

# **Analyse van de heatersefficiëntie in de Staatsolieraffinaderij**



L. Abauna

Paramaribo, februari 2013

# Analyse van de heatersefficiëntie in de Staatsolieraffinaderij



Student + reg.nr: L. Abauna 10668  
Docent-begeleider : dhr. J. Sital BSc.  
Bedrijf: Staatsolie Maatschappij Suriname N.V.  
Bedrijfsbegeleider: Dhr. M. Refos BSc.

Paramaribo, februari 2013

## **VOORWOORD**

Dit verslag behelst de rapportage van een project ter afronding van mijn studie Werktuigbouwkunde op het Poly Technic College. Het is een project dat gekozen is uit het eigen werkgebied, waarvan de huidige situatie breedvoerig wordt beschreven en waarvoor modellen ter verbetering worden aangedragen.

Het project gaat over analyse en mogelijke verbetering van de efficiëntie van een procesheater op de Staatsolieraffinaderij. Het is een industriële fornuis voor het verhitten van ruwe aardolie en aardoliederivaten tot een bepaalde gewenste temperatuur. Hierbij wordt er gebruikgemaakt van olie- en gasbrandstoffen om warmte in deze heater te genereren. Er is literatuurstudie en berekeningen gedaan om een beeld te krijgen van de huidige situatie van de heater. Vervolgens zijn er proeven gedaan om vast te stellen waar en hoe de efficiëntie van de heater te verbeteren.

Een bijzonder woord van dank gaat uit naar de project- en bedrijfsbegeleider respectievelijk dhr. J. Sital en dhr. M. Refos en de richtingscoördinator Werktuigbouwkunde, dhr. S. Bissessar, voor hun bijdrage en begeleiding bij het tot standkomen van dit verslag.

Paramaribo, februari 2013

L. Abauna

## SAMENVATTING

Dit verslag bevat informatie over het onderzoek naar efficiëntie en mogelijkheden ter verbetering van een procesheater op de Staatsolieraffinaderij te Dijkveld. In deze heater, de vacuüm heater, wordt ruwe aardolie verhit tot een gewenste temperatuur. Hierbij gaat een deel van de toegevoerde warmte verloren, wat zeer nadelig is voor het bedrijf.

De probleemstelling luidt: de vermoedelijk verslechterde efficiëntie van de vacuüm heater H-101 heeft tot gevolg een verhoging van de hieraan gerelateerde operationele kosten.

Het doel van het onderzoek is een analyse van de heatersefficiëntie en mogelijkheden aandragen ter verbetering hiervan om de bedrijfskosten te verminderen.

Er heeft een berekening plaatsgevonden van de huidige efficiëntie middels de directe en de indirecte methode. De berekening met de directe methode leverde een efficiëntie op van 64.2% en met de indirecte methode 62.0%. De ontwerpefficiëntie zoals aangegeven door de leverancier is 81.4%.

Na de efficiëntieberekening zijn er experimenten gedaan om na te gaan waar er verbeteringen aangebracht kunnen worden. Deze proeven hebben uitgewezen dat van alle invloedsparementers die aanwezig zijn, brandstof en luchttoevoer geoptimaliseerd kunnen worden. Het beste resultaat voor efficiëntie is 66%, bij een stand van 75% open voor de luchtklep en 1.8 bar voor stoom-nafta drukverschil.

De besparing op basis van naftabrandstof zal dan jaarlijks ongeveer US\$ 200.0000 oftewel 6% bedragen.

Als aanbeveling kan worden meegegeven dat de luchtklep bij de branders op een stand van 75 % moet zijn en de stoom-nafta drukverschil op 1.8 bar moet worden gehanteerd. Om dit resultaat te kunnen bereiken en te handhaven kan een combustion analyzer in de heaterstack gemonteerd worden om de verbranding beter te monitoren. Verder moeten afwijkingen als onnodige openingen aan de heaterwand en slechte refractory aangepakt worden, wanneer de heater uit bedrijf is.

## SUMMARY

This report consists of information regarding a process heater on the Staatsolie refinery at Dijkveld just near Paramaribo. It is a vacuum heater in which crude oil is being heated up before entering a vacuum distillation tower. The heat which is generated by burning naphtha and fuelgas is not fully absorbed by the process, but a great amount is wasted.

The problem case is questions about worsening of the heater efficiency which results in increasing operational costs.

The purpose of this report is to achieve the proper information regarding the efficiency of heater H-101, with the possibility for upgrading in order to minimize operating costs.

First a brief calculation of the efficiency has been made with the direct method and the indirect method. A value of 64.2% for the efficiency is found with the direct method and 62.0% with the indirect method. The design efficiency as found by the manufacturer is 81.4%.

After calculating the efficiency it was decided to do some experiment on the heater. This to find out which parameters can be used for upgrading the heater. It was found that a combination of the combustion air and the differential pressure between atomizing steam and naphtha can be kept at 1.8 bar and 75% open position for the best result. With this standing a maximum efficiency of 66% can be reached.

The cost savings during a year will be around US\$ 200.000 which is 6% less naphtha.

The best way to control and maintain the parameters on these settings will be possible with a combustion analyzer, which can be installed on the stack of the heater. Other abnormalities of the heater like unnecessary openings and a bad refractory have to be fixed during a shutdown.

# INHOUDSOPGAVE

## SAMENVATTING

## LIJST VAN SYMBOLEN

## LIJST VAN AFKORTINGEN

<b>1. INLEIDING</b>	<b>7</b>
<b>2. STAATSOLIE MAATSCHAPPIJ SURINAME NV.</b>	<b>9</b>
2.1 Het nut van energie voor Staatsolie	9
2.2 Visie en strategie van Staatsolie Maatschappij Suriname NV.	11
<b>3. VACUUM HEATER H-101</b>	<b>16</b>
3.1 Technische informatie	17
3.2 Warmteoverdrachtsvormen	18
3.3 Regeling van temperatuur	19
3.4 De branders van de heater	20
<b>4. HEATERSEFFICIËNTIE</b>	<b>22</b>
4.1 Methodes van efficiëntieberekening	22
4.2 Heaterefficiëntieberekening	25
<b>5. ROOT CAUSE ANALYSIS</b>	<b>31</b>
5.1 Verbrandingslucht	31
5.2 Het stoom-naftadrukverschil	33
5.3 De uitstootgassen	33
5.4 De refractory	34
<b>6. ONDERZOEK EN RESULTATEN</b>	<b>35</b>
6.1 De proef met lucht en stoom/naftadrukverschil	35
6.2 De resultaten	38
6.3 Resultatenanalyse	39
<b>7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>42</b>
<b>LITERATUURLIJST</b>	<b>43</b>
<b>Bijlage 1: Lijst van technische benamingen</b>	<b>44</b>
<b>Bijlage 2: Heater H-101 gegevens</b>	<b>45</b>
<b>Bijlage 3: Efficiëntieberekeningen</b>	<b>48</b>
<b>Bijlage 4: Grafieken</b>	<b>53</b>

## LIJST VAN SYMBOLEN

Symbol	Grootheid	Eenheid
$\eta$	Efficiëntie, rendement	%
Q	Warmtestroom	J/s, W
$C_p$	Soortelijke warmte	$\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
K	Warmtegeleidingscoëfficiënt	$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
A	Oppervlakte	$\text{m}^2$
H	Warmteoverdrachtscoëfficiënt	$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
$\epsilon$	Emissiviteit	-
$T_a$	Ambient air temperature	$^{\circ}\text{C}$
$T_f$	Flue gas temperature	$^{\circ}\text{C}$
GCV	Gross Caloric Value	$\text{KJ}/\text{kg}$
D	Diameter	m
X	Wanddikte/ verplaatsing in x-richting	m
$P_{lu}$	Luchtdruk in heater	$\text{mmH}_2\text{O}$
$\Delta P$	Drukverschil	Bar

## LIJST VAN AFKORTINGEN

Afkorting		Eenheid
M	Massa	kg
T	Temperatuur	$^{\circ}\text{C}$
GCV	Gross Caloric Value	$\text{KJ}/\text{kg}$
Ppm	Parts per million	-
AAS	Actual air supply	-
HOT	Heater outlet temperatuur	$^{\circ}\text{C}$
UT	Uitstootgassen temperatuur	$^{\circ}\text{C}$
WT	Wandtemperatuur	$^{\circ}\text{C}$

# 1. INLEIDING

De Staatsolie Maatschappij Suriname NV. is een bedrijf dat petroleumproducten produceert en verwerkt tot bruikbare eindproducten. Het bedrijf heeft een productiecapaciteit van 16000 barrels ruwe aardolie per dag en kan 7000 barrels per dag verwerken. De verwerkingsfaciliteit is de raffinaderij op Tout Lui Faut. Bij de verwerking wordt er gebruikgemaakt van energie door de ruwe olie te verhitten in heaters.

Bij deze verwerkingseenheid komt maar een deel van de toegevoegde warmte het proces ten goede. De drie heaters op de raffinaderij dienen eigenlijk voor het verhitten van de te verwerken grondstof tot een gewenste temperatuur. H-101 is de heater van de Vacuum Distillation Unit waarin ruwe aardolie verhit wordt van 260°C tot ongeveer 360°C. Hiervoor worden er brandstoffen gebruikt, waarbij een groot deel van de ontstane hitte verloren gaat in de vorm van verbrandingsgassen en lekkages. De probleemstelling luidt: de vermoedelijk verslechterde efficiëntie van de vacuümheater H-101 heeft tot gevolg een verhoging van de hieraan gerelateerde operationele kosten.

Het doel van het onderzoek is een analyse van de heatersefficiëntie en mogelijkheden aandragen ter verbetering hiervan om de bedrijfskosten te verminderen.

Dit probleem wordt veroorzaakt door warmte die verloren gaat als gevolg van:

- uitstootgassen met overmatige zuurstof;
- warmtewisseling met omgevingslucht;
- warmteopname van de refractory en andere materialen in de heater;
- openingen in de heaterwand waardoor koude lucht naar binnen stroomt;

Indien deze warmteverliezen verminderd kunnen worden, waardoor de efficiëntie kan worden verbeterd, is dat een behoorlijke vooruitgang. De kostenbesparing op jaarbasis die hiermee gepaard gaat is zeer voordelig voor het bedrijf.

De opdracht is het bepalen van de heatersefficiëntie en naar mogelijkheden zoeken voor verbetering, indien mogelijk.



De doelstelling van het project luidt: een analyse maken van de heatersefficiëntie en mogelijkheden zoeken ter verbetering hiervan om de operationele kosten te reduceren.

De kern van het verslag is verdeeld in zes hoofdstukken. Hoofdstuk 2 gaat over een introductie van het probleem en de locatie waar het voorkomt. Daarna volgt relevante informatie over de vacuumheater, en de werking ervan is uitgewerkt in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op het huidige rendement van de heater middels berekeningen. Hoofdstuk 5 bevat de mogelijke oorzaken die hebben geleid tot een verminderde efficiëntie van de vacuum heater. het zesde hoofdstuk gaat over onderzoek en resultaten ter verbetering van de efficiëntie. Tenslotte volgt een conclusie en aanbevelingen.

Bron: *Staatsolie magazine van 14 juni 2006*

R. J. Reed. (n.d.) *North American combustion handbook, Vol. I en II*. 3<sup>rd</sup> ed. North American Mfg. Co. Cleveland Ohio, 1997.

L. Drijerink en J. Uitzinger. *Energieverbruik in de industrie*, Ed. NL.1.0 oktober 2010.

## 2. STAATSOLIE MAATSCHAPPIJ SURINAME NV.

De Staatsolie Maatschappij Suriname NV. is een energiegenererend bedrijf dat door de exploratie en exploitatie van aardolieproducten een bijdrage levert aan de economische ontwikkeling van Suriname. Dit bedrijf is in 1980 opgericht en is sindsdien een groeiend oliebedrijf die niet meer weg te denken is in onze samenleving. Staatsolie wint aardolie in het district Saramacca en deze wordt geraffineerd op de raffinaderij te Tout Lui Faut. Het bedrijf heeft een productiecapaciteit van 16000 barrels ruwe olie per dag en kan 7000 barrels verwerken op de raffinaderij te Dijkveld. In paragraaf 2.1 wordt er ingegaan op het gebruik van energie in het algemeen en in 2.2 staan de visie en strategie van Staatsolie.

Deze informatie is gehaald uit het maandblad *Staatsolienieuws*, no 4, 2006.

### 2.1 Het nut van energie voor Staatsolie

Energie is een onmisbaar product in de wereld. Het is nodig om in leven te blijven en om bepaalde doelen te kunnen bereiken. Niet alleen levende wezens, maar ook motoren en andere apparaten hebben energie nodig om te kunnen draaien. Beschikbare energie moet dan ook op een adequate manier gebruikt worden, anders ontstaan er verliezen en onnodige aantasting en vervuiling van het milieu.

De meeste bedrijven streven naar maximale winst. Om dit te kunnen bereiken worden er doelen gesteld die nagestreefd worden.

Deze doelen moeten **SMART** zijn:

- ❖ Specifiek: er moet precies aangegeven worden wat de doelen zijn;
- ❖ Meerbaar: deze doelen moeten gemeten kunnen worden;
- ❖ Aceptabel: ze moeten te accepteren zijn;
- ❖ Realistisch: de doelen moeten haalbaar zijn;
- ❖ Tijdsgebonden: ze moeten aan een bepaalde tijd gebonden zijn.

Bron: *Energieverbruik in de industrie*, door L. Drijerink en J. Uitzinger.

Het doel van de toepassing van het SMART-principe is het bereiken van een betere energieprestatie.

