

**DIE ONTWERP, BOU EN INBEDRYFSTEL  
VAN 'N HOëDRUK GASTOETSFASILITEIT**

**D.J. DE BEER**

DIE ONTWERP, BOU EN  
INBEDRYFSTEL VAN 'N  
HOËDRUK GASTOETSFASILITEIT

deur

DEON JOHAN DE BEER

Skripsie voorgelê ter gedeeltelike nakoming van die  
vereistes vir die

MEESTERSDIPLOMA in TEGNOLOGIE

in die Departement Meganiese Ingenieurswese,  
Fakulteit Ingenieurswese aan die

TECHNIKON OVS

STUDIELEIER : Dr. F.J. WESSELS

BLOEMFONTEIN

NOVEMBER, 1990

## DANKBETUIGING

Ek wil graag die volgende persone en instansies, wat bygedra het tot die suksesvolle voltooiing van die projek, bedank.

Die Atoomenergiekorporasie, wat grotendeels vir my opleiding verantwoordelik was, asook vir die geleentheid aan my gegun om die projek te hanteer.

Die afdeling FLOSEP, vir kundige bystand, hulp en toerusting en in die besonder vir dr. P.J. de Villiers, dr. F.J. Wessels en mnre. W.J.C. Prinsloo, F.A. Steyn en A.H. Krugel wat betrokke was by die administrasie en organisasie van die projek asook mnr. G.P. Brits vir elektronika ondersteuning.

Die studieleier, dr. F.J. Wessels, vir hulp en leiding gedurende die projek, asook die mede-eksaminator, dr. J.J.P. van der Voort, vir sy bereidwilligheid.

Die Navorsingskomitee van die Technikon O.V.S, vir finansiële steun, asook dr. B.J. Frey en mnr. G.D. Jordaan wat gemoeid was met die registrasie van die projek.

Die Direkteur: Fakulteit Ingenieurswese, mnr. H.F. Coetzer, dat hy ten spyte van 'n vol skedule, ook by die organisasie betrokke was.

My Skepper, vir talente en geleenthede.

Laaste, maar nie die minste nie, my vrou Hanli, sonder wie se aansporing en motivering ek die projek nie sou voltooi het nie.

"ABSTRACT"

Due to privatisation of the civil service, the AEC (Atomic Energy Corporation) had to find applications for expertise developed at the corporation.

A unique gas separation technique had been developed at the Uranium Enrichment Corporation (UCOR). Research into applications in the industry showed a possible application in the petrochemical industry.

The author of this dissertation was involved with the design and development of a high pressure test facility, in which the research and development of a high pressure gas separator could take place.

Z	=	molbreuk
R	=	molverhouding
X	=	massabreuk
M	=	gemiddelde molmassa van mengsel (kg/k-mol)
L	=	molvloei (k-mol/s)
M	=	molsnit
W	=	totale massavloei van materiaal (kg/s)
A <sub>ij</sub>	=	gasskeidingsverhouding ( $\alpha$ )
P	=	druk (pa)
Q	=	volumevloei (m <sup>3</sup> /s)
L	=	molvloei
V	=	gemiddelde snelheid
$\alpha$	=	gasskeidingsverhouding
$\lambda$	=	gemiddelde vrypadlengte
V <sub>p</sub>	=	volume van al die porieë van 'n membraan
A <sub>p</sub>	=	interne oppervlakte van die porieë
d	=	diameter
Kn	=	Knudsengetal
Re	=	Reynoldsgetal
$\Gamma$	=	digtheid
$\mu$	=	viskositeit
$\sigma_{\theta}$	=	omtrekspanning
V <sub>w</sub>	=	omtrekspoed van wand
L <sub>h</sub>	=	netto vloei van draergas
M <sub>h</sub>	=	molmassa van die hersirkulerende stroom
$\sigma_P$	=	drukverskil
C <sub>d</sub>	=	deurvloei koëffisiënt van mondstuk
$\gamma$	=	gamma-waarde vir gas
T	=	temperatuur
F	=	frekwensie
r	=	radius
R	=	universele gaskonstante

## INHOUDSOPGAWE

	<b>Bladsy</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2. Aanleiding tot gasskeiding</b>	<b>3</b>
2.1 Uraanverryking - Historiese oorsig	3
2.1.1 Sonenergie	3
2.1.2 Kernkrag	3
2.1.3 Interne aardhitte	3
2.1.4 Seegetye	4
2.1.5 Chemiese energie	4
2.2 Benutting van energie	4
2.3 Uraan as energiebron	5
2.4 Kernkraginfrastruktuur en verbruikersiklus	6
2.5 Uraanverrykingsbehoefte	6
2.6 Verryking van uraan	7
2.7 Die UKOR-Proses	8
<b>3. Gasskeiding</b>	<b>9</b>
3.1 Algemene definisies, wette en konstantes van belang	9
3.2 Fundamentele begrippe en wette	10
3.2.1 Algemene definisies	11
3.2.2 Onderlinge verband tussen gedefinieerde groothede	12
3.3 Evaluering van gasskeiding	13
3.4 Metodes van gasskeiding	18
3.4.1 Gasdiffusie	18
3.4.2 Gassentrifuges	30
3.4.3 Becker-mondstuk proses	39
3.4.4 Die UKOR-proses	45
3.5 Gasskeiding vir die Petro-Chemiesebedryf	48
3.5.1 Singas - Chemie	49

<b>4.</b>	<b>Toetsopstelling</b>	54
4.1	Toetsbankuitleg	54
4.2	Filters	55
4.3	Kompressor - Corken	56
4.4	"Swageloks"	59
4.5	316-Vlekvryestaal	59
4.6	Toelaatbare werksdruk	59
<b>5.</b>	<b>Beheer- en Meettegnieke</b>	61
5.1	Drukmeting en -beheer	61
5.1.1	Drukbeheer	61
5.1.2	Drukmeting	62
5.2	Volumevloeimeting	63
5.3	Molmassameting	64
5.4	Temperatuurmeting	65
5.5	Dataversameling	65
5.5.1	Spannings	65
5.5.2	Frekwensies	67
5.6	Gerekenariseerde beheer	67
5.6	Veiligheidsmaatreëls	68
<b>6.</b>	<b>Inbedryfstel van Toetsfasiliteit</b>	70
6.1	Vorbereiding en statiese druktoets	70
6.2	Kalibrasie	70
6.2.1	Elektro-akoestiese Massameters	71
6.2.2	Druk- en vloeiomsetters	73
6.2.3	Plaatmondstukke	70
<b>7.</b>	<b>Bedryfsprobleme</b>	76
7.1	Olie en onsuierhede in die sisteem	76
7.2	Temperatuur	76
7.3	Lektempo	77
7.4	Beheerprobleme	77
7.5	Simmulasie van H <sub>2</sub> /CO met H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	78

<b>8.</b>	<b>Samevatting en bevindinge</b>	79
8.1	Skalering van komponente	79
8.2	Finale bedryf en eksperimentele data	80
8.3	Vooruitskouings	81
<b>9.</b>	<b>Bronnelys</b>	82



<b>LYS VAN FIGURE &amp; PLATE</b>	<b>Bladsy</b>
Figuur 1	13
Figuur 2	14
Figuur 3	28
Figuur 4	32
Figuur 5	36
Figuur 6	38
Figuur 7.1	40
Figuur 7.2	40
Figuur 8	43
Figuur 9	47
Plaat 1	52
Figuur 10	54
Figuur 11	55
Figuur 12	58
Figuur 13	62
Figuur 14	63
Figuur 15	66
Figuur 16	72
Figuur 17	74
Figuur 18	80

(v)

**LYS VAN TABELLE**

**Bladsy**

Tabel 1	37
Tabel 2	50
Tabel 3	60

## 1. INLEIDING

As gevolg van die privatiseringsbeleid van die staat, moes die AEK (Atoomenergiekorporasie) toepassings van kundighede wat by die korporasie ontwikkel is, vind.

By die ou Uraanverrykingskorporasie van Suid-Afrika (UKOR) is 'n kundigheidspoel t.o.v. gasskeiding ontwikkel. Die UKOR-proses kan as 'n stilstaande wand sentrifuge (Voight, 1977) gedefinieer word.

Diffusiemembrane word reeds internasionaal suksesvol vir H<sub>2</sub>/CO verhoudingsverstelling aangewend (Schott, Houston, Glazer en Dimitri, 1987). Moontlike toepassings van die UKOR-proses in die Petrochemiese bedryf is in die vooruitsig gestel.

Die volgende behoeftestelling het uit bogenoemde bedryf na vore gekom:

'n Brandstofvervaardigingsaanleg bevat 'n gasstroom wat groten-deels uit waterstof en koolstofmonoksied bestaan.

Inlaattoestande van 25 bar, 298 K en  $170 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$  geld vir normale bedryfstoestande.

Vir verdere gebruik moet die gasstroom in twee verdeel word, sodat die verhouding H<sub>2</sub>:CO 1,8:1 moet wees, na 'n aanvanklike verhouding van 2:1. Sodanige strome moet weer saamgepers word tot op toevoerdruk.

Die projek is in vier fases afgebaken, nl.:

- (a) Die demonstrasie van die gasskeier in die laboratorium.
- (b) Toets en evaluasie van 'n laevloei skeier in die aanleg.
- (c) Inbedryfstel van die volle vloei gasskeier.
- (d) Uitbreiding na verdere aanlegte.

Aangesien alle vorige ontwikkelingswerk in die gebied by drukvlakke teen 'n orde laer gedoen is, het 'n krisisfaktor na vore getree.

Alvorens die gasskeier op laboratoriumskaal gedemonstreer kon word, moes 'n hoëdruk-gastoetsfasiliteit ontwikkel word.

Nadat ontwikkelingswerk in die verband voltooi is, kon die ontwikkelingswerk t.o.v. die skeidingselement begin word.

Omdat inligting in die verband, asook die geometrie van die gasskeier geklassifiseerd is, is daar slegs finale resultate in verband met die bedryfstoestande van die skeidingselement in die skripsie vervat.

## 2. Aanleiding tot gasskeiding

### 2.1 Uraanverryking - Historiese oorsig

Vir enige selfstandige staat is dit baie belangrik om ook op die gebied van energievoorsiening selfversorgend te wees.

Alle moontlike potensiële energiebronne behoort vir aanwending oorweeg te word en die primêre bronne wat potensiaal inhou kan as volg saamgevat word:

#### 2.1.1 Sonenergie

Die son is in wese 'n groot kernversmeltingsreaktor en stralingsenergie word in die volgende energievorme aangetref :

- (i) Steenkool
- (ii) Aardolie en -gas
- (iii) Direkte sonenergie
- (iv) Wind
- (v) Plantmateriaal

#### 2.1.2 Kernkrag

Uraan en/of Torium is tans die brandstof in gebruik in kern klowingsreaktore. Die hoofproduk van 'n reaktor is hitte wat getransformeer kan word na ander nuttiger vorme van energie bv. elektrisiteit of drukenergie.

#### 2.1.3 Interne aardhitte

Dit word geopenbaar in temperatuurverskille in warm waterstrome en lawa en het 'n baie beperkte toepassing.

#### 2.1.4 Seegetye

Seegetye ontstaan as gevolg van gravitasiekragte tussen die aarde, son en maan. Hierdie energiebron beskik oor moontlikhede maar het geografiese beperkinge.

#### 2.1.5 Chemiese energie

Daar is beperkte potensiaal om natuurlike elemente deur middel van chemiese reaksies aan te wend om energie te lewer. Dit vereis egter gewoonlik meer energie om so 'n sisteem bv. 'n battery, daar te stel as wat dit in staat sal wees om te lewer.

### 2.2 Benutting van energie

Die verskeie energiebronne bestaan in verskeie vorme, waarvan sommige onder bepaalde omstandighede meer bruikbaar is as ander. Dit vereis egter energie, grondstowwe en tegnologie om energie oor te skakel van een vorm na 'n ander.

Vir grootskaalse energiebehoefte is bronne met hoë energiedigtheid en beskikbaarheid die beste nl:

- (i) Petroleum
- (ii) Steenkool
- (iii) Uraan en Torium
- (iv) Hidro energie

### 1.3 Uraan as energiebron

Die tans bekende reserwes bedra sowat 2,5 Mton. Suid-Afrika beskik oor ongeveer 16% van bogenoemde reserwes. (Ongeveer 400 000 ton).

Met huidige reaktortegnologie tot beskikking verteenwoordig die 400 000 ton slegs sowat 20% van die elektrisiteitsenergie wat uit die herwinbare steenkoolreserwe opgewek kan word.

Indien die reaktorprosesse verfyn kan word, sal dit die uraanreserwes bykans onbeperk vergroot. Uraan sal selfs uit byvoorbeeld seewater herwin kan word.

Die isotope van natuurlike uraan is  $^{235}\text{U}$  (0,71 %),  $^{238}\text{U}$  (99,3 %) en  $^{234}\text{U}$  (0,005 %). Die kloofbare isotoop waarin ons belangstel is  $^{235}\text{U}$  wat in die klowingsproses met behulp van 'n enkele neutron sowat 200 M eV/klowing vrystel.

Die klowing van 1 kg suiwer  $^{235}\text{U}$  verteenwoordig ongeveer 22 800 MWh as alle betrokke U-atome gekloof sou word.

In die praktyk kan hierdie energie in die vorm van elektriese energie nooit alles herwin word nie as gevolg van termodinamiese ondoeltreffendheid, reaktorbeheer en uitbrandingsbeperkings. Uit 'n tipiese uraan reaktor word sowat 53 MWh per kg natuurlike uraan verkry.

Deur uraan te verryk, dws deur die vermeerdering van die  $^{235}\text{U}$  isotoop in uraan, vermeerder die hoeveelheid energie wat potensieel per massa-eenheid verkry kan word. Daar word ook 'n wyer veld vir reaktortegnologie betreffende alternatiewe stelsels en ekonomie, oopgemaak (Verrykingstegnologie, 1985).

## 2.4 Kernkraginfrastruktuur en verbruikersiklus

Bogenoemde begrippe kan kortliks as die brandstofsiklus saamgevat word en bestaan uit die volgende :

- (i) Ontginning van uraan of torium (grondstof)
- (ii) Ekstraksie van die uraanbevattende produk
- (iii) Omsetting van die uraanproduk  $U_3O_8$  (ammoniumdiuranaat) na  $UF_6$ , die prosesgas, wat in 'n verrykingsaanleg gebruik word.
- (iv) Verryking van die uraan
- (v) Omsetting van  $UF_6$  na bv.  $UO_2$
- (vi) Brandstofelementvervaardiging
- (vii) Omsetting van uraan na elektrisiteit
- (viii) Herprosessering van brandstofelemente en wegruiming van aktiewe afvalmateriaal.

Elkeen van bogenoemde stappe verteenwoordig 'n nywerheid met bepaalde doelwitte (Verrykingstegnologie, 1985).

## 2.5 Uraanverrykingsbehoefte

Verrykte uraan het in die wapenprogram gedurende die wêreldoorlog van 1939 tot 1945 in aanvraag gekom.

Verrykte uraan wat beskikbaar was na die oorlog het die ontwikkeling van termiese reaktore (verrykte uraanreaktore) gestimuleer omdat dit goedkoper is om te bou as natuurlike uraanreaktore.

Slegs Amerika het op daardie tydstip oor verrykte uraan beskik en 'n behoefte het in baie ander lande, soos ook Suid-Afrika op 'n latere stadium, aan verrykte uraan ontstaan (Newby-Fraser, 1979).



## 2.6 Verryking van uraan

Die verskille in die samestelling van  $^{235}\text{U}$  en  $^{238}\text{U}$  isotope bring verrykingsmoontlikhede mee.  $^{238}\text{U}$  bevat drie meer protone in die kern as  $^{235}\text{U}$  en bring mee dat daar afgesien van molmassaverskille ook verskille in die grootte van die kerne en atome self is. Die grootte van die bane waarin die elektrone beweeg sal ook verskil in die twee gevalle.

Die meeste verrykingsmetodes berus op skeiding as gevolg van verskille in molmassas.

Skeiding word hoofsaaklik bewerk deur :

- (i) sentrifuges, skeidingsmondstukke (Becker), werwelbuisse (UKOR) en elektromagnetiese metodes waarin die sentrifugaalkrag op die  $^{238}\text{U}$  isotoop groter sal wees as diè van die  $^{235}\text{U}$  isotoop.
- (ii) diffusie deur membrane of ander gasse deurdat die  $^{235}\text{U}$  isotoop vinniger sal beweeg as die  $^{238}\text{U}$  isotoop en skeiding moontlik maak.

Verskillende isotope van een element ondergaan dieselfde chemiese reaksies en dit is dus nie moontlik om hulle chemies te skei nie. Daar is egter 'n verskil in die tempo waarteen die reaksies plaasvind en die verskil word ingespan deur die ioonruilingsproses in Japan.

Foto-elektriese prosesse, byvoorbeeld in die geval van lasers, berus op klein energievlak verskille van elektrone in die bane om atome. Die atome of molekules van die twee isotoopsesies kan selektief opgewek of geïoniseer word en dan deur 'n elektriese of magnetiese veld geskei word.

## 2.6 Verryking van uraan

Die verskille in die samestelling van  $^{235}\text{U}$  en  $^{238}\text{U}$  isotope bring verrykingsmoontlikhede mee.  $^{238}\text{U}$  bevat drie meer protone in die kern as  $^{235}\text{U}$  en bring mee dat daar afgesien van molmassaverskille ook verskille in die grootte van die kerne en atome self is. Die grootte van die bane waarin die elektrone beweeg sal ook verskil in die twee gevalle.

Die meeste verrykingsmetodes berus op skeiding as gevolg van verskille in molmassas.

Skeiding word hoofsaaklik bewerk deur :

- (i) sentrifuges, skeidingsmondstukke (Becker), werwelbuisse (UKOR) en elektromagnetiese metodes waarin die sentrifugaalkrag op die  $^{238}\text{U}$  isotoop groter sal wees as diè van die  $^{235}\text{U}$  isotoop.
- (ii) diffusie deur membrane of ander gasse deurdat die  $^{235}\text{U}$  isotoop vinniger sal beweeg as die  $^{238}\text{U}$  isotoop en skeiding moontlik maak.

Verskillende isotope van een element ondergaan dieselfde chemiese reaksies en dit is dus nie moontlik om hulle chemies te skei nie. Daar is egter 'n verskil in die tempo waarteen die reaksies plaasvind en die verskil word ingespan deur die ioonruilingsproses in Japan.

Foto-elektriese prosesse, byvoorbeeld in die geval van lasers, berus op klein energievlak verskille van elektrone in die bane om atome. Die atome of molekules van die twee isotoopsesies kan selektief opgewek of geïoniseer word en dan deur 'n elektriese of magnetiese veld geskei word.

Uraanverryking is in wese 'n moeilike proses en verg dus baie vernuf en tegnologie (Verrykingstegnologie, 1985).

## 2.7 Die UKOR-Proses

Die nuus dat Suid-Afrika sy eie nuwe proses vir die verryking van uraan ontwikkel het is op Maandag 20 Julie 1970 deur die destydse Eerste Minister, Sy Edele B J Vorster in die Parlement in Kaapstad aangekondig.

