

# NUMERIESE MODEL VAN VLOEI DEUR 'N VASTEBEDVERGASSER

Pierre Ranwell, B. Ing.

Tesis goedgekeur as gedeeltelike nakoming van die vereistes vir die graad Magister Scientiae (Ingenieurswese) in Meganiese Ingenieurswese aan die Fakulteit Ingenieurswese van die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

Leier : Prof. G.P. Greyvenstein.

Vanderbijlpark

1990

## OPSOMMING

Die steenkool vergassingaanleg is die beginpunt van die SASOL proses. Dit is dus belangrik dat die vergassingsaanleg so stabiel en optimaal moontlik bedryf word. Die vloei van die gas deur die vergasser het 'n direkte invloed op die stabiliteit van die vergasser. Daar bestaan egter nie 'n meettegniek om die vloiepatroon binne die vergasser te meet tydens normale bedryf nie. In hierdie studie word die koue, nie-saamdrukke vloei van die gas deur die vergasser bestudeer. Dit word gedoen deur gasvloei in die algemeen in 'n gepakte bed wiskundig te modelleer en numeries met behulp van 'n rekenaar op te los. Die model word deeglik getoets deur dit met eksperimentele en empiriese data te vergelyk. Die rekenaar model word gebruik om die vloei vir verskillende vergasser in- en uitlate te simuleer en sodoende kennis oor die vloiepatroon binne die vergasser te bekom. Aanbevelings word gemaak wat daartoe sal lei dat die vergassers meer optimaal en stabiel bedryf word.

## SUMMARY

The gasifier reactor forms an integral part of the SASOL process. It is therefore important that the gasifier must be operated at its optimum and most stable condition. The flow of gas in the reactor has a direct influence on the stability of the gasifier. A technique to measure the flow in the reactor does not exist. In this study the cold, incompressible flow in the gasifier is studied. This was done by solving the mathematical model of flow through a packed bed numerically with a computer program. The computer model was tested successfully against experimental and empirical data. The computer model was used to simulate the flow for different gas inlet and outlet geometries. Recommendations were made that will result in a more stable and optimum operation of the gasifier.

## DANKBETUIGINGS

Graag bedank ek die volgende persone wat 'n bydrae gemaak het tot die studie:

Prof Gideon P. Greyvenstein vir sy belangstelling, aanmoediging en deurlopende leiding tydens die studie en spesifiek vir die leiding tydens die opskryf van die tesis.

Drr. Ben Jager en Anton Vosloo vir hulle ondersteuning en beskikbaarstelling van SASOL toerusting vir gebruik tydens die studie.

Die rekenaarmodelleringsgroep van SASTECH N. en O. vir hul ondersteuning tydens die ontwikkeling van die rekenaarprogram.

My vrou Alta vir haar begrip en aanmoediging tydens die studie en spesifiek vir haar bydrae tydens die opskryf van die tesis.

## INHOUDSOPGAWE

	Bladsy
<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1 Inleiding	1
1.2 Agtergrond	3
1.2.1 Vergassingsproses	3
1.2.2 Bedryf van vergasser	4
1.2.3 Beskrywing van die probleem	7
1.3 Bestudering van vloeï in die vergasser	8
1.4 Literatuurstudie	9
1.4.1 Vergassing	9
1.4.2 Vloeï deur 'n gepaktebed	10
1.4.3 Opsomming	11
1.5 Doelstelling	12
1.6 Leemtes en beperkings van die huidige studie	12
<b>2. ONTWIKKELING VAN DIE WISKUNDIGE MODEL VIR VLOEI DEUR 'N GEPAKTEBED</b>	<b>14</b>
2.1 Inleiding	14
2.2 Literatuurstudie	14
2.2.1 Inleiding	14
2.2.2 Drukval deur 'n gepaktebed	14
2.3 Ontwikkeling van die wiskundige vergelykings vir vloeï deur gepaktebed	17
2.4 Opsomming	25
<b>3. NUMERIESE OPLOSTEGNIEK</b>	<b>26</b>
3.1 Inleiding	26
3.2 Literaturoorsig	26
3.3 Ontwikkeling van die SIMPLE en SIMPLEC algoritmes	27
3.3.1 Rooster	27
3.3.2 Diskretisering	29
3.3.3 Randwaardes, konvergensie en stabiliteit van die SIMPLEC algoritme	32

3.4 Opsomming	33
<b>4. DIE REKENAARPROGRAM</b>	<b>34</b>
4.1 Inleiding	34
4.2 Die rekenaarprogram	35
4.3 Evaluering van die rekenaarprogram	36
4.3.1 Ontwikkeling van laminêre pypvloei	36
4.3.2 Laminêre vloei deur 'n trapuitset in 'n kanaal	38
4.3.3 Drukval	38
4.3.4 Invloed van die oopfraksie	40
4.4 Bespreking	40
4.5 Opsomming	42
<b>5. RESULTATE EN BESPREGING</b>	<b>43</b>
5.1 Inleiding	43
5.2 Invloed van vergasseruitlaat	44
5.2.1 Randwaardes	45
5.2.2 Resultate	45
5.3 Bespreking van vloeipatrone by vergasseruitlaatstel	45
5.3.1 Inleiding	45
5.3.2 Vloeipatrone by vergasseruitlaatstel	45
5.4 Invloed van die vergasserrooster	50
5.4.1 Inlaatrandwaardes	51
5.4.2 Resultate	52
5.5 Bespreking van vloeipatrone net bo vergasserrooster	52
5.6 Opsomming	52
<b>6. SAMEVATTING</b>	<b>57</b>
6.2 Samevatting	57
6.3 Tekortkominge in die studie en moontlikhede vir verdere studie	58
<b>7. VERWYSINGS</b>	<b>59</b>
BYLAAG A. Diskretisering van die momentum en kontinuïteitsvergelykings	
BYLAAG B. Uitdruk van die rekenaarprogram	

**BYLAAG C. Numeriese resultate**

## LYS VAN FIGURE.

Figuurnaam	Bladsy
<i>Figuur 1.1</i> Skematiese uitleg van 'n tipiese MK IV vastebed vergasser.	2
<i>Figuur 1.2</i> Gasuitlaatstel met 'n steenkoolkeerplaat.	5
<i>Figuur 1.3</i> Gasuitlaatstel met 'n sentrale gasuitlaat.	5
<i>Figuur 1.4</i> Vergasserrooster.	6
<i>Figuur 1.5</i> Die karakteristieke "W"- vorm van die vergasser vuurbed.	6
<i>Figuur 2.1</i> Vloeveld net bo vergasserrooster ( Den et al, 1982 ).	15
<i>Figuur 2.2</i> Volume-element vir die ontwikkeling van oordragsvergelykings.	18
<i>Figuur 2.3</i> Verteenwoordigende volume-element.	18
<i>Figuur 2.4</i> Verteenwoordigende eenheidsel.	23
<i>Figuur 3.1</i> Eendimensionele roosterstruktuur.	28
<i>Figuur 3.2</i> Verspringende rooster.	29
<i>Figuur 4.1</i> Vloeidiagram van die rekenaarprogram.	35
<i>Figuur 4.2</i> Laminêre vloei-ontwikkeling deur 'n pyp.	37
<i>Figuur 4.3</i> Laminêre vloei deur die trapuitset van 'n kanaal.	37
<i>Figuur 4.4</i> Drukval vergelyking.	39
<i>Figuur 4.5</i> Invloed van die oopfraksie.	39
<i>Figuur 5.1</i> Oopfraksie verspreiding binne die vergasser.	44
<i>Figuur 5.2</i> Konstante oopfraksie verspreiding met 'n steenkoolkeerplaat.	46
<i>Figuur 5.3</i> "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met 'n steenkoolkeerplaat.	46
<i>Figuur 5.4</i> Konstante oopfraksie met 'n sentrale gasuitlaat.	47
<i>Figuur 5.5</i> "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met 'n sentrale gasuitlaat.	47
<i>Figuur 5.6</i> Snelheidsprofiel met konstante oopfraksie verspreiding en met 'n steenkoolkeerplaat.	48
<i>Figuur 5.7</i> Snelheidsprofiel met "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met 'n steenkoolkeerplaat.	48
<i>Figuur 5.8</i> Snelheidsprofiel met konstante oopfraksie verspreiding met 'n sentrale gasuitlaat.	49

<i>Figuur 5.9</i> Snelheidsprofiel met "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding en met sentrale gasuitlaat.	49
<i>Figuur 5.10</i> Inlaatsnelhede in vergasserrooster.	51
<i>Figuur 5.11</i> Vloei deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die boonste ring.	53
<i>Figuur 5.12</i> Vloei deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die onderste ring.	54
<i>Figuur 5.13</i> Vloei deur die vergasserrooster met homogene vloeisnelhed deur al die ringe.	54
<i>Figuur 5.14</i> Uz-Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die boonste ring.	55
<i>Figuur 5.15</i> Ur-Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die boonste ring.	55
<i>Figuur 5.16</i> Uz-Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met homogene vloeisnelhede deur al die ringe.	56
<i>Figuur 5.17</i> Ur-Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met homogene vloeisnelhede deur al die ringe.	58

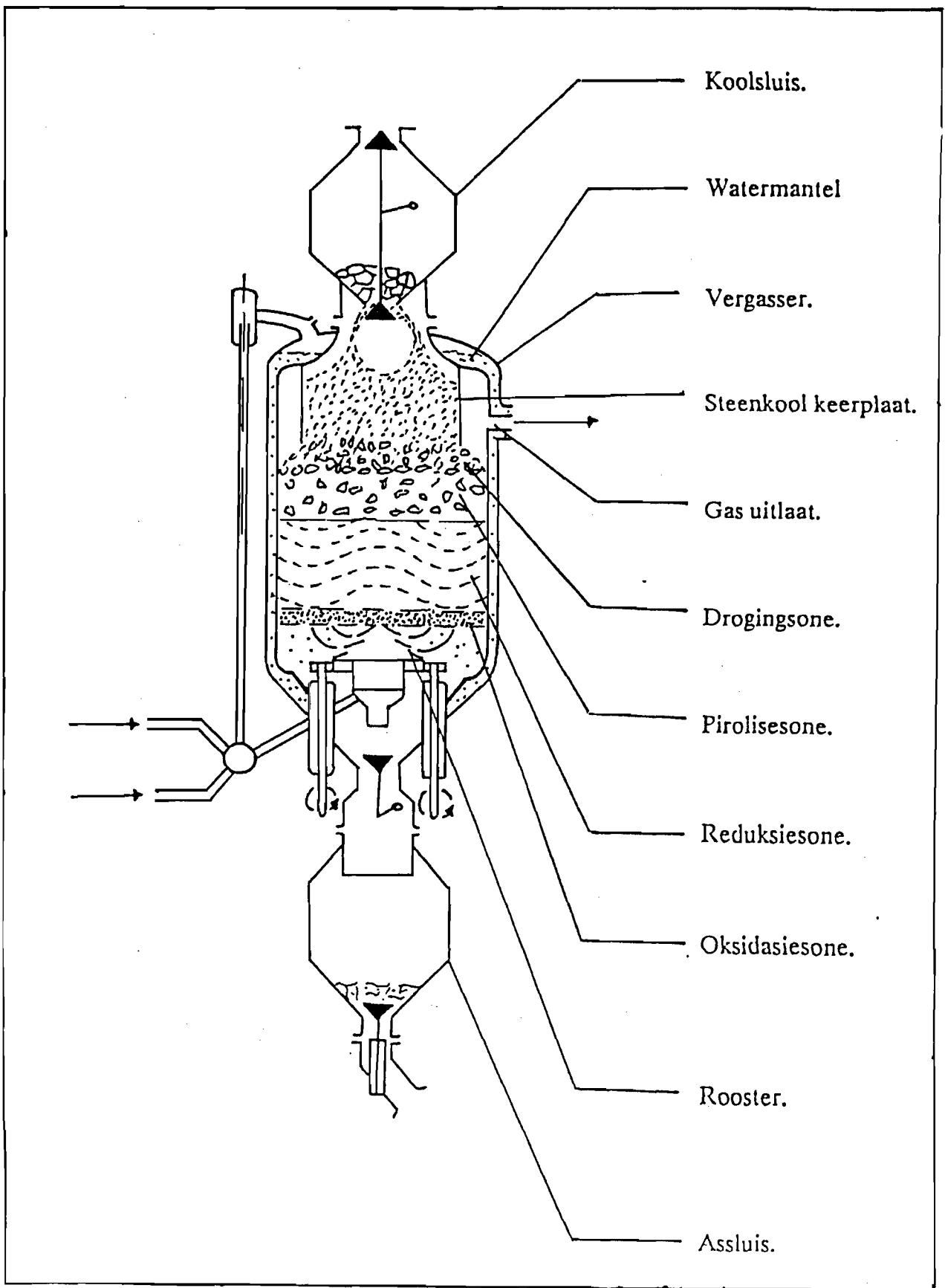
## 1 INLEIDING

### 1.1 Inleiding.

'n Vastebedvergasser is 'n houër waarin die grondstowwe nl. steenkool, suurstof en water met mekaar reageer om sintesegas te vorm. Die gas bestaan hoofsaaklik uit koolstofmonoksied, koolstofdioksied, waterstof, metaan en ander spoorelemente. Vergassing is die eerste stap in die sintetiese brandstofproses. Na gassuiwering, (die verwydering van koolstofdioksied) kan verskeie veredelingsroetes gevolg word vir die vervaardiging van produkte soos petrol, was en ander koolwaterstowwe.

In Suid Afrika is tans sewe-en-negentig vastebed vergassingseenhede in bedryf. Gedurende 1955 is nege sogenaamde Merk I vergassers te Sasolburg opgerig. Elf jaar later is 'n verdere vier Merk II vergassers bygevoeg. Die verskil tussen die vergassers is minimaal. Gedurende 1974 is drie van die sogenaamde Merk IV vergassers opgerig. Die Merk IV vergasser is heelwat groter as die Merk III vergasser. 'n Skematiese uitleg van die Merk IV vergasser word in figuur 1.1 getoon. In 1976 is begin met die ontwikkeling van die Merk V vergasser. Dit is die grootste vergasser met 'n diameter van vyf meter. Die ontwikkeling was te laat vir implementering by die Secunda aanlegte. Daar is besluit om veertig Merk IV vergassers (aanvanklik ses-en-dertig, met 'n latere toevoeging van nog vier vergassers) per aanleg op te rig. In 1978 is die eksperimentele Merk V vergasser in Sasolburg opgerig. Die afgelope dekade is geen nuwe vergassers opgerig nie.

Dit is duidelik dat die vergassers 'n baie belangrike komponent in die chemiese nywerheid is. Verskynsels binne die vergasser is moeilik bestudeerbaar vanwee die hoë temperatuur en drukke. Eksperimente op aanleg skaal is in die meeste gevalle nie ekonomies regverdigbaar of prakties uitvoerbaar nie. Vandag bestaan daar egter nuwe berekeningstegnieke wat dit moontlik maak om van die verskynsels in die vergasser numeries te modelleer. Die tegnieke kom kortliks neer op die afleiding van 'n aantal vergelykings wat die behoud van massa, momentum en energie beskryf. Daarna word die vergelykings gediskretiseer en met behulp van 'n rekenaar numeries opgelos. Die



*Figuur 1.1* Skematiese uitleg van 'n tipiese MK IV vastebed vergasser.

vakgebied wat handel oor die modellering van vloei m.b.v. 'n rekenaar staan bekend as **Berekeningsvloei Meganika (BVM.)**

BVM is 'n komplekse en ontwikkelende vakgebied en normaalweg word kragtige rekenars gebruik vir die modellering van vloei. As gevolg hiervan word BVM tegnieke nie baie algemeen in die praktyk gebruik nie. Onlangse ontwikkeling op die gebied van rekenars en numeriese tegnieke het groot deurbrake tot gevolg gehad wat daartoe gelei het dat BVM al hoe aantrekliker word as 'n tegniek om praktiese vloei-probleme mee te bestudeer.

Die doel van hierdie studie is die ontwikkeling van 'n BVM model om die vloei deur 'n vastebedvergasser te simuleer.

## 1.2 Agtergrond

### 1.2.1 Vergassingsproses

Die vastebedvergasser is 'n vastebedreaktor waar die steenkool teenstromend met 'n mengsel van stoom en suurstof reageer. Die steenkool vloei van bo na onder deur die vergasser en die stoom en suurstof van onder na bo. Die gas word aan die bokant van die vergasser onttrek.

Daar kan tussen die volgende reaksiesones onderskei word in die vergasser:

- *Oksidasiesone.* Die hoofreaksies wat hier plaasvind is tussen die suurstof en die koolstof. Die reaksies is eksotermies en die temperatuur in die sone styg tot ongeveer  $1200^{\circ}\text{C}$ . In hierdie sone, wat 30 cm hoog is, reageer die steenkool tot as.
- *Reduksiesone.* Die belangrikste reaksies in dié sone is die vergassingsreaksie. Reaksies in die sone is oorwegend endotermies en die gas word afgekoel tot 'n temperatuur van tussen  $700^{\circ}\text{C}$  en  $800^{\circ}\text{C}$ .
- *Pirolisesone.* Tere en olies word afgedistilleer en pirolise reaksies vind plaas.
- *Drogingsone.* Nat steenkool word gedroog deur die teenstromende warm gas.

Daar is tans twee verskillende gasuitlaatstelsels in gebruik:

- *Die konvensionele steenkoolkeerplaat.* Met hierdie toestel word die gas om die buitenste anulus bo in die vergasser onttrek.
- *Die sentrale gasuitlaat.* Die gas word in die middelste sirkel-area bo in die vergasser onttrek.

In beide gevalle beweeg die steenkool deur die gasuitlaatstel tot in die vergasser. Die konfigurasies van die uitlaatstelle word in figure 1.2 en 1.3 getoon.

Onder in die vergasser is 'n roterende rooster wat die volgende funksies verrig:

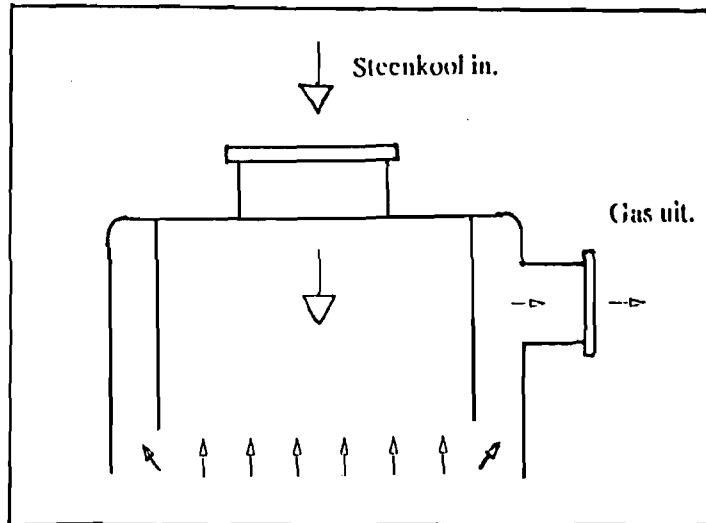
- Die as word onder uit die vergasser verwyder m.b.v. drie ploegskare wat aan die rooster vas is. Die as vloei dan onder die rooster deur tot binne die assluis.
- Die agent (stoom en suurstof) vloei deur die rooster en koel sodoende die rooster af. Die agent word hierna deur verskillende vloeibeperkingsplate binne die vergasser versprei. Deur aan die vloeibeperkingsplate te stel kan die agentverspreiding binne die vergasser verstel word. Die doel is om so 'n eweredig moontlike vloeipatroon net bo die rooster te bewerkstellig.

'n Grafiese voorstelling van die vergasserrooster word in figuur 1.4 getoon.

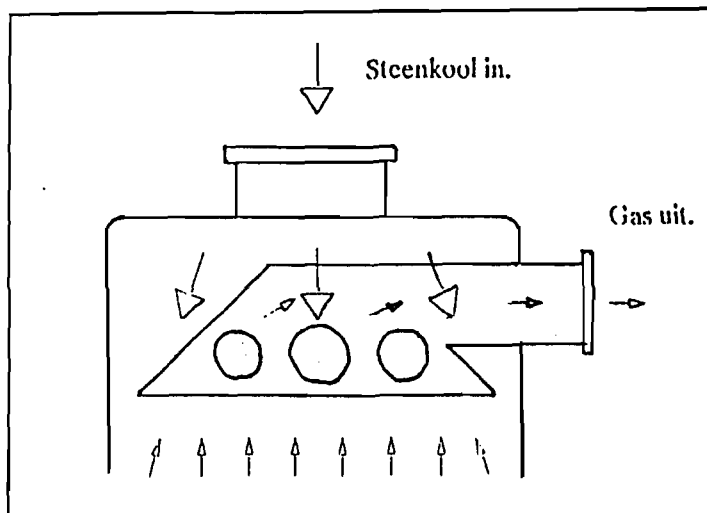
### 1.2.2 Bedryf van die vergasser.

Die vergasser word kontinu bedryf deur een vrag steenkool elke 15 minute in die vergasser te laai en een vrag as elke 45 minute te ontlai. Die verblyfstyd van die agent en gas is ongeveer 10 sekondes en dié van die steenkool en as ongeveer 1 uur. Die oksidasiesone (vuurbed) word sover moontlik by 'n konstante posisie gehou binne die vergasser, deur die roosterdraaispoed te verander. By 'n lae roosterspoed word minder as uitgeploeg en styg die vuurbed tot naby die gasuitlaat, en by 'n hoë roosterspoed daal die vuurbed tot naby die rooster. 'n Indikatie van die vuurbedposisie is die gasuitlaat- en die roostertemperature.

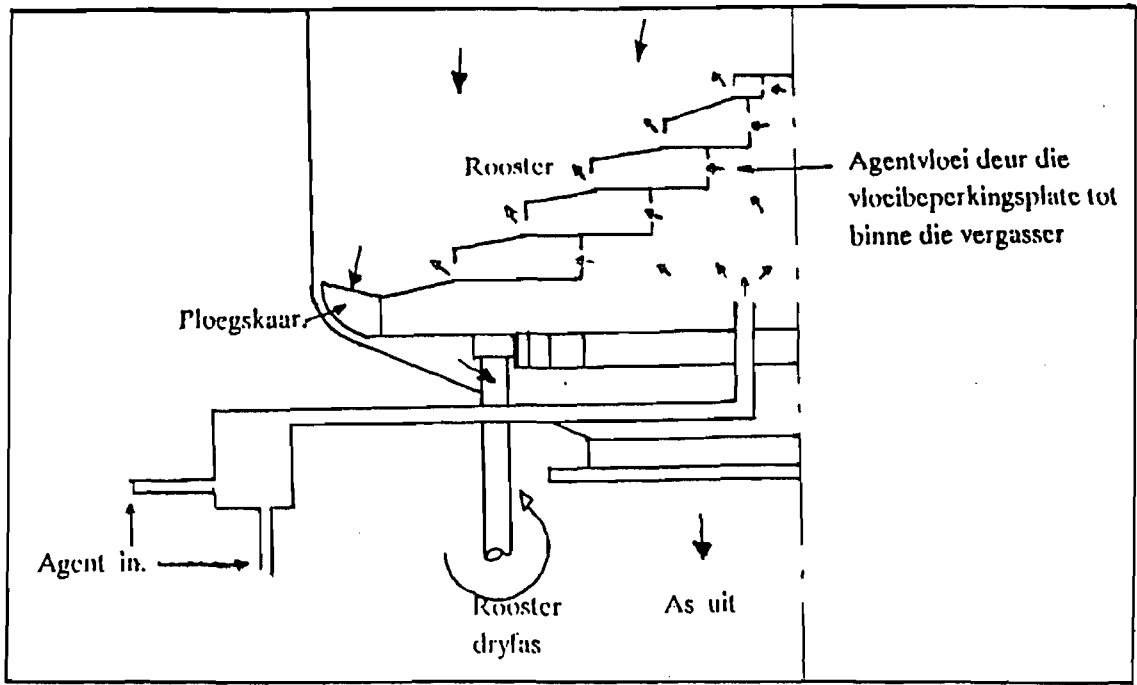
Te hoë roostertemperature verhoog die instandhoudingskoste op die rooster. Die gas uitlaatteratuur is die beste indikatie van die stabiliteit van die vergasser. Indien die temperatuur bo 'n sekere limiet bedryf word verswak die gasuitlaathoofflens. Omdat



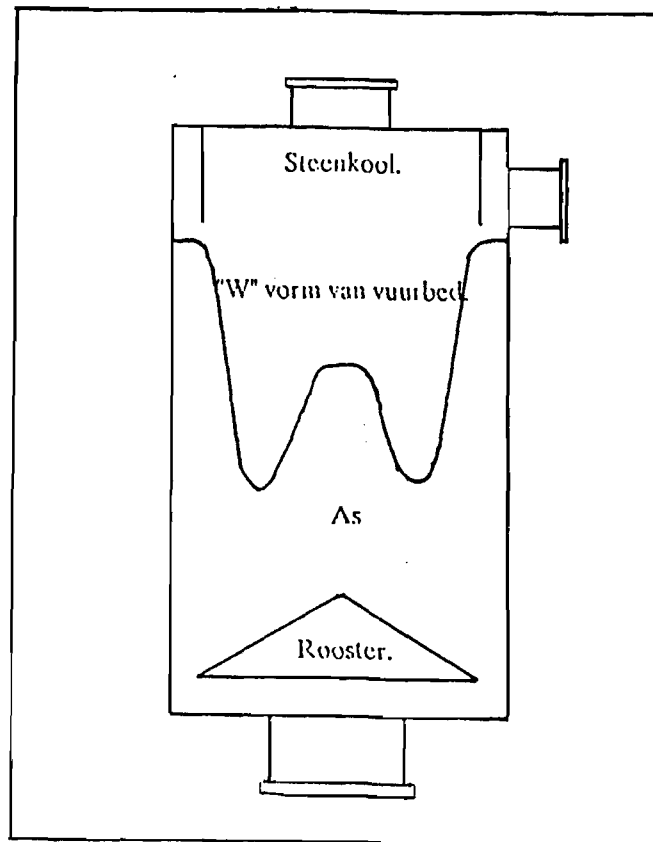
*Figuur 1.2* Gasuitlaatstel met 'n steenkoolkeerplaat.



*Figuur 1.3* Gasuitlaatstel met 'n sentrale gasuitlaat.



Figuur 1.4 Vergasserrooster.



Figuur 1.5 Die karakteristieke "W"- vorm van die vergasser vuurbed.

die vergasser onder hoë druk bedryf word, kan skade aan die toerusting veroorsaak word. Die beheerfilosofie van die vergasser is ook sodanig dat indien enige van die temperature onstabiel raak, die vergasser se vrag outomaties teruggesny word.

In 'n poging om die geometriese vorm van die vuurbed te bepaal, is van die vergassers tydens normale bedryf met water geblus, oopgemaak en van bo af uitgegrawe. 'n Merk IV is sewe maal uitgegrawe en die Merk V twee maal. Tydens elke uitgrawing is 'n karakteristieke "W" vorm van die asbed gekry wat nie altyd aksiaal simmetries was nie. Die vuurbed van die vergasser word in figuur 1.5 getoon.

### 1.2.3 Beskrywing van probleem.

Dit is duidelik dat die vuurbed oneweredig brand. Dit kan dus gebeur dat die gasuitlaat sowel as die roostertemperature gevaarlik hoog bedryf word. In so 'n geval word die vergasser se vrag verminder of in die ergste geval word die vergasser totaal uitbedryf gestel. Indien die vuurbed stabiel in die middel van die vergasser gehou word, is die aslaag dik genoeg om afgekoel te word deur die koue agent en sodoende 'n koue rooster te verseker.

'n Dik genoeg laag koue steenkool bo die vuurbed is nodig vir die endotermiese reaksies om plaas te vind en sodoende 'n koue gasuitlaat temperatuur te verseker. 'n Ideale vuurbed is dus 'n vuurbed wat plat is en in die middel van die vergasser bedryf word.

Die invloed van die gasuitlaat en die agentverspreiding op die vorm van vuurbed is onbekend. Dit is ook nie bekend watter invloed die radiale en aksiale grootteverspreiding (oopfraksie) van die steenkool op die vloeipatroon binne die vergasser het nie.

Deur die gasvloei deur die vergasser te simuleer, kan kennis ingewin word in verband met die *vloeipatrone* in bogenoemde twee plekke binne die vergasser asook die invloed van *variërende oopfraksie*. Verder kan die moontlikheid ondersoek word of daar 'n gebied reg onder die steenkoolkeerplaat bestaan waar *geen vloei* plaasvind nie. Die simulatie kan gebruik word vir die evaluasie van die twee *gasuitlaatstelle* asook die *agentverspreiding* in terme van hul onderskeie vloeipatrone.

### 1.3 Bestudering van die vloei in die vergasser.

Die vloeï in die vergasser is baie kompleks en wel om die volgende redes:

Eerstens is die vloeï ten volle driedimensioneel wat beteken dat gradiënte van veranderlikes in al die Cartesiese rigtings van belang is. Tweedens is die geometrie kompleks wat meebring dat die beskrywing van die randwaardes moeilik is. Derdens beweeg die vloeïer deur 'n gepakte bed. Vierdens vind daar chemiese reaksies in die vloeïer plaas.

As gevolg van die komplekse aard van die vloeï in die vastebedvergasser is dit onmoontlik om dit analities op te los. Dit is ook nie moontlik om die vloeï eksperimenteel te bestudeer nie aangesien die druk en die temperatuur in die vergasser dit ontoeganklik vir meetinstrumente maak. Die enigste alternatief waarvolgens die vloeï in die vergasser bestudeer kan word is met behulp van berekeningstegnieke

Die berekeningsbenadering behels die oplos van die beskrywende partiële differensiaalvergelykings (PDV's) met behulp van numeriese tegnieke op 'n rekenaar. Die PDV's word ontwikkel deur die massa-, momentum- en energie-oordragswette op vloeï deur 'n gepakte bed toe te pas.

Met die huidige studie is besluit om slegs die vloeï in die gebied onder die gasuitlaat stel en bo die rooster te simuleer. Die redes hiervoor kan as volg verduidelik word:

Die verbranding van die steenkool in die oksidasiesone het 'n groot invloed op die vloeïsnelheid in die vergasser. Die simulering van die verbrandingsreaksies val egter buite die omvang van die huidige studie. Die rede hiervoor is dat die verbrandingsreaksies hoofsaaklik in die oksidasie- en reduksiesones plaasvind. Die invloed van die verbrandingsreaksies op die vloeï deur die gasuitlaat en vergasserrooster kan dus in die randwaardes van die twee gebiede vervat word.

Die snelheidsprofiel van die agent word in 'n groot mate bepaal deur die vergasser roosterkonfigurasie. Die vermoë om te simuleer stel jou dus in staat om vas te stel wat die invloed van die roostergeometrie en invloei-randwaardes is op die vloeïprofiel net onder die oksidasiesone.

