Hoofstuk 3.

Tabel 3-1: Plasmagas-opsies vir gebruik by vergassing.

Plasma gas	Katodemateriaal	Voordele	Nadele
Stikstof	Wolfram/Torium	Verlengde katode leeftyd. O_2 toevoer word afsonderlik beheer. Indien drukwisselabsorpsie (*Eng.' Pressure Swing Absorption' (PSA)*) gebruik word, kan die uitskotgas (O_2) as oksidant gebruik word, afsonderlik beheer en toegevoer. Verminderde NOx vorming. Optimum katodeleeftyd.	Logistiek (LN geproduseer r Verdunning v verbrandings
Suurstof	Sirkonium, Hafnium	Goeie beheer oor redokskondisies in die reaktor. Geen verdunning van produkgas met inerte gasse. Lae NO_x.	Logistiek (LO terrein geproc katodeleeftyd
Lug	Sirkonium, Hafnium	Eenvoudige logistiek (plaaslike kompressor)	Verdunning v verbrandings Verkorte kato
Suurstof-verrykte lug	Sirkonium, Hafnium	Minder verdunning van produkgas met N_2 as in die geval van lug. Op terrein met drukwisselabsorpsie voorsien. Uitskotgas kan as instrumentlug gebruik word.	Matige verdu verbrandings Verkorte kato
CO/CO_2	Grafiet	Goedkoop plasmagasse	Nog eksperin
Water en/of stoom		Goedkoop plasmagas, baie hoë entalpie. 100 kW tot 300 kW GS branders kommersieel beskikbaar	Nog nie kom nie

*[145].

Tabel 3-2: Opsomming van pirometallurgiese aanlegte in Suid-Afrika.

Produk	Aanlegte	Totale geïnstalleerde vermoë (geraam)	Totale geïnstalleerde kapasiteit
Aluminium	2	Nie beskikbaar	700 kt a^{-1} 175 kt a^{-1} (gesluit)
Ferrochroom	14	2592 (MVA)	4240 kt a^{-1}
Ferromangaan	4	Nie beskikbaar	900 kt a^{-1}
Ferrosilikon	3	Nie beskikbaar	28 kt a^{-1}
Ferrovanadium	3	Nie beskikbaar	28.25
Kalsiumkarbied	1	52 MVA	100 kt a^{-1}
Platinumgroepmetale	6	318 (MVA)	5.6 M oz a^{-1}
Silikon	2	48 MVA ~60 MVA	95 kt a^{-1} 55 kt a^{-1} (gesluit)

Siliko-mangaan	3	193 MVA	435 kt a^{-1}
Titaanslak	3	641 MVA	1528 kt a^{-1}
Vlekvrystaal	1	Nie beskikbaar	Nie beskikbaar
Yster en staal	6	Nie beskikbaar	8700 kt a^{-1}

Tabel 3-3: Belangrikste vergassingsreaksies.

Verbrandingsreaksies	Reaksiewarmte		
$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$	-9.25 MJ/kg -111 MJ/kmol		[1]
$CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$	-10 MJ/kg -283 MJ/kmol		[2]
$H_2 + \frac{1}{2} O2 \rightarrow H_2O$	-121 MJ/kg -242 MJ/kmol		[3]
Heterogenefase reaksies			
$C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$	+ 10.9 MJ/kg + 131 MJ/kmol	(Watergas reaksie)	[4]
$C + CO_2 \rightleftharpoons 2\ CO$	+ 14.3 MJ/kg + 172 MJ/kmol	(Tru-Boudouard reaksie)	[5]
$C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4$	-6.25 MJ/kg -75 MJ/kmol	(Metanering)	[6]
Verskuiwingsreaksies			
$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	-1.46 MJ/kg -41 MJ/kmol	(Water-gas-verskuiwing)	[7]
$CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + 3H_2$	+12.9 MJ/kg + 206 MJ/kmol	(Stoom-metaan-omvorming)	[8]

Tabel 3-4: Voorbeelde van kommersiële vergassers.

Tipe	Tegnologie/kenmerke	Voermateriaal	Oksidasiegas
GE/ChevronTexaco.	Hoëdruk, enkelstadium, afwaartse sleurvloei, slakvormend, 45 jaar nywerheidsbedryf	Steenkoolflodder	O_2
CB&I E-gas (ConocoPhilips)	Hoëdruk, twee-stadium, opwaartse sleurvloei, slakvormend.	Steenkoolflodder	O_2
Shell	Hoëdruk, enkelstadium, afwaartse sleurvloei, slakvormend.	Droë steenkool	O_2/stoom
Siemens/Babcock Borsig	Hoëdruk, enkelstadium, sleurvloei, slakvormend.	Droë steenkool	O_2

