

Bijlagen

Bij de bachelor eindopdracht: Zonne-energie op compounds



Breda, 8 april 2009
Cadet-vaandrig ASC Schutter

Bijlage A Watergebruik

Om de besparing door de zonnecollectoren te berekenen moeten het warmwatergebruik en de tijdstippen van dit gebruik bekend zijn. Er zijn geen gegevens bekend over het warm watergebruik, dus wordt een realistische schatting gemaakt.

A.1 Schatting warm watergebruik

De schatting wordt in twee jaargetijden verdeeld. In de maanden juni t/m september is het erg heet en is er veel stof in de lucht. Hierdoor wordt er vaker gedoucht, met name aan het einde van de werkdag. In de onderstaande tabel staan de geschatte waarden die gelden voor één militair per dag. De schattingen zijn gebaseerd op standaard gebruikstijden in Afghanistan en incidentele activiteiten zijn daarom niet meegenomen. Het watergebruik per seconde dat staat aangegeven is de standaard tapeenheid voor deze activiteiten. Het gaat hierbij om de hoeveelheid water van 65°C die benodigd is. De tabellen A.1 en A.2 laten de verbruikshoeveelheden van het warme water zien.

Oktober - mei

Activiteit	Kwantiteit (min/dag)	Warm watergebruik (65°C) apparaat (l/s)	Totaal gebruik per dag per persoon
Douchen	7	0,042	17,6 l
Wassen/scheren	3	0,042	7,56 l

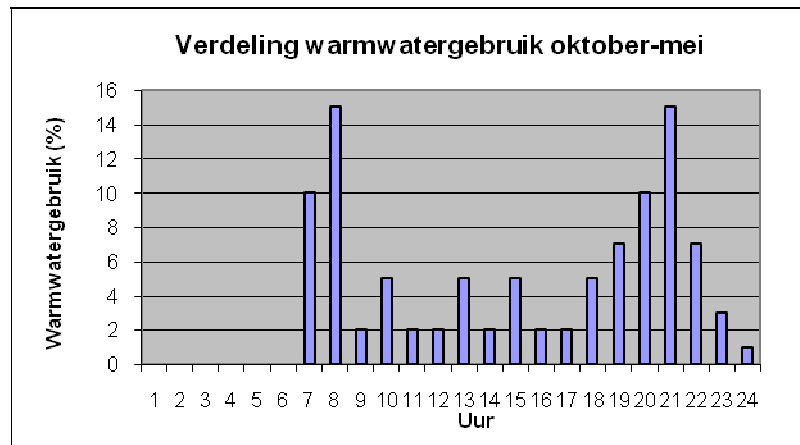
Tabel A.1: Watergebruik per persoon in de maanden oktober-mei

Juni - september

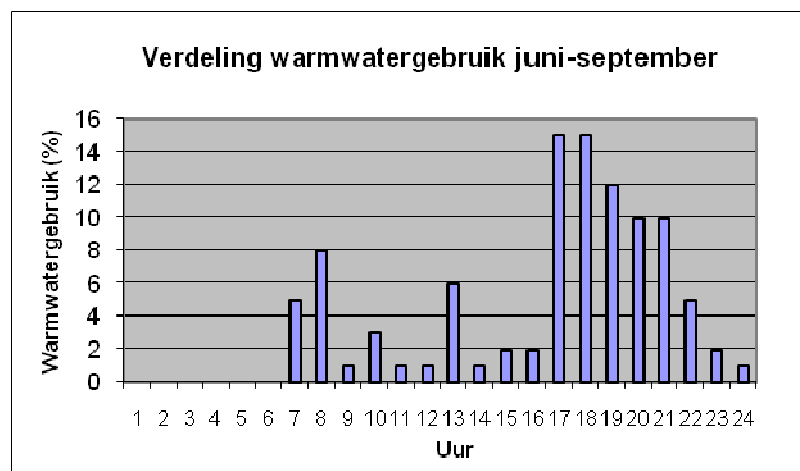
Activiteit	Kwantiteit (min/dag)	Warm watergebruik (65°C) apparaat (l/s)	Totaal gebruik per dag per persoon
Douchen	10	0,042	25,2 l
Wassen/scheren	3	0,042	7,56 l

Tabel A.2: Watergebruik per persoon in de maanden juni-september

Het gebruik van het water is verspreid over de dag, maar door een standaard dagritme van de militairen zijn er gebruikspieken op bepaalde momenten. Tijdens deze pieken wordt er veel gedoucht. Door eventuele sporturen zijn er overdag meerdere kleine gebruikspieken. Voor de periode oktober tot en met mei worden in figuur A.1 de gebruikspercentages op elk moment van de dag weergegeven als deel van het totale daggebruik. In figuur A.2 staan de gebruikspercentages voor de periode juni tot en met september.



Figuur A.1: Verdeling van het watergebruik in de periode oktober – mei (in % per dag)

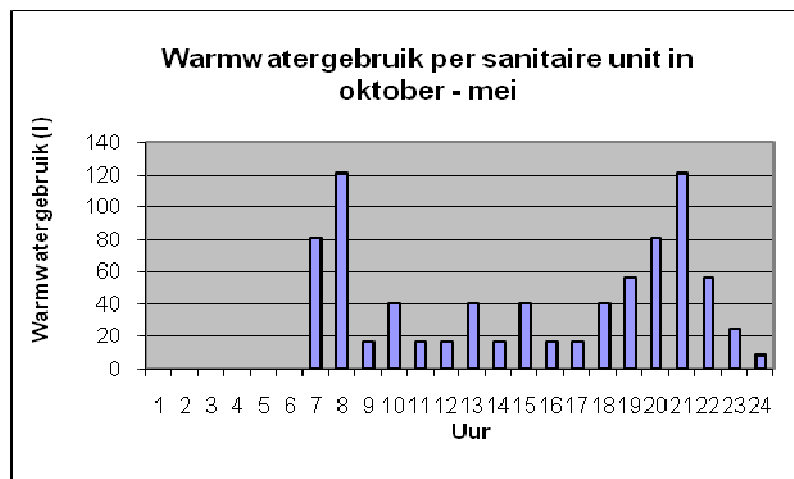


Figuur A.2: Verdeling van het watergebruik in de periode juni – september (in % per dag)

Met bovenstaande gegevens van het gebruik en de verdeling daarvan over de dag, wordt bepaald hoeveel liter warm water op elk uur van de dag gebruikt wordt. De hoeveelheden van het warm watergebruik worden uitgedrukt in het gebruik in liter per sanitaire unit. Er wordt hierbij vanuit gegaan dat de gemiddelde bezetting van de sanitaire units 32 personen is. Uiteraard kunnen de sanitaire units door meer personen worden gebruikt, tot een maximum van 50 personen, echter wordt de gemiddelde bezetting aangehouden voor een realistische berekening.

Oktober – mei

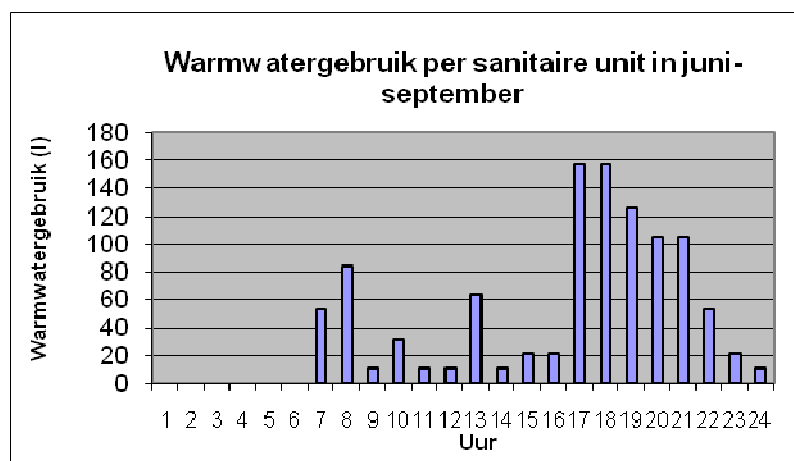
Het totale warmwatergebruik is 1258 liter per dag per sanitaire unit. In figuur A.3 staat de verdeling van dit gebruik over de dag.



Figuur A.3: Warmwatergebruik in de periode oktober-mei per sanitaire unit (l)

Juni – september

Het totale warmwatergebruik is 1638 liter per dag per sanitaire unit. In figuur A.4 staat de verdeling van dit gebruik over de dag.



Figuur A.4: Warmwatergebruik in de periode juni-september per sanitaire unit (l)

A.2 Waterverwarming

Het warme water dat wordt gebruikt in de sanitaire units wordt in de huidige situatie opgewarmd door twee boilers per sanitaire unit. Deze boilers van firma Stiebel Eltron hebben een watercapaciteit van 120 liter en een elektrische capaciteit van 6kW.

De hoeveelheid energie die nodig is voor het verwarmen van een liter water kan worden berekend met de formule $Q=m \cdot c \cdot \Delta t$.

Q: benodigde hoeveelheid energie (kW)

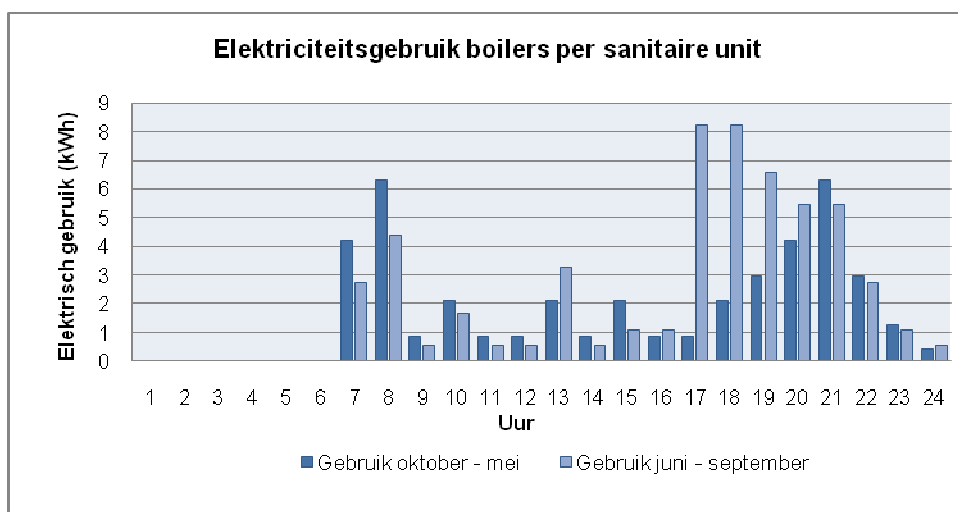
m: massadebiet in kg/s

c: soortelijke warmtecapaciteit water: 4,186 kJ/kg·K

Δt : temperatuurverschil

De temperatuur van het grondwater in Afghanistan is 20 °C¹. Het water moet verwarmt worden tot 65°C, het temperatuurverschil is 45 °C. De energie die nodig is om een liter water te verwarmen is $1 \times 4,186 \times 45 = 188,37$ kJ. Naast verwarmen moet de boiler het opgewarmde water ook op temperatuur houden. Hiervoor gebruikt de boiler een hoeveelheid energie van 1,05 kWh² per dag.

De hoeveelheid elektriciteit die wordt gebruikt voor het verwarmen van het water kan worden berekend door allereerst het watergebruik in liters per uur om te rekenen naar het aantal liter per seconde. Dit wordt gedaan door het gebruik per uur te delen door 3600. Vervolgens moet dit getal worden vermenigvuldigd met 188,37 kW/l. Het aantal kW staat in dit geval gelijk aan het aantal kWh, omdat het gaat om het verbruik in kW gedurende een geheel uur. In figuur A.5 wordt het elektriciteitsgebruik van de boilers in één sanitaire unit in de zomer en de winter uitgebeeld.



Figuur A.5: Het elektriciteitsgebruik van de boilers per sanitaire unit per periode (kWh)

¹ Dit is een ervaringsgetal uit Afghanistan, gegeven door de commandant waterboor detachement

² Bron: Firma Stiebel-Eltron

Bijlage B Opbrengsten collectoren

In deze bijlage is de berekening uitgewerkt voor de opbrengst van de collector. Allereerst is hiervoor een overzicht gemaakt van de zonintensiteit en de buitentemperatuur. Deze waarden zijn zeer belangrijk voor de opbrengst van de collector. Aansluitend is een rendementsberekening uitgevoerd voor de collectoren.

B.1 Inhoudsopgave

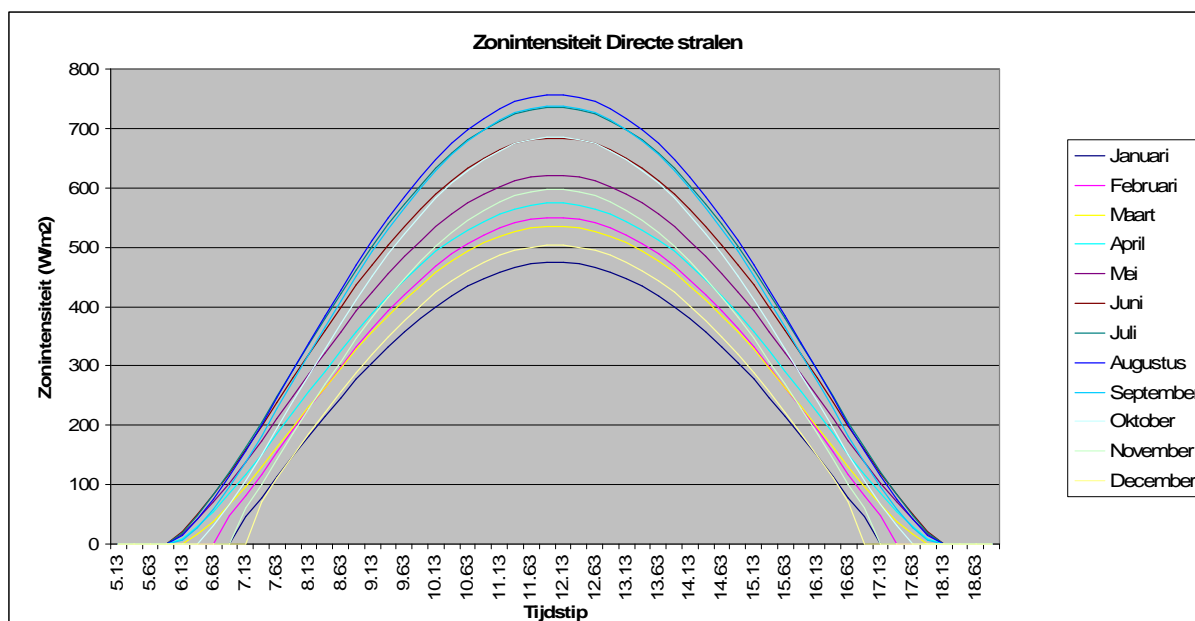
B.2	Instraling van de zon	2
B.3	Temperatuur	3
B.4	Rendementsberekening algemeen	3
B.4.1	Reflectie	4
B.4.2	Rendement	4
B.4.3	Warmteverlies	4
B.5	Rendementsberekening vlakke plaatcollector	5
B.5.1	Reflectie	5
B.5.2	Rendement	5
B.5.3	Warmteverlies	5
B.5.4	Collectoropbrengst	8
B.6	Rendementsberekening vacuümbuiscollector	11
B.6.1	Reflectie	16
B.6.2	Rendement	16
B.6.3	Warmteverlies	16
B.6.4	Collectoropbrengst	17
B.7	Rendementsberekening vlakke plaatcollector zonder glas.....	11
B.7.1	Rendement	11
B.7.2	Warmteverlies	11
B.7.3	Opbrengst collector	11

B.2 Instraling van de zon

De instraling van de zon verschilt per hoogte- en breedtegraad. Daarnaast is het reliëf van het gebied van belang voor de zonintensiteit, in verband met bergen en wolken die de zonnestrallen kunnen tegenhouden. In Afghanistan is veel variëteit in dit soort gebieden. Er wordt als voorbeeld een gebied genomen met een kleine hoogte. In dit onderzoek wordt de standaard gemeten instraling nabij de stad Farah¹ genomen voor de irradiatiesterkte. Bijna elk gebied elders in Afghanistan en in Afrika hebben een sterkere instraling van de zon. Dit blijkt uit de waarden voor irradiatie die worden gegeven op internet². Wanneer de systemen daardoor rendabel zijn in het gebied rond Farah, zijn ze daardoor ook rendabel in de overige genoemde gebieden.

De directe stralen bereiken de zonnecollector in z'n geheel, maar worden deels gereflecteerd door het glas. De diffuse straling in de hemel valt gedeeltelijk op de zonnecollector, maar wordt ook gedeeltelijk gereflecteerd door het glas. De mate van reflectie hangt sterk af van het toegepaste glas.

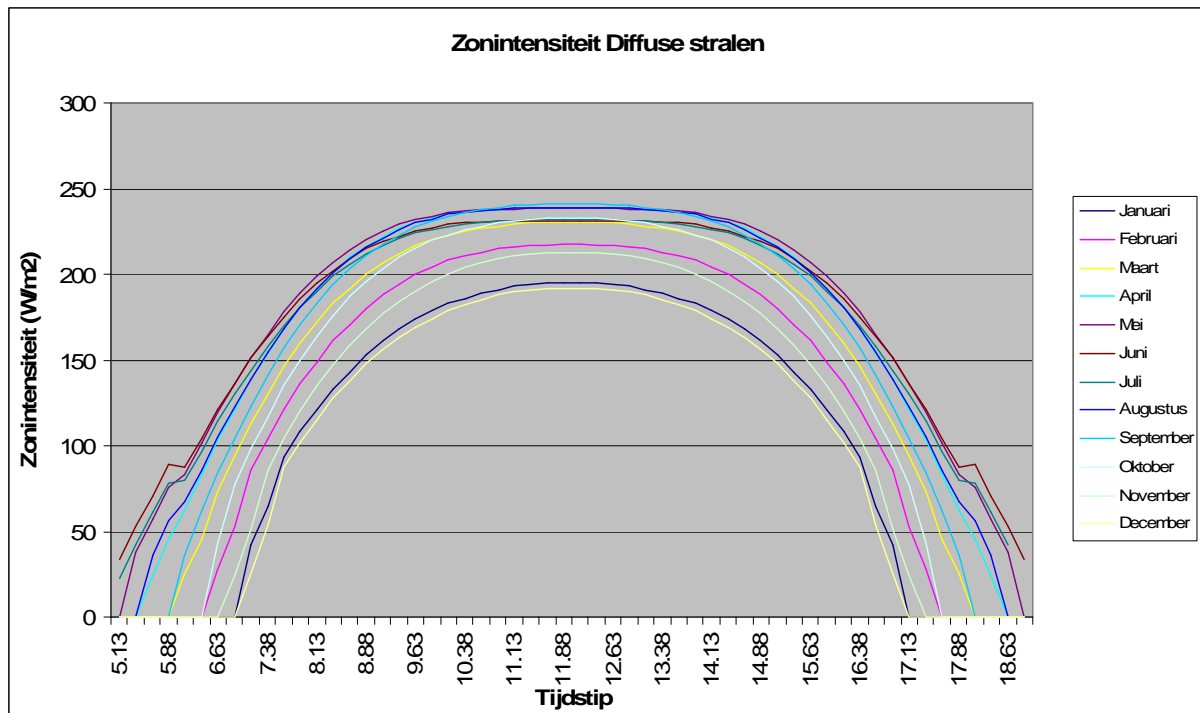
In onderstaande grafieken staat de zonintensiteit bij de aangegeven locatie van de diffuse en de directe lichtstralen per maand van het jaar.