De organisatie bekijkt regelmatig mogelijkheden voor verbetering en controleert de toepassing hiervan. De snelheid, omvang en tijdschaal van dit continue verbeterproces worden bepaald door de organisatie en hangen af van economische en andere praktische omstandigheden, zoals omvang van de organisatie, energie-intensiteit van de activiteiten en veranderingen in productie.

Voorbeelden van doelen zijn:

- ❖ Werkelijke energiebesparing binnen gedefinieerde gebieden, zoals vermindering van stoomlekkages.
- ❖ De introductie van nieuwe energiebesparende technologieën zoals het hergebruiken van warme uitstootgassen.
- ❖ Training, bewustzijn en motivatie van medewerkers om onnodige verspilling van energie te voorkomen.
- ❖ Verbeteren en uitbreiden van controlerende mechanismen om energieverliezen te beperken.
- ❖ Ontwikkelen en toepassen van nieuwe procedures en werkinstructies.

Energieverbruik is een zeer kostbaar aspect geworden in de wereld. Dit omdat het gebruiken van fossiele brandstoffen om energie op te wekken drastisch aan het toenemen is en derhalve voor aantasting van de ozonlaag zorgt. Dit brengt met zich mee dat de prijs van fossiele brandstof omhooggaat en het gebruik hiervan dus op een efficiënte manier moet gebeuren om bedrijfskosten laag te houden.

Hernieuwbare brandstoffen zijn nog lang niet genoeg om bedrijven en grote industrieën te kunnen draaien. Daarom is het niet nodig om over te stappen op machines die hierop werken. De focus is op de fossiele brandstof, maar het gebruik daarvan moet zodanig beheerst worden dat het bedrijf geen verlies lijdt.

Milieuorganisaties pleiten voor een schoner milieu door het verminderen van kooldioxide-uitstoot en het bevorderen van hernieuwbare brandstoffen. Ze krijgen hierbij steun van de overheden die met strenge milieuwetten komen.

Het gebruiken van duurzame energie en het toepassen van energiezuinige maatregelen vormen dus de beste manier om de schade aan onze planeet te verminderen. Dit is belangrijk in ons dagelijks leven, maar ook in de industrie en de zakelijke wereld. Energiezuinigheid in de industrie, of

totale zelfvoorziening door hernieuwbare bronnen, leidt niet alleen tot een beter milieu maar kan ook leiden tot meer winst voor bedrijven. Dit als gevolg van lagere energiekosten en een efficiënter proces. In paragraaf 2.2 wordt nagegaan hoe een efficiënt gebruik van energie in brandstoffen kostenbesparend kan zijn voor een bedrijf, in dit geval de Staatsolie-raffinaderij.

## **2.2 Visie en strategie van Staatsolie Maatschappij Suriname NV.**

Volgens haar 2020 vision, wil Staatsolie een leidende rol spelen bij de duurzame ontwikkeling van Suriname's energie-industrie. Ook wil zij een belangrijke rol spelen op het gebied van de olie- industrie in de regio met een onmiskenbare identiteit en daarbij een wezenlijke bijdrage leveren aan de Surinaamse samenleving.

Belangrijke strategische doelen uit de Staatsolie vision 2020 zijn:

- ❖ Uitbreiden van het productenassortiment.
- ❖ Het verdubbelen van de verwerkingscapaciteit van de raffinaderij naar 15000 barrels per dag tegen 2014 en het produceren van producten met een hoge kwaliteit voor de lokale markt.
- ❖ Het constant houden van de onshoreproductie op 16000 barrels per dag.
- ❖ Het vinden van nieuwe onshorereserves om het productieniveau van 16000 barrels per dag te kunnen handhaven.
- ❖ Het bevorderen van het opleidingsniveau en expertise van haar werknemers.
- ❖ Verdere ontwikkeling naar een bedrijfsorganisatie die voldoet aan de industriële standaarden.

Staatsolie heeft in het jaar 2012 de aardolieproductie opgevoerd van 10000 naar 16000 vaten per dag. Hiermee gaat de complete vernieuwing van de raffinaderij gepaard. De nieuwe plant zal een verwerkingscapaciteit hebben van 15000 vaten ruwe olie per dag. De resterende 1000 vaten zullen worden gebruikt om speciale mengsels te maken of om ruw te worden verkocht.

De eindproducten zullen zijn: Gasoline  
Diesel  
Stookolie

Hierdoor zal het bedrijf in nagenoeg 90 % van de lokale behoefte aan brandstof voorzien. Dit zal leiden tot een deviezenbesparing voor ons land. Tevens zullen er meer arbeidsplaatsen ontstaan door deze uitbreiding.

### *2.2.1 De raffinaderij*

De raffinaderij van Staatsolie ligt op Tout Lui Faut en heeft een capaciteit van ongeveer 7000 vaten per dag. Hier wordt de ruwe olie verwerkt tot halffabricaten en eindproducten en is tevens de locatie waar de klant zijn product komt halen.

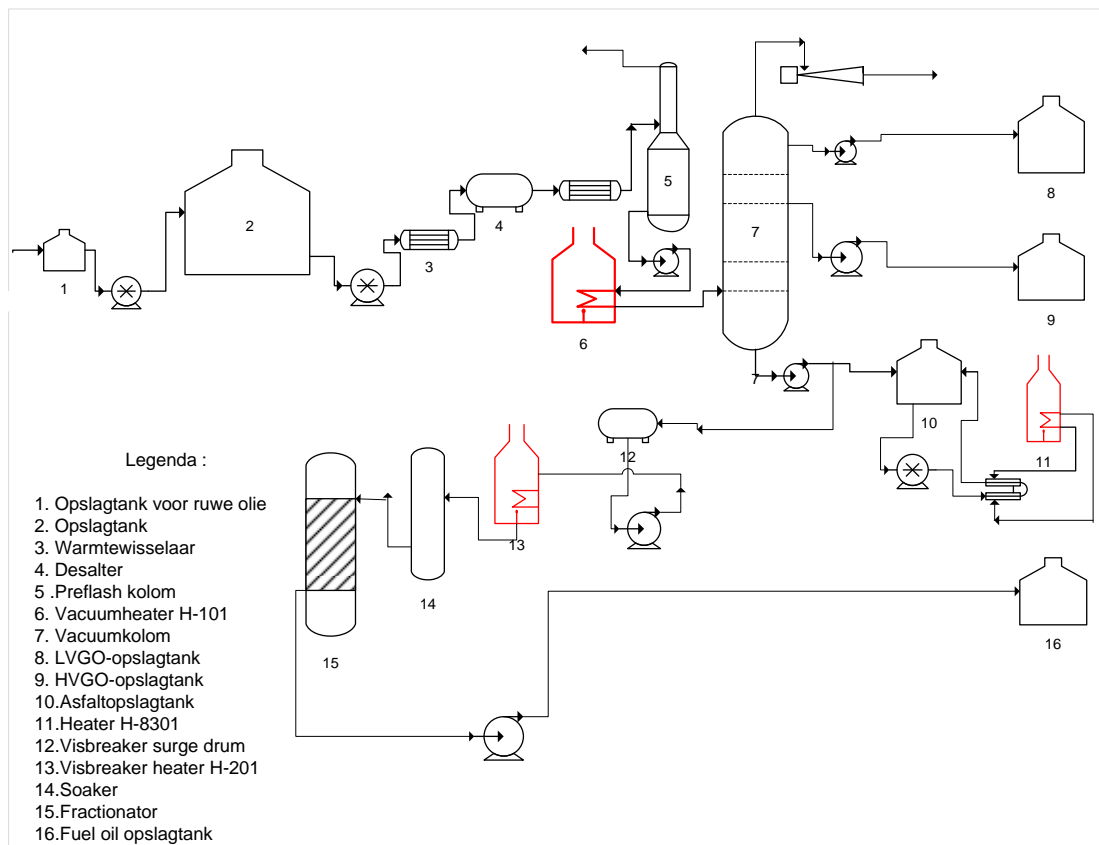


Figuur 1: De Staatsolie-raffinaderij te Dijkveld.

### *2.2.2 Het proces in de raffinaderij*

Staatsolie beschikt over een raffinaderij op Dijkveld waar er volledige raffinage plaatsvindt van de ruwe aardolie uit de bronnen in Saramacca. De verwerkingscapaciteit van deze raffinaderij is 7000 vaten per dag.

De ruwe olie wordt van Saramacca via een 55 km lange pijplijn verpompt naar de raffinaderij. Als het watergehalte voldoet aan de gestelde eisen ( BSW <1 % ) wordt de olie verder verpompt naar de Vacuum Distillation Unit ( VDU ) voor verwerking. Het verloop is te zien in figuur 2.



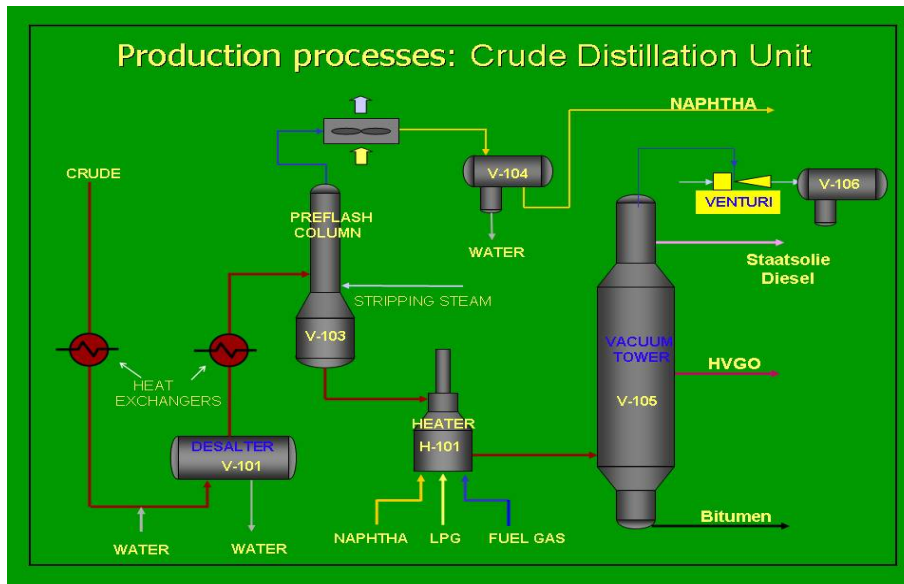
Figuur 2: Het procesverloop in de raffinaderij

In de VDU, te vinden in figuur 2 item 4 t/m 7, vindt eerst warmteopname plaats in de warmtewisselaars E-101 en daarna E-102. Hierna wordt de olie met water gemengd en komt dan via een static mixer in de Desalter V-101 terecht. In de Desalter wordt de olie ontdaan van zouten, door gebruik te maken van de oplosbaarheid van zouten in water. De olie vervolgt zijn weg door warmteopname in de warmtewisselaars E-105 en E-106. Het hete product waaraan warmte wordt onttrokken komt van de vacuümkolom. Deze warmte is restwarmte verkregen uit de heater H-101. De inmiddels hete olie komt vervolgens in de preflash kolom, waarin er middels stripping met stoom een partiële druk wordt gecreëerd om de lichte deeltjes eruit te strippen. De restolie wordt verpompt via de pijplijn door een fornuis, heater H-101, om verhit te worden tot ongeveer 360°C. Daarna stroomt het in de vacuümkolom. De vacuümdruk in deze kolom zorgt ervoor dat de binnenstromende olie grotendeels direct gaat koken.

De op deze manier ontstane damp stijgt in de kolom. In de bovenste compartimenten vindt er condensatie plaats van de delen die beneden hun kookpunt zijn gekomen. Er vindt dan aftapping van deze soort plaats op deze hoogte. Andere moleculen in dampvorm stijgen door naar boven

en condenseren op de plaats waar de temperatuur lager is dan het kookpunt. Hier vindt dan aftapping van deze soort olie plaats.

Op deze manier wordt diesel afgetapt in het bovenste compartiment van de kolom. Onder dit compartiment vindt aftapping plaats van HVGO, een halffabrikaat en daarna van slop wax, ook een halffabrikaat en als laatste asfalt. Figuur 3 toont een goede afbeelding van het procesverloop in de VDU- unit.



Figuur 3: Procesverloop in VDU

Asfalt is een product dat bestaat uit zware moleculen. Deze moleculen vallen direct naar de bodem bij binnenkomst in de kolom.

### 2.2.3 De heaters

Heaters zijn machines waarin materialen worden verhit tot heel hoge temperaturen. Gelet op de manier van verhitting kunnen heaters onderscheiden worden in:

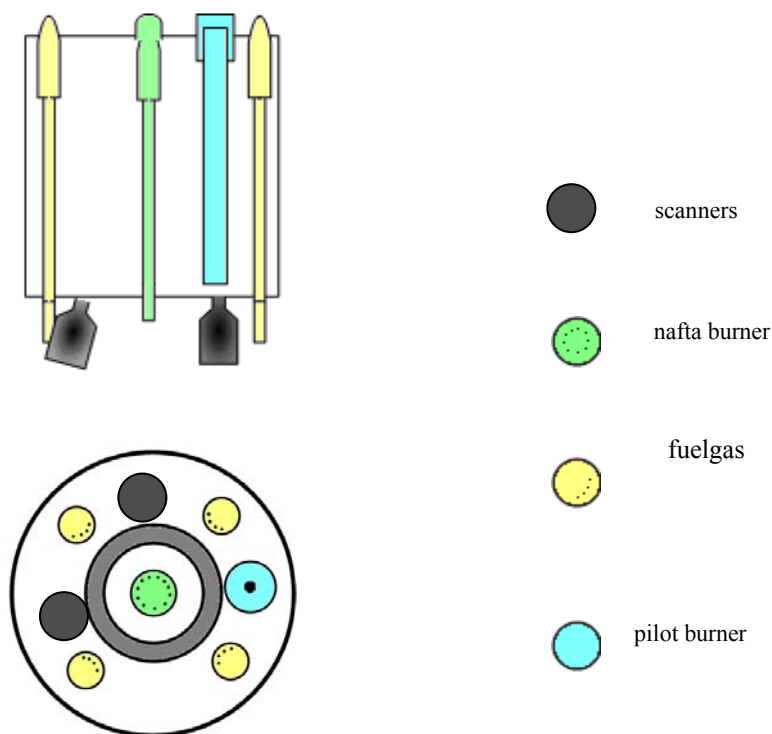
- ❖ Brandstofheaters, waarin vaste of vloeibare brandstoffen of gas gebruikt wordt als brandstof.
- ❖ Elektrische heaters, waarin elektriciteit wordt gebruikt om hitte te genereren.

