

2016•2017  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Design en implementatie van een zonne-installatie om een kookproces in een lagere school te Kenia te optimaliseren

Promotor :  
Prof. dr. ir. Wim DEFERME

Copromotor :  
Ing. Inge VERBOVEN

Promotor :  
ing. DANY GOBERT  
Dhr. DOUGLAS BARASA

Sven Bonhomme , Jason Serdons

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Design en implementatie van een zonne-installatie om een kookproces in een lagere school te Kenia te optimaliseren

Promotor :  
Prof. dr. ir. Wim DEFERME

Copromotor :  
Ing. Inge VERBOVEN

Promotor :  
ing. DANY GOBERT  
Dhr. DOUGLAS BARASA

Sven Bonhomme , Jason Serdons

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Woord vooraf

Gedurende een halfjaar hebben wij ons voorbereid op een avontuur in het verre Kenia. We wisten niet wat we konden verwachten. Een installatie om de stookkosten te verminderen voor het bereiden van voedsel. Dit leek ons een hele opgave voor een schooltje met 450 leerlingen.

In drie maanden een installatie bouwen met huis-, tuin- en keukenmateriaal. Het is eens wat anders dan alles industrieel te laten bewerken tot op enkele µm.

Eindelijk onze opgedane kennis van op de schoolbanken eens op de proef stellen! Hopen creativiteit zijn er aan te pas gekomen. Maar zonder alle hulp was dit zeker niet gelukt. Dus zouden we graag enkele mensen en organisaties bedanken.

Als eerst willen we de vzw Students For Energy in Africa bedanken. Dankzij hun contacten met Rainbow4kids en in het bijzonder ing. Dany Gobert en Katrien Vermeersch konden wij aan dit prachtig project deelnemen. Dankzij de extra financiële boost van Students For Energy in Africa konden we dit project verwezenlijken. Ook willen we Prof. Dr. Ir. Wim Deferme bedanken. Speciaal naar Kenia afgereisd om ons te ondersteunen gedurende enkele dagen en de hulp vanuit het thuisfront. TOP! Dat verdient nog een Tusker. Graag wensen wij ook Ing. Inge Verboven en Guy Pansar te bedanken voor alle hulp en tips.

Een woord van dank voor alle mensen van Rainbow4kids. Jullie leveren top werk daar in Kenia!

In het bijzonder willen we ook Nuru, onze rafiki – vriend – en onderhoudsman van Rainbow4kids bedanken. Hij wist altijd wel een plekje waar we de nodige materialen konden vinden.

Om de vakmensen te vinden in het stadje konden we altijd op Angelo Bruyneel rekenen. Nogmaals bedankt, ook voor het uitlenen van de verschillende werktuigen en tools.

Daarnaast willen we ook VLIR-UOS en de UHasselt bedanken voor de financiële steun om het voor ons haalbaar te maken. Met in het bijzonder Dr. Els Wieërs en mevrouw Liesbeth Oeyen.

Tot slot willen wij vrienden, familie en alle mensen die naar de brunch gekomen zijn en meegewerkt hebben bedanken.

**BEDANKT!**



## Inhoudsopgave

Woord vooraf .....	1
Lijst van tabellen.....	7
Lijst van figuren .....	9
Abstract .....	11
Abstract in English .....	13
1 Inleiding.....	15
1.1 Situering .....	15
1.2 Probleemstelling .....	16
1.3 Doelstelling.....	16
1.4 Materiaal en methoden.....	17
2 Literatuurstudie .....	19
2.1 Inleiding.....	19
2.2 Water voorverwarmen .....	19
2.2.1 Batch collector.....	20
2.2.2 Flat plate collector .....	21
2.2.3 Evacuated tube collector .....	22
2.3 Elektriciteit opwekken.....	23
2.3.1 Zonnepaneel.....	24
2.3.2 Windmolen .....	25
2.3.3 Stoomturbine .....	26
2.3.4 Zonnetrog.....	28
2.3.5 Spaarbekkencentrale .....	29
2.3.6 Aardwarmte .....	30
2.3.7 Biomassa.....	32
2.3.8 Biogas.....	33
2.4 Combinatie van water voorverwarmen en elektriciteit opwekken .....	34
2.5 Opslag van energie .....	34
2.5.1 Batterij.....	34
2.5.2 Spaarbekken.....	34
2.6 SWOT- analyse .....	35
2.6.1 Inleiding.....	35
2.6.2 SWOT- analyse windmolen .....	35
2.6.3 SWOT- analyse wachtbekkencentrale.....	36

2.6.4	SWOT- analyse zonnetrog.....	37
2.6.5	SWOT- analyse batch collector .....	38
2.6.6	SWOT- analyse vlakke plaat collector .....	39
2.7	Conclusies .....	39
3	Zonnetrog.....	41
3.1	Concept .....	41
3.2	Berekeningen.....	43
3.3	Materialen- en kostenlijst.....	45
3.4	Testfase .....	48
3.5	Conclusies .....	49
4	Zonnecollector .....	51
4.1	Concept .....	51
4.2	Materialen- en kostenlijst.....	62
4.3	Testfase .....	63
4.4	Terugverdientijd .....	66
4.5	Conclusies .....	67
5	Onafhankelijk elektriciteitsnet .....	69
5.1	Concept .....	69
5.2	Berekeningen.....	70
5.3	Materialen- en kostenlijst.....	70
5.4	Aansluiting.....	71
5.5	Terugverdientijd .....	73
5.6	Conclusies .....	73
6	Besluit.....	75
6.1	Toekomstvisie .....	75
	Bibliografie.....	79
	Bijlagen.....	83
	Bijlage A: Berekening grootte windmolen .....	84
	Bijlage B: Detailtekeningen voor de lassers.....	85
	Bijlage C: Berekening watertoren .....	88

Bijlage D:	Berekening temperatuurdaling opslagvat gedurende de nacht.....	90
Bijlage E:	Berekening verliezen van het kookproces.....	93
Bijlage F:	Datasheet charge control.....	98
Bijlage G:	Datasheet tijds klok van de pomp in waterput .....	101
Bijlage I:	Handleiding voor onderhoud en lokale mensen.....	103
Bijlage J:	Datasheet circulatiepomp en ledigpomp .....	115
Bijlage K:	Datasheet zonnepaneel.....	118
Bijlage L:	Datasheet inverter .....	121
Bijlage M:	Datasheet zonnecel .....	123
Bijlage N:	Bepaling zuiverheid glycerine .....	124





## Lijst van tabellen

Tabel 1: Efficiëntie stoomturbine.....	27
Tabel 2: Materialenlijst vaste opstelling zonnetrog.....	45
Tabel 3: Materialenlijst roterende opstelling zonnetrog .....	45
Tabel 4: Kostenlijst zonnetrog vaste opstelling in hout .....	46
Tabel 5: Kostenlijst zonnetrog in vaste opstelling in staal .....	46
Tabel 6: Kostenlijst roterende zonnetrog in hout.....	47
Tabel 7: Kostenlijst roterende zonnetrog in staal .....	47
Tabel 8: Materialen- en kostenlijst zonnecollector .....	62
Tabel 9: Testresultaten zonnecollector .....	63
Tabel 10: Terugverdientijd zonnecollector.....	66
Tabel 11: Elektrisch verbruik van de installatie .....	70
Tabel 12: Inkomend vermogen van een zonnepaneel .....	70
Tabel 13: Materialen- en kostenlijst onafhankelijk elektriciteitsnet .....	70
Tabel 14: Terugverdientijd onafhankelijk elektriciteitsnet.....	73
Tabel 15: Kostenlijst bijplaatsen extra pomp.....	76
Tabel 16: Aangepaste terugverdientijd na installatie tweede circulatiepomp .....	76
Tabel 17: Terugverdientijd extra pomp .....	77
Tabel 18: Stralen verschillende lagen van het opslagvat.....	91
Tabel 19: Logaritmische stralen opslagvat.....	91
Tabel 20: Inhoud kookpotten .....	93
Tabel 21: Waterverbruik per dag.....	93
Tabel 22: Benodigde warmtetoevoer naar kookpotten .....	94
Tabel 23: Benodigde toegevoerde warmte per dag.....	94
Tabel 24: Benodigde toegevoerde warmte per voedingsstof .....	94
Tabel 25: Benodigde toegevoerde warmte voor het voedsel per dag .....	95
Tabel 26: Samenvatting verlies per kookpot.....	97
Tabel 27: Totaal verliezen per dag .....	97



## Lijst van figuren

Figuur 1: Rainbow4kids School .....	15
Figuur 2: Huidige kookinstallatie .....	15
Figuur 3: Batch collector [2].....	20
Figuur 4: Flat plate collector [3] .....	21
Figuur 5: Evacuated tube operation [6].....	22
Figuur 6: Collector efficiency [7] .....	23
Figuur 7: Zonnepaneel [8].....	24
Figuur 8: Principe windmolen [13] .....	25
Figuur 9: Principe stoomturbine [17].....	27
Figuur 11: Principe zonnetrog [19].....	28
Figuur 12: Schets zonnetrog [20].....	29
Figuur 13: Principe spaarbekkencentrale [21].....	30
Figuur 14: Principe aardwarmte [23] .....	31
Figuur 15: Principe biomassa [24] .....	32
Figuur 16: Principe biogas installatie [25] .....	33
Figuur 17: SWOT- analyse windmolen.....	35
Figuur 18: SWOT- analyse wachtbekken centrale.....	36
Figuur 19: SWOT- analyse zonnetrog.....	37
Figuur 20: SWOT- analyse batch collector .....	38
Figuur 21: SWOT- analyse vlakke plaat collector .....	39
Figuur 22: Concept zonnetrog.....	41
Figuur 23: Schets vaste opstelling zonnetrog.....	42
Figuur 24: Schets roteerbare opstelling zonnetrog .....	42
Figuur 25: Schaalmodel vaste opstelling.....	43
Figuur 26: Schaalmodel roteerbare opstelling .....	43
Figuur 27: Testmodel zonnetrog.....	48
Figuur 28: Temperatuur brandlijn .....	49
Figuur 29: Concept zonnecollector.....	51
Figuur 31: Slang structuur [27] .....	52
Figuur 32: Grid structuur [28].....	52
Figuur 32: Frame zonnecollector .....	53
Figuur 33: Belemmering warmteflow naar buiten.....	54
Figuur 34: Plaatsing absorber plate .....	54
Figuur 35: Reducering lasnaden.....	55
Figuur 36: Bevestiging glas.....	55
Figuur 37: Detail bevestiging glaswerk .....	56
Figuur 38: 3D- schets volledige zonnecollector.....	56
Figuur 39: Afgewerkte zonnecollector .....	57
Figuur 40: Opslag vat .....	57
Figuur 41: Watertoren en opslagvat.....	58
Figuur 42: 3D- schets watertoren .....	58
Figuur 43: Principeschema water netwerk.....	59
Figuur 44: Principe schets van het circulatie circuit .....	60
Figuur 45: Grafiek temperatuurverloop water.....	64

Figuur 46: Grafiek temperatuurverloop glycerine .....	64
Figuur 47: Verhelderende figuur aansluiting tank.....	65
Figuur 48: Vullen pot 2.....	66
Figuur 49: Begin temp. vullen pot 1 .....	66
Figuur 50: Gemiddelde temp. pot 2.....	66
Figuur 51: Gemiddelde temp. pot 1.....	66
Figuur 52: Componenten onafhankelijk elektriciteitsnet.....	69
Figuur 53: Principe aansluiting zonnepanelen .....	71
Figuur 54: Principe schets elektrisch schema .....	72
Figuur 55: Formules [35] .....	84
Figuur 56: Detailtekeningen voor lasser .....	87
Figuur 57: Knikbelasting [36].....	88
Figuur 58: Situatieschets extra isoleren opslagvat .....	90
Figuur 59: Verduidelijking warmteweerstanden .....	92

## Abstract

In de basisschool 'Rainbow4kids' in Kenia wordt er tweemaal per dag voor 450 leerlingen een warme maaltijd bereid. Om het water aan de kook te brengen, wordt er momenteel gebruik gemaakt van aangekocht brandhout. Maar hout is duur en de verbranding ervan is niet milieuvriendelijk. Deze masterproef heeft als doel om een geschikte installatie te bedenken en op te bouwen, zodat zowel de energiekosten als de milieu-impact drastisch dalen.

Eerst werd er een literatuurstudie uitgevoerd. Hieruit werd, op basis van een SWOT-analyse, bepaald welke methode het meest haalbaar en het meest geschikt leek voor het schooltje, met name een zonnetrog. Maar de situatie ter plaatse gaf doorslag om over te schakelen naar keuze twee, een zonnecollector. Dit omdat de zonnecollector in vergelijking met de zonnetrog geen sturing vereist. Beide systemen worden van design tot opbouw in detail beschreven.

De installatie werd volledig opgebouwd met materialen die ter plaatse beschikbaar zijn. Doordat er samengewerkt werd met plaatselijke aannemers en kennisoverdracht plaatsvond, o.a. door middel van een duidelijke handleiding, kan de installatie ook in de toekomst makkelijk onderhouden worden.

Tot slot wordt de installatie getest en in gebruik genomen. Door de installatie van de zonnecollector is het mogelijk om tot 25% te besparen op het aangekochte brandhout, wat neerkomt op een besparing van ongeveer €500/jaar.



## Abstract in English

In the primary school Rainbow4kids in Kenia, a warm meal is prepared for 450 students twice a day. In order to boil the water for the preparation of these meals, a lot of energy is consumed. The school uses a combustion of firewood to boil the water. This is expensive and environmentally unfriendly. The goal of this project is to find a solution to this problem by building an installation which reduces the energy cost and the impact on the environment.

First a study took place leading to a SWOT-analysis in order to determine which method was feasible and suitable for the school. With the knowledge before departure to Kenya, a solar trough was the most suitable solution. Once arrived the situation forced to change plans. Instead a solar collector was built because in comparison to the solar trough it did not need an electrical control system.

Both systems are described in detail in this paper, from the design to the construction.

The solar collector was made with local materials. In addition, the solar collector was realised in cooperation with local contractors. Therefore, the knowledge is transferred to the local population. Also, a clear user guide is provided to the locals in order to enable the maintenance of the installation in the future.

Lastly, the solar collector installation is tested and put into use. The results show a decrease of 25 percent in the energy costs of the school. This corresponds to a saving of about 500 euro per year.





# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

Deze masterproef wordt uitgevoerd voor Rainbow4kids vzw in opdracht van de vzw Students for Energy in Africa (S.E.A.). Rainbow4kids is een lagere school gelegen te Ukunda, Kenia. Hier genieten ongeveer 450 leerlingen van een opleiding. Deze school is in 2009 opgericht door twee Belgen: Katrien Vermeersch en Dany Gobert [1].



*Figuur 1: Rainbow4kids School*

De meeste mensen in Ukunda, Kenia hebben het thuis niet breed. Hierdoor hebben ze vaak niet voldoende geld om hun kinderen eten te geven. Daarom heeft de school beslist om alle kinderen die er naar school gaan tweemaal per dag van een bereide maaltijd te voorzien. Natuurlijk is er veel energie nodig om al deze maaltijden te bereiden. Momenteel worden de maaltijden bereid op een houtvuur. In onderstaande figuur wordt de kookinstallatie afgebeeld.



*Figuur 2: Huidige kookinstallatie*

## 1.2 Probleemstelling

Doordat de huidige kookinstallatie een laag rendement heeft, wordt er op de school veel brandhout gebruikt. Het brandhout moet aangekocht worden waardoor de energiekosten enorm oplopen.

Bij het bereiden van de maaltijden wordt er gebruik gemaakt van grote kookpotten met verschillende volumes tot 60 liter. Er is veel tijd nodig om deze grote volumes water tot hun kookpunt te brengen. De kookpotten staan minstens een uur op het vuur voordat er een maaltijd bereid kan worden. Dit brengt dan met zich mee dat er ook veel hout nodig is om het vuur gedurende deze tijd brandende te houden.

Doordat het aan de kook brengen van het water zo lang duurt moet er op regelmatige basis extra brandhout op het vuur gegooid worden. De school spendeert ongeveer 150 euro per maand aan het brandhout. Dit is enorm veel geld in een derdewereldland als Kenia waar een gewone arbeider gemiddeld 70 euro per maand verdient.

Daarnaast is de lokale bevolking zich er niet van bewust dat het gebruik van brandhout een grote impact heeft op het milieu, zowel qua uitstoot als bosontginning. Hierdoor gaan ze niet zuinig om met energie met als gevolg dat het houtverbruik nog verder toeneemt.

## 1.3 Doelstelling

De hoofddoelstelling van deze thesis is het verlagen van de energiekosten op de Rainbow4kids school. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van lokale materialen om de plaatselijke economie te stimuleren.

Het project kan als geslaagd gezien worden indien er voldaan wordt aan enkele voorwaarden. Als eerst moeten de energiekosten dalen met minstens 25%. Het systeem moet ter plaatse gebouwd worden met lokale materialen en lokale werkkrachten en bij de opbouw moet er rekening gehouden worden met de ergonomie. Zo mogen de kookpotten niet meer opgetild worden tijdens en na het vullen met water.

Indien de verbetering niet aan het fornuis zelf gebeurt, dient de installatie –indien mogelijk– op een dak geplaatst te worden zodat diefstal bemoeilijkt wordt. Er dient ook voor gezorgd te worden dat apen geen slingermogelijkheden hebben, zodat de installatie niet beschadigd wordt.

Daarnaast moet een medewerker van de school het systeem kunnen onderhouden. Dit heeft als gevolg dat er liefst geen gebruik wordt gemaakt van elektronische componenten.

Geïnteresseerde leerlingen van de Rainbow4kids school alsook lokale aannemers moeten de kans krijgen om mee te helpen met het project zodat hier nuttige kennisoverdracht kan plaatsvinden.

#### 1.4 Materiaal en methoden

De ontwikkeling van het project is opgedeeld in enkele deelstappen.

**Als eerste** wordt er een uitgebreid **literatuuronderzoek** gedaan. Het probleem wordt langs verschillende invalshoeken benaderd. Een eerste mogelijkheid is om het water zelf op te warmen. Een andere optie is om eerst elektriciteit op te wekken en vervolgens met deze elektriciteit water te verwarmen. Bij deze laatste optie kan dan ook getracht worden om het volledige elektriciteitsverbruik van de school mee in rekening te brengen. Een combinatie van de voorgaande mogelijkheden wordt ook bekeken.

**Als tweede** worden er **SWOT- analyses** gemaakt van de concepten die het meest haalbaar zijn. Dit wordt gedaan om een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van de verschillende mogelijkheden. Deze analyses worden vergeleken om vervolgens het meest efficiënte systeem te kiezen.

**Als derde** wordt voor het gekozen systeem uit deel 2, de omvang van de installatie **berekend** en bijhorende parameters bepaald. Hierna wordt een concept uitgedacht en **getekend** in een 3D tekenpakket. Tot slot wordt er een kostenraming uitgevoerd met een bijhorende materialenlijst.

**Als vierde** wordt er een **testopstelling** gemaakt in Kenia. Hiermee worden enkele tests uitgevoerd. De resultaten van deze tests worden dan vergeleken met de berekende waarden. Uit deze vergelijking moet blijken of er wordt verder gegaan met het bestaande concept, of het design moet aangepast worden of er eventueel zelfs overgegaan moet worden naar een ander systeem.

**Als laatste** wordt de opgebouwde installatie **getest** en doorgelicht op problemen. Na een grondige controle dient het project goed bevonden te worden. Hierna kan het in gebruik genomen worden door de school.



## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Inleiding

In deze literatuurstudie wordt er getracht het probleem op drie verschillende manieren te benaderen. Dit gebeurt aan de hand van een principe schets, een voor- en nadelen analyse en een benadering van de efficiëntie van de verschillende mogelijkheden.

Nadien wordt er een SWOT-analyse gemaakt van de meest belovende concepten.

Onder het topic **water voorverwarmen** worden er een aantal concepten besproken die het mogelijk maken om water op te warmen. Hierdoor zal er minder hout toegevoegd moeten worden.

In het topic **elektriciteit opwekken** wordt er dieper ingegaan op enkele manieren om elektriciteit op te wekken, en de opslag hiervan. Onder dit topic is het de bedoeling om eerst elektriciteit op te wekken om het volledige verbruik van de school te dekken, en ook met deze elektriciteit te gaan koken.

Als laatste onderdeel wordt een **combinatie van beide mogelijkheden** bestudeerd. Om eerst water voor te verwarmen en tegelijkertijd elektriciteit op te wekken. Dit om het kookprobleem op te lossen, en in een verder stadium ook om het elektriciteitsverbruik van de school te doen dalen.

### 2.2 Water voorverwarmen

Water voorverwarmen kan op veel verschillende manieren. Enkel de meest haalbare systemen in Afrika werken we verder uit:

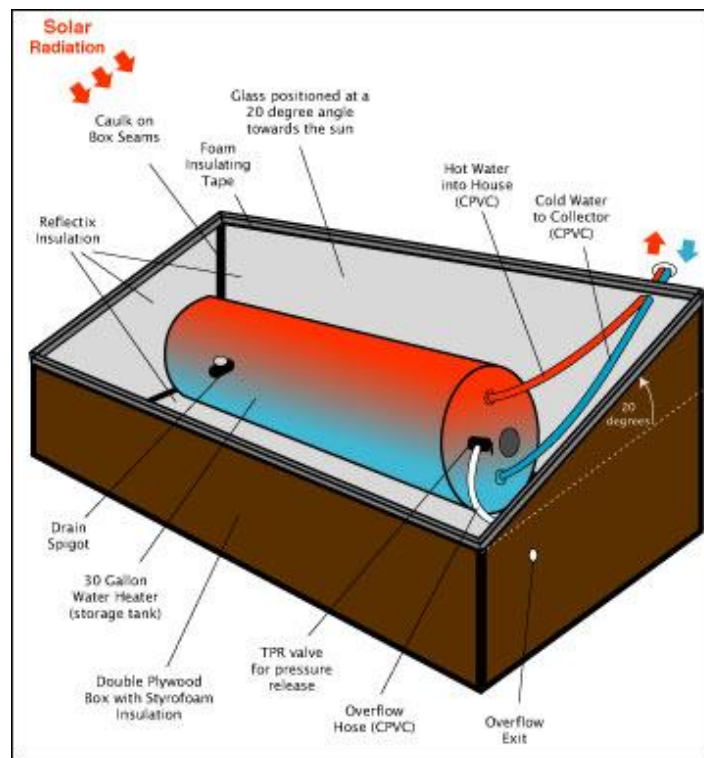
- batch collector,
- flat plate collector,
- evacuated tube collector,
- zonnetrog,
- warmtepomp.

De batch collector, de flat plate collector en de evacuated tube collector worden in dit deel uitgewerkt. De zonnetrog wordt uitgewerkt in het volgend deel namelijk 2.3.4. De warmtepomp wordt niet verder uitgewerkt omdat deze te veel elektrische energie vergt. Het elektriciteitsnet van Kenia is tot op heden niet stabiel genoeg om een constante output te voorzien voor het probleem.

## 2.2.1 Batch collector

### 2.2.1.1 Principe

In onderstaande figuur wordt een batch collector voorgesteld.



Figuur 3: Batch collector [2]

Een batch collector is een metalen vat dat in een gesloten omkasting geplaatst wordt. De binnenkant van de wanden worden bekleed met reflecterend isolatiemateriaal dat het zonlicht op het vat doet weerkaatsen. De bovenzijde is een glazen plaat. Doordat enerzijds het vat zonlicht kan absorberen en het isolatiemateriaal zonlicht weerkaatst aan de binnenzijde zal het water in de tank langzaam opwarmen. Het glas zorgt ervoor dat het zonlicht in de collector kan binnendringen. Doordat de kist volledig afgesloten is zal er zoveel mogelijk warmte in de kist blijven.

### 2.2.1.2 Efficiëntie

De efficiëntie van een batch collector is ten opzichte van andere systemen vrij laag. Dit omdat het zeer sterk afhankelijk is van de instralende zonne-energie per  $m^2$  en hieruit volgt dus ook de grootte van de glasplaat.

### 2.2.1.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een batch collector zijn:

- geen pomp,
- simpele opbouw,
- goedkoop,
- reproduceerbaar door lokale bevolking.

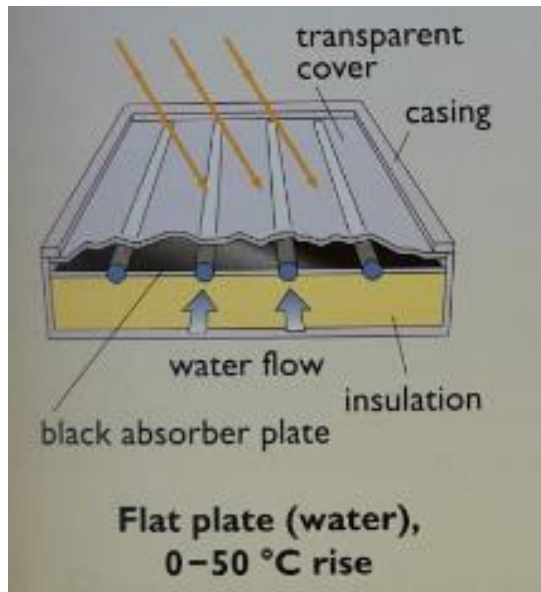
De nadelen van een batch collector zijn:

- beperkte temperatuurstijging door de grote hoeveelheid water en het klein instralend oppervlak;
- groot warmteverlies gedurende de nacht.

## 2.2.2 Flat plate collector

### 2.2.2.1 Principe

In onderstaande figuur wordt de opbouw van een flat plate collector voorgesteld.



Figuur 4: Flat plate collector [3]

Een flat plate collector is een collector die bestaat uit de volgende delen:

- een omkasting,
- isolatie,
- absorber plate,
- vloeistofleidingen,
- een doorzichtige afdekking.

Het zonlicht wordt geabsorbeerd door de absorber plate. Deze is meestal zwart geverfd of met een speciale coating behandeld [4]. De warmte die de absorber plate absorbeert wordt afgegeven aan vloeistofleidingen die aangebracht zijn op deze plaat. De warmte van de vloeistof in deze leidingen wordt via een warmtewisselaar afgegeven aan het water dat opgewarmd dient te worden.

### 2.2.2.2 Efficiëntie

De efficiëntie is afhankelijk van het oppervlak van de flat plate collector en de aangebrachte verf/coating op de absorber plate. Doordat de vloeistofleidingen zeer dun zijn kan de temperatuur snel hoog oplopen en relatief snel water via een warmtewisselaar opwarmen. Het heeft in warme klimaten meestal een hogere efficiëntie dan een evacuated tube collector [5] zoals figuur 6 aangeeft.



### 2.2.2.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een flat plate collector zijn:

- simpele opbouw,
- robuust,
- goed voor warm klimaat,
- relatief goedkoop,
- reproduceerbaar door lokale bevolking.

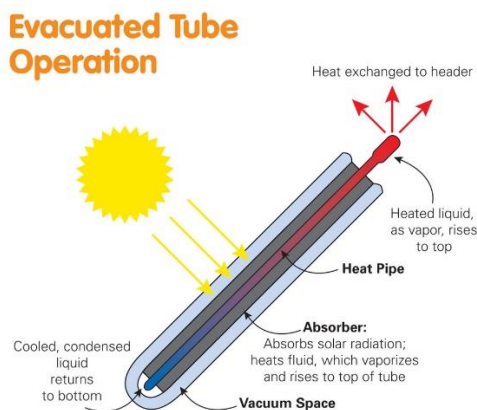
De nadelen van een flat plate collector zijn:

- meestal pomp nodig,
- beperkte temperatuursverhoging ( $0^{\circ}$  -  $50^{\circ}\text{C}$ ) [3];
- koper nodig.

### 2.2.3 Evacuated tube collector

#### 2.2.3.1 Principe

In onderstaande figuur wordt het principe van een evacuated tube collector afgebeeld.



Figuur 5: Evacuated tube operation [6]

In een dubbelwandige glazen buis waartussen een vacuüm heerst wordt een absorber geplaatst. Deze is net zoals de flat plate collector zwart en/of behandeld met een speciale coating. Deze absorber staat in rechtstreeks contact met een koperen buis. Binnenin deze buis zit een vluchtige vloeistof. Doordat deze evacuated tubes zeer goed geïsoleerd zijn loopt de temperatuur snel op. De vluchtige vloeistof verdampt en stijgt naar de top van de tube. Aan de top is een relatief groot warmtewisselend oppervlak in koper. De tubes worden in een leiding geschroefd waar water doorheen stroomt. De warmte van de vluchtige vloeistof wordt afgegeven aan het stromend water.

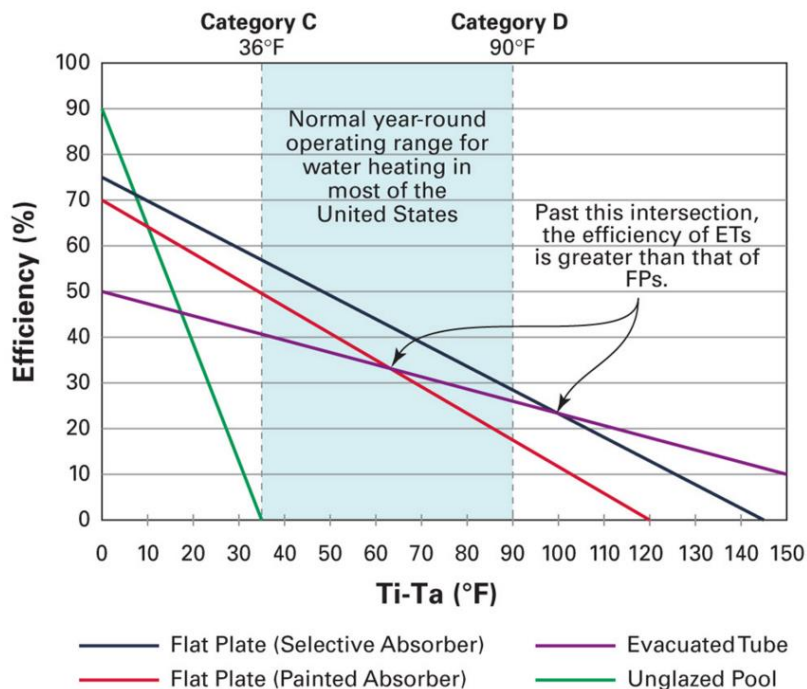
#### 2.2.3.2 Efficiëntie

De efficiëntie van een evacuated tube collector is vooral voor de hogere temperatuurverschillen goed zoals onderstaande figuur aangeeft. Echter is het ook



duidelijk dat een flat plate collector voor kleinere temperatuurverschillen een betere efficiëntie behaalt.

## Collector Efficiency



Figuur 6: Collector efficiency [7]

### 2.2.3.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een evacuated tube zijn:

- zeer goede efficiëntie;
- in de meeste gevallen een pomp nodig om het water rond te pompen.

De nadelen van evacuated tube zijn:

- onmogelijk om deze te bouwen in Kenia vanwege de moeilijkheid van de productie van de tube waarin een vacuüm moet heersen;
- onmogelijk te reproduceren door lokale bevolking.

### 2.3 Elektriciteit opwekken

Het is mogelijk om op zeer veel verschillende manieren elektriciteit op te wekken.

We sommen de meest voorkomende hier op:

- zonnepanelen,
- windmolen,
- stoomturbine,
- spaarbekken centrale,
- zonnetrog,
- zonnepanelen,

- zonneshotel,
- klassieke elektriciteitscentrale,
- kernenergie,
- *biomassa*,
- *biogas*,
- *aardwarmte*.

Uit deze lijst kiezen we nu de systemen met het hoogste potentieel en het meest haalbaar zijn in Afrika. Deze zijn weergegeven in cursief.

### 2.3.1 Zonnepaneel

#### 2.3.1.1 Principe

Een zonnepaneel is opgebouwd uit meerdere cellen. Deze staan allemaal in serie met elkaar in verbinding. Als een van deze cellen een probleem heeft, dan heeft dit ook effect op het volledige paneel. Deze cellen bestaan uit flinterdunne laagjes halfgeleidermateriaal. Tussen deze laagjes ontstaat een potentiaalverschil als er licht op invalt, waardoor er een spanningsverschil wordt opgewekt. Dit is een DC- spanning. Om deze spanning op het net aan te brengen moet dit omgezet worden naar een AC- spanning door middel van een omvormer. De oriëntatie en hoek van de panelen hebben een effect op de inval van het licht. In het beste geval staan de panelen naar het zuiden gericht, en hebben ze een hellingshoek van  $36^\circ$  (in België) [8]. In Ukunda moeten zonnepanelen zo vlak mogelijk geplaatst worden vermits het op een breedtegraad van  $4^\circ 3' 17''$  zuid ligt [9].