Figuur B 1: Zonintensiteit van de directe zonnestrallen

¹ De locatie is 32°53'51" Noorderbreedte, 60°2'47" Oosterlengte, Hoogte: 1499 m

² bron: <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang=en&map=africa>; 10 februari 2009



Figuur B 2: Zonintensiteit van de diffuse zonnestrallen

De tabel met de zonintensiteiten³ is weergegeven in bijlage C. De zonintensiteit kan worden omgerekend naar de energie die daadwerkelijk gebruikt kan worden voor de opwarming van het water in de boiler.

B.3 Temperatuur

De opbrengst van collectoren hangt sterk samen met de buitentemperatuur. Wanneer het temperatuursverschil van de absorber met de buitenlucht groot is, zal veel warmte verloren gaan vanuit de collector naar de buitenlucht.

De buitentemperaturen worden bijgehouden op weerstations. In onderstaande tabel worden de gemiddelde maximale temperaturen per maand over een periode van acht jaar weergegeven. Dit zijn de waarden nabij de stad Farah, de locatie waarvan tevens de gegevens van de zonintensiteiten worden gebruikt in dit onderzoek.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
°F	61	65	75	83	95	105	108	105	97	86	73	62
°C	16,3	18,3	23,9	28,3	35	40,6	42,2	40,6	36,1	30	22,8	16,7

Tabel B 1: Gemiddelde maximumtemperatuur per maand in de stad Farah
(qwickcast.weatherbase.com/weather)

B.4 Rendementsberekening algemeen

De zonnestraling die de zonnecollector bereikt wordt niet volledig omgezet in warmte.

³ bron: <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang=en&map=africa>; 10 februari 2009

B.4.1 Reflectie

Het eerste verlies wordt veroorzaakt door een eventueel afdekkende glaslaag. Deze laag dient als isolatie van de absorber. Doordat het glas een licht spiegelende werking heeft, gaat niet alle zonnestraling het glas in. De mate van reflectie is afhankelijk van het toegepaste glas.

B.4.2 Rendement

De zonnestraling die niet wordt gereflecteerd door de glaslaag, bereikt niet volledig de absorber. Dit rendement van de vlakkeplaat zonnecollector wordt uitgedrukt in η_0 . Het rendement wordt berekend uit drie subrendementen. $\eta_0 = \eta_{\text{doorlaatbaarheid glas}} \times \eta_{\text{absorptiecoëfficiënt}} \times (1 - \eta_{\text{emissiecoëfficiënt}})$.

$\eta_{\text{doorlaatbaarheid glas}}$	is de mate waarin het glas het zonlicht doorlaat.
$\eta_{\text{absorptiecoëfficiënt}}$	is de mate waarin de absorber de warmte ontvangt vanuit het glas. De restwarmte is opgenomen door de lucht in de spouw.
$\eta_{\text{emissiecoëfficiënt}}$	is de mate waarin de absorber de warmte weer uitstraalt.

η_0 is het deel aan warmte dat uiteindelijk wordt opgenomen door de absorber. Het rendement van de zonnecollector wordt gegeven door de fabrikant en verschilt per type collector.

B.4.3 Warmteverlies

Het totale rendement van de zonnecollector is echter nog kleiner. Er ontsnapt namelijk ook warmte via de buitenzijde van de zonnecollector en bij het warmtetransport naar de boiler toe.

De warmteverliezen kunnen worden berekend met de standaardformule:

$$Q = A \cdot U \cdot (t_i - t_u) \quad [\text{W}] \quad (\text{bron: Polytechnisch zakboek, 2003})$$

Hierin is:

Q het warmteverlies in Watt

A de oppervlakte van het materiaal

U de warmtedoorgangcoëfficiënt in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

T_i de absorbertemperatuur

T_u de ontwerp buitentemperatuur

De collectoren hebben warmteverliezen aan alle zijden van de collector. De verliezen zijn afhankelijk van de toegepaste materialen. In sommige gevallen heeft de fabrikant de verliezen reeds bepaald en worden ze gegeven in een k_1 en k_2 waarde⁴. De k_1 -waarde staat in dit geval voor de convectieverliezen, die worden veroorzaakt door afkoeling van het materiaal van buitenaf. De k_2 -waarde geeft de stralingsverliezen weer. Hoe lager deze waarden zijn, hoe meer energie kan worden gebruikt voor het verwarmen van het water.

⁴ Deze waarden hebben dezelfde eenheid als de warmtedoorgangcoëfficiënt en worden uitgedrukt in verlies per oppervlakte per temperatuurverschil ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).

B.5 Rendementsberekening vlakke plaatcollector

Alle rendementsberekeningen zijn in paragraaf B.4.2 toegelicht. In deze paragraaf staan de berekeningen voor het rendement van de vlakke plaatcollector met glas.

Om het rendement te berekenen wordt een bepaald type collector als voorbeeld genomen. Als voorbeeld wordt gekozen voor de veel gebruikte C20 HTF collector van de firma Wagner & co. Deze collector heeft vergelijkbare waarden met andere merken collectors en is daarom representatief als voorbeeld.

B.5.1 Reflectie

Uit fabrieksmetingen blijkt dat door het toegepaste glas 6% van de directe zonnestraling wordt gereflecteerd, 94% van de zonnestraling dringt wel door in de glaslaag. Voor diffuse straling is het percentage licht dat wordt gereflecteerd 12%, waarbij een percentage van 88% wel het glas in gaat.

B.5.2 Rendement

Van alle zonnestraling bereikt niet alle straling de absorber. De rendabiliteit η_0 is 81,8%. Deze waarde is door de fabrikant vastgesteld na metingen in een proefstation. Dit betekent dat 18,2% van de straling de absorber niet bereikt.

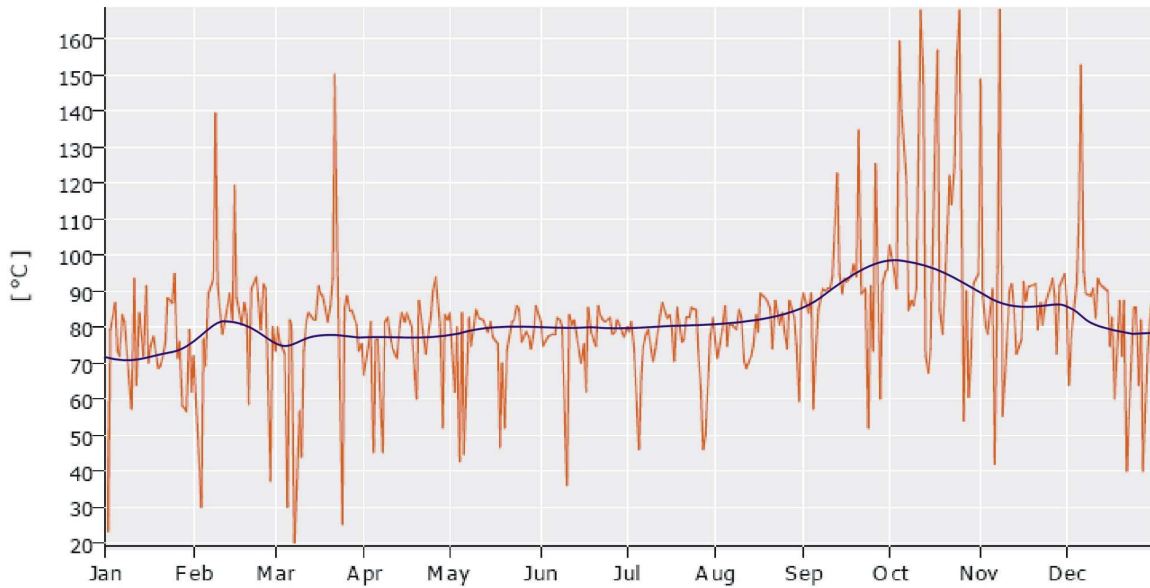
In het rendement is door het laboratorium alleen de reflectie meegenomen voor direct zonnestraling. In dit onderzoek wordt echter ook de diffuse straling meegenomen in de berekening. Hierom wordt het rendement η_0 omgezet in het rendement zonder reflectie. Dit rendement is $81,8 / 0,94 = 87,0\%$. Voor de berekening van de opbrengst wordt de intensiteit van de directe stralen vermenigvuldigd met 0,94 en de intensiteit van de diffuse stralen met 0,88.

B.5.3 Warmteverlies

Wanneer de zonnestrallen de absorber bereiken en opwarmen, warmt de absorber erg op. Door het temperatuursverschil met de buitenlucht gaat er daardoor warmte verloren naar de buitenlucht. Hiervoor worden de k_1 en k_2 waarde gebruikt, ter grootte van respectievelijk $3,47 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en $0,0101 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. De K hierin is het verschil in temperatuur tussen de absorber en de buitenlucht. De verlieswaarde is daardoor sterk afhankelijk van het verschil tussen de buiten- en de absorbertemperatuur.

Het is onmogelijk om de temperatuur van de absorber voor elke dag van het jaar exact te berekenen. Daarom wordt alleen de maximum absorbertemperatuur per maand gebruikt om een indicatie van het verschil tussen de temperaturen te krijgen. Met deze waarden kan de opbrengst worden berekend.

De dagelijkse maximale absorbertemperatuur is weergegeven in onderstaande grafiek. Deze grafiek is gemaakt door een simulatieprogramma van het bedrijf VHV-systems. De blauwe lijn geeft de dagelijkse gemiddelde maximumtemperatuur aan.



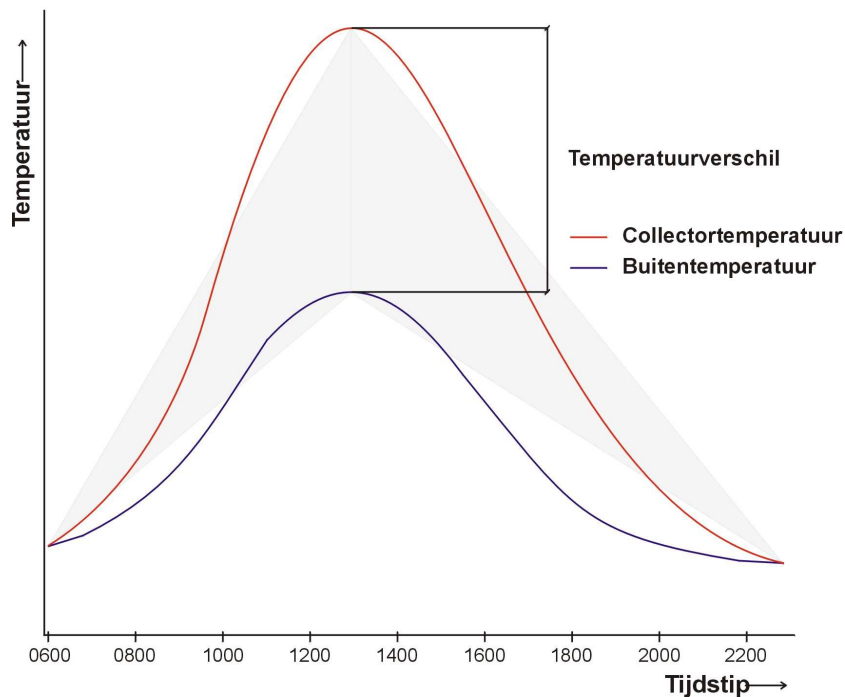
Figuur B 3: Dagelijkse maximum temperatuur vlakke plaatcollector met glas (bron: vhv-systems)

In tabel B2 zijn de maximale absorbertemperatuur en maximale buitentemperatuur weergegeven. Het maximale temperatuurverschil tussen de absorber en de buitenlucht volgt hieruit, en staat weergegeven bij verschil. Het verschil is uitgedrukt in Kelvin, omdat de berekeningen voor de collectoren ook in Kelvin worden gedaan.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Max. Absorbtemp. (°C)	75	78	78	78	80	80	80	82	92	95	88	80
Max. Buitentemp. (°C)	16,3	18,3	23,9	28,3	35	40,6	42,2	40,6	36,1	30	22,8	16,7
Vershil δT_{\max} (K)	58,7	59,7	54,1	49,7	45	39,4	37,8	41,4	55,9	65	65,2	63,3

Tabel B 2: Gemiddelde maximale maandtemperaturen en het verschil

Met het verschil tussen de maximale absorbertemperatuur en de maximale buitentemperatuur kan een indicatie worden gegeven van het gemiddelde verschil tussen de temperaturen over de gehele dag. Dit wordt gevisualiseerd in figuur B4, waarin een globaal verloop van de absorbertemperatuur en de buitentemperatuur is geschetst. Het verschil tussen de temperaturen is tegen elkaar uitgezet in de tijd. De grafiek is een simplificatie van de werkelijkheid.



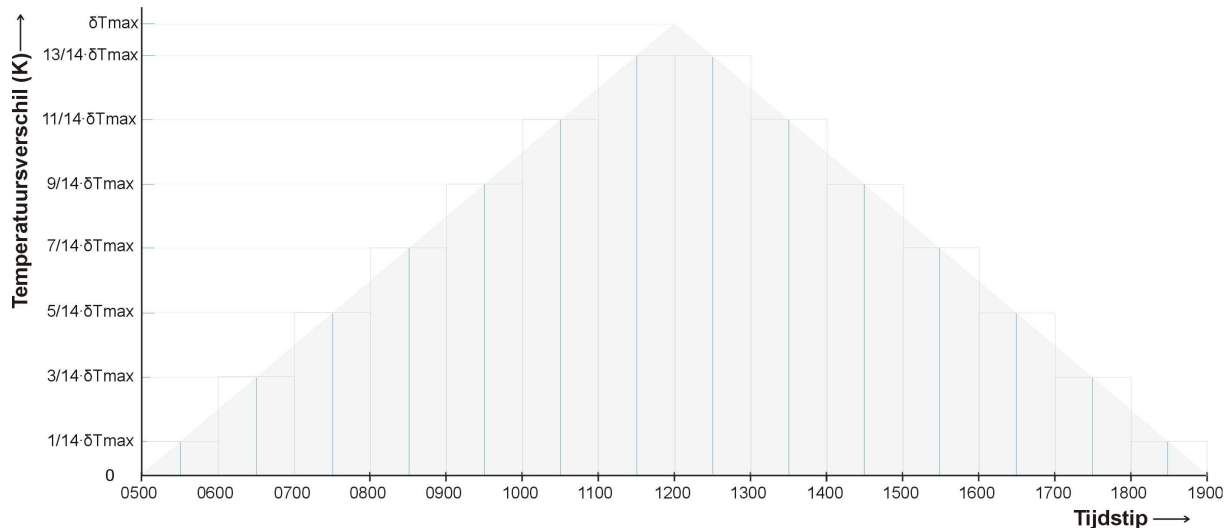
Figuur B 4: Schematische weergave van het temperatuurverloop gedurende de dag, de breedte van de figuur is periode-afhankelijk

De grafiek laat zien dat de temperatuur van de collector 's nachts ongeveer gelijk is aan de buitentemperatuur. Dit komt doordat er geen zon schijnt waardoor de collector niet kan opwarmen en daardoor afkoelt tot de buitentemperatuur.

Gedurende de eerste zonuren van de dag stijgen de absorbertemperatuur en de buitentemperatuur niet even snel waardoor temperatuursverschillen ontstaan. Het maximale verschil wordt berekend door de maximale absorbertemperatuur te verminderen met de maximale buitentemperatuur. Dit verschil is weergegeven in de grafiek.

Om het gemiddelde temperatuursverschil voor elk uur te berekenen wordt beschouwd dat dit verschil lineair op- en afloopt. Om de berekening uit te beelden zijn er twee driehoeken getekend in figuur B4. Er is te zien dat de oppervlaktes van deze driehoeken ongeveer gelijk zijn aan de werkelijke temperatuursverschillen.

Om het gemiddelde temperatuursverschil voor elk uur van de dag te berekenen, wordt in figuur B5 de driehoek opgedeeld in vakken ter breedte van een half uur. De verticale as wordt opgedeeld in een gelijk aantal vakken, waarbij op de y-as is aangegeven welk deel ten opzichte van δT_{\max} het is. Het gemiddelde temperatuursverschil op een bepaald uur wordt berekend door op elk halve uur het bijbehorende deel te nemen en te vermenigvuldigen met δT_{\max} . In figuur B5 staat het geheel weergegeven.