De vacuumheater zit in de Vacuum Distillation Unit en zorgt voor het verhitten van de binnenkomende stof tot een temperatuur van rond de 360°C.

Het nadelige van een heater is dat er meestal veel energie verloren gaat in de vorm van warmte. Heaters zijn eigenlijk procesapparaten die verreweg de meeste energie gebruiken in een olie-raffinaderij. De warmte die in zo'n heater ontwikkeld wordt komt niet helemaal ten goede aan

het proces waarvoor het eigenlijk bedoeld is. Een groot deel gaat verloren in uitstootgassen, wandverhitting, uitstraling en overmatig zuurstof. Een constante meting van overmatig zuurstof en verbrandingsgassen in de heaterstack geeft een informatie van de efficiëntie van de heater weer.

De vacuüm distillation unit beschikt over een heater die energie in de vorm van warmte opwekt. Deze heater beschikt over branders, zie figuur 4, die olie- en gasbrandstoffen gebruiken om warmte op te wekken die aan het proces wordt toegevoerd.. Hierbij vindt de warmteoverdracht plaats door straling en convectie.



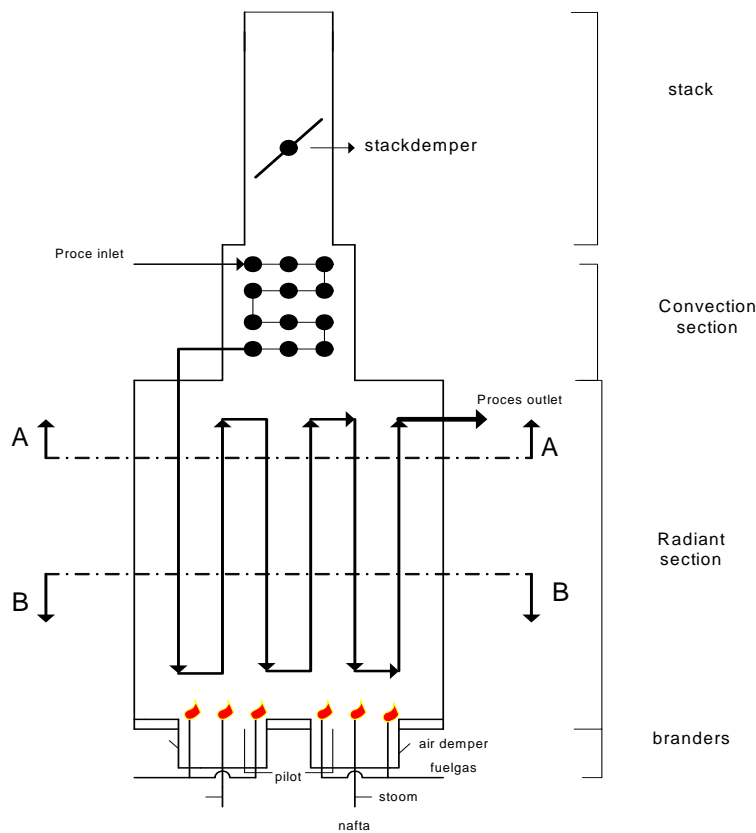
Figuur 4: Brander met brandstofstromen



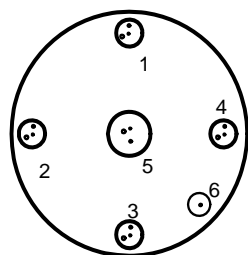
### 3. VACUUM HEATER H-101

Deze heater bevindt zich in het vacuum distillation unit en vormt een zeer belangrijk onderdeel van het raffinageproces. De meeste warmtetoevoeging aan de ruwe olie vindt plaats in de heater. Na enkele warmtewisselaars te zijn gepasseerd, waarin voorverwarming plaatsvindt en stripping van lichte nafta middels partiële druk in de preflash kolom, komt de ruwe olie met een temperatuur van 270°C de heater binnen. Hierin vindt verhitting tot ongeveer 360°C - 370 °C plaats.

In 3.1 wordt technische informatie van de heater beschreven, paragraaf 3.2 bevat de warmteoverdrachtsnormen en 3.3 gaat over de regeling van de temperatuur in de heater.

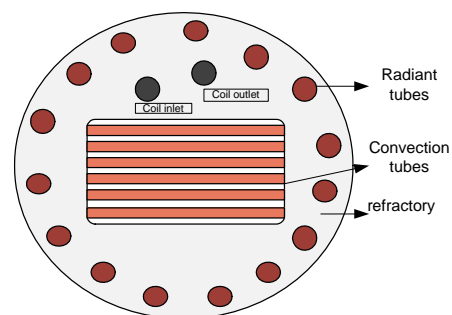


Figuur 5: Heater met processtroom



- 1,2,3 en 4: fuelgas branders
- 5: nafta brander
- 6:pilot

Figuur 6a: Doorsnede B-B



Figuur 6b: Doorsnede A-A

### 3.1 Technische informatie

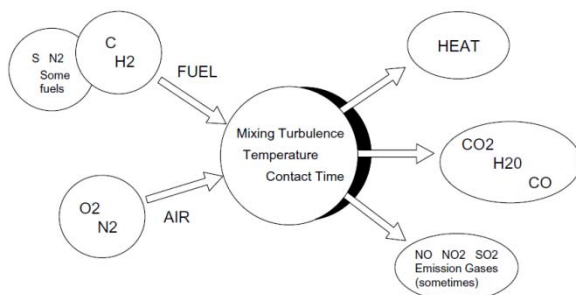
De heater, de H-101, is gefabriceerd door Lit Win in Italië en in delen naar Suriname getransporteerd. Het is een cilindrische heater met vier branders. Elke brander heeft een aparte gastip en een olie ( nafta ) tip, zie figuur 6a. Er zijn ook vier pilots, waakvlammen, die branden op lpg ( liquified petro-leum gas), bij elke brander. Deze waakvlammen worden gebruikt om de branders aan te steken.

De heater bestaat uit een convectiegedeelte waar de oliepijp ingaat en de radiant gedeelte, zie figuur 5. In de convectiegedeelte, duidelijk in figuur 6b, vindt verwarming plaats door de uitlaatgassen en in de radiantgedeelte wordt de olie verhit door straling van de vlammen. Voor verstuiving van de nafta wordt stoom gebruikt. De vlammen bereiken soms een hoogte van 4.5 meter en een diameter van 0.7 meter. De heater kan per uur 60625 kg ruwe olie verhitten tot een temperatuur van 404°C.

Uiteraard gaat een heleboel van deze toegevoegde warmte verloren in de vorm van verbrandingsgassen en ongewenste openingen in de heaterwand.

Een groot nadeel hiervan is dat deze verbrandingsgassen zorgen voor milieuverontreiniging en klimaatveranderingen. De ozonlaag wordt namelijk sterk aangetast door kooldioxide die hierbij ontstaat.

Maar ook het verlies aan warmte is economisch bekeken zeer nadelig voor het bedrijf. Daarom probeert elk bedrijf deze verliezen te minimaliseren door de efficiëntie van zo'n heater te verbeteren. De efficiëntie houdt in dat de ontwikkelde warmte zo nuttig mogelijk wordt gebruikt. De andere verbrandings-producten die daarbij ontstaan zijn overbodig en ongewenst, omdat ze de warmte meenemen. Figuur 7 laat zien welke producten er ontstaan bij verbranding van fossiele brandstof.



Figuur 7: Verbrandingsdiagram

### 3.2 Warmteoverdrachtsvormen

Warmte is een vorm van energie, die overgebracht kan worden door middel van:

- **conductie** (geleiding): energietransport van deeltjes met hoge energie naar deeltjes met lage energie. De deeltjes zelf staan stil. Conductie komt zowel bij vaste stoffen als bij vloeistoffen en gassen voor.
- **convectie** (stroming): energietransport van vaste stoffen naar vloeistoffen/gassen die langs de vaste stof stromen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen natuurlijke convectie en gedwongen convectie. Het convectieproces bestaat onder andere uit conductie.
- **radiatie** (straling): energietransport door middel van elektromagnetische straling.

Voor de verschillende manieren van warmtegeleiding gelden de formules in tabel 3.

Tabel 3: Warmteoverdrachtsvormen

Mechanisme	Formule
Conductie	$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta X} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X}$ (Wet van Fourier)
Convectie	$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$ (Wet van Newton)
Radiatie	$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s(T_s^4 - T_{surr}^4)$ (Wet van Stefan-Boltzmann als $\epsilon=1$ )

Al deze drie vormen van warmteoverdracht vinden plaats in de heater. Ten eerste vindt overdracht plaats middels geleiding door de vaste materialen als pijplijn en verder door gassen en vloeistoffen.

Convectie oftewel stroming vindt plaats in het bovenste gedeelte van de heater, dat men daarom “convection section” noemt en warmteoverdracht door radiatie oftewel straling vindt plaats in het vlamgebied van de heater. Het zijn hier de vlammen die voor de nodige stralingswarmte zorgen. In figuur 5 wordt dit gebied aangeduid met de naam “radiant section”.

De warmtewisseling in de heater vindt plaats op een indirecte manier. De vloeistof stroomt in buizen waarbij de vuurvlammen via de pijpwanden warmte afstaan aan de vloeistof. De buizenconstructie heeft ongeveer hetzelfde patroon als een shell en tube heat exchanger: een zo groot mogelijk oppervlak in een kleine ruimte zodat de overdracht van warmte efficiënt is.

In figuur 8 is duidelijk te zien dat de bedoeling van de pijpkronkelingen is om zoveel mogelijk oppervlakte in een kleine ruimte te creëren. Op grond hiervan kan dus gesteld worden dat de heater, H-101, ook een soort warmtewisselaar is.

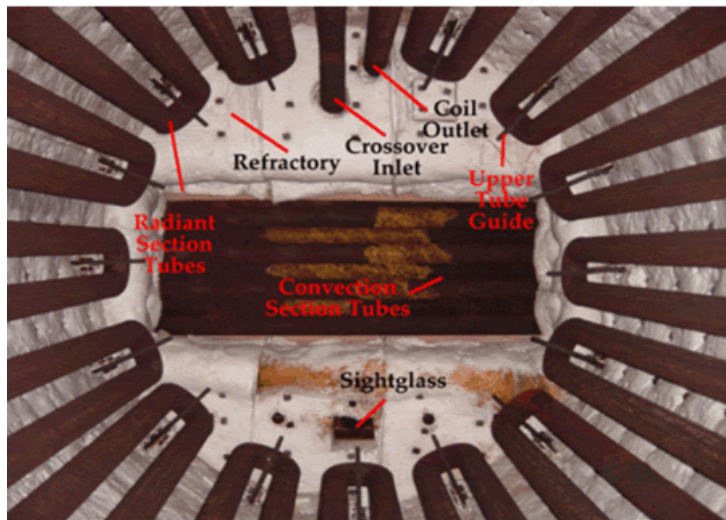


Fig. 8: Internal van de heater met radiant en convection buizen

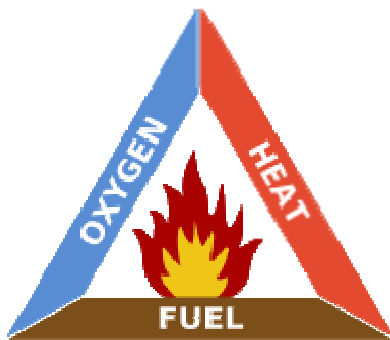
In een procesheater zorgen niet alleen de vlammen voor warmteoverdracht, maar ook de verbrandingsgassen. Deze spelen een grote rol bij warmteoverdracht in het bovenste gedeelte ( de convection section ) van de heater. Daarom is een te hoge temperatuur van uitstootgassen in de stack een maat voor lage efficiëntie in een heater. De temperatuur mag ook niet te laag zijn, omdat condensatie van verbrandingsproducten voor corrosie in de stack kan zorgen.

### 3.3 Regeling van temperatuur

Uit de branddriehoek ( figuur 9 ) volgt dat er voor een goed verbrandingsproces drie factoren in de juiste verhouding moeten voorkomen. Deze factoren zijn zuurstof, brandmateriaal en de ontstekingstemperatuur. De heaters op de raffinaderij gebruiken als brandstof lpg gas, fuelgas en nafta.

De vacuum heater heeft vier branders, waarvan elk bestaat uit een nafta tip en vier fuelgas tips en een pilot voor het aansteken van de vlam. Uit de fuelgas tip komt gas dat spontaan verbrandt. De nafta daarentegen is vloeibaar en moet dus verstoven worden alvorens die gaat verbranden. Hiervoor wordt stoom gebruikt, waarbij er een zeker drukverschil moet gelden. Dit drukverschil van stoom en nafta is zeer belangrijk voor het effect van de vlam.

