

**TNO-rapport
034-DTM-2009-02558B**

**Bepaling collectorformule en
opbrengstberekeningen van een dakcollector**

Bouw
Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 15 276 30 00
F +31 15 276 30 10
info-BenO@tno.nl

Datum 18 juni 2009
Auteur(s) ing. H.P. Oversloot
Opdrachtgever Bureau Boos
De heer J. Putman
Projectnummer 034.21126

Rubricering rapport
Titel
Samenvatting
Rapporttekst
Bijlagen

Aantal pagina's 26 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke 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 onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

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

Samenvatting

De firma bureau Boos heeft als variant voor energiedaken een concept op basis van componenten voor afgedekte zonnecollectoren in combinatie met dakbedekking. De gekozen dakbedekking is een 1.6 mm dikke EPDM rubber van Phoenix resistit ESK. De lamellen worden ingebed in een Pir schuim. De geteste lamelbreedte bedraagt 12 cm en er worden maximaal 6 lamellen per meter toegepast. Van dit testdak is door meting de collectorformule bepaald, zodat berekeningen van de opbrengst mogelijk worden. Daarnaast zijn zowel opbrengstberekeningen gedaan voor verschillende toepassingen en is gekeken naar invloeden bij wijziging van sommige parameters voor de lamellen zoals de keuze van aluminium v.s. koper.

De collector blijkt goed te functioneren in vergelijking met andere energiedaksystemen. Dit wordt bereikt door de goede warmteoverdracht van de gebruikte lamellen. Het rapport geeft inzicht in de vinfactor van de lamellen, daarmee kan een optimalisatie slag gemaakt worden tussen kosten en aantal lamellen per meter.

Op basis van de gemeten collectorcurve zijn de te verwachten jaaropbrengsten berekend bij toepassing in systeem met warmtepomp en grondopslag. Voor een ingaande temperatuur van circa 10 °C geeft dit een verwachte jaaropbrengst van circa 3 GJ/m². Voor gebruik in kleine huishoudelijke systemen wordt voor een systeem met 6m² collector en 120 l vat een opbrengst van 2 GJ berekend voor een horizontaal dak en 2.5 GJ voor een dak onder 45 °. Afhankelijk van de efficiency van de gebruikte pompregeling kan dit echter iets lager uitvallen.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Bepaling collectoropbrengst volgens EN 12975	5
2.1	Het collector model volgens EN 12975-2	5
2.2	De Quasi-Dynamische Testmethode	7
2.3	De collector testloop.....	7
3	Resultaten.....	9
3.1	Resultaten QDT test	9
3.2	Rekenstudie	12
4	Ondertekening	19

Bijlage(n)

1 Inleiding

De firma bureau Boos heeft als variant voor energiedaken een concept bedacht op basis van componenten voor afgedekte zonnecollectoren in combinatie met dakbedekking. De gekozen dakbedekking is een 1.6 mm dikke EPDM rubber van Phoenix resitit ESK. De lamellen worden ingebed in een Pir schuim. De geteste lamelbreedte bedraagt 12 cm en er worden maximaal 6 lamellen per meter toegepast.



Figuur 1: De dakcollector

Van de dakcollector is door meting de collectorformule bepaald, zodat berekeningen van de opbrengst mogelijk worden. Daarnaast zijn zowel opbrengstberekeningen gedaan voor verschillende toepassingen en is gekeken naar invloeden bij wijziging van sommige parameters voor de lamellen zoals de keuze van aluminium v.s. koper.

Deze collectormetingen zijn uitgevoerd aan de hand van de Europese norm EN 12975-2, waarbij de opbrengst is bepaald volgens de Quasi-Dynamische Test methode. Deze metingen werden uitgevoerd onder buitenomstandigheden aan een dak van bruto 12 m². Met de QDT methode kunnen de collectoreigenschappen bepaald worden afhankelijk van hoek van inval van de straling, rekening houdend met de direct/diffuus verdeling, windsnelheid, uitstraling en thermische massa. Het betreft hier specifieke niet afgedekte collectoren die zowel als warmtewisselaar werken als zonnecollector.

Het project is uitgevoerd mede in het kader van de voucherregeling van SenterNovem.

2 Bepaling collectoropbrengst volgens EN 12975

Deze Europese norm maakt deel uit van een pakket van een drietal normen betreffende kwaliteitstesten en opbrengstmetingen van collectoren en zonne-energie systemen. De norm EN 12975 voor zonnecollectoren bestaat op zich weer uit een drietal onderdelen, deel twee bevat de technische omschrijving van de proeven. Deze norm wordt eveneens gehanteerd voor complete keuringen van zonne-energiesystemen voor bijvoorbeeld het Solar Keymark of Zonnekeur. De norm omschrijft namelijk ook de beproevingen voor mechanische eigenschappen, zoals bevestiging, regendichtheid en bestandheid tegen thermische schokken.

De bepaling van de opbrengst van collectoren door het vaststellen van de zogenaamde collectorformule wordt beschreven in hoofdstuk 6 van de norm. De norm omvat 3 methoden:

1. Binnentest met zonnesimulator;
2. Statische buitentest;
3. Quasi-dynamische buitentest.

De eerste methode is de gebruikelijke methode met een kunstzon en identiek aan de in ISO 9806 beschreven methode.

De tweede methode beschrijft een bepaling buiten onder statische omstandigheden dan wel met behulp van een zonnevolginstallatie. Deze methode stelt zeer hoge eisen aan de toegestane variaties in de straling van de zon en aan de hoeveelheid diffuse straling. Deze methode is niet praktisch toepasbaar onder Nederlandse omstandigheden. Zonder een zonnevolginstallatie bestaat er hooguit slechts 1 uur per dag waarin gemeten kan worden en dat alleen bij dagen met uitzonderlijk mooi weer.

De derde meest interessante methode betreft echter de zogenaamde Quasi-Dynamisch Testmethode (QDT). Deze methode is gebaseerd op een uitgebreider collectormodel, waarmee het mogelijk is zowel afgedekte als niet-afgedekte collectoren te beschrijven. De meting vergt wel een langere meettijd, waarbij de klimaatomstandigheden dienen te fluctueren, dit laatste is een typerende situatie in Nederland. De collectorformule wordt bepaald door een analyse op de meetdata waarbij de coëfficiënten worden gefit met een aantal statistische methoden.

2.1 Het collector model volgens EN 12975-2

De QDT methode is gebaseerd op een uitgebreid collectormodel met meer coëfficiënten. De toegevoegde coëfficiënten maken het ook mogelijk niet-afgedekte collectoren te beschrijven met hetzelfde model. In totaal zijn er maar liefst 9 coëfficiënten beschikbaar voor het beschrijven van de collector tegen slechts 3 uit het collectormodel voor statische beproeving onder de kunstzon. Het volledige model ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_I / A = & F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta b}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta d} G_d - c_6 u G^* - c_1 (tm-ta) - c_2 (tm-ta)^2 - \\ & - c_3 u (tm-ta) + c_4 (EL-\sigma Ta^4) - c_5 dtm/dt \end{aligned}$$

$$K_{\theta b}(\theta) = 1 - b_0((1/\cos \theta)^i - 1)$$

Verklaring termen:

\dot{Q} / A	=	Nuttige opbrengst van de collector per m ²
$F'(\tau\alpha)_{en}$	=	Product van collector efficiency factor, transmissie en absorptie voor loodrecht invallende zonnestraling.
$K_{\theta b}(\theta)$	=	Coëfficiënt voor hoekafhankelijkheid bundel straling
$K_{\theta d}$	=	Coëfficiënt voor afhankelijkheid diffuse straling
G_b	=	Bundel straling op het collectorvlak in W/m ²
G_d	=	Diffuse straling op het collectorvlak in W/m ²
G^*	=	Totaal aan straling op het collectorvlak in W/m ²
T_m	=	Gemiddelde vloeistof temperatuur over de collector °C
T_a	=	Buitentemperatuur °C
E_l	=	Langgolvlige uitstraling W/m ²
U	=	Windsnelheid m/s
dtm/dt	=	Tijdsafhankelijke afgeleide van de vloeistof temperatuur
σ	=	Constante van Stefan-Boltzmann W/m ² /K ⁴

Dit model beschrijft de hoekafhankelijkheid met de functie $K_{\theta b}(\theta)$ en $K_{\theta d}$. De coëfficiënten C_3 - C_6 zijn nieuw toegevoegd ten opzichte van de oudere ISO normen. Door deling links en rechts met de totale stralingshoeveelheid G^* op het collectorvlak en weglating van de toevoegingen C_4 en C_6 ontstaat de tot dusver gebruikelijke beschrijving met T^* met $T^* = (t_m - t_a) / G^*$. Hierbij is t_m de gemiddelde vloeistof temperatuur en t_a de omgevingstemperatuur.

$$G^* = G_b + G_d$$

$$\eta = \dot{Q} / (A \cdot G^*)$$

$$T^* = (t_m - t_a) / G^*$$

$$\eta = F'(\tau\alpha) - c_1 \cdot T^* - c_2 \cdot T^{*2} \cdot G^* - c_3 \cdot u \cdot T^* - c_5 \cdot dtm/dt / G^*$$

Van de toegevoegde coëfficiënten geeft C_3 de temperatuursafhankelijke windinvloed en C_6 de windinvloed op het zogenaamde etanulpunt. De coëfficiënt C_4 geeft de invloed van de infrarood straling en C_5 de invloed van de warmtecapaciteit op de collector. De windinvloeden en infra-roodstraling laten toe niet-afgedekte collectoren te beschrijven. De coëfficiënt C_5 is nodig om de dynamische effecten van de buitenmeting te kunnen verwerken, waardoor veranderingen in stralingsniveau worden meegenomen. In de praktijk zullen niet al deze coëfficiënten van toepassing zijn omdat sommige effecten geen rol spelen of worden gedekt door gelijkaardige verandering in het samenspel van meerdere andere coëfficiënten. De norm bevat derhalve aanwijzingen hoe te handelen bij niet significante effecten.

De stralingsafhankelijkheid wordt in feite dus gesplitst in een hoekafhankelijk deel voor bundel straling G_b en een constant deel voor diffuse straling G_d en in twee separate termen toegevoegd aan de $F'(\tau\alpha)$. De in de norm gehanteerde coëfficiënt $K_{\theta b}(\theta)$ is gebaseerd op de Ashrae formule. Dit is een ongelukkige keuze want deze beschrijving van de hoekafhankelijkheid vertoont een singulariteit en geeft negatieve uitkomsten bij grote hoeken van inval. Voor speciale collectoren laat de norm toe de hoekafhankelijkheid te beschrijven in meerdere vlakken met afzonderlijke coëfficiënten.

2.2 De Quasi-Dynamische Testmethode

De methode is gebaseerd op het verrichten van een buitenmeting aan de collector opgenomen in een testcircuit. Hierbij worden tal van voorwaarden gesteld aan zowel het testcircuit als de meetcondities.

De meting beslaat meerdere dagen en deze hoeven niet opeenvolgend te zijn. De volgorde van meten kan naar eigen believen worden aangehouden. De te selecteren medium temperatuur houdt wel verband met de klimaatomstandigheden. Er hoeft slechts 1 temperatuur per meetdag te worden ingesteld. Er zijn in minimaal 4-5 dagen nodig. Het minimum stralingsniveau voor verwerking is 300 W/m².

Er worden voor afgedekte collectoren vier temperatuur niveaus voorgeschreven ten opzichte van de omgevingstemperatuur. De maximum temperatuur is afhankelijk van de toepassing van de collector. Voor collectoren voor warm water productie bedraagt deze maximum temperatuur $t_a+60^{\circ}\text{C}$ en voor niet-afgedekte zwembad collectoren geldt $t_a+15^{\circ}\text{C}$.

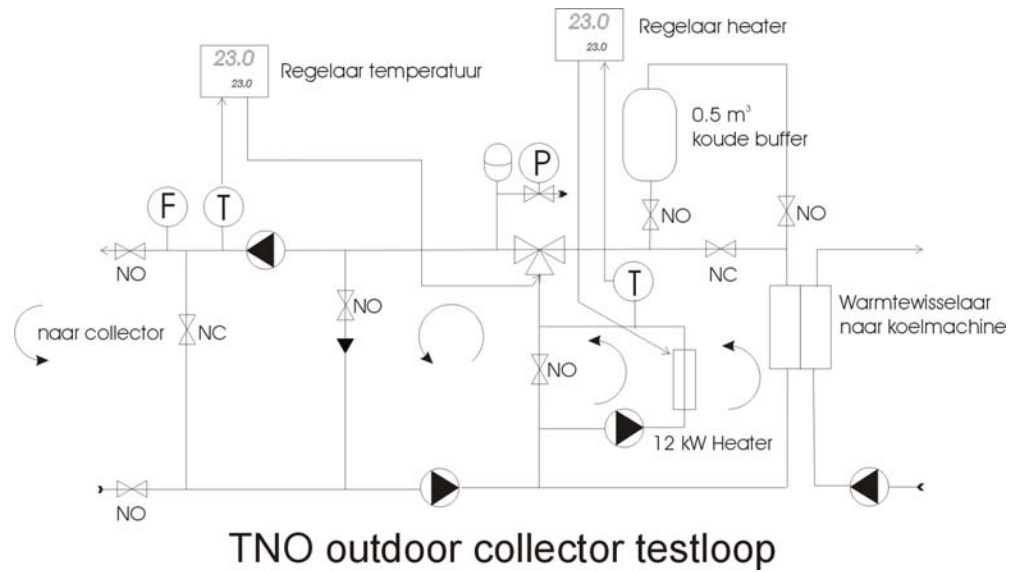
Voor het vaststellen van de warmtecapaciteit en de veranderlijke verhouding tussen diffuus licht en bundelstraling voor de hoekafhankelijkheid dienen bewolkte dagen aanwezig te zijn in de meetperiode. Een aangesloten periode met uitsluitende heldere hemel is dus niet bruikbaar. De metingen dienen zowel meetpunten met veel wind (>4 m/s) als met weinig wind te bevatten. Als gedurende de metingen het minimum van 2 m/s niet gehaald wordt mag extra wind worden gegenereerd met ventilatoren.

TNO heeft de metingen uitgevoerd met het gebruikelijke Mupdas meetprotocol. Hierbij is een sampletijd van 1 seconde aangehouden en een opslaginterval van 1 minuut. Bij de verwerking van de data zijn perioden van 5 minuten gebruikt. Voor de doorstroming is gebruik gemaakt van de nieuw gebouwde testloop voor collectoren.

2.3 De collector testloop

Voor het testen van de collectoren heeft TNO een testloop geschikt voor temperaturen tussen 4 - 100 °C bij maximaal 3 Bar testdruk. Aangezien voor het testen rond het etanulpunt de gehele invang van de collector moet worden weg gekoeld is een grote koelcapaciteit nodig, de huidige opstelling kan collectoren tot circa 15 m² oppervlakte aan.