Uhde-Prenflow [211]	Hoëdruk, enkelstadium, afwaartse sleurvloei, slakvormend.	Droë steenkool/ petroleumkooks	O_2
Siemens	Hoëdruk, sleurvloei, slakvormend	Droë steenkool (antrasiet tot ligniet), ook biomassa, petroleumkooks, afval olie.	O_2
Mitsubishi Heavy Industries (MHI)	Hoëdruk, tweestadium, opwaartse sleurvloei, slakvormend	Droë laegraadse steenkool	Lug
ECUST	Hoëdruk, hoëtemperatuur, afwaartse sleurvloei	Steenkoolflodder. Droë steenkoolpoeier met pneumatiese transport (N_2 of CO_2)	Lug, O_2
Lürgi	Hoëdruk, bewegende bed, droë-as-vergasser, laetemperatuur (<1 000℃), asvormend (SASOL)	Growwe steenkool	Stoom/O_2
British Gas Lürgi (BGL)	Hoëtemperatuur, vaste/bewegende bed, slakvormende weergawe van die Lürgi vergasser.	Droë steenkool. Mengsels van hout/ bande/gesorteerde afval kan toegevoeg word.	Stoom/ O_2
Kellogg, Brown en Root (KBR)	Tweestadium, hersirkulerende sweefbed, asvormend	Droë, growwe laegraadse steenkool/kalksteen	Stoom/lug of stoom/O_2
U-Gas	Enkelstadiumsweefbed	Droë steenkool, petroleumkooks, biomassa, nywerheidsafval en kombinasies daarvan.	Stoom/lug of stoom/O_2
Hoëtemperatuur Winkler vergasser	Hoëdruk, hersirkulerende sweefbed, asvormend.	Droë steenkool, biomassa.	Lug of O_2

Hoofstuk 4.

Tabel 4-1: Gepubliseerde proksimale analises.

Outeur	Vlugstowwe (massa %)	Vaste koolstof (massa %)	Vog (massa %)	As (massa %)	Staal (massa %)
Juma et al	61.61	22.66	1.72	14.01	
Rodrigues*	58.8	27.7		3.9	9.6
Lee	67.3	28.5	0.5	3.7	
Chang	62.32	26.26	1.31	10.29	
Gonzales	61.9	29.2	0.7	8	
Chen**	93.73		0.54	5.3	
Loresgoiti	59.3	27.6		3.5	9.6
Orr	68.7	23.3	0.4	7.6	
Williams	65.3	30.3	0.8	2.4	
Atal	58.7	33.6		7.7	
Gemiddeld	**65.77**	**27.68**	**0.85**	**6.64**	**9.60**

Std afwyking (%)	10.42	3.38	0.49	3.61	0.00

*Staalkoord-versterk; **Gefikseerde C ingesluit.

Tabel 4-2: Gepubliseerde en eie elementanalises.

Outeur	**C (massa %)**	**H (massa %)**	**N (massa %)**	**S (massa %)**	**O (massa %)**	**As (massa %)**
Juma et al	81.24	7.36	0.49	1.99	8.92	
Rodrigues*	74.2	5.8	0.3	1.5	4.7	13.5
Lee	83.8	7.6	0.4	1.4	3.1	3.7
Chang	74.4	6.96	0.21	1.6	5.02	10.21
Gonzales	86.7	8.1	0.4	1.4	1.3	2.9
Chen**	81.16	7.22	0.47	1.64	2.07	7.44
Berrueco	88.5	6.6	0.4	1.6	3	
Arion	73.8	5.3	0.44	1.71	0.11	17.8
Loresgoiti	74.2	5.8	0.3	1.5	5.1	13.1
Orr	81.3	7.3	0.3	1.5		1.4
Williams	85.8	8	0.4	1	2.3	2.4
Lanoir	82.63	7.5	0.36	1.69		
Senneca	86.7	6.9	0.3	1.9	1	3.3
Roy	86.6	8.1	0.5	0.8	2.2	
Cunliffe	86.4	8	0.5	1.7	3.4	2.4
Mediaan	**81.20**	**7.09**	**0.40**	**1.55**	**3.10**	**8.83**
Gemiddelde	**79.93**	**6.80**	**0.37**	**1.58**	**3.70**	**8.76**
Std afwyking	5.51	0.91	0.09	0.17	2.60	5.87
Necsa* (2016)	**83.72**	**6.58**	**0.68**	**0.34**	**6.14**	**2.23**
Hierdie studie**	**82.97**	**7.06**	**0.04**	**1.33**	**1.16**	**7.44**
Verskil (%)	2.52	-0.51	0.28	-1.21	3.04	-6.60

* Tekstiel-versterk; ** Industriële monster SRC1-5, gebruik vir stoigiometrie-berekeninge.

Tabel 4-3: Gepubliseerde pirolise-entalpiewaardes vir rubber.

Outeur	**$\Delta H°$ (kJ kg^{-1})**
Bekkedahl & Matheson [223]	507 ±100
Lanteigne et al. [224]	550
Yang & Roy [225]	560
Gemiddelde	539±27

Hoofstuk 5.

abel 5-1: Kinetiese modelle vir vastetoestandreaksies.