Gasvloei deur die vergasseruitlaatstel kan die vloei deur die oksidasiesone beïnvloed. Deur die gasvloei in die verskillende gasuitlate te simuleer kan die invloed van die tipe gasuitlaat op die vloei-profiel deur die oksidasiesone bepaal word.

In die studie word die adiabatiese momentumoordrag in die twee genoemde dele in die vergasser bestudeer. Aksiale simmetrie word aanvaar vir die doeleindes van die studie aangesien die vloei-veranderlikes in die gebiede onder deskouing nie in die omtreksrigting verander nie. Die vloei onder die gasuitlaat en bo die vergasserrooster is laminêr aangesien die Reynoldsgetal in die gepaktebed nie 200 oorskry nie. Verder kan die vloei in die twee dele van die vergasser as nie-saamdrukbaar aanvaar word omdat gassnelhede laag is. Laastens is dit belangrik dat die simulاسie die invloed van die oopfraksie verspreiding op die vloei deur die steenkool gepaktebed moet kan hanteer. Die steenkoolgrootte-verspreiding het die bepalende invloed op die oopfraksie in die steenkoolbed.

Die model kan die basis vorm van verdere studies waar die driedimensionele, nie-saamdrukbare, reagerende vloei bestudeer sal word.

Opsommend kan gesê word dat die simulاسiemodel al die faktore wat 'n invloed op die vloei-patroon binne die vergasser het, moet kan simuleer, met uitsondering van die chemiese reaksies wat in die reaksiesones plaasvind.

Vervolgens word 'n literatuurstudie gedoen om te bepaal watter navorsing op die gebied reeds gedoen is.

#### 1.4 Literatuurstudie.

##### 1.4.1 Vergassing.

Die eerste publikasies oor die modellering van die vastebed steenkoolvergasser het gedurende die middel sewentigerjare verskyn. Die meeste van die publikasies konsentreer op die eendimensionele massa- en energie-oordrag wat plaasvind binne die vergasser (Den, Wei, Yu en Cwiklinski 1982 ; Schlich, 1977).

Verskeie verslae word tussen 1987 en 1989 binne SASOL (Edms)(Bpk) gepubliseer oor die agentverspreiding en die gasuitlaatstelsels. Ranwell (1987) beskryf die flui-

disasie van die steenkool net onder die gasuitlaat. Die verslag beskryf ook die geometriese eienskappe ( gemiddelde steenkooldiameter, oopfraksie en steenkooldigtheid) waaraan die steenkool moet voldoen sonder dat kanale vorm. Ranwell (1988) en Glover (1989) rapporteer oor uitgrawings wat op sewe Merk IV vergassers gedoen is. Tydens al sewe die uitgrawings is die karakteristieke "W" vorm van die asbed gevind. Die oorsaak van die "W" vorm kon egter nie verklaar word nie. In die "Synthetic fuels report" (1989) word daar ook gerapporteer ook 'n "W" vorm vir die snelheidsprofiel van 'n gas deur 'n gepaktebed. Die artikel ondersoek ook die manier waarop die pakkingmateriaal in die bed gelaai word, asook hoe die grootteverspreiding van die pakkingmateriaal die besondere snelheidsprofiel beïnvloed. Die skrywer van die artikel skryf die "W" vorm hoofsaaklik aan die radiale partikelgrootte verspreiding binne die bed toe. Koper (1988) rapporteer oor resultate wat verkry is met die implimentering en bedryf van die sentrale gasuitlaat. Uit die verslag blyk die voordele van die sentrale gasuitlaat bo die steenkoolkeerplaat nie baie duidelik te wees nie.

Den et al (1982) simuleer die vergasser volledig tweedimensioneel. Die publikasie maak van die Ergun en kontinuïteitsvergelyking gebruik om die vloeipatroon net bo die rooster te beskryf. Die geometrie van die rooster in die simulاسie is benaderd en het 'n onakurate vloeipatroon tot gevolg. Daar sal meer volledig in hoofstuk twee hierna verwys word.

#### 1.4.2 Vloei deur 'n gepaktebed.

Op die gebied van vloei deur 'n gepaktebed is die Ergun (Kuni en Levenspiel, 1980) vergelyking baie bruikbaar, maar dit het sy beperkinge veral wanneer die vloei twee- of driedimensioneel is. Die rede vir die beperking is vanweë die feit dat die empiriese Ergun vergelyking nie die makroskopiese konveksie- en diffusieterme in twee of drie dimensies in berekening bring nie (Du Plessis en Masliyah, 1990). Die twee terme is van deurslaggewende belang vir die beskrywing van 'n vloeipatroon deur 'n gepaktebed.

Du Plessis et al (1990) maak gebruik van die beginsel van volumetriese gemiddelde van die vloeisnelheid deur die gepakte materiaal. Hy pas dit toe op die konveksie-, diffusie- en drukterme in die Navier-Stokesvergelykings. Die volledige afleiding van hierdie vergelyking word in hoofstuk twee bespreek. Voordele van die teorie kan as volg opgesom word:

- Slegs twee parameters is nodig om die teorie te beskryf: oopfraksie en die gemiddelde partikel diameter.
- Mikroskopiese interne effekte word in berekening gebring op 'n teoretiese basis.
- Die gepaktebedmodel is algemeen bruikbaar vir enige waarde van die oopfraksie.

#### 1.4.3 Oplostegniek vir die simulasiemodel.

Vloei in die algemeen word beskryf deur die momentum-, kontinuïteit-, massa- en energievergelykings (Patankar, 1980). Die vergelykings is tweedeorde elliptiese PDV's en is nie in die algemeen analities oplosbaar nie.

Op die gebied van numeriese oplostegnieke van oordragsvergelykings is daar die afgelope twee dekades baie vordering gemaak. Die klassieke stroomfunksie-vortisiteitstegniek wat vloei in slegs twee dimensies bereken, voldoen nie meer aan die eise van vandag se probleme nie (Osinski, Barr en Brimacombe, 1989). 'n Groot deurbraak in numeriese vloeiberekening het gekom toe Patankar (1980) die sogenaamde SIMPLE algoritme ontwikkel het. Die algoritme word vandag baie algemeen gebruik en het in 'n familie van SIMPLE algoritmes ontwikkel. Die kern van die algoritme is die gebruik van die kontinuïteitsvergelyking om op 'n implisiete wyse die druk wat in die momentumvergelykings gebruik word, te bepaal. 'n Volledige uiteensetting van die tegniek word in hoofstuk drie gegee. Du Plessis (1988) beveel die algoritme aan vir die oplos van vloei deur 'n poreuse medium.

#### 1.4.4 Opsomming.

Opsommend kan dus gesê word dat baie min navorsingswerk gedoen is om die vloei-patrone binne die vergasser te voorspel. In nie een van die navorsingstukke kon 'n verklaring vir die "W" vorm binne die vergasser gevind word nie.

Navorsing op die gebied van numeriese vloeiberekeninge is egter heelwat meer uitgebreid. Die tegnieke wat ontwikkel is vir die oplos van vloei-patrone deur 'n poreuse medium is ondersoek en die gepaktebed model van Du Plessis et al (1990) blyk geskik te wees vir die huidige studie.

### 1.5 Doelstelling.

*Die doel van hierdie studie is om die vloeipatrone van die agent deur die asbed, en die gas deur die steenkool in 'n Merk IV vergasser numeries te simuleer ten einde 'n verklaring en oplossing van die "W" vorm van die asbed aan die hand te doen. 'n Rekenaarprogram is vir die doel ontwikkel wat vloeipatrone simuleer vir variasie in oopfraksie, verskillende gasuitlaatstelle en verskillende agentverspreidings.*

### 1.6 Oorsig van die huidige studie.

In hoofstuk twee word 'n literatuuroorsig gegee van gepaktebedmodelle. Die model wat aanvaar is vir die doeleindes van die studie word volledig afgelei en bespreek.

In hoofstuk drie word 'n literatuuroorsig gegee oor die numeriese oplostegnieke vir die gepaktebed vloeimodelle. 'n Oplosalgoritme word ontwikkel vir die oplos van die stel differensiaalvergelykings wat in die vorige hoofstuk afgelei is.

In hoofstuk vier word die ontwikkeling van die rekenaarprogram, wat op die oplosalgoritme van die vorige hoofstuk gebaseer is, bespreek. Die program word in die hoofstuk geëvalueer ten opsigte van akkuraatheid en toepasbaarheid. Die teoretiese basis van die program word in die hoofstuk bespreek.

In hoofstuk vyf word die program gebruik om die vloei in die vergasser te simuleer. Die vloeisimulasie resultate word bespreek en aanbevelings word gemaak.

Die hoofstuk ses sluit af met 'n samevatting en voorstelle vir verdere studie.

### 1.7 Leemtes en beperkings van die huidige studie.

Die belangrikste gebruik van die model is om die verskillende scenarios van vergasser binne-geometrie teen mekaar op te weeg en uit die verskillende vloeipatrone afleidings te maak oor die stabiliteit van die vergasser. Die invloed van fyn steenkool op die vloeipatroon bo in die vergasser kan ook met behulp van die model bepaal word. Die rekenaarprogram is vir 'n algemene geval ontwikkel sodat vloei deur enige gepaktebed reaktor gesimuleer kan word.

Die leemtes is eerstens die weglating van die chemiese reaksies in die boonste en onderste gedeeltes van die vergasser. Tweedens word die vloeï as nie-saamdrukbaar, adiabaties in 'n aksiaalsimetriese koördinaatstelsel beskryf. Derdens word die vloeï nie as een geheel nie, maar in twee aparte gedeeltes van die vergasser bestudeer.

Dië model kan as basis gebruik word vir die ontwikkeling van 'n model wat nie-gestadigde driedimensionele, saamdrukbare en chemies reagerende vloeï bereken.

## 2 ONTWIKKELING VAN DIE WISKUNDIGE MODEL VIR VLOEI DEUR 'N GEPAKTEBED.

### 2.1 Inleiding.

In hierdie hoofstuk word die ontwikkeling van die simulasiemodel vir die vloei in die vergasser uiteengesit. Die eerste gedeelte van die hoofstuk gee 'n literatuuroorsig van navorsing wat gedoen is op die gebied van poreuse en gepaktebed vloei Modelle. Die res van die hoofstuk bestaan uit die wiskundige ontwikkeling van die gepaktebed vloei-model.

Die wiskundige model bestaan uit 'n kontinuïteits- en 'n momentumoordragvergelyking. Die momentumoordragvergelyking is aangepas vir vloei deur 'n gepaktebed. Daar word gebruik gemaak van die makroskopiese volumetriese gemiddeldes van die konveksie-, diffusie- en drukterme in die momentumoordragvergelyking. Die kragte wat die gepakte materiaal op die vloeiër uitoefen word deur 'n semi-empiriese verwantskap in die momentumvergelyking beskryf.

### 2.2 Literatuuroorsig.

#### 2.2.1 Inleiding

Die stel wiskundige vergelykings wat vloei beskryf val in twee kategorieë. Eerstens is daar oordragsvergelykings (massa, momentum en energie) en tweedens 'n stel bykomende vergelykings vir verskynsels soos turbulensie en drukval deur die gepaktebed. In die probleem onder beskouing word die gestadigde vorm van die oordragsvergelykings gebruik, aangesien die vloei gestadig is. Die vloei kan ook as laminêr beskou word omdat die Reynoldsgetal deur die vergasser baie laag (ongeveer 200) is. Die drukval deur die gepaktebed volg uit die oplossing van die momentumoordragvergelyking.

#### 2.2.2 Drukval deur 'n gepaktebed.

Een van die oudste vergelykings wat die drukval deur 'n vastebed voorspel is die Darcy vergelyking (Du Plessis et al, 1988). Hierdie vergelyking word gegee deur:

$$\nabla P = -\frac{\mu}{K} \underline{u} \quad (2.1)$$

met K die deurlaatbaarheidsfaktor wat as volg gedefinieer word: 'n Poreuse materiaal het die deurlaatbaarheid van een "darcy" indien 'n drukverskil van een atmosfeer veroorsaak word deur 'n vloeier met 'n vloeitempo van  $1 \text{ cm}^2/\text{sek}$  en 'n viskositeit van 1 cP oor 'n poreuse kubus met sylengte 1cm.

Die Darcy vergelyking is 'n lineêr-empiriese vergelyking wat die verband tussen die drukgradiënt en die lineêre skynsnelheid in 'n poreuse medium beskryf. Die lineêre skynsnelheid ( $\underline{u}$ ) is die gemiddelde snelheid indien die oopfraksie gelyk is aan een. Alhoewel die vergelyking algemeen gebruik is, is die vergelyking nie akkuraat by hoë Reynoldsgetalle nie. Die tekortkoming sal in hoofstuk 4 bespreek word.

Later het Forchheimer nog 'n term by die Darcy vergelyking gevoeg om die mikroskopiese interne effekte wat eksperimenteel waargeneem is beter te beskryf. Die vergelyking word gegee deur:

$$\nabla P = -\frac{\mu}{K} \underline{u} - \beta \rho \underline{u} \underline{u} \quad (2.2)$$

met  $\rho$  die digtheid en  $\beta$  'n traagheidsparameter.

In 1947 het Brinkman ook 'n term aan die Darcy vergelyking gekoppel om sodoende die makroskopiese randwaardes in berekening te bring. Die vorm wat hy voorstel lyk as volg:

$$\nabla P = -\frac{\mu}{K} \underline{u} - \mu' \nabla^2 \underline{u} \quad (2.3)$$

met  $\mu'$  die effektiewe viskositeit.

Vandag word die Ergun vergelyking (Kunii en Levenspiel, 1980) algemeen gebruik om die drukval deur 'n gepaktebed te bereken. Die algemene vorm van die Ergun vergelyking lyk as volg:

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} = 150 \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{\mu u}{(\phi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{1-n}{n^3} \frac{\rho u^2}{(\phi_s d_p)} \quad (2.4)$$

met  $\phi_s$  die sferisiteitsfaktor. Die sferisiteitsfaktor word as volg gedefinieer: 'n Plat plaat het 'n sferisiteit wat nader tot 0 en 'n perfek ronde sfeer het 'n sferisiteit van 1. Die snelheid  $u$  word gedefinieer as die lineêre skynsnelheid van die vloei. Die partikel diameter  $d_p$  word gedefinieer as die diameter van 'n sfeer met dieselfde volume as die massa-geweege-gemiddelde-partikel in die gepaktebed. Die Ergun vergelyking word in hoofstuk 4 verder bespreek.

Die Ergun vergelyking is reeds met sukses op die vergasser toegepas. Kunii et al (1980) beskryf die drukval deur 'n gepaktebed reaktor m.b.v. die Ergun vergelyking en lei daaruit die minimum fluïdiseersnelheid vir 'n gepaktebed af. Ranwell (1987) gebruik die teorie om onder andere die maksimum gassnelheid deur die vergasser te bepaal sonder dat die steenkool in die vergasser fluïdiseer. Denn et al (1982) gebruik ook die Ergun vergelyking en die kontinuïteitsvergelyking om die vloei deur 'n poreuse medium in twee dimensies op te los. 'n Eindige-elementtegniek word gebruik om die vergelykings mee op te los. Die teorie word toegepas op die as net bo die rooster in die vergasser. Die berekende vloeiveld word in figuur 2.1 getoon.

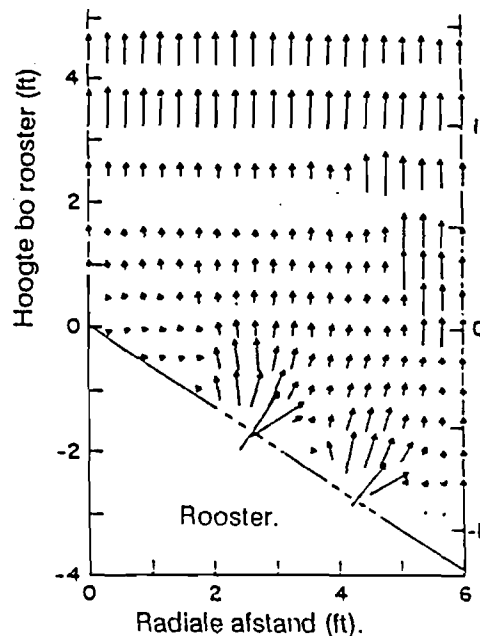


Fig 2.1 Vloeiveld net bo vergasserrooster (Den et al, 1982)

Die rede waarom die vloeiveld in figuur 2.1 oënskynlik nie kontinu is nie, is omdat chemiese reaksies in berekening gebring is. Geen afleidings oor die "W"- vorm of die agent verspreiding kon gemaak word nie.

Vergelykings 2.1 tot 2.4 is empiriese of semi-empiriese vergelykings wat die drukval deur die gepaktebed beskryf. Die vergelykings stel 'n mens egter nie in staat om die vloeipatroon deur die vastebed te bereken nie. Ten einde die vloeipatrone te bereken moet die momentumoordragvergelyking deur 'n vastebed opgelos word. Een van die terme in hierdie vergelyking is die krag wat die gepaktebed op die vloeiër uitoefen. Vergelykings wat die drukval voorspel, kan gebruik word om hierdie term in die momentumoordragvergelyking te beskryf.

Die oogmerk van hierdie studie is om 'n simulasiemodel te formuleer wat die vloeipatrone in die vastebed kan voorspel. Die eerste stap om so 'n simulasiemodel saam te stel is die afleiding van die oordragsvergelykings (kontinuiteit en momentum) vir 'n gepaktebed. Die benadering wat met die afleiding van hierdie vergelykings gevolg word is soortgelyk aan die benadering wat deur Du Plessis (1988) gevolg is. Hierdie benadering word in die res van die hoofstuk bespreek.

### 2.3 Ontwikkeling van die wiskundige vergelykings vir vloei deur 'n gepaktebed.

'n Beginpunt vir die ontwikkeling van die gepaktebed vloei-model is die toepassing van 'n massa- en momentumbalans oor 'n ruimtelike volume soos getoon in figuur 2.2

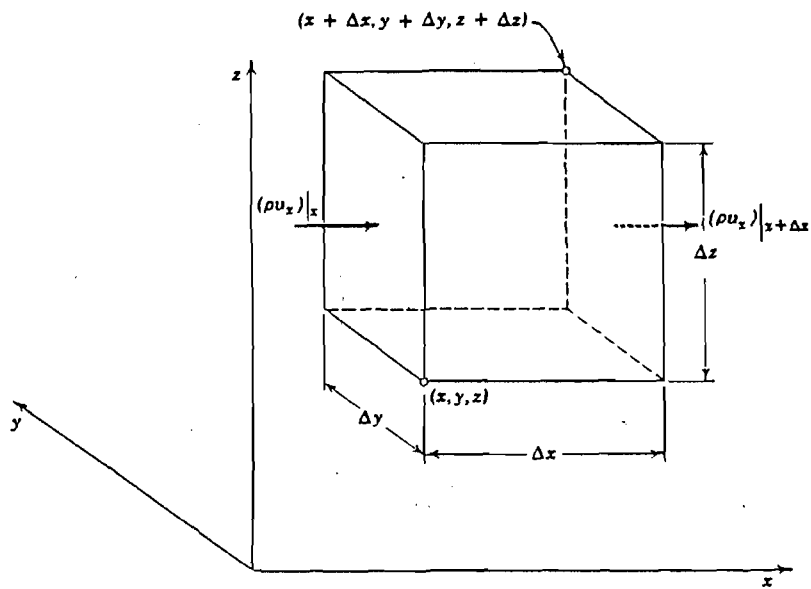
Die *kontinuiteitsvergelyking* kan afgelei word deur die wet vir die behoud van massa oor die volume-element toe te pas. Die resultaat is:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho \underline{v}) = 0 \quad (2.5)$$

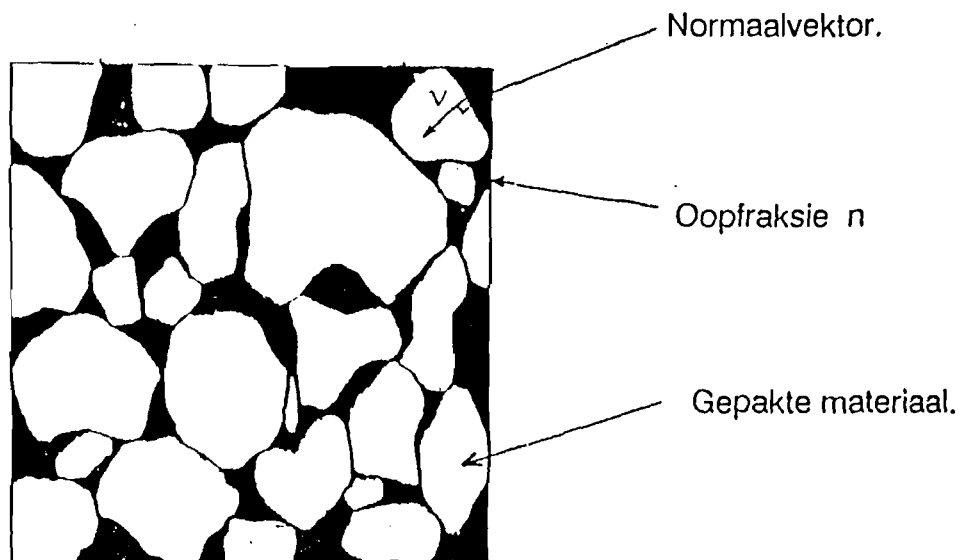
Die *momentumoordragvergelyking* word verkry deur die wet vir die behoud van momentum oor die volume-element toe te pas en word gegee deur

$$\frac{\delta(\rho \underline{v})}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho \underline{v} \underline{v}) = \nabla \cdot (\mu \nabla \underline{v}) - \nabla P \quad (2.6)$$

Die vergelyking is geldig vir saamdrukbare vloei met variërende viskositeit. Die eerste term is die tydsterm, die tweede die konveksiesterm en die derde die diffusiesterm. Deur



*Figuur 2.2* Volume-element vir die ontwikkeling van oordragsvergelings.



*Figuur 2.3* Verteenwoordigende volume-element.

te aanvaar dat die vloeï *nie-saamdrukbaar* en *gestadig* is, kan die twee vergelykings tot die volgende vorme vereenvoudig word:

Kontinuiteit:

$$\nabla \cdot \underline{v} = 0 . \quad (2.7)$$

Momentum:

$$\rho \nabla \cdot (\underline{v}\underline{v}) = \mu \nabla^2 \underline{v} - \nabla P . \quad (2.8)$$

Met die verdere ontwikkeling van die vergelykings, om dit aan te pas vir vloeï deur 'n gepaktebed, word die volgende aannames gemaak:

- Die gepaktebed is star (nie-elasties) en stasionêr met 'n oopfraksie wat kan verander van sel tot sel .
- Die fisiese eienskappe van die vloeïer is konstant.
- Die vloeï is laminêr en gestadig.

Die Navier-Stokesvergelykings kan nou, onder bogenoemde aannames, omskryf word vir vloeï deur 'n gepaktebed. Dit word gedoen deur elke term in die momentumvergelyking se volumetriese gemiddeld oor 'n gepaktebed volume af te lei (Du Plessis, 1990). Die konsep van volumetriese gemiddeld word met behulp van figuur 2.3 verduidelik.

Gestel figuur 2.3 stel 'n *Verteenwoordigende Volume Element* (VVE) van die gepaktebed voor. Enige van die intrinsieke eienskappe  $\phi$  van die vloeïer se volumetriese gemiddeld word as volg gedefinieer:

$$\langle \phi \rangle = \frac{1}{V_0} \int \int \int_{V_n} \phi dV , \quad (2.9)$$

waar  $V_0$  die totale volume van die element en  $V_n$  die volume van die oopfraksie is.

Die lineêre skynsnelheid ( $\underline{u}$ ) van die gas deur die steenkool word as volg gedefinieer:

$$\underline{u} = \langle \underline{v} \rangle , \quad (2.10)$$

waar  $v$  die werklike snelheid binne die oopfraksie is.

Deur die volumetriese gemiddeld van vergelyking (2.7) te neem, word die kontinuïteitsvergelyking vir vloeï deur 'n gepakte bed verkry:

$$\nabla \cdot \underline{u} = 0 . \quad (2.11)$$

Ten einde die momentumvergelyking vir vloeï deur 'n gepaktebed te verkry word elke term in vergelyking (2.8) afsonderlik beskou. Die volumetriese gemiddelde van die diffusie-term in vergelyking (2.8) lyk soos volg:

$$\langle \mu \nabla^2 \underline{u} \rangle = \mu \nabla \cdot \langle \nabla \underline{u} \rangle + \frac{\mu}{V_0} \int \int_{S_{fs}} \underline{v} \cdot \nabla \underline{u} ds , \quad (2.12)$$

met  $\underline{v}$ 'n normaalvektor op die benatte area  $S_{fs}$ . ( Die begrip word later in die hoofstuk verder toegelig. ) Deur gebruik te maak van vgl. (2.10) kan die eerste term aan die regterkant van vgl. (2.12) in die volgende vorm geskryf word:

$$\mu \nabla \cdot \langle \nabla \underline{u} \rangle = \mu \nabla^2 (v) . \quad (2.13)$$

Die volumetriese gemiddeld van die konveksie-term in vgl. (2.8) word gegee deur:

$$\langle \rho \nabla \cdot (\underline{u} \underline{u}) \rangle = \rho \nabla \cdot (\underline{\dot{u}} \underline{\dot{u}}) , \quad (2.14)$$

met  $v$  die vektorverskil tussen die werklike snelheid in 'n punt en die gemiddelde vloeisnelheid in die VVE. Die volumetriese gemiddeld van die drukterm in vergelyking (2.8) sien as volg daaruit:

$$\langle \nabla P \rangle = n \nabla P + \frac{1}{V_0} \int \int_{S_{fs}} \underline{v} \dot{P} ds , \quad (2.15)$$

met  $\dot{P}$  die drukverskil tussen die werklike druk in 'n punt en die gemiddelde druk in die VVE.

Deur vergelykings (2.12) tot (2.15) bymekaar te tel, word die momentumoordragverge-  
lyking vir vloeier deur 'n gepaktebed gekry. Die vergelyking is as volg

$$\rho \nabla \cdot \left( \frac{\underline{u}\underline{u}}{n} \right) - \mu \nabla^2 \underline{u} + n \nabla P =$$

$$- \rho \nabla \cdot (n \langle \dot{\underline{u}}\dot{\underline{u}} \rangle) + \frac{1}{V_0} \int \int_{s_{js}} (-\underline{v}\dot{P} + \mu \underline{v} \cdot \nabla \underline{v}) ds. \quad (2.16)$$

Die linkerkant van bogenoemde vergelyking is die makroskopiese beskrywing van vloeier deur die gepaktebed. Die eerste term beskryf die makroskopiese konveksie van die vloeier, die tweede term beskryf makroskopiese diffusie van die vloeier terwyl die laaste term die drukval beskryf.

In die eerste term aan die regterkant van (2.16) is  $\dot{\underline{u}}$  die vektorverskil in snelhede tussen die werklike snelheid by 'n punt in die oop volume ( $V_n$ ) en die gemiddelde snelheid in  $V_n$ . Die term wat deel vorm van die konveksie-term is weglaatbaar aangesien aanvaar kan word dat geen dwarsstrome binne  $V_n$  ontstaan nie. Die aanname word later in die hoofstuk verder toegelig.

Die oppervlak-integraalterm aan die regterkant beskryf die momentumoordrag tussen die gas en die steenkool. Die twee terme binne die integraal het ontstaan uit die drukverskilterm en diffusie-term in die momentumoordragverge-lyking.

Die lynintegraal-term word nou verder ontwikkel tot 'n meer bruikbare formule. Dit word gedoen deur die VVE te vereenvoudig na 'n Verteenwoordigende Eenheid Sel (VES). Die wiskundige afleiding wat volg het betrekking op die VES soos getoon in figuur 2.4.

Die akkuraatheid waarmee die oppervlak-integraal

$$I = \frac{1}{V_0} \int \int_{s_{js}} (\underline{v}\dot{P} - \mu \underline{v} \cdot \nabla \underline{v}) ds \quad (2.17)$$

in vgl. (2.16) bereken word, is van deurslaggewende belang. Vergelyking (2.17) beskryf die momentumoordrag tussen die vloeier en die vastestof en het 'n direkte invloed op die drukval van die vloeier. Die invloed sal in hoofstuk vier geïllustreer word. Du Plessis (1990) benader vgl. (2.17) na die volgende vorm

$$l = \frac{\mu S_{fs} f_{app} Re}{4V_o(d - d_s)^{-p}} v \quad (2.18)$$

met  $S_{fs}$  die benatte area of die oppervlak waar die gas met die steenkool of as in aanraking is. Vgl (2.18) is gebaseer op vloeitussen twee parallele plate.  $S_{fs}$  kan as volg uitgedruk word

$$S_{fs} = 6d_s^2 = 6(1 - n)^{2/3} d^2. \quad (2.19)$$

In vgl. (2.18) is die gemiddelde snelheid in die oopfraksie

$$\bar{v}_p = \frac{1}{A_p} \int \int_{A_p} u dA \quad (2.20)$$

met  $v$  die gassnelheid binne  $V_n$  en  $A_p = d^2 - d_s^2$ .

Om die term  $f_{app} Re$  in vgl. (2.18) te bepaal, word vloeitussen twee parallele plate met afstand  $(d - d_s)$  uitmekaar en met 'n uniforme inlaatsnelheid beskou. Vir hierdie situasie geld

$$f_{app} Re = 24(1 + 0.0411(d - d_s)Re/x)^{1/2} \quad (2.21)$$

met  $x$  die vloeiafstand en  $f_{app}$  die wrywingsfaktor tussen die vloeier en die vastestof, Du Plessis (1990).  $Re$  is die Reynoldsgetal vir vloeitussen die plate. Die Reynoldsgetal word as volg gedefinieer:

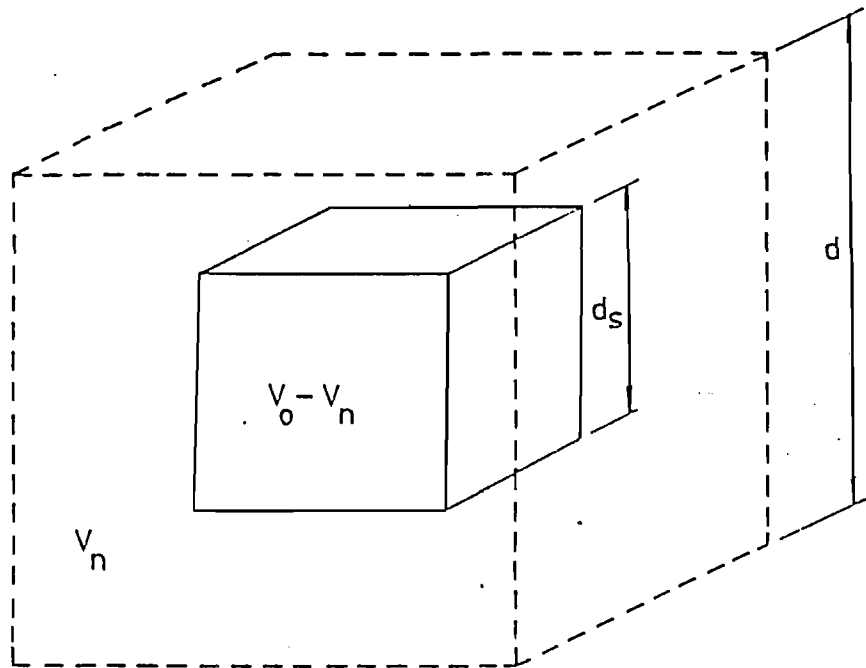
$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} \quad (2.22)$$

waar  $d$  die afstand tussen die plate is. Vergelyking (2.21) is 'n empiriese benadering wat die skuifspanning beskryf tussen twee parallele plate. Die vergelyking kan gebruik word om die skuifspanning tussen twee VES'e wat verskuifd ten opsigte van mekaar georiënteer is, te beskryf.