Hierdie verklaring was die hoogtepunt van byna tien jaar se intensiewe geheime navorsing. Nadat senior RAK-wetenskaplikes in 1961 van buitelandse opleiding teruggekeer het was die onderwerp onderhewig aan hewige debattering. Die enigste kommersieel gevestigde verrykingsproses op daardie stadium was gasdiffusie wat enorme kapitaal inset vereis het en tegnologie op die gebied uiters geklassifiseerd.

Die alternatiewe metode was gassentrifuges wat deur Wes-Duitsland, Nederland en Brittanje ontwikkel is en waaraan elk van hulle reeds omvangryke ontwikkelingswerk bestee het. Dit was ook nie 'n prakties uitvoerbare idee om na te boots nie (Newby-Fraser, 1979).

Die Suid-Afrikaners het dus voor die uitdaging te staan gekom om tot 'n begrip vir 'n verrykingsaanleg te kom wat aansienlik kleiner as die groot Amerikaanse gasdiffusiekomplekse sou wees, maar nie sulke streng tegnologiese vereistes soos gassentrifuges met probleme van vibrasies, afdigting en hoëspoedlaers nie.

### 3. Gasskeiding

Die Atoomenergiekorporasie se verrykingsaanlegte maak gebruik van waterstof ( $H_2$ ) as 'n draergas. Dit is dan nodig om gasskeierelemente in die aanleg te gebruik om die draergas van die verrykte uraan te skei en sodoende vir hersirkulasie beskikbaar te stel. Die geskeide gas ( $H_2$ ) moet dus so skoon as moontlik van die voerstrome onttrek word.

Die skeidingsselement van die UKOR-proses kan as 'n stilstaande wand sentrifuge (Voight, 1977) gedefinieer word.

Sodanige skeidingsselement is ontwikkel uit die Ranque-Hilsch werwelbuis. Die werwelbuis is deur 'n aantal internasionale figure as 'n onekonomiese proses beskou, maar onder leiding van dr. W.L. Grant deur UKOR ontwikkel tot 'n vlak waarop dit uit ekonomiese oorwegings as 'n kompeterende proses aangewend kon word (Newby Fraser, 1979).

'n Draergas met lae molmassa, word saam met die prosesgas gebruik. In die geval van die UKOR-proses word  $H_2$  (draergas) saam met uraanheksafluoried ( $UF_6$ ) (prosesgas) gebruik.

#### 3.1 Algemene definisies, wette en konstantes van belang

##### Atoommassa:

Die relatiewe massa van die atoom op die basis  $^{12}C = 12$ .

##### Molmassa:

Die molmassa is die som van al die atoommassas van al die atome in 'n molekule.

**Mol:**

Die mol is die massa wat numeries gelyk is aan die molmassa van 'n bepaalde stof. Daar word van k-mol gebruik gemaak in die SI-stelsel. Een k-mol massa van 'n bepaalde verbinding met molmassa M beteken dus 'n massa materie van M kg.

Die molmassa van 'n verbinding (of atoommassa van 'n element) kan dus in kg/k-mol uitgedruk word.

**Wet van massabehoud:**

Vir gestadigde vloei van massa deur 'n kontrolevolume is massa in = massa uit.

**Wet van molbehoud:**

As geen chemiese of ander reaksies in 'n kontrolevolume plaasvind nie, sal vir gestadigde vloei deur die volume, die aantal molekule in = die aantal molekule uit.

**Skeidingselement:**

Dit is die kleinste element van 'n verrykingsaanleg wat 'n mate van skeiding kan bewerkstellig.

**Kaskade:**

'n Kaskade bestaan uit 'n serie geskakelde stelsel van skeidingselemente.

### **3.2 Fundamentele begrippe en wette**

Ter wille van 'n samehangende aanbieding word 'n opsomming van fundamentele definisies, begrippe en wette wat met verrykingstechnologie verband hou gegee. Normaalweg word daar met mengsels van materie gewerk, waarvan die komponente tot by 'n bepaalde gewenste suiwerheidsgraad van mekaar geskei moet word.

Materie kan in enige vorm voorkom, maar aangesien uraanverryking hoofsaaklik in die gasfase plaasvind word daarop klem gelê.

Ter wille van eenvoud sal slegs mengsels met twee komponente beskou word.

### 3.2.1 Algemene definisies

Beskou 'n mengsel van materie wat uit  $n_A$ - en  $n_B$  molekules van komponente A en B onderskeidelik bestaan.

(i) Molbreuk (Z):

Dit is die verhouding van die aantal molle of atome van die een komponent tot die totale aantal molle of atome van die mengsel.

Die molbreuk van komponent A word dus:

$$Z_A = \frac{n^A}{n^A + n^B}$$

(ii) Molverhouding (R):

Dit is die verhouding van die aantal molle van die een komponent tot die aantal molle van die ander komponent.

Die molverhouding van komponent A word dus:

$$R_A = \frac{n^A}{n^B}$$

(iii) **Massabreuk (X):**

Dit is die verhouding van die massa van een komponent tot die massa van die mengsel.

As  $M_A$  en  $M_B$  die atoommassas van twee saamgestelde komponente is, word die massabreuk van komponent A gegee deur:

$$X_A = \frac{n_A \cdot M_A}{n_A \cdot M_A + n_B \cdot M_B}$$

(iv) **Gemiddelde Atoommassa (M):**

Dit is die verhouding van die totale massa van die mengsel tot die totale aantal molle of atome in die mengsel.

$$M = \frac{n_A \cdot M_A + n_B \cdot M_B}{n_A + n_B}$$

**3.2.2 Onderlinge verband tussen gedefinieerde groothede**

Uit bostaande definisies kan getoon word dat:

1.  $Z_A + Z_B = 1$

2.  $X_A + X_B = 1$

3.  $Y_A * Y_B = 1$

4.  $R_A * R_B = 1$

5.  $Z_A = \frac{Y_A}{Y_A + 1}$       of       $Y_A = \frac{Z_A}{1 - Z_A}$

6.  $X_A = \frac{R_A}{R_A + 1}$       of       $R_A = \frac{X_A}{1 - X_A}$

7.  $M = Z_A \cdot M_A + Z_B \cdot M_B$   
 $= Z_A \cdot M_A + (1 - Z_A) \cdot M_B$

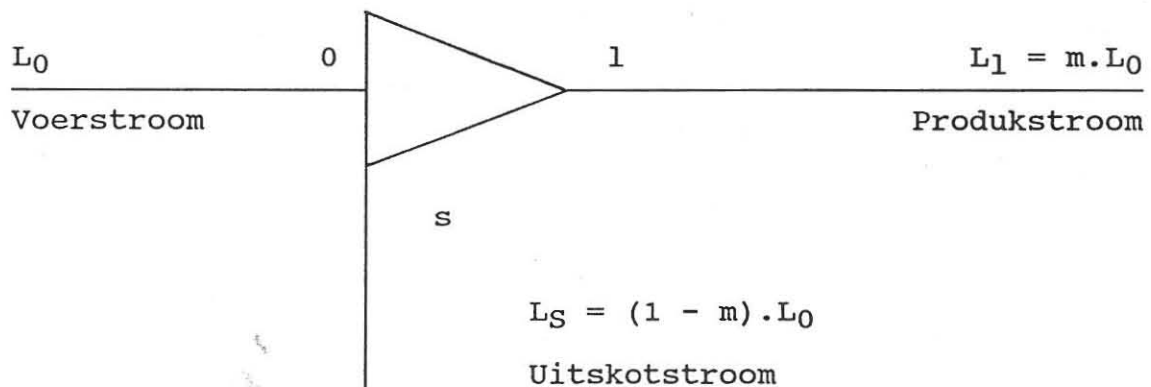
of  $Z_A = \frac{M - M_B}{M_A - M_B}$

### 3.3 Evaluering van gasskeiding

In sommige verrykingsprosesse, byvoorbeeld die UKOR-proses, word 'n draergas (gewoonlik met relatief lae molmassa) saam met die prosesgas  $UF_6$  gebruik. Benewens isotoopskeiding vind skeiding van die prosesgas en die draergas ( $H_2$ ) gedeeltelik plaas in 'n skeidingselement.

Die twee komponente van belang is dus 'n prosesgas en draergas. Die formules wat vervolgens afgelei word is vir die totale skeiding van die twee komponente.

Die eenvoudigste skeidingselement funksioneer soos aangetoon in Figuur 1.



**FIGUUR 1 - Diagrammatiese voorstelling van 'n skeidingselement**

Die volgende simbole word gebruik:

$L$  = molvloei (k-mol/s)

$Z$  = molbreuk van gewenste komponent

$Y$  = molverhouding van gewenste komponent

waar 0, 1 en s voettekens vir voer-, produk- en uitskotstroomb verteenwoordig. Voettekens PG en DG verteenwoordig prosesgas en draergas.



Verder is  $W$  = totale massavloei van materiaal (kg/s)

Vir 'n skeidingselement geld dus die volgende:

$$\text{Volgens mol-behoud : } L_0 = L_1 + L_S \quad (1)$$

$$\text{Volgens massabehoud: } W_0 = W_1 + W_S \quad (2)$$

$$\text{en daarom ook vir molbreuk: } Z_0 L_0 = Z_1 L_1 + Z_S L_S \quad (3)$$

### Molsnit (m):

Die molsnit (word ook genoem snit) word gedefinieer as:

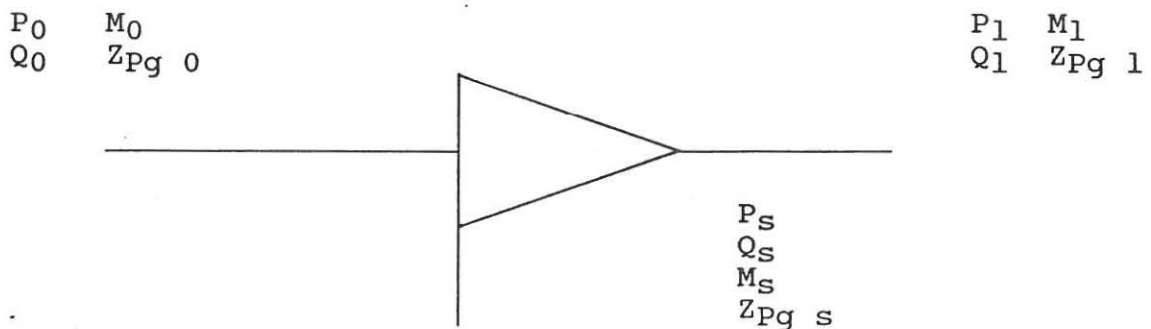
$$m = \frac{L_1}{L_0} = \frac{Z_0 - Z_S}{Z_1 - Z_S} \quad (4)$$

### Die skeiding van ideale gasse

By die meeste uraanverrykingsprosesse waar gasskeiding ter sprake is kan die betrokke gasse as ideaal beskou word. Verder kan aanvaar word dat die skeidingsprosesse isotermies is omdat temperatuurverskille wat wel in die praktyk voorkom baie klein is.

Benewens temperatuur is daar nog vier onafhanklike parameters waarvan die werking van so 'n element afhanklik is. Die inlaat-, ligtestroom- en swaarstroomdrukke asook die inlaattmol-massa wat gekies word sal die werking van die element bepaal.

### Balansvergelykings



FIGUUR 2 - Diagrammatiese voorstelling van drukke, volumevloei en molmassas in die skeidingselement

Laat:  $P =$  druk (kPa)

$Q =$  volumevloei ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$M =$  gemiddelde molmassa van mengsel (kg/k-mol)

### Die Gasskeidingsverhouding: $A_{ij}$

In die geval word belang gestel in die totale skeiding van die gasse. Die gasskeidingsverhouding word dus gedefinieer as die verhouding van die molbreuke van die verskillende strome. Sogenaamde definisie het tot voordeel dat die aandag op die hoeveelheid prosesgas teenwoordig gevestig word. Dit dui ook aan dat die verskillende gasskeidingsverhoudings nie afhang van konsentrasie nie. Betrokke formules en vergelykings word ook vereenvoudig.

Hieruit volg dat  $A_{ij} = \frac{z_i}{z_j}$  (5)

Vanaf (4) volg dat:

$$\begin{aligned} A_{01} &= \frac{m}{1 - (1 - m) \cdot A_{S0}} \\ &= m + (1 + m) \cdot A_{S1} \end{aligned} \quad (6)$$

Met behulp van die aannames reeds gemaak en vergelyking (1) volg dat:

$$P_0 Q_0 = P_1 Q_1 + P_S Q_S \quad (7)$$

en uit die massavloei vergelyking (2) volg dat:

$$P_0 Q_0 M_0 = P_1 Q_1 M_1 + P_S Q_S M_S \quad (8)$$

Indien die verhouding:

$$Z_A = \frac{M - M_B}{M_A - M_B}$$

beskou word en die prosesgas word as die gewenste komponent beskou, kan die volgende resultate verkry word:

$$Z_{PG\ 0} = \frac{M_\phi - M_{DG}}{M_{PG} - M_{DG}}$$

en 
$$Z_{PG\ 1} = \frac{M_1 - M_{DG}}{M_{PG} - M_{DG}}$$

asook 
$$Z_{PG\ S} = \frac{M_S - M_{DG}}{M_{PG} - M_{DG}}$$

Met behulp van bogenoemde verhoudings word vergelyking (3) wat die balans van die prosesgas gee nou:

$$P_0Q_0 (M_0 - M_{DG}) = P_1Q_1 (M_1 - M_{DG}) + P_SQ_S (M_S - M_{DG}) \quad (9)$$

**Vergelykings vir die bepaling van mol- en massavloei**

(i) Molvloei (L) 
$$L = \frac{PQ}{RT} \quad (10)$$

(ii) Totale gasmassavloei (W)

$$W = \frac{PQM}{RT} \quad (11)$$

(iii) Totale prosesgasmassavloei ( $W_{PG}$ )

$$W_{PG} = L \cdot Z_{PG} \cdot M_{PG} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{W}{M} \frac{(M - M_{DG})}{(M_{PG} - M_{DG})} M_{PG} \\ &= \frac{PQ}{RT} \frac{(M - M_{DG})}{(M_{PG} - M_{DG})} M_{PG} \end{aligned} \quad (13)$$

(iv) Totale draergasmassavloei ( $W_{DG}$ )

$$= \frac{PQ}{RT} \frac{(M - M_{DG})}{(M_{PG} - M_{DG})} MPG \quad (14)$$

Hieruit volg die formules wat gebruik word vir die evaluering van skeiding van ideale gasse.

**Gasskeidings verhoudings:**

$$A_{01} = \frac{M_{\phi} - M_{DG}}{M_1 - M_{DG}}$$

$$A_{S1} = \frac{M_S - M_{DG}}{M_1 - M_{DG}}$$

$$A_{S0} = \frac{A_{S1}}{A_{01}} \quad (15)$$

**Die molsnit (m):**

$$m = \frac{M_S - M_{\phi}}{M_S - M_1} \quad (16)$$

Die gasskeidingsverhouding of ook genoem gasalfa is dan ook kortliks die parameter waarna verwys word as die skeidingsvermoë van 'n bepaalde komponent bespreek word. Hoe groter die verhouding, hoe beter is die skeidingsvermoë van 'n bepaalde komponent.

Navorsing in dië verband is dan ook gerig om hoogs moontlike gasalfa per energie per eenheidslengte te verkry, deur aan komponent parameters op die inlaat, produk en sirkulasie kanale te verander - drukvlak en drukverhoudingverstellings of kombinasies daarvan te verander.

### 3.4 Metodes van gasskeiding

In die hoofstuk word verskillende metodes van gasskeiding bespreek naamlik membraandiffusie, gassentrifuges, Becker-mondstukke en Ukor se "Stilstaande wand sentrifuge".

#### 3.4.1 Gasdiffusie

Die skeidingsmeganisme van gasdiffusie is gebaseer op die vloei van gasse deur klein gaatjies. T Graham het die meganisme in 1863 ontdek toe hy gasmengsels van  $O_2/H_2$  en  $O_2/N_2$  op hierdie wyse geskei het (Verrykingstegnologie, 1985).

Die eerste grootskaalse toepassing van die gasdiffusie proses het gedurende die Tweede Wêreldoorlog plaasgevind met die daarstelling van die "Manhattan Projek" te Oak Ridge in Tennessee in die VSA gedurende 1943 tot 1945. Hierdie aanleg is later verder uitgebrei en twee verdere aanlegte is gedurende 1953-1954 en 1955-1956 opgerig.

Twee programme is geloods en teen 1982 is die gesamentlike skeidingsvermoeëns van die drie aanlegte met 65 % verhoog. Die effektiwiteit van die diffusie-membrane is onder meer met 'n faktor 23 vermeerder vanaf 1946 tot 1974.

#### Diffusietegnologie

Die basiese eenheid van die gasdiffusiekaskade is verskeie stadiums wat in serie verbind is. Die hoofkomponente van 'n stadium is:

- (i) 'n Poreuse membraan waardeur diffusie plaasvind,
- (ii) 'n module-vat waarbinne die membrane gemonteer word,

- (iii) 'n kompressor, gewoonlik met 'n elektriese motor aangedryf, wat die prosesgas gedeeltelik deur die membraan pomp en transporteer na die volgende stadium,
- (iv) 'n hitte-ruiler en verkoelingseenheid,
- (v) 'n beheerklep waarmee die snit en interstadiumvloei beheer word,
- (vi) interstadiumverbindingspype,
- (vii) instrumentasie waarmee drukke en temperature gemonitor kan word en
- (viii) afsluitkleppe, gewoonlik vir groepe van stadia, vir onderhoudsdoeleindes (Haggin, 1988).

Eksakte inligting betreffende die vervaardiging van die membrane asook die seël van die kompressor op die as is hoogs geklassifiseerd.

Materiale vir konstruksiedoeleindes is as volg:

- (i) Metale: Ni, Al, Cu, Au
- (ii) Metaaloksiede:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , keramieke
- (iii) Fluoriede:  $\text{CaF}_2$
- (iv) Nitriede: byvoorbeeld van Ni
- (v) Koolfluoorverbindings: Koolfluoorpolimere soos "Teflon"

Drie kategorieë van vervaardigingsmetodes word gebruik naamlik:

- (i) Etsing van porieë in aanvanklik digte materiaal,
- (ii) Sintering van fyn poeiers,
- (iii) Agglomerasies byvoorbeeld deur deponering (elektrostasies of andersins) van submikron partikels.

### Vervaardigingsvereistes

Vervaardigingsvereistes vir 'n nywerheidsaanleg is onder andere die volgende:

- (i) Korosie weerstand
- (ii) Meganiese sterkte
- (iii) Vermoeidheidsweerstand teen vibrasies en wisselende drukke
- (iv) Maksimum skeidingseffektiwiteit.
- (v) Gemiddelde poriediameter van 0,01  $\mu\text{m}$  word vereis
- (vi) Maksimum deurlaatbaarheid
- (vii) Maklik inboubare membrane
- (viii) Membrane moet in homogene stelle vervaardig word
- (ix) Kontaminasie vry
- (x) Ekonomies vervaardigbaar wees.  
(Nakagama, 1987)

### Toetsing van membrane

Membrane moet vir die volgende eienskappe getoets word:

- (i) Meganiese sterkte
- (ii) Reproduseerbaarheid
- (iii) Korrosie
- (iv) Deurlaatbaarheid
- (v) Skeidingsdoeltreffendheid
- (vi) Herhaalbaarheid van resultate.

