

UNIVERSITEIT VAN PRETORIA
DEPARTEMENT CHEMIESE INGENIEURSWESE

BIOLOGIESESKUIMBEHEER MET SELEKTIEWE
FLOTTASIE IN DIE GEAKTIVEERDESLYKPROSES

DEUR
CJP LAUBSCHER
WA PRETORIUS

Verslag aan die Waternavorsingskommissie

147 / 11 / 88

INHOUDSOPGAWE

BIOLOGIESESKUIMBEHEER MET SELEKTIEWE FLOTTASIE IN DIE GEAKTIVEERDESLYKPROSES

Bladsynrs.

OPSOMMING	(i)
SUMMARY	(iii)
ERKENNINGS	(v)
AFKORTINGS	(vi)
SIMBOLE	(vii)
HOOFSTUK 1: <u>DEFINIËRING VAN DIE ONDERWERP</u>	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Verskil tussen biologiese skuim en seepskuim	1
1.3 Bedryfsprobleme	3
1.4 Vroeë verklarings vir die biologieseskuim-verskynsel	3
1.5 Geskiedenis van die biologieseskuim-verskynsel	4
1.6 Hipotese vir die onlangse verskyning van biologiese skuim	4
1.7 Omvang van die skuimprobleem in Suid-Afrika	5
HOOFSTUK 2: <u>DOELSTELLING EN BEPLANNING VAN DIE ONDERSOEK</u>	6
2.1 Definiëring van biologiese skuim	6
2.2 Insig in die dinamika van skuimvorming	6
2.3 Kwantifisering van biologiese skuim	6
2.4 Beheer van biologiese skuim	7
2.5 Die bepaling van ontwerpskriteria vir 'n skuimbeheermeganisme ..	8
HOOFSTUK 3: <u>'N LITERATUURSTUDIE OOR BIOLOGIESE SKUIM</u>	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Klassifikasie van biologiese skuim	9
3.3 Identifikasie van die organisme wat die algemeenste in biolo- giese skuim voorkom	10

3.4	Die fisiologiese en chemiese eienskappe van <i>Nocardia</i>	12
3.5	Die fisiologiese en chemiese eienskappe van <i>M. parvicella</i>	21
3.6	Beheer of voorkoming van biologiese skuim	25
3.7	Die dinamika van skuimvorming	29
3.8	Opsommende bevindings van die literatuuroorsig	33
3.9	Beheer van biologiese skuim d.m.v. selektiewe flottasie	34
3.10	Die studieprogram	35
HOOFSTUK 4:	<u>KWANTIFISERING VAN BIOLOGIESE SKUIM</u>	36
4.1	Doel van kwantifisering	36
4.2	Bepaling van die fraksioneringseienskappe	36
4.3	Ontwikkeling van 'n metode om biologiese skuim te kwantifiseer	43
4.4	Verbetering van die kwaliteit van selektiewe flottasie deur die byvoeging van ferrichloried	52
HOOFSTUK 5:	<u>ONTWIKKELING VAN ONTWERPKRITERIA VIR 'N</u>	
	<u>SKUIMBEHEERMEGANISME</u>	53
5.1	Beheer van biologiese skuim d.m.v. negatiewe seleksie	53
5.2	Posisie van 'n skuimbeheermeganisme in 'n geaktiveerdeslykstel- sel	55
5.3	Bepanning van die ondersoek	56
5.4	Laboratoriumondersoeke en vasstelling van ontwerpkrriteria	56
5.5	Uitbreiding van die wiskundige model na kontinuevoer - geakti- veerdeslykstelsels	80
HOOFSTUK 6:	<u>'N LOODSSKAAL ONDERSOEK NA DIE BEHEER VAN BIOLOGIESE</u>	
	<u>SKUIM</u>	84
6.1	Agtergrond	84
6.2	Loodsskaalondersoek by die Daspoort-aanleg	84
HOOFSTUK 7:	<u>'N VOLSKAALSE ONDERSOEKE NA DIE VERWYDERING VAN BIO-</u>	
	<u>LOGIESE SKUIM</u>	98
7.1	Bepanning van die ondersoek	98
7.2	Doel van die ondersoek	100
7.3	Apparaat	100
7.4	Bedryfskriteria van die volskaalse ondersoeke	102
7.5	Metode	103
7.6	Resultaat	104
7.7	Gevolgtrekking	106

<u>AANHANGSEL A: SKUIMBEHEER DEUR DIE ONDERDRUKKING VAN DIE SKUIMVERMOE</u>	
<u>VAN SKUIMVORMENDE ORGANISMES</u>	108
A.1 Agtergrond	108
A.2 Doel van die ondersoek	108
A.3 Apparaat	109
A.4 Metode	111
A.5 Resultaat	114
A.6 Gevolgtrekking	121
<u>AANHANGSEL B: DIE ONTWERP VAN 'N FLOTTASIESSEL</u>	154
B.1 Die Ontwerpprosedure vir 'n flottasiesel	154
B.2 'n Rekenaarprogram vir die ontwerp van 'n flottasiesel en fraksioneringsmeganisme	157
B.3 Voorbeeld van die ontwerp van 'n flottasiesel met behulp van 'n rekenaarprogram	157
<u>AANHANGSEL C: PRAKTIEWE OORWEGINGS BY DIE ONTWERP EN BEDRYF VAN 'N</u>	
<u>STELSEL WAARIN BIOLOGIESSE SKUIMBEHEER D.M.V. SELEKTIEWE</u>	
<u>FLOTTASIE TOEGEPAS WORD</u>	164
<u>AANHANGSEL D: BYKOMENDE RESULTATE VAN LOODSSKAALONDERSOEK BY DIE DASPOORT-</u>	
<u>RIJOLWATERSUITWERINGSAAANLEG</u>	168
<u>LITERATUURVERWYSINGS</u>	171



OPSOMMING

In hierdie studie is bevind dat die opbouing van biologiese skuim op die oppervlakte van tenks in geaktiveerdeslykaanlêe te wyte is aan die dominante voorkoms van die organismes, *Nocardia spp.* of *Microthrix parvicella*, in die skuim. Die bykans selektiewe teenwoordigheid van hierdie bakterieë in biologiese skuim word veroorsaak deur benattingsmiddels wat onder sekere toestande aan die selwande adsorbeer en meebring dat wanneer lugborrels deur die slykmengsel versprei word, hierdie-bakterieë mettertyd aan die lugborrels vassit en sodoende flotter.

Aangesien skuimbakterieë neig om te dryf, hoop dit op in kompartemente wat oor oppervlakeskotte beskik. Dit word gevolglik nie onderwerp aan die proses van slykverspilling vir slykouderdombeheer nie, met die gevolg dat dit in hierdie "mikrobiese selekteerders" vermeerder. Slykbakterieë in 'n vasgekeerde skuimlaag beskik dus oor 'n veel langer slykouderdom as die besinkbare slyk, met die gevolg dat sulke stelsels in effek twee slykouderdomme het.

Die besonderse fisiologiese eienskappe van hierdie skuimvormende organismes, naamlik dat dit verhongeringsbestand is en 'n hoë substraataffiniteit openbaar, bring mee dat dit in 'n laeslykladingstoestand bo die meeste ander organismes bevoordeel word. Indien dit in 'n skuimvormende staat onder anaërobiese toestande verkeer, word hierdie organismes verder bevoordeel bo ander aërobiese organismes deurdat dit, feitlik eksklusief aan lugborrels kleef en sodoende oor 'n kontinue lugtoevoer beskik.

Verskeie metodes is reeds toegepas om biologiese skuim te bekamp, maar nie een was besonder doeltreffend nie. Hierdie studie het dit ten doel gestel om metodes te ontwikkel waarvolgens skuimbakterieë, deur gebruik te maak van die besondere flottasievermoë waaroor dit beskik, eerstens in 'n stelsel te kwantifiseer en tweedens selektief uit 'n stelsel te flotter. Die hipotese was dat indien die skuimbakterieë teen 'n vinniger tempo negatief geselekteer word as wat dit deur positiewe seleksie vermeerder, dit uit die stelsel verwyder kan word, om sodoende die voorkoms van biologiese skuim te beëindig.

'n Wiskundige model is ontwikkel waarvolgens die tempo van skuimverwydering uit 'n stelsel bereken kan word tydens die aanwending van verskillende flottasieselgroottes en kombinasies bedryfsparameters. Die lugvloeytempo per volume flottasiesel,

(ii)

die diepte van die sel en gemiddelde borrelgrootte, is saamgevat in 'n sogenaamde bedryfsfaktor, F_b ; 'n F_b -waarde van tussen 22 en 24 en 'n werklike retensieperiode van tussen 10 en 20 minute bied 'n kostedoeltreffende skuimverwyderingstelsel. 'n Lugvloeiempo van $10 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ reaktor.h}^{-1}$, wat binne die bestek van normale aanwending val, 'n seldiepte van 3 m, 'n gemiddelde borrelgrootte van 2 mm wat 'n optimale balans tussen maksimale flottasietempo van skuimbakterieë en minimum flottasie van ander slykorganismes, bied byvoorbeeld 'n F_b -waarde van 23.

Die model inkorporeer die gelyktydige toename in skuimbakterie-produksie as gevolg van groei. Aangesien die groeitempo van *M. parvicella* reeds bekend is, is slegs dié van *Nocardia* by die Rynfield-(Benoni) aanleg bepaal. Dit is naamlik vasgestel as 0,01 per uur.

Hierdie metode van biologieseskuimbeheer met selektiewe flottasie, is uiteindelik suksesvol getoets op loodsskaal en daarna op volskaal by die Daspoort-(Pretoria) rioolwatersuiweringsaanleg.



SUMMARY

In this study it was found that the accumulation of biological scum on the surface of tanks in activated sludge plants is due to the dominant presence of the bacteria, *Nocardia* spp. or *Microthrix parvicella*, in the scum. The almost selective presence of this species of organism in biological scum is caused by wetting agents which under certain conditions adhere to its cell walls. The result is that when air bubbles are distributed through the mixed liquor, these bacteria eventually become attached to bubbles and hence flotated.

As scum bacteria tend to float, they accumulate in compartments equipped with surface baffles. They are therefore not subjected to the process of sludge wastage for sludge age control, with the result that they accumulate and multiply in these "microbial selectors". Sludge organisms in a trapped scum layer therefore have a much longer sludge age than the sludge which settles readily. Consequently such systems have in effect two sludge ages.

The particular physiological characteristics of these scum forming bacteria, i.e. that they are starvation resistant and reveal a high substrate affinity, present it an advantage over other bacteria in conditions where there is a low substrate level. In a scum forming state under anaerobic conditions, these bacteria have a further advantage over other aerobic organisms as they have a continuous air supply because of the air bubbles to which they adhere.

Various methods have already been applied to control biological scum, but none has been particularly successful. The aim of this study was to develop methods whereby scum bacteria could firstly be quantified in a system and secondly be selectively flotated out of a system by utilising their special flotating characteristics. The hypothesis was that if scum bacteria could be negatively selected at a faster rate than that at which they multiply by positive selection, they could be removed from the system, thereby ending the occurrence of biological scum.

A mathematical model was developed whereby the rate of scum removal from a system could be calculated during the application of various sizes of flotation cells and combinations of operating parameters. The air flow rate per flotation cell volume, the depth of the cell and average bubble size were combined into a so-called operating factor, F_b . An F_b -value of between 22 and 24 and a real

retention period of between 10 and 20 minutes provides a cost-effective scum removal mechanism. An air flow rate of $10 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ reactor.h}^{-1}$ which falls within the range of normal application, a cell depth of 3 m and an average air bubble size of 2 mm, all of which represent an optimum balance between the maximum flotation rate of scum bacteria and the minimum flotation of other sludge organisms, gives, for example, an F_b value of 23.

This model incorporates a simultaneous increase in scum bacteria production as a result of growth. As the growth rate of *M. parvicella* was already known, only that of *Nocardia* was determined at the Rynfield (Benoni) plant, where it was found to be 0,01 per hour.

This method of biological scum control with selective flotation was eventually tested successfully on a pilot scale and thereafter on full scale at the Daspoort (Pretoria) sewage treatment plant.



DANKBETUIGING

Die navorsing waaroor in hierdie verslag gerapporteer word, spruit voort uit die volgende navorsingsprojek wat deur die Waternavorsingskommissie (WNK) gefinansier is:

Navorsing oor Biologiese Skuim in die Geaktiveerdeslykproses:

Die loodskomitee wat vir die projek verantwoordelik was, het uit die volgende persone bestaan:

Dr HNS Wiechers	Waternavorsingskommissie (Voorsitter)
Prof G vR Marais	Universiteit van Kaapstad
Prof G Ekama	Universiteit van Kaapstad
Mnr WM Malan	Universiteit van Stellenbosch
Dr JJ Barnard	Departement van Waterwese
Mnr JH Nell	Nasionale Instituut vir Waternavorsing
Mev M Smollen	Nasionale Instituut vir Waternavorsing
Mnr AR Pitman	Stadsraad van Johannesburg
Mnr HGJ Beekman	Stadsraad van Kaapstad

Die finansiering deur die WNK en die bydraes van lede van die loodskomitee word met dank erken.

Die skrywer betuig hiermee ook sy dank aan die volgende persone en instansies vir hul belangstelling en bystand gedurende die navorsingsprojek.

Die Stadsraad van Pretoria vir hul toestemming dat ondersoeke by die Daspoort-aanleg uitgevoer kon word en in besonder die personeel by die Daspoort-wateranalitieselaboratorium vir die bereidwilligheid en entoesiasme waarmee hulle die vele analyses uitgevoer het.

Die Stadsrade van Benoni, Middelburg, Randfontein en Johannesburg dat ondersoeke by hul onderskeie aanlêe uitgevoer kon word.

Die Nasionale Voedselnavorsingsinstituut van die W.N.N.R. en in persoon Dr. LM du Plessis, vir die uitvoering van vetsuuranalises.

Spesiale dank aan my promotor, Professor WA Pretorius, vir sy raad, opbouende kritiek en aanmoediging.

Advanced Technical Computing, wat die rekenaarprogram ontwikkel het.

AFKORTINGS

BSB	-	biologiese suurstofbehoefte
CSB	-	chemiese suurstofbehoefte
GSRT	-	gemiddelde selretensietyd
h	-	uur
KN	-	Kjeldahl stikstof
mgd	-	miljoen gelling per dag
O.S.	-	opgeloste suurstof
SMI	-	skuimindeks
SS	-	swewende stowwe
SSSM	-	swewende stowwe in die slykmengsel
SSVI	-	geroerdeslykvolume-indeks
TSS	-	totale swewende stowwe

SIMBOLE

μ_{naks}	- maksimum spesifieke groeitempo
γ_{naks}	- maksimum opbrengskoëffisiënt
K_s	- groeitempokonstante
β	- gedefinieer op Bladsy 30
ϕ	- gedefinieer op Bladsy 30
γ	- oppervlaktespanning van 'n vloeistof
L	- die lengte van die drie-fase lyn
ϕ	- lugborreldeursnit (mm)
c	- konstante van die magsfunksie
e	- konstante van die magsfunksie
g	- konstante van die logaritmiese funksie
h	- konstante van die logaritmiese funksie
η	- die doeltreffendheid van 'n flottasiemeganisme
η_l	- die doeltreffendheid van die flottasiemeganisme wanneer die skuimkonsentrasie = Z_l
η_e	- die doeltreffendheid van die flottasiemeganisme wanneer die skuimkonsentrasie = Z_e
Z	- die skuimkonsentrasie aan die begin van 'n retensieperiode
Z_e	- die skuimkonsentrasie aan die einde van die logsfunksie met ander woorde die aanvang van die magsfunksiesone
Z_l	- die skuimkonsentrasie van waar die afname in Z beduidend begin word - dui aan die aanvang van die logsfunksiesone
Z_1	- die skuimkonsentrasie aan die einde van die retensieperiode
t	- die totale tydsduur na aanvang van die flottasieproses

(viii)

- $\bar{t}$ - die nominale hidrouliese retensieperiode in 'n flottasiesel tydens flottasie
- $\bar{t}_1$ - die nominale hidrouliese retensieperiode in 'n hele geaktiveerdeslykstelsel
- $\bar{t}_w$ - die werklike retensie van die slykmengsel in 'n flottasiesel met inagneming van die slykhersirkulasie
- t_m - die verwagte tydsduur benodig om biologiese skuim in 'n kontinue-voerstelsel tot 'n onbeduidende lae vlak te verlaag (uur)
- $\bar{t}_{rat}$ - $\bar{t}/\bar{t}_1$, vir die doel van die rekenaarprogram
- $\bar{t}_s$ - gemiddelde nominale hidrouliese retensie deur 'n geaktiveerdeslykstelsel, flottasiesel uitgesluit
- dt - $\bar{t}_w$, 'n tydiskrement
- V_f - die volume van 'n flottasiesel
- H - die diepte van 'n flottasiesel
- F_b - die bedryfsfaktor by enige flottasieseldiepte
- F'_b - die bedryfsfaktor by een meter flottasieseldiepte
- R - die verhouding van slykhersirkulasie tot gemiddelde vloeitempo
- R_2 - die akkuraatheid van 'n vergelykingpasprogram op 'n HP-41 CV-rekenaar (R - faktor = 1 verteenwoordig 'n honderd persent paspoging)
- Q_l - die lugvloetimepo tydens flottasie
- j - 'n dieptefaktor wat die afname in doeltreffendheid van 'n flottasiemeganisme by toenemende diepte beskryf
- A_f - die oppervlakte - area van die flottasiesel
- I - die skuimindeks
- I_o - die maksimum skuimindeks waarvoor 'n flottasiesel ontwerp moet word
- MF' - die massa van die skuimbakterieë in 'n stelsel na elke fraksioneringsiklus
- MF_s - die massa van die skuimbakterieë in 'n stelsel by aanvang van 'n slyksirkulasiesiklus

HOOFSTUK 1

DEFINIËRING VAN DIE ONDERWERP

1.1 PROBLEEMSTELLING

Baie geaktiveerdeslykaanlêe wêreldwyd ondervind periodiek opbouing van 'n stabiele, viskose, ligbruin (taankleurige) skuim op die oppervlakte van belugtingsbakke en besinktenks wat baie moeilik is om te hanteer en wat ernstige bedryfsprobleme kan meebring.

1.2 VERSKIL TUSSEN BIOLOGIESE SKUIM EN SEEPSKUIM

Biologiese skuim, moet nie met wit seepskuim verwar word wat by rioolwater-suiweringsaanlêe waargeneem word tydens 'n toestand van hoë slykladingtempo's nie, deurdat dit:-

- a) 'n ooglopende kleurverskil toon;
- b) so stabiel is dat dit nie deur ontskuimmiddels of watersproei afgebreek kan word in die belugtingsbakke nie;
- c) vetterig voel wanneer dit hanteer word; en
- d) nie soos seepskuim slegs uit lug en vloeistof met skuimmiddel bestaan nie (sogenaamde twee-fase skuim), maar ook oor 'n derde soliede fase beskik wat uit mikroorganismes bestaan; vandaar die term "biologiese skuim" of drie-fase skuim.

Die bakterie-fase verskaf die ligbruin kleur asook stabiliteit aan die skuim. Figure 1.1 en 1.2 toon twee geaktiveerdeslykaanlêe wat biologiese skuim ondervind, waarin *Microthrix parvicella* en *Nocardia* spp. onderskeidelik die dominante skuimbakterie is.

Figuur 1.1: Biologieseskuim-voorkoms by Randfontein Estate Goudmyn-aanleg met *M. parvicella* die dominante skuimbakterie.

Figuur 1.2: Biologieseskuim-voorkoms by Rynfield-aanleg met *Nocardia* die dominante skuimbakterie.

1.3 BEDRYFSPROBLEME

Biologiese skuim kan in baie ernstige gevalle 'n laagdikte van tot 1 meter op die oppervlakte van die belugtingstenks vorm. Selfs in minder ernstige gevalle kan hierdie skuim die volgende bedryfsprobleme tot gevolg hê:-

- a) die teenwoordigheid van 'n skuimlaag op die oppervlakte van die belugtingstenks bring mee dat die natuurlike suurstofopname vanuit die atmosfeer deur die slykmengsel aan bande gelê word;
- b) indien die skuim sodanig in die stelsel opbou dat dit oor die kante van die tenks en kaste stroom en op loopareas beland, laat dit hierdie oppervlaktes taai, glyerig en onooglik;
- c) hierdie skuim word oorgedra na die finale besinktenks waar die stabielere fraksie aan hul lugborrels bly kleef, met die gevolg dat 'n skuimlaag op die oppervlakte van die besinktenks ook vorm. Die drywende skuim spoel uiteindelik oor in die finale uitvloeisel waar dit hoë swewende stowwe - (SS) en chemiese suurstofbehoefte - (CSB) konsentrasies meebring, met gevolglike verswakking in die uitvloeiselkwaliteit. Die skuim vang ook 'n fraksie van die normale biologiese organismes vas sodat in ernstige gevalle daar 'n aansienlike hoeveelheid bio-massa verlore gaan en die proses tot niet kan gaan;
- d) die skuimlaag op veral die besinktenks, maar ook in oop kaste waar dit nie normaalweg versteur word nie, hou gesondheidsgevaar in deurdat dit 'n potensiële broeiplek vir insekte vorm;
- e) die voorkoms van biologiese skuim by 'n aanleg en die bedryfsprobleme wat dit meebring, het tot gevolg dat hierdie skuim gereeld van die oppervlaktes van die besinktenks verwyder moet word. Hierdie proses is arbeidsintensief en tydrowend met die gevolg dat die bedryfskoste van 'n aanleg wat skuimprobleme ondervind, aansienlik toeneem.

1.4 VROEGE VERKLARINGS VIR DIE BIOLOGIESE SKUIM-VERSKYNSEL

Biologiese skuim is aanvanklik deur sekere navorsers, onder andere Pipes,⁴¹ afgemaak as bloot 'n chemies-fisiese verskynsel. Hulle verklaring daarvoor was dat die vette en olies wat algemeen in rioolwater voorkom, die

oppervlaktetspanning van 'n slykmengsel sodanig verlaag dat skuim tydens die belugtingsfase ontwikkel. Geen verklaring vir die "toevallige" teenwoordigheid van mikroörganismes in skuim is gegee nie.

1.5 GESKIEDENIS VAN DIE BIOLOGIESE SKUIM-VERSKYNSEL

Ten spyte daarvan dat die geaktiveerdeslykproses al sedert 1913 in die praktyk gebruik word vir rioolwatersuiwering,⁴⁹ kom dit voor of biologiese skuim 'n moderne verskynsel is.³² Hoewel dit moontlik vroeër reeds in geaktiveerdeslykstelsels waargeneem is, is die vroegste verwysing⁴⁰ na biologiese skuim in die literatuur, die geval van 'n stelsel wat uitsluitlik uitvloeisel van 'n melkverwerkingsproses hanteer het.⁴⁰ Hierdie aanleg het 'n hewige skuimlaag op die belugtingseenheid ontwikkel waarin drywende slyk vasgevang is. 'n Mikroskopiese ondersoek het aan die lig gebring dat die slyk in die skuim 'n dominante organisme bevat wat geïdentifiseer is as 'n straalswam van die *Nocardia*-spesie. Hierdie besondere skuimprobleem is 'n verdere vyf keer deur Pipes⁴¹ gerapporteer, maar deurgaans in prosesse wat hoofsaaklik melkuitvloei-sel hanteer het.

Die eerste aanduiding dat die teenwoordigheid van biologiese skuim nie noodwendig verband hou met melkuitvloei-sel nie, was toe die Milwaukee-aanleg (V.S.A.) wat uitsluitlik huishoudelike uitvloeisel hanteer, na 'n afname in die organiese lading op die stelsel, ook 'n hewige opbou van biologiese skuim ondervind het.⁴¹ 'n Mikroskopiese ondersoek van die skuim het getoon dat *Nocardia* ook in hierdie geval die dominante organisme was. In hierdie stadium het dit voorgekom of die skuimprobleem uitsluitlik verband hou met die voorkoms van groot hoeveelhede straalswamme in die slykmengsel.

1.6 HIPOTESE VIR DIE "ONLANGSE" VERSKYNING VAN BIOLOGIESE SKUIM

Oor redes vir die onlangse ontwikkeling van hierdie probleem kan net bespiegel word. Waarskynlike verklarings is egter die volgende:-

Die klassieke geaktiveerdeslykproses sluit in die retoer van anaërobiese ver-teerder-bowater na die belugtingstelsel, terwyl die ouer stelsel vanweë gebrek aan belangstelling om nitrifikasie en aërobiese slykstabilisasie by die koolstofverwyderingsproses te inkorporeer, selde oor 'n slykouderdom van langer as 6 dae beskik.

Die nuwer stelsels inkorporeer in 'n al hoe minder mate anaërobiese vertering en vervang dit met langslykouderd-om-prosesse (>10 dae) waarin nitrifikasie en aërobiese slykstabilisasie noodwendig toegepas word. Selfs in die gevalle waar anaërobiese slykverteerders nog in gebruik is, word die bowater in 'n toenemende mate eers behandel ten einde die lading te verminder, voordat dit na die stelsel gevoer word.

'n Moontlike aanvullende verklaring vir die verskynsel is die verandering in die substraatsamestelling; meer spesifiek die samestelling van die vetverwante produkte. Ekonomiese redes dwing die publiek om hul in 'n toenemende mate na goedkoper hoendervleis te wend terwyl botter deesdae die knie moet buig voor margarine.⁹ Albei hierdie nuwer produkte bevat baie meer onversadigde vette as hul alternatiewe.

1.7 OMVANG VAN DIE SKUIMPROBLEEM IN SUID-AFRIKA

'n Opname is gedurende 1983 - 1984 deur die Universiteit van Kaapstad^{3.13} uitgevoer om die omvang van die slykuitdyings- en biologieseskuim-probleem by geaktiveerdeslykaanlêe in Suid-Afrika te bepaal.

Volgens hierdie opname wat op 111 geaktiveerdeslykaanlêe uitgevoer is, het 68 % daarvan skuimprobleme ondervind. Biologiese skuim kom meer gereeld voor by klein anlêe (0 - 10 ML/d), naamlik by 67 % van die stelsels wat al skuim gerapporteer het. Die probleem blyk egter nie so hewig te wees by hierdie klein anlêe nie en word redelik in bedwang gehou. By twee groter anlêe (40 - 80 ML/d) en by een baie groot aanleg (80 - 160 ML/d) is die probleem naamlik as onhanteerbaar beskryf in teenstelling met twee onhanteerbare gevalle by die kleiner anlêe.

Dit blyk ook uit die ondersoek dat slykuitdying en biologieseskuim-vorming nie noodwendig verband hou nie, want 46 % van die stelsels ondervind albei verskynsels gelyktydig, terwyl 23 % alleenlik die skuimprobleem ondervind.

HOOFSTUK 2

DOELSTELLINGS EN BEPLANNING VAN DIE ONDERSOEK

Die ondersoek na die biologieseskuim-probleem stel die volgende mikpunte ten doel.

2.1 DEFINIËRING VAN BIOLOGIESE SKUIM

Groot verwarring heers onder veral aanlegoperateurs oor wat die term biologiese skuim behels en of drywende slyk wat hulle soms ondervind as sulks geklassifiseer kan word.

Die ondersoek stel dit in hierdie verband eerstens ten doel om deur middel van 'n literatuuroorsig te bepaal waaruit biologiese skuim saamgestel is en tweedens om eie indrukke hiervan te bekom deur mikroskopiese en gaschromatografiese ondersoeke uit te voer op skuim komende vanaf verskeie aanlêe. Sodoende kan 'n alomvattende definisie vir biologiese skuim daargestel word.

2.2 INSIG IN DIE DINAMIKA VAN SKUIMVORMING

Die dominante teenwoordigheid van sekere organismes in biologiese skuim moet verklaar word.

Die ondersoek het dit dus verder ten doel om die literatuurstudie uit te brei ten einde insig te bekom aangaande die dinamika van skuimvorming en spesifiek oor watter toestand die vasvangings van die betrokke organisme in die skuim tot gevolg het.

2.3 KWANTIFISERING VAN BIOLOGIESE SKUIM

Vir die doel van hierdie ondersoek, asook om die skuiminhoud van verskillende slykstelsels met mekaar te kan vergelyk, is dit nodig om 'n metode te ontwikkel waarvolgens biologiese skuim gekwantifiseer kan word. Aangesien die meet

van die totale skuiminhoud meebring dat die skuimbakterië van die res van die slykmengsel geskei moet word, moet die besink- en flotteringseienskappe van die betrokke organismes ondersoek en 'n metode van kwantifisering daaruit ontwikkel word.

2.4 BEHEER VAN BIOLOGIESE SKUIM

Die ondersoek het dit uiteindelik ten doel om 'n metode te ontwikkel waarvolgens biologiese skuim in 'n stelsel beheer kan word. Drie uiteenlopende moontlikhede bestaan, naamlik:-

- (i) die skep van toestande by 'n aanleg wat sal verhoed dat skuimvorming plaasvind;
- (ii) die skep van toestande wat beperkend inwerk op die groei van skuimorganismes; en
- (iii) tot 'n mate oorvleuend met (ii), die skep van toestande waaronder die skuimbakterië positief uit 'n stelsel geselekteer en verwyder kan word.

Die studie moet vervolgens die volgende aspekte ondersoek:-

2.4.1 Bepaling van die toestande wat nodig is vir skuimvorming

Om skuimvorming te verhinder, is dit nodig om die toestande wat normaalweg skuimvorming meewerk, te bepaal.

Om hierdie rede word die literatuurstudie uitgebrei om die ondersoeke en waarnemings van vorige navorsers aangaande die fisiologie van die skuimbakterië, sowel as hul teorieë oor die toestande waaronder biologieseskuim-vorming plaasvind, te bestudeer.

Bankskaalondersoeke word vervolgens geloods om hierdie stellings te toets, maar word verder uitgebrei om eie hipoteses te ondersoek.

2.4.2 Bepaling van faktore wat die groei van skuimbakterieë beperk

Die fisiologie van die skuimbakterieë word in die literatuurondersoeke verder bestudeer ten einde faktore te bepaal wat in die praktyk toegepas kan word om die groei van die betrokke organisme te beperk.

2.4.3 Ontwikkeling van 'n metode om skuimbakterieë fisies uit 'n stelsel te verwyder

Die logiese wyse waarop die vermeerdering van skuimbakterieë onder gunstige groeitoestande beperk en selfs verminder kan word, is om hierdie organismes selektief teen 'n vinniger tempo uit die stelsel te verwyder as wat dit normaalweg vermeerder.

Daar word dus gepoog om 'n metode te ontwikkel waarmee biologiese skuim doeltreffend uit 'n stelsel verwyder kan word teen lae kapitale- en bedryfskoste.

Hierdie metode word daarna op loodsskaal en op 'n volskaalse aanleg getoets.

2.5 DIE BEPALING VAN ONTWERPKRITERIA VIR 'N SKUIMBEHEERMEGANISME

Laboratoriumtoetse word vervolgens uitgevoer met varieerende bedryfsparameters ten einde ontwerpkriteria vir genoemde skuimbeheermeganisme te ontwikkel.

Hierdie kriteria sal dit vir prosesingenieurs moontlik maak om 'n optimaalbenutte, koste-doeltreffende metode vir nuwe of bestaande stelsels te ontwerp.

HOOFSTUK 3'N LITERATUURSTUDIE OOR BIOLOGIESE SKUIM3.1 INLEIDING

Aangesien die voorkoms van biologiese skuim by geaktiveerdeslykaanlêe 'n relatief nuwe verskynsel is, is daar nog min navorsing op hierdie gebied gedoen.

Die literatuuroorsig toon dat die vernaamste navorsers van hierdie verskynsel, waaronder Pipes, Gerardi, Dhaliwal en die Lechevaliers, groot teenstrydighede in hul onderskeie waarnemings rapporteer.

Die doel van hierdie hoofstuk is hoofsaaklik om die gepubliseerde resultate en gevolgtrekkings van navorsers te bespreek ten einde ooreenkomstighede in hul bevindings te kan uitlig.

3.2 KLASSIFIKASIE VAN BIOLOGIESE SKUIM

Lechevalier et al³⁰ wat baanbrekerswerk op die gebied van die biologieseskuim-verskynsel gedoen het, was die eerste navorser wat 'n verklaring daarvoor gewaag het. Hy het dit naamlik geklassifiseer as bestaande uit 'n sekere spesie bakterie, normaalweg 'n straalswam, wat oor die besondere vermoë beskik dat dit onder spesifieke omstandighede aan lugborrels kan vasgryp en sodoende na die oppervlakte gevoer word. Ander geaktiveerdeslykorganismes word in die stygende matriks vasgevang en vorm dus deel van die drywende skuummassa. Hierdie klassifikasie word deur die latere navorsers nl. Pipes,⁴¹ Gerardi²⁰ en Dhaliwal⁸ ondersteun.

Uit 'n totaal van 49 geaktiveerdeslykaanlêe wat Lechevalier et al³² in New Jersey ondersoek het, het nege aanlêe straalswamme as die probleemorganisme ondervind, terwyl hy twee gevalle van skuimvoorkoms sonder straalswamme geïdentifiseer het waarin die *Sphaerotilus*-bakterie dominant was. In skuim komende van 'n verder 8 aanlêe in die V.S.A. is straalswamme, op een uitsondering na, as die dominante bakterie geïdentifiseer; die uitsondering was 'n enkele geval waar gevind is dat *Sphaerotilus* oorheersend was met geen straalswamme teenwoordig nie.

Die volgende twee algemene gevolgtrekkings kan op hierdie stadium gemaak word:-

- a) aanlêe met straalswamskuim kom wydverspreid voor,
- b) hoewel biologiese skuim nie sonder uitsondering met die voorkoms van straalswamme in die besonder geassosieer kan word nie, is hierdie bakterie 'n baie algemene faktor in die skuimprobleem.

3.3 IDENTIFIKASIE VAN DIE ORGANISMES WAT DIE ALGEMEENSTE IN BIOLOGIESE SKUIM VOORKOM

3.3.1 Nocardia

Lechevalier et al³⁰ het na 'n intensiewe ondersoek bevind dat die straalswam wat die algemeenste in biologiese skuim voorkom, 'n nuwe spesie is waaraan hulle die naam *Nocardia amarae* toegeken het. (Gr. s.nw. ἀμάρᾱ, rioolsloot). Nie al die straalswamme wat vanuit skuim geïsoleer is, was egter van hierdie spesie nie. Dit is bekend dat daar 31 spesies straalswamme in die *Nocardia*-genus voorkom. Die Lechevaliers het bevind dat die tweede algemeenste straalswamspesie in skuim *N. rhodochrous* is, terwyl die patogene organismes *N. asteroides* en *N. caviae* volgende in die rangorde is. Straalswamme wat in 'n mindere mate uit biologiese skuim geïsoleer is, is *Streptomyces*, *Micromonospora* en *Actinomadura*.

Navorsers soos Pipes,⁴¹ Nelson,³⁹ Gerardi²⁰ en Chambers en Tomlinson,⁴ identifiseer ook die oorheersende skuimbakterie as lid van die *Nocardia*-spesie.

Lemmer en Popp³³ het *Nocardia*-bakteriëe vanuit geaktiveerdeslykaanlêe in die omgewing van München, Berlyn en Stuttgart geïsoleer, maar bevind dat *N. rhodochrous* hier die oorheersendste spesie is.

Dhaliwal⁸ was die eerste navorser wie se bevindings met dié van die Lechevaliers ooreengestem het. Hy het naamlik bevind dat *N. amarae* die oorheersendste bakterie was in skuim wat vanuit die Rhodeo Sanitary District-aanleg verkry is, gevolg deur *N. rhodochrous*.

'n Opname wat deur die Universiteit van Kaapstad¹³ uitgevoer is, het bevind dat *Nocardia* in Suidelike Afrika 'n algemene skuimbakterie is; dat dit naamlik in 41 % van alle aanlêe voorkom wat skuim ondervind en in 30 % van hierdie aanlêe die dominante skuimbakterie is.

3.3.2 Microthrix parvicella

Geen verwysing kom in oorsese publikasies voor na die dominante voorkoms van die draadvormige bakterie *Microthrix parvicella* in biologiese skuim nie, hoewel dit algemeen bekend is as 'n bakterie wat slyk-uitdying tot gevolg kan hê. Die opname wat deur die Universiteit van Kaapstad¹³ uitgevoer is, bevind egter dat hoewel hierdie bakterie in Suid-Afrika tweede op die rangorde is van dominante draadvormige organismes, dit daar die vernaamste skuimbakterie is. *M. parvicella* kom naamlik in Suid-Afrika in 59 % van die skuimmonsters voor wat vanaf geaktiveerdeslykaanlêe verkry is, en is in 46 % van die gevalle dominant. Hart²⁴ rapporteer ook die dominante teenwoordigheid van *M. parvicella* skuim komende van Johannesburg se Noordelike Werke.

Die skrywer het bevind dat *M. parvicella* sonder twyfel die dominante bakterie was in skuim komende van die Randfontein Estate Goudmyn-, Randfonteinse-, Middelburgse-, en Boksburgse geaktiveerdeslykaanlêe.

3.3.3 Tipe 0092

Die opname wat deur die Universiteit van Kaapstad¹³ uitgevoer is, toon dat die bakterie, tipe 0092, saam met *M. parvicella* die dominantste draadvormige bakterie in biologiese skuim is in Suid-Afrikaanse aanlêe, dat dit in 73 % van die aanlêe voorkom wat skuim ondervind en in 46 % van die aanlêe die dominantste bakterie is.

Tipe 0092 word nie in enige literatuur geklassifiseer as 'n skuimorganisme nie, en die navorsers van die Universiteit van Kaapstad erken ook dat hierdie bakterie "toevallig" in die skuim mag voorkom vanweë sy dominante voorkoms in die slykmengsel.

Ondersoeke wat deur die skrywer uitgevoer is, staaf hierdie bewering, met die gevolg dat tipe 0092 nie verder ondersoek word nie.

3.3.4 Sphaerotilus

Enkele verwysings na die moontlike voorkoms van *Sphaerotilus* in die rol van 'n skuimbakterie word in die literatuur gevind, byvoorbeeld Nelson³⁰ en Gerardi²⁰, hoewel Lechevalier³¹ meer positief *Sphaerotilus* as die oorheersende skuimbakterie geïdentifiseer het. Die skrywer is egter van mening dat 'n sterk moontlikheid bestaan dat *M. parvicella* hier verkeerdelik as *Sphaerotilus* geïdentifiseer is om die volgende rede:-

Die identifikasie van Lechevalier is uitgevoer vóór 1975; dus voordat Eikelboom en Van Buijsen¹² in 1981 hul bekende "Microscopic Sludge Investigation Manual" gepubliseer het. Hierdie handleiding het dit vir navorsers vir die eerste keer moontlik gemaak om draadvormige bakterieë in geaktiveerde slyk volgens dieselfde riglyne te identifiseer. Voordat hierdie handleiding bestaan het, was dit "mode" om enige draderige organismes as *Sphaerotilus* te klassifiseer.

Aangesien *Nocardia* en *M. parvicella* die algemeenste erkende skuimbakterieë is wat in geaktiveerdeslykaanlêe voorkom, word die studie verder aan hierdie twee organismes gewy.

3.4 FISIOLOGIESE EN CHEMIESE EIGENSKAPPE VAN NOCARDIA

3.4.1 Voorkoms

Nocardia is gram positief en Neisser negatief. Dit kom voor as staafvormige drade korter as 100 mikrometer en het 'n 0,5 mikrometer deursnit met heelwat vertakkings. Geen aangehegde groei ("attached growth") word ondervind nie, en dit is verder 'n verpligte aërobe.^{11.12.30} Figuur 3.1 toon hierdie bakterie.

3.4.2 Selwandaktiwiteit

Al die *Nocardia*-groepe het 'n selwand tipe (IV) en 'n heelselsuiker-

patroon tipe A. *Nocardia* is in staat om oplosbare kortverbinding organiese samestellings (sure, alkohole en esters) vinnig op te neem in 'n onoplosbare selwandnocardomikoliesesuur.³⁰

Figuur 3.1: *Nocardia* spp. - 1000 X vergroting; fase kontras

Die nocardomikoliesesuur van die algemene skuimbakterie, *N. amarae*, is besonder in dié opsig dat die hoofvertakking mono-onversadig is. Die mikolate van hierdie spesie lewer na pirolise groot hoeveelhede mono-onversadigde esters op wat 16 tot 18 koolstofatome bevat; soms vergesel van kleiner hoeveelhede analoë versadigde fragmente.³⁰

Hierdie is in teenstelling met die meeste *Nocardia*-spesies wat selwandsure bevat waaraan die piroliseprodukte versadigde esters oplewer wat 12 tot 18 koolstowwe bevat. Nieteenstaande, is kleiner hoeveelhede onversadigde fragmente al gevind in die piroliseprodukte van die mikoliese suur van ander *Nocardia*-spesies, veral lede van die *N. rhodochrous*-groep.³⁰

Hierdie piroliseprodukte adsorbeer aan die buitewande van die bakteriese drade waar dit, volgens die skrywer se hipotese, as 'n oppervlaktespanningverlagingsmiddel optree en skuimvorming tot gevolg het. Hierdie aspek word in Afdeling 3.7 meer volledig bespreek.

3.4.3 Temperatuurafhanklikheid

Die Lechevaliers³⁰ het vasgestel dat *N. amarae* slegs tussen 23 en 37°C groei. Hierdie bevinding word in 'n mate gestaaf deur Pipes,⁴⁰ wat die geval rapporteer van 'n binnenshuise geaktiveerdeslykproses wat die uitvloeisel van 'n melkverwerkingsaanleg hanteer het. Hierdie stelsel, wat normaalweg tussen 23 en 32°C bedryf is, het *Nocardia*-skuim ondervind.

Volgens Pipes⁴¹ is daar nog geen skuimprobleem in die V.S.A gedurende die wintermaande gerapporteer nie. In die geval van die 32 aanlê wat hy in die V.S.A oor 'n periode van 12 jaar ondersoek het, is skuimprobleme slegs ondervind waar die watertemperatuur in die belugtingsbak hoër as 18°C was.

Lemmer en Popp³³ beweer daarenteen dat sekere geaktiveerdeslykaanlêe in Wes-Duitsland al skuimprobleme dwarsdeur die jaar by gemiddelde temperature van 16°C in die somer en tussen 8 tot 10°C in die winter ondervind het, hoewel die betrokke straalswam in hierdie geval as *N. rhodochrous* geïdentifiseer is.

3.4.4 Afhanklikheid van die aard van die invloeisel

Pipes⁴¹ het tydens 'n ondersoek, *Nocardia*-skuim by 6 aanlêe waargeneem, maar in al die gevalle was dit aanlêe wat in groot mate melkery-uitvloeisel hanteer het. Die eerste aanduiding dat die straalswamprobleem wel kan voorkom by aanlêe wat munisipale rioolwater sonder 'n noemenswaardige inhoud melkery-uitvloeisel hanteer, was toe die Milwaukee-aanleg vir die eerste maal *Nocardia*-skuim ondervind het.

Guo *et al*²³ rapporteer dat in die behandeling van 'n hoë sterkte papiermeuluitvloeisel deur middel van 'n geaktiveerdeslykproses, hewige skuimvorming voorgekom het wat gepaard gegaan is met 'n suurstoftekort en slykuitdying. Die toediening van suiwer suurstof het die eerste twee probleemtoestande opgeklaar, maar nie die probleem van slykuitdying nie. Chambers en Tomlinson⁴ maak die stelling dat daar aansienlike bewyse is dat groot hoeveelhede vette en olies in die invloeisel 'n belangrike oorsaak vir *Nocardia*-skuimvorming mag wees.

In ondersteuning van hierdie hipotese rapporteer Gerardi²⁰ dat die Williamsport-geaktiveerdeslykaanleg in Pennsylvania, swak slykbesinking en skuimvoorkoms ondervind het. Die probleem kon volgens hom hier toegeskryf word aan die storting van afvalstowwe met 'n hoë inhoud vetsuurprodukte wat afkomstig was van 'n vervaardiger van voedsel emulsifiseerders. Hierdie afvalwater het op verskeie maniere die ontwikkeling van draadvormige organismes in die stelsel bevorder, veral *Nocardia spp* en *Sphaerotilus natans*. Die mate waarin die inhoud van die afvalwater bydra tot die ontwikkeling van sulke probleem bakterieë, word vervolgens bespreek:-

Hoewel die afvalwater vanaf die vervaardiger van emulsifiseerders slegs 2,1 % van die totale vloei na die aanleg verteenwoordig het, het dit, vanweë lotstortings, nogtans 'n beduidende organiese lading tot gevolg gehad. Die invloei-eienskappe word ter illustrasie in Tabel 3.1 opgesom:-

Tabel 3.1: Eienskappe van invloei na die Williamsport-aanleg.²⁰

Parameter	Uitvloei vanaf voed- selemulsi- fiseerders	Persentasie van totale invloei na aanleg	Uitvalwerk	
			Invloei	Uitvloei
Vloei (mgd)**	0,05	2,1	2,420	2,420
BSB (mg/l)	1,700	11,1	310	20
CSB (mg/l)	5,400	17,6	650	110
SS (mg/l)	1,700	13	270	20

** mgd - miljoen gelling per dag.

Die storting van so 'n lading het veroorsaak dat die slykmengsel 'n beduidende suurstofaanvraag ontwikkel wat die groei van onder andere *S. natans* tot gevolg het; 'n bekende slykuitdyingsbakterie. Die voorkoms van die skuimbakterieë kon volgens Gerardi egter eerder toegeskryf word aan die besonderse aard en samestelling van die invloei.

Produkte in die invloei wat in beduidende konsentrasies voorkom, sluit in kort-ketting alkohole, versadigde en onversadigde karboksiliesesure, die esters van karboksiliesesure en gliserol. Sekere van hierdie produkte word geredelik deur *Nocardia* opgeneem en verwerk na selwandnokatdomikoliesesuur. Gerardi maak laastens die

stelling dat dit bekend is dat *Nocardia* floreer op vetsure en kort-ketting alkohole en esters. Sulke verenigbare produkte kom in relatief hoë konsentrasies in afvalwater voor wat vetsuurprodukte bevat.

Die eerste aanduiding dat die voorkoms van *Nocardia* in geaktiveerde slyk nie onvoorwaardelik verband hou met die teenwoordigheid van 'n element van industriële afvalwater in 'n stelsel nie, is deur Dhaliwal⁸ gerapporteer. 'n Primêr besinkte, volledigvermengde, borrel-belugtingstelsel het hewige biologiese skuim ontwikkel terwyl dit uitsluitlik huishoudelike afvalwater ontvang het. Die betrokke skuimbakterie is as *N. amarae* geïdentifiseer.

In ondersteuning hiervan rapporteer Gale¹⁷ dat die Subiaco demonstrasie-aanleg in Perth 'n beduidende *Nocardia*-skuimprobleem ontwikkel het terwyl die aanleg slegs huishoudelike afvalwater ontvang het. Vanweë gebrek aan fasiliteite kon die spesifieke tipe *Nocardia*-bakterie hier nie geïdentifiseer word nie.

Die gevolgtrekking is dus dat daar sterk aanduidings is dat afvalwater wat 'n hoë inhoud vetsuurprodukte bevat, 'n rol speel in die selektiewe groei van o.a. *Nocardia*, dat sulke produkte ook in genoegsame konsentrasies in gewone huishoudelike afvalwater mag voorkom en dat dit nie noodwendig met industriële afvalwater in verband gebring moet word nie.

3.4.5 Afhanklikheid van slykladingstempo of slykouderdom

Deurdat daar 'n direkte verband is tussen die parameters slykouderdom en slykladingstempo³⁵ word die afhanklikheid van *Nocardia* hieraan gesamentlik bespreek.

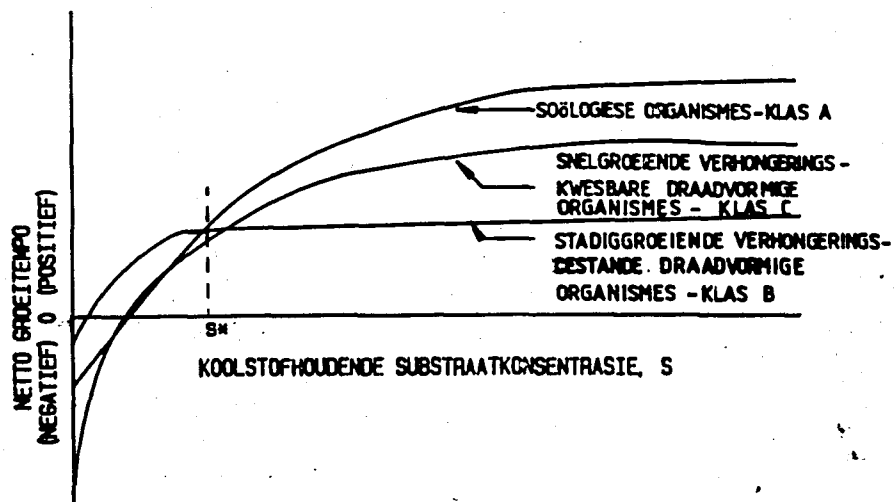
Nocardia word geklassifiseer as 'n lae slykladingsorganisme.⁵⁰ Wells en Garret⁵⁰ is van mening dat 'n lae slykladingstempo een van die oorsake van biologiese skuim is. Volgens hulle is 'n slykladingstempo van minder as 0,2 kg BSB/dag.kg⁻¹ swewende stowwe in die slykmengsel (SSSM) voldoende om skuim onder sekere toestande te veroorsaak. Hoewel gevalle aangeteken is waar die skuimprobleem oorkom is deur die slykladingstempo te verhoog, soos byvoorbeeld in Oregon,⁴¹ en in Illinois,⁴¹ kon Pipes⁴¹ geen verband tussen die slykladingstempo en skuimvoorkoms aflei nie. Ook Dhaliwal⁸ kom tot die gevolgtrekking

dat die oorsaak van skuim eerder te vinde is in die voorkoms van *N. amarae* as in enige spesifieke slykladingstempo wat 'n stelsel ondervind.

In die Jones Island-aanleg in Milwaukee³⁸, het *Nocardia*-skuim in die oostelike deel ontwikkel na 'n toevallige afname in die organiese lading op die stelsel. Hoewel geen poging aangewend is om die skuimvoorkoms met enige slyklading in verband te bring nie, is gerapporteer dat die slyklading op die Oos-aanleg gemiddeld 0,2 kg BSB/dag.kg⁻¹ SSSM was ten tye van die skuimprobleem, terwyl die probleemvrye Wes-aanleg 'n slyklading van gemiddeld 0,5 ondervind het. Nadat die slykladingstempo op die Oos-aanleg herstel is deur die slykmengselkonsentrasie geleidelik te verlaag en daardeur die organiese lading te verhoog, het die skuim mettertyd verdwyn.

'n Sinvolle hipotese oor die wyse waarop organismes in geaktiveerdeslykproses meeding, is deur Chiesa en Irvine⁵ ontwikkel. Vir hul hipotetiese model word die mikroorganismes in 'n geaktiveerdeslykproses geïdealiseer as bestaande uit drie klasse modelorganismes, naamlik:

- KLAS A:- Snelgroeiende, nie-draadvormige of sosiologiese organismes;
- KLAS B:- Stadiggroeiende, verhongeringsbestande draadvormige organismes wat hoë substraataffiniteit openbaar; en
- KLAS C:- Snelgroeiende, verhongeringskwesbare, draadvormige organismes wat 'n hoë affiniteit vir opgeloste suurstof het.



Figuur 3.2: Mikrobiëse groei en mededinging, insluitend afsterwing as gevolg van verhongering.

Volgens dié model word die klas modelorganisme geselekteer op grond van die bedryfstoeestand wat heers, byvoorbeeld:

Stelsels wat met tussenposes gevoed word, bied toestande wat nie voordelig is vir die Klasse A en B-organismes nie.

Kontinu-gevoerde stelsels met bestendige staat substraatkonsentrasies hoër as die kritiese S^* -waarde (Figuur 3.2), selekteer Klas A-populasies solank as 'n suurstoftekort nie die groei van hierdie tipe organisme beperk nie.

Stelsels wat 'n volgehoue lae-substraattoevoer ontvang sal daarenteen die groei van Klas B organismes bevorder.

Onder hoë substraat/lae suurstoftoestande, word verwag dat Klas C organismes bevoordeel sal word.

Hierdie hipotese van Chiesa en Irvine⁵ gee 'n moontlike verklaring waarom *Nocardia* spp., as 'n stadiggroeiende, verhongeringsbestande filamentiese bakterie, uitsluitlik aangetref in geaktiveerde-slykstelsels wat laer organiese ladingstempo's ondervind; dus in ver-

lengdebelugtings-, slykstabiliserende- en soms in nitrifiserende stelsels.

Pipes⁴¹ vind dat uit die 12 aanlêe wat in die ondersoek skuim opgelewer het, geen straalswamtelling hoër as 100 per mg slykmengsel gevind is by slykouderdomme korter as 9 dae nie, terwyl al die stelsels wat skuim ondervind het, oor 'n slykouderom van langer as 12 dae beskik het. Nie al die stelsels met slykouderdomme langer as 12 dae het egter hoër straalswamtellings opgelewer nie, sodat die gevolgtrekking gemaak kan word dat daar faktore bykomstig tot 'n lang slykouderdom voorkom wat die groei van straalswamme bevorder.

Dhaliwal⁶ het bevind dat die voorkoms van skuim, of dan te wel *N. amarae*, nie noodwendig verband hou met twee parameters wat hy "slykouderdom" en "gemiddelde selretensietyd" (GSRT) noem nie. (Dit is natuurlik vreemd dat hy tussen die twee parameters onderskei aangesien dit volgens aanvaarde definisie dieselfde is). Volgens hom kan 'n slykouderdom van tussen 3 en 4 dae en 'n GSRT van tussen 7 en 10 dae as normaal beskou word in stikstof-verwyderende geaktiveerdeslykprosesse, wat die indruk skep dat sy interpretasie van die GSRT-parameter ooreenkom met die aanvaarde definisie vir slykouderdom.

Skuim het in Dhaliwal se ondersoeke by 'n GSRT van 7 dae sigbaar geword nadat die stelsel vir 'n periode van 15 dae by hierdie retensie bedryf is. 'n Geleidelike verhoging in die GSRT na 20 dae het die skuimintensiteit laat toeneem, terwyl in 'n opvolgende verlaging van die GSRT na 4 dae, die skuim verdwyn het. Die GSRT is onmiddellik weer verhoog na 18 dae, maar geen gepaardgaande toename in skuimintensiteit is ondervind nie.

Dhaliwal skryf die uiteindelijke verdwyning van die skuim na die daling in die GSRT daaraan toe dat deurdat groot hoeveelhede slyk gestort word om die SSSM en die GSRT te verlaag, die konsentrasie van *N. amarae* ook verlaag word, vandaar dus die gepaardgaande afname in die skuimkonsentrasie.

Tydens die inbedryfstelling van die Denver-suiwersuurstofaanleg³⁹ het 'n dik laag *Nocardia*-skuim op die oppervlakte van die besink- en belugtingseenheid ontstaan. Aangesien daar vanuit loodsaanlegwaarnemings geglo is dat die toestand daaraan te wyte was dat 'n slykouderdom van langer as 10 dae in die stelsel volgehou is, is die slykouderdom na

ongeveer 4,5 dae verlaag, maar sonder enige sukses. Die ooreenkomstige gemete slykladingstempo was $0,79 \text{ kg BSB/dag.kg}^{-1}$ vlugtige swewende stowwe in die slykmengsel (VSSSM). Die VSSSM was 400 mg/l , terwyl belugtingsbakteriële temperatuur van tussen 15 en 25°C ondervind is. Die lae slykouderdom het skynbaar nie hier 'n inhiberende effek op die *Nocardia*-skuim gehad soos vroeër bespreek nie.

Lechevalier³⁰ het die bedryf van drie aanlêe teen mekaar opgeweeg. Die resultate is soos volg:- die aanleg met 'n slykouderdom van 7,3 dae het *Nocardia*-skuim ondervind terwyl dié met slykouderdomme van 9,4 en 3,1 dae onderskeidelik op daardie stadium nog geen sulke probleme ondervind het nie. Uit die bevindinge van die navorsers kom 'n mens tot die slotsom dat langer slykouderdomme 'n voorvereiste is vir *Nocardia*-skuimvorming maar dat ander toestande, tans nog onbekend, ook moet heers.

3.4.6 Afhanklikheid van opgelostesuurstof-konsentrasie

Baie min navorsing is nog uitgevoer om die effek van lae of hoë opgelostesuurstof-konsentrasies in 'n slykmengsel op die groei en vermeerdering van *Nocardia* te bepaal.

By die Denver-aanleg,³⁹ wat in die vorige afdeling bespreek is, is die laaste (derde)-stadium belugters afgeskakel nadat verskeie ander pogings om die *Nocardia*-skuim te verminder, onsuksesvol was. Na her-aanskakeling het die skuim binne 4 uur weer verskyn. Hoewel *Nocardia* nog steeds in die slykmengsel teenwoordig was, was dit in laer konsentrasies as voor die afskakeling van die belugters. Geen aanduiding word egter gegee van hoe die konsentrasies gemeet is, of hoe 'n lang tydspan verloop het voordat afname in die konsentrasies waargeneem is nie. Deur die hele ondersoek was die opgelostesuurstof-konsentrasie in die eerste stadium $6,5 \text{ mg/l}$, wat baie hoog is.

Die hipotese van die Denver-ondersoekspan is dat die hoë opgelostesuurstof-konsentrasie *Nocardia*-groei bevorder, terwyl die derde stadiumbelugting gasvangende deur die organisme aanhelp.

Lechevalier³⁰ het met laboratoriumondersoeke bevind dat die groei en vermeerdering van *Nocardia* versnel met 'n toename in belugtingstempo en maksimaal was by $1,8 \text{ l lug/250 ml.min.}^{-1}$. Met 'n verdere toename in

lugvloei het die skuimopbou egter verminder, wat hulle toegeskryf het daaraan dat in houters waar die belugting die grootste was, baie selle uit die groeimedium weggevoer is deur die skuim en teen die wande van die houters gedeponeer is waar geen verdere groei ondervind is nie.

3.4.7 Afhanklikheid van pH

Die Subiaco-demonstrasie-aanleg¹⁷ het beduidende *Nocardia*-skuimprobleme ontwikkel by 'n slykouderdrom van slegs 5,7 dae. 'n Watertemperatuur van tot 30°C is gedurende hierdie periode ondervind met die gevolg dat volledige nitrifikasie verkry is, met gepaardgaande pH-verlaging vanaf meer as 7.0 tot by 5.8.

Die vraag ontstaan dus of 'n toestand van relatief lae pH nie die groei van *Nocardia* bo dié van ander organismes in 'n geaktiveerde-slykstelsel bevorder ten spyte van sy eie beperkings onder so 'n toestand nie; m.a.w. of nitrifikasie nie 'n faktor is wat met slykouderdrom meewerk om *Nocardia*-groei te stimuleer nie.

Lechevalier³¹ meld dat skuimmonsters altyd 'n laer pH het as dié van die gepaardgaande slykmengsel, maar kon geen verklaring hiervoor bied nie. Lechevalier het gevind dat deur die pH van 'n slykmengsel naby neutraal met CaCO₃ te hou, voordelig is vir die groei van *Nocardia*, aangesien die groei van hierdie organisme, soos met meeste straalswamme, gestrem word deur pH's laer as 5.0.

3.4.8 Die patogenesiteit van Nocardia

Elf spesies *Nocardia* wat uit skuim geïsoleer is, is deur Lechevalier³¹ laat toets vir patogenesiteit. Dit blyk dat *N. caviae* en *N. asteroides* giftig vir laboratoriumdiere is, maar nie *N. amarae* nie.

3.5 DIE FISILOGIESE EN CHEMIESE EIENSKAPPE VAN *M. parvicella*

3.5.1 Voorkoms

M. parvicella kom voor as dun, gedraaide, onvertakte drade soos in

Figuur 3.3 aangetoon word. Die drade is tussen 300 en 500 mikrometer lank terwyl die seldeursnit tussen 0,7 en 1,8 mikrometer varieer. *M. parvicella* is sowel gram as Neisser positief.^{46,47}

Hierdie organisme kom veral voor in lae lading geaktiveerdeslykaanlae en oksidasieslote wat met huishoudelike rioolwater gevoer word.

figuur 3.3: *Microthrix parvicella* - 1000 x vergroting; fase kontras

3.5.2 Metabolisme en afhanklikheid van die aard van die invloed

M. parvicella verbruik slegs langketting vetsure (verkieslik in 'n veresterde vorm) as 'n bron van koolstof en energie.⁴⁷ Kortketting vetsure en gliserol word alleenlik saam met langketting vetsure verbruik; ander organiese substrate soos glukose, fruktose, melksuur en sitroensuur wat in die algemeen uitstekende substrate is vir mikroorganismes, word nie deur *M. parvicella* verbruik nie.^{46,47} Die organisme benodig ammoniumsoute en gereduseerde swawelsamestellings om te kan groei. Die optimale groeitemperatuur is 25°C en die pH van die medium moet hoër as 7 wees.⁴⁷

Die ondersoek toon dat die groei van *M. parvicella* in 'n medium

onreëlmatig geskied. In toetse met Tween 80 is gevind dat oleyensuur geredelik uit die substraat verwyder en gedeeltelik gestoor word as vetglobules, gevolg deur 'n afname in die groeitempo as gevolg van 'n stadige opname van die gestoorde materiaal.^{46,47}

Afhanklikheid van vetsure is die vernaamste eienskap van *M. parvicella*. Eikelboom¹⁰ het waargeneem dat grootskaalse groei van hierdie organisme nie voorkom in laeslykladingstelsels wat rouwater sonder 'n vetfraksie hanteer nie. Huishoudelike en baie industriële afvalwaters bevat egter vette en ghries, veral afvalwater van visverwerkingsindustrië, abattoirs en wasserye. *M. parvicella* is al spesifiek waargeneem in industriële afvalwater komende van vleis/pluimvee fabrieke.⁴⁶

Om dus op te som: *M. parvicella* is baie doeltreffend om langketting-vetsure uit afvalwater te verwyder as dit in lae konsentrasies teenwoordig is. Die vet word gedeeltelik gestoor as reserwemateriaal en na uitputting van die eksterne substraat word hierdie reserwemateriaal verbruik vir die produksie van proteïene. Hierdie meganisme mag bruikbaar wees vir *M. parvicella* wanneer tydelike hoër vetsuurkonsentrasies voorkom.

3.5.3 Die Groeitempo van *M. parvicella*

Die maksimum spesifieke groeitempo (μ_{maks}) van *M. parvicella* in 'n chemostaat is bepaal as $0,06 \text{ h}^{-1}$; die groeitempo-konstante (K_s) vir Tween 80 was te laag om te bepaal.⁴⁷ Die maksimum opbrengs-koeffisiënt (Y_{maks}) op Tween 80 was $0,34 \text{ g droëselmassa/g Tween 80}$ wat opgeneem is en die substraatverwyderingstempo $6,1 \text{ mg Tween 80/g droëselmassa.h}^{-1}$.⁴⁷ Aangesien slegs die oleyensuurgedeelte van Tween 80 opgeneem word, moet hierdie waardes aangepas word vir die nie-vetuurgedeelte (76%) van die Tween 80 molekule.⁴⁷

Die lae maksimumgroeitempo van *M. parvicella* beperk nie die groei van hierdie organisme in geaktiveerde slyk nie. Die globale groeitempo van die bio-massa in geaktiveerdeslykkanlêe varieer tussen $0,01 \text{ h}^{-1}$ in hoë-ladingstelsels tot $0,001 \text{ h}^{-1}$ in lae-ladingstelsels,⁴⁷ soos byvoorbeeld oksidasieslote. 'n μ_{maks} -waarde van $0,06 \text{ h}^{-1}$ sal 'n 10^6 -voudige toename in *M. parvicella* in die slykmengsel van oksidasieslote binne 10 dae tot gevolg hê wanneer toestande gunstig is vir die organisme.

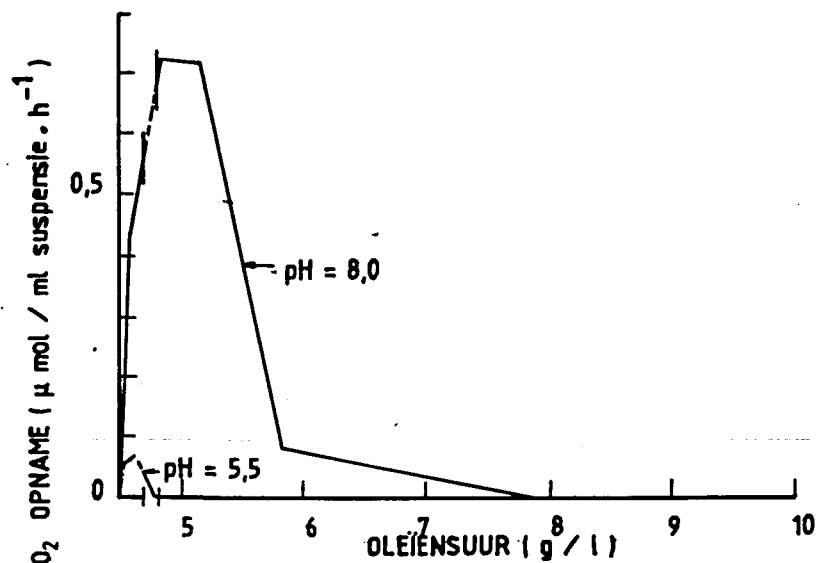
3.5.4 Afhanklikheid van slykladingstempo of slykouderdorm

M. parvicella is 'n laeslykladingsorganisme in sover dit sy vermoë betref om te kan meeding met ander organismes in 'n geaktiveerdeslyk-proses⁵⁰ en kan geklassifiseer word as 'n Klas B-modelorganisme, soos in Afdeling 3.4.5 bespreek is; dus soortgelyk aan *Nocardia*.

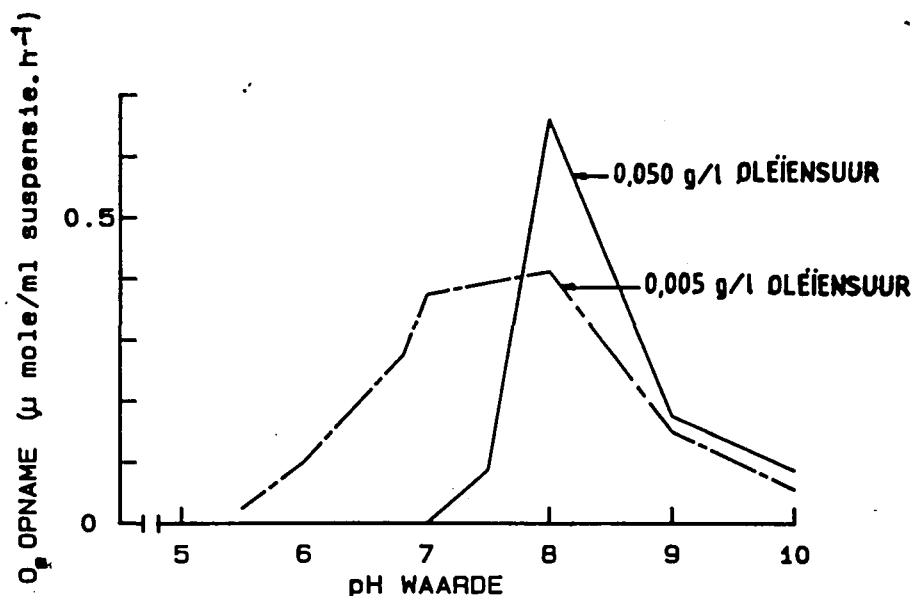
3.5.5 Afhanklikheid van pH en vetsuurkonsentrasie

Die respirasie en groei van *M. parvicella* is sterk afhanklik van die pH^{46,47} en vetsuurkonsentrasie. In 'n medium wat 0,8g oleïensuur/l bevat, groei hierdie bakterie byvoorbeeld slegs by 'n pH > 7 en die respirasie-draaipunt kom voor by 'n pH van 8.

Die pH-afhanklikheid en respirasie van *M. parvicella* by twee konsentrasies oleïensuur word in Figuur 3.5 en 3.6 getoon. In 'n medium wat 0,005 g oleïensuur/l bevat, begin *M. parvicella* reeds groei by 'n pH van ongeveer 5,5, hoewel die respirasie-draaipunt ook by 'n pH van 8 voorkom.⁴⁶



Figuur 3.4: Effek van oleïensuur-konsentrasie op die respirasie van *M. parvicella*



Figuur 3.5: Effek van pH-waarde op oleïensuur-respirasie deur *M. parvicella*

Die pH van die slykmengsel in belugtingsbakke varieer normaalweg tussen 6 en 7,5³⁰ en dit laat die groei van *M. parvicella* toe onder suboptimale toestande solank die konsentrasie vry vetsure nie die beperkende vlak oorskry nie.

Vanuit Figure 3.4 en 3.5 word afgelei dat by 'n sekere vlak vry oleïensuur, onderdrukking van die respirasie-draaipunt volg. Die konsentrasie van die vry oleïensuur word bepaal deur die totale hoeveelheid oleïensuur en oleaat asook die pH-waarde.

3.6 BEHEER OF VOORKOMING VAN BIOLOGIESE SKUIM

Verskeie metodes om biologiese skuim in 'n geaktiveerdeslykaanleg te beheer of te onderdruk is al beproef, maar in die algemeen slegs met wisselvallige sukses.

Die volgende metodes om die probleemskuim in 'n stelsel te beheer, is gerapporteer.

3.6.1 Skuimsplitsproeie

Skuimsplitsproeie funksioneer op die basis dat die oppervlaktespanning van die media waarin die skuim voorkom, sodanig verlaag word dat skuim vernietig word.²

Twee gevalle word gemeld waar daar gepoog word om biologiese skuim deur middel van skuimsplitsproeie te beheer. In die eerste geval,³⁴ is eers gepoog om die skuim met hoë snelheid sproeikoppe te beheer, maar sonder sukses. Nadat verskeie chemiese ontskuimmiddels ondersoek is, is egter heelwat sukses met die sogenaamde "Koach"-skuimsplitter behaal. Die teenwoordige draadvormige organismes is vervolgens in die slykretoerlyn deur chlorering vernietig.

In die tweede geval¹⁷ was ontskuimolie totaal oneffektief terwyl watersproeie die skuim slegs tydelik laat afbreek het.

Uit bogenoemde wil dit voorkom asof skuimsplitsproeie onder sekere omstandighede saam met chemiese middels suksesvol gebruik kan word.

3.6.2 Verhoging van die slykladingstempo of verkorting van die slykouderdom

Soos in Afdelings 3.4.5 en 3.4.6 bespreek is, is verhoging van die slykladingstempo tot meer as 0,25 kg BSB/dag.kg⁻¹ SSSM, of ooreenkoms-tige verkorting van die slykouderdom tot minder as 5 dae, met sukses toegepas om biologiese skuim te beheer. Hierdie metode het egter die volgende twee potensiële tekortkominge:-

- a) die skrywer vermoed dat die aangewese slykouderdom waarby skuim-vormende organismes nie meer kan oorleef nie, temperatuurgekoppel is. In gebiede met uiters hoë temperature is dit dus moontlik dat die slykouderdom byvoorbeeld nie prakties kort genoeg kan wees om die groei van skuimbakterië te verhoed nie;
- b) indien nitrifikasie in 'n geaktiveerdeslykstelsel verlang word, is dit, afhangende van die temperatuur, onwaarskynlik dat nitrifikasie volledig by die aangewese slykladingstempo of slykouderdom verkry sal word. Aërobiese slykstabilisasie is by hierdie bedryfsvlakke by voorbaat onmoontlik.

3.6.3 Chlorering

Chlorering van retoerslyk as 'n maatreël om skuimvormende organismes te vernietig, is nog met min sukses toegepas. Voorbeelde van waar dit al aangewend is op *Nocardia*-skuim, is die volgende:-

- a) by die Williamsport-aanleg²⁰ is chlorering sonder enige sukses beproef;
- b) by die Subiaco-aanleg¹⁷ het chlorering belofte getoon hoewel die mening uitgespreek word dat meer navorsing uitgevoer moes word om die optimum doseertempo, doseerpunt, effek op die aanleg, ensovoorts vas te stel;
- c) by die Rhodeo Sanitary District-aanleg⁸ is die verspilde slyk sowel as skuim wat van die oppervlakte van die belugtingstenk afgekraap is, gesamentlik swaar gechlloreer. Die doel hiervan was om die herinenting van lewendige *Nocardia* terug in die belugtingsbakke te voorkom, aangesien die verspilde slyk om onverklaarde redes na die inlaat tot die aanleg gehersirkuleer is. Hierdie maatreël het geblyk om onsuksesvol te wees;
- d) by die Terminal Island-aanleg³⁴ is die skuim eers met sproeie afgebreek en vloeibaar gemaak soos in Afdeling 3.6.1 bespreek is, waarna chlorering in die retoerslyklyn met groot sukses toegepas is.

Soos wat vroeër genoem is, word geen verwysing gevind na *M. parvicella* as 'n skuimbakterie in oorsese aanlêe nie, hoewel dit daar 'n bekende draadvormige bakterie is wat slykuitdying onder sekere omstandighede tot gevolg kan hê. In Suid-Afrika waar *M. parvicella* 'n algemene skuimbakterie ook is, kon net een geval teëgekom word waar chlorering van *M. parvicella*-skuim uitgevoer is. Hierdie geval is gedurende Junie 1985 gerapporteer toe 'n hewige opbou van skuim by die Randfonteinse Estate Goudmyn²⁹ voorgekom het. Chlorering van die retoerslyk in varieërende dosisse was egter onsuksesvol met die gevolg dat ander bekampende maatreëls getref moes word. Chlorering is egter al plaaslik en oorsee met sukses toegepas om *M. parvicella* as 'n uitdyingsorganisme te bekamp.^{26,29,50}

Dit kom dus voor of die vloeibaarmaking van skuim 'n voorvereiste is voordat enige sukses met chlorering verwag kan word. Selfs dan word chlorering minder effektief op *Nocardia* toegepas deurdat die kort drade meebring dat dit nie in 'n groot mate by slykvlokkie uitsteek nie, met die gevolg dat die chloor nie doeltreffend daarmee in kontak kom nie.²⁷

3.6.4 Mate van belugting

Slegs een geval word gemeld waar daarin geslaag is om *Nocardia*-skuim aan bande te lê deur die belugting te verminder, en dit is by die Denver-aanleg³⁹ soos wat in Afdeling 3.4.7 reeds bespreek is. Dit blyk by bestudering van die geval dat die mate van belugting nie die groei of afsterwe van die organisme beïnvloed nie, maar wel die hewigheid van skuimvorming.

3.6.5 Dosering van anaërobiese slykverteerder-bowater

Lechevalier et al³² het ondervind dat die bowater vanaf anaërobiese slykverteeders sekere swewende stowwe bevat wat giftig blyk te wees vir *Nocardia*, maar nie vir die meeste ander organismes in geaktiveerde slyk nie. Ondersoek is op vier aanlêe wat toegerus was met anaërobiese slykverteeders en wat *Nocardia*-skuim ondervind het, uitgevoer. Die resultate was egter wisselvallig. By twee aanlêe is positiewe resultate verkry terwyl dit negatief was by die ander twee. Laasgenoemde kon moontlik veroorsaak gewees het deur bedryfsprobleme wat tydens die ondersoek ondervind is.

Die navorsers kom tot die gevolgtrekking dat die beste beheer oor *Nocardia*-skuim verkry kan word deur die SSSM te verlaag na 'n konsentrasie van tussen 2000 en 2500 mg/l, terwyl anaërobiese slykverteerder-bowater direk by die geaktiveerde slyk gevoeg word teen 'n tempo van tussen 50 en 100 kg per dag bowatersoliedes per 1000 kg SSSM.

Uit 'n literatuuroorsig van ander gevalstudies blyk dit dat indien aanvaar word dat verteederbowater wel toksies is vir *Nocardia*, daar moontlik meriete is in die stelling van die Lechevaliers dat die metode van toediening van die bowater 'n rol speel. Hierdie aspek sal egter verder nagevors moet word.

3.7 DIE DINAMIKA VAN SKUIMVORMING

In die proses om 'n metode te ontwikkel om biologiese skuim te beheer, is dit noodsaaklik om vas te stel watter faktore meewerk dat die skuimbakteries flotter.

3.7.1 Definisie van skuim

Skuim word gedefinieer² as 'n emulsie waarin die verspreidingsfase 'n gas is. Die gasborrels word van mekaar geskei deur dun vloeistof-lagies.¹ 'n Oppervlakmiddel wat in die vloeistoffase voorkom word benodig voordat 'n stelsel sal skuim. Hoewel oppervlakmiddels kan voorkom in die rol van emulsifiseerders, benattingsmiddels en skuummiddels, blyk dit^{2,15,18,21,22,36,37} dat slegs benattingsmiddels betrekking op biologiese skuimvorming het, gevolglik word dit kortliks bespreek.

3.7.2 Benattingsmiddels

Benatting is die proses waarmee een vloeistoffase volledig of gedeeltelik van die oppervlakte van 'n soliede verplaas word deur 'n ander vloeistoffase.

Benattingsmiddels is normaalweg baie effektief in klein hoeveelhede. Dit bevat in die algemeen beide polêre en nie-polêre groepe en die balans tussen hierdie groepe en hul molekuleêre posisies bepaal die eienskappe van 'n betrokke benattingsmiddel.

Hoewel 'n benattingsmiddel doeltreffend mag wees in die teenwoordigheid van 'n lipofiliese materiaal, kan klein konsentrasies van 'n hidrofiliese materiaal die benattingsmiddel buite aksie stel.

3.7.3 Die dinamika van 'n drie-fase skuim

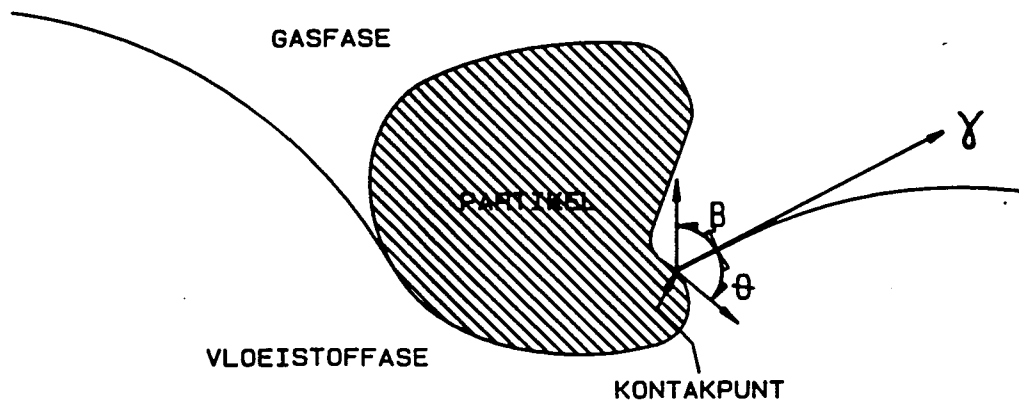
Skuim waarby 'n derde soliede fase betrokke is word op groot skaal

toegepas in byvoorbeeld mineraalontginningsprosesse,^{1,2} om 'n spesifieke mineraal deur middel van flottasie van ander nie-benodigde minerale te skei. Die fisiese eienskap wat bepaal watter partikels ge-flotteer word, is die benatbaarheid van hierdie partikels teenoor die ander wat nie in die skuim vasgevang word nie.

Die dinamika van die vorming van 'n drie-fase skuim word vervolgens bespreek:-

Wanneer die kontakhoek (in die vloeistof) groot genoeg is, ongeveer 60° , koppel die partikel aan 'n verbygaande lugborrel en styg dan na die oppervlakte.

Figuur 3.6 illustreer hierdie beginsel.



Figuur 3.6: Soliede partikel gesuspendeer in gas-vloeistof grensvlak as gevolg van oppervlaktespanning

β : is die hoek wat die vloeistofvlak met die vertikaal vorm

θ : is die kontakhoek by hierdie punt

Die oppervlaktespanning γ van die vloeistof trek aan die partikel

langs die drie-fase lyn vanuit die kontakpunt. As die raaklyn aan hierdie lyn vanuit die kontakpunt, 'n hoek β met die vertikaal vorm, trek die krag $L \gamma \cos \beta$ die partikel opwaarts; L is die lengte van die drie-fase lyn. As hierdie krag dié van swaartekrag oorskry, bly die partikel gekoppel aan die lugborrel.

Die waarde van θ , word in 'n mate bepaal deur die samestellings van die partikel en die vloeistof. Tydens beheerde flottasie van soliede partikels word θ doelbewus aangepas deur die byvoeging van benattingsmiddels wat geadsorbeer word aan die partikel en die benatbaarheid daarvan wysig. Die stabiliteit van 'n drie-fase skuim is dus afhanklik van die benatbaarheid en die grootte van die partikels. Partikels wat volkome benat word deur die vloeistof is nie geneig om met die borrels te verbind nie en kan dus nie skuimstabiliteit beïnvloed nie, behalwe om die skuimmiddel te adsorbeer of die viskositeit van die vloeistof te verhoog. As die kontakhoek met die vloeistof egter baie groot is, sal die partikel feitlik omring wees deur die gasfase en sal dit weer eens geen direkte effek op die samesmeltingtempo hê nie. 'n Partikel met medium benatbaarheid kan dus aanvaar word sal die doeltreffendste wees.

Groot partikels, ongeag hul benatbaarheid, sal nie saam met die skuim styg nie vanweë hul gewig. As die spesifieke gewig van die borrels plus partikel groter is as dié van die vloeistof, sal die borrels sink eerder as om te styg. Klein borreltjies is ook swak beskermers van skuim, al is die benatbaarheid daarvan voldoende.

3.7.4 Die produksie van biologiese oppervlakmiddels deur sekere organisme-spesies

Die wêreldverbruik van sintetiese oppervlakmiddels word beraam op 10^7 ton per jaar.³⁷ Soos die gebruik daarvan toeneem, word groter klem geplaas op die ontwikkeling van nuwe nie-toksiese en biologiese afbreekbare tipes oppervlakmiddels.

'n Nuwe benadering in die produksie van oppervlakmiddels, is die benutting van mikroorganismes wat die vermoë het om oppervlakmiddels of sogenaamde bio-oppervlakmiddels te produseer. 'n Stelselmatige navorsingsprogram word tans geloods³⁶ om die produksie van bio-oppervlakmiddels deur 'n verskeidenheid organismes te optimiseer.

Op hierdie wyse het Magaritus et al³⁶ daarin geslaag om *Nocardia erythropolis* op heksadekaan onder aerobiese toestande te kweek, sodat dit bio-vlakaktiewe middels produseer. Hoewel die ander *Nocardia*-spesies nie spesifiek in hul ondersoek gedek is nie, is hierdie voldoende bewys dat organismes en spesifiek sommige van die *Nocardia*-spesies, onder sekere toestande in staat is om vlakaktiewe middels te produseer.

3.7.5 Selektiewe seleksie van organismes vanuit 'n slykmengsel

Die metode van selektiewe skeiding deur middel van skuim is suksesvol deur verskeie mikrobioloë^{15,18,21,22,44,45} aangewend om verskillende mikroörganismes vanuit suspensies te flotteer.

Baie min is bekend oor die selwandaktiwiteit van die verskillende organismes. Selwande beskik oor verskeie eienskappe, insluitende kohesievermoë, mate van benaatbaarheid deur verskillende middels, permeabiliteit ten opsigte van sekere ione en verskillende elektriese ladinge.¹⁵ 'n Faktor wat 'n belangrike rol mag speel in die skeidingsproses is die lipiede-inhoud van die selwand. Die fisiese eienskappe (byvoorbeeld pH en ioniese sterkte) van die substraat is egter makliker om te bepaal en hierdie eienskappe kan gewysig word om die skeidingsproses moontlik te maak.¹⁵

Flottasie is afhanklik van die adsorpsie en korrekte oriëntering van die benattingsmiddel op die partikel-(bakterie) oppervlak. Die benatter moet sodanig geadsorbeer word dat die koolwaterstofgedeelte blootgestel is aan die oplossing ten einde hidrofobiese eienskappe aan die partikel te verskaf.²

Onder normale toestande is bakterieë negatief gelaaie.¹⁸ Die negatief gelaaide oppervlak trek katione uit die substraat aan wat dan 'n verspreide laag om die sel aanneem. Gebaseer hierop, sowel as die resultate van verskeie chemiese kolloïdale stelsels, blyk dit dat die doeltreffendste middel vir bakterieë-skeiding 'n kationiese oppervlakmiddel moet wees waarvan die hidrofobiese gedeelte van die molekule van teenoorgestelde lading as dié van die bakterieë is.^{21,22}

Heelwat navorsing om die doeltreffendste benattings- en skuimmiddels

vir verskillende organismes te bepaal, is reeds uitgevoer.^{15,18} 'n Paar verteenwoordigende ondersoekes word vervolgens kortliks bespreek:-

Grievess en Wang²¹ het aanvanklik gepoog om deur middel van skuimskeiding die bakterie *Escherichia coli* vanuit 'n gedistilleerde watersuspensie te verwyder. Nadat sukses met die kationiese oppervlakmiddel, etielheksadekiel-dimetielammonium-bromied (EHDA-Br) wat 'n kwaternêre ammoniumverbinding is, bereik is, is ook gepoog om ses bakterieë-spesies naamlik *E. coli*, *Serratia marcescens*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus cereus* en *Bacillus subtilis* var *niger* deur middel van EHDA-Br vanuit 'n gedistilleerde watersuspensie te skei.²²

Die flotterbaarheid van die bakterieë is uitgedruk in terme van die verhouding van selkonsentrasie in die residuele suspensie, teenoor dié in die aanvanklike suspensie. Die resultate was besonder gunstig met *S. marcescens* met 'n faktor van 0,25 aan die ongunstige end van die skaal en *B. subtilis* var *niger* met 'n faktor van 0,0013 die flotterbaarste bakterie na aanwending van die betrokke benattingsmiddel.

'n Interessante waarneming was dat vir normale hidrofobiese kolloïdale-vlakaktiewe stelsels, die toevoeging van hoër konsentrasies kolloïdale partikels groter skuimvolumes tot gevolg gehad het. In bakteriese stelsels bind bakterieë egter die benattingsmiddel en het groter massas daarvan gevolglik kleiner skuimvolumes tot gevolg. Vir hidrofobiese kolloïdes word die ione van die benattingsmiddel wat teenoorgesteld in lading is aan dié van die partikel, geadsorbeer met hul kopgroepverbinding aan die partikelvlak en hul koolstofketting horisontaal of loodreg ten opsigte van die partikelvlak. Bakterieë tree volgens hierdie navorsers meer op soos hidrofobiese kolloïdes. Die ione van die benattingsmiddel mag geadsorbeer word op teenoorgesteld gelaaide oppervlaktgroeperinge, of binne die selplasma, of dit mag gedeeltelik oplos in die selwand, of dit mag chemies reageer met die seloppervlakmolekules.

3.8 OPSOMMENDE BEVINDINGS VAN DIE LITERATUURORSIG

Die vernaamste bevindings van die literatuuoroorsig is die volgende:

- a) Biologiese skuim is 'n drie-fase skuim waarin die organismes *Nocardia*

of *M. parvicella* dominant voorkom. Die verhoogde teenwoordigheid van hierdie bakterie-spesies in die skuim word veroorsaak deur benattingsmiddels wat onder sekere toestande aan die selwand adsorbeer en meebring dat wanneer lugborrels deur die slykmengsel versprei word, hierdie bakterieë neig om aan die lugborrels te koppel en sodoende te flotter.

- b) Die metode van selektiewe skeiding deur middel van flottasie van spesifieke organismes vanuit 'n suspensie, is al met sukses deur verskeie mikrobioloë aangewend. Hierdie metode is egter nog nie op skuimvormende bakterieë toegepas nie.
- c) Beide hierdie spesies draadvormige bakterieë groei stadig, is verhongeringsbestand en openbaar 'n hoë substraataffiniteit; dus 'n sogenaamde laeslykladingsorganisme.
- d) Metodes wat reeds aangewend is om biologiese skuim te bekamp sluit in skuimsplitsproeie, verkorting van die slykouderdom, chlorering van die retoerslyk, vermindering van die belugtingstempo en dosering met anaërobiese verteederder-bowater. Nie een van hierdie metodes was tot hede besonder doeltreffend nie, hoewel die dosering van verteederderbowater belofte inhou en met verdere navorsing met meer sukses toegepas mag word.

3.9 BEHEER VAN BIOLOGIESE SKUIM DEUR MIDDEL VAN SELEKTIEWE FLOTTASIE

Vanuit die literatuuroorsig skyn dat met die uitsondering van die vergiftiging van die skuimbakterieë met verteederderbowater en chloor, nie een van die huidige beheermatreëls verdere navorsing regverdig nie. Die beheer van biologiese skuim in 'n geaktiveerdeslykproses deur middel van selektiewe flottasie, hou egter vir verskeie redes belofte in:

- a) Die teenwoordigheid van die bakterieë, *Nocardia* of *M. parvicella* in geaktiveerde slyk, is 'n primêre faktor in die ontstaan van biologiese skuim. Deur hierdie organismes dus selektief uit die stelsel te verwyder, kan biologiese skuim doeltreffend beheer word.
- b) Die skuimvormende bakterieë kom reeds dominant in die biologiese skuim voor. Waar die mikrobioloë wat bakterie-skeiding deur middel van selektiewe flottasie beoefen, moeite ondervind om 'n benattings-

middel te vind wat 'n spesifieke organisme-spesie selektief sal floteer, bestaan skuimvormende bakterieë reeds in 'n toestand wat selektiewe flottasie moontlik maak.

- c) Belugting is 'n integrale deel van die geaktiveerdeslykproses. 'n Flottasiesel, wat terselfdertyd 'n verlenging is van die belugtingsone, kan dus koste-doeltreffend by enige stelsel ingeskakel word.

3.10 DIE STUDIEPROGRAM

Die program om biologieseskuimbeheer deur middel van selektiewe flottasie te ondersoek, is soos volg:

1. Ontwikkeling van 'n metode om die skuimfraksie in 'n slykmengsel te meet.
2. Laboratoriumskaal-, loodsskaal- en volskaalse ondersoeke om vas te stel of selektiewe flottasie doeltreffend funksioneer.
3. Ontwikkeling van ontwerp kriteria vir 'n skuimbeheerstelsel.
4. Detail toetse in verband met sekere toepaslike stelsels, byvoorbeeld groeitempo's van die skuimbakterieë.

HOOFSTUK 4

KWANTIFISERING VAN BIOLOGIESE SKUIM

4.1 DOEL VAN KWANTIFISERING

In hierdie stadium van die ondersoek het dit noodsaaklik geword om die skuimfraksie in 'n bepaalde geaktiveerdeslykstelsel te kan kwantifiseer en in terme van 'n skuimindeks uit te druk.

So 'n skuimindeks sal die volgende toepassings hê:-

- (i) die skuimbaarheid van verskillende slykstelsels kan vergelyk word;
- (ii) in die praktyk en in navorsing kan dit kwantitatief aangewend word om vas te stel of sekere skuimbeheermaatreëls suksesvol is; en
- (iii) kan behulpzaam wees om ontwerpkriteria vir 'n skuimbeheerstelsel te ontwikkel.

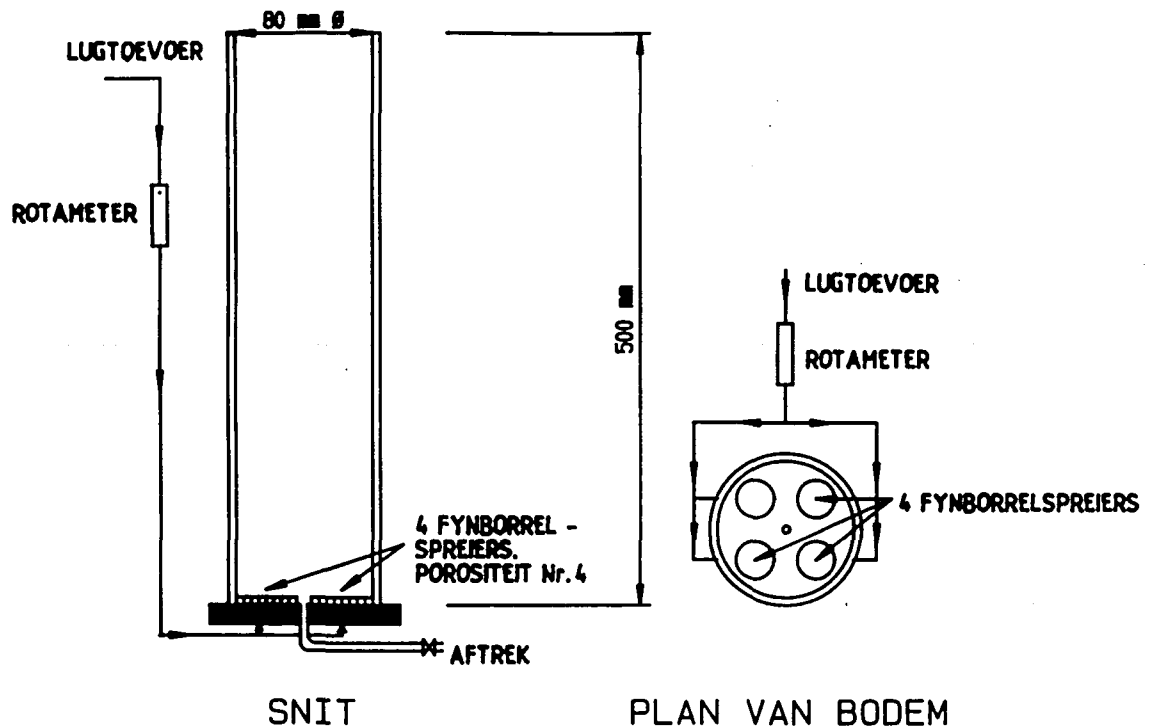
Ten einde die skuiminhoud in 'n stelsel te kan kwantifiseer, is dit eerstens nodig om 'n metode vas te stel waarvolgens die betrokke skuimbakterieë in totaal uit die slykmengsel gefraksioneer en daarna afsonderlik gemeet kan word. Deurdat skuimbakterieë oor die besondere eienskap beskik dat dit konsentrasiegewys dominant bo ander organismes in skuim voorkom en dus in 'n groot mate reeds van die slykmengsel geskei word, is besluit om hierdie eienskap verder te ondersoek.

4.2 BEPALING VAN DIE FRAKSIONERINGSEIENSKAPPE

Die fraksioneringseienskappe van die twee skuimbakterieë *Nocardia* en *M. parvicella*, is met laboratoriumondersoeke bepaal. Vir hierdie doel was dit nodig om 'n gestandaardiseerde skuimfraksioneringsapparaat te ontwerp en te bepaal of slykmengselkonsentrasie 'n effek op die fraksioneringseienskappe van die slyk het.

4.2.1 Laboratoriumgrootte fraksioneringsapparaat

'n Twee-en-'n-halflitergrootte enkellading silindriese fraksioneringsel, bestaande uit 'n eksterne lugtoevoer, rotameter, vier identiese fynborrelspreiers (Nr. 4 porositeit) en vloeistofaftrek, is van deursigtige "Perspex" gekonstrueer. Die fraksioneringsel word skematies in Figuur 4.1 getoon.



Figuur 4.1: Skematiese voorstelling van die fraksioneringsapparaat

Hierdie spesifieke konfigurasie van die silinder is gekies ten einde ooreen te kom met die gestandaardiseerde apparaat waarmee geroerde slykvolume-indeksbepalings (SSVI) uitgevoer word. Vir die doel van hierdie eksperiment is die silindriese gedeelte van die fraksioneringsel voorsien van 'n roerder waarvan die stuwer ongeveer 13 cm van bo af was. Aandrywing het geskied deur middel van 'n 1 omwenteling-per-minuut-motor.

4.2.2 Metode

i) Monsterneming en voorbereiding

Geaktiveerdeslykmonsters is geneem van twee aanlêe wat biologiese-skuimprobleme ondervind het. By die Daspoort-aanleg, Pretoria, het veral *Nocardia*-skuim en by die Middelburg-aanleg veral *M. parvicella*-skuim respektiewelik gedomineer. Om te verseker dat 'n behoorlik verteenwoordigende monster geneem word, is die monster by 'n punt in die belugtingsbakke geneem waar hoë turbulensie voorgekom het.

Die konsentrasie swewende stowwe in die slykmengsel (SSSM) van die monster is bepaal, waarna die slykmonster met kraanwater verdun en opgemaak is tot vier 2 l volumes met SSSM-konsentrasies van 1 500, 2 500, 3 500 en 4 500 mg/l onderskeidelik. SSSM-bepalings is uitgevoer volgens standaardprosedures, in ooreenstemming met "Standard Methods".⁴⁸

ii) Skuimfraksioneringmetode

Elke 2 l monster is in die fraksioneringsapparaat belug teen 'n tempo van 20 l/l reaktor.h⁻¹ deurdat dit 'n borrelgrootte van ongeveer 1 mm deursnit bied wat val binne die bestek van normale bedryf met borrelbelugtingstelsels. 'n Duidelik waarneembare faseskeiding het gedurende 'n een uur belugtingsperiode voorgekom, met die gevolg dat belugting daarna gestaak is. Na hierdie en elke daaropvolgende handeling is klein monsters (ongeveer 0,5 ml) van die ongefraksioneerde slyk, die geflotteerde fraksie en gesuspendeerde slykmengsel geneem en vir vergelykende studies mikroskopies ondersoek.

Na afskakeling van die lugtoevoer is die slykmengsel toegelaat om vir 'n periode van 30 minute te besink ten einde die stabiliteit van die flotteerde slyk onder 'n nie-belugtingstoestand te ondersoek.

Die roerder is vervolgens vir 'n periode van 30 minute in werking gestel ten einde die geflotteerde fraksie te versteur en die stabiliteit daarvan te ondersoek.

Fynborrelbelugting is laastens vir 'n verdere vier uur toegepas en

daarna gestaak omdat geen waarneembare flottasie aan die einde van die periode meer ondervind is nie.

Die hele prosedure is op elk van die oorblywende slykmengselsmonsters herhaal.

Daar is nie in hierdie stadium gepoog om die belugtingstempo, borrelgroottes en fraksioneringsperiode te optimiseer nie aangesien slegs die algemene fraksioneringseienskappe van die skuimbakterieë hier ondersoek is.

4.2.3 Resultaat

- a) 'n Skuimkop (ongeveer 20 mm dik) het in alle gevalle bo in die silinder ontwikkel sodra fynborrelbelugting toegepas is.
- b) Die mikroskopiese ondersoek het getoon dat die ongefraksioneerde slyk die gewone spektrum van geaktiveerdeslykorganismes bevat, wat die betrokke skuimbakterieë insluit. Sien Figuur 4.2. Die geflotteerde slykfraksie het in al die gevalle 'n dominante voorkoms van die skuimbakterieë getoon, hoewel ander geaktiveerdeslykorganismes ook in 'n mindere mate sigbaar was.

Figuur 4.2: Slykmengsel voor fraksionering:- a) wat *Nocardia* ook bevat; b) wat *M. parvicella* ook bevat.

Figuur 4.3: Organismes in skuimkop na een uur belugting:-

a) *Nocardia* dominant; b) *M. parvicella* dominant.

- c) Die gesuspendeerde slykmengsels het daarenteen in die gevalle van die 1 500 mg/l en 2 500 mg/l slykmengselkonsentrasies na een uur belugting geen teken van die betrokke skuimbakterieë getoon nie, (Figuur 4.4) terwyl slegs enkele skuimbakterieë in die 3 500 mg/l en 4 500 mg/l slykmengsels sigbaar was.

Figuur 4.4: Afwesigheid van skuimbakterieë in verdunde gesuspendeerde slykmengsels na een uur belugting:- a) *Nocardia*-slyk
b) *M. parvicella*-slyk.

- d) Nadat belugting gestaak is, het van die geflotteerde slyke aan die onderkant van die skuimkop begin wegbreek en saam met die gesuspendeerde slykmengsel besink. Figuur 4.5(b). Na 30 minute besinkingsperiode het die toestand gestabiliseer deurdat feitlik geen wegbreek van slyk uit die skuimkop meer plaasgevind het nie. Die mikroskopiese ondersoek het getoon dat hoewel die drywende slyk 'n onveranderde dominante voorkoms van skuimbakteriëe ondervind het, die besinkte slyk 'n effense toename in skuimbakteriëe getoon het. (Figuur 4.6). Hieruit kan afgelei word dat die slyk wat van die skuimkop tydens besinking weggebreek en besink het, skuimbakteriëe bevat het.
- e) Terwyl die roerder in werking was, het slykvlokkies aanhoudend weggebreek van die geflotteerde slykkop en besink, soos in Figuur 4.5(c) getoon word. Geleidelik neem die tempo waarteen die vlokke wegbreek egter af, totdat na 30 minute slegs 'n dun (ongeveer 2 mm dik) stabiele skuimlagie op die oppervlakte oorbly.
- f) Die mikroskopiese ondersoek op die oorblywende skuimlagies toon die skuimbakteriëe nog steeds dominant, soortgelyk soos in Figuur 4.3.
- g) Nadat fynborreldiffusie vir 'n verdere vier uur op die slykmengsel toegepas is, het die mikroskopiese ondersoek getoon dat selfs in die gevalle van die hoër konsentrasie slykmengsels, (2 500 mg/l en 4 500 mg/l) geen skuimbakteriëe meer in die gesuspendeerde slyk sigbaar was nie, terwyl die skuimkoppe 'n dominante voorkoms van die betrokke skuimbakteriëe ondervind het.

4.2.4 Gevolgtrekking

Die flotteringseienskappe van die skuimbakteriëe, *Nocardia* en *M. parvicella* word vervolgens opgesom:-

- a) Indien hierdie skuimbakteriëe in 'n slykmengsel verkeer, flotteer dit vinnig as die slykmengsel aan fynborreldiffusie onderwerp word.

Figuur 4.5: (a) Skuimkop ontwikkel tydens belugting; (b) Geflotteerde slyke breek weg van skuimkop nadat belugting beëindig is; (c) Slykvlokkies breek weg van skuimkop tydens roering.

Figuur 4.6: Teenwoordigheid van skuimbakterieë in besinkte slyk na wegbreek van slykvlokke uit skuimkop:- a) *Nocardia*
b) *M. parvicella*.

- b) Die gefloteerde skuimbakterie kom dominant voor in die skuim, hoewel ander geaktiveerdeslykorganismes ook tot 'n mate daarin aangetref word.
- c) Daar is sterk aanduidings dat indien fynborreldiffusie lank genoeg volgehou word, skuimbakterieë in geheel uit enige konsentrasie slykmengsel geflokeer kan word. Met hierdie ondersoek was vier uur voldoende om teen 'n belugtingstempo van $10 \text{ l/l reaktor.h}^{-1}$ en 1 mm deursnit borrelgrootte, die skuimbakterieë in so 'n mate uit die gesuspendeerde slykmengsel te flokeer dat dit nie d.m.v. 'n deeglike mikroskopiese ondersoek daarin waargeneem kon word nie. Hierdie aspek word in die volgende afdeling verder ondersoek.
- d) Algehele dryfvermoë word net ondervind terwyl belugting toegepas word. Sodra belugting gestaak word, besink 'n onstabiele fraksie van die gefloteerde slyk, terwyl 'n verdere onstabiele fraksie besink indien dit in die afwesigheid van belugting versteur word. "Onstabil" word in hierdie konteks gedefinieer as die onvermoë van die skuimbakterieë om lugborrels in hul matriks vasgevang te hou.
- e) Die skuimbakterieë wat ondersoek is, vertoon hidrofobies. Hierdie eienskap bring mee dat die gefloteerde slyk aangetrek word na die wande van die houer waar die vaskleef en versamel.
- f) Hierdie toetse het aangedui dat dit fisies moontlik is om skuimbakterieë deur middel van fynborrelbelugting selektief uit verskillende konsentrasies geaktiveerde slyk te skei.

4.3 ONTWIKKELING VAN 'N METODE OM BIOLOGIESE SKUIM TE KWANTIFISEER

Nadat dit in beginsel vasgestel is dat skuimvormende mikroörganismes selektief uit geaktiveerdeslykmengsels geskei kan word, het dit nodig geword om die skeidingseffektiwiteit te kwantifiseer. (Sien ook Afdeling 3.7.5). 'n Hoe skeidingseffektiwiteit sou daarop dui dat hierdie metode van selektiewe skeiding sinvol in die praktyk toegepas sou kon word om die groei van skuimvormende mikroörganismes te beheer.

Die doel van hierdie taak was om vas te stel of:

- (i) die totale massa skuimbakterië in 'n stelsel deur fynborrelflotasie herwin kan word;
- (ii) die sogenaamde "onsuiwer" organismes in gefloteerde slyk ook oor 'n inherente skuimvermoë beskik;
- (iii) dit moontlik is om die skuimbakterië selektief van hierdie on-suiwerhede te skei;
- (iv) die eienskappe waaroor skuimbakterië beskik in alle slykmengsels geld waarin dit mag voorkom.

Met hierdie inligting beskikbaar het die ondersoek dit laastens ten doel gestel om 'n metode te bepaal waarvolgens die skuiminhoud van 'n slykmengsel gemeet en in terme van 'n skuimindeks uitgedruk kan word.

4.3.1 Metode

a. Opmaak van media

'n Verteenwoordigende monster geaktiveerde slyk is van twee aanlêe met *Nocardia*-skuim en twee met *M. parvicella*-skuim geneem. Die metode van monsterneming was dieselfde as wat in Afdeling 4.2.3 beskryf is. Die besonderhede van die monsters word ook in Tabel 4.1 weergegee.

b. Analises

Analises is uitgevoer volgens die standaard prosedures wat in "Standard Methods"⁴⁸ beskryf word. Mikroskopiese ondersoeke is vir vergelykende rekorddoeleindes uitgevoer.

Tabel 4.1: Slykmengselbesonderhede en bronne van oorsprong

MONSTER NR.		SSSM (mg/l)	AANLEG	DOMINANTE SKUIM-bakterie
1	A	2858	Daspoort	<i>Nocardia</i>
	B	5000		
2	A	4364	Rynfield	<i>Nocardia</i>
	B	5913		
3	A	4114	Middelburg	<i>M. parvicella</i>
	B	5135		
4	A	4015	Randfontein Estate Goudmyn	<i>M. parvicella</i>
	B	4945		

c. Primêre skeiding van skuimbakteriëe vanuit geaktiveerde slyk

'n Monster is in die fraksioneringsapparaat vir 1 uur teen 'n tempo van 10 l/l reaktor.h⁻¹ belug, waarna die geflotteerde organismes van die res soos volg geskei is:

Terwyl belugting volgehou is, is die nie-geflotteerde slykmengselkolom van onder af in 'n houer afgetap. Die geflotteerde fraksie het òf aan die binnewand van die silinder bly kleef, òf het in die geval waar die massa daarvan te groot was om aan die silinderwand te hang, saam met die dalende slykkolom beweeg, in welke geval slykaftapping gestaak is net voordat die skuimkop ook afgetrek sou word.

Die agterblywende skuim is met 'n wasbottel van die wande van die silinderapparaat losgespuit waarna die inhoud afgetrek en afsonderlik bewaar is.

Die afgetapte nie-flotteerbare slykmengsel is hierna in die silinderapparaat teruggeplaas en verder belug. Die proses is 'n

verdere drie keer herhaal met een uur fraksionerings- en verwyderingsiklusse, waarna die skuimkopontwikkeling reeds so stadig was dat 'n finale 20 uur kontinue belugting toegelaat is voordat die laaste skuim van die betrokke slykmengsel afgetrek is. Hierdie nie-flotteerbare fraksie is later weer gebruik om die effektiwiteit van herwinbaarheid van biologiese skuim te bepaal. Die SSSM-konsentrasies van die oorblywende (nie-flotteerde fraksie) en massa van die versamelde skuim is bepaal.

Die oorspronklike ongefraksioneerde monster, die nie-flotteerbare slyk na fraksionering en die versamelde skuimmonster is mikroskopies ondersoek.

d. Sekondêre verryking van skuimfraksie

Die versamelde skuim is opgemaak tot 'n 2 l suspensie deur die byvoeging van kraanwater en weer in die fraksioneringsapparaat belug teen 10 l/l reaktor.h.⁻¹ Die skuimkop wat ontstaan is op dieselfde wyse soos hierbo beskryf herwin en versamel, terwyl die nie-geflotteerde onderwater afgetrek en weggegooi is.

Die herwinde skuimkop is 'n verdere drie keer telkens tot 'n 2 l suspensie opgemaak deur die byvoeging van vars kraanwater en gefraksioneer, waarna die massa van die finaal-verrykte skuim sowel as die (TSS)-konsentrasie van die finale nie-flotteerbare onderwater, bepaal is. Mikroskopiese ondersoeke is uitgevoer op hierdie finale skuimfraksie en nie-flotteerbare suspensie.

e. Bepaling van die herwinbaarheid van biologiese skuim

Die massa van die verrykte skuim is bepaal en weer met die oorspronklike nie-flotteerbare fraksie slykmengsel vermeng, waarna die skuimfraksie weer eens herwin is soos wat hierbo beskryf is.

Die totale massa van die herwinde, verrykte skuim is bepaal en vergelyk met die massa van die skuim wat aanvanklik ingeënt is.

4.3.2 Resultaat

Die analitiese resultate word in tabel 4.2 opgesom.

Tabel 4.2 Analitiese resultate van fraksioneringsondersoeke

Monster Nr.	skuimbakteriële	A	B	C	D	E	F	G	H
		Massa van verrykte skuim in- geënt	SSSM van nie-flot- teerbare fraksie van slyk- mengsel*	Massa van herwonne onverryk- te skuim	Massa van herwonne verrykte skuim	TSS-kon- sentrasie van finale nie-flot- teerbare fraksie in die on- derwater	Persenta- sie ver- skil tus- sen D en A: $\frac{(D-A)}{D} \times 100$	Persenta- sie wat skuim van aanvank- like her- wonne skuim vorm $\frac{(D)}{C} \times 100$	Persenta- sie wat herwonne skuim van totale slykmeng- sel vorm $\frac{(D)}{2B+A} \times 100$
		(mg)	(mg/l)	(mg)	(mg)	(mg/l)	%	%	%
1A	<i>Nocardia</i>	876	2420	1440	865	4	-1,27	60,07	15,13
1B		1520	4240	2485	1532	7	+0,78	61,65	15,32
2A	<i>Nocardia</i>	1568	3580	2565	1590	8	+1,38	62,00	18,22
2B		2145	4840	3625	2162	10	+0,79	59,64	18,28
3A	<i>M. parvicella</i>	948	3640	1505	935	5	-1,39	62,13	11,36
3B		1170	4550	1965	1152	6	-1,56	58,63	11,22
4A	<i>M. parvicella</i>	1570	3230	2565	1575	8	+0,32	61,40	19,61
4B		1970	3960	3310	1954	9	-0,82	59,03	19,76

Gemiddelde verskil:----- -0,22 % 60,75%

Standaard afwyking:----- 1,16 |

Gemiddelde verskil:-----|

* 2 l volume

Die mikroskopiese ondersoek wat tydens die skuimfraksioneringsproses uitgevoer is, het die volgende getoon:-

Die oorspronklike ongefraksioneerde slykmengselmonster het die normale spektrum geaktiveerdeslykorganismes opgelewer, met enkele skuimorganismes sigbaar, soortgelyk aan dit wat Figuur 4.2 toon.

Die primêr geskeide skuimmonster het die betrokke skuimorganismes dominant bevat (ongeveer 60 % - sien Tabel 4.2) met ander geaktiveerdeslykorganismes in 'n mindere mate aanwesig, soortgelyk aan wat Figuur 4.3 toon.

Geen skuimorganismes was in die nie-flotteerbare fraksie waarneembaar nie, soortgelyk aan wat Figuur 4.4 toon.

Die skuimverrykingsondersoek het die volgende resultate opgelewer:-

Die mikroskopiese ondersoek op die finaal-verrykte skuimfraksies het die dominante selektiewe teenwoordigheid van die betrokke skuimorganisme getoon, met feitlik geen ander geaktiveerdeslykorganismes waarneembaar nie. (Figuur 4.7). Daarenteen het die nie-flotteerbare onderwater gewone geaktiveerdeslykorganismes getoon, met geen skuimorganismes sigbaar nie, soos uit Figuur 4.8 blyk.

Figuur 4.7: Verrykte skuimmonsters met a) *Nocardia* en
b) *M. parvicella*

Figuur 4.8: Nie-flotteerbare onderwater met geen skuimbakterieë
 waarneembaar nie: oorblywend uit a) 'n *Nocardia* domi-
 nante slykmengsel en b) *M. parvicella* dominante slyk-
 mengsel.

Die eksperiment toon dat in die agt ondersoeke, gemiddeld net 60,75 % van die organismes in die aanvanklike geflotteerde slyk oor 'n ware skuimvermoë beskik het, naamlik die skuimbakterieë en dat die ander organismes dus onwillekeurig in die matrikse van die flotterende skuim vasgevang is.

Die vierde fraksionering wat met die skuimverrykingsproses uitgevoer is, het in al die gevalle 'n nie-flotteerbare onderwaterfraksie opgelewer met baie lae TSS-konsentrasies. Table 4.2, kolom E toon dat die hoogste meting van swewende stowwe slegs 10 mg/l was.

Die ondersoek in verband met die kwantitatiewe herwinning van uit 'n slykmengsel, het die volgende resultate opgelewer:-

Die massa van die herwonne verrykte skuimfraksie vergelyk uitstekend met die massa verrykte skuim wat aanvanklik in die slykmengsel vermeng is. Tabel 4.2, kolom F, illustreer dat die massa van die herwonne skuim in nie een van die gevalle met

meer as 1,56 % van die ingeënte massa verskil het nie. Verder is dit vanuit Tabel 4.2 duidelik dat die mate waarin skuimfraksies uit slykmengsels flotter onafhanklik van die aanvanklike slykmengselkonsentrasie is. Die skuimfraksie het in al die gevalle binne 24 uur volledig uitgeflotter.

4.3.3 Gevolgtrekking

- a) Wanneer 'n geaktiveerdeslykmonster oor 'n biologieseskuimvermoë beskik, kan dit volledig en selektief uit 'n slykmengsel gefraksioneer word, ongeag die SSSM-konsentrasie van die slykmengsel.
- b) Geen waarneembare verskil word ondervind in die tempo en wyse waarop skuimvormende geaktiveerde slyke waarin *Nocardia* en *M. parvicella* respektiewelik domineer, flotter nie.
- c) Die gewone geaktiveerdeslykorganismes wat as "onsuiwerhede" in onverrykte biologiese skuim voorkom, beskik oor geen skuimvermoë nie, maar is slegs toevallig teenwoordig deurdat dit in die flotterende skuumatrikse vasgevang word.
- d) Vier fraksionerings blyk voldoende te wees om die skuimfraksie na aanvanklike herwinning uit die slykmengsel feitlik ten volle te verryk, met ander woorde van al die "onsuiwerhede" te skei.
- e) 'n Verrykte biologiese skuim word vir die doel van hierdie navorsing gedefinieer as een wat na verskeie fraksionerings deur middel van fynborreldiffusie, 'n nie-flotterbare fraksie in die onderwater laat met 'n totale swewende stowwe-konsentrasie van minder as 10 mg/l.
- f) Die skuiminhoud van 'n stelsel kan gekwantifiseer word deur die totale massa uitgeflotterde verrykte skuim uit te druk as 'n persentasie van die totale massa slyk in die stelsel waaruit dit geflotter word. Die skuimmassafraksie-indeks of kortliks, skuimindeks (SMI) word soos volg gedefinieer:

$$\text{SMI} = \frac{\text{Massa uitgeflotteerde verrykte skuim}}{\text{Massa aanvanklike slyk in stelsel}} \times 100$$

Die skuimindeks word voortaan in wiskundige vergelykings gesimboliseer deur I.

Die faktore in Tabel 4.2, kolom G, wat die persentasie uitdruk wat die herwonne skuim van die totale slykmengsel uitmaak, verteenwoordig gevolglik die skuimindeks.

Die skuimindeks van 7 aanlêe ten tye van die ondersoek was die volgende:-

Daspoort - Pretoria	15,23 %
Rynfield - Benoni	10,21 %
Middelburg	7,40 %
Randfontein Estate Goudmyn	19,69 %
Noordelike werk - Johannesburg	3,16 %
Randfontein-aanleg	6,00 %
Goudkoppies - Johannesburg	2,07 %

KWANTIFISERING VAN DIE GRAAD VAN DIE SKUIMPROBLEEM

Deur die skuimindeks as parameter aan te wend, is dit moontlik om die SMI willekeurig in verband te bring met die hewigheid van skuimvoorkoms, soos waargeneem by genoemde sewe aanlêe. Sien Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Willekeurige vergelyking van SMI met gewone skuimprobleme.

SMI	Waargenome hewigheid van skuimprobleem
0 - 1 %	onbeduidend
1 - 6 %	laag
6 - 10 %	matig
10 - 15 %	ernstig
> 15 %	rampspoedig

4.4 VERBETERING VAN DIE KWALITEIT VAN SELEKTIEWE FLOTTASIE DEUR DIE BYVOEGING VAN FERRICHLORIED

Gedurende die ondersoek is mikroskopies waargeneem dat skuimorganismes meer dominant voorkom in onverrykte skuim vanaf aanleë wat FeCl_3 vir fosfaatverwydering doseer. Hierdie waarneming is eksperimenteel ondersoek deur varieërende dosisse FeCl_3 by die verskillende verrykingsfases te voeg en die gefraksioneerde fraksies mikroskopies te vergelyk met 'n kontrole-eenheid waarin verrykings sonder FeCl_3 uitgevoer is. Daar is gevind dat deur 0,08 ml/ FeCl_3 (43 % oplossing) per liter slykmengsel by die aanvang van die tweede fraksioneringsfase by te voeg, die verrykingsproses optimaal verhaas word. Die rede skyn te wees dat FeCl_3 as 'n oppervlaktmiddel inwerk deur die slykmengsel se skuimbaarmheid te verminder sonder om die inherente skuimbaarmheid van die skuimorganisme te beïnvloed.

HOOFSTUK 5

ONTWIKKELING VAN ONTWERPKRITERIA VIR 'N SKUIMBEHEERMEGANISME

5.1 BEHEER VAN BIOLOGIESE SKUIM DEUR MIDDEL VAN NEGATIEWE SELEKSIE

Navorsers (byvoorbeeld Chiesa en Irvine)⁵ skryf in 'n toenemende mate die teenwoordigheid van sekere tipes organismes in 'n geaktiveerdeslykstelsel toe aan 'n kombinasie van spesifieke bedryfstoeestande, of verklaar dit as die gevolg van fisiologiese of fisiese seleksiefaktore (Pretorius).⁴²

Geaktiveerdeslykstelsels funksioneer as sogenaamde "mikrobiëse selekteerders" waarin aërobiese en fakultatiewe organismes wat ook oor goeie besinkeienskappe beskik, grotendeels bevoordeel word. In kortslykouderdomsstelsels sal verder slegs daardie organismes oorleef wat oor 'n vinnige groeitempo beskik, terwyl dié wat 'n relatiewe lae groeitempo het, slegs in langslykouderdomsstelsels geselekteer sal word. Hierdie meganisme, wat in Afdelings 3.4.5 en 3.6.2 ook bespreek is, is bekend as "positiewe seleksie".

Hoewel die twee organismes wat oor 'n potensiële skuimvermoë beskik, naamlik *Nocardia* en *M. parvicella*, 'n relatief lae groeitempo het, is dit verhongeringsbestand en kan gevolglik onder baie lae substraatkonsentrasies oorleef. Wanneer dit in 'n skuimtoestand verkeer, is hierdie organismes in direkte kontak met lugborrels, wat 'n kontinue belugtingsbron bied. In so 'n staat kan hierdie aërobiese skuimbakterië selfs lang periodes van anaërobiose deurstaan.

In geaktiveerdeslykaanlêe waarin die vloei van slykmengsel tussen kompartemente deur middel van onderuitlate geskied, word die volgende toestande geskep wat die positiewe seleksie van die skuimvormende organismes bevorder: 'n Biologieseskuimdryflaag word tot 'n groot mate op die oppervlakte van die kompartemente vasgekeer. Aangesien hierdie skuimbakterië nie langer deur die stelsel sirkuleer nie, word dit ook nie onderwerp aan die proses van slykverspilling vir slykouderdombeheer nie, met die gevolg dat dit in hierdie "mikrobiëse selekteerders" vermeerder. Anaërobiese-, anoksiese- en borrelbe-

lugtingskompartemente en in 'n mindere mate besinktenks wat oor drifselkeerplate beskik, is ideale positiewe selekteerders deurdat die mengaksies wat hierin plaasvind gewoonlik nie voldoende is om slyke wat eenmaal geflotteer het, terug te vermeng in die slykmengsel nie. In oppervlakbelugtingsones versamel biologiese skuim in die hoeke van die kompartemente. Met 'n doeltreffende belugting sal die rolaksie wat dit meebring tot gevolg hê dat die biologiese skuim gedurig weer teruggeklits word in die slykmengsel. Indien dit nie die geval is nie, sal die skuim in die hoeke vermeerder en sodoende word nog 'n selekteerder van skuimvormende organismes gevorm. In die praktyk kom dit verder daarop neer dat 'n vasgekeerde skuimlaag 'n veel langer slykouderdom as die res van die slykmengsel sal hê. Sulke stelsels het dus in effek "twee" slykouderdomme.

In teenstelling hiermee bied die besondere eienskap van die twee skuimvormende organismes, naamlik dat wanneer dit in 'n staat van skuimvorming verkeer, dit in totaal en feitlik selektief uit 'n geaktiveerdeslykmengsel geflotteer kan word, moontlikhede om hulle van die ander geaktiveerdeslykorganismes te skei en uit stelsels te verwyder. Hierdie proses kan beskou word as "negatiewe seleksie". Ten einde negatiewe seleksie suksesvol te bedryf, is dit nodig om die aanleg so te wysig dat 'n dryflaag nêrens 'n kans kry om op te bou nie, met ander woorde dat die positiewe seleksie van skuimvormende organismes daardeur tot 'n minimum beperk word. Hierdie doelstelling kan in 'n groot mate reeds bereik word deur bo-oorlope tussen kompartemente te voorsien.

Sodra die tempo waarteen negatiewe seleksie geskied, groter is as die tempo van positiewe seleksie, sal die skuimbakterië in die stelsel verminder en uiteindelik verdwyn, om sodoende die voorkoms van biologiese skuim te minimizeer.

Negatiewe seleksie is ten tye van die ondersoek reeds met gedeeltelike sukses by die Daspoort-geaktiveerdeslykaanleg toegepas. Daar is naamlik daaglik gepoog om 'n geflotteerde slyklaag op die besinktenks, bestaande uit skuimvormende en ander organismes wat vanweë, onder andere, denitrifikasie na die oppervlakte gevoer is, te verwyder. 'n Drifselkeerplaat het verhoed dat die drywende slyk vanself in die uitvloeisel beland. Tuinslange en skrapers is gebruik om die slyk na 'n versamelpunt aan te dryf, vanwaar dit in 'n kanaal gestort en uit die stelsel gelei is.

Hierdie prosedure was nie baie effektief as 'n skuimbeheermaatreël nie, aangesien 'n mikroskopiese ondersoek aangedui het dat 'n beduidende gedeelte van die *Nocardia*-organismes vanself besink en deur middel van die slykretoerstel-

sel teruggeënt is in die belugtingseenheid. Die drifselversamelaksie het veroorsaak dat lug en gasse uit die drywende slyke ontsnap, met die gevolg dat 'n fraksie van hierdie slyk ook besink het. Deur die slyk wat op die oppervlakte van die besinktenks dryf daaglik te verwyder, is daar by die Daspoort-aanleg daarin geslaag om 'n lae skuimindeks van gemiddeld 7,70 % te handhaaf. Hierdie is 'n verbetering op vroeëre pogings toe die oppervlakteslyk slegs elke derde dag afgedryf is en 'n hoër skuimindeks van gemiddeld 11,8 % gemeet is.

5.2 POSISIE VAN 'N SKUIMBEHEERMEGANISME IN 'N GEAKTIVEERDESLYKSTELSEL

Die gevalbeskrywing in Afdeling 5.1 illustreer dat, hoewel die beginsels van negatiewe seleksie reeds toegepas word by geaktiveerdeslykaanlêe wat biologieseskuimprobleme ondervind, die metodes wat tot dusver gevolg is, baie arbeidsintensief en ondoeltreffend was. Die rede hiervoor is dat volgehoue fynborrelbelugting noodsaaklik is om al die skuimvormende organismes in 'n ge-flotterde staat te behou. Besinktenks is dus nie die aangewese plek om negatiewe seleksie in toe te pas nie.

'n Doeltreffende, koste-effektiewe meganisme moet dus by geaktiveerdeslykstelsels voorsien word indien skuimbeheer deur middel van negatiewe seleksie verlang word. 'n Flottasiesel waarin fynborrelbelugting toegepas word, kan hierdie rol vervul. By bestaande anlêe kan so 'n flottasiesel as 'n addisionele kompartement aan die uitlaatkant van 'n belugtingsbak voorsien word. Indien die ruimte daarvoor voorkom, mag dit meer doeltreffend wees om dit op die retoerlyn te inkorporeer, aangesien die slykkonsentrasies daar hoër is. Laasgenoemde voorstel hou egter 'n ernstige nadeel in by stelsels waarin biologiese fosfaat- en nitraatverwydering toegepas word, deurdat die retoerslyk opnuut belug word op 'n stadium waar 'n toestand van anaërobiose gehandhaaf moet word met die oog op die anaërobiese en anoksiese sones wat volg.

By nuwe anlêe waarin skuimbeheermeganismes voorsien wil word, is dit voordelig om die flottasiesel as 'n verlenging van die belugtingsbak te ontwerp, met ander woorde, indien geen skuim ondervind word nie, vind normale borrelbelugting daarin plaas. Hierdie deel van die studie stel dit vervolgens ten doel om ontwerp kriteria te ontwikkel, waarvolgens die optimale vorm en grootte van 'n flottasiesel en die kapasiteit van die meegaande toerusting, vir doeltreffende maar koste-effektiewe skuimbeheer, bereken kan word.

5.3 BEPLANNING VAN DIE ONDERSOEK

Die ondersoek is in drie fases beplan.

In die eerste fase word die groeiparameters van die skuimbakterie bepaal. Hierdie inligting word benodig ten einde te bereken teen watter tempo skuimorganismes uit 'n korrek-ontwerpte geaktiveerdeslykstelsel verwyder moet word om die tempo van positiewe seleksie te oortref, met ander woorde om 'n netto vermindering in die skuimorganismepopulasie te handhaaf.

In die tweede fase word die belangrikste faktore wat 'n rol speel by die selektiewe flottasie van biologiese skuim, onder laboratoriumtoestande geëvalueer.

In die derde fase word die verkreeë gegewens as basis vir die ontwikkeling van 'n wiskundige model gebruik, waarvolgens die verwagte afname in die biologieseskuimkonsentrasie vanuit 'n kontinuu gevoerde stelsel gedurende beheerde flottasietoestande bereken kan word.

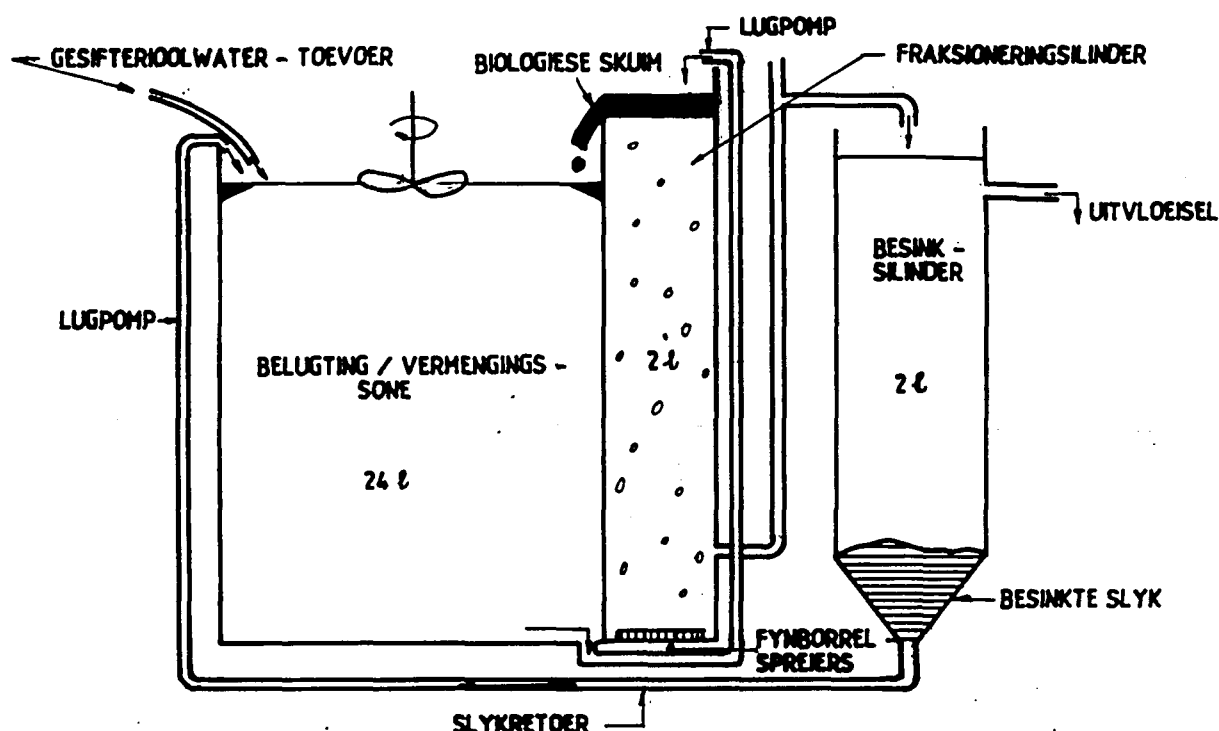
5.4 LABORATORIUMONDERSOEKE EN VASSTELLING VAN ONTWERPKRITERIA

5.4.1 Doel van die ondersoek

- a) Om die maksimum spesifieke groeitempo, μ_{maks} , van *Nocardia* te bepaal. (Die μ_{maks} van *M. parvicella* is reeds deur Slijkhuis⁴⁷ op 0,06 per uur vasgestel by 18°C).
- b) Om die flottasietempo van skuimbakteries te bepaal wanneer die retensieperiode, flottasiediepte, lugvloeytempo en lugborrelgrootte gevarieer word.
- c) Om die doeltreffendheid van die flottasiesel tydens die verskillende bedryfstoeestande te bepaal en die lugborrelgrootte te optimaliseer.
- d) Om 'n wiskundige model te gebruik ten einde om die varieëring in doeltreffendheid van 'n flottasiesel onder enige toestand te kan beskryf.

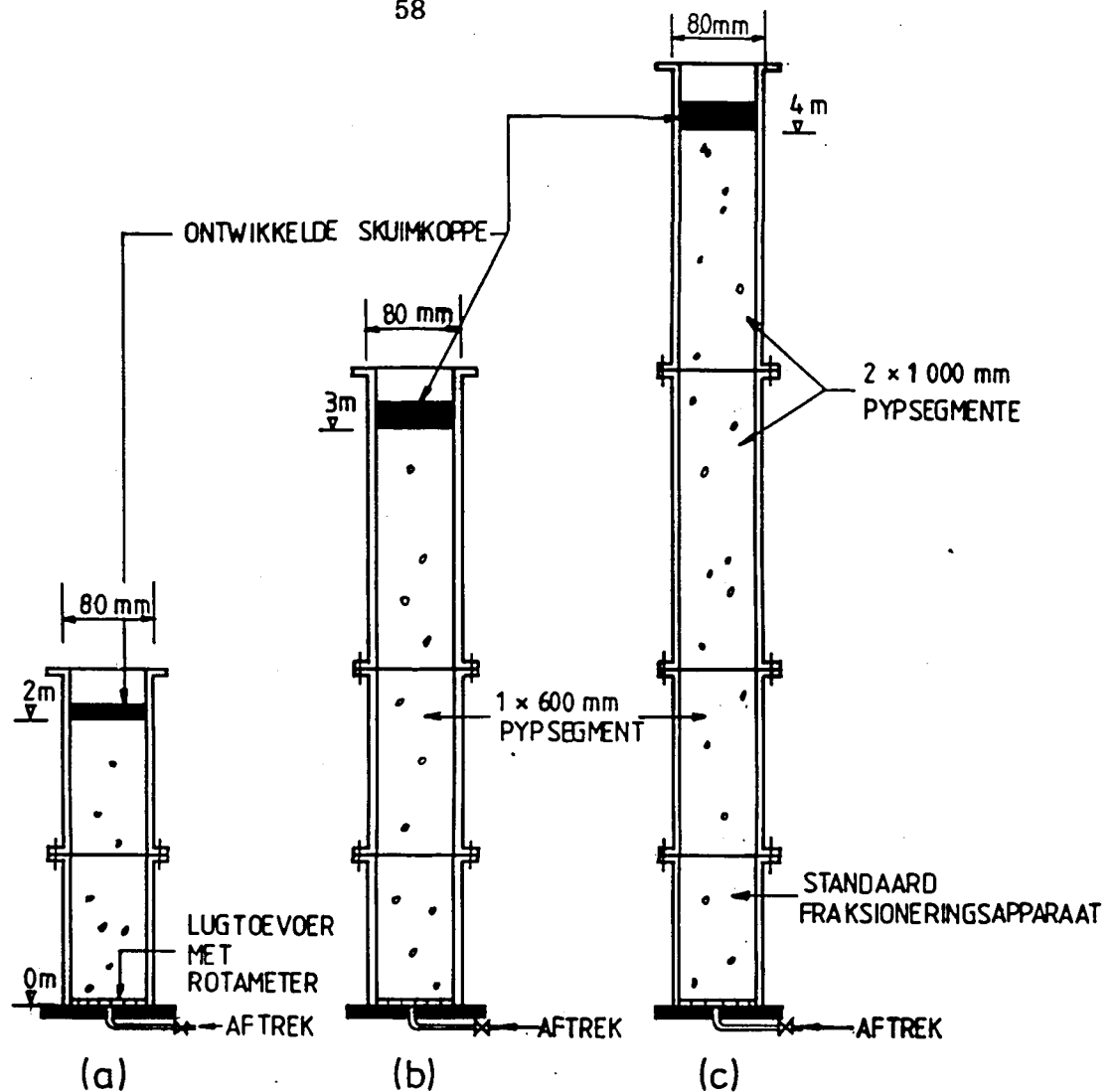
5.4.2 Apparaat

- a) Vir groeiparameterbepaling is 'n laboratoriumapparaat vervaardig soos wat in Figuur 5.1 geïllustreer word. Die apparaat staan vervolgens bekend as die skuimsirkulasie-apparaat.



Figuur 5.1: Skuimsirkulasie-apparaat vir groeiparameterbepaling van *Nocardia*.

Die bedryfsbeginsels van die apparaat word kortliks beskryf: Die ontwerp van die apparaat is sodanig dat biologiese skuim in die belugtinggedeelte vasgevang bly en nie na die besinktenk vloei waar dit in die uitvloeisel kan beland en verlore gaan nie. Voordat die slykmengsel na die besinktenk vloei, word dit eers met 'n lugpomp verhef na 'n fraksioneringsilinder, waar die flotteerbare slykfraksie van die nie-flotteerbare slykmengsel geskei en teruggegraviteer word na die belugtingsone. Die nie-flotteerbare slykmengsel word deur middel van 'n onderuitloop gevoer na die besinktenk vanwaar die besinkte slyke teruggepomp word na die belugtingsone.



Figuur 5.2: Standaard fraksioneringsapparaat, verleng na (a) 1 000 mm (b) 2 000 mm en (c) 3 000 mm.

- b) 'n Fraksioneringapparaat soortgelyk aan dit wat in Figuur 4.1 beskryf word, is as basiese eenheid gebruik. Die apparaat is so gewysig dat die hoogte van die silindriese gedeelte gevarieer kan word. So kon die hoogte van die standaard eenheid in stappe na 1 000 mm, 2 000 mm en 3 000 mm verander word om die effek van flottasiediepte te ondersoek. Die verskillende groottes word skematies in Figuur 5.2 getoon.

5.4.3 Metode

(i) Opmaak van media

- (a) Vir die bepaling van die groeitempo van *Nocardia*, is 'n slykmengselmonster waarin hierdie skuimbakterie dominant was, geneem en met kraanwater verdun tot 'n SSSM-konsentrasie van 1 000 mg/l.
- (b) Vir die bepaling van die flottasietempo van die skuimorganismes, is 'n monster biologiese skuim waarin *Nocardia* dominant was, verryk volgens die metode wat in Afdeling 4.3 beskryf is. Deurdat die flottasietempo van skuimbakterieë nie sigbaar beïnvloed word deur die digtheid van die suspensiemedium nie, is die verrykte skuim met kraanwater opgemaak tot 'n SSSM-konsentrasie van 1 000 mg/l.
- (c) Vir die optimisering van die lugborrelgrootte is 'n monster geaktiveerde slyk geneem wat geen skuimbakterieë bevat het nie. Hierdie monster is opgemaak tot 'n SSSM-konsentrasie van 4 500 mg/l en is afsonderlik van die skuimmonster bewaar.

(ii) Analises

Analises vir SSSM-, TSS- en CSB-bepalings is uitgevoer volgens die standaard prosedures wat in "Standard Methods"⁴⁸ beskryf word, terwyl die SSVI volgens die metode van White⁵¹ uitgevoer is. Die skuimindeks is bepaal volgens die metode wat in Hoofstuk 4 beskryf is.

(iii) Bepaling van die spesifieke groeitempo van *Nocardia*

- (a) Die skuimsirkulasie-apparaat, gevul met die verdunde slykmengsel, is by die Rynfield-aanleg by Benoni langs die invloeielskanaal opgestel en vir 'n periode van 14 dae bedryf terwyl dit met gesifte rioolwater gevoer is. Slykmengselmonsters vir SSSM- en SMI-bepalings is daaglik geneem en die invloeiels-CSB is daaglik gemonitor.

Ferrichloried (43 % oplossing) is teen 1,4 ml/dag op 'n lotbasis by die slykmengsel gevoeg om die besinkings- en selektieweflottasie-eienskappe daarvan te verbeter en sodoende slykverlies saam met die uitvloei te minimiseer. Die bedryf van die ondersoek word in Tabel 5.1 saamgevat. Die metode wat gevolg is, stem ooreen met dit wat deur Gaudy en Gaudy¹⁹ beskryf word.

Tabel 5.1: Bedryfskriteria van die skuimsirkulasie-apparaat.

Parameter	Eenheid	Waarde
<u>SLYKMENGSEL:</u>		
Aanvangs-SSSM	mg/l	1000
Aanvangs-SMI	%	3,4
Slykouderdom	dae	Toenemend
Hidrouliese retensie	h	24
Opgeloste suurstof konsentrasie	mg/l	2,4
Substraatvoer	l/dag	24
Volume van apparaat	l	24
Temperatuur van slykmengsel	°C	18

(iv) Bepaling van die flottasietempo van skuimbakterië

Nadat die fraksioneringsilinder aangepas is tot 'n bepaalde lengte, is dit gevul met 'n deelvolum van die skuimsuspensie en belug deur 'n bepaalde kombinasie fynborrelspreiers (porositeit nr.4). Die skuimkop wat vorm is na twee minute herwin en verryk volgens die prosedure wat in Afdeling 4.3.3 beskryf is. Die oorblywende skuimsuspensie is vervolgens vir periodes van 5, 8, 15, 30, 60, 60 en 60 minute in die apparaat gefraksioneer, terwyl die geflotteerde skuimfraksies telkens herwin en die droë massas daarvan afsonderlik bepaal is.

(a) Bepaling van die lugborrelgrootte

Die gemiddelde lugborrelgrootte in die fraksioneringproses is soos volg bepaal:-

'n Maatstok is na afloop van die vier uur fraksionering-periode vertikaal teenaan die fraksioneringsilinder beves-

tig, waarna die stygende lugborrels, die vergelykende maatstok en rotameter saam gefotografeer is.

Meting van die borrelgrootte word uitgevoer deur die deursnit van alle lugborrels vanaf die foto oor die volle wydte van die silinder op 'n hoogte van 200 mm bokant die borrelspreiers met behulp van die vergelykende maatstok te meet en die gemiddelde borrelgrootte daarvolgens te bereken. Die lugborrelgrootte word vervolgens, in terme van die diameter, deur die simbool, ϕ , uitgedruk.

(b) Varieering van die kombinasie bedryfparameters

Die fraksioneringsprosedure en meegaande borrelgroottebepaling is telkens herhaal met afsonderlike deelvolumes skuimsuspensies, terwyl verskillende kombinasies lugvloei-tempo's, borrelgroottes en seldieptes aangewend is. Die borrelgroottes is gevarieer deur die aantal borrelspreiers waardeur belugting toegepas word, te wissel.

Die verskillende bedryfkombinasies word in Tabel 5.2 saamgevat.

(c) Optimisering van die lugborrelgrootte

'n Tien liter slykmengselmonster met 'n skuimindeks van 20 % is opgemaak deur 'n deelvolume verrrykte skuim in die monster nie-flotteerbare slyk te vermeng. Afsonderlike twee liter deelvolumes is agtereenvolgens vir een uur periodes in die fraksioneringapparaat belug teen tempo's van 10, 30 en 50 l/uur, terwyl die lugborrelgrootte telkens gevarieer is deur dit deur kombinasies van twee tot vier fynborrelspreiers te stuur. (Die lugborrelgrootte tydens die aanwending van verskillende kombinasies borrelspreiers, is reeds in die eerste gedeelte van die ondersoek vasgestel.)

Die "skuimindeks" van die herwonne onverrrykte skuim is vir elke variasie in borrelgrootte bepaal en opgeweeg teen die ooreenstemmende doeltreffendheid van die flottasiemeganisme.

Tabel 5.2 Kombinatie van bedrijfparameters.

Kombi- nasie nr.	Onderzoek effek van:	Seldiepte	Aantal Borrel- spreiers	Lugvloei tempo		
				Per borrel- spreiers	Per selarea	Per sel- volume
		m		m ³ /h	m ³ /m ² .h ⁻¹	m ³ /m ³ .h ⁻¹
1	Lugtoevloeitempo en borrelgrootte	1,0	4	0,01	2	2
2		1,0	4	0,02	4	4
3		1,0	4	0,03	6	6
4		1,0	4	0,05	10	10
5		1,0	4	0,09	18	18
6		1,0	3	0,01	2	2
7		1,0	3	0,02	4	4
8		1,0	3	0,03	6	6
9		1,0	3	0,05	10	10
10		1,0	3	0,09	18	18
11		1,0	2	0,01	2	2
12		1,0	2	0,02	4	4
13		1,0	2	0,03	6	6
14		1,0	2	0,05	10	10
15		1,0	2	0,09	18	18
16	Seldiepte	2,0	4	0,01	2	1
17		2,0	4	0,02	4	2
18		2,0	4	0,03	6	3
19		2,0	4	0,05	10	5
20		2,0	4	0,09	18	9
21	Seldiepte	3,0	4	0,01	2	0,7
22		3,0	4	0,02	4	1,4
23		3,0	4	0,03	6	2
24		3,0	4	0,05	10	3,3
25		3,0	4	0,09	18	6

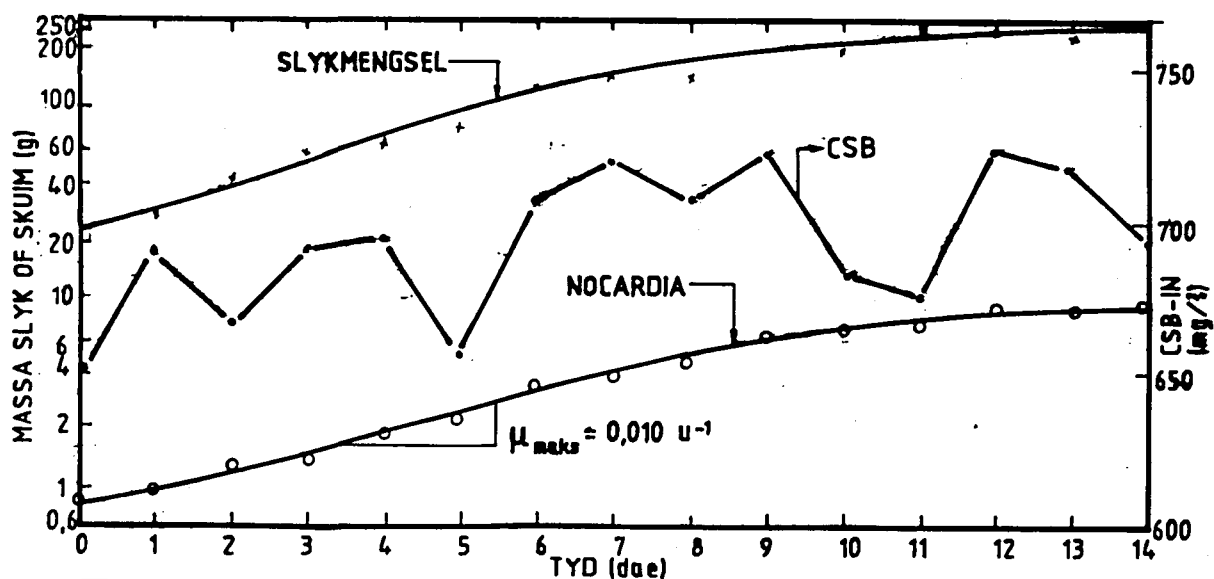
5.4.4 Resultaat

a) Die groeitempo van *Nocardia*

Die totale skuimmassa in die skuimsirkulasie-apparaat by tye van monsterneming, is soos volg bereken:

$$\begin{aligned}\text{Skuimmassa} &= \text{slykmengselkonsentrasie} \times \text{SMI} \times \text{volume van appa-} \\ &\quad \text{raat} \times 10^{-3} \quad (\text{g}) \\ &= \text{SSSM} \times \text{SMI} \times 24 \times 10^{-3} \quad (\text{g})\end{aligned}$$

In Figuur 5.3 word die toenames in biomassa en skuimmassa logaritmies teenoor tyd aangetoon, sowel as die wisseling in invloedisel-CSB gedurende die ondersoekperiode. Dit blyk hieruit dat in die geval van die Rynfield-aanleg, die μ_{maks} van die skuimbakteriëe, waarin *Nocardia* dominant voorkom, ongeveer 0,01/h is.



Figuur 5.3: Bepaling van die maksimum groeitempo, μ_{maks} , van *Nocardia*.

b) Lugborrelgroottes

Foto's wat die lugborrels by verskillende belugtingstempo's en aantal borrelspreiers by 'n hoogte van 200 mm bokant die borrelspreiers saam met 'n vergelykende maatstok aandui, word

in die Aanhangsel in Figuur B.1 aangetoon. Die gemiddelde borrelgroottes word in Tabel 5.3 saamgevat.

Tabel 5.3: Lugborrelgroottes by verskillende bedryfskombinasies.

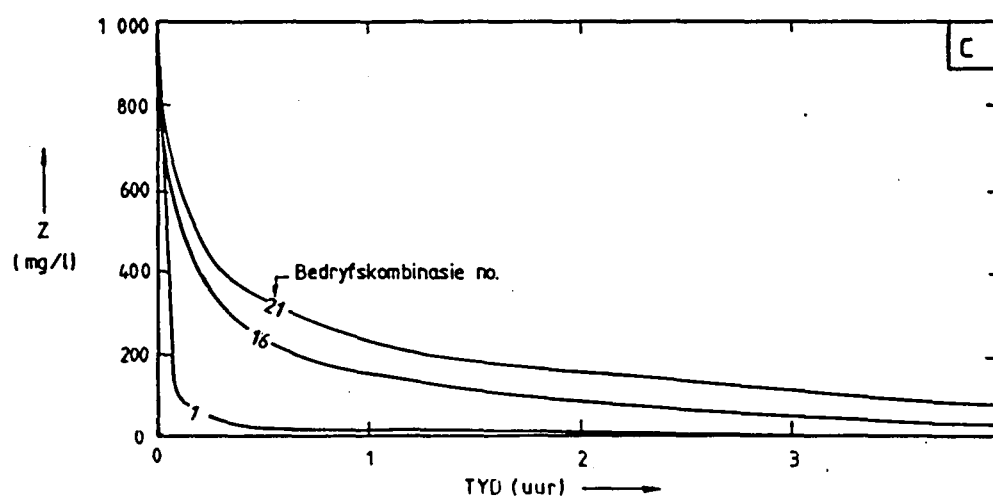
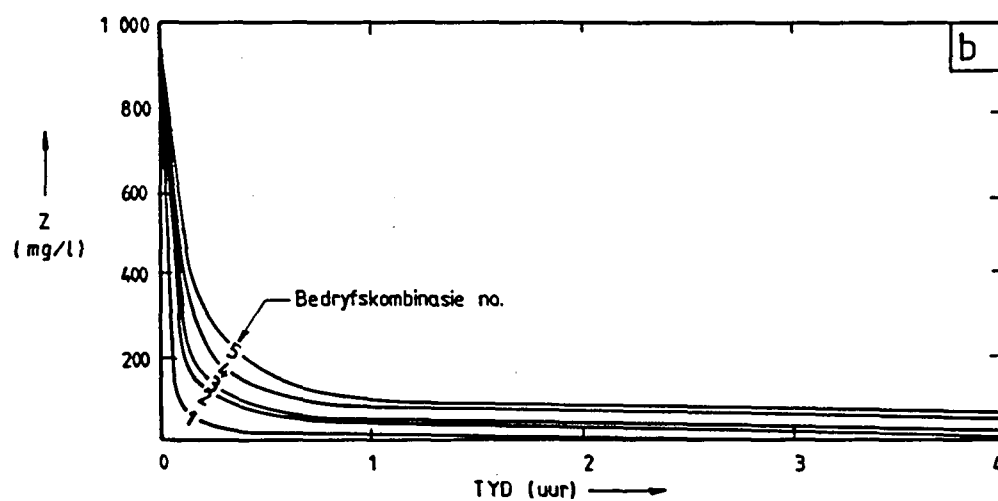
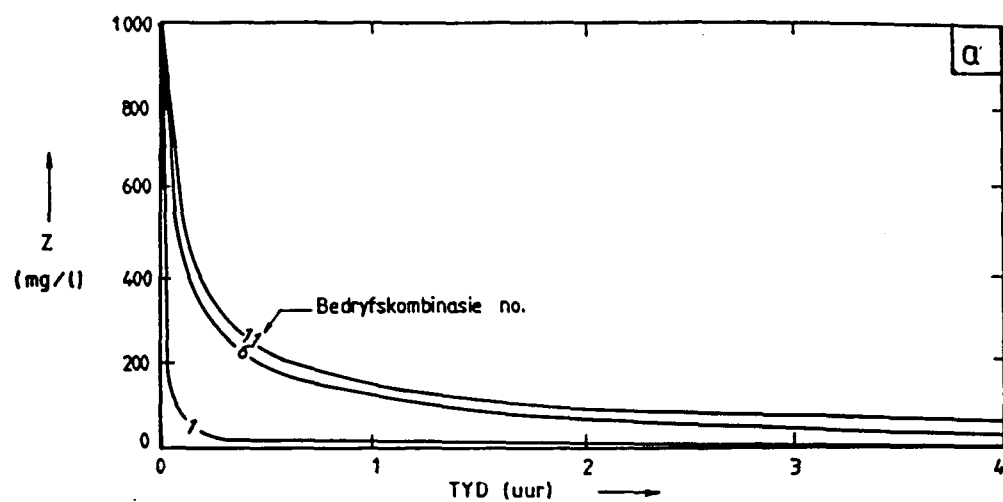
Kombinasie Nr.	Belugtings- tempo Q_L m^3/h	Aantal borrelspreiers	Borrelgrootte (mm)
1	0,01	4	0,50
2	0,02	4	1,00
3	0,03	4	1,56
4	0,05	4	2,70
5	0,09	4	5,00
6	0,01	3	0,57
7	0,02	3	1,17
8	0,03	3	1,80
9	0,05	3	3,30
10	0,09	3	6,17
11	0,01	2	0,60
12	0,02	2	1,28
13	0,03	2	2,00
14	0,05	2	3,50
15	0,09	2	6,50

c) Die flottasietempo

Die konsentrasie van die oorblywende biologiese skuim in die flottasiesel op enige tydstip tydens die fraksioneringproses, word soos volg bereken:

$$\text{Skuimkonsentrasie (Z)} = \text{SSSM} \times \text{SMI} \quad (\text{mg/l})$$

Die eksperimentele data van Z versus tyd word in Aanhangsel B, Tabel B.1 teenoor die eerste vier uur fraksioneringstyd aange-
toon vir verskillende vergelykende kombinasies bedryfsparame-
ters, waarvan enkele grafies in Figuur 5.4 weergegee word.



Figuur 5.4 Afname in skuimkonsentrasie in vloeistof in fraksioneringskolom, met tyd: (a) wisselende aantal borrelspreiers, konstante seldiepte en lugvloei; (b) Wisselende lugvloei, konstante aantal borrelspreiers en seldiepte; (c) Wisselende seldiepte, konstante aantal borrelspreiers en lugvloei.

d) Die doeltreffendheid van die flottasiemeganisme

Die doeltreffendheid, η , van die flottasiemeganisme (desimale breuk) by 'n sekere begin-skuimkonsentrasie, Z , word gedefinieer as die vermindering in die skuimkonsentrasie gedurende die daaropvolgende retensieperiode, t . Indien Z_1 , die skuimkonsentrasie is aan die einde van die retensieperiode, volg dit dat:-

$$\eta = (1 - Z_1/Z) \text{ gedurende } t$$

Die afname in die doeltreffendheid van die flottasiemeganisme word vanuit Tabel B.1 in die aanhangsel afgelei teen retensieperiodes van 10, 30, 45, 60, 75 en 90 minute onderskeidelik. Hierdie afgeleide data, wat in Tabel B.2 aangetoon word, word in Figuur 5.5 grafies uitgedruk ten opsigte van die ooreenstemmende skuimkonsentrasie.

Wiskundige vergelykings vir die onderskeie kurwes in Figuur 5.5 is deur middel van 'n sogenaamde vergelykingpassingsprogram²⁵ op 'n HP-41CV-rekenaar bepaal. Die koördinate van die punte waaruit die onderskeie kurwes opgebou is, (Aanhangsel, Tabel B.2) word in die rekenaar ingelees, waarna verskillende tipes vergelykings daarteen gepas word. Die akkuraatheid van elke paspoging word uitgedruk in terme van 'n faktor, waarvolgens 'n R_2 -faktor van 1,0 'n honderd persent akkurate inpassing aandui. Volgens die programhandleiding,²⁵ dui 'n R_2 -faktor kleiner as 0,90 'n onaanvaarbare paspoging aan.

Dit blyk uit Figuur 5.5 dat die afname in η by hoër skuimkonsentrasies ignoreerbaar min is. Z_1 dui vervolgens die skuimkonsentrasie aan van waar die afname in Z beduidend begin word met η_1 die ooreenkomstige doeltreffendheid. Sien Figuur 5.5.

Die afname in η met verminderende skuimkonsentrasie volg daarna 'n logaritmiese funksie tot by 'n skuimkonsentrasie wat voortaan aangedui word as Z_e , (Figuur 5.5), met die ooreenstemmende η -waarde as η_e , vanwaar die verdere afname in η deur 'n magtsfunksie beskryf word. Soos uit Tabel B.2 blyk, was die R_2 -faktor nie in een geval minder as 0,93 nie.

Die logaritmiëse funksie sien soos volg daaruit:

$$\eta = (g + h \cdot \ln Z) \cdot 10^{-2} \quad - 5.1$$

waar: g en h konstantes is vir die onderskeie kurwes.

Die konstantes g en h word in Figuur 5.6 met mekaar in verband gebring. Die verband kan deur die volgende vergelykings uitgedruk word:

$$g = 115,113 - 7,655h \quad - 5.2(a)$$

$$\text{dus: } h = \frac{115,113 - g}{7,655} \quad - 5.2(b)$$

Die konstante η - waarde by skuïnkonsentrasies hoër as Z_e is dus:

$$\eta = (g + h \cdot \ln Z_e) \cdot 10^{-2} \quad - 5.3$$

Die magsfunksie is soos volg:

$$\eta = c \cdot Z^e \quad - 5.4$$

waar: c en e konstantes is vir die onderskeie kurwes.

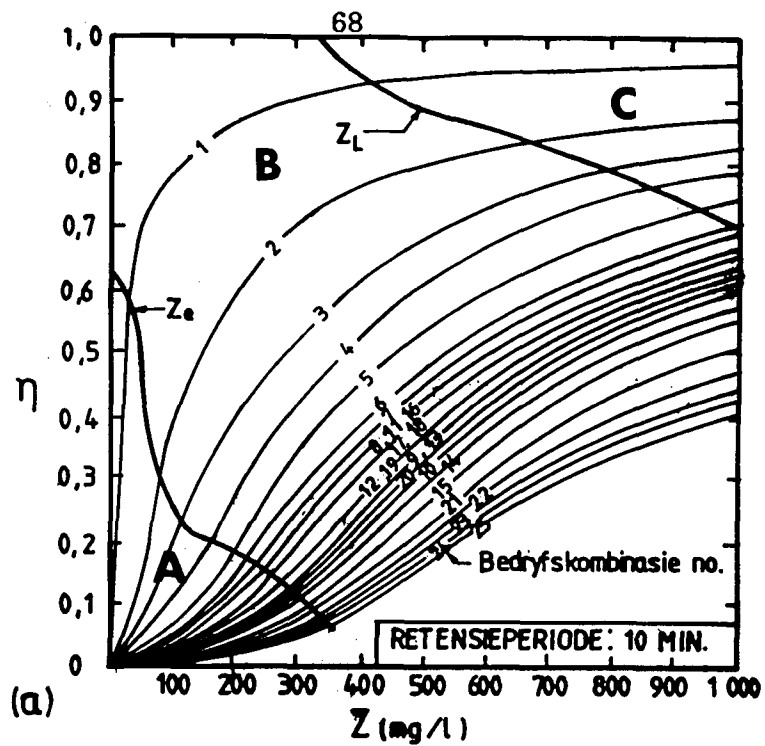
Die konstantes c en e word in Figuur 5.7 met mekaar in verband gebring. Ten einde c en e te kan bereken, moet ten minste twee punte op die magsfunksiekurwe bekend wees. Die eenvoudigste twee punte is die aanvang- en eindpunte van die kurwe. Die eindpunt word verteenwoordig deur nulwaardes vir beide Z en η , maar aangesien Vergelyking 5.4 nie funksioneer met nulwaardes nie, word die eindpunt-waardes as uiters klein gekies, byvoorbeeld $Z = \eta = 10^{-6}$

Dus: Beginpunt van magsfunksie: $Z = Z_e$; $\eta = \eta_e$
 Eindpunt van magsfunksie: $Z = 10^{-6}$; $\eta = 10^{-6}$

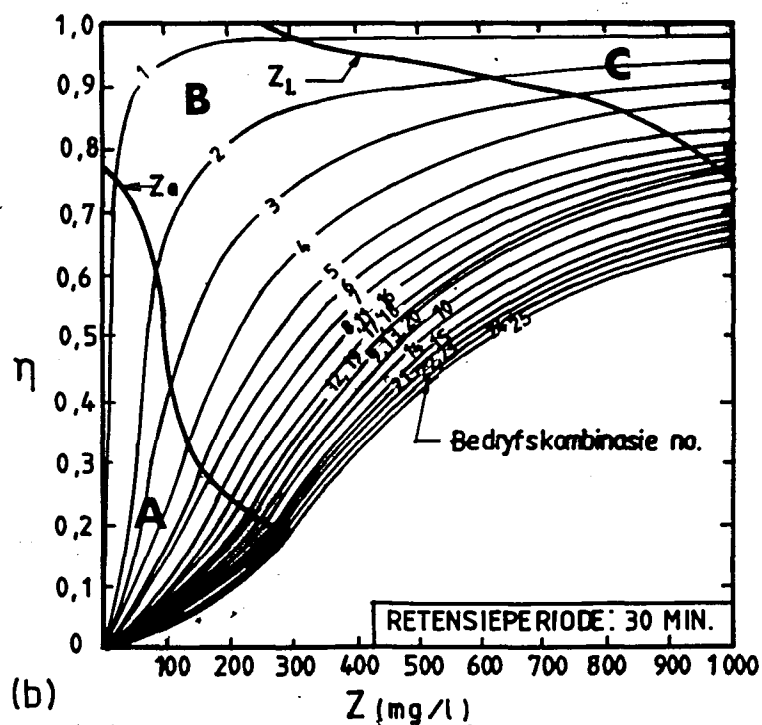
Hierdie waardes word vervolgens in Vergelyking 5.4 ingestel.

$$e = \frac{\log \eta_e + 6}{\log Z_e + 6} \quad - 5.5$$

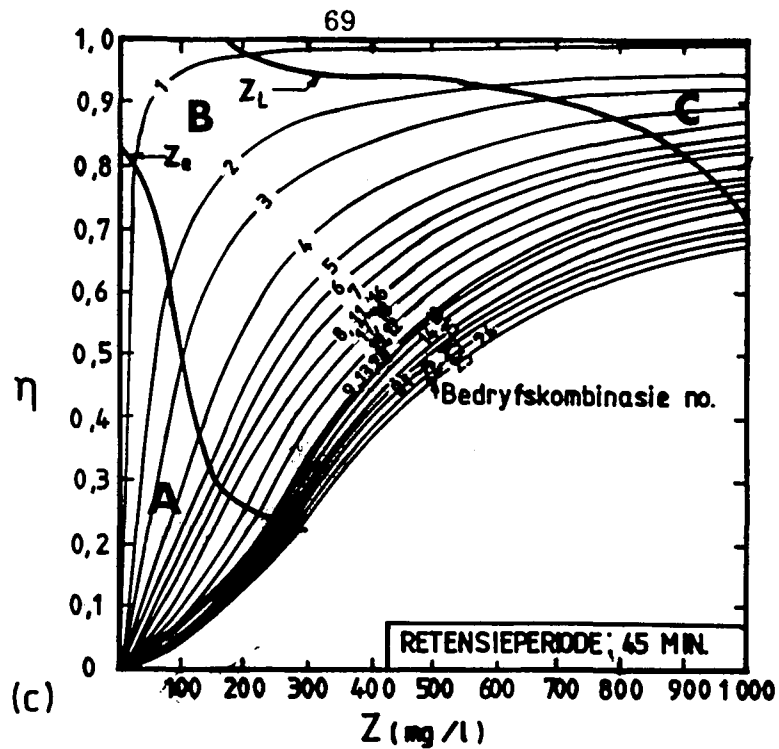
$$\text{en } c = \frac{\eta_e}{Z_e} \quad - 5.6$$



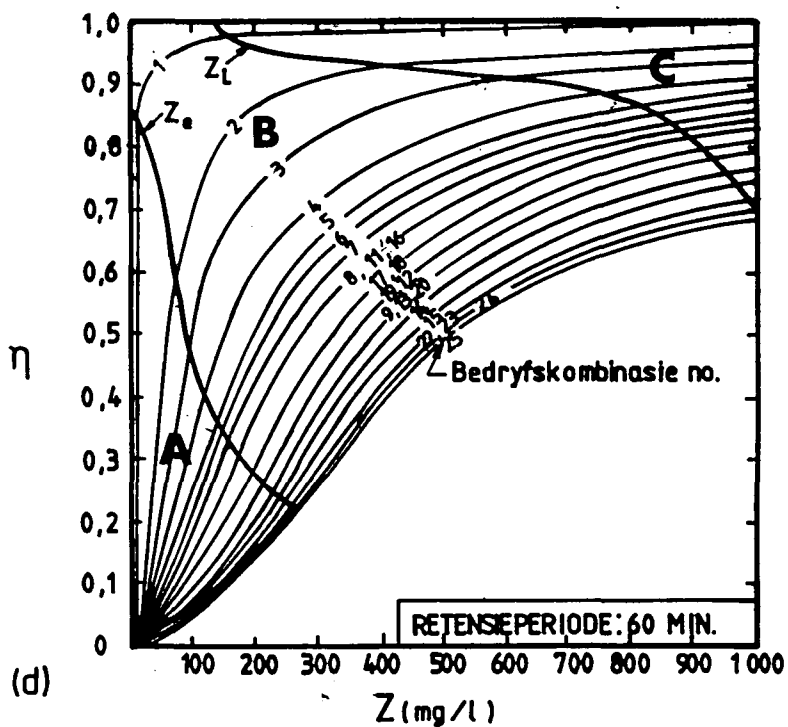
NOTA: A: Magfunksiesone
 B: Logfunksiesone
 C: Linieërefunksiesone



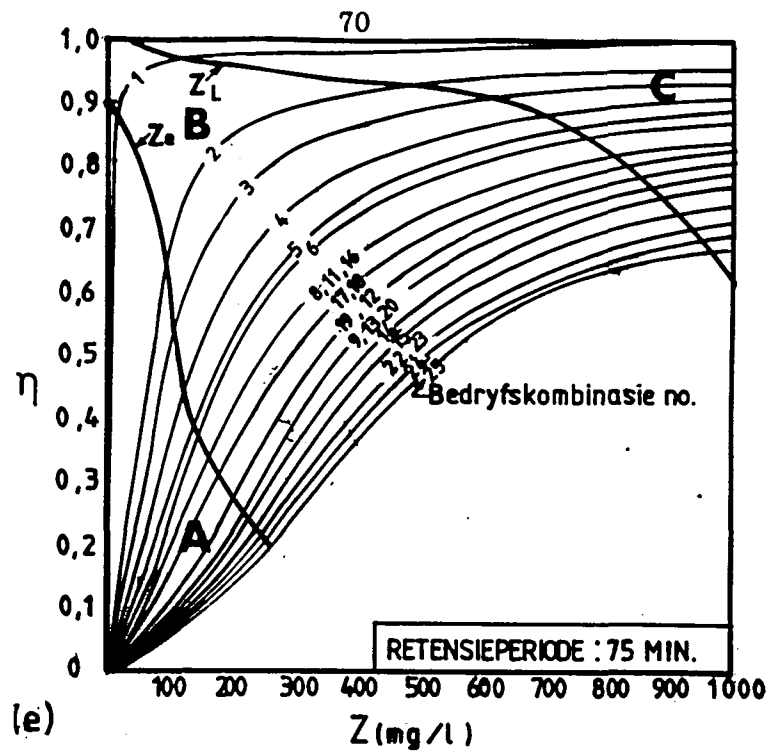
Figuur 5.5: Afname in doeltreffendheid, η , van die flottasiesel ten opsigte van die ooreenstemmende afname in die skuimkonsentrasie, Z , teen retensieperiodes van (a) 10 minute, (b) 30 minute.



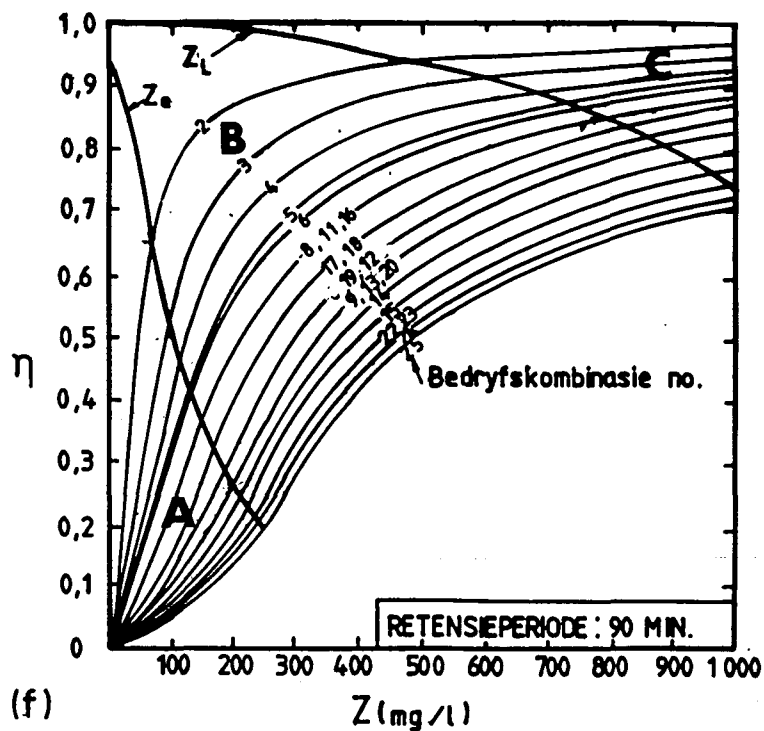
NOTA: A: Magfunksiesone
 B: Logfunksiesone
 C: Linieërefunksiesone



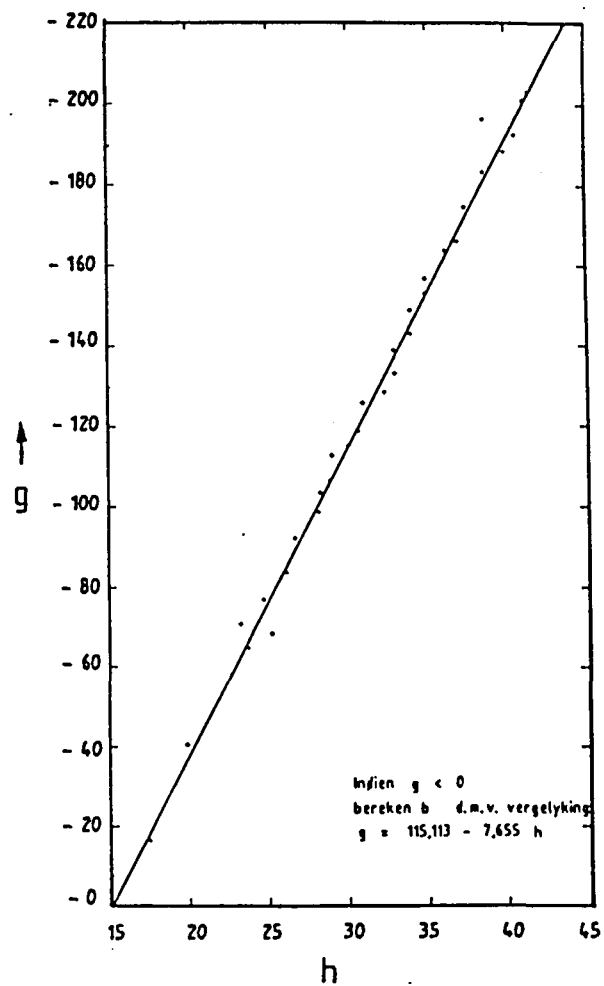
Figuur 5.5: Afname in doeltreffendheid, η , van die flottasiesel ten opsigte van die ooreenstemmende afname in die skuimkonsentrasie, Z , teen retensieperiodes van (c) 45 minute; (d) 60 minute.



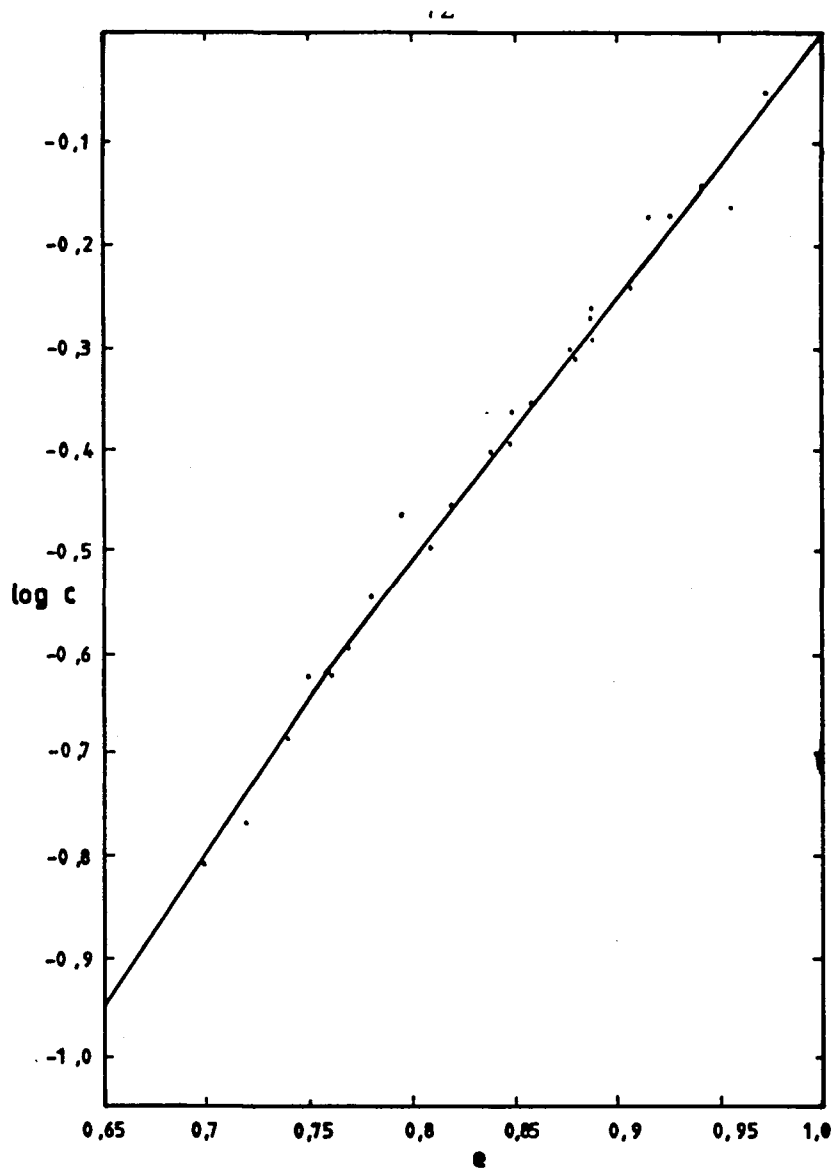
NOTA: A: Magfunksiesone
 B: Logfunksiesone
 C: Linieërefunksiesone



Figuur 5.5: Afname in doeltreffendheid, η , van die flottasiesel ten opsigte van die ooreenstemmende afname in die skuimkonsentrasie, Z , teen retensieperiodes van (e) 75 minute, en (f) 90 minute.



Figuur 5.6: Konstante g versus konstante h .



Figuur 5.7: Konstante c versus konstante e.

e) Ontwikkeling van 'n wiskundige model

'n Wiskundige model word vervolgens ontwikkel wat die meganisme waarvolgens skuimbakteriëe flotter, volledig inkorporeer, sodat die tempo en wyse waarteen skuimfraksionering by enige kombinasie bedryfsparameters plaasvind, daarmee beskryf kan word. Die model word eers op 'n lotprosesstelsel ontwikkel, maar word daarna uitgebrei om vir 'n kontinue-voer stelsel te geld.

In Hoofstuk 3 is die meganisme van 'n drie-fase skuim kortliks bespreek. Verskeie navorsers, waaronder Currin et al,⁷ French en Wilson,¹⁶ Kiefer et al,²⁸ en Clarke et al,⁶ het wiskundige modelle ontwikkel waarvolgens die drie kragte wat inwerk om

lugborrel-partikelkoppeling of skeiding te bewerkstellig, naamlik die bind-, sleur- en opdryfkragte, onder alle vloeitoestande beraam kan word. Hierdie modelle, wat in 'n groot mate ooreenkom, is gebaseer op die aanname dat lugborrels en vlokpartikels sferies is.

Hierdie modelle toon sekere tekortkominge wat dit in die huidige vorm ontoepaslik maak om die flottasietempo van die skuimbakterieë daarmee te voorspel. Eerstens is skuimbakterieë draadvormig in voorkoms, met die gevolg dat dit nie in die modelle inpas nie. Die skuimbakterieë het verder 'n voordeel bo die modelpartikels deurdat dit oor 'n benattingsmiddel beskik wat die kleefvermoë daarvan aan 'n lugborrel verbeter. Dit was dus nodig om terug te keer na die basiese beginsels waarop bogenoemde wiskundige modelle gebou is en 'n alternatiewe model te ontwikkel wat uitsluitlik van toepassing is op die flottasievermoë van die betrokke skuimbakterieë. Die benadering wat gevolg word, verskil soos volg van dié van vorige navorsers: Met vorige werk is gekonsentreer op die meganisme rondom lugborrel-partikelkoppeling, in hierdie geval is die tempo en doeltreffendheid van flottasie wat met verskillende bedryfskombinasies ondervind word, eksperimenteel reeds bevind en moet die toepaslike bedryfsparameters slegs in 'n sinvolle funksie saamgevat word, sodat die ontwerpingenieur die flottasietempo by enige bedryfskombinasie kan bereken.

Die volgende aannames wat in die model van Currin et al' voorkom, word aangeneem:

- a) Die lugborrels word as sferies beskou.
- b) Die lugborrelgrootte ($\phi < 6,5 \text{ mm}$) is sodanig dat die Reynoldsgetal kleiner as 1 is, wat beteken dat die lugborrels in 'n kruipvloeitoestand verkeer.

'n Nuwe parameter, die sogenaamde bedryfsfaktor F_b , wat verskillende bedryfskombinasies in 'n funksie saamvat, is vervolgens ontwikkel. 'n Hipotese wat deur die skrywer gehuldig is, is as uitgang gekies, naamlik: die tempo waarteen skuimbakterieë uit 'n suspensie (volume V_F) geflotteer word, is afhanklik van die totale kontak-area van die lugborrels wat per tydeenheid, t , in die suspensie vrygestel word en die diepte, H , wat die lugborrels deur die suspensie beweeg. Aangesien die

grootste gedeelte van die ondersoek op 'n flottasiesel van een meter diepte uitgevoer is, word die bedryfskombinasies aanvanklik net by een meter konstante kontak-diepte ondersoek, maar sal later aangepas word om groter dieptes ook in te sluit.

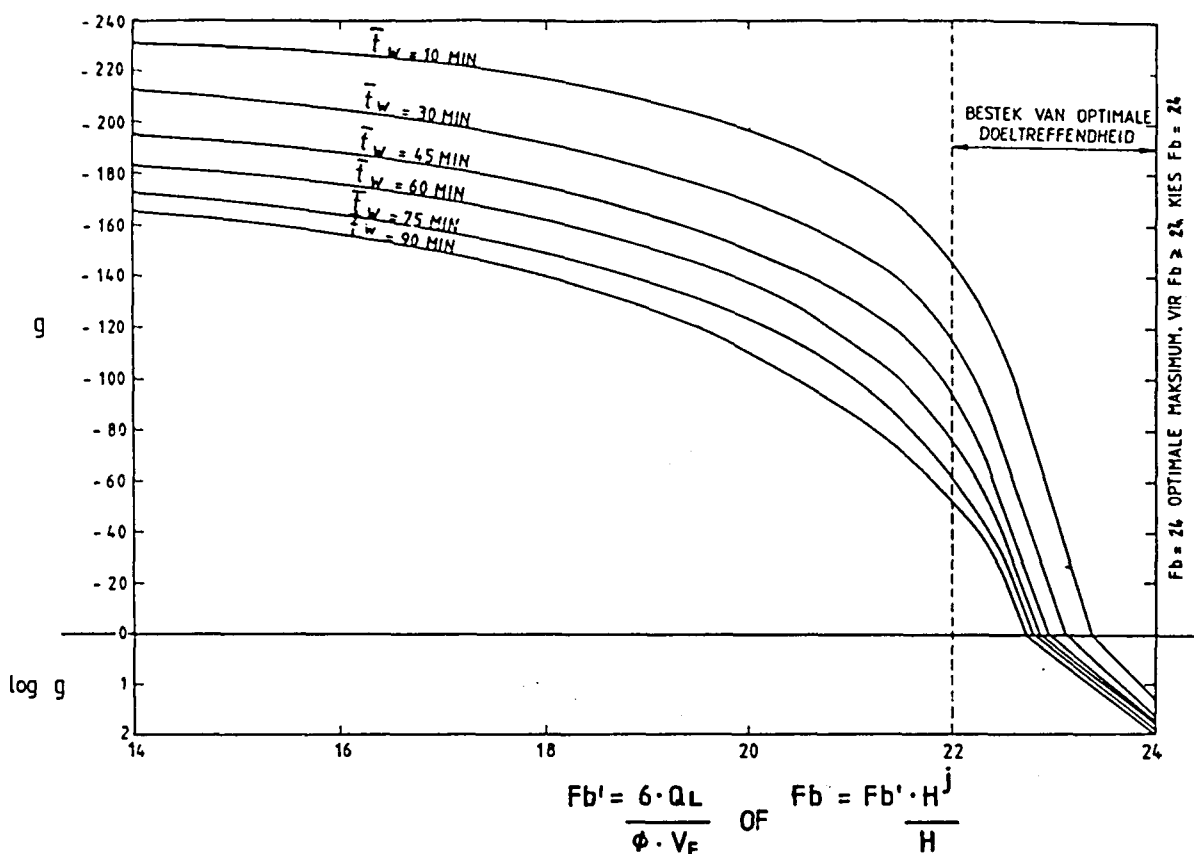
Die bedryfsfaktor by een meter diepte word voortaan gesimboliseer deur F_b^1 . Die hipotese word in die volgende funksie saamgevat.

$$\begin{aligned}
 F_b^1 &= \frac{\text{totale lugborrelarea}}{V_F \cdot t} \\
 &= \frac{\text{Aantal lugborrels} \cdot \text{area per lugborrel}}{t} \cdot \frac{1}{V_F} \\
 &= \frac{Q_L}{\text{Volume per lugborrel}} \cdot \text{area per lugborrel} \cdot \frac{1}{V_F} \\
 F_b^1 &= \frac{Q_L}{V_F} \times \frac{\pi \cdot 6 \cdot \phi^2}{\pi \cdot \phi^3} \\
 &= \frac{6}{\phi} \cdot \frac{Q_L}{V_F}
 \end{aligned}$$

- 5.7

Daar is vervolgens gepoog om hierdie wiskundige funksie in verband te bring met die wiskundige vergelykings wat die afname in flottasiedoeltreffendheid teenoor verminderende skuimkonsentrasie beskryf. Die onderskeie bedryfskombinasies waarop die kurwes in Figuur 5.5 gebaseer is, is in Vergelyking 5.7 ingestel om sodoende 'n bedryfsfaktor by een meter diepte vir elke kurwe te bereken. Aangesien die logaritmiese funksie die beginpunt van die kurwe aandui by 'n gegewe aanvangskuimkonsentrasie (Vergelykings 5.1 of 5.3), is F_b^1 by verskillende retensieperiodes in verband gebring met die konstante, g , van die ooreenstemmende logaritmiese funksie, soos in Figuur 5.9 geïllustreer word.

Die bedryfsfaktor is uitgebrei om die vorm van die flottasiesel in ag te neem, soos gedefinieer word deur die diepte waarteen die lugborrels in kontak met die suspensie verkeer. Aangesien die bedryfskombinasies volledig op een meter seldiepte beproef is, word dit die verwysingsdiepte waarteen alle aangewende dieptes vergelyk word.



Figuur 5.8: Bepaling van die konstante g t.o.v. kombinasies bedryfsparameters.

Die diepte-parameters is soos volg in die bedryfsfaktor geïnkorporeer:-

Deur gebruik te maak van die logaritmiese konstante g , vir verskillende bedryfskombinasies teenoor varieërende seldieptes H (kombinasies 16 tot 25), soos in die aanhangsel in Tabel B.2 uiteengesit, is die bedryfsfaktore by enige diepte, F_b , vanuit Figuur 5.8 afgelees teenoor die toepaslike retensieperiodes en vergelyk met die bedryfsfaktore vir die ooreenstemmende bedryfskombinasies maar by een meter diepte, F_b^1 . Hierdie data word in die aanhangsel in Tabel B.3 uiteengesit.

Dit is bevind dat die doeltreffendheid van die flottasiemeganisme afneem by dieptes groter as een meter. Die afname word toegeskryf aan die swel en samesmelting van die lugborrels en gevolglike vermindering in die kontak-area met die slykmengsel.⁴⁹

Die verhouding F_b/F_b^1 by verskillende dieptes H , soos vanuit Tabel B.3

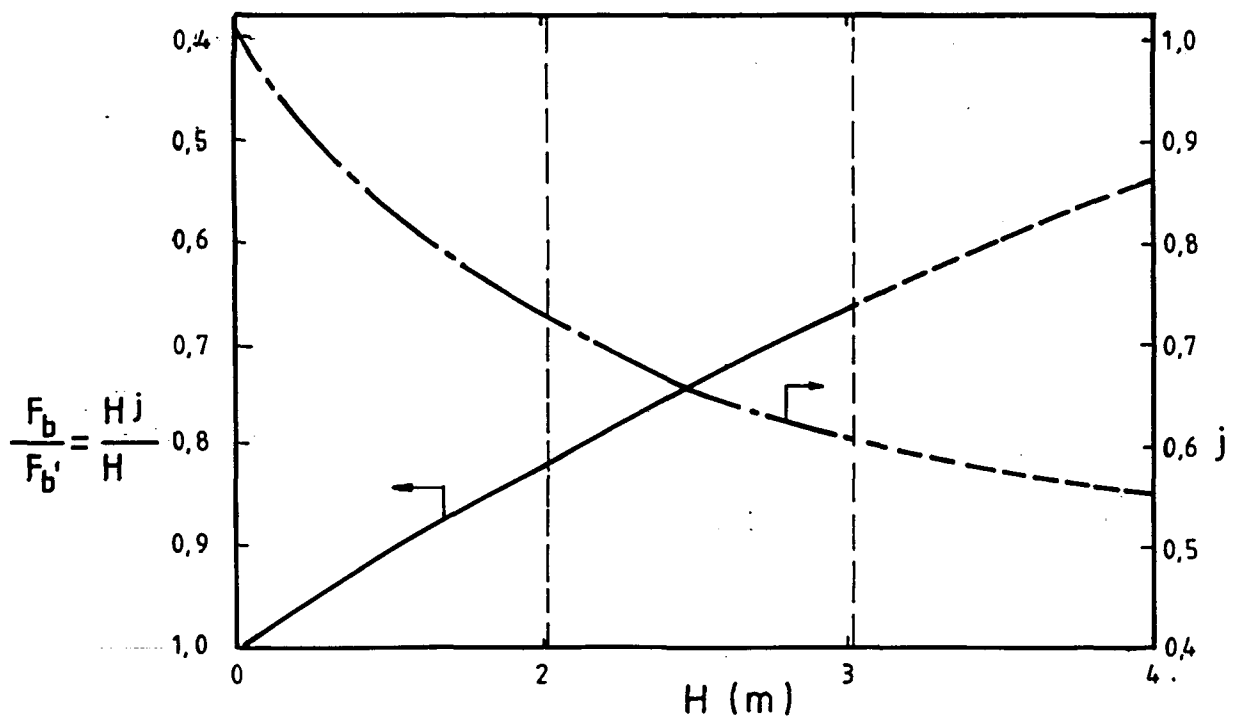
afgelei, word grafies in Figuur 5.9 aangetoon. Die koördinate van die kurwe (Tabel B.3) is in die vergelykingpassingsprogram ingelees waarop gevind is dat dit 'n magsfunksie baie akkuraat beskryf, met 'n R_2 -faktor van 0,995.

Dit volg dus uit die vergelykingpassing dat:

$$\begin{aligned} \frac{F_b}{F_b^1} &= \beta H^\alpha && \text{met } \beta = 1 \text{ (konstant)} \\ &= \frac{H^{\alpha+1}}{H} \\ &= \frac{H^j}{H} \end{aligned}$$

waar: $j = \alpha + 1$ die dieptefaktor is wat die afname in doeltreffendheid van die flottasiemeganisme by toenemende diepte beskryf.

Die diepte faktor, j , word vervolgens teenoor die diepte, H , in Figuur 5.9 beskryf.



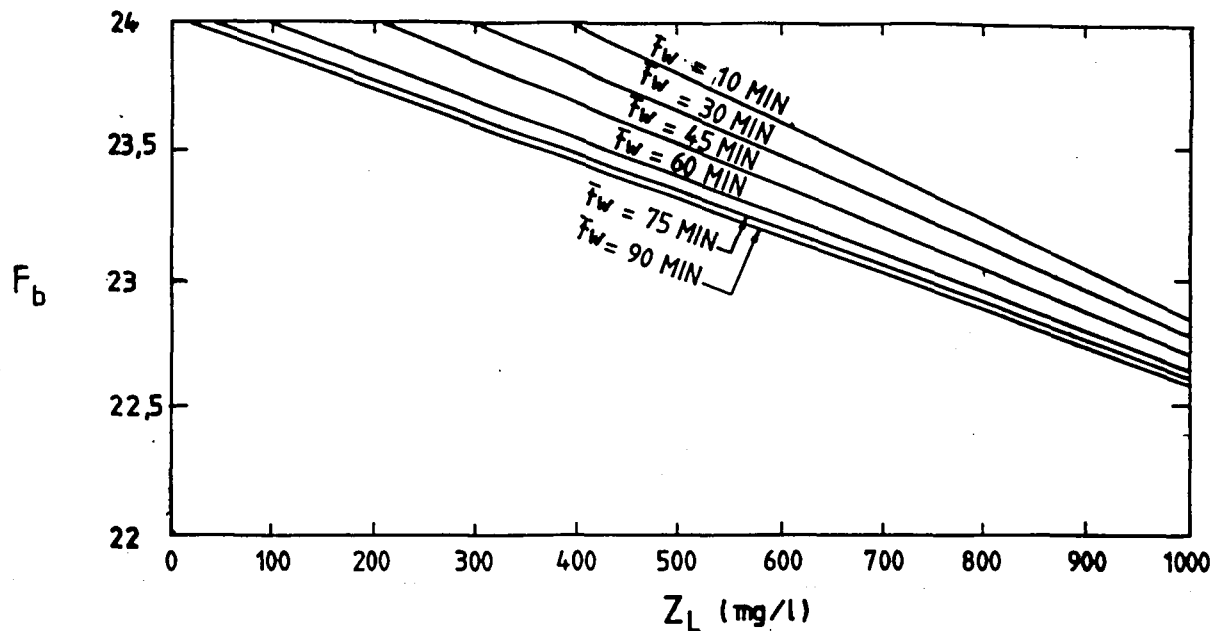
Figuur 5.9: Bepaling van die dieptefaktor, j .

$$\begin{aligned} \text{Verder: } F_b &= F_b^1 \cdot \frac{H^j}{H} \\ &= \frac{6 \cdot Q_L}{\phi \cdot A_f \cdot 1} \cdot \frac{H^j}{H} \\ &= \frac{6Q_L}{\phi V_f} \cdot H^j \end{aligned}$$

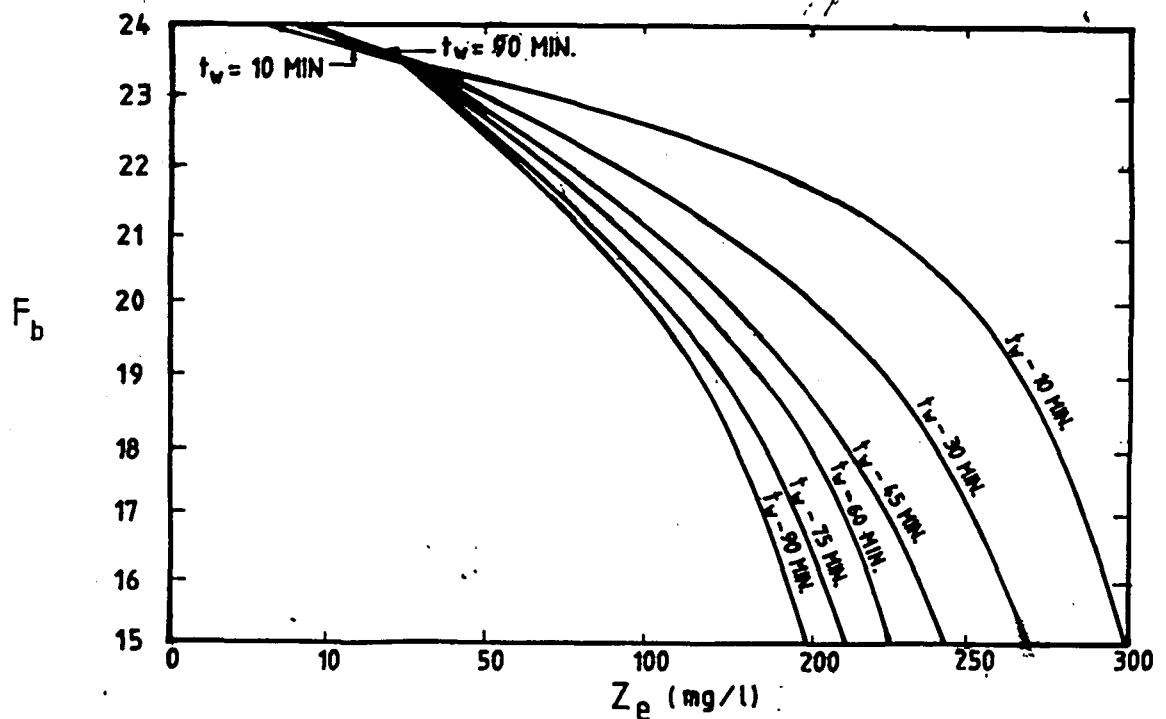
- 5.8

waar:- A_f , die oppervlakte-area van die flottasiesel is.

Noudat die bedryfsfaktor by enige diepte bekend is, is dit moontlik om die Z_L en Z_e -waardes van die onderskeie kurwes in Figuur 5.5, te bepaal vir enige bedryfskombinasie.



Figuur 5.10: Bepaling van skuimkonsentrasie, Z_L , by aanvang van logaritmiëse-funksie, vir enige F_b -waarde.

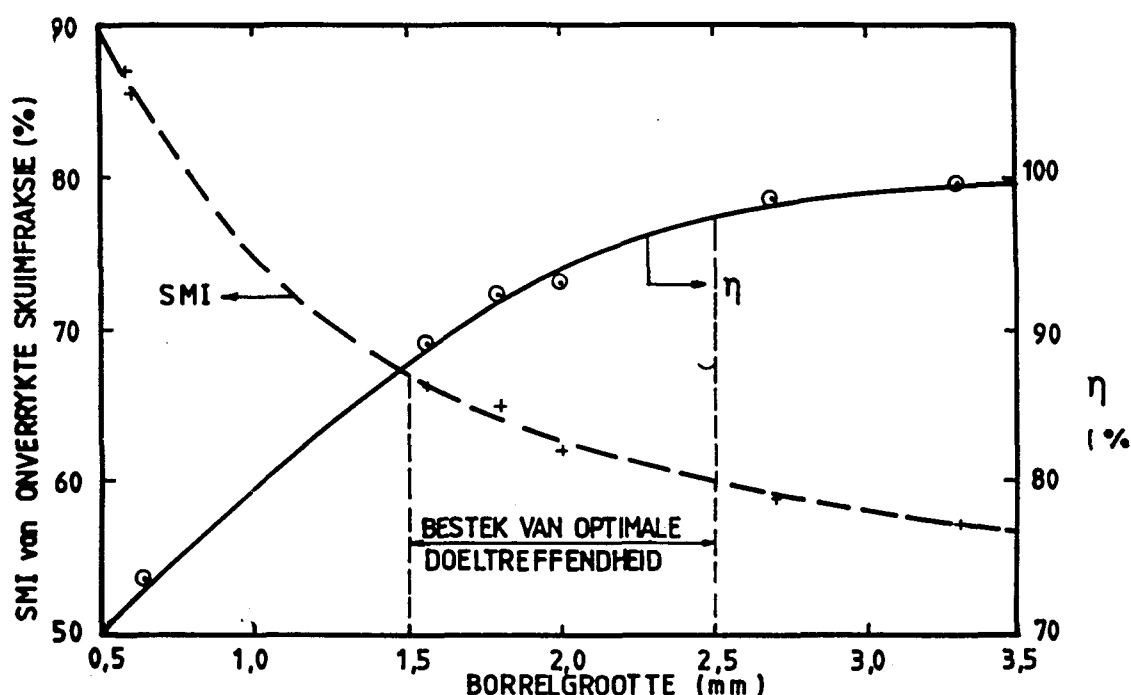


Figuur 5.11: Bepaling van skuimkonsentrasie, Z_e , by aanvang van magsfunksie, vir enige F_b -waarde.

Die Z_L en Z_e -waardes word vanuit Figure 5.10 en 5.11 onderskeidelik afgelees.

f) Optimisering van die lugborrelgrootte

Die verbetering in die skuimindeks van die aanvanklik herwonne onverrykte skuimfraksie met toenemende borrelgrootte, asook die ooreenkomstige afname in die doeltreffendheid, van die flottasistelsel, voortaan uitgedruk as η , word in Figuur 5.12 aangetoon, terwyl die eksperimentele roudata in Aanhangsel B - Tabel B.4 weer gegee word.



Figuur 5.12: Optimisering van die borrelgrootte.

Kwantitatiewe doeltreffendheid word nou gedefinieer as die vermoë van die stelsel om 'n groot massa slykorganismes oor 'n kort tydbestek te flotter, terwyl kwalitatiewe doeltreffendheid die vermoë van die stelsel beskryf om skuimbakterië selektief te flotter, met ander woorde, om 'n minimum ander organismes gelyktydig te fraksioneer.

Volgens hierdie definisie neem die kwantitatiewe doeltreffendheid by konstante bedryfsparameters af met 'n toename in

lugborrelgrootte, terwyl die kwalitatiewe doeltreffendheid van die meganisme terselfdertyd toeneem.

5.4.5 Gevolgtrekking

'n Wiskundige model is ontwikkel waarmee die tempo, tydsduur en wyse waarteen skuimbakterieë deur middel van 'n skuimbeheermeganisme uit 'n lotproses gefraksioneer word, akkuraat bereken kan word. Die model het in sy huidige vorm beperkte toepassingsmoontlikhede, maar sal in Afdeling 5.5 uitgebrei word om vir 'n kontinue voerstelsel te geld.

Vir die toepassing van die model moet die volgende bedryfsparameters bekend wees:

- a) Die borrelgrootte wat van die vervaardiger van die borrelbelugtingstelsel verkry kan word. Die doeltreffendste kwantitatiewe flottasie is gelewer deur die kleinste borrels (0,5 mm), en dit by die lae lugvloei van slegs $2 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ reaktor.h}^{-1}$ terwyl 'n stadiger, maar nogtans bevredigende fraksioneringstempo gehandhaaf is met 5 mm borrels maar dan alleenlik terwyl belugting teen 'n koste-ondoeltreffende tempo van $18 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ reaktor.h}^{-1}$ aangewend is. Die borrelgrootte wat 'n optimale balans bied tussen kwalitatiewe en kwantitatiewe flottasie, kom voor in die bestek van 1,5 tot 2,5 mm. 'n Borrelgrootte van ongeveer 2 mm, wat gemiddeld is by fynborrelbelugting,⁴⁹ is dus 'n goeie keuse vir doeltreffende selektiewe flottasie.
- b) Die lugvloei tempo, wat gespesifiseer word, of van die vervaardiger van die belugtingstoerusting verkry kan word. Toetse het aangetoon dat die lugvloei per belugtingskyf ("aeration dome") in die bestek van 0,9 tot 2,7 m^3/uur moet wees vir doeltreffende bedryf.⁴⁹

Soos vanuit die definisie van die bedryfsfaktor volg, het 'n hoër lugvloei groter flottasietempo's tot gevolg, maar 'n optimale koste-doeltreffende tempo kan alleenlik vasgestel word indien die borrelgrootte reeds bekend is. Die beperkende faktor is die groter koste verbonde aan toerusting en pypwerk om 'n hoër lugvloei tempo te lewer.

- c) Die konfigurasie van die flottasiesel, soos deur die diepte daarvan gedefinieer word. Hoewel 'n groter diepte 'n langer borrelkontaktyd bied, neem die doeltreffendheid van die flottasiesel af met groter dieptes. Aan die ander kant is 'n diep sel meer koste-effektief aangesien die lugborrels langer benut word; die belugting per kubieke meter slykmengsel is dus laer.

Die afname in doeltreffendheid per diepte word beskryf deur die j -waarde. Die j -waarde wat uit Figuur 5.9 verkry word, is gebaseer op laboratoriumbelugtingstoerusting, maar kan vir ontwerpdoeleindes as konserwatief beskou word. Indien 'n vervaardiger van belugtingstoerusting aan die ontwerper die versekering kan gee dat sy toerusting van so 'n aard is dat 'n lae aanvangsnelheid aan die lugborrels toegevoeg word, met gevolglike minder borrelsamesmelting, kan hoër waardes aan j toegeken word.

Faktore wat 'n groot diepte beperk, is praktiese oorwegings, soos byvoorbeeld rotsagtige materiaal waarin gegrawe moet word en gebrek aan drukhoogte.

- d) Die retensieperiode. Langer retensies in die flottasiesel lewer vollediger fraksionering, aangesien die skuindraende slykmengsel dan vir 'n langer periode aan die lugborrels blootgestel word.

5.5 UITBREIDING VAN DIE WISKUNDIGE MODEL NA KONTINUEVOER-GEAKTIVEERDE-SLYKSTELSELS

Die wiskundige model wat in die vorige afdeling ontwikkel is, word nou uitgebrei om die wyse en tempo te beskryf waarvolgens skuimbakterië deur middel van 'n flottasiemeganisme uit 'n kontinuevoer, volledigvermengde geaktiveerde-slykstelsel gefraksioneer word. Dit word soos volg gedoen:

Hoewel 'n nominale hidrouliese retensieperiode, $\bar{t}$, in 'n flottasiesel ondervind mag word by gemiddelde vloei, sal die werklike retensie in die sel tydens elke siklus, heelwat korter wees as gevolg van slykfersirkulasie. Die werklike retensie $\bar{t}_w$ per siklus is dus:-

$$\bar{t}_w = \frac{\bar{t}}{R+1}$$

- 5.9

waar:- R die verhouding is van slyktersirkulasie tot gemiddelde vloeitempo (R:1)

Indien :- MF_s die massa van die skuimbakterieë in die stelsel is by die aanvang van die siklus,

en :- $\bar{t}^1$ die nominale hidrouliese retensie in die hele stelsel is by gemiddelde vloei,

dan volg dat:- $\frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} \cdot MF_s$ die massa van die skuim in die flottasiesel is by die aanvang van die siklus.

Indien :- η soos voorheen die doeltreffendheid van die flottasiemeganisme is wat varieer met die skuimkonsentrasie in die sel,

dan volg dat:- $\frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} \cdot MF_s$ die massa skuim is wat uit die stelsel gefraksioneer word tydens 'n siklus.

Indien :- μ_{maks} die maksimum spesifieke groeitempo is van die skuimbakterieë in die stelsel.

dan volg dat:- $\mu_{maks} \cdot MF_s \cdot \bar{t}_w$ die massatoename as gevolg van groei van die skuimbakterieë in die stelsel is gedurende 'n siklus.

Die massa skuim wat in die stelsel verkeer na elke fraksioneringssiklus, MF^1 , word uitgedruk deur die vergelyking:-

$$MF^1 = MF_s - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} \cdot MF_s + \mu_{maks} \cdot MF_s \cdot \bar{t}_w$$

$$= MF_s (1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} + \bar{t}_w) \quad - 5.10$$

By die tydstop, t , na aanvang van die flottasieproses, is $t/\bar{t}_w$ siklusse voltooi. Die massa skuim wat op daardie tydstop in die stelsel verkeer, is:-

$$MF = MF_0 \left(1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} \cdot \bar{t}_w \right)^{t/\bar{t}} \quad - 5.11$$

waar :- MF_0 die aanvanklike massa skuim in die stelsel is.

Dit volg dat die skuimindeks, I , in die stelsel by 'n tydstip, t , uitgedruk kan word deur die volgende vergelyking:-

$$I = I_0 \left(1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} \cdot \bar{t}_w \right)^{t/\bar{t}} \quad - 5.12$$

Op dieselfde wyse volg dat die skuimkonsentrasie, Z , in die stelsel by 'n tydstip, t , uitgedruk word:-

$$Z = Z_0 \left(1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} \cdot \bar{t}_w \right)^{t/\bar{t}} \quad - 5.13$$

Deur vergelyking 5.12 te differensieer, volg dit dat die tempo waarteen skuimbakterië uit 'n kontinue-voer geaktiveerdeslykstelsel geflotteer word, die volgende is:-

$$dI = -I_0 \cdot \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} \left(1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} \cdot \bar{t}_w \right)^{t/\bar{t} - 1} \quad - 5.14$$

Die verwagte tydsduur, t_m , wat benodig word om die biologiese skuim in 'n kontinue-voerstelsel te verlaag na 'n "onbeduidende" lae vlak van $I \leq 1,0$ %, word beskryf deur :-

$$1,0 \geq I_0 \left(1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} \cdot \bar{t}_w \right)^{t/\bar{t}} \quad - 5.15$$

$$\text{of} \quad 0,01.SSSM \geq Z_0 \left(1 - \eta \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{t}^1} + \mu_{maks} \cdot \bar{t}_w \right)^{t/\bar{t}} \quad - 5.16$$

Hierdie wiskundige model stel prosesontwerpers in staat om die optimale groottes van 'n flottasiesel en gepaardgaande belugtingsmeganisme te kies waarvolgens die skuimbakterië op 'n doeltreffende wyse positief uit 'n geaktiveerdeslykstelsel geselekteer en verwyder kan word.

Die ontwerpprocedure vir 'n flottasiesel, sowel as die ontwikkeling van 'n rekenaarprogram om die toepassing van Vergelyking 5.16 te vergemaklik, met 'n gepaardgaande voorbeeld word in Aanhangsel B uiteengesit, terwyl praktiese oorwegings by die ontwerp van 'n flottasiesel in Aanhangsel C bespreek word.

Soos uit Figuur 5.8 blyk en deur die voorbeeld in Aanhangsel B gestaaf word, word 'n F_b -waarde van tussen 22 en 24 as optimaal beskou uit die oogpunt van beide funksionele- en kostedoeltreffendheid. Vir waardes groter as 24 neem die flottasietempo nie sigbaar toe nie, wat beteken dat die stelsel koste-on-doeltreffend word.

Indien 'n huidige belugtingstelsel reeds oor 'n F_b -waarde van hoër as 24 beskik, moet vir ontwerpdoeleindes 'n waarde van 24 aan die flottasiemeganisme toegeken word.

HOOFSTUK 6'N LOODSSKAALONDERSOEK NA DIE BEHEER VAN
BIOLOGIESE SKUIM6.1 AGTERGROND

In Hoofstuk 5 is ontwerp kriteria vir 'n flottasiesel ontwikkel, asook 'n wiskundige model om die tempo en wyse te beskryf waarop biologiese skuimorganismes uit 'n kontinue-voer geaktiveerdeslykstelsel met so 'n flottasieme-ganisme gefraksioneer word.

Hierdie beginsel is vervolgens op loodsskaal beproef.

6.2 LOODSSKAALONDERSOEK BY DIE DASPOORT-AANLEG6.2.1 Doel van die ondersoek

Die doel van die ondersoek was om:

- a) Die doeltreffendheid van fynborrel-flottasie op loodsskaal te beproef as 'n metode om skuimvormende organismes uit 'n geaktiveerdeslykmengsel te selekteer;
- b) 'n Metode te beproef waarvolgens die selektief-geflotteerde organismes uit die stelsel verwyder kon word met 'n lae verlies aan ander slykorganismes;
- c) Vas te stel of die seleksie en verwydering van die filamentiese skuimbakterieë (in hierdie geval *Nocardia spp.*) uit die stelsel, 'n beduidende effek op die besinkeienskap en suiweringsvermoë van die oorblywende slyk het;
- d) Vas te stel of die wyse waarteen skuimbakterieë uit 'n stelsel flotteer, deur die wiskundige model beskryf word wat in Hoofstuk 5 ontwikkel is.

6.2.2 Beskrywing van die Loodsaanleg

Die loodsaanleg het bestaan uit twee parallelle stelsels, elk met oppervlakbelugting en 'n enkele koniese bodem besinktenk.

Reaktor A het die Daspoort-aanleg ('n volskaalse aanleg waar *Nocardia*-probleme voorkom) gesimuleer in sover dit proseskeuse en bedryfsparameters betref. Hierdie reaktor is aangewend as 'n kontrole-eenheid.

Reaktor B was identies aan Reaktor A, behalwe dat 'n addisionele kompartement na die oppervlaktebelugtingsone voorsien is waarin fynborrelflottasie uitgevoer kon word. Die twee reaktors word skematies in Figuur 6.1 en die werklike opstelling in Figuur 6.2 getoon.

'n Meer gedetailleerde beskrywing van die onderskeie komponente is soos volg:

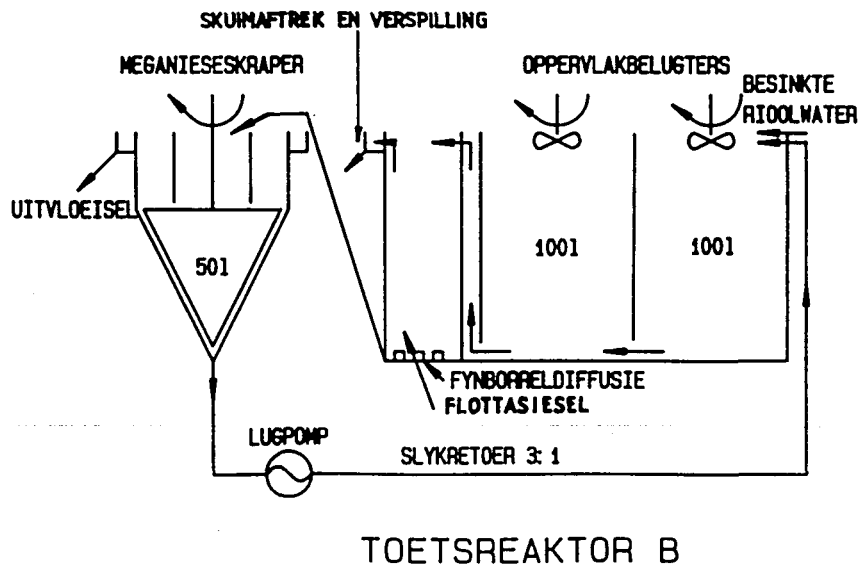
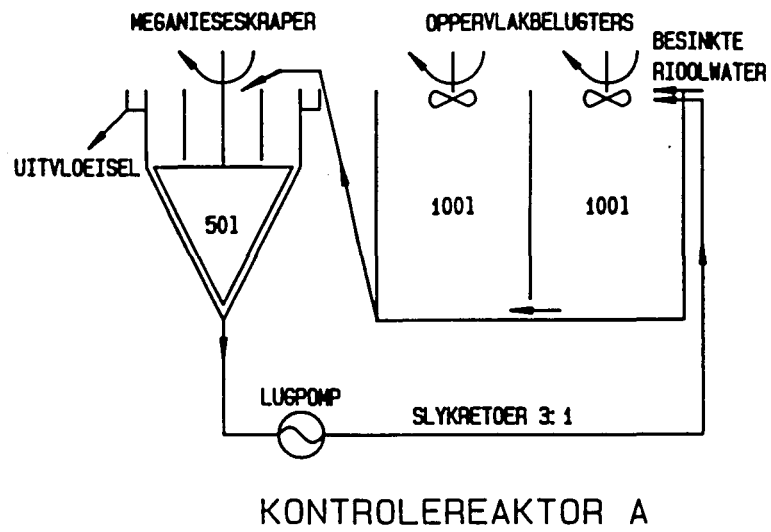
6.2.2.1 Belugtingsbak

Die belugtingsbak van elke reaktor bestaan uit twee gelyke kompartemente met 'n totale vloeistofkapasiteit van 200 l.

Belugting het deur middel van twee parallel geplaasde oppervlakbelugters per kompartement geskied. Die konfigurasie van die belugtingsbakke was sodanig dat die vloei van slykmengsel van een kompartement na 'n ander deur onderaftrekke kon geskied. Die enigste uitsondering was met Reaktor B waar 'n oppervlakverbinding tussen die tweede kompartement en die flottasiesel voorsien is.

6.2.2.2 Besinktenks

Elke reaktor het beskik oor een koniese besinktenk met 'n volume van 50 l waarin slykversameling kon plaasvind, aangehelp deur 'n elektriesaangedrewe roterende skrapermeganisme.



Figuur 6.1: Skematiese uitleg van loodsreaktors by Daspoort-aanleg.

Figuur 6.2: Opstelling van die twee loodsreaktors by die Daspoort-aanleg

6.2.2.3 Besinkterioolwatertoevoer

'n Konstante statiese hoogte reservoir is voorsien waarmee gelyke substraattoevoere onder gravitasie na die twee stelsels gelewer is.

6.2.2.4 Flottasiesel

Die flottasiesel (Reaktor B) het beskik oor 'n kapasiteit van 16,7 l, wat gelyk was aan een twaalfde van die belugtingsvolume. Die keuse van hierdie kapasiteit word in Afdeling 6.2.4.2 oor bedryfsaspekte gemotiveer. Die selafmetings was 145 mm wyd by 320 mm lank by 360 mm diep. Belugting is voorsien deur middel van twee verstelbare dubbelkanaallugpompies wat fynborreldiffusie kon lewer deur vier 300 mm lank staaftorreldiffusiepreiers (een borreldiffusiepreier per kanaal).