Die vloeiafstand  $l_f$  vir verskuifde VES'e kan uit fig. 2.4 as volg afgelei word:

$$l_f = \frac{3}{2} d_s = \frac{3}{2} d(1 - n)^{1/3} \quad (2.23)$$

Vergelykings (2.19) tot (2.23) kan in vgl. (2.18) vervang word om die volgende vergelyking te gee:



*Figuur 2.4* Verteenwoordigende eenheidsel.

$$I = \mu u \frac{36}{d^2} \frac{(1-n)^{2/3}}{(1-(1-n)^{1/3})(1-(1-n)^{2/3})} (1 + 0.411 \operatorname{Re}(1-(1-n)^{1/3}))^{1/2} \quad (2.24)$$

Bostaande vergelyking kan as volg uitgedruk word in terme van die oopfraksie en die gemiddelde soliede partikellengte:

$$I = \mu u \frac{36}{d_s^2} \frac{(1-n)^{4/3}}{(1-(1-n)^{1/3})(1-(1-n)^{2/3})} \left( 1 + \frac{0.0822 \operatorname{Re}(1-(1-n)^{1/3})}{(1-n)^{2/3}(1+(1-n)^{1/3})} \right)^{1/2} \quad (2.25)$$

Vergelykings (2.24) en (2.25) is 'n semi-empiriese benadering vir die momentumoor- drag tussen die vloeier en die vastestof.

Die finale stel vergelykings vir vloei deur 'n gepaktebed is as volg.

Die behoud van massa:

$$\nabla \cdot \underline{u} = 0 \quad (2.26)$$

Die behoud van momentum:

$$\rho \nabla \cdot \left( \frac{u \underline{u}}{n} \right) + n \nabla P - \mu \nabla^2 \underline{u} + \mu F \underline{u} = 0, \quad (2.27)$$

waar  $F = \frac{I}{\mu u}$ . Die oordragsvergelings (2.26) en (2.27) is algemeen en geld vir enige koördinaatstelsel. Die mees effektiewe koördinaatstelsel om die vergelykings te beskryf is 'n silindriese koördinaatstelsel. Deur te aanvaar dat die vloei *aksiaalsimmetries* is, kan slegs met die r-en z-komponente in die silindriese koördinaatstelsel gewerk word. In silindriese koördinate en in die r- en z-rigtings is die vorm van die oordragsverge- lykings as volg:

Behoud van massa:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial (r u_r)}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (2.28)$$

Behoud van momentum:

$$\frac{\rho}{r} \frac{\partial(u_r u_z / n)}{\partial r} + \rho \frac{\partial(u_z u_z / n)}{\partial z} = -n \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial(u_z)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + \mu F u_z.$$

$$\frac{\rho}{r} \frac{\partial(u_r u_r / n)}{\partial r} + \rho \frac{\partial(u_z u_r / n)}{\partial z} = -n \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left( \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right) + \mu F u_r.$$

(2.30)

Die vergelykings beskryf dus die vloeier deur 'n stasionêre adiabatiese gepaktebed met variërende oopfraksie. Die laaste term in die vergelyking is die semi-empiriese verwantskap vir die krag wat die gepaktebed op die vloeier uitoefen .

Opsomming.

In die eerste deel van die hoofstuk is die historiese ontwikkeling van gepaktebed en poreuse vloeimodelle uiteengesit. Die klassieke modelle is hoofsaaklik empiries van aard. Die model wat in die hoofstuk ontwikkel is, is op fundamentele oordragsbeginsels gegrond. In die finale vergelykings word egter gebruik gemaak van die empiriese verwantskap om die krag wat die gepaktebed op die vloeier uitoefen, te beskryf. Om hierdie rede is die model 'n semi-empiriese model.

Die finale oordragvergelykings is nie analities oplosbaar nie en daar moet dus van 'n numeriese oplostegniek gebruik gemaak word. In die hoofstuk wat volg word so 'n tegniek beskryf.

### 3 NUMERIESE OPLOSTEGNIEK.

#### 3.1 Inleiding

In die vorige hoofstuk is die vloeï van gas deur 'n gepakte bed wiskundig geformuleer. 'n Stel vergelykings is afgelei wat nie analities opgelos kan word nie. In hierdie hoofstuk word eerstens 'n literatuuroorsig van numeriese oplostegnieke gegee. Die res van die hoofstuk word gewy aan die afleiding van 'n numeriese oplostegniek vir bogenoemde stel vergelykings.

#### 3.2 Literatuuroorsig.

Die afgelope twee dekades is al meer gebruik gemaak van numeriese modelle om vloeï in die algemeen te beskryf. Die klassieke vortisiteit-stroomfunksieteorie word in 'n groot mate vervang deur die SIMPLE algoritme wat 'n eindige-verskiltegniek is, Patankar (1980). Die tegniek word vandag wyd en algemeen gebruik en het ontwikkel in 'n familie van onderling verwante algoritmes bv. SIMPLER, SIMPLEC en die SIMPLEX. Die algoritmes word in rekenaarsimulasiepakette gebruik wat algemeen beskikbaar is. Die simulasiepakette is algemeen geskryf sodat vloeï deur 'n verskeidenheid van geometrieë beskryf kan word.

Rosten, Spalding en Tatchell (1983) ontwikkel die Phoenix rekenaarkode wat gebaseer is op die SIMPLE algoritme. Die kode is 'n algemene kode wat die massa-, energie- en momentumvergeljings in die algemeen oplos. In die Phoenix kode kan enige empiriese verwantskap gebruik word vir die beskrywing van drukval deur 'n gepaktebed. Die Phoenix kode word in hoofstuk vier verder bespreek.

Izza (1984) ontwikkel die PISO algoritme. Die algoritme wat 'n verbetering is op die SIMPLE word gebruik in Star CD simulasiepakket. Die belangrikste voordele van die PIZO algoritme bo die SIMPLE algoritme is dat die PIZO algoritme nie-ortogonale rooster strukture en tydafhanklike vloeï met groot tydsteppe kan hanteer. Tydens die skryf van die tesis is die Star CD - kode nog nie tot 'n vlak ontwikkel waar dit vloeï deur 'n gepaktebed kan bereken nie.

Du Plessis (1988) stel voor dat die SIMPLE tegniek gebruik word vir die oplos van die momentumoordragvergelykings in 'n poreuse medium. Osinski, Barr en Brimacombe (1989) tref 'n vergelyking tussen die SIMPLE, vortisiteits- en 'n selfafgeleide FLOW tegniek vir die oplos van 'n poreuse vloeimodel. Hy kom tot die gevolgtrekking dat die FLOW en SIMPLE tegnieke vergelykbare en fisies realistiese vloeipatrone oplewer.

Met die huidige studie is daar besluit om die SIMPLEC algoritme, wat in detail deur Doornmaal en Raithby (1984) beskryf word, te gebruik.

Die redes vir die besluit is as volg:

- Die tegniek is besonder geskik vir vloeiveld met hoë drukvalle.
- Die tegniek is nie so sensitief vir die relaksasiefaktor nie.
- Die tegniek konvergeer vinniger na die korrekte antwoord as die ander algoritmes van dieselfde familie.

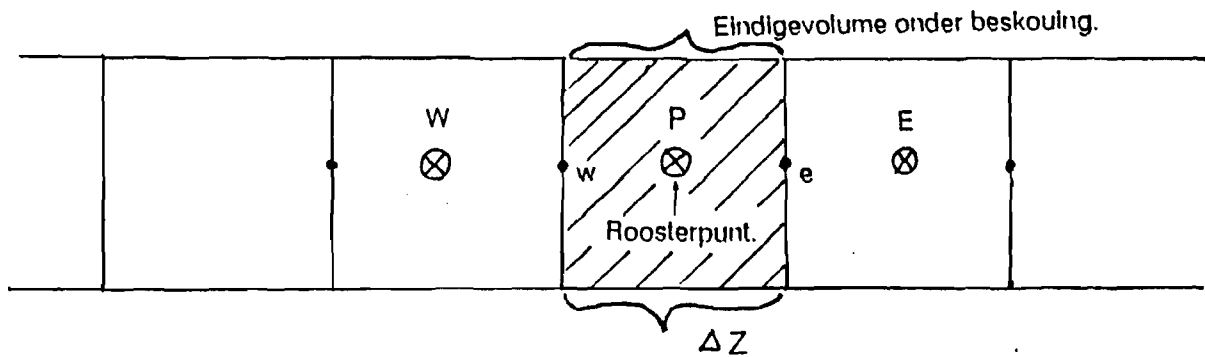
Die SIMPLEC algoritme is 'n gesegregeerde metode omdat die tentatiewe vloeihoeveelhede ( snelhede en druk ) op 'n ontkoppelde wyse opgelos word. Nadat die tentatiewe hoeveelhede opgelos is, word korreksies bereken en toegepas wat meebring dat die oordragvergelykings beter bevredig word. Die gekorogeerde hoeveelhede word nou beskou as die nuwe tentatiewe waardes en die proses herhaal tot konvergensie. In die res van die hoofstuk word die oplosalgoritme in groter detail bespreek.

### 3.3 Ontwikkeling van die SIMPLE en SIMPLEC algoritmes.

#### 3.3.1 Rooster.

Een van die kenmerke van die SIMPLE en SIMPLEC algoritme is die gebruik van die verspringende rooster. Die rede vir hierdie ongewone rooster word vervolgens verduidelik.

Die vloeiveld onder beskouing word in 'n aantal eindige-volumes opgedeel. Die midelpunt van elke volume word deur 'n roosterpunt aangedui. Figuur 3.1 dui 'n gewone eendimensionele roosterstruktuur aan.



Figuur 3.1 Gewone eendimensionele rooster.

Die gediskretiseerde vorm van die eersteorde afgeleide  $\frac{\partial P}{\partial z}$  word gegee deur

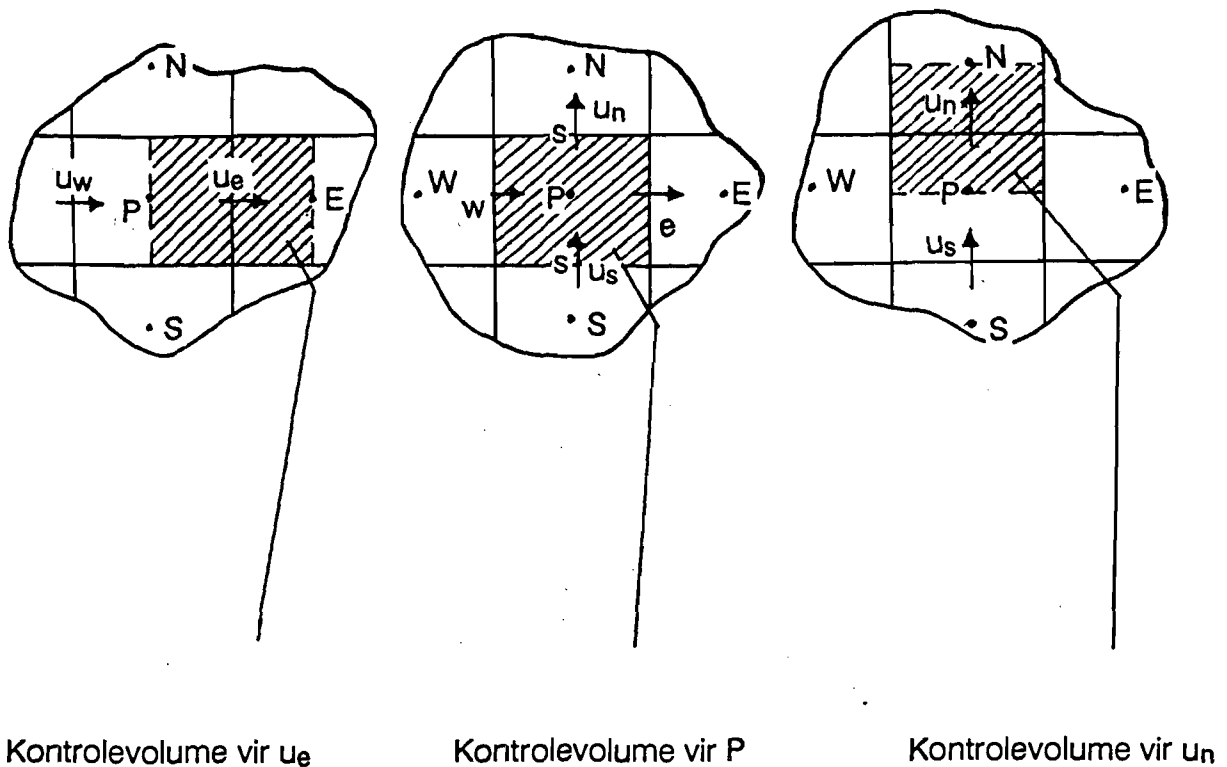
$$\frac{\partial P}{\partial z} \approx \frac{P_e - P_w}{\delta z} \quad (3.1)$$

Dit is belangrik om daarop te let dat  $P_w$  en  $P_e$  op die rante van die eindige volume val. Aangesien slegs waardes by roosterpunte bekend is, moet hierdie drukke in terme van bekende waardes uitgedruk word. 'n Voor die hand liggende benadering is om  $P_e$  en  $P_w$  te bereken as die rekenkundige gemiddeld van die drukke by die roosterpunte aan weerskante van die volume rand. Hiervolgens word

$$\frac{\partial P}{\partial z} \approx \frac{P_w - P_e}{2\delta z} \quad (3.2)$$

Hierdie benadering het egter die volgende probleem: Indien die druk by P skielik sou varieer sal bogenoemde vorm nie van die drukpuls bewus wees nie, wat fisies onrealisties is.

Die oplossing vir die probleem lê in 'n verspringende rooster. Die rooster kan in twee dimensies voorgestel word soos getoon in figuur 3.2.



*Fig. 3.2 Verspringende rooster.*

Punt  $P$  is die middelpunt van die algemene kontrolevolume waar die volgende eienskappe gedefinieer word: druk, temperatuur, digtheid, viskositeit en oopfraksie. Die  $u$  snelheid word op die oos-, wes-, noord- en suid-rante van die algemene kontrolevolume gedefinieer.

Bo en behalwe die oplossing van die probleem rondom die drukgradiënt term in die momentumvergelyking, hou die verspringende rooster ook die voordeel in dat die snelhede op die rante van die algemene kontrolevolumes val. Hierdie waardes kan net so gebruik word om die konveksievloede oor die kontrolevolume rante te bereken.

### 3.3.2 Diskretisering.

Die kontinuïteits- en momentumvergelykings kan nou binne die rooster gediskretiseer word. Die gediskretiseerde momentumvergelyking vir die radiale rigting het die volgende vorm:

$$\alpha_e u_{re} = \sum \alpha_{nb} u_{rnb} + b + A_e (P_P - P_E), \quad (3.3)$$

met  $\alpha$ -koëffisiente wat eienskappe soos snelhede, digthede, viskositeit en oopfraksie bevat. Die onderskrifte nb en e dui die naburige roosterpunte en oostekantste roosterpunt onderskeidelik aan. Die volledige afleiding van bostaande vergelyking word in bylae A gegee.

Die z-momentumvergelyking wat ook in bylae A afgelei word het dieselfde vorm. Aan die begin is die drukveld nie bekend nie. Die metode wat gevolg word, is om die drukveld te skat en dit dan te gebruik om die momentumvergelykings mee op te los. Die snelheidsveld wat sodoende verkry word, is slegs benaderd omdat dit gebaseer is op benaderde drukke. Die boskrif \* word gebruik om benaderde waardes aan te dui. Die vergelyking vir  $u_{re}^*$  is soos volg:

$$\alpha_e u_{re}^* = \sum \alpha_{nb} u_{rnb}^* + b + A_e (P_P^* - P_E^*). \quad (3.4)$$

Deur te aanvaar dat:

$$P = P^* + P', \quad (3.5)$$

$$u_r = u_r^* + u_r', \quad (3.6)$$

$$u_z = u_z^* + u_z', \quad (3.7)$$

met  $P$ ,  $u_r$  en  $u_z$  die korrekte waardes en  $P'$ ,  $u_r'$  en  $u_z'$  die korreksies, kan (3.4) van (3.3) afgetrek word om die snelheidskorreksievergelyking te verkry:

$$\alpha_e u_{re}' = \sum \alpha_{nb} u_{rnb}' + b + A_e (P_P' - P_E'). \quad (3.8)$$

Op hierdie punt verskil die SIMPLE en SIMPLEC algoritmes van mekaar. In die SIMPLE geval word die term  $\sum \alpha_{nb} u_{rnb}'$  weggelaat om die volgende benaderde vergelyking te verkry:

$$\alpha_e u_{re}' = A_e (P_P' - P_E'). \quad (3.9)$$

Die stap kan as inkonsekwent beskou word aangesien 'n term van dieselfde grootteorde aan die linkerkant van die vergelyking behoue bly. Van Doornmaal et al (1984)

stel 'n meer konsekwente benadering vir die SIMPLEC algoritme voor: deur die term  $\sum \alpha_{nb} u'_{re}$  aan die linker- en regterkant van vergelyking af te trek word die volgende vergelyking verkry:

$$(\alpha_e - \sum \alpha_{nb}) u'_{re} = \sum \alpha_{nb} (u'_{rnb} - u'_{re}) + A_e (P'_p - P'_E). \quad (3.10)$$

Die onderstreepte gedeelte is van 'n baie lae grootteorde en kan weggelaat word. Die volgende benaderde vergelyking word sodoende verkry:

$$(\alpha_e - \sum \alpha_{nb}) u'_{re} = A_e (P'_p - P'_E). \quad (3.11)$$

Uit vergelyking 3.11 is dit duidelik dat die drukverskil  $P'_p - P'_E$  kleiner is as in die geval van die SIMPLE algoritme. Dit maak die gebruik van 'n relaksasiefaktor vir die berekening van die druk onnodig. Dit is ook die rede waarom die SIMPLEC algoritme vinniger as die SIMPLE algoritme na die korrekte antwoord konvergeer.

Vergelyking 3.11 kan in die volgende vorm omskryf word.

$$u'_{re} = d_e (P'_p - P'_E), \quad (3.12)$$

waar 
$$d_e = \frac{A_e}{\alpha_e - \sum \alpha_{nb}}.$$

Deur  $u'$  met  $(u - u^*)$  in vergelyking (3.12) te vervang kan (3.12) in die volgende vorm herskryf word:

$$u_{re} = u_{re}^* + d_e (P'_p - P'_E). \quad (3.13)$$

Net so vir die z-rigting is

$$u_{ze} = u_{ze}^* + d_e (P'_p - P'_N). \quad (3.14)$$

Deur die kontinuïteitsvergelyking te diskretiseer en die snelhede soos beskryf in vergelykings 3.13 en 3.14 daarin te vervang, word die volgende vergelyking verkry:

$$\alpha_p P'_p = \alpha_E P'_E + \alpha_W P'_W + \alpha_N P'_N + \alpha_S P'_S + b. \quad (3.15)$$

Die volledige diskretiserings van die kontinuïteitsvergelyking word in aanhangsel A uiteen gesit.

Die koeffisiente in bostaande vergelyking bevat geometriese groothede en tentatiewe snelhede  $u_{r_e}^*$  en  $u_{z_e}^*$ . Die volledige diskretisering van die kontinuïteitsvergelyking word in aanhangsel A uiteen gesit.

Vergelykings (3.4) en (3.15) is lineêre vergelykings en word as volg opgelos: Op enige gegewe i- of j-lyn word die vergelykings in 'n tridiagonale bandmatriks (TDBM) vorm geskryf en met die Thomas algoritme (Anderson, Tannehill en Pletcher, 1984) opgelos. Die oplosprosedure word vir alle i- of j-lyne oor die oplosgebied 'n paar keer herhaal totdat konvergensie bereik word.

Die stappe in die oplosalgoritme kan as volg opgesom word:

- Skat 'n drukveld  $P^*$ .
- Los die momentumvergelykings, vergelykings soos (3.4) op m.b.v. die Thomas algoritme. Hieruit word die tentatiewe snelhede  $u_r^*$  en  $u_z^*$  verkry.
- Los die drukkorrèksievergelyking (3.15) op met behulp van die Thomas algoritme. Hieruit word die  $P'$  veld dus verkry.
- Die korrekte druk kan nou bereken word deur  $P'$  by  $P^*$  te tel.
- Die korrekte snelhede word bereken deur gebruikmaking van vergelykings (3.13) en (3.14).
- Pas die randwaardes aan.
- Die gekorrigeerde drukke word nou as die nuwe tentatiewe drukke  $P^*$  beskou en die hele proses word herhaal totdat konvergensie bereik word.

Die berekening van randwaardes word in die volgende paragraaf bespreek.

### 3.3.3 Randwaardes, konvergensie en stabiliteitskriterium.

Snelhede is bekend op die invloeirand en vaste wande waar die snelhede nul is. Op die uitvloeirand kan 'n nulgradiënt randwaarde vir snelhede aanvaar word. Indien die uitvloeirand ver genoeg van die gebied onder beskouing verwyder is, sal die uitvloeirandwaarde nie 'n invloed op die vloeï in die gebied onder beskouing uitoefen nie.

Indien snelheidsrandwaardes gebruik word, is die spesifikasie van druk randwaardes oorbodig as gevolg van die aard van die oplosalgoritme.

Die spesifieke randwaardes vir die vergassingsprobleem word in hoofstuk vyf bespreek.

Stabiliteit en tempo van konvergensie hang van die keuse van relaksasiefaktore vir  $u_r$  en  $u_z$  af. 'n Relaksasiefaktor van 0.5 word deur Patankar (1980) aanbeveel. Konvergensie kan gekontroleer word deur die grootte van die drukkorreksie te kontroleer. Indien die iterasie gestop word voordat die druk gekonvergeer het, kan die kontinuïteitsvergelyking nie bevredig word nie en tot foute lei. Die roosterdigtheid het ook 'n invloed op die akkuraatheid van die antwoord. In hoofstuk vier word die akkuraatheid van die SIMPLEC algoritme breedvoerig bespreek.

### 3.4 Opsomming

In die hoofstuk is 'n numeriese oplostegniek afgelei vir die stel wiskundige vergelykings wat in hoofstuk twee ontwikkel is. Uit 'n literatuurstudie wat oor numeriese tegnieke gedoen is, is op die SIMPLEC algoritme besluit om die stel vergelykings op te los.

Die SIMPLEC tegniek is in 'n algemene vorm afgelei en is nou gereed om op die wiskundige model toegepas en geprogrammeer te word.

## 4 DIE REKENAARPROGRAM.

### 4.1 Inleiding

In hoofstuk twee is 'n stel partiële differensiaalvergelykings afgelei wat vloei deur 'n gepakte bed beskryf en in hoofstuk drie is 'n numeriese tegniek ontwikkel vir die oplos van die vergelykings. In die huidige hoofstuk word 'n rekenaarprogram, wat gebaseer is op die numeriese oplostegniek, ontwikkel, bespreek en getoets.

Die integriteit van die model en rekenaarprogram word aan die hand van die volgende vloei gevalle, waarvoor daar analitiese of eksperimentele data beskikbaar is, getoets.

- Ontwikkelende pypvloei.
- Vloei deur 'n trapuitset in 'n kanaal.

In beide gevalle word 'n oopfraksie van 1 aanvaar.

Ten einde die vermoë van die model te ondersoek om drukvalle deur 'n gepakte bed korrek te voorspel word die drukvalle met voorspellings van die Ergun en Darcy vergelykings vergelyk.

Laastens word 'n sensitiviteitsanalise gedoen om die effek van oopfraksie op die vloeiveld te bepaal.

Die hoofstuk sluit af met 'n bespreking oor die toepassing van die model en die rekenaarprogram.

### 4.2 Die Rekenaarprogram.

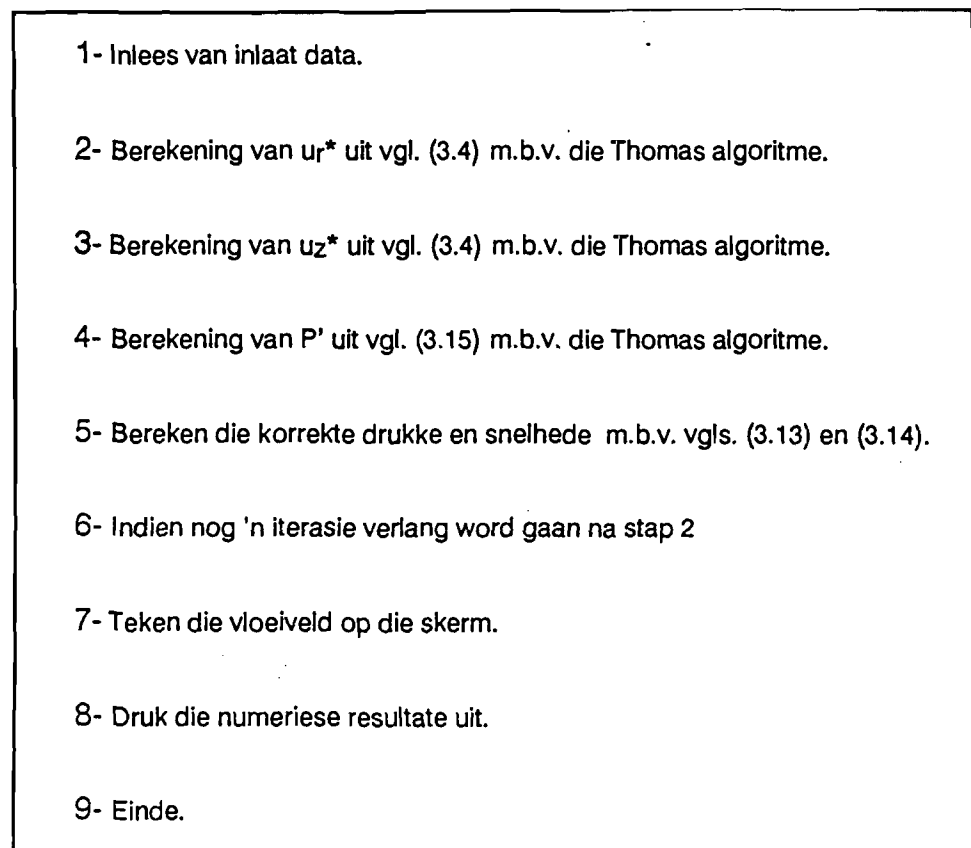
Die programmeertaal Turbo Pascal uitgawe 5.5 is gebruik vir die ontwikkeling van die program. Die rede vir die keuse is eerstens die taal se goeie grafiese vermoë en tweedens die taal se hoë programontwikkelingspoed. Ten einde 'n volledige beeld van

die vloei patroon te vorm is dit nodig om 'n goeie grafiese voorstelling van die vloei patroon te konstrueer.

'n Nadeel van die taal is egter die beperkte geheue ( 64kb ) wat beskikbaar is. Die probleem is gedeeltelik oorkom deur van dinamiese veranderlikes in die program gebruik te maak.

'n VP386e 16MHz rekenaar met 'n wisselpunt-verwerker en uitgebreide geheue is gebruik vir die ontwikkeling van die program.

Die vloei diagram van die program is gebaseer op die oplos algoritme wat in hoofstuk 3 bespreek is en word getoon in figuur 4.1 getoon.



*Figuur 4.1* Vloei diagram van rekenaarprogram.

'n Volledige uitdruk van die program verskyn in bylaag B.

### 4.3 Evaluering van die rekenaarprogram.

Die evaluering van die rekenaarprogram bestaan uit twee dele. Eerstens is gekontroleer of die numeriese tegniek die wiskundige model akkuraat oplos. Dit is gedoen deur die model se berekende waardes te vergelyk met eksperimentele waardes. Al die eksperimentele waardes is verkry uit grafieke van Visser (1989). Tweedens is die drukval soos voorspel deur die rekenaarprogram geëvalueer deur dit met empiriese drukvalvergelykings te vergelyk.

#### 4.3.1 Ontwikkeling van laminêre pypvloeï.

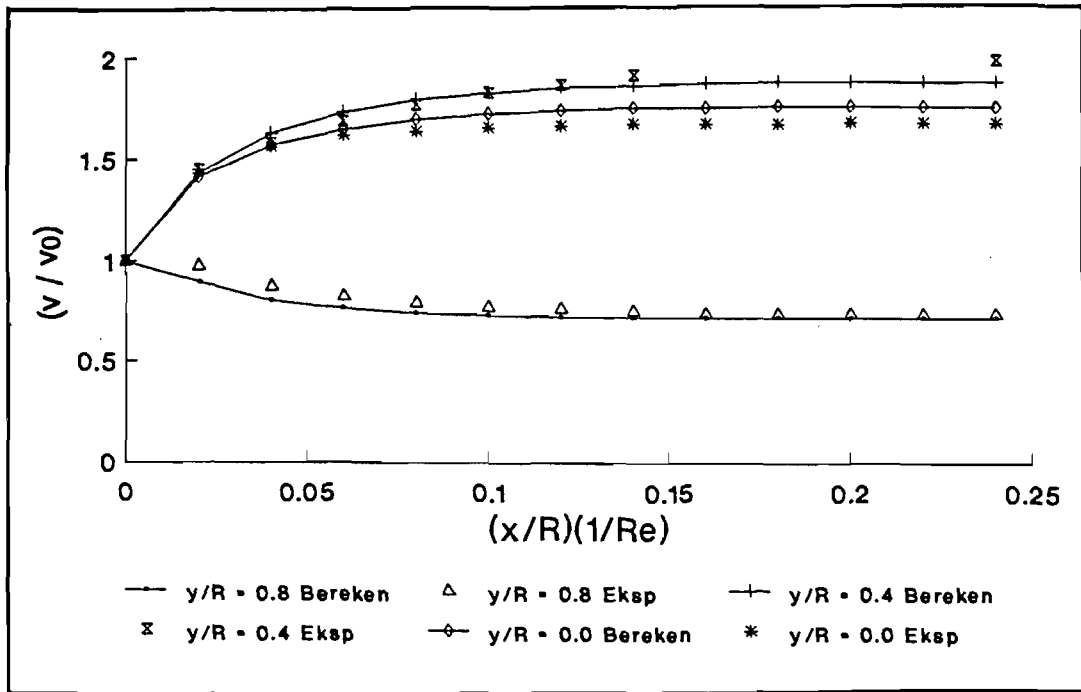
Die eerste evaluasie is uitgevoer deur laminêre vloeï deur 'n pyp te simuleer. Die oopfraksie in die pyp is as konstant ( $= 1$ ) oor die berekeningsgebied aanvaar en die fisiese eienskappe van die vloeïer is dieselfde as diè van lug by atmosferiese toestande. Die resultaat van die simulasie word in figuur 4.2 getoon. In hierdie figuur is die dimensielose vorm van die snelheid ( $v / v_0$ ), met  $v_0$  die inlaatsnelheid en  $v$  die snelheid by 'n gegewe punt, teenoor die dimensielose vloeïafstand  $(x / R)(1 / Re)$ , met  $x$  die vloeïafstand en  $R$  die pypradius, gestip.