Bogenoemde vereistes, tesame met die hoeveelheid membraanoppervlak benodig (ongeveer  $10^6 \text{ m}^2$  vir 'n groot aanleg), maak die ekonomiese vervaardiging - vanaf materiaalverkryging tot gehalteversekering - van membrane baie moeilik (UP Verrykings-tegnologie, 1985).

### Basiese werking van 'n diffusiemembraan

Beskou 'n reeks membrane in serie:

Ongeveer die helfte van die voergas na 'n spesifieke stadium beweeg deur die membraan na die laedrukkant en word in die proses effens verryk. Hierdie gas word vorentoe aangestuur en deur die kompressor van die volgende stadium saamgepers. Die gestroopte fraksie, wat by 'n effens laer druk as voerdruk verkeer vanweë drukverliese in pype en oor die beheerklep, word op 'n geskikte punt in die kompressor van die vorige stadium met die verrykte stroom van die naasvorige stadium vermeng en saamgedruk om die voerstroom van die vorige stadium te vorm. Die drukverhouding, voer tot produk is hoog en voer tot uitskot is relatief laag (Stookey, Patton en Malcolm, 1986).

### Diffusieteorie

#### Meganika en Termodinamika in membraanpermetasie

Volgens Tomicki (Tomicki, 1988) het Manning in 1968 'n model vir membraanpermetasie bekend as die "energy-barrier model" vir 'n tweekomponent gas daargestel.

Vir sodanige gas wat deur 'n membraan beweeg, word aangeneem dat die opgeloste stof onderworpe is aan ruimtelik-veranderlik, maar tydafhanklike krag, potensieel van aard en wat uitgedruk kan word as:

$$F(x) = -dV/dx \quad \text{met } V(x) \text{ 'n potensieële energiefunksie.}$$



Die oplosmiddel ervaar nie so 'n krag nie. Die membraan word gemoddelleer as 'n potensiële energiewersperring vir die opgeloste stof alleen. Beide die oplosmiddel en opgeloste stof ondervind membraanwrywing wanneer vloei plaasvind.

Vervolgens het Manning die model gebruik om osmose en kapilêre osmose te beskryf. Die toelating van potensiële interaksie tussen die membraan en deurvloeiende oplossing maak dit moontlik om die meganiese wette gelyktydig met termodinamiese wette in membraanskeiding toe te pas.

As die energiewersperring model konvensie gebruik word, word die deurvloeiende oplossing as die termodinamiese sisteem beskou, relatief tot die membraanomgewing. Die membraan en opgeloste stof interaksie word as 'n eksterne krag van potensiële- en wrywingsaard beskou.

Om 'n omkeerbare beskrywing van membraan permetasie te verkry, is dit voldoende om die momentum balansvergelyking, soos gebruik in die afleiding van verliese, te vervang met eksterne kragte in wrywing deur die deurvloeiende komponente.

Deur na die membraanomgewing te verwys is nie vry van beperkinge nie. Dit mag slegs gebeur as die termodinamiese stand van die membraan nie verander nie.

Hierdie voorwaarde word gedurende statiese permetasie bevredig. (Tomicki, 1988).

## Definisies en wette

### Behoud van energie

Die beginsel van gelyke verdeling van energie word in die kinetiese energie van gasse toegepas en beteken basies dat in 'n mengsel van gasse die molekules van die twee spesies dieselfde gemiddelde kinetiese energie sal hê.

As  $M_A$  en  $M_B$  en  $V_A$  en  $V_B$  die gemiddelde molekulêre massas en snelhede van die twee spesies A en B respektiewelik voorstel sal vir die behoud van energie

$$\frac{1}{2} M_A V_A^2 = \frac{1}{2} M_B V_B^2$$

Dit beteken dus dat die ligter gas teen 'n hoër gemiddelde snelheid sal beweeg en potensiaal inhou om meermale met die wand van die houer wat die twee komponente bevat te bots. Die ligter gas het dan 'n relatief hoër kans om deur die klein gaatjies van die membraan te ontsnap.

### Graham se wet

Graham se wet het reeds in die vorige eeu voorsiening gemaak vir die vloei van twee gasse in 'n houer deur baie klein openinge na 'n vakuum. Die verhouding van die afstroommolbreuke word volgens Graham gegee deur

$$\frac{Z_{1A}}{Z_{1B}} = \frac{Z_{SA}}{Z_{SB}} \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

### Die ideale skeidingsverhouding van 'n membraan

Volgens Schell (Schell, 1975) volg dat die maksimum lokale skeidingsverhouding wat deur 'n binêre verhouding in 'n membraan bereik kan word gelyk is aan

$$\alpha_{LS} = \frac{M_B}{M_A}$$

As vloei vir 'n ruk lank plaasgevind het moet die produk- met die uitskot konsentrasie en nie met die voer konsentrasie vergelyk word nie want slegs die uitskot sal in die houer agterbly.

### Poriegrootte en vrypadlengte

Die poriegrootte word deur die gemiddelde vrypadlengte bepaal en verskil in homogene gasse en mengsels. Die gemiddelde vrypadlengte van 'n atoom of molekule is die gemiddelde afstand wat die atoom of molekule beweeg voor 'n volgende botsing.

Volgens Maxwell se teorie (UP Verrykingstechnologie, 1975) is die gemiddelde vrypadlengte vir molekule tot molekule botsings in 'n homogene gas met die veronderstelling dat die ideale gaswet geld die volgende:

$$\lambda = \frac{1}{\pi \cdot n \cdot \sigma^2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{R \cdot T}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot N_a \cdot P \cdot \sigma^2}$$

waar:

- $\lambda$  = Gemiddelde vrypadlengte
- $\sigma$  = Botsingsdiameter
- $N_a$  = Avogadro se getal
- $R$  = Universele gaskonstante
- $T$  = Absolute temperatuur
- $n$  = Aantal molekules/botsingseenheid

### Die ideale skeidingsverhouding van 'n membraan

Volgens Schell (Schell, 1975) volg dat die maksimum lokale skeidingsverhouding wat deur 'n binêre verhouding in 'n membraan bereik kan word gelyk is aan

$$\alpha_{LS} = \frac{M_B}{M_A}$$

As vloei vir 'n ruk lank plaasgevind het moet die produk- met die uitskot konsentrasie en nie met die voer konsentrasie vergelyk word nie want slegs die uitskot sal in die houer agterbly.

### Poriegrootte en vrypadlengte

Die poriegrootte word deur die gemiddelde vrypadlengte bepaal en verskil in homogene gasse en mengsels. Die gemiddelde vrypadlengte van 'n atoom of molekule is die gemiddelde afstand wat die atoom of molekule beweeg voor 'n volgende botsing.

Volgens Maxwell se teorie (UP Verrykingstechnologie, 1975) is die gemiddelde vrypadlengte vir molekule tot molekule botsings in 'n homogene gas met die veronderstelling dat die ideale gaswet geld die volgende:

$$\lambda = \frac{1}{\pi \cdot n \cdot \sigma^2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{R \cdot T}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot N_a \cdot P \cdot \sigma^2}$$

waar:

- $\lambda$  = Gemiddelde vrypadlengte
- $\sigma$  = Botsingsdiameter
- $N_a$  = Avogadro se getal
- $R$  = Universele gaskonstante
- $T$  = Absolute temperatuur
- $n$  = Aantal molekules/botsingseenheid

### Poriediameter

Vanweë die onreëlmatige vorm van gaatjies in membrane is dit nodig om 'n gemiddelde porie diameter te definieer naamlik:

$$d = \frac{4 V_P}{A_P}$$

waar  $V_P$  = volume van al die porieë in 'n membraan,

$A_P$  = ooreenkomstige interne oppervlakte van die porieë en vir 'n silindriese porie sal  $d$  = diameter van die silinder.

### Deurlaatbaarheid, Deursigtigheid en Poreusheid.

Die permeabiliteit of deurlaatbaarheid ( $g$ ) van 'n membraan word gedefinieer as die aantal mol gas wat per tydseenheid per eenheidsoppervlak per eenheidsdrukverskil deur die membraan vloei onder molekulêre vloeitoestande.

Deursigtigheid van 'n membraan is die verhouding van die effektiewe deurvloei-oppervlakte van die porieë tot die totale membraan oppervlakte.

Poreusheid van 'n membraan is die verhouding van die totale porie-volume tot die totale membraanvolume.

### Vloeitoestande by diffusieskeiding.

Die belangrike parameters vir goeie diffusieskeiding is die membraan deurlaatbaarheid en membraanskeidings-effektiwiteit. Beide laasgenoemde parameters is 'n funksie van die vloei deur die membraan en die vloei-gebied waarin dit plaasvind.

Dit is dus ook nodig om vloeitoestande en gebiede vir diffusie skeiding te karakteriseer.

Volgens Eickman en Werner (Eickman en Werner, 1985) staan vloeitoestande waar skeiding moontlik is, bekend as molekulêre vloei en word molekulêre effusie genoem. Dit vind plaas as die Knudsengetal gedefinieer as:

$$(K_N = \frac{M}{R_e})$$

$$K_N = \frac{\lambda}{\bar{d}} = 1$$

en  $\frac{1}{\bar{d}} \ll 1$

Vloeitoestande waar skeiding nie moontlik is nie kan in drie hoofgroepe verdeel word naamlik:

(i) Laminêre vloei:  $R_e = \frac{\Gamma v d}{\mu} \leq 2000$

(ii) Turbulente vloei:  $R_e \geq 2000$

(iii) Oppervlaktevloei: bestaan uit 'n bewegende monomolekulêre laag op die membraan oppervlakte. Die effek kom voor by hoë drukke en lae temperature.

Praktiese skeidingsmembrane verskil aansienlik van teoretiese modelle. Gasvloei deur praktiese membrane bestaan gewoonlik uit 'n mengsel van skeidingsvloei in die Knudsengebied tot nie-skeidingsvloei in die laminêre gebied as gevolg van hoë drukke en porieë met wisselende groottes. Die porieë het ook enige denkbare vorms (UP Verrykingstegnologie, 1985).

### Nuwe ontwikkeling en kommersiële gebruik

In die afgelope tyd is baie tyd aan die navorsing en ontwikkeling van kommersieel bruikbare membrane spandeer. Membrane se kwaliteit en samestelling volgens spesifieke behoeftes het heelwat ontwikkeling ondergaan. Die proses egter, het nie baie ontwikkel sedert Weller en Steiner dit in die vyftigerjare gepubliseer het nie (Shulz, Michele en Werner, 1982). Die hersirkulasieproses soos gepubliseer in hierdie tyd is steeds die basis van hedendaagse tegnologie.

Volgens Shülz, Michele en Werner (Schülz *et. al.*, 1982) is ontwikkeling van 'n proses vir die vervaardiging van asetaat-selstof membrane wat die karakteristieke van asetaat-selstof bevat, maar groter deurdringbaarheid van gasse toelaat, ontwikkel.

Bogenoemde stof word vervaardig deur 'n polimeeroplossing op 'n gladde oppervlak te giet, gedeeltelik te droog en in yswater te set. Daarna word die membrane in water verhit, wat veroorsaak dat sekere karakteristieke ontwikkel word en finaal deur 'n oplosmiddel uitruil tegniek gedroog word (Baker en Blume, 1988).

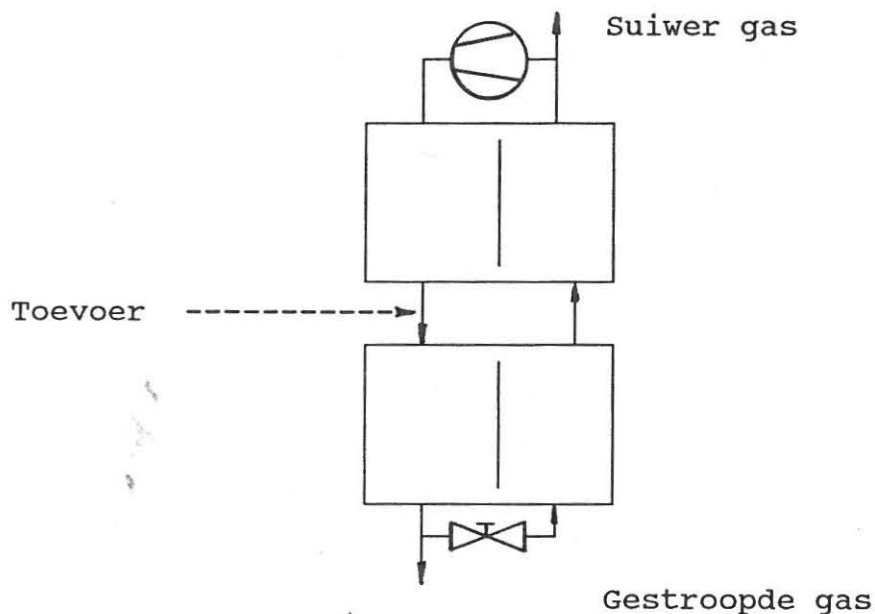
Die formasie van 'n aktiewe laag op die luggedroogde oppervlakte van die membraan, saam met die kwaliteite van normale asetaat-selstof, is verantwoordelik vir die besondere hoë deurlaatbaarheid van die membraan.

Sodanige aktiewe laag het dieselfde kwaliteite as gewone asetaat-selstof en het 'n dikte van  $0,1 \mu\text{m}$  of minder met 'n totale membraandikte van tussen 75 en  $125 \mu\text{m}$ .

Die grootste gedeelte van die membraan is 'n oop-porieuse, sponsagtige ondersteunde struktuur waardeur gasse vry kan vloei. Permeabiliteit en selektiewe kwaliteite word veroorsaak deur die oplossingsamestelling, giettoestande, vooraf behandeling en relatiewe dikte van die membraan.

'n Nuwe konsep, wat 'n revolusie in membraanskeiding kan ontketen is besig om teoreties en eksperimenteel getoets te word. Onder die invloed van 'n termiese skeidingsproses, byvoorbeeld distillasie, is selfs 'n kontinue proses ontwikkel vir die skeiding van die gasfase met behulp van deurlaatbare membrane, naamlik 'n membraan gelykrygingskolom.

Figuur 3 toon 'n volledige skeidingsaanleg met 'n verrykings- en stroopseksie. Die voer vloei tot by 'n punt waar die konsentrasie in die kolom van die hoogs deurlaatbare membraan aan die hoogdruk kant dieselfde is as die voerkonsentrasie van die dieselfde komponent.



**FIGUUR 3 - Membraan skeidingsaanleg**

Bogenoemde proses is reeds in 1960 gepubliseer maar het geen tegniese erkenning ontvang nie. Aan die einde van die sewentigerjare is oorweging geskenk aan termiese prosesse en Hwang (Hwang en Thorman, 1985) lei 'n soortgelyke tegniek af wat in 1980 gepubliseer is nadat dit korrek bewys is.



### Vloeistof membrane

'n Nuwe proses is ontwikkel waarin vloeistof membrane gebruik word vir die skeiding van gas. Voer- en stroopgasse vloei deur die holtes van twee stelle hidrofobiese mikro-porieuse harse terwyl 'n vloeistof op die kant as 'n membraan dien. Sodanige proses staan bekend as die "CONTAINED LIQUID MEMBRANE" (Majumdar, Cuha en Sirkar, 1988). Groot tekortkominge van statiese vloeistofmembrane word geïllustreer.

Eksperimentele studies word op verskillende CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> voergas-mengsels en 'n skoon Helium stroopgas stroom uitgevoer, met spesiale klem op gas reiniging.

Skoon water of 'n vloeibare oplossing van K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> word as membraan gebruik. Eksperimentele data toon goeie vergelykings met teoretiese vooruitskattings.

### Toepassings van membraanskeidingstechnologie

Die vinnige ontwikkeling van membraantechnologie is te wyte aan die vermoë om gasmengsels eenvoudig te skei (Ezhov en Kushnarev, 1987). Membraan skeiers word alreeds vir die volgende kommersiële projekte gebruik:

1. Verkryging van skoon waterstof uit gasstrome in chemiese en petrochemiese prosesse (Spillman, 1989).
2. Verryking van die suurstofinhoud van lug vir oksidasie-doeleindes in chemiese-, gas-, biologiese- en farmaseutiese industrieë (Matson, 1986).
3. Konsentrasie en skeiding van die komponente van natuurlike gasse soos He, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S en C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

4. Lug van koeltorings skoon te maak vir omgewingsbewaring.
5. Afvalgasse te stroop van gekontamineerde komponente.
6. Stoom van korrosiewe gasse te verwyder.
7. Omgewingslug van stoorkamers van byvoorbeeld chemikalië te suiwer.

Daar word verwag dat, hoe meer bekend die toepassing van membrane in die nywerheid word, hoe wyer sal die benutting daarvan word. Algaande sal daar spesiale toepassings ontwikkel waarvoor membraantegnologie uniek sal wees (Schendel, Mariz en Mak, 1983).

#### **3.4.2 Gassentrifuges**

Die beginsel om gravitasie of sentrifugaalvelde vir die skeiding van gasse met verskillende molmassas te gebruik is reeds in 1895 deur Bredig ingespan, toe hy eksperimente daarmee op gasse uitgevoer het.

Gedurende die Tweede Wêreld oorlog was gassentrifuges as kandidaat vir isotoopskeiding oorweeg, maar tegnologie was nog nie gevestig om dit suksesvol te bedryf nie.

Gedurende die sestigerjare het sentrifuges in 'n ekonomies-kompeterende proses ontwikkel en tegnologie daaromtrent is streng geklassifiseer (Verrykingstegnologie, 1985).

### Algemene proses en konstruksie

Die beginsel van skeiding in 'n sentrifuge berus op die feit dat die betrokke gasmengsel aan 'n sentrifugale versnelling onderwerp word wat ordes hoër as gravitasie versnelling is.