Figuur B 5: Figuur ter ondersteuning van de berekening van het temperatuursverschil op elk zonuur van de dag

In de maanden februari, maart, september en oktober schijnt de zon alleen tussen 0600 en 1800. Het aantal tijdsintervallen verandert tijdens deze maanden naar 12 in plaats van 14. De formule voor het berekenen van het gemiddelde temperatuursverschil verandert dan naar respectievelijk

$$\begin{aligned} &1/12 \cdot \delta T_{\max} \text{ voor } 0600-0700 \text{ en } 1700-1800, \\ &3/12 \cdot \delta T_{\max} \text{ voor } 0700-0800 \text{ en } 1600-1700, \\ &5/12 \cdot \delta T_{\max} \text{ voor } 0800-0900 \text{ en } 1500-1600, \text{ etc.} \end{aligned}$$

In de maanden november, december en januari schijnt de zon alleen tussen 0700 en 1700. De waarden van de temperatuursverschillen op de verticale as veranderen dan. De waarden worden respectievelijk

$$\begin{aligned} &1/10 \cdot \delta T_{\max} \text{ voor } 0700-0800 \text{ en } 1600-1700, \\ &3/10 \cdot \delta T_{\max} \text{ voor } 0800-0900 \text{ en } 1500-1600, \\ &5/10 \cdot \delta T_{\max} \text{ voor } 0900-1000 \text{ en } 1400-1500, \text{ etc.} \end{aligned}$$

B.5.4 Collectoropbrengst

De collectoropbrengst kan worden berekend met de gegeven formules en de gegevens uit hoofdstuk twee tot en met vier van deze bijlage.

De waarden van de directe zinstraling worden vermenigvuldigd met 0,94 ten gevolge van de reflectie van het glas, de waarden voor de diffuse zonnestrallen worden om deze reden vermenigvuldigd met 0,88.

Vervolgens worden beide tabellen bij elkaar opgeteld en vermenigvuldigd met een factor 0,87 voor het rendement van de collector.

Van de energiehoeveelheden gaat ten slotte een waarde voor de warmteverliezen af. De grootte van deze waarden is $3,47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ en $0,0101 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Deze waarden worden voor elk uur vermenigvuldigd met het temperatuursverschil tussen de absorber en de buitenlucht in elk uur, die wordt berekend met behulp van de aangegeven methode en figuur B.5. Voor de

oppervlakte hoeft niet gecorrigeerd te worden, aangezien alle getallen in deze fase per vierkante meter zijn uitgedrukt.

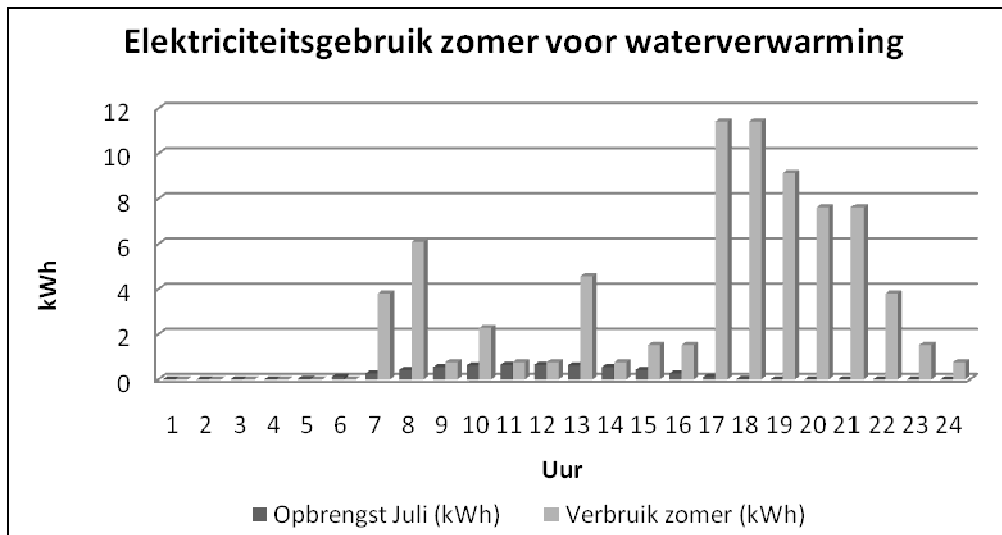
In onderstaande tabel staan de gemiddelde opbrengsten per uur weergegeven voor elke maand in Watt per vierkante meter collector.

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,0	0,0	0,0	1,7	22,3	38,2	30,3	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0
6-7	0,0	9,4	55,5	72,6	100,1	114,7	110,0	94,8	78,1	25,7	0,0	0,0
7-8	119,1	149,8	181,7	203,5	236,6	263,2	267,2	258,9	236,0	185,3	117,3	98,7
8-9	238,4	277,0	299,8	327,7	365,7	403,0	420,5	421,3	393,0	337,2	265,2	236,6
9-10	319,5	370,8	387,8	422,6	465,5	513,1	544,3	550,9	516,0	453,1	373,5	323,2
10-11	362,0	424,7	438,4	479,5	527,8	584,3	625,2	635,7	591,8	522,3	437,5	369,7
11-12	347,2	419,3	434,9	485,7	538,7	602,2	649,4	660,1	601,2	523,1	435,4	353,6
12-13	347,2	419,3	434,9	485,7	538,7	602,2	649,4	660,1	601,2	523,1	435,4	353,6
13-14	362,0	424,7	438,4	479,5	527,8	584,3	625,2	635,7	591,8	522,3	437,5	369,7
14-15	319,5	370,8	387,8	422,6	465,5	513,1	544,3	550,9	516,0	453,1	373,5	323,2
15-16	238,4	277,0	299,8	327,7	365,7	403,0	420,5	421,3	393,0	337,2	265,2	236,6
16-17	119,1	149,8	181,7	203,5	236,6	263,2	267,2	258,9	236,0	185,3	117,3	98,7
17-18	0,0	9,4	55,5	72,6	100,1	114,7	110,0	94,8	78,1	25,7	0,0	0,0
18-19	0,0	0,0	0,0	1,7	22,3	38,2	30,3	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
kWh/ Dag	2,77	3,30	3,60	3,99	4,51	5,04	5,29	5,26	4,83	4,09	3,26	2,76
kWh/ Maand	86	102	111	124	140	156	164	163	150	127	101	86

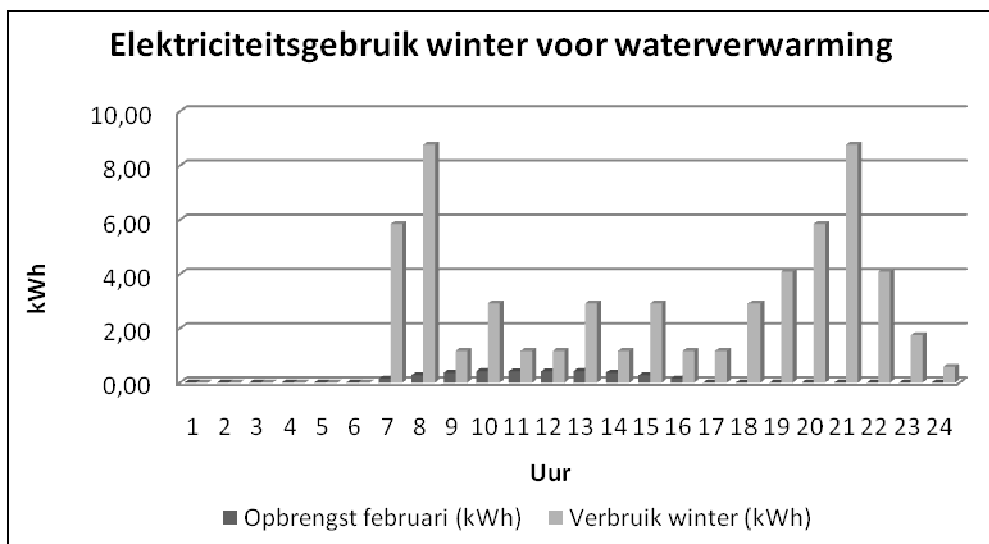
Tabel B 3: Opbrengst in Wh/m² per uur van de dag, het totaal per dag en maand is uitgedrukt in kWh/m²

De opbrengst van de vlakke plaatcollector met glas is 1510 kWh per vierkante meter per gebruiksjaar. De absorberoppervlakte van de collector is 2,40 m², per collector is de opbrengst dus 3609 kWh.

In onderstaande grafiek staan, ter vergelijking, de opbrengst van een collector en het elektriciteitsverbruik voor het verwarmen van water in een sanitair gebouw weergegeven. Hierin is het aandeel dat één zonnecollector kan leveren duidelijk zichtbaar.



Figuur B.6: Opbrengst van de zon uitgezet tegen het verbruik (kWh)



Figuur B.7: Opbrengst van de zon uitgezet tegen het verbruik (kWh)

In bovenstaande grafieken is duidelijk dat de zonne-energie in de winter volledig wordt gebruikt, maar dat de zonne-energie in de zomer mogelijk deels overcapaciteit heeft en daardoor warmte verloren gaat. In de tijdsperiode van 5 uur tot 6 uur levert de zon een overcapaciteit van $0,03 + 0,11 = 0,14$ kWh (capaciteit uit zon) – 2×0 kWh (capaciteit voor water) = $0,14$ kWh = 504kW. Hiermee kan in een hoeveelheid water worden opgewekt van:

$$\begin{aligned}
 Q &= 504 \text{ kW} & &= m \cdot c \cdot \Delta t \\
 & & &= m \cdot 4,186 \cdot 45 \\
 m &= 2,68 \text{ l}
 \end{aligned}$$

Er kan met de restwarmte een hoeveelheid water van 2,68 liter worden opgewekt. Deze hoeveelheid kan worden opgeslagen in de boilerketel, er zal hierdoor geen energie worden verspild. Aangezien er geen energie wordt verspild met één zonnecollector, kan een tweede zonnecollector rendabel zijn.

De besparing aan brandstof kan berekend worden door de besparing per collector in kWh te vermenigvuldigen met het verbruik van de aggregaten. Het verbruik van de aggregaten is 0,236⁵ l/kWh⁶. De uitkomst van dit product is het verbruik aan diesel uitgedrukt in liters. Door het aantal liter diesel te vermenigvuldigen met de kostprijs van dieselolie, dat €1,38 is, wordt de besparing in euro's gekregen.

De collectoropbrengst is 3609 kWh per jaar. Het aantal liter dieselolie dat hiermee bespaard wordt is 851,7 liter. Het geld dat hiermee wordt bespaard is €1175,38 per collector per gebruiksjaar.

B.6 Rendementsberekening vlakke plaatcollector zonder glas

De vlakke plaatcollector zonder glas kent vele vormen. Als het ware wordt hiermee een absorber bedoeld waarover geen isolerende glaslaag is aangebracht. De absorber kan in deze samenstelling van vele materialen zijn gemaakt, van metaal tot kunststof. Omdat metaal over het algemeen zwaarder is dan kunststof, en alle producten uiteindelijk over grote afstanden moeten worden getransporteerd en de afmetingen en het gewicht de kosten erg beïnvloeden, wordt gekozen om een kunststoffen collector te bekijken. Er wordt gekozen voor de eenvoudige zwembadcollector van het materiaal EPDM.

B.6.1 Reflectie

Er is geen glas aanwezig in de collector, waardoor de lichtstralen niet worden gereflecteerd door glas. Het materiaal EPDM heeft een eigen reflectiviteit, ter grootte van 6%. Dat betekent dat 94% van de zonnestraling die direct op de collector valt wordt geabsorbeerd door de collector. Van de diffuse straling die op de collector valt wordt 80% geabsorbeerd.

B.6.2 Rendement

Het rendement van de collector is niet bekend bij de leverancier. Ook andere leveranciers hebben geen gegevens van het exacte rendement. Om de opbrengst van de collector te berekenen is daarom een simulatie uitgevoerd. De simulatie is uitgewerkt in bijlage

B.6.3 Warmteverlies

De collector heeft geen isolatie. Hierdoor is het warmteverlies erg hoog wanneer de omgevingstemperatuur lager is dan de collectortemperatuur. De opbrengst van de collector per vierkante meter kan daardoor niet hoger uitvallen dan die van de vlakke plaatcollector met glas. Het exacte warmteverlies is, zoals bij de andere collectoren het geval is, niet bekend bij dit type collector. De verliezen zijn verwerkt in de opbrengstberekening van de collector.

B.6.4 Opbrengst collector

De hoeveelheid energie die een collector bespaart, is berekend met het programma Matlab. De berekeningen en het programmascript zijn te vinden in bijlage D. Het programma berekent het aantal kWh dat door convectie naar het water gaat en de temperatuur die het water hierdoor stijgt. De temperatuurstijging van het water is weergegeven in tabel B.4.

⁵ Er wordt uitgegaan van een soortelijk gewicht van diesel van 850 g/l

⁶ Bron: <http://vppneuapps.volvo.com> ; 19 maart 2009

Tijdstip	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5-6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
6-7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	10,7	7,9	7,0	2,2	0,0	0,0	0,0
7-8	0,0	0,0	0,0	4,4	8,2	15,8	14,9	13,9	9,8	0,0	0,0	0,0
8-9	0,0	0,0	3,6	7,1	10,1	16,5	16,8	15,8	14,6	5,2	0,9	0,0
9-10	0,0	4,2	18,4	24,9	33,7	41,2	39,3	40,0	36,8	23,9	11,8	3,5
10-11	3,8	6,9	21,0	24,4	32,5	42,7	42,2	41,9	39,3	25,5	15,5	8,3
11-12	6,7	13,0	29,1	33,3	43,5	51,7	50,2	51,3	48,2	36,2	24,0	13,6
12-13	6,7	15,3	30,2	35,7	45,8	51,7	52,5	52,4	48,2	38,5	25,1	15,9
13-14	4,7	11,5	22,9	27,2	36,4	32,9	31,7	32,3	28,8	29,2	20,2	11,1
14-15	2,9	11,1	24,3	29,7	40,7	47,5	46,2	45,7	40,3	32,2	21,2	11,7
15-16	0,0	4,8	15,8	19,2	27,2	41,0	39,6	39,7	32,6	20,8	9,4	2,4
16-17	0,0	0,0	11,0	15,4	26,2	31,0	29,7	28,3	23,6	12,9	0,0	0,0
17-18	0,0	0,0	2,3	6,3	15,9	3,0	2,9	2,6	2,0	0,7	0,0	0,0
18-19	0,0	0,0	0,0	0,7	2,4	0,9	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
19-20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20-21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21-22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22-23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23-24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel B.4: Temperatuurverschil van water door convectie in collector (°C)

Een powerplant levert aan 12 sanitaire units elektriciteit. Om de bespaarde kosten te kunnen berekenen, worden de bespaarde kosten berekend per powerplant. Vervolgens worden de bespaarde kosten gedeeld over de 12 collectoren.

De hoeveelheid energie die wordt bespaard door de collector wordt berekend met de formule:

$$Q = m / 3600 \cdot c \cdot \Delta T$$

Q: De hoeveelheid bespaarde energie [kW / sec]

m: De massa van het verwarmde water [kg / uur]

De verbruikshoeveelheden van het water per uur zijn weergegeven in tabel A.1 en A.2 van bijlage A. Dit moet gedeeld worden door 3600 om de massa per seconde te krijgen.

c: De soortelijke warmte van het water [kJ/(kg·K)]
= 4,186 kJ/(kg·K)

ΔT : Het temperatuurverschil door convectie naar het water, opgewarmd door de collector [°C of K]
Het temperatuurverschil is weergegeven in tabel B.4.

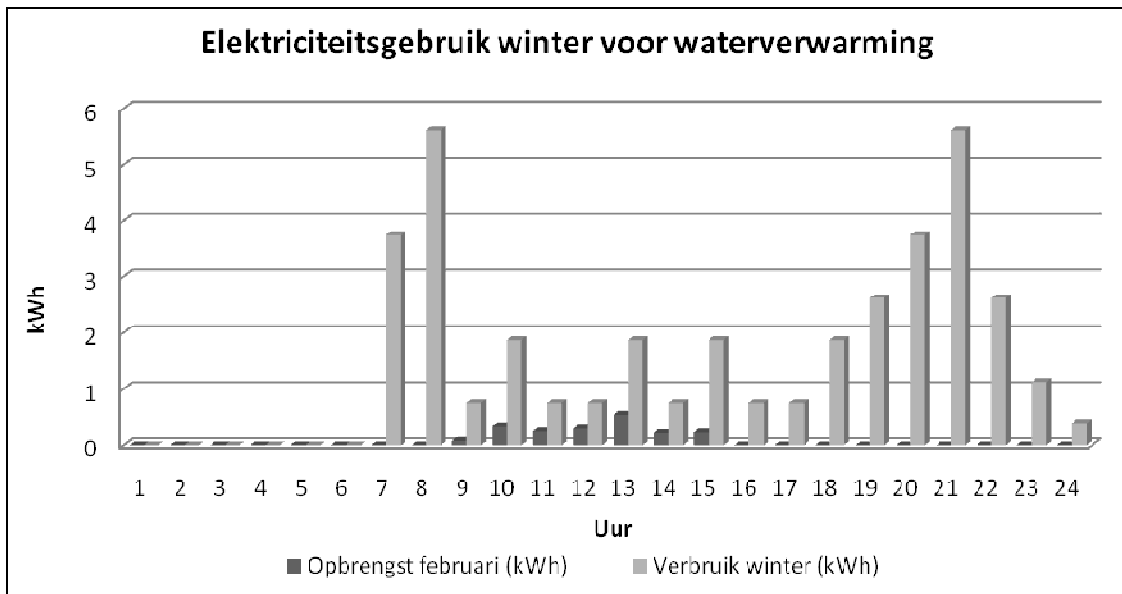
De hoeveelheid bespaarde energie per collector staat voor elke maand weergegeven in tabel B.5.

