

## Navorsings- en oorsigartikels

# Massa-oordrag in sproeikolomme 1. Druppelgrootte en -verspreiding

A.J. Rautenbach en G. Kornelius\*

Dept. Chemiese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

Ontvang 16 Junie 1988; aanvaar 20 Maart 1989

### UITTREKSEL

*Vir die bepaling van die massa-oordrageienskappe in sproeikolomme is die eienskappe van die druppels in die sproei nodig. 'n Fotografiese tegniek word beskryf waarmee sulke eienskappe verkry is vir wasolie wat deur soliede koniese sproeistukke gedispergeer is. Spesiale aanpassings moes gemaak word, omdat die vloeistof die kolomwande ondeursigtig maak. Resultate vir 'n spesifieke sproeistuk as funksie van vloeistofvloeiensnelheid en teenstromende gasvloeiensnelheid word gegee.*

### ABSTRACT

#### *Mass transfer parameters in spray columns*

*To determine mass transfer parameters in spray columns the spray characteristics are required. A photographic technique that allows determination of these characteristics of wash oil sprayed through solid nozzles is described. Special precautions had to be taken because wash oil rendered the column walls opaque. Results are given for a specific nozzle as function of liquid and countercurrent gas flow rate.*

### NOMENKLATUUR

		Eenhede
$\mu$	= druppeldiameter	mm
D	= druppeldiameter (algemeen)	
$D_{Gm}$	= geometries-gemiddelde druppeldiameter	mikron
$D_{Am}$	= getal-gemiddelde druppeldiameter	mikron
$D_{Sm}$	= opp-gemiddelde druppeldiameter	mikron
$D_{Vm}$	= volume-gemiddelde druppeldiameter	mikron
$D_{Vs}$	= volume-opp (Sauter) gemiddelde druppeldiameter	mikron
m	= kameravergroting	
N	= aantal	
S	= standaardafwyking (rekenkundig)	mikron
$S_G$	= standaardafwyking (meetkundig)	

### INLEIDING

Sproeikolomme word in die chemiese prosesnywerheid gebruik om gas en vloeistof met mekaar in kontak te bring. Die hoofvoordeel van die tipe toerusting bo gepakte toerusting is dat 'n groot massa-oordragarea per eenheid volume beskikbaar is. Verder is die vloeiveerstand aan die gaskant laag en groot variasies in gas- en vloeistofladings kan hanteer word.

Dit is hierdie voordele wat daartoe gelei het dat sproeikolomme oorweeg is vir die absorpsie van ben-

seen uit kooksoondgas d.m.v. wasolie. Wasolie besit die eienskap dat dit, behalwe benseen, ook swaarder komponente uit die kooksoondgas absorbeer wat lei tot bevulling van die pakking van gepakte torings. Die gebruik van 'n sproeitoring bied hier dus 'n verdere besondere voordeel.