Figuur 9 toont ons een branddriehoek. Hier is duidelijk te zien dat verbranding pas op gang komt als er zuurstof, een brandbare stof en de juiste ontstekings temperatuur bereikt is.



Figuur 9: De branddriehoek

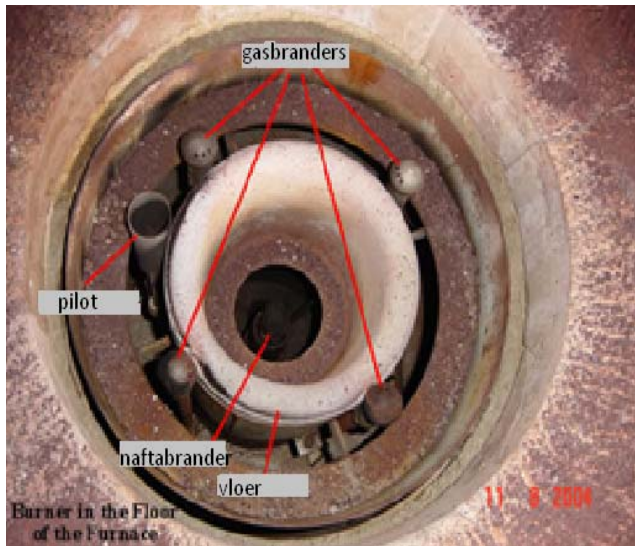
Zuurstof die nodig is voor verbranding wordt door de negatieve druk in de heater via openingen aan de onderzijde aangezogen. De hoeveelheid lucht kan manueel geregeld worden, doordat deze via een regelbare klep gaat naar de brander.

De belangrijkste parameter waarop men dient te letten bij de heater is de procesuitgangstemperatuur. De regeling van de temperatuur vindt plaats door controle van de twee brandstoffen. De operator beschikt over de mogelijkheid om òf de nafta- òf de fuelgasregelklep op automatische regeling te zetten. Als een van de brandstoffen op automatische regeling is, dan is de andere op handmatige bediening. De ene op automode leest de temperatuur en houdt die dan op de afgestelde waarde.

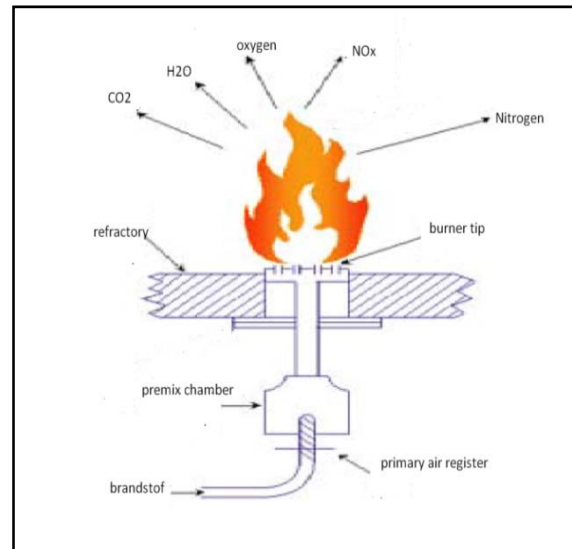
### 3.4 De branders van de heater

Een brander is een mechanisme waarin een of meerdere brandstofsoorten met lucht in de juiste verhouding wordt gemengd om een volledige verbranding te krijgen. Gasbrandstoffen kunnen door hun aggregatietoestand makkelijk met lucht gemengd worden in de juiste verhouding, maar oliebrandstoffen moeten eerst verneveld worden zodat ze gemengd kunnen worden.

In de vacuum heater zijn er vier branders waarvan elk twee soorten brandstof gebruikt, namelijk nafta en fuelgas. Er is nog een onafhankelijk systeem om de brander aan te steken. Dit systeem gebruikt LPG (Liquified Petroleum Gas ) voor de ontsteking. Het wordt na het aansteken van de brander uitgemaakt of aangelaten als waakvlam.



Figuur 10a: Een brander



Figuur 10b : Brandervlam

Figuur 10a toont een goede afbeelding van een brander. In het midden is de naftatip en het fuel-gas heeft vier tips in een rechthoekig patroon. De LPG is ook aan de zijkant van de brander. De brander geeft een gele tot kleurloze vlam.



Figuur 11a: Gas tip



Figuur 11b: Nafta tip.

De warmte die ontstaat als gevolg van het verbranden van de twee brandstofsoorten is enorm. Die is in staat om de grondstof op de gewenste temperatuur te brengen. Bij deze heater vindt er wel hergebruik van warmte plaats. De warmte van het bodemproduct wordt gebruikt om de binnenstromende ruwe olie op te warmen. Dat gebeurt in warmtewisselaars voordat de ruwe olie naar het fornuis gaat.

## 4. HEATERSEFFICIËNTIE

Heatersefficiëntie is een zeer belangrijke aspect bij het bedienen van een heater. De heater moet met zo min mogelijk brandstof de juiste warmte aan het proces kunnen leveren. Hierdoor zijn er bepaalde parameters die onder controle gehouden moeten worden.

Bij de berekening van de efficiëntie van heaters let men op enkele belangrijke zaken:

- ❖ warmteverlies in uitstootgassen,
- ❖ warmteverlies door opname door de heaterwand,
- ❖ warmteverlies door warmtewisseling met de buitenlucht,
- ❖ warmteverlies door binnenstromende koude lucht.

In paragraaf 4.1 worden de verschillende methodes van efficiëntieberekening behandeld, paragraaf 4.2 bevat informatie over de huidige staat van de heater H-101.

Voor het verzamelen van de informatie ter berekening van de heatersefficiëntie is er gebruikgemaakt van: *North American Combustion handbook, Volume I en II* en stencils van ABB Lumus Global.

De directe en indirecte methode van berekening zijn gehaald uit *API Recommended Practice 532*. Dit is een erkende Noord-Amerikaanse norm voor het berekenen van heatersefficiëntie.

### 4.1 Methodes van efficiëntieberekening

Berekening van de warmteverliezen in heater H-101, geeft een benaderde weergave van de efficiëntie van de heaters weer. De juiste definitie van efficiëntie is de verhouding van de nuttig gebruikte warmte en de toegevoerde warmte. De twee manieren waarop de efficiëntie berekend kan worden zijn de directe en de indirecte methode

#### De directe methode:

$$\text{Efficiëntie } \eta, \% = \left( \frac{\text{nuttige warmte}}{\text{toegevoerde warmte}} \right) \times 100\% \quad (\text{vergelijking 4.1})$$

waarbij: *nuttige warmte* = de door het proces opgenomen warmte;

*toegevoerde warmte* = de bruto toegevoerde warmte door het verbranden van de brandstoffen.

De door het proces opgenomen warmte kan berekend worden door de massa van het product te vermenigvuldigen met de soortelijke warmte van de stof en het verschil in temperatuur bij binnenkomen en verlaten van de heater.

$$: Q_{opg} = m \times C_p \times (t_2 - t_1) \quad (\text{vergelijking 4.2})$$

Waarbij,

$Q_{opg}$  = opgenomen warmte in kJ/kg,

$m$  = massa van de voeding in kg

$C_p$  = soortelijke warmte in kJ/kg °C,

$t_2$  = voeding uitlaattemperatuur in °C,

$t_1$  = voeding inlaattemperatuur in °C.

De toegevoerde warmte is de ontstane warmte als gevolg van het verbranden van de beschikbare brandstoffen. Die wordt verkregen door de massastroom van de vloeistof te vermenigvuldigen met de verbrandingswarmte van die soort brandstof:

$$Q_{toegevoerd} = m \times Q_{vrbr} \quad (\text{vergelijking 4.3})$$

Waarbij:

$Q_{toegevoerd}$  = toegevoerde warmte

$M$  = massa brandstoffen

$Q_{vrbr}$  = verbrandingswarmte

Substitutie van de vergelijkingen 4.2 en 4.3 in vergelijking 4.1 levert het volgende resultaat op voor de efficiëntie:

$$\eta = \frac{m \times C_p \times (t_2 - t_1)}{m \times Q_{vrbr}} \times 100\% \quad (\text{vergelijking 4.4})$$



## De indirecte methode

De indirecte methode houdt in dat de waarden van alle warmteverliezen samen opgeteld worden en daarna afgetrokken van honderd procent. De grootste verliezen zijn nl. bij:

- ❖ uitstootgassen,
- ❖ openingen aan de heaterwand,
- ❖ uitstraling aan het heateroppervlak.

De uitstootgassen bestaan uit verbrandingsgassen zoals waterdamp, kooldioxide en andere gassen, deeltjes die door de warmte opstijgen en gassen als gevolg van onvolledige verbranding, zoals koolmonoxidegassen. Dit alles gaat door de stack oftewel schoorsteen. Hierdoor verdwijnt een groot deel van de warmte. Hier liggen de grootste warmteverliezen van de heater.

Nadat de warmte in de uitstootgassen is overgedragen, hebben deze nog ongeveer 50% warmte in zich. De afgegeven 50% noemt men de beschikbare warmte. Hiervan komt een deel terecht bij de wanden en andere pijpleidingen in de heater. Het restant wordt dan opgenomen door het proces.

Het voorkomen van koolmonoxide is een indicatie van onvolledige verbranding. Behalve het feit dat dit gas giftig is, kan door zijn ontstaan de warmteoverdracht niet optimaal plaatsvinden. De warmteontwikkeling bij onvolledige verbranding is heel gering. Daarom wordt er vanuit gegaan dat de aanwezigheid van koolmonoxide in de uitstootgassen de efficiëntie drastisch omlaag brengt. Beheersing hiervan kan de efficiëntie optimaliseren.

Openingen in de heaterwand leiden tot sterke uitstraling van warmte naar buiten. Hierdoor gaat dus een deel van de ontwikkelde warmte verloren. Deze warmte zou dus aan het proces toegevoegd kunnen worden, maar helaas stroomt die weg.

Warmteopname door de heaterwand is een proces dat continu aan de gang is. Dit gebeurt doordat de opgenomen warmte door geleiding wordt getransporteerd naar de minder warme delen van de heaterwand. Indien de warmte de uiterste buitenwand heeft bereikt, wordt deze aan de omringende buitenlucht afgegeven. De hoeveelheid afgegeven lucht wordt vervangen door dezelfde hoeveelheid warmte aan de binnenkant van de heater en zo gaat het door.

Bij de calculatie van de efficiëntie door middel van de indirecte methode worden de volgende warmteverliezen berekend:

- ❖ overmatige lucht,
- ❖ warmteverliezen nodig om vocht in brandstof te verdampen,
- ❖ warmte nodig om gevormd water te verdampen,
- ❖ warmteverliezen door opening aan de heaterwand
- ❖ warmteverlies door de wand.

## 4.2 Heatterefficiëntieberekening

Deze paragraaf handelt over de ontwerpefficiëntie en de efficiëntieberekening van de heater. In paragraaf 4.2.1 wordt ingegaan op de ontwerpefficiëntie zoals die aangegeven is door de ontwerper van de heater. Paragraaf 4.2.2 gaat over de efficiëntieberekening middels de directe methode en paragraaf 4.2.3 gaat over de berekening middels de indirecte methode.

Bron: API RP 532, *Determining of efficiencies of heaters*. 1<sup>st</sup> ed. Washington D.C. 1982.

### 4.2.1 Ontwerpefficiëntie

Volgens de fired heater data sheet in bijlage 2 tabel 11, bedraagt de ontwerpefficiëntie van de heater 81.35%. Deze berekening is gecontroleerd middels de directe methode, vergelijking 4.1.

Heat release is de toegevoerde warmte en die is 8780 kW. De berekening die hier toegepast wordt is tevens te vinden in bijlage 3.

In deze paragraaf wordt ingegaan op de status van de heater, H-101. De efficiëntie van de heater wordt met de verschillende methoden berekend. In subparagraaf 4.2.2 is de berekening middels de directe methode en in subparagraaf 4.2.3 is er berekend middels de indirecte methode.

Na de theoretische informatie te hebben verzameld volgt een onderzoek naar de huidige conditie van de heater. Gegevens werden zowel in de controlekamer als op het veld bij de heaters geregistreerd.

De gegevens van de heater op dit moment zijn als volgt:

Voeding	56700 kg/hr
Inlaattemperatuur	264°C
Uitlaattemperatuur	368°C
Fuelgas flow	200 kg/hr
Verbrandingswarmte fuelgas	45381 kJ/kg
Nafta flow	380 kg/hr

Verbrandingswarmte nafta	44317 kJ/kg
Soortelijke warmte crude $C_p$	2,8 kJ/kg.°C
Overmatige zuurstof	3 – 4%
Temperatuur uitstootgassen	308 °C

De huidige efficiëntie van heater H-101 kan dan bepaald worden met de directe of de indirecte methode.

#### 4.2.2 Berekening huidige efficiëntie middels de directe methode

De directe methode is het bepalen van de efficiëntie door de energie van de brandstof per massa eenheid van het door de heater verwerkte product te meten. De energie in het product kan berekend worden met vergelijking 4.2.

De soortelijke warmte is bepaald met behulp van een formule uit “Hydroprocessing of heavy oils and residua, CRC Press, by Speight, J and Ancheyta, J, ed. 2007 ”:

$$C_p = \text{Specific heat (soortelijke warmte)} = \frac{1}{\sqrt{d}} [0.402 + 0.00081t] \text{ (vergelijking 4.5)}$$

Waarbij d= specific gravity (soortelijke gewicht) bij 15°C,

t = temperatuur in °C.

Soortelijk gewicht van de Saramacca crude ( d) is  $0.93 \text{ kg/m}^3$

Gemiddelde t = 300 °C.

$$C_p = \frac{1}{\sqrt{0.93}} [0.402 + 0.00081 \cdot 300] = 0.67 \text{ kCal/kg.}^\circ\text{C} = 2.8 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

De gevonden waarde van de soortelijke warmte substitueren in vergelijking 4.1 levert een efficiëntie van 64.2%.

