



**Een technisch onderzoek naar de mogelijkheid uit  
afvalhout elektriciteit op te wekken ten  
behoefte van de Tibiti - zagerij van Greenheart  
Suriname**



Sustainable energy generation

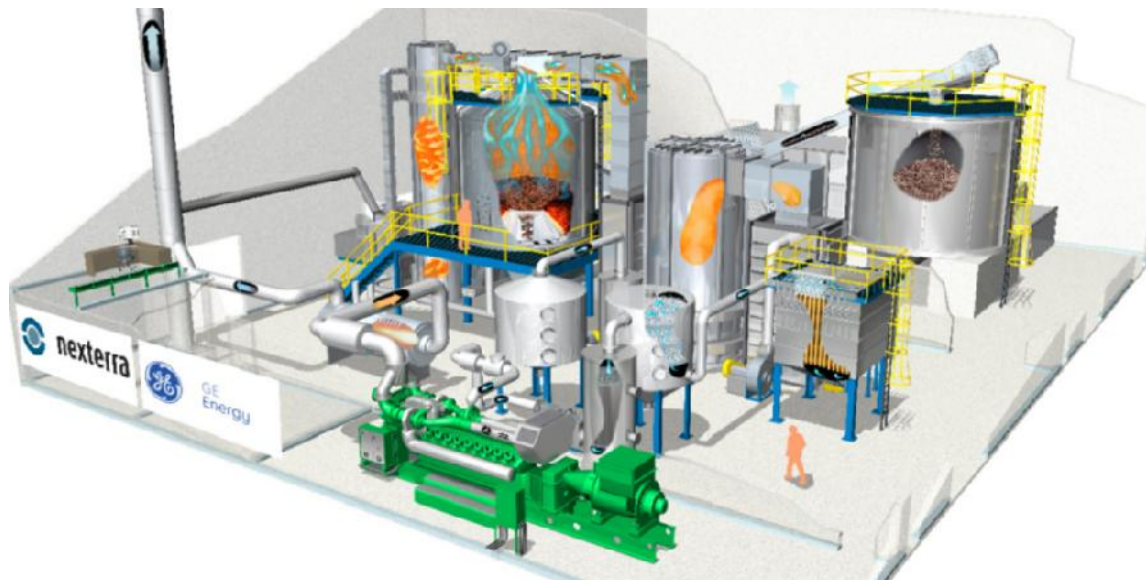
**Afstudeerverslag ter verkrijging van de graad van  
Bachelor of Applied Technology (BTech.)  
in de studierichting Werktuigbouwkunde**

**J. Tammenga**

**Paramaribo, Juli 2013**



**Een technisch onderzoek naar de mogelijkheid uit  
afvalhout elektriciteit op te wekken ten  
behoefte van de Tibiti - zagerij van Greenheart  
Suriname**



Student + studentenreg.nr: Johan Tammenga 10982  
Docent-begeleider: dhr. ir. J.Narain  
Bedrijf: Greenheart Group Suriname nv  
Bedrijfsbegeleiders: dhr. H. Loor BSc  
ing. G. Tammenga

**Paramaribo, Juli 2013**

## Samenvatting

Door de positieve ontwikkeling van de Surinaamse natie groeit de vraag naar elektrische energie enorm. In dit kader is er een onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van houtvergassing als energiebron voor bedrijven en gemeenschappen die niet van elektriciteit kunnen worden voorzien door de NV Energie Bedrijven Suriname. Er is niet alleen voor houtvergassing gekozen omdat deze vorm van energieopwekking niet of weinig bekendheid geniet in Suriname, maar ook omdat deze vorm van energieopwekking ook helemaal milieuvriendelijk is en een reële oplossing is voor het houtafvalprobleem dat vele houtzagerijen hebben, waarbij er gelijk aan de elektriciteitsbehoefte van de zagerij wordt voldaan.

Het onderzoek in deze scriptie is gericht op de haalbaarheid van houtvergassing als energiebron voor het bedrijf Greenheart Group Suriname. Met het onderzoek wordt uitgezocht of het houtafval van dit bedrijf op een economisch verantwoorde en milieuvriendelijke manier kan worden verwerkt. Om het uiteindelijke resultaat een zo breed mogelijk draagvlak te geven is er een grondig literatuuronderzoek gedaan. Veldbezoeken op de zagerij van Greenheart Group in het Tibiti - gebied hebben gezorgd voor een realistische beeldvorming. Ook informatie uit het buurland Guyana is verwerkt omdat het de bedoeling is om daar een houtvergasserinstallatie in de loop van dit jaar in gebruik te nemen.

Uit het onderzoek is gebleken dat de kostprijs van houtvergassing per kwh significant lager is ten opzichte van het gebruik van diesel met een kostprijs van \$ 0,45 per kwh. Deze gunstige kostprijs voor afvalhout in dit onderzoek is voordelig omdat de grondstof (afvalhout) gratis is en er geen transportkosten aan verbonden zijn.

Het onderzoeksresultaat over houtvergassing als energiebron geeft aan dat deze manier van energieopwekking duurzaam en haalbaar is indien er als uitgangspunt een houtafvalstroom van 325 m<sup>3</sup> per dag beschikbaar is. Met deze hoeveelheid houtafval kan bij gebruikmaking van een houtvergasserinstallatie een vermogen van 9.6 MW aan elektrisch vermogen worden opgewekt.

De investering die nodig is om de bouw van deze houtvergasser te realiseren is geschat op 11 miljoen US dollar met een positieve terugverdientijd. De installatie zoals geprojecteerd in deze scriptie moet komen te staan bij de Tibiti - zagerij en zal ook een warmte-krachtkoppel hebben waarbij er ook stoom zal worden opgewekt. Deze stoom zal worden gebruikt om exporthout te drogen. Details van de geprojecteerde installatie zijn verwerkt in dit verslag.

De conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Dat kostprijs van houtvergassing per kwh is significant lager ten opzichte van diesel.
- Met gepaste investeringen kan biomassa zeker in de toekomst een wezenlijke bijdrage leveren in de elektriciteitsvoorziening in Suriname.

## Summary

The positive development of the Surinamese nation is creating a growing demand for electrical energy. In this context, a feasibility study will be carried out for the gasification of wood as an energy source for companies and communities that cannot be served by NV Energie Bedrijven Suriname. The choice for wood gasification is made because this form of energy generation is little-known in Suriname and also because this form of energy generation is completely environmental friendly and a real solution to the problem that many wood sawmills have with their waste, and the electricity needs of the sawmill are met. The research in this paper focuses on the feasibility of wood gasification as an energy source for the Greenheart Group Suriname. With this research an answer can be given to the question if the recycling of waste wood into energy can be economical feasible and environmental friendly. To give the final result the widest possible support a thorough literature search was done. Field visits to the sawmill of Greenheart Group in the Tibiti area have created a realistic imagination. Also from neighboring Guyana information has been gained, because they are intending to put into operation a wood gasification-plant in the course of this year.

The research revealed that the cost of wood gasification per kwh is significantly lower than the price of \$ 0,45 per kwh for diesel fuel. This favorable cost of waste wood is advantageous in this study because the raw material (waste wood) is free of charge without any transport costs.

The research results about wood gasification indicate that this method of energy generation is sustainable and feasible with the assumption that there is a daily waste wood availability of 325 m<sup>3</sup>. With this amount of waste wood a capacity of 9.6 MW can be generated by the use of a wood gasification plant.

The investment required to realize this plant is estimated at 11 million U.S. dollars with a positive calculated earn-back time. The plant as projected in this thesis will be located at the Tibiti sawmill. It will also have a heat power coupling unit which will generate steam. The steam will mainly be used to dry wood intended for export. Details of the projected plant are processed in this thesis.

The conclusions of this study are:

- The cost of wood gasification is significantly lower per kwh compared to diesel per kwh.
- With appropriate investments in the future, biomass can certainly make a significant contribution to the electricity supply in Suriname.

## Voorwoord

Voor de afronding van de studie aan het PolyTechnic College van Suriname dient men een afstudeeropdracht uit te voeren waarmee men de titel Bachelor of applied Technology (BTech.) verwerft.

In verband met mijn afstudeerscriptie in de richting Werktuigbouwkunde met als specialisatie oriëntatie-energie, ben ik begonnen aan een onderzoek om de commerciële haalbaarheid van houtvergassing na te gaan, en uit te vinden of dit een potentiële energiebron kan zijn voor Suriname. Het onderzoek is specifiek belangrijk voor gebieden in het binnenland welke tot op heden voor het grootste deel verstoken zijn van elektrische energie. Dit afstudeerproject heeft mij de gelegenheid geboden mijn creativiteit te ontwikkelen en de tijdens de theoretische lessen opgedane kennis toe te passen en inzichten te verdiepen.

Zonder de hulp van God Onze Vader was dit alles niet mogelijk geweest, op Hem blijf ik vertrouwen en ik dank Hem voor Zijn kracht en hulp waar ik steeds op kan rekenen.

Dank aan eenieder die op welke wijze dan ook een bijdrage heeft geleverd bij de afronding van mijn afstudeerproject.

Met name gaat mijn dank uit naar de heer ir. J. Narain als projectbegeleider van het PTC, de heer S. Bissesar MSc als richtingscoördinator van het PTC, de heer H. Loor BSc, en ing. G. Tammenga als bedrijfsbegeleiders. En mevr. Long Him Nam als begeleidster bij het schrijven van het verslag.

Mijn bijzondere dank gaat uit naar mijn ouders. Ik ben ze erg dankbaar voor de ondersteuning die ik al de jaren van hen mocht ontvangen maar meer nog voor hun stimulering tijdens mijn studie.

Ten slotte zou ik ook de heren R. Mungroop MSc en G. Fenton willen bedanken voor hun tijd aan mij besteed in de vele gesprekken die wij hebben gevoerd over de inhoud van de scriptie en de informatie en aanwijzingen die zij mij hebben aangereikt.

Johan Tammenga

Paramaribo, Juli 2013

# Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

Lijst van afkortingen

Lijst van symbolen

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

1	Inleiding.....	11
2	Theoretisch onderzoek naar houtvergassing.....	13
2.1	Greenheart group Suriname .....	13
2.2	Geschiedenis van houtvergassing.....	13
2.3	Houtvergassing.....	14
2.4	Het houtvergassingsproces.....	15
2.5	De vier fasen.....	17
2.5.1	<i>Drogen</i> .....	17
2.5.2	<i>Pyrolyse</i> .....	18
2.5.3	<i>Oxydatie en verbranding</i> .....	18
2.5.4	<i>Reductie</i> .....	19
2.6	Typen houtvergassers.....	20
2.6.1	<i>Soorten vergassers</i> .....	21
2.6.2	<i>De downdraft gasifier</i> .....	21
2.6.3	<i>De updraft gasifier</i> .....	21
2.7	Processtroomdiagram van houtvergassing.....	23
2.8	Filtering.....	24
2.9	Energiebalans van houtvergassing.....	25
3	Energiebehoefte van de Tibiti- zagerij.....	27
3.1	Huidige situatie.....	27
3.2	Technische specificaties en criteria .....	28
3.3	De nieuwe situatie van de Tibiti- zagerij .....	31
4	Ontwerp van de vergasser.....	33
4.1	Toepassingen en keuze .....	33
4.2	Ontwerpdetails.....	34
5	Kostenanalyse .....	37
5.1	Bouwbudgettering.....	37
5.2	Terugverdientijd .....	38
6	Conclusies en aanbevelingen .....	41
	Literatuurlijst.....	42
	Bijlagenlijst.....	43

## Lijst van afkortingen

<i>Eenheid</i>	<i>Omrekening</i>
Gewicht	1kg=2.204lb=15,432gram=32.105oz= 0.984x10 <sup>-3</sup> ton
Fuel consumption	1hp=2 ibs biomass , 1kwh =3ibs biomass
Snelheid	1m/s=3.281ft/s=3.6km/h=2.237mph
Energie	1btu=1.005kj=252cal, 1kwh=3.6MJ=3413Btu
Dichtheid	1g/cm <sup>3</sup> =1000kg/m <sup>3</sup>
Kracht/ vermogen	1watt=1J/s=3.6kj/h
Temperatuur	K=C +273.15
Lengte	1 inch=2.54 cm

## Lijst van symbolen

<i>Eenheid</i>	<i>Symbol</i>
Gewicht	kg
Fuel consumption	Hp
Snelheid	m/s
Energie	Kwh
Dichtheid	g/cm <sup>3</sup>
Kracht/ vermogen	watt
Temperatuur	T
Lengte	cm
Kubieke meter	M <sup>3</sup>



## Lijst van figuren

Figuur 1 Schematische weergave van de reacties die zich voltrekken tijdens het reductieproces	20
Figuur 2 Uitgebreid overzicht van de processen binnen de vergasser .....	20
Figuur 3 Schematische weergave van de downdraft vergasser .....	22
Figuur 4 Schematische weergave van de updraft vergasser .....	23
Figuur 5 Diagram van het totale proces van een houtvergasser .....	24
Figuur 6 Schema van een downdraft gasifier met koeling .....	24
Figuur 7 Temperatuurverloop van het houtgas .....	25
Figuur 8 Gebruik van hout als energiebron .....	34
Figuur 9 De verschillende componenten binnen de vergasserinstallatie.....	36
Figuur 10 Lage snelheidssyngasgenerator van 450 kw .....	36

## Lijst van tabellen

Tabel 1 Productie van hout in 2000 in de verschillende districten van Suriname .....	15
Tabel 2 Productie van hout in 2011 in de verschillende districten van Suriname .....	15
Tabel 3 Voorwaarden van hout voordat dit kan worden vergast .....	16
Tabel 4 Calorische waarden van verschillende stoffen .....	26
Tabel 5 Calorische waarden ten opzichte van vochtigheid .....	26
Tabel 6 Een overzicht van de huidige energie situatie van de houtzagerij Greenheart te Tibiti .	27
Tabel 7 Huidige situatie met 16,854 kubieke meter aan afvalhout.....	28
Tabel 8 Energiewaarden van verschillende grondstoffen.....	29
Tabel 9 Specificaties van de energie- installatie .....	29
Tabel 10 Overzicht van updraft en downdraft typen vergassers.....	30
Tabel 11 Nieuwe productiestroom 101.102 m3 beschikbaar .....	31
Tabel 12 Nieuwe energiec capaciteit .....	31
Tabel 13 Technische specificatie van verschillende vergassers .....	35
Tabel 14 Totale investeringskosten .....	38
Tabel 15 Opbouw investeringskosten .....	39
Tabel 16 Jaarlijkse besparingen .....	39
Tabel 17 Rentekosten .....	40

# 1 Inleiding

Elektriciteitsvoorziening is voor het bedrijfsleven en de gemeenschap van Suriname een essentiële factor voor duurzame ontwikkeling. Houtvergassing zou een geschikte manier van elektriciteitsopwekking zijn om elektriciteit voor een duurzame ontwikkeling aan te bieden en te garanderen, vooral op plaatsen in het Surinaamse binnenland. Bij de beschrijving van de elektriciteitsvoorziening in Suriname zal onder andere gekeken worden naar de huidige situatie en zal een plan van aanpak worden ontwikkeld om de energietekorten te minimaliseren of tot het verleden te laten behoren, eventueel met alternatieve methoden die door de Greenheart Group Suriname worden uitgetoet.