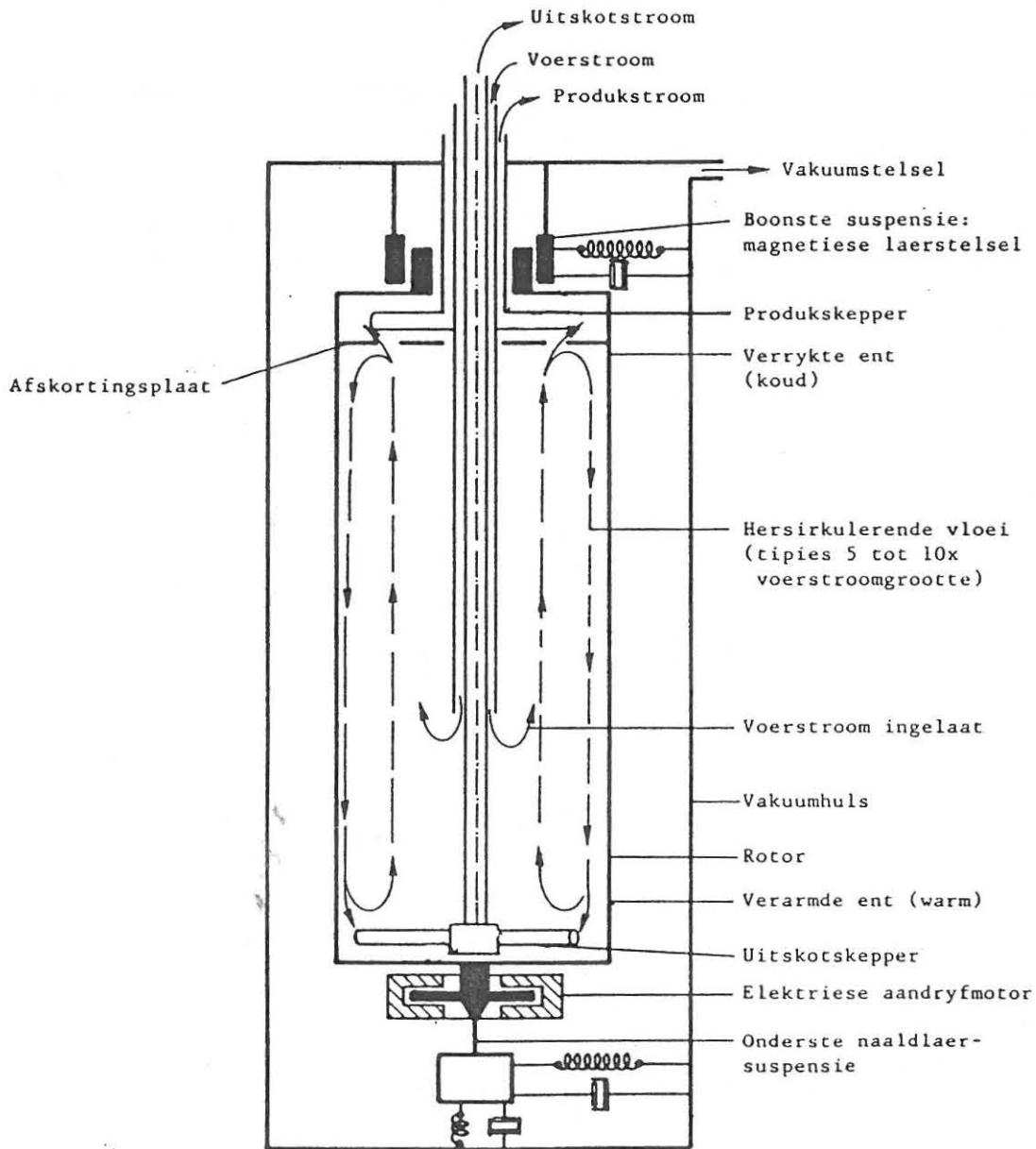
Die swaarder komponent sal dus op die buitewand konsentreer terwyl die ligter komponent op die hartlyn sal konsentreer met die gevolg dat praktiese skeiding moontlik is.

Sentrifuges word hoofsaaklik in twee groepe, volgens die interne vloei geklassifiseer naamlik:

- (i) Radiale sentrifuges en
- (ii) Aksiale sentrifuges.

Aksiale teenstroom tipes sentrifuges word in die praktyk verkies vanweë die skeidingsverhoudings wat daarmee bereik kan word.

Figuur 4 toon 'n sentrifuge wat die hart van so 'n skeidingsaanleg is en kan as volg saamgestel word:



FIGUUR 4 - Skematiese voorstelling van 'n sentrifuge

'n Tipiese teenstroom sentrifuge bestaan uit 'n silindriese rotor met entplate wat in suspensiestelsels gedra word. Met behulp van 'n elektriese motor kan die rotor teen baie hoë snelhede aangedryf word. Die roterende dele, suspensiestelsels, motor en voer- en onttrekkingssisteme word in 'n vakuumdigte omhulsel geseël, omdat die prosesdruke baie laer as atmosferiese druk is.

Suspensie in die boonste vlak word hoofsaaklik verkry deur magnete op die ente van die rotor.

Die rotor self is 'n dunwand silinder wat op die onderpunt deur 'n naald of gaslaer gedra word.

Bo in die rotor is 'n opening waardeur drie konsentriese statiese pype vir voer, uitskot en produk na die interne rotorruimte gelei word. Die laagste druk, na aan vakuum, kom in die gebied van die hartlyn voor en in een van die talle moontlike vloeskemas word die voer hier ingelaat soos in die figuur getoon.

Twee vrystaande skepperstelsels onttrek produk en uitskotstrome, en kan so aangepas word dat dit hersirkulasie wat goeie werking veroorsaak, aanhelp. Die grootte van die hersirkulasiestroom, wat interne kaskadewerking aanhelp, is vyf tot tien maal groter as die voerstroom.

Die belangrikste dryfmeganismes vir hersirkulasie is:

- (i) 'n Aksiale temperatuurgradiënt op die rotorwand. Die vloei is direk eweredig aan die totale gradiënt oor die rotorlengte. Die bo-ent is warmer as die onderpunt vanweë die elektriese motor aan die bo-ent, wat as hittebron dien. Omdat die digtheid van die gas verminder namate die temperatuur styg, sal dit eers

radiaal na binne beweeg onder die invloed van die sentrifuge se sentrifugale versnellingsveld en dan vertikaal opwaarts as gevolg van die aarde se gravitasieveld. (natuurlike konveksie)

- (ii) Temperatuurverskille tussen die gas en die entplate se effek is aanvullend tot die van die temperatuurgradiënt. Die boonste entplaat is gewoonlik koud terwyl die onderste plaat warm is vanweë die gas wat invloei.
- (iii) Indien die vloei stroom by die toevoer reg gekies word, is die vermoë van die inlaatstroom om hersirkulasie aan te help direk eweredig aan die grootte van die inlaatstroom.
- (iv) Die onderste skepper wat staties staan, indusseer 'n inwaartse grenslaagstroom omdat die heersende drukgradiënt nie deur die stilstaande gas op die skepperwand gebalanseer kan word nie. Die boonste skepper word met 'n plaat afgeskerm omdat dit ook teenvloei veroorsaak wat die vloei vanaf die onderste skepper sou ophef.

Indien alle meganismes korrek opereer, sal 'n sirkulerende stroom waar die digter gas (die een met die laagste temperatuur) teen die buitewand af beweeg, aan die onderkant verhit word en as gevolg van digtheidsvermindering inwaarts beweeg en vertikaal opstyg. Die gas word dus aan die bokant verryk, aan die onderkant verarm en voergas word in die middel ingelaat.

'n Skepper wat op 'n voorafbepaalde straal geplaas word, dien as 'n pitotbuis wat die dinamiese gasdruk na nuttige statiese

druk omskakel. Die druk is genoegsaam om vloei tussen sentrifuges te bewerkstellig en skakel die gebruik van kompressors uit.

Vloeibeheer in kaskades word normaalweg met mondstukke gedoen, aangesien groot drukverhoudings toelaatbaar is. Verrykings- en verarmingskonsentrasies kan binne perke verstel word deur die voertempo te verstel.

'n Sentrifuge aanleg bestaan kenmerkend uit 10 tot 20 stadia, waarvan elke stadium minstens uit 100 sentrifuges bestaan (Verrykingstegnologie, 1985).

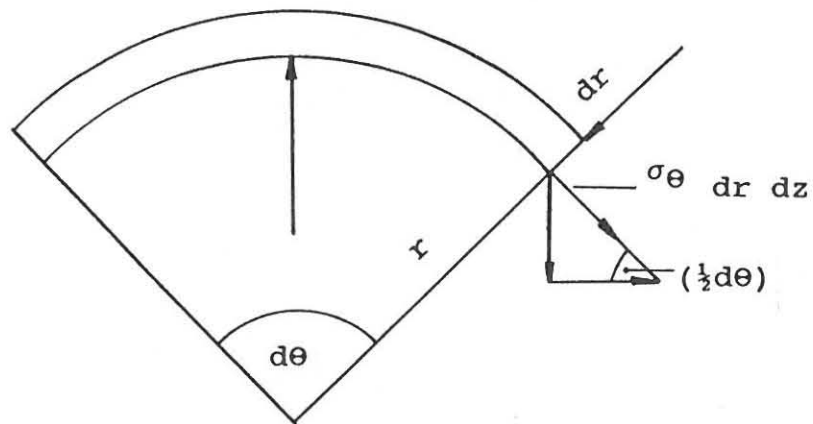
### Materiale in gebruik vir sentrifuges

Die skeidingsvermoeë van 'n sentrifuge is eweredig aan sy lengte en ook 'n funksie van sy wandspoed. Die lengte en wandspoed (omtrekwand) moet dus so groot as moontlik gemaak word.

Die sentrifuge is egter onderhewig aan beperkinge soos van toepassing op 'n dunwand silinder. As gevolg van rotasiebeweging is die wand onderhewig aan sentrifugaalkragte en maksimum spoed is dus afhanklik van die maksimum treksterkte van die materiaal.

'n Kragtebalans op 'n deel van 'n ringelement lyk as volg:

$$\Gamma \frac{V_w^2}{r} \cdot r dr d\theta dz$$



FIGUUR 5 - Kragtebalans op 'n ringelement

'n Lengte dz word beskou en die sentrifugaalkrag word deur die radiale komponente van die trekspanning gebalanseer.

$$2 \sigma_\theta \sin \left( \frac{1}{2} d\theta \right) dr dz = \frac{V_w^2}{r} r dr d\theta dz$$

$$\sigma_\theta = \Gamma V_w^2$$

waar  $\sigma_\theta$  = omtrekspanning

$V_w$  = omtrekspoed van wand

$\Gamma$  = materiaaldigtheid

Hieruit volg dat as  $V_w$  die maksimum spoed en  $\sigma$  die maksimum trekspanning in die materiaal is, sal:

$$V_w \text{ maks} = \frac{\sigma}{\Gamma}$$



Tabel 1 gee tipiese waardes vir verskillende materiale in gebruik.

**TABEL 1 Groothede van  $V_w$  maks van tipiese materiale in gebruik vir gassentrifuges**

Materiaal	Digtheid ( $\text{kg/m}^3$ )	Treksterkte (MPa)	Elastisiteitsmodulus (MPa)	$V_w$ maks (m/s)
Aluminium	2800	448	71 000	400
Hoë treksterkte staal	7800	1381	207 000	421
Titaan	4800	897	114 000	442
Glasvesel	1800	490	72 400	522
Koolstofvesel	1600	829		720
Aramied (Kevlar)	1500	1800		1095

### Energieverbruik

'n Gassentrifuge kan as 'n termodinamies-omkeerbare proses beskou word en die energieverbruik kan uit entropie-oorewegings bereken word.

Energieverlies in 'n sentrifuge vind hoofsaaklik as gevolg van die volgende redes plaas:

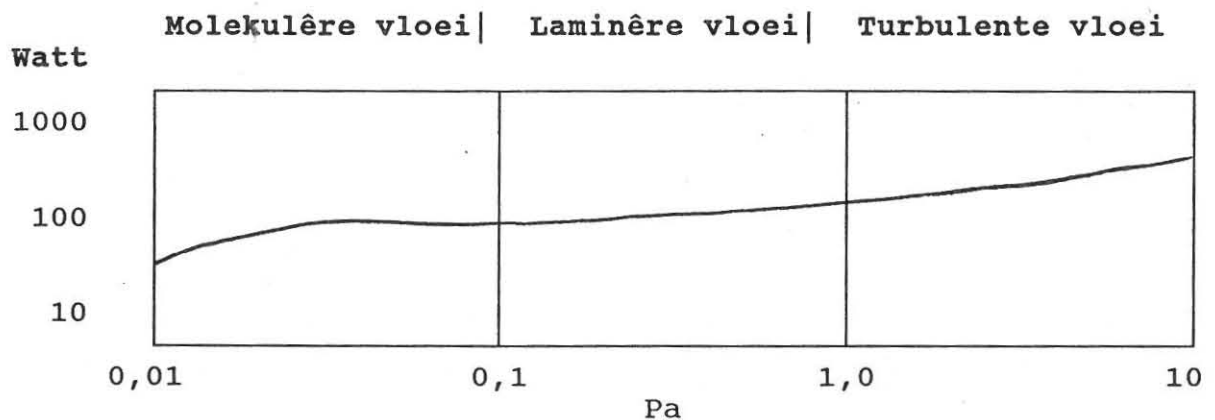
- (i) Gaswrywingsverliese op die buite-oppervlak van die sentrifugerotor in die annulus tussen die vakuumbuis en die rotor.

- (ii) Gaswrywingsverliese as gevolg van die stilstaande skepper en voerstelsels in die sentrifuge.
- (iii) Gaswrywingsverliese in die kanale van die skepper, voer- en uitskotstelsels.
- (iv) Meganiese wrywingsverliese in die laers en suspensiestelsels.
- (v) Elektriese verliese in die aandryfmotors, omsetters- en kragkondisioneringsstelsels.
- (vi) Verliese in alle hulptoerusting soos ventilasie, voer-, produk- en uitskotstelsels.

Die hoofbron van verliese is egter soos in (i) hierbo genoem. Figuur 6 toon die tipiese verloop van drywingsverliese teenoor druk en ook in die verskillende vloeigebiede (Verrykings-tegnologie, 1985).

$$r = 0,1 \text{ m}$$

$$L = 1,0 \text{ m}$$



FIGUUR 6 - Drywingsverliese wat voorkom in verskillende vloeigebiede

### 3.4.3 Becker-mondstukproses

Die mondstukproses vir die skeiding van gasse is gebaseer op sentrifugaalkragte wat ontstaan as vloei 'n gekromde pad volg.

Die proses dateer terug na 1955 toe prof. E. W. Becker argon en xenon van mekaar geskei het. Uraan-isotope is die eerste keer in 1956 geskei, met suiwer  $UF_6$  as prosesgas (Verrykings-tegnologie - 1985).

Afhangend van die geometrie en toestand van gasvloei in 'n Beckermondstuk, kan verrykingsfaktore, wat groter is as ewewigsfaktore, verkry word.

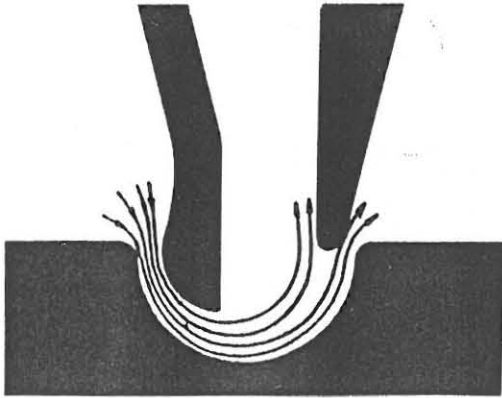
Die proses werk kortliks as volg:

By die ingang tot 'n mondstuk is die mengsel van die gas ruimtelik homogeen. Terwyl liniêre en sentrifugaalversnelling van die gas deur die mondstuk plaasvind, sal die swaarste komponent die grootste krag ondervind en die vinnigste na die buitewand beweeg. Die gekonsentreerde swaarkomponent moet finaal van die ligte komponent met behulp van 'n skerp mondstuk geskei word.

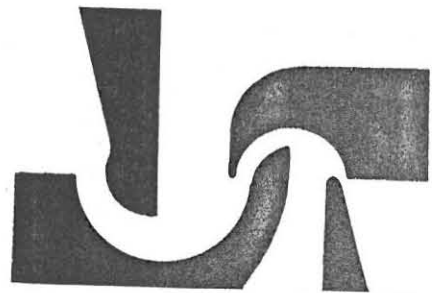
Dit sal dus nodig wees om sodanige skeiding of snit op so 'n posisie te maak, waar die konsentrasie van die twee komponente 'n maksimum is.

Vir 'n bepaalde mondstukgeometrie en drukverhouding sal daar 'n optimum drukvlak bestaan. By drukke laer- en hoër as optimum sal die diffusiesnelhede te hoog of te laag wees.

Verskeie van die mondstuk ontwerpe word in Fig. 7.1 en 7.2 getoon.



FIGUUR 7.1 - Defleksie mondstuk



FIGUUR 7.2 Dubbel-defleksie mondstuk

### Optimum bedryfstoestande

Die optimumbedryfstoestande van 'n skeidingsmondstuk kan slegs deur reekse intensiewe skeidingseksperimente vasgestel word.

Gedurende sodanige toetse moet 'n veelvuldige aantal parameters, wat nie ge-optimeer kan word nie, onafhanklik van mekaar verstel word. Daarbenewens moet die geometrie so vasgestel word, dat die bedryfstoestande van die skeidingsaanleg so goedkoop moontlik bedryf kan word.

'n Optimeringsproses werk kortliks as volg:

Verskillende inlaatdrukke en uitsettingstempos word geëvalueer ten opsigte van skeidingswerk terwyl alle ander parameters onveranderd gelaat word.

Hieruit kan 'n benaderde vergelyking dan bepaal word wat die skeidingswerk se afhanklikheid van inlaatdruk en uitsettingstempo redelik akkuraat sal kan beskryf.

Met behulp van sodanige formule kan die energieverbruik, die spesifieke suigvolume en die spleetlengte bepaal word vir 'n hele reeks bedryfstoele.

Die spesifieke groothede word geanaliseer in terme van tegnologiese- en ekonomiese aspekte van 'n mondstuk skeidingsaanleg op industriële skaal. 'n Kostefaktor word dan bereken om die koste verbode aan die stelsel onder die soeklig te vergelyk met die van 'n bekende stelsel reeds in gebruik, waarvan die bedryfstoele vas is.

Die resultate van die koste analises wat aanhoudend deur die loop van die optimiseringsprosedure bepaal word, word gebruik om toestande vir verdere optimiseringstoele daar te stel (Becker, 1979).

### Kommersiële aanwending

Die skeidingsmondstukke is by die Karlsruhe Kern Navorsingsentrum in die Federale Republiek van Duitsland ontwikkel. Sedert 1970 is die Duitse maatskappy STEAG by die tegnologiese ontwikkeling en kommersiële implementering van die proses betrokke.

Gedurende 1975 het die Duitse maatskappy Interatom kragte met die Brasiliaanse maatskappy Nuclebras saamgesnoer met die primêre doel om 'n skeidingsmondstuk demonstrasieaanleg daar te stel met 'n kapasiteit van 200 t SWE. Verder word 'n program daargestel om prototipes mondstukke op 'n kommersiële skaal vir verrykingsaanlegte te toets.

Fig. 7.1 en 7.2 toon 'n deursnitseksie van mondstukke soos in gebruik in die aanleg.

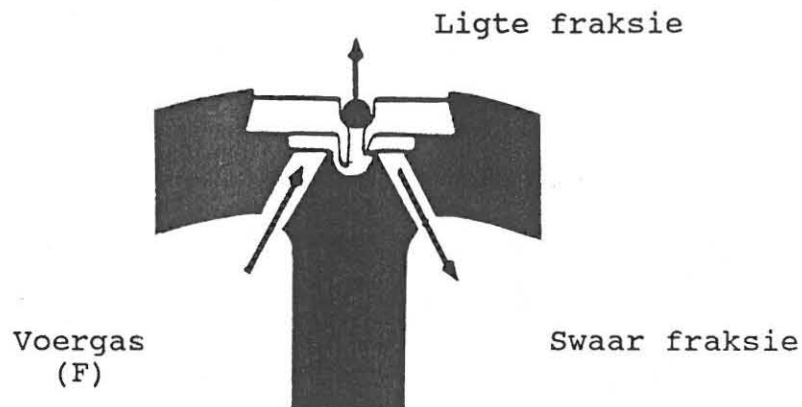
### Produksie van skeidingselemente

Om skeidingselemente tussen drukke van 25 en 50 kPa te bedryf, moet die diameter van die spleet in die orde van 0,2 mm wees. Verskeie metodes vir ekonomiese massaproduksie van die skeidingselemente is in samewerking met industrieë daargestel.