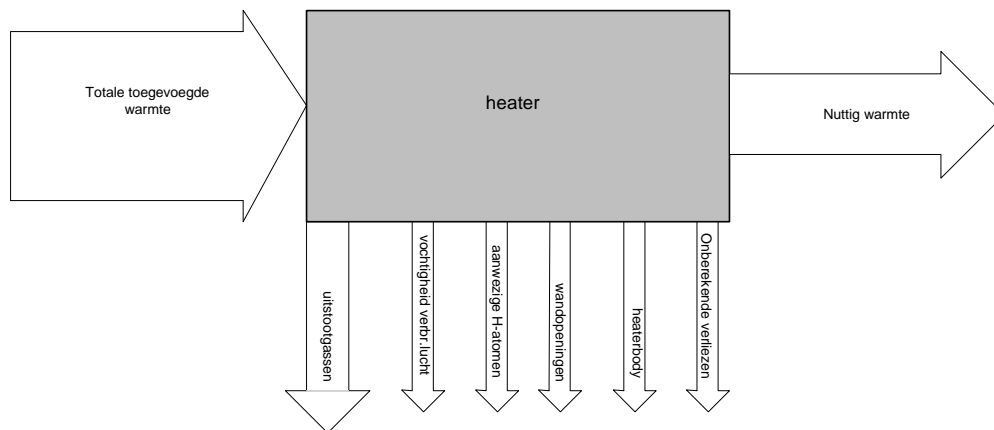
Detailberekening is te vinden in bijlage 3.

#### 4.2.3 Berekening huidige efficiëntie middels de indirecte methode

Er is ook gekozen om de berekening te doen middels de indirecte methode. Deze houdt in het berekenen van de afzonderlijke warmteverliezen die zich in de heater voordoen en de som

aftrekken van 100%. Hiertoe behoren de verliezen die ontstaan als gevolg van onvolledige verbranding, uitstraling en uitstootgassen.

De indirecte methode biedt tevens de mogelijkheid om de verschillende warmteverliezen afzonderlijk te evalueren en te kijken waar er aanpassingen aangebracht kunnen worden. Bij de bepaling van warmteverliezen wordt er meestal gebruikgemaakt van de American Society of Mechanical Engineers, ASME, Performance Test Code.



Figuur 12: Schema van warmteafvoer

Figuur 12 toont welke vormen van warmteverliezen er voorkomen bij de indirecte methode. Achtereenvolgens zijn dat warmteverliezen door:

1. uitstootgassen oftewel sensible heat losses,
2. luchtvochtigheid,
3. de vorming van water uit H-atomen, aanwezig in brandstof,
4. warmteopname door de heaterwand en
5. lekkage door openingen.

#### *ad 1: Uitstootgassen*

Uitstootgassen zijn de verbrandingsgassen die uit de stack komen. Hierin zitten de verbrandingsproducten en overmatige lucht die de warmte in de atmosfeer meenemen. De uitstootgassen veroorzaken het grootste deel van de warmteverliezen. De grote boosdoener hier is de koude lucht die alsnog verwarmd moet worden voordat die deelneemt aan het verbrandingsproces en de overmatige lucht die de garantie biedt dat er volledige verbranding plaatsvindt in de heater. De berekening hiervan geschiedt door, middels de overmatige lucht, theoretisch de lucht voor de desbetreffende brandstof te bepalen.

$$\frac{m \times C_p \times \Delta T}{GCV} \times 100\% =$$

$$\% \text{ heat loss in uitstootgassen fuelgas} = \frac{19 \times 1 \times (308 - 27)}{45381} \times 100\% = 12 \%$$

$$\% \text{ heat loss in uitstootgassen nafta} = \frac{20.4 \times 1 \times (308 - 27)}{44317} \times 100\% = 13 \%$$

Waarbij ,

$$m \times C_p \times \Delta T = \text{vergelijking 4.2}$$

GCV = gross caloric value oftewel verbrandingswaarde.

Total sensible heat loss wordt dan  $12 + 13 = 25 \%$

Op deze manier is de waarde van  $25 \%$  verkregen voor de uitstootgassen. De detailberekening is te vinden in bijlage 2.

#### *ad 2: Luchtvochtigheid*

Als er over luchtvochtigheid gesproken wordt, wordt hiermee bedoeld de hoeveelheid waterdamp die aanwezig is in een bepaalde hoeveelheid lucht. Deze hoeveelheid waterdamp neemt ook een deel van de warmte op. De mate van warmteverlies door luchtvochtigheid wordt bepaald met de formule:

$$\frac{AAS \times \text{humidity} \times 0.45 (T_f - T_a)}{GCV} \times 100\% , \quad (\text{vergelijking 4.6})$$

waarbij :

AAS: actual air supply.

Humidity: luchtvochtigheidsgraad.

$T_f$  : eindtemperatuur.

$T_a$  : omgevingstemperatuur.

#### *ad 3: Vorming van H-atomen*

De opbouw van de brandstoffen die in de heater gebruikt worden, bestaat uit een groot aantal H-atomen en C-atomen. De H-atomen vormen na verbranding met de aanwezige O-atomen een andere stof, namelijk  $H_2O$ , water. Dit water neemt ook een deel van de warmte in zich op om in dampvorm te blijven. De hoeveelheid warmte die hiermee gepaard gaat is verloren warmte.

#### *ad 4: Warmteopname door de heaterwand*

Opname van warmte door de heaterwand is ook belangrijk. De wand neemt een hoeveelheid warmte op via de refractory om die aan de omgeving af te staan. De warmtestroom hierbij is zo-

als altijd afhankelijk van het temperatuurverschil. Een groot deel van deze warmte die door de refractory opgenomen wordt, wordt teruggestraald naar de stof in de heater. Het warmteverlies door de wanden van de heater bedraagt volgens de berekeningen 2.36%.

#### *ad 5: Openingen aan de heaterwand*

Een ander geval van warmteverlies is het geval waarbij er door openingen koude lucht in de heater stroomt. Door de draught in de heater zal bij een opening koude lucht instromen. Deze koude lucht moet ook verwarmd worden.

Het totale warmteverlies van de heater bekeken vanuit de verschillende factoren die eerder beschreven zijn komt neer op een hoeveelheid van ongeveer 38%. Afzonderlijke berekeningen zijn te vinden in bijlage 2.

#### **Totaal warmteverlies:**

Sensible warmteverlies fuelgas	= 12,0 %
Sensible warmteverlies nafta	= 13,0 %
Verlies door formatie van water	= 10.18 %
Verlies door vochtigheidsgraad	= 0.41 %
Verlies door wandopening	= 0.04 %
Verlies door straling aan de wand	= <u>2.36 %</u>
Totaal warmteverlies	= 37.99 %

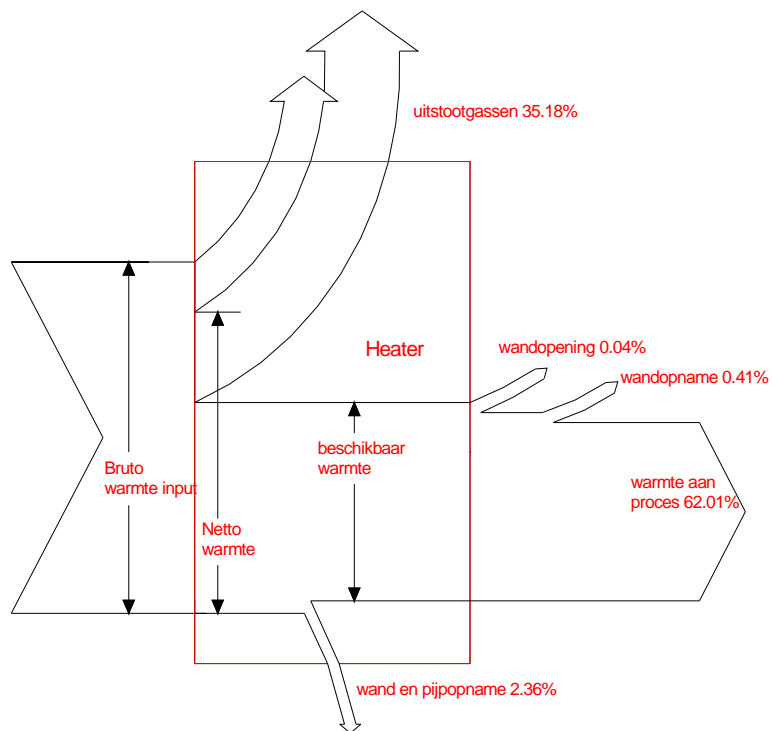
#### **De berekende heaterefficiëntie zal dan zijn:**

$$100 - 37.99 = 62.01$$

In figuur 13 is te zien hoe de verschillende warmtestromen van het systeem ontstaan en hoeveel deze zijn.

#### *Resumerend:*

1. De ontwerpefficiëntie bedraagt 81.4%,
2. Efficiëntie middels de directe methode bedraagt 64.2% en
3. Efficiëntie middels de indirecte methode bedraagt 62.0%



Figuur 13: Sankey- diagram voor warmtestromen in de heater

## 5. ROOT CAUSE ANALYSIS

Lage efficiëntie van een heater kan verschillende oorzaken hebben. Enkelen hiervan zijn:

- overmatige lucht,
- slechte verstuiwing van brandstof,
- onjuiste stand van de stackdemper en
- slechte isolatie van refractory.

Analyse van bovenstaande begrippen leidt tot een uitgebreid onderzoek naar de oorzaken van een verminderde efficiëntie. Paragraaf 5.1 zal daarom gaan over de verbrandingslucht met daarin het belangrijk component zuurstof. Hierin is ook meegenomen het drukverschil van stoom en nafta dat van belang is voor de verstuiwing van de oliebrandstof. In paragraaf 5.2 wordt uitgebreider de functie van de stoom besproken en in paragraaf 5.3 worden uitstootgassen behandeld. Verder wordt in paragraaf 5.4 gesproken over de mogelijke achteruitgang van de refractory die ook kan leiden tot een verminderde efficiëntie van de heater.

Bron: *Combustion analysis basis, door TSI Incorporated, New York 1992. Industrial furnaces, Vol. I en II. By J. Wiley & Sons, Trinks.*

### 5.1 Verbrandingslucht

Zoals eerder vermeld in hoofdstuk 3 paragraaf 3.3, is er zonder zuurstof geen verbranding mogelijk. De lucht is een samenstelling van 21% zuurstof en 78% stikstof en andere gassen waaronder kooldioxide. Chemisch bekeken bestaat zuivere volledig verbranding uit de volgende producten volgens de reactievergelijking:



Waarbij,

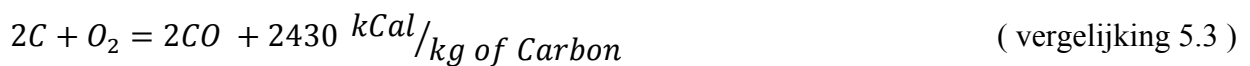
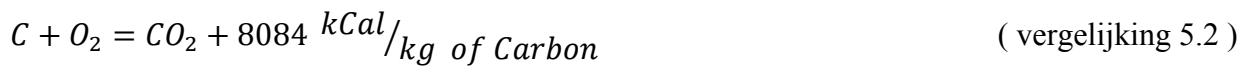
$CH_4 = \text{methaan}$

$O_2 = \text{zuurstof}$

$H_2O = \text{water}$



Bovenstaande reactievergelijking geeft aan dat voor een bepaalde aantal mol C en H atomen er een bepaald aantal mol zuurstof nodig is om de verbranding volledig te laten verlopen. Als er te weinig zuurstof is voor de verbranding zal bij de vergelijking geen kooldioxide maar koolmonoxide ( CO ) ontstaan. De warmteontwikkeling is dan te weinig en bovendien is dit een giftige gas. Hier volgt een vergelijking van de warmteontwikkeling bij volledige en bij onvolledige verbranding.



Bovenstaande vergelijking toont dat de warmte die vrijkomt bij ontstaan van kooldioxide meer dan driemaal meer is dan als er koolmonoxide ontstaat.

Om er zeker van te zijn dat een verbrandingsreactie volledig verloopt, wordt er dan voor gekozen om de aanwezige lucht in overmaat te hebben zodat er meer dan genoeg zuurstof voor de reactie aanwezig is.

Aan de andere kant mag de hoeveelheid overmatige lucht niet te groot zijn, omdat deze lucht anders de beschikbare warmte opneemt. Dus er mag ook niet een te hoge concentratie van overmatige zuurstof in de uitstootgassen voorkomen. Normaal is dit tussen 3 en 4%, maar het kan lager door het installeren van verbrandingsmeters, de zogenaamde combustion analyzers.

De airdempers hebben slechte bevestigingen, waardoor ze soms loszitten en niet meer in de afgestelde positie blijven, maar terugvallen naar beneden ( gesloten stand ). Hierdoor vindt er een ongeregelde luchtstroming plaats, waardoor er meestal onvolledige verbranding in de heater plaatsvindt.

Rook die ontstaat in de stack is grijszwart en is het gevolg van onvolledige verbranding. Indien er rookontwikkeling is, dan ontstaat er een daling van de procestemperatuur.

Er zijn tevens onnodige openingen aan de onderzijde van de heater, waardoor er lucht met allerlei vuile deeltjes in de heater komt. Deze ongewenste lucht neemt ook warmte op en brengt deze weg in de vorm van uitstootgassen. Het gevolg hiervan is een daling van het rendement van de heater.