	Reaksiemodel	Kode	$f(\alpha)$	$g(\alpha)$
1	Magswet	P4	$4\alpha^{3/4}$	$\alpha^{1/4}$
2	Magswet	P3	$3\alpha^{2/3}$	$\alpha^{1/3}$
3	Magswet	P2	$2\alpha^{1/2}$	$\alpha^{1/2}$
4	Magswet	P2/3	$(2/3)\alpha^{-1/2}$	$\alpha^{3/2}$
5	Mampel (eerste-orde)	F1	$1-\alpha$	$-\ln(1-\alpha)$
6	Avrami-Erofeev	A4	$4(1-\alpha)[-\ln(1-\alpha)]^{3/4}$	$[-\ln(1-\alpha)]^{1/4}$
7	Avrami-Erofeev	A3	$3(1-\alpha)[-\ln(1-\alpha)]^{2/3}$	$[-\ln(1-\alpha)]^{1/3}$
8	Avrami-Erofeev	A2	$2(1-\alpha)[-\ln(1-\alpha)]^{1/2}$	$[-\ln(1-\alpha)]^{1/2}$
9	Krimpende sfeer	R3	$3(1-\alpha)^{2/3}$	$1-(1-\alpha)^{1/3}$
10	Krimpende silinder	R2	$2(1-\alpha)^{1/2}$	$1-(1-\alpha)^{1/2}$
11	Eendimensionele diffusie	D1	$(1/2)\alpha^{-1}$	α^2
12	Tweedimensionele diffusie	D2	$[-\ln(1-\alpha)]^{-1}$	$(1-\alpha)\ln(1-\alpha)+\alpha$
13	Driedimensionele diffusie (Jander)	D3	$(3/2)(1-\alpha)^{2/3}\left[1-(1-\alpha)^{1/3}\right]^{-1}$	$\left[1-(1-\alpha)^{1/3}\right]^2$
14	Driedimensionele diffusie (Ginstling-Brounshtein)	D4	$(3/2)\left[(1-\alpha)^{-1/3}-1\right]^{-1}$	$1-(2/3)\,\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$

Tabel 5-2: Kinetiese modelle gebruik vir gas-vastetoestandreaksies.

	Reaksiemodel	Kode	$\mathrm{d}\alpha/\mathrm{d}t = f(\alpha)/\tau$	$g(\alpha) = t/\tau$	τ
1	Gasfilmdiffusiebeheer	L1	1	α	$\frac{\rho_B R}{3bk_g C_{Ag}}$
2	Aslaagdiffusiebeheer	L2	$\left[2(1-\alpha)^{-1/3}-(1-\alpha)^{-1}\right]^{-1}$	$1-3(1-\alpha)^{2/3}+2(1-\alpha)$	$\frac{\rho_B R^2}{6bDk_{eg}C_{Ag}}$
3	Krimpende sfeer met chemiese reaksiebeheer	L3	$3(1-\alpha)^{2/3}$	$1-(1-\alpha)^{1/3}$	$\frac{\rho_B R}{bk"C_{Ag}}$

Notas: Levenspiel se simbole word gebruik. R is die radius van die vastestofpartikel, ρ_B is die digtheid aarvan, C_{AG} is die konsentrasie van die reagerende gas en b is the stoigiometriese koëffisient vir die reaksie, genormaliseer t.o.v. die vastestof, d.i. Fluïede+ bVastestof → Produkte. k_g and k'' is die tempokonstantes en D_e is die diffusiekoëffisient van die produkte deur die aslaag

Tabel 5-3: ANOVA-analise vir die modelkeuses vanaf isotermiese data.

Pirolise <550 °C	Pirolise >550 °C	Tru-Boudouard

Model	Aantal T's	Gem R^2	Var	Aantal T's	Gem R^2	Var	Model	Aantal T's	Gem R^2	Var
P4	4	0.8956	0.0051	6	0.9741	0.0004	L1	6	0.9123	0.0317
P3	4	0.9015	0.0047	6	0.9763	0.0004	L2	6	0.9894	0.0004
P2	4	0.9126	0.0041	6	0.9801	0.0004	L3	6	0.9949	0.0001
P2/3	4	0.9624	0.0013	6	0.9899	0.0002				
F1	4	0.9593	0.0008	6	0.9931	0.0001				
A4	4	0.9124	0.0024	6	0.9845	0.0002				
A3	4	0.9188	0.0021	6	0.9864	0.0002				
A2	4	0.9306	0.0017	6	0.9895	0.0001				
R3	4	0.9539	0.0011	6	0.9926	0.0001				
R2	4	0.9509	0.0013	6	0.9919	0.0001				
D1	4	0.9767	0.0006	6	0.9875	0.0001				
D2	4	0.9817	0.0003	6	0.9868	0.0001				
D3	4	0.9860	0.0001	6	0.9835	0.0001				
D4	4	0.9833	0.0002	6	0.9860	0.0001				
F:			2.2450			1.1262				1.1900
F crit:			1.9612			0.3527				3.6823
P:			0.0241			1.8627				0.3314

Tabel 5-4: Afgeleide isotermiese kinetiese parameters.

	Pirolise stap 1		**Pirolise stap 2**		**Tru-Boudouard**	
Model:	D3		F1		L3	
Temperatuurbereik	200–550 °C		550–1 000 °C		750–1 100 °C	
	Aanvanklik	Verfyn	Aanvanklik	Verfyn	Aanvanklik	Verfyn
q:	1	0	1	5.0×10^{-2}	1	5.664×10^{-3}
k_0 (min^{-1}):	4.006×10^{6}	7.337×10^{8}	1.286×10^{-1}	6.647×10^{-2}	4.232×10^{7}	2.580×10^{6}
r:	1	2.578×10^{-2}	1	1.0×10^{-2}	1	0
E_A ($kJ\ mol^{-1}$):	111.6	140.0	35.7	35.7	232.21	168.9

Tabel 5-5: Afgeleide parameters vir die Sestak-Berggren-modelle.