Op 'n afstand 0.4 keer die radius vanaf die middellyn vergelyk die eksperimentele en berekende waardes goed. Naby die wand van die pyp is die numeries berekende waardes laer as die eksperimentele waardes. Uit hierdie resultate kan die afleiding gemaak word dat die berekende resultate vergelykbaar is met die eksperimentele waardes. Afwykings ontstaan naby die wand van die pyp, maar dit is steeds binne perke.

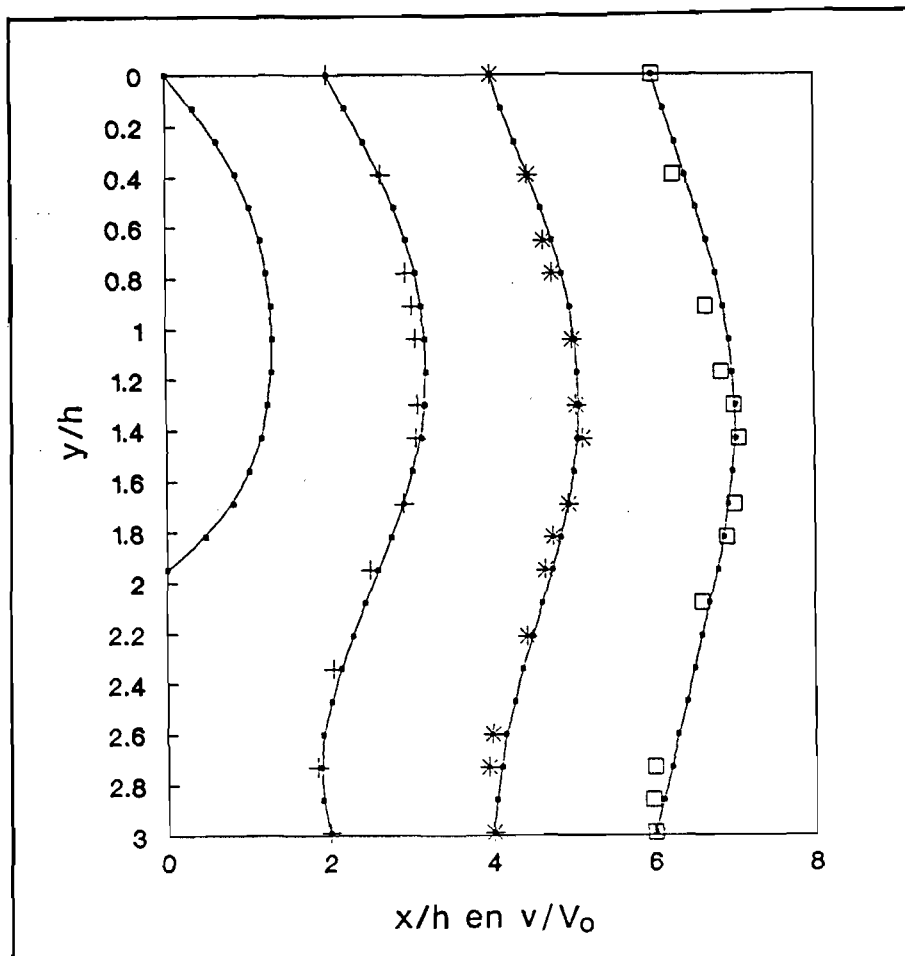
#### 4.3.2 Laminêre vloeï deur 'n trapuitset in 'n kanaal.

Die rede waarom vloeï deur 'n trapuitset in 'n kanaal beskou word is om die vermoë van die model om hersirkulerende vloeï te kan bereken, vas te stel.

Fig 4.3 toon die vergelyking tussen berekende en eksperimentele data wat deur Denham en Patrick (1974) gepubliseer is vir vloeï deur 'n trapuitset in 'n kanaal. Die grootheid ( $y / h$ ) met  $y$  die hoogte by 'n gegewe punt en  $h$  die traphoogte, is gestip teen



Figuur 4.2 Laminêre vloei-ontwikkeling deur 'n pyp.



Figuur 4.3 Laminêre vloei deur die trapuitset van 'n kanaal.

die dimensielose vloeilengte  $x/h$  en vloeisnelheid  $v/V_0$ . 'n Inlaatsnelheid van 82.5 cm/s is aanvaar vir die doel van die berekening wat neerkom op 'n Reynoldsgetal van 125.

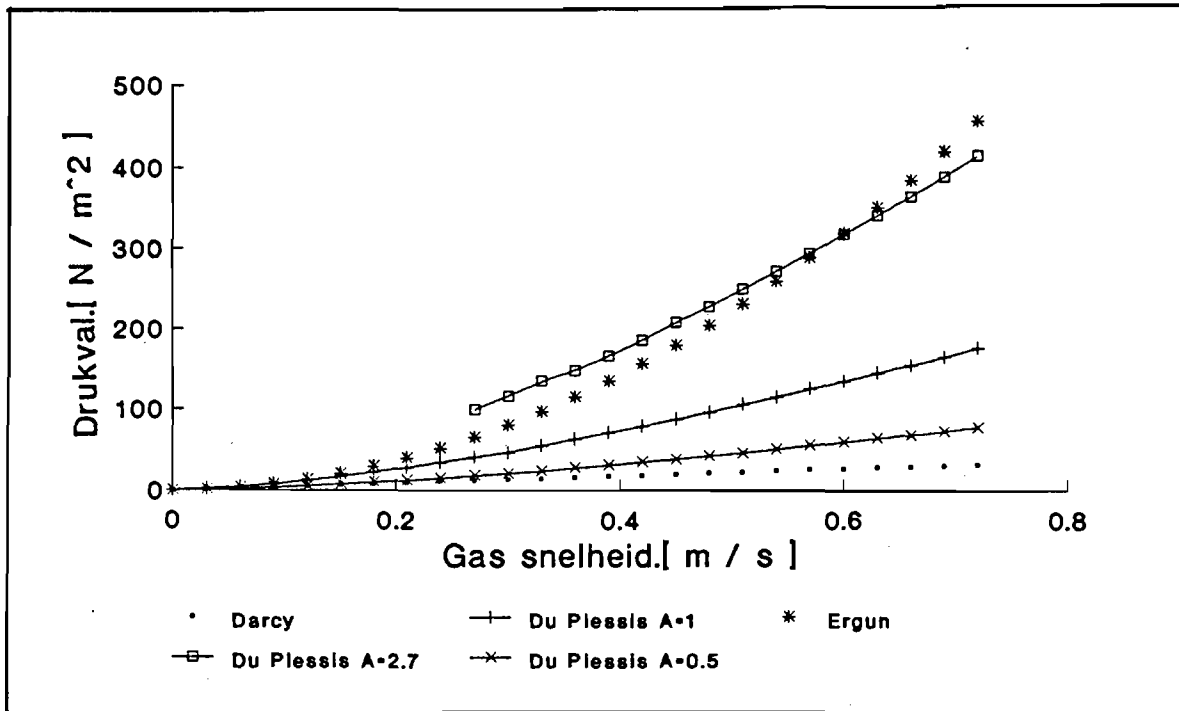
Uit figuur 4.3 is dit duidelik dat hersirkulasie wel deur die rekenaarprogram hanteer kan word. Die berekende waardes korreleer goed met die eksperimentele data. Naby die wand van die kanaal kom 'n afwyking tussen die berekende en eksperimentele data voor. Die afwyking is egter nie baie groot nie.

#### 4.3.3 Drukval.

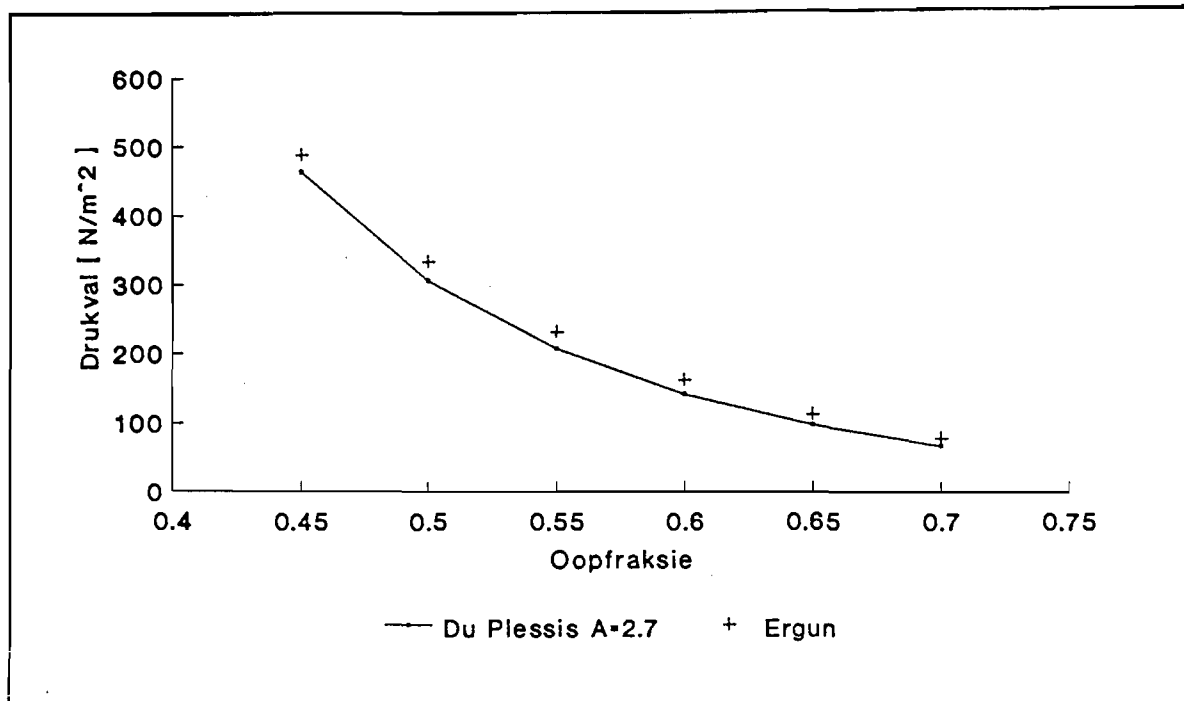
Die drukval soos voorspel deur die model word vergelyk met die drukvalle soos bereken met behulp van die Darcy en Ergun vergelykings. Hierdie twee vergelykings word gebruik in die vorm soos hulle in hoofstuk twee getoon is. Die vergelyking word gedoen deur die drukval van die gas oor 'n silinder van een meter radius en een meter hoog gevul met steenkool te bepaal. Die steenkool en die gas besit dieselfde fisiese eienskappe as die steenkool en gas binne die vergaser. Die radius van die silinder is só gekies dat die randwaardes van die gas geen invloed op die vloeisnelheid binne die silinder het nie. Die drukvalle is bepaal by gasvloeisnelhede ( $u$ ) van nul tot sewentig sentimeter per sekonde en die resultaat word in fig 4.4 getoon.

Uit fig 4.4 is dit duidelik dat die drukval soos voorspel deur Du Plessis se vergelyking nie korreleer met die Ergun vergelyking by hoë vloeisnelhede nie. Dit is ook bekend dat die Darcy vergelyking slegs geld by lae Reynoldsgetalle ( Osinski et al, 1989 ) wat die groot verskil tussen die Ergun en Darcy vergelykings verklaar. Die Ergun vergelyking is 'n vergelyking wat algemeen (hoë en lae Reynoldsgetalle) gebruik word vir die berekening van drukval deur 'n gepaktebed.

Omdat die Ergun vergelyking 'n algemeen bruikbare vergelyking is, is besluit om vergelyking 2.18, wat die krag beskryf wat die vaste bed op die vloeiër uitoefen, met 'n konstante faktor  $A$  te vermenigvuldig ten einde korrelasie met die Ergun vergelyking te verkry. Ter motivering van hierdie stap moet in gedagte gehou word dat die vergelyking 2.18 'n semi-empiriese vergelyking is en gebaseer is op 'n spesifieke aanname oor die aard van die vloei in die oopfraksie. Daar kan dus verwag word dat ( 2.18 ) nie baie goed vir spesifieke gevalle sal geld nie.



Figuur 4.4 Drukval vergelyking.



Figuur 4.5 Invloed van die oopfraksie.

Figuur 4.4 toon die invloed van die korrelasiefaktor A op die drukval. Dit is duidelik dat die model sensitief is vir die korrelasiefaktor. 'n Korrelasiefaktor van 2.7 korreleer die drukval die beste met die Ergun vergelyking by vloeitoestande in die boonste gedeelte van die vergasser waar die gassnelheid hoog is. In die onderste gedeelte van die vergasser waar die vloeisnelheid laag is, korreleer 'n korrelasiefaktor van 1 die beste met die Ergun vergelyking.

#### 4.4 Invloed van die oopfraksie.

In hierdie paragraaf word die invloed van die oopfraksie op die drukval bepaal deur beide die Ergun en simulasiemodel te gebruik.

Fig 4.5 toon die drukval soos bereken deur die Ergun vergelyking en die simulasiemodel by verskillende oopfraksies. Die fisiese data van die gepakte bed en die vloei is dieselfde as dié van die steenkool en gas in die vergasser. 'n Korrelasiefaktor van 2.7 word gebruik.

Fig 4.5 toon dat beide die vergelykings sensitief is vir 'n verandering in oopfraksie. Die korrelasie tussen die Ergun vergelyking en die model is baie goed.

#### 4.5 Bespreking.

In hierdie paragraaf word die toepasbaarheid van die program en die model op die vergasserprobleem in die algemeen bespreek.

Daar is getoon dat die SIMPLEX algoritme die vloeivergelykings bevredigend oplos. Die vloeisnelhede soos bereken deur die model korreleer goed met eksperimentele data.

Die volgende vraag wat beantwoord moet word is hoe akkuraat die wiskundige model die vloei deur 'n gepaktebed simuleer. Die vraag is beantwoord deur die model te vereenvoudig na 'n eendimensionele geval en die drukval (soos bereken deur die model) te vergelyk met drukvalle soos bereken deur bekende eendimensionele drukvalvergelings. Die resultaat word in figuur 4.3 getoon.

Uit figuur 4.3 is dit duidelik dat vir die voorbeeld onder beskouing die drukval ooreenstem met die Ergun teorie vir vloeisnelhede van tot 0.15 m/sek. 'n Afwyking kom by hoë vloeisnelhede voor en 'n korrelasiefaktor is nodig om die drukvalle te laat korreleer met goed aanvaarde vergelykings soos die Ergun vergelyking.

Faktore wat die afwyking beïnvloed is:

- *Die vereenvoudiging van die lynintegraal vergelyking (2.23).* Met die vereenvoudiging is van empiriese verwantskappe gebruik gemaak om die wrywing tussen die vloeier en gepaktebed te beskryf. By hoë vloeisnelhede word die wrywing onvoltoende beskryf.
- *Die vereenvoudiging van die vereenvoudige volume-element na die volume eenheid.* Die fisiese vorm van die pakkingsmateriaal oefen 'n invloed uit op die wrywing en drukval deur die gepaktebed. Die eienskap word nie in aanmerking geneem in Du Plessis et al (1990) se model nie.
- *Die gepakte materiaal word in die VES as verskuifd ten opsigte van mekaar georiënteer.* Indien 'n ander oriëntasie aanvaar word het dit 'n direkte invloed op die drukval.

'n Belangrike voordeel van Du Plessis se teorie is dat die oopfraksie aksiaal en radiaal gevarieer kan word in die simulاسie. Die sensitiwiteitsanalise toon dat die oopfraksie verspreiding 'n groot invloed op die drukval uitoefen. Dit is te wagte aangesien 'n kleiner oopfraksie die vloeiwêerstand verhoog en omgekeerd.

Die invloed wat die oopfraksie op die makroskopiese vloeiveld in 'n gepaktebed uitoefen word beskryf deur vergelyking ( 2.24 ). Dit is belangrik om daarop te let dat die drukval, as gevolg van die teenwoordigheid van die gepakte materiaal, afgelei is deur die volumetriese gemiddeld van die konveksie-, diffusie- en drukterme in die Navier-Stokesvergelýkings te bereken. *Die drukval word dus op 'n teoretiese basis uit die Navier-Stokes vergelykings afgelei.*

In 'n algemene rekenaarprogram soos Phoenix ( Rosten et al, 1983) wat'n stel oordrag-vergelykings oplos, kan die Ergun vergelyking gebruik word om momentumoordrag tussen die vloeier en die gepaktebed te beskryf.

#### 4.5 Opsomming.

In die hoofstuk is die integriteit van die rekenaarprogram en die wiskundige model deeglik nagegaan. Die model is getoets in 'n omgewing soortgelyk aan die omgewing binne die vergasser . Daar kan nou met vertroue voortgegaan word om die model te gebruik om die vloeipatrone in die vergasser te simuleer.

## 5 RESULTATE EN BESPREKING.

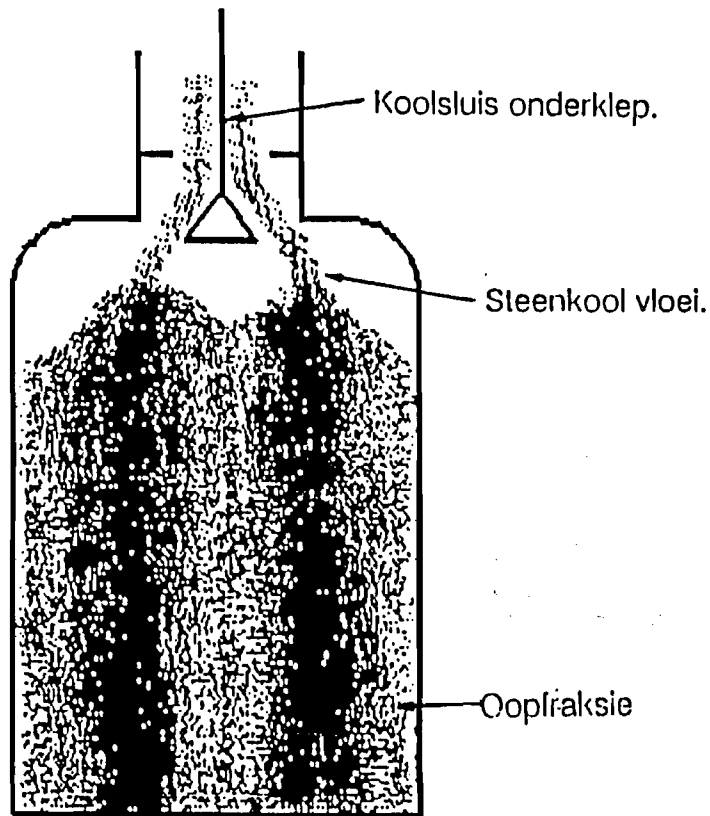
### 5.1 Inleiding.

In hierdie hoofstuk word die rekenaarprogram wat in die vorige hoofstukke ontwikkel en getoets is gebruik om die vloiepatrone binne die vergasser te simuleer. Die vloie-simulasies word gedoen om te bepaal watter parameters die grootste invloed het op die vloiepatrone binne die vergasser.

Die vloiepatrone bo in die vergasser word bereken vir verskillende gasuitlaatstelsels en steenkool oopfraksie verspreidings. Die vloiepatrone van die agent deur die as net bo die rooster word gesimuleer by verskillende agentverspreidings. Uit die vloiepatrone so verkry word afleidings gemaak oor watter parameters die grootste invloed het op die stabiliteit van die vergasser. Die afleidings word aan die einde van die hoofstuk behandel.

In die vorige hoofstuk is getoon dat die model sensitief is vir die oopfraksie verspreiding binne die gepaktebed daarom is dit nodig om vir 'n oomblik stil te staan by die oopfraksie verspreiding binne die vergasser. Die oopfraksie verspreiding word aan die hand van 'n voorbeeld verduidelik: Beskou 'n houer wat met 'n enkelstroom steenkool van bo af opgevol word. Die steenkool val op 'n hoop in die middel van die houer. Die groter stukke steenkool rol langs die hoop af en gaan lê in die buitenste anulus teen die wand van die houer. Dit veroorsaak dat die oopfraksie teen die wand van die houer groter is as die oopfraksie reg in die middel van die houer.

As gevolg van die koolsluis onderklep-geometrie en die sentrale gasuitlaat se geometrie word die steenkool in 'n ringvorm in die vergasser gelaai. Die aanname kan dus gemaak word dat die oopfraksie verspreiding binne die vergasser die vorm van 'n "W" aanneem ("Synthetic Fuel Report", 1989). Hierdie situasie word in figuur 5.1 getoon waar die wit agtergrond die oopfraksie aandui.



*Figuur 5.1* Oopfraksie verspreiding binne die vergasser

## 5.2 Invloed van die vergasseruitlaat.

Die oogmerk van die simulasies by die gasuitlaatstel is om te bepaal wat die invloed van die tipe gasuitlaatstel en die steenkool oopfraksie op die snelheidsprofiel bo in die vergasser is. Daar is aan die oogmerk voldoen deur die volgende vloeiëvalle te simuleer:

- Konstante oopfraksie verspreiding met steenkoolkeerplaat.
- "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met steenkoolkeerplaat.
- Konstante oopfraksie verspreiding met die sentrale gasuitlaat.
- "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met die sentrale gasuitlaat

### 5.2.1 Randwaardes.

Die bogenoemde gevalle is by gasvloei-snelhede gelyk aan die gemiddelde gasvrag van 'n vergasser gesimuleer. Daar is aanvaar dat oopfraksies wissel tussen 0.38 en 0.54, (Ranwell, 1987). Die binne-geometrie wat in die simulاسie gebruik word is dié van die werklike vergasser. Die gas word uit die steenkoolbed onttrek net onder die steenkoolkeerplaat of sentrale gasuitlaatsnelhede word op die uitvloeirandwaardes gespesifiseer. Die invloeirandwaardes word bereken en nie gespesifiseer nie. 'n Nul gradiënt randwaarde vir snelhede word op die invloeirand gebruik.

'n Rooster van 20 by 30 roosterpunte is gebruik met 'n spasiëring van 20 cm in die x-rigting en 33.3 cm in die y-rigting. Die fisiese data van die gas is bereken by die heersende druk en temperatuur binne die vergasser. Die randwaardes op die steenkoolkeerplaat is bereken deur die vloei op die plaat gelyk aan nul te stel. Dit impliseer dat die twee koëffisiënte langs die diagonaal van dié TDBM soos in hoofstuk drie verduidelik, gelyk aan nul gestel word. Die simulاسies word volledig aan die einde van die hoofstuk bespreek.

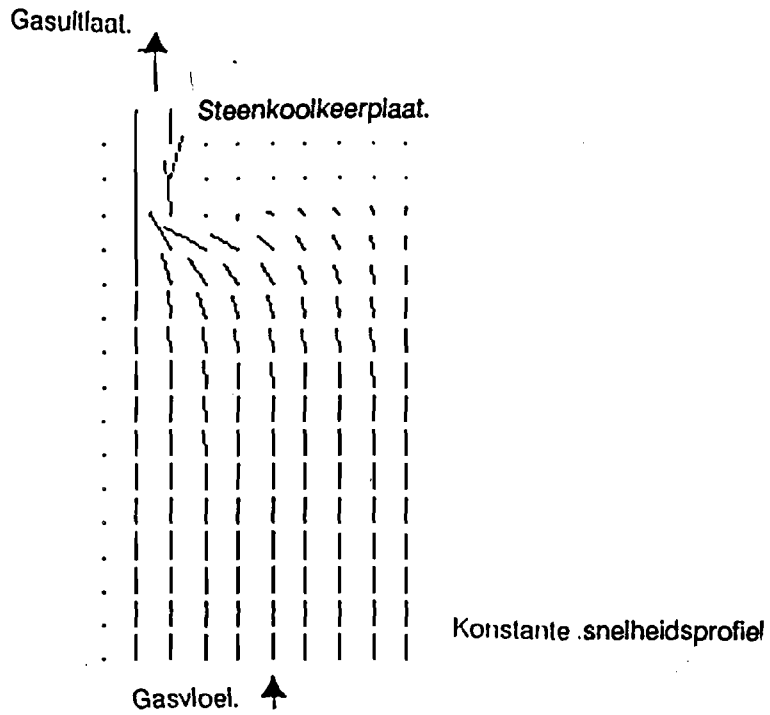
### 5.2.2 Resultate.

Die invloed van die tipe gasuitlaatstel en oopfraksie verspreiding op die vloei patroon bo in die vergasser word in figure 5.2 tot 5.5 getoon. Die figure stel die vloei patroon as 'n snelheidsvektorveld voor. Figure 5.6 tot 5.9 toon die snelheidsprofile.

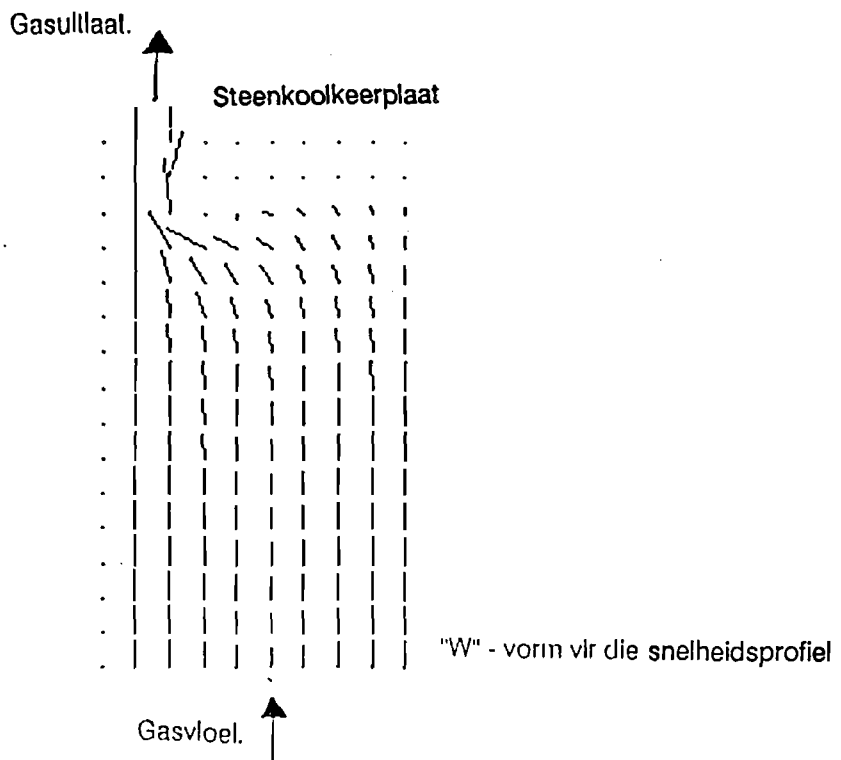
## 5.3 Bespreking van vloei patrone by vergasser uitlaatstel.

### 5.3.1 Inleiding.

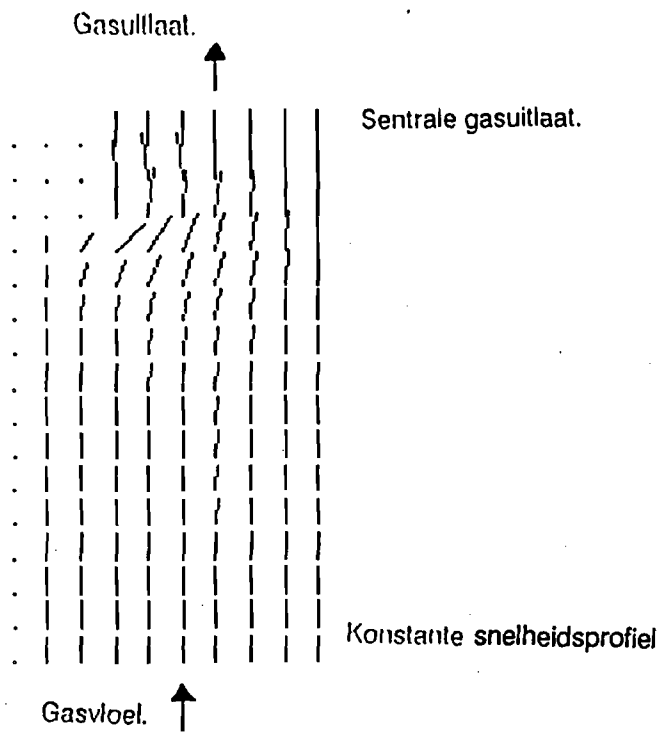
Die simulاسies is gedoen om te bepaal watter parameters die grootste invloed uitoefen op die vloei patroon binne die vergasser. Indien die parameters bekend is, kan aanbevelings gemaak word ten einde die vloei patroon binne die vergasser meer uniform te kry.



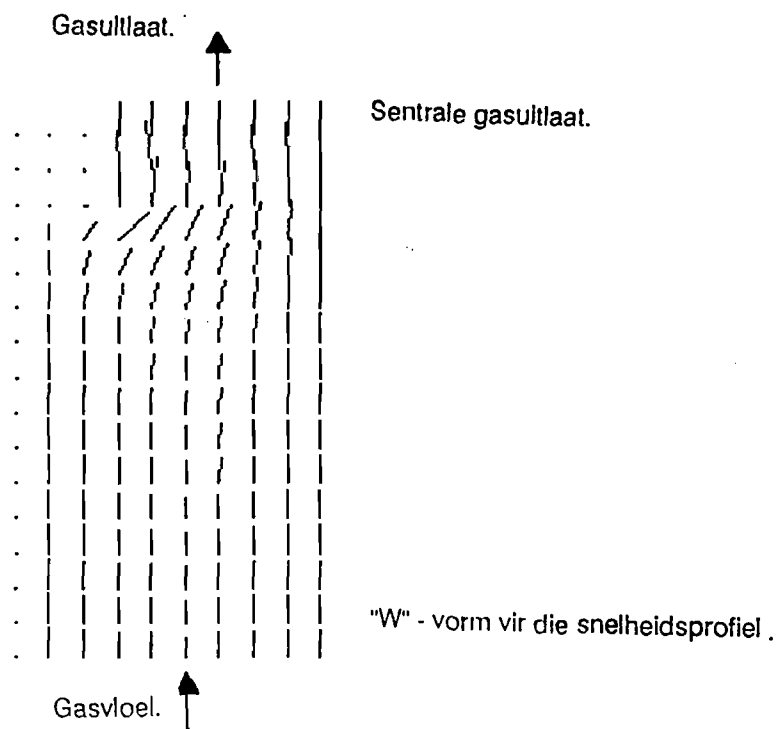
Figuur 5.2 Konstante oopfraksie verspreiding met 'n steenkoolkeerplaat.