Figuur 7 geeft dit principe van een zonnepaneel schematisch weer.



Figuur 7: Zonnepaneel [8]

#### 2.3.1.2 Efficiëntie

Het rendement van de zonnepanelen wordt vooral bepaald door de hoeveelheid lichtinval en de temperatuur. Bij hoge temperaturen wekt een zonnepaneel minder vermogen op. Dit heeft te maken met de eigenschappen van diodes [8]. Ook moet er rekening gehouden worden met de vervuiling van het paneel. Er kan zich bijvoorbeeld een laag stof vormen op het paneel of er kunnen krassen op ontstaan. Een vuil paneel kan hierdoor tot 25% minder opbrengen [10]. De panelen kunnen wel gereinigd worden als er regelmatig en voldoende regen valt. Hier is het ook belangrijk onder welke hoek de panelen geplaatst worden. Er wordt geacht dat wanneer de hoek met de horizon

groter is dan 12 graden, de panelen zelfreinigend zijn [11].

Het vermogen van een paneel wordt uitgedrukt in Watt piek (Wp). Dit is het vermogen dat een zonnepaneel kan leveren onder ideale omstandigheden. Om een gemiddelde efficiëntie te hebben van de panelen wordt er 85% van dit vermogen gebruikt [8].

In totaal wordt er ongeveer 12 à 19% van de lichtenergie omgezet in elektrische energie [12].

#### 2.3.1.4 Voor- en nadelen

De voordelen van zonnepanelen zijn:

- de zon is een onuitputtelijke bron;
- DC-energie kan worden opgeslagen;
- levensduur +- 25 jaar;
- kan een zeer groot oppervlak beslaan;
- milieuvriendelijk.

De nadelen van zonnepanelen zijn:

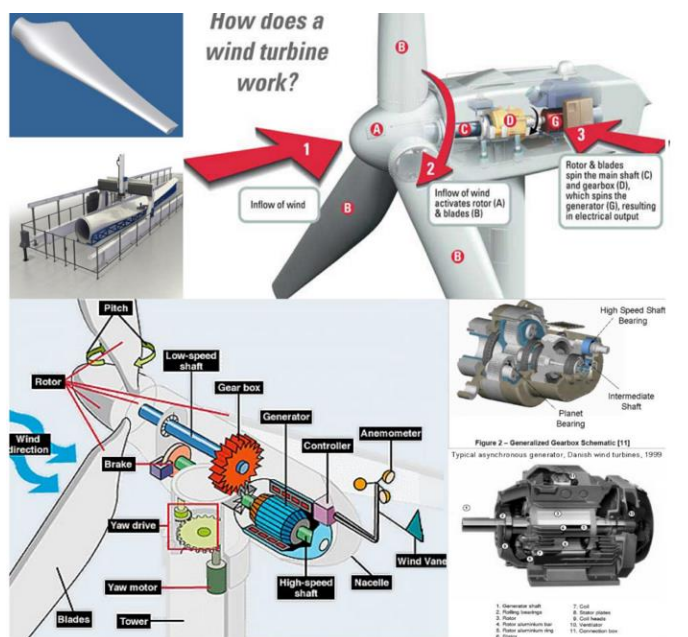
- panelen zijn relatief duur bij aankoop;
- stof en vuil gevoelig;
- diefstal gevoelig;
- 's nachts geen energie opwekking.

#### 2.3.2 Windmolen

##### 2.3.2.1 Principe

Wind wordt tegen de wieken geblazen, waardoor deze gaan ronddraaien. Op deze roterende as is er een generator aangesloten die vervolgens deze draaiende beweging omzet naar energie. Deze draaiende beweging wordt meestal nog beïnvloed door een tandwieloverbrenging.

Onderstaande figuur toont het principe van een windmolen.



Figuur 8: Principe windmolen [13]

### 2.3.2.2 Efficiëntie

De efficiëntie hangt af van de snelheid van de wind aangezien dit de rotatiesnelheid van de wieken beïnvloedt. Echter wordt er tegenwoordig meestal voor gezorgd dat de draaisnelheid van de windmolen constant blijft, ook al zijn er windstoten [14].

Het rendement hangt af van de liftkracht van de wiek. Hierdoor kan de wiek verscheidene vormen aannemen. De vorm van een rechthoek of van de vleugel van een vliegtuig. De vorm van een vliegtuigvleugel geeft echter het grootste rendement [15], [16].

Gemiddeld wordt er 50% van de windenergie omgezet op de as. Na de generator en de tandwielkast te zijn gepasseerd blijft er nog ongeveer 22% over van de windenergie die is omgezet in elektrische energie [14].

### 2.3.2.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een windmolen zijn:

- lucht is altijd en overal aanwezig;
- milieuvriendelijk,
- werkt in alle weersomstandigheden;
- kan AC of DC produceren;
- relatief bestand tegen diefstal;
- weinig onderhoud nodig;
- robuust.

De nadelen van een windmolen zijn:

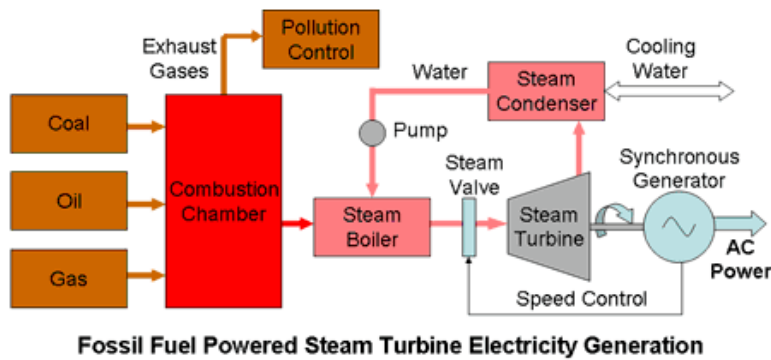
- geluidsoverlast,
- variabele opbrengst,
- omvang.

## 2.3.3 Stoomturbine

### 2.3.3.1 Principe

Water opwarmen in een ketel tot het stoom wordt. Vervolgens wordt de stoom oververhit. De potentiële energie die de stoom dan heeft wordt omgezet naar kinetische energie door middel van straalbuizen of leischoppen. De snelheid van de stoomdeeltjes zorgt ervoor dat een turbine gaat draaien, die op zijn beurt een generator aandrijft. De turbine levert dan mechanische arbeid voor de generator. Als de generator draait kan deze elektrische energie opwekken. Indien er in de stoom te veel water aanwezig is kan er cavitatie optreden. Het opwarmen van het water is echter geen milieuvriendelijk proces doordat er gebruikt moet worden gemaakt van fossiele brandstoffen. Ook moet er voldoende brandstof aanwezig zijn om het proces vlot te laten verlopen.

Onderstaande figuur toont het werkingsprincipe van een stoomturbine.



Figuur 9: Principe stoomturbine [17]

### 2.3.3.2 Efficiëntie

Het rendement van een stoomgenerator hangt af van het doorstromend debiet, de schoephoek en de snelheid van de stoomdeeltjes [18].

Een kleine stoomturbine heeft ongeveer een efficiëntie van 10% [18]. Deze lage waarde kan verklaard worden door de grote hoeveelheid extra energie die nodig is om het water tot stoom te laten condenseren. Er wordt dan nog nauwelijks extra elektrische energie opgewekt door de turbine. Onderstaande tabel geeft dit weer.

Tabel 1: Efficiëntie stoomturbine

Cost & Performance Characteristics <sup>3</sup>	System 1	System 2	System 3
<b>Steam Turbine Parameters</b>			
Nominal Electricity Capacity (kW)	500	3,000	15,000
Turbine Type	Back Pressure	Back Pressure	Back Pressure
Equipment Cost (\$/kW) <sup>6</sup>	540	225	205
Total Installed Cost (\$/kW) <sup>7</sup>	918	385	349
Turbine Isentropic Efficiency (%) <sup>8</sup>	50%	70%	80%
Generator/Gearbox Efficiency (%)	94%	94%	97%
Steam Flow (lbs/hr)	21,500	126,000	450,000
Inlet Pressure (psig)	500	600	700
Inlet Temperature (° Fahrenheit)	550	575	650
Outlet Pressure (psig)	50	150	150
Outlet Temperature (° Fahrenheit)	298	366	366
<b>CHP System Parameters</b>			
Boiler Efficiency (%), HHV	80%	80%	80%
CHP Electric Efficiency (%), HHV <sup>9</sup>	6.4%	6.9%	9.3%
Fuel Input (MMBtu/hr) <sup>10</sup>	26.7	147.4	549.0
Steam to Process (MMBtu/hr)	19.6	107.0	386.6
Steam to Process (kW)	5,740	31,352	113,291
Total CHP Efficiency (%), HHV <sup>11</sup>	79.6%	79.5%	79.7%
Power/Heat Ratio <sup>12</sup>	0.09	0.10	0.13
Net Heat Rate (Btu/kWh) <sup>13</sup>	4,515	4,568	4,388
Effective Electrical Efficiency (%), HHV <sup>14</sup>	75.6%	75.1%	77.8%

Hier zien we dat een stoomturbine een gemiddeld elektrisch rendement heeft van iets minder dan 10% [18]. Dit betekent indirect dat dit een vrij duur systeem is. Ook vindt hier nog steeds een verbranding plaats, waar brandbaar materiaal voor nodig is.

### 2.3.3.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een stoomturbine zijn:

- DC of AC energie,
- oude techniek,
- robuust.

De nadelen van een stoomturbine zijn:

- wekt te veel elektriciteit op;
- laag rendement,
- water moet stoom worden;
- oude techniek,
- water zonder zout moet beschikbaar zijn;
- uitgebreid in opbouw,
- moeilijke constructie.

### 2.3.4 Zonnetrog

#### 2.3.4.1 Principe

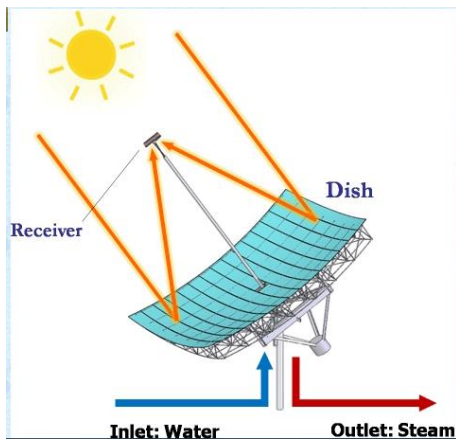
Een zonnetrog bestaat uit parabolische spiegels die zo zijn gebogen dat dat de zonnestrallen samenkomen op één lijn, de brandlijn. Op deze lijn is er dan een buis voorzien waardoor er water, olie of een zoutoplossing stroomt. De temperatuur van de vloeistof in deze buizen kan oplopen tot 400°C [19]. Deze hitte wordt gebruikt om vervolgens in een bassin water tot stoom te veranderen. De stoom drijft een stoomgenerator aan (zie 2.3.3.).

Het principe van een zonnetrog wordt hier beneden weergegeven.



Figuur 10: Principe zonnetrog [19]





Figuur 11: Schets zonnetrog [20]

#### 2.3.4.2 Efficiëntie

De efficiëntie van dit systeem hangt af van de hoeveelheid zon die er aanwezig is. Indien er veel schommelingen zijn, of als het vaak bewolkt wordt, kan er een buffertank voorzien worden waar de vloeistof op temperatuur gehouden wordt. Het is van belang dat de spiegels zuiver blijven en niet beschadigd worden. De hoeveelheid gereflecteerde straling zorgt immers voor de opwarming van de vloeistof in de buis. Als er een betere efficiëntie dient bekomen te worden, kan de parabolische spiegel ook roterend worden opgesteld met behulp van een motor.

#### 2.3.4.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een zonnetrog zijn:

- lichte variatie kan worden opgevangen;
- water koken en elektriciteit opwekken gaat in één keer;
- milieuvriendelijk.

De nadelen van een zonnetrog zijn:

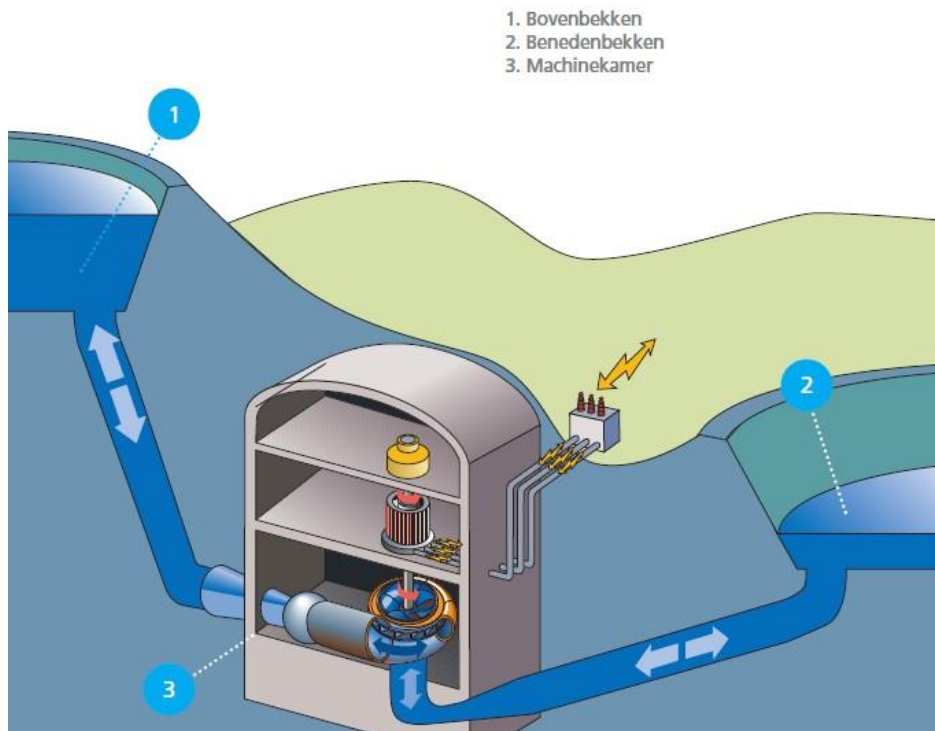
- zon afhankelijk,
- gevaar voor diefstal van spiegels;
- regenachtige dagen minder tot geen energie;
- stoomturbine nodig.

#### 2.3.5 Spaarbekkencentrale

##### 2.3.5.1 Principe

Figuur 13 toont een waterkrachtcentrale met twee spaarbekken zijn. Het ene bekken is hoger gelegen dan het andere, waardoor er een verschil is in potentiële energie. Het water dat in het hoge bekken staat wil naar beneden vloeien. Als dit gebeurt passeert het water een turbine die een generator aandrijft. Deze generator wekt dan elektrische energie op. Het water komt uiteindelijk terecht in het onderste waterbekken. Als het bovenste waterbekken leeg is, kan er ook geen energie meer geproduceerd worden. Hierdoor zal het water ook weer terug naar boven gepompt moeten worden. Als dit weer naar boven gepompt is kan het weer terug naar onder “storten” om elektriciteit op te wekken.

Onderstaande figuur geeft het principe van een spaarbekkencentrale.



Figuur 12: Principe spaarbekkencentrale [21]

### 2.3.5.2 Efficiëntie

De opbrengst van een watercentrale hangt af van de hoeveelheid water dat naar beneden vloeit. Ook is de hoogte hiervan belangrijk. Dit heeft invloed op de bediening van de turbine [22].

Verder gaat er een deel van de opgewekte energie verloren omdat het water van het onderste reservoir ook terug naar het bovenste reservoir gepompt moet worden.

### 2.3.5.3 Voor- en nadelen

De voordelen van een spaarbekkencentrale zijn:

- snelle levering van elektriciteit;
- kan AC of DC energie leveren;
- water kan veel kracht hebben.

De nadelen van een spaarbekkencentrale zijn:

- veel water nodig voor een goede werking;
- water moet terug omhoog gepompt worden;
- water moet van hoogte komen.

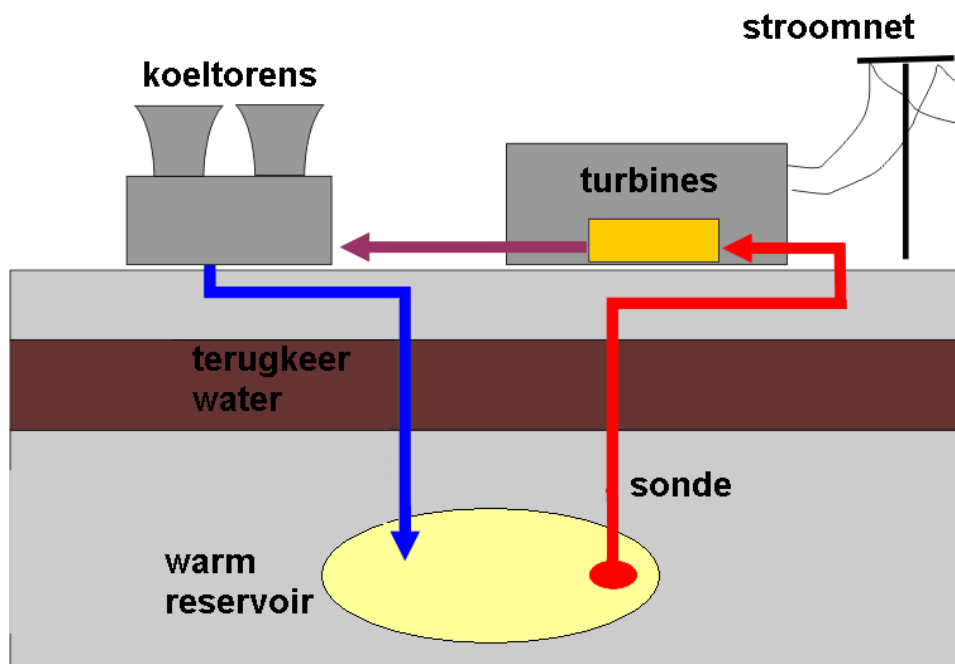
## 2.3.6 Aardwarmte

### 2.3.6.1 Principe

Het principe van aardwarmte berust op het gebruik van warmte in de aarde. Er wordt tot diep in de aarde geboord. Hierdoor is het mogelijk om dichterbij de kern van de aarde te komen waar de temperatuur van het grondwater hoger is. Er kan dus direct warm water omhoog gepompt worden.



Vervolgens moet er nog energie toegevoegd worden om water tot stoom te maken. Dit kunnen we dan gebruiken in een stoomturbine om elektriciteit te maken (zie 2.3.3.). Onderstaande figuur geeft het werkingsprincipe weer van aardwarmte.



Figuur 13: Principe aardwarmte [23]

### 2.3.6.2 Efficiëntie

De efficiëntie is zeer afhankelijk van de plaatsen waar er geboord wordt. Hier moet eerst een onderzoek gedaan worden als er wel grondwater is, en op welke diepte. Ook wordt er dan getracht te meten hoe warm dit is. Er gaat tijdens het omhoog pompen van het warm water ook veel hitte verloren. Er moet in de meeste gevallen nog extra energie toegevoegd worden om water aan de kook te brengen. Vaak is in vulkanische gebieden de temperatuur van het water hoger.

### 2.3.6.3 Voor- en nadelen

De voordelen van aardwarmte zijn:

- water heeft al een hogere begintemperatuur;
- geen energie toevoer nodig om warm te verkrijgen;
- AC- en DC spanning mogelijk;
- milieuvriendelijk.

De nadelen van aardwarmte zijn:

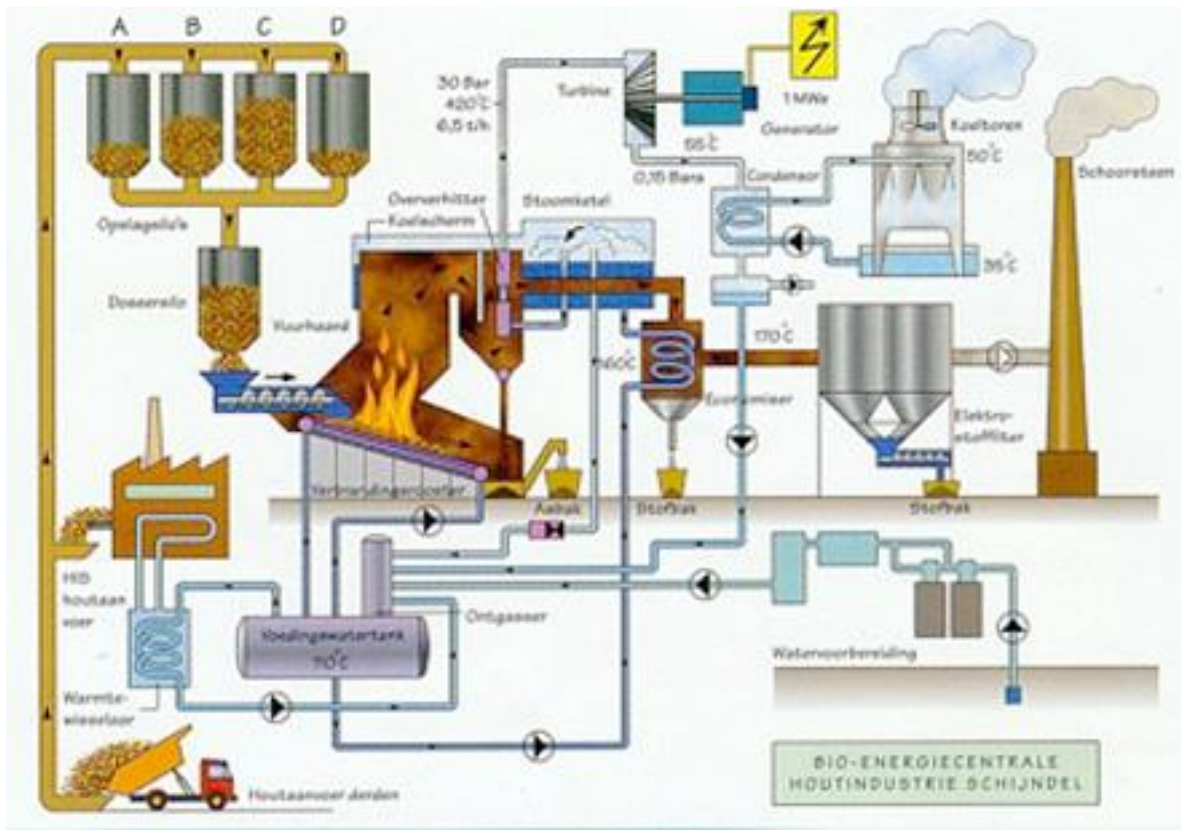
- er moet diep geboord kunnen worden;
- water moet opgepompt worden;
- kokend water niet mogelijk;
- veel verliezen van temperatuur tijdens oppompen.

## 2.3.7 Biomassa

### 2.3.7.1 Principe

Als we met biomassa werken, wordt er gebruik gemaakt van houtafval en afval uit de tuinbouw. Dit afval wordt dan geperst tot briquettes of pellets. Deze grondstoffen worden dan gebruikt als brandstof. Vaak wordt dit gebruikt in kachels (huisverwarming) [24], maar dit kan ook gebruikt worden als verwarmingseenheid voor bijvoorbeeld een kookinstallatie.

Het is ook mogelijk om met biomassa elektriciteit te produceren. Op onderstaande figuur zien we een prinscheschets hoe dit gebeurt.



Figuur 14: Principe biomassa [24]

Ook hier wordt de biomassa gebruikt om water tot stoom te vormen. De stoom wordt dan gebruikt om een stoomgenerator aan te drijven (zie 2.3.3.). Het water tot stoom transformeren gebeurt via de temperatuur van de rookgassen van de installatie.

### 2.3.7.2 Efficiëntie

De intensiteit van het vuur wordt bepaald door de hoeveelheid brandstof die wordt toegevoerd. Hierdoor is het ook mogelijk om temperaturen boven de 100 °C te bereiken. De efficiëntie van briquettes ligt hoger dan die van pellets [24].

### 2.3.7.3 Voor- en nadelen

De voordelen van biomassa zijn:

- groene energie,
- geen CO2 uitstoot (voor discussie vatbaar);
- veel soorten brandbaar materiaal mogelijk.

De nadelen van biomassa zijn:

- continue toevoer brandstof nodig;
- veel brandstof nodig;
- maakt gebruik van water.

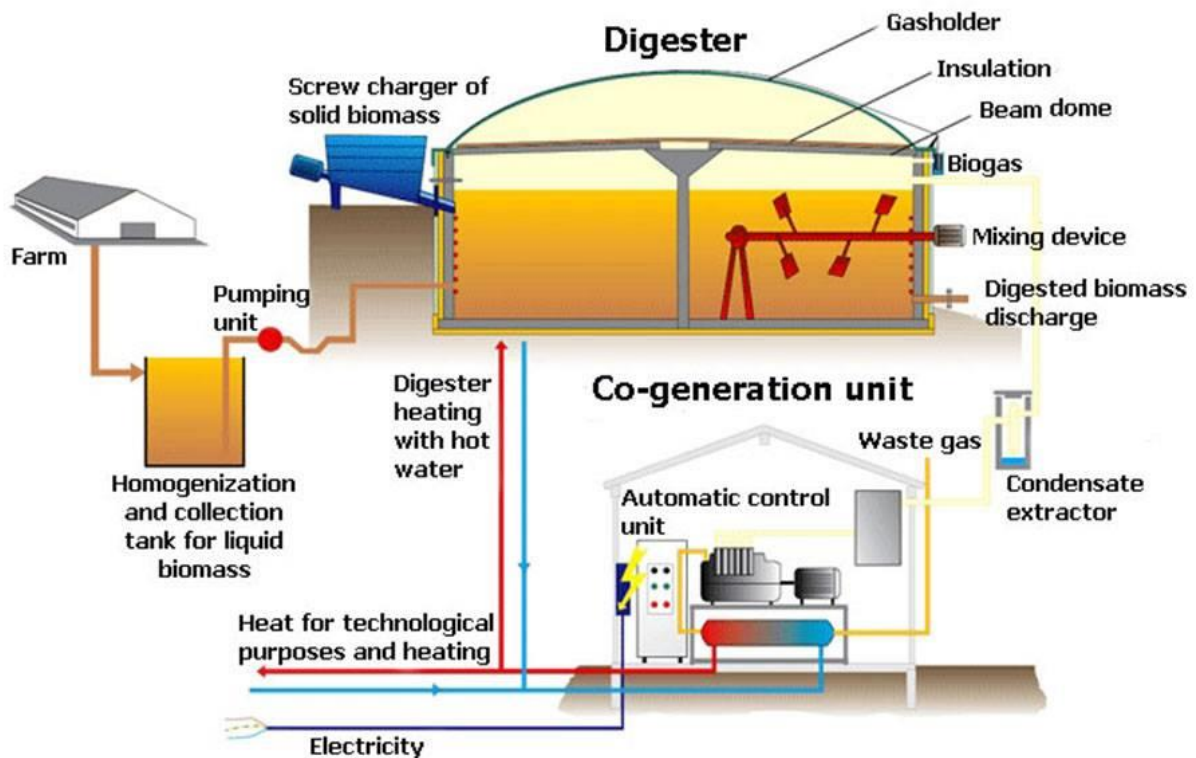
### 2.3.8 Biogas

#### 2.3.8.1 Principe

De bioreactor of vergister is hermetisch afgesloten. Hierdoor is het proces niet schadelijk voor buurtbewoners.

In de vergister komen vloeibare of vaste organische stoffen. Hiervoor wordt er vaak mest of maïs gebruikt. Deze organische stoffen worden dan opgewarmd in de vergister. Vervolgens geven deze organische stoffen gassen af. Deze gassen kunnen dan gebruikt worden om elektriciteit en dergelijke op te wekken.

Onderstaande figuur geeft het werkingsproces van een biogas installatie weer.



Figuur 15: Principe biogas installatie [25]

#### 2.3.8.2 Efficiëntie

Ongeveer tien procent van de opgewekte energie moet worden toegevoerd aan de centrale zelf [25]. Dit is nodig om onder andere een roerder aan te drijven, die de organische massa rond roert en verplaatst. De andere energie wordt aan het net toegevoegd.

De warmte van de vergister wordt ook nuttig gebruikt. Namelijk om gassen op te wekken. De restwarmte kan gebruikt worden om plaatselijke huizen te verwarmen en dergelijke.

### 2.3.8.3 Voor- en nadelen

De voordelen van biogas zijn:

- groene energie,
- geen CO<sub>2</sub> uitstoot,
- veilige installatie.

De nadelen van biogas zijn:

- continue toevoer brandstof nodig;
- veel brandstof nodig,
- wekt veel hitte op.

## 2.4 Combinatie van water voorverwarmen en elektriciteit opwekken

Het is ook mogelijk om het opwarmen van water te combineren met het opwekken van elektriciteit. Het voordeel hiervan is dat twee energiebehoeften tegelijk ingelost kunnen worden. Dit kan door gebruik te maken van enkele van de bovenstaande systemen.

Systemen die in aanmerking komen zijn:

- stoomturbine,
- zonnetrog,
- biogas installatie,
- biomassa installatie.

Deze concepten werden reeds hierboven kort beschreven.

## 2.5 Opslag van energie

### 2.5.1 Batterij

We kunnen opgewekte elektrische energie opslaan in een batterij.

Als de vraag naar energie op een bepaald ogenblik niet groot is, kan de resterende energie worden opgeslagen. Als er zich een moment voordoet dat er meer energie nodig is, dan kan dit van de batterij worden gevraagd.

Echter moet de DC- spanning van een batterij in de meeste gevallen wel worden omgevormd naar een AC- spanning indien we dit willen gebruiken om elektrische apparaten te voeden.

### 2.5.2 Spaarbekken

De spaarbekken centrale kan ook bekeken worden als een manier om energie op te slaan. Als er veel energie gevraagd wordt moet het water naar onder stromen en energie opwekken. Op momenten dat er weinig tot geen energie gevraagd wordt, kan het water terug omhoog gepompt worden. De opslag van het water in het bovenste spaarbekken staat dus gelijk aan energie.

Meer uitleg betreffende de spaarbekken centrale is in 2.3.5. te vinden.

## 2.6 SWOT- analyse

### 2.6.1 Inleiding

Uit de systemen die hierboven zijn beschreven, is er een selectie gemaakt. Enkele systemen zijn gekozen die haalbaar zijn in het beschikbare tijdsbestek in Afrika. Op de geselecteerde mogelijkheden is een analyse uitgevoerd op de *strengths*, *weaknesses*, *opportunities* and *threats* (SWOT). Deze analyses worden dan met elkaar vergeleken. Hieruit wordt een systeem gekozen dat verder uitgewerkt wordt.

### 2.6.2 SWOT- analyse windmolen

Onderstaande figuur toont een uitgevoerde SWOT- analyse van een windmolen.



Figuur 16: SWOT- analyse windmolen

Als er gebruik gemaakt wordt van een windmolen, kan er elektriciteit geproduceerd worden. Met deze opgewekte elektriciteit wordt er water aan de kook gebracht. Op deze manier worden de twee grootste energiekosten van de school gereduceerd. Echter moet er een mogelijkheid zijn om energie op te slaan. Het is niet duidelijk of de lokale bevolking een windmolen kan namaken. Het is positief dat diefstal van de windmolen nagenoeg niet mogelijk is.

### 2.6.3 SWOT- analyse wachtbekkencentrale

Onderstaande figuur toont een uitgevoerde SWOT- analyse van een wachtbekkencentrale.



Figuur 17: SWOT- analyse wachtbekken centrale

Het positieve aan een waterkrachtcentrale is dat het debiet van de waterstroom geregeld kan worden. Hierdoor kan de hoeveelheid van de opgewekte elektriciteit ook gemakkelijk geregeld worden. De seizoenen hebben geen invloed op het concept. Dit systeem kan het hele jaar door elektriciteit leveren. Men kan hier met de opgewekte elektriciteit het water aan de kook brengen en de elektriciteitskosten van de school doen dalen. Echter is er wel veel water nodig om de turbine goed te laten functioneren. Het positioneren en produceren van de turbine is een moeilijke opgave. Hierdoor is het ook niet duidelijk of de lokale bevolking dit kan reproduceren. Ook wordt er aandacht besteed aan de vraag als het ethisch verantwoord is om een installatie te bouwen waar veel water voor nodig is op plaatsen waar water zeer schaars is. Er wordt verwacht dat een dergelijke installatie veel plaats in beslag neemt. Een sterke factor is dat een dergelijk systeem niet diefstalgevoelig is. Verder is het positief dat de energie niet opgeslagen moet worden aangezien elektriciteit snel voor handen is.

#### 2.6.4 SWOT- analyse zonnetrog

Onderstaande figuur toont een uitgevoerde SWOT-analyse van een zonnetrog.