Tijdstip	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6-7	0,00	0,00	0,00	0,41	0,77	0,96	0,91	0,85	0,60	0,00	0,00	0,00
7-8	0,00	0,00	0,51	1,00	1,42	1,60	1,64	1,54	1,42	0,72	0,12	0,00
8-9	0,00	0,08	0,34	0,47	0,63	0,49	0,48	0,49	0,45	0,45	0,22	0,07
9-10	0,18	0,32	0,98	1,14	1,52	1,46	1,46	1,46	1,44	1,19	0,72	0,39
10-11	0,13	0,24	0,54	0,62	0,75	0,49	0,49	0,49	0,49	0,68	0,45	0,25
11-12	0,13	0,29	0,57	0,67	0,75	0,49	0,49	0,49	0,49	0,72	0,47	0,30
12-13	0,22	0,54	1,07	1,27	1,70	2,41	2,32	2,36	2,11	1,37	0,94	0,52
13-14	0,05	0,21	0,45	0,56	0,75	0,49	0,49	0,49	0,49	0,60	0,40	0,22
14-15	0,00	0,22	0,74	0,90	1,27	0,97	0,96	0,97	0,79	0,97	0,44	0,11
15-16	0,00	0,00	0,21	0,29	0,49	0,76	0,72	0,69	0,58	0,24	0,00	0,00
16-17	0,00	0,00	0,04	0,12	0,30	0,54	0,52	0,47	0,36	0,01	0,00	0,00
17-18	0,00	0,00	0,00	0,03	0,11	0,17	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
18-19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
/Dag	0,7	1,9	5,5	7,5	10,5	10,8	10,6	10,3	9,2	7,0	3,8	1,9
/Maand	21,8	53,8	169,2	224,2	324,4	324,8	329,4	320,8	276,1	215,7	113,0	57,4

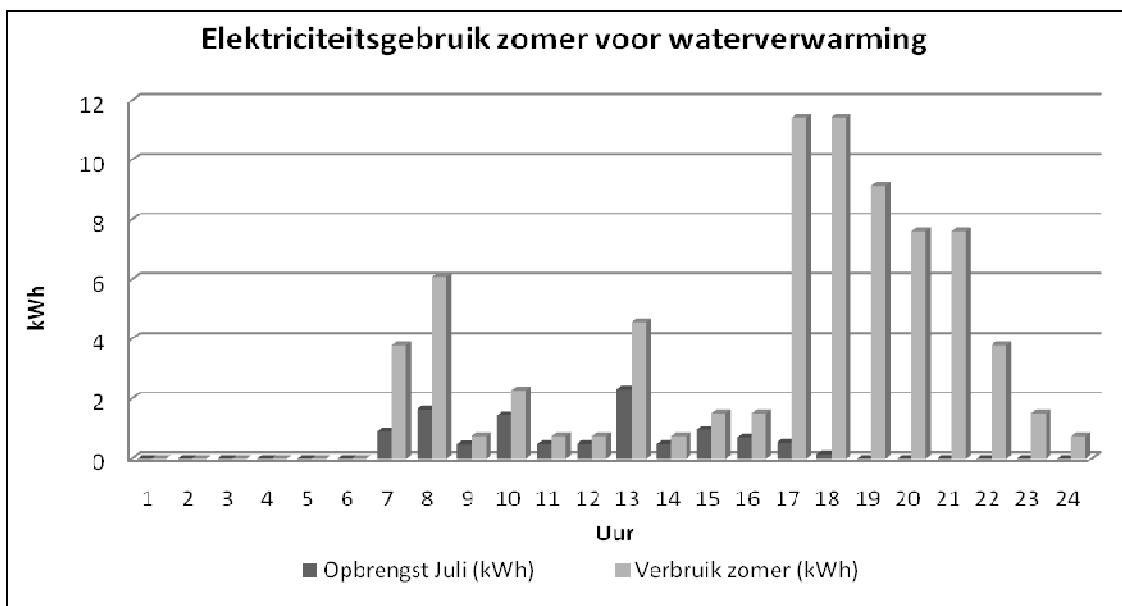
Tabel B.5: Hoeveelheid bespaarde energie per collector (kWh)

Per jaar wordt per collector 2.431 kWh bespaard. De collector heeft een totale oppervlakte van 6,50 vierkante meter. De opbrengst per vierkante meter van de collector is 374 kWh.

In onderstaande grafiek staan, ter vergelijking, de opbrengst van een collector en het elektriciteitsverbruik voor het verwarmen van water in een sanitair gebouw weergegeven. Hierin is het aandeel dat één zonnecollector kan leveren duidelijk zichtbaar.



Figuur B.8: Deel van de elektriciteit dat door de collector kan worden geleverd (kWh)



Figuur B.9: Deel van de elektriciteit dat door de collector kan worden geleverd (kWh)

In de figuren is zichtbaar dat alle energie dat wordt geleverd door de collector wordt opgenomen door het water.

De kosten die worden bespaard worden berekend met behulp van de verbruiksgegevens van de aggregaten.

Er wordt voor de berekening voor het verbruik van de aggregaten vanuit gegaan dat een aggregaat standaard op 50-100% van de capaciteit draait. Op het moment dat de aggregaten op het aangenomen vermogen draaien, is het verbruik gemiddeld 0,236⁷

l/kWh⁸. Het verbruik wordt vermenigvuldigd met de hoeveelheid bespaarde energie, hiermee wordt de bespaarde hoeveelheid diesel verkregen.

De bespaarde hoeveelheid diesel wordt vermenigvuldigd met de kosten van de diesel. Deze kosten zijn €1,38 per liter. Met deze berekening worden de bespaarde kosten per powerplant berekend. Het resultaat wordt gedeeld door 12 om de bespaarde kosten per collector te krijgen. Deze kosten zijn weergegeven in tabel B.6.

Tijdstip	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6-7	0,00	0,00	0,00	0,13	0,25	0,31	0,30	0,28	0,19	0,00	0,00	0,00
7-8	0,00	0,00	0,17	0,32	0,46	0,52	0,53	0,50	0,46	0,24	0,04	0,00
8-9	0,00	0,03	0,11	0,15	0,21	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,07	0,02
9-10	0,06	0,11	0,32	0,37	0,49	0,48	0,48	0,48	0,47	0,39	0,24	0,13
10-11	0,04	0,08	0,18	0,20	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,22	0,15	0,08
11-12	0,04	0,09	0,18	0,22	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,23	0,15	0,10
12-13	0,07	0,18	0,35	0,41	0,55	0,78	0,76	0,77	0,69	0,45	0,31	0,17
13-14	0,02	0,07	0,15	0,18	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20	0,13	0,07
14-15	0,00	0,07	0,24	0,29	0,42	0,32	0,31	0,32	0,26	0,32	0,14	0,04
15-16	0,00	0,00	0,07	0,09	0,16	0,25	0,24	0,23	0,19	0,08	0,00	0,00
16-17	0,00	0,00	0,01	0,04	0,10	0,18	0,17	0,15	0,12	0,00	0,00	0,00
17-18	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
18-19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
/Dag	0,23	0,62	1,78	2,43	3,41	3,53	3,46	3,37	3,00	2,27	1,23	0,60
/Maand	7,1	17,5	55,1	73,0	105,6	105,8	107,3	104,5	89,9	70,3	36,8	18,7

Tabel B.6: Bespaarde kosten per collector (€)

De kosten die worden bespaard per jaar door de collector worden berekend door de bespaarde kosten van elke maand op te tellen. De bespaarde kosten per jaar zijn €791,60 per collector per gebruiksjaar.

B.7 Rendementsberekening vacuümbuiscollector

Het rendement van de vacuümbuiscollector wordt berekend op de methode zoals beschreven in hoofdstuk B.4. Voor deze berekening wordt, zoals ook bij de vlakke plaatcollector met glas, één voorbeeldcollector genomen. Er is gekozen voor de Vitosol 300-T collector van de firma Viessmann. Over deze collector is veel informatie beschikbaar, waarbij het daarnaast een betrouwbare en veel gebruikte collector is.

B.7.1 Reflectie

De reflectie van de vacuümbuiscollector is zeer klein, omdat alle lichtstralen worden gereflecteerd naar de absorber. De reflectie van de collector is door de fabrikant verwerkt in het rendement.

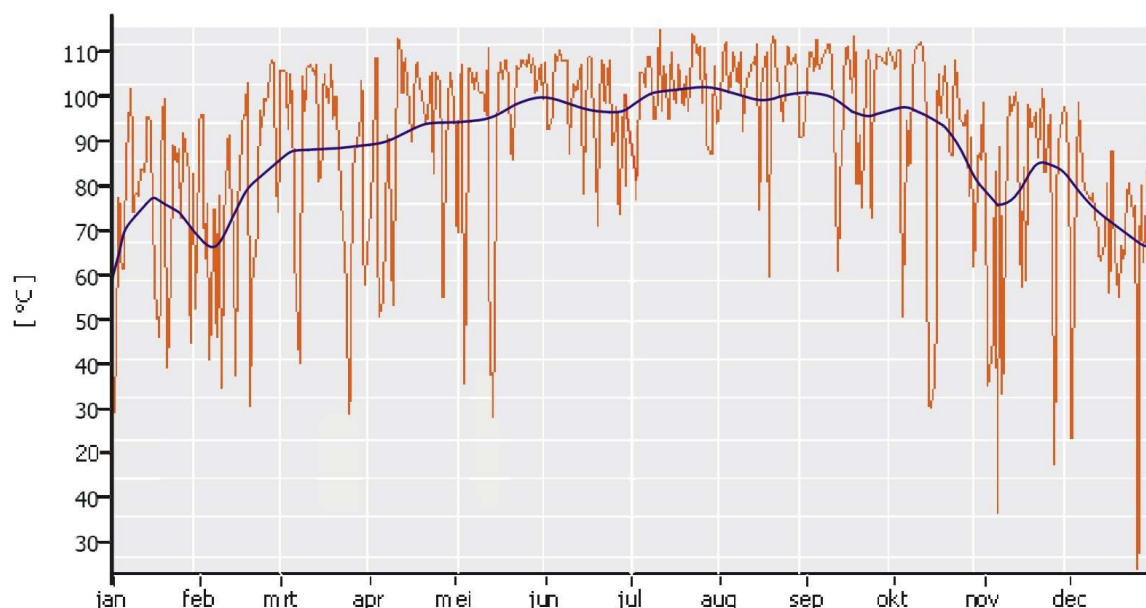
B.7.2 Rendement

Het rendement van de collector is bepaald uit fabrieksmetingen die zijn gedaan door de firma Viessmann. Het optische rendement is 81,5%⁹. Dat betekent dat 81,5% van de zonnestraling die op de collector schijnt, de absorber daadwerkelijk bereikt. De oppervlakte waarop de zon invalt is hierbij net zo groot als de absorber en is 2,006 vierkante meter.

B.7.3 Warmteverlies

Het warmteverlies van de collector is, evenals het rendement, empirisch bepaald door de fabrikant. De verliezen van de collector zijn weergegeven in de k1 en k2-waarde, die 1,19 W/m²·K respectievelijk 0,009 W/m²·K zijn.

De temperaturen van de absorber wijken erg af van de temperaturen van de vlakke plaatcollector. Er is daarom een nieuwe simulatie uitgevoerd waarin de absorbertemperaturen zijn berekend. In de grafiek geeft de blauwe lijn de gemiddelde waarde aan.



Figuur B.10: Dagelijkse maximum temperatuur vacuümbuiscollector

⁹ Bron: Vs_300_SP3_2qm_Leistungsprüfung.pdf; test-resultaten uitgevoerd door het IKW Duitsland

Het warmteverlies kan worden bepaald met het verschil tussen de absorbertemperatuur en de omgevingstemperatuur. In tabel B.7 staan de temperaturen weergegeven.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Max. Absorbertemp. (°C)	70	75	85	90	95	105	105	100	95	85	80	70
Max. Buitentemp. (°C)	16,3	18,3	23,9	28,3	35	40,6	42,2	40,6	36,1	30	22,8	16,7
Vershil (°C / K)	53,7	56,7	61,1	61,7	60	64,4	62,8	59,4	58,9	55	57,2	53,3

Tabel B.7: Gemiddelde maximale maandtemperaturen en het verschil

Met het verschil tussen de maximale absorbertemperatuur en de maximale buitentemperatuur kan een indicatie worden gegeven van het gemiddelde verschil tussen de temperaturen over de gehele dag. Dit wordt berekend met de methode uit paragraaf B.5.3.

De temperatuursverschillen tussen de absorber en de omgeving over de gehele dag zijn weergegeven in tabel B.8. Op de tijdstippen die niet in de tabel staan, is het temperatuursverschil 0 en is de collector buiten werking.

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
5-6	0,0	0,0	0,0	4,1	4,0	4,3	4,2	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0
6-7	0,0	4,3	4,7	12,3	11,9	12,8	12,5	11,8	4,5	4,2	4,4	0,0
7-8	4,8	13,0	14,0	20,5	19,9	21,4	20,8	19,7	13,5	12,6	13,1	4,8
8-9	14,5	21,7	23,3	28,6	27,9	29,9	29,2	27,6	22,5	21,0	21,8	14,4
9-10	24,2	30,3	32,7	36,8	35,8	38,4	37,5	35,5	31,5	29,4	30,6	24,0
10-11	33,8	39,0	42,0	45,0	43,8	47,0	45,8	43,3	40,5	37,8	39,3	33,6
11-12	48,3	52,0	56,0	57,3	55,7	59,8	58,3	55,2	54,0	50,4	52,4	48,0
12-13	48,3	52,0	56,0	57,3	55,7	59,8	58,3	55,2	54,0	50,4	52,4	48,0
13-14	33,8	39,0	42,0	45,0	43,8	47,0	45,8	43,3	40,5	37,8	39,3	33,6
14-15	24,2	30,3	32,7	36,8	35,8	38,4	37,5	35,5	31,5	29,4	30,6	24,0
15-16	14,5	21,7	23,3	28,6	27,9	29,9	29,2	27,6	22,5	21,0	21,8	14,4
16-17	4,8	13,0	14,0	20,5	19,9	21,4	20,8	19,7	13,5	12,6	13,1	4,8
17-18	0,0	4,3	4,7	12,3	11,9	12,8	12,5	11,8	4,5	4,2	4,4	0,0
18-19	0,0	0,0	0,0	4,1	4,0	4,3	4,2	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel B.8: Temperatuursverschil tussen absorber en omgeving (°C)

B.7.4 Collectoropbrengst

De opbrengst van de collector wordt berekend door het rendement van de collector te vermenigvuldigen met de radiantie, de verliezen hiervan af te trekken, en dit getal te vermenigvuldigen met de absorberoppervlakte. De verliezen worden berekend door de k1- en k2-waarde te vermenigvuldigen met de temperatuursverschillen. De opbrengst per collector staat weergegeven in tabel B.9.

Uur	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,14	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,06	0,21	0,30	0,38	0,41	0,39	0,35	0,28	0,12	0,00	0,00
6-7	0,42	0,57	0,66	0,75	0,84	0,89	0,90	0,89	0,83	0,70	0,48	0,36
7-8	0,87	1,04	1,08	1,18	1,27	1,35	1,40	1,42	1,38	1,25	1,02	0,87
8-9	1,20	1,39	1,41	1,51	1,62	1,71	1,80	1,85	1,82	1,68	1,43	1,23
9-10	1,41	1,63	1,62	1,73	1,84	1,96	2,07	2,14	2,11	1,97	1,70	1,46
10-11	1,48	1,71	1,69	1,80	1,93	2,05	2,18	2,26	2,22	2,09	1,81	1,54
11-12	1,48	1,71	1,69	1,80	1,93	2,05	2,18	2,26	2,22	2,09	1,81	1,54
12-13	1,41	1,63	1,62	1,73	1,84	1,96	2,07	2,14	2,11	1,97	1,70	1,46
13-14	1,20	1,39	1,41	1,51	1,62	1,71	1,80	1,85	1,82	1,68	1,43	1,23
14-15	0,87	1,04	1,08	1,18	1,27	1,35	1,40	1,42	1,38	1,25	1,02	0,87
15-16	0,42	0,57	0,66	0,75	0,84	0,89	0,90	0,89	0,83	0,70	0,48	0,36
16-17	0,00	0,06	0,21	0,30	0,38	0,41	0,39	0,35	0,28	0,12	0,00	0,00
17-18	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,14	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
18-19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
kWh/ dag	10,73	12,81	13,32	14,58	15,92	17,02	17,72	17,94	17,28	15,61	12,90	10,93
kWh/ maand	333	362	413	437	493	510	549	556	518	484	387	339

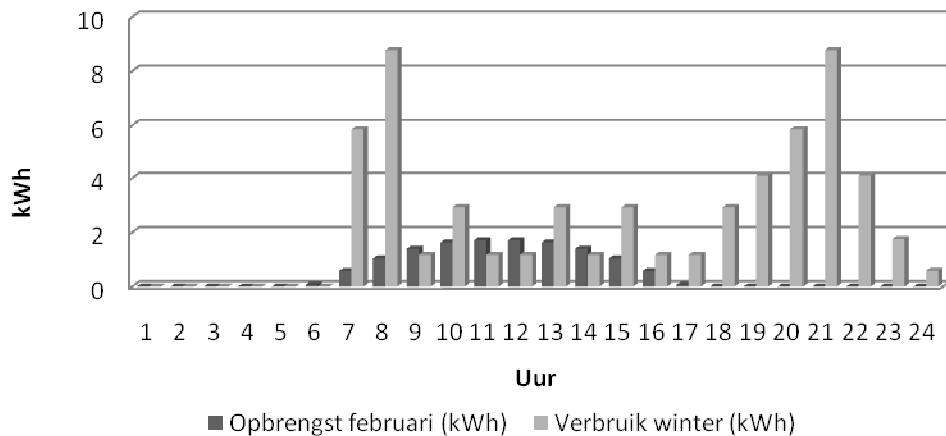
Tabel B.9: Optimale opbrengst per vacuümbuiscollector (kWh)

Gedurende een heel gebruiksjaar is de optimale opbrengst van de vacuümbuiscollector 5382 kWh.

De werkelijke opbrengst van de collector hoeft niet gelijk te zijn aan de opbrengst die staat weergegeven in tabel B.9. Bij de berekening is er namelijk vanuit gegaan dat er een onbeperkte hoeveelheid water gebruikt kan worden. Aangezien de buffer bestaat uit slechts twee boilers van 120 liter, kan de overcapaciteit van de collector overdag maar weinig worden gebruikt voor de opwarming voor het water voor buiten de zonuren. Daarnaast moet één boiler continue zijn gevuld met warm water, zodat het water meteen gebruikt kan worden. Daardoor is alleen de 200 liter combiboiler beschikbaar om koud water te verwarmen door de zon.