De Energie Bedrijven Suriname N.V. (E.B.S.) dragen zorg voor de opwekking en distributie van elektrische energie in grote delen van Suriname. De continuïteit en het aanbod van deze elektrische energie moeten gegarandeerd zijn, voor groei en ontwikkeling van de natie. In Paramaribo wordt de energievoorziening in stand gehouden middels de inkoop van de hydro-energie verkregen vanuit de Afobakka waterkrachtcentrale en de energieopwekking met behulp van dieselmotoren aan de Saramaccastraat. De distributie van dit vermogen wordt vervat onder de term “EPAR- netwerk”. Dit netwerk voorziet voornamelijk de kustgebieden van elektriciteit en slechts 35% van het binnenland. Hierdoor beschikt het overgrote deel van het binnenland niet over elektriciteit. Dit zou een reden kunnen zijn waarom de ontwikkelingen in het binnenland van Suriname traag verlopen. In bepaalde districten vindt de opwekking van elektrische energie plaats met behulp van dieselgeneratoren.

De belangrijkste bronnen voor het verslag zijn Toonsen, Richard, (2010). *Sustainable Power from biomass* en Handout (2011) EBS.

## Probleemstelling

Houtbedrijven in Suriname hebben vaak te kampen met grote hoeveelheden afvalhout dat niet adequaat en verantwoord kan worden verwerkt.

Indien dit hout middels vergassing kan worden omgezet in elektrische energie zal dit in de elektrische behoefte van de zagerij kunnen voorzien. Al is dat in sommige gevallen deels afhankelijk van de houtafvalstroom.

## **Doelstellingen**

Het onderzoek in deze scriptie heeft als doel een methode om vrijkomend houtafval milieuvriendelijk te vergassen en de verkregen gassen te gebruiken om elektriciteit op te wekken die kan voorzien in de dekking van de elektriciteitsbehoefte van de houtzagerij.

De voordelen die hierdoor kunnen worden gerealiseerd zijn:

- Een schoner milieu;
- Een nieuwe vorm van energieopwekking in Suriname;
- Een verlaging van de kostprijs voor het produceren van gezaagd hout;
- Minder afhankelijkheid van de EBS voor het dekken van de elektriciteitsbehoefte;
- Het op een gedegen manier verwerken van de vrijkomende houtafvalstroom.

Er is voor dit project gekozen, omdat er met dit ontwerp grote hoeveelheden houtafval en/of landbouwafval (padiekaf) omgezet kan worden tot energie. Dit project brengt drie voordelen met zich mee:

- De houtverwerkingsbedrijven hebben een oplossing voor de grote hoeveelheid houtafval dat vrijkomt bij het verwerken van hout;
- Het padiekaf in de rijstdistricten hoeft niet meer in het openbaar verbrand te worden; hierdoor hebben mensen in de directe omgeving geen last meer;
- Er kan aan eigen energieopwekking worden gedaan op plaatsen waar er geen elektriciteit aanwezig is.

## **Verslagopbouw**

De kern van dit verslag bestaat uit vier hoofdstukken in de volgorde waarin het onderzoek is uitgewerkt. In hoofdstuk 2 is het algemene beeld van houtvergassing, de ontwikkeling door de jaren heen en de verschillende toepassingen ervan verduidelijkt. De energiebehoeften in Suriname, vooral van dorpen in het binnenland, en de houtzagerijen in en rondom Paramaribo wordt in hoofdstuk 3 behandeld. Er wordt in dit hoofdstuk ook een toelichting gegeven over de hoeveelheid afvalhout dat er dagelijks ter beschikking is en gebruikt zou kunnen worden in het houtvergassingsproces. Over dit proces is er onder andere op de belangrijkste chemische en technische aspecten ingegaan. Aan de hand van de inzichten en de resultaten verkregen in de voorstudie is in hoofdstuk 4 een ontwerp beschreven waarbij ook de capaciteit van de installatie is bepaald. De kern van het verslag is dan afgesloten met een feasibility study om te verifiëren of deze nieuwe vorm van “renewable” energie in Suriname bij de Greenheart Group zagerij een potentiële vorm van energieopwekking is.

## 2 Theoretisch onderzoek naar houtvergassing

Literatuurstudie was de ideale manier om snel relevante informatie te verzamelen over het desbetreffende onderwerp. Alvorens er een onderzoek gedaan kan worden is het noodzakelijk goed literair onderzoek te verrichten. Dit hoofdstuk is daarom volledig hieraan gewijd. Samen met veldbezoeken is uiteindelijk gekomen tot de resultaten die verwerkt zijn in deze scriptie. Deze informatie is de basistheorie die gebruikt is voor houtvergassing. 2.1 is gewijd aan het bedrijf dat dit onderzoek mogelijk heeft gemaakt. De geschiedenis van houtvergassing en de ontwikkeling door de jaren heen komt in 2.2 aan de orde. 2.3 tot 2.6 zijn gewijd aan het houtvergassingsproces zelf en de verschillende fasen waaruit het proces bestaat. In 2.7 is het processtroomdiagram uitgelegd. De filtering komt in 2.8 aan de orde en het hoofdstuk wordt afgesloten met 2.9 waar de calorische waarden zijn uiteengezet.

De belangrijkste bronnen voor dit hoofdstuk zijn Richard Toonsen,(2010). *Sustainable Power from biomass*, N.E. Rambush.(1923). *Hydrogen generator gas* vol 6. en de Stichting Bosbeheer en Bostoezicht. (SBB).

### 2.1 Greenheart group Suriname

Greenheart Group is een wereldwijd bosbouwbedrijf met concessie voor de productie van hout in Suriname, Zuid-Amerika en Nieuw-Zeeland. In augustus 2012, heeft de Greenheart group haar duurzaamheidsactiviteiten in Suriname versterkt met de voltooiing van een houtverwerkende fabriek van wereldklasse in West Suriname, een van de grootste in zijn soort in Zuid-Amerika. In december 2012, heeft Greenheart ook plannen aangekondigd om een bio-energiecentrale van wereldklasse te bouwen om het zagerij-afval om te zetten in groene bio-energie.

### Visie

De groei in duurzame bosbouwactiva in Suriname is in de eerste plaats gericht op het opheffen van de groeiende houttekorten in de wereld door duurzaam en verantwoord te werken met producten uit het bos waarbij de waarde van het bos toeneemt en klanten en aandeelhouders een duurzaam product kan worden aangeboden.

### 2.2 Geschiedenis van houtvergassing

Houtvergassing is geen nieuwe techniek maar werd al in 1840 in Europa gebruikt voor verwarming. Het was een techniek die op kleine schaal werd gebruikt door de huishoudens die niet over elektrische energie beschikten. Er werd pas uitgebreid gebruik van gemaakt in de transportsector

van West- Europa tijdens de Tweede Wereldoorlog De houtvergassingstechniek werd tijdens de Tweede Wereldoorlog populair omdat fossiele brandstof erg duur en schaars was, waardoor men genoodzaakt was alternatieven te vinden voor deze brandstofsoort. Na de Tweede Wereldoorlog werd deze techniek weer minder gebruikt omdat prijzen van fossiele brandstof erg laag waren. Vandaag de dag zijn de prijzen van fossiele brandstof weer erg aan het toenemen waardoor houtvergassing een reële vervanging van fossiele brandstof aan het worden is.

## 2.3 Houtvergassing.

Uit statistieken van de Stichting Bosbeheer en Bostoezicht (tabel 1 en 2) kan worden geconcludeerd dat in de jaren 2000 tot en met 2011 de groei van houtproductie met meer dan 200% is gestegen. Deze grote hoeveelheden te gebruiken hout hebben een afvalstroom van 40-65% houtafval (zie hoofdstuk 3) dat dagelijks op een bepaalde manier moet worden verwijderd en verwerkt als het voor houtvergassing zal worden gebruikt. De huidige manier van verwerking is verbranden hetgeen zorgt voor de nodige overlast in de vorm van rook en hitte. De huidige handelingen om het houtafval op te ruimen en af te voeren brengen kosten met zich mee, deze kunnen soms hoog oplopen indien het over grote afstanden moet worden vervoerd.

Door de wereldwijde stijging van fossiele brandstof, groeit de vraag naar alternatieve energiebronnen. Het toepassen van houtvergassers kan steeds economischer en rendabeler worden, ook vanwege de grote milieuverontreiniging die de verbranding van fossiele brandstof en afvalhout met zich meebrengt.

Dit zijn de redenen die hebben geleid tot de keuze om een haalbaarheidsstudie te starten naar de verwerking van dit afvalhout tot elektrische energie in een houtvergasser. Deze energie zal in eerste instantie gebruikt worden om in de houtzagerij zelf te voorzien in zijn energiebehoefte en indien dit bewerkstelligd is, overtollige energie (vooral in de avonduren) te leveren aan de EBS of andere energiebehoefte gemeenschappen. De afhankelijkheid van elektriciteit geleverd door de EBS zal bij een positieve uitkomst kunnen verminderen. In het binnenland waar de EBS geen elektrische energie levert en de opwekking hiervan hoofdzakelijk geschiedt door middel van dieselgeneratoren zal een houtvergasser een grote besparing in brandstofverbruik opleveren voor de houtzagerijen. In dit onderzoek is ook de mogelijkheid bekeken om dorpen in het binnenland van Suriname te voorzien van elektrische energie verkregen door houtvergassing. Als er gekeken wordt naar de statistieken van 2011 kan geconcludeerd worden dat er groei is in de houtindustrie. In tabel 1 is te zien dat de totale rondhoutproductie in 2000 geschat wordt op  $176.516 \text{ m}^3$  in 2011 is deze  $366.395 \text{ m}^3$  zie tabel 2.

**Tabel 1 Productie van hout in 2000 in de verschillende districten van Suriname**

District	Industriële rondhout productie in m <sup>3</sup>			Overige assortimenten in m <sup>3</sup>							Totale rondhout productie in m <sup>3</sup>	
	Rondhout	Vierkant bekapte palen	Sub totaal	Brand hout	Korte draad palen	Dwars liggers	Houts kool	Shingels	Gezaagd hout	Overige kleine houtwaren		Sub totaal
Brokopondo	45.361	1.431	<b>46.792</b>		327				748		<b>1.075</b>	47.867
Commewijne	2.544		<b>2.544</b>		1		17		152		<b>170</b>	2.714
Coronie	267		<b>267</b>								<b>0</b>	267
Marowijne	33.792	480	<b>34.272</b>		34				394		<b>428</b>	34.700
Nickerie	2.079		<b>2.079</b>						4		<b>4</b>	2.083
Para	53.333	115	<b>53.448</b>		1.138		38		128		<b>1.334</b>	54.782
Saramacca	71		<b>71</b>		4				10		<b>14</b>	85
Sipaliwini	18.985	4	<b>18.989</b>		15				110		<b>125</b>	19.114
Wanica	313		<b>313</b>								<b>0</b>	313
Onbekend	14.520		<b>14.520</b>		1				70		<b>71</b>	14.591
<b>Totaal</b>	<b>171.265</b>	<b>2.030</b>	<b>173.295</b>		<b>1.550</b>		<b>55</b>		<b>1.616</b>		<b>3.221</b>	<b>176.516</b>

**Tabel 2 Productie van hout in 2011 in de verschillende districten van Suriname**

District	Industriële rondhout productie in m <sup>3</sup>						Niet - industriële rondhout productie in m <sup>3</sup>			Totale rondhout productie in m <sup>3</sup>	
	Rondhout (Zaag- en Schilhout)	Vierkant bekapte palen	Korte draad palen	Shingels	Gezaagd hout	Sub totaal	Brand hout	Houts kool	Sub totaal		
Brokopondo	98.388	1.096	330		6	1.689					<b>101.509</b>
Commewijne	1.924										<b>1.924</b>
Coronie											
Marowijne	60.128		71			3.807					<b>64.006</b>
Nickerie	1.145										<b>1.145</b>
Para	80.392	2	2.289		1	2.477	527			<b>527</b>	<b>85.688</b>
Saramacca	3.859		1.029			644					<b>5.532</b>
Sipaliwini	91.361	22	53		4	3.498					<b>94.938</b>
Wanica											
Onbekend	10.369	161	29		7	934		153		<b>153</b>	<b>11.653</b>
<b>Totaal</b>	<b>347.566</b>	<b>1.281</b>	<b>3.801</b>		<b>18</b>	<b>13.049</b>	<b>527</b>	<b>153</b>	<b>680</b>		<b>366.395</b>

Als de twee tabellen van rondhoutproductie met elkaar worden vergeleken kan geconcludeerd worden dat de productie van rondhout met nagenoeg 200 procent is gestegen in tien jaar tijd.

## 2.4 Het houtvergassingsproces

Biomassa kan worden beschouwd als een duurzame energiebron voor de productie van elektriciteit en warmte. Vergassing is een technologie voor de omzetting van biomassa in een gasmengsel bekend onder de naam (bi-)syngas. Dit syngas dat eigenlijk synthetisch gas heet maar in de handel zo wordt genoemd bestaat hoofdzakelijk uit waterstof, koolstofmonoxide, methaan, koolstofdioxide en water.

Houtvergassing bestaat uit een reeks van thermodynamische processen waarbij de in hout opgeslagen energie door middel van deze processen vrijkomt in de vorm van productiegas.

Biomassa wordt over het algemeen voornamelijk op afvalplaatsen verbrand, denk maar aan het padiekaf in Nickerie, zonder dat de bij de verbranding vrijkomende energie nuttig door de mens wordt gebruikt. De bovenvermelde biomassa zou een vergassingsproces kunnen ondergaan om

zo elektrische energie te genereren welke geschikt is voor verschillende doeleinden. Het geproduceerde gas dat ontstaat door deze vergassing kan gebruikt worden in gasturbines en brandstofcellen.

In deze scriptie is voor dit proces gebruikgemaakt van afvalhout als biomassa. De grondstof is dus hout dat niet meer bruikbaar is voor industriële of andere doeleinden en dat door de houtzagerijen wordt geproduceerd. Het proces heeft echter een aantal voorwaarden waar rekening mee moet worden gehouden. In tabel 3 staat een weergave van deze voorwaarden.

**Tabel 3 Voorwaarden van hout voordat dit kan worden vergast**

	Afmeting	Vochtigheid	Temperatuur proces
Hout	Max. 10 x 10 cm	16-20%	Ca 1000°C

Voor de houtvergassersinstallatie zal hout eerst moeten worden verwerkt in chips, vaak ook houtsnippers genoemd, met een afmeting van maximaal 10x10 cm. Bij deze afmeting is gebleken dat het verbrandingsoppervlak het beste voldoet om een zo efficiënt mogelijk verbranding te realiseren. Het maken van de chips geschiedt door middel van een versnippermachine die het houtafval verwerkt tot kleine blokjes. Indien het versnipperde hout niet een vochtigheidsgraad heeft die onder de 20% ligt dan zal de kwaliteit van het geproduceerde gas achteruitgaan.