### Gietvorms van die Messerschmidt-Blohm maatskappy

Bogenoemde maatskappy se vervaardigingsmetode werk as volg:

'n Aluminiumbuis word gegiet, soos skematies aangetoon in fig. 8. Die buis vorm die basiese eenheid van die element. Op die omtrek van die buis is daar 10 spleetvormige mondstuksisteme, elk met 'n volledige defleksiegroef wat in die buis en stroke gemasjineer word. Die kante dien as die skeier en mondstuk rant. Aluminiumstroke word in die swaelstertgroewe gepas en in posisie gehou deur balletjies wat in die groewe gepers word.



**FIGUUR 8 - Profiel van 'n gietvorm van die Messerschmidt-Blohm maatskappy**

Voergas word in die gedeeltes F aan die een kant ingepomp, terwyl die swaargas in die gedeeltes A onttrek word aan die teenoorgestelde kant. Die ligte fraksie word op die buitewand onttrek.

Gedurende 'n vier jaar toetsperiode het die skeidingsvermoë van die mondstuk, asook onderlinge karakteristieke dieselfde gebly (Becker, 1979).

### Foto-etsing

Kommerisiële foto-etsing van skeidingsmondstukonderdele op metaal foelie word deur Siemens in Munich gedoen.

Die mondstukstruktuur, die kanaal vir voergas en die onttrekingskanaal vir die swaargas word op die metaal foelie geëts. Mondstukskyfies word verkry deur die strokies foelie op mekaar te stapel. Verskeie skyfies word dan geïntegreer in 'n skeidingselementbuis, waarin die een helfte van voergas

voorsien word, terwyl die swaar element in die ander helfte onttrek word. Die ligte element word aan die buitekant van die buis onttrek.

### Skeidingstadia

Kommersiële elemente word ontwerp om in twee stadiums geëvalueer te word. Die eerste of sogenaamde groot stadium bestaan uit 'n drukhouer wat ongeveer 80 skeidingselementbusse van 2 meter spleetlengte bevat, 'n twee-stadium gasverkoeler, 'n twee stadium sentrifugaal-kompressor en 'n motor wat aan die kompressor gekoppel is.

Bedryfs- en ontwerpondervinding opgedoen tydens die ontwerp van die eerste stadium, is toegepas in die ontwerp en bou van die tweede of klein stadium, wat ongeveer een derde van die gewone gasvloei van die groot stadium hanteer.

Die elemente word as 'n kompakte eenheid gerangskik sodat maklike installering en onderhoud kan geskied. Verder word alle onderdele van die tweede stadium ontwerp met die oog op massaproduksie. Geen spesiale skoon toestande, wat installeringskoste hoër maak, hoef gedurende montering gehandhaaf te word nie. Alle stofpartikels word deur 'n filter opgevang.

### Toekomstige ontwikkeling

Navorsing word tans op 'n spuitstuk-sisteem gedoen om die werking van die Becker-mondstuk te verbeter. Die einddoel is om die steil snelheidsgradiënt en relatiewe hoë wrywing wat in die mondstuk ontstaan te probeer voorkom.



Huidige toetse toon dat die vloedinamiese defleksie konsep groot potensiaal inhou vir die verbetering van mondstuk werking.

'n Verdere denkrigting vir die verbetering van die Becker-mondstuk is die gebruik van 'n dubbele defleksiemondstuk. In hierdie geval is die swaar fraksie van 'n konvensionele sisteem nog 'n keer aan skeiding onderworpe. In die eenvoudigste rangskikking van die derde sisteem word die intermediêre stadium aan die suigkant van die kompressor verbind om sodoende gehersirkuleer te word.

Die voordeel van so 'n stadium is dat die skeiding tussen die ligte en swaar fraksie aansienlik hoër is en 'n vermindering van tot 35 %: wat betref mondstukke, in 'n stadium kan teweeg bring.

Die dubbel-defleksiemondstuk kan dus aangewend word om die totale koste verbonde aan so 'n aanleg te verminder sonder dat effektiwiteit ingeboet word.

#### **3.4.4 Die UKOR-proses**

Die Suid-Afrikaanse- of UKOR-proses is 'n gasdinamiese proses wat op 'n werwelbuis of stilstaande-wandsentrifuge gebaseer is en dateer terug na die dertiger jare. 'n Franse ingenieur G J Ranque het ontdek dat so 'n buis 'n gasstroom in twee kan verdeel, elk met sy eie temperatuur. Praktiese ontwikkelingswerk is deur Hilsch van Duitsland gedoen en hy het 'n samevatting van sodanige werk in 1946 gepubliseer.

Dr. W L Grant het vanaf 1957 navorsing op die ontwikkeling van 'n Ranque-Hilsch werwelbuis vir die bereiding van koue lug gedoen en stel die proses in 1961, vir die skeiding van uraanisotope voor.

Die uitvoerbaarheid van die metode is bewys en gedurende 1970 tot 1977 is 'n loodsaanleg gebou en in bedryf gestel. In 1978 word die daarstelling van 'n produksieaanleg aangekondig en met die oprigting daarvan begin. Die vermoë van die produksieaanleg sou sowat 300 tSW/a wees.

Die UKOR-proses benodig, net soos die Becker-mondstukproses, 'n gasskeierstelsel aan die einde van die verrykingskaskade. 'n Uitvriesstelsel is een moontlikheid, maar 'n gasskeidingstelsel kan ook op die beginsel van 'n isotoopskeier werk (Newby-Fraser, 1979).

### Gasskeierwerking

Soos in die geval van 'n isotoopskeier word 'n toevoergasmengsel tangensiaal deur mondstukke in die werwelbuis ingespuut. 'n Bepaalde hoekmomentum word verkry en die gasmengsel word weer naby die buishartlyn onttrek.

As gevolg van die behoud van hoekmomentum neem die gassnelheid toe namate daar van die omtrek na die hartlyn van die buis beweeg word. Sodanige vloei bereik egter nie 'n oneindige snelheid nie, as gevolg van viskositeitskragte. Die maksimum omtrekspoed is 'n funksie van 'n " buis-Reynoldsgetal ".

$$\text{Buis-Reynoldsgetal } Re_o = \frac{W_o}{2\pi\mu L}$$

waar  $W_o$  = Totale gasmassavloei wat deur die buis beweeg

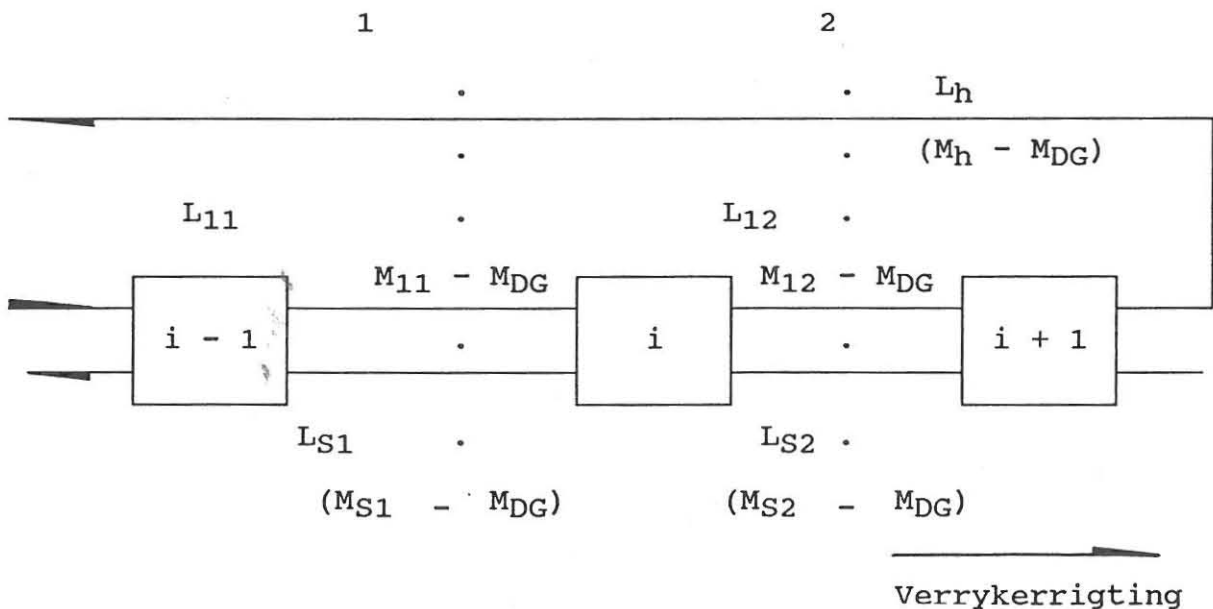
$\mu$  = Viskositeit van die mengsel

$L$  = Buislengte

As die prosesgas uit 'n mengsel  $UF_6$  en draergas bestaan, is daar 'n netto stroom van draergas deur die kaskade. As die draergasmolmassa kleiner is as diè van  $UF_6$ , sal daar 'n netto stroming van draergas in die verryker rigting plaasvind.

Om die gasskeierverhouding vir 'n stadium te bepaal, moet die mol- en uraanvloeibalanse oor 'n gasskeier beskou word.

Die vloeibalanse vir 'n stadium kan soos volg voorgestel word:



FIGUUR 9 - Vloeibalanse oor 'n stadium

waar  $L_h$  = netto molvloei van draergas, byvoorbeeld waterstof, wat deur die kaskade sirkuleer en aan die bo-ent onttrek word. Die stroom mag nog  $UF_6$  bevat, maar die hoeveelheid daarvan hang af van die ontwerpvereistes.

$M_h$  = molmassa van die hersirkulerende stroom.

$L_1$  = module produkmolvloei

$L_S$  = module sirkulasiemolvloei

$M_{DG}$  = molmassa van draergas

Voettekens 1 en 2 verwys na snitte 1 en 2.

Die stadiumgasalfa oor 2 modules of tussen snitte 1 en 2 word gedefinieer as:

$$A_{m12} = \frac{M_{L1} - M_{DG}}{M_{L2} - M_{DG}}$$
$$= A_{mi} \text{ vir stadium } i$$

Die totale gasskeierverhouding van die elemente in module i:

$$A_{iS1} = \frac{M_{S1} - M_{DG}}{M_{L2} - M_{DG}}$$

(Verrykingstegnologie, 1985)

### **3.5 Gasskeiding vir die Petrochemiese bedryf**

'n Gasskeiermodule kan ook aangewend word om die verhouding waarin twee of meer komponente gas wat in 'n mengsel voorkom te verstel.

Die verstelling van die  $H_2/CO$  verhouding is van groot belang vir die petrochemiese-, metallurgiese- en energie- industriëe.

### 3.5.1 Singas - Chemie

Sintese gas, of singas, is 'n mengsel van  $H_2$  en  $CO$  wat in 'n verskeidenheid petrochemiese prosesse voorkom. Dit kan as 'n mengsel van sodanige twee komponente gebruik word, of geskei word na hoë suiwerheidsgraad  $H_2$  en  $CO$ .

$H_2$  en  $CO$  reaksies, dus ook die verhouding tot mekaar, is van groot industriële belang. Sodanige reaksies vorm die basis van prosesse vir die vervaardiging van metanol, suurstofchemikalië en 'n verskeidenheid ander produkte.

Singas is normaalweg 'n produk van koolwaterstowwe soos aardgas, olie en steenkool. Die gas word vrygestel as aardgas of ligte koolwaterstowwe aan die stoom hervormingsproses onderwerp word, by die gedeeltelike oksidasie van swaar olie (POX) of as 'n produk van steenkool of kooks se verbranding.

Die rou singas uit 'n stoom hervormer bevat  $H_2$  en  $CO$  saam met 'n reeks onsuierhede soos  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$  en  $N_2$ . Die verlangde proses waaraan die singas onderwerp moet word hang af van die produksieproses, asook die uiteindelijke produk wat verlang word.

Daar is verskeie belangrike faktore wat die keuse en ontwerp van 'n skeidingsproses beïnvloed.

Faktore wat oorweeg moet word is die volgende:

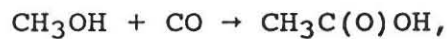
- (i)  $H_2/CO$  verhouding.
- (ii) Suiwerheidsgraad van produk.
- (iii) Aanlegkapasiteit.

- (iv) Toevoergasse se beskikbaarheid.
- (v) Neweprodukte wat gevorm kan word.

Die chemiese prosesse wat saamgestelde koolstofverbindings met singas vorm word "C<sub>1</sub>-Chemie" genoem. Die wye verskeidenheid van chemikalië wat deur C<sub>1</sub>-chemie gevorm kan word is onder meer etileenglikol, asynsure, watervrye asynsure, etanol, hoër alifatiese alkohole en sure, aromatiese alkohole en sure, olefins en alkane.

Die "Fischer-Tropsch" en oksii-syntese reaksies is van die mees bekende- en bruikbaarste reaksies van singas samestellings.

Die ekonomiese potensiaal van sodanige en enige ander C<sub>1</sub> prosesse wat in 'n chemiese vergelyking soos byvoorbeeld:



vervat word, is groter as prosesse waarin waterstof en suurstof verbind om water te vorm omdat alle koolstof en suurstof in die roumateriaal omgesit word na die produk.

In die tabel word die H<sub>2</sub>/CO verhouding van kommersiële chemikalië getoon.

**TABEL 2: H<sub>2</sub>/CO verhouding van kommersiële chemikalië**

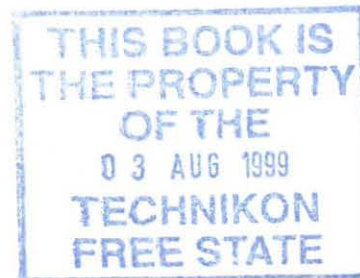
<u>Produk</u>	<u>Reaksie</u>	<u>H<sub>2</sub>/CO verhouding</u>
Asynsuur	$2\text{H}_2 + 2\text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$	1
Etileen glikol	$3\text{H}_2 + 2\text{CO} \rightarrow \text{HOC}_2\text{H}_4\text{OH}$	1.5
"Acetaldehide"	$3\text{H}_2 + 2\text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2\text{O}$	1.5
Etanol	$4\text{H}_2 + 2\text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	2
Etileen	$4\text{H}_2 + 2\text{CO} \rightarrow \text{CH}_2\text{CH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2
Oktaan	$17\text{H}_2 + 8\text{CO} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3 + 8\text{H}_2\text{O}$	2.1

Soos in die tabel getoon kan die verhoudings wissel vanaf 0 tot 3.1.

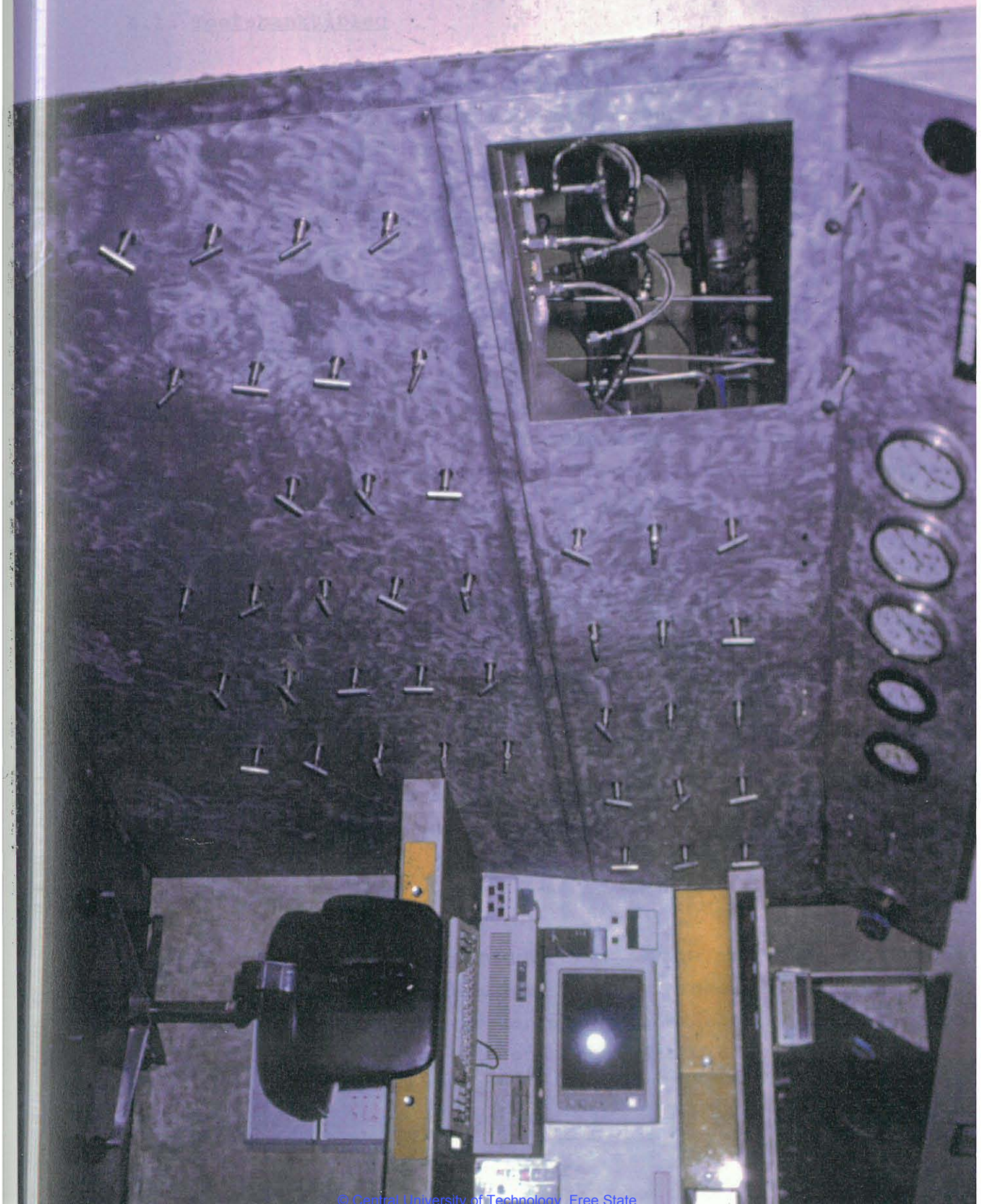
Rou singas bevat, na CO<sub>2</sub> verwydering, 'n 3:1 H<sub>2</sub>/CO verhouding. Die grootste behoefte is vir skoon CO of 'n verhouding van tussen 1:1 en 2:1 H<sub>2</sub>/CO, vir die produksie van oksialkohole (Schott, Houston en Glazer, 1987).

Die reeds erkende maniere om sodanige verhoudingsverstellings te doen is kreogeniese- of membraandiffusieverstellings.

Verhoudingsverstelling deur UKOR se stilstaandewand sentrifuges hou dus, hoewel heelwat navorsings en ontwikkelingswerk gedoen moet word, die voordeel in dat 'n gasskeiermodule teen normale bedryfstoestande in die sisteem ingebou kan word, sonder hoë energiekostes, wat 'n sisteem teen lae druk soos membrane vereis, of sonder die neweprodukte wat kreogenies gevorm word.