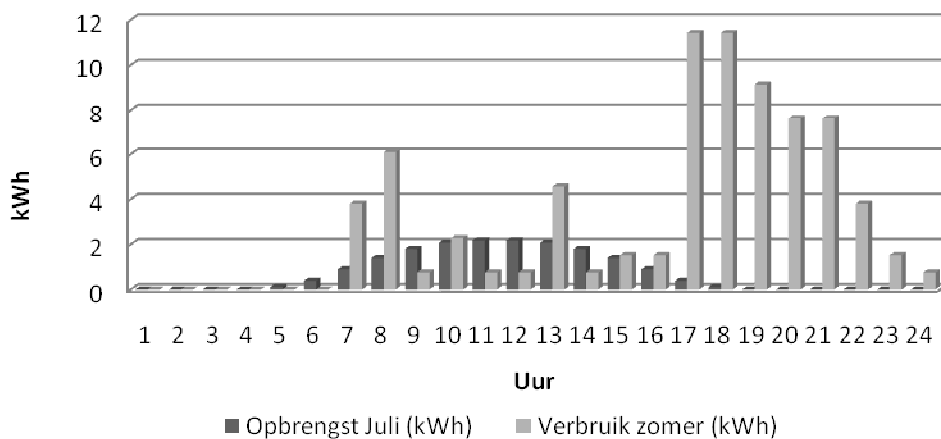
In de figuren B.11 en B.12 staan, ter vergelijking, de opbrengst van een collector en het elektriciteitsverbruik voor het verwarmen van water in een sanitair gebouw weergegeven. Hierin is het aandeel dat één zonnecollector kan leveren duidelijk zichtbaar.

Elektriciteitsgebruik winter voor waterverwarming



Figuur B.11: Deel van de elektriciteit dat door de collector kan worden geleverd (kWh)

Elektriciteitsgebruik zomer voor waterverwarming



Figuur B.12: Deel van de elektriciteit dat door de collector kan worden geleverd (kWh)

In figuur B.12 wordt duidelijk dat de zon overcapaciteit heeft. Om de exacte grootte van de overcapaciteit te berekenen, wordt in tabel B.10 laten zien wat het verschil is tussen de benodigde energie en de geleverde energie door de zon. Een negatief getal betekent dat er bij verwarmd moet worden, een positief getal betekent dat er overcapaciteit wordt geleverd door de zon.

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,14	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,06	0,21	0,30	0,38	0,41	0,39	0,35	0,28	0,12	0,00	0,00
6-7	-3,33	-3,17	-3,09	-3,00	-2,91	-1,54	-1,54	-1,55	-2,91	-3,04	-3,26	-3,39
7-8	-4,75	-4,58	-4,53	-4,44	-4,34	-2,55	-2,50	-2,47	-4,24	-4,37	-4,60	-4,74
8-9	0,45	0,65	0,66	0,76	0,87	1,23	1,32	1,37	1,07	0,93	0,68	0,48
9-10	-0,47	-0,25	-0,25	-0,15	-0,03	0,50	0,61	0,68	0,24	0,10	-0,17	-0,41
10-11	0,73	0,96	0,94	1,06	1,18	1,56	1,70	1,78	1,48	1,34	1,06	0,79
11-12	0,73	0,96	0,94	1,06	1,18	1,56	1,70	1,78	1,48	1,34	1,06	0,79
12-13	-0,47	-0,25	-0,25	-0,15	-0,03	-0,97	-0,85	-0,78	0,24	0,10	-0,17	-0,41
13-14	0,45	0,65	0,66	0,76	0,87	1,23	1,32	1,37	1,07	0,93	0,68	0,48
14-15	-1,01	-0,84	-0,79	-0,70	-0,60	0,38	0,42	0,45	-0,49	-0,62	-0,85	-1,00
15-16	-0,33	-0,17	-0,09	0,00	0,09	-0,08	-0,07	-0,08	0,08	-0,05	-0,26	-0,39
16-17	-0,75	-0,68	-0,54	-0,45	-0,37	-6,91	-6,92	-6,96	-0,47	-0,63	-0,75	-0,75
17-18	-1,87	-1,87	-1,87	-1,84	-1,78	-7,17	-7,20	-7,27	-1,87	-1,87	-1,87	-1,87
18-19	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62
19-20	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74
20-21	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62	-5,62
21-22	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62	-2,62
22-23	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12
23-24	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37

Tabel B.10: Verschil tussen benodigde hoeveelheid energie en zonne-energie (kWh)

In tabel B.10 is te zien dat de maximale overcapaciteit van de zon (in augustus van 8 uur tot en met 12 uur) achter elkaar 5,61 kWh uur is. De hoeveelheid warm water die hiermee kan worden opgewarmd worden, wordt berekend met de formule:

$$m = Q / (c \cdot \Delta T)$$

m: De massa van het verwarmde water [kg]

Q: De hoeveelheid energie [kJ]
= 5,61 kWh · 3600 = 20.196 kJ

c: De soortelijke warmte van het water [kJ/(kg·K)]
= 4,186 kJ/(kg·K)

ΔT: Het temperatuurverschil dat het water moet opwarmen [°C of K]
= 65 °C – 20 °C = 45 °C

$$m = 20.196 / (4,186 \cdot 45) = 107,20 \text{ kg} \approx 107 \text{ l}$$

Er kan maximaal 107 liter extra water worden opgewarmd in drie uur tijd met de overcapaciteit van de zon op specifieke momenten. De buffer voor de collector is 200 liter,

de overcapaciteit van de zon kan hierdoor worden gebruikt. Hierom kan gesteld worden dat alle energie in de zonnecollector kan worden gebruikt om het water te verwarmen.

Per jaar wordt per collector 5382 kWh aan warmte opgewekt. De opbrengst per vierkante meter van de collector is 1753 kWh.

De convectiewarmte van de collector laat het water in temperatuur stijgen. Deze besparing aan energie kan worden geconverteerd naar een besparing in kosten. Dit wordt gedaan door de besparing in kWh te vermenigvuldigen met het verbruik van de aggregaten. Het verbruik van de aggregaten is 0,236 l/kWh. De uitkomst van dit product is het verbruik aan diesel uitgedrukt in liters. Door het aantal liter diesel te vermenigvuldigen met de kostprijs van diesel, dat €1,38 is, wordt de besparing in euro's gekregen. De besparing aan kosten is weergegeven in tabel B.11.

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,02	0,07	0,10	0,12	0,13	0,13	0,11	0,09	0,04	0,00	0,00
6-7	0,14	0,19	0,21	0,24	0,27	0,29	0,29	0,29	0,27	0,23	0,16	0,12
7-8	0,28	0,34	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,46	0,45	0,41	0,33	0,28
8-9	0,39	0,45	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,60	0,59	0,55	0,47	0,40
9-10	0,46	0,53	0,53	0,56	0,60	0,64	0,68	0,70	0,69	0,64	0,55	0,48
10-11	0,48	0,56	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,72	0,68	0,59	0,50
11-12	0,48	0,56	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,72	0,68	0,59	0,50
12-13	0,46	0,53	0,53	0,56	0,60	0,64	0,68	0,70	0,69	0,64	0,55	0,48
13-14	0,39	0,45	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,60	0,59	0,55	0,47	0,40
14-15	0,28	0,34	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,46	0,45	0,41	0,33	0,28
15-16	0,14	0,19	0,21	0,24	0,27	0,29	0,29	0,29	0,27	0,23	0,16	0,12
16-17	0,00	0,02	0,07	0,10	0,12	0,13	0,13	0,11	0,09	0,04	0,00	0,00
17-18	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
18-19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal/ dag:	3,49	4,17	4,34	4,75	5,18	5,54	5,77	5,84	5,63	5,08	4,20	3,56
Totaal/ maand:	108	118	135	142	161	166	179	181	169	158	126	110

Tabel B.11: Bespaarde kosten per collector (€)

Met de collector wordt per jaar €1752,88 aan brandstofkosten bespaard.

Bijlage C Irradiantie

De waarden voor de irradiantie van de zon zijn verkregen uit het programma op de site sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang=en&map=africa (10 februari 2009). In de tabellen staat dir. instr. voor de hoeveelheid directe instraling in Watt per vierkante meter en diff.instr. staat voor de hoeveelheid diffuse instraling in Watt per vierkante meter. De locatie waar deze waarden gelden is nabij de stad Farah, op locatie 32°53'51" Noorderbreedte, 60°2'47" Oosterlengte.

Tijd	Januari		Februari		Maart		April	
	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)
5.13	0	0	0	0	0	0	0	0
5.38	0	0	0	0	0	0	0	0
5.63	0	0	0	0	0	0	0	24
5.88	0	0	0	0	0	0	0	45
6.13	0	0	0	0	0	25	9	62
6.38	0	0	0	0	16	45	29	83
6.63	0	0	0	28	38	73	55	103
6.88	0	0	48	53	66	94	85	121
7.13	45	42	82	86	97	113	117	139
7.38	78	65	118	104	129	130	151	154
7.63	113	93	155	121	163	146	186	168
7.88	148	108	192	136	197	160	221	181
8.13	182	121	229	149	231	172	256	192
8.38	215	133	264	161	264	183	291	201
8.63	247	143	299	171	296	192	325	210
8.88	277	153	332	180	328	200	357	216
9.13	305	161	363	188	357	207	388	222
9.38	332	168	393	194	385	212	417	227
9.63	357	174	420	200	411	217	444	230
9.88	380	179	445	204	435	220	469	233
10.13	400	183	468	208	457	223	492	235
10.38	418	186	488	211	476	225	512	236
10.63	434	189	506	213	492	227	529	237
10.88	447	191	521	215	507	228	544	238
11.13	458	193	532	216	518	229	556	239
11.38	466	194	541	217	526	230	565	239
11.63	472	195	547	217	532	230	571	239
11.88	474	195	550	218	535	230	574	239
12.13	474	195	550	218	535	230	574	239
12.38	472	195	547	217	532	230	571	239
12.63	466	194	541	217	526	230	565	239
12.88	458	193	532	216	518	229	556	239
13.13	447	191	521	215	507	228	544	238
13.38	434	189	506	213	492	227	529	237
13.63	418	186	488	211	476	225	512	236
13.88	400	183	468	208	457	223	492	235
14.13	380	179	445	204	435	220	469	233
14.38	357	174	420	200	411	217	444	230

14.63	332	168	393	194	385	212	417	227
14.88	305	161	363	188	357	207	388	222
15.13	277	153	332	180	328	200	357	216
15.38	247	143	299	171	296	192	325	210
15.63	215	133	264	161	264	183	291	201
15.88	182	121	229	149	231	172	256	192
16.13	148	108	192	136	197	160	221	181
16.38	113	93	155	121	163	146	186	168
16.63	78	65	118	104	129	130	151	154
16.88	45	42	82	86	97	113	117	139
17.13	0	0	48	53	66	94	85	121
17.38	0	0	0	28	38	73	55	103
17.63	0	0	0	0	16	45	29	83
17.88	0	0	0	0	0	25	9	62
18.13	0	0	0	0	0	0	0	45
18.38	0	0	0	0	0	0	0	24
18.63	0	0	0	0	0	0	0	0
18.88	0	0	0	0	0	0	0	0

Gemiddelde waarden per uur (W/m2)

5-6	0	0	0	0	0	0	0	17
6-7	0	0	12	20	30	59	45	92
7-8	96	77	137	112	147	137	169	161
8-9	230	138	281	165	280	187	307	205
9-10	344	171	405	197	397	214	430	228
10-11	425	187	496	212	483	226	519	237
11-12	468	194	543	217	528	230	567	239
12-13	468	194	543	217	528	230	567	239
13-14	425	187	496	212	483	226	519	237
14-15	344	171	405	197	397	214	430	228
15-16	230	138	281	165	280	187	307	205
16-17	96	77	137	112	147	137	169	161
17-18	0	0	12	20	30	59	45	92
18-19	0	0	0	0	0	0	0	17

Mei			Juni		Juli		Augustus	
Tijd	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)
5.13	0	0	0	34	0	23	0	0
5.38	0	38	0	53	0	42	0	0
5.63	0	57	0	71	0	61	0	36
5.88	0	76	0	89	0	78	0	56
6.13	16	83	21	87	19	80	14	67
6.38	41	102	50	104	49	97	42	86
6.63	70	119	84	121	83	114	76	105
6.88	103	136	120	136	121	130	115	123
7.13	138	151	159	151	162	144	157	139
7.38	174	165	199	164	205	158	201	155
7.63	211	178	239	175	249	170	247	168
7.88	249	189	280	186	293	181	293	181
8.13	286	199	320	195	336	190	339	192
8.38	322	207	360	202	380	199	384	201
8.63	358	214	398	209	422	206	428	209
8.88	392	220	436	215	462	212	471	216
9.13	424	225	471	219	501	217	511	221
9.38	455	229	504	222	538	221	550	226
9.63	484	232	535	225	572	224	585	230
9.88	510	234	564	227	604	226	618	232
10.13	534	236	590	229	632	228	648	235
10.38	555	237	613	230	658	229	675	236
10.63	574	238	633	230	680	230	698	237
10.88	589	238	650	231	698	231	717	238
11.13	602	238	664	231	713	231	733	239
11.38	611	239	674	231	725	232	745	239
11.63	618	239	681	231	732	232	753	239
11.88	621	239	684	231	736	232	757	239
12.13	621	239	684	231	736	232	757	239
12.38	618	239	681	231	732	232	753	239
12.63	611	239	674	231	725	232	745	239
12.88	602	238	664	231	713	231	733	239
13.13	589	238	650	231	698	231	717	238
13.38	574	238	633	230	680	230	698	237
13.63	555	237	613	230	658	229	675	236
13.88	534	236	590	229	632	228	648	235
14.13	510	234	564	227	604	226	618	232
14.38	484	232	535	225	572	224	585	230
14.63	455	229	504	222	538	221	550	226
14.88	424	225	471	219	501	217	511	221
15.13	392	220	436	215	462	212	471	216
15.38	358	214	398	209	422	206	428	209
15.63	322	207	360	202	380	199	384	201
15.88	286	199	320	195	336	190	339	192
16.13	249	189	280	186	293	181	293	181
16.38	211	178	239	175	249	170	247	168

16.63	174	165	199	164	205	158	201	155
16.88	138	151	159	151	162	144	157	139
17.13	103	136	120	136	121	130	115	123
17.38	70	119	84	121	83	114	76	105
17.63	41	102	50	104	49	97	42	86
17.88	16	83	21	87	19	80	14	67
18.13	0	76	0	89	0	78	0	56
18.38	0	57	0	71	0	61	0	36
18.63	0	38	0	53	0	42	0	0
18.88	0	0	0	34	0	23	0	0

Gemiddelde waarden per uur (W/m2)

5-6	0	43	0	62	0	51	0	23
6-7	58	110	69	112	68	105	62	95
7-8	193	171	219	169	227	163	225	161
8-9	340	210	379	205	400	202	406	205
9-10	468	230	519	223	554	222	566	227
10-11	563	237	622	230	667	230	685	237
11-12	613	239	676	231	727	232	747	239
12-13	613	239	676	231	727	232	747	239
13-14	563	237	622	230	667	230	685	237
14-15	468	230	519	223	554	222	566	227
15-16	340	210	379	205	400	202	406	205
16-17	193	171	219	169	227	163	225	161
17-18	58	110	69	112	68	105	62	95
18-19	0	43	0	62	0	51	0	23

September			Oktober		November		December	
Tijd	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)	Dir. Instr. (W/m ²)	Diff. Instr. (W/m ²)
5.13	0	0	0	0	0	0	0	0
5.38	0	0	0	0	0	0	0	0
5.63	0	0	0	0	0	0	0	0
5.88	0	0	0	0	0	0	0	0
6.13	6	36	0	0	0	0	0	0
6.38	27	62	0	0	0	0	0	0
6.63	58	84	32	43	0	0	0	0
6.88	96	104	66	77	0	24	0	0
7.13	137	123	107	98	60	51	0	25
7.38	181	141	150	117	101	86	71	54
7.63	227	157	195	135	143	104	110	87
7.88	273	171	240	150	186	120	148	102
8.13	319	183	284	164	228	135	186	115
8.38	365	194	328	176	269	147	222	128
8.63	409	203	371	187	308	159	256	138
8.88	452	211	412	196	346	168	289	148
9.13	492	218	451	203	382	177	320	156
9.38	531	223	488	210	416	184	349	163
9.63	567	228	522	215	447	190	376	169
9.88	600	231	553	220	476	196	401	174
10.13	629	234	582	223	502	200	423	179
10.38	656	236	607	226	525	204	443	182
10.63	679	238	629	228	546	207	460	185
10.88	698	239	648	230	562	209	474	188
11.13	714	240	663	231	576	211	486	190
11.38	726	240	674	232	586	212	494	191
11.63	734	241	681	233	593	213	500	192
11.88	738	241	685	233	597	213	503	192
12.13	738	241	685	233	597	213	503	192
12.38	734	241	681	233	593	213	500	192
12.63	726	240	674	232	586	212	494	191
12.88	714	240	663	231	576	211	486	190
13.13	698	239	648	230	562	209	474	188
13.38	679	238	629	228	546	207	460	185
13.63	656	236	607	226	525	204	443	182
13.88	629	234	582	223	502	200	423	179
14.13	600	231	553	220	476	196	401	174
14.38	567	228	522	215	447	190	376	169
14.63	531	223	488	210	416	184	349	163
14.88	492	218	451	203	382	177	320	156
15.13	452	211	412	196	346	168	289	148
15.38	409	203	371	187	308	159	256	138
15.63	365	194	328	176	269	147	222	128
15.88	319	183	284	164	228	135	186	115
16.13	273	171	240	150	186	120	148	102
16.38	227	157	195	135	143	104	110	87
16.63	181	141	150	117	101	86	71	54

16.88	137	123	107	98	60	51	0	25
17.13	96	104	66	77	0	24	0	0
17.38	58	84	32	43	0	0	0	0
17.63	27	62	0	0	0	0	0	0
17.88	6	36	0	0	0	0	0	0
18.13	0	0	0	0	0	0	0	0
18.38	0	0	0	0	0	0	0	0
18.63	0	0	0	0	0	0	0	0
18.88	0	0	0	0	0	0	0	0

Gemiddelde waarden per uur (W/m2)

5-6	0	0	0	0	0	0	0	0
6-7	47	72	25	30	0	6	0	0
7-8	205	148	173	125	123	90	82	67
8-9	386	198	349	181	288	152	238	132
9-10	548	225	504	212	430	187	362	166
10-11	666	237	617	227	534	205	450	184
11-12	728	241	676	232	588	212	496	191
12-13	728	241	676	232	588	212	496	191
13-14	666	237	617	227	534	205	450	184
14-15	548	225	504	212	430	187	362	166
15-16	386	198	349	181	288	152	238	132
16-17	205	148	173	125	123	90	82	67
17-18	47	72	25	30	0	6	0	0
18-19	0	0	0	0	0	0	0	0

Bijlage D Berekening opbrengst vlakke plaatcollector zonder glas

In deze bijlage wordt de opbrengst van de glasloze vlakke plaatcollector berekend. Omdat geen gegevens bekend zijn van efficiëntie en warmteverliezen van deze collector, wordt een simulatie uitgevoerd. In hoofdstuk D.1 Worden de formules toegelicht. In hoofdstuk D.2 wordt het script voor het programma Matlab en de resultaten hiervan getoond.