Het houtgas ontstaat door verhitting van de chips tot temperaturen boven de 1000 graden Celsius met toevoeging van een kleine hoeveelheid zuurstof. In de praktijk komt dat neer op het verbranden van ca. 15% van het hout door toevoer van een aangepaste hoeveelheid lucht. De benodigde temperatuur wordt bereikt door regulering van de snelheid van de geïnjecteerde verbrandingslucht. Hout bestaat voor het grootste deel uit koolstof (C) en chemisch gebonden water (H en O). Door de verbranding, ofwel oxidatie, ontstaat kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en waterdamp (H<sub>2</sub>O) die beide enorm verhit raken tijdens het proces. Het overige hout, reageert (reduceren) bij deze hoge temperatuur met de waterdamp en het kooldioxide tot het brandbare koolmonoxide (CO) en waterstofgas (H<sub>2</sub>). Dit gasmengsel is echter erg verdund door stikstof (N<sub>2</sub>) dat meegevoerd is met de verbrandingslucht. Tijdens normale verbranding van hout ontstaat ook deelvergassing. Alleen verbrandt dit houtgas direct.

Er wordt gesproken van houtvergassing als de uiteindelijke verbranding van het verkregen gas in een andere ruimte kan geschieden dan waar het vergassingsproces plaatsvindt. Hout bevat ongeveer 85% vluchtige stoffen, die bij verbranding in de vorm van gas vrijkomen. Slechts 14% blijft als houtskool en ongeveer 1% als as in vaste toestand achter. Het hout verbrandt in drie fasen. Eerst voltrekt zich de volledige droging van de brandstof, dan verbranden de gasbestanddelen.



Pas in de derde fase worden smeulproducten en de bij de vergassing ontstane houtskool verbrand. Bij temperaturen tot ongeveer 200 graden voltrekt zich het drogen van het hout, want ook luchtgedroogd hout bevat nog 15-20% water. Bij temperaturen tussen 200 en 600°C verteert het hout volkomen en valt het uiteen in zijn verschillende chemische bestanddelen die nu in vluchtige toestand vervliegen. Als deze stoffen oxideren in vlammen, begint warmte vrij te komen. Deze verbrandingsfase noemt men pyrolyse. Pas bij temperaturen van meer dan 600°C verbranden de moeilijk brandbare gassen en vormt zich een bed van gloeiend houtskool. Samen met de 900 tot 1000°C hete smeulgassen wordt middels een exotherme reactie de benodigde hitte geproduceerd voor het omzetten van de binnenste houtmassa.

## 2.5 De vier fasen van houtvergassing

Houtvergassing bestaat in het algemeen uit vier belangrijke fasen in welke het hout verschillende processen doorloopt in de reactor. De processen die het hout ondergaat tijdens deze vier fasen in een reactor zijn in figuur 3 en figuur 4 schematisch weergegeven. Deze processen zijn:

- Drogen
- Pyrolyse
- Oxidatie + verbranding
- Reductie

### 2.5.1 Drogen

Bij het droogproces wordt vocht tot onder de 20% verwijderd uit de houtsnippers voordat het proces tot houtgasproductie kan starten. Het overgebleven vocht in het hout verdampt uiteindelijk door de warmte tijdens de pyrolysefase. Verbranding zonder vooraf vochtvermindering uit het hout, resulteert in slechte kwaliteit gas. Slechte kwaliteit gas is gas dat te veel zuurstof bevat omdat dit niet vooraf is verwijderd. In een ideale vergasser wordt een deel van de warmte die bij de verbranding vrijkomt gebruikt om hout volledig te drogen. In de droogzone wordt vocht uit het hout verdampt door de warmte bij een temperatuur van 150-200°C afkomstig van de onderste zones van de vergasser. Het verdampte vocht heeft dan een neerwaartse stroom en mengt zich daardoor met dampen uit de oxydatiezone. Een deel van de dampen wordt omgezet in zuurstof volgens de chemische reactie:  $+ H_2 O \Leftrightarrow CO + H_2$ , de rest wordt vastgehouden in het generatorgas.

Al het vocht dat zich in de gebruikte biomassa bevindt verdampt op een bepaald punt bij hogere temperatuur. Waar en hoe dit gebeurt, is een van de belangrijkste kwesties die opgelost moeten worden voor een succesvolle vergassing van biomassa. Een hoog vochtgehalte in de uiteindelijk geproduceerde brandstof door een slechte behandeling van het interne vocht in de biomassa, is een van de meest voorkomende redenen voor het falen van houtvergassing.

### 2.5.2 Pyrolyse

Pyrolyse treedt op wanneer de houtsnippers worden verbrand met een ondermaat aan zuurstof. Snelle pyrolyse begint pas wanneer het hout een minimumtemperatuur heeft bereikt van ongeveer 823°C [6]. Dit zorgt ervoor dat de houtsnippers ontleden in teer (gassen en vloeistoffen) en houtskool. Het teer wordt verbrand, waardoor houtskool met een hoog koolstofgehalte ontstaat. Deze houtskool is integraal voor het reductieproces.

Hout bestaat voor het grootste deel uit koolstof (C) en chemisch gebonden water (H en O). Door de verbranding, ofwel oxidatie, ontstaat kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en waterdamp (H<sub>2</sub>O) die dan beide erg verhit zijn. Het overige hout dat inmiddels verworpen is tot houtskool, reageert (reduceert) bij deze hoge temperatuur met de waterdamp en kooldioxide tot het brandbare koolmonoxide (CO) en waterstofgas (H<sub>2</sub>). Dit gasmengsel is ernstig verdund door stikstof (N<sub>2</sub>) die meegevoerd is met de verbrandingslucht. Tijdens normale verbranding van hout ontstaat er ook vergassing, alleen verbrandt dit houtgas direct.

Pyrolyse is het proces waarbij warmte aan ruwe biomassa wordt toegevoegd met een ondermaat aan zuurstof, waardoor deze biomassa, in geval van hout, zich opsplitst in houtskool en diverse teergassen en vloeistoffen.

Biomassa kan zich over het algemeen "snel ontleden", in één keer kan de temperatuur stijgen tot rond 240°C. De biomassa valt dan uiteen in een combinatie van vaste stoffen, vloeistoffen en gassen. Vloeistoffen die collectief vrijkomen zijn onder andere teer. De vluchtige stoffen in de biomassa zijn verdampt, de vaste koolstofketens die overblijven zijn ook wel bekend als houtskool.

De chemische formule van de reactie is:  $+ H_2O \rightleftharpoons CO + H_2 + \text{teer}$ .

In een vergassersinstallatie heersen er onder de droogzone temperaturen van 400 tot 650°C.

Pyrolysereacties starten bij temperaturen boven 250°C. Tijdens pyrolyse, worden grote moleculen, zoals cellulose, policellulose en lignine, uitgesplitst in mediumketenkoolwaterstoffen en koolstof (houtskool). Pyrolyseproducten gaan dan omlaag naar de warmere omgeving binnen de vergasser waar sommige van deze verbranden terwijl de andere verder afbreken in kleinere moleculen en atomen zoals waterstof, methaan, koolmonoxide, ethaan en ethyleen .

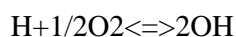
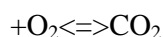
### 2.5.3 Oxydatie en verbranding

Verbranding is een complex geheel van voornamelijk exotherme chemische reacties tussen een brandstof en een oxidator, meestal zuurstofgas. De warmte voor alle processen wordt gegenereerd door de verbranding van het teer dat tijdens pyrolyse ontstaat. Bovendien produceert verbranding kooldioxide en waterstofgas, die reactanten worden in de reductiestap. Adequate menging en een vlam met hoge temperatuur zijn essentieel, aangezien het ontbreken hiervan zou

kunnen leiden tot de aanwezigheid van teer in het te produceren houtgas, dat bij toepassing als brandstof voor motoraandrijving weer zou kunnen leiden tot motorstoring. De productie van brandstof is grotendeels afhankelijk van de verbrandingsdynamiek in de vergasser. De United Nations Forestry and Agriculture Organization suggereert dat de verbrandingszone minimaal 1746°C moet bereiken om een zodanige verbranding te realiseren dat brandstof voldoet aan de voorwaarden om verbrand te worden in een verbrandingsmotor.

Bij deze reacties die exotherm zijn, komen er grote hoeveelheden warmte (tussen 401.9KJ/mol en 241,1 KJ / mol) vrij die de temperatuur in de vergasser doen verhogen tot tussen de 900 - 1200 °C. Deze verhoogde temperatuur helpt bij het verbranden van een aanzienlijk deel van het teer dat anders verder zou condenseren.

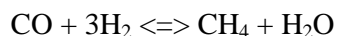
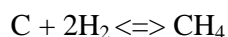
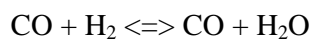
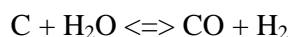
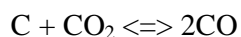
Hier wordt bij de verbranding dus zuurstof toegevoegd aan houtkool. [6]. De chemische reactie van dit proces is:

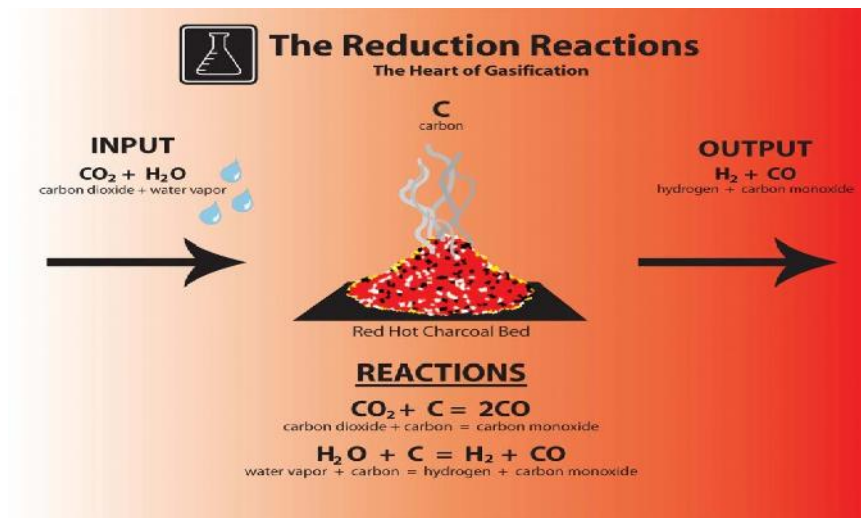


#### 2.5.4 Reductie

Reductie wordt bereikt door het laten passeren van kooldioxide (CO<sub>2</sub>) of waterdamp (H<sub>2</sub>O) over een bed van gloeiend heet teer (C) zoals te zien is in figuur 1. Het hete teer is zeer reactief met zuurstof en stript de zuurstof uit de gassen. De gestripte zuurstof wordt zoveel mogelijk verdeeld over alle beschikbare zuurstofbindingen totdat alle zuurstof is verdwenen. De reductie stopt als alle beschikbare zuurstof wordt herverdeeld als losse atomen. Deze reactie is een endotherme reactie omdat de energie die bij deze fase wordt opgenomen is gegenereerd door de pyrolysefase. Door dit proces wordt CO<sub>2</sub> gereduceerd tot CO en wordt H<sub>2</sub>O gereduceerd tot H<sub>2</sub> en CO; wij zien dus dat verbrandingsproducten weer veranderen in brandstofgassen. En die brandstofgassen kunnen vervolgens worden gefilterd waarna ze worden verbrand in verbrandingsmotoren.

De chemische reacties die hierboven omschreven zijn staan hieronder in formulevorm.

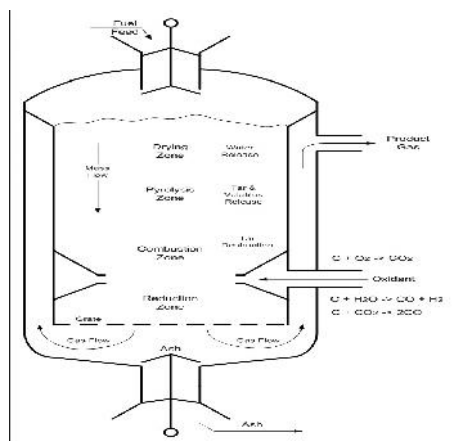




**Figuur 1** Schematische weergave van de reacties die zich voltrekken tijdens het reductieproces

Deze reacties zijn endotherm en het gas verlaat de oxydatiezone als het door het bed van actieve kool op de bodem van de vergasser passeert. Generatorgas is de uiteindelijke chemische samenstelling die is gevormd in deze zone. Bij het verlaten van de vergasser heeft dit gas een temperatuur van 250-500 °C en kan worden toegevoerd naar branders en na additionele reiniging en afkoeling verbrand in verbrandingsmotoren. Figuur 2 geeft een uitgebreid overzicht van de processen binnen de vergasser.

In figuur 2 zijn duidelijk de processtromen en de verschillende zones binnen de vergasser te onderscheiden. In dit geval is er sprake van een updraft vergasser. Ook de gasstromen zijn goed te zien.



**Figuur 2** Uitgebreid overzicht van de processen binnen de vergasser

## 2.6 Typen houtvergassers

In de houtvergassingstechniek kent men een aantal typen houtvergassers. Dit verslag zal zich beperken tot de twee meestgebruikte typen vergassers in de wereld. Er zal uitvoerig worden inge-

gaan op de werking van een vergasser en de verschillende processen die zich afspelen in zo een vergasser. In de subparagrafen zal ingegaan worden op de verschillende typen vergassers die er zijn. 2.6.1 zal gaan over de downdraft vergasser en de updraft wordt in (2.6.2) toegelicht.

De bron die hier gebruikt is: F.P.Zimmerman en H.LaFontaine. (1989). *Hydrogen generator gas vol. 3.*

### **2.6.1 Soorten vergassers**

Voor vergassing van biomassa zijn er verschillende reactorontwerpen beschikbaar. Het gebruikte ontwerp hangt af van de capaciteit van het gas dat moet worden geleverd voor verbranding om de benodigde hoeveelheid elektriciteit op te wekken. Voor een output rond de 1 MW blijkt het “Fixed bed gasification” ontwerp het beste te zijn. Is de benodigde output hoger dan zal de keuze vallen op een “fluidized bed type” vergasser.

De “fluidized bed type” vergasser zal in dit verslag worden toegelicht omdat de geschatte capaciteit voor de sawmill van Greenheart Group te Tibiti enkele MW is.

Van de “fluidized bed type gasification” zullen de “downdraft gasifier”, en de “updraft gasifier” behandeld worden met een toelichting op hun voor- en nadelen.

### **2.6.2 De downdraft gasifier**

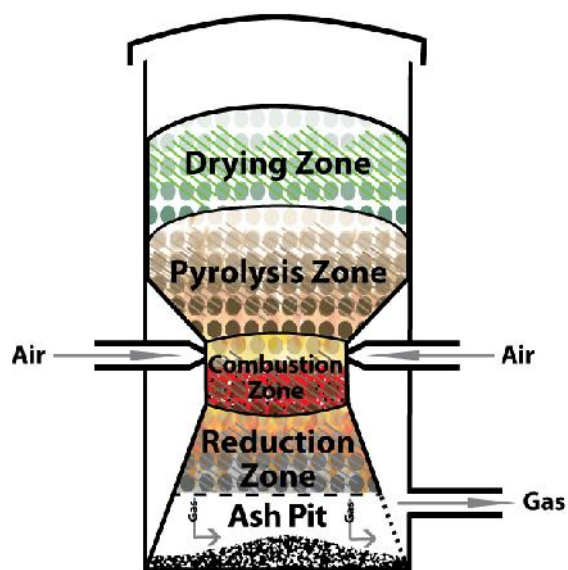
De downdraft vergasser is een co-current reactor waarbij de grondstof en het vergassingsmiddel in dit geval lucht (zuurstof), in dezelfde richting bewegen. In figuur 3 is een schematische weergave van een downdraft vergasser. Er is te zien dat de downdraft vergasser verschillende reactiezones heeft. In de drogingszone verdampt het vocht uit de biomassa en beweegt langzaam richting de pyrolysezone. In de pyrolysezone wordt de biomassa gescheiden in kool, teer en gas.