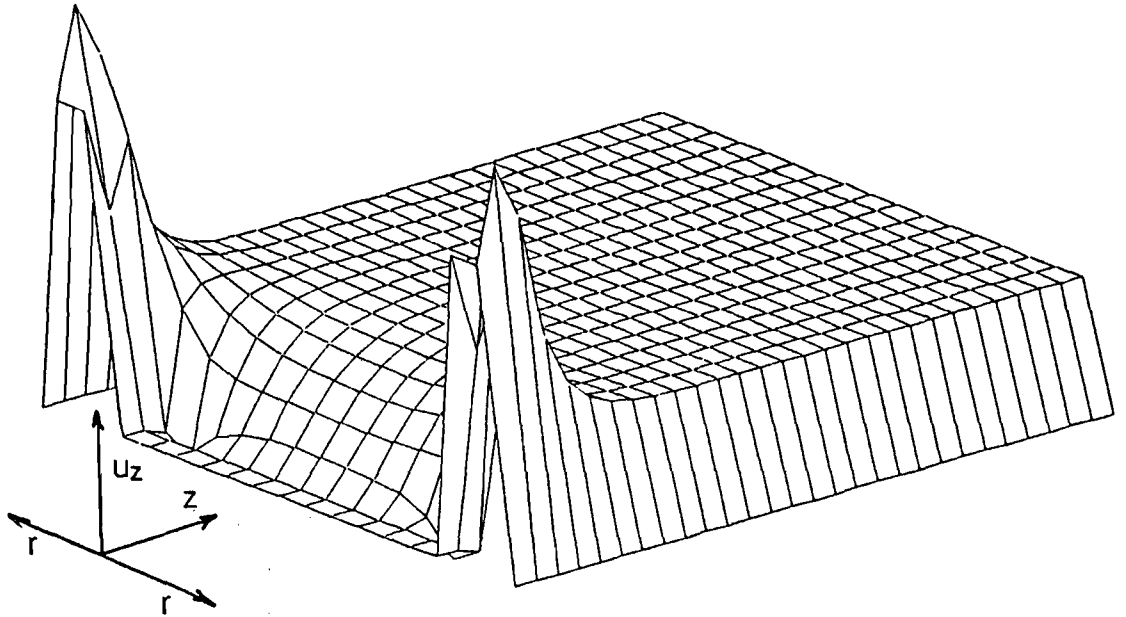
Figuur 5.3 "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met 'n steenkoolkeerplaat.



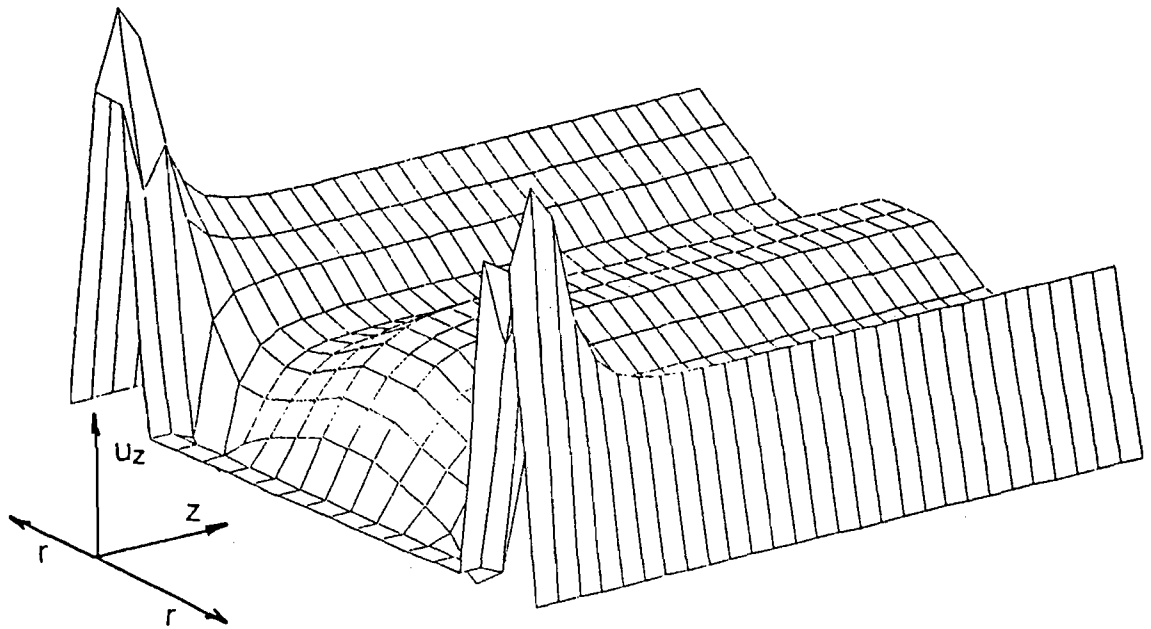
*Figuur 5.4* Konstante oopfraksie met 'n sentrale gasuitlaat.



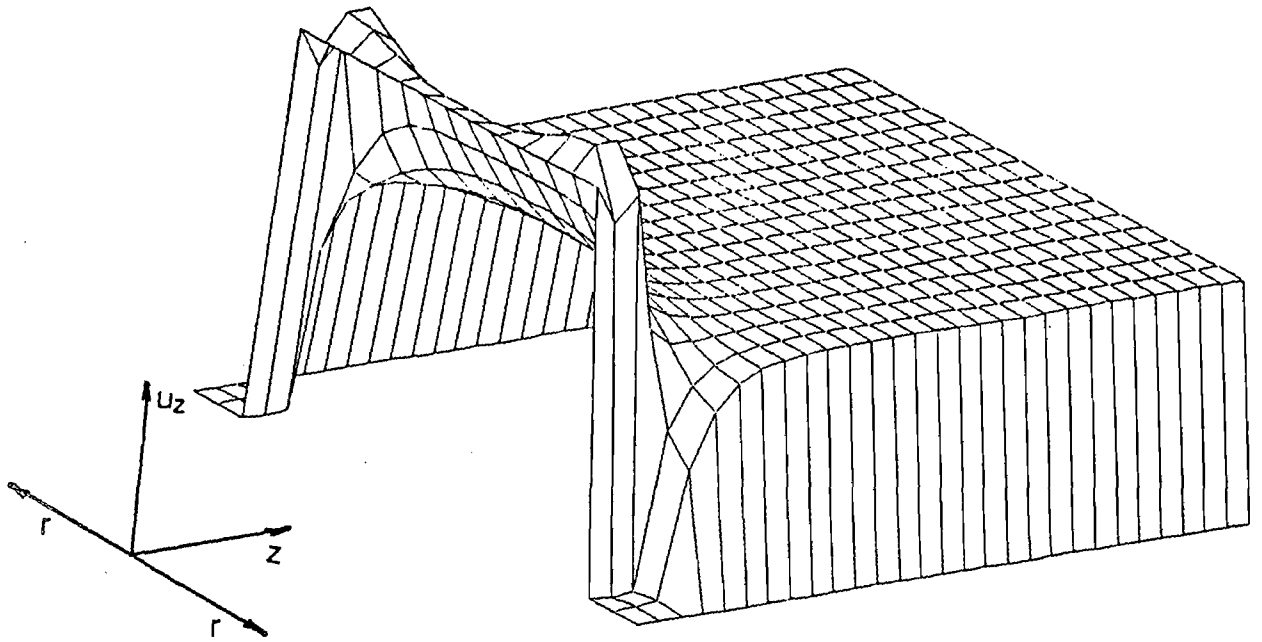
*Figuur 5.5* "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met 'n sentrale gasuitlaat.



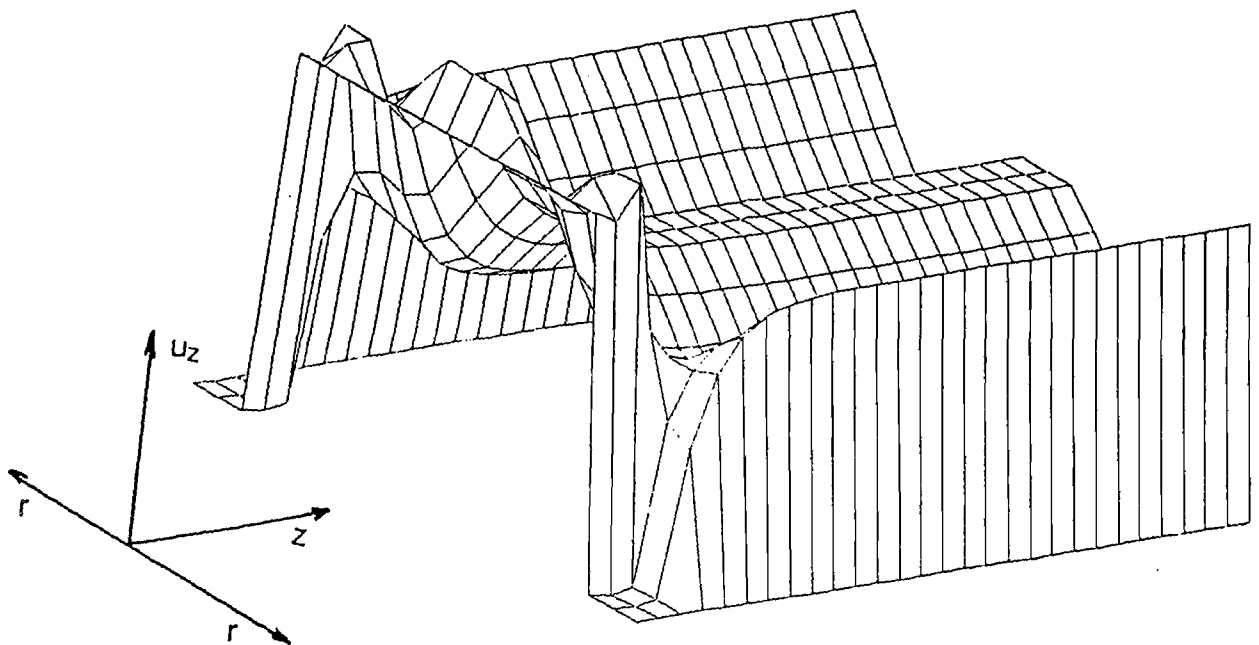
*Figuur 5.6* Snelheidsprofiel met konstante oopfraksie verspreiding en met 'n steenkool-keerplaat



*Figuur 5.7* Snelheidsprofiel met "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding met 'n steenkool-keerplaat



Figuur 5.8 Snelheidsprofiel met konstante oopfraksie verspreiding en met 'n sentrale gasuitlaat



Figuur 5.9 Snelheidsprofiel met "W" - vorm vir oopfraksie verspreiding en met sentrale gasuitlaat.

### 5.3.2 Vloeipatrone by vergasser uittlaatstel.

Die bespreking wat volg het betrekking op figure 5.2 tot 5.9 en op die numeriese resultate in bylaag C.

Dit is duidelik waarneembaar uit die simulاسie ( figure 5.2 tot 5.9 ) dat die vloeipatroon bo in die vergasser tot op 'n afstand van 1.3 meter onder die gasuitlaatstel, beïnvloed word deur die tipe gasuitlaatstel. Die vloeipatroon op 'n afstand van 1.3 meter en dieper in die vergasser word slegs deur die radiale oopfraksie verspreiding beïnvloed.

Verder kan waargeneem word dat daar geen gebied direk onder die steenkoolkeerplaat bestaan waar min of geen vloei plaasvind nie.

Die waarneming kan verklaar word deur die feit dat die gasuitlaat geen invloed het op die vloeiweerstand binne die vergasser nie. Die steenkool oopfraksie bepaal die vloeiweerstand binne die vergasser. Indien 'n egalige snelheidsprofiel gehandhaaf wil word, is 'n homogene oopfraksie verspreiding in die radiale rigting 'n vereiste.

Die oopfraksie van die steenkool word bepaal deur die steenkoolgrootte verspreiding, die vorm van die steenkool en die gemiddelde diameter van die steenkool (Kunii et al, 1980). 'n Manier om die oopfraksie bo in die vergasser homogeen te versprei is deur die steenkool te vermeng. Die steenkool wat in die vergasser gelaai word moet so ver as wat dit ekonomies moontlik is, homogeen vermeng wees. Verder is dit wenslik dat die steenkool op so 'n manier in die vergasser gelaai word dat die oopfraksie in die radiale rigting konstant is.

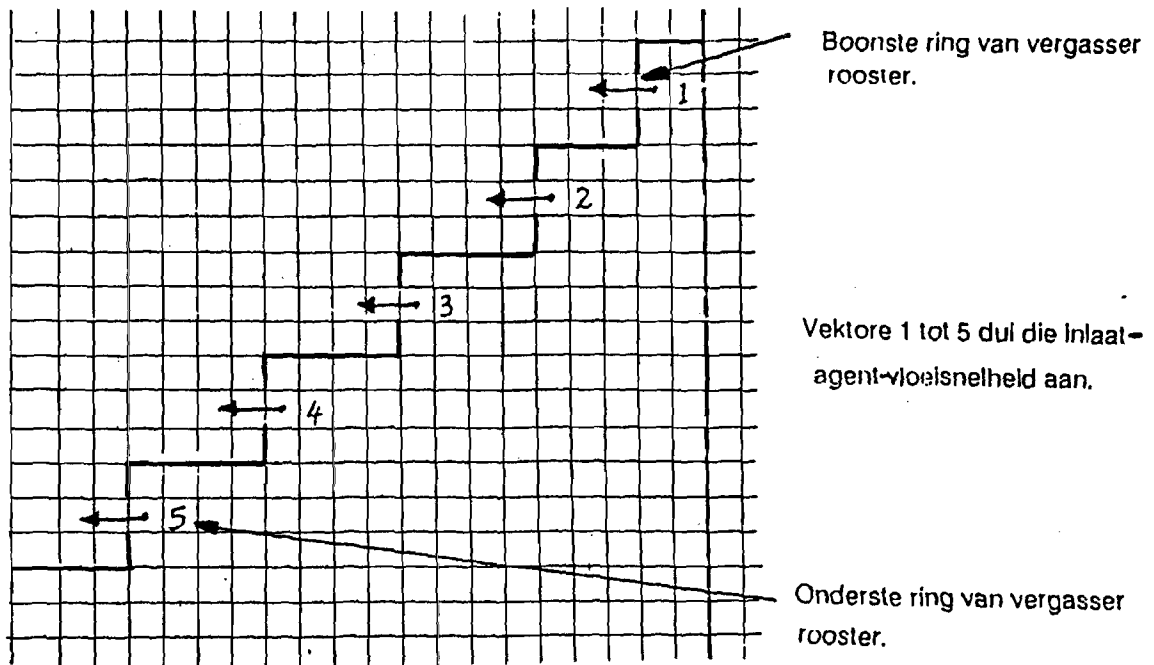
Die voordeel wat die sentrale gasuitlaat bo die steenkoolkeerplaat het, is die feit dat die sentrale gasuitlaat 'n laer gassnelheid het op die plek waar die gas die steenkool verlaat. Die snelheid is daar laer omdat die vloeioppervlak by die sentrale gasuitlaat groter is. Dit is bekend dat te hoë gassnelheid die steenkool kan oordra en sodoende lynaf toerusting verstop (Ranwell, 1987).

### 5.4 Invloed van die vergasserrooster.

In hierdie paragraaf word die invloed van die verskillende agentverspreidings deur die vergasserrooster, op die vloeipatroon net bo die vergasserrooster ondersoek.

### 5.4.1 Inlaatrandwaardes.

Die rooster onder in die vergasser is 'n geometries komplekse struktuur. In figuur 5.10 word getoon hoe die verspringende rooster die geometriese vorm van die vergasser-rooster benader.



*Figuur 5.10* Inlaatsnelhede in vergasserrooster.

Die verskillende agentverspreidings is gesimuleer deur die vloei-snelhede in die r-rigting by punte 1 tot 5 afsonderlik te varieer. 'n Nulgradiënt randwaarde vir snelhede word op die uitvloeirand gebruik.

Die fisiese eienskappe van die agent is bereken by die heersende druk en temperatuur net bo die rooster. 'n Rooster van 20 by 20 roosterpunte word gebruik met 'n spasiëring van 10 cm by 10 cm.

### 5.4.2 Resultate.

Die simulaties is gedoen by 'n normaal gemiddelde gasvrag. Figuur 5.11 toon die vloei-patroon net bo die rooster met die maksimum vloeisnelheid deur die middelring van die rooster en die minimum vloeisnelheid deur die buitering van die rooster. Figuur 5.12 dui die vloei patroon aan vir 'n agentverspreiding waar die maksimum vloeisnelheid in die buitenste ring en die minimum in die middelste ring plaasvind. Figuur 5.13 dui die vloei patroon aan waar die vloeisnelhede ewe hoog is deur al die ringe van die vergasser. In die simulaties word die oopfraksie verspreiding as konstant aanvaar (0.4). Figure 5.14 tot 5.17 toon die snelheidsprofile.

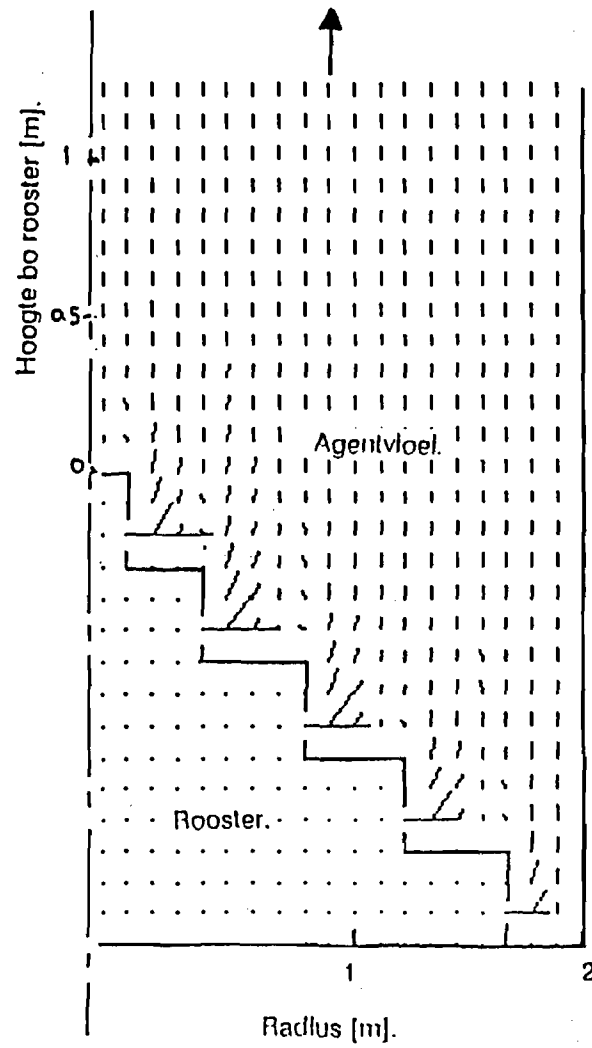
### 5.5 Bespreking van vloei patrone net bo vergasserrooster.

Die bespreking wat volg het betrekking op figure 5.11 tot 5.17 en die numeriese resultate in bylaag C

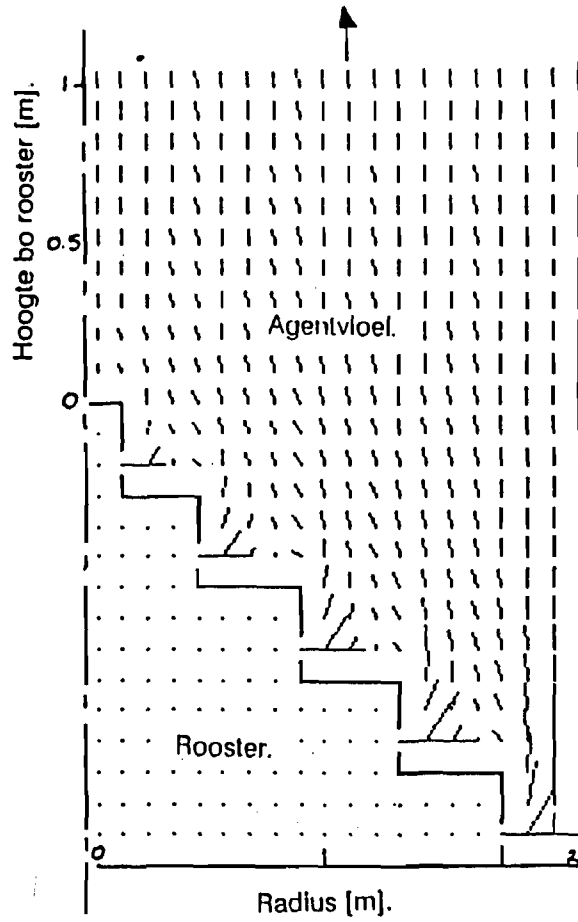
Uit figure 5.11 tot 5.17 kan gesien word dat die agentverspreiding deur die vergasser-rooster slegs die vloei in die onmiddelike gebied bo die rooster beïnvloed. 'n Ent weg van die rooster het die agentverspreiding baie min invloed op die vloei patrone deur die vergasser. Die steenkool-as dien dus as 'n ideale agentverspreider. Uit die simulaties is bepaal dat die gemiddelde afstand wat dit die agent neem om te vermeng, 0.6 meter is. Die verskillende agentverspreidings het dus nie 'n groot invloed het op die snelheidsprofiel binne die vergasser nie.

### 5.6 Opsomming

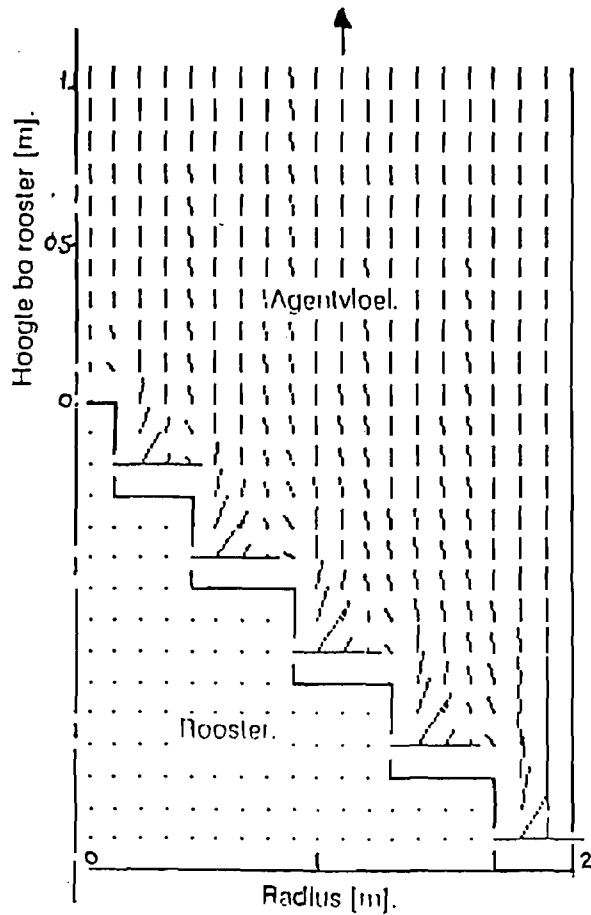
In hierdie hoofstuk is die berekende resultate getoon. Hieruit kon 'n duidelike beeld van die vloeiveld binne die vergasser waargeneem word en aanbevelings vir verbeterde vloei is gemaak. In die volgende hoofstuk word hierdie studie kortliks saamgevat.



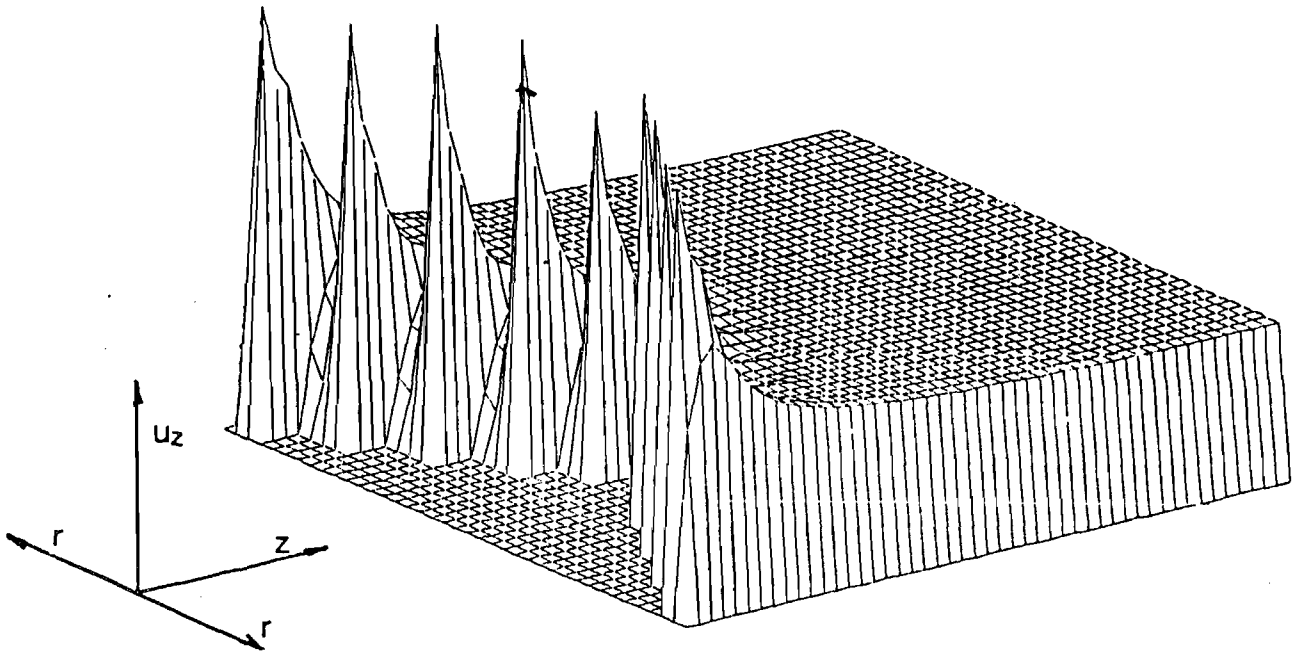
*Figuur 5.11* Vloei deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die boonste ring.



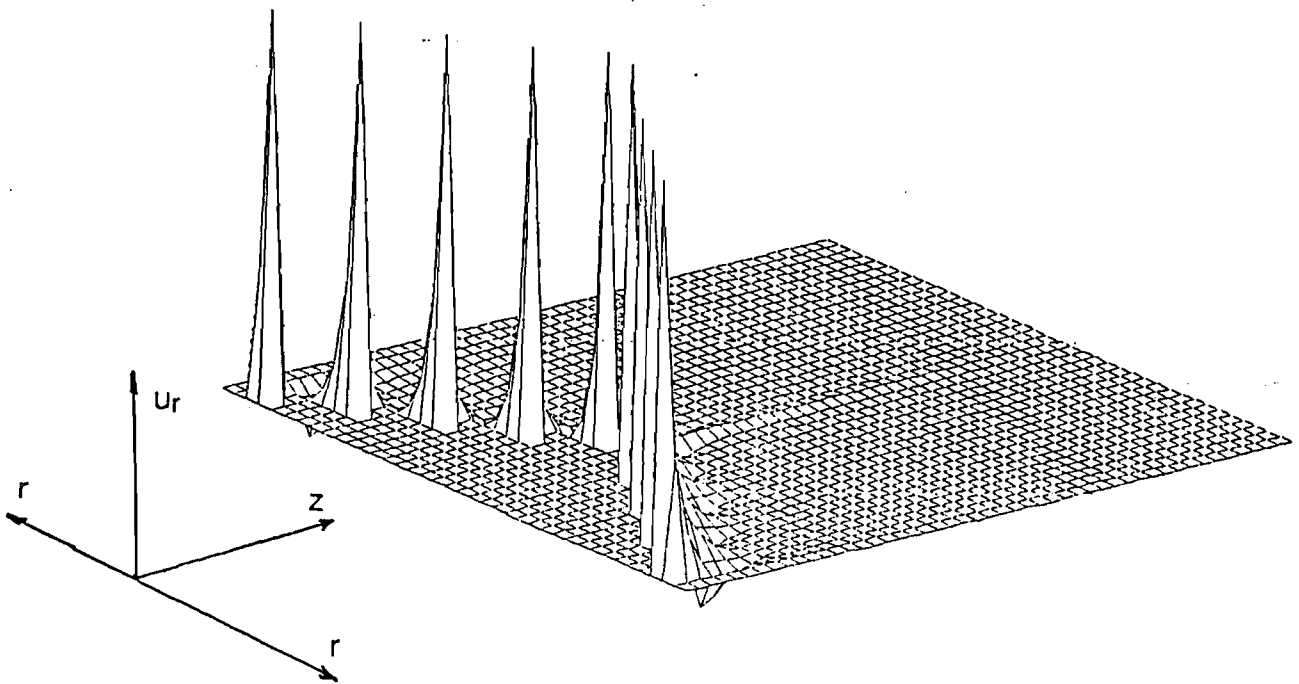
Figuur 5.12 Vloei deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die onderste ring.



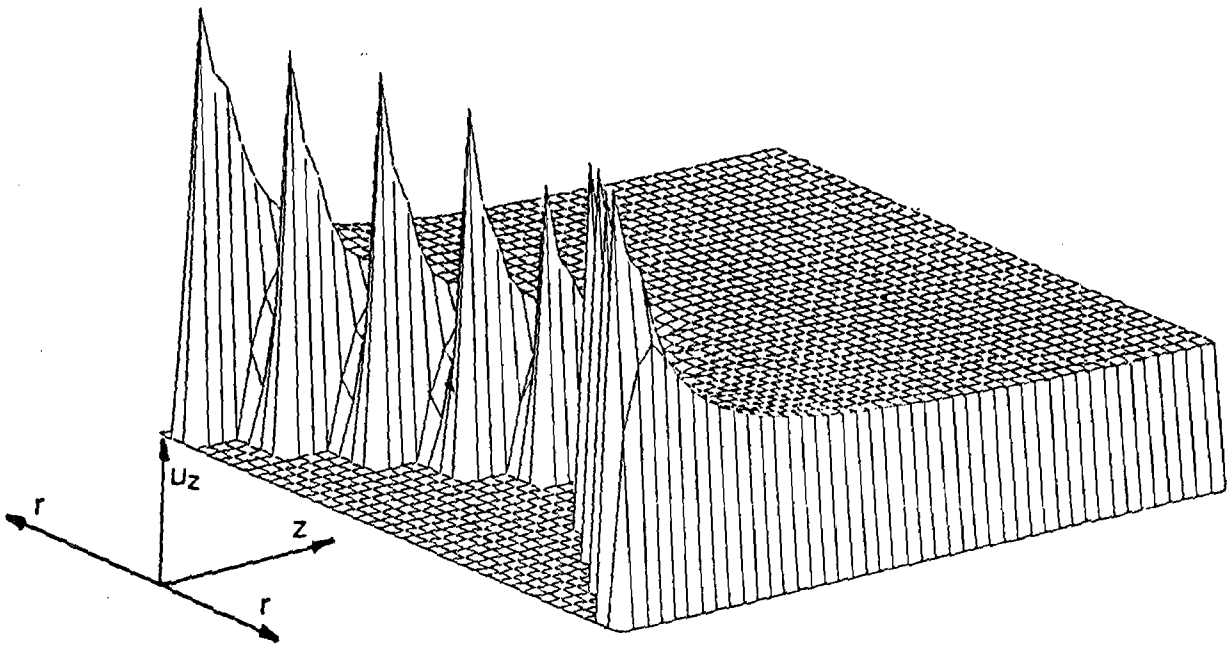
Figuur 5.13 Vloei deur die vergasserrooster met homogene vloeisnelhede deur al die ringe.