Het schema van de gebruikte testloop ziet er als volgt uit:



Figuur 2. Schema testloop

In deze testloop zijn zowel het benodigde debiet als de gewenste aanvoertemperatuur naar de collectoren afzonderlijk in te stellen. De temperatuur wordt geregeld met behulp van de heater en een driewegklep. De klep regelt het wegkoelen van de warmte uit de collector, de verwarming de eventueel benodigde bijstook. Daarnaast is gebruik gemaakt van een kleine buffer tussen collector en testloop. Dit blijkt de stabiliteit bij snelle wisselingen van het buitenklimaat ten goede te komen. Het debiet over de heater en de koeler bedraagt circa 0,4 kg/s. De koelcapaciteit van de testloop is uitgelegd op 12 kW.

3 Resultaten

3.1 Resultaten QDT test

De resultaten van de QDT test zijn samengevat in tabel 1. Ter oriëntatie plaatsen we hier nogmaals de collector formule:

$$\begin{aligned} \dot{Q} / A = & F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta b}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{en} K_{gd} G_d - c_6 u G^* - c_1 (tm-ta) - c_2 (tm-ta)^2 - \\ & - c_3 u (tm-ta) + c_4 (EL-\sigma Ta^4) - c_5 dtm/dt \end{aligned}$$

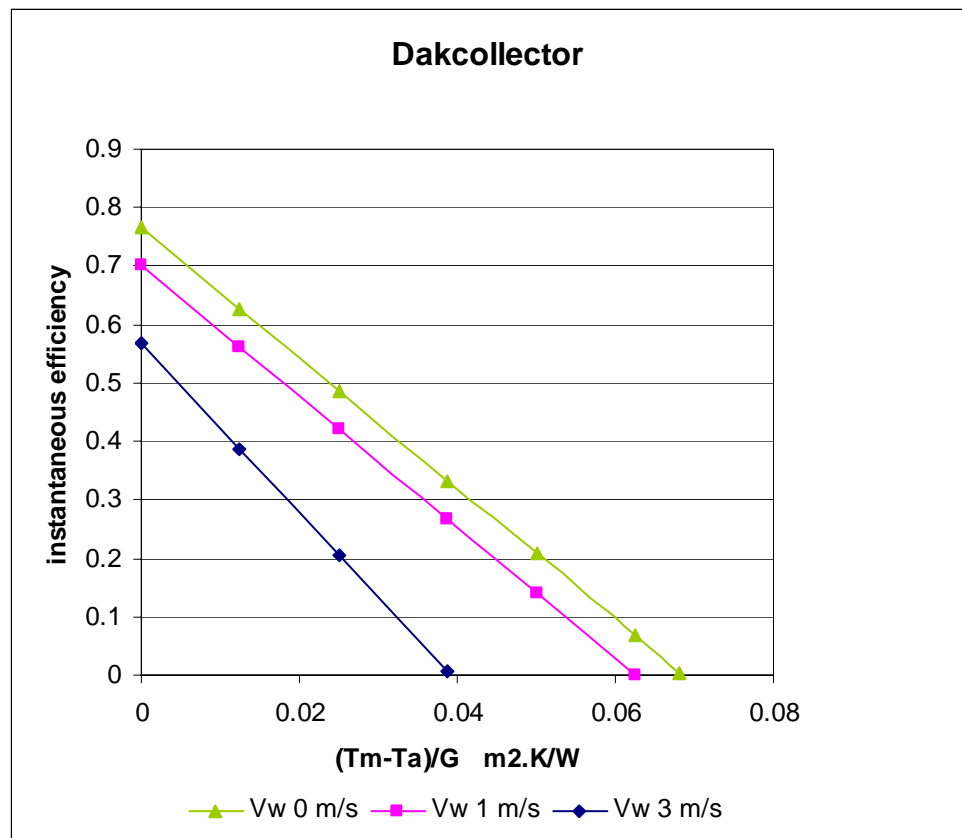
$$K_{\theta b}(\theta) = 1 - b_0((1/\cos \theta_i) - 1)$$

Tabel 1. Samenvatting resultaten QDT test Dakcollector

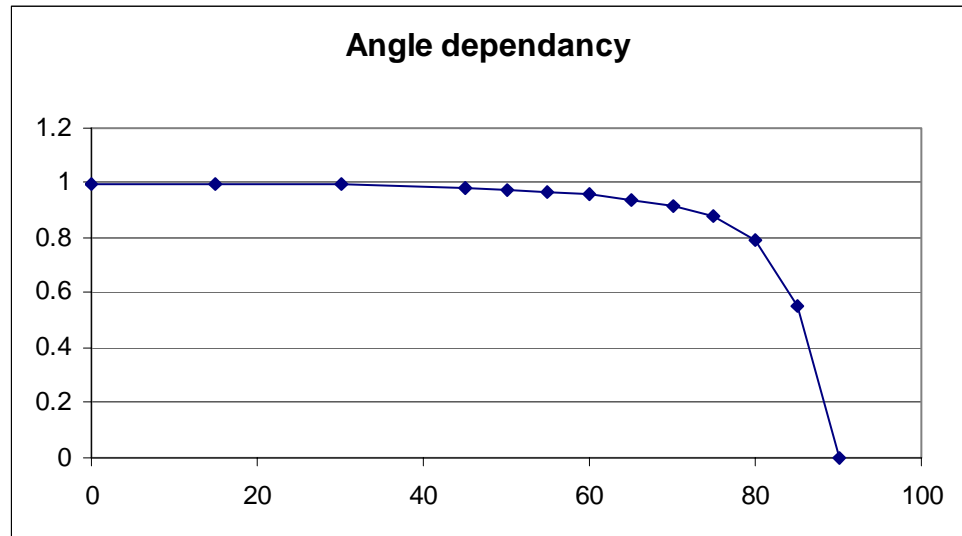
Coëfficiënt	zwart	
B0	0.0428	-
F'(τα)	0.7720	-
Kd	0.9647	-
C1	-11.19	W/m ² K
C2	0	W/m ² K ²
C5	-19715	J/m ² K
C3	-3.254	J/m ³ K
C4	-0.6923	W/m ²
C6	-0.0666	s/m

De regressiecoëfficiënt van het QDT model op de meetdata is met 0,998 zonder meer uitstekend te noemen. De dataset bevat circa 380 meetpunten. De meetdata betreft een periode in mei 2009. De tweede orde parameter bleek niet significant en is op 0 gezet. De F'(τα) is behoorlijk hoog maar zoals verder blijkt uit de dataset is de collector gevoelig voor wind, niet alleen C3 maar ook coëfficiënt C6 blijkt significant.

Figuur 1 geeft de collectorcurve weer volgens het voorgeschreven protocol voor de standaardcondities van 800 W/m², 20 °C omgevingtemperatuur en 3 m/s windsnelheid. Daarnaast is de curve weergegeven voor lagere windsnelheden van 1 en 0 m/s. De stagnatietemperatuur bij 3 m/s ligt bij circa 55 °C, bij de lagere windsnelheden loopt deze op naar 70 en 75 °C. De hoekafhankelijkheid is weergegeven in figuur 5, deze is berekend met de coëfficiënt uit tabel 1.