Sommige producten uit de pyrolysezone worden verbrand in de verbrandingszone. Door de hoge temperatuur in de verbrandingszone, valt teer uiteen. Een resultaat daarvan is dat het geproduceerde gas relatief schoon is. De downdraft vergasser is simpel, betrouwbaar en aangetoond toepasbaar voor brandstoffen, als relatieve droge blokken en kleine stukken hout met een laag gehalte aan as en fijne en grove gedeeltes worden gebruikt. De gelimiteerde materiaaldiameter betekent een beperkte hoeveelheid opslag in het bovenste gedeelte van de vergasser. Deze capaciteit is geconfigureerd op ongeveer 500kg/h.

### **2.6.3 De updraft gasifier**

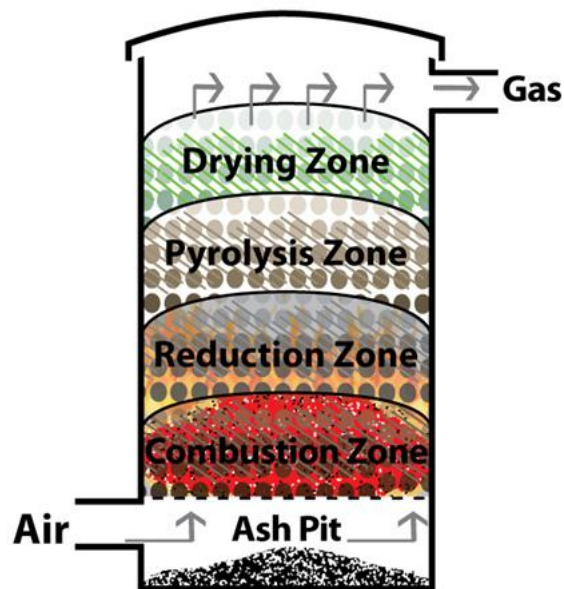
De updraft vergasser is een counter-current reactor, waarbij de brandstof en het vergassingsmiddel (lucht) in tegenovergestelde richting bewegen tijdens het vergassingsproces. In figuur 4 is schematische weergegeven hoe de updraft vergasser is opgebouwd. In de updraft vergasser,

wordt de biomassa gedroogd door het hete “producer gas” uit de drogingszone. Naar beneden wordt de biomassa gepyrolyseerd met als resultaat dat de kool verder bewegend naar beneden glijdt. Het teer en het gas volgen de opwaartse luchtstroom. Delen van het teer zullen gaan condenseren aan de vaste deeltjes in het bad; het residu aan teer zal in het gas blijven en de reactor verlaten. De kool zal langzaam bewegend zakken naar de verbrandingszone waar hij zal worden vergast. Het gas geproduceerd door een updraft vergasser bezit een relatief hoog gehalte aan teer en hydro-carbon wat leidt tot een relatief hoge hittewaarde van het gas. Dit gas zal daardoor significante reiniging moeten ondergaan voordat het kan worden gebruikt in verbrandingsmotoren. In de downdraft vergasser die in fig. 3 is afgebeeld is duidelijk de volgorde binnen de vergasser te zien. Het gas wordt aan de onderkant van de vergasser afgevoerd.



**Figuur 3** Schematische weergave van de downdraft vergasser

De vier zones binnen de updraft vergasser zijn duidelijk waar te nemen in fig. 4, en ook is te zien dat de lucht van onder wordt aangevoerd. Het gas wordt hier aan de bovenkant van de vergasser afgevoerd.



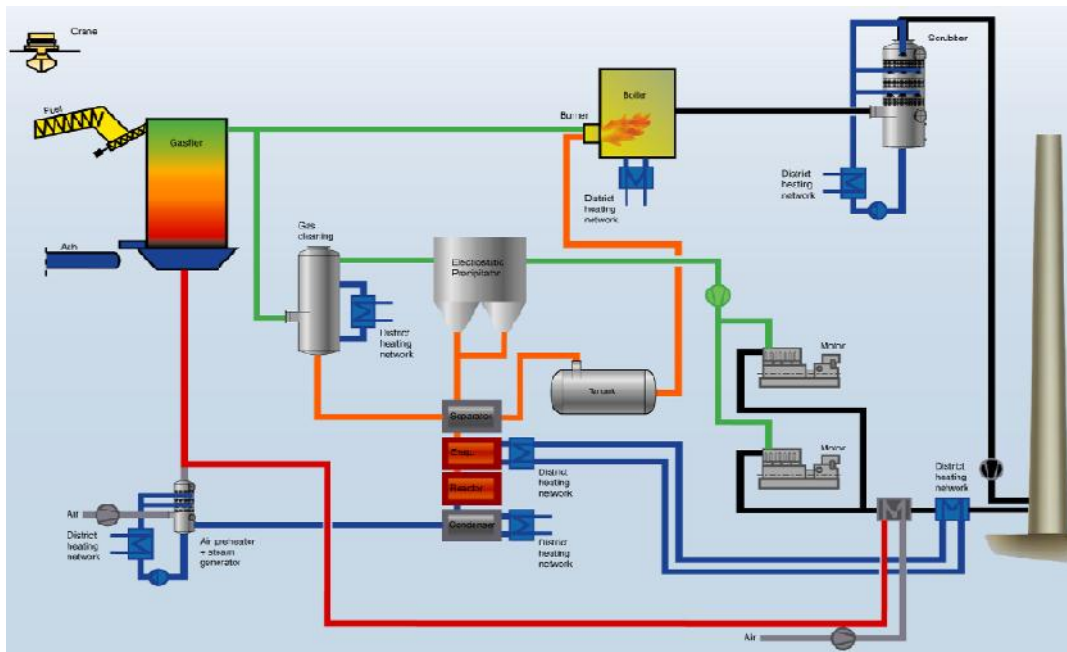
Figuur 4 Schematische weergave van de updraft vergasser

## 2.7 Processtroomdiagram van houtvergassing

Een processtroomdiagram van het hele vergassingsproces met alle belangrijke componenten binnen het totale proces is in fig. 5 afgebeeld.

Zoals in de figuur kan worden gezien is het gas dat vrijkomt uit de reactor via de groene lijn in tweeën gesplitst. Een deel wordt gefilterd en gekoeld waarna het wordt verbrand in low syngas generatoren om zodoende elektriciteit op te wekken. Een ander gedeelte gaat naar een verbrandingskamer waar het stoom genereert dat uiteindelijk wordt gebruikt om hout te drogen.

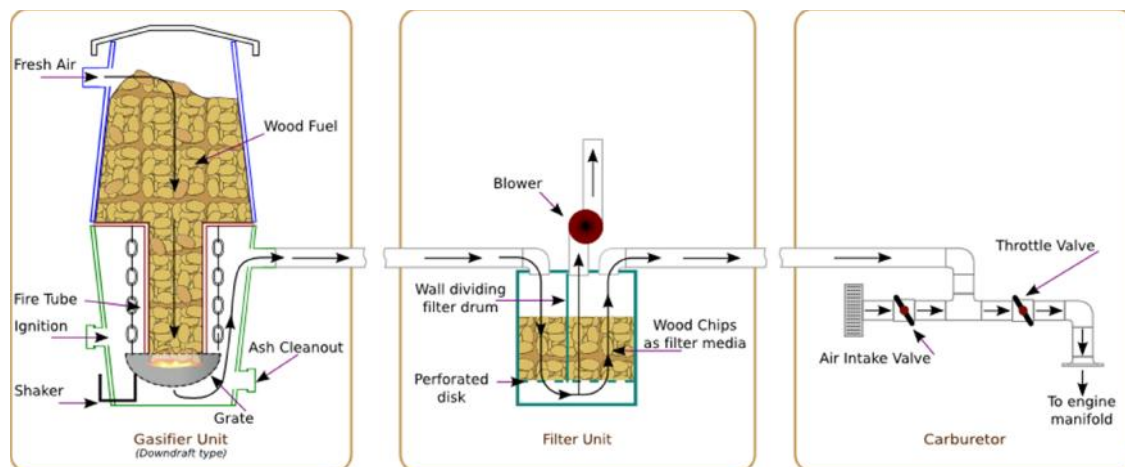




Figuur 5 Diagram van het totale proces van een houtvergasser

## 2.8 Filtering

Nadat het geproduceerde gas met een temperatuur van 250 tot 500 °C uit de vergasser komt zal het moeten worden afgekoeld tot een temperatuur van 100 tot 120°C voordat het gebruikt kan worden. Figuur 6 geeft schematisch aan hoe in een downdraft gasifier de afkoeling plaatsvindt. In het schema is afgebeeld dat het gas na uit de vergasser te zijn gekomen door een medium van houtchips wordt geleid alwaar het wordt gefilterd van zware particals, tegelijk wordt er middels een blower lucht geblazen door het systeem dat zorgt voor de nodige koeling.



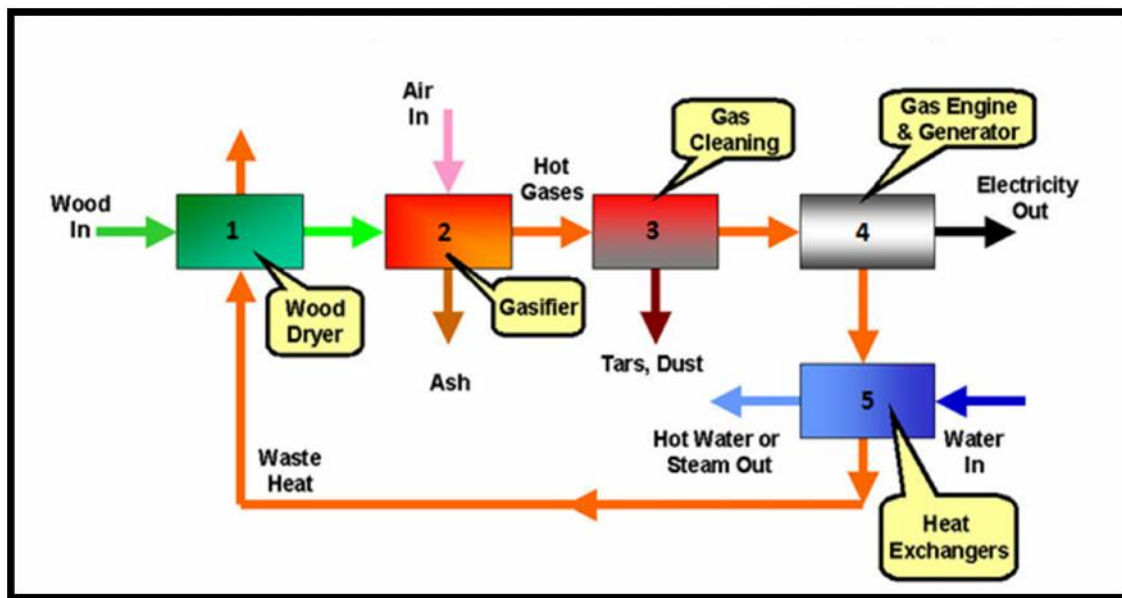
Figuur 6 Schema van een downdraft gasifier met koeling

In de gasifier (zie fig. 7) is de temperatuur van het houtgas gedurende het productieproces het hoogst.



De temperatuur van het houtgas moet worden teruggebracht zodat het in de “gas engine & generator” (4), waar verbranding plaatsvindt, kan worden gebruikt. Zie fig. 7.

In 5 vindt er koeling plaats middels een warmtewisselaar. De warmte die hierbij vrijkomt wordt dan gebruikt voor het drogingsproces.



Figuur 7 Temperatuurverloop van het houtgas

Het koelingssysteem dat het best voldoet is de multicyclon filtering. Deze koeling is gebaseerd op een cycloonwerking waarbij het gas gelijk gefilterd wordt doordat de zware deeltjes uit het gas vliegen bij de hoge snelheden die in de cycloon worden gebruikt. (bijlage 4)

## 2.9 Energiebalans van houtvergassing

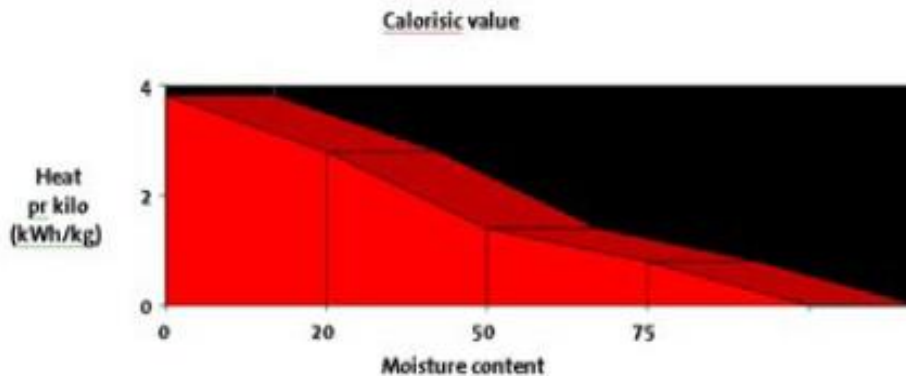
Een vergelijking van de calorische waarden van de verschillende brandstoffen (tabel 5) geeft een goed beeld van de energiestromen die er op te wekken zijn. Hout heeft een calorische waarde van ongeveer 17.8 MJ/kg (tabel 4) welke significant minder is dan diesel met een calorische waarde van 36 MJ/kg.

Tabel 4 Calorische waarden van verschillende stoffen

Elektriciteit				Vaste stoffen			
Brandstof	Calorische waarde MJ		Prijs/kWh in €	Brandstof	Calorische waarde MJ per Kg	Equivalent kWh	Prijs/kWh in €
Elektriciteit	3,6		0,22	Afval, planten	12,6	3,00	
Gassen				Anthraciet	32,5	9,03	0,027
Brandstof	Calorische waarde MJ per m <sup>3</sup>	Calorische waarde MJ per kg	Equivalent kWh	Prijs/kWh in €	Autobanden	30	9,72
Aardgas	31,45		8,79	0,047	Roomboter, hardwrij (tinnig)	19	5,28
Stogas		27	10,27		boomschors, hardhoudend (droog)	22	6,11
Steen	20		5,56		Bruinkool	20,5	5,70
Butaan		50	13,89	0,050	Orkas	28,5	7,92
Boluun	123		34,16		Demersaaljen	20,4	5,67
LPG		45,70	12,56		Gras, hooi (droog)	14,7	4,08
LPG	93,5		26,00		Hout, berken (30% vocht)	12,6	3,50
Methaan		55	15,28		Hout, hardwrij (droog)	18,20	5,28
Methaan	26		10,00		Hout, hardhoudend (droog)	22,5	6,25
Propaan		90	23,90	0,086	Hout (lichtgedroogd, 20% vocht)	17,5	4,81
Propaan	95		26,39		Hout pellets	17,80	4,95
Waterstof	11,9		3,20		Houtskool	29,6	8,22
Waterstof		150	41,67		Koolruisbollen	29,3	8,14
					Plastic	29	8,06
					Semi-anthraciet	29	8,06
					Zaagaf (droog, 13% vocht)	14,7	4,08

Belangrijk is op te merken dat de hoeveelheid warmte afneemt naarmate de vochtigheid toeneemt (tabel 5).