## 5.2 Het stoom-naftadrukverschil

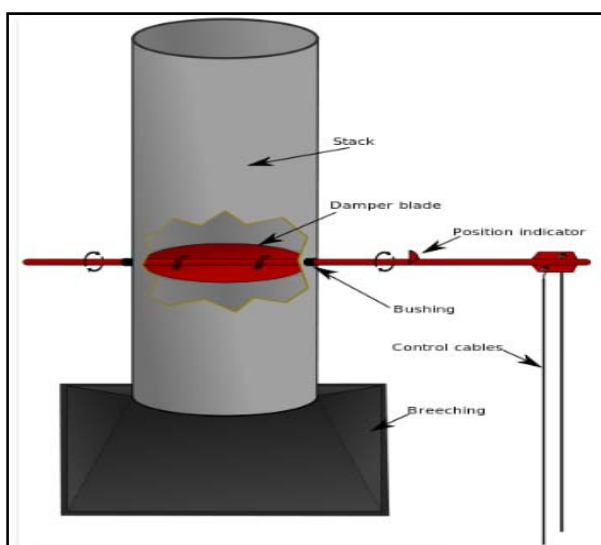
De primaire functie van een brander is het verdelen van de brandstofmoleculen in zeer kleine deeltjes zodat de vermenging met zuurstof uit de lucht optimaal is. Een goed werkende brander moet dus in staat zijn om bij een minimale luchtstroom de juiste vermenging te doen om overmatige zuurstof te minimaliseren.

Zoals eerder aangehaald in hoofdstuk 3 paragraaf 3.3 dient de stoom ter verneveling van de olie-brandstof nafta. De mate van verneveling hangt hierbij af van het drukverschil. De gangbare druk is ongeveer 1.5 bar. Bij een drukverschil veel lager dan 1.5 bar vindt er niet genoeg verneveling plaats van de brandstof. Het mengen met zuurstof kan dan niet optimaal plaatsvinden. Het gevolg is dat er onvolledige verbranding plaatsvindt. Deze verbranding waarbij koolmonoxide ontstaat in plaats van kooldioxide levert heel weinig warmte op.

## 5.3 De uitstootgassen

De stackdemper is in de stack gemonteerd en levert ook een bijdrage aan de efficiëntie van de heater. Die kan vergeleken worden met de uitlaatpijp van een auto. De restanten van gebruikte stoffen en verbrandingsproducten worden hierdoor uitgelaten.

Deze stackdemper, figuur 14, bepaalt de stromingshoeveelheid van verbrandingsproducten in de heater. Daarom is de stackdemper ook een zeer belangrijk onderdeel. De juiste draught is nodig om bij natuurlijke draught de nodige zuurstof voor verbranding aan te zuigen.

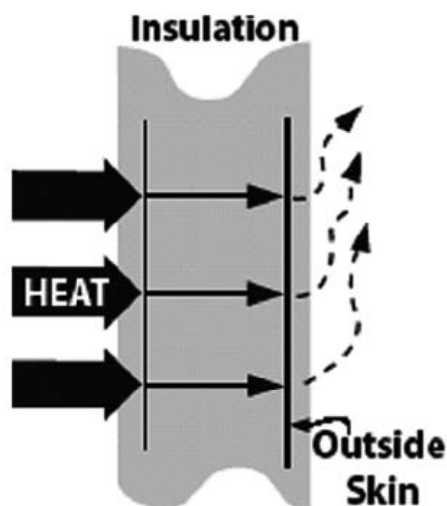


Figuur 14: Afbeelding van een stackdemper

De werking van de stackdemper is zo, dat die óf pneumatisch vanuit de begane grond óf handmatig ter plaatse kan worden afgesteld op de gewenste stand. Doordat de pneumatische bediening defect is, is het tegenwoordig moeilijk om handmatig af te stellen. De stand op dit moment is 75% open, de beste stand voor een goede draught.

#### 5.4 De refractory

De refractory speelt ook een belangrijke rol als het gaat om behoud van warmte. Deze wordt aangebracht om een groot deel van de geproduceerde warmte voor lange tijd te behouden en door straling een deel van deze warmte af te geven aan het proces. Desondanks lekt toch een beetje van deze warmte naar de omgeving. Het kan voorkomen dat door de jaren heen de refractory verouderd en er zo stukken af kunnen brokkelen. Vanwege het feit dat de heater gedurende de testen in bedrijf is, was het niet mogelijk de refractory te onderzoeken op beschadiging.



Figuur 15: Refractory warmtedoorlaat

## 6. ONDERZOEK EN RESULTATEN

Na oriëntatie is er nagegaan hoe een onderzoek gedaan kan worden en wat de resultaten daarvan zullen zijn. Een combinatie-test van de verbrandingslucht en het stoom-nafta drukverschil zal het beste resultaat moeten opleveren. Dit wordt in paragraaf 6.1 behandeld. De proef met de stackdemper werd niet uitgevoerd, omdat er bepaalde onderdelen ontbreken, waardoor afstellen hiervan heel moeilijk gaat. In paragraaf 6.2 worden de resultaten weergegeven en in paragraaf 6.3 staat er een grondige analyse van deze resultaten.

### 6.1 De proef met lucht en stoom/naftadrukverschil

Na analyse zijn de belangrijkste oorzaken naar voren gekomen die kunnen leiden tot een verminderde efficiëntie van de heater. De parameters die hiervoor zorgen kunnen worden onderscheiden in:

1. variabele parameters,
2. fixed parameters en
3. afwijkingen.

ad 1: onder variabele parameters vallen alle parameters die elk moment veranderd kunnen worden en die de efficiëntie kunnen beïnvloeden. Hieronder vallen:

- ❖ luchttoevoer: overmatige zuurstof als maat van volledige verbranding en
- ❖ brandstoftoevoer: het drukverschil tussen nafta en atomizing stoom.

ad 2: Onder fixed parameters vallen de parameters die niet direct veranderbaar zijn onder de gegeven omstandigheden. De stackdemper is een vaste parameter. Deze parameters kunnen pas gecorrigeerd worden, wanneer de heater uit bedrijf is.

ad 3: onder afwijkingen vallen onberekende situaties zoals openingen aan de heaterwand, beschadiging van de refractory en het gedeeltelijk verstopping van de luchtwegen.

Er is middels de Taguchi-methode, een statische methode voor onderzoek, bepaald hoeveel experimenten er minimaal nodig zijn om een wetenschappelijk verantwoord resultaat van de efficiëntie te krijgen. De parameters zijn: klepstand en drukverschil.

De klep kan vier standen aannemen: 25%, 50%, 75%, 100%.

Het drukverschil kan drie standen aannemen: 1.2, 1.8 en 2.4 bar.

De levels ( standen ) zijn: ( 4 ) en ( 3 ) = 12 , er zijn dus 12 experimenten nodig.

Tabel 4: Proefcondities

Experimenten	Klepstand	Drukverschil
1	25	1.2
2	25	1.8
3	25	2.4
4	50	1.2
5	50	1.8
6	50	2.4
7	75	1.2
8	75	1.8
9	75	2.4
10	100	1.2
11	100	1.8
12	100	2.4

### 6.1.1 De proeven

De eerste reeks testen werd gedaan door de toevoer van verbrandingslucht te veranderen en het drukverschil tussen stoom en nafta constant te houden op 1.2 bar. De tweede reeks testen geschiedde weer met verschillende standen van de demper en het drukverschil van stoom/nafta werd deze keer constant gehouden op 1.8 bar. Daarna volgde er een laatste reeks waarbij het drukverschil gehouden werd op 2.4 bar. Het brandermechanisme is zodanig gebouwd dat het via een klep aan de onderzijde lucht met zuurstof naar de brander aanzuigt. De hoeveelheid lucht wordt via deze opening met een klep aan de zijkant gecontroleerd.

Er worden twee brandstofsoorten gebruikt bij de heater, nl. nafta door handmatige bediening en fuelgas door automatische bediening. Om goede meetbare resultaten te krijgen werd het fuelgas op een vaste waarde gezet en de nafta op automatische bediening. De naftaflow houdt dan verband met de procestemperatuur en zorgt ervoor dat deze constant op de gewenste waarde blijft. Tijdens de test is er gelet op verandering van:

- ❖ de brandstof ( nafta ) toevoer,
- ❖ overmatige zuurstof en
- ❖ stack temperatuur.

Alle andere factoren werden constant gehouden.

De test werd met nafta uitgevoerd omdat de stoom geen invloed heeft op de fuelgasbrander.



Figuur 16: Airdemper voor de brander

De luchtkleppen werden tijdens het onderzoek op verschillende standen gesteld, namelijk :

- ❖ 25 % open
- ❖ 50 % open
- ❖ 75 % open en
- ❖ 100 % open

De handelingen werden gelijktijdig bij alle vier branders verricht om te zien wat het totale effect zou zijn. Na elke afstelling werd er met de controlekamer gecommuniceerd om te letten op eventuele veranderingen en deze direct door te spelen.

Om 09:00 uur 's morgens is met de test begonnen, waarbij de opening voor luchttoevoer op de eerste stand, 25%, werd gezet. Na ongeveer een half uur, toen het proces geheel stabiel was, konden de waarden van de parameters opgenomen worden.

De tweede test vond plaats om 10:45 uur. De klep werd toen verschoven van 25% naar 50% opening. Weer werd er ongeveer een half uur gewacht voor stabilisatie alvorens de waarden te noteren.

De derde test, stand op 75% opening, vond plaats om 11:30 uur 's middags en de laatste test op 100% opening vond plaats om 12:15 uur. Dezelfde handelingen als bij de voorgaande testen werden gepleegd.

De veranderingen die ter plaatse konden worden waargenomen of gemeten zijn:

- ❖ overmatige zuurstofconcentratie,
- ❖ rookontwikkeling bij de stack,
- ❖ de heaterwandtemperatuur en
- ❖ kleur van de vlam

Dezelfde proeven werden herhaald bij drukverschillen tussen stoom en nafta gelijk aan 1.8 en 2.4 bar.

## 6.2 De resultaten

De resultaten van het onderzoek zijn te vinden in tabel 5, 6, 7 en figuur 17.

Dat zijn dus twaalf testen die uitgevoerd zijn.

Tabel 5: Stoom-naftadrukverschil is 1.2 bar.

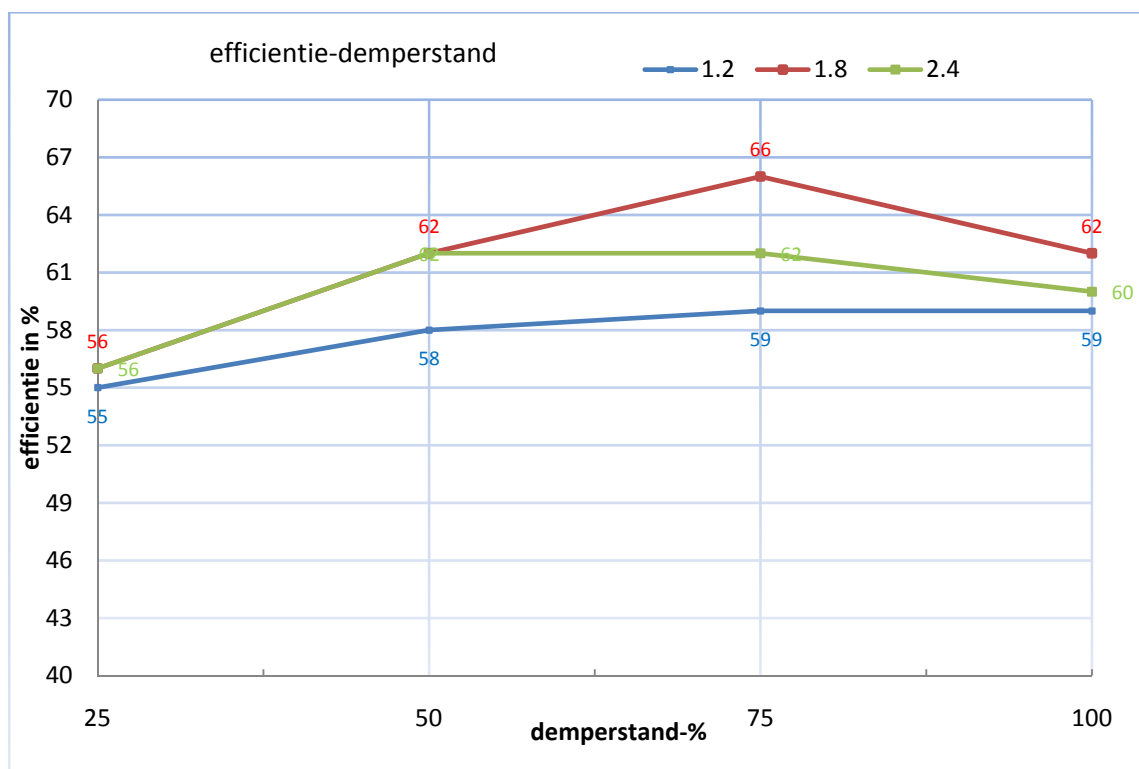
Waarneming	Klepstand			
	25 %	50 %	75 %	100 %
<i>Overmatig O<sub>2</sub> (%)</i>	0	0 - 0.8	2	4.2
<i>Procestemp ( °C )</i>	368	368	368	368
<i>Temp. uitstootgas- sen (°C)</i>	302	306	318	340
<i>Gemiddelde wand- temp.(°C)</i>	92	92	93	92
<i>Rookontwikkeling</i>	Ja	Ja	Nee	nee
<i>Nafta toevoer</i>	475	442	428	432
<i>Efficiëntie</i>	55%	58%	59%	59%

Tabel 6: Stoom-naftadrukverschil is 1.8 bar.