Figuur 18: SWOT- analyse zonnetrog

Als we het rendement van een zonnetrog zo groot mogelijk willen krijgen, is het nodig dat we de parabolische schotel roterend opstellen. Dit moet liefst gebeuren met een motor. Door gebruik te maken van een zonnetrog is het mogelijk om de vloeistof door de buis zeer warm te krijgen. Hierdoor is het mogelijk om water aan de kook te brengen. Het is zelfs mogelijk om hiermee elektriciteit op te wekken. Er moet getracht worden een goed reflecterend oppervlak te vinden, dat eenvoudig een parabolische vorm kan aannemen. Het tekort aan zon tijdens de regenmaanden kan hier echter wel voor een probleem zorgen. Het is mogelijk om kleine schommelingen op te vangen door gebruik te maken van een buffervat.

Het is belangrijk dat het oppervlak van de spiegels zuiver blijft. Stof heeft een nadelig effect op het reflecterend vermogen van een oppervlak. Het is niet duidelijk hoe diefstalgevoelig een dergelijke installatie is. De kans de lokale bevolking een dergelijk systeem niet kan namaken is groot. Dit omdat de kromming die het reflecterend oppervlak moet beschrijven van groot belang is.



### 2.6.5 SWOT- analyse batch collector

Onderstaande figuur toont een uitgevoerde SWOT- analyse van een batch collector.



Figuur 19: SWOT- analyse batch collector

Een batch collector is vrij eenvoudige constructie. Daarom is de kostprijs eerder beperkt. Dit proces kan echter niet voldoende warmte opwekken om water aan de kook te brengen. De batch collector kan wel gebruikt worden om de energietoevoer naar de buitenlucht te doen dalen. Dit is dus een ideaal proces om het water voor te verwarmen, en warmte langer vast te houden. Als de ton de dag voordien opgewarmd wordt, dan kan het water wel nog het grootste gedeelte van de warmte vasthouden. Aangezien ervan uit gegaan wordt dat dit vrij gemakkelijk te bouwen is, wordt er aangenomen dat de mensen in Afrika dit ook kunnen namaken. Het is belangrijk dat er goed isolatiemateriaal ter beschikking is om een dergelijke collector te ontwerpen.



### 2.6.6 SWOT- analyse vlakke plaat collector

Onderstaande figuur toont een uitgevoerde SWOT- analyse van een vlakke plaat collector.



Figuur 20: SWOT- analyse vlakke plaat collector

Een vlakke plaat collector is moeilijker te maken dan een batch collector. Toch wordt er geacht dat de lokale bevolking een dergelijke collector kan namaken mits een goede voorbereiding. Ook hier doet het probleem zich voor dat het warme water niet op het juiste moment beschikbaar is, aangezien het water vroeg op de dag wordt afgetapt. Dit probleem kan grotendeels worden opgelost door gebruik te maken van een opslagvat. Een mogelijk gevaar van dit ontwerp is dat er lekkages optreden in het buizensysteem. Het is belangrijk om goede isolatie te vinden zodat de warmte opgeslagen blijft. Het reinigen van de panelen moet mogelijk blijven, aangezien het rendement wordt beïnvloed door stof.

### 2.7 Conclusies

Er wordt getracht om zoveel mogelijk problemen rond energie in één keer op te lossen. Om dit te verwezenlijken heeft er een korte berekening plaatsgevonden op de dimensionering van een windmolen die in eerdere projecten [26] van Students for Energy in Africa succesvol zijn afgerond (zie bijlage A). Hier waren echter enkele problemen. Als alle elektrische apparaten van de school in rekening worden gebracht, en de energie die nodig is om 150 liter water aan de kook te brengen, dan was er een windmolen nodig met een wiekdiameter van 18 meter. Dit zorgt voor enkele problemen. De school ligt zeer dicht bij een plaatselijk vliegveld. Hierdoor kan er geen hoge toren gebouwd worden. Ook is het in Afrika bijna onmogelijk om een wiek van 9 meter lengte te vervaardigen. Daarom is dit idee snel verworpen.

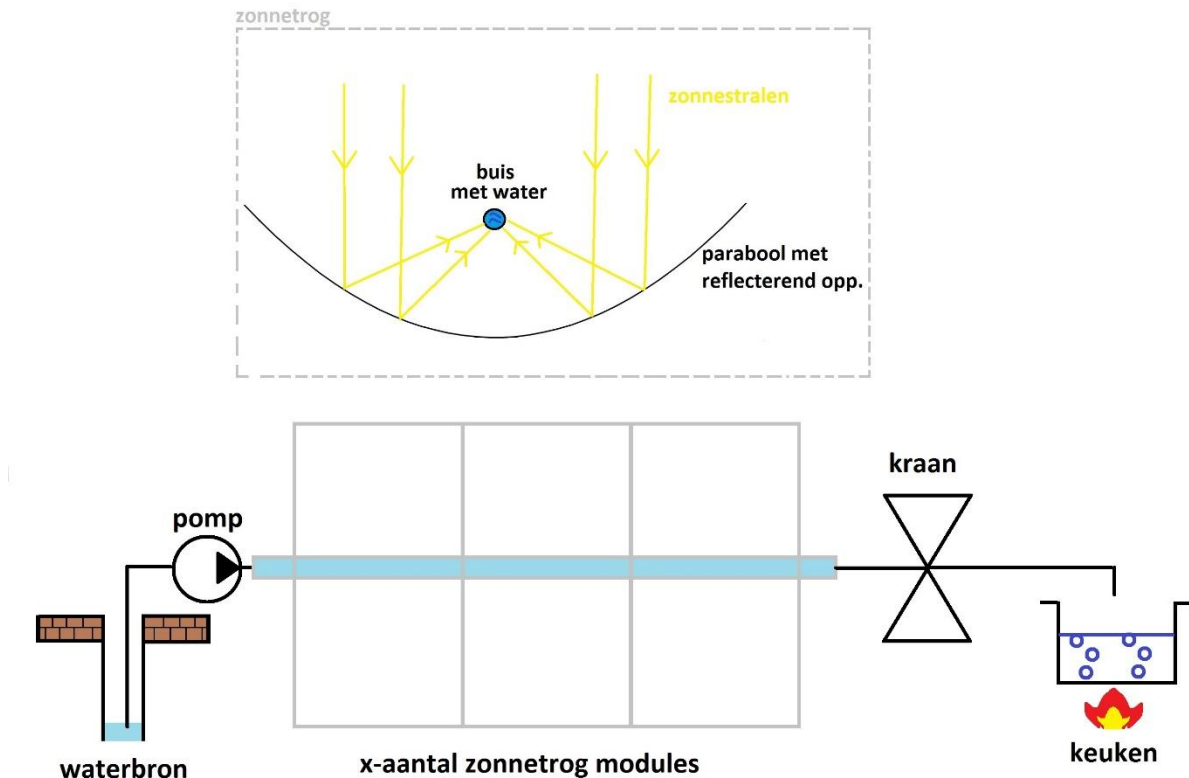
Omdat er te veel elektriciteit nodig is, wordt er gefocust op het reduceren van de stookkost.

De informatie uit deze literatuurstudie, en de bijbehorende SWOT-analyses worden gebruikt om een geschikt concept te kiezen, namelijk een zonnetrog. Een zonnetrog heeft als voordeel dat het water zeer snel kan opwarmen. Aangezien het opwarmen in een klein tijdsbestek moet gebeuren is dit een goede mogelijkheid.

### 3 Zonnetrog

#### 3.1 Concept

In onderstaande figuur wordt het concept van de zonnetrog afgebeeld en hoe het geïmplementeerd kan worden in de school.



Figuur 21: Concept zonnetrog

Doordat een zonnetrog zeer efficiënt kan zijn, kan het water ook zeer snel opgewarmd worden. Een reservoir/opslagtank is niet ter beschikking tenzij deze wordt aangekocht. Om deze redenen wordt er gekozen om de zonnetrog verder uit te werken.

De zonnetrog zal gebruikt worden om de waterbehoefte van één dag in de keuken op te warmen. Dit is ongeveer 150 liter (zie bijlage E).

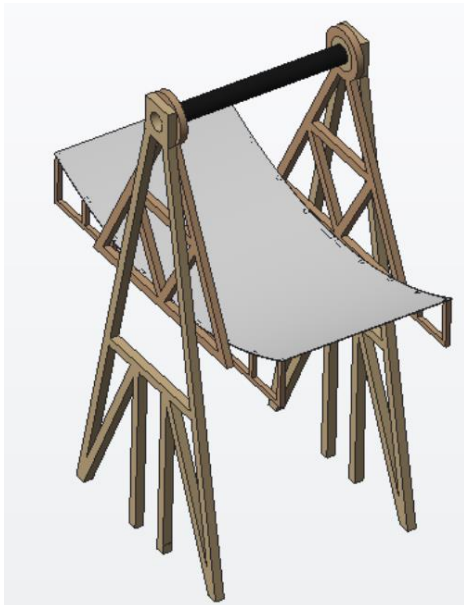
Omdat de hoeveelheid water in één keer genuttigd wordt, werd er gekozen voor een open systeem. Dit wil zeggen dat het water niet continu bijgevuld wordt wanneer er water afgenomen wordt. Het systeem wordt enkel gevuld op specifieke momenten, dit na het koken zodat het namiddag terug kan opwarmen. Als er voor een gesloten systeem gekozen wordt, zou dit ervoor zorgen dat het water zeer snel terug afkoelt omdat er veel koud water toegevoegd wordt. Een nadeel van een open systeem is dat bij het aftappen van het water er lucht in de buis komt waardoor het opwarmen van water minder snel verloopt. Dit is echter verwaarloosbaar omdat het water in één keer genuttigd wordt.

Verder wordt er gekozen om met een direct werkend systeem te werken. Dit wil zeggen dat er geen warmtewisselaar gebruikt wordt die het water onrechtstreeks opwarmt. Het te gebruiken water wordt dus direct verwarmd met als gevolg dat de volledige hoeveelheid water in de buizen opgeslagen wordt. Hierdoor moeten er dikkere buizen gebruikt worden wat resulteert in meer verliezen. Een voordeel is echter dat indien het

reflecterend oppervlak onzuiverheden heeft de brandlijn breder zal zijn. Door dikkere buizen te gebruiken zal het makkelijker zijn om ze positioneren in de brandlijn. Om de zonnestralen te laten reflecteren zijn er twee opties: er kan gebruik gemaakt worden van dunne glazen strips bedekt met een spiegelfolie of van gespiegeld roestvaststaal (RVS). De bevestiging van deze laatste mogelijkheid is echter eenvoudiger. Daarnaast is de duurzaamheid van spiegelfolie in zoutige omgevingen een raadsel. Daarom wordt er voor de gespiegelde RVS gekozen. RVS moet natuurlijk worden gepolijst om een zo groot mogelijk spiegellend rendement te hebben.

Verder is het belangrijk dat de zon altijd onder dezelfde hoek invalt op de spiegels. Hierdoor moet de schotel roterend worden opgesteld. Een vaste opstelling, zonder roterende schotel is ook mogelijk indien de oriëntatie van het dak perfect is. De keuze voor een vaste opstelling of een roterende wieg wordt in Kenia gemaakt. Van beide mogelijkheden is er in een 3D-tekenpakket een schets gemaakt. Ook werd er een miniatuurmodel gelaserd zodat de lokale bevolking zich een beeld kan vormen van het systeem. In onderstaande figuren worden deze weergegeven. Voordat er een keuze gemaakt kan worden moet eerst de relatieve positie en de draaiing van de zon onderzocht worden, dit wordt ter plaatse gedaan.

Tot slot wordt er getracht om de zonnetrog onder een lichte helling te plaatsen zodat er geen pomp nodig is om het water af te tappen. Indien dit niet mogelijk blijkt te zijn kan er nog altijd een pomp toegevoegd worden.



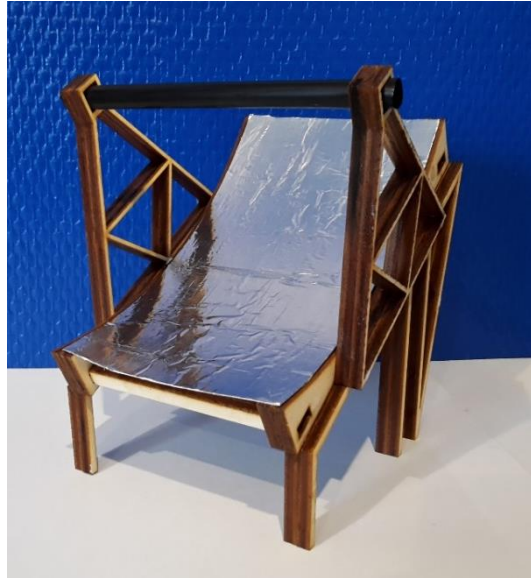
*Figuur 23: Schets roteerbare opstelling zonnetrog*



*Figuur 22: Schets vaste opstelling zonnetrog*



*Figuur 25: Schaalmodel roteerbare opstelling*



*Figuur 24: Schaalmodel vaste opstelling*

In figuur 23 wordt er een 3D- schets van een roterende wieg opstelling getoond.

In figuur 24 wordt er een 3D-schets getoond van een vaste opstelling

De voet van beide systemen kan nog gewijzigd worden. Deze hangt af van de plaats waar de zonnetrog moet komen staan.

In figuren 25 en 26 zien we de miniatuurvoorstelling van de overeenkomstige 3D-schetsen.

Er is bewust gekozen om te werken met modules. Deze modules hebben de grote van een standaard RVS- plaat. Breedte: 1,22m en de lengte: 2,44m. Deze modules kunnen aan elkaar geschakeld worden om het gewenste volume water te dekken. Door gebruik te maken van een volledige plaat is hier geen overbodig afval.

### 3.2 Berekeningen

De begintemperatuur van het water is 26°C of 299K. De eindtemperatuur die bekomen dient te worden is 100°C of 373K.

De toegevoegde warmte om dit te bereiken kan berekend worden met volgende formule:  $Q = m \cdot C_v \cdot \Delta T$  [J] [1]

Waarbij:

Q, de toegevoegde warmte is in joule

m, de massa van de vloeistof

Cv, de soortelijke warmtecapaciteit van de vloeistof

$\Delta T$ , het temperatuurverschil tussen begin- en eindtemperatuur.

De massa van het water bedraagt 150kg.

De soortelijke warmte van water bedraagt 4186 J/(kg·K)

Dit ingevuld in [1] geeft:

$$Q = 150 \cdot 4186 \cdot (373 - 299) = 46464600 \text{ J}$$

$$Q = 46464,6 \text{ kJ}$$

De zon komt om 06:30h op en het hete water moet om 11:00h beschikbaar zijn in de keuken van Rainbow4kids. Hierdoor is er 4,5h of 16200s ter beschikking om het water op te warmen.

Om het vermogen van de zonnetrog te bepalen maken we gebruik van onderstaande formule:

$$P = \frac{Q}{t} \quad [2]$$

Waarbij:

P, het vermogen in W is.

Q, het toegevoegde warmte in J is.

t, de tijd in s is.

Invullen van [2] geeft:

$$P = \frac{46464600}{16200} = 2868,15 \text{ W}$$

De zon heeft op de evenaar een instralend vermogen van  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Indien er aangenomen wordt dat slechts 60% effectief gebruikt kan worden wegens het opwarmen in de vroege ochtend. Is er een vermogen van  $600\text{W}/\text{m}^2$  beschikbaar. De reflectie van de zonnwarmte door de roestvaste stalen platen wordt aangenomen op 15%.

Hierdoor is effectief vermogen afgenomen tot  $90\text{W}/\text{m}^2$

Het oppervlak kan hieruit bepaald worden met volgende formule:

$$A = \frac{P}{P_{eff}} \quad [3]$$

Waarbij:

A, het oppervlak in  $\text{m}^2$  is.

P, het vermogen in W is.

$P_{eff}$ , het effectief vermogen in  $\text{W}/\text{m}^2$  is.

Dit ingevuld in formule [3] geeft:

$$A = \frac{2868,15}{90} = 31,86\text{m}^2$$

Omdat het verlies zeer moeilijk te bepalen is wordt er een veiligheidsmarge van 25% ingecalculerd.

Hierdoor is het totaaloppervlak van de installatie  $40\text{m}^2$ .

Dit komt overeen met 10 modules, 1 module bestaat uit 2 RVS- platen langs elkaar.

Doordat er met modules gewerkt kan worden kan dit naargelang de situatie uitgebreid worden.

### 3.3 Materialen- en kostenlijst

Uit de berekeningen werd er verondersteld dat er 20 modules gebouwd moeten worden. Er wordt een materialenlijst opgesteld voor één module en voor alle 20 modules samen. Hierbij wordt er getracht rekening te houden met de vindbaarheid van de verschillende materialen in Afrika.

In onderstaande tabel zien we de materialenlijst die samengesteld werd.

Tabel 2: Materialenlijst vaste opstelling zonnetrog

Vaste opstelling: RVS- wieg						
					Veiligheidsfactor	25%
						1,25
Nr.	Omschrijving	Materiaal	Soort profiel	Aantal	Lengte [m]	Lengte 2 [m]
1	Frame parabool	Hout	balk: 30 * 30	2	6	7,5
2	RVS parabool	RVS	plaat: 1,22 * 2,44*0,6	2	1 plaat	1 plaat
3	Buis	RVS/koper	100*2	2	2	2,5
4	Ophanging buis	Hout	balk: 30 * 30	1	5,5	6,88
5	Tussenbalk	Hout	balk: 30 * 30	3	3	3,75
6	Vaste hoek	Hout	balk: 50 * 50	1	6	7,5
Totaal lengte hout 1 module						25,63
Totaal lengte hout 10 modules				10	256,3	

Als we 10 modules, dus 20 meter zonnetrog willen plaatsen hebben we ongeveer 260 meter hout nodig voor het volledige frame. Hier komen dan ook nog 20 RVS- platen bij, en 25 meter buis waar het water door stroomt. De benodigdheden die nodig zijn om de modules aan elkaar te schakelen, de waterleiding koppelstukken en eventuele pompen zijn hier niet in rekening gebracht.

In onderstaande tabel zien we de materialenlijst van de zonnetrog met een draaiende wieg. Er worden 10 modules aan elkaar gekoppeld, zodat er ook de juiste hoeveelheid water kan worden opgeslagen.

Tabel 3: Materialenlijst roterende opstelling zonnetrog

Roterende opstelling: RVS- wieg						
					Veiligheidsfactor	25%
						1,25
Nr.	Omschrijving	Materiaal	Soort profiel	Aantal	Lengte [m]	Lengte 2 [m]
1	Frame parabool	Hout	balk: 30 * 30	2	6	7,5
2	Ophanging parabool	Hout	balk: 50 * 50	2	9,08	11,35
3	RVS parabool	RVS	plaat: 1,22 * 2,44*0,6	2	1 plaat	1 plaat
4	Buis	RVS/koper	100*2	2	2	2,5
5	Ophanging buis	Hout	balk: 30 * 30	1	10,48	13,1
6	Tussenbalk	Hout	balk: 30 * 30	3	3	3,75
Totaal lengte hout 1 module						35,7
Totaal lengte hout 10 modules				10	357	

In bovenstaande tabel zien we dat we voor 10 modules, dus 20 meter zonnetrog ongeveer 360 meter hout nodig hebben. Ook is er 25 meter buis nodig, waar het water in opgeslagen zit. Verder zijn er 20 gespiegelde RVS- platen nodig.

De koppelstukken die nodig zijn om de modules aan elkaar te schakelen, en de waterleiding benodigdheden zijn hier niet in rekening gebracht.

De kostenlijst van de zonnetrog in vaste opstelling met een frame van hout is te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 4: Kostenlijst zonnetrog vaste opstelling in hout

Vaste opstelling: RVS wieg in een constructie van hout						
					Veiligheidsfactor	40%
						1,4
Nr.	Omschrijving	Aantal/module	lengte [m]	Prijs/m-prijs/stuk [€]	Overschatte prijs [€]	Prijs/onderdeel [€]
1	Hout	1	58,18	1,35	1,89	110,15
2	RVS	2		30,54	42,76	85,52
3	Koperen buis	2	1,00	34,00	47,60	95,20
4	Divers	1				250,00
Totaalprijs per module						540,87
Totaalprijs voor 10 modules						5408,70

In bovenstaande tabel zijn er prijzen gebruikt die in België gehanteerd worden. Aangezien er niet geweten is of de prijzen in Kenia veel verschillen van de prijzen in België, is er een factor 40% extra gebruikt. Hierdoor is er ter plaatse een beetje speling. Echter is in deze kostenlijst enkel rekening gehouden met de belangrijkste materialen in de constructie. Kleine toebehoren werden niet in rekening gebracht.

Ook werd er een kostenlijst gemaakt van een zonnetrog in vaste opstelling met een frame van staal. Deze lijst staat beneden.

Tabel 5: Kostenlijst zonnetrog in vaste opstelling in staal

Vaste opstelling: RVS- wieg in een constructie van staal						
					Veiligheidsfactor	40%
						1,4
Nr.	Omschrijving	Aantal/module	Lengte [m]	Prijs/m-prijs/stuk [€]	Overschatte prijs [€]	Prijs/onderdeel [€]
1	Staal	1	58,18	2,52	3,53	205,25
2	RVS	2		30,54	42,76	85,52
3	Koperen buis	2	1,00	34,00	47,60	95,20
4	Divers	1				250,00
Totaalprijs per module						635,97
Totaalprijs voor 10 modules						6359,72



Hier werd dezelfde factor gebruikt om de kost in Kenia zeker niet te onderschatten. De stalen versie van het systeem is ongeveer 1000 euro duurder. Ter plaatse moeten de prijzen opgevraagd worden van staal en hout. Hieruit moet dan een afweging gemaakt worden naar duurzaamheid, bewerkbaarheid, hanteerbaarheid en corrosie. Na deze kosten- en batenganalyse kan er beslist worden als er een frame in staal of hout wordt uitgewerkt.

De kostenlijst van de roterende versie van de zonnetrog in hout is hieronder te vinden.

Tabel 6: Kostenlijst roterende zonnetrog in hout

Roterende opstelling: RVS- wieg in een constructie van hout						
					Veiligheidsfactor	40%
						1,4
Nr.	Omschrijving	Aantal/module	Lengte [m]	Prijs/m-prijs/stuk [€]	Overschatte prijs [€]	Prijs/onderdeel [€]
1	Hout	1	58,18	1,35	1,89	110,15
2	RVS	2		30,54	42,76	85,52
3	Koperen buis	2	1,00	34,00	47,60	95,20
4	Divers	1				400,00
Totaalprijs per module						690,87
Totaalprijs voor 10 modules						6908,70

Hierbeneden is eveneens de kostenlijst van de roterende zonnetrog in staal te vinden. Hierna worden beide manieren vergeleken.

Tabel 7: Kostenlijst roterende zonnetrog in staal

Roterende opstelling: RVS- wieg in een constructie van staal						
					Veiligheidsfactor	40%
						1,4
Nr.	Omschrijving	Aantal/module	Lengte [m]	Prijs/m-prijs/stuk [€]	Overschatte prijs [€]	Prijs/onderdeel [€]
1	Hout	1	58,18	2,52	3,53	205,25
2	RVS	2		30,54	42,76	85,52
3	Koperen buis	2	1,00	34,00	47,60	95,20
4	Divers	1				400,00
Totaalprijs per module						785,97
Totaalprijs voor 10 modules						7859,72

In beide gevallen wordt er gebruik gemaakt van een meer kost van 40% op de prijzen in België. In beide gevallen is er geen rekening gehouden met de kleine onderdelen. Deze lijst dient enkel om een schatting van de prijs te kunnen doen. Ook hier is de stalen versie ongeveer 1000 euro duurder.

In dit geval moet er een afweging gemaakt worden voor de keuze van een versie in hout of in staal. Dit gebeurt door ter plaatse de prijzen op te vragen en een kosten- en batenganalyse op te stellen.

### 3.4 Testfase

Omdat er bij het uitdenken van de conceptfase nog veel onzekerheden waren over de situatie ter plaatse is er een testmodel van de zonnetrog opgebouwd. Dit testmodel werd getest onder een vaste opstelling en vervolgens met een roterende opstelling.

Er werd getracht een buis in de brandlijn te plaatsen, waarop de temperatuur werd gemeten.

Onderstaande figuur toont het testmodel.



*Figuur 26: Testmodel zonnetrog*

Door gebruik te maken van twee vizieren werd er getracht de zonnetrog te richten naar de zon. Hieruit kon er met zekerheid worden afgeleid dat er een roterende zonnetrog gebouwd moet worden. Het is uitermate belangrijk dat de zonnetrog de zon continu volgt. Als dit niet het geval is, dan verplaatst de brandlijn zich weg van de buis. Binnen de 5 minuten bevindt zich de brandlijn niet meer op een buis met een diameter van 5 cm. Door dit probleem zal het opwarmen van de vloeistof in de buis ook drastisch afnemen.

Indien de zonnetrog een optimaal rendement dient te halen moet de hoek en de positie continu worden bijgesteld.

Wanneer de zon continu gevolgd werd tijdens het testen, werden er vlot temperaturen van 100°C bereikt op de buis in de brandlijn. Deze metingen werden 's middags bereikt binnen een tijdsbestek van een half uur. Onderstaande afbeelding laat dit zien op een thermometer.



*Figuur 27: Temperatuur brandlijn*

Het testmodel dat te zien is in figuur 27 is opgebouwd met een verzinkte plaat (gegalvaniseerd). Deze plaat is dus niet glad gepolijst waardoor de reflectie van de zonnestrallen afneemt. Sommige gereflecteerde stralen heffen elkaar op door destructieve interferentie. Hierdoor kan er aangenomen worden dat een gespiegelde RVS- plaat de stralen beter reflecteert, waardoor de temperaturen in de brandlijn nog hoger kunnen oplopen. Dit laatste is echter een veronderstelling. Het kan niet met zekerheid gezegd worden omdat dit niet getest werd.

### 3.5 Conclusies

Een zonnetrog is een heel mooi systeem dat ervoor zorgt dat vloeistoffen heel snel opgewarmd kunnen worden. Het verhogen van de temperatuur in de brandlijn gaat enorm snel. Zeker in Afrika, waar de intensiteit van de zon hoger ligt dan in Europa. Natuurlijk moet er dan wel voldoende aandacht besteed worden aan het reinigen van de schotels. Stof heeft een negatief effect op het reflecteren van het oppervlak. Echter is er beslist dat de zonnetrog niet wordt geïmplementeerd. Hier zijn enkele redenen voor.

Ten eerste staat in de opdrachtomschrijving dat de plaatselijke bevolking in staat moet zijn om het product te reproduceren mits voldoende uitleg. Als er een sturing voorzien moet worden om de rotatie van de zon continu te volgen, kan de plaatselijke bevolking dit niet reproduceren. Ook is de hoek naar de zon zeer belangrijk. Dit bepalen is zeer gecompliceerd voor lokale mensen.

Ten tweede is het uitzagen van de parabool niet eenvoudig. Aangezien er geen automatische machines beschikbaar zijn, moet alles met handwerk gebeuren. Het uitzagen van de parabool met een figuurzaag zorgt dan ook voor veel onregelmatigheden in de vorm. Dit kan ervoor zorgen dat er meer destructieve interferentie optreedt bij de gereflecteerde zonnestrallen, waardoor de temperatuur niet zo hoog oploopt.

Ten derde moet er veel plaats voor handen zijn om een dergelijke installatie op te bouwen. Er moet 40m<sup>2</sup> geplaatst worden. Ook hier staat in de opdrachtomschrijving dat

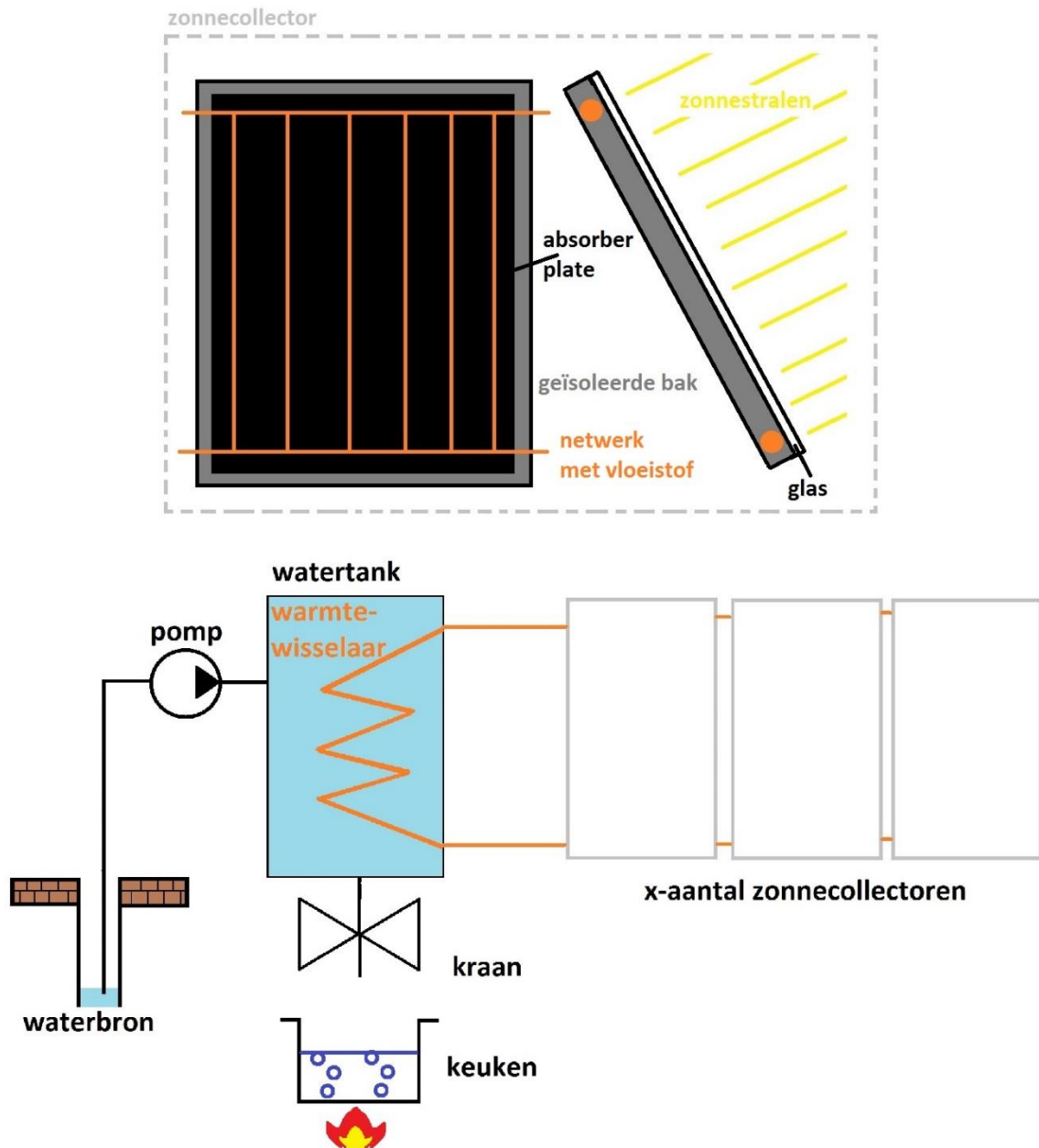
het liefst op een dak geplaatst dient te worden. Dit komt de plaatsingswijze en het uitlijnen van de schotels niet ten goede.

Na grondig afwegen van bovenstaande problemen is er besloten om geen zonnetrog installatie te bouwen. Er is beslist om over te stappen naar een ander concept, namelijk een zonnecollector.

## 4 Zonnecollector

### 4.1 Concept

In onderstaande figuur wordt het concept van de zonnecollector afgebeeld en hoe het geïmplementeerd kan worden in de school.

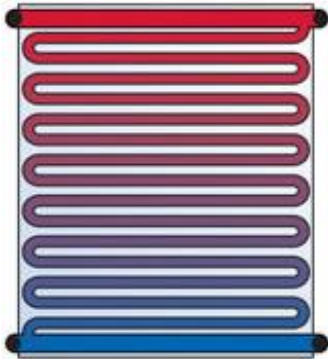


Figuur 28: Concept zonnecollector

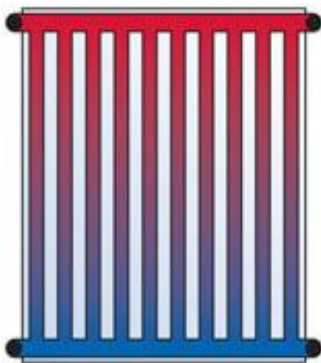
Er wordt voor een zonnecollector gekozen als tweede optie. Dit omdat het een goede SWOT-analyse heeft waaruit blijkt dat het een robuust systeem is dat geen sturing nodig heeft. Verder werd een gratis watertank aangeboden waardoor dit systeem gerealiseerd kan worden.