Tabel 5 Calorische waarden ten opzichte van vochtigheid



De hoeveelheid energie die uit een brandstof kan worden gehaald is dus afhankelijk van het vochtgehalte. Het ideale vochtgehalte voor een brandstof bedraagt 20%, wat ongeveer 2800W per kg oplevert bij gebruik van houtgas als er een 75% efficiënte verbranding is.

### 3 Energiebehoefte van de Tibiti- zagerij

In dit hoofdstuk zal de nadruk onder andere worden gelegd op het bepalen van de energiebehoefte van Greenheart Group voor haar houtproductieoperaties. Voorts zal aan de hand van de elektriciteitsbehoefte van de houtzagerij van Greenheart in het Tibiti -gebied een capaciteit worden vastgesteld welke de houtvergasser minimaal zal moeten hebben, om te voorzien in deze behoefte. In 3.1 zal de huidige situatie worden belicht. In paragraaf (3.2) zullen de technische specificaties en criteria van houtvergassers behandeld worden. De verschillende gefabriceerde vergassers zullen samen met hun voor- en nadelen worden uitgewerkt in (3.3). De nieuwe zagerij die Greenheart van plan is op te zetten binnen niet al te lange tijd en de geplande productiestromen die er zullen ontstaan met betrekking tot het afvalhout zullen worden behandeld is (3.4) De belangrijkste bronnen die voor dit hoofdstuk zijn geraadpleegd zijn: statistieken van Greenheart, Michael G. Beiler(2009) *Analysis of heat and fuel transfer processing of a biomass gasifier system* en Richard Toonsen (2010) *Sustainable Power from biomass*

#### 3.1 Huidige situatie

Uit statistieken van het bedrijf is een samenvatting gemaakt (tabel 6) van de huidige energiesituatie. Hieruit blijkt dat uit het ruwhout dat geleverd wordt aan het bedrijf voor verdere verwerking, er ongeveer 65% direct vrijkomt aan houtafval. De resterende 35 % wordt verder verwerkt tot bouwmaterialen en andere producten. Dit komt neer op een hoeveelheid van 16.854 ton per jaar aan afvalhout.

**Tabel 6 Een overzicht van de huidige energiesituatie van de houtzagerij Greenheart te Tibiti**

	Per jaar	Omrekening	Per dag	Eenheid
Productie hoeveelheid hout	25000	300 dagen	83.33	Kubieke meter
Waste productiestroom	16250	300 dagen	54	Kubieke meter
Beschikbaar afvalhout	Kubieke meter	Soortelijke massa	(54x1000)	
	54	1000kg/m <sup>3</sup>	54000 kg/dag	
Elektriciteitsopwekking	Hoeveelheid kubieke meter	Kg/kwh	Totale energie-opbrengst in kwh (5400:1.4)	
	54000	1.4	38,571	
Huidige behoefte	Per uur	Per dag (24uur)		
	640 kw	15,360 kwh		
Dieselkosten	Kwh	Kosten per kwh (\$)	Totale kosten (\$)	
	15360	0.45	6,912	

		Huidige behoefte	Totale productie van afvalhout	
		15,360 kwh	38,571 kwh	
Restant aan energie		23,211 kwh		

In tabel 6 is ook aangegeven dat voor de productie van 1kWh er 1.4 kg aan hout nodig is. Deze calculatie zal verder worden uitgewerkt in paragraaf 3.2. Tabel 7 laat zien hoe de verwerking verloopt en wat de houtafvalstroom is bij de houtzagerij te Tibiti voor wat betreft de overige 35% hout dat verder wordt verwerkt.

**Tabel 7 Huidige situatie met 16,854 kubieke meter aan afvalhout**

	Huidige zagerij		
	Kubieke meter	Ruwgezaagd hout kubieke meter (35%)	
<b>Productie per jaar</b>	25000	8750	
<b>Proces</b>	Jaar productie Kubieke meter	Percentage van jaar productie	Afval opbrengst per deel proces
<b>Direct afval</b>	25000	65%	16250 kubieke meter
<b>Kunstmatige droging, inkrimping en schaven</b>	8750	6.9%	604 kubieke meter
<b>Totaal afvalhout in kubieke meters</b>	<b>16,854</b>		

Uit tabel 7 is te concluderen dat er 604 kubieke meter aan afvalhout ontstaat na verwerking. Dit komt samen met de in tabel 7 berekende 16250 kubieke meter op een totaal van 16854 kubieke meter afvalhout.

Uit tabel 7 blijkt verder dat er door de verdere verwerking van hout, bijvoorbeeld door schaven, er 604m<sup>3</sup> bij komt op jaarbasis. Deze hoeveelheid zal echter niet worden meegenomen in verdere berekeningen.

### 3.2 Technische specificaties en criteria van houtvergassers

Vandaag de dag zijn er over de hele wereld fabrikanten van houtvergassingsinstallaties zoals Clenergen Inc en Biomass engineering limited, die vergassers dimensioneren aan de hand van de behoefte en criteria. De keuze van type en capaciteit van de vergasser die in dit onderzoek is gebruikt is gebaseerd op vooraf opgestelde specificaties. De energiebehoefte en de productieom-

standigheden zullen een bijdrage leveren om uit eindelijk te kiezen welke vergasser het best voldoet onder de gekozen omstandigheden.

Uit literatuur (Richard Toonsen (2010) *Sustainable Power from biomass*) blijkt dat uit 18MJ/kg verbrandingswarmte van hout een energiehoeveelheid kan worden gerealiseerd van ongeveer 1 kwh per 1.4 kg afvalhout, met een thermodynamisch rendement van 70%. De verschillende energiewaarden van de grondstofsoorten zijn verwerkt in tabel 8.

**Tabel 8 Energiewaarden van verschillende grondstoffen**

Ruw materiaal	Benodigde (kg) per kwh
Zaagsel	1.3-1.5
Houtchips	1.2-1.5
Kokosnootvezels	1.5-2.0
Stro	1.6-1.8
Palmafval	1.6-1.9
Rijstkaf	1.6-2.0

Uit tabel 8 is af te lezen wat de verschillende opbrengsten zijn van zaagsel en houtchips. In dit onderzoek is gebruikgemaakt van zowel zaagsel als houtchips. Beide vormen zullen worden gebruikt als grondstof voor houtvergassing. In tabel 9 zijn details weergegeven van gasifierinstallaties.

**Tabel 9 Specificaties van energie- installatie**

n o	Item	400kw	800kw	1mw	1.5mw	2mw
1	Gebouwmotrek (m <sup>2</sup> )	350	400	480	550	600
2	Hoofdgebouwhoogte (m)	6	6	6	6	6
3	Hergebruik silo (lxbxm)	12x5x3	15x5x3	18x5x3	22x5x3	25x5x3
4	Totaalgewicht (kg)	22	28	32	40	50
5	“syngas” productiesnelheid NM <sup>3</sup> H	1400	2800	3500	5300	7000
6	Ruw materiaalgebruik kg/h	800	1600	2000	3000	4000
7	Acceptabel vochtgehalte (%)	16	16	16	16	16
8	Vergasserefficiëntie (%)	70	70	70	70	70
9	Eigen gebruik (kw)	22	40	48	60	80
10	Vergasserdimensies (m)	φ1.4,H=7.5	φ2.0,H=10.0	φ2.2,H=12.0	φ3.0,H=12.0	φ3.7,H=14.0
11	Verwerkingstype	Droog	Droog	Droog	Droog	Droog

Uit gegevens van Greenheart Group Suriname blijkt dat zij van plan is binnen niet afzienbare tijd haar productiecapaciteit van het Tibiti -gebied op te voeren van 25.000 m<sup>3</sup> naar 150.000 m<sup>3</sup> per jaar. Deze productiecapaciteit zal een zekere bijdrage leveren om te komen tot een type vergasser. Op basis van de nieuwe elektriciteitsbehoefte van deze nieuwe zagerij in het Tibiti- gebied zal er een vergasser worden geselecteerd. Zoals in 2.5 al is aangegeven zal de geselecteerde vergasser of een “downdraft gasifier” of een “updraft gasifier” worden van het “fluidized bed type gasification”. Dit omdat in desbetreffend hoofdstuk al is uitgelegd waarom de keuze hierop zal vallen. Enkele van de criteria zijn: ze zijn de meeste gebruikte typen omdat ze het grootste thermisch rendement hebben en het geproduceerde gas is vrij schoon. Van de twee typen vergassers die in aanmerking komen voor gebruik in het Tibiti -gebied zijn er voor- en nadelen geconstateerd. Welk type het grootste rendement heeft en het voordeligst is hangt af van de omstandigheden waaronder het onderzoek is gedaan. In tabel 10 staat een overzicht van de voor- en nadelen van de twee gekozen typen vergassers.

**Tabel 10 Overzicht van updraft en downdraft typen vergassers**

Vergasstype	Voordelen	Nadelen
<b>Updraft vergasser</b>	Kan gebruikt worden voor kolen, houtskool, briketten van losse biomassa.	Gas dat door deze vastbedvergasser wordt geproduceerd is niet erg schoon en alleen geschikt voor thermische toepassingen.
	Kan draaien op een hogere vochtigheid. Dat wil zeggen tot 20%	Het nadeel van de updraft vergasser is dat de kwaliteit van het gas relatief laag is aangezien het hoge teer en stofdeeltjes bevat.
	Is een multi-fuel systeem	Werkt volgens het zogenaamde “batch proces” . Dit houdt in dat er afgemeten hoeveelheden grondstoffen per keer worden verwerkt waarna er weer aangevuld moet worden.
	Kan werken op hout, kolen en andere brandstoffen	
	Heeft een gemakkelijke verwijdering van as, dus kan grondstoffen gebruiken die een hoog asgehalte bevatten, zoals steenkool	
<b>Downdraft vergasser</b>	Gebruikt houtachtige biomassa, en losse biomassa	Kan alleen grondstoffen gebruiken van houtachtige biomassa en houtskool, Het materiaal moet een laag asgehalte met een lage vochtigheid hebben.
	Gas dat door deze vastbedvergasser wordt geproduceerd is schoon en geschikt voor energieopwekking alsook voor thermische toepassingen waar schoon gas vereist is	Voor grotere vergassers is de grootte een beperking in het geval van de downdraft vergasser. Over het algemeen levert een downdraft vergasser gas voor de vervanging van 400 liters stookolie.,Dit komt overeen met 4.0 MW
	Vanwege de hoge gaskwaliteit geschikt voor power toepassingen	
	Is ook geschikt voor de thermische toepassingen waarbij hoge kwaliteit van gas vereist is.	
	Een voordeel boven de updraft is wel dat deze vergasser werkt volgens het continue proces. Er vindt geen stagnatie plaats in het productieproces.	

Concluderend uit tabel 10 is aan de hand van de situatie en de energie capaciteit die vereist is gekozen voor een downdraft vergasser.

### 3.3 De nieuwe situatie van de Tibiti- zagerij

Met betrekking tot de nieuw beoogde productiecapaciteit van 150.000 m<sup>3</sup> per jaar is in tabel 12 een extrapolatie gemaakt. In tabel 11 is aan de hand van deze gegevens het verwerkingsproces weergegeven met het vrijkomende vergasbare houtafval. Uit tabel 11 is op te maken dat samen met het zaagsel dat vrijkomt er een totaal van 101.122 m<sup>3</sup>afvalhout vrijkomt om te worden vergast ten behoeve van de opwekking van elektrische energie.

**Tabel 11 Nieuwe productiestroom 101.102 m<sup>3</sup> beschikbaar**

	Huidige zagerij		
	Kubieke meter	Ruwgezaagd hout kubieke meter (35%)	
<b>Productie per jaar</b>	150000	52500	
<b>Proces</b>	Jaarproductie Kubieke meter	Percentage van jaarproductie	Afvalopbrengst per deelproces
<b>Direct afval</b>	150000	65%	97500 kubieke meter
<b>Kunstmatige droging, inkrimping en schaven</b>	52500	6.9%	3622 kubieke meter
<b>Totaal afval hout in kubieke meters</b>	<b>101.122</b>		

Met de gegevens uit tabellen 6 en 7 is in tabel 12 een nieuwe energiebehoefte berekend bij een houtproductie van 150.000 m<sup>3</sup> per jaar.

**Tabel 12 Nieuwe energiecapaciteit**

	Per jaar	Omrekening	Per dag	Eenheid
<b>Productie hoeveelheid hout</b>	150000	300 dagen	500	Kubieke meter
<b>Waste productiestroom</b>	97500	300 dagen	325	Kubieke meter
<b>Beschikbaar afvalhout</b>	Kubieke meter	Soortelijke massa	(54x1000)	
	325	1000kg/m <sup>3</sup>	325000 kg/dag	
<b>Elektriciteitsopwekking</b>	Hoeveelheid kubieke meter	Kg/kwh	Totale energie- opbrengst in kwh (32500:1.4)	Totale energie- opbrengst in kw

	325000	1.4	232.142,857	9.6mw
<b>Huidige behoefte</b>	Per uur	Per dag (24uur)		
	3840 kw	92.160 kwh		
<b>Dieselskosten</b>	Kwh	Kosten per kwh (\$)	Totale kosten (\$)	
	92.160	0.45	41.472	
		Huidige behoefte	Totale productie met afvalhout	
		<b>3850 kw</b>	<b>9.6 mw</b>	

Met de nieuwe productieinformatie blijkt uit tabel 12 dat de nieuwe behoefte beraamd is op 3840 kW. Er mag met een productie van 4.0 MW aan elektriciteit ervan worden uitgegaan dat er voldoende energie opgewekt kan worden om de zagerij te voorzien van energie. Het blijkt ook dat er voldoende houtafval beschikbaar is om een capaciteit op te wekken van 9.672 MW. Er is echter in deze scriptie een vergasser geselecteerd die een minimaal vermogen zal opwekken van 4.0 MW. Met deze 4.0 MW zullen eventuele schommelingen in de belasting makkelijk opgevangen kunnen worden. Uit tabel 12 is te concluderen dat op basis van de huidige 25000 m<sup>3</sup> per jaar er binnen de nieuwe zagerij 3850 kW aan energie geleverd zal moeten worden voor de verschillende productiemachines. Hiervan uitgaande mag aangenomen worden dat een 4.0 MW installatie ruimschoots voldoende zal zijn om de zagerij van energie te voorzien.