Waarneming	Klepstand			
	25 %	50 %	75 %	100 %
<i>Overmatig O<sub>2</sub> (%)</i>	≤ 0	0 – 2	2-4	>4
<i>Proces temp. ( °C )</i>	368	368	368	368
<i>Temp. uitstootgas- sen, (°C)</i>	302	306	318	340
<i>Gemiddelde wand- temp. (°C)</i>	92	92	93	92
<i>Rookontwikkeling</i>	Ja	Ja	Nee	nee
<i>Nafta toevoer</i>	460	400	363	398
<i>Efficiëntie</i>	56%	62%	66%	62%

Tabel 7: Stoom-naftadrukverschil is 2.4 bar

Waarneming	Klepstand			
	25 %	50 %	75 %	100 %
Overmatig O <sub>2</sub> (%)	≤ 0	0 – 2	2-4	>4
Procestemp( °C)	368	368	368	368
Temp. uitstootgas- sen (°C)	318	326	328	340
Gemiddelde wand- temp (°C)	92	92	93	92
Rookontwikkeling	Ja	Nee	nee	nee
Naftatoevoer	458	397	393	418
Efficiëntie	56%	62%	62%	60%



Figuur 17: Grafiek efficiëntie-demperstand

## 6.3 Resultatenanalyse

Paragraaf 6.3.1 bevat een vergelijkingschema van de efficiëntie van de heater in de huidige staat en na verbetering. Paragraaf 6.3.2 handelt over de kostenbesparing. Tabel 8 toont de proefresultaten met de bijbehorende efficiëntie.



Tabel 8: Proefresultaten met efficiëntie

Experiment	Klepstand in %	Drukverschil (bar)	Efficiëntie, %
1	25	1.2	55
2	25	1.8	56
3	25	2.4	56
4	50	1.2	58
5	50	1.8	62
6	50	2.4	62
7	75	1.2	59
8	75	1.8	66
9	75	2.4	62
10	100	1.2	59
11	100	1.8	62
12	100	2.4	60

### 6.3.1 Vergelijking resultaten

Tabel 9 geeft een indicatie van de efficiëntie in de huidige staat en na verbetering..

Tabel 9: Vergelijking huidige staat en verbetering.

Huidige staat	Verbetering	Acties
64 %	66 %	Installatie van combustion analyzer

### 6.3.2 Kostenbesparing

Gelet op het verbruik van nafta bij de huidige stand van zaken, kan worden geconcludeerd dat deze hoeveelheid nafta 380 kg/hr is. Dit komt neer op de volgende berekening per jaar:

Nafta verbruik per jaar:

Huidige nafta gebruik is 380 kg/hr.

Per jaar wordt dat:

$$380 \text{ kg/hr} \times 24 \text{ hr/dg} \times 360 \text{ dg/jr} = 3326400 \text{ kg/jr}$$

Kostprijs nafta is US\$ 1 per kg.

$$3326400 \text{ kg/jr} \times \text{US\$ } 1 = \text{US\$ } 3326400$$

Bij verbetering naar efficiëntie van 66% wordt er  $363 \text{ kg/hr}$  nafta verbruikt.

Nafta verbruik per jaar:

$$363 \text{ kg/hr} \times 24 \text{ hr/dg} \times 360 \text{ dg/jr} = 3136320 \text{ kg/jr}$$

Kosten nafta:

$$3136320 \times \text{US\$ } 1 = \text{US\$ } 3136320$$

De jaarlijkse besparing kan bepaald worden door de kosten bij verbetering af te trekken van de huidige nafta kosten= US\$ 190080.

In % uitgedrukt bedraagt die:  $\frac{190080}{3326400} \times 100\% = 5.7 = 6\%$

## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### *Conclusies*

- De huidige heaterefficiëntie is bepaald middels twee methoden: de directe leverde een waarde van 64% en de indirecte van 62%.
- Van alle invloedsparameters die aanwezig zijn kunnen momenteel alleen de brandstof- en de luchttoevoer geoptimaliseerd worden.
- De beste stand is 75% airdemper open en 1.8 bar voor stoom-naftadrukverschil.
- De huidige efficiëntie van de heater is 64 %, indien de aanpassingen doorgevoerd worden zal er een verhoging plaatsvinden naar 66 %.
- De jaarlijkse financiële besparing op basis van nafta bedraagt dan US\$190000 of 6 %.

### *Aanbevelingen*

- Voor de beste efficiëntie moet de branderdemper op 75% en de stoom-naftadrukverschil op 1.8 bar.
- Er kunnen vervolg proeven plaatsvinden rond de gevonden optimum waarden om scherpere resultaten te behalen.
- Het zal heel goed zijn om de stackdemper in orde te maken zodat het voortaan geïntegreerd kan worden in proeven.
- Op grond van de gevonden resultaten kan worden gesteld dat voor de waarborging van de juiste waarden een combustion analyzer in de heater geïnstalleerd word om dit te bereiken.
- De afwijkingen zoals wandopeningen, slappe branderdempers en beschadigde refractory moeten zo snel mogelijk weggewerkt worden.

# LITERATUURLIJST

## Boeken

1. API RP 532, *Determining of efficiencies of heaters*. 1<sup>st</sup> ed. Washington D.C. 1982.
2. Baukal, Ch. E. Jr. ( n.d. ) *The John Zink Combustion Handbook*. Boca Raton, Florida, 2001.
3. Driedger, W. “*Controlling Fired Heaters*”, *Hydrocarbon Processing*, Vol. 76, No. 4, April, 1997, pp. 103 – 118. Exxon Blue Book, *EMRE Manuals Nos. 012 and 011*, API Research Project Number 44
4. Reed, R. J. (n.d.) *North American combustion handbook, Vol. I en II*. 3<sup>rd</sup> ed. North American Mfg. Co. Cleveland Ohio, 1997.
5. Talmor, E., *Combustion hot spot analysis for fired process heaters*, Gulf Publishing Company, Houston, Tx., Sept., 1982.
6. Worrel, E. and Galitsky, CH. *Energy efficiency improvement and Cost saving opportunities for petroleum refineries*, Berkely 2005.

## Elektronische bronnen

1. [www.epa.gov/air/data/index.html](http://www.epa.gov/air/data/index.html).
2. [www.heaterdesign.com](http://www.heaterdesign.com)
3. [www.asme.org](http://www.asme.org)

## Bijlage 1: Lijst van technische benamingen

Crude	ruwe aardolie
BS&W	basic sediment en water, onopgeloste deeltjes in olie- en watergehalte
Vacuum distillation unit	de eerste verwerkingsunit waarin de crude terechtkomt
Heater	cilindervormig fornuis met branders
Fuelgas	brandbaar gas ontstaan bij de verwerking van aardolie
Nafta	lichte olie die als brandstof in de heater gebruikt wordt
LPG	liquified petroleum gas, een brandbaar gas
Exchangers	warmtewisselaars
LVGO	light vacuum gasoil, diesel geproduceerd in de vacuum distillation unit
HVGO	heavy vacuum gasoil, halffabrikaat ontstaan in de vacuum distillation unit
Demper	klep voor luchtdoorlaat
Pilot	kleine vlam die op lpg brandt, waakvlam
Refractory	isolatie materiaal binnen de heater.
Draught	luchtstroom in de heater

## Bijlage 2: Heater H-101 gegevens

Tabel 10: Heatergegevens

Omschrijving		Eenheid	Waarde		
H-101 (vacuum heater)					
Model en afmeting			MAC-75-ETS		
Aantal branders			4		
Positie			Vloer		
Vorm			Verticaal/ rond		
Draught			Natural		
Brandstoffen			LPG	Fuelgas	Nafta
Capaciteit	Maximum	kW	1533	824	2190
	Normaal	kW	-	549	1641
	Minimum	kW	550	412	780 (*)
Overmatige lucht		%	15	15	20
Temperatuur van verbrandingslucht		°C	38		
Beschikbare draught		Pa	100		
Atomizing media			Stoom		
Atomizing media pressure		barg	8.5		
Geluidsniveau		dB(A)	85		
NOx emission (based on 3% O <sub>2</sub> )		mg/Nm <sup>3</sup>	<922		
Vlampsroon	Lengte	m	ong. 4.5		
	Diameter/breedte	m	ong. 0.7		
Pilot type			Continuous		
Pilot fuel			LPG		
Pilot pressure		barg	0.35		
Type of ignition			Portable electric		
Vlamcontrole	Pilot		Ionization rod		
	Hoofdvlammen		UV/IR scanners		
Fueldata			LPG	Fuelgas	Naphtha
	Lower heating value	KJ/kg	46328	45381	44317
	Viscosity oil/ Mol weight for gas	-	45.5	33.7	Not specified
	Temperature at burner	°C	10	38	38

Tabel 11: Heater H-101 gegevens

ABB Lummus Heat Transfer B.V.

Sheet 1

FIRED HEATER DATA SHEET

1	Client	LCV for Staatsolie Suriname Refinery	Client's Reference	08125	Rev
2	Location	Tout Lui Faut, Suriname	LHT Reference	6-1301	
3	Unit	Vacuum Unit	Item No.	H-101	
4	Service	Feed Heater			
5	Type	Vertical Cylindrical with overhead Convection section.			
6	Number Req'd				
7	Total Duty per Heater Absorbed	kW	7145		
8	PROCESS DESIGN CONDITIONS				- Mixed Firing : 75 % Naphtha, 25 % Fuel Gas
9	Heater Section		Radiant	Convection	
10					
11	Heat Absorption	kW	4692	2453	
12	Fluid	Vacuum Column Feed			
13	Flow Rate	kg/h	60,499	60,499	
14	Pressure Drop (Allowable)	bar	4.1		
15	Pressure Drop (Calculated)	bar	2.86	0.9	
16	Average Flux Density (Allowable)	kW/m <sup>2</sup>	25.2		
17	Average Flux Density (Calculated)	kW/m <sup>2</sup>	24.9*	7.5	
18	Maximum Flux Density	kW/m <sup>2</sup>	55.3	36.9	
19	Max. Inside Film Temp. Allow /Calc.	°C			
20					
21	Inlet Conditions				
22	Temperature	°C	336	287	
23	Pressure	bar	3.10	4.0	
24	Vaporisation	%	0	0	
25	Vapor Mol Weight	kg/kmol	—	—	
26	Spec. Gravity		0.786	0.8125	
27	Liquid Viscosity	mPa s	0.90	1.35	
28					
29	Outlet Conditions				
30	Temperature	°C	404**	336	
31	Pressure	bar	0.24	3.1	0
32	Vaporisation	%	42.9	0	
33	Vapor Mol Weight	kg/kmol	330	—	
34	Spec. Gravity		0.776	0.786	
35	Liquid Viscosity	mPa s	0.90	0.90	
36					
37	COMBUSTION DESIGN CONDITIONS				
38	Type of Fuel(s)		Naphtha / Fuel gas ( 75 / 25 % )		LPG
39	Excess Air	%	20 / 15		15
40	Calculated Eff.(LHV)	%	81.35		82.2
41	Guaranteed Eff.(LHV)	%	80		0
42	Heat Loss per cent of Heat Release	%	1.5		1
43	Bridge Wall Temperature	°C	832		1
44	Convection Outlet Temperature	°C	357		1
45	Draft at Bridge Wall	Pa	25		1
46	Draft at burner	Pa	100		
47	Ambient Air Temperature	°C	Min 15 / Max 38 / 27 for calculation purpose		
48	Altitude Above Sea Level	m			
49	Calculated Heat Release	kW	8780		1
50					
51					
52					
53					
54	* : 25.2 flux when firing LPG at 15 % excess air.				
55					
56	** Fluid design temperature : 430 °C				
57					0
58					
59	Document No.:	SA6-1301-BA-1011	Revision No.:	5	Item No.: H-101

4S07-930831-101-0

*no flow (20%) = 0.2*  
*20%*

Tabel 13: Heater H-101 parameters

<b>Heater H-101 parameters</b>						
	<b>Crude</b>	<b>Fuelgas</b>	<b>Nafta</b>	<b>Lpg gas</b>	<b>Lucht</b>	
Inlaat temp(°C)	264	-	-	-	38	-
Uitlaat(°C)	368	-	-	-		-
Flow (kg/hr)	56700	213	389	-	-	-
Overmatig O <sub>2</sub> (%)	-	-	-	-	-	3.8
Overmatig lucht (%)	-	15	20	-	-	-
Verbrandingswarmte (kJ/kg)		45381	44317	46328	-	-
Soortelijke warmte (kJ/kg. °C)	3.63	-	-	-	-	-
Heater oppervl. temp. (°C)	-	-	-	-	-	93



## Bijlage 3: Efficiëntieberekeningen

Controleberekening ontwerpefficiëntie (directe methode):

Heat absorption is de door het process opgenomen warmte en die bedraagt:  $4692 + 2453 = 7145 \text{ kW} = 7145 \text{ kJ/sec} = 25722000 \text{ kJ/hr}$

Heat released is de door de brandstoffen geleverde warmte en bedraagt  
:  $8780 \text{ kW} = 8780 \text{ kJ/sec} = 31608000 \text{ kJ/hr}$

Efficientie  $\eta$ , % =  $\left(\frac{\text{nuttig warmte}}{\text{toegevoerde warmte}}\right) \times 100\%$ .

$$\text{Efficiëntie} = \frac{25722000}{31608000} \times 100\% = 81,38 \%$$

Efficiëntieberekening huidige stand:

### 1. Directe methode:

De massastroom in de heater bedraagt  $47000 \text{ (crude)} + 9700 \text{ (slopwax)} = 56700 \text{ kg/hr}$

De soortelijke warmte van Saramacca crude:  $2.8 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

Het temperatuurverschil bedraagt:  $368 - 264 = 104^\circ\text{C}$ .

