five years from delivery to the consumer due to faulty materials or defective workmanship on the part of the Manufacturer. This guarantee is offered subject to the conditions shown on the Guarantee Form supplied with the goods. In order to accept the Guarantee, the consumer must complete the Registration Card attached to the Guarantee Form and send it to the address shown thereon.



Performance Curve

The graph above shows the performance curve of the Suncell Oasis solar panel presented in the standard NBS format. The Suncell solar panel is installed without front glazing and usually without rear insulation. For reference the performance curve of a typical non-selective single glazed solar panel is also shown. It can be seen that in the 'low temperature' operating range typical of swimming pools, the efficiency of the Suncell panel is generally equal to that of the considerably more expensive glazed panel.

The mean operating efficiency of the Suncell panel when used to heat an otherwise unheated open air pool during the months April to September may be taken as 60%. Thus if the available solar radiation during this period amounts to 800 kWh/m², the panels will collect 480 kWh/m² and this heat is transferred to the pool water.

Obtainable from:



POOLTECHNICS BV

Schouwweg 30a Tel. 31-4160-31549
 NL-5145 PE Vrijheid Fax 31-4160-37298

77149

Our policy of continuous product development, we reserve the right to alter any specifications without prior notice.