PLAAT 1 - FOTO VAN TOETSOPSTELLING





#### 4. Toetsopstelling

##### 4.1 Toetsbankuitleg

Fig.10 toon 'n skematiese diagram van 'n drie-stroom toetsbank.  $H_2$  en  $N_2$  word vanaf gassilinders deur 'n filter na die laedrukkant van 'n kompressor gevoer. Daar word van  $N_2$  as simulasiegas gebruik omdat dit dieselfde molmassagetal as  $CO$  het, maar nie vergiftigingsgevaar inhou nie. (Die gebruik van  $N_2$  word volledig bespreek in 6.5).

Vloeistabiliseerders word voor en na die kompressor op alle strome gemonteer om die pulsasies van die kompressor te demp.

Vanaf die kompressor, via 'n tweede filter, vloei die gasstroom ( $H_2/N_2$ ) na die skeidingselement. Die voerstroom word verdeel in 'n sirkulasiestroom (swaargas) en 'n produkstroom (ligte gas).

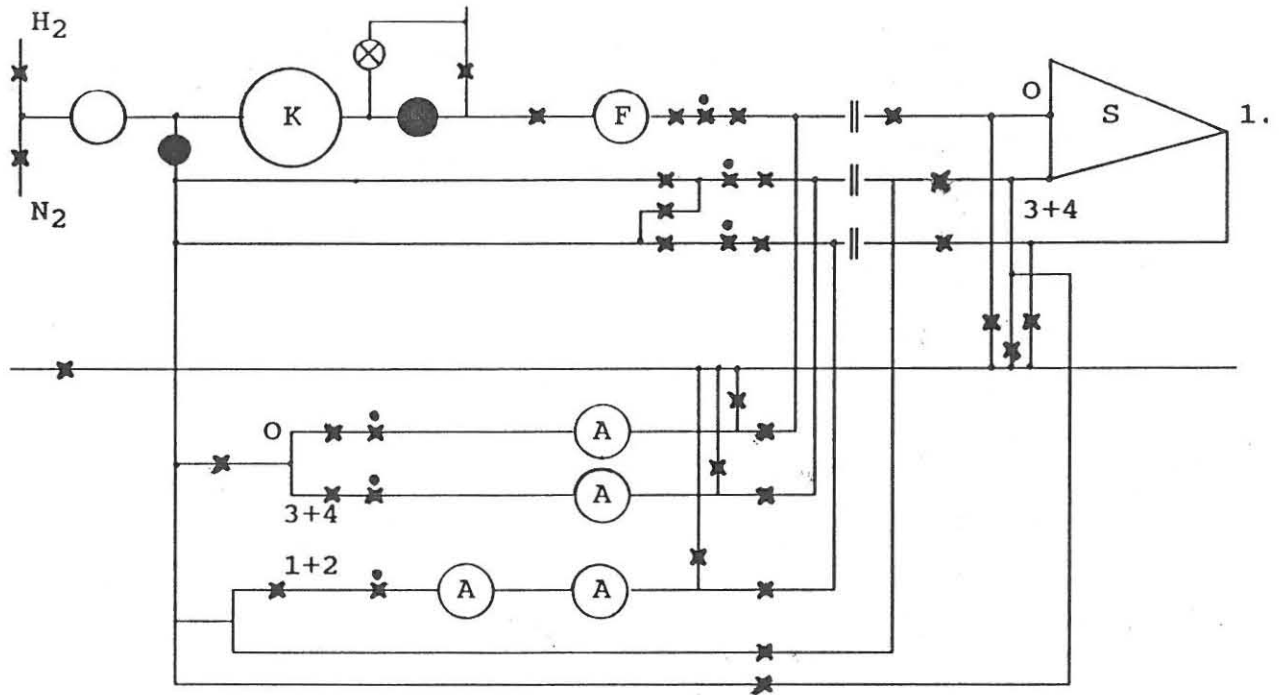
Die voer-, produk- en sirkulasiestrome word deur beheerkleppe gereguleer voordat dit deur plaatmondstukke gemonitor word. Daar word van stroomop sowel as teenstroom beheerkleppe gebruik gemaak.

Die drie strome word na die skeidingselement, weer teruggevoer na die kompressor.

Akkoestiese massameters word in parallel met elke stroom gekoppel vir molmassameting doeleindes. Beheerkleppe word weereens in serie met elke massameter gekoppel vir stroombeheer.

Alle komponente word deur middel van "Swageloks" met vlekvrystaal pyp gekoppel. 'n Onderdeel kan ook afgesluit word van die res van die toetsbank en is aan die vakuumsisteem gekoppel deur middel van afsluitkleppe vir onderhoudsdoeleindes.

Elektromagnetiese kleppe is voor- en na druksensitiewe onderdele geïnstalleer vir beskermingsmaatreëls.



FIGUUR 7

- K = Kompressor
- F = Filter
- A = EA-meter
- ⊗ = Veiligheidsklep
- = Stabiliseerders
- ✕ = Balg-kleppe
- ⊠ = Neumatiese kleppe
- △ = Skeidingselement

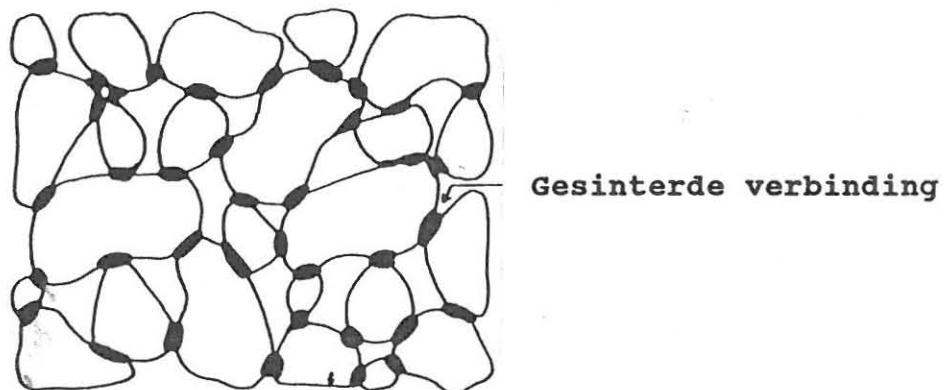
FIGUUR 10 - Skematiese voorstelling van toetsbankuitleg

### 3.2 Filters

Filters wat aan die hoë- en laedruk-kante van die toetsbank geïnstalleer is, is deur die maatskappy "Deomed" verskaf, saam met vlekvrystaal filterhouers, ontwerp vir 2500 kPa.

'n Enkele filter word in die houer geïnstalleer. Die filterhouer het 'n opsie om die filter skoon te maak, met behulp van 'n teenstroomopening.

Die filters word deur die sintering van vlekvrystaal-poeier (AISI 316 lae-koolstof vlekvrystaal) vervaardig. Daar word nie van verbindingstowwe in die proses gebruik nie, sodat die koolstof inhoud nie verhoog word nie. Die sintering word ook nie onder druk uitgevoer nie, sodat die deurdringbaarheid nie verlaag nie. Die resultaat van bogenoemde is hoë-poreuse filter met tot 50% porie volume, maar wat die roesvrye- en temperatuur eienskappe van die metaal behou. Dit maak sodanige filters geskik by temperature wat wissel van kreogeniese temperature, tot 900°C. Figuur 11 toon 'n skematiese voorstelling van gesinterde verbindings (Pall PSS Filter Cartridges).



**FIGUUR 11 - Skematiese voorstelling van gesinterde verbindings**

### **3.3 Kompressor - Corken**

Die Corken D490 is 'n vertikale, enkelstadium, enkelwerkende, tweecilinder hoëdruk kompressor. Die kompressor is ideaal vir die meeste gaswerk omdat dit ontwerp is om gas saam te pers sonder olie smering in die kompressie silinder, ook genoem die droë silinder metode.

As gevolg van die teflon pakringe om die suierstang, kan die kruiskopleier en krukkaas se smering nie die silinder binnedring nie. Die saamgepersde gas kan ook nie die smeringsarea binnedring nie. As gevolg van voorgenoemde faktore gebruik die kompressor dus nie olie nie. 'n Tussenstuk kan op die kompressor gemonteer word wat olievrye werking verder verhoog.

Die krukkaas verkeer onder atmosferiese druk en standaard olie word vir smeerdoeleindes gebruik (Corken Gas Compressors Instruction Manual, 1978).

#### 4.4 "Swageloks"

"Swageloks" is 'n produk van die "Crawford Fitting Company" in Cleveland, Ohio, VSA. Die maatskappy is die moedermaatskappy van ongeveer 43 kleiner maatskappye wat 'n verskeidenheid van produkte vervaardig. Van die belangrikste komponente is die Swagelock-koppeling, Cajon-Hoëdrukbuise en Nupro- en Whitey kleppe.

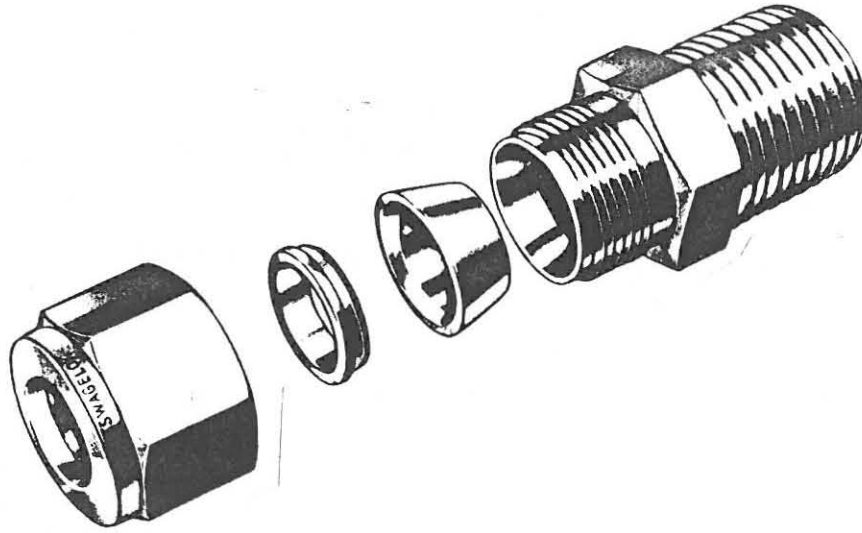
Die beleid van die maatskappy is om verskillende produkte in verskillende fabriek te vervaardig om sodoende spesialisasie te bewerkstellig, maar ook kompetisie tussen die verskillende satelietmaatskappye te bewerkstellig. Die verskillende produkte word in vier store in Amerika, en een elk in Zurich en Australië gestoor. Daar word gepoog om 50 % van die jaarlikse gebruik van alle produkte in voorraad te hou. Die voorrade word onder rekenaar beheer gemonitor en as die minimum vlak van 50 % bereik word, word voorrade tot so hoog as 80 % aangevul. Sodanige beheer verseker dat 96 % van alle bestellings op die dieselfde dag uitgevoer kan word.

Invoere na Suid-Afrika word deur die Johannesburg Valve and Fitting Company vanaf die store te Cleveland gedoen. Die maatskappy neem ook nie deel aan enige boikotaksies teen Suid-Afrika of enige ander regering nie en dit is ook interressant dat geen werknemer aan 'n vakbond of versetgroep behoort nie.

Vervaardiging van komponente en die integrasie daarvan, geskied onder skoontoestande. Alle materiaal wat vir verwerking aangekoop word, word direk van die vervaardigers aangekoop en volledige rekords word van elke besending gehou. Materiaal word eers gestoor nadat besonderhede ten opsigte van die gietproses, chemiese ontledings, gehalteverskeringstoetse ensovoorts van die besondere produk ontvang is. Sodange dokumentasie vergesel die materiaal vanaf die oomblik dat dit vir vervaardiging uitgestuur word, tot die uiteindelijke produk op die rak. Die oorsaak van enige probleme wat later mag opduik kan dan geredelik maklik nagevors word.

Die maksimum tolleransiegrootte wat op Swagelok-koppeling toege laat word is 0,15 % en alle masjinerie wat vir vervaardiging gebruik word, word elke jaar gedurende Desember heeltemal uitmekaar gehaal en versien. Alle slytbare komponente word sonder meer vervang (Van Rensburg, 1976).

Die koppeling kan in metriese of duim-eenhede bestel word, en nie-standaard verbindings kan op kort kennisgewing bestel word. Die koppeling werk soos aangetoon in figuur 12 en kan gebruik word om pype aan mekaar te las deur middel van 'n gewone aansluiting, 'n T-stuk of 'n kruiskoppeling. Koppelstukke met pypdraad is ook beskikbaar sodat pype aan instrumente of kleppe verbind kan word.



FIGFUUR 12

**FIGUUR 12 - Voorbeeld van 'n Swagelok koppeling**

Die pyp wat verbind moet word, word slegs in die koppelstuk gedruk. Die swagelokmoer word dan een en 'n halwe draai gedraai vir 'n lekdigte koppeling. Die moer forseer twee beslagringe om die pypent. Die enigste vereiste vir 'n lekvrye koppeling is dat daar geen krappe op die pypoppervlakte mag wees nie.

Pypverbindings deur middel van sodanige koppelstukke is baie produktief.

Vlekvryestaal koppeling van kwart-duim, drie-agsteduim en half-duim kan maksimum drukke van 42,7 MPa, 34,4 MPa en 31,6 MPa onderskeidelik, hanteer.

Alle berekeninge is gebaseer op 316-vlekvryestaal met 'n toelaatbare spanning van 129,5 MPa en 'n maksimum trekspanning van 516,75 MPa. Voorsiening word gemaak vir 'n veiligheidsfaktor van 4 : 1 (Selection Guide to Swageloks, undated).

#### 4.5 316 - Vlekvryestaal

316-Vlekvryestaal is 'n verbeterde weergawe van 304-vlekvryestaal wat 'n algemene kommersiële graad staal is. Die byvoeving van molibdeen en 'n hoër nikkel inhoud gee aan die staal 'n hoër korrosieweerstand in hoë-korrosiewe omgewings.

Molibdeen gee aan die staal 'n korrosieweerstand teen sout-gekontaminateerde omgewings soos seewater, asynsure en dampe.

Die laer tempo van korrosie in matige korrosiewe-omgewings gee goeie atmosferiese korrosieweerstand in marine-omgewings aan die staal.

Die 316 variasie gee ook aan die staal 'n groter treksterkte en goeie meganiese eienskappe onder wisselende temperature.

As gevolg van die uitstekende meganiese en korrosiewe eienskappe word 316-vlekvryestaal algemeen gebruik in die chemiese-, voedsel-, papier-, myn-, farmaseutiese en petroleum industrië. Die staal word ook vir argitektoniese doeleindes in hoë korrosiewe omgewings gebruik.

Tabel 3 gee 'n samevatting van 316-vlekvryestaal se chemiese samestelling, meganiese- en fisiese eienskappe.

#### 4.6 Toelaatbare werksdruk

Die teoretiese bars-druk van skedule 10 soomlose vlekvryestaalpyp is 3,88 Mpa vir  $\frac{1}{4}$ -duim pyp en 3,176 MPa vir  $\frac{1}{2}$ -duim pyp. Dit is dus aanvaarbaar vir toetse teen 2,5 MPa.

Pype word hidrostaties, ultrasonies en met behulp van 'n warrelstroomtoetser getoets vir druksterkte en vervaardigingsfoute (Jacksons Metals Stocklist 1986).

**TABEL 3 Chemiese samestelling, Meganiese en Fisiese Eienskappe van 316-vlekvryestaal**

C	-	0,05	%
Mn	-	1,5	%
P	-	0,015	%
S	-	0,021	%
Si	-	0,5	%
Cr	-	16,5	%
Ni	-	10,3	%
Mo	-	2,1	%
Fe	-	res	

**Meganiese eienskappe**

Treksterkte	-	580	MPa
Hardheid	-	55	(Brinell)
Vermoeidheidslimiet	-	260	MPa

**Fisiese eienskappe**

Digtheid	-	8000	kg/m <sup>3</sup>
Elastisiteitsmodulus :			
Spanning	-	195	GPa
Torsie	-	70	GPa
SWK	-	503	J/kg°C
Termiese Konduktiwiteit by :			
100 °C	-	14,5	W/m°C
500 °C	-	20	W/m°C
Resistiwiteit	-	0,075	μΩ.m

Tabel 3



## 5. Beheer- en Meettegnieke

Die doel van die toetsopstelling is om gasskeidingselemente by spesifieke toestande te bedryf asook om by gegewe toestande bepaalde metings ten opsigte van druk, vloei, massa en temperatuur te doen.

### 5.1 Drukmeting en -beheer

Spesifieke bedryfstoestande beteken dat daar 'n sekere toevoer- of inlaatdruk aangelê word met bepaalde drukverhoudings tussen produk- of ligtestroom en sirkulasie of swaarstroom (Van Zyl, 1979).

Sodanige drukke moet konstant bly by voorafbepaalde waardes aangesien die vloeiverhoudings tussen die produk- en swaarstroom afhanklik is van die drukverhoudings. Die drukverhoudings bepaal ook die massavloeisnit, molmassas en gasalfa.

#### 5.1.1 Drukbeheer

Die gasdrukke word deur 'n doelgemaakte beheerklep of "koekblik" beheer. Die beginsel waarop sodanige beheerklep werk is deur gebruik te maak van 'n ewewigstoestand oor 'n diafragma.

Wanneer daar vloei deur die beheerklep (Figuur 10) is, ontstaan daar 'n drukval oor die mondstuk en sal die druk aan die onderkant van die diafragma begin styg. Sodanige styging in druk gaan die diafragma na bo laat uitbult, wat weer sal veroorsaak dat die naald opgelig word en die druk sal dan verlaag. Die druk aan die bokant van die diafragma word by 'n konstante, gegewe waarde gehou sodat die posisie van die naald beheer kan word.

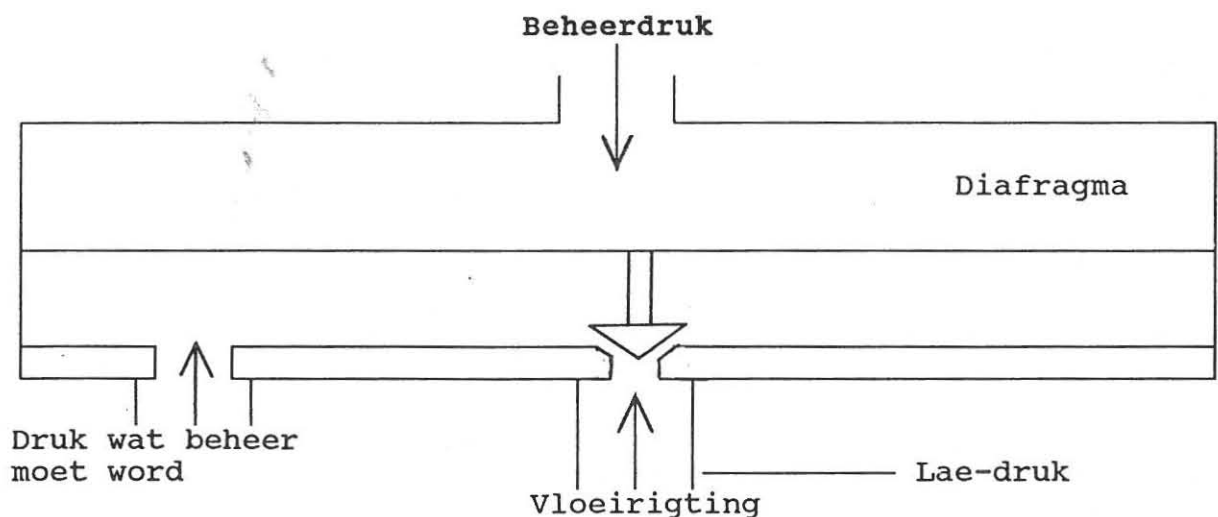
Ewigstoestand word verkry wanneer die situasie bereik word en enige verandering in ewig sal deur die beheerklep self herstel word.