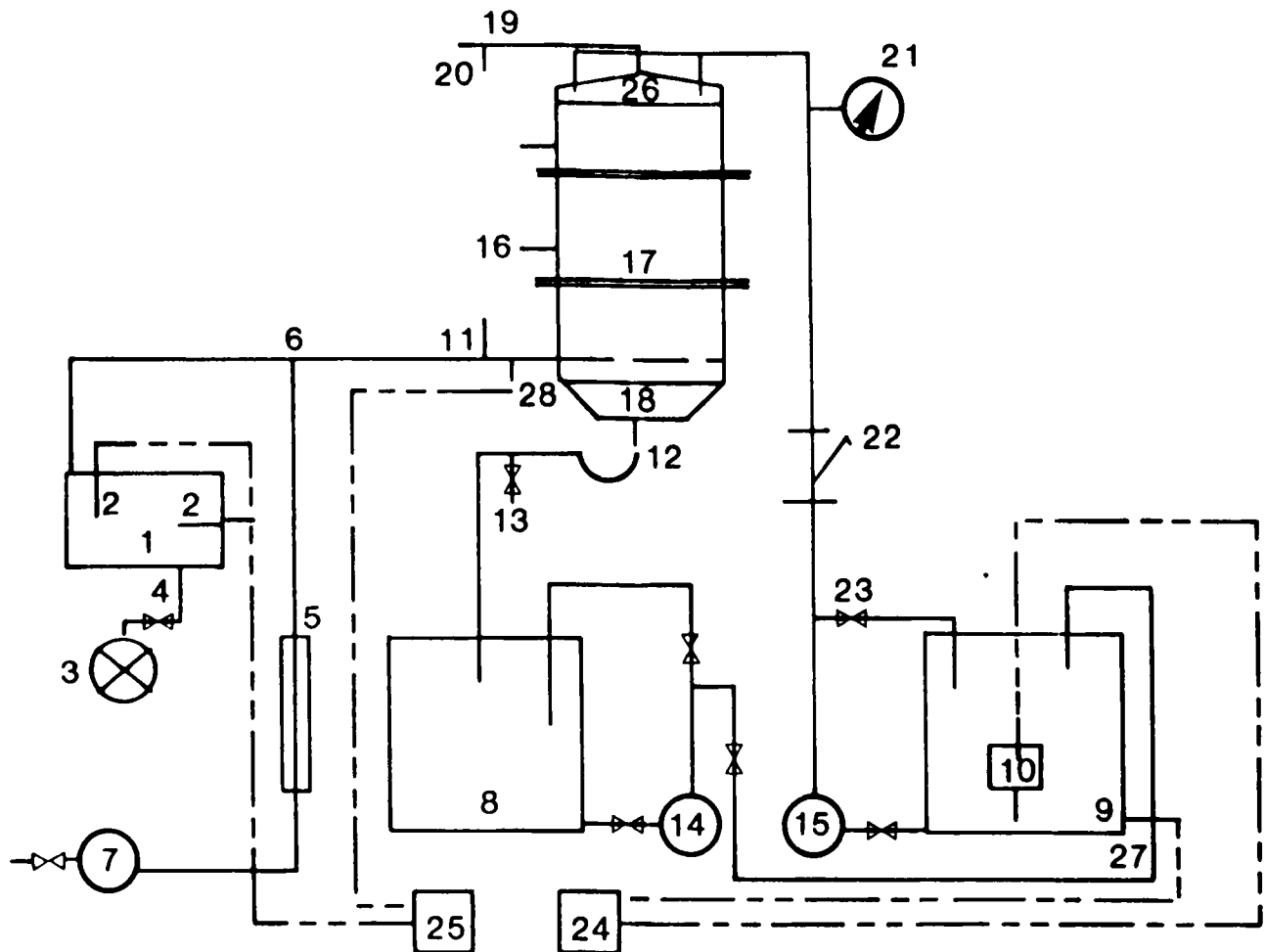
Sproeikolomme bestaan uit vertikale silinders waardeur die gas ryk aan benseen na bo beweeg en die wasolie deur een of meer sproeistukke van bo ingespuut word om vallende druppels te vorm. Vir die ontwerp van die toerusting is massa-oordragparameters nodig en die werk wat hier beskryf word, het ten doel gehad om sulke parameters te vind. 'n Sleutelveranderlike in die ondersoek is die oordragarea wat verkry moet word uit die druppelgrootteverspreiding in die sproeikolom. Hier word die invloed van verskeie parameters op die druppelverspreiding ondersoek en 'n fotografiese tegniek vir die verkryging van die verspreiding voorgestel.

### LITERATUUROORSIG

Druppels, behalwe as hulle baie klein is (< 50 mikron), is gewoonlik nie baie rigied of intern stagnant nie. Sirkulasie vind binne die druppel plaas as gevolg van oppervlakwrywing veroorsaak deur die relatiewe beweging van die teenstromende gas. Turbulensie binne die druppel veroorsaak ten tye van druppelvorming by die sproeistuk, speel ook 'n rol in massa-oordrag. Die interne sirkulasie is egter 'n funksie van baie veranderlikes en moeilik bepaalbaar.

Long<sup>1</sup> ondersoek die effek van hitte-oordrag, sproeikopontwerp en drukval. Sy gemiddelde druppelgrootte bereken hy m.b.v. Nukuyama & Tanasawa se vergelyking. Rothe & Block<sup>2</sup> ondersoek die effek van die omringende gas op die druppelbaan en drup-

\*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word



FIGUUR 1: Kolomdeksel en -bodem.

## Verklaring van simbole

- |                         |                               |                          |                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1. Hitteruikkas         | 9. Bergtenk                   | 16. Monsternemingskleppe | 24. Vloeistofbeheerlus (temp) |
| 2. Verhittingselemente  | 10. Drywende element          | 17. Kolom                | 25. Gastemperatuurbeheerlus   |
| 3. Sentrifugale waaier  | 11. Termometer                | 18. Opvangbak            | 26. Sproeistukke              |
| 4. Gasvloeiklepp        | 12. U-Buis                    | 19. Gasuitlaatpyp        | 27. Termokoppel               |
| 5. Rotameter            | 13. Bloeiklepp vir olie       | 20. Pitotbuis            | 28. Termokoppel               |
| 6. Benseen-atomiseerder | 14. Opvangtenk-sirkulasiepomp | 21. Vloeistofdrukmeter   |                               |
| 7. Benseenpomp          | 15. Bergtenksirkulasiepomp    | 22. Inlynfilter          |                               |
| 8. Opvangtenk           |                               | 23. Verstelbare klepp    |                               |

pelverspreiding. Turner & Moulton<sup>3</sup> ondersoek die druppelverspreiding van sekere kommersiële hol koniese sproeistukke in teenstelling met Rothe & Block wat soliede koniese sproeistukke ondersoek. Hulle benader hul probleem empiries en pas o.a. die Nukuyama-Tanasawa- en die Rossin-Rammler- vergelykings op hul data. Fraser & Eisenklam<sup>4</sup> doen 'n volledige ondersoek na die invloed van die tipe sproeistuk, vloeistofeienskappe en die omringende lug op die druppelgrootte en -verspreiding. Hulle ondersoek o.a. draaikolk-, enkelgatplatsproei-, dubbelvloeistof- en roterende sproeistukke. Uit hul ondersoek blyk die log-normaalverspreiding die geskikste te wees vir 'n draaikolktype-sproeistuk soos bv. soliede en hol koniese sproeistukke.