Ook hier wordt er met een open systeem gewerkt om dezelfde redenen als bij de zonnetrog namelijk het afnemen van de volledige hoeveelheid water in één keer.

Een zonnecollector bestaat uit een met glaswol geïsoleerde stalen bak en een netwerk van leidingen. In dit netwerk stroomt dan een vloeistof. Het netwerk kan verschillende vormen aannemen, een slang (*serpentine*) structuur of een *grid*-structuur zoals te zien is in onderstaande afbeeldingen.



Figuur 29: Slang structuur [27]



Figuur 30: Grid structuur [28]

Indien men met natuurlijke circulatie [29] wil werken kan men best opteren voor een grid-structuur. Natuurlijk circulatie ontstaat doordat warme vloeistof stijgt en naar boven wil vloeien zodat het zal 'drijven' op de koudere vloeistof. Hierdoor is het zeer belangrijk dat de collector steeds lager staat dan de tank [30]. Om de natuurlijke *flow* te bevorderen is het goed wanneer de collector ook onder een hoek wordt geplaatst [31]. Liefst wordt er gewerkt met natuurlijke circulatie, een circulatiepomp is dan overbodig. Daarom wordt er in dit project voor een grid-netwerk gekozen. Indien de natuurlijke circulatie niet zou werken, kan er een circulatiepomp worden toegevoegd.

Een zonnecollector kan werken op twee manieren. Met een direct- of een indirect systeem. Als er een direct systeem gebruikt wordt, dan wordt het water rechtstreeks opgewarmd in de zonnecollector. Indien er een indirect systeem gebruikt wordt, dan wordt er een andere vloeistof opgewarmd in de collector, bijvoorbeeld glycerine. Deze vloeistof geeft zijn warmte af in een warmtewisselaar aan het water.

Er is gekozen voor een indirect werkende zonnecollector. Het water ter plaatse is vrij 'hard' en agressief. Indien dit continu wordt opgewarmd en afgekoeld in de dunne buisjes van het koperen netwerk, dan zorgt dit voor de afzetting van kalk in de leidingen. Indien er een andere vloeistof wordt gebruikt zoals glycerine, is er geen gevaar voor vorming van kalk en het dichtslibben van de leidingen.

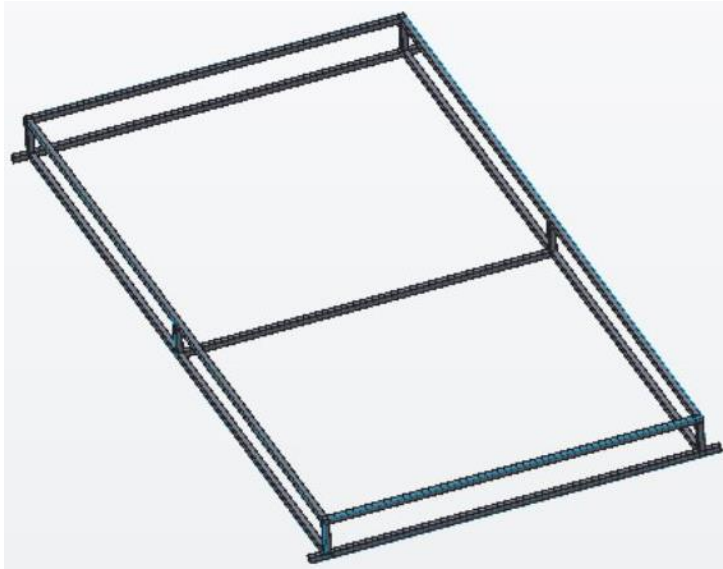
In dit project wordt er dus gekozen voor een indirect werkende zonnecollector met een grid-structuur netwerk.

### **Ontwerp zonnecollector**

Het ontwerp van de zonnecollector wordt hier meer toegelicht.

Er is vertrokken van een stalen frame opgebouwd uit vierkante profielen. De afmetingen zijn zo gekozen dat er zo weinig mogelijk afval is. Zo is de onderste stalenplaat een volledige plaat van 2,44m x 1,22m.

De figuur beneden geeft dit weer.



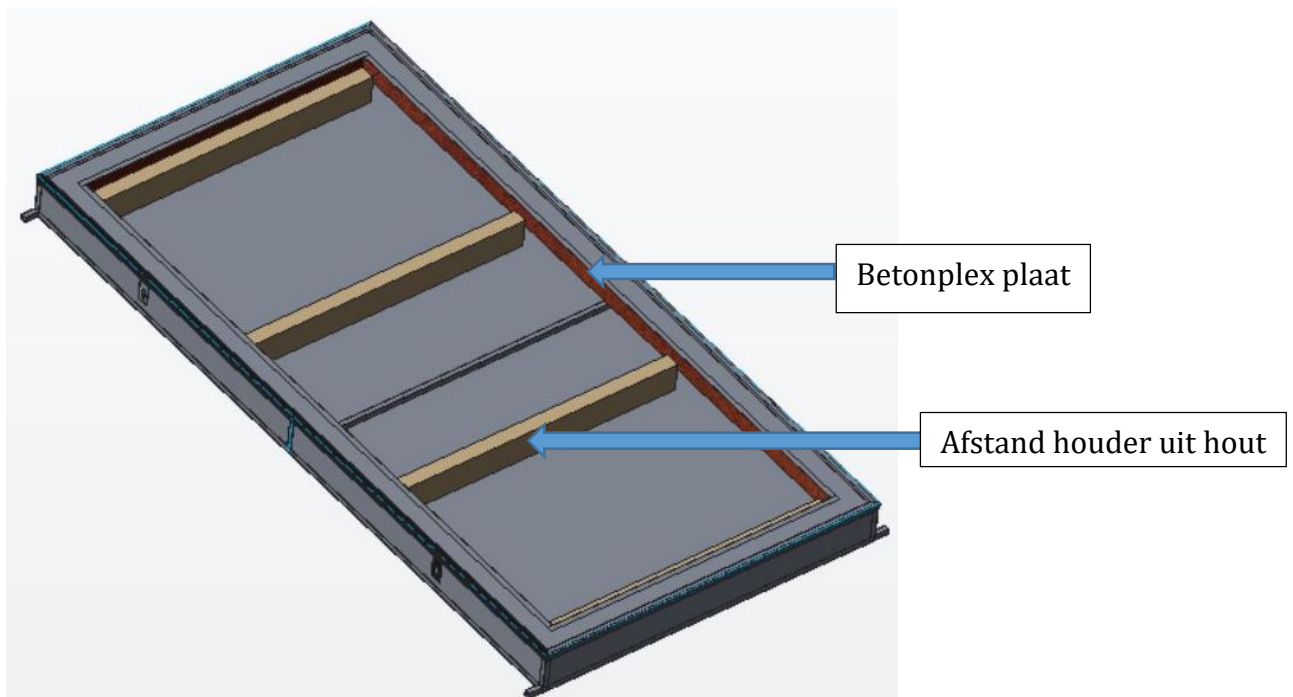
*Figuur 31: Frame zonnecollector*

We zien dat het frame vier 'uitsteeksels' heeft. Deze zijn voorzien om de panelen eenvoudig op het dak te kunnen bevestigen. Rond dit frame werden vervolgens stalen platen gelast. Zodat de omkasting waterdicht is.

Omdat de collector geïsoleerd is, en er een *absorber plate* moet worden geplaatst. Zijn er afstand houders geplaatst zodat de plaat niet zou drukken op de 10 cm glaswol. Deze afstand houders zijn gemaakt uit hout. De zijkanten zijn eveneens voorzien van betonplex plaat. Dit werd gedaan zodat de warmteflow naar buiten kleiner is. Hout geleidt de warmte immers minder goed dan staal.

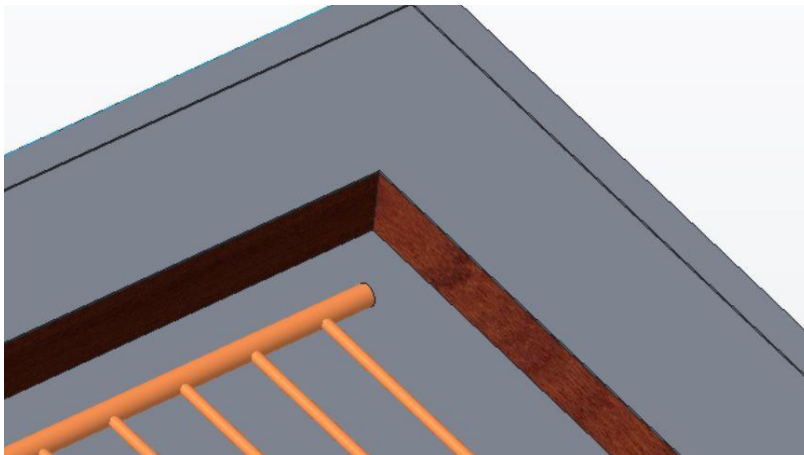
Hier beneden zien we het frame met de houten balken die dienen als afstand houder.





*Figuur 32: Belemmering warmteflow naar buiten*

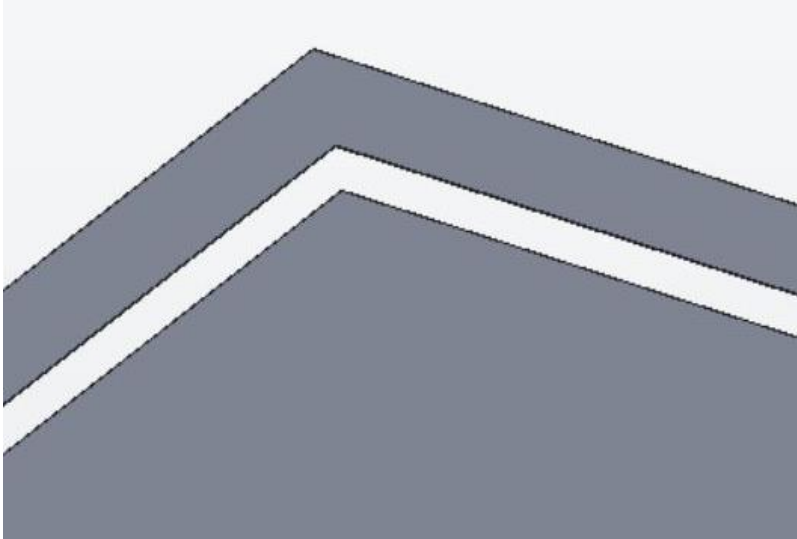
Op deze houten balken wordt dus een absorber plate gelegd, waarop het koperen netwerk rust. Dit zien we in volgende figuur.



*Figuur 33: Plaatsing absorber plate*

Om de kans op lekkages van de omkasting te beperken is de bovenkant uit één geheel gemaakt. Hier is dus niet meer aan gelast. Onderstaande figuur laat dit zien.

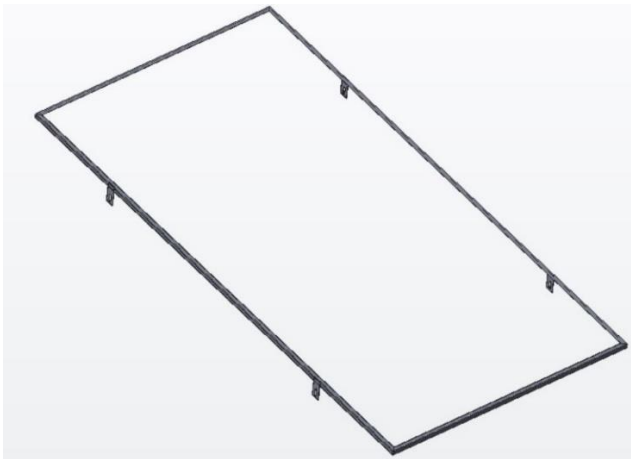




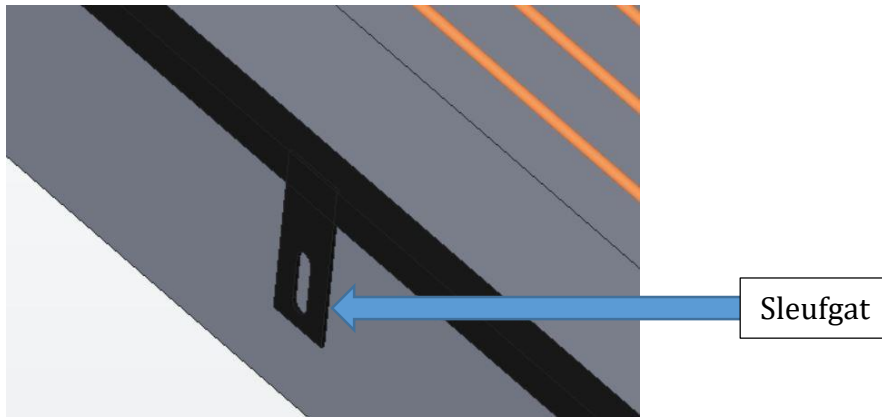
*Figuur 34: Reducering lasnaden*

De absorber plate en de bovenkant van de omkasting worden uit dezelfde plaat gehaald. De absorber plate wordt in het midden uit de plaat gehaald waardoor er minder lasnaden gevormd worden op de bovenkant van de omkasting. Hierdoor wordt de kans op corrosie minder. Deze absorber plate is ook dikker dan de rest van de omkasting. Doordat deze plaat dikker is zal deze meer warmte kunnen opslaan dan een dunnere plaat.

Verder werd er nog een hoekijzer structuur voorzien zodat de glazen afdichting kan worden vastgezet op de omkasting. Onderstaande figuren tonen dit.



*Figuur 35: Bevestiging glas*

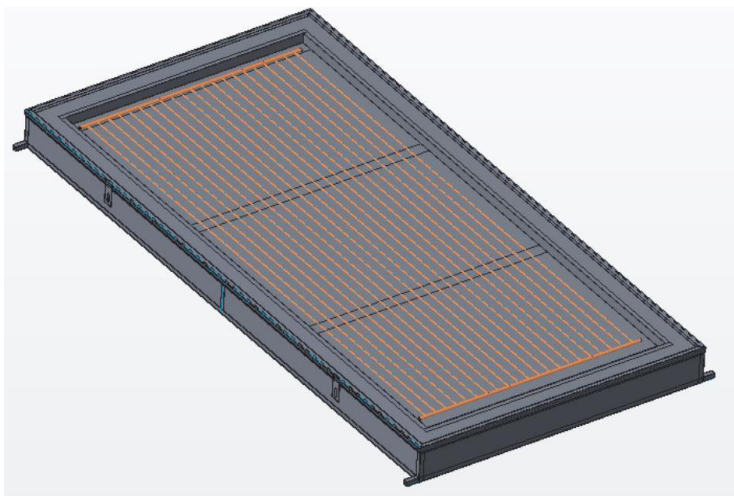


*Figuur 36: Detail bevestiging glaswerk*

Er zijn sleufgaten voorzien waardoor de dikte van het glas nog kan gewijzigd worden. Door deze sleufgaten komen bouten die kunnen worden bevestigd door middel van lasmoeren die vastzitten in de omkasting.

Er is gekozen voor glaswerk met een dikte van 6 mm. Dikker glas heeft een groene schijn, dit zou de warmteoverdracht beperken. Tot slot wordt de omkasting en de absorber plate matzwart geverfd. Een matte verflaag zal minder zonlicht weerkaatsen dan een satijnen of glanzende verflaag.

Onderstaande figuur toont de volledige 3D schets van de zonnecollector.



*Figuur 37: 3D- schets volledige zonnecollector*

De bovenstaande figuren zijn gebruikt om de plaatselijke aannemers duidelijk te maken wat ze moesten fabriceren. Zie bijlage B voor de detailtekeningen die bij de lasser zijn bezorgd.

In onderstaande figuur is het resultaat te zien van een afgewerkte collector.



Figuur 38: Afgewerkte zonnecollector

Hier zien we de metalen omkasting en een *absorber plate* die mat zwart geverfd is onder een netwerk van koperen leidingen. De metalen omkasting is geïsoleerd met 10cm glaswol en wordt afgesloten met glas. Het glas zit in een aluminium frame dat de stevigheid en de waterdichtheid verbetert.

Als warmtewisselaar wordt er een tank gebruikt die voorzien is van een dubbele wand dit wordt in vakjargon een *double jacket tank* genoemd. In de buitenste jacket vloeit glycerine hierdoor vindt er warmte-uitwisseling tussen de *inner jacket* en de *outer jacket*. Onderstaande figuur geeft de tank weer.

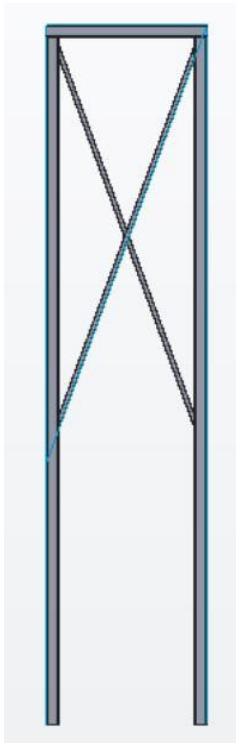


Figuur 39: Opslag vat

Het opslagvat bevat ongeveer 220 liter water. Hiervan wordt dagelijks ongeveer 150 liter gebruikt.

Dit opslagvat werd vervolgens op een toren geplaatst. Dit wordt gedaan omdat het opslagvat hoger moet komen te staan dan de ton om kans te hebben op natuurlijke circulatie.

Onderstaande figuren tonen de watertoren. In bijlage C vindt men hier een berekening van.



*Figuur 41: 3D- schets watertoren*



*Figuur 40: Watertoren en opslagvat*

### **Werkingsprincipe: vullen en ledigen**

Het waternetwerk is een open systeem. De tank wordt niet continu bijgevuld.

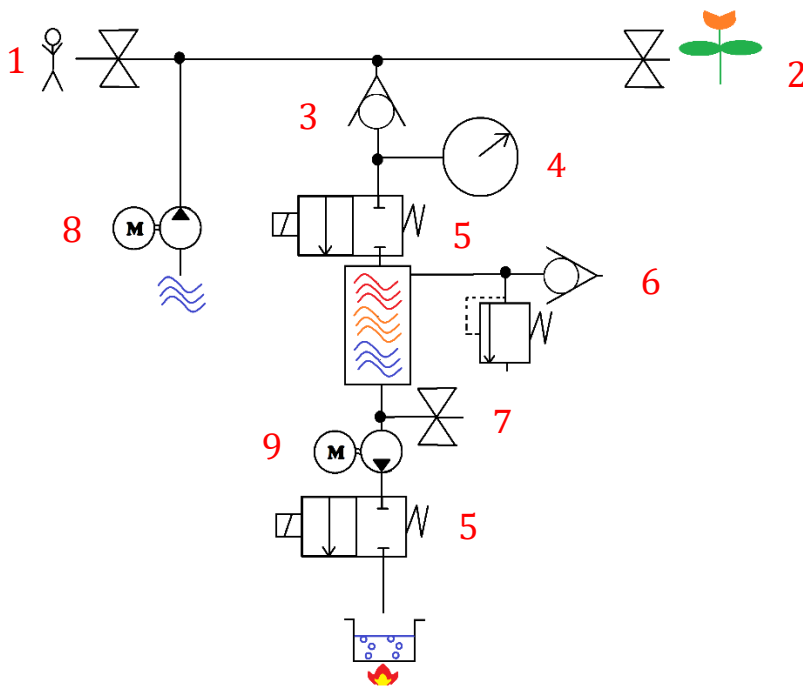
Dit heeft enkele redenen.

Ten eerste is de hoeveelheid water die het kookproces in één keer vraagt vrij groot. Gedurende een periode van twee uur wordt er 150 liter water afgetapt. Als de tank continu gevuld wordt, zou de temperatuur van het resterende water in het opslagvat te snel dalen. Het continu bijvullen van de tank heeft dus een temperatuurdaling tot gevolg. Ten tweede moet de pomp in de waterput dan continu water oppompen. Aangezien elektrische energie in Kenia vrij duur is, lopen de energiekosten hierdoor op. Dit probleem kan worden opgelost door een extra reservoir te plaatsen waarmee het opslagvat gevuld kan worden. Ook dit brengt heel wat kosten met zich mee. Nadat bovenstaande problemen in rekening zijn gebracht, is er beslist om gebruik te maken van een open systeem.

De tank wordt na het kookproces gevuld totdat deze terug vol is. Een ontluchter en veiligheidsklep laten dit veilig gebeuren. De drukopbouw in de tank is hierdoor gering. Het vulproces gebeurt door middel van een tijdschakelaar. Deze geeft aan wanneer de tank gevuld mag worden. Dit is van 10.00h tot en met 11.00h. Als de tijdschakelaar sluit, en het vulproces start, wordt er gelijktijdig een magnetische klep en een pomp in de put aangestuurd. Dit zorgt ervoor dat de tank gevuld wordt. Wanneer de pomp bediend wordt door een wisselschakelaar kan er geen water in de tank stromen (zie paragraaf 4.4). De magnetische klep blijft gesloten.

Het ledigen van de tank is zeer eenvoudig. Als het keukenpersoneel water nodig heeft, kan dit door een druk op een schakelaar. Hierdoor wordt een magnetische klep geopend, en treedt een pomp in werking. Zolang de schakelaar ingedrukt is, blijft het water stromen. Omdat er tijdens het ledigen lucht in de tank moet kunnen is er een terugslagklep geplaatst. Deze klep gaat open indien er zich in de tank een onderdruk vormt, waardoor de terugslagklep opent er lucht wordt aangezogen. De onderdruk blijft hierdoor beperkt.

Onderstaande afbeelding geeft het principe van het waternetwerk weer.



Figuur 42: Principeschema water netwerk

De kraan bij nummer 1 gebruiken de dorpingen om het waterreservoir te vullen, zodat zij ook voldoende water hebben om te overleven.

De kraan bij nummer 2 is de kraan die de school gebruikt om de watertonnen die zij bezit te vullen. Zodat hier ook voldoende water is.

Nummer 3 is een terugslagklep, die ervoor zorgt dat het water niet meer uit de tank weg kan.

De manometer bij nummer 4 geeft aan hoeveel druk er op de tank staat.

Er zijn ook twee magnetische kleppen die aangeduid zijn met nummer 5. Deze kleppen gaan enkel open wanneer de bijbehorende pomp wordt bediend.

Nummer 6 geeft een veiligheidsventiel, een ontluchter en een terugslagklep – die dient als beluchter- weer.

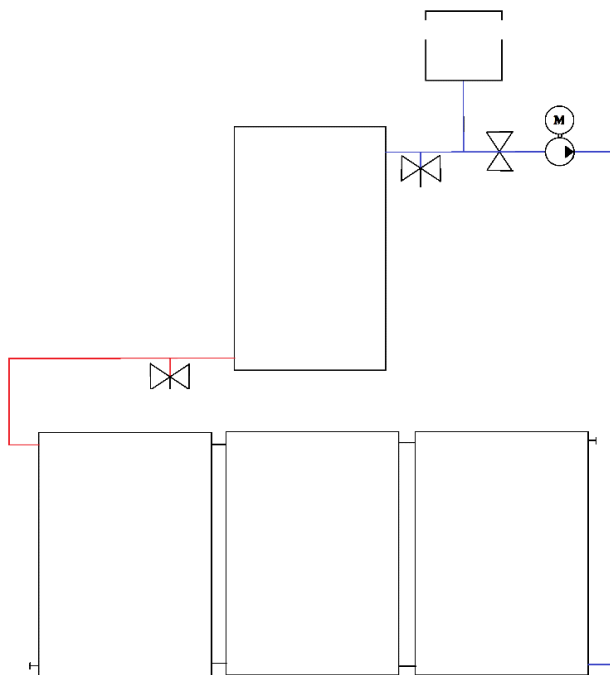
Er is een kraan voorzien bij 7 die het mogelijk maakt om de watertemperatuur eenvoudig te meten.

De pomp in de put die bediend kan worden door de school, de dorpingen en door de tijds klok voor het opslagvat wordt weergegeven bij nummer 8.

Nummer 9 is de pomp die gebruikt wordt om het warme water naar de keuken te pompen.

## Werkingsprincipe: verwarmen water

Het opwarmen van het water in het opslagvat gebeurt door een warmte uitwisseling tussen glycerine en water. Glycerine is een vloeistof die snel opwarmt. Glycerine heeft een warmtecapaciteit van  $2430\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ . In vergelijking met water dat een warmtecapaciteit heeft van  $4186\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  zal glycerine dus bijna tweemaal sneller opwarmen. Verder is glycerine niet toxisch, dit werd in getest in België (zie bijlage N). De glycerine stroomt door de zonnecollectoren die op het dak geplaatst zijn. De stroming van de glycerine wordt verkregen door een circulatiepomp. Er moet gebruik worden gemaakt van een circulatiepomp omdat de leidingsweerstand te groot zijn voor natuurlijke circulatie. Deze circulatiepomp wordt aangestuurd door een tijds klok. Vanaf het moment dat de glycerine begint af te koelen moet deze pomp uitgeschakeld worden. In het zomerseizoen werkt deze pomp van 09.00h tot 15.30h. Als de glycerine na deze tijdstippen nog blijft vloeien heeft dit een drastische afkoeling van het water tot gevolg. De glycerine trekt dan de hitte uit het water. Onderstaande afbeelding geeft het aansluitschema weer van de zonnecollectoren naar het opslagvat.



Figuur 43: Principe schets van het circulatie circuit

Uit bovenstaande figuur valt af te leiden dat het glycerine-circuit een open circuit is. Er wordt een opslagvat voor glycerine voorzien. Dit vat dient als ontlufter, reservoir en condensor. Als de glycerine te warm zou worden, en begint te verdampen zal de hete damp tegen het koude bovenoppervlak van het reservoir condenseren en in het vat terecht komt. Hierdoor moet er slechts een minimale hoeveelheid toegevoegd worden bij onderhoud. Ook is er altijd een reserve hoeveelheid glycerine aanwezig in het vat. Daardoor zal de kans op drooglopen van de circulatiepomp minimaal zijn. Het niveau van deze tank moet echter toch regelmatig gecontroleerd worden. Doordat deze tank op het hoogste punt van het systeem geplaatst wordt zal de lucht – die eventueel in het

systeem zit - kunnen ontsnappen.

Het circuit is verder voorzien van twee kraantjes waarmee de koude en de warme temperatuur van de glycerine gemeten kan worden. Verder is er nog een circulatiekraan voorzien die gebruikt wordt bij het vullen van het systeem. Als deze kraan gesloten wordt, en er wordt glycerine toegevoerd juist voor de pomp, dan kan het hele systeem gevuld worden met glycerine. Dit zorgt ervoor dat er minder mogelijkheden zijn tot ophoping van lucht in het systeem tijdens het vullen ervan. De pomp drukt als het ware alle lucht uit het systeem.



## 4.2 Materialen- en kostenlijst

Onderstaande tabel geeft de gebruikte materialen en bijhorende kosten weer.

Tabel 8: Materialen- en kostenlijst zonnecollector

Materiaal			
Beschrijving	Kostprijs/stuk [KSH]	Aantal	Totaalprijs [KSH]
raamwerk	17000	5	85000
rol koper buis 1/4"	3995,04	15	59925,6
195W zonnepaneel	19000	2	38000
profielen 40x40x2mm	3750	8	30000
materiaal watertoren	27000	1	27000
elektrisch gestuurde klep 1"	13500	2	27000
150Ah zonnebatterij	27000	1	27000
verf (zwart)	7950	3	23850
glycerine	6960	3	20880
primer (verf)	4900	4	19600
glaswol 50mm x 13m	6290	3	18870
staalplaat 20G (2,44*1,22m)	2100	8	16800
4" x 2" hout	260	50	13000
circulatie pomp 32-80	12799	1	12799
staalplaat 18G (2,44*1,22m)	2500	5	12500
Izzy inverter 600W	11500	1	11500
toevoegmateriaal voor te lassen	5220	2	10440
propaan gas	5220	2	10440
circulatie pomp 25-60	9512	1	9512
rol koper buis 1/2"	8825,28	1	8825,28
betonplexplaat	4390	2	8780
laspasta	2853,6	3	8560,8
3G1,5mm <sup>2</sup> elektriciteitskabel	100	80	8000
alu-isolatie 3/4" x 2m	600	13	7800
messaging koppelingen	777,3	10	7773
drukregelaar + drukvat	7700	1	7700
profiel 20x20x1,2mm	507,3333333	15	7610
rol koper buis 1/2"	7600	1	7600
timer - relais	7500	1	7500
charge controller 20A	7400	1	7400
messaging koppelingen	1300	4	5200
timer - stopcontact	5000	1	5000
koper buis 1/2" (per meter)	450	11	4950
hoekijzer 20x20x3mm	540	8	4320
silicone	290	13	3770
PUR	1090	3	3270
PPR buis 3/4"	400	8	3200
isolatie 3/4"	382,8	8	3062,4
PPR buis 1"	590	5	2950
elektriciteitsbuis moffen 20mm	50	58	2900



white spirit	1290	2	2580
zelf tappende schroeven 70mm	40	50	2000
<b>Totaal</b>			<b>604868,08</b>

Werk	
Laswerk	49000
Hulp bij plaatsing collectoren	1000
<b>Totaal</b>	<b>50000</b>

Diversen	
Diversen	70346,92
<b>Totaal</b>	<b>70346,92</b>

<b>Totaal</b>	<b>725215</b>
---------------	---------------

Het totaal gependeerde bedrag bedraagt 725.215 Keniaanse Shilling. Indien dit bedrag omgerekend wordt naar euro's met de huidige wisselkoers (1 euro = 108,65 Keniaanse Shilling) [32] bedraagt de investering 6.674,78 euro.

In deze materialenlijst staan enkel de duurste onderdelen. Onderdelen goedkoper dan 2000Ksh zijn opgenomen onder het topic 'Diversen'.

In deze totaalprijs zit ook de kost van het onafhankelijk elektriciteitsnetwerk (zie hoofdstuk 5).

Indien deze kost niet in rekening wordt gebracht, bedraagt de totaalprijs van de zonnecollectoren 640.915 Keniaanse shilling ofwel 5.898,90 euro.

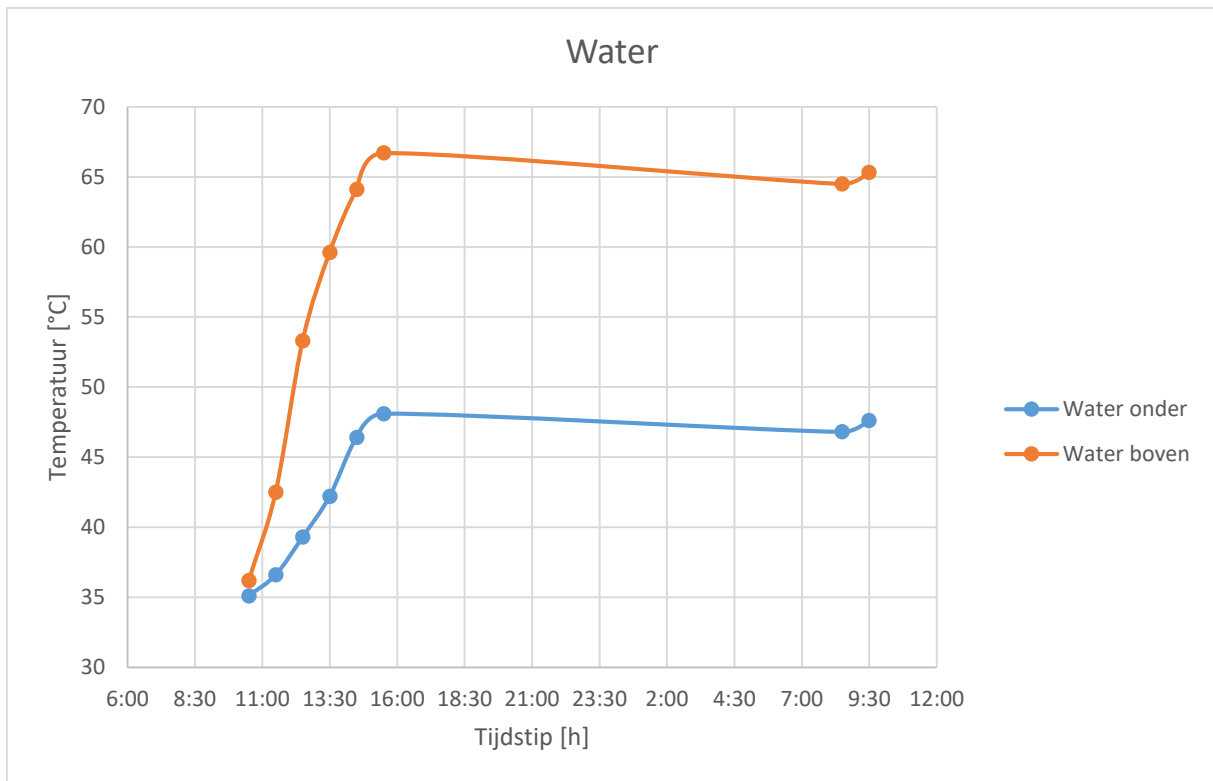
### 4.3 Testfase

Onderstaande tabel geeft de testwaardes weer vanaf het moment dat het opslagvat opnieuw gevuld is, tot en met de tank opnieuw wordt leeggepompt.