S-B parameter	**N_2 stap 1**	**N_2 stap 2**	**CO_2 stap 1**	**CO_2 stap 2**
m	0[5]	2.000×10^{-1}	3.335×10^{-2}	0
n	2.196	0	1.871	1.133×10^{-2}
p	7.410×10^{-5}	6.519×10^{-2}	2.146×10^{-5}	1.959×10^{-8}
q	0	0	0	5.930×10^{-2}
r	0	6.500×10^{-1}	7.952×10^{-4}	0
k_0 (min^{-1})	4.391×10^{8}	6.775×10^{-3}	3.882×10^{7}	1.751×10^{4}
E_A ($kJ\ mol^{-1}$)	117.0	105.0	103.7	110.3

Tabel 5-6: Gemiddelde absolute foute tussen eksperimentele waardes en modelsimulasies vir dinamiese termogramme.

Reaksie	Isotermies	Sestak-Berggren
N_2 pirolise 200–550 °C	2.1 %	3.4 %
N_2 pirolise 550–1 000 °C	1.6 %	2.5 %
CO_2 pirolise 200–550 °C	2.0 %	3.6 %
CO_2 tru-Boudouard 750–1 100 °C	0.5 %	1.1 %

Tabel 5-7: Vergelyking van kinetiese data vir die tru-Boudouardreaksie.

Outeurs	Materiaal	TGA regime	Model	E_A (kJ mol^{-1})	P_{CO2} (atm)	Verwysing
Dutta e.a.	Steenkool kooks	Isotermies	Reaksiebeheer met intrapartikel diffusie	248	1	[257]
Lee en Kim	Bandekooks	Isotermies	*MVRM	238.9	0.3–1.0	[258]
Issac e.a.	Bandekooks	Isotermies	*RPM	174.9–177.0	1	[246]
Murillo e.a.	Bandekooks	Isotermies	*VM, MVM, CGSM, RPM	191.4–197.7	0.2–0.4	[259]
Betancur e.a.	Bandekooks	Isotermies	*CGSM, RPM, HMRPM	147.3–155.5	0.2–0.3	[260]
Hierdie werk	Bandekooks	Isotermies	*L3	201.7–223.1	1.0	

*MVRM - *'Modified Volume Reaction Model'*; RPM - *'Random Pore Model'*; VM - *'Volume reaction Model'*; MVM - *'Modified Volume reaction Model'*; CGSM - *'Changing Grain Size Model'*; HMRPM - *'Hybrid Modified Random Pore Model'*; L3 – Krimpende-sfeer reaksiebeheermodel.

Hoofstuk 6.

Tabel 6-1: Rubbereienskappe.

Komponent	Massa %
Gefikseerde koolstof	19.04
Vlugstowwe	70.81
As	10.15
C	74.495
H	6.556
N	0.025
S	2.196
O (deur verskil)	6.575

Tabel 6-2: Opsomming van eksperimentele kondisies.

Eksp. no	Prosesgas	Blokkie nom. wand lengte	Blokkie nom. volume	Blokkie ware volume	Aanvangs-massa	T	Tyd
		(mm)	(cm^3)	(cm^3)	(g)	(°C)	(min)
220329_2	CO_2	5	0.125	0.147	0.1676	863	23
220224_1	N_2	10	1.00	0.965	1.0989	635	22
220324_3	CO_2	10	1.00	1.204	1.3710	863	20
220329_1	CO_2	15	3.375	3.199	3.6440	456	21
220302_1	N_2	15	3.38	3.2836	2.843	640	22
220302_2	CO_2	15	3.375	3.493	3.9789	640	20
220310_1	CO_2	15	3.375	2.508	2.8566	873	10
220322_1	CO_2	15	3.375	3.252	3.7040	864	14
220310_2	CO_2	15	3.38	3.116	3.5488	882	20
220318_1	CO_2	15	3.38	3.178	3.6196	860	20
220316_1	CO_2	15	3.38	2.540	2.8935	861	45
220324_1	CO_2	15	3.38	3.363	3.8303	862	20
220505_1	CO_2	15	3.38	3.712	4.2275	990	20
220328_1	CO_2	20	8.00	8.112	9.2394	864	23

Die massaverskille tussen nominaal ewe groot blokkies kan toegeskryf word aan hoe moeilik dit is om die monsters akkuraat met die hand te sny.

Tabel 6-3: Vergelykende fisiese eienskappe.

Materiaal	a_T (mm^2 s^{-1})	κ (W/(m K)	C_p J/(kg K)	ϱ (kg m^{-3})
Hierdie ondersoek	0.194	-	-	-
*Butadieen-akrilonitrielrubber +C	0.22	0.418	1443	1 340
*Stireen-butadieenrubber + CB	0.14	0.243	1757	1 000
**Bandrubber	0.281	0.38	1230	1 100

*Thermtest databasis [281], ** Yang e.a. [54].

Tabel 6-4: Opsomming van termiese diffusiwiteite en D = 0 pirolisetyd afsnitte.