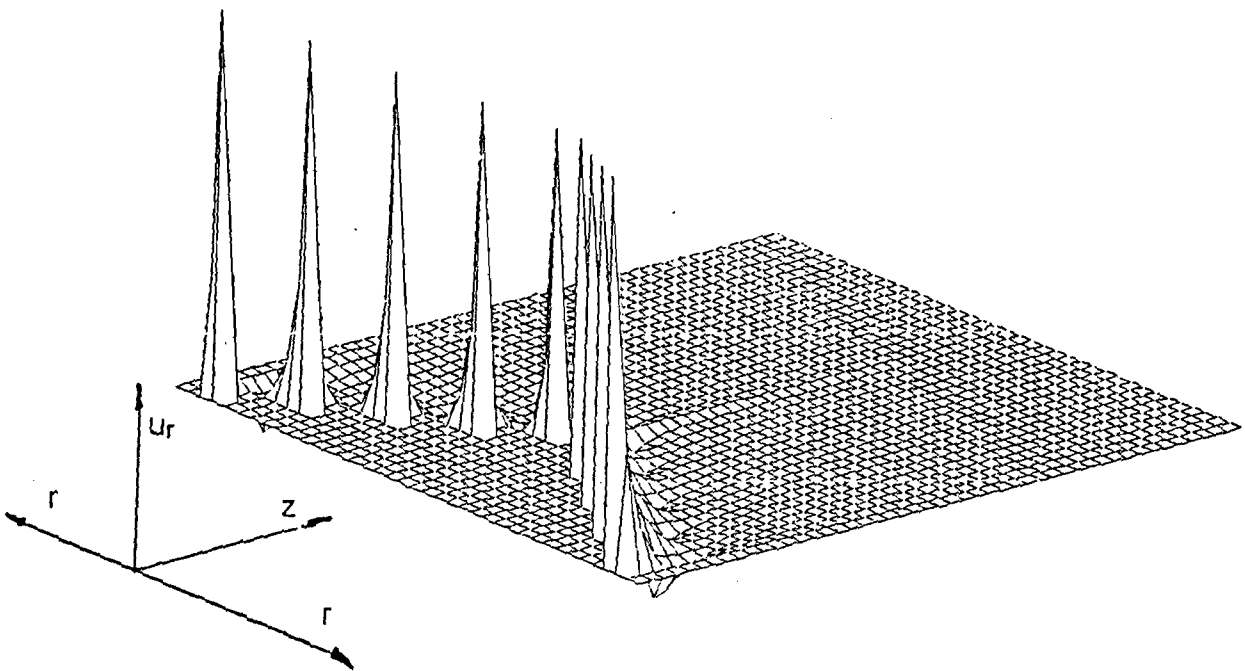
Figuur 5.14  $U_z$ -Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die boonste ring.



Figuur 5.15  $U_r$ -Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met hoë vloeisnelheid in die boonste ring.



Figuur 5.16  $U_z$ -Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met homogene vloeisnelhede deur al die ringe.



Figuur 5.17  $U_r$ -Snelheidsprofiel deur die vergasserrooster met homogene vloeisnelhede deur al die ringe.

## 6 SAMEVATTING.

### 6.1 Samevatting.

In die studie is gepoog om kennis oor die vloeipatrone van die gas binne die Lurgi Merk IV vergasser in te win. Dit is gedoen deur die gasvloei numeries te simuleer. Die simulاسie is apart gedoen vir die boonste en onderste gedeeltes van die vergasser. Met behulp van die simulاسies kon die effek van die steenkool oopfraksie, die tipe gasuitlaatstel en die agentverspreiding op die snelheidsprofiel binne die vergasser gesimuleer word.

Die simulاسies het getoon dat die tipe gasuitlaatstel, die snelheidsprofiel tot op 'n afstand van 1.3 meter onder die onderpunt van die uitlaatstel beïnvloed. Die agentverspreiding beïnvloed die stoom en suurstof snelheidsprofiel tot op 'n afstand van 0.6 meter bo die bopunt van die rooster.

*Die steenkool oopfraksie verspreiding speel die leidende rol in die vorming van snelheidsprofiel binne die vergasser.*

*Die aanbevelings wat gemaak is, is daarop gemik om die steenkool oopfraksie so homogeen as moontlik te versprei binne die vergasser. Verder word aanbeveel dat die agentmassavloei so homogeen moontlik deur die vergasserrooster versprei word.*

### 6.1 Tekortkominge van die studie en moontlikhede vir verdere studie.

Die gepaktebed simulاسie is so beskryf dat die geometrie aangepas kan word vir enige reaktor binne-geometrie. Die rekenaarprogram kan dus gebruik word om gepaktebed reaktore se binne-geometrie te ontwerp. Die moontlikheid dat warm of koue kolle as gevolg van 'n onegalige snelheidsprofiel binne die reaktor kan ontstaan, word so doende geminimiseer.

Momentumoordrag alleen verklaar nie al die uniformiteit in die snelheidsprofiel binne die vergasser nie. Die momentumoordragvergelyking het slegs die vloeipatrone in die boonste en onderste gedeeltes van die vergasser verklaar. Die "W" vorm van die asbed word deur die reaksietempo van die steenkool beïnvloed en nie net deur die vloeipa-

trone binne die vergasser nie. Die massa- gekoppel met energieoordrag moet ook gesimuleer word om 'n volledige vergassermodel te ontwikkel. Met behulp van so 'n model sal kennis oor die volgende onderwerpe ingewin kan word:

- Die ontwikkeling van warm en koue kolle binne die vergasser.
- Die ontwerp van 'n nuwe vergasser.
- Gebruik van fyner steenkool.
- Optimisering van die binnegeometrie van die vergasser.
- Vergasserbeheer.

Die studie het getoon dat die komplekse vloei in die vastebed vergasser suksesvol met behulp van 'n berekeningsvloeiemechanika model opgelos kan word, en dat waardevolle kennis sodoende opgedoen word.

## 7. VERWYSINGS

ANDERSON, D.A., TANNEHILL, J.C. & PLETCHER, R.H. 1984. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. Washington: McGraw-Hill.

BIRD, B.R., STEWARD, W.E. & LIGHTFOOT, E.N. 1960. Transport Phenomena. New York: Wiley.

DENN, M., WEI, J.Yu, W.C. & CWIKLINSKI, R. 1982. Detailed Simulation of a Moving-Bed Gasifier. Research Project 1268-1. M.I.T. U.S.A.

DENHAM, M.K. & PATRICK, M.A. 1974. Laminar flow over a downstream facing step; in a two-dimensional flow channel. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 52: 361 - 367.

Du PLESSIS, J.P. & MASLIYAH, J.H. 1987. Mathematical modelling of flow through isentropic porous media. Report TW 87-4, Department of applied Mathematics, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa.

Du PLESSIS, J.P. 1988. On the computation of flow through a composite porous domain. (In Proceedings of the vii international conference on computational methods in water resources, M.I.T. Cambridge, U.S.A. p. 77-82.)

Du PLESSIS, & P.J. MASLIYAH, J.H. 1990. Flow through isentropic granular porous media. University of Pretoria, South Africa. (Oorspronklike kopie in besit van outeur.)

GLOVER, G. 1989. An experimental study of the physical and chemical processes occurring within a Lurgi Mark iv Gasifier with a view to determining an optimisation path. Internal report, Sastech, Sasolburg, South Africa.

- ISSA, R. I. November 1984. Solution of the Implicitly Discretised Fluid Flow Equations by Operator-Splitting. *Journal of Computational Physics*, 6: 40 - 65.
- KOPER, E.L. 1988. Evaluation of central gas outlet on gasifier 26. Internal report, Sasol two, Secunda, South Africa.
- KUNII, D. & LEVENSPIEL, O. 1977. Fluidization Engineering. New York: Krieger.
- OSINSKI, E.J. BARR, P.V. en BRIMACOMBE, J.K. 1989. Mathematical Model for Gas Flow Through a Packed Bed in the Presence of Sources and Sinks: *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 67: 722-730.
- PATANKAR, S.V. 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. New York McGraw-Hill Book Company.
- RANWELL, P. 1987. Fluïdisasie in die Lurgi-Vergasser. Interne verslag, Sasol een, Sasolburg Suid Afrika.
- RANWELL, P. 1988. Uitgrawings uit die no 15 vergasser. Interne verslag, Sasol een, Sasolburg, Suid Afrika.
- ROSEN, H.I. SPALDING, D.B. & TATCHELL D.G. 1984. Phoenics: A General-purpose Program for Fluid-Flow, Heat-Transfer and Chemical-Reaction Processes. Concentration Heat and Momentum Limited: 639 - 647.
- SCHLICH, E. 1977. Mathematisches Modell Für die Vergasung und Verbrennung von Steinkohle unter Druck. Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Bonn.
- SINOR, J.E. ed. 1989. Fine Particles Reduce Oil Yield in Moving Bed Reactors: *Synthetic Fuels Report*, 2-23 - 2-26.

VAN DOORNMAAL, J.P. & RAITBY, G.D. 1984. Enhancements of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows. (In Numerical Heat Transfer, New York, Hemisphere Publication Corporation, 7: 147-164.)

VISSER, J. A. May 1989. Numerical Modelling of Combustion; Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy of Mechanical Engineering; University of Pretoria.

## BYLAAG A Diskretisering van die momentum en kontinuïteitsvergelykings.

Diskretisering van die momentum en die kontinuïteitsvergelykings word aan die hand van figuur A.1 verduidelik.

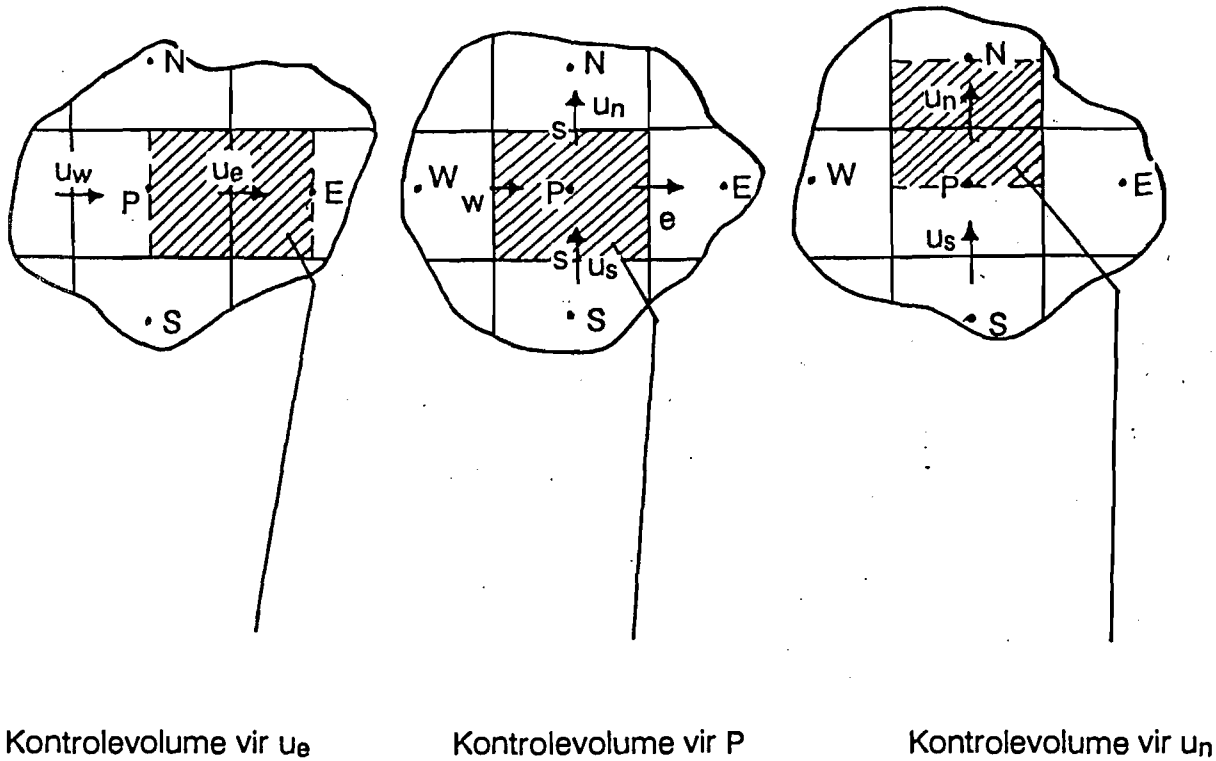


Fig A.1 Kontrole volumes vir diskretisering.

Die z-momentumvergelyking word gegee deur :

$$\frac{\rho}{r} \frac{\partial(u_r u_z / n)}{\partial r} + \rho \frac{\partial(u_z u_z / n)}{\partial z} = -n \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial(u_z)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + \mu F u_z \quad (\text{A.1})$$

Deur vergelyking (A.1) oor die  $U_e$ -kontrole volume wat in figuur A.1 getoon word te diskretiseer word die volgende vergelyking verkry:

$$((\rho u_z u_z)_e - (\rho u_z u_z)_w) \frac{\Delta r}{n} + \frac{1}{r} ((\rho r u_r u_z)_n - (\rho r u_r u_z)_s) \frac{\Delta z}{n} =$$

$$\begin{aligned}
& -(p_o - p_w) \Delta r n + \frac{1}{r} \left( \left( \mu r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right)_n - \left( \mu r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right)_s \right) \frac{\Delta z}{n} \\
& + \frac{1}{r} \left( \left( \mu r \frac{\partial u_r}{\partial z} \right)_n - \left( \mu r \frac{\partial u_r}{\partial z} \right)_s \right) \frac{\Delta z}{n} + \mu F u_z .
\end{aligned} \tag{A.2}$$

Deur gebruik te maak van die metode van opstroomdifferensiering ( Patankar, 1972) kan vergelyking (A.2) in die volgende vorm geskryf word:

$$\begin{aligned}
& + ((\rho u_{zw}, 0)) u_{zP} \frac{\Delta r}{n} - \frac{1}{r_P} ((-\rho r_n u_{rn}, 0)) u_{rN} \frac{\Delta z}{n} + \frac{1}{r_P} ((\rho r_n u_{rn}, 0)) u_{rP} \frac{\Delta z}{n} \\
& - ((-\rho u_{ze}, 0)) u_{zE} \frac{\Delta r}{n} + ((\rho u_{ze}, 0)) u_{zP} \frac{\Delta r}{n} - ((\rho u_{zw}, 0)) u_{zW} \frac{\Delta r}{n} \\
& - \frac{1}{r_P} ((\rho r_s u_{rs}, 0)) u_{rS} \frac{\Delta z}{n} + \frac{1}{r_P} ((-\rho r_s u_{rs}, 0)) u_{rP} \frac{\Delta z}{n} = -(P_o - P_w) \frac{\Delta r}{n} \\
& + \frac{r_n}{r_P} \mu \Delta z \left( \frac{u_{zN} - u_{zP}}{\Delta r_n} \right) - \frac{r_s}{r_P} \mu \Delta z \left( \frac{u_{zP} - u_{zS}}{\Delta r_s} \right) \\
& + \frac{r_n}{r_P} \mu \Delta z \left( \frac{u_{rne} - u_{rnw}}{\Delta z} \right) - \frac{r_s}{r_P} \mu \Delta z \left( \frac{u_{rse} - u_{rsw}}{\Delta z} \right) + \mu F u_r ,
\end{aligned} \tag{A.3}$$

waar (( A, B )) die max van A of B is.

Indien vergelyking (A.3) met  $\tau_f$  vermenigvuldig word kan die algemene vorm van die z-momentum as volg geskryf word.

$$\alpha_P u_{zP} = \alpha_n u_{zN} + \alpha_s u_{zS} + \alpha_e u_{zE} + \alpha_w u_{zW} + b , \tag{A.4}$$

met

$$\alpha_n = ((-\rho r_n u_{rn}, 0)) \frac{\Delta z}{n} + \mu r_n \frac{\Delta z}{\Delta r_n}$$

$$\alpha_s = ((\rho r_s u_{rs}, 0)) \frac{\Delta z}{n} + \mu r_s \frac{\Delta z}{\Delta r_s}$$

$$\alpha_e = ((-\rho u_{ze}, 0)) r_p \Delta r / n$$

$$\alpha_w = ((\rho u_{zw}, 0)) r_p \Delta r / n$$

$$b = (p_w - p_e) r_p \Delta r n + r_n \mu \left( \frac{u_{rne} - u_{rnw}}{\Delta z} \right) - r_s \mu \left( \frac{u_{rse} - u_{rsw}}{\Delta z} \right) + \mu F u_r.$$

Die r-momentumvergelyking word op presies die selfde wyse gediskretiseer om 'n vergelyking te lewer met die selfde vorm as (A.4).

Die kontinuïteitsvergelyking word gegee deur:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial (r u_r)}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (\text{A.5})$$

Die kontinuïteitsvergelyking word gediskretiseer deur die kontrolevolume vir P wat in figuur A.1 getoon word te beskou.

Na diskretisasie word die volgende vergelyking verkry:

$$\frac{1}{r_p} ((\rho r u_r)_n - (\rho r u_r)_s) \Delta z + ((\rho u_z)_e - (\rho u_z)_e - (\rho u_z)_w) \Delta r = 0. \quad (\text{A.6})$$

Vervanging van vergelykings (3.6), (3.7) en (3.9) in (A.6) lei tot:

$$\alpha_p P_p = \alpha_n P_n + \alpha_s P_s + \alpha_e P_e + \alpha_w P_w + b, \quad (\text{A.7})$$

met:

$$\alpha_n = \frac{\rho r_n \Delta z r_p \Delta z}{\alpha_n}$$

$$a_e = \frac{\rho r_p \Delta r r_p \Delta r}{a_e},$$

$$a_w = \frac{\rho r_p \Delta r r_p \Delta r}{a_w},$$

$$b = (\rho r_n u_{rn}^* - \rho r_s u_{rs}^*) \Delta z - (\rho u_{ze}^* - \rho u_{zw}^*) r_p \Delta r.$$

## BYLAAG B Uitdruk van rekenaarprogram

```
{ $r- } { $s- } { $d+ } { $n+ } { $v+ } { $f+ }
```

```
program simggpr1;
```

- ```
{ 1. Program using Semi-Implicit Method for
  Pressure Linked Equations ; Consistant
  2. Limited to Two Dimensions.
  3. Using an Upwind Scheme to
  solve the momentum equations.
  cf. Patankar p82 }
```

```
uses crt, graph;
```

```
type
```

```
mat2d = array[1..80,1..80] of real;
mat1d = array[1..80,1..80] of integer;
jrow = array[1..80] of real;
mat1d = array[1..80] of integer;
```

```
var
```

```
e, f, a, b, c, d, x, y, r : jrow;
n : ^mat1d;
jmin, jmax, imax, imin : mat1d;
er, refer : array[1..4] of real;
v1, v1star, v2, v2star, pp, p, eu, ev,
aan, aas, aae, aaw, aap, bbb, f1, f2 : ^mat2d;
i, im, imm1, imm2, ic1, j, jm, jmm1, jmm2, j1,
jcl, iter, imh, maxiter, ans : integer;
, gd, gm, kleur, xx1, xx2, yy1, yy2 : integer;
xmax, ymax, dx, dy, ue, uw, un, us, ve,
vw, vn, vs, fe, fw, fn, fs, frac,
s1, s2, slo, s2o, x1,
vlin, v2in, rexv1, rexv2, rexp, rho, mu,
nu, de, dw, dn, ds, ap, ae, aw, an, as, bb, aa
, grootte, max, hhh, grmax, ww, qq, ff, tt,
dd, por, dpp, tt1, tt2, tt3, tt4, Reqd, landa : real;
```

```
{ ***** PROCEDURES ***** }
```

```
{ ----- input ----- }
```

```
procedure input;
```

```
begin
```

```
xmax := 1; { Hoogte van silinder [m].}
ymax := 0.1; { Radius van silinder [m].}
im := 10; { Aantal inkrimente van die hoogte.}
jm := 10; { Aantal inkrimente van die radius.}
ic1 := 3; { i punt van trap by die inlaat.}
jcl := 7; { j punt van trap by die inlaat.}
rexv1 := 0.4; { Relaksasie faktor van uz.}
rexv2 := 0.4; { Relaksasie Faktor van ur.}
rexp := 1.0; { Relaksasie faktor van die druk korreksie.}
mu := 2.0e-3; { Fiskositeit van die gas cP.}
rho := 1; { Digtheid van die gas in [kg/m^3].}
por := 0.9995; { Oopfraksie van die gepaktebed.}
dpp := 0.025; { Gemiddelde partikel diameter. [m]}
```

```

landa := 1;           { Korelasie faktor vir drukval.}
vlin  := 0.5;        { Inlaat snelheid vir uz}
v2in  := 0;         { Inlaat snelheid vir ur}
nu := mu/rho;
imm1 := im-1;
jmm1 := jm-1;
imm2 := im-2;
jmm2 := jm-2;
imh := round(im/2);
maxiter := 50;      { Aantal iterasie stappe}

```

```
end;
```

```
{----- procedure printver1 -----}
```

```
{Druk antwoorde op uitvoer leer uit}
```

```
Procedure printver1(vx : mat2d);
```

```

var
  jj : integer;
  JAN : TEXT;
begin
  ASSIGN(JAN, 'DATA.DAT');
  REWRITE(JAN);
  write(' '); for i := 1 to imh do write(i:6); writeln;
  for jj := 1 to jm do
    begin
      j := jm+1-jj; write(j:5);
      for i := 1 to imh do
        write(vx[i,j]:8:4); writeln;
      end;
      writeln;
      write(' '); for i := imh+1 to im do write(i:6); writeln;
      for jj := 1 to jm do
        begin
          j := jm+1-jj; write(j:5);
          for i := imh+1 to im do write(vx[i,j]:8:4); writeln;
        end;
        for j := 1 to jm do
          BEGIN
            for i := 1 to im do
              write(JAN, vx[i,j]:8:4);
              writeln(JAN);
            END;
          CLOSE(JAN);
        end;
      end;
end;

```

```
{----- procedure printflag -----}
```

```
{Druk op skerm uit}
```

```
Procedure printflag(vx : mati2d);
```

```

var
  jj : integer;
begin
  write(' '); for i := 1 to im do write(i:3); writeln;
  for jj := 1 to jm do
    begin
      j := jm+1-jj; write(j:5);
      for i := 1 to im do write(vx[i,j]:3); writeln;
    end;
  writeln;
end;

```

```
{ ----- grid boundary ----- }
```

```
{ Dui roostergrense aan}
```

```
procedure setgrid;
```

```
begin
  for i:= 1 to icl do n^[i,jc1]:=1;
  for i:= 1 to im do n^[i,1]:=1;
  for i:= icl+1 to im do n^[i,jm]:=1;
  for j:= 1 to jm do n^[im,j]:=1;
  for j:= 1 to jc1 do n^[1,j]:=1;
  for j:= jc1 to jm do n^[icl,j]:=1;
end;
```

```
{***** Procedure TDMA *****}
```

```
{Gebruik die Thomas algoritme om die tridiagonale matrikse op te los.}
```

```
Procedure TDMA(jl,jh : Integer; b,d,a,e,f : Jrow ;var c : Jrow);
```

```
var
  r : real;
  j,jj : integer;
begin
  for j := jl to jh do
    begin
      r := 1/(d[j] + b[j]*e[j-1]);
      e[j] := -r*a[j];
      f[j] := (c[j] - b[j]*f[j-1])*r;
    end;
  c[jh+1] := f[jh+1];
  for jj := jl-1 to jh do
    begin
      j := jl-1 + jh - jj;
      c[j] := c[j+1]*e[j] + f[j];
    end;
end;
```

```
{ ----- solve v1-flow ----- }
```

```
{ Bereken die aksiale-vloei snelheid (uz) m.b.v. vgl (3.4) }
```

```
procedure solvev1star;
```

```
var
```

```
  zz : real;
```

```
  jl,jh : integer;
```

```
begin
```

```
  zz := 0;
```

```
  slo := sl; sl := 0;
```

```
  for i:= 2 to imm1-1 do
```

```
  begin
```

```
    for j:= jmin[i] to jmax[i] do
```

```
    begin
```

```
      ue:=(v1^[i+1,j] + v1^[i,j])/2;
```

```
      uw:=(v1^[i-1,j] + v1^[i,j])/2;
```

```
      vn:=(v2^[i,j] + v2^[i+1,j])/2;
```

```
      vs:=(v2^[i,j-1] + v2^[i+1,j-1])/2;
```

```
      fe:=rho*ue*dy*(r[j+1]-r[2])/por;
```

```
      fw:=rho*uw*dy*(r[j+1]-r[2])/por;
```

```
      fn:=rho*vn*dx*(r[j+1])/por;
```

```
      fs:=rho*vs*dx*(r[j])/por;
```

```
      de:=mu*(dy/dx)*(r[j+1]-r[2]);
```

```
      dw:=mu*(dy/dx)*(r[j+1]-r[2]);
```

```
      dn:=mu*(dx/dy)*(r[j+1]);
```

```
      ds:=mu*(dx/dy)*(r[j]);
```

```
      if fe>0 then ae:=de          else ae:=de-fe;
```

```
      if fw>0 then aw:=dw+fw      else aw:=dw;
```

```
      if fn>0 then an:=dn          else an:=dn-fn;
```

```
      if fs>0 then as:=ds+fs      else as:=ds;
```

```
      ap := (ae+aw+an+as)/rexl1;
```

```
      zz := zz + abs(ap*v1star^[i,j]*rexl1 - an*v1star^[i,j+1] -
                    as*v1star^[i,j-1] -
                    ae*v1star^[i+1,j] - aw*v1star^[i-1,j] -
                    (p^[i,j]-p^[i+1,j])*dy*por*(r[j+1]-r[2]) +
                    mu*landa*f1^[i,j]*v1star^[i,j]*dx*dy*(r[j+1]-r[2]));
```

```
      eu^[i,j]:=dy/(ap-(ae+aw+an+as));          {SIMPLEC}
```

```
      {eu^[i,j]:=dy/ap;}                        {SIMPLE}
```

```
      b[j] := -as;
```

```
      a[j] := -an;
```

```
      d[j] := ap;
```

```

c[j] := ae*v1star^[i+1,j] + aw*v1star^[i-1,j]
      +(1-rexv1)*v1star^[i,j]*ap
      + (p^[i,j]-p^[i+1,j])*dy*(r[j+1]-r[2])*por-
      mu*landa*f1^[i,j]*v1star^[i,j]*dx*dy*(r[j+1]-r[2]);
end;

jl:=jmin[i];  jh:=jmax[i];
f[jh+1] := v1star^[i,jh+1]; f[jl-1] := 0;
e[jl-1] := 1;
TDMA(jl,jh,b,d,a,e,f,c);
for j:= jmin[i] to jmax[i] do v1star^[i,j]:=c[j];

end;

Er[1] := zz/Refer[1];
end;

```

```
{ ----- solve v2-flow ----- }
```

```
{ Bereken die radiale-vloeisnelheid (ur) m.b.v. vgl.(3.4). }
```

```

procedure solvev2star;
var
  zz : real;
  jl,jh : integer;
begin
  zz := 0;
  s2o := s2; s2 := 0;
  for i:= 2 to imm1 do
  begin
    for j:= jmin[i] to jmax[i]-1 do
      begin
        ue:=(v1^[i,j+1] + v1^[i,j])/2;
        uw:=(v1^[i-1,j] + v1^[i-1,j+1])/2;
        vn:=(v2^[i,j] + v2^[i,j+1])/2;
        vs:=(v2^[i,j-1] + v2^[i,j])/2;

        fe:=rho*ue*dy*r[j+1]/por;
        fw:=rho*uw*dy*r[j+1]/por;
        fn:=rho*vn*dx*(r[j+1]+r[2])/por;
        fs:=rho*vs*dx*(r[j+1]-r[2])/por;

        de:=mu*dy/dx*r[j+1];
        dw:=mu*dy/dx*r[j+1];
        dn:=mu*dx/dy*(r[j+1]+r[2]);
        ds:=mu*dx/dy*(r[j+1]-r[2]);

        if fe>0 then ae:=de           else ae:=de-fe;
        if fw>0 then aw:=dw+fw       else aw:=dw;
        if fn>0 then an:=dn           else an:=dn-fn;
        if fs>0 then as:=ds+fs       else as:=ds;
      end
    end
  end
end;

```

```

ap := (ae+aw+an+as)/rexx2;

zz := zz + abs(ap*v2star^[i,j]*rexx2 -
an*v2star^[i,j+1] - as*v2star^[i,j-1] -
ae*v2star^[i+1,j] - aw*v2star^[i-1,j] -
(p^[i,j]-p^[i,j+1])*dx*r[j+1]*por
+ mu*landa*f1^[i,j]*v2star^[i,j]*dx*dy*r[j+1]
+ (mu*dx*dy*v2star^[i,j]/r[j+1]));

{ ev^[i,j]:= dx/ap;} {SIMLPE}

ev^[i,j]:= dx/(ap-(ae+aw+an+as)); {SIMPLEC}

b[j] := -as;
a[j] := -an;
d[j] := ap;
c[j] := ae*v2star^[i+1,j] + aw*v2star^[i-1,j]
+ (1-rexx2)*v2star^[i,j]*ap
+ (p^[i,j]-p^[i,j+1])*dx*r[j+1]*por
- (mu*dx*dy*v2star^[i,j]/r[j+1])
- mu*landa*f1^[i,j]*v2star^[i,j]*dx*dy*r[j+1];
end;

```

```

j1:=jmin[i]; jh:=jmax[i]-1;
f[jh+1] := 0; f[j1-1] := 0;
e[j1-1] := 0;
TDMA(j1,jh,b,d,a,e,f,c);
for j:= jmin[i] to jmax[i]-1 do v2star^[i,j]:=c[j];

end;
Er[2] := zz/Refer[2];
end;