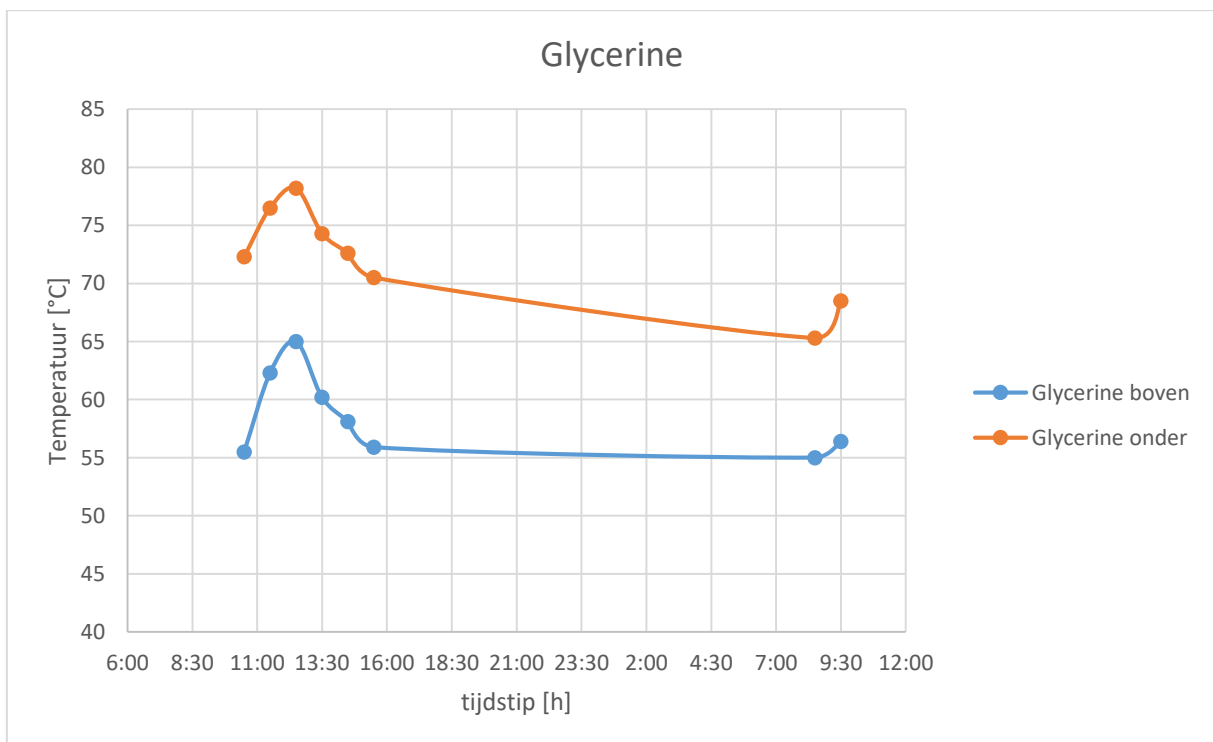
Tabel 9: Testresultaten zonnecollector

Gemiddelde testresultaten				
Tijdstip [h]	Water onder [°C]	Water boven [°C]	Glycerine heet [°C]	Glycerine koud [°C]
10:30	35,1	36,2	72,3	55,5
11:30	36,6	42,5	76,5	62,3
12:30	39,3	53,3	78,2	65
13:30	42,2	59,6	74,3	60,2
14:30	46,4	64,1	72,6	58,1
15:30	48,1	66,7	70,5	55,9
8:30	46,8	64,5	65,3	55
9:30	47,6	65,3	68,5	56,4

De testresultaten van het water en glycerine zijn ook uitgezet in twee grafieken. Deze worden hierbeneden weergegeven. Hierna wordt het geheel besproken



Figuur 44: Grafiek temperatuurverloop water



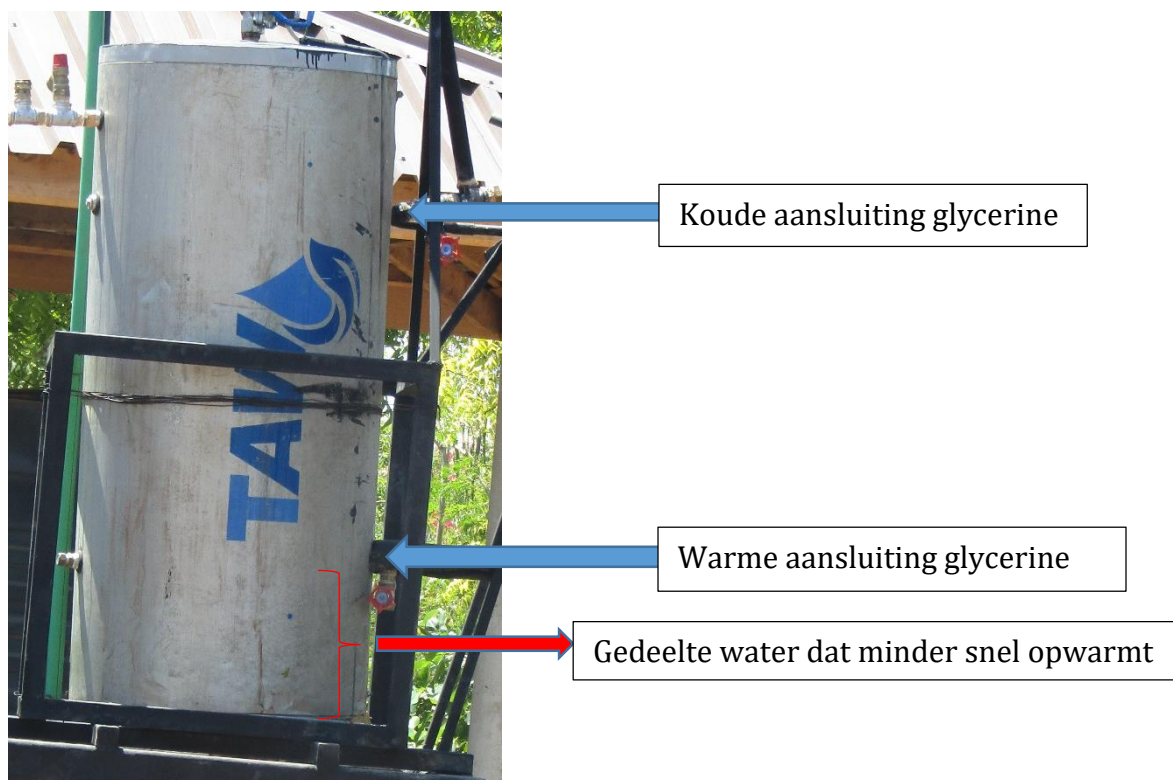
Figuur 45: Grafiek temperatuurverloop glycerine

De eerste grafiek geeft het temperatuurverloop van het water weer. Hier zien we duidelijk dat de temperatuur van het water in het begin zeer snel stijgt en later vlakker wordt. Dit komt doordat het warmste moment van de dag om 12:00u is en dat het temperatuurverschil tussen de glycerine en het water het grootst is. Het valt op dat er een vrij groot verschil is tussen de temperatuur onder in de tank en de temperatuur bovenaan. Dit heeft enkele redenen.

Ten eerste stijgt warm water. Het is dus normaal dat het water bovenaan warmer is dan beneden.

Ten tweede zit het aansluitpunt van de warme glycerine 20 cm hoger dan het aftappunt van het water. Aangezien ook warme glycerine stijgt, warmt het water dat beneden in de tank zit minder snel op dan in het midden of bovenaan.

Onderstaande figuur maakt dit duidelijk.



Figuur 46: Verhelderende figuur aansluiting tank

Verder valt het op dat de temperatuur in het opslagvat gedurende de nacht maar enkele graden daalt. Dit komt overeen met de theoretische voorspelling zoals te zien is in de berekeningen in bijlage D.

De temperatuur van het water alsook de temperatuur van de kookpotten in de keuken bedraagt gemiddeld 55°C.

Figuur 46 geeft het temperatuurverloop van de glycerine weer. Hier is het duidelijk dat de glycerine het warmst is op de middag. In deze grafiek lijkt het alsof de glycerine 's nachts niet veel afkoelt, maar zonsopkomst is om 6:00 en de eerste meting is pas om 8:30. Hierdoor heeft de glycerine alweer tijd om terug op te warmen.

Onderstaande afbeeldingen bevatten enkele foto's van het vulproces van de potten.



Figuur 48: Begin temp. vullen pot 1



Figuur 47: Vullen pot 2



Figuur 50: Gemiddelde temp. pot 1



Figuur 49: Gemiddelde temp. pot 2

Figuur 46 en 47 tonen respectievelijk een temperatuur van 52,3°C en 57,2°C. In het volgende punt wordt de terugverdiëntijd bepaald. In deze berekeningen wordt er de gemiddelde temperatuur van het water in de potten gehanteerd, namelijk 55°C.

#### 4.4 Terugverdiëntijd

In onderstaande tabel wordt de bepaling van de terugverdiëntijd uitgewerkt.

Tabel 10: Terugverdiëntijd zonnecollector

Terugverdiëntijd		
Wat	Temperatuur Met collector [°C]	Temperatuur Zonder collector [°C]
Begintemp.	55	23
Eindtemp.	100	100
Verschiltemp.	45	77

Soortelijke warmtecapaciteit water	4186	J/kg*K
------------------------------------	------	--------

	Met collector		Zonder collector	
Nog toe te voegen warmte	28255500	J	48348300	J
Tijd opwarming	3600	s	5400	S
Verbruikt vermogen opwarmen water	7848,75	Wh	13430,08	Wh
	7,85	kWh	13,43	kWh
Verbruikt vermogen in kookproces	4,37	kWh	4,37	kWh
Totaal verbruikt vermogen	12,22	kWh	17,80	kWh
Verhouding verbruikt hout	0,69		1	
Daling	31,36	%	0	%

Kostprijs hout per maand	150	Euro
Winst op het hout per maand	47,03	Euro
kostprijs installatie	6674,80	Euro
Terugverdientijd	141,92	Maanden
	14,19	jaar (1 jaar = 10 maanden)

Het berekenen van de verliezen in het kookproces wordt berekend in bijlage E. Door het water voor te verwarmen tot 55°C wordt het houtverbruik gereduceerd met 31%. Dit komt neer op een winst van ongeveer 50 euro per maand. Indien de terugverdientijd in jaren bepaald wordt, worden er 10 maanden voor een jaar gekozen, dit omdat er twee maanden grote vakantie zijn. In deze periode wordt er niet gekookt. De kost van de volledige installatie wordt op 14 jaar terugverdiend. De kosten van het onafhankelijk elektriciteitsnetwerk (zie volgend hoofdstuk) zitten hier ook in verwerkt.

#### 4.5 Conclusies

Tijdens de testfase van de zonnecollectoren is gebleken dat de opvoerhoogte van de 5 panelen te groot was voor de circulatiepomp. Daarom zijn er vervolgens 2 panelen losgekoppeld. Het zonnecollector systeem werkt momenteel dus met 3 van de 5 zonnecollectoren. Wanneer de overige 2 panelen aangesloten worden is het mogelijk om een hogere temperatuur van het water te bekomen. Hierdoor kan de energiewinst oplopen. Mogelijke oplossingen hiervoor worden aangehaald in paragraaf 6.1. Momenteel wordt er 55°C bereikt in de kookpot. Dit zorgt voor een daling in hout gebruik van 30%. Als dit in rekening wordt gebracht levert dit voor het volledige systeem een terugverdientijd op van ongeveer 14 jaar. Deze periode is vrij lang. Maar aangezien het volledige systeem gesponsord is, levert de installatie direct winst op voor de school. Er wordt dus ongeveer 500 euro per jaar gespaard aan energiekosten.





## 5 Onafhankelijk elektriciteitsnet

### 5.1 Concept

De keuze om een onafhankelijk elektriciteitsnet te implementeren heeft enkele redenen. Ten eerste is het elektriciteitsnet in Kenia niet stabiel. Dit wil zeggen dat er regelmatig *power cuts* plaatsvinden. Gedurende deze periode is er geen elektriciteit.

Aangezien er een tijdschakelaar gebruikt wordt is het niet wenselijk dat deze stilvalt. Hierdoor zou het hele regelsysteem in de war gestuurd worden.

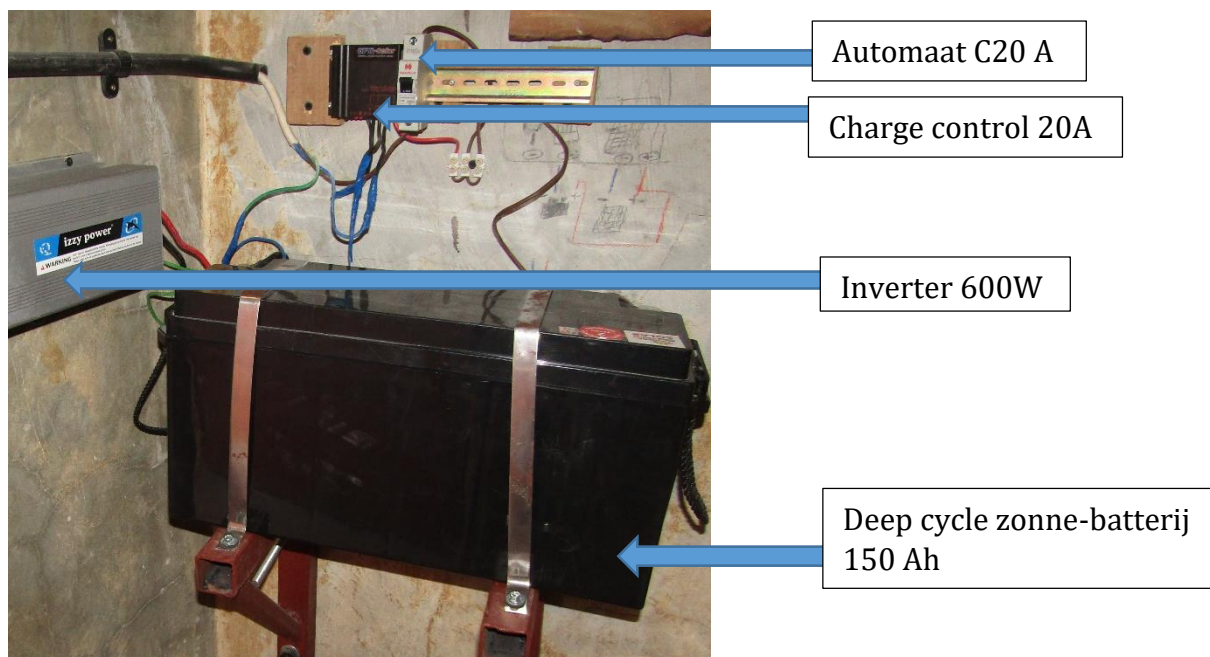
Ook zijn er na deze *power cuts* vaak nog enkele spanningspieken waardoor veel toestellen beschadigd worden.

Ten tweede verbruiken beide pompen extra elektriciteit die de school daarvoor niet diende te betalen. Het is niet de bedoeling dat hun energie kosten oplopen.

De bovenstaande redeneringen in acht genomen is er geopteerd om een onafhankelijk elektriciteitsnet te voorzien. Hierdoor is het regelprobleem van de baan, en de elektriciteitskost voor de school kan constant blijven.

#### Principe onafhankelijk elektriciteitsnet

Het onafhankelijk elektriciteitsnet is opgebouwd met zonnepanelen. Deze zonnepanelen wekken een spanning en DC- stroom op die via een *charge control* een batterij oplaadt. Deze batterij voedt op zijn beurt een inverter die de pompen van spanning voorziet. In onderstaande figuur worden de verschillende componenten afgebeeld.



Figuur 51: Componenten onafhankelijk elektriciteitsnet

We zien dat er ook een automaat geplaatst is tussen de zonnepanelen en de charge control. Deze automaat zorgt ervoor dat er tijdens een kortsluiting de overige elektrische apparaten op de kring beveiligd zijn. In bijlage F zijn de specificaties van de charge control te vinden.

## 5.2 Berekeningen

Als er berekend dient te worden hoeveel zonnepanelen er voorzien moeten worden voor deze installatie moeten we eerst de verbruikers nader bekijken. Dit wordt gedaan in onderstaande tabel.

Tabel 11: Elektrisch verbruik van de installatie

Verbruik			
Verbruiker	Vermogen [W]	Duur [h]	Verbruik [Wh]
Leegpompen	93	0,5	46,5
Circulatie	245	6,5	1592,5
Totaal			1626

Vervolgens wordt er bepaald hoeveel energie een zonnepaneel oplevert. Dit wordt gedaan in onderstaande tabel

Tabel 12: Inkomend vermogen van een zonnepaneel

Inkomend vermogen					
Omschrijving	Max. vermogen [W]	Rendement	Nuttig vermogen [W]	tijdsduur [h]	Opbrengst [Wh]
Zonnepaneel	195	0,8	156	8	1248
Totaal					1248

Als het verbruik gedeeld wordt door het inkomend vermogen, kan er bepaald worden hoeveel zonnepanelen er nodig zijn om het onafhankelijk elektriciteitsnet op te bouwen. Hieruit is af te leiden dat er '1,3' zonnepanelen nodig zijn. Er worden twee panelen geplaatst zodat er ook een hoeveelheid reserve-energie is die voldoende groot is. Indien de batterij volledig opgeladen is zal de chargecontroller de zonnepanelen elektronisch loskoppelen tot de batterij terug ontlad.

## 5.3 Materialen- en kostenlijst

Onderstaande tabel bevat de materialen- en kostenlijst van het onafhankelijk elektriciteitsnetwerk.

Tabel 13: Materialen- en kostenlijst onafhankelijk elektriciteitsnet

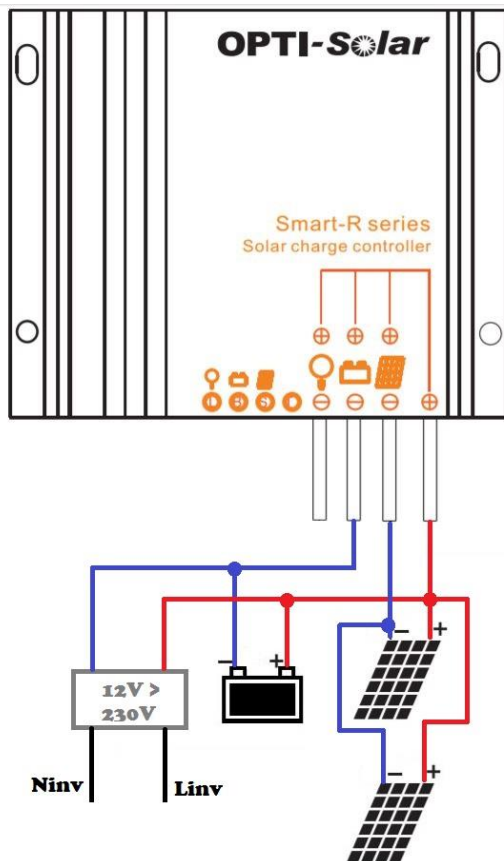
Materiaal onafhankelijk elektriciteitsnet			
Beschrijving	Kostprijs/stuk [KSH]	Aantal	Totaalprijs [KSH]
Zonnepaneel 195W	19200	2	38400
Omvormer 600W	11500	1	11500
Batterij 150Ah	27000	1	27000
Charge controller	7400	1	7400
Totaal			84300



Hieruit kan er afgeleid worden dat de belangrijkste componenten van het elektriciteitsnet 84.300 Keniaanse shilling kosten. Omgerekend wordt dit 775,90 euro [32].

#### 5.4 Aansluiting

Onderstaande figuur toont een prinscipeschema over de aansluiting van de zonnepanelen.

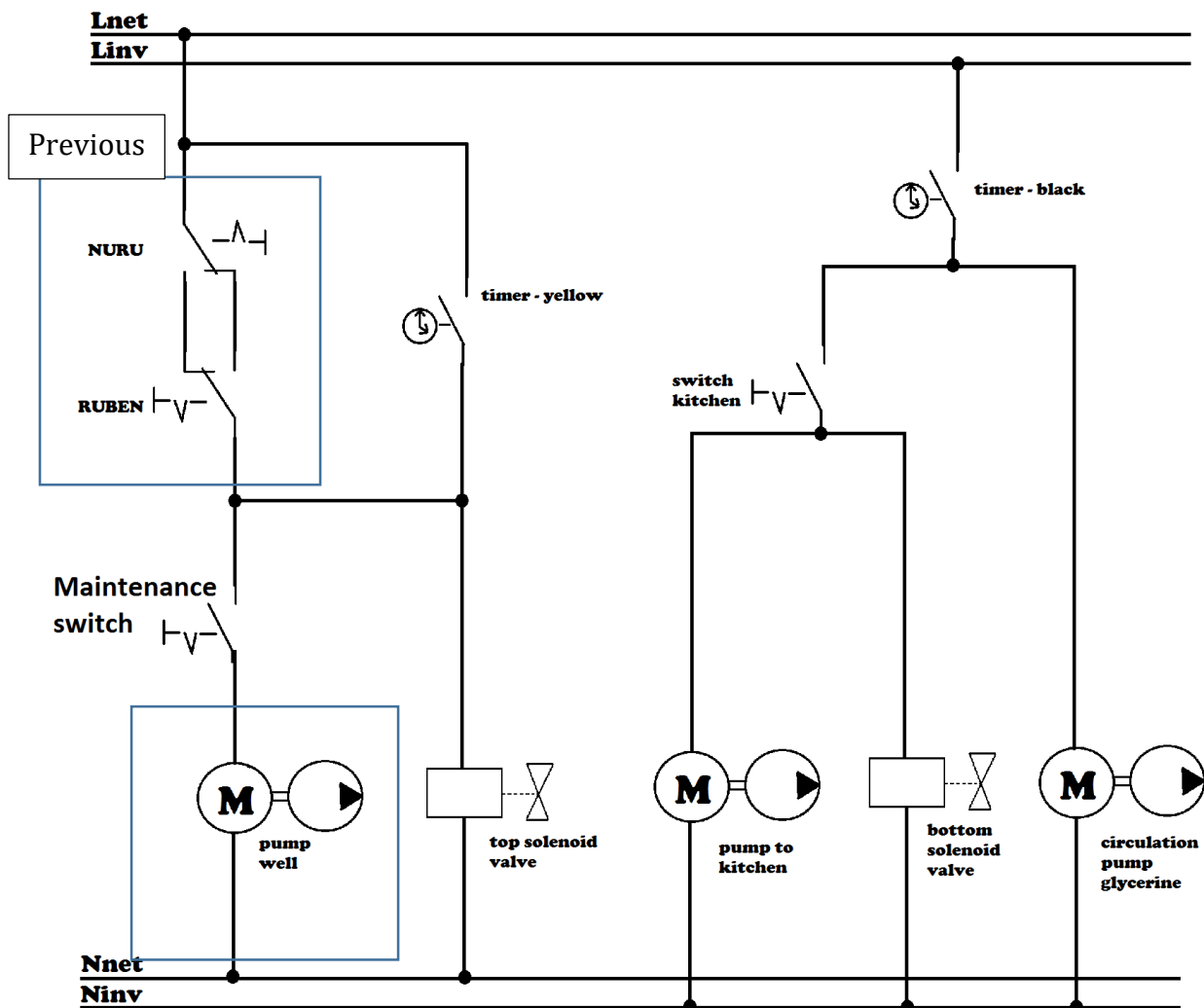


Figuur 52: Principe aansluiting zonnepanelen

De charge control is geschikt voor een stroom tot en met 20A. Hierdoor is het mogelijk om maximaal 3 zonnepanelen van 195W die elk 5,69A leveren parallel te koppelen zie bijlage G.

De charge control zorgt er vervolgens voor dat de batterij op een goede manier geladen wordt.

Onderstaande figuur bevat het elektrisch schema van de installatie.



Figuur 53: Principe schets elektrisch schema

De onderdelen in de cirkel zijn afkomstig van de bestaande installatie. Vroeger werd de pomp bediend op 2 plaatsen door een wisselschakeling. Hier is nu een optie toegevoegd om de pomp in de put te bedienen met een tijdschakelaar. Deze schakelaar stuurt gelijktijdig ook een magnetische klep aan.

Dit gedeelte van de installatie is toegevoegd aan het bestaande elektriciteitsnet op de school. Dit is dus afzonderlijk van het onafhankelijk elektriciteitsnet.

Deze tijdschakelaar is voorzien van een interne batterij zie bijlage H. Hiermee is het probleem van een power cut ook omzeild.

De aansturing van pomp in de keuken en de circulatiepomp kan enkel gebeuren wanneer een andere tijdschakelaar dit toelaat. De schakelaar in de keuken stuurt gelijktijdig zowel de magnetische klep als de pomp aan.

## 5.5 Terugverdientijd

De bepaling van de terugverdientijd van het onafhankelijk elektriciteitsnet wordt in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 14: Terugverdientijd onafhankelijk elektriciteitsnet

Terugverdientijd		
Verbruikt vermogen/ dag	1626	Wh
	1,626	kWh
Kostprijs per kWh [33]	18	KSH
Kostprijs per dag	29,268	KSH
Kostprijs installatie	84300	KSH
Terugverdientijd	2880,278803	Dagen
	7,885773587	Jaar

Uit deze tabel kunnen we afleiden dat het onafhankelijk elektriciteitsnet op ongeveer acht jaar is terugverdiend.

## 5.6 Conclusies

Het onafhankelijk elektriciteitsnet kan de pompen en de kleppen voorzien van elektriciteit zonder gebruik te maken van het Keniaanse net.

Als er in overweging wordt genomen dat de er een garantie van 25 jaar wordt verstrekt op de zonnepanelen, dan wegen de voordelen van de implementatie van het onafhankelijk net op tegen de kost.

Het wegwerken van de power cuts en het constant houden van de energiekosten voor de school dragen er ook toe bij dat het een goede keuze is.

Een terugverdientijd van 8 jaar is aannemelijk.

Toch wordt deze kost niet door de school gedragen. De school krijgt deze installatie gesponsord. Dit wil zeggen dat er direct winst is voor de school.



## 6 Besluit

De doelstelling om 25% energiekosten te besparen is geslaagd. Er bestaat zelfs nog de mogelijkheid om de winstmarge te verhogen.

Momenteel worden er drie van de vijf gebouwde zonnecollectoren gebruikt. De opvoerhoogte van de gebruikte circulatiepomp is immers te laag voor alle 5 panelen gelijktijdig aan te sluiten. Dit probleem had tijdens de ontwerpfase verholpen kunnen worden.

De buisjes van het grid- netwerk zijn te dun. Dunnere buisjes zorgen voor een snellere opwarming van de glycerine. Na een afweging is er toen gekozen voor een snelle opwarming omdat het water moet opwarmen in een tijdsbestek van vier uur. De keuze voor een grid- netwerk is mogelijk, dit bevordert de kans op natuurlijke circulatie. Bij nader inzien is het moeilijk om te rekenen op natuurlijke circulatie. Buisdiktes, hoogte van het opslagvat, hellingshoek en nog veel meer moet allemaal perfect zijn. Dit is zeer moeilijk te realiseren zonder machinale bijstand. Hierdoor werd er beter gekozen voor een serpentine stijl. Dit zorgt voor een verlaging van de opvoerhoogte. Een andere mogelijkheid om de opvoerhoogte te doen dalen is kiezen voor dikkere buizen. Het is niet zeker of er dan dezelfde temperaturen bereikt zouden worden. De glycerine heeft in dit geval meer tijd nodig om op te warmen.

Omdat de temperatuur van het water 65°C niet overschrijdt, kan dit water enkel gebruikt worden om te koken. Dit water kan niet geconsumeerd worden als drinkwater. Dit moet eerst gekookt zijn.

Ook is er tijdens de testfase opgemerkt dat wanneer het bewolkt is de temperatuur van het water drastisch daalt. Dit komt omdat er gebruik wordt gemaakt van een tijds klok die de circulatiepomp ongeacht de omstandigheden voorziet van spanning. Door gebruik te maken van een tijds klok is er geen sturing nodig maar heeft dit gevolgen voor de temperatuur.

Er is ook een handleiding opgesteld die de plaatselijke bewoners kunnen gebruiken om de installatie te onderhouden. De handleiding kan men vinden in bijlage I.

### 6.1 Toekomstvisie

In de toekomst is het mogelijk om de twee niet gebruikte zonnecollectoren nog te koppelen aan de drie andere panelen. Natuurlijk moet dan wel eerst de opvoerhoogte van de circulatiepomp verhoogd worden.

Dit kan gedaan worden op twee manieren.

Ten eerste is het mogelijk om de bestaande pomp te vervangen door een andere. Een pomp met meer vermogen. Zolang de pomp onder een vermogen blijft van 500W is dit mogelijk voor het bestaande onafhankelijk elektriciteitsnet. Als er meer vermogen nodig is dan 500W moet er een nieuwe inverter geplaatst worden.

Ten tweede kan er eenzelfde pomp in serie geplaatst worden. Als de twee pompen in serie geplaatst worden dan wordt de opvoerhoogte verdubbeld.

Wij opteren voor de laatste mogelijkheid. Een goede mogelijkheid is om de extra pomp aan de warme kant van de glycerine te plaatsen. Hier is de temperatuur warmer dan boven. Maar uit de meetwaardes blijkt dat de glycerine niet warmer wordt dan 100°C. De maximale temperatuur van de pomp bedraagt 110°C. De pomp kan dus ook aan de warme kant geplaatst worden (zie bijlage J). Ook zou het plaatsen van een simpele sturing de temperatuur ten goede kunnen komen. Door het plaatsen van twee

temperatuursensoren en deze te implementeren in een sturing zou de circulatiepomp enkel gestuurd kunnen worden wanneer de glycerine heter is dan het water in de tank. Hierdoor kunnen er enkele graden gewonnen worden. Het systeem is dan minder afhankelijk van wisselende weersomstandigheden. Echter moet de directie zich hier het hoofd over buigen – is het mogelijk om een sturing te implementeren en te onderhouden? -

De extra kosten die gemaakt moeten worden voor een extra pomp zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 15: Kostenlijst bijplaatsen extra pomp

Kostenlijst bijplaatsen extra pomp (DQ 32-80)			
Beschrijving	Kostprijs/stuk [KSH]	Aantal	Totaalprijs [KSH]
Zonnepaneel 195W	19000	1	19000
Circulatiepomp 245W	12799	1	12799
Glycerine	6960	1	6960
Diverse	1000	1	1000
Totaal			39759

Als deze extra kost wordt omgerekend naar euro komt dit neer op ongeveer 370 euro [32].

Er wordt geschat dat de twee extra panelen de temperatuur van het water met ongeveer 10°C zal doen stijgen. De 3 andere panelen warmen het water 22 graden op, dit komt neer op ongeveer 7 graden per paneel. Hierdoor kunnen we ervan uitgaan dat er ongeveer 10°C extra verdiend kan worden.

Hiervoor gebruiken we een soort gelijke berekening als in paragraaf 4.4.

Tabel 16: Aangepaste terugverdientijd na installatie tweede circulatiepomp

Terugverdientijd		
Wat	Temperatuur Met collector [°C]	Temperatuur Zonder collector [°C]
Begintemp.	65	23
Eindtemp.	100	100
Verschiltemp.	35	77

Soortelijke warmtecapaciteit water	4186	J/kg*K
------------------------------------	------	--------

	Met collector		Zonder collector	
Nog toe te voegen warmte	21976500	J	48348300	J
Tijd opwarming	3600	s	5400	S

Verbruikt vermogen opwarmen water	6104,583333	Wh	13430,08	Wh
	6,10	kWh	13,43	kWh
Verbruikt vermogen in kookproces	4,37	kWh	4,37	kWh
Totaal verbruikt vermogen	10,47	kWh	17,80	kWh
Verhouding verbruikt hout	0,59		1	
Daling	41,15	%	0	%

Kostprijs hout per maand	150	Euro
Winst op het hout per maand	61,73	Euro
Kostprijs installatie	7044,80	Euro
Terugverdientijd	114,12	Maanden
	11,41	Jaar (1 jaar = 10 maanden)

In bovenstaande berekening zien we dat de winst is opgelopen van 47 euro naar bijna 62 euro per maand.