T (°C)	$\tau_{0,model}$ (s)	$\tau_{0,eksperimenteel}$ (s)	α_T ($mm^2\ s^{-1}$)	Verwysing
490	312.9	256.8	0.126	[277]
501	228.7	93.8	0.161	[43]
544	72.8	25.1	0.147	[43]
550	62.7	70.1	0.149	[270]
590	24.3	9.5	0.173	[43]
620	12.6	110.5	0.178	[277]
840	0.3	17.8	0.209	[277]
860	0.2	0	0.194	Hierdie werk
		Gemiddeld:	0.166 ±0.026	

Tabel 6-5: Opgesomde kinetiese data vir pirolise en die tru-Boudouardreaksie in integrale vorm as $g(\alpha) = \frac{t}{\tau}$.

$g(\alpha)$	τ (min)		Verg. no
	Pirolise		
$\left[1-(1-\alpha)^{1/3}\right]^2$	$\left[k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}\right]^{-1}$	$k_0 = 7.337 \times 10^8\ \text{min}^{-1}$ $E_a = 1.40 \times 10^5\ \text{J mol}^{-1}\ \text{K}^{-1}$	(6-1)
	Tru-Boudouard – chemiese reaksie beheer		
$1-(1-\alpha)^{1/3}$	$\left[\frac{k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} C_{CO_2}}{\rho_C R_0}\right]^{-1}$	$k_0 = 2.58 \times 10^6\ \text{m min}^{-1}$ $E_a = 1.69 \times 10^5\ \text{J mol}^{-1}\ \text{K}^{-1}$	(6-2)
	Tru-Boudouard – massa-oordrag beheer		
$1-(1-\alpha)^{2/3}$	$\left[\frac{Sh D_{CO_2} C_{CO_2}}{\rho_C R_0^2}\right]^{-1}$	$Sh = 2 + 0.522 Re^{1/2} Sc^{1/3}$ $Re = \frac{\rho_{CO_2} u_{CO_2} R_0}{\mu_{CO_2}}$	(6-3)

$$Sc = \frac{\mu_{CO_2}}{\rho_{CO_2} D_{CO_2}}$$

Hier is: C_{CO_2} die parsiële druk van die CO_2, uitgedruk as massa per; ρ die digtheid met die onderskrif wat óf C óf CO_2 aandui; D_{CO_2} die self-diffusiekonstante van CO_2; *Sh* die Sherwoodgetal; *Re* die Reynoldsgetal; *Sc* die Schmidtgetal; en μ_{CO_2} die CO_2 viskositeit.

Hoofstuk 7.

Tabel 7-1: Hoopdigthede van rubbermonsters.

Monster	Los hoopdigtheid (kg/m^3)	Gepakte hoopdigtheid (kg/m^3)
< 1 mm skaafsels	288.5	361.1
3–5 mm korrels	481.5	515
6–12 mm snippers	485.7	485.7

Tabel 7-2: Opsomming van plasma-eksperimente uitgevoer.

Eksp. no	Partikelgrootte (mm)	Voer (kg/h)	N_2 (kg/h)	CO_2 (kg/h)	Plasma ($kW_{(e)}$)	Reaktor (℃)(min)	Reaktor (℃)(maks)
Inbedryfstelling							
220908_1			2.54	4.6	12	865	898
220913_1			2.54	1.36	12.87	990	1017
220915_1	<1	0.5	2.04	1.9	16.7	965	1037
220922_1	<1	0.75	2.42	1.9	14.72–15.8		1057
Eksperimente							
220928_1	<1	1	2.42	1.9	15.6	845	1026
		1.5	2.42	1.9	15.6	837	1023
221005_1	<1	0.5	2.42	1.9	15.84	994	1235
		0.75	2.42	1.9	15.18	1160	1203
221020_1*	3–5	0.5	2.42	0	15	947	1246
	3–5	0.75				846	1441
	3–5	1				1394	1574
221102_1	3–5	1.73	2.42	1.9	16.6	981	1163
221123_1	3–5	1.73	2.42	1.9	16.56	970	1157
221207_1	6–12		2.42	1.9		1985	1192

*Lopie na 50 min gestaak om toerusting te beskerm teen oorverhitting; **4 kg h^{-1} (nom), lopie moes na 45 min gestaak word weens voerfaling.

Tabel 7-3: Reaktorvertoeftyd en partikel uitsaksnelheid

Rubber voertempo	0.5	kg h^{-1}	0.161	cm^3 g^{-1}					
Reaktor binnedia:	0.2	m	Diepte	0.15 m					
Buitedia	0.24	m	Hoogte	0.18 m					
Gasvertoeftyd berekening					**Uitsaksnelheid berekeningparameters**				
Reaktorvolume	4.71×10^{-3}	m^3			Temperatuur		T	1273	K
Reaktor area	3.14×10^{-2}	m^2			Partikel digtheid**		ρ_p	700	kg m^{-3}
Temp	1 000	C			Gasdigtheid		ρ	0.277	kg m^{-3}
	1273	K			Swaartekragversnelling		g	9.8	m s^{-2}
N_2 vloei	2.9×10^{-3}	m^3 s^{-1}	10.26	m^3 h^{-1}	Partikeldiameter		d	1×10^{-4}	m
Ar vloei	4.32×10^{-4}	m^3 s^{-1}	1.56	m^3 h^{-1}	Kinetiese viskositeit (lug, N_2)		μ	1.71×10^{-4}	m^2 s^{-1}
CO_2 vloei	1.42×10^{-3}	m^3 s^{-1}	5.1	m^3 h^{-1}					
Produkte	6.12×10^{-4}	m^3 s^{-1}	2.2	m^3 h^{-1}					
Totaal	4.7×10^{-3}	m^3 s^{-1}	16.91	m^3 h^{-1}					
Maks. Vertoeftyd	1.00	s			**Uitsaksnelheid**				
Min. Gassnelheid	0.15	m s^{-1}			Yalin (> 2 mm)	$(\rho_p-\rho_m)gd^3/\rho_m\mu^2$		9.92×10^{-1}	m s^{-1}
					Stokes (< 2 mm)	$2/9(\rho_p-\rho_m)gd^2/\mu$		8.89×10^{-2}	m s^{-1}