De verbrandingswaarde van fuelgas is  $45,381 \text{ MJ/kg}$  en het gebruik daarvan is  $213 \text{ kg/uur}$ .

De verbrandingswaarde van nafta is  $44,317 \text{ MJ/kg}$  en het verbruik is  $389 \text{ kg/uur}$ .

Efficientie  $\eta$ , % =  $\left(\frac{\text{nuttig warmte}}{\text{toegevoerde warmte}}\right) \times 100\%$

$$\text{Efficiëntie } \eta = \frac{56700 \text{ kg/hr} \times 0.0028 \text{ MJ/kg}^\circ\text{C} \times 104^\circ\text{C}}{(45,381 \text{ MJ/kg} \times 213 \text{ kg}) + (44,317 \text{ MJ/kg} \times 389 \text{ kg})} \times 100\% =$$

$$\frac{56700 \text{ kg/hr} \times 0.0028 \text{ MJ/kg}^\circ\text{C} \times 104^\circ\text{C}}{45,381 \text{ MJ/kg} \times 200 \text{ kg} + 44,317 \text{ MJ/kg} \times 380 \text{ kg}} \times 100\% \Rightarrow$$

$$\text{Efficiëntie} = \frac{16511}{25916} \times 100\% = 64.2 \%$$

### 2. Indirecte methode:

#### 1. Sensible heat loss in uitstootgassen:

$$\text{Overmatige lucht voor fuelgas : } \frac{O_2\%}{21-O_2\%} \times 100\% = \frac{2.8}{21-2.8} \times 100\% = 0.153 \times 100 = 15\%$$

Lucht nodig om 1 kg fuelgas te verbranden = 15.8kg

Totale lucht nodig voor fuelgas

$$= \text{theoretisch air} \times \left(1 + \frac{\text{overmatig lucht}}{100}\right)$$

Total air supplied

$$= 15.8 \times \left(1 + \frac{15}{100}\right) = 18.17 = 18 \text{ kg air/kg fuelgas}$$

$$\text{Sensible heat loss} = m \times C_p \times \Delta T$$

$$m = 18 + 1 \text{ kg} = 19 \text{ kg/kg of fg}$$

$$C_p = \text{specific heat of flue gas}$$

$$= 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Heat loss} = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 19 \times 1 \times (308 - 27^\circ\text{C}) = 5339$$

$$\% \text{ heat loss in uitstootgassen fg} = \frac{5339 \times 100\%}{45381} = 11.76 = 12 \%$$

Voor de nafta burner dezelfde berekening:

$$\text{Overvloedige lucht} = 20\%$$

Lucht nodig voor verbranding 1 kg of nafta = 17 kg

$$\begin{aligned} \text{Theoretische lucht voor nafta} &= \text{air} \times \left(1 + \frac{20}{100}\right) = \\ &= 20.4 \text{ kg/kg nafta} \end{aligned}$$

$$\text{Warmteverlies door uitstootgassen} = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{GCV} = \frac{20.4 \times 1 \times (308 - 27)}{44317} = 0.129 = 0.13$$

$$\% \text{ warmteverlies} = 100 \% \times 0.124 = 13\%$$

## 2. Percentage warmteverlies door verdampen van ontstaan water

De formule luidt als volgt:  $\frac{9 \times H_2 \{584 + 0.45(T_f - T_a)\}}{GCV} =$

$$\frac{9 \times 0.18 \{584 + 0.45(308 - 27)\}}{11300} \times 100\% = 10.18 \%$$

## 3. Percentage warmteverlies door luchtvochtigheid

De formule luidt:  $\frac{AAS \times \text{humidity} \times 0.45(T_f - T_a)}{GCV} =$

$$\frac{20.4 \times 0.018 \times 0.45 \times 281}{11300} = 0.0041 \times 100\% = 0.41\%$$

#### 4. Warmteverlies door openingen aan de heater

Openingen aan de heaterwand laten ook warmte ontsnappen en wel door straling. De warmte die hierbij verloren gaat kan berekend worden door de black body radiation toe te passen en de waarde te vermenigvuldigen met 0.8 en een bepaalde factor voor openingen.

De factor voor openingen kan afgelezen worden in figuur 18.

Verliezen door de blackbody straling kunnen ook afgelezen worden in figuur 19.

De wand van de heater is 256 mm dik en de ruimte van de outlet pijpen is rond, diameter 25 cm × 2. De temperatuur in de oven is 370 °C :

$$\text{Cilindrische opening } D/X = \frac{D}{X} = \frac{0.25}{0.256} = 1$$

$$\text{De factor voor straling is volgens fig.18} = 0.5$$

$$\text{Black body radiation} = 4 \text{ kCal/cm}^2/\text{hr}$$

$$\text{Oppervl. opening} = \frac{\pi}{4} \times D^2 = 490\text{cm}^2 \times 2 = 980\text{cm}^2$$

$$\text{Factor van emissie} = 0.8$$

$$\begin{aligned} \text{Totaal warmteverlies} &= \text{bl. body factor} \times \text{area opening} \times \text{stralings factor} \times \text{emissiefactor} = \\ &= 4 \times 980 \times 0.5 \times 0.8 \\ &= 1568 \frac{\text{kCal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\text{Equivalent fuel} = \frac{1568}{11300} = 0.14 \text{ kg/hr}$$

$$\% \text{ warmteverlies} = \frac{0.14}{350} \times 100\% = 0.04\%$$

#### 5. Warmteverlies door de heaterwand

##### 1<sup>e</sup> methode

Warmteverlies door de heaterwand kan als volgt worden berekend:

$$Q = a \times (t_1 - t_2)^{5/4} + 4.88E \left[ \left( \frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right]$$

waarbij ,

Q= vrijgekomen warmte in kCal/W/m<sup>2</sup>

a= factor voor warmte aan oppervl. plafond= 2.8; zijwand =2.2 en hart = 1.5

t<sub>1</sub>= buitenwandtemperatuur

t<sub>2</sub>= omgevingstemperatuur

E= emissievermogen van de buitenwand

$$Q = 2.2 \times (93 - 27)^{5/4} + 4.88 \times 0.8 \left[ \left( \frac{93 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{27 + 273}{100} \right)^4 \right] = 414 + 4.88 \times 0.8 \times 98$$
$$= \frac{797 \text{ kCal}}{\text{W}} / \text{m}^2$$

Zie figuur 20: de grafiek wijst voor oppervlaktetemperatuur 93°C een warmteverlies van ongeveer 800 kCal/W/m<sup>2</sup> aan.

## 2<sup>e</sup> methode

Figuur 20 toont de relatie tussen de temperatuur aan de buitenwand en de hoeveelheid warmte die vrijgekomen is.

### 5a. Warmteverlies door de zijwanden en het dak:

Gemiddelde oppervl. temperatuur = 93

Warmteverlies bij 93°C (figuur ) = 800 kCal/m<sup>2</sup>/hr

Totale oppervl. =  $\pi r^2 + 2\pi r h = 3.14 \times 2^2 + 2 \times 3.14 \times 2 \times 8 = 113 \text{ m}^2$

Warmteverlies =  $\frac{800 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2}}{\text{hr}} \times 113 \text{ m}^2$   
= 90400 kCal/hr

Equivalent brandstofverlies =  $\frac{90400}{11300} = 8.0 \text{ kg/hr}$

Percentageverlies =  $\frac{8}{350} \times 100\% = 2.28 \%$

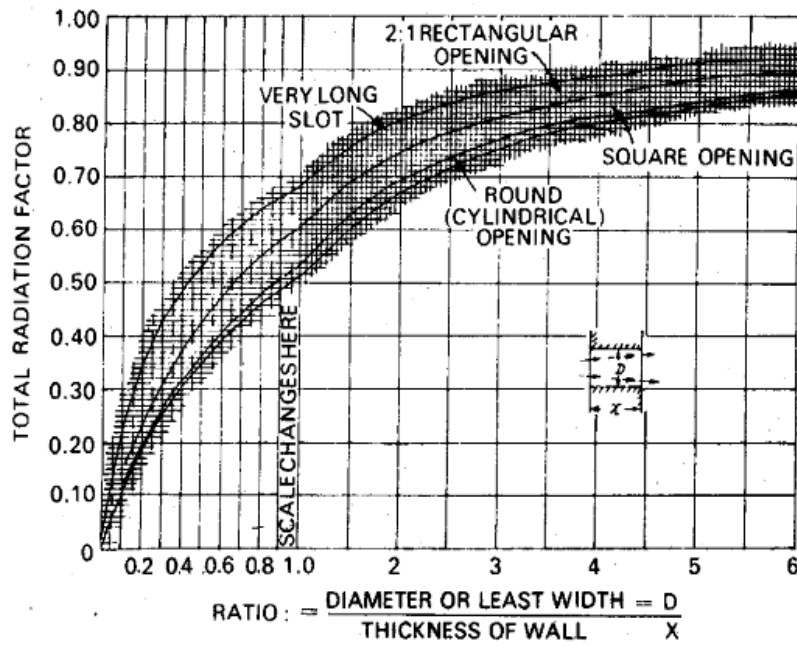
**Totaal warmteverlies:**

Sensible warmteverlies fuelgas	= 12 %
Sensible warmteverlies nafta	= 13 %
Verlies door formatie van water	= 10.18 %
Verlies door vochtigheidsgraad	= 0.41 %
Verlies door wandopening	= 0.04 %
Verlies door straling aan de wand	= <u>2.28 %</u>
Totaal warmteverlies	= 37.99 %

**De berekende heaterefficiëntie zal dan zijn:**

$$100 - 37.91 = 62.01 \%$$

## Bijlage 4: Grafieken



Figuur 18: Grafiek om factor van warmtestraling in openingen te bepalen

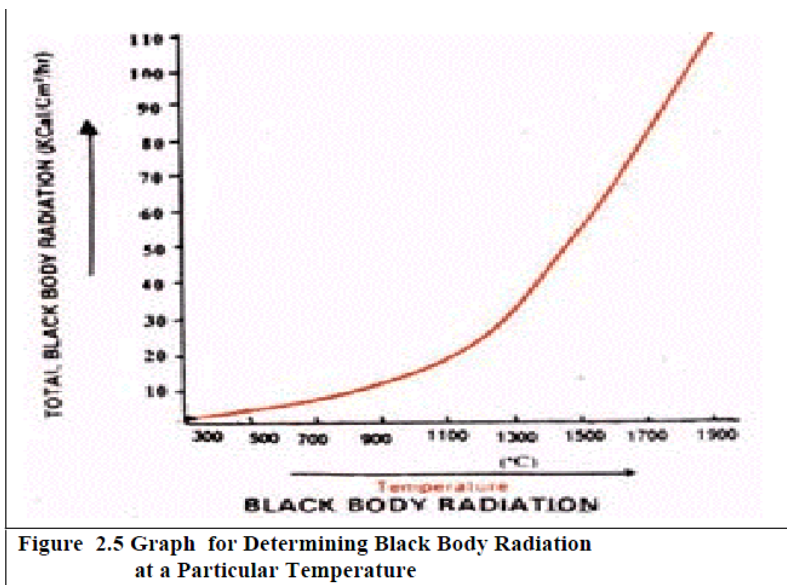
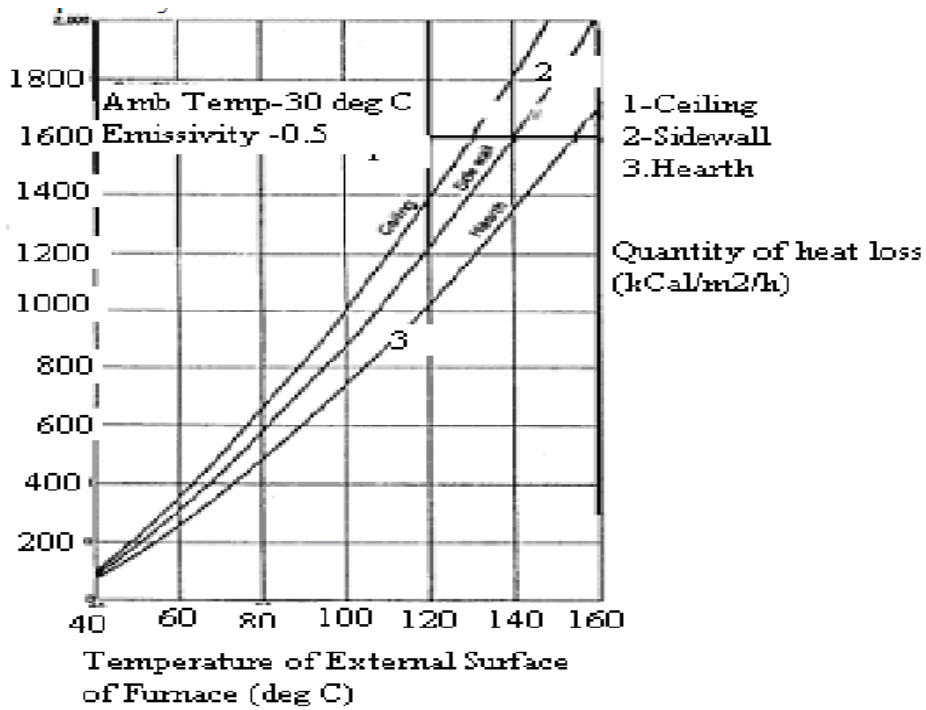


Figure 2.5 Graph for Determining Black Body Radiation at a Particular Temperature

Figuur 19: Grafiek voor het bepalen van blackbody radiation



Figuur 20: Grafiek ter aflezing relatie tussen heaterwand en vrijgekomen warmte