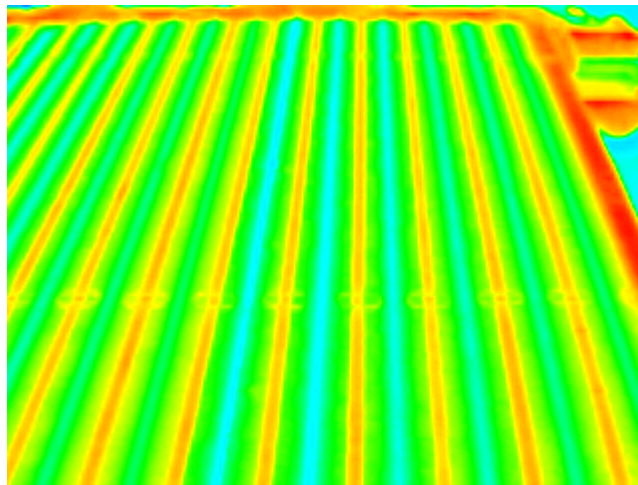


Figuur 3. Weergave van de collectorcurve van de Boos collector volgens het voorgeschreven protocol met klimaatparameters 800 W/m^2 (85% bundelstraling instralinghoek 15° , 15% diffuus), $T_{\text{ambient}} 20^\circ\text{C}$ en 3m/s windsnelheid

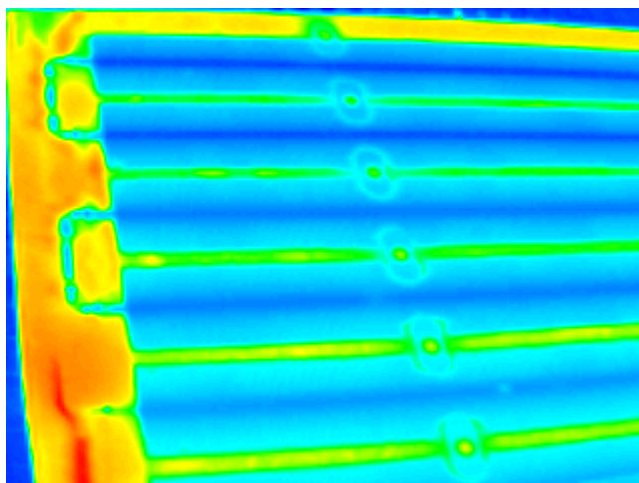


Figuur 4. Weergave van de hoekafhankelijkheid van de collector voor zinstraling

De bijgevoegde appendix geeft afzonderlijk inzicht in de resultaten. Hierin is ook een overzicht opgenomen van de meetdata zoals de norm voorschrijft. Tijdens de meting is de werking gecontroleerd met behulp van een IR camera.



Figuur 5: Infrarood opname. Duidelijk zijn de lamellen te zien tussen de hete dakafdekking. De iets koelere buizen zijn blauw.



Figuur 6: header sectie, hier is Pur schuim gebruikt. De isolatie is hier nog voor verbetering vatbaar.

3.2 Rekenstudie

3.2.1 Gebruik met grondopslag

Voor de bovenstaande collector is een kleine rekenstudie uitgevoerd. Enerzijds om te kijken naar de invloed van bepaalde parameters in de lamelkeuze, anderzijds is de gemeten collectorcurve gebruikt om de opbrengst te berekenen voor een aantal standaard toepassingen. Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van het TNO rekenmodel voor grote zonneboilers. Dit programma is een verdere ontwikkeling van het VA115 zonneboilerprogramma.

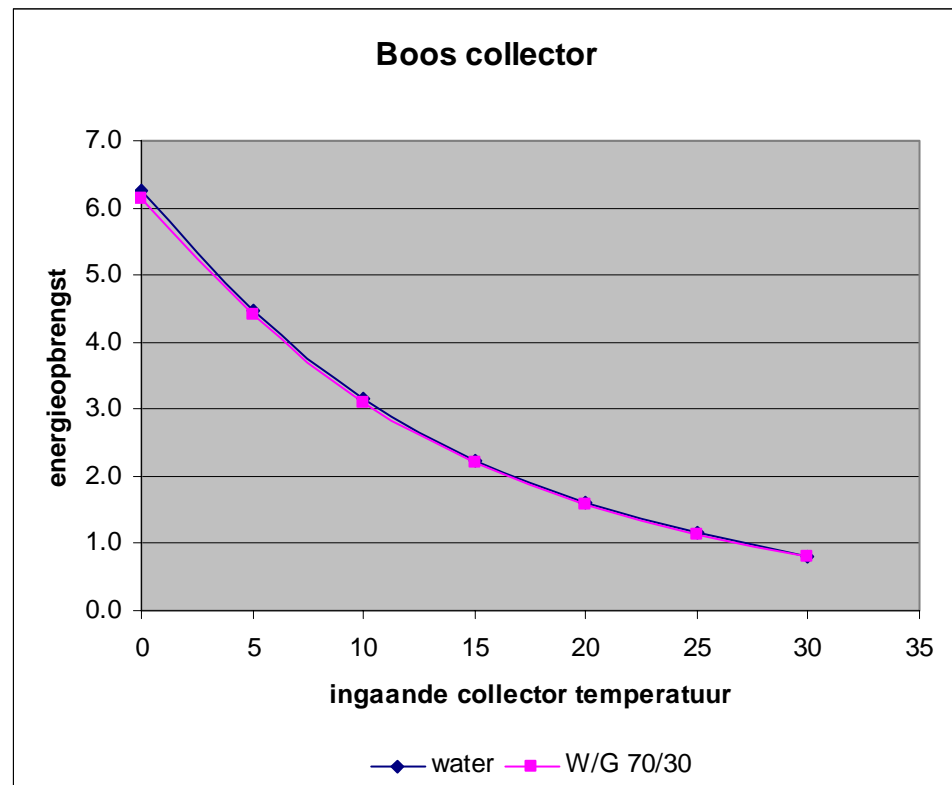
Grote zonne-energie systemen maken meestal gebruik van een warmtepomp in combinatie met een grondopslag voor de opslag van zonne-energie in de zomer, die 's winters benut wordt voor verwarming. Tevens kan in de zomer koeling worden geleverd. Bij deze systemen varieert de temperatuur slechts langzaam over het jaar. Voor deze soort van toepassing is de energieopbrengst berekend van het energiedak bij een constante invoertemperatuur naar het dak. Deze temperatuur is gevarieerd tussen 0 en 30°C zodat een indicatie ontstaat van de jaaropbrengst van een dergelijk systeem.

De energieopbrengsten zijn per maand getabelleerd. Daarnaast is bekeken wat de invloed is van een water/glycol mengsel met 70% water en 30% polypropyleenglycol omdat het systeem niet inherent veilig is. Het systeem mag niet bevriezen omdat dan schade zal optreden aan het koperen leiding systeem. Derhalve zal dus in de praktijk gewerkt dienen te worden met een water/glycol mengsel voor de vorstbeveiliging.