Die resultaat word gestaaf deur Sada *et al.*<sup>5</sup> wat die druppelverspreiding vir 'n soliede koniese sproeistuk ondersoek. Uit hul navorsing blyk dat die drup-

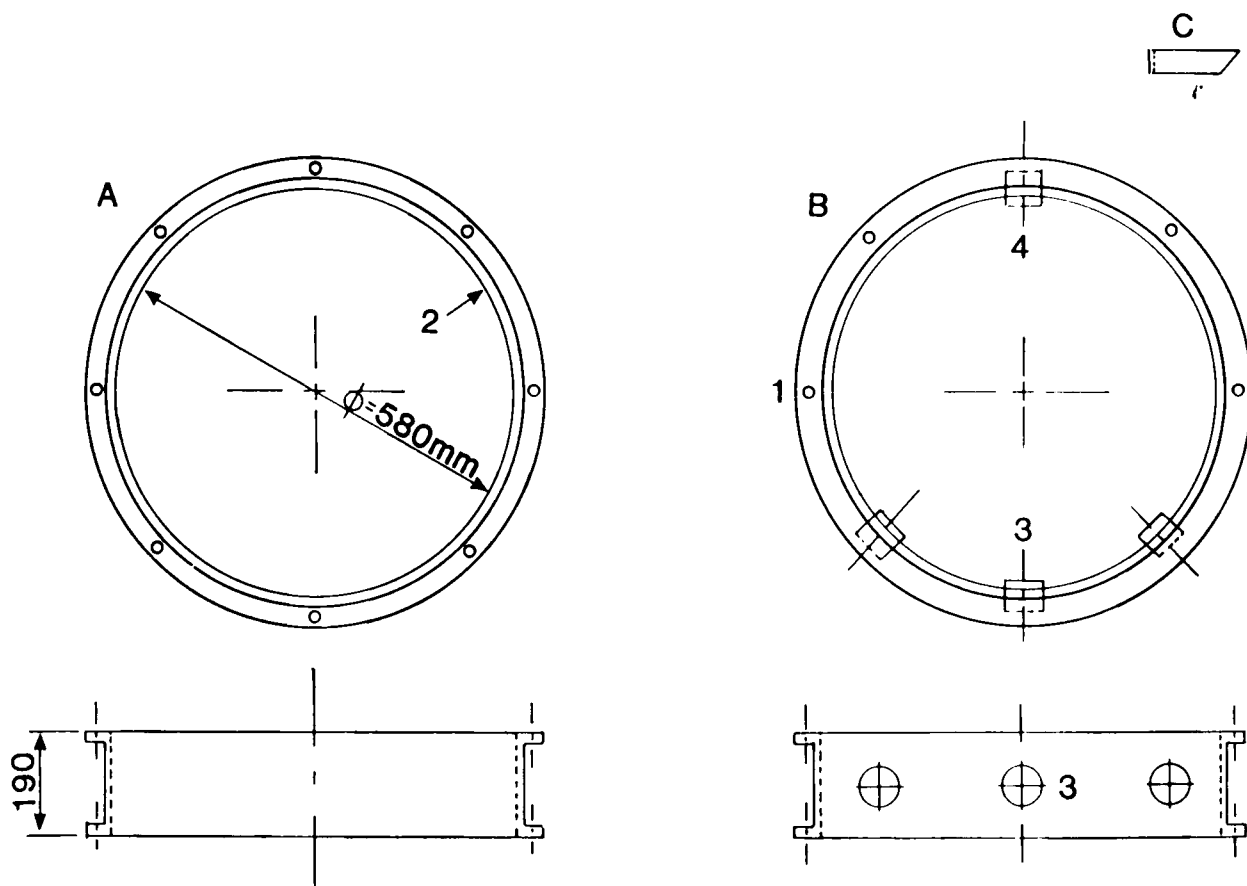
pelverspreiding vir 'n soliede konussproeistuk deur die superponering van twee log-normaalverspreidings voorgestel kan word, nl. een vir die middel van die sproei en een vir die kante van die sproei.

Ten spyte van al die werk deur voorafgaande navorsers gedoen, is daar nog leemtes in dié sin dat geen data vir meervoudige sproeistukke bestaan nie en die effek van 'n teenstromende gas op die druppelgrootte en -verspreiding nog nie ondersoek is nie.

## EKSPERIMENTELE OPSTELLING

## 1. Kolomopstelling

'n Kolom bestaande uit perspeksseksies 190 mm hoog, 58 cm-binnedeursnee en met 'n 3 mm-wanddikte (kyk figure 1 & 2) is opgestel. Die seksies is m.b.v. 'n rubberseël, boute en moere aanmekaar geheg. Die seksies het ook elk 'n monsternemingspunt gehad waardeur gaskant-drukval bepaal kon word. Die



FIGUUR 2: Perspeks-kolomseksies.