```

```
{ ----- pressure correction ----- }
```

```
{ Bereken die drukkorreksie m.b.v. vgl(3.15). }
```

```
procedure presscorr;
```

```
var
```

```
error,error1,zz : real;
iter,j1,jh,il,ih : integer;
```

```
begin
```

```
zz := 0;
```

```
for i:= 2 to imm1 do
```

```
for j:= jmin[i] to jmax[i] do
```

```
begin
```

```
aae^[i,j]:=rho*eu^[i,j]*dy*(r[j]+r[2]);
```

```
aaw^[i,j]:=rho*eu^[i-1,j]*dy*(r[j]+r[2]);
```

```
aan^[i,j]:=rho*ev^[i,j]*dx*r[j+1];
```

```
aas^[i,j]:=rho*ev^[i,j-1]*dx*r[j];
```

```
aap^[i,j] := aae^[i,j]+aaw^[i,j]+aan^[i,j]+aas^[i,j];
```

```
bbb^[i,j]:=rho*((v1star^[i-1,j] - v1star^[i,j])*dy*(r[j]+r[2]))
```

```
      + (v2star^[i,j-1]*r[j] - v2star^[i,j]*r[j+1])*dx);
```

```
if (i = imm1) then
```

```
begin
```

```
  aae^[i,j] := 0; aaw^[i,j] := 0;
```

```
  bbb^[i,j] := rho*(v2star^[i,j-1]*r[j] -
```

```
  v2star^[i,j]*r[j+1])*dx;
```

```
  aap^[i,j] := aan^[i,j] + aas^[i,j];
```

```
end;
```

```
if (i = imm1) and (j = jmax[i]) then
```

```
begin
```

```
  aap^[i,j] := aap^[i,j-1]; aan^[i,j] := 0;
```

```
  aas^[i,j] := 0; aae^[i,j] := 0; aaw^[i,j] := 0; bbb^[i,j] := 0;
```

```
end;
```

```
zz := zz + abs(bbb^[i,j]);
```

```
end;
```

```
iter := 0;
```

```
repeat
```

```
  iter := iter + 1;
```

```
  for i:= 2 to imm1 do
```

```
  begin
```

```
    for j:= jmin[i] to jmax[i] do
```

```
    begin
```

```
      b[j] := -aas^[i,j];
```

```
      a[j] := -aan^[i,j];
```

```
      d[j] := aap^[i,j];
```

```
      c[j] := aae^[i,j]*pp^[i+1,j] + aaw^[i,j]*pp^[i-1,j] + bbb^[i,j];
```

```
    end;
```

```
    jl:=jmin[i]; jh:=jmax[i];
```

```
    f[jh+1] := 0; f[jl-1] := 0;
```

```
    e[jl-1] := 0;
```

```
    TDMA(jl,jh,b,d,a,e,f,c);
```

```
    for j:= jmin[i] to jmax[i] do pp^[i,j] := c[j];
```

```
  end;
```

```
  until iter = 6;
```

```
  er[3] := zz/refer[3];
```

```
end;
```

```
{ ----- updatevar ----- }
```

```
{ Bereken die korrekte snelhede en drukke vgl. (3.13) en (3.14). }
```

```
procedure updatevar;
```

```
var
```

```
  omass, imass : real;
```

```
begin
```

```

{===== V1-velocities =====}
for i:= 2 to imm1-1 do
for j:= jmin[i] to jmax[i] do
begin
  v1^[i,j] := v1star^[i,j] + eu^[i,j]*(pp^[i,j] - pp^[i+1,j])*(r[j]+r[2])
  v1star^[i,j] := v1^[i,j];
end;
{===== v1- outflow boundary =====}
for j := 1 to jmm1 do
begin
  v1^[imm1,j] := v1^[imm1-1,j];
  v1star^[imm1,j] := v1^[imm1,j];
end;

{===== centreline v1 velocities =====}

for i := 1 to imm1 do
begin
  v1^[i,1] := v1^[i,2];
  v1star^[i,1] := v1^[i,1];
end;

{===== V2-velocities =====}
for i:= 2 to imm1 do
for j:= jmin[i] to jmax[i]-1 do
begin
  v2^[i,j] := v2star^[i,j] + ev^[i,j]*((pp^[i,j] - pp^[i,j+1])*r[j+1]);
  v2star^[i,j]:= v2^[i,j];
end;
{===== P & PP =====}
for i:= 2 to imm1 do
for j:= jmin[i] to jmax[i] do
begin
  p^[i,j] := p^[i,j] + rexp*pp^[i,j];
  pp^[i,j] := 0;

  tt1:=exp(0.666667*ln(1-por));
  tt2:=exp(0.333333*ln(1-por));
  tt3:=exp(1.333333*ln(1-por));
  tt4:=sqrt(sqr(v1star^[i,j])+sqr(v2star^[i,j]));
  Reqd:= rho*dpp*tt4/mu;
  ff:=(36*tt3/((1-(tt2))*(1-tt1)))*sqrt(1+(0.0822*Reqd*(1-tt2)))/((1+tt2)*
  f1^[i,j]:=ff/sqr(dpp);

end;
end;

{ ----- grid ----- }

{Definieer die berekenings rooster.}

procedure grid;

```

```

begin
  for i := icl+1 to im do jmax[i] := jmm1;
  for i := 1 to icl do jmax[i] := jcl-1;
  for i := 1 to im do jmin[i] := 2;

  for j := 2 to jcl - 1 do imin[j] := 2;
  for j := jcl to jmm1 do imin[j] := icl + 1 ;
  for j := 2 to jmm1 do imax[j] := imm1;

  dx := xmax/imm2;
  dy := ymax/jmm2;

  y[1] := 0; y[2] := y[1] + dy/2; y[jm] := ymax;
  x[1] := 0; x[2] := x[1] + dx/2; x[im] := xmax;
  r[1] := 0; r[2] := r[1] + dy/2; r[jm] := ymax;
  for i := 3 to imm1 do
    x[i] := x[i-1] + dx;
  for j := 3 to jm do
    begin
      y[j] := y[j-1] + dy;
      r[j] := y[j];
    end;
end;

```

```
{ ----- init ----- }
```

```
{ Beginwaarden. }
```

```

procedure init;
begin
  for i := 1 to im do
  for j := 1 to jm do
  begin
    n^[i,j] := 0;
    v1^[i,j] := 0.0;
    v1star^[i,j] := 0.0;
    v2^[i,j] := 0.0;
    v2star^[i,j] := 0.0;
    p^[i,j] := 0.0;
    pp^[i,j] := 0.0;
    eu^[i,j] := 0.0;
    ev^[i,j] := 0.0;
    f1^[i,j] := 0.0;
  end;

  for i := 1 to imm1 do
  for j := jmin[i]-1 to jmax[i] do
  begin
    v1^[i,j] := vlin;
    v1star^[i,j] := v1^[i,j];
  end;
  refer[1] := rho*vlin*vlin*(y[jcl] - y[1]);

```

```
refer[2] := refer[1];
refer[3] := rho*vlin*(y[jc1] - y[1]);
```

```
end;
```

```
{***** DRAW ***** }
```

```
{Teken die vloeï-veld as 'n gekleurde vektor veld uit.}
```

```
procedure drawn;
```

```
begin
  max:=0;
  for i:=1 to im do
    begin
      for j:=1 to jm do
        begin
          grmax:=sqrt(sqr(v1^[i,j])+sqr(v2^[i,j]));
          if (grmax)>= (max) then max := grmax;
        end;
      end;
      hhh:=ymax/xmax;
      hhh:=1;
      aa:=(getmaxx/im/1.5);bb:=(getmaxy)*(hhh/jm/3);ww:=0;
      DetectGraph(gd,gm);
      initgraph(gd,gm,'');
      for i:=1 to im do
        begin
          qq:=0;ww:=ww+1;
          for j:=1 to jm do
            begin
              qq:=qq+1;
              grootte:=sqrt(sqr(v1^[i,j])+sqr(v2^[i,j]));
              if grootte>=(max*0.99) then kleur:=15 else
              if grootte>=(max*0.98) then kleur:=14 else
              if grootte>=(max*0.97) then kleur:=13 else
              if grootte>=(max*0.96) then kleur:=12 else
              if grootte>=(max*0.95) then kleur:=11 else
              if grootte>=(max*0.92) then kleur:=10 else
              if grootte>=(max*0.90) then kleur:=9 else
              if grootte>=(max*0.85) then kleur:=8 else
              if grootte>=(max*0.80) then kleur:=7 else
              if grootte>=(max*0.75) then kleur:=6 else
              if grootte>=(max*0.70) then kleur:=5 else
              if grootte>=(max*0.6) then kleur:=4 else
              if grootte>=(max*0.4) then kleur:=3 else
              if grootte>=(max*0.2) then kleur:=2 else
              if grootte>=(max*0.1) then kleur:=1 else
              if grootte<=(max*0.1) then kleur:= 15;
              xx1:=round(ww*aa);yy1:=round(qq*bb);xx2:=round(ww*aa+(v1^[i,j]*30/max);
              yy2:=round(qq*bb+(v2^[i,j]*30/max));
              setcolor(kleur);
```

```

        line(xx1,yy1,xx2,yy2);
    end;
end;
readln;
closegraph;
end;

```

```
{ ***** MAIN PROGRAM ***** }
```

```

BEGIN
NEW(V1); NEW(V1STAR); NEW(V2); NEW(V2STAR); NEW(PP); NEW(P); NEW(EU);NEW(N);
NEW(aaw); NEW(aas); NEW(aae); NEW(aan); NEW(aap); NEW(bbb); NEW(f1);NEW(f2);N
  clrscr;
  input;
  grid;
  init;
  setgrid;
  printflag(n^);
  drawn;
  { ----- simple algorithm ----- }
  writeln(' ':21,'Main Program in Operation');
  iter :=0;
  repeat
    iter:= iter+1;
    solvev1star;
    solvev2star;
    presscorr;
    updatevar;
    { drawn;}
    Writeln(Iter:4,Er[1]:10:5,Er[2]:10:5,Er[3]:10:5);
  until iter >= maxiter;
  drawn;
  readln;
  Writeln(' ':24,'V1-Velocities');
  printver1(v1^);
  Writeln(' ':24,'V2-Velocities');
  printver1(v2^);
  Writeln(' ':24,'P-Pressures');
  printver1(P^);
end.

```

## BYLAAG C Numeriese resultate

### Inhoudsopgawe

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| C.1 Steenkoolkeerplaat met konstante oopfraksie                   | C1  |
| C.2 Steenkoolkeerplaat met "W" vorm vir oopfraksie                | C3  |
| C.3 Sentrale gasuitlaat met konstante oopfraksie                  | C5  |
| C.4 Sentrale gasuitlaat met "W" vorm van oopfraksie               | C7  |
| C.5 Agentverspreiding met hoë vloeisnelheid in die buitenste ring | C9  |
| C.6 Agentverspreiding met hoë vloeisnelheid in die middelste ring | C15 |
| C.7 Agentverspreiding met konstante vloeisnelhede in al die ringe | C21 |

C.1 Steenkoolkeerplaat met konstante oopfraksie. Uz

C1

|    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | -1.800 | -2.318 | -2.004 | -1.287 | -0.988 | -0.861 | -0.804 | -0.777 | -0.763 | -0.757 |
| 8  | -1.800 | -1.208 | -1.566 | -1.069 | -0.900 | -0.825 | -0.788 | -0.770 | -0.760 | -0.755 |
| 7  | 0.000  | 0.001  | 0.041  | -0.637 | -0.751 | -0.765 | -0.762 | -0.757 | -0.754 | -0.752 |
| 6  | 0.000  | 0.000  | 0.141  | -0.410 | -0.626 | -0.703 | -0.730 | -0.741 | -0.746 | -0.748 |
| 5  | 0.000  | 0.000  | -0.045 | -0.347 | -0.550 | -0.652 | -0.702 | -0.726 | -0.737 | -0.743 |
| 4  | 0.000  | 0.000  | -0.113 | -0.329 | -0.506 | -0.616 | -0.678 | -0.712 | -0.730 | -0.739 |
| 3  | 0.000  | 0.000  | -0.140 | -0.322 | -0.482 | -0.593 | -0.662 | -0.702 | -0.724 | -0.736 |
| 2  | 0.000  | 0.000  | -0.150 | -0.319 | -0.470 | -0.581 | -0.653 | -0.696 | -0.720 | -0.734 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | -0.150 | -0.319 | -0.470 | -0.581 | -0.653 | -0.696 | -0.720 | -0.734 |

|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | -0.753 | -0.751 | -0.751 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.749 |
| 8  | -0.753 | -0.751 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 |
| 7  | -0.751 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 |
| 6  | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 |
| 5  | -0.746 | -0.748 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 |
| 4  | -0.744 | -0.747 | -0.748 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.750 | -0.750 | -0.750 |
| 3  | -0.742 | -0.746 | -0.748 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.750 | -0.750 | -0.750 |
| 2  | -0.741 | -0.745 | -0.747 | -0.748 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.750 | -0.750 |
| 1  | -0.741 | -0.745 | -0.747 | -0.748 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.750 | -0.750 |

|    | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 9  | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | -0.749 | 0.000 |
| 8  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 7  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 6  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 5  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 4  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 3  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 2  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |
| 1  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | 0.000 |

Ur

|    | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 9  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 0.000 | -0.387 | 0.235 | 0.535 | 0.224 | 0.095 | 0.043 | 0.020 | 0.010 | 0.005 |
| 7  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.992 | 0.385 | 0.166 | 0.077 | 0.037 | 0.019 | 0.010 |
| 6  | 0.000 | 0.000  | 0.032 | 0.655 | 0.369 | 0.185 | 0.093 | 0.048 | 0.024 | 0.013 |
| 5  | 0.000 | 0.000  | 0.148 | 0.371 | 0.282 | 0.167 | 0.092 | 0.050 | 0.026 | 0.014 |
| 4  | 0.000 | 0.000  | 0.154 | 0.236 | 0.201 | 0.133 | 0.079 | 0.045 | 0.024 | 0.013 |
| 3  | 0.000 | 0.000  | 0.121 | 0.149 | 0.132 | 0.094 | 0.059 | 0.034 | 0.019 | 0.011 |
| 2  | 0.000 | 0.000  | 0.071 | 0.079 | 0.071 | 0.052 | 0.034 | 0.020 | 0.011 | 0.006 |
| 1  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 9  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 0.005 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 0.007 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 0.007 | 0.004 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 0.007 | 0.004 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 0.006 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2  | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29     | 30    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 9  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 8  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -0.000 | 0.000 |







C.3 Sentralegasuitlaat met konstante oopfraksie.

|    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | Uz     | 9      | 10     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | 0.000  | -0.001 | -0.008 | -0.415 | -0.602 | -0.683 | -0.719 | -0.735 | -0.743 | -0.743 | -0.747 |
| 8  | 0.000  | 0.008  | -0.000 | -0.507 | -0.648 | -0.702 | -0.727 | -0.739 | -0.745 | -0.745 | -0.748 |
| 7  | -1.287 | -1.159 | -1.240 | -0.801 | -0.740 | -0.738 | -0.743 | -0.746 | -0.748 | -0.748 | -0.749 |
| 6  | -1.287 | -1.373 | -1.373 | -0.965 | -0.824 | -0.777 | -0.761 | -0.755 | -0.753 | -0.753 | -0.751 |
| 5  | -1.287 | -1.357 | -1.314 | -1.034 | -0.882 | -0.811 | -0.779 | -0.764 | -0.757 | -0.757 | -0.754 |
| 4  | -1.287 | -1.317 | -1.254 | -1.060 | -0.918 | -0.837 | -0.794 | -0.772 | -0.761 | -0.761 | -0.756 |
| 3  | -1.287 | -1.288 | -1.218 | -1.068 | -0.938 | -0.854 | -0.805 | -0.779 | -0.765 | -0.765 | -0.758 |
| 2  | -1.287 | -1.273 | -1.201 | -1.070 | -0.948 | -0.863 | -0.811 | -0.782 | -0.767 | -0.767 | -0.759 |
| 1  | -1.287 | -1.273 | -1.201 | -1.070 | -0.948 | -0.863 | -0.811 | -0.782 | -0.767 | -0.767 | -0.759 |

|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | -0.749 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 8  | -0.749 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 7  | -0.750 | -0.750 | -0.750 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 6  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 5  | -0.752 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 4  | -0.753 | -0.752 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 3  | -0.754 | -0.752 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 2  | -0.755 | -0.753 | -0.752 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |
| 1  | -0.755 | -0.753 | -0.752 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 |

|    | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 9  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 8  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 7  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 6  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 5  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 4  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 3  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 2  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |
| 1  | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | -0.751 | 0.000 |

Ur

|    | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 8  | 0.000 | -0.002 | -0.010 | -0.304 | -0.140 | -0.060 | -0.027 | -0.012 | -0.006 | -0.003 |
| 7  | 0.000 | 0.002  | -0.010 | -0.733 | -0.267 | -0.111 | -0.050 | -0.023 | -0.011 | -0.005 |
| 6  | 0.000 | 0.100  | -0.073 | -0.531 | -0.270 | -0.129 | -0.062 | -0.030 | -0.015 | -0.007 |
| 5  | 0.000 | 0.056  | -0.089 | -0.332 | -0.220 | -0.122 | -0.063 | -0.032 | -0.016 | -0.008 |
| 4  | 0.000 | 0.015  | -0.080 | -0.203 | -0.161 | -0.100 | -0.055 | -0.029 | -0.015 | -0.008 |
| 3  | 0.000 | -0.003 | -0.059 | -0.121 | -0.107 | -0.071 | -0.042 | -0.023 | -0.012 | -0.006 |
| 2  | 0.000 | -0.006 | -0.033 | -0.061 | -0.057 | -0.040 | -0.024 | -0.013 | -0.007 | -0.004 |
| 1  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |

|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 8  | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 7  | -0.003 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 6  | -0.004 | -0.002 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 5  | -0.004 | -0.002 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 4  | -0.004 | -0.002 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 3  | -0.003 | -0.002 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 2  | -0.002 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |

|    | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 9  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |



C.4 Sentralegasuitleat met "W" vorm vir oopfraksie. Uz

C7

|    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | 0.000  | 0.008  | -0.002 | -0.511 | -0.764 | -0.884 | -0.942 | -0.971 | -0.985 | -0.993 |
| 8  | 0.000  | 0.011  | -0.000 | -0.566 | -0.730 | -0.797 | -0.829 | -0.845 | -0.853 | -0.857 |
| 7  | -1.287 | -1.245 | -1.366 | -0.839 | -0.735 | -0.712 | -0.706 | -0.704 | -0.703 | -0.702 |
| 6  | -1.287 | -1.353 | -1.355 | -0.888 | -0.705 | -0.631 | -0.598 | -0.582 | -0.574 | -0.570 |
| 5  | -1.287 | -1.238 | -1.170 | -0.854 | -0.680 | -0.592 | -0.549 | -0.528 | -0.517 | -0.512 |
| 4  | -1.287 | -1.236 | -1.137 | -0.905 | -0.748 | -0.660 | -0.613 | -0.590 | -0.578 | -0.572 |
| 3  | -1.287 | -1.359 | -1.264 | -1.068 | -0.913 | -0.816 | -0.761 | -0.732 | -0.717 | -0.710 |
| 2  | -1.287 | -1.481 | -1.417 | -1.236 | -1.073 | -0.961 | -0.895 | -0.859 | -0.839 | -0.829 |
| 1  | -1.287 | -1.481 | -1.417 | -1.236 | -1.073 | -0.961 | -0.895 | -0.859 | -0.839 | -0.829 |

|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | -0.996 | -0.998 | -0.999 | -0.999 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 |
| 8  | -0.860 | -0.861 | -0.861 | -0.861 | -0.861 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 |
| 7  | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 |
| 6  | -0.568 | -0.567 | -0.567 | -0.567 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 |
| 5  | -0.509 | -0.508 | -0.507 | -0.507 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 |
| 4  | -0.569 | -0.568 | -0.567 | -0.567 | -0.567 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 |
| 3  | -0.706 | -0.704 | -0.703 | -0.703 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 |
| 2  | -0.824 | -0.822 | -0.821 | -0.820 | -0.820 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 |
| 1  | -0.824 | -0.822 | -0.821 | -0.820 | -0.820 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 |

|    | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 9  | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | -1.000 | 0.000 |
| 8  | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | -0.862 | 0.000 |
| 7  | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | 0.000 |
| 6  | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | 0.000 |
| 5  | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | -0.506 | 0.000 |
| 4  | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | -0.566 | 0.000 |
| 3  | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | -0.702 | 0.000 |
| 2  | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | 0.000 |
| 1  | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | -0.819 | 0.000 |

| Ur |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 10 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 8  | 0.000 | 0.002  | -0.008 | -0.380 | -0.189 | -0.090 | -0.043 | -0.021 | -0.011 | -0.005 |
| 7  | 0.000 | 0.007  | -0.009 | -0.865 | -0.342 | -0.154 | -0.074 | -0.037 | -0.018 | -0.009 |
| 6  | 0.000 | 0.040  | -0.103 | -0.620 | -0.325 | -0.165 | -0.083 | -0.042 | -0.021 | -0.011 |
| 5  | 0.000 | -0.002 | -0.128 | -0.394 | -0.255 | -0.143 | -0.076 | -0.039 | -0.020 | -0.010 |
| 4  | 0.000 | 0.037  | -0.111 | -0.254 | -0.188 | -0.115 | -0.063 | -0.033 | -0.017 | -0.009 |
| 3  | 0.000 | 0.095  | -0.071 | -0.160 | -0.132 | -0.086 | -0.049 | -0.026 | -0.014 | -0.007 |
| 2  | 0.000 | 0.091  | -0.030 | -0.084 | -0.076 | -0.052 | -0.031 | -0.017 | -0.009 | -0.005 |
| 1  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |

|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 9  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 8  | -0.003 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 7  | -0.005 | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 6  | -0.005 | -0.003 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 5  | -0.005 | -0.003 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 4  | -0.004 | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 3  | -0.004 | -0.002 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 2  | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |

|    | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29    | 30    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 10 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 |
| 9  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 |
| 8  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 |



C.5 Agent verspreiding met hoë vloeisnelheid in die buitenste ring. 1/2

C9

|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.000 | 0.130 | 0.173 | 0.185 | 0.175 | 0.162 | 0.150 | 0.142 | 0.135 | 0.129 |
| 18 | 0.000 | 0.293 | 0.248 | 0.235 | 0.200 | 0.174 | 0.158 | 0.146 | 0.138 | 0.131 |
| 17 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.059 | 0.093 | 0.111 | 0.119 | 0.121 | 0.121 |
| 16 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.070 | 0.095 | 0.108 | 0.113 | 0.115 |
| 15 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.092 | 0.115 | 0.122 | 0.120 | 0.117 | 0.115 |
| 14 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.260 | 0.201 | 0.180 | 0.149 | 0.131 | 0.122 |
| 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.046 | 0.076 | 0.093 |
| 12 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.064 | 0.086 |
| 11 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.086 | 0.106 | 0.112 |
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.186 | 0.165 |
| 9  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.129 | 0.121 | 0.119 | 0.116 | 0.115 | 0.113 | 0.112 | 0.111 | 0.110 | 0.109 |
| 18 | 0.126 | 0.122 | 0.119 | 0.117 | 0.115 | 0.113 | 0.112 | 0.111 | 0.110 | 0.109 |
| 17 | 0.119 | 0.118 | 0.116 | 0.115 | 0.113 | 0.112 | 0.111 | 0.110 | 0.110 | 0.109 |
| 16 | 0.115 | 0.115 | 0.114 | 0.113 | 0.112 | 0.111 | 0.111 | 0.110 | 0.109 | 0.109 |
| 15 | 0.114 | 0.113 | 0.113 | 0.112 | 0.111 | 0.111 | 0.110 | 0.109 | 0.109 | 0.109 |
| 14 | 0.117 | 0.115 | 0.113 | 0.112 | 0.111 | 0.110 | 0.110 | 0.109 | 0.109 | 0.108 |
| 13 | 0.102 | 0.106 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 |
| 12 | 0.097 | 0.102 | 0.104 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 11 | 0.109 | 0.107 | 0.105 | 0.105 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 |
| 10 | 0.136 | 0.119 | 0.111 | 0.108 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 |
| 9  | 0.043 | 0.069 | 0.085 | 0.094 | 0.099 | 0.101 | 0.103 | 0.104 | 0.105 | 0.105 |
| 8  | 0.026 | 0.057 | 0.078 | 0.089 | 0.095 | 0.098 | 0.101 | 0.102 | 0.103 | 0.104 |
| 7  | 0.074 | 0.092 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.099 | 0.101 | 0.102 | 0.103 | 0.104 |
| 6  | 0.216 | 0.163 | 0.143 | 0.120 | 0.109 | 0.105 | 0.103 | 0.103 | 0.103 | 0.104 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.042 | 0.070 | 0.085 | 0.092 | 0.096 | 0.099 | 0.101 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.056 | 0.076 | 0.087 | 0.091 | 0.094 | 0.097 | 0.099 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.167 | 0.129 | 0.118 | 0.103 | 0.099 | 0.099 | 0.100 |
| 2  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.042 | 0.069 | 0.084 | 0.093 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.042 | 0.069 | 0.084 | 0.093 |

|    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.109 | 0.109 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 18 | 0.109 | 0.109 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 17 | 0.109 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 16 | 0.109 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 15 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 14 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 13 | 0.108 | 0.108 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 12 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 11 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 10 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 9  | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 8  | 0.105 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 7  | 0.104 | 0.105 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 6  | 0.104 | 0.105 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 5  | 0.102 | 0.104 | 0.105 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 4  | 0.101 | 0.103 | 0.104 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 3  | 0.102 | 0.103 | 0.104 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 2  | 0.098 | 0.101 | 0.103 | 0.104 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |
| 1  | 0.098 | 0.101 | 0.103 | 0.104 | 0.105 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 |





|    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
|    | 41     | 42     | 43     | 44     | 45     | 46     | 47     | 48     | 49     | 50    |
| 20 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 19 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 18 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 17 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 16 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 15 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 14 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 13 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 12 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 11 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 10 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 9  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 8  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 7  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 6  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 5  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 4  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 3  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 2  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |

P.

|    |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 20 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 19 | 0.000 | 19.647 | 19.598 | 18.483 | 17.472 | 16.826 | 16.313 | 15.836 | 15.373 | 14.923 |
| 18 | 0.000 | 23.561 | 18.352 | 18.009 | 17.042 | 16.690 | 16.283 | 15.828 | 15.367 | 14.916 |
| 17 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 16.357 | 16.550 | 16.266 | 15.820 | 15.353 | 14.901 |
| 16 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 16.399 | 16.483 | 16.221 | 15.764 | 15.300 | 14.860 |
| 15 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 15.822 | 16.456 | 16.111 | 15.622 | 15.197 | 14.794 |
| 14 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 19.853 | 15.636 | 15.753 | 15.270 | 15.042 | 14.721 |
| 13 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 14.822 | 14.927 | 14.687 |
| 12 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 14.839 | 14.888 | 14.655 |
| 11 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 14.339 | 14.872 | 14.569 |
| 10 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 17.871 | 14.173 | 14.269 |
| 9  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 8  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 7  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 6  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 5  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 4  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 3  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 2  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 1  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |

|    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
| 20 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 19 | 14.484 | 14.058 | 13.641 | 13.232 | 12.830 | 12.434 | 12.042 | 11.654 | 11.269 | 10.886 |
| 18 | 14.478 | 14.052 | 13.636 | 13.228 | 12.827 | 12.432 | 12.040 | 11.653 | 11.268 | 10.885 |
| 17 | 14.464 | 14.041 | 13.627 | 13.221 | 12.821 | 12.427 | 12.037 | 11.650 | 11.265 | 10.883 |
| 16 | 14.435 | 14.019 | 13.611 | 13.209 | 12.812 | 12.419 | 12.031 | 11.645 | 11.262 | 10.881 |
| 15 | 14.391 | 13.988 | 13.588 | 13.191 | 12.798 | 12.408 | 12.022 | 11.638 | 11.257 | 10.877 |
| 14 | 14.346 | 13.954 | 13.560 | 13.168 | 12.780 | 12.394 | 12.011 | 11.630 | 11.250 | 10.872 |
| 13 | 14.318 | 13.923 | 13.530 | 13.143 | 12.760 | 12.378 | 11.999 | 11.620 | 11.243 | 10.866 |
| 12 | 14.267 | 13.870 | 13.487 | 13.109 | 12.734 | 12.359 | 11.984 | 11.609 | 11.234 | 10.860 |
| 11 | 14.148 | 13.779 | 13.425 | 13.068 | 12.704 | 12.337 | 11.967 | 11.596 | 11.224 | 10.852 |
| 10 | 13.844 | 13.642 | 13.360 | 13.028 | 12.675 | 12.314 | 11.949 | 11.582 | 11.214 | 10.844 |
| 9  | 13.440 | 13.534 | 13.328 | 13.007 | 12.654 | 12.294 | 11.932 | 11.568 | 11.203 | 10.836 |
| 8  | 13.467 | 13.501 | 13.304 | 12.973 | 12.620 | 12.266 | 11.910 | 11.552 | 11.191 | 10.827 |
| 7  | 13.071 | 13.487 | 13.241 | 12.893 | 12.561 | 12.226 | 11.883 | 11.532 | 11.177 | 10.817 |
| 6  | 15.945 | 12.942 | 13.022 | 12.691 | 12.478 | 12.186 | 11.856 | 11.513 | 11.163 | 10.808 |
| 5  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 12.429 | 12.434 | 12.172 | 11.839 | 11.497 | 11.152 | 10.801 |
| 4  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 12.238 | 12.397 | 12.130 | 11.790 | 11.467 | 11.137 | 10.794 |
| 3  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 13.915 | 12.038 | 11.984 | 11.658 | 11.424 | 11.126 | 10.791 |

|   |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 2 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 11.412 | 11.413 | 11.145 | 10.805 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |

|    | 21     | 22     | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 10.505 | 10.126 | 9.747 | 9.370 | 8.993 | 8.617 | 8.242 | 7.866 | 7.491 | 7.116 |
| 18 | 10.504 | 10.125 | 9.747 | 9.370 | 8.993 | 8.617 | 8.242 | 7.866 | 7.491 | 7.116 |
| 17 | 10.503 | 10.124 | 9.746 | 9.369 | 8.993 | 8.617 | 8.241 | 7.866 | 7.491 | 7.116 |
| 16 | 10.501 | 10.123 | 9.745 | 9.368 | 8.992 | 8.616 | 8.241 | 7.866 | 7.491 | 7.116 |
| 15 | 10.498 | 10.120 | 9.743 | 9.367 | 8.991 | 8.616 | 8.240 | 7.865 | 7.491 | 7.116 |
| 14 | 10.494 | 10.118 | 9.741 | 9.366 | 8.990 | 8.615 | 8.240 | 7.865 | 7.490 | 7.116 |
| 13 | 10.490 | 10.114 | 9.739 | 9.364 | 8.989 | 8.614 | 8.239 | 7.865 | 7.490 | 7.115 |
| 12 | 10.485 | 10.111 | 9.736 | 9.362 | 8.987 | 8.613 | 8.239 | 7.864 | 7.490 | 7.115 |
| 11 | 10.479 | 10.106 | 9.733 | 9.360 | 8.986 | 8.612 | 8.238 | 7.864 | 7.489 | 7.115 |
| 10 | 10.473 | 10.102 | 9.730 | 9.357 | 8.984 | 8.611 | 8.237 | 7.863 | 7.489 | 7.115 |
| 9  | 10.467 | 10.098 | 9.727 | 9.355 | 8.983 | 8.610 | 8.236 | 7.863 | 7.489 | 7.114 |
| 8  | 10.461 | 10.093 | 9.724 | 9.353 | 8.981 | 8.609 | 8.236 | 7.862 | 7.488 | 7.114 |
| 7  | 10.454 | 10.089 | 9.721 | 9.351 | 8.980 | 8.608 | 8.235 | 7.862 | 7.488 | 7.114 |
| 6  | 10.448 | 10.085 | 9.718 | 9.349 | 8.979 | 8.607 | 8.235 | 7.861 | 7.488 | 7.114 |
| 5  | 10.444 | 10.082 | 9.717 | 9.348 | 8.978 | 8.607 | 8.234 | 7.861 | 7.488 | 7.114 |
| 4  | 10.441 | 10.081 | 9.716 | 9.348 | 8.978 | 8.606 | 8.234 | 7.861 | 7.488 | 7.114 |
| 3  | 10.440 | 10.080 | 9.716 | 9.348 | 8.978 | 8.606 | 8.234 | 7.861 | 7.487 | 7.114 |
| 2  | 10.447 | 10.084 | 9.717 | 9.348 | 8.978 | 8.606 | 8.234 | 7.861 | 7.487 | 7.114 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 31    | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    | 40    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 6.741 | 6.367 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 18 | 6.741 | 6.367 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 17 | 6.741 | 6.367 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 16 | 6.741 | 6.366 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 15 | 6.741 | 6.366 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 14 | 6.741 | 6.366 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 13 | 6.741 | 6.366 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 12 | 6.741 | 6.366 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 11 | 6.740 | 6.366 | 5.992 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 10 | 6.740 | 6.366 | 5.991 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 9  | 6.740 | 6.366 | 5.991 | 5.617 | 5.243 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 8  | 6.740 | 6.366 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 7  | 6.740 | 6.366 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 6  | 6.740 | 6.366 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.494 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 5  | 6.740 | 6.366 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.493 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 4  | 6.740 | 6.365 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.493 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 3  | 6.740 | 6.365 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.493 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 2  | 6.740 | 6.365 | 5.991 | 5.617 | 5.242 | 4.868 | 4.493 | 4.119 | 3.745 | 3.370 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 41    | 42    | 43    | 44    | 45    | 46    | 47    | 48    | 49    | 50    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 16 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 13 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 11 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 9  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.374 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.375 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.375 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.375 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.375 | 0.000 | 0.000 |

|   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 2.996 | 2.621 | 2.247 | 1.872 | 1.498 | 1.123 | 0.749 | 0.375 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