Water/glycol systemen kennen een iets lagere opbrengst als gevolg van de lagere warmtecapaciteit en stromingseigenschappen. Het verschil bedraagt enkele procenten.

		temperatuur	0	5	10	15	20	25	30
maand	zon		6.1	4.4	3.1	2.2	1.6	1.1	0.8
1		64.7	35.4	4.1	0.3	0.0	0.0	0.0	35.4
2		111.3	79.3	40.3	21.0	9.5	3.3	0.5	79.3
3		259.8	229.3	149.2	99.7	65.2	39.8	22.7	229.3
4		374.2	352.7	248.2	179.2	129.1	91.5	63.3	352.7
5		514.7	582.3	428.6	316.3	235.6	173.2	123.1	582.3
6		570.3	727.5	564.5	429.9	330.0	248.1	180.8	727.5
7		516.9	737.4	575.7	424.2	318.6	238.2	174.6	737.4
8		495.7	700.6	540.6	400.2	307.4	234.1	173.6	700.6
9		294.4	476.3	330.2	214.1	144.5	91.6	52.9	476.3
10		172.6	323.1	183.7	98.6	52.0	25.7	10.2	323.1
11		77.3	112.0	30.4	6.0	1.0	0.2	0.0	112.0
12		50.3	45.0	3.8	0.2	0.0	0.0	0.0	45.0

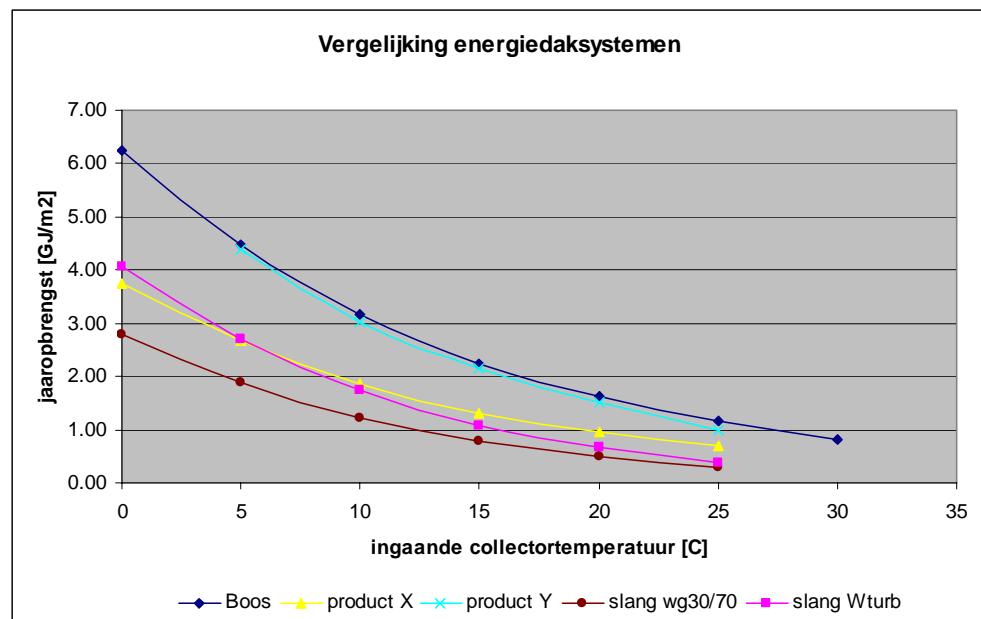
Tabel 2: jaar en maand opbrengst voor een met water/glycol 70/30 gevuld systeem



Figuur 7: jaaropbrengst voor water en water/glycol systeem als functie van de ingande temperatuur.

3.2.2 Vergelijking energiedaksystemen

Het gemeten systeem presteert goed in vergelijking met andere systemen die op de markt zijn.



Figuur 8: vergelijking verschillende systemen voor energiedaken

De systemen met slechts een geringe toplaagdikte voor dakbedekking en daaronder een goede warmtewisseling presteren duidelijk beter dan systemen met kunststofslangen en kunststofflamellen. Het slangensysteem is berekend voor zowel water/glycol als een turbulente stroming met water. Dit maakt bij temperaturen van 20-25 C slechts een klein verschil. De isolerende werking van kunststoffen is debet aan de lage efficiency van sommige collectoruitvoeringen.

3.2.3 Kleine huishoudelijke zonneboilertoepassing

In Nederland geldt momenteel een subsidiesysteem voor kleine huishoudelijke zonneboilertoepassingen. Deze subsidie wordt verleend op basis van een zogenaamde DST test voor kleine zonneboilersystemen. Deze test is bedoeld voor industrieel geproduceerde zonneboilers die geleverd worden als een vaste combinatie van opslag en collector. De test is beschreven in NPR 7976. Deze test is een onderdeel van het Zonnekeur of Solar Keymark systeem van kwaliteitsverklaringen.

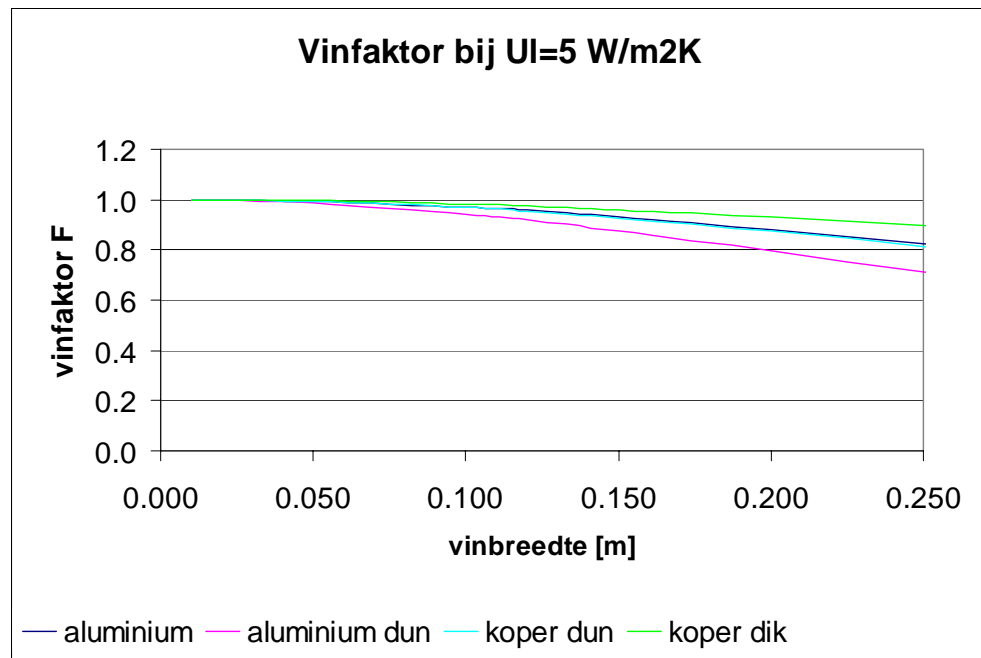
mnd	horizontaal dak				45 graden zuid			
	Qzon MJ	Qprim MJ	Qtap MJ	looptijd uur	Qzon MJ	Qprim MJ	Qtap MJ	looptijd uur
1	388	1	10	1	641	42	44	26
2	668	31	35	32	950	82	79	46
3	1559	137	131	103	2032	224	210	103
4	2245	216	202	126	2601	283	263	124
5	3088	321	300	183	3103	349	327	169
6	3422	380	339	209	3265	392	350	193
7	3102	387	352	219	3012	397	361	200
8	2974	392	364	205	3323	457	423	189
9	1766	239	222	178	2169	308	282	170
10	1035	126	126	107	1504	216	203	110
11	464	10	23	16	795	72	82	49
12	302	0	13	1	533	33	42	25
jaar	21013	2241	2117	1379	23925	2856	2666	1403

Tabel 3: Berekende opbrengst in combinatie met een 120 l boiler voor een horizontaal dak als mede voor een dak onder 45 graden.