D.1 Uitwerking berekeningen

Voor de berekening van de opbrengst van de glasloze vlakke plaatcollector moet bekend zijn wat de intensiteit van de zon is die op de collector schijnt. De hoeveelheid zonnestraling I in Watt per vierkante meter die op de collector valt staat weergegeven in bijlage C.

D.1.1 Reflectie

Niet alle zonnestraling kan worden opgevangen door de collector. De absorptiviteit van de collector is 0,94, dat betekent dat 6% van de zonnestraling wordt gereflecteerd door de collector.

Van de diffuse straling wordt zelfs minder dan 0,94% door de collector geabsorbeerd. Ongeveer 80% van de diffuse straling kan worden geabsorbeerd door de collector.

D.1.2 Temperatuurverschil van het water

De warmte Q is de hoeveelheid energie die wordt overgedragen naar het water of de omgeving. Het is de hoeveelheid warmte in Watt die benodigd is om water met debiet v met een grootte van ΔT op te warmen. Het temperatuurverschil ΔT is dus het temperatuurverschil van het water voor en na de verwarming.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [W] \quad (1)$$

$$= \rho \cdot v \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$m = \rho \cdot v \quad [kg/s]$$

$$\rho = 1000 \quad kg/m^3$$

$$v = 8,3 \cdot 10^{-6} \quad m^3/s$$

$$C_p = 4,18 \cdot 10^3 \quad J/(kg \cdot K)$$

De simulatie is een iteratief proces. Allereerst wordt een schatting gemaakt voor de hoeveelheid warmteoverdracht naar het water (Q). Deze waarde van Q komt terug in alle formules.

Met de geschatte waarde van Q wordt het temperatuurverschil van het water berekend met behulp van formule (2). Met dit temperatuurverschil wordt de gemiddelde temperatuur van het water berekend, door bij de temperatuur van het grondwater in Afghanistan (de instroomtemperatuur in de collector) de helft van ΔT op te tellen.

D.1.3 Convectiewarmte naar het water

Doordat de gemiddelde temperatuur van het water (T_{water}) nu bekend is, kan worden berekend wat de temperatuur van de binnenzijde van de collectorbuis moet zijn om het

water zoveel te verwarmen. Dit wordt gedaan met formule (3). Met deze formule wordt de convectiewarmte [W] die van de collector buis naar het water gaat berekend.

$$Q = h_{\text{water}} \cdot A \cdot (T_{\text{wand}} - T_{\text{water}}) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Q: De geschatte waarde voor Q [W]

h_{water} : De warmteoverdrachtscoëfficiënt van het water [W/(K·m²)]

$$h_{\text{water}} = \frac{Nu \cdot k}{D_i} = 443 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$$

$$Nu = 4,36^1$$

$k = k_{\text{water}} = 0,61 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$: Warmteoverdrachtscoëfficiënt

$D_i = 0,006 \text{ m}$: Binnendiameter buis EPDM

A: De oppervlakte van de binnenzijde van de buis

$$= \pi \cdot D_i \cdot L \cdot n$$

L = 2,79 m: Lengte van de buis

n = 1: Aantal beschouwde buizen

$$= 0,053 \text{ m}^2$$

T_{wand} : De temperatuur van de binnenzijde van de EPDM-buis

T_{water} : De gemiddelde temperatuur van het water ($T_{\text{in}} + \frac{\Delta T}{2}$)

De formule voor de temperatuur van de binnenzijde van de buiswand is:

$$T_{\text{wand}} = \frac{Q}{h_{\text{water}} \cdot A} + T_{\text{water}} \quad (4)$$

De temperatuur van de binnenzijde van de buis is nu bekend.

D.1.4 Conductiewarmte in de buis

Om de binnenzijde van de buis op de berekende temperatuur T_{wand} te krijgen, moet een bepaalde hoeveelheid warmte aan de buitenzijde van de buis naar binnen dringen. De warmte gaat door conductie door de buis. De buitenzijde van de buis moet hiervoor een specifieke temperatuur hebben. De warmte-overdracht door conductie kan worden berekend met formule (5).

$$Q = \frac{T_{\text{buis;buiten}} - T_{\text{buis;binnen}}}{R_{\text{cond}}} \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Q: De geschatte waarde voor Q [W]

$T_{\text{buis;buiten}}$: Temperatuur aan de buitenzijde van de collectorbuis [°C of K]

$T_{\text{buis;binnen}}$: Temperatuur aan de binnenzijde van de collectorbuis [°C of K]

R_{cond} : Conductieweerstand van de buis [K/W]

¹ Er is sprake van laminaire stroming (Re=1328), in een situatie van constante warmteoverdracht naar het water ($Nu=4,36$)

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \text{ [K/W]}$$

	$D_i = 0,006\text{m:}$	Binnendiameter collectorbuis
	$D_o = 0,009\text{m:}$	Buitendiameter collectorbuis
	$L = 2,79 \text{ m:}$	Lengte collectorbuis
	$k=k_{\text{buis}} = 0,26 \text{ W/(m}\cdot\text{K):}$	Warmteoverdrachtscoëfficiënt
	$n = 1:$	Aantal beschouwde buizen
R_{cond}	$= 8,90 \cdot 10^{-2} \text{ K/W}$	

Met formule (6) kan de buitentemperatuur van de collectorbuis worden berekend:

$$T_{\text{buis;buiten}} = Q \cdot R_{\text{cond}} + T_{\text{buis;binnen}} \quad (6)$$

D.1.5 Radiatie naar de lucht

De hoeveelheid warmte die vanuit de buis door radiatie naar de lucht toe gaat, kan alleen in de omgeving komen via de bovenzijde van de collector. De onderzijde van de collector zit tegen het dak. Tussen de collector en het dak is de temperatuur ongeveer gelijk aan die van de collector en hierdoor zal er geen warmte ontsnappen aan de onderzijde. De radiatie kan worden berekend met formule (7):

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{buis;buiten}}^4 - T_{\text{omgeving}}^4) \quad (7)$$

$\varepsilon =$	0,86:	Emissiviteit van de collectorbuis
$\sigma =$	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4):$	Constante van Stefan-Boltzmann
$A =$	Oppervlakte bovenkant buitenzijde collectorbuizen	
	$= \pi \cdot D_o / 2 \cdot L \cdot n = 0,039 \text{ m}^2$	
$T_{\text{buis;buiten}}$	$=$	Temperatuur buitenzijde collectorbuis [K]
T_{omgeving}	$=$	Temperatuur omgeving [K]

D.1.6 Convectie naar de lucht

Door de wind die over de zonnecollector waait koelt de collector af. De gemiddelde windsnelheid in Afghanistan is 3 m/s^2 .

De formule om de hoeveelheid convectie naar de lucht te berekenen is:

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{lucht}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (8)$$

$h_{\text{lucht}}:$	De warmteoverdrachtscoëfficiënt van lucht
	$= \frac{Nu \cdot k}{L}$
Nu	$= (0,037 \text{ Re}_l^{0,8} - 871) \cdot \text{Pr}^{1/3} = 1318$
Re_l	$= 1,1 \cdot 10^6$ ³
Pr	$= 0,73$
k	$= k_{\text{lucht}} = 0,026 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

² Bron: <http://www.wunderground.com/history/airport/OAKB>; 16 maart 2009

³ De grootte van het reynoldsgetal ($1,1 \cdot 10^6$) betekent dat er sprake is van een laminair-turbulente overgang, ofwel een transitiegebied.

$$L = 2,79 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{lucht}} &= 12,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \\ A &= \pi \cdot D_o / 2 \cdot L \cdot n = 0,039 \text{ m}^2 \\ \Delta T &= T_{\text{buis;buiten}} [\text{K}] - T_{\text{omgeving}} [\text{K}] \end{aligned}$$

D.1.7 Controle van geschatte waarde Q

Alle berekende waarden zijn gebaseerd op een schatting voor de convectiewarmte die naar het water gaat. Om te controleren of deze schatting juist is, moet gecontroleerd worden of de warmte die van de zon in de collector komt, weer volledig wordt afgegeven aan het water en de omgeving. De controle wordt gedaan door formule (9):

$$\text{Verschil} = I - (Q_{\text{conv;water}} + Q_{\text{rad;lucht}} + Q_{\text{conv;lucht}}) \quad (9)$$

Verschil:	Het verschil in inkomende en uitgaande warmte [W]
I:	De inkomende warmte van de zon (irradiantie) [W]
$Q_{\text{conv;water}}$:	De convectiewarmte die het water opneemt [W]
$Q_{\text{rad;lucht}}$:	De radiatiewarmte die de omgeving opneemt [W]
$Q_{\text{conv;lucht}}$:	De convectiewarmte die de omgeving opneemt [W]

Indien het verschil positief is, moeten de convectie- en radiatiewarmte groter zijn. Bij de schatting voor de convectiewarmte die het water opneemt, wordt de helft van het verschil opgeteld ($Q_{\text{conv;water}} = Q_{\text{conv;water}} + \text{Verschil}/2$).

Indien het verschil negatief is, moeten de convectie- en radiatiewarmte kleiner zijn. Bij de schatting voor de convectiewarmte die het water opneemt, wordt de helft van het verschil opgeteld ($Q_{\text{conv;water}} = Q_{\text{conv;water}} + \text{Verschil}/2$). Het verschil is in dit geval negatief.

Op het moment dat er een nieuwe schatting is voor de convectiewarmte die naar het water gaat, worden alle berekeningen opnieuw uitgevoerd. Dit proces wordt herhaald totdat het verschil minder dan 0,1 Watt is.

Voor de uitvoering van de iteratieve berekeningen wordt gebruik gemaakt van het programma Matlab. Dit programma berekent voor elk uur van de dag en voor elke maand van het jaar de convectie- en radiatiewarmtes. De programmeringscode is te zien in hoofdstuk D.2.

D.2 Programmeringscode Matlab

Het script dat in het programma Matlab is ingevoerd, is op pagina 5 tot en met 8 van deze bijlage weergegeven.

```

function Opbrengst=W

Izon=load('zonintensiteittabel.txt'); %Inladen tabel zonintensiteit
Tbuiten=load('temperatuurtabel.txt'); %Inladen tabel buitentemperatuur
vwinter=load('snelheidwinter.txt'); %Inladen tabel watersnelheid in
winter
vzomer=load('snelheidzomer.txt'); %Inladen tabel watersnelheid in
zomer
Twin=20; %Watertemperatuur in, de temperatuur van het
grondwater

u=1; %Teller voor het uur zetten op eerste
beschouwde uur van de dag (0500-0600 uur)
m=1; %Teller voor de maand zetten op eerste maand
(januari)
control=1; %Teller ter controle

%Buis
Din=0.006; %Binnendiameter buis
Dout=0.009; %Buitendiameter buis
L=2.79; %Lengte buis
n=1; %Aantal beschouwde buizen in berekening
b=144; %Aantal buizen per collector
Aout=Dout*L*pi; %Oppervlakte buitenkant enkele buis
Ain=Din*L*pi.*n; %Oppervlakte totale binnenkant buizen
Alucht=Dout.*pi.*L.*n./2; %Oppervlakte met buitenlucht
Azon=Dout.*L.*n; %Oppervlakte voor (rechte) inval zonlicht

%Constanten
cp=4.18*10^3; %Soortelijke warmte water
rho=1000; %Dichtheid water
V=v/(Din^2*pi/4); %Snelheid water in m/s
Hi=443; %Warmteoverdrachtscoëfficiënt naar water
Kepdm=0.26; %Thermal conduction coefficient (T.c.c.) van
EPDM
Klucht=0.026; %T.c.c. van lucht [W/(m*K)]
Kwater=0.61; %T.c.c. van water
e=0.86; %Emissiviteit van EPDM
sigma=5.67*10^(-8); %Constante in W/(m^2*K^4)
Hl=1318*0.026/L; %Warmteoverdrachtscoëfficiënt voor Convection
naar lucht
Rcond=log(Dout./Din)/(2.*pi.*L.*n.*Kepdm); %Conductieweerstand in de buis

%Start loop

while u<=14 & m <= 12 %Het uur moet kleiner zijn dan 15 en de
maand kleiner dan 13
    I=Izon(u,m).*Azon; %Instraling zon op collector is Intensiteit
zon (uit tabel) x oppervlakte collector
    To=Tbuiten(u,m); %Buitentemperatuur wordt uit de tabel
gehaald

    if m >= 6 & m <= 9 %Voor de maanden juni t/m september
        v=vzomer(u); %De opgegeven snelheid voor de zomer
    else %Voor de overige maanden
        v=vwinter(u); %De opgegeven snelheid voor de winter
    end
end

```

```

if v < 4.82*10^(-8)      %De minimale snelheid voor het water in de
                        collector is 4,82*10^(-8) m^3/s
    v=4.82*10^(-8);
end

if control == 1         %Elke nieuwe maand op uur 1 wordt
                        schatting Qwconv vernieuwd
    Qwconv=0.6.*I;      %De schatting voor Q is 60% van de
                        instraling van de zon
end

mg=rho.*v;             %Massagetal van water wordt berekend
                        (afhankelijk van de snelheid)
dTwater=Qwconv./(mg.*cp); %Verschil van watertemperatuur (=Twin-
                        Twout)
    Twout=Twin+dTwater; %Watertemperatuur uit
    Twgem=(Twin+Twout)./2; %Watertemperatuur gemiddeld
Tbin=Qwconv./(Hi.*Ain)+Twgem; %Temperatuur binnenkant buis

dT=Tbin-Twgem;         %Verschil in buistemperatuur en
                        watertemperatuur

Tbout=Qwconv.*Rcond+Tbin; %Benodigde temperatuur buitenkant buis
                        voor de convectie
Tboutk=Tbout+273;      %Temperatuur buitenkant buis in Kelvin
Tok=To+273;           %Temperatuur lucht in Kelvin

Qlrad=e.*sigma.*Alucht.*(Tboutk.^4-Tok.^4); %Hoeveelheid radiatie naar
                        de lucht
Qlconv=Hl.*Alucht.*(Tbout-To); %Hoeveelheid convectie naar
                        de lucht

if Qlrad < 0           %De hoeveelheid radiatie naar de
                        lucht kan niet kleiner dan 0 zijn
    Qlrad=0;
end
if Qlconv < 0         %De hoeveelheid convectie naar de
                        lucht kan niet kleiner dan 0 zijn
    Qlconv =0;
end

Verschil=I-(Qlrad+Qlconv+Qwconv); %Verschil tussen instraling
zou en warmteoverdracht naar
water&lucht

if Verschil >= 0.1    %Als Verschil groter of gelijk
                        is aan 0.1
    Qwconv = Qwconv + Verschil/2; %Nieuwe benadering van Q
                        (convectie water)(moet groter)
elseif Verschil <= -0.1 %Als Verschil kleiner of gelijk
                        is aan -0.1
    Qwconv = Qwconv + Verschil/2; %Nieuwe benadering van Q
                        (convectie naar water)(moet
                        kleiner)
                        %Ook hier wordt opgeteld, omdat
                        Verschil nu een negatief getal is
else                  %Als de vergelijking klopt

```

```

        if Qwconv <= 0
            %Negatieve straling is niet
            %mogelijk, omdat het water dan niet
            %door de collector gaat
            Qwconv = 0;
            %De convectie naar het water is
            %dan 0
        end
        W(u,m)=Qwconv;
        %Geef de waarde van Q door in de
        %tabel W op het juiste uur en maand
        Qrad(u,m)=Qlrad;
        %Geef de waarde van Qradiatie door
        %in de tabel W op het juiste uur en
        %maand
        Qconv(u,m)=Qlconv;
        %Geef de waarde van Qconvectie door
        %in de tabel W op het juiste uur en
        %maand
        Itabel(u,m) = I;
        %Geef de waarde van de zon-
        %intensiteit door in de tabel W op
        %het juiste uur en maand
        control=0;
        %Resetten van control, want waarde
        %is goed (0 in verband met optellen
        %onderin de loop)

        if dTwater > 0
            %Als het water wordt opgewarmd
            dTemp(u,m) = dTwater;
            %De waarde van dTwater wordt in
            %de tabel dTemp gedaan op het
            %juiste uur en maand
        end

        if u==14
            %Als laatste uur van een dag is bereikt
            m=m+1;
            %Volgende maand wordt beschouwd
            u=1;
            %Benader weer uur 1
        else
            %Als het nog niet het laatste uur van de
            %dag is
            u=u+1;
            %volgende uur uitrekenen
        end
    end

    control=control+1;
    %Controle functie, voorkomt dat
    %het programma blijft itereren
    if control==50
        %Maximale vijftig iteraties
        if u<14
            %Indien nog niet laatste
            %uur van de dag
            u=u+1;
            %Doorgaan met volgende uur
        else
            %Indien wel het laatste uur
            %van de dag
            u=1;
            %Beginnen bij eerste uur
            %van de dag
            m=m+1;
            %Beginnen bij de volgende
            %maand
        end
    end

    W='error'
    %Indien vijftig iteraties
    %bereikt: Error als output
    control=1
    %Resetten van control
end
%Einde van de loop

Itabel;
W=W.*b
%Vermenigvuldig de hoeveelheid convectie naar het water
%(Q) met het aantal buizen (en laat zien)

```

```
Qrad=Qrad.*b      %Vermenigvuldig de hoeveelheid radiatie naar de lucht
met              het aantal buizen (en laat zien)
Qconv=Qconv.*b    %Vermenigvuldig de hoeveelheid convectie naar de lucht
met              het aantal buizen (en laat zien)
dTemp            %Laat de tabel van het verschil in temperatuur van het
                water zien (door convectie)
```


D.2.1 Ingevoerde tabellen voor simulatie

De tabellen die zijn ingevoerd in de simulatie worden in deze paragraaf laten zien. De kolommen staan voor de maanden januari tot en met december, en de rijen zijn de tijden, beginnend bij 0500 tot 0600 uur, en eindigend bij 1800-1900 uur.