Omdat die toetsfasiliteit 'n geslote lus vorm wat deur 'n kompressor na 'n bepaalde druk opgepomp word, is dit moontlik om op hierdie manier drukverskille in die toetsopstelling te bewerkstellig.

### 5.1.2 Drukmeting

Daar word van Gould-Statham-drukometers gebruik gemaak vir drukmeting. Die instrumente maak van rekstrookies gebruik wat in 'n " Wheatstone " brug geskakel is (Gould Statham Instruction Manual, 1979).

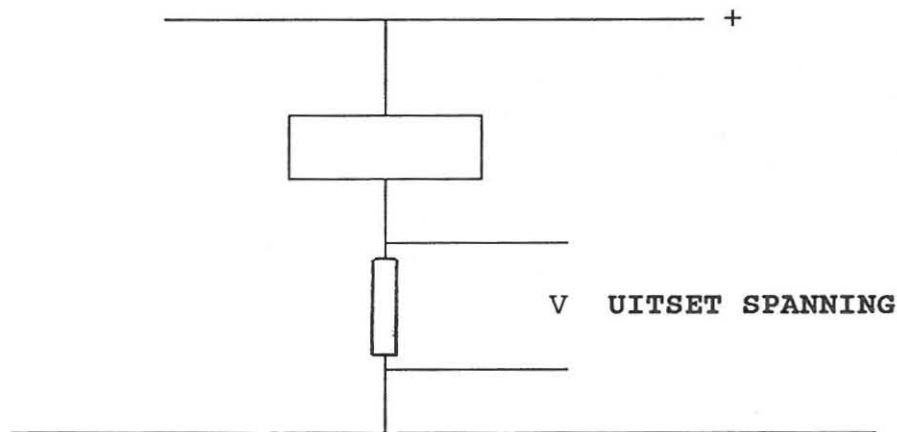
Die lae-druk kant van die omsetter word geëwakuëer en geseël vir die meting van absolute druk. Wanneer druk aan die hoëdruk kant van die omsetter aangelê word, sal die diafragma deurbuig. Die deurbuiging word oorgedra na die rekstrookies en die uitsetsein word verander.



FIGUUR 13 - Skematiese voorstelling van 'n beheerklep (koekblik)

Die omsetters se uitsetsein wissel tussen 4 en 20 mA. Deur middel van 'n spanningsval wat oor 'n lasweerstand gemeet word, word die sein na 'n spanningsuitset verander (Figuur 14).

Die omsetter word gekalibreer sodat 'n vergelyking vir druk teenoor spanningsval verkry kan word.



**FIGUUR 14 - Skematiese voorstelling van die elektriese koppeling van 'n drukomsetter**

## 5.2 Volumevloei meting

Volumevloei word deur die gebruik van plaatmondstukke bepaal. Die drukverskil wat oor die plaatmondstukke gemeet word, word gebruik om die vloei te bepaal deur middel van die volgende vergelyking :

$$\begin{aligned}\delta P &= \frac{1}{2} \Gamma v^2 \\ &= \frac{1}{2} \Gamma Q^2 / A^2\end{aligned}$$

$$\text{en } Q^2 = \frac{2 \delta P A^2}{\Gamma}$$

$$Q = C_d A \sqrt{[2\delta P/\Gamma]}$$

waar  $A$  = oppervlakte van mondstuk  
 $\delta P$  = drukverskil oor plaatmondstuk  
 $\Gamma$  = digtheid van vloeier  
 $C_d$  = deurvloei koëffisient van mondstuk

Die drukverskil oor die plaatmondstuk word deur 'n Gould-Statham- $\delta P$ -omsetter gemeet. Sodanige meter werk op dieselfde beginsel as die drukomsetter met die verskil dat die laedrukkant nie geevakueer word nie en dus nie by 'n vaste verwysingsdruk is nie, asook dat die  $\delta P$ -omsetters heelwat laer bereike as die drukomsetters het.

### 5.3 Molmassameting

Akkurate molmassameting op die toetsbank is van uiterste belang en elektro-akoestiese massameters word daarvoor gebruik. Die massameters voldoen aan 'n hoë graad van akkuraatheid en werk as volg:

'n Vaste geometriese ruimte het 'n bepaalde resonans frekwensie, wat omgekeerd eweredig is aan die wortel van die digtheid van die gas waarmee die ruimte gevul is.

Die massa word deur die volgende vergelyking gegee :

$$M = \frac{K \gamma T}{F^2}$$

waar  $M$  = molmassa  
 $K$  = konstante  
 $\gamma$  = gammawaarde vir gas  
( word deur 'n iterasieproses bereken )  
 $T$  = temperatuur  
 $F$  = frekwensie (Werkswinkelnotules, 1988)

Die metode van bepaling van die konstante word bespreek onder kalibrasie.

Daar word van 'n ligtestroom (2 - 6) en 'n swaarstroom (5 - 15) elektro-akkoestiese massameter gebruik gemaak (Joubert en Van der Merwe, 1977).

#### **5.4 Temperatuurmeting**

Temperature word met behulp van termokoppels gemeet.

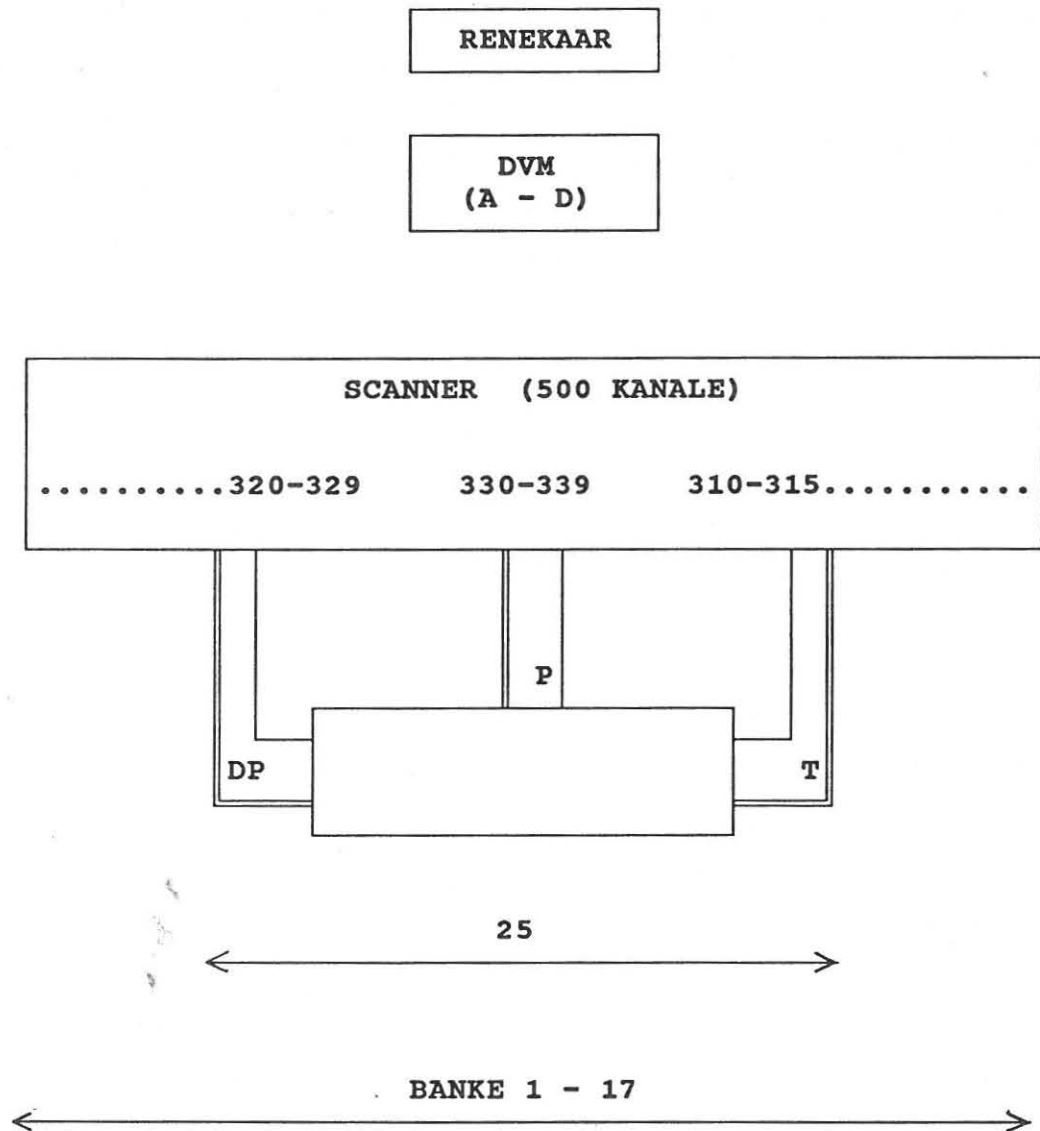
#### **5.5 Dataversameling**

Die verskillende meetinstrumente op die toetsbank se lesings word deur die rekenaar geneem nadat verlangde drukvlakke en -verhoudings ingestel is. Die lesings word as spannings gemeet en moet dan weer na drukke, volumevloei, molmassas en temperature oorgeskakel word, waarna die verskillende groothede dan bereken kan word. Daar word ook volledige toetsdata in 'n databank gestoor.

##### **5.5.1 Spannings**

Alle lesings vanaf die ŠP-selle, drukselle en termokoppels word deur middel van 'n spanningsuitset gelewer. Die spannings word deur middel van 'n voltmeter met 4,5-syfer-noukeurigheid gemeet. Daar word van 'n aftaster gebruik gemaak, onder rekenaar beheer, om die gevraagde kanale een vir een met die digitale voltmeter (DVM) te koppel (Figuur 15).

Digitale Voltmeter (DVM)  
(Druk-, Volumevloei- en Temperatuurspanning)



FIGUUR 15 - Skematiese voorstelling van DVM koppeling

### 5.5.2 Frekwensies

Die elektro-akoestiese molmassameters lewer wisselstroomseine waarvan die frekwensie bepaal moet word. Daar word van frekwensietellers gebruik gemaak wat dan aan die toetsbank se toevoer, produk en sirkulasie gekoppel word. Een helfte van die sinusvormige intreesein word in blokgolwe omgesit en die aantal blokke per sekonde word dan getel. Die rekenaar lees dan, na die nodige wagtyd, die digitale uitree van elke teller.

### 5.6 Gerekenariseerde beheer

Wanneer 'n skeidingselement in 'n toetshuls gevalueer moet word, moet daar vooraf op 'n bepaalde drukvlak (inlaatdruk) en 'n totale drukverhouding (produk-drukverhouding) besluit word. Die sirkulasie-drukverhouding word dan gebruik om die bedryfstoestande te verander. 'n Aantal veranderings van sirkulasie-drukverhouding kan as 'n reeks toetse op so 'n element beskou word. Deurdat die sirkulasie-drukverhouding in 'n reeks verander word, word die massavloei in werklikheid verander.

'n Reeks toetse in 'n bepaalde gebied sal verseker dat die optimum waardes van die element wat gevalueer word, bereik sal word. Verdere reekse waarvan die totale drukverhoudings verander word, kan dan aangepak word, totdat die optimum werkstoestand vir so 'n element bepaal is. Slegs een parameter word egter per keer verander.

Beheer van so 'n reeks toetse vind deur 'n rekenaar plaas. Soos reeds bespreek moet daar deur die navorser op aanvangswaardes vir 'n reeks toetse besluit word. Sodanige waardes word in 'n bepaalde program ingelees. Die program beheer 'n reeks stappermotors wat die drukreguleerders op die toetsbank deur middel van 'n doelgemaakte dubbel-reduksieratkas beheer. Die

verlangde waardes sal die dooie gebied van die stapper-motorbeheer vorm. Die stappermotors sal dus die reguleerders tot by die verlangde druk instel en dan in rus verkeer. Indien daar enige verandering by 'n bepaalde druk intree, sal die stappermotors die druk outomaties herstel tot by die gevraagde waardes. Sodanige beheer verseker dus dat 'n reeks toetse onder stabiele toestande afgeneem word.

Die drukreguleerders op die inlaat-, produk- en sirkulasiestrome sowel as die drie strome se akkoestiese massameters word so beheer.

### **5.7 Veiligheidsmaatreëls**

Die toetshuls is ontwerp om teen 2500 kPa bedryf te word, met 'n maksimum werksdruk van 3000 kPa. Maatreëls om die sisteem teen lekke aan die hoëdruk- sowel as die laedrukkant van die kompressor op te spoor, moes getref word.

'n Standaard kommersiële drukreguleerder is aan die kompressor se hoëdrukkant gekoppel. Indien die sisteem 'n lek aan die hoëdrukkant sou ontwikkel, sal die drukreguleerder die kragtoevoer na die kompressor afskakel sodra die druk laer as 1700 kPa sou daal. Enige uitlekking van gas in die sisteem na die omgewing word so verhoed.

'n Nupro verstelbare drukontlatingklep (produk van Crawford Fitting Company) is ook aan die hoëdrukkant van die kompressor ingebou. Indien die sisteem 'n lek aan die laedrukkant sou opdoen en lug word in die sisteem ingesuiig, sal die druk ontlaas word sodra daar bo 'n druk van 3000 kPa saamgepers word.



Sekere van die instrumentasie wat in die toetsbank gebruik word, byvoorbeeld die elektro-akoestiese massameters kan slegs 'n beperkte druk hanteer. As gevolg van die hoë druk waarteen gewerk word, kan die toetsbank nie onder statiese druk gelaat word aan die einde van 'n reeks toetse nie, en moet die inhoud elke keer na die atmosfeer uitgelaat word. Wanneer die die toetsbank dan met gas gevul word vir 'n nuwe reeks toetse moet daar sorg gedra word dat die druk nie te hoog by sekere instrumente sal styg nie. Totdat verlangde drukverhoudings naastenby bereik is moet sodanige instrumentasie dus afgesluit word van die res van die toetsbank. Die beheerkleppe (soos bespreek onder beheertegniese) word ook afgesluit sodat die diafragmaplaat nie onder onstabiele drukke sal deurbuig nie.

## 6. Inbedryfstel van Toetsfasiliteit

### 6.1 Voorbereiding en statiese druktoets

Alle drukgevoelige instrumentasie moes eers ontkoppel word en sodanige punte afgeseël word voordat 'n statiese druktoets op die toetsbank uitgevoer kon word. Die toetsbank is met behulp van stikstof uit 'n bundel gassilinders sistematies tot by 'n druk van 3500 kPa gelaai en gelekspoor met behulp van snotrik (ook 'n produk van Crawford Fitting Company) wat op die koppelstukke gespuit word en dan lugblasies maak wanneer gas by 'n spesifieke plek uitlek.

Alle doelgemaakte komponente asook toerusting soos kleppe wat normaalweg in gebruik was moes aan 'n statiese druktoets van 3500 kPa onderwerp word om normale werking onder die toestande te verseker.

### 6.2 Kalibrasie

#### 6.2.1 Elektro-akoestiese Massameters

Soos reeds bespreek word die massa gemeet deur die massameter gegee deur :

$$M = \frac{K \gamma T}{F^2}$$

waar M = molmassa  
K = konstante  
 $\gamma$  = gammawaarde vir gas  
T = temperatuur  
F = frekwensie

Die konstante in die vergelyking word op die volgende wyse bepaal :

Die stroommassameter word met suiwer  $H_2$  gevul. Die massa en gammawaarde is nou bekend en die temperatuur en frekwensie kan nou gemeet word om sodoende 'n konstante vir die vergelyking te bepaal.

Die ligte- en swaarstroommassameters word nou in serie geskakel en die massa word verhoog tot net laer as die topbereik van die ligtestroommassameter. Die massa kan nou akkuraat deur die ligtestroommassameter bepaal word en saam met die gemete temperatuur en frekwensie gebruik word om 'n konstante vir die swaarstroommassameter te bepaal.

Die akoestiese massameters het 'n minimum druk nodig om te meet.

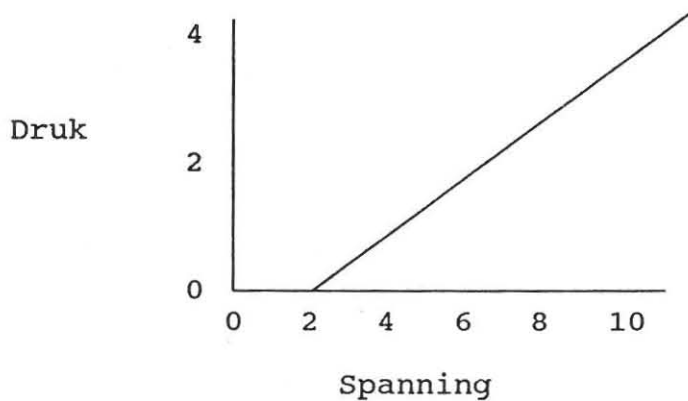
Die massameters word by dieselfde druk gekalibreer as waarteen dit uiteindelik gebruik gaan word.

### **6.2.2 Druk- en vloeiomsetters**

Omdat die drukselle in gebruik absolute metings doen, moet daar vakuum op die druksel gesuig word om die zero verwysing van die druksel te stel. Vir die instelling van die topbereik word 'n baie akkurate druksel (Singer-druksel) gebruik. Die Singer-druksel word saam met die druksel wat gekalibreer moet word gekoppel en druk word tot op die verlangde drukvlak aangelê om die topbereik van die druksel in te stel. Daar word dan weer vakuum gesuig op die druksel om te verseker dat die zero nie geskuif het nie.

'n Vergelyking vir spanning teenoor druk word nou verkry. 'n Tipiese vergelyking van 'n drukomsetter sal soos volg lyk :

$$\text{Druk ( in Bar )} = 0,25 * \text{spanning} - 0,5$$



**FIGUUR 16 - Grafiek van druk/spanning wat tydens kalibrasie van 'n drukomsetter verkry word**

Vir die kalibrasie van die vloeiomsetters of ŠP-selle word 'n Thommen of Baratron gebruik. Dit is instrumente wat 3 kPa akkuraat kan meet. Die instrument word op dieselfde wyse gekoppel as wanneer 'n druksel met behulp van 'n Singer gekalibreer word, behalwe dat die laedrukkant van die ŠP-sel oop na die atmosfeer moet wees. Die ŠP-sel is van 'n bloeiskroef voorsien wat oop moet wees na die atmosfeer. Die zero-verstelling word gedoen op atmosferiese druk, waarna die topbereik dan op 3 kPa ingestel word. Die hoëdrukkant se druk word weer na atmosferiese druk verlaag en die zero verstelling word gekorrigeer indien nodig. Bogenoemde stappe kan 'n paar keer herhaal word totdat die instelling bevredigend is.