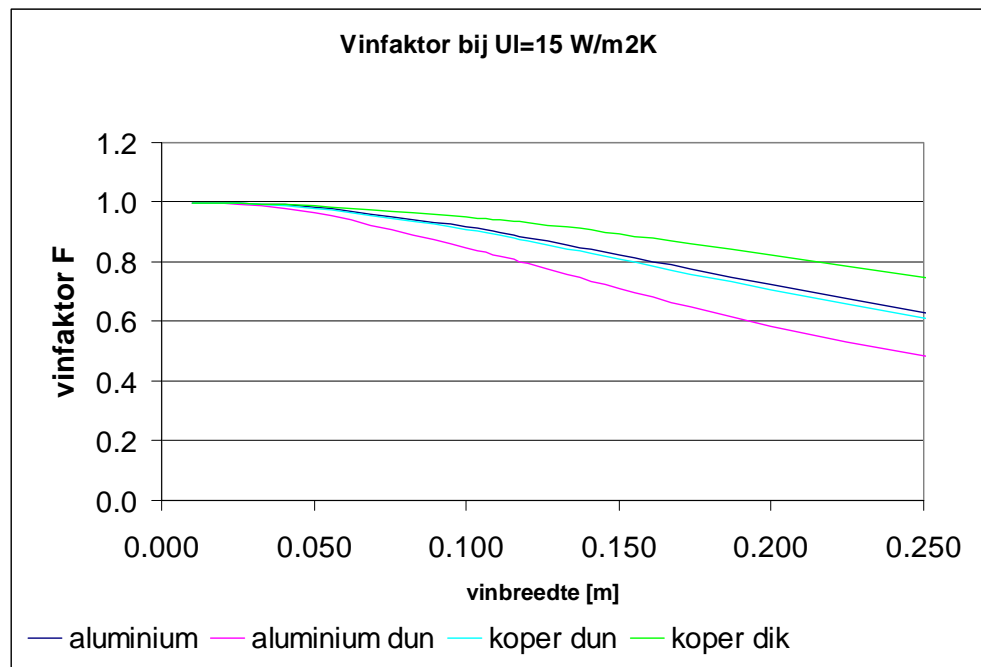
De te verwachten energie opbrengst aan tapwater ligt rond de 2,1 GJ voor toepassing op een horizontaal dak en rond de 2,65 GJ voor een hellend dak onder 45°. Hierop dient nog wel een correctie te worden gemaakt voor de aftrek van pompenergie. Deze wordt normaliter gemeten. Correcties liggen normaliter tussen maximaal 0,3 GJ en 0,1 GJ, dit laatst is mogelijk indien een intelligente energiebesparende pompregeling wordt toegepast.

3.2.4 *Materiaal keuze van de lamellen*

Voor het bekijken van de invloed van de lamelkeuze is een berekening gedaan van de vinfactor en efficiency van het lamellen systeem. De gekozen lamel is 120 mm breed en is voorzien van een buis van 10 mm binnendiameter. Het lamelmateriaal is 0,5 mm dik aluminium. In de berekening is bekeken wat de invloed is van de dikte en het materiaal van de lamel, koper of aluminium. De werking van de lamel is afhankelijk van de klimaatomstandigheden. De vinfactor beschrijft het temperatuurverschil tussen de buis en de lamel. Aangezien echter de lamel ook warmte afstaat aan de omgeving door convection en straling is deze afhankelijk van de omgeving. Naarmate de lamel breder wordt daalt de efficiency, daar staat dan echter een besparing tegenover van minder lamellen per meter. De collectorefficiency neemt het gehele proces onder de loep waarin ook de warmteoverdracht aan de binnenzijde van de buis en de mediemeigenschappen worden betrokken.



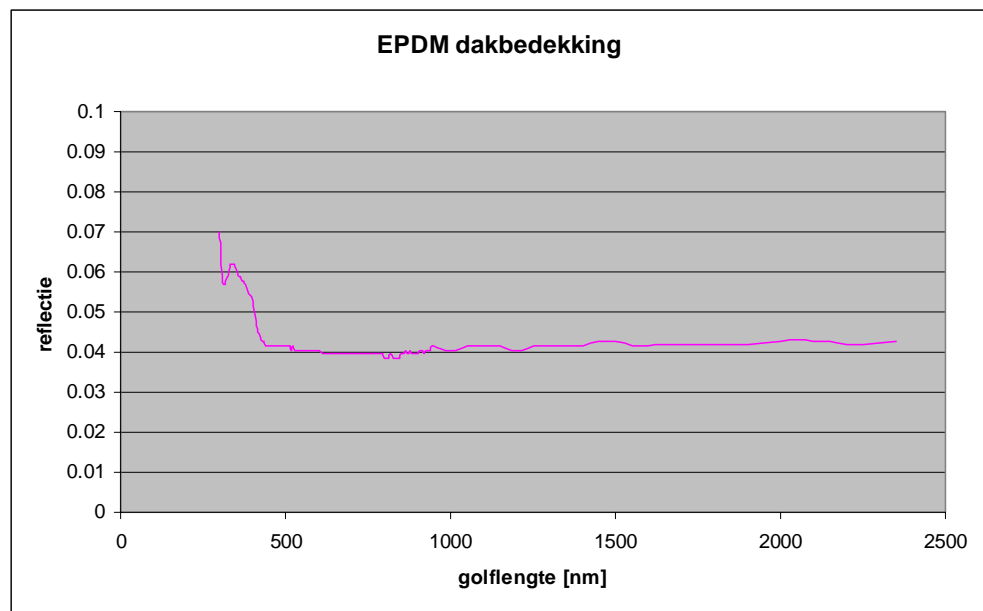
figuur 9: invloed van de materiaal keuze en de breedte van de lamel, vinfactor bij een Uverlies van 5W/m2K



Figuur 10: invloed van de materiaal keuze en de breedte van de lamel, vinfactor bij een Uverlies van 15W/m2K

De resultaten van de berekeningen zijn uitgezet in de figuren 9 en 10. Als materiaalkeuze is genomen dat de lijn voor 'aluminium' de gebruikte lamel is van 0,5 mm dikte. Bij de lijn 'dun' is de dikte gehalveerd. Daarnaast is bekeken wat een geheel koperen lamel zou doen. Uit de figuren blijkt dat ten gevolge van de hogere warmtegeleiding van koper de een lamel van 0,25 mm net zo goed presteert als de huidige van 0,5 mm aluminium. Een 0.5 mm dikke lamel van koper presteert dan beter. Gezien de gemeten verliescoëfficiënt C1 van -11 W/m²K en C3 van -3 J/m³K zal de UI meestentijds minimaal 15 W/m²K zijn of groter. Dit betekent dat bij een UI van 15 W/m²K en een vinbreedte van 12 cm de vinfactor rond de 0,88 ligt. Zou de vin 2 x zo breed gemaakt worden dan zakt de vinfactor tot circa 0,6 en neemt het oppervlak toe met een faktor 2. Netto zou het systeem dan 2 x 0,6 = 1,2 maal zoveel energie kunnen invangen wat dus beduidend minder is als 2 enkele lamellen van 12 cm. Voor een lamel van 15cm zou deze berekening uitkomen op 1,03 terwijl 15/12 lamel extra 1,25 maal zoveel kan leveren. Als ook de installatiekosten worden meegenomen dan kan hiermee een optimale dichtheid van het aantal lamellen per meter breedte worden berekend voor een maximale energieopbrengst. Energetisch zal een smalle lamel altijd beter presteren dan een brede. Zoals blijkt uit figuur 7 heeft een verbreding van de lamel alleen zin bij veel kleinere UI waarden, echter dergelijke lage UI waarden vinden we alleen bij afgedekte collectoren.

De collectorefficiency laat zich ook terug rekenen uit de meting indien de absorptie van de EPDM dakbedekking bekend is. Van de dakbedekking is deze gemeten. De absorptiewaarde ligt rond 0,95 in nieuw toestand. De collectorefficiency laat zich berekenen uit de $F'(\alpha\tau)$ van $0,77/0,95 = 0.81$ maximaal.



Figuur 11: de reflectie van de dakbedekking in het zonnenspectrum

4 Ondertekening

Delft, 26 juni 2009

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'H.P. Oversloot', written in a cursive style.

Ing. H.P. Oversloot
Auteur

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L.J.W.M. Krosse', written in a cursive style.