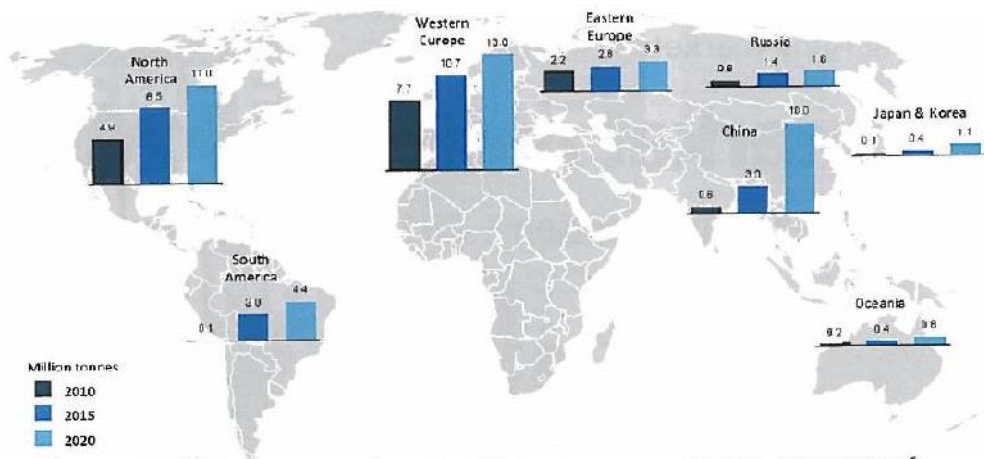
## 4 Ontwerp van de vergasser

Om een onderzoek voor de haalbaarheid van een 4MW houtvergasser uit te voeren zijn er kostenanalyses uitgevoerd. De belangrijkste kostendetails van de op te zetten plant worden in hoofdstuk 5 besproken nadat de ontwerpdetails zijn gepresenteerd in hoofdstuk 4. In 4.1 zal kort de toepassing worden gegeven van vergassers wereldwijd. De ontwerpdetails van de vergassers die zijn geselecteerd in hoofdstuk 3 zullen in 4.2 ter sprake komen.

Bronnen voor dit hoofdstuk zijn: [www.lowtechmagazine.com](http://www.lowtechmagazine.com), Green plant solutions (1987), S. Harris (DVD), (1990) hydrogen car and multifuel engine en Clenergen Inc.

### 4.1 Toepassingen en keuze

Houtvergassing is zoals eerder is aangeven geen nieuwe technologie. Deze vorm van energie-opwekking wordt al in verschillende landen in de wereld toegepast. In figuur 8 is duidelijk te zien wat de ontwikkelingen zijn op het gebied van hout in de energie opwekking. In bijlage 7 zijn foto's te zien van een 3MW plant in Indonesië en op de Filipijnen. Op de foto van de 3MW houtvergassingsplant op de Filipijnen is er gekozen voor drie (3) parallelle modules circulerende wervelbedvergassers. Deze module heeft 8 sets 450kW lage snelheid syngas gensets met een rotatie van 514 per minuut (RPM) bij 60 Hz. Op de foto zijn duidelijk de drie reactoren te zien. Uit literatuuronderzoek van Green plant solutions (1987), is namelijk ook gebleken dat door de grote omvang van de reactoren de verbranding binnen de reactor onvolledig verloopt. De keuze is toen aan de hand van (Harris (DVD), (1990) hydrogen car and multifuel engine) gemaakt voor parallelle modulecirculerende wervelbedvergassers omdat dit type betrouwbaarder blijkt te zijn in de praktijk. Als een van de reactoren mocht uitvallen, wordt er nog steeds tweederde van de energie geleverd. De positieve informatie en de productieresultaten hebben doen besluiten om gebruik te maken van parallelle modules circulerende wervelbed- vergassers. Om de beoogde capaciteit te produceren zullen er twee parallelle modulecirculerende wervelbedvergassers van elk 2 MW worden geplaatst in plaats van één grote vergasser.



**Figuur 8 Gebruik van hout als energiebron**

## 4.2 Ontwerpdetails

De technische specificaties van vergassers met verschillende power capaciteit zijn weergegeven in tabel 13. Omdat er gekozen is voor het 2 MW type zal het gebouw een oppervlakte hebben van 600m<sup>2</sup> terwijl het hoofdgebouw een hoogte zal moeten hebben van 6 m. De oppervlakte waar de vergasser komt te staan moet worden voorbereid om een gewicht van 50 ton te kunnen dragen.

Om aan de benodigde 4MW te komen die nodig is in het Tibiti -gebied zullen er twee units moeten worden gebouwd. Zoals in tabel 13 te zien is verschillen de vergassers niet veel, alleen met name de dimensies verschillen wel. Zo is te zien dat de 2MW vergasser die zal worden gebruikt een afmeting heeft van rond 3.7 m en een hoogte van 14.0 m. Verder zal het hoofdgebouw een hoogte hebben van 6 meter en de hergebruiksilos een afmeting van 25x5x3, de syngasproductie zal een snelheid van 7000 NM<sup>3</sup>H hebben. Het ruwe materiaal zal bijkans 4000kg per uur bedragen waarbij het eigen gebruik 80 kW zal zijn.

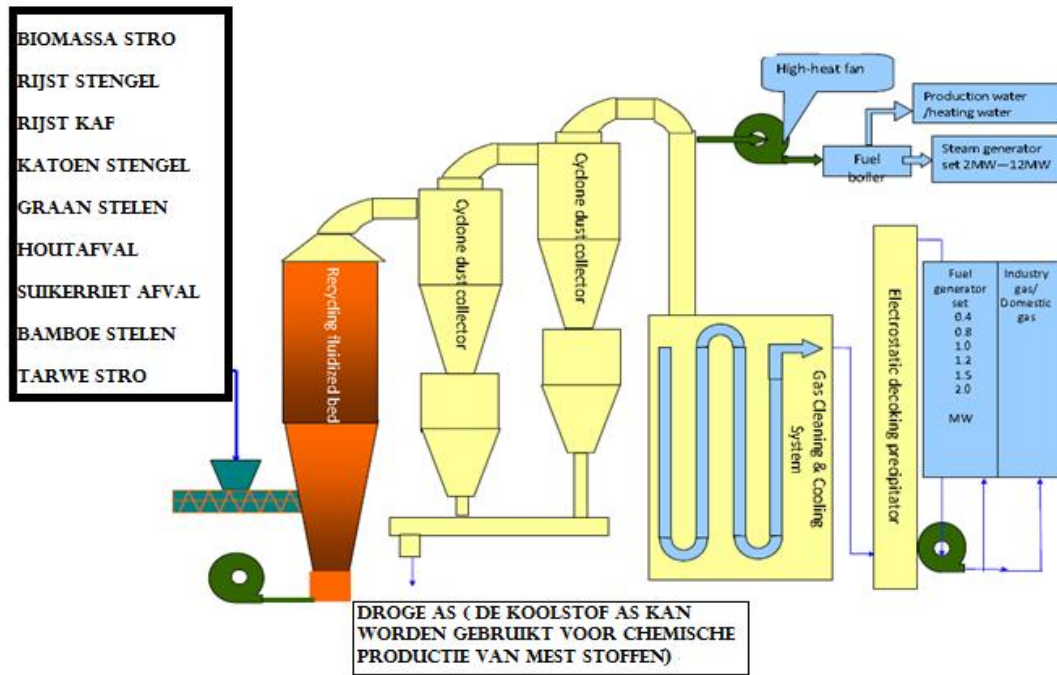
**Tabel 13 Technische specificatie van verschillende vergassers**

n	Item	400kw	800kw	1mw	1.5mw	2mw
1	Gebouwtrek (m <sup>2</sup> )	350	400	480	550	600
2	Hoofdgebouwhoogte (m)	6	6	6	6	6
3	Hergebruiksilos (lxbxh)m	12x5x3	15x5x3	18x5x3	22x5x3	25x5x3
4	Totaalgewicht (kg)	22	28	32	40	50
5	“syngas” productiesnelheid NM <sup>3</sup> H	1400	2800	3500	5300	7000
6	Ruwmateriaalgebruik kg/h	800	1600	2000	3000	4000
7	Acceptabel vochtgehalte (%)	16	16	16	16	16
8	Vergasserefficiëntie (%)	70	70	70	70	70
9	Eigen gebruik (kw)	22	40	48	60	80
10	Vergasserdimensies (m)	φ1.4,H=7.5	φ2.0,H=10.0	φ2.2,H=12.0	φ3.0,H=12.0	φ3.7,H=14.0
11	Verwerkingstype	Droog	Droog	Droog	Droog	Droog

In figuur 9 zijn de verschillende componenten van een vergasser weergegeven. In dit schema is te zien dat het geproduceerde gas nadat het de reactor heeft verlaten door twee cycloonstofcollectoren zal gaan. Een deel van het gas zal worden gebruikt voor de opwekking van stoom welke wordt afgevoerd om exporthout te drogen in droogkamers.

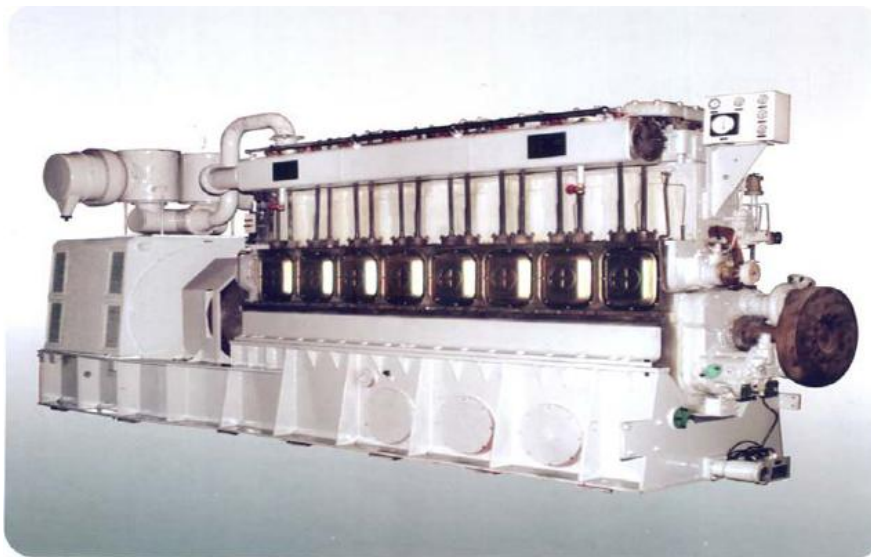
De rest van het gas gaat door een koelingsstelsel, waar het uiteindelijk in een verbrandingsmotor wordt verbrand om elektrische energie op te wekken.

Bij het koelen van het gas zal gebruik worden gemaakt van koelwater. De warmte die uit het koelwater kan worden gewonnen zal worden gebruikt om de biomassa, die gevoerd wordt in de vergasser, te drogen zodat het rendement van het proces toeneemt.



**Figuur 9** De verschillende componenten binnen de vergasserinstallatie

Figuur 10 geeft een syngasgenerator weer die moet zorgen voor de omzetting van gas verkregen uit een houtvergasser (chemische energie) in elektrische energie. De installatie in dit onderzoek zal dus tien generators bevatten van elk, zoals in 4.1 al is aangeven, 450kw aan capaciteit.



**Figuur 10** Lage snelheidssyngasgenerator van 450 kw

## 5 Kostenanalyse

Ter afronding van het technisch onderzoek naar de mogelijkheid uit afvalhout elektriciteit op te wekken door middel van houtvergassing als energiebron voor de Tibiti - zagerij van Greenheart Suriname zal ook kort de financiële kant van het geheel moeten worden bekeken. Er zal daarom in dit hoofdstuk aandacht worden besteed aan het investeringsvermogen, de in bedrijfstellingskosten en de terugverdientijd die gekoppeld is aan de investering. Dit hoofdstuk zal daarom in twee paragrafen worden onderverdeeld, te weten: 5.1 de investering en waaruit deze is opgebouwd en 5.2 de inbedrijfstellingskosten, de terugverdientijd van de totale investering.

Bronnen voor dit hoofdstuk zijn Clenergen Inc en Handleiding voor het zelfstandig opstellen van een technisch-economische feasibility study.

### 5.1 De investering

Bouwbudgetteren is een simpele methode om zonder bouwvoorbereiding (bestek en tekeningen) de financiële mogelijkheden voor het verwezenlijken van bouwwerken te onderzoeken. De rekenmethode is gebaseerd op globale prijzen, die verkregen worden aan de hand van offertes waarin prijzen zijn vermeld. Deze methode is gevolgd om tot een schatting van de investering te komen. In dit onderzoek is gewerkt met Clenergen Inc, een bedrijf dat deze installatie maakt, opzet en de bedrijfsvoering managet. Met dit bedrijf dat nu bezig is met een soortgelijk project in Guyana, is er een persoonlijk gesprek geweest waarna er een officiële offerte is verstrekt ten behoeve van een complete installatie van 4MW.

Er is door hun een document aangeboden met daarin alle kosten; in dit document zijn er enkele voorwaarden gesteld door het bedrijf welke van kracht zullen zijn indien Greenheart overeenstemming bereikt voor het opzetten van deze energie- installatie.

De voorwaarden die worden voorgesteld voor de aanschaf van een 4MW plant zijn:

1. Clenergen zal de elektriciteitscentrale volledig bouwen en draaien.
2. Clenergen zal de volledige opleidingen aan het personeel van de energiecentrale verzorgen en zal verantwoordelijk zijn voor het beheer en de exploitatie van de hoofdcentrale en de plant.
3. De opdrachtgever zal een service charge van US \$ 0,03 cent per kWh aan Clenergen afstaan.
4. De kostprijs die gecalculeerd is door ClenergenInc is US \$13 cent per kwh.
5. Kosten omvatten de volledige exploitatie van de energiecentrale inclusief kosten om de houtsnippers te maken leveringen, de lonen van personeel van de energiecentrale, dieselback-up tijdens een onderhoudsbeurt en onderhoud.

Een begroting moet worden gemaakt voor de investeringen die moeten worden gedaan om te komen tot het opzetten van de energiecentrale.

Informatie uit de offerte van Clenergen is verwerkt in tabel 14 waar duidelijk te zien is hoe de investering is opgebouwd. De aanschaf van twee vergassers met generatoren, de behuizing en de voorziene kosten zijn weergegeven in tabel 14. In de tabel is te zien dat alleen de aanschafprijs van de vergasserinstallatie al 10.325,286 usd bedraagt. Voorts zijn de installatie- en opzetkosten beraamd op 275,643 usd. Voorbereidingskosten zijn ook opgenomen; deze zijn om het terrein bouwrijp te maken. Andere kapitale uitgaven zijn kosten die vooraf gemaakt worden, zoals: advieskosten en voorbereidingskosten.

**Tabel 14 Totale investeringskosten**

Omschrijving	Bedrag in USD
<b>Materiaalkosten</b>	
Aanschafprijs van 4 MW vergasser met generatoren	10,325,286
Vergasser met motor en reserveonderdelen	96,038
Aanleverkosten en installatiekosten	275,643
Power plantgebouw en opslagruimte	120,000
Benzine-opslag	86,000
<b>Andere kapitale uitgaven</b>	
Onderhoudskosten	56,527
Voorbereidingskosten	15,000
Onvoorziene kosten	10,000
Advieskosten	100,000
<b>Totaal</b>	<b>10,094,494</b>

Uit tabel 15 is af te lezen dat de totale investeringen geraamd op bijkans **10,094,494** usd inclusief opzet en installatie en exclusief bedrijfsvoering. Deze zullen in de volgende paragraaf belicht worden.

## 5.2 Terugverdientijd en inbedrijfsstellingskosten

De terugverdientijd kan worden berekend aan de hand van de gepleegde investering, de looptijd van het geleende kapitaal en de besparingen die met de investering mee komen.