#### Verklaring van simbole

- A — Gewone kolomseksie  
 B — Kolomseksie vir fotografiese tegniek aangepas  
 C — Perspexbuis met glasvenster. Skuif by buisgate nr. 3 in

- 1 — Gate vir boute en moere vir aanmekaarheid van kolomseksies  
 2 — 33 mm dik wand  
 3 — Buisgate  
 4 — Maatstokgat (sien 9.15)

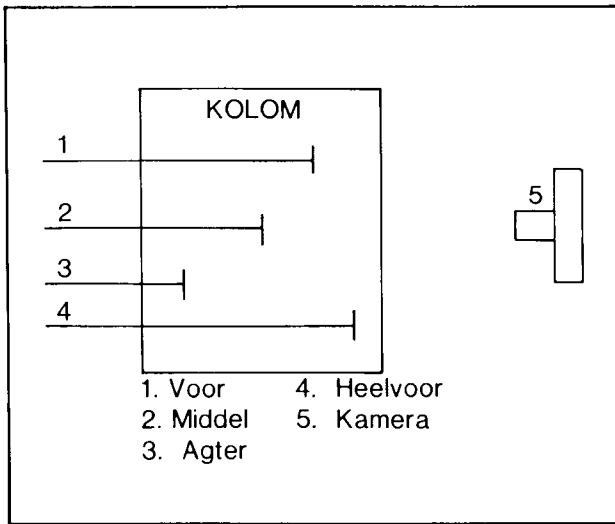
hoogte van die kolom is verander deur meer of minder seksies aanmekaar te bout. Een van die seksies is verander om die neem van foto's van die kolominhoud toe te laat. Die boonste gedeelte van die kolom het bestaan uit 'n vlekrye staaldeksel met die sproeistukke daarin gemonteer. Die sentrale sproei en vloeistof wat op die wand versamel is, het in die onderste opvangbak van die kolom gevloei. Die versamelde vloeistof het via 'n U-vormige gasseël met 'n monsternemingskraan terug na die bergingstank gevloei. Die draergas was lug wat deur 'n sentrifugale waaier verskaf is. Verhitting van die inlaatlug met 'n hiteruiler het 'n inlaattemperatuur van  $32 \pm 1,5^\circ\text{C}$  bewerkstellig wat die temperatuur is waarby absorpsie in die praktyk moet plaasvind. Die lug is m.b.v. 'n 75 mm-pyp na die kolom gevoer. Die lug is onder in die kolom ingelaat deur 'n geperforeerde pyp onder in die opvangbak. Die lugvloeiempo is m.b.v. 'n pitotbuis en 'n gekantelde manometer by die uitlaat aan die bokant van die kolom bepaal. Vloeistof (wasolie) is in twee stoortens langs die kolom gestoor. Wasolie is d.m.v. 'n ratpomp aan die sproeistukke verskaf. Die vloeiempo is m.b.v. 'n drukmeter gemonitor, wat vooraf gekalibreer is vir die verband tussen vloei en uitlaatdruk. Eweredige

vloeiempo deur die sproeistukke is m.b.v. 'n stelsel van kleppe verkry. Wasolie-temperatuur is op  $32^\circ\text{C}$  beheer d.m.v. drywende verhittingsklos met aanafbeheer in die voorraadtenk. Soliede konussproeistukke (1/4 BK5; Spray Nozzle (Edms) Bpk.) is eweredig op die omtrek van die kolomdeksel gespaseer teen 'n hoek van  $75^\circ$  om sodoende die minste ongebruikte volume te verkry.

Die druppelverspreiding van soliede koniese sproeistukke is minder homogeen as van hoekkonussproeistukke in dié sin dat fyner druppels op die rand van die konus voorkom. Soliede koniese sproeistukke word meer dikwels in teenstromende toepassings gebruik; die groter druppels neig om aksiaal te beweeg terwyl die kleiner druppels ook radiaal dispergeer.

#### 2. Fotografiese opstelling

Die sproei is gefotografeer d.m.v. 'n spesiale kolomseksie wat in fig. 2 getoon word. Dié benadering moes gevolg word omdat die spesifieke vloeistof (wasolie) neig om die kolomwande ondeursigtig te maak. Die buise C kon d.m.v. die buisgate in en uit skuif. Die effek was dat die glasvenster van die buise nie met olie bedek is en so eksperimentele werk verhinder het nie.



FIGUUR 3: Fotoposisies.

Die kamera het op 'n driepoot voor die kolom gestaan en kon ook in 'n radiale rigting t.o.v. die kolom beweeg. Foto's is deur die middelste buis geneem met lig verskaf deur een van die kantbuise. Die volgende toerusting is gebruik:

## (a) OLYMPUS-OM2

LENS: 28-85 mm Vivitar zoom

Sluiter: 1/60 sek

Flits: T32, TTL (lig deur lensmetering)

## (b) NIKON FE2

Sinkronisasiespoed 1/250 sek

LENS: 28-90 mm VIVITAR SERIES 1

Flits: METZ, CT45-1

outomaties; (lig deur flitsmetering)

FILM: ILFORD FP4, 125 ASA; ILFORD HP5, 400 ASA

Vir elke eksperimentele loop is die maatstok op 'n bepaalde posisie in die kolom geplaas. nl. voor (naby aan die kamera); middel of agter (verste van die kamera) (sien fig. 3). Daarna is die kamera opgestel en op die maatstok gefokus. Die kolom is dan in bedryf gestel.