Ir. L.J.W.M. Krosse
Hoofd afdeling
Energie, Comfort en Binnenmilieu

Enclosure A: Test report

Performance test report for unglazed solar collector under quasi dynamic test conditions

D.1 General

Collector reference Bureau Boos/ Consolidated Nederland
Test performed by: TNO Building and Construction
Address: P.O. box 49, 2600 AA Delft, the Netherlands
Date, Tel, Fax: June 2009, ++31 15 276 3512

D.2 Solar collector description

Name of manufacturer: Bureau Boos

Collector:

Type name: dakcollector
Flat plate ~~/evacuated/~~ ~~subatmospheric~~

The roof under test is a specific constructed energy roof for testing with a collector/heat exchanger existing of 4 segments with each 6 embedded aluminium lamellae with copper tubes connected to a header pipe construction. This construction is entirely covered in EPDM Phoenix Resistit ESK roof material of about 1.6 mm thickness. The total thickness of the construction is about 15 cm existing of wooden carrying beams with a ply material on top carrying the Pir insulation. This test roof can be regarded equivalent to a standard roof construction for dwellings in the Netherlands. The entire roof construction can be tilted. The header pipe section is insulated and not part of the absorber.

Gross area: $4.1 \times 3.6 = 14.75 \text{ m}^2$ = roof construction
Aperture area: $4 * 6 * 10.2 * 3.75 = 10.8 \text{ m}^2$ area with imbedded lamellae
Absorber area: 10.8 m^2 area excluding headers
Weight empty: unknown
Fluid content: 0.08 dm^3 per m lamellae

Number of covers: none

Number of tubes or channels: 6 per section
Tube diameter or channel dimensions: 12/10 mm copper
Tube or channel pitch: 16.6 cm

Heat transfer medium: water ~~/oil/other~~
Specifications (additives etc.): drainback collector
Alternative acceptable heat transfer fluids:

Absorber:

Roofing material: EPDM Phoenix Resistit ESK
Roofing material thickness: 1.6 mm
Construction type: serpentine connection of 2 lamellae each

Dimensions: adaptable to roof dimensions

Thermal insulation and casing:

Thermal insulation thickness: available roof insulation

Insulation material: top layer Pir 10 cm thickness with embedded lamellae

Casing material:

Limitations:

Maximum operation temperature: stagnation proof

Maximum operation pressure: test pressure 3 Bar.

Other limitations:

Schematic diagram of solar collector:

Photograph of the collector



Figure 1: Collector during test on roof

Schematic diagram of collector mounting: see photo
Collector mounted on beams tested under an angle of 1 degree for drainage of rain water

Method: outdoor / ~~indoor~~

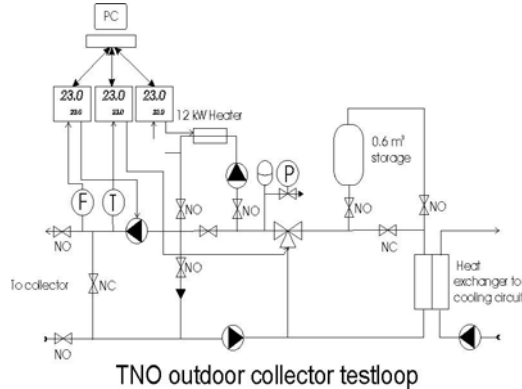


Figure 2: Schematic diagram of the test loop:

D.3 Test results

Outdoor

test method: steady state dynamic X
Latitude: 52.00
Collector tilt: 1 degrees
Local time at solar noon: 12.72h
Longitude: 4.38
Collector azimuth: 0

Indoor

mean solar irradiance:
type of the lamps:
shading of longwave radiation: yes no

Instantaneous efficiency curve based on aperture area and mean temperature of heat transfer fluid.

Reference area: aperture area used for curve in m²: 10.8 m²

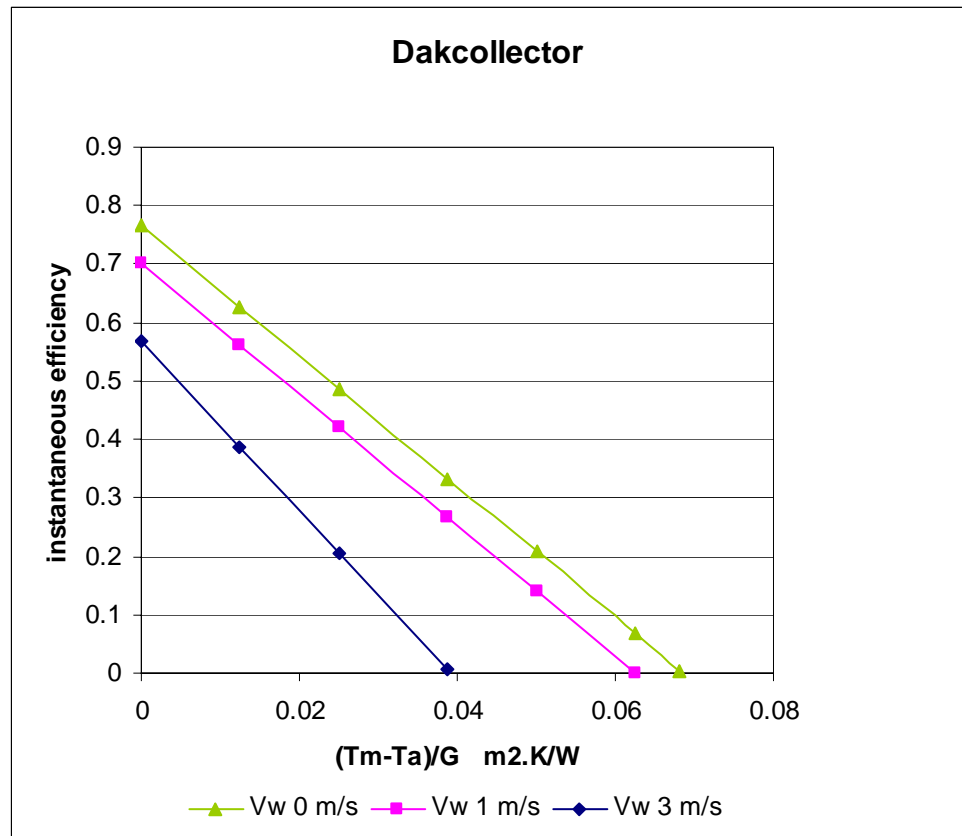


Figure 3: Presentation of collector curve for standardised conditions EN 12975 with different windspeed of 0-3 m/s.