De operationele kosten, bedrijfsvoering en onderhoud van de energiecentrale worden gecontroleerd door Clenergen. Het bedrijf is vrijwel voor de hele operatie van de vergasserinstallatie verantwoordelijk. Hiervoor moet er een bedrag van US \$0,03 cent per kW worden betaald aan

dit bedrijf. Verder zal er een rente lopen over het geïnvesteerde kapitaal van 8% per jaar, omdat er met vreemd kapitaal zal worden gewerkt. Al deze gegevens zijn uitgezet in tabel 15, 16 en 17 waaruit uiteindelijk de terugverdientijd is berekend.

De investeringskosten zijn opgebouwd uit:

de aanschafkosten, installatiekosten, constructie- en materiaalkosten, voorbereidingskosten, exploitatiekosten en de inbedrijfstellingskosten. In tabel 15 zijn de investeringskosten opgebouwd.

**Tabel 15 Opbouw investeringskosten**

	<i>Investeringskosten in USD</i>
<b>Kosten</b>	
Aanschaf	10,325,286
Installatie	275,643
Constructie	86,000
Materiaal	96,038
Vorbereiding	100,000
Exploitatie	56,527
<b>Inbedrijfstellingstelingen</b>	15,000
<b>Totaal</b>	<b>10,954,494</b>

Besparingen: dit zijn alle kosten die niet gemaakt hoeven te worden als gebruikgemaakt wordt van de vergassingsinstallatie. Bijvoorbeeld: besparing aan brandstof indien in het "normale" geval diesel gebruikt zou worden voor de opwekking van elektriciteit (dus niet alleen de dieselprijs, maar ook de transportkosten om de diesel naar Tibiti te vervoeren).

Besparingen zijn in dit onderzoek besparingen die er zullen zijn ten opzichte van de elektriciteitsopwekking met diesel. Tabel 16 geeft een opbouw van deze besparingen.

Aannames:

10 uren per werkdag

300 werkdagen per jaar

**Tabel 16 Jaarlijkse besparingen**

	<b>Per kwh in USD</b>	<b>Per jaar voor 4MW in USD</b>
<b>Gecalculeerde kostprijs met diesel</b>	45 cent	$0.45 \times 10 \times 300 \times 4000 \text{KW} = 5,400,000$
<b>Gecalculeerde kostprijs met houtvergassing</b>	16 cent	$0.16 \times 10 \times 300 \times 4000 \text{KW} = 1,920,000$
		Totaal
<b>Besparingen per jaar ten opzichte van diesel</b>		<b>3,480,000</b>

Rentekosten: dit is de rente die jaarlijks op het geleende kapitaal wordt betaald aan de schuldeisers (banken). Deze kosten worden betaald gedurende de looptijd van de lening.

De rentekosten voor deze investering zullen 8% per jaar bedragen en het geleende kapitaal zal een looptijd hebben van 10 jaar. In tabel 17 is uiteengezet hoe het rentebedrag zal oplopen gedurende de tien jaar.

**Tabel 17 Rentekosten**

<b>Totale investering</b>	<b>10,954,494USD</b>	
	Kapitaal in USD	Rente 8% per jaar in USD
<b>Jaar 1</b>	10,954,494	876,359.52
<b>Jaar 2</b>	10,078,134.48	806,250.758
<b>Jaar 3</b>	9,271,883.8	741,750.7
<b>Jaar 4</b>	8,530,133.1	682,410.6
<b>Jaar 5</b>	7,847,722.5	627,817.8
<b>Jaar 6</b>	7,219,904.7	577,595.4
<b>Jaar 7</b>	6,642,312.4	531,384.9
<b>Jaar 8</b>	6,110,927.4	488,874.2
<b>Jaar 9</b>	5,622,053.2	449,764.3
<b>Jaar 10</b>	5,172,288.9	413,783.2
<b>Totaal aan rentekosten</b>		<b>6,195,991.38</b>

De terugverdientijd kan dan worden uitgerekend door:

Terugverdientijd = (investering + rentekosten) / besparingen

Terugverdientijd = 17,150,485/3,480,000 = 4.92 jaren

Dat is 4 jaren en 10 maanden.



## 6 Conclusie

De positieve resultaten uit het technische onderzoek naar de haalbaarheid van houtvergassing als energiebron kunnen gezien worden als een unieke gelegenheid, om voor Suriname een nieuwe vorm van alternatieve energie te promoten.

In verband met duurzame energieopwekking en gelet op de ontwikkelingen hierover in de rest van de wereld is het belangrijk dat Suriname meegaat in deze ontwikkelingen omdat alle middelen hiervoor aanwezig zijn.

Uit de studie blijkt dat het resultaat van de gemaakte investering positief is te noemen en dat bedrijven, dorpen en gemeenschappen die op dit ogenblik verstoken zijn van elektriciteit dit met deze ontwikkelingen kunnen oplossen door elektriciteit op te wekken met behulp van restproducten bestaande uit biomassa.

- Er is aangetoond dat de gepleegde investering binnen vijf jaar kan worden terugverdiend.
- Deze vorm van energieopwekking beantwoordt aan “groene energieopwekking”, welke milieuvriendelijk is, en dus kan geconcludeerd worden uit dit onderzoek dat deze manier van alternatieve energieopwekking helemaal past bij het beleid van duurzaam investeren.
- Met gepaste investeringen kan biomassa zeker in de toekomst een wezenlijke bijdrage leveren in de elektriciteitsvoorziening in Suriname.
- Door dit project te realiseren zal Suriname als land meeliften met de huidige ontwikkelingen in de wereld met betrekking tot duurzame energieontwikkeling.

## Literatuurlijst

### Boeken

- Beiler M. G.(2009). Analysis of heat and fuel transfer processing of a biomass gasifier system  
LaFontaine,H. Zimmerman F.P. (1989). Hydrogen generator gas vol 3.  
Rambush.N.E. (1923). Hydrogen generator gas vol 6.  
Reed B., Thomas Agua Das.(1989). Hydrogen generator gas for vehicles and engines vol 4.  
Toonsen. Richard (2010). Sustainable Power from biomass

### DVD

- Harris S. (DVD), (1990) hydrogen car and multifuel engine

### Websites

- All powerlabs (z.j.) <http://www.gekgasifier.com/info/gasification-basics/gasifier-types>  
Consulting Engineers in Infrastructure Development and Resource Management( 2007).  
<http://www.metts.com.au/>  
Department of Enviroment and Heritage Protection (2012 ). <http://www.ehp.qld.gov.au/d>  
Green Heartgroup Suriname [www.greenheartgroup.com](http://www.greenheartgroup.com)  
Green plant solutions (1987) [http://planetgreensolutions.com/Renewable\\_Energy\\_Now.html](http://planetgreensolutions.com/Renewable_Energy_Now.html)  
Green power (1998). [www.greenpowererpe.cn](http://www.greenpowererpe.cn)  
knowledge publications (1985). [www.knowledgepublications.com](http://www.knowledgepublications.com)  
Temperate climate permaculture <http://www.tcpermaculture.com>  
Wood gasification project (z.j). [www.primus.drclue.net](http://www.primus.drclue.net)

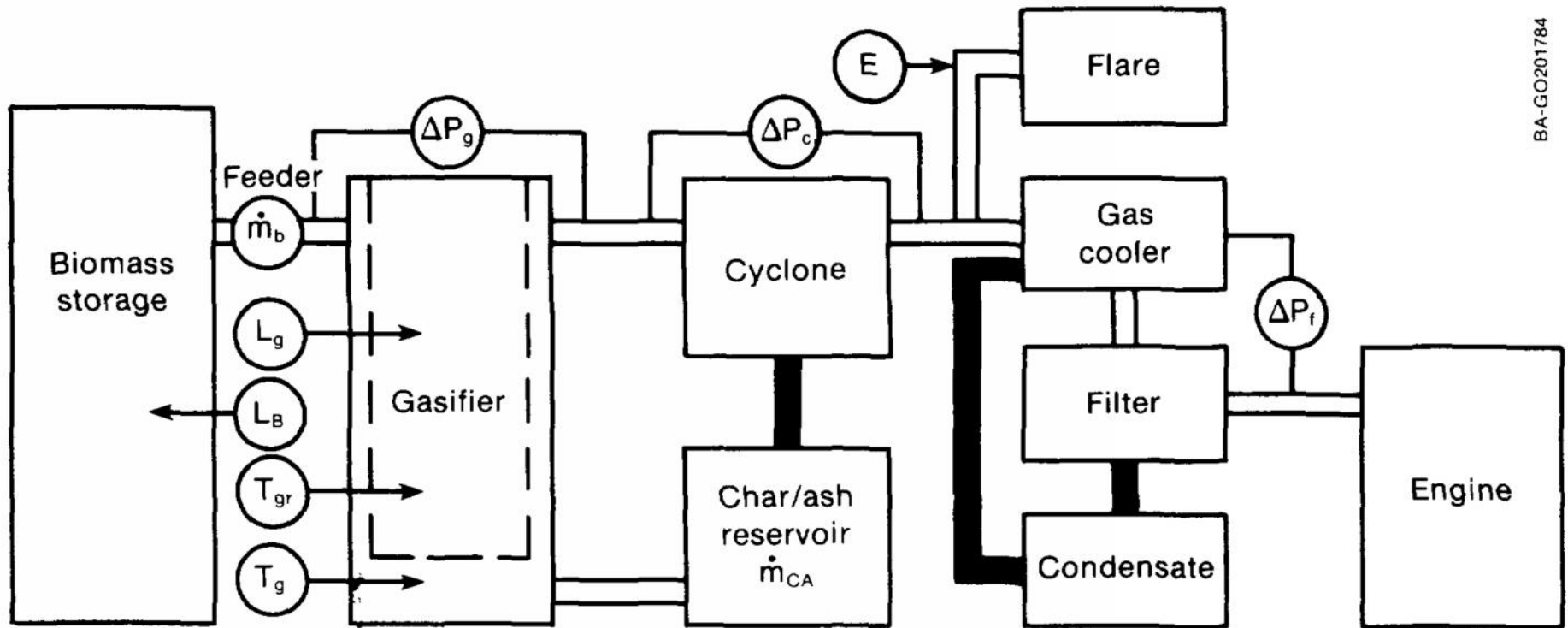
### Andere bronnen

- Jaarstatistieken (2011) Stichting Bosbeheer en Bostoezicht (SBB)  
Hand-out, (2011) EBS  
Handleiding voor het zelfstandig opstellen van een technisch-economische feasibility study,  
maart 1987.




## Bijlagenlijst

Bijlage 1 Schema vergassingsunit	44
Bijlage 2 Downdraft gasifier	45
Bijlage 3 Updraft gasifier	46
Bijlage 4 Temperatuurverloop gedurende vergassing	47
Bijlage 5 Fasediagram	48
Bijlage 6 Afmetingen plant	49
Bijlage 7 Foto's van installaties in Indonesië en de Filippijnen	50