***** Eksp 220928; ****** [292, 293]

Tabel 7-4: Gasdigthede

	kg m^{-3} (NTD*)	kg m^{-3} (STD**)
Lug	1.205	1.029
N_2	1.165	1.251
O_2	1.331	1.429
H_2O(g)	0.804	–
H_2	0.08375	0.0899
Sintesegas#	0.569	0.622

*(20°C, 101.3 kPa) **(0 °C, 101.3 kPa); # Bereken vanaf verg. (7-1).

Die digtheid van die sintesegas in Tabel 7-4 is bereken uit

$$\rho_g = \frac{pM_g}{RT} \tag{7-1}$$

Tabel 7-5: Sintesegas-samestelling en berekende opbrengste, <1 mm skaafsels.

Eksp 220915_1	t = 0: begin voer							
Analise no	**1**		**2**		**3**		**4**	
Looptyd (min)	0.17		1		25		33	
Samestelling	**mol**	**% m/m**	**mol**	**% m/m**	**mol**	**% m/m**	**mol**	**% m/m**

Totale C	0.532	31%	0.57	32%	0.50	29%	0.30	14%
Totale H	1.167	6%	1.22	6%	0.94	5%	0.00	0%
Totale O	0.338	27%	0.35	26%	0.36	27%	0.57	36%
Totale N	0.341	24%	0.36	24%	0.38	26%	0.60	33%
Totale Ar	0.064	13%	0.06	12%	0.07	13%	0.10	16%
Totaal		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**
Ar + N_2 (kg h^{-1})		2.36		2.67		2.67		2.67
Singas (kg h^{-1})		4.17		4.87		4.19		2.69
Singas H_c (MJ kg^{-1})								
Afgas (kg h^{-1})		6.53		7.53		6.86		5.36
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		--3.91		-4.04		-3.50		-0.22

Tabel 7-6: Sintesegas-samestelling en berekende opbrengste, <1 mm skaafsels.

Eksp 220922_1	t = 0: begin voer					
Analise no	**1**		**2**		**3**	
Looptyd (min)	1		16		43	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.016	0.67%	0.34	13.53%	0.48	22.45%
Totale H	0.054	0.19%	0.21	0.69%	0.84	3.30%
Totale O	0.004	0.23%	0.47	24.78%	0.36	22.39%
Totale N_2	0.780	75.88%	0.57	52.32%	0.41	44.23%
Totale Ar	0.166	23.03%	0.07	8.67%	0.05	7.63%
Totaal		**100.00%**		**100.00%**		**100.00%**
Ar + N_2 (kg h^{-1})		2.93		2.93		2.93
Singas (kg h^{-1})		0.03		1.88		2.72
Singas H_c (MJ kg^{-1})						
Afgas (kg h^{-1})		**2.97**		**4.81**		**5.66**
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		**-0.37**		**-1.67**		**-3.42**

Tabel 7-7: Sintesegas-samestelling en berekende opbrengste, <1 mm skaafsels.

Eksp 220928_1	t = 0: begin voer							
Analise no	**1**		**2**		**3**		**4**	
Looptyd (min)	0		71		95		105	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.43	19.22%	0.22	8.31%	0.03	0.68%	0.201	7.55%
Totale H	0.69	2.58%	0.22	0.70%	0.10	0.20%	0.002	0.01%
Totale O	0.39	23.24%	0.40	19.65%	0.00	0.03%	0.365	18.26%
Totale N_2	0.45	47.07%	0.67	58.57%	1.60	85.43%	1.366	59.82%
Totale Ar	0.05	7.89%	0.10	12.76%	0.18	13.66%	0.115	14.36%
Totaal		**100.00%**		**100.00%**		**100.00%**		**100.00%**
Ar + N_2 ((kg h^{-1})		2.93		2.93		2.93		2.93
Singas (kg h^{-1})		2.41		1.18		0.03		1.02
Singas H_c (MJ kg^{-1})								
Afgas (kg h^{-1})		5.34		4.11		2.96		3.96
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		**-2.91**		**-0.41**		**-0.72**		**-0.31**

Tabel 7-8: Sintesegas-samestelling en berekende opbrengste, <1 mm skaafsels.