Aperture

Fluid flowrate used for the tests: 0.21518 dm³/s (0.02 kg/s/m²)
 Gross collector area: 12 m²
 Aperture area : 10.8 m²

$$\dot{Q} / A = F'(\tau\alpha)en K\theta b(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)en K\theta d G_d - c_6 u G^* - c_1 (t_m - t_a) - c_2 (t_m - t_a)^2 -$$

$$- c_3 u (t_m - t_a) + c_4 (EL - \sigma T_a^4) - c_5 dt_m/dt$$

$$K\theta b(\theta) = 1 - b_0((1/\cos \theta_i) - 1)$$

Table 1. Coefficients of collector formulae as fitted based on 6.27 m² aperture area.

b	0.0428	
Kd	0.7720	
Fat	0.9647	
c1	-11.19	
c2	0	Set to 0, fit result not significant
c5	-19715	
c3	-3.254	
c6	-0.6923	
c4	-0.0666	

Overview of test data used for the processing of the collector formulae

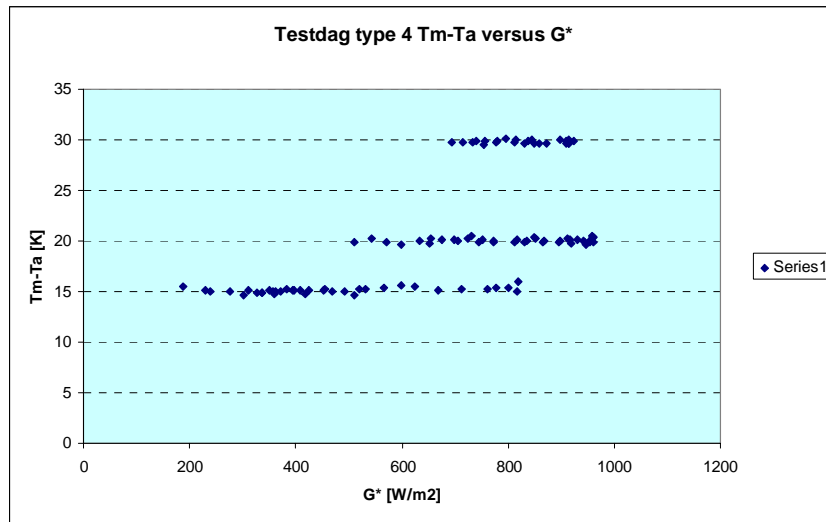


Figure 4. Test data with respect to $T_m - T_a$ vs. global radiation on collector plane for test days type 4 operating temperature to 30°C difference.

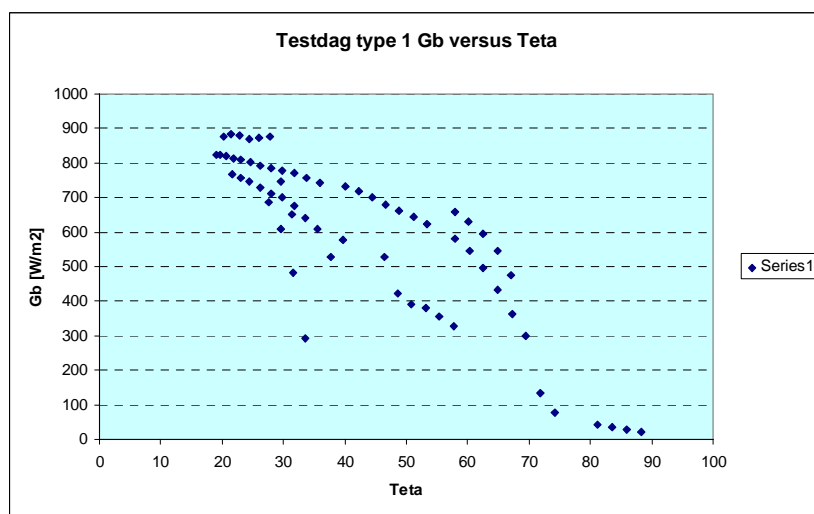


Figure 5. Basic data of beam radiation vs. incidence angle.

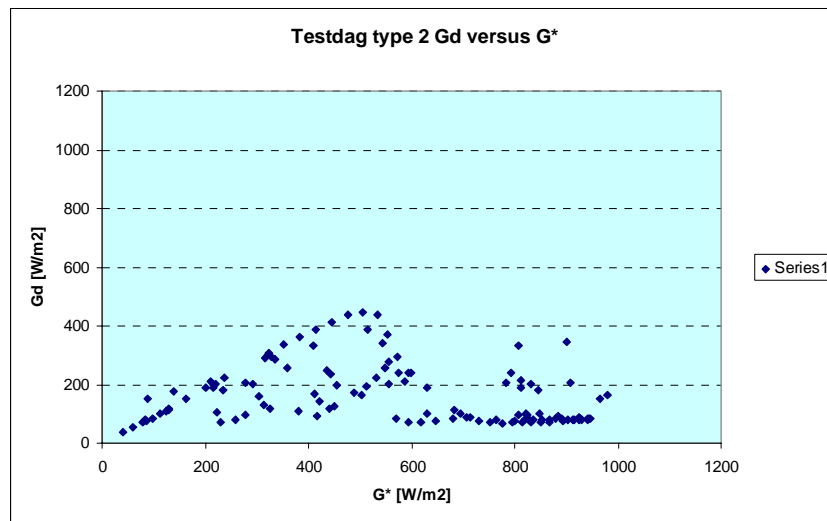


Figure 6. Fraction of diffuse radiation.

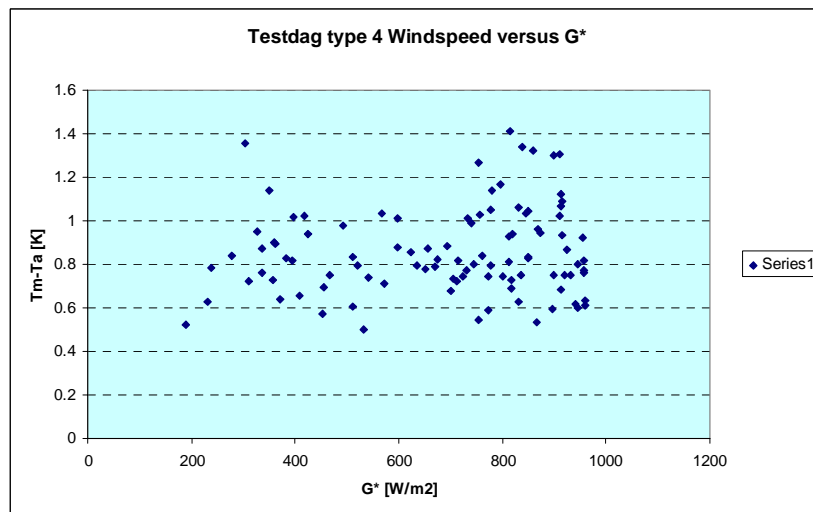


Figure 7. Data all sequences giving wind speed vs. global radiation in the collector plane.

Effective thermal capacity

$$C = 19715 \text{ JK-1/m}^2$$

Determination: fitted as coefficient c5 in QDT test procedure

Calculation:

Indoors:

Outdoors: QDT

Incident angle modifier

fitted as coefficient b0 in QDT test procedure

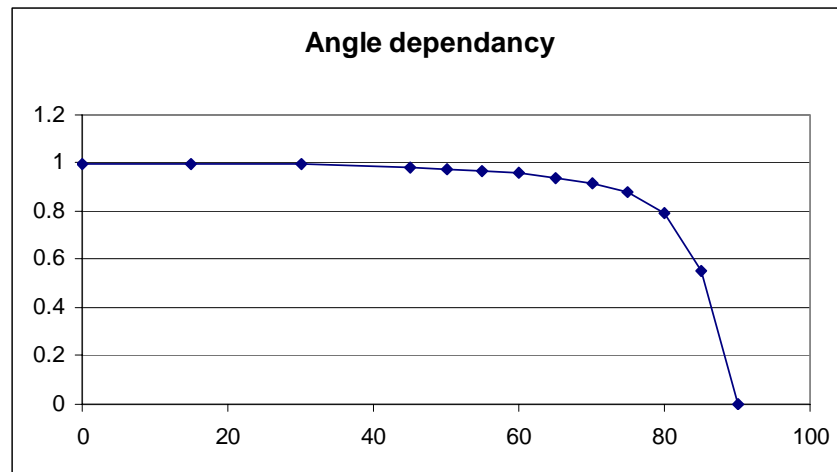


Figure 8. Of angle dependency factor calculated with $B0 = 0.0428$.