De tabel zonintensiteittabel.txt ziet er als volgt uit:

0	0	0	14	34	49	41	18	0	0	0	0
0	27	76	116	142	154	148	134	101	47	5	0
152	218	248	287	318	341	344	340	311	263	187	131
326	396	412	453	487	520	537	545	521	472	392	330
459	538	544	586	624	666	698	714	695	643	554	472
549	635	635	677	719	768	811	833	815	761	666	570
595	684	680	724	767	820	868	893	877	821	723	619
595	684	680	724	767	820	868	893	877	821	723	619
549	635	635	677	719	768	811	833	815	761	666	570
459	538	544	586	624	666	698	714	695	643	554	472
326	396	412	453	487	520	537	545	521	472	392	330
152	218	248	287	318	341	344	340	311	263	187	131
0	27	76	116	142	154	148	134	101	47	5	0
0	0	0	14	34	49	41	18	0	0	0	0

Tabel D 1: Zonintensiteittabel.txt

De tabel temperatuurtabel.txt ziet er als volgt uit:

-3	-3	6	10	13	18	20	20	18	7	0	-3
-3	-3	7	11	19	23	21	21	18	7	0	-3
-3	-1	8	16	21	26	25	24	20	10	3	-2
-1	1	12	18	23	27	27	25	24	13	7	1
1	3	15	19	25	30	27	27	25	16	9	5
3	3	18	20	27	31	29	28	26	18	11	7
3	5	19	21	28	33	30	30	28	20	13	8
3	7	20	23	30	33	32	31	28	22	14	10
4	8	20	23	31	35	32	32	28	22	16	10
5	9	20	23	31	35	33	32	28	23	17	12
5	10	21	23	30	35	33	33	28	24	15	10
3	9	20	22	30	33	32	31	28	21	13	9
2	7	19	21	28	33	32	30	26	19	10	8
0	4	18	20	26	32	30	29	23	17	9	5

Tabel D 2: Temperatuurtabel.txt

D.2.2 Uitkomsten van de simulatie

De waarden die Matlab heeft berekend, worden in tabel D3, D4, D5 en D6 weergegeven.

W = 1,0e+003*

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
5-6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,051	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000
6-7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,154	0,310	0,230	0,204	0,065	0,000	0,000	0,000
7-8	0,000	0,000	0,000	0,410	0,769	0,958	0,905	0,848	0,596	0,000	0,000	0,000
8-9	0,000	0,000	0,507	0,997	1,420	1,600	1,640	1,540	1,420	0,722	0,124	0,000
9-10	0,000	0,121	0,533	0,723	0,977	1,200	1,140	1,160	1,070	0,694	0,343	0,102
10-11	0,177	0,322	0,979	1,140	1,520	1,560	1,540	1,530	1,430	1,190	0,722	0,386
11-12	0,196	0,378	0,844	0,968	1,260	1,500	1,460	1,490	1,400	1,050	0,696	0,394
12-13	0,196	0,445	0,878	1,040	1,330	1,500	1,520	1,520	1,400	1,120	0,729	0,461
13-14	0,220	0,539	1,070	1,270	1,700	2,400	2,310	2,360	2,100	1,370	0,942	0,517
14-15	0,085	0,322	0,704	0,860	1,180	1,380	1,340	1,330	1,170	0,933	0,614	0,338
15-16	0,000	0,223	0,740	0,898	1,270	1,190	1,150	1,150	0,946	0,971	0,438	0,111
16-17	0,000	0,000	0,320	0,447	0,760	0,900	0,862	0,823	0,686	0,374	0,000	0,000
17-18	0,000	0,000	0,066	0,182	0,462	0,543	0,522	0,472	0,356	0,022	0,000	0,000
18-19	0,000	0,000	0,000	0,030	0,111	0,168	0,141	0,052	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabel D 3: Geleverde energie van de gehele collector (W/1000)

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
5-6	194,3	194,3	126,1	101,3	87,7	53,2	26,1	13,1	17,9	117,9	172,6	194,3
6-7	194,3	209,9	164,7	157,1	106,5	76,5	90,7	77,3	88,3	146,7	175,6	194,3
7-8	398,6	398,0	287,8	181,9	109,7	82,6	97,4	110,8	156,0	264,2	334,7	378,3
8-9	456,6	448,7	278,1	182,5	98,0	81,7	88,9	128,7	136,6	279,9	354,4	428,3
9-10	455,4	496,0	419,1	418,9	398,0	382,3	438,1	450,7	452,7	483,7	468,8	439,0
10-11	491,8	540,4	391,1	394,1	334,8	389,3	440,7	466,4	476,7	468,3	483,6	466,7
11-12	534,7	584,9	488,9	507,1	484,1	483,3	548,9	569,4	572,7	584,6	563,5	521,0
12-13	534,7	573,1	481,3	491,5	466,9	483,3	531,8	561,0	572,7	570,1	556,8	508,0
13-14	482,8	494,7	368,3	359,0	284,7	120,6	193,7	205,2	262,1	423,4	431,8	437,4
14-15	430,2	457,7	379,9	386,2	341,2	340,3	380,8	402,2	427,1	429,3	411,1	390,5
15-16	349,8	337,9	222,3	221,9	151,0	221,0	258,6	260,7	290,0	219,1	281,3	301,0
16-17	242,1	238,7	166,4	179,2	119,0	107,5	116,5	124,6	137,5	167,7	186,3	183,1
17-18	157,6	134,4	61,4	65,6	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	38,7	95,7	109,6
18-19	228,4	188,0	23,8	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,6	133,9	177,5

Tabel D 3: Hoeveelheid radiatie naar de omgeving (W)

Qconv = 1,0e+003 *

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
5-6	0,5929	0,5929	0,3557	0,2756	0,2319	0,1347	0,0650	0,0327	0,0455	0,3297	0,5132	0,5929
6-7	0,5929	0,6384	0,4561	0,4186	0,2641	0,1832	0,2212	0,1888	0,2219	0,4080	0,5215	0,5929
7-8	1,1630	1,1387	0,7701	0,4586	0,2667	0,1920	0,2280	0,2614	0,3799	0,6963	0,9325	1,0975
8-9	1,2908	1,2463	0,7167	0,4511	0,2339	0,1880	0,2042	0,2996	0,3208	0,7141	0,9456	1,1944
9-10	1,2632	1,3393	1,0239	0,9856	0,8885	0,8169	0,9545	0,9801	1,0024	1,1582	1,2018	1,1754
10-11	1,3290	1,4472	0,9330	0,9223	0,7405	0,8234	0,9423	1,0027	1,0422	1,1033	1,2135	1,2197
11-12	1,4334	1,5248	1,1377	1,1552	1,0383	0,9910	1,1459	1,1855	1,2132	1,3282	1,3692	1,3357
12-13	1,4334	1,4697	1,1110	1,1019	0,9857	0,9910	1,0931	1,1590	1,2132	1,2749	1,3421	1,2812
13-14	1,2944	1,2743	0,8655	0,8214	0,6112	0,2553	0,4174	0,4414	0,5807	0,9680	1,0428	1,1168
14-15	1,1539	1,1755	0,8910	0,8799	0,7265	0,6985	0,7918	0,8414	0,9235	0,9717	0,9868	0,9864
15-16	0,9528	0,8785	0,5299	0,5190	0,3337	0,4612	0,5469	0,5512	0,6398	0,5077	0,7037	0,7878
16-17	0,6875	0,6384	0,4045	0,4260	0,2644	0,2324	0,2540	0,2740	0,3105	0,4035	0,4837	0,4951
17-18	0,4604	0,3747	0,1536	0,1606	0,0270	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0973	0,2607	0,3039
18-19	0,6708	0,5345	0,0606	0,0246	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0989	0,3656	0,5006

Tabel D 4: Hoeveelheid convectie naar de omgeving (W/1000)

Tijd	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
5-6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
6-7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	10,7	7,9	7,0	2,2	0,0	0,0	0,0
7-8	0,0	0,0	0,0	4,4	8,2	15,8	14,9	13,9	9,8	0,0	0,0	0,0
8-9	0,0	0,0	3,6	7,1	10,1	16,5	16,8	15,8	14,6	5,2	0,9	0,0
9-10	0,0	4,2	18,4	24,9	33,7	41,2	39,3	40,0	36,8	23,9	11,8	3,5
10-11	3,8	6,9	21,0	24,4	32,5	42,7	42,2	41,9	39,3	25,5	15,5	8,3
11-12	6,7	13,0	29,1	33,3	43,5	51,7	50,2	51,3	48,2	36,2	24,0	13,6
12-13	6,7	15,3	30,2	35,7	45,8	51,7	52,5	52,4	48,2	38,5	25,1	15,9
13-14	4,7	11,5	22,9	27,2	36,4	32,9	31,7	32,3	28,8	29,2	20,2	11,1
14-15	2,9	11,1	24,3	29,7	40,7	47,5	46,2	45,7	40,3	32,2	21,2	11,7
15-16	0,0	4,8	15,8	19,2	27,2	41,0	39,6	39,7	32,6	20,8	9,4	2,4
16-17	0,0	0,0	11,0	15,4	26,2	31,0	29,7	28,3	23,6	12,9	0,0	0,0
17-18	0,0	0,0	2,3	6,3	15,9	3,0	2,9	2,6	2,0	0,7	0,0	0,0
18-19	0,0	0,0	0,0	0,7	2,4	0,9	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel D 5: Verschil in temperatuur van het water door convectie (K)

D.3 Aannames

Voor de simulatie zijn zeven aannames gedaan.

1. Het water warmt lineair op over de lengte van de buis.
2. De massastroom van het water is gelijk aan het verbruik van het water per tijdseenheid.
3. Er is een constante warmteoverdracht over de gehele buis voor elk tijdsinterval van een uur.
4. De oppervlakte waarover convectie en radiatie naar de omgeving optreedt is alleen de bovenzijde van de collectorbuis.
5. De stroomsnelheid van de lucht is 12 km/h.
6. De irradiatie van de zon verspreidt zich snel door de doorsnede van de collectorbuis, zodat er een uniforme temperatuur op de buiswand aan de binnenzijde van de buis is.
7. De empirische benadering van Nussaut als functie van het Reynoldsgetal en het Prandtl getal zijn correct.

Bijlage E Interviews

In deze bijlage staan twee interviews. Het eerste interview is gehouden met Adjudant van Heel van Geniewerken, het tweede interview met de heer Jacobs van de Defensie materieel organisatie. Beide interviews zijn gezamenlijk met Cadet-vaandrig Meijer gedaan, omdat hij dezelfde informatiebehoefte had.

De overige antwoorden op vragen zijn via kort mailverkeer en korte telefonische interviews verkregen. Hiervan zijn de interviews niet uitgewerkt.

E.1 Interview met Adjudant van Heel

Vragenlijst huidige situatie energievoorziening kamp holland

Wezep, oktober 2008

1. Indeling (platte grond / infrastructuur);
 - a. Hoe staan de energieopwekkers ten opzichte van de verbruikers?
 - b. Hoe komt de stroom van de opwekker naar de eindgebruiker?

Plattegrond met ET-plan?

2. Materieel prestaties
 - a. Wat voor type aggregaten en hoeveel worden er gebruikt?
 - i. Wat is het maximaal te leveren vermogen?
 - ii. Wat is de geluidsproductie?
 - iii. Wat is de warmteproductie?
 - iv. Wat is het verbruik?
 - v. Hoe duur is de aanschaf?
 - b. Wat voor aanvullende materieel wordt er toegepast?
3. Inzetbaarheid materieel
 - a. Wat is de levensduur van het materieel?
 - b. Treden er vaak defecten op bij de aggregaten?
 - i. Wat is de oorzaak?
 - c. Hoeveel onderhoud is nodig?
 - i. Wat zijn de kosten van het onderhoud?
 - ii. Hoeveel reservematerialen moeten er beschikbaar zijn?
 - d. Hoe snel kunnen ze operationeel zijn?
 - i. Is er voldoende voorraad binnen de krijgsmacht?
 - ii. Kunnen leveranciers tijdig nieuw materiaal leveren?
 - iii. Hoe is de logistiek geregeld?
 1. Zijn de aggregaten goed te vervoeren (defect raken etc)?
 - iv. Hoe snel kunnen de aggregaten geïnstalleerd worden?
 - v. Hoe snel kan het aanvullende materieel aangelegd en aangesloten worden?

- e. Hoe goed is de energievoorziening bestand tegen inslag van mortieren of kkw?
 - f. Wat is de vereiste opleiding om met het materieel te werken?
 - g. Wat gebeurt er met het materiaal aan het einde van de NL missie in Uruzgan?
4. Gebruikers
- a. Wat zijn de energiebehoefes van de verschillende eindgebruikers (over de dag verdeeld)?
 - b. Welke elektrische installaties worden er gebruikt? (airco, boiler etc)
5. Wat zijn de grootse moeilijkheden die u heeft ondervonden bij het onderhoud van het elektriciteitsnet?
6. Wat zijn de punten met betrekking tot de energievoorziening die volgens u verbeterd moeten/kunnen worden?
7. Hoe is de energievoorziening bij de andere landen geregeld?

Antwoorden

- 1.
- a. De vijftien powerplants staan verspreid over het kamp zodat elke gebruiker op een dusdanige afstand staat dat er weinig tot geen spanningsverlies zal optreden. Bij de woonchalets staan de powerplants en de PSVC'en bijvoorbeeld aan de kopse kant. Voor de locatie van elke powerplant kan de tekening geraadpleegd worden.
 - b. De stroom zal worden opgewekt in de aggregaten. In een powerplant zijn drie aggregaten parallel geschakeld. Ook staat er een PSVC die regelt welke aggregaten wanneer draaien. Vanuit de aggregaten en de PSVC gaat de stroom door middel van een grondkabel (185mm²) naar de COS (Change-Over-Switch). De COS verdeelt de stroom vervolgens over de verschillende eindgebruikers door middel van Mobats en een zware rubberen mantelleiding (H07NRF). Niet alle COS'en hebben dezelfde Mobats, omdat voor de verschillende eindgebruikers verschillende aansluitingen benodigd zijn. Zo hebben de natte groepen een 63A-aansluiting en de woon- en werkcontainers een 32A-aansluiting. De verdere verdeling binnen de eindgebruikers wordt door 'normale' stroomkabels geregeld.
- 2.
- a. Op de base Kamp Holland worden momenteel 45 aggregaten (vijftien powerplants) gebruikt. Op de base Kamp Hadrian draaien 12 aggregaten. Verder bestaat de logistieke reserve uit twaalf aggregaten.
 - 1. Na de update kunnen de aggregaten 200KW (250KvA) in plaats van 180 KW (225KvA) leveren;
 - 2. Via mail
 - 3. Via mail
 - 4. Via mail

5. Via mail

b. zie 1.b.

Er is één Mobat benodigd per 6 woonunits. Deze units gebruiken 3 kW per stuk.

Als ondergrond voor de powerplants wordt een betonnen plaat gebruikt, de geschatte kosten van de betonnen platen zijn \$20.000,- - \$30.000,-. In de toekomst wil GNW hier vanaf en wil uitschuifbare voeten gebruiken die dan standaard onder de container zitten.

3.

- a. De verwachting is dat de 180KW aggregaten in 2010 economisch afgeschreven zullen zijn. Ze zullen tegen die tijd dus waarschijnlijk vervangen moeten worden.
- b. De aggregaten op Kamp Holland staan met enige regelmaat stil doordat er onderdelen moeten worden vervangen die door slijtage niet meer functioneren. Deze slijtage wordt veroorzaakt doordat er stof langs en in de draaiende delen van het aggregaat wordt geblazen. Hierdoor wordt de elektrische bescherming van het aggregaat minder en is het in sommige gevallen noodzakelijk om onderdelen te vervangen. Niet alle reservedelen zijn altijd op voorraad waardoor een aggregaat voor langere tijd buiten werking kan zijn.

Ook staan de aggregaten soms stil of kunnen ze minder vermogen leveren doordat de aggregaten oververhit raken. Als er een aggregaat in een powerplant stil staat heeft dat meteen gevolgen voor de andere twee aggregaten, omdat deze dan zwaarder belast gaan worden.

Bij problemen met de interne regelkast van het aggregaat, kan het defecte aggregaat niet meer samen met de andere aggregaten draaien. Dit heeft weer als gevolg dat de overige twee zwaarder belast worden.

Ook in de COS'en treden er defecten op. Door de combinatie van krimpen, uitzetten en stof kunnen de vele stekkerbindingen doorbranden, waardoor er kortsluiting en brand kan ontstaan.

- c. De aggregaten hebben om de 500 draaiuren een onderhoudsbeurt nodig. Dit onderhoud wordt uitgevoerd door de TD'ers. Er zijn drie TD'ers hiervoor aanwezig op de base in Tarin Kowt en één op de base in Deh Rawod. Bij het onderhoud moeten regelmatig onderdelen vervangen worden die door slijtage kapot zijn gegaan.

Na 10000 draaiuren moeten de aggregaten bij de leverancier worden aangeboden voor groot onderhoud. Voor dit onderhoud is er een storingsvoorraad aanwezig waarin de reservematerialen voor de aggregaten en de overige componenten van de energievoorziening liggen opgeslagen. Echter is er veel te weinig reservemateriaal aanwezig, dit komt mede door de grote vraag en de grote logistieke omlooptijden.

De beurten na 500 draaiuren worden verzorgd door de technische dienst. Klein onderhoud, denk hierbij aan het vervangen van een lamp, wordt verzorgd door mensen van GNW of ET'ers van de Genie.