Het aansluiten van de twee extra collectoren levert een extra winst op van 15 euro per maand. We zien ook dat de terugverdientijd daalt van 14 jaar naar 11 en een half jaar. Hierbeneden wordt weergegeven hoe snel de extra kost zich terugverdient.

*Tabel 17: Terugverdientijd extra pomp*

Extra winst op hout per maand	15	EURO
Kostprijs extra installatie	370	EURO
Terugverdientijd	24,67	Maanden
	2,47	jaar (1 jaar = 10 maanden)

We zien dat de extra kost/ opbrengst zichzelf op twee en een half jaar heeft terugverdiend. Het installeren van een tweede pomp met dezelfde meerkost doet de terugverdientijd van de totale installatie dalen. Ook hier is de terugverdientijd fictief. De installatie wordt gesponsord waardoor de school direct van de winst kan profiteren. Uit deze kosten- en batenanalyse blijkt dat het een goede beslissing is om de twee extra panelen aan te sluiten. Dit zou de school een besparing opleveren van 620 euro per jaar!





## Bibliografie

- [1] Rainbow4Kids, Oktober 2016. [Online]. Available: <http://www.rainbow4kids.be/>.
- [2] [Online]. Available: [http://www.byexample.net/projects/current/batch\\_collector/](http://www.byexample.net/projects/current/batch_collector/). [Geopend maart 2016].
- [3] G. Boyle, Renewable energy, Oxford: University Press, 2012, p. 43.
- [4] [Online]. Available: <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter06/chapter06.html>. [Geopend maart 2016].
- [5] [Online]. Available: [http://www.nvisolar.com/catalog/article\\_info.php/which-type-of-solar-collector-is-best-for-me-a-2](http://www.nvisolar.com/catalog/article_info.php/which-type-of-solar-collector-is-best-for-me-a-2). [Geopend maart 2016].
- [6] [Online]. Available: [https://www.google.be/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj71\\_WRpbbLAhWJ8RQKHxQzDr4QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.homepower.com%2Farticles%2Fsolar-water-heating%2Fequipment-products%2Fsolar-collectors-behind-glass&bvm=bv.116](https://www.google.be/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj71_WRpbbLAhWJ8RQKHxQzDr4QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.homepower.com%2Farticles%2Fsolar-water-heating%2Fequipment-products%2Fsolar-collectors-behind-glass&bvm=bv.116). [Geopend maart 2016].
- [7] [Online]. Available: [http://www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/8\\_HP132\\_pg40\\_Mehalic-3.jpg](http://www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/8_HP132_pg40_Mehalic-3.jpg). [Geopend maart 2016].
- [8] [Online]. Available: <https://www.zonnepanelen.net/werking/>. [Geopend maart 2016].
- [9] [Online]. Available: [http://www.citipedia.info/city/general/Kenya\\_Coast+Province\\_Mombasa\\_id\\_186301\\_lang\\_nl](http://www.citipedia.info/city/general/Kenya_Coast+Province_Mombasa_id_186301_lang_nl). [Geopend Januari 2017].
- [10] T. N. a. N. J. Kathy Brown, „Soiling Test Methods and their Use in Predicting Performance of Photovoltaic Modules in Soiling Environments,” 3M Company, St. Paul, Minnesota 55144, USA, 2011.
- [11] M. R. Maghami, „Power loss due to soiling on solar panel: A review,” Elsevier, ScienceDirect, 2016.
- [12] [Online]. Available: [http://documentatie.leefmilieubrussel.be/documents/Mod3\\_Fonction\\_technologies\\_NL.PDF](http://documentatie.leefmilieubrussel.be/documents/Mod3_Fonction_technologies_NL.PDF). [Geopend maart, november 2016].

- [13] [Online]. Available: <https://bertmaes.files.wordpress.com/2009/06/wind-turbine-elements.png>. [Geopend maart 2016].
- [14] [Online]. Available: [http://www.windkracht13.be/wp-content/uploads/2013/12/microwindturbines\\_fiche\\_1.pdf](http://www.windkracht13.be/wp-content/uploads/2013/12/microwindturbines_fiche_1.pdf). [Geopend maart 2016].
- [15] [Online]. Available: [http://members.home.nl/jangiesen68/de\\_theorie\\_achter\\_de\\_windturbine.html](http://members.home.nl/jangiesen68/de_theorie_achter_de_windturbine.html). [Geopend maart 2016].
- [16] [Online]. Available: <http://profielwerkstukwindmolens.awardspace.com/?page=theorie>. [Geopend maart 2016].
- [17] [Online]. Available: [http://www.mpoweruk.com/steam\\_turbines.htm](http://www.mpoweruk.com/steam_turbines.htm). [Geopend maart 2016].
- [18] [Online]. Available: <http://www.turbinesinfo.com/steam-turbine-efficiency/>. [Geopend maart 2016].
- [19] [Online]. Available: <http://www.zonnespiegels.be/soorten-zonnespiegels/parabolische-zonnetrog.html>. [Geopend maart, september 2016].
- [20] [Online]. Available: <http://www.nickerie.net/News2008/2008-06-21%20-%20vk%20-%20MIT-studenten%20construeren%20goedkope%20zonneshotel.htm>. [Geopend maart, september 2016].
- [21] [Online]. Available: <http://www.dpbbbrugge.be/techniek/waterkrachtcentrale.html>. [Geopend maart, november 2016].
- [22] [Online]. Available: <http://www.wot.utwente.nl/publications/cde/waterkracht.pdf>. [Geopend januari 2017].
- [23] [Online]. Available: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/Geothermie\\_gebruik.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/Geothermie_gebruik.png). [Geopend maart 2016].
- [24] [Online]. Available: <http://www.bioenergieclusterootnederland.nl/bio-energie/biomassa/22-informatie/energie-uit-biomassa.html>. [Geopend maart 2016].
- [25] [Online]. Available: <http://careindia.weebly.com/typical-plant.html>. [Geopend maart 2016].

- [26] J. Broeders en J. Aerts, Opbouw van een duurzame installatie voor energieopwekking en -opslag in basisschool 'Futur du Sénégal', Sénégal: Uhasselt, 2014-2015.
- [27] [Online]. Available: [http://www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/6\\_HP133\\_pg70\\_Marken-3.jpg](http://www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/6_HP133_pg70_Marken-3.jpg). [Geopend maart, oktober 2016].
- [28] [Online]. Available: [http://www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/6\\_HP133\\_pg70\\_Marken-3.jpg](http://www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/6_HP133_pg70_Marken-3.jpg). [Geopend maart, oktober 2016].
- [29] [Online]. Available: <http://firecontrolman.tpub.com/14104/css/Type-Of-Circulation-63.htm>. [Geopend januari 2017].
- [30] [Online]. Available: <http://www.educationer.eu/index.php/nl/course-nl/dss-nl?showall=&start=2>. [Geopend oktober, november 2016].
- [31] [Online]. Available: <http://www.wot.utwente.nl/nl/demonstratieterrein/zon/waterverwarming>. [Geopend oktober 2016].
- [32] [Online]. Available: [http://www.wisselkoers.nl/keniaanse\\_shilling](http://www.wisselkoers.nl/keniaanse_shilling). [Geopend 16 december 2016].
- [33] E. R. Commission, „Approval of schedule of tariff set by the energy regulatory commission for supply of electrical energy by the Kenya power and lighting company limited pursuant to section 45 of the energy act, 2006,” Energy Regulatory Commission, Eagle Africa Centre, Longnot Road, Upperhill. P.O. Box 42681-00100, GPO, Nairobi - Kenya, 2013.
- [34] [Online]. Available: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,diani-beach,Kenya>. [Geopend maart 2016].
- [35] H. Piggott, Windpower Workshop, ISBN : 1-89804-920-3: british wind energy association, 2005.
- [36] R. C. Hibbeler, Sterkteleer, 9789043024501: Pearson Benelux B.V., februari 2012.
- [37] [Online]. Available: <https://projects.knmi.nl/hydra/faq/druk.html>. [Geopend oktober 2016].
- [38] [Online]. Available: [http://www.classofoods.com/pagina2\\_4.html](http://www.classofoods.com/pagina2_4.html). [Geopend november, december 2016].
- [39] [Online]. Available: <http://www.sugartech.co.za/heatcapacity/index.php>. [Geopend november, december 2016].

- [40] [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d\\_151.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html). [Geopend november, december 2016].
- [41] [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html). [Geopend november, december 2016].
- [42] I. A, S. M. M. B en A. C, „Thermophysical properties of medium grain rough rice (LIDO cultivar) at medium and low temperatures,” Springer- Verlag, Campus Arrosadia, 31006 Pamplona, Spain, 2003.
- [43] [Online]. Available: <http://www.koudecentraal.nl/documents/Spinazie.pdf>. [Geopend november, december 2016].
- [44] [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html). [Geopend november, december 2016].
- [45] [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html). [Geopend november, december 2016].
- [46] [Online]. Available: [http://www.opti-solar.com/Download/User%20Manual/SC-SM\(-Z\)%20series\\_User%20Manual.pdf](http://www.opti-solar.com/Download/User%20Manual/SC-SM(-Z)%20series_User%20Manual.pdf). [Geopend januari 2017].
- [47] [Online]. Available: [http://www.orbis.es/doc/fichatcn\\_alpha](http://www.orbis.es/doc/fichatcn_alpha). [Geopend januari 2017].
- [48] [Online]. Available: <https://www.davisandshirliff.com/water-pumps/product/472-dq-32-80>. [Geopend januari 2017].
- [49] [Online]. Available: <https://www.davisandshirliff.com/solar/product/616-yl195>. [Geopend januari 2017].
- [50] [Online]. Available: <https://www.davisandshirliff.com/solar/product/642-ht-m-600>. [Geopend januari 2017].
- [51] [Online]. Available: <https://www.davisandshirliff.com/solar/product/705-np150-12-l>. [Geopend januari 2017].
- [52] [Online]. Available: [http://www.classofoods.com/pagina2\\_4.html](http://www.classofoods.com/pagina2_4.html). [Geopend november, december 2016].

## Bijlagen

<a href="#">Bijlage A:</a>	<a href="#">Berekening grootte windmolen</a>	84
<a href="#">Bijlage B:</a>	<a href="#">Detailtekeningen voor de lassers</a>	85
<a href="#">Bijlage C:</a>	<a href="#">Berekening watertoren</a>	88
<a href="#">Bijlage D:</a>	<a href="#">Berekening temperatuurdaling opslagvat gedurende de nacht</a>	90
<a href="#">Bijlage E:</a>	<a href="#">Berekening verliezen van het kookproces</a>	93
<a href="#">Bijlage F:</a>	<a href="#">Datasheet charge control</a>	98
<a href="#">Bijlage G:</a>	<a href="#">Datasheet tijds klok van de pomp in waterput</a>	101
<a href="#">Bijlage I:</a>	<a href="#">Handleiding voor onderhoud en lokale mensen</a>	103
<a href="#">Bijlage J:</a>	<a href="#">Datasheet circulatiepomp en ledigpomp</a>	115
<a href="#">Bijlage K:</a>	<a href="#">Datasheet zonnepaneel</a>	118
<a href="#">Bijlage L:</a>	<a href="#">Datasheet inverter</a>	121
<a href="#">Bijlage M:</a>	<a href="#">Datasheet zonnebatterij</a>	123
<a href="#">Bijlage N:</a>	<a href="#">Bepaling zuiverheid glycerine</a>	124

## Bijlage A: Berekening grootte windmolen

Een veel toegepaste windmolen in 3<sup>e</sup> wereldlanden is de Piggot-windmolen. Dit omwille van zijn relatieve lage opbouwkost en relatief eenvoudige opbouw. Een korte berekening wordt uitgevoerd om de eventuele haalbaarheid in Kenia te achterhalen.

De gemiddelde windsnelheid bedraagt 4m/s in Diani beach [34].

Met een berekend nodig vermogen van 36kWh per dag kan de wiekdiameter bepaald worden met volgende formule:

Variable	Symbol	Units	Notes or Equation
Pi	Pi	none	Pi = 3.14 (geometrical constant)
Density of air	rho	kg/m <sup>3</sup>	rho = 1.2 (temperature dependent)
Power coeff.	Cp	none	Cp < 0.6, say 0.15
Windspeed	V	m/s	try 10m/s (= 22mph)
Diameter	D	metres	$D = (P / (Cp \cdot \rho / 2 \cdot \pi / 4 \cdot V^3))^{0.5}$
Power	P	watts	$P = Cp \cdot \rho / 2 \cdot \pi / 4 \cdot D^2 \cdot V^3$

Figuur 54: Formules [35]

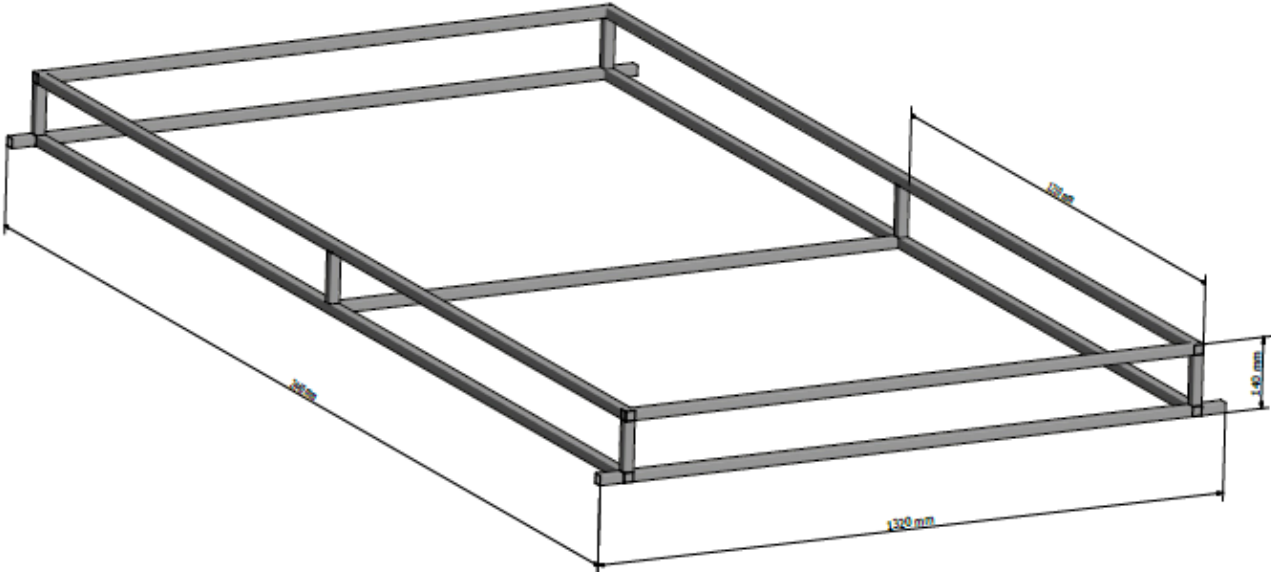
Met de aanneming dat de windsnelheid gedurende de hele dag constant blijft. Is er een vermogen nodig van 36kWh/24h = 1.5kW.

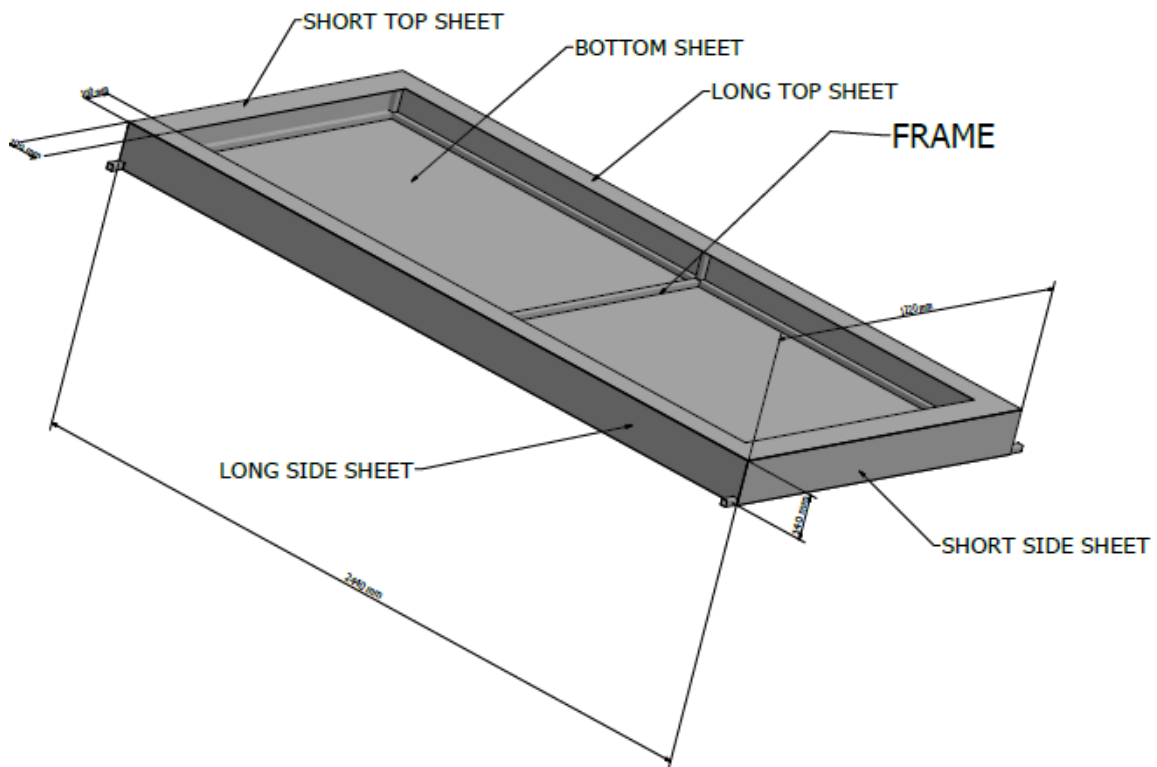
$$D = \sqrt{\frac{P}{Cp \cdot \frac{\rho \pi}{2 \cdot 4} v^3}} = \sqrt{\frac{1500}{0.15 \cdot \frac{1.2 \pi}{2 \cdot 4} 4^3}} = 18,2 \text{ m} \quad [4]$$

Hieruit blijkt dat deze windmolen geen optie is.

Bijlage B: Detailtekeningen voor de lassers

Frame



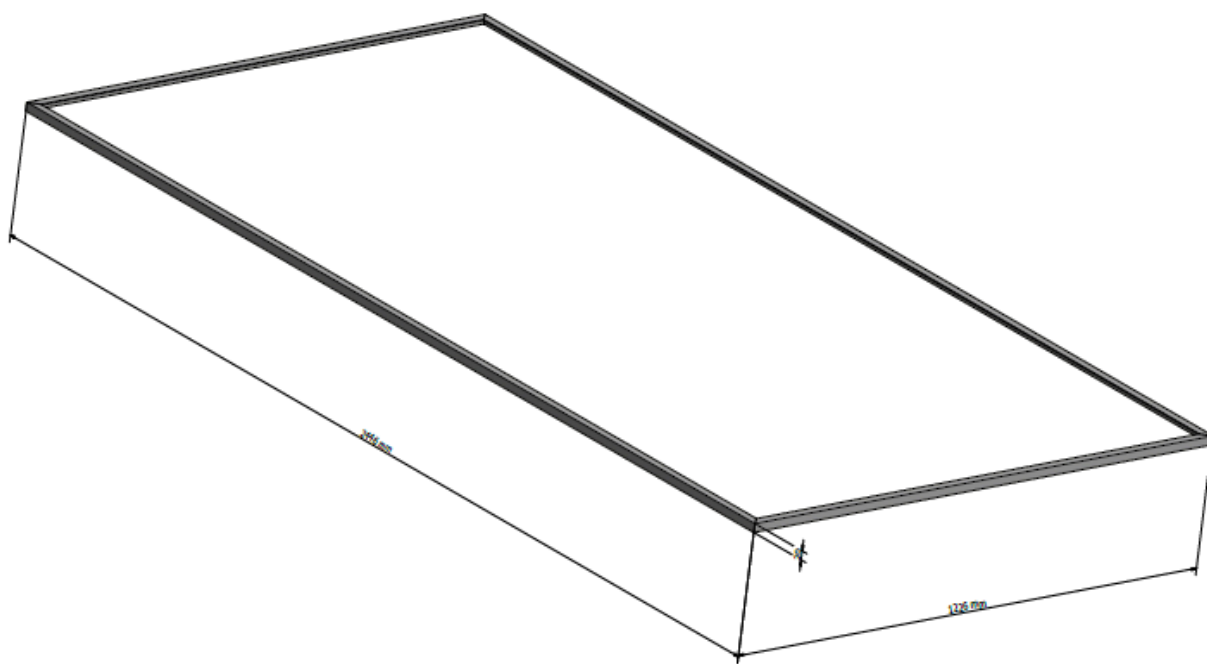


BOTTOM SHEET NEEDS TO BE WELDED TO THE FRAME ALL AROUND, AT THE MIDDLE BAR ONLY A FEW DOTS.

ALSO THE SIDE SHEETS NEED TO BE WELDED TO THE FRAME ALL AROUND, AT THE MIDDLE BAR ONLY A FEW DOTS.

THE TOP SHEETS NEED TE WELDED TO THE FRAME ALL AROUND AND AGAINST EACH OTHER





only the 4 corners  
+ 4 extra plates of 100mm x 20mm

*Figuur 55: Detailtekeningen voor lasser*

## Bijlage C: Berekening watertoren

Controle op knik.

De maximale toegelaten kracht kan berekend worden met volgende formule:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L^2)} \quad [5]$$

Waarbij:

$P_{kr}$ , de maximale axiale kracht in N is,

$E$ , de elasticiteitsmodulus van het materiaal in  $\text{N/mm}^2$  is,

$I$ , het massatraagheidsmoment in  $\text{mm}^4$  is,

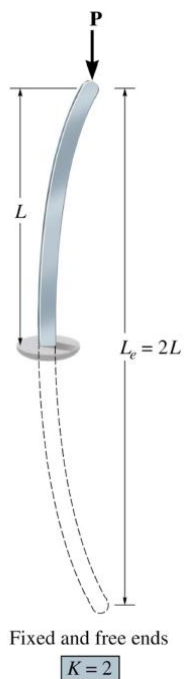
$K$ , een factor is,

$L$ , de lengte in mm is,

Standaardconstructie staal met een elasticiteitsmodulus van  $210\,000 \text{ N/mm}^2$  wordt gebruikt.

Er zijn slechts 2 grotere vierkante profielen beschikbaar.  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 3\text{mm}$  en  $75\text{mm} \times 75\text{mm} \times 4\text{mm}$ . Het massatraagheidsmoment van deze profielen bedraagt respectievelijk:  $6373,25 \text{ mm}^4$  en  $59841,17 \text{ mm}^4$ . De lengte boven de grond bedraagt  $3800\text{mm}$ .

Het onderstel wordt belast volgens onderstaande figuur.



Figuur 56: Knikbelasting [36]

Hierdoor wordt factor  $K$  gelijk aan 2.

De kritische belasting voor het kleinere profiel bedraagt:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L^2)} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6373,25}{(2 \cdot 3800^2)} = 228,7 \text{ N}$$

Wetende dat er 220kg water oftewel 2160N verdeeld wordt over 4 profielen is dit profiel onvoldoende.

De kritische belasting voor het grote profiel bedraagt:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L^2)} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 59841,17}{(2 \cdot 3800^2)} = 2147,3 \text{ N}$$

De belasting bedraagt:

- 220kg of 2160N water,
- 30kg of 294N tank,
- 2x 80kg persoon of 1570N.

Dit resulteert in een belasting per poot van 1006N. Een veiligheidsfactor van meer als 2. Dus OK.

Door de wind op de tank treedt er ook buigbelasting op. Pieken van 10m/s zijn mogelijk. Dit resulteert in een drukkracht van 72N/m<sup>2</sup> [37]. Het geprojecteerde oppervlakte van de tank is ongeveer 0,81m<sup>2</sup>. Dit resulteert in een drukkracht van 58,32N. Doordat deze kracht op minstens 2 poten inwerkt wordt de kracht per poot 29,16N. Door deze kracht te vermenigvuldigen met de lengte wordt er een moment bekomen van 110808 Nmm.

De spanning kan berekend worden met volgende formule:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} [\text{N/mm}^2] \quad [6]$$

Waarbij :

- $\sigma$  , de spanning in N/mm<sup>2</sup> is,
- M, het buigmoment in Nmm is,
- y, de afstand tot de neutrale vezel in mm is,
- I, massatraagheidsmoment in N/mm<sup>2</sup> is.

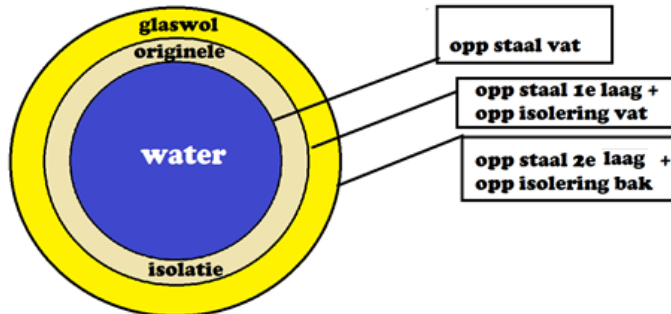
De spanning in dit geval is dus volgens formule [6]:

$$\sigma = \frac{110808 \cdot 37,5}{59841,47} = 69,44 \text{ N/mm}^2$$

116,59 N/mm<sup>2</sup> > (210N/mm<sup>2</sup> . 0,7 . 2/3) dus OK.

## Bijlage D: Berekening temperatuurdaling opslagvat gedurende de nacht

In deze berekening wordt er nagegaan als het nuttig is om het vat extra te isoleren. In onderstaande figuur wordt aangegeven hoe de tank opgebouwd is.



Figuur 57: Situatieschets extra isoleren opslagvat

De warmtestroom doorheen een cilindrische mantel kan met volgende formule berekend worden:

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \sum \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \text{ of } \dot{Q} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + R_{tot} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \quad [7,8]$$

Waarbij:

$\dot{Q}$ , de warmtestroom in J/s is,

$T_i$ , de binnentemperatuur in K is,

$T_o$ , de buitentemperatuur in K is,

$h_i$ , de convectiecoëfficiënt binnen in het vat in  $W/(m^2 \cdot K)$  is,

$h_o$ , de convectiecoëfficiënt buiten het vat in  $W/(m^2 \cdot K)$  is,

$r_o$ , de buitenstraal in m is,

$r_i$ , de binnenstraal in m is,

$k$ , de warmtegeleidingscoëfficiënt in  $W/(m \cdot K)$  is,

$L$  de lengte van de mantel in m is,

$A_i$ , het inwendig oppervlak in  $m^2$  is,

$A_o$ , het uitwendig oppervlak in  $m^2$  is,

$R_{tot}$ , de totaal thermische weerstand in K/W is.

De buitentemperatuur is gedurende de nacht minimaal  $23^\circ C$  of 296K. De maximale temperatuur van het water in het vat is  $100^\circ C$  of 373K. Dit betekent een verschil temperatuur van 77K. De convectiecoëfficiënt binnen in het vat wordt gekozen op  $5W/(m^2 \cdot K)$ . Buiten het vat wordt deze gekozen op  $15W/(m^2 \cdot K)$ . De warmtegeleidingscoëfficiënt van staal is  $17W/(m \cdot K)$ . Van glaswol is deze coëfficiënt  $0,032W/(m \cdot K)$ . De lengte van het vat is 1,35m. Het inwendig oppervlak bedraagt  $2m^2$ , het uitwendig oppervlak bedraagt  $2,42m^2$ . Indien er 10cm extra isolatie wordt voorzien bedraagt het uitwendig oppervlak  $3,28m^2$ .

In onderstaande tabellen worden de binnenstralen en buitenstralen weergegeven.

Tabel 18: Stralen verschillende lagen van het opslagvat

binnenstraal staal vat	0,235
buitenstraal staal vat / binnenstraal originele isolatie	0,236
buitenstraal originele isolatie / binnenstraal staal2	0,285
buitenstraal staal2 / binnenstraal glaswol	0,286
buitenstraal glaswol / binnenstraal staal 3	0,386
buitenstraal staal3	0,387

In onderstaande tabel worden de logaritmische stralen respectievelijk van binnen naar buiten berekend.

Tabel 19: Logaritmische stralen opslagvat

Ln (buitenstraal/binnenstraal)	0,004246
Ln (buitenstraal/binnenstraal)	0,188657
Ln (buitenstraal/binnenstraal)	0,003503
Ln (buitenstraal/binnenstraal)	0,299846
Ln (buitenstraal/binnenstraal)	0,002587

De factor  $k \cdot 2\pi \cdot L$  wordt apart berekend.

Voor de delen in staal geeft dit  $17 \cdot 2\pi \cdot 1,35 = 144,2$ .

Voor de delen in glaswol geeft dit  $0,032 \cdot 2\pi \cdot 1,35 = 0,27$ .

De gehele factor onder het sommatie teken kan nu vlot berekend worden.

$$R1 = \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) = \left( \frac{0,004246}{144,2} \right) = 2,94474E-05 \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [9]$$

$$R2 = \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) = \left( \frac{0,188657}{0,27} \right) = 0,695040598 \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [9]$$

$$R3 = \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) = \left( \frac{0,003503}{144,2} \right) = 2,42902E-05 \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [9]$$

Indien er 10cm glaswol wordt toegevoegd komen er twee extra weerstanden bij namelijk R4 en R5.

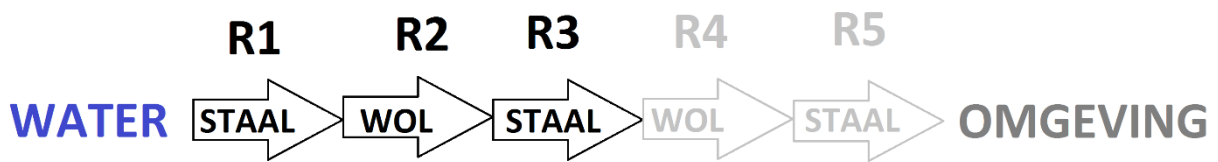
$$R4 = \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) = \left( \frac{0,299846}{0,27} \right) = 1,104673676 \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [9]$$

$$R5 = \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) = \left( \frac{0,002587}{144,2} \right) = 1,79427E-05 \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [9]$$

$$R_{tot} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 1,799785955 \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [10]$$

Zonder extra isolatie bedraagt  $R_{tot} = R1 + R2 + R3 = 0,695094335 \left[ \frac{K}{W} \right]$ .

In onderstaande figuur worden de warmteweerstanden ter verduidelijking weergegeven.



Figuur 58: Verduidelijking warmteweerstanden

De warmtestroom kan bepaald worden door formule [8] in te vullen.

Zonder isolatie:

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \sum \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} = \frac{373 - 296}{\frac{1}{5 \cdot 2} + 0,695 + \frac{1}{15 \cdot 2,42}} = 93,96 \text{ J/s}$$

Met isolatie:

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \sum \left( \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k \cdot 2\pi \cdot L} \right) + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} = \frac{373 - 296}{\frac{1}{5 \cdot 2} + 1,8 + \frac{1}{15 \cdot 3,28}} = 40,10 \text{ J/s}$$

Wetende dat er 12u of 43200 seconden geen zonne-instraling is, de warmtecapaciteit van water 4186 J/(kg.K) is en de tank 220liter bevat. Kan de temperatuurdaling met volgende formule berekend worden:

$$T_{verlies} = \frac{\dot{Q} \cdot t}{m \cdot C_v} [K] \quad [11]$$

Waarbij:

$\dot{Q}$ , de warmtestroom in J/s is,

t, de tijd in s is,

m, massa van het water in kg is,

$C_v$ , de warmtecapaciteit van het water in J/(kg.K) is.

Voor het origineel vat zonder extra isolatie geeft dit:

$$T_{verlies} = \frac{93,96 \cdot 43200}{220 \cdot 4186} = 4,39 [K]$$

Indien het vat met 10cm extra isolatie bekleed zou worden:

$$T_{verlies} = \frac{40,10 \cdot 43200}{220 \cdot 4186} = 1,88 [K]$$

Dit betekent een verschil van 2,51K. Hieruit wordt besloten dat het niet de extra investering loont om de tank extra te isoleren.

### Bijlage E: Berekening verliezen van het kookproces

Er worden vier verschillende kookpotten gebruikt in de keuken.

In onderstaande tabel worden de verschillende inhouden van kookpotten weergegeven.