Aangesien benseen nie ingespuut is ten tye van die neem van die druppels nie, is onmiddellik met die neem

van die foto's begin. Die flits is teen een van die buise gehou en 'n reeks foto's van die betrokke bedryftoestand is geneem. Bedryftoestande is verander en die foto-opname is herhaal.

Vanweë die feit dat die wasolie so donker is en die wande van die kolom feitlik onmiddellik ondeursigtig raak, moes die neem van foto's gestaak word voor die maatstok na 'n ander posisie geskuif is. Weens praktiese redes is foto-opnames by 'n spesifieke kolomhoogte en die relevante bedryftoestande eers afgehandel voordat die kolom herbou is. Druppelfoto's is dus nie op 'n honderd persent ewekansige basis geneem soos die faktoriaalontwerp voorstel nie. Herhaalbaarheid is egter getoets deur die fotografiese prosedure vir 'n bepaalde kolomhoogte te herhaal nadat 'n eerste reeks foto's op alle hoogtes geneem is.

Beligting in die kolom is bepaal deur die ligsensor wat in die lens van die kamera (OLYMPUS) of op die flits (METZ) aanwesig is.

Die sluiter se spoed is op sy hoogste waarde gestel. Sodra die knoppie gedruk word, bepaal die ligsensor die hoeveelheid lig benodig om die voorwerp stationêr te laat voorkom. Die flits verskaf die lig teen die regte tempo (1/40000 sek.) en intensiteit en die sluiter maak toe. Die lensopening van die kamera is ook varieer tydens die neem van 'n reeks foto's.

Die beste resultate is verkry met lensopenings tussen 5,6 en 8 en met 400 ASA-film. Daar is o.a. eksperimenteer met liggpolariseerders vir die lens aangesien terugkaatsing vanaf die benatte donker wand tot oorbeligting gelei het. Slegs beperkte sukses is verkry. Pogings om met behulp van eksterne ligte te belig was ook onsuksesvol aangesien die wasolie 'n feitlik ondeursigtige laag aan die binnewand gevorm het.

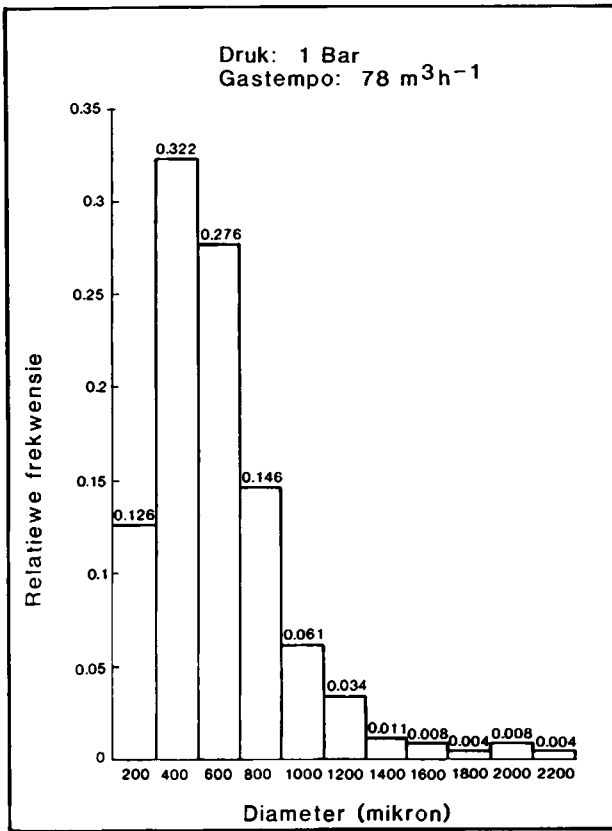
Ontwikkeling en vergroting van die negatiewe is m.b.v. standaardtegnieke gedoen. Daar is besluit op 'n vergroting van 150×200 mm, omdat dit die aanbevole grootte is vir 'n negatief van grootte 24×38 mm.