## Bijlage 1 Schema vergassingsunit

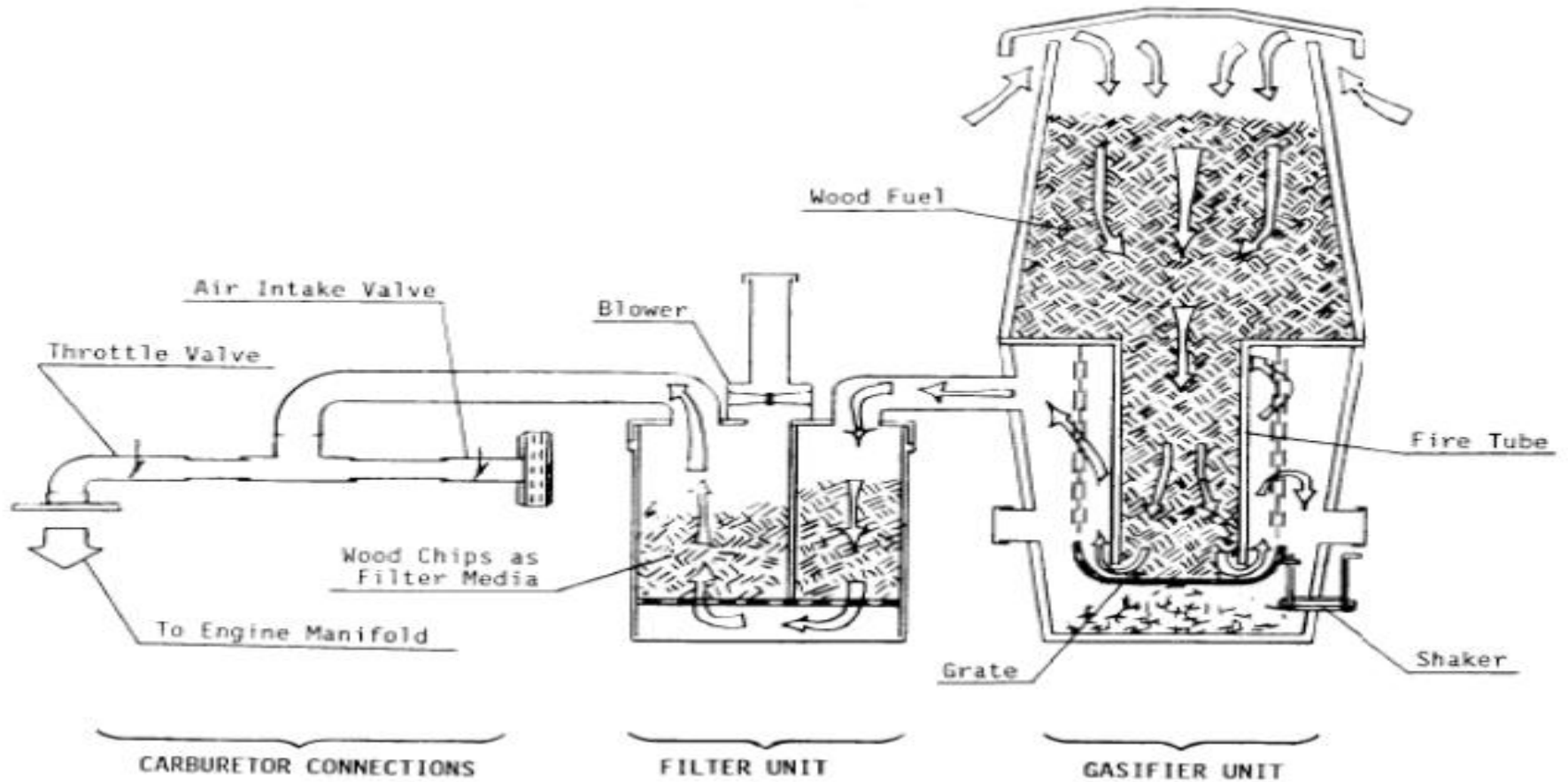


BA-GO201784

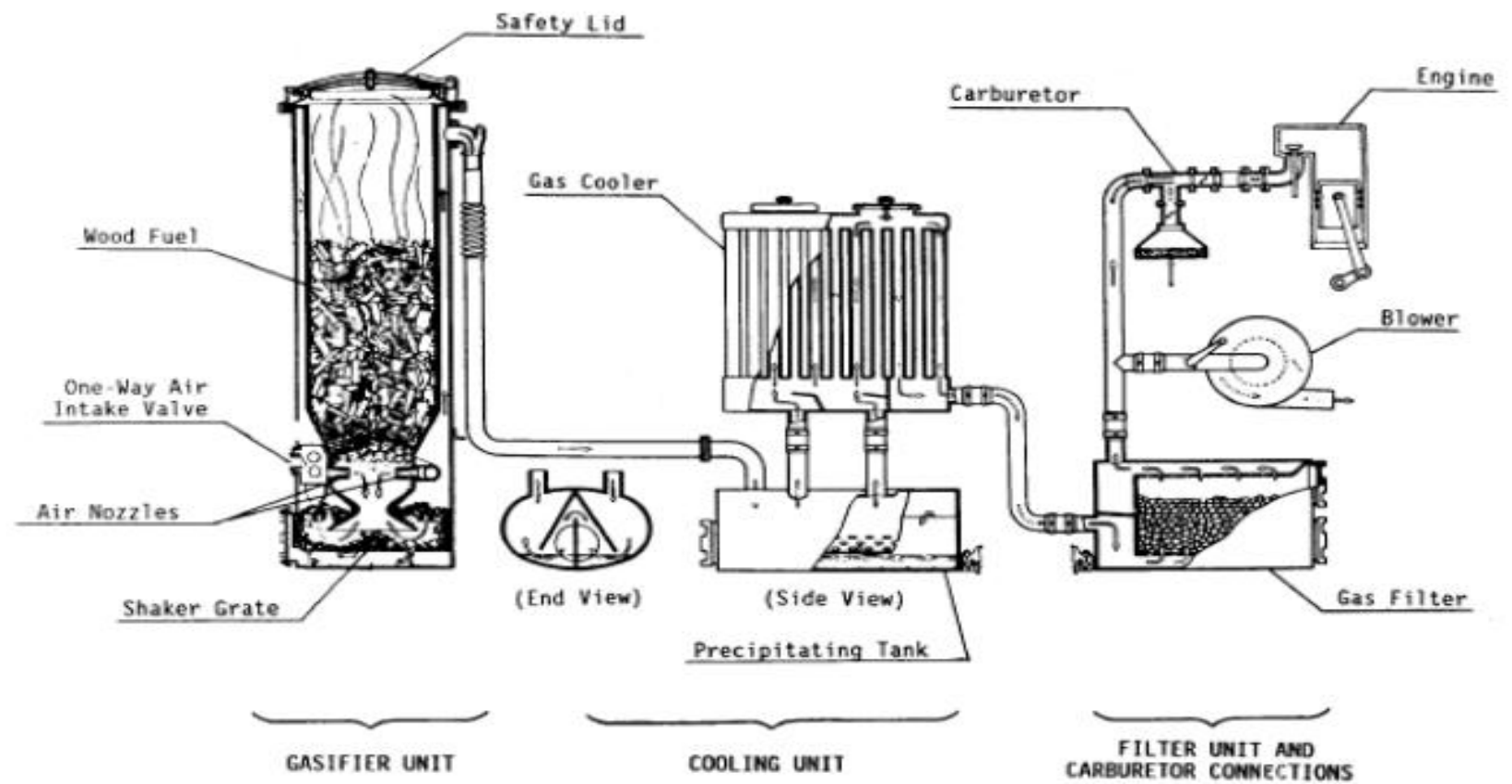
Gas flows   
 Solid/liquid flows   
 Measuring devices 

E = ejector  
 L = level control  
 T = thermocouple  
 $\Delta P$  = differential pressure gauge or control  
 $\dot{m}$  = feed mass flow measurement device

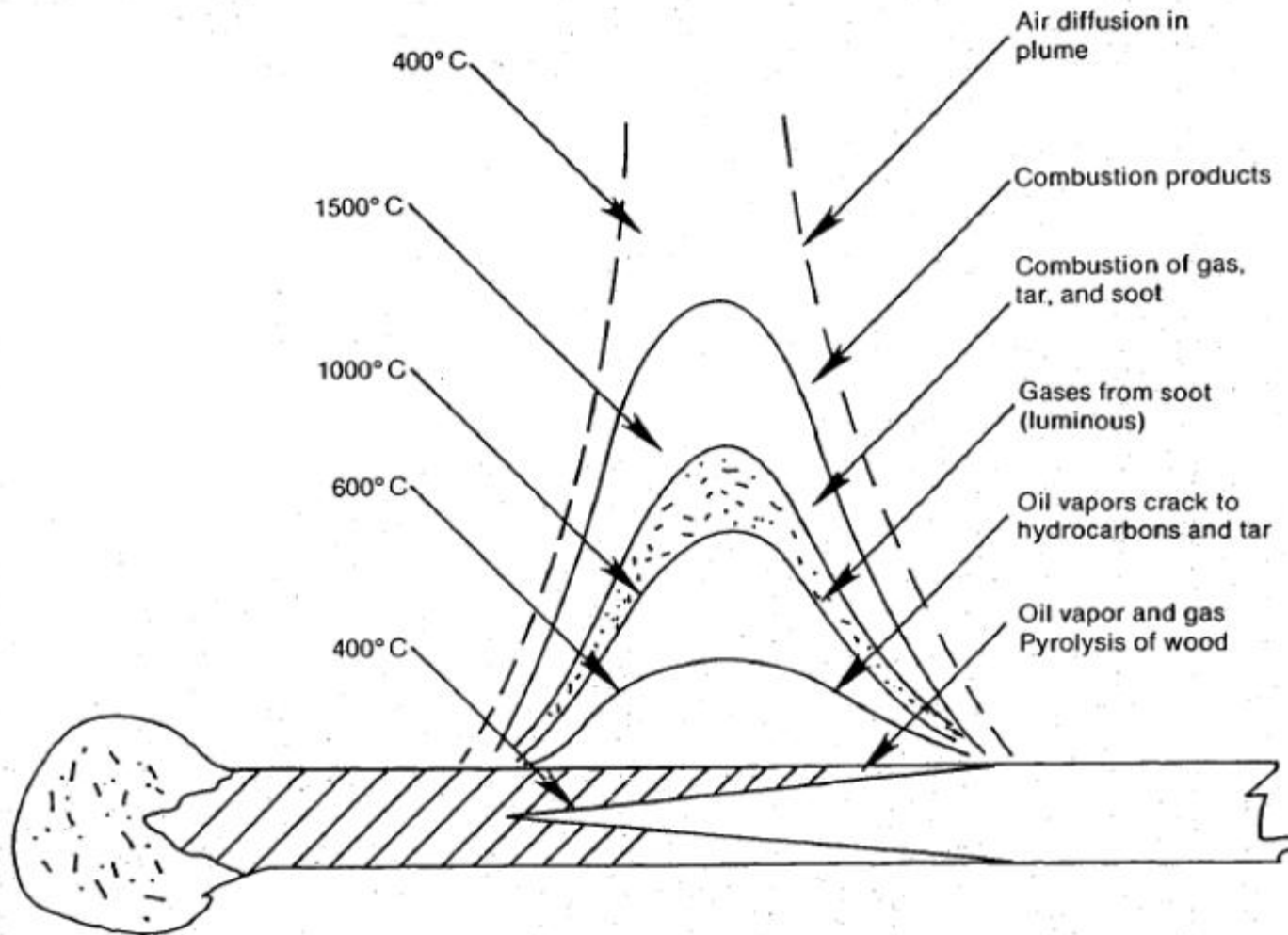
## Bijlage 2 Downdraft gasifier



## Bijlage 3 Updraft gasfier



## Bijlage 4 Temperatuurverloop gedurende vergassing

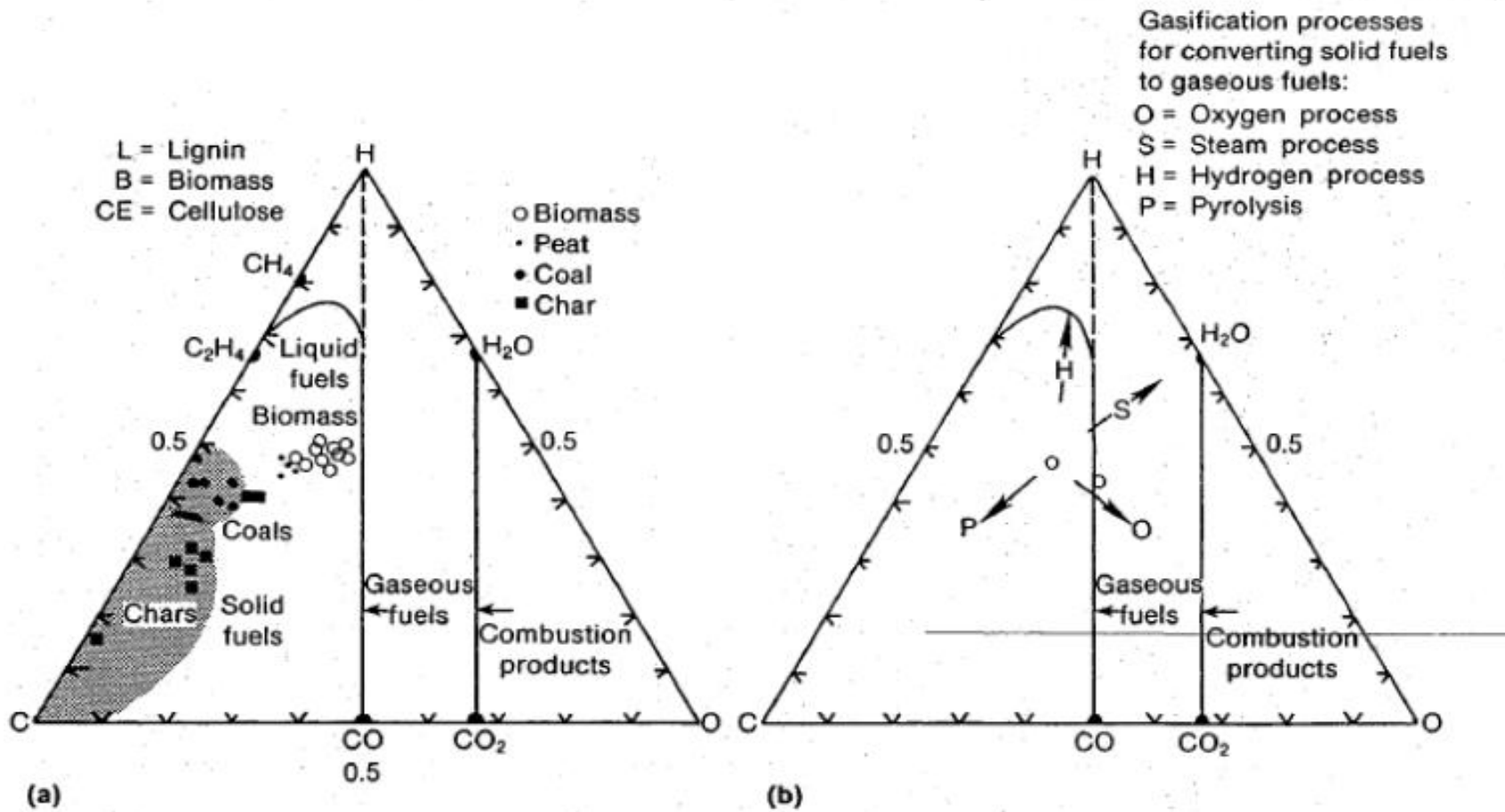




## Bijlage 5 Fasediagram

De verhouding van stoffen in hout(a)

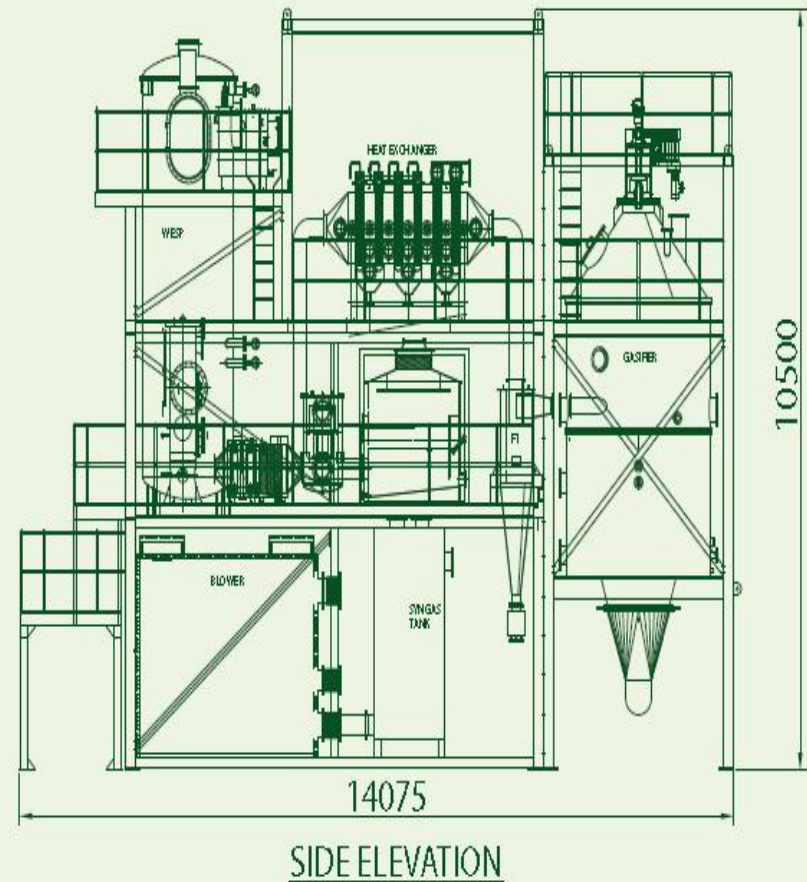
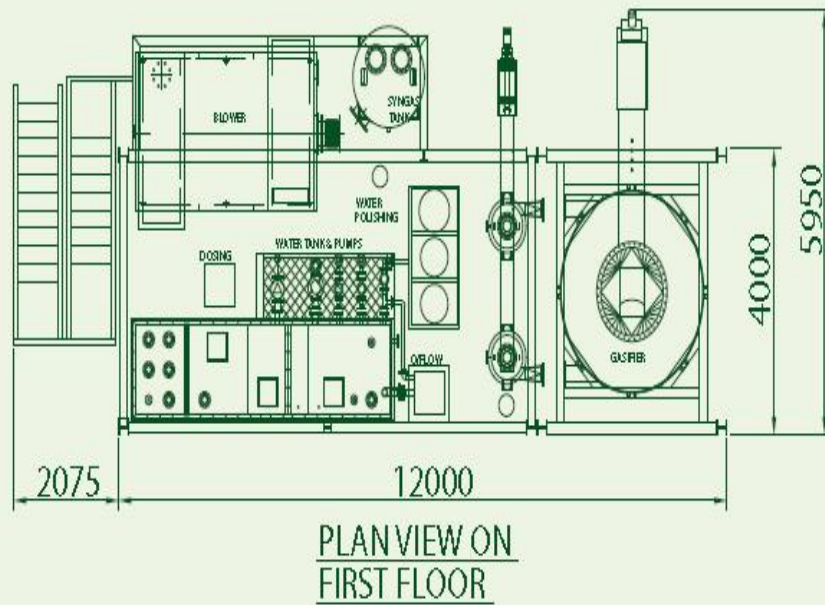
Chemische verandering gedurende het vergassingsproces(b)





## Bijlage 6 Afmetingen plant

### 4MW Unit



## Bijlage 7 Foto's van installaties in Indonesië en de Filippijnen



Foto van een 3MW plant in Indonesië: de low speed syngas gensets.



Foto van een 3MW plant op de Filippijnen