Tabel 20: Inhoud kookpotten

kookpot	inhoud [l]
1	44,7
2	54,5
3	5,4
4	31,86

Afhankelijk van het menu moet er een bepaalde hoeveelheid water opgewarmd worden. Dit wordt weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 21: Waterverbruik per dag

verbruik									
maandag		dinsdag		woensdag		Donderdag		vrijdag	
kookpot	aantal	kookpot	aantal	kookpot	aantal	Kookpot	aantal	kookpot	aantal
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
4	1	4	2	4	1	4	2	4	0
totaal									
141,86 L		129,02 L		141,86 l		129,02 l		110 l	

Op maandag en woensdag wordt er het meest verbruikt. Namelijk 142 liter. Er wordt verder gewerkt met deze waarde.

Om deze energie te bepalen kan er gebruikt worden gemaakt van formule [1]:

$$Q = m \cdot C_v \cdot \Delta T \quad [1]$$

Waarbij:

Q, de toegevoegde warmte is in joule

m, de massa van de vloeistof is

C<sub>v</sub>, de soortelijke warmtecapaciteit van de vloeistof is

ΔT, het temperatuurverschil tussen begin- en eindtemperatuur.

Het water wordt opgepompt vanuit een put, hierdoor is de begintemperatuur van het water 23°C of 296K. Het water moet een temperatuur bereiken van 100°C of 373K.

$$Q = 142 \cdot 4186 \cdot (373 - 296) = 45\,769\,724\text{J}$$

142 liter water opwarmen kost dus 45 769 724J aan energie.

De kookpotten zijn gemaakt uit aluminium. Ook deze kookpotten moeten worden opgewarmd tot een bepaalde temperatuur en zal dus ook energie opnemen. In onderstaande tabel worden deze waarden voor iedere kookpot berekend met dezelfde formule.

Tabel 22: Benodigde warmtetoevoer naar kookpotten

kookpot	gewicht [kg]	soortelijke warmte aluminium [J/(kg*K)]	begintemp. [K]	eindtemp. [K]	toegevoegde warmte [J]
1	5	880	300	373	321200
2	13,5	880	300	373	867240
3	3	880	300	373	192720
4	5	880	300	373	321200

Doordat de kookpotten niet elke dag evenveel worden gebruikt, verschilt de toegevoegde warmte per dag. Dit wordt weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 23: Benodigde toegevoerde warmte per dag

opwarmen kookpotten									
ma.		di.		woe.		do.		vr.	
kookpot	aantal	kookpot	Aantal	kookpot	aantal	kookpot	aantal	kookpot	aantal
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
4	1	4	2	4	1	4	2	4	0
<b>totaal [kJ]</b>	<b>189,5</b>		<b>189,5</b>		<b>189,5</b>		<b>189,5</b>		<b>157,4</b>

Van maandag t.e.m. donderdag is dezelfde hoeveelheid energie nodig namelijk 1 900 000J. Vrijdag is de benodigde energie lager.

Er wordt een gevarieerd menu geserveerd op Rainbow4kids. Elk gerecht eist een andere hoeveelheid energie. In onderstaande tabel is een lijst van de gerechten terug te vinden. Hierbij is ook berekend hoeveel energie toegevoegd moet worden om het gerecht te bereiden met de formule van voorgaande pagina.

Tabel 24: Benodigde toegevoerde warmte per voedingsstof

Gerecht	Gewicht [kg]	Wat	Soortelijke warmte [J/(kg*K)]	Begintemp. [K]	Eindtemp. [K]	Toegevoegde warmte [J]	Totaal [J]
pap	4,5	Meel [38]	1800	300	373	591300	825922
	1	Suiker [39]	1244	300	373	90812	
	1	Olijfolie [40]	1970	300	373	143810	
bonen	15	bruine bonen [41]	1170	300	373	1281150	128115
rijst	25	witte rijst [42]	2146	300	373	3916450	391645
sukuma	15	Spinazie [43]	4000	300	373	4380000	438000



Ugali	16	Bloem [38]	1800	300	373	2102400	2102400	0
kool	15	Kool [44]	3940	300	373	4314300	4314300	0
Pilau	5	Aardappelen [45]	3430	300	373	1251950	1251950	0
	25	witte rijst [42]	2146	300	373	3916450	3916450	0

Gebruik makende van het menu kan bepaald worden op welke dag er het meeste energie verbruikt wordt. Op onderstaande tabel wordt dit weergegeven.

Tabel 25: Benodigde toegevoerde warmte voor het voedsel per dag

menu									
ma.		di.		woe.		do.		vr.	
pap	825922	Pap	825922	Pap	825922	pap	825922	pap	825922
bonen	1281150	sukuma	4380000	Bonen	1281150	kool	4314300	pilau	5168400
rijst	3916450	Ugali	2102400	Rijst	3916450	ugali	2102400		
totaal [kJ]	6023		7310		6023		7242		5994

Hieruit blijkt dat het bereiden van de maaltijden op dinsdag het meeste energie vergt met 7 310 000J.

Tijdens het kookproces treden er heel wat verliezen op.

De thermische weerstand van het water naar de omgeving kan berekend worden met volgende formule:

$$R = \frac{1}{h_0 \cdot A} \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [12]$$

Waarbij:

R, de thermische weerstand in K/W is  
 $h_0$ , de convectiecoëfficiënt in W/(m<sup>2</sup>.K) is  
A, het wateroppervlak in m<sup>2</sup> is.

Het wateroppervlak van pot 1 bedraagt 0,204m<sup>2</sup>.  $h_0$  wordt gekozen op 15W/(m<sup>2</sup>.K). Hieruit wordt de thermische weerstand berekend:

$$R = \frac{1}{15 \cdot 0,204} = 0,33 \left[ \frac{K}{W} \right]$$

De thermische weerstand van het water naar de omgeving doorheen de pot kan berekend worden met volgende formule:

$$R = \frac{1}{h_0 \cdot A} + \frac{s}{k \cdot A} + \frac{1}{h_i \cdot A} \left[ \frac{K}{W} \right] \quad [13]$$

Waarbij:

R, de thermische weerstand in K/W is  
 $h_0$ , de convectiecoëfficiënt buiten de pot in W/(m<sup>2</sup>.K) is  
 $h_i$ , de convectiecoëfficiënt binnenin de pot in W/(m<sup>2</sup>.K) is  
A, het oppervlak van de pot in m<sup>2</sup> is  
s, de dikte van de pot in m is  
k, de thermische geleidbaarheid in W/(m.K) is.

We nemen hier aan dat de pot een vlakke plaat is. Dit heeft invloed op de resultaten maar omdat er met de hoogste verschiltemperatuur mogelijk gewerkt wordt, wordt dit opgeheven.

Het oppervlak bedraagt 0,573m<sup>2</sup>. De potten zijn gemaakt van aluminium. Aluminium heeft een thermische geleidbaarheid van 237 W/(m.K). De convectiecoëfficiënt binnenin de pot wordt gekozen op 5W/(m<sup>2</sup>.K). De pot heeft een wanddikte van 5mm. Door formule [13] in te vullen kan de thermische weerstand bepaald worden.

$$R = \frac{1}{15 \cdot 0,573} + \frac{0,005}{237 \cdot 0,537} + \frac{1}{5 \cdot 0,573} = 0,46 \left[ \frac{K}{W} \right]$$

De warmtestroom kan berekend worden met volgende formule:

$$Q = \frac{T_{binnen} - T_{buiten}}{R} [W] \quad [14]$$

Waarbij

Q, de warmtestroom in watt is,  
 $T_{binnen}$ , de temperatuur van de het water in K is  
 $T_{buiten}$ , de omgevingstemperatuur in K is  
R, de thermische weerstand in K/W is,

Het maximale verlies wordt berekend. De buitentemperatuur bedraagt 27°C of 300K. De watertemperatuur bedraagt dan 100°C of 373K.

Het verlies rechtstreeks naar de omgeving bedraagt:

$$Q = \frac{373 - 300}{0,33} = 223,68W$$

Het verlies doorheen de kookpot bedraagt:

$$Q = \frac{373 - 300}{0,46} = 156,79W$$

Het totaalverlies bedraagt dus 380,47W.

Deze kookpot staat gemiddeld 3600 seconden op het vuur. Dit betekent dat er 1369720 J verloren gaat tijdens het kookproces.

Gelijkaardige berekeningen werden gedaan voor de andere kookpotten.

In onderstaande tabel worden deze waarden samengevat.

Tabel 26: Samenvatting verlies per kookpot

kookpot	verlies [J]
1	1369720,647
2	3473651,463
3	162534,019
4	1369720,647

Afhankelijk van welke kookpotten er gebruikt worden zal het verlies dus variëren. Dit wordt weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 27: Totaal verliezen per dag

verliezen kookpotten									
maandag		dinsdag		woensdag		donderdag		vrijdag	
kookpot	aantal	kookpot	aantal	kookpot	aantal	kookpot	aantal	kookpot	aantal
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
4	1	4	2	4	1	4	2	4	0
totaal [kJ]	6538		6538		6538		6538		5168

Van maandag t.e.m. donderdag gaat dezelfde hoeveelheid energie verloren namelijk 6 540 000J. Vrijdag is het verlies lager.

De verliezen bedragen dus :

- 1 895 080J om de kookpotten op te warmen,
- 7 308 322J om de gerechten te bereiden,
- 6 538 161J aan verliezen tijdens het koken.

Dit is in het totaal: 15 741 563J of 4,37kWh.

# Solar charge controller

Dear Clients,

Thanks for selecting the SC-SM(-Z) series solar controller. Please take your time to read this user manual, this will help you to make full use of many advantages the controller can provide your solar system.

This manual gives important recommendations for installing, programing, using and so on. Read it carefully please.

## 1. Description

Smart-R series intelligent solar controller is programmable and especially for solar street light system.

It comes with a number of outstanding features, such as:

- 12/24V automatic recognition
- IP68 · Strong and durable aluminum case
- External temperature sensor, automatic temperature compensation
- Four-stage PWM charge method
- Full automatic electronic protect function

## 2. Safety instructions and waiver of liability

### 2.1 Safety

① The solar charge controller may only be used in PV systems in accordance with this user manual and the specifications of other modules manufacturers. No energy source other than a solar generator may be connected to the solar charge controller.

② Batteries store a large amount of energy, never short circuit a battery under all circumstances. We strongly recommend connecting a fuse directly to the battery to protect any short circuit at the battery wiring.

③ Batteries can produce flammable gases. Avoid making sparks, using fire or any naked flame. Make sure that the battery room is ventilated.

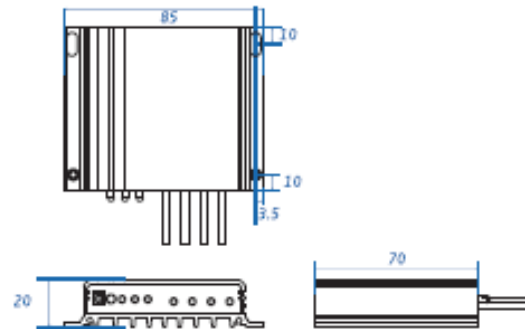
④ Avoid touching or short circuiting wires or terminals. Be aware that the voltages on special terminals or wires can be as much as twice the battery voltage. Use isolated tools, stand on dry ground, and keep your hands dry.

⑤ Keep children away from batteries and the charge controller.

### 2.2 Liability Exclusion

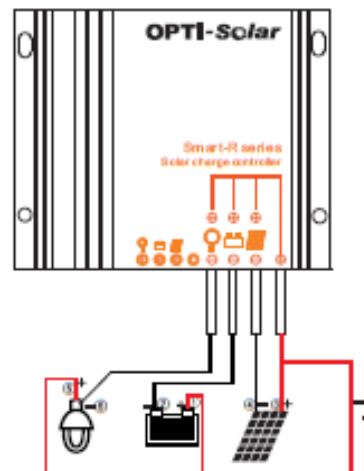
The manufacturer shall not be liable for damages, especially on the battery, caused by use other than as intended or as mentioned in this manual or if the recommendations of the battery manufacturer are neglected. The manufacturer shall not be liable if there has been service or repair carried out by any unauthorized person, unusual use, wrong installation, or bad system design.

## 3. Dimensions



## 4. Installation

The following diagrams provide an overview of the connections and the proper order.



- To avoid any voltage on the wires, first connect the wire to the controller, then to the battery, panel or load.
- Make sure the wire length between battery and controller is as short as possible.
- Recommended minimum wire size:  
SC-05SM(-Z): 1.5mm<sup>2</sup>; SC-10SM(-Z): 2.5mm<sup>2</sup>; SC-15/20SM(-Z): 4mm<sup>2</sup>.
- Be aware that the positive terminals are connected together and therefore have the same electrical potential. If any grounding is required, always do this on the positive wires.
- Connecting capacitive load may trigger short circuit protection.



Remark: If the device is used in a vehicle which has the battery negative on the chassis, loads connected to the controller must not have an electric connection to the car body, otherwise the Low Voltage disconnect and electronic fuse functions of the controller are short circuited.

## 5.Starting up the controller

### 5.1 Self Test

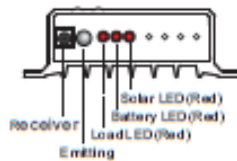
As soon as the controller is supplied with battery, it starts a self test routine. Then the display changes to normal operation.

### 5.2 System Voltage

The controller adjusts itself automatically to 12V or 24V system voltage. As soon as the battery voltage at the time of start-up is within 10V to 16V, the controller implies a 12V system, else if the battery voltage is within 20V to 30V, the controller implies a 24V system.

If the battery voltage is not within the normal operating rang(ca.10 to 16V or ca.20 to 30V)at start-up, a status display according to the section "6.2 Faults & Alarms".

## 6.LED indications and Faults & Alarms



### 6.1LED Display Explanation

LED	Status	Function
Solar LED (Red)	Slow flash(1s on/1s off)	Float charging
	Flash(0.4s/0.4s)	Boost charging
	Fast flash(0.1s/0.1s)	Equal charging
	On	Overtemperature
Battery LED (Red)	On	Normal operation
	Slow flash(1s/1s)	LVD
	Fast flash(0.1s/0.1s)	Overvoltage
Load LED (Red)	On	Discharge
	Slow flash(1s/1s)	Overcurrent
	Fast flash(0.1s/0.1s)	Short circuit
All red LED	Slow flash(1s/1s)	Does not recognize the system voltage
	Lighted together(1s)	Controller start-up
	Off	No battery connected

### 6.2Faults & Alarms

Faults	Status	Reason	Remedy
Loads are not supplied	LVD	Battery is low	Load will reconnect as soon as battery is recharged.
	Over current/ Short circuit	Load is over current or short circuit	Switch off all loads. Remove short circuit. Controller will switch on load automatically after max 1 minute.
	Over temp.	The controller's temperature is too high.	After the temperature reduces, the load opens automatically
Battery voltage is too high	Over voltage	Battery voltage too high (>15.5V/31V)	Check if other sources overcharge the battery. If not, controller is damaged.
		Battery wires or battery fuse damaged, battery has high resistance	Check battery wires, fuse and battery.
Does not recognize the system voltage	All red LED flashes slowly	The battery voltage is not within the normal operating range at start-up.	Charge or discharge the battery to make the voltage within the normal range.
Battery is empty after a short time	LVD	Battery has low capacity	Change battery
Battery is not being charged during the day	The solar LED is off	Solar array faulty or wrong polarity	Remove faulty connection or reverse polarity

## 7. Safety Features


	Solar terminal	Battery terminal	Load terminal
Reverse polarity	Protected *1	Protected *1	Protected *2
Short circuit	Protected	Protected *3	Switches off immediately
Over current	—	—	Switches off with delay
Reverse Current	Protected	—	—
Over voltage	Max.55V *4	Max.40V	—
Under voltage	—	—	Switches off
Over temp.	Disconnect the load if the temperature reaches the set value.		

\*1 Controller can not protect itself in a 24V system when polarity of battery or solar is reversed.

\*2 Controller can protect itself, but loads might be damaged.

\*3 Battery must be protected by fuse, or battery will be permanently damaged.

\*4 The solar panel voltage should not exceed this limit for a long time as voltage protection is done by a varistor.

 Warning: The combination of different error conditions may cause damage to the controller. Always remove the error before you continue connecting the controller.

## 8. Technical Data

Model	SC-05 SM(-Z)	SC-10 SM(-Z)	SC-15 SM(-Z)	SC-20 SM(-Z)
Nominal voltage	12 V / 24 V automatic recognition			
Max. solar current or load current	5 A	10 A	15 A	20 A
Charging Algorithm	4-step (fast, boost, equal, float)			
Equalization Function	Yes			
Load disconnect voltage	Yes			
Load reconnect voltage	Yes			
Day/Night threshold	3.0~8.0V(12 V)/6.0~16.0V(24 V)			
Temperature Compensation	Yes			
Max. solar voltage	55V			
Over voltage protection	15.5V/31.0V			
Cable length	120mm/80mm			
Dimensions/Weight	85 x 70 x 20 mm / 200g			
Wire size	SC-05 SM(-Z): 1.5mm <sup>2</sup> ; SC-10 SM(-Z): 2.5mm <sup>2</sup> ; SC-15/20 SM(-Z): 4mm <sup>2</sup>			
Typical power consumption	8mA			
Ambient temp.	-40°C ~ +60°C			
Case protection	IP68			
Max altitude	4000 m			

Bijlage G: Datasheet tijdschloot van de pomp in waterput [47]



Interrupor horario analógico  
Analogue time switch

ALPHA

Ficha Técnica  
Technical Data Sheet



Descripción	Description
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esfera frontal de sencilla programación</li> <li>- Programaciones diarias de 15 minutos y 2 horas en modo semanal</li> <li>- Disponibles modelos con batería de reserva (100 h)</li> <li>- Instalación en carril DIN, superficie o empotrado</li> <li>- Interruptor para el control manual con tres posiciones: automático, apagado y encendido permanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Front sphere easy to program by movable flippers</li> <li>- Daily programming of 15 minutes and 2 hours for weekly modules</li> <li>- Models with backup battery available (c. 100 h.)</li> <li>- Installation on DIN rail, surface or built in.</li> <li>- Switch for manual control with three positions: automatic, off and permanent on.</li> </ul>
Aplicaciones	Areas of application
Máquinas de calefacción o aire acondicionado en edificios, precalentamiento de maquinaria industrial, ...	Heating or air conditioning machines in buildings, preheating of machinery, ...

Modelos Models	D		S	QRD	QRS
	diario sin reserva daily without power reserve	diario con reserva de marcha daily with power reserve	semanal sin reserva weekly with power reserve	diario con reserva de marcha daily with power reserve	semanal con reserva de marcha weekly with power reserve
<b>Características técnicas</b> Technical data					
Alimentación (ver tensiones disponibles - see table of data) Power supply (refer voltage available - see table of data)	V ca. V AC				
Frecuencia nominal Nominal frequency	Hz				
Consumo propio Power consumption	W				
Reserva de marcha Power reserve	horas hours		sin reserva without reserve	100 h tras 48 h conexión interrumpida 100 h after 48 h interrupted connection	
Precisión de marcha Operating accuracy	dependiente de frecuencia de red depending on line frequency			± 1 s / 24 h @23 °C	
Tipo de contacto Type of contact	N/A NC				
Poder de ruptura Switching capacity	16(A) A / 250 V AC				
Clase de protección Protection class	Clase II en condiciones correctas de montaje Class II in correct mounting conditions				
Grado de protección Degree of protection	IP 20 según EN 60529 IP 20 according to EN 60529				
Situación de contaminación Pollution degree	2				
Tipo de acción Action type	1B, 1T, 1U, 1R		1B, 1T, 1U, 1S		
Tipo de esfera Dial type	cabeletos pins				
Tiempo mínimo de maniobra Minimum switching time	90	84	96	84	
Precisión de la maniobra Setting accuracy	15	2 h	15	2 h	
Tensión de impulso asignada Rated impulse voltage	± 5				
Temperatura para ensayo de la bola Ball pressure test temperature	± 30				
Montaje del equipo Method of mounting control	2,5				
Conexión Connection	2,5				
Sección de conductor Wire cross section	°C				
Par máximo de apriete de tornillos Maximum torque for the screws	85 (21.2.5) ; 105 (21.2.6)				
Tapa precintable Sealable cover	Montaje superficie / carril DIN / trasacorro installation on DIN rail, surface or built in				
Temperatura de funcionamiento Operating temperature	Conexiones FASTON 6,3 x 0,8 mm base de tornillo				
Temperatura de transporte y almacenamiento Transportation and storage temperature	Faston Connections 6.3x0.8 mm screw terminal				
Peso neto Net weight	mm²	Nm	g	g	
	4	0,8	186	190	194
		0,3			
		No			
		°C			
		°C			

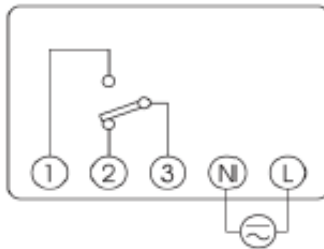
01274MP3621 - 1/1 - 10/2018



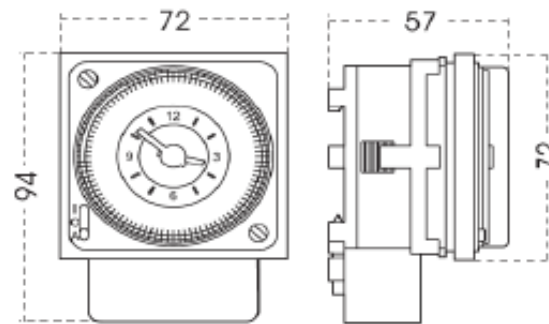
**Cargas máximas recomendadas**  
Maximum recommended load

Incandescentes Incandescent	Fluorescentes Fluorescent	Halógenas bajo tensión (12 V a.c.) Low voltage halogen (12 V AC)	Halógenas 230 V a.c.) Halogen (230 V AC)	Alimentación bajo consumo Low consumption lamps	Downlights Downlights	LED
2000 W	1200 VA	2000 VA	2000 W	1000 VA	900 VA	100 VA

**Conexión**  
Wiring diagram



**Dimensiones e interiores**  
Overall dimensions



**Accesorios**  
Accessories available

Código Code:	Código Code:	Código Code:

Código Code	D	S	QRD	QRS
230 V AC	OB270023	OB270223	OB270423	OB270323
120 V AC	OB270029	OB270229	OB270429	OB270329
48 V AC o DC	OB270052	OB270252	OB270452	OB270352
24 V AC o DC	OB270062	OB270262	OB270462	OB270362
12 V AC o DC	OB270072	OB270272	OB270472	OB270372

0123456789101112131415161718192021222324252627282930313233343536373839404142434445464748495051525354555657585960616263646566676869707172737475767778798081828384858687888990919293949596979899100

<b>Marca</b> Approvals and marking	<b>CE</b>
<b>Directivas de referencia</b> Reference Directives	2014/30/EU (EMC); 2014/53/EU (LVD); 2011/65/CE (RoHS)
<b>Normas de referencia</b> Reference standards	EN 60730-2-7:2010 AC 2011; EN 60730-2-7:2010

Subject to our terms and conditions - information additional in subject to technical changes - additional information on

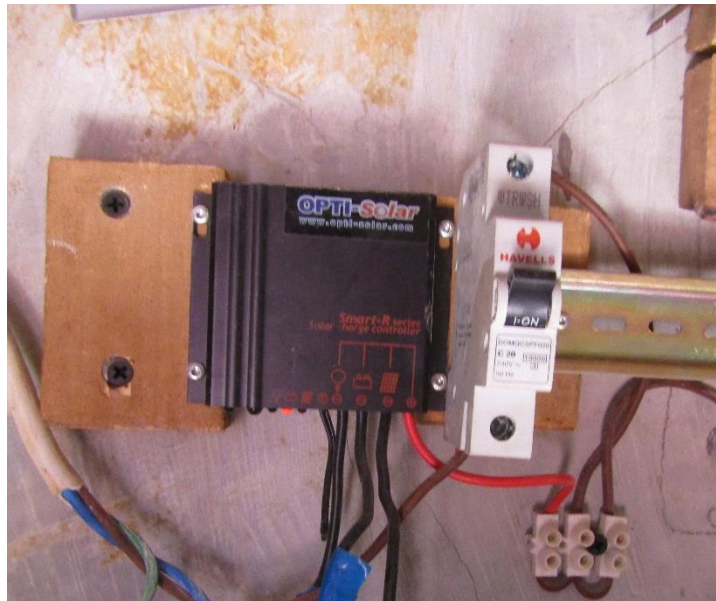
[www.orbis.es](http://www.orbis.es)



## Manual solar collector

### Different pieces in the electrical system

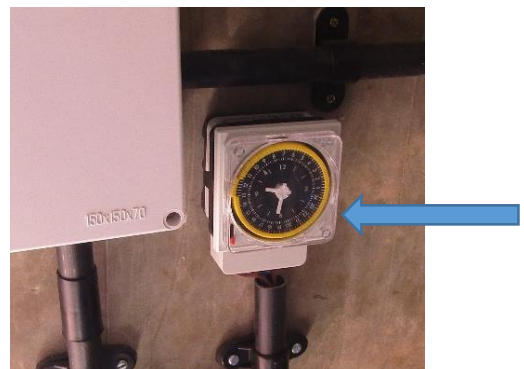
- Charge control: to load the battery on a good way (black thing from OPTI-Solar)
- A safety switch: to secure all the electrical components



- Inverter: makes from a DC-current (which comes from the solar panel) AC-current (Izzy Power) Maximum 600 W. Don't put anything else inside!
- Time switch: It operates the pump who's supplying the water in the kitchen. It also supply's the power for the circulation pump for the panels. Don't remove the plug!



- Time switch: it operates the pump in the well. It is used to fill the tank on the tower. It's programmed to fill the tank when the cooks are done with cooking. If they don't need hot water anymore.



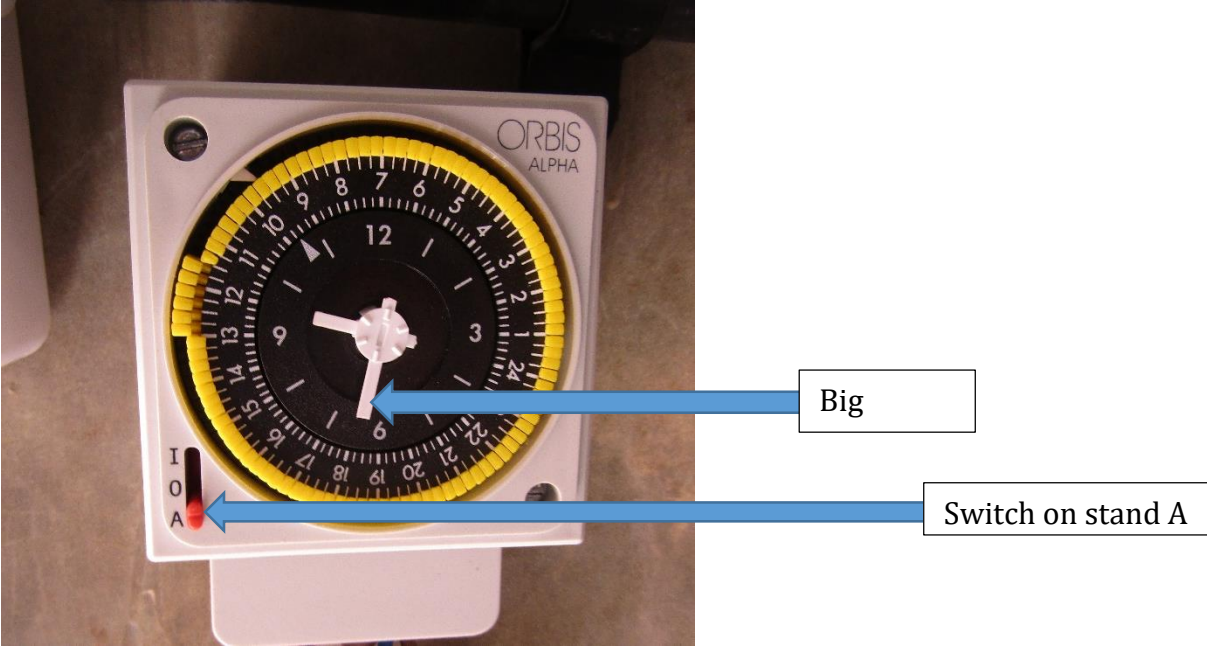
**How to set the time switch who is operating the well pump?**



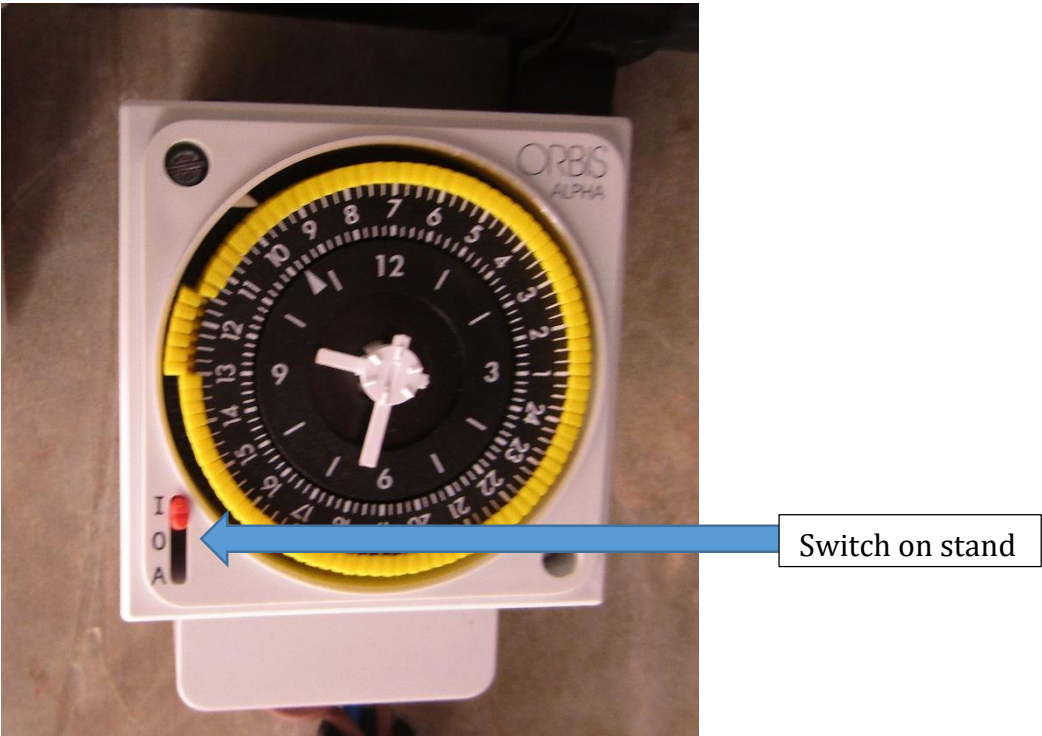
First remove the transparent plastic cover!



If you need to set time: turn the big pointer **clock-wise**. If you have reached the good time, stop turning.  
Make sure the red switch is standing on A (automatic).



If there was a power cut who took longer than one hour, while the pump normally works between (11 – 12h) then you need to fill the tank manually. It can be done if the red switch is on stand I. After filling put the red switch back on stand A.



If you want to change the time when the tank is filling:  
Push the yellow things sidewise. At the times you want is working.



Push yellow things



**How to set the time of the pump in the kitchen and the circulation pump?**

Don't remove the plug from the time switch!



If you want to adjust the time. You need to turn the black wheel in the direction of the arrow (clock-wise). Every black stripe is 15 minutes.



If you want to change the time the pumps are working: push the black switches in.



Push black switches in

## What do the lights on the charge control mean?



lights

### 5. Starting up the controller

#### 5.1 Self Test

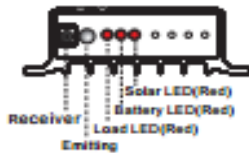
As soon as the controller is supplied with battery, it starts a self test routine. Then the display changes to normal operation.

#### 5.2 System Voltage

The controller adjusts itself automatically to 12V or 24V system voltage. As soon as the battery voltage at the time of start-up is within 10V to 16V, the controller implies a 12V system, else if the battery voltage is within 20V to 30V, the controller implies a 24V system.

If the battery voltage is not within the normal operating range (ca. 10 to 16V or ca. 20 to 30V) at start-up, a status display according to the section "6.2 Faults & Alarms".