Het probleem met de stekerverbindingen is op te lossen door de stekerverbindingen te vervangen door schroefverbindingen. Waardoor de verbindingen te allen tijde optimaal blijven. De omzetting van stekerverbinding naar schroefverbinding vergt enig werk, maar het zal uiteindelijk veel onderhoudstijd schelen.

Voor het kostenplaatje moet er nog gesproken worden met Dhr. Sef Jacobs.

- d. Op dit moment heeft de Nederlandse krijgsmacht niet voldoende (reserve) aggregaten om de logistieke reserve aan te vullen, laat staan een eventueel nieuw te bouwen kamp te voorzien van een energievoorziening. Als er meer aggregaten benodigd zijn voor de logistieke reserve of een nieuwe compound, zullen die besteld moeten worden bij de leverancier. Bij dhr. Sef Jacobs vragen hoe lang dat duurt.

Normaal gesproken worden de aggregaten en toebehoren via schip van Nederland naar Pakistan vervoerd. Vanuit Pakistan worden ze vervoerd met zogenaamde jingle-trucks richting Kandahar Airfield en vanuit daar verder richting Tarin Kowt en Deh Rawod. Het transport via schip duurt ongeveer acht tot tien weken. De duur van het transport met jingle-trucks is lastiger te voorspellen, omdat dit transport zeer dreiging- en weersgevoelig is. Echter mochten er grote problemen met de energievoorziening op het kamp ontstaan, kunnen de aggregaten ook worden ingevlogen waardoor de duur van het transport nog maar twee tot vijf dagen is.

Bij de eerste transporten met aggregaten en haar toebehoren bleek dat er bij de bouw van de aggregaten weinig rekening was gehouden met het transport van de aggregaten over slechte wegen. Zaken die aan het plafond hingen waren naar beneden gekomen en schakel- en verdeelkasten waren omgevallen. Bij de nieuwere generaties aggregaten is hier rekening mee gehouden en zijn de verschillende zaken beter vast gezet. Van de airco's die werden vervoerd per schip en per jingle-truck deed ongeveer 10% het niet meer en deze schade is niet herstelbaar door de TD.

De aggregaten zijn redelijk snel op te zetten. Voor het neerzetten en stellen van een aggregaat is ongeveer tien minuten nodig. De fundering moet er dan wel liggen. Voor het aanleggen en aansluiten van een hele powerplant met grondkabel richting COS is ongeveer een dag nodig. Het aansluiten van de eindgebruikers op de COS kan nog een stuk sneller, omdat het hier vooral om 'plug-and-play' werkzaamheden gaat. De genoemde tijden kunnen wat naar boven of naar beneden uitvallen, afhankelijk van de hoeveelheid mensen en materieel dat beschikbaar is. Hieronder kunt u een tabelletje met

planningsgegevens elektrotechniek vinden. Let wel deze gegevens zijn vrijblijvend en worden gehanteerd voor instructie doeleinden.

Werk	Manuren	Logistiek / bijzonderheden
Powerplant containers plaatsen	2	kraansteun
Aggregaat 180KW aansluiten	4	
Hoofdvoeding kabel aanleggen	16	Per kabel / GWW steun
PSVC container aansluiten	12	
COS container aansluiten	16	
Mobat plaatsen en aansluiten	4	
Onderverdeelt voeding kabel aanleggen	4	
Pantsercontainer afmonteren en aansluiten	10	
Werk en opslag container KLAU aansluiten	4	
Sanitaire unit aansluiten	10	

Tabel E.1: Overzicht van benodigde tijd voor werkzaamheden

- e. Bij eventuele inslagen van kkw-vuur of mortieren is de kans groot dat de aggregaten defect raken. De wanden van de containers zijn verder niet gepantserd waardoor kogels en mortiergranaten gemakkelijk de generator of de motor kunnen uitschakelen. Het risico op beschadiging door inslag is tijdens het transport van de aggregaten en toebehoren het meest aanwezig.
 - f. Om met de huidige energievoorziening te werken is een standaard opleiding voor laagspanning benodigd. Als er in de toekomst voor wordt gekozen om over te stappen naar hoogspanning zal de huidige opleiding niet meer voldoende zijn.
 - g. Zoals al aangegeven zijn de aggregaten voor de Nederlandse krijgsmacht in 2010 waarschijnlijk afgeschreven. Dit wil niet zeggen dat andere landen of Afghanistan er niets meer aan hebben. Na de Nederlandse missie in Uruzgan worden de aggregaten en toebehoren, evenals vele andere materialen, waarschijnlijk afgestoten.
- 4.
- a. De energiebehoeftes van de verschillende eindgebruikers volgen nog via de mail. De onderstaande gegevens worden ten behoeve van instructie gebruikt:
 - b. Er worden verschillende soorten installaties gebruikt op de bases. De firma Dretainer, die de legeringscontainers en sanitaire containers levert, gebruikt meerdere types airco's. Het eerste type is de Mark 1 en dit is een 'single-unit' airco. Het tweede type is de Mark 4 en dit is een 'split-unit' airco. Er zit verschil tussen de typen airco's in verband met de beperkte aansluitmogelijkheden op de pantsercontainers. Daarnaast worden ook airco's gebruikt van andere leveranciers in verband met de marktwerking. De airco's die worden gebruikt worden uitgezocht door de leverancier van de containers.

In een sanitaire unit worden twee boilers gebruikt die het water verwarmen voor de douche en de wasbakken.

Werk	Benodigd vermogen (kVA)
Pantsercontainer afmonteren en aansluiten	3
Werk en opslag container KLAU aansluiten	6
Sanitaire unit aansluiten (toilet/douche/combi)	10/20/36

Tabel E.2: Overzicht van benodigd vermogen per werkzaamheid

E.2 Interview met Dhr. Jacobs

Den Haag, 15 oktober 2008

1. De prestaties van de aggregaat
 - a. *Wat is het maximale vermogen?*
Deze waarden worden via de mail verstuurd.
 - b. *Wat is het brandstofverbruik van de aggregaten verspreid over de dag?*
Voor de exacte waarden verwijs ik jullie door naar de G4-logistiek. Eventueel kan de adjudant van Heel nog het een en ander zeggen over het verbruik per uur van de aggregaat.
 - c. *Wat is de aanschafprijs van de aggregaten?*
Kostenramingen worden via de mail verstuurd. Exacte kosten mogen niet vermeld worden.
 - d. *Wat is de aanschafprijs van de COS?*
De installatie wordt gebouwd door firma Methec en de container wordt gebouwd door firma Transmo. Kostenramingen worden via de mail verstuurd. Exacte kosten mogen niet vermeld worden.
 - e. *Wat is de aanschafprijs van de PSVC?*
De installatie wordt gebouwd door firma Methec, firma Transmo en firma Kemper van Twist. Kostenramingen worden via de mail verstuurd. Exacte kosten mogen niet vermeld worden.
2. Inzetbaarheid
 - a. *Wat is de levensduur van de aggregaten?*
In het verleden was de vereiste levensduur van de aggregaten 15 jaar. In verband met de permanente inzet van de aggregaten is deze eis omgezet naar draaiuren. De verwachte technische levensduur van de aggregaten is rond de 30.000 draaiuren.
 - b. *Wat is de levensduur van de COS/MSV en de PSVC?*
Door het niet aanwezig zijn van bewegende delen in deze containers maakt hier het aantal draaiuren niet erg uit. De geëiste levensduur van deze containers is 15 jaar. In deze periode moeten reserve delen geleverd en technische ondersteuning gegeven kunnen worden.
 - c. *Wat gebeurt er met het materieel aan het einde van de missie?*
Heel waarschijnlijk zal het merendeel van de aggregaten afgeschreven zijn in 2010, de geschatte einddatum van de missie in Afghanistan. Er zal worden geprobeerd de aggregaten dan te verkopen in Afghanistan.
De COS en de PSVC zullen nog niet afgeschreven zijn, wat hiermee gebeurd is afhankelijk van de dagwaarde en kosten om terug te verplaatsen.

d. *Wat is de levertijd?*

De levertijd van de aggregaten is ongeveer 15 weken, afhankelijk van de omstandigheden en de hoeveelheden. De schatting is gebaseerd op ongeveer 10 aggregaten aankoop.

De levertijd van de COS en PSV(C) is ongeveer 10 weken.

e. *Hoeveel aggregaten worden er op het moment gebruikt?*

In totaal zijn er 19 powerplants in Afghanistan in gebruik. Een powerplant bestaat uit 3 aggregaten met een PSVC om de aggregaten aan te sturen.

12 aggregaten staan op Deh Rawod, 45 aggregaten staan op Tarin Kowt en 12 aggregaten zijn logistieke reserve.

3. Gebruikers

a. *Wat is de benodigde onderhoud?*

De aggregaten moeten om de 500 draaiuren worden gecontroleerd. Dit is klein onderhoud en kan worden gedaan door de technische dienst met weinig kosten. De monteurs hebben een aanvullende opleiding gevolgd hiervoor van ongeveer een week.

De aggregaten moeten na 10.000 draaiuren compleet worden gecontroleerd door de leverancier Kemper van Twist. Hiervoor gaan de aggregaten in de meeste gevallen terug naar Nederland, in een enkel geval komt de leverancier naar de aggregaten toe.

b. *Wat zijn de energiebehoeftes van de verschillende eindgebruikers?*

De exacte energiebehoeftes zijn niet bekend bij Meneer Jacobs. Een inventarisatielijst van de draaiuren van de aggregaten zullen per mail worden verstuurd.

c. *Welke elektrische installaties worden er gebruikt?*

Onbekend bij meneer Jacobs.

d. *Wat is het gewicht van de aggregaten/cos/psvc/kabels?*

De gewichten zullen worden gemaaid. Echter de benodigde logistieke capaciteit kan worden opgevraagd bij de G4 CLAS.

4. Nieuwe systemen

a. *Wat is de procedure bij behoeftestelling van nieuw materiaal?*

De behoeftesteller van het materiaal, in dit geval Geniewerken, geeft de eisen voor het product op bij DMO. Vervolgens gaat DMO een specifiek programma van eisen maken voor het product, waarin alles staat omschreven waaraan het moet voldoen. Dit PvE wordt internationaal aanbesteed. In de tussentijd worden eventueel verschillende proto-types uitgetest.

Verschillende bedrijven zullen aan de hand van de eisen een offerte maken voor de levering. DMO kiest vervolgens de goedkoopste leverancier indien akkoord met het product. Hierna kan worden begonnen met de aankoop van het product.

- b. Wie bepaalt het producttype?*
Door de aanbesteding wordt het producttype als het ware opgelegd wanneer het voldoet aan de eisen.
 - c. Hoe snel kan begonnen worden met de aankoop van het product?*
Het uitwerken van de behoefte door de behoeftesteller, het opstellen van het programma van eisen door DMO, de aanbesteding en het komen tot een leverancier duurt gemiddeld 1,5 tot 2 jaar. Daar komt de levertijd nog bovenop.
- 5.
Het elektriciteitsnet op de base Kamp Holland functioneert op zich prima. De meeste storingen worden veroorzaakt door de gebruikers zelf. Door het aansluiten van verkeerde apparaten vliegt de aardlekschakelaar er vaak uit. In sommige gevallen zijn de wandcontactdozen in de onderkomens kapot. Verder is het oververhit raken van aggregaten in de warme maanden een groot probleem.
- 6.
Bij het ontwerp van nieuwe compounds en diens energievoorziening moet er getracht worden zo veel mogelijk centraal te werken. Zo worden veel logistieke problemen voorkomen, en zal het geheel meer overzichtelijk zijn. De PSVC heeft zich prima bewezen en zal in de toekomst ook moeten terugkomen. Dan wel als PSVC bij een powerplant of als een controlekamer bij een meer gecentraliseerd systeem.
- 7.
De Australiërs die gelegerd zitten bij Tarin Kowt maken gebruik van drie 500 kVA in combinatie met besturingsunit. Op Kabul wordt gebruik gemaakt van 500 kVA aggregaten van Aggreko. Het energiesysteem op KAF volgt later.

Bijlage F Wisselkoers euro – dollar

De wisselkoers van de euro met de dollar van wordt gebruikt om de bedragen in het verslag van dollars om te zetten naar euro's. Het converteren van bedragen is van belang om vergelijkingen in het onderzoek correct uit te kunnen voeren.

De wisselkoers van de afgelopen vier jaar staat weergegeven in figuur F1¹.



Figuur F 1: De wisselkoers van de euro - dollar gedurende de afgelopen vier jaren (€)

De wisselkoers van de euro is gemiddeld \$1.38 over de afgelopen vier jaren.

¹ Bron: www.rtl.nl/financien/rtlz/koersen; 20 februari 2009

Bijlage G Milieubelasting

De uitstoot aan schadelijke stoffen voor het milieu wordt berekend met behulp van ervaringsgetallen van de uitstoot van de motor in de aggregaat. De motor produceert een uitstoot¹ van:

2,06 g/kWh NO_x
0,147 g/kWh PM⁻¹⁰

Hierbij is een conversiefactor van 1 kg/kWh = 1.645 lb/Hp-hr gebruikt.

De uitstoot van de overige schadelijke stoffen zijn niet gegeven door de fabrikant. Er wordt gebruik gemaakt van gemiddelde uitstootverhoudingen van een dieselmotor om de uitstoot van de andere stoffen te benaderen. De verhoudingen van de uitstoot staan gegeven in tabel G1.

Stof	Uitstoot [mg/km] ²
CO	148
NO _x	531
CO ₂	160.000
SO ₂	5
PM ⁻¹⁰	57

Tabel G 1: Gemiddelde uitstoot van een dieselmotor

De uitstoot van elke stof kan worden berekend door de uitstoot van NO_x te delen door 531 en te vermenigvuldigen met de uitstoot in mg/km van de betreffende stof. De waarden zijn weergegeven in tabel G2.

Stof	Uitstoot [g/kWh]
CO	0,574
NO _x	2,06
CO ₂	620,72
SO ₂	0,0194
PM ⁻¹⁰	0,147

Tabel G 2: Uitstoot van schadelijke stoffen door de motor in de aggregaat

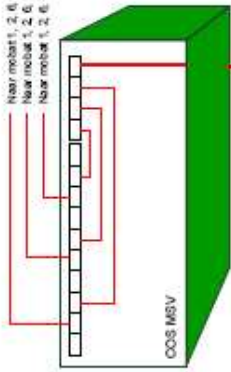
¹ Bron: http://www.tceq.state.tx.us/assets/public/implementation/air/am/contracts/reports/ei/erg-data_collection_plan_phase2_final.pdf ; 25 maart 2009

² Bron: http://nl.wikipedia.org/wiki/Benzine_en_diesel; 25 maart 2009

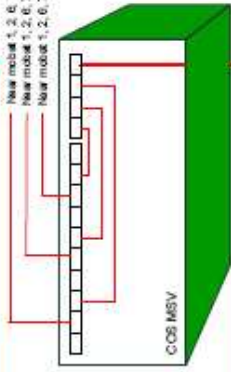
Bijlage H Overzicht powerplant



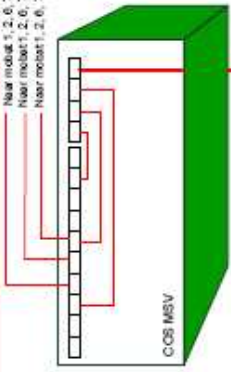
Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12
 Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12
 Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12



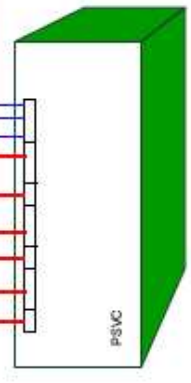
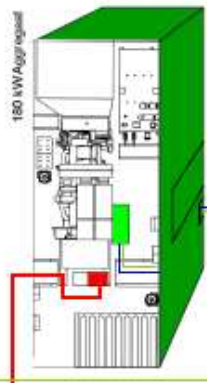
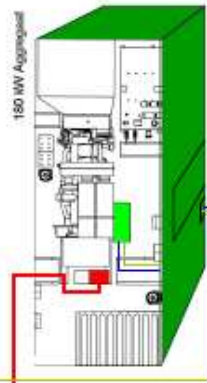
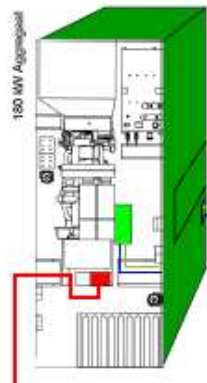
Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12
 Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12
 Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12



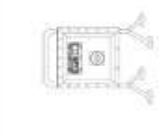
Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12
 Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12
 Near mobat 1, 2, 6, 7, 9 of 12



Power Plant



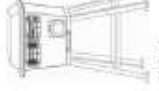
MobiL1
MobiL1 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL2
MobiL2 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL3
MobiL3 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL4
MobiL4 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL5
MobiL5 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL6
MobiL6 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL7
MobiL7 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL8
MobiL8 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL9
MobiL9 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL10
MobiL10 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils

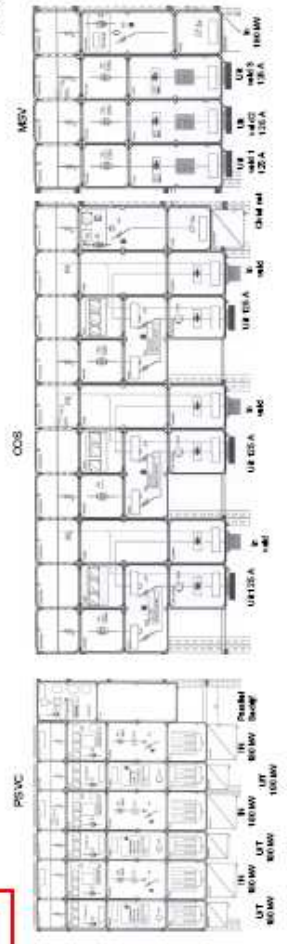


MobiL11
MobiL11 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



MobiL12
MobiL12 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils

MobiL13
MobiL13 met Hils en ant
In: 1 x 120 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP)
UK: 1 x 32 A (SP) met Hils



- Mobat = Mobiel aanstik bus
- COS = Charge Over Switch
- MSV = Mobile Stroom Verdeler
- PSVC = Parallel Stroomverdeler Combinatie
- Hils = Hoofdochttaster
- Am = Ampere meter

21 maart 2008