C.6 Agent verspreiding met hoë vloeisnelheid in die middeste ring. Uz

C15

|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.000 | 0.108 | 0.143 | 0.153 | 0.145 | 0.134 | 0.125 | 0.119 | 0.114 | 0.111 |
| 18 | 0.000 | 0.240 | 0.203 | 0.192 | 0.162 | 0.142 | 0.130 | 0.122 | 0.116 | 0.112 |
| 17 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.048 | 0.078 | 0.094 | 0.101 | 0.104 | 0.104 |
| 16 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.064 | 0.085 | 0.095 | 0.099 | 0.101 |
| 15 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.084 | 0.103 | 0.109 | 0.106 | 0.103 | 0.102 |
| 14 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.235 | 0.180 | 0.159 | 0.131 | 0.115 | 0.108 |
| 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.038 | 0.066 | 0.082 |
| 12 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.032 | 0.062 | 0.081 |
| 11 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.085 | 0.103 | 0.107 |
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.241 | 0.183 | 0.158 |
| 9  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.108 | 0.106 | 0.104 | 0.103 | 0.102 | 0.101 | 0.101 | 0.100 | 0.100 | 0.099 |
| 18 | 0.109 | 0.106 | 0.104 | 0.103 | 0.102 | 0.101 | 0.101 | 0.100 | 0.100 | 0.099 |
| 17 | 0.104 | 0.103 | 0.103 | 0.102 | 0.101 | 0.101 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.099 |
| 16 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.099 | 0.099 |
| 15 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.099 | 0.099 | 0.099 |
| 14 | 0.105 | 0.103 | 0.102 | 0.101 | 0.100 | 0.100 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 |
| 13 | 0.091 | 0.095 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 |
| 12 | 0.089 | 0.093 | 0.095 | 0.096 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 11 | 0.103 | 0.099 | 0.098 | 0.097 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 10 | 0.129 | 0.113 | 0.105 | 0.101 | 0.100 | 0.099 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 9  | 0.037 | 0.062 | 0.078 | 0.087 | 0.092 | 0.094 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.097 |
| 8  | 0.028 | 0.057 | 0.076 | 0.085 | 0.090 | 0.093 | 0.095 | 0.096 | 0.097 | 0.097 |
| 7  | 0.081 | 0.098 | 0.101 | 0.098 | 0.097 | 0.096 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.097 |
| 6  | 0.237 | 0.177 | 0.150 | 0.124 | 0.111 | 0.105 | 0.101 | 0.100 | 0.098 | 0.098 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.040 | 0.068 | 0.082 | 0.089 | 0.092 | 0.094 | 0.095 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.066 | 0.085 | 0.092 | 0.093 | 0.093 | 0.094 | 0.095 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.202 | 0.152 | 0.132 | 0.112 | 0.103 | 0.099 | 0.098 |
| 2  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.040 | 0.067 | 0.081 | 0.088 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.040 | 0.067 | 0.081 | 0.088 |

|    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 | 0.098 |
| 18 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 |
| 17 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 | 0.098 |
| 16 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 | 0.098 |
| 15 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 14 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 13 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.099 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 12 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 11 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 10 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 9  | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 8  | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 7  | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 6  | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 5  | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 4  | 0.096 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 3  | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 2  | 0.092 | 0.095 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| 1  | 0.092 | 0.095 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |





|    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
|    | 41     | 42     | 43     | 44     | 45     | 46     | 47     | 48     | 49     | 50     |       |
| 20 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 19 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 18 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 17 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 16 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 15 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 14 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 13 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 12 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 11 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 10 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 9  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 8  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 7  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 6  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 5  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 4  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 3  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 2  | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |

|    |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|    | F     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|    | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |       |
| 20 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 19 | 0.000 | 16.674 | 16.595 | 15.773 | 15.022 | 14.527 | 14.124 | 13.742 | 13.367 | 13.000 |       |
| 18 | 0.000 | 19.396 | 15.768 | 15.454 | 14.724 | 14.438 | 14.107 | 13.740 | 13.366 | 12.997 |       |
| 17 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 14.240 | 14.353 | 14.107 | 13.742 | 13.361 | 12.991 |       |
| 16 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 14.258 | 14.309 | 14.080 | 13.709 | 13.330 | 12.968 |       |
| 15 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 13.787 | 14.299 | 14.008 | 13.611 | 13.262 | 12.929 |       |
| 14 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 17.164 | 13.654 | 13.739 | 13.354 | 13.162 | 12.890 |       |
| 13 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 13.034 | 13.100 | 12.887 |       |
| 12 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 13.025 | 13.072 | 12.869 |       |
| 11 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 12.524 | 13.079 | 12.817 |       |
| 10 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 16.087 | 12.416 | 12.559 |       |
| 9  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 8  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 7  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 6  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 5  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 4  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 3  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 2  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |
| 1  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |       |

|    |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |       |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
|    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19    | 20    |       |
| 20 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 12.639 | 12.285 | 11.935 | 11.590 | 11.248 | 10.909 | 10.572 | 10.237 | 9.903 | 9.570 |       |
| 18 | 12.636 | 12.282 | 11.933 | 11.589 | 11.247 | 10.909 | 10.572 | 10.237 | 9.903 | 9.570 |       |
| 17 | 12.630 | 12.277 | 11.930 | 11.586 | 11.245 | 10.907 | 10.570 | 10.235 | 9.902 | 9.569 |       |
| 16 | 12.615 | 12.267 | 11.922 | 11.580 | 11.241 | 10.904 | 10.568 | 10.234 | 9.900 | 9.568 |       |
| 15 | 12.592 | 12.252 | 11.912 | 11.573 | 11.235 | 10.899 | 10.565 | 10.231 | 9.898 | 9.566 |       |
| 14 | 12.571 | 12.237 | 11.900 | 11.563 | 11.228 | 10.894 | 10.560 | 10.228 | 9.896 | 9.565 |       |
| 13 | 12.567 | 12.226 | 11.887 | 11.552 | 11.219 | 10.887 | 10.556 | 10.224 | 9.893 | 9.562 |       |
| 12 | 12.541 | 12.198 | 11.865 | 11.536 | 11.208 | 10.879 | 10.550 | 10.220 | 9.890 | 9.560 |       |
| 11 | 12.458 | 12.138 | 11.830 | 11.516 | 11.195 | 10.870 | 10.543 | 10.215 | 9.886 | 9.557 |       |
| 10 | 12.218 | 12.048 | 11.798 | 11.501 | 11.185 | 10.862 | 10.537 | 10.210 | 9.882 | 9.554 |       |
| 9  | 11.915 | 11.988 | 11.799 | 11.505 | 11.184 | 10.858 | 10.531 | 10.205 | 9.878 | 9.550 |       |
| 8  | 11.912 | 11.962 | 11.787 | 11.491 | 11.169 | 10.846 | 10.522 | 10.198 | 9.873 | 9.547 |       |
| 7  | 11.426 | 11.972 | 11.752 | 11.438 | 11.132 | 10.825 | 10.509 | 10.188 | 9.866 | 9.542 |       |
| 6  | 14.905 | 11.342 | 11.535 | 11.266 | 11.079 | 10.806 | 10.497 | 10.179 | 9.859 | 9.537 |       |
| 5  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 11.063 | 11.071 | 10.817 | 10.495 | 10.173 | 9.854 | 9.534 |       |
| 4  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 10.744 | 11.038 | 10.782 | 10.456 | 10.149 | 9.843 | 9.530 |       |
| 3  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 13.191 | 10.545 | 10.612 | 10.316 | 10.110 | 9.836 | 9.529 |       |

|   |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 2 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 10.066 | 10.099 | 9.858 | 9.545 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000 |

|    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 9.238 | 8.906 | 8.575 | 8.244 | 7.913 | 7.583 | 7.253 | 6.923 | 6.593 | 6.263 |
| 18 | 9.237 | 8.906 | 8.574 | 8.244 | 7.913 | 7.583 | 7.253 | 6.923 | 6.593 | 6.263 |
| 17 | 9.237 | 8.905 | 8.574 | 8.243 | 7.913 | 7.583 | 7.252 | 6.922 | 6.593 | 6.263 |
| 16 | 9.236 | 8.905 | 8.574 | 8.243 | 7.913 | 7.582 | 7.252 | 6.922 | 6.592 | 6.263 |
| 15 | 9.235 | 8.904 | 8.573 | 8.243 | 7.912 | 7.582 | 7.252 | 6.922 | 6.592 | 6.263 |
| 14 | 9.233 | 8.903 | 8.572 | 8.242 | 7.912 | 7.582 | 7.252 | 6.922 | 6.592 | 6.262 |
| 13 | 9.232 | 8.901 | 8.571 | 8.241 | 7.911 | 7.581 | 7.252 | 6.922 | 6.592 | 6.262 |
| 12 | 9.230 | 8.900 | 8.570 | 8.240 | 7.911 | 7.581 | 7.251 | 6.922 | 6.592 | 6.262 |
| 11 | 9.228 | 8.898 | 8.569 | 8.240 | 7.910 | 7.580 | 7.251 | 6.921 | 6.592 | 6.262 |
| 10 | 9.225 | 8.897 | 8.568 | 8.239 | 7.909 | 7.580 | 7.251 | 6.921 | 6.591 | 6.262 |
| 9  | 9.223 | 8.895 | 8.566 | 8.238 | 7.909 | 7.579 | 7.250 | 6.921 | 6.591 | 6.262 |
| 8  | 9.220 | 8.893 | 8.565 | 8.237 | 7.908 | 7.579 | 7.250 | 6.921 | 6.591 | 6.262 |
| 7  | 9.217 | 8.890 | 8.563 | 8.236 | 7.907 | 7.578 | 7.249 | 6.920 | 6.591 | 6.262 |
| 6  | 9.213 | 8.888 | 8.562 | 8.235 | 7.907 | 7.578 | 7.249 | 6.920 | 6.591 | 6.261 |
| 5  | 9.212 | 8.887 | 8.561 | 8.234 | 7.906 | 7.578 | 7.249 | 6.920 | 6.591 | 6.261 |
| 4  | 9.210 | 8.887 | 8.561 | 8.234 | 7.906 | 7.578 | 7.249 | 6.920 | 6.591 | 6.261 |
| 3  | 9.211 | 8.887 | 8.561 | 8.234 | 7.906 | 7.578 | 7.249 | 6.920 | 6.590 | 6.261 |
| 2  | 9.218 | 8.891 | 8.563 | 8.235 | 7.906 | 7.578 | 7.249 | 6.920 | 6.590 | 6.261 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 31    | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    | 40    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 18 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 17 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 16 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 15 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 14 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 13 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 12 | 5.933 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 11 | 5.932 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 10 | 5.932 | 5.603 | 5.273 | 4.944 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 9  | 5.932 | 5.603 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 8  | 5.932 | 5.603 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.296 | 2.966 |
| 7  | 5.932 | 5.602 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.295 | 2.966 |
| 6  | 5.932 | 5.602 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.295 | 2.966 |
| 5  | 5.932 | 5.602 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.955 | 3.625 | 3.295 | 2.966 |
| 4  | 5.932 | 5.602 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.954 | 3.625 | 3.295 | 2.966 |
| 3  | 5.932 | 5.602 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.954 | 3.625 | 3.295 | 2.966 |
| 2  | 5.932 | 5.602 | 5.273 | 4.943 | 4.614 | 4.284 | 3.954 | 3.625 | 3.295 | 2.966 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 41    | 42    | 43    | 44    | 45    | 46    | 47    | 48    | 49    | 50    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 16 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 13 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 11 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 9  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |

|   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 2.636 | 2.307 | 1.977 | 1.648 | 1.318 | 0.989 | 0.659 | 0.330 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

C20

C.7 Agent verspreiding met konstante vloeisnelhede deur al die ringe.

Uz

C21

|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.000 | 0.088 | 0.116 | 0.124 | 0.117 | 0.107 | 0.099 | 0.093 | 0.088 | 0.085 |
| 18 | 0.000 | 0.194 | 0.163 | 0.155 | 0.129 | 0.112 | 0.101 | 0.094 | 0.089 | 0.085 |
| 17 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.040 | 0.063 | 0.075 | 0.080 | 0.081 | 0.080 |
| 16 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.024 | 0.051 | 0.068 | 0.075 | 0.077 | 0.078 |
| 15 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.064 | 0.080 | 0.084 | 0.082 | 0.079 | 0.078 |
| 14 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.180 | 0.137 | 0.121 | 0.098 | 0.086 | 0.080 |
| 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 | 0.052 | 0.063 |
| 12 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.024 | 0.048 | 0.062 |
| 11 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.062 | 0.076 | 0.079 |
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.175 | 0.132 | 0.115 |
| 9  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.082 | 0.079 | 0.077 | 0.076 | 0.074 | 0.073 | 0.072 | 0.071 | 0.070 | 0.069 |
| 18 | 0.082 | 0.079 | 0.077 | 0.076 | 0.074 | 0.073 | 0.072 | 0.071 | 0.070 | 0.069 |
| 17 | 0.079 | 0.078 | 0.076 | 0.075 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.070 | 0.070 | 0.069 |
| 16 | 0.077 | 0.076 | 0.075 | 0.074 | 0.073 | 0.072 | 0.071 | 0.070 | 0.069 | 0.069 |
| 15 | 0.076 | 0.076 | 0.075 | 0.074 | 0.073 | 0.072 | 0.071 | 0.070 | 0.069 | 0.068 |
| 14 | 0.078 | 0.076 | 0.075 | 0.073 | 0.072 | 0.071 | 0.071 | 0.070 | 0.069 | 0.068 |
| 13 | 0.069 | 0.071 | 0.072 | 0.072 | 0.071 | 0.071 | 0.070 | 0.069 | 0.069 | 0.068 |
| 12 | 0.068 | 0.070 | 0.071 | 0.071 | 0.070 | 0.070 | 0.069 | 0.069 | 0.068 | 0.068 |
| 11 | 0.076 | 0.073 | 0.071 | 0.070 | 0.070 | 0.069 | 0.069 | 0.069 | 0.068 | 0.067 |
| 10 | 0.092 | 0.080 | 0.074 | 0.072 | 0.070 | 0.069 | 0.069 | 0.068 | 0.068 | 0.067 |
| 9  | 0.029 | 0.048 | 0.058 | 0.064 | 0.066 | 0.067 | 0.068 | 0.067 | 0.067 | 0.067 |
| 8  | 0.020 | 0.042 | 0.056 | 0.062 | 0.065 | 0.066 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.066 |
| 7  | 0.056 | 0.068 | 0.071 | 0.069 | 0.068 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.066 | 0.066 |
| 6  | 0.164 | 0.121 | 0.104 | 0.085 | 0.075 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.066 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.049 | 0.059 | 0.063 | 0.064 | 0.064 | 0.065 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.043 | 0.057 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.064 | 0.064 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.133 | 0.099 | 0.088 | 0.073 | 0.067 | 0.065 | 0.064 |
| 2  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.027 | 0.046 | 0.055 | 0.060 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.027 | 0.046 | 0.055 | 0.060 |

|    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.068 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 18 | 0.068 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 17 | 0.068 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 16 | 0.068 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 15 | 0.068 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 14 | 0.067 | 0.067 | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 13 | 0.067 | 0.067 | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 |
| 12 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.062 | 0.062 |
| 11 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 |
| 10 | 0.067 | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 |
| 9  | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 |
| 8  | 0.066 | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 |
| 7  | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 |
| 6  | 0.065 | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 |
| 5  | 0.065 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 |
| 4  | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 |
| 3  | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 |
| 2  | 0.062 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 | 0.061 |
| 1  | 0.062 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.062 | 0.062 | 0.061 | 0.061 |





|    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
|    | 41     | 42     | 43     | 44     | 45     | 46     | 47     | 48     | 49     | 50    |
| 20 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 19 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |
| 18 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 17 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 16 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 15 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 14 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 13 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 12 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 11 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 10 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000 |
| 9  | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 8  | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 7  | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 6  | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 5  | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 4  | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 3  | -0.002 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 2  | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.001 | -0.000 | -0.000 | -0.000 | 0.000  | 0.000 |
| 1  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 |

|    |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | P     |        |       |       |       |       |       |       |       |       |
|    | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 20 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.000 | 9.415  | 9.330 | 8.742 | 8.202 | 7.847 | 7.561 | 7.295 | 7.039 | 6.792 |
| 18 | 0.000 | 11.263 | 8.798 | 8.532 | 7.994 | 7.782 | 7.546 | 7.290 | 7.036 | 6.789 |
| 17 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 7.645 | 7.713 | 7.537 | 7.286 | 7.028 | 6.780 |
| 16 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 7.664 | 7.683 | 7.517 | 7.258 | 7.001 | 6.759 |
| 15 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 7.394 | 7.677 | 7.467 | 7.189 | 6.951 | 6.727 |
| 14 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 9.476 | 7.313 | 7.303 | 7.017 | 6.876 | 6.692 |
| 13 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 6.788 | 6.822 | 6.677 |
| 12 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 6.791 | 6.805 | 6.662 |
| 11 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 6.532 | 6.807 | 6.625 |
| 10 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 8.533 | 6.471 | 6.479 |
| 9  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1  | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 6.554 | 6.323 | 6.100 | 5.882 | 5.670 | 5.463 | 5.260 | 5.061 | 4.866 | 4.674 |
| 18 | 6.550 | 6.320 | 6.097 | 5.880 | 5.668 | 5.461 | 5.258 | 5.060 | 4.865 | 4.673 |
| 17 | 6.543 | 6.314 | 6.091 | 5.875 | 5.664 | 5.457 | 5.255 | 5.057 | 4.862 | 4.670 |
| 16 | 6.527 | 6.302 | 6.082 | 5.867 | 5.657 | 5.451 | 5.250 | 5.052 | 4.858 | 4.667 |
| 15 | 6.506 | 6.286 | 6.069 | 5.857 | 5.648 | 5.444 | 5.243 | 5.046 | 4.852 | 4.662 |
| 14 | 6.483 | 6.268 | 6.054 | 5.843 | 5.637 | 5.434 | 5.234 | 5.038 | 4.845 | 4.655 |
| 13 | 6.469 | 6.251 | 6.037 | 5.828 | 5.623 | 5.422 | 5.224 | 5.029 | 4.837 | 4.648 |
| 12 | 6.444 | 6.223 | 6.013 | 5.808 | 5.607 | 5.408 | 5.212 | 5.019 | 4.828 | 4.639 |
| 11 | 6.383 | 6.176 | 5.980 | 5.785 | 5.588 | 5.393 | 5.199 | 5.007 | 4.817 | 4.630 |
| 10 | 6.227 | 6.106 | 5.946 | 5.762 | 5.570 | 5.377 | 5.184 | 4.994 | 4.805 | 4.619 |
| 9  | 6.012 | 6.051 | 5.929 | 5.749 | 5.555 | 5.361 | 5.169 | 4.979 | 4.792 | 4.607 |
| 8  | 6.020 | 6.035 | 5.917 | 5.729 | 5.533 | 5.341 | 5.151 | 4.963 | 4.778 | 4.594 |
| 7  | 5.791 | 6.037 | 5.888 | 5.686 | 5.499 | 5.315 | 5.130 | 4.945 | 4.762 | 4.580 |
| 6  | 7.579 | 5.747 | 5.773 | 5.573 | 5.451 | 5.287 | 5.108 | 4.926 | 4.745 | 4.565 |
| 5  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 5.422 | 5.423 | 5.274 | 5.089 | 4.907 | 4.728 | 4.550 |
| 4  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 5.293 | 5.403 | 5.248 | 5.053 | 4.879 | 4.708 | 4.534 |
| 3  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 6.438 | 5.185 | 5.156 | 4.962 | 4.841 | 4.689 | 4.521 |

|   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.780 | 4.815 | 4.688 | 4.517 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

C25

|    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 4.486 | 4.300 | 4.117 | 3.938 | 3.760 | 3.585 | 3.413 | 3.243 | 3.074 | 2.908 |
| 18 | 4.484 | 4.299 | 4.116 | 3.937 | 3.759 | 3.585 | 3.412 | 3.242 | 3.074 | 2.908 |
| 17 | 4.482 | 4.297 | 4.115 | 3.935 | 3.758 | 3.583 | 3.411 | 3.240 | 3.072 | 2.906 |
| 16 | 4.479 | 4.294 | 4.112 | 3.932 | 3.755 | 3.580 | 3.408 | 3.238 | 3.070 | 2.905 |
| 15 | 4.474 | 4.290 | 4.108 | 3.928 | 3.752 | 3.577 | 3.405 | 3.235 | 3.068 | 2.902 |
| 14 | 4.469 | 4.284 | 4.103 | 3.924 | 3.747 | 3.573 | 3.401 | 3.232 | 3.064 | 2.899 |
| 13 | 4.462 | 4.278 | 4.097 | 3.918 | 3.742 | 3.568 | 3.397 | 3.228 | 3.060 | 2.895 |
| 12 | 4.454 | 4.271 | 4.090 | 3.912 | 3.736 | 3.563 | 3.392 | 3.223 | 3.056 | 2.891 |
| 11 | 4.445 | 4.262 | 4.082 | 3.905 | 3.730 | 3.556 | 3.386 | 3.217 | 3.050 | 2.885 |
| 10 | 4.435 | 4.253 | 4.074 | 3.897 | 3.722 | 3.549 | 3.379 | 3.211 | 3.044 | 2.880 |
| 9  | 4.424 | 4.243 | 4.065 | 3.888 | 3.714 | 3.542 | 3.372 | 3.204 | 3.038 | 2.873 |
| 8  | 4.412 | 4.232 | 4.055 | 3.879 | 3.705 | 3.533 | 3.364 | 3.196 | 3.030 | 2.867 |
| 7  | 4.399 | 4.221 | 4.044 | 3.869 | 3.695 | 3.524 | 3.355 | 3.188 | 3.023 | 2.859 |
| 6  | 4.386 | 4.209 | 4.033 | 3.858 | 3.686 | 3.515 | 3.346 | 3.179 | 3.014 | 2.851 |
| 5  | 4.373 | 4.196 | 4.021 | 3.847 | 3.675 | 3.505 | 3.337 | 3.170 | 3.006 | 2.843 |
| 4  | 4.360 | 4.184 | 4.010 | 3.836 | 3.665 | 3.495 | 3.327 | 3.161 | 2.997 | 2.835 |
| 3  | 4.348 | 4.173 | 3.999 | 3.826 | 3.654 | 3.485 | 3.317 | 3.151 | 2.988 | 2.826 |
| 2  | 4.341 | 4.165 | 3.990 | 3.817 | 3.645 | 3.476 | 3.309 | 3.143 | 2.980 | 2.819 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 31    | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    | 40    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 2.744 | 2.582 | 2.421 | 2.263 | 2.105 | 1.949 | 1.795 | 1.641 | 1.489 | 1.338 |
| 18 | 2.744 | 2.581 | 2.421 | 2.262 | 2.105 | 1.949 | 1.794 | 1.641 | 1.489 | 1.337 |
| 17 | 2.742 | 2.580 | 2.420 | 2.261 | 2.104 | 1.948 | 1.794 | 1.640 | 1.488 | 1.337 |
| 16 | 2.741 | 2.579 | 2.418 | 2.260 | 2.102 | 1.947 | 1.792 | 1.639 | 1.487 | 1.336 |
| 15 | 2.738 | 2.576 | 2.416 | 2.258 | 2.101 | 1.945 | 1.791 | 1.638 | 1.486 | 1.335 |
| 14 | 2.735 | 2.574 | 2.414 | 2.255 | 2.098 | 1.943 | 1.789 | 1.636 | 1.484 | 1.334 |
| 13 | 2.732 | 2.570 | 2.410 | 2.252 | 2.096 | 1.940 | 1.787 | 1.634 | 1.482 | 1.332 |
| 12 | 2.727 | 2.566 | 2.407 | 2.249 | 2.092 | 1.937 | 1.784 | 1.632 | 1.480 | 1.330 |
| 11 | 2.723 | 2.562 | 2.402 | 2.245 | 2.089 | 1.934 | 1.781 | 1.629 | 1.478 | 1.328 |
| 10 | 2.717 | 2.557 | 2.398 | 2.240 | 2.085 | 1.930 | 1.777 | 1.626 | 1.475 | 1.325 |
| 9  | 2.711 | 2.551 | 2.392 | 2.235 | 2.080 | 1.926 | 1.774 | 1.622 | 1.472 | 1.323 |
| 8  | 2.705 | 2.545 | 2.387 | 2.230 | 2.075 | 1.922 | 1.769 | 1.618 | 1.469 | 1.320 |
| 7  | 2.698 | 2.538 | 2.381 | 2.224 | 2.070 | 1.917 | 1.765 | 1.614 | 1.465 | 1.317 |
| 6  | 2.690 | 2.531 | 2.374 | 2.218 | 2.064 | 1.911 | 1.760 | 1.610 | 1.461 | 1.313 |
| 5  | 2.683 | 2.524 | 2.367 | 2.212 | 2.058 | 1.906 | 1.755 | 1.605 | 1.457 | 1.310 |
| 4  | 2.674 | 2.516 | 2.360 | 2.205 | 2.052 | 1.900 | 1.750 | 1.601 | 1.453 | 1.306 |
| 3  | 2.666 | 2.508 | 2.352 | 2.198 | 2.045 | 1.894 | 1.744 | 1.596 | 1.449 | 1.302 |
| 2  | 2.659 | 2.502 | 2.346 | 2.192 | 2.040 | 1.889 | 1.740 | 1.592 | 1.445 | 1.299 |
| 1  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

|    | 41    | 42    | 43    | 44    | 45    | 46    | 47    | 48    | 49    | 50    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 1.187 | 1.037 | 0.888 | 0.740 | 0.591 | 0.444 | 0.296 | 0.148 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 1.187 | 1.037 | 0.888 | 0.740 | 0.591 | 0.443 | 0.296 | 0.148 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | 1.186 | 1.037 | 0.888 | 0.739 | 0.591 | 0.443 | 0.296 | 0.148 | 0.000 | 0.000 |
| 16 | 1.186 | 1.036 | 0.887 | 0.739 | 0.591 | 0.443 | 0.296 | 0.148 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 1.185 | 1.035 | 0.887 | 0.739 | 0.591 | 0.443 | 0.296 | 0.148 | 0.001 | 0.000 |
| 14 | 1.184 | 1.035 | 0.886 | 0.738 | 0.590 | 0.443 | 0.296 | 0.148 | 0.001 | 0.000 |
| 13 | 1.182 | 1.033 | 0.885 | 0.737 | 0.590 | 0.443 | 0.296 | 0.149 | 0.001 | 0.000 |
| 12 | 1.181 | 1.032 | 0.884 | 0.736 | 0.589 | 0.442 | 0.296 | 0.149 | 0.002 | 0.000 |
| 11 | 1.179 | 1.030 | 0.883 | 0.736 | 0.589 | 0.442 | 0.296 | 0.149 | 0.002 | 0.000 |
| 10 | 1.177 | 1.029 | 0.881 | 0.735 | 0.588 | 0.442 | 0.296 | 0.149 | 0.003 | 0.000 |
| 9  | 1.174 | 1.027 | 0.880 | 0.733 | 0.587 | 0.441 | 0.295 | 0.150 | 0.003 | 0.000 |
| 8  | 1.172 | 1.025 | 0.878 | 0.732 | 0.586 | 0.441 | 0.295 | 0.150 | 0.004 | 0.000 |
| 7  | 1.169 | 1.023 | 0.877 | 0.731 | 0.586 | 0.441 | 0.295 | 0.150 | 0.005 | 0.000 |
| 6  | 1.166 | 1.020 | 0.875 | 0.730 | 0.585 | 0.440 | 0.295 | 0.151 | 0.006 | 0.000 |
| 5  | 1.163 | 1.018 | 0.873 | 0.728 | 0.584 | 0.440 | 0.295 | 0.151 | 0.006 | 0.000 |
| 4  | 1.160 | 1.015 | 0.871 | 0.727 | 0.583 | 0.439 | 0.296 | 0.152 | 0.007 | 0.000 |
| 3  | 1.157 | 1.013 | 0.869 | 0.725 | 0.582 | 0.439 | 0.296 | 0.152 | 0.008 | 0.000 |