### 6. LED indications and Faults & Alarms



#### 6.1 LED Display Explanation

LED	Status	Function
Solar LED (Red)	Slow flash(1s on/1s off)	Float charging
	Flash(0.4s/0.4s)	Boost charging
	Fast flash(0.1s/0.1s)	Equal charging
	On	Over temperature
Battery LED (Red)	On	Normal operation
	Slow flash(1s/1s)	LVD
	Fast flash(0.1s/0.1s)	Over voltage
Load LED (Red)	On	Discharge
	Slow flash(1s/1s)	Over current
	Fast flash(0.1s/0.1s)	Short circuit
All red LED	Slow flash(1s/1s)	Does not recognize the system voltage
	Lighted together(1s)	Controller start-up
	Off	No battery connected

#### 6.2 Faults & Alarms

Faults	Status	Reason	Remedy
Loads are not supplied	LVD	Battery is low	Load will reconnect as soon as battery is recharged.
	Over current/ Short circuit	Load is over current or short circuit	Switch off all loads. Remove short circuit. Controller will switch on load automatically after max 1 minute.
	Over temp.	The controller's temperature is too high.	After the temperature reduces, the load opens automatically
Battery voltage is too high	Over voltage	Battery voltage too high (>15.5V/31V)	Check if other sources overcharge the battery. If not, controller is damaged.
		Battery wires or battery fuse damaged, battery has high resistance	Check battery wires, fuse and battery.
Does not recognize the system voltage	All red LED flashes slowly	The battery voltage is not within the normal operating range at start-up.	Charge or discharge the battery to make the voltage within the normal range.
Battery is empty after a short time	LVD	Battery has low capacity	Change battery
Battery is not being charged during the day	The solar LED is off	Solar array faulty or wrong polarity	Remove faulty connection or reverse polarity

### 7. Safety Features

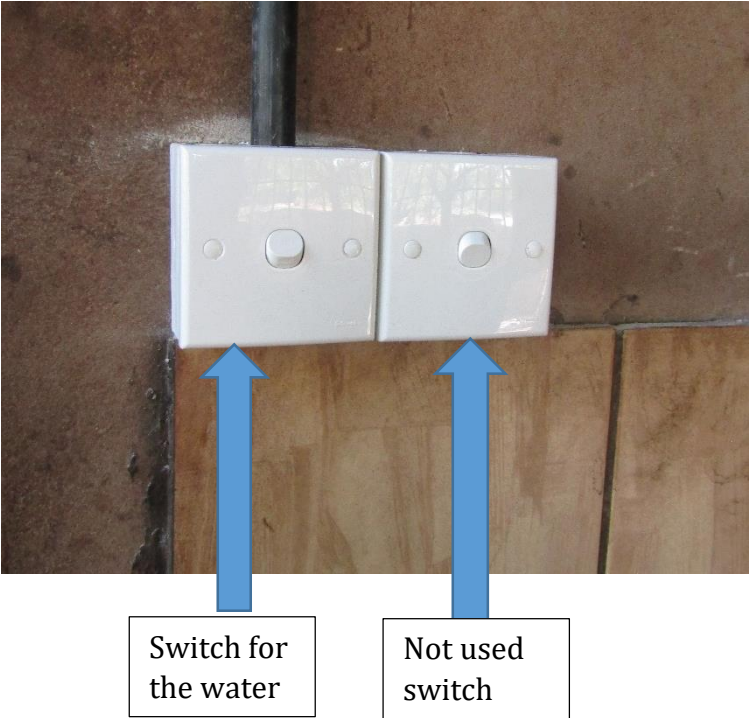
	Solar terminal	Battery terminal	Load terminal
Reverse polarity	Protected *1	Protected *1	Protected *2
Short circuit	Protected	Protected *3	Switches off immediately
Over current	—	—	Switches off with delay
Reverse Current	Protected	—	—
Over voltage	Max.55V *4	Max.40V	—
Under voltage	—	—	Switches off
Over temp.	Disconnect the load if the temperature reaches the set value.		

**For what are the switches in the kitchen?**

With the left switch you can operate the water. If you push on the switch, the water starts flowing.

The right switch isn't used. But if the time switch is broken, you can connect the wires inside.

If you put the green wire on the L, and the red in the other hole. You also can use this switch to fill the tank.



## How to fill the solar- collectors?

Check once a week the level of the liquid inside of the black bottle on top of the tower. If it is low, fill it with glycerine or clean water → only water what is sealed in bottles.



Big tank of glycerine

As long as there is glycerine, use it. Do a little bit from the big tank in a smaller bottle. How it is shown beneath.



Small bottle of glycerine

Funnel

Take the funnel and the small bottle with glycerine or clean water.

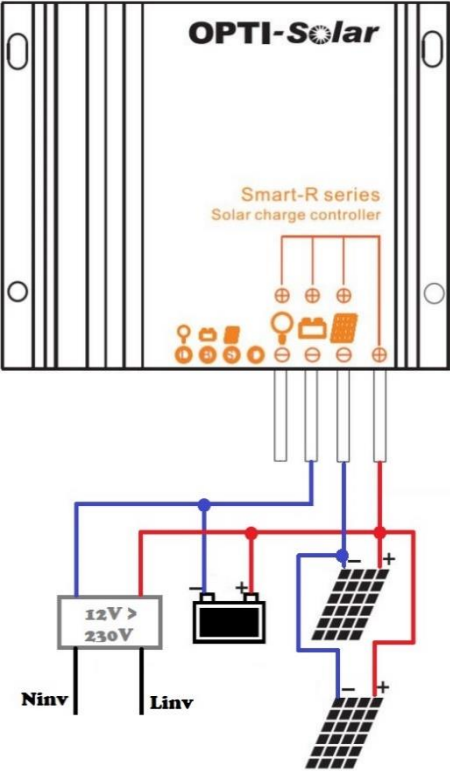


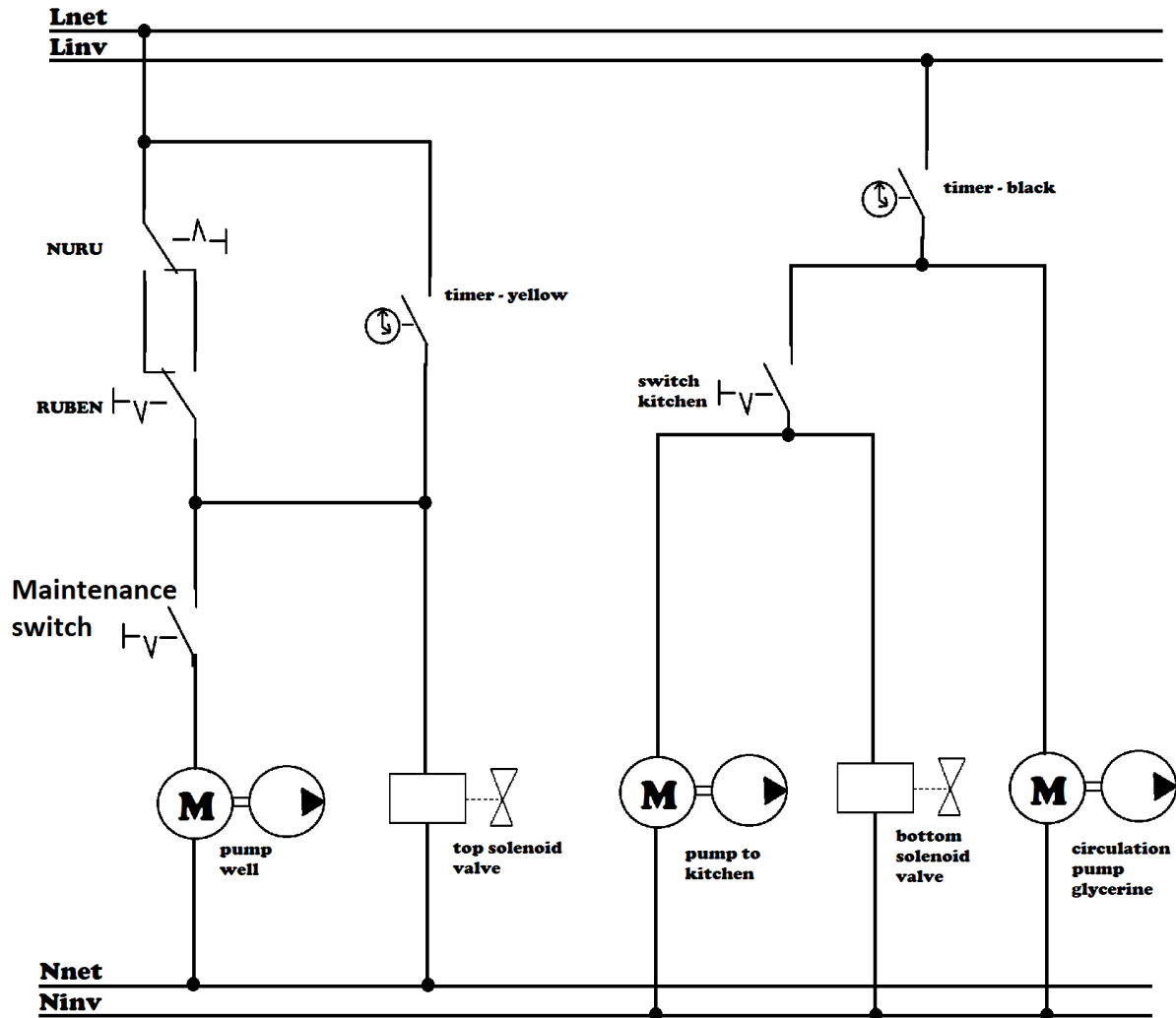


If the level of the glycerine is too low, put the funnel in the small hole of the tank on top of the tower, like shown. Then you can put some glycerine inside.



Electrical schema

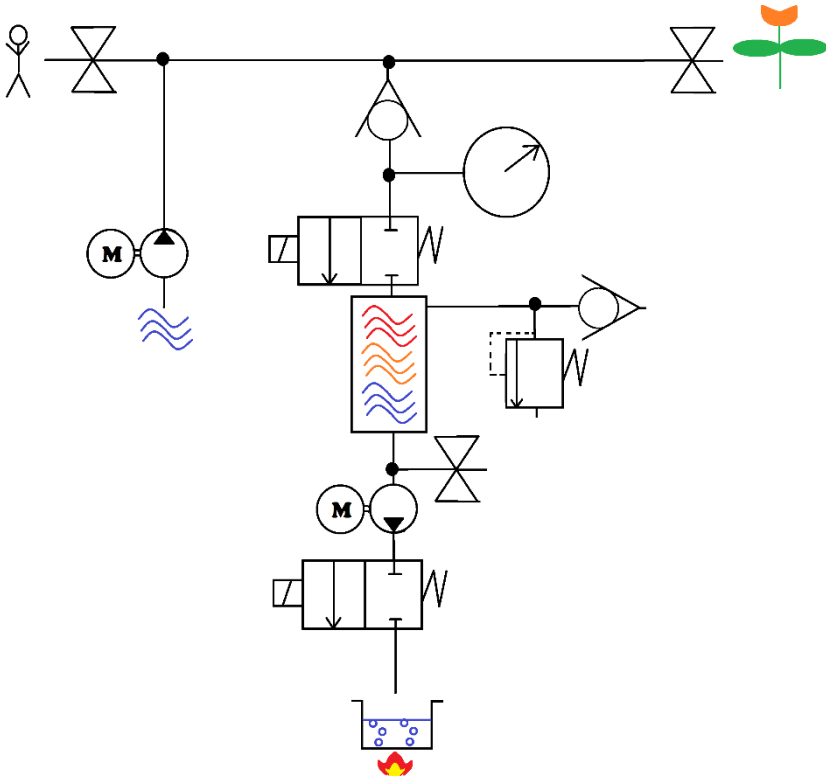




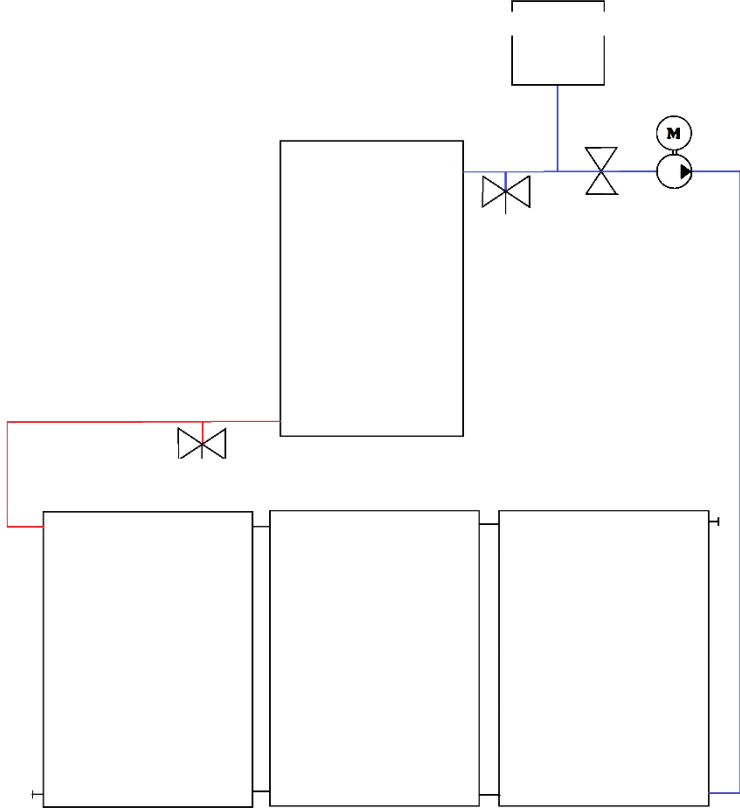
L net + Nnet = the power who is coming out of the school.

L inv+ N inv= the power who is coming from the solar panels → inverter.

**Principal sketch water piping**



**Principal sketch glycol circuit**

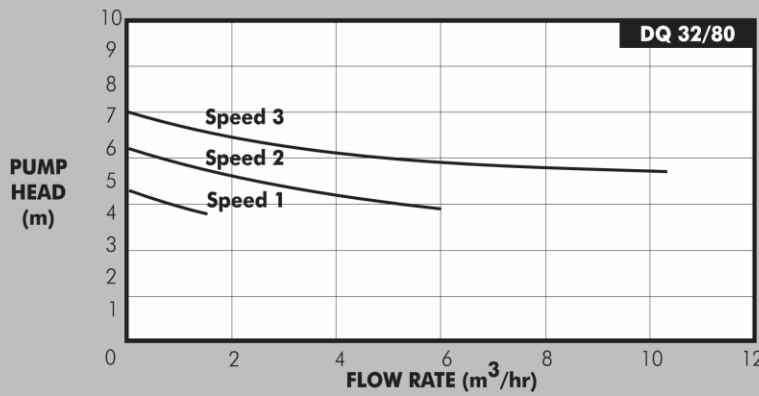
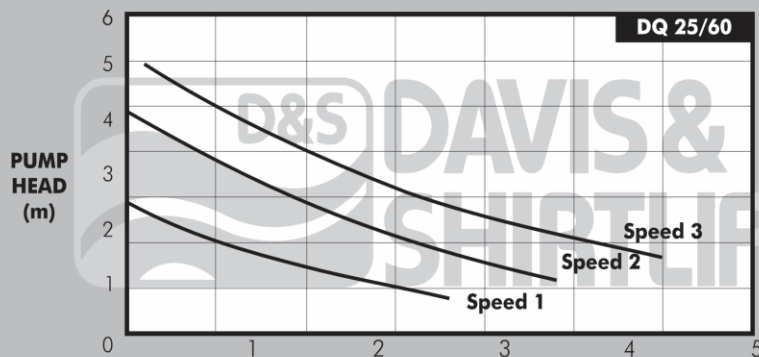




**DATA SHEET**

Circulator  
Pumps

**DQ**



## PUMP

DAYLIFF DQ circulator pumps are designed for hot water circulation in heating, hot water, cooling or air conditioning applications in open or closed systems. A particular feature of the pump design is that the motors have three speed settings so it is possible to select the ideal flow to meet system requirements.

Pump construction is cast iron pump housing, glass fibre reinforced polypropylene impeller, stainless steel rotor and ceramic bearing support. All pumps are supplied complete with female threaded BSP union connections.

## MOTOR

The integral 2-pole asynchronous squirrel-cage motor is designed to operate at three speeds. All motors include an inbuilt capacitor and overload protection and can be connected directly to mains supply through a 5A fuse or MCB.

**Enclosure Class:** IP54      **Insulation Class:** F      **Voltage:** 1x240V  
**Speed:** 2900rpm

## OPERATING CONDITIONS

**Pumped Liquid:** Thin, clean, chemically non-aggressive liquids without solids or fibres.

**Max Fluid Temperature:** -10°C -110°C. Note the liquid temperature should be higher than the ambient temperature.

**Max. Ambient Temperature:**

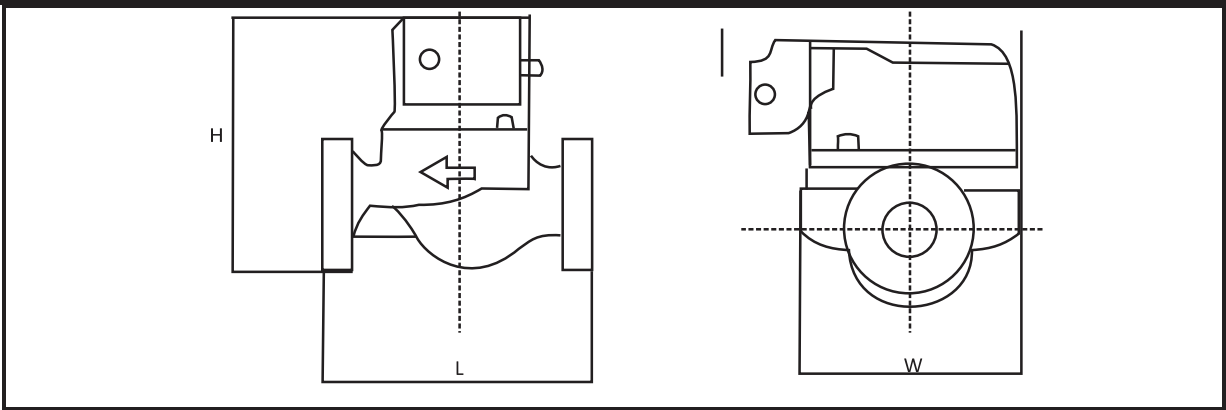
10°C - 50°C **Max. Operating**

**Pressure:** 6 bar

**Installation:** Pumps must be installed with rotor shaft horizontal and vertical water flow.

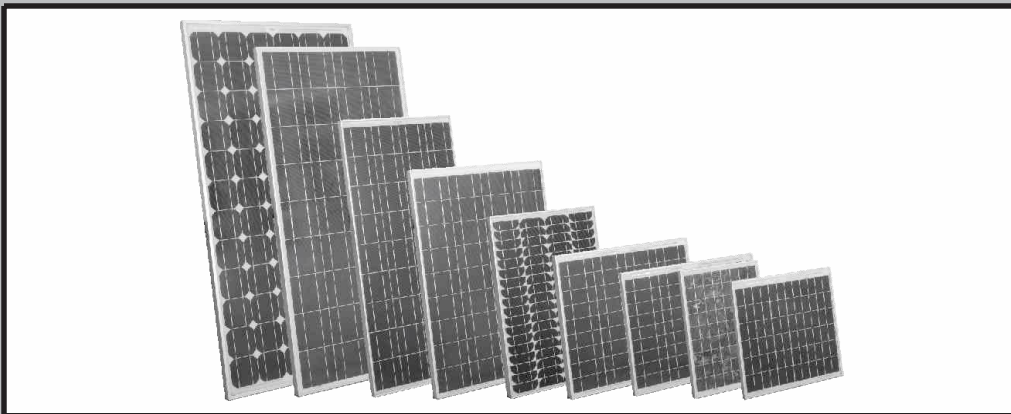
## PUMP DATA

Model	Power (kW)	Current (A)	Dimensions (mm)			Weight (kg)
			L	H	W	
DQ 25/60	93	1.5	180	125	90	3
DQ 32/80	245	2				5.6





## DATA SHEET Photo Voltaic Solar Mo



The heart of all effective photovoltaic systems is an efficient and reliable solar module and there are none better than Dayliff PV Modules. All are sourced from global PV module leaders who comply with the highest standards of quality and durability and offer the following features:-

- High efficiency multi crystalline solar cells with minimum 15% energy conversion rates to provide maximum power even under weak light.
- High transmission rate tempered glass with an anti-reflection coating to increase the power output and provide mechanical strength.
- Multi function water proof junction box for easy connection.
- 25 year power output warranty.
- Global Certification.

Modules are sourced from two of the world leading PV module manufacturers:-

### Solar World

SolarWorld is Europe's largest manufacturer of PV modules with over 30 years experience in the industry and a reputation for quality and innovation. Modules are manufactured in Germany in fully automated ISO certified factories and independent tests have rated all sizes at the highest 'excellent' quality level. All Solarworld modules are also fully internationally certified as follows:-

### Yingli

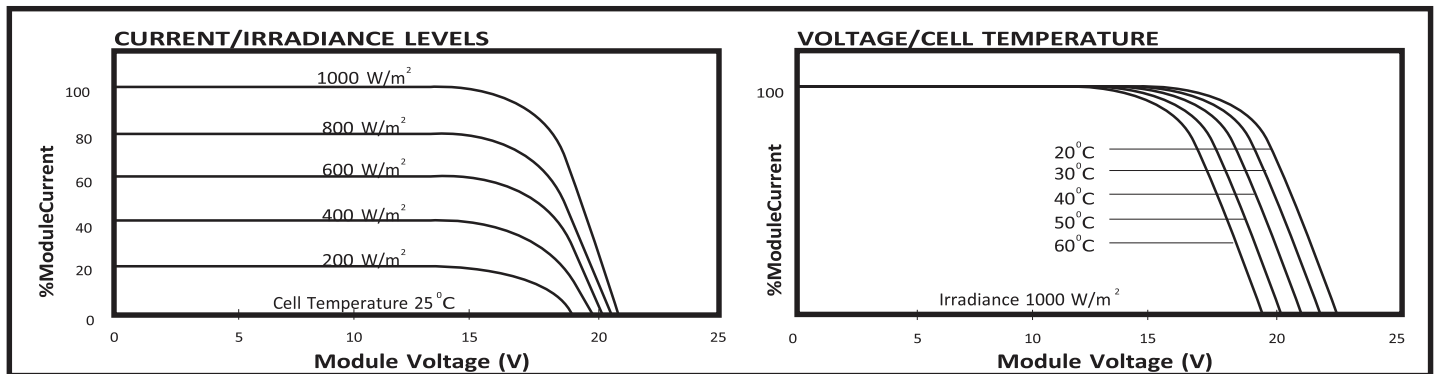
Yingli Solar is the largest PV module manufacturer in the world and are vertically integrated from polysilicon production to module assembly to ensure consistently high quality levels. Yingli modules are recognised as quality products and are internationally certified by TUV Rheinland to ISO, BS and UV standards.



All Dayliff modules are manufactured to the highest standards and are guaranteed to provide reliable performance over long life spans. They are quality products in terms of both technology and performance and are ideal power sources for all types of solar applications.



## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Nominal 12V Cells)



## THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal Operating Cell Temperature: 46+/-2°C

Temperature Coefficient Pmax.: -0.45%/°C Temperature

Coefficient Voc: -0.37%/°C Temperature Coefficient Isc:

0.06%/°C

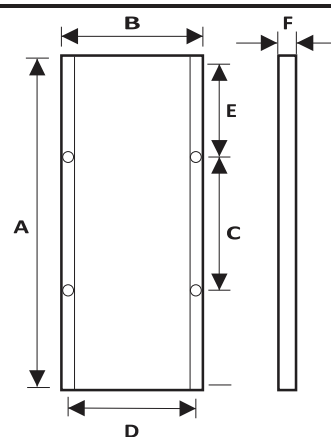
Model	Rated Power (W)	Nominal Voltage (V)	Peak Voltage (V)	Open Circuit Voltage (V)	Short Circuit Current (A)	Number of Cells
YL20	20	12	16.6	21.4	1.31	36
YL40	40	12	17.7	21.9	2.42	36
YL50	50	12	17.8	22.1	3.04	36
YL65	65	12	18	22	3.85	36
SW80	80	12	17.9	21.9	4.8	36
YL85	85	12	18.1	22.4	4.99	36
YL100	100	12	18.5	22.9	5.74	36
YL125	125	12	17.9	22.7	7.47	36
SW145	145	12	18	22.2	8.69	36
YL160	160	24	35.1	43.5	4.82	72
SW180	180	24	36	44.6	5.4	72
YL195	195	24	36.7	45.4	5.65	72
SW250	250	24	30.5	37.6	8.81	60

## ELECTRICAL DATA

Data is given at Standard Test Conditions: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and 25°C cell temperature

## PHYSICAL DATA

Model	Dimensions (mm)						Weight (kg)
	A	B	C	D	E	F	
YL20	480	360	220	331	130	25	2.26
YL40	490	660	240	631	125	25	3.8
YL50	560	660	280	631	140	25	4.3
YL65	720	660	355	631	182.5	25	8
SW80	958	680	640	640	159	34	8
YL85	910	660	450	631	230	25	8
YL100	1060	660	592	631	234	25	8.3
YL125	1270	660	630	631	320	25	11.8
SW145	1508	680	880	640	314	34	12
YL160	1200	990	682	956	259	35	13.5
SW180	1610	810	1100	761	255	31	15
YL195	1335	990	770	946	282.5	40	15.2
SW250	1675	1001	N/A	952	N/A	31	21



© Davis & Shirliff 2015. Contents herein are not warranted. The right is reserved to amend specifications without notice. [www.davisandshirliff.com](http://www.davisandshirliff.com)

DS118F-07/15

Bijlage L: Datasheet inverter [50]

Product Overview



Product Details

Izzy Power inverters are high specification, high quality products designed for inverting DC to AC power with a special application for solar systems. AC output is of the modified sine wave form and all units feature 'smart start' for improved start up performance, dynamic DC voltage regulation and soft-start technology for improved reliability. Other features include comprehensive overload protection and auto re-start after overload tripping. For the HT-E-1500 and 2000 models a remote control unit is also included.

OPERATING						PARAMETERS
DC	Input	Voltage	(Nominal/Range):	-12V		(10.5V-16V) AC
Output :						
Working	Temperature:	Min	-	20°C	,	Max
Humidity:	Min		-	20%	,	Max
Efficiency:						90%
AC Regulation:						

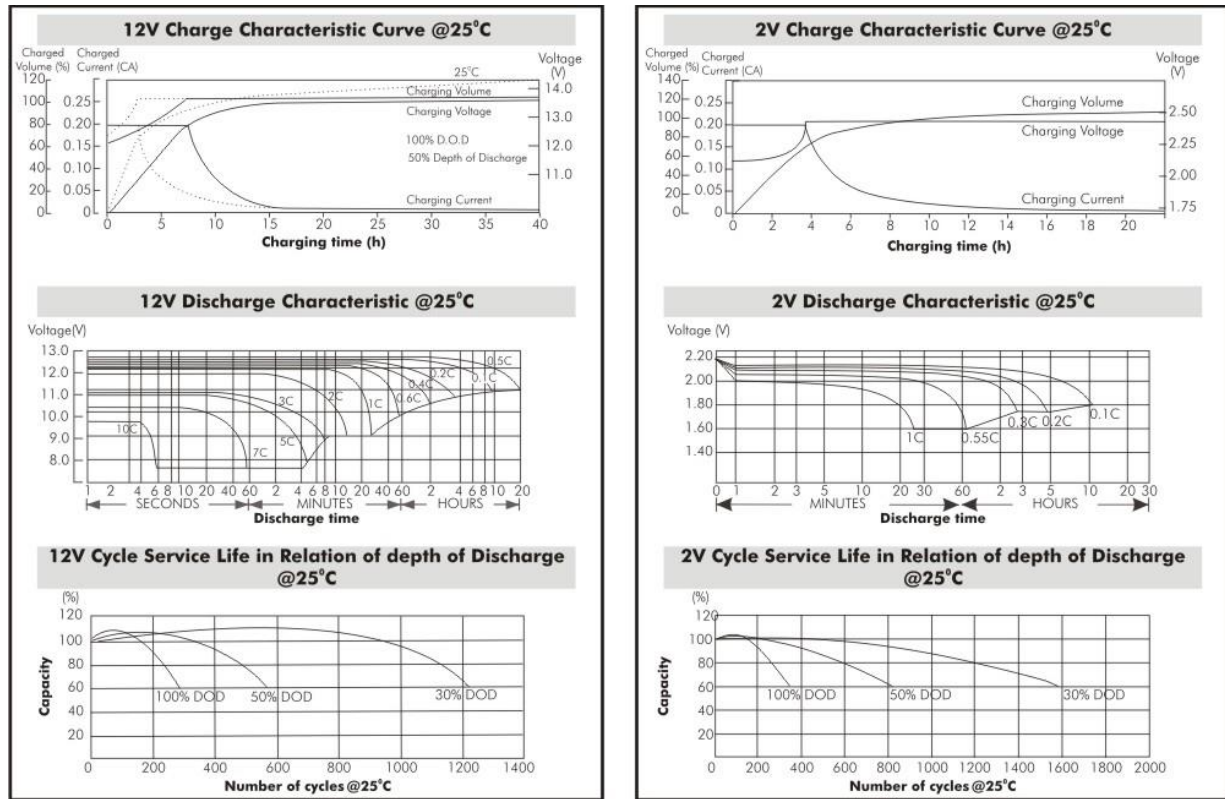
SPECIFICATIONS

<b>Model</b>	<b>HT-E-600</b>
<b>Output Power</b>	600W
<b>Surge Capacity</b>	1200W
<b>Output Waveform</b>	Modified Sinewave
<b>No Load Current Draw (A)</b>	0.5A
<b>DC Connector</b>	Cable x 1PC
<b>Battery Low Alarm</b>	11±0.5V
<b>Battery Low Shutdown</b>	10±0.5V

<b>Unit Gross Weight (kg)</b>	1.3
<b>Inverter Dimensions HxWxD (mm)</b>	235x101x76

Bijlage M: Datasheet zonnepaneel [51]

Product Overview



Product Details

DAYLIFF Champion totally sealed Valve Regulated Lead Acid batteries are sourced from one of the world's largest manufacturers and are particularly suited to solar and inverter back up uses as well as many other cycle or standby applications. Particular features include: -

Exceptional Recharge Performance - advanced, high specification plate design provides for long service life and good recovery after repeated deep discharges.

Totally Sealed Construction - advanced sealing design ensures leak proof, maintenance free operation and freedom to mount in any position.

Gas Generation Control - 99% of generated gases are internally absorbed with any excess being automatically vented through a safety valve regulated system.

Low Self Discharge - low self discharge levels of less than 3% per month provide for extended storage periods.

Dayliff Champion batteries are high quality, high specification products designed for exceptional operating performance and long operating life. They are the ideal solution for all power storage requirements where high levels of reliability and serviceability are demanded.

BATTERY DATA

Battery Model	Specification	Dimensions (mm)			Weight (kg)	Capacity (AH)				
		L	W	H		1HR	3HR	5HR	10HR	20HR
NP150-12-L	12V 150AH	483	170	241	45	87	115	130	150	165

**Verslag: Bepaling van metallische onzuiverheden in glycerine**

**1. Probleemstelling**

De metallische onzuiverheden dienen bepaald te worden met behulp van ICP/OES.

**2. Omschrijving van de stalen**

Glycerine

**3. Experimentele benadering**

Een ICP/OES screening wordt uitgevoerd na verdunnen met Milli Q water

**4. Resultaten**

4.1. De resultaten worden vermeld in tabel 1.

4.2. Er worden geen detecteerbare hoeveelheden teruggevonden van de gescreende elementen.

TABEL : Analyseresultaten / Verslagnr 16/595

Staalcode	Gehalten		
<b>Deferme 1g/100ml</b>	Ag	< 0,005	mg/l
	Al	< 0,005	mg/l
	B	< 0,010	mg/l
	Ba	< 0,005	mg/l
	Bi	< 0,010	mg/l
	Ca	< 0,005	mg/l
	Cd	< 0,005	mg/l
	Co	< 0,005	mg/l
	Cr	< 0,005	mg/l
	Cu	< 0,005	mg/l
	Fe	< 0,010	mg/l
	K	< 0,010	mg/l
	Li	< 0,005	mg/l
	Mg	< 0,005	mg/l
	Mn	< 0,005	mg/l
	Na	< 0,050	mg/l
	Ni	< 0,010	mg/l
	Pb	< 0,010	mg/l
	Sr	< 0,005	mg/l
	Tl	< 0,050	mg/l
Zn	< 0,010	mg/l	
P	< 0,050	mg/l	

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**Design en implementatie van een zonne-installatie om een kookproces in een lagere school te Kenia te optimaliseren**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Bonhomme, Sven**

**Serdons, Jason**

Datum: **15/01/2017**