### BEPALING VAN DRUPPELGROOTTEVERSPREIDINGS

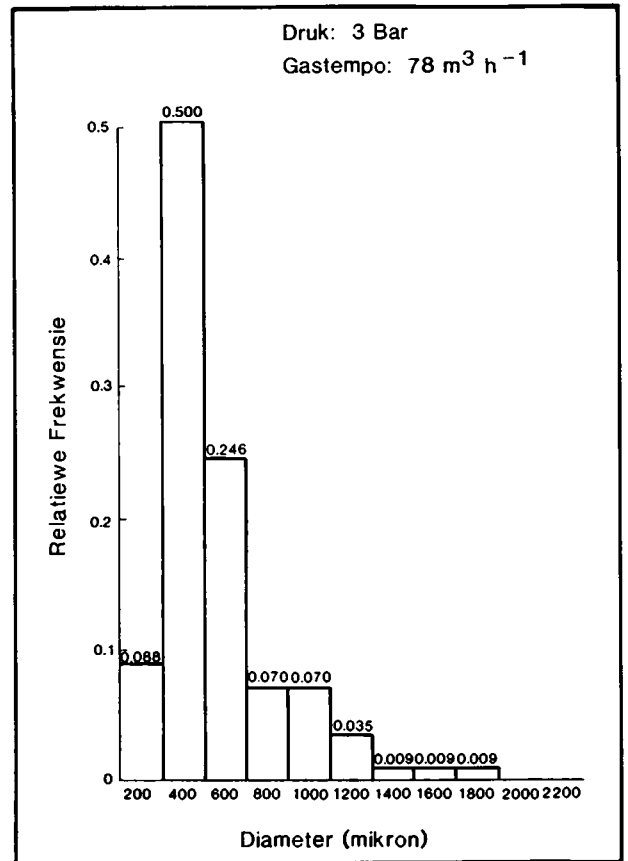
Foto's is geneem van die druppelbevolking in die kolom by verskillende toestande van kolomhoogte,

TABEL 1

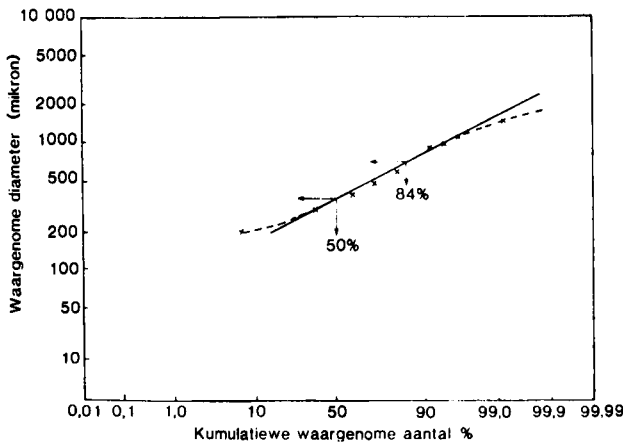
Eksp.	Druk (bar)	Gas-tempo $m^3h^{-1}$	Fotografiese vergroting	Aantal	Gemiddelde X(mm) (rekenkundig)	S	$D_{G,m}$ ( $\mu m$ )	$S_G$	$D_{A,m}$ ( $\mu m$ )	$D_{S,m}$ ( $\mu m$ )	$D_{V,m}$ ( $\mu m$ )	$D_{N,m}$ ( $\mu m$ )	Posisie in kolom
7.2	1	78	1,04	261	0,5377	0,31235	429,42	1,8181	513,43	613,83	733,90	1049,07	Voor
7.4	1	78	1,20	285	0,54015	0,30462	439,83	1,769	517,53	608,97	716,55	992,10	Agter
7.5	1	GEEN	1,0	218	0,56803	0,36202	426,30	1,952	533,16	666,81	833,97	1304,48	Middel
7.6	1	155,67	0,98	215	0,4938	0,28014	362,50	1,8857	443,28	542,05	662,84	991,15	Heel voor
7.7	3	78	1,04	114	0,49188	0,28234	365,98	1,84	440,75	530,80	639,25	927,15	Voor
7.8	3	155,67	0,98	104	0,4989	0,27412	388,39	1,733	451,77	525,50	611,26	827,04	Voor
7.9	3	155,67	1,18	158	0,41049	0,2235	309,66	1,778	365,43	431,24	508,90	708,71	Agter
7.10	1	155,67	0,84	257	0,50966	0,27143	374,58	1,677	428,14	489,36	559,34	730,73	Middel



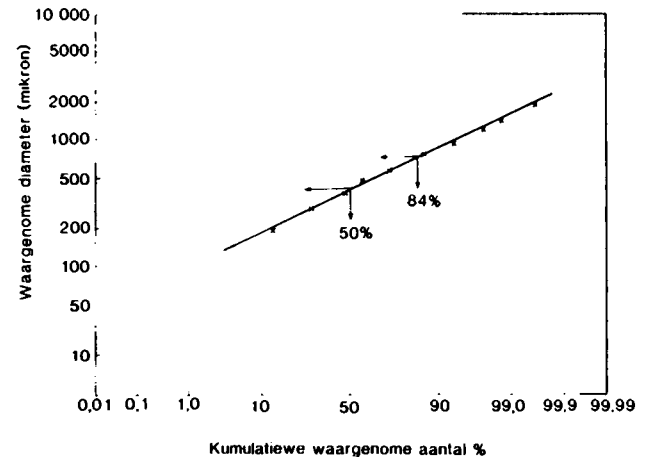
FIGUUR 4: Histogram van druppelgrootteverspreiding.



FIGUUR 5: Histogram van druppelgrootteverspreiding.



FIGUUR 6: Log-waarskynlikheidsgrafiek van druppelgrootteverspreiding.  
Druk: 3 bar. Gastempo 78 m³h⁻¹



FIGUUR 7: Log-waarskynlikheidsgrafiek van druppelgrootteverspreiding.  
Druk: 1 bar. Gastempo 78 m³h⁻¹

vloeistofvloeitempo en gasvloeitempo. Daar is ook op verskillende posisies (voor, middel, agter) in die kolom foto's by dieselfde bedryfstoestand geneem sodat die uniformiteit van die sproei ondersoek kon word.

'n Ruitnet bestaande uit 400 blokke is oor die fotografiese afdruk geplaas. Telling van die druppels in grootte-intervalle is m.b.v. die oog en 'n gekalibreerde vergrootglas gedoen. Blokke vir telling

is m.b.v. 'n ewekansige getalgenereerder gekies. Ten einde herhaalbaarheid te verseker, is besluit om 'n 95%-vertrouensinterval op die druppelgemiddeld ( $\mu$ ) te plaas. Om dit te doen, is 'n monster van 152 druppels aanvanklik getel. Hieruit is 'n standaardafwyking en 'n gemiddelde bereken. Die waardes is toe gebruik om die werklike aantal druppels benodig om 'n 95%-vertrouensinterval te lewer, bereken. Hieruit het dit geblyk dat ten minste 200 getel behoort te

**TABEL 2**  
Bepaling van gemiddelde deursnee

Totaal getel: 152 + 109 = 261  
Toestande: Druk: 1 bar  
Gasvloeitempo: 78 m<sup>3</sup>/h  
M = 1,04 (vergroting kamera)

$$\text{Werklike grootte} = \text{gemete} \times \frac{1,015}{M} \frac{(\text{vergrootglasvergroting})}{(\text{fotografiese vergroting})}$$

Waargenome Diameter (mm)	F (aantal)	Kumulatiewe totaal	Persentasie %	Klas	Klas totaal	Relatiewe frekwensie
0,2	33	33	12,64	0-0,2	33	0,126
0,3	43	76	29,12	0,2-0,4	84	0,322
0,4	41	117	44,83			
0,5	35	152	58,24	0,4-0,6	72	0,276
0,6	37	189	72,41			
0,7	23	212	81,23	0,6-0,8	38	0,146
0,8	15	227	86,97			
0,9	10	237	90,80	0,8-1,0	16	0,061
1,0	6	243	93,10			
1,1	6	249	95,40	1,0-1,2	9	0,034
1,2	3	252	96,55			
1,3	2	254	97,32	1,2-1,4	3	0,011
1,4	1	255	97,70			
1,5	2	257	98,47	1,4-1,6	2	0,008
1,6	0					
1,7	0			1,6-1,8	1	0,004
1,8	1	258	98,85			
1,9	0			1,8-2,0	2	0,008
2,0	2	260	99,62			
2,1	1	261	100	2,0-2,2	1	0,004
2,2	0					

**TABEL 3**

Toestande: M = 1,04; 3 bar; Gas: 78 m<sup>3</sup>/h  
Kolomposisie: Voor

Waargenome Diameter (mm)	F (aantal)	Kumulatiewe totaal	Persentasie %	Klas	Klas totaal	Relatiewe frekwensie
0,2	10	10	8,77	0-0,2	10	0,088
0,3	31	41	35,96	0,2-0,4	57	0,50
0,4	26	67	58,77			
0,5	14	81	71,05	0,4-0,6	28	0,246
0,6	10	91	79,82			
0,7	4	95	83,33	0,6-0,8	8	0,070
0,8	4	99	86,84			
0,9	4	103	90,35	0,8-1,0	8	0,070
1,0	4	107	93,86			
1,1	2	109	95,61	1,0-1,2	4	0,035
1,2	2	111	97,37			
1,3	1	112	98,25	1,2-1,4	1	0,009
1,4	0					
1,5	1	113	99,12	1,4-1,6	1	0,009
1,6	0					
1,7	1	114	100	1,6-1,8	1	0,009
1,8						
1,9						
2,0						
2,1						
2,2						

Resultate:  $\mu = 0,49188$  mm  
S = 0,28234

word. Sover moontlik is hierby gehou, maar a.g.v. die probleme wat met weerkaatsing ondervind is, was dit nie altyd moontlik nie.

Druppeltellings vir bepaalde toestande is vervolgens gedoen. Waargenome diameter is vir sowel fotografiese as vergrootglasvergroting aangepas. Fotografiese vergroting is verkry deur 'n standaard-grootte pen binne-in die kolom te vergelyk met die grootte op die afdruk. Data is m.b.v. 'n relatiewe frekwensieverspreiding in klasse ingedeel (tabelle 2, 3). Histogramme van relatiewe frekwensie teen diameter (mikron) is geplot (kyk as voorbeelde figure 4 en 5). Verder is die waargenome diameter teen die kumulatiewe getal persentasie op logaritmiesswaarskynlikheidspapier geplot (kyk figure 6 en 7). Voorspellings vir die gemiddelde druppeldiameter is m.b.v. gepubliseerde korrelasies gemaak, maar swak resultate is verkry.

Indien die diameter teen die kumulatiewe aantal persentasie gestip, 'n reguitlyn op log-waarskynlikheidspapier gee, kan volgens Masters<sup>6</sup> en Allen,<sup>7</sup> 'n log-normaalverspreiding aanvaar word met 'n wiskundige vergelyking van die vorm.

$$\frac{d(N)}{d(D)} = \frac{1}{DS_G 2\pi} \exp - \left[ \frac{(\log D - \log D_{GM})^2}{2 S_G^2} \right]$$

Uit figure 6 en 7 blyk die reglynige verband. Dan volg vanaf figuur 7:

$$D_{GM} = D_{50\%} = 440 \mu m \times \text{regstelling} \\ = 429.42 \mu m$$

$$\text{Per definisie: } S_G = D_{84.14\%} / D_{50\%} \\ = 800/440 = 1.8181$$

Gemiddelde diameter transformasie:<sup>7</sup>

$$\ell n D_{Am} \text{ (wiskundige gemiddeld)} = \ell n D_{GM} + 0.5 \ell n^2 S_G$$

$$\ell n D_{Sm} \text{ (oppervlaktegemiddeld)} = \ell n D_{GM} + 1.0 \ell n^2 S_G$$

$$\ell n D_{Vm} \text{ (volume gemiddeld)} = \ell n D_{GM} + 1.5 \ell n^2 S_G$$

$$\ell n D_{Vs} \text{ (sauter gemiddeld)} = \ell n D_{GM} + 2.0 \ell n^2 S_G$$

Volledige data van druppeltellings word in tabel 1 weergegee.

## EKSPERIMENTELE WAARNEMINGS EN BESPREKING

Die volgende blyk uit die ondersoek: (kyk tabel 1)

- Geometries-gemiddelde druppelgrootte is 426,3 mikron by lae druk en geen teenstromende gas.
- By lae vloeistofdruk en gasvloeitempo word 'n groter gemiddelde diameter waargeneem as by 'n lae druk en hoë gastempo. Redes vir die kleiner geometriese diameter is moontlik dat druppels

met 'n sekere grootte nie by hoë gastempo's kan bestaan nie.

- Hoër drukke (vloeistofvloeitempo's), en lae gastempo's het tot ongeveer dieselfde druppelgrootte as lae druk en hoë gastempo gelei. Die rede hiervoor is dat alhoewel hoër druk 'n fyner druppel tot gevolg het, neig die teenstromende gas om kleiner druppels te laat agglomerereer.
- Hoë druk en hoë gastempo het 'n kleiner gemiddelde diameter tot gevolg. Die hoër vloeistofdruk met gepaard gaande fyner opbreking is hier dus die oorheersende faktor.
- Uit die plot van die data op die log-waarskynlikheidspapier blyk dat 'n log-normaaldruppelverspreiding (1,7) geredelik aanvaar kan word (figure 6 en 7), maar dat druppelgroottes soms asimptoties neig na ongeveer 2 500 mikron en 100 mikron (fig. 6). Die redes hiervoor is dat druppels groter as ongeveer 2000 mikron nie by die betrokke toestande kan bestaan nie a.g.v. die teenstromende gas wat tot opbreking lei. Verder kon druppels kleiner as 100 mikron moontlik nie met die betrokke tegnieke waargeneem word nie of is die druppels deur oordraging of agglomerasie uit die kolom gevoer.
- Die uniformiteit van die sproei is ook bevestig (tabel 1). Verskillende lope by dieselfde bedryfstoestande en op verskillende kolomposisies het  $D_{GM}$ -waardes binne 3% van mekaar gelever.
- Geen van gepubliseerde korrelasies vir gemiddelde druppelgrootte was bruikbaar vir die sisteem wasolie/lug nie, omdat die fisiese groottes telkens buite die limiete val waarvoor die korrelasies geldig is.

## SAMEVATTING

Aangesien die doel van die artikel was om kwalitatiewe verbande en tendense van die druppelverspreiding binne die kolom te identifiseer, is die resultate wat met die betrokke tegnieke verkry is, baie bevredigend.

## LITERATUURVERWYSINGS

- Long, G.E. (1978). Spraying theory and practice, *Chem. Engng.*, 85(6), p 73-84.
- Rothe, P.H. & Block, J.A. (1977). Aerodynamic behaviour of liquid sprays, *Int. J. Multiphase Flow*, 3, 263.
- Turner, G.M. & Moulton, R.W. (1953). Drop-size distributions from spray nozzles, *Ch. Eng. Progr.*, 49(4), 185-190.
- Fraser, R.P. & Eisenklam, P. (1956). Liquid atomization and the drop size of sprays, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 34, 294.
- Sada, E. *et al.* (1878). Drop size distribution for spray by full cone nozzle, *Can. J. Ch. Eng.*, 56, 455.
- Masters, K. (1960). *Spray drying* (Halsted, New York).
- Allen T. (1981). *Particle size measurement* (Chapman and Hall, New York).

Die Akademie bedank die Universiteit van Pretoria wat hierdie artikel geborg het.