Die bloeiklep aan die laedrukkant moet nou goed toegemaak word terwyl die druk aan die hoëdrukkant ontlaas moet word.

### 6.2.3 Plaatmondstukke

Soos reeds in die vorige hoofstuk bespreek word die vloeï bepaal deur middel van die volgende vergelyking :

$$\begin{aligned}\delta P &= \frac{1}{2} \Gamma v^2 \\ &= \frac{1}{2} \Gamma Q^2 / A^2 \\ \text{en } Q^2 &= \frac{2 \delta P A^2}{\Gamma} \\ Q &= C_d A \sqrt{2\delta P / \Gamma}\end{aligned}$$

waar  $A$  = oppervlakte van mondstuk

$\delta P$  = drukverskil oor plaatmondstuk

$\Gamma$  = digtheid van vloeier

$C_d$  = deurvloeï koëffisient van mondstuk

'n Kromme van  $Q\sqrt{\Gamma}$  teenoor  $\sqrt{\delta P}$  moet verkry word met behulp van 'n soniese mondstuk. Die massavloeï kan baie akkuraat bereken kan word uit die opstroomtoestande, mits die vloeï sonies is. Dit is ook 'n redelik gemaklike manier van kalibrasie omdat die plaatmondstukke in die toetsbank gekalibreer kan word.

Die soniese mondstuk word in die plek van die skeidingselement in die toetsbank geplaas en 'n suiwer gas met bekende molmassa word gebruik vir kalibrasie doeleindes.

Die gasmengsel waarmee geëksperimenteer word kan nie gebruik word nie as gevolg van gasskeiding wat tydens die groot drukverhoudings oor die mondstuk sal ontstaan. Daar moet ook seker gemaak word dat die gasmengsel in gebruik nie sal oksideer tydens atmosferiese blootstelling nie, en sodoende te verseker dat die kritiese deursnee van die soniese mondstuk nie beïnvloed word nie.

Gasse wat vir kalibrasie doeleindes gebruik word is hoofsaaklik stikstof en waterstof.

Die vergelyking wat gebruik word vir die bepaling van die massavloei  $m$  deur die soniese mondstuk word gegee deur :

$$m = C_d \cdot \pi \cdot r^2 \cdot P_o \left( \frac{\gamma \cdot M}{R \cdot T} \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

waar  $C_d$  = Deurstromings Koëffisiënt

$r$  = Radius van die mondstuk

$P_o$  = Gasdruk

$\gamma$  = Verhouding van spesifieke hittewaardes  
( $C_p/C_v$ )

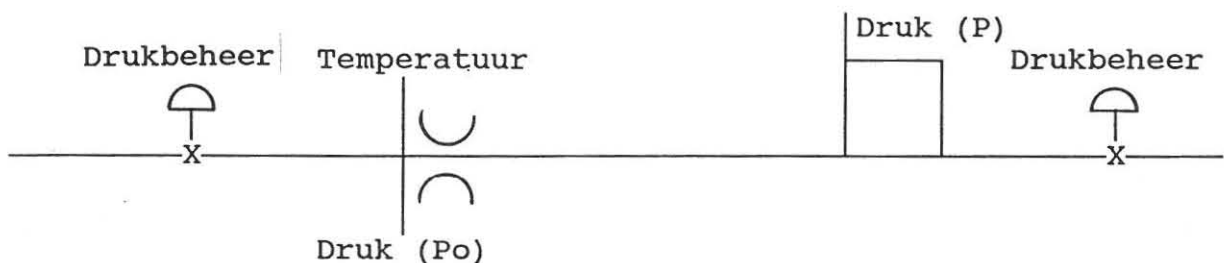
$M$  = Massa van gas

$R$  = Universele gaskonstante

$T$  = Temperatuur (Werkswinkelnotules, 1988)

Die massavloei is dus direk eweredig aan die kwadraat van die radius van die mondstuk.

Die skakeling van die soniese mondstuk word skematies voorgestel in figuur 17.



FIGUUR 17 - Skematiese voorstelling van die koppeling van 'n soniese mondstuk

Deur die opstroomdruk by die soniese mondstuk te verander, word die massavloei deur die mondstukk verander. Die  $\dot{S}P$  oor die die plaatmondstukke word vir elke verandering in massavloei, dit wil sê elke verandering in  $P_o$ , genoteer. 'n Ykingskromme kan dus verkry word.

## 7. Bedryfsprobleme

### 7.1 Olie en onsuiverhede in die sisteem

Tydens inbedryfstelling is daar gevind dat olie en vogtigheid in die kompressorpype, plaatmondstukke en die skeidingselemente saamgepak het.

Die teflon filter wat gebruik is aan die hoëdrukkant van die kompressor is vervang met 'n kommersiële filter, ontwerp vir 2500 kPa. 'n Soortgelyke filter is ook aan die laedrukkant, direk na die stikstofsilinders, wat die toevoerdruk en inlaatgas verskaf, ingebou.

Daar is ook 'n olieval op die kompressor ingebou om enige olie wat uit die krukkaas sou deurkom, vas te vang.

### 7.2 Temperatuur

Tydens inbedryfstelling is ook gevind dat die kompressor geweldig warm word. Verhitting het egter op die kompressor self plaasgevind en die pypwerk na die kompressor het voldoende as 'n hitte-uitruiler gefunksioneer sodat die temperatuur van die gas nie beïnvloed is nie.

'n Waaiër is by die kompressor aangebring om oorverhitting te voorkom, terwyl die temperatuur met behulp van 'n termokoppel tydens bedryf gemonitor is. Normale werkstemperatuur is afgebring na ongeveer 120°C.



### 7.3 Lektempo

Daar is na aanvanklike gebruik gevind dat die kompressor self ook nie vakuumdig is nie. Aangesien daar met 'n H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> mengsel gewerk is, het die probleem ontstaan dat H<sub>2</sub> verby die stangseëls tot in die krukaskamer lek en 'n plofbare mengsel kon as gevolg daarvan ontstaan. Sodanige probleem is opgelos deur middel van spoeling van die krukas kamer met stikstof.

Die hoë temperatuur het egter afdigtingsprobleme op die in- en uitlaat koppeling van die kompressor veroorsaak. Koppeling geskied deur middel van 'n 1½-duim pypdraad-koppeling. Sodanige koppeling is van vlekvrystaal vervaardig en van swagelock koppelstukke voorsien vir pypkoppeling. Die kompressor is van gietyster vervaardig en verskillende uitsettings op die kompressor en vlekvrystaalkoppeling het veroorsaak dat die kompressor aan die hoëdrukant lek.

Die koppelstukke is periodiek verwyder, skoongemaak en met behulp van 'n seëlproduk (Loctite) is die skroefdrade van die koppelings geseël.

Die lektempo is voortdurend gemonitor om vas te stel wanneer die koppeling versien moet word.

### 7.4 Beheerprobleme

Tydens onstabiliteite onder drukveranderinge, ontstaan 'n groot oordruk aan die een kant van die diafragma van die koekblik (beheerklep) wat tot gevolg gehad het dat die diafragmaplaat deurbuig, en die beheerklep geen beheer kan uitoefen nie. Sodanige situasie is opgemerk wanneer die druk fluktueer en die stappermotor nie die verlangde druk kon instel nie.

Sodanige plate is vooraf van aluminium vervaardig en is vervang met vlekvrystaalplate.

### 7.5 Simmulasie van H<sub>2</sub>/CO met H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

CO is giftig wanneer dit ingeasem word deurdat 'n onomkeerbare reaksie tussen die hemoglobien en karboksiehemoglobien in die bloed plaasvind. Sodoende word die normale omkeerbare reaksie tussen hemoglobien en suurstof verhoed (Rodd, 1951).

Die moontlikheid van CO-vergiftiging, asook die brandgevaar daarvan, is te groot vir die algemene gebruik daarvan in 'n laboratoriumopset.

CO het 'n molmassa van 28, wat N<sub>2</sub> (ook met 'n molmassa van 28) 'n geskikte plaasvervanger daarvoor maak, sonder enige van die bogenoemde gevare. Evaluering op die skeidingselemente, waar die massa van die gasmengsel krities is, kon dus met H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> uitgevoer word.

Die volumetriese gassamestelling van die prosesgas lyk as volg:

Waterstof	57,19 %
Koolstofmonoksied	28,35 %
Metaan	12,69 %
Koolstofdioksied	0,71 %
Argon	0,53 %
Stikstof	0,41 %
Etaan	0,12 %

Die prosesgas is gesimuleer met die volgende gassamestelling :

Waterstof	57,19 %
Stikstof	30,12 %
Etaan	12,69 %

## 8. Samevatting en bevindinge

Die verstelling van die  $H_2$  : CO verhouding vanaf 2 : 1 tot by 'n verhouding van 1,8 : 1 by 'n druk van 2500 kPa, en die onttrekking van 95 % suiwer  $H_2$ , het vooraf na 'n suiwer toepassing van die bestaande gasskeidingselemente gelyk.

Sodanige elemente is egter teen 'n inlaatdruk van 400 kPa ontwikkel en gasse met 'n molmassaverskil van 350 is daarmee geskei. Die inlaatmolmassa waarteen voorheen gewerk is, is ongeveer 2,5. In die nuwe toepassing moes daar met 'n inlaatmolmassa van ongeveer 8, 'n molmassaverskil van 26 en teen 'n inlaatdruk van 2500 kPa gewerk word.

### 8.1 Skalering van komponente

Navorsing op die gebied van skeidingselemente het 'n aantal skaleringswette opgelewer, waarmee al die dimensies van die skeidingselement geometries geskaleer kon word, sonder dat die werking daarvan beïnvloed sou word.

As gevolg van die verlangde druk van 2500 kPa, het sodanige berekeninge egter onvervaardigbare dimensies opgelewer.

Die wette is herrangskik en deur die dimensies van die inlaat elemente konstant te hou, is daar op vervaardigbare groottes van die produk- en sirkulasie elemente uitgekam.

Die probleem van kleiner massaverskille en hoër inlaatmolmassas is volgende aangepak, en die volgende resultate is bereik :

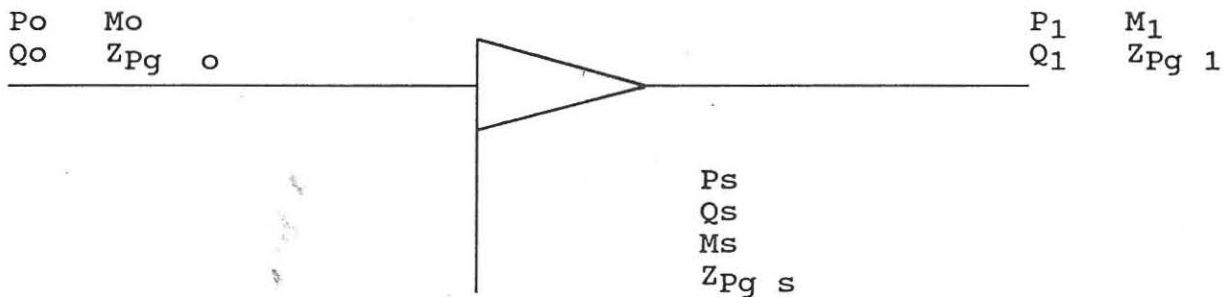
Uit eksperimente waar die molmassas gevarieer het tussen 3 en 10, was 'n swakker gasskeidingsverhouding duidelik te sien namate die die molmassa groter geword het.

## 8.2 Finale Bedryf en Eksperimentele Data

Daar moes dus gepoog word om 'n skeidingselement te ontwikkel, wat by 'n hoë inlaatmolmassa, 'n groot molsnit en met lae molmassaverskille 'n goeie gasskeidingsverhouding kon gee. Sodanige toestande was totaal teenstrydig met resultate verkry uit navorsing teen 'n inlaatdruk van 400 kPa.

Die onttrekking van 95 % suiwer  $H_2$ , vanaf 'n sisteem met inlaatmolmassa van ongeveer 8 en die lewering van 'n produkstroom met molmassa 3 - 3,2 het op hierdie stadium na 'n onmoontlike taak gelyk.

Optimering van die gasskeidingselemente asook die bedryfstoestand het gevolg en tydens die eerste reeks toetse is alle verwagtinge oortref met die volgende eksperimentele data wat opgelewer is :



FIGUUR 17 - Skematiese voorstelling van gasstrome in die skeidingselement

Inlaatdruk	=	2500 kPa
Sirkulasiedruk	=	1000 kPa
Produkdruk	=	385 kPa
Inlaatmolmassa	=	11,607
Produkmolmassa	=	7,062
Sirkulasiemolmassa	=	11,85
Gasalfa S/L	=	1,95

Gasalfa O/L	=	1,9
Gasalfa S/O	=	1,31

Sodanige eksperimente het getoon dat die toetsfasiliteit suksesvol bedryf kon word teen 2500 kPa, asook dat alle skalerings suksesvol gedoen is.

### **8.3 Vooruitskouings**

Gasskeiding teen 2500 kPa met lae molmassaverskille is wel moontlik alhoewel afronding op die skeidingselemente en bedryfstoestande moes volg sodat verlangde resultate wel gelewer kon word.

Die bou van 'n vyfstroomhoëdruktoetsbank is in die vooruitsig gestel, sodat anti-simmetriese werking van die skeidings-elemente wel ondersoek kon word, deurdat die massas van die produk- en sirkulasiestrome eers apart gemeet kon word alvorens dit weer saamgevoeg word na die skeidingselement.

Finale toetse sal ook met prosesgas bevestig word.

9. BRONNELYS

BAKER, R.W. EN BLUME, I. 1988. Permselective Membranes Separate Gasses.: Chemtech.

BECKER, E.W. 1979. Uranium Enrichment.: Springer.

CORKEN Gas Compressors Instruction Manual. 1978.: Corken International Corporation, Oklahoma City, Oklahoma.

EICKMANN, U. EN WERNER, U., 1985. Gas Separation Using Porous Membranes.: Ger. Chem. Eng. 8(1985)186-194.: VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, 1985.

EZHOV, V.K. EN KUSHNAREV, S.V. 1987. Separating Gas Mixtures with Polymer Membranes.: Vertaal uit: Teoreticheskoe Osnovy Khimicheskoi Tekhnologii, Vol. 20, Nr. 5, 600-606. September-Oktober 1986. Oorspronklike artikel op 30 Julie 1984 voorgelê. Plenum Publishing Corporation 1987.

GOULD STATHAM INSTRUCTION MANUAL. 1979.: Gould Statham Measurement Division, Oxnard, California.

HAGGIN J. New Generations of Membranes Developed for Industrial Separations.: News Focus C & EN Chicago, 6 Junie 1988:7-16.

HWANG, S.T. EN THORMAN J.M. 1980.: The Continuous Membrane Column.: AIChE Journal, 26(1980)558.

JACKSONS METALS STOCKLIST. 1986.: Jacksons Metals (Pty) Ltd. Sandton.

- JOUBERT, J.P. EN VAN DER MERWE, J.J. 1977.** Hersiene Handleiding vir Elektro-Akoestiese Massameter.: Atoomenergie-korporasie van Suid-Afrika Bpk.
- MAJUMDAR, S., GUHA, A.K. EN SIRKAR, K.S. 1988.** A New Liquid Membrane Technique for Gas Separation.: AICHE Journal, Vol. 34, Nr. 7: 1135-1145.
- MATSON, S.L. 1986.** Membrane Oxygen Enrichment.: Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- MOORE SERVICE INSTRUCTIONS. 1982.:** Moore Nullmatic Pressure Regulators, Issue 12. Moore Products, Springhouse.
- NAKAGAWA, T. 1987.** Trends in Development of Gas Separation Membranes in Japan.: Chemical Economy & Engineering Review, Vol. 19, Nr. 1-2-3 (Nr. 205):32-38.
- NEWBY-FRASER, A.R. 1979.** Kettingreaksie: Vry vertaal uit Engels deur Du Toit S.J. Raad op Atoomkrag, Pretoria.
- Pall PSS Filter Cartridges. (Undated).:** Pall Porous Metal and Special Filters Limited, Portsmouth, England.
- SCHELL, W.J. 1983.** Commercial Applications for Gas Permeation Membrane Systems.: Paper presented at the 4th symposium on Synthetic Membranes in Science and Industry, Tübingen, F.R.G., September 6-9, 1983. Elsevier Science Publishers 1985.
- SCHELL, W.J. 1975.** Separation of Coal Hydrogasification Gases by Permselective Membranes.: American Chemical Society. Division of Fuel Chemistry, Vol. 20, Nr. 4, 1975.

**SCHELL, W.J. EN HOUSTON, C.D. 1983.** Membrane Gas Separations for Chemical Processes and Energy Applications: American Chemical Society.

**SCHENDEL, R.L., MARIZ, C.L. EN MAK, J.Y. 1983.** Is Permeation Com-petitive?: Hydrocarbon Processing.

**SCHOTT, M.E., HOUSTON, C.D., GLAZER, J.L. EN DIMARTINO, S.P. 1987.** Membrane H<sub>2</sub>/CO Ratio Adjustment.: Presented to the American Institute of Chemical Engineers 1987 Meeting, Astrohall, Houston, Texas. 1 April 1987. Separex Membrane Systems, Air Products & Chemicals Inc., Allentown.

**SCHULZ, G., MICHELE, H. EN WERNER, U. 1982.** New process Developments in Gas Separation with Membranes.: Journal of Membrane Science, 11(1982), 311-319. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

**Selection Guide To Swageloks, Whitey, Nupro and Cajon Fittings. (Undated).**: Crawford Fitting Company, Cleveland, Ohio.

**SPILLMAN, R.W. 1989.** Economics of Gas Separation Membranes.: Chemical Engineering Progress, January 1989, 41-62.

**STOOKEY, J., PATTON, C.J. EN MALCOLM, G.L. 1986.** Membrane Separate Gases Selectively.: Chemical Engineering Progress: November 1986, 36-40.

**TOMICIKI, B. 1988.** Mechanics and Thermodynamics in Membrane Permeation.: Journal of Membrane Science, 39(1988), 11-24: Elsevier Science Publishers, Amsterdam.



- RODD, E.H. 1951. Chemistry of Carbon Compounds 1<sup>A</sup>.: Elsevier Publishing Coy.
- VAN DER MERWE, D.F. Opmerkings oor die Begrippe Viskositeit en Rotasie van 'n Vloeistof en Definisie van Versnelling.: Uraanverrykingskorporasie van Suid-Afrika Beperk, 1980.
- VAN RENSBURG, S.J. 1976. Buitelandse Besoek November 1975.: Uraan-verrykingskorporasie van Suid-Afrika Beperk.
- VAN ZYL, G.J. 1979. Basiese Kursus in Vloeimeganika vir Tegnici.: Uraanverrykingskorporasie van Suid-Afrika Beperk.
- VOIGHT, K.A. 1977. Sekere Vloedinamiese aspekte van die UKOR-proses.: UKOR 236-G.
- VERRYKINGSTEGNOLOGIE (SPES) NOTAS 1985. Fakulteit Ingenieurswese: Universiteit van Pretoria.
- WERKSWINKELNOTULES. 1988.: Afdeling WIS, Februarie-April 1988. Atoomenergiekorporasie van Suid-Afrika Beperk.