Eksp 221005_1	t = 0: begin voer									
Analise no	**1**		**2**		**3**		**4**		**5**	
Looptyd (min)	6		21		50		65		80	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.01	0.50%	0.29	15.61%	0.28	14.13%	0.27	13.57%	0.3	14.05%
Totale H	0.02	0.06%	0.34	1.55%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.0	0.11%
Totale O	0.01	0.45%	0.41	29.45%	0.52	34.92%	0.50	33.88%	0.5	33.90%
Totale N_2	1.66	77.85%	0.63	39.11%	0.64	37.11%	0.64	37.78%	0.6	37.77%
Totale Ar	0.16	21.13%	0.08	14.28%	0.08	13.84%	0.09	14.77%	0.1	14.17%
Totaal		**100.00%**		**100.00%**		**100.00%**		**100.00%**		**100.00%**
Ar + N_2 (kg h^{-1})		2.73		2.73		2.73		2.73		2.73
Singas (kg h^{-1})		0.03		2.39		2.63		2.47		2.53
Singas H_c (MJ kg^{-1})										
Afgas (kg h^{-1})		2.76		5.12		5.37		5.20		5.26
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		**--0.25**		**-1.39**		**-0.33**		**-0.27**		**-0.28**

Tabel 7-9: Oppervlak-analise van koolresidu uit tru-Boudouard vergassing

Oppervlakarea (m^2 g^{-1})	**Duplikaatwaardes**	
Enkelpunt oppv. area by p/p° = 0.30	54.88	46.02
BET oppv. area	56.74	47.91
t-Stipping eksterne oppv. area	62.11	56.62
BJH Adsorpsie kumulatiewe oppv. area porieë 17 000 Å en 3 000 000 Å wyd	57.9	53.09
BJH Desorpsie kumulatiewe oppv. area porieë 17 000 Å en 3 000 000 Å wyd	59.89	55.69

Porievolume (cm³ g^{-1})		
Enkelpunt adsorpsie: totale porievolume: porië <777.963 Å wyd by p/p° = 0.97	0.169	0.18
Enkelpunt desorpsie totale porievolume: porië <19.64 Å wyd by p/p° = 0.15	0.022	0.018
t-Stipping mikroporie volume	-0.0029	-0.0047
BJH Adsorpsie kumulatiewe volume, porieë tussen 17 000 Å en 3 000 000 Å width	0.27	0.27
BJH Desorption cumulative volume of pores between 17 000 Å en 3 000 000 Å wyd	0.26	0,.27
Poriegrootte (Å)		
Adsorpsie gem. poriediameter (4V/A m.b.v. BET)	113.44	146.13
Desorpsie gem. poriediameter (4V/A m.b.v. BET)	15.17	14.76
BJH Adsorpsie gem. poriewydte (4V/A)	183.28	204.60
BJH Desorpsie gem. poriewydte (4V/A)	176.32	194.60

Tabel 7-10: Sintesegas samestelling en berekende opbrengste, 35 mm krummels

Eksp 221020_1														
Analises	1		2		3		4		5		6		**7**	
t = 0: plasma aan	10:32:00		10:41:20		10:55:10		11:04:00		11:17:00		11:25:50		11:38:00	
Looptyd (min)	26		35		49		58		71		80		85	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.00	0.05%	0.00	0.12%	0.00	0.15%	0.00	0.11%	0.00	0.15%	0.00	0.02%	0.00	0.14%
Totale H	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.01%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
Totale O	0.00	0.14%	0.01	0.31%	0.01	0.39%	0.01	0.29%	0.01	0.41%	0.00	0.05%	0.01	0.38%
Totale N_2	1.63	75.70%	1.63	75.85%	1.63	75.84%	1.64	76.12%	1.64	76.19%	1.63	75.82%	1.64	77.15%
Totale Ar	0.18	24.11%	0.18	23.73%	0.18	23.62%	0.18	23.49%	0.18	23.24%	0.18	24.11%	0.17	22.33%
Totaal		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%
N_2 + Ar (kg/h)		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93
Singas (kg/h)		0.0057		0.0125		0.0160		0.0118		0.0168		0.0021		0.0153
Afgas (kg/h)		2.94		2.95		2.95		2.95		2.95		2.94		2.95
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		0.00		0.00		0.00		0.00		0.01		0.00		0.00

Tabel 7-11: Sintesegas samestelling en berekende opbrengste, 35 mm krummels

Eksp 221102_1																				
Analises	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Tyd	10:15:00		10:20:00		10:25:00		10:30:00		10:35:00		10:40:00		10:45:00		10:50:00		10:55:00		11:00:10	
t = 0: voer begin	0		5		10		15		20		25		30		35		40		45	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.00	0.12%	0.00	0.10%	0.00	0.03%	0.00	0.10%	0.00	0.05%	0.00	0.06%	0.00	0.04%	0.00	0.06%	0.00	0.07%	0.00	0.10%
Totale H	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.01%
Totale O	0.01	0.32%	0.01	0.27%	0.00	0.08%	0.01	0.28%	0.00	0.14%	0.00	0.15%	0.00	0.12%	0.00	0.16%	0.00	0.19%	0.00	0.25%
Totale N	1.59	73.39%	1.60	74.05%	1.61	74.46%	1.61	74.43%	1.61	74.57%	1.60	73.95%	1.61	74.62%	1.61	74.53%	1.59	73.84%	1.60	74.23%
Totale Ar	0.20	26.16%	0.19	25.58%	0.19	25.42%	0.19	25.18%	0.19	25.23%	0.20	25.84%	0.19	25.22%	0.19	25.25%	0.20	25.90%	0.19	25.40%
Totaal		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**
N2 + Ar (kg/h)		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93
Singas (kg/h)		0.0131		0.0110		0.0034		0.0113		0.0057		0.0062		0.0047		0.0066		0.0077		0.0108
Afgas (kg/h)		2.95		2.95		2.94		2.95		2.94		2.94		2.94		2.94		2.94		2.95
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00				

Tabel 7-12: Sintesegas samestelling en berekende opbrengste, 35 mm krummels

Eksp 221123_1										
Analises	1		2		3		4		5	
t = 0: voer begin	09:46:00		09:57:00		10:07:00		10:17:00		10:27:00	
Looptyd (min)	4		15		25		35		45.	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.40	20.86%	0.37	16.92%	0.42	22.74%	0.00	0.05%	0.39	22.11%
Totale H	0.83	3.60%	0.34	1.30%	0.94	4.25%	0.00	0.00%	0.83	3.90%
Totale O	0.33	22.38%	0.39	23.58%	0.33	23.28%	0.00	0.14%	0.31	23.36%
Totale N	0.78	46.79%	0.93	49.58%	0.68	42.77%	1.61	74.60%	0.68	44.30%
Totale Ar	0.04	6.36%	0.06	8.63%	0.04	6.95%	0.19	25.21%	0.03	6.34%
Totaal		100%		100%		100%		100%		100%
N2 + Ar (kg/h)		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93
Singas (kg/h)		2.59		2.11		2.97		0.01		2.86
Afgas (kg/h)		5.52		5.04		5.90		2.94		5.80
Afgas H_c (MJ kg^{-1})		-8.36		-4.70		-9.85		-3.65		-9.07

Tabel 7-13: Opsomming van afgassamestelling en opbrengs, piroliseproses

Eksp 221020														
Analises	1		2		3		4		5		6		**7**	
t = 0: plasma aan	10:32:00		10:41:20		10:55:10		11:04:00		11:17:00		11:25:50		11:38:00	
Looptyd (min)	26		35		49		58		71		80		85	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.00	0.05%	0.00	0.12%	0.00	0.15%	0.00	0.11%	0.00	0.15%	0.00	0.02%	0.00	0.14%
Totale H	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.01%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
Totale O	0.00	0.14%	0.01	0.31%	0.01	0.39%	0.01	0.29%	0.01	0.41%	0.00	0.05%	0.01	0.38%
Totale N_2	1.63	75.70%	1.63	75.85%	1.63	75.84%	1.64	76.12%	1.64	76.19%	1.63	75.82%	1.64	77.15%
Totale Ar	0.18	24.11%	0.18	23.73%	0.18	23.62%	0.18	23.49%	0.18	23.24%	0.18	24.11%	0.17	22.33%
Totaal		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%
N_2 + Ar (kg/h)		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93
Singas (kg/h)		0.0057		0.0125		0.0160		0.0118		0.0168		0.0021		0.0153
Afgas (kg/h)		2.94		2.95		2.95		2.95		2.95		2.94		2.95

Tabel 7-14: Samestelling en singasopbrengs, tru- Boudouard proses

Eksp 221102																				
Analises	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Tyd	10:15:00		10:20:00		10:25:00		10:30:00		10:35:00		10:40:00		10:45:00		10:50:00		10:55:00		11:00:10	
t = 0: voer begin	0		5		10		15		20		25		30		35		40		45	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.00	0.12%	0.00	0.10%	0.00	0.03%	0.00	0.10%	0.00	0.05%	0.00	0.06%	0.00	0.04%	0.00	0.06%	0.00	0.07%	0.00	0.10%
Totale H	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.01%
Totale O	0.01	0.32%	0.01	0.27%	0.00	0.08%	0.01	0.28%	0.00	0.14%	0.00	0.15%	0.00	0.12%	0.00	0.16%	0.00	0.19%	0.00	0.25%
Totale N	1.59	73.39%	1.60	74.05%	1.61	74.46%	1.61	74.43%	1.61	74.57%	1.60	73.95%	1.61	74.62%	1.61	74.53%	1.59	73.84%	1.60	74.23%
Totale Ar	0.20	26.16%	0.19	25.58%	0.19	25.42%	0.19	25.18%	0.19	25.23%	0.20	25.84%	0.19	25.22%	0.19	25.25%	0.20	25.90%	0.19	25.40%
Totaal		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**		**100%**
N2 + Ar (kg/h)		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93		2.93
Singas (kg/h)		0.0131		0.0110		0.0034		0.0113		0.0057		0.0062		0.0047		0.0066		0.0077		0.0108
Afgas (kg/h)		2.95		2.95		2.94		2.95		2.94		2.94		2.94		2.94		2.94		2.95

Eksp 221123_1										
Analises	1		2		3		4		5	
t = 0: voer begin	09:46:00		09:57:00		10:07:00		10:17:00		10:27:00	
Looptyd (min)	4		15		25		35		45.	
Samestelling	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**	**Mol**	**% m/m**
Totale C	0.40	20.86%	0.37	16.92%	0.42	22.74%	0.00	0.05%	0.39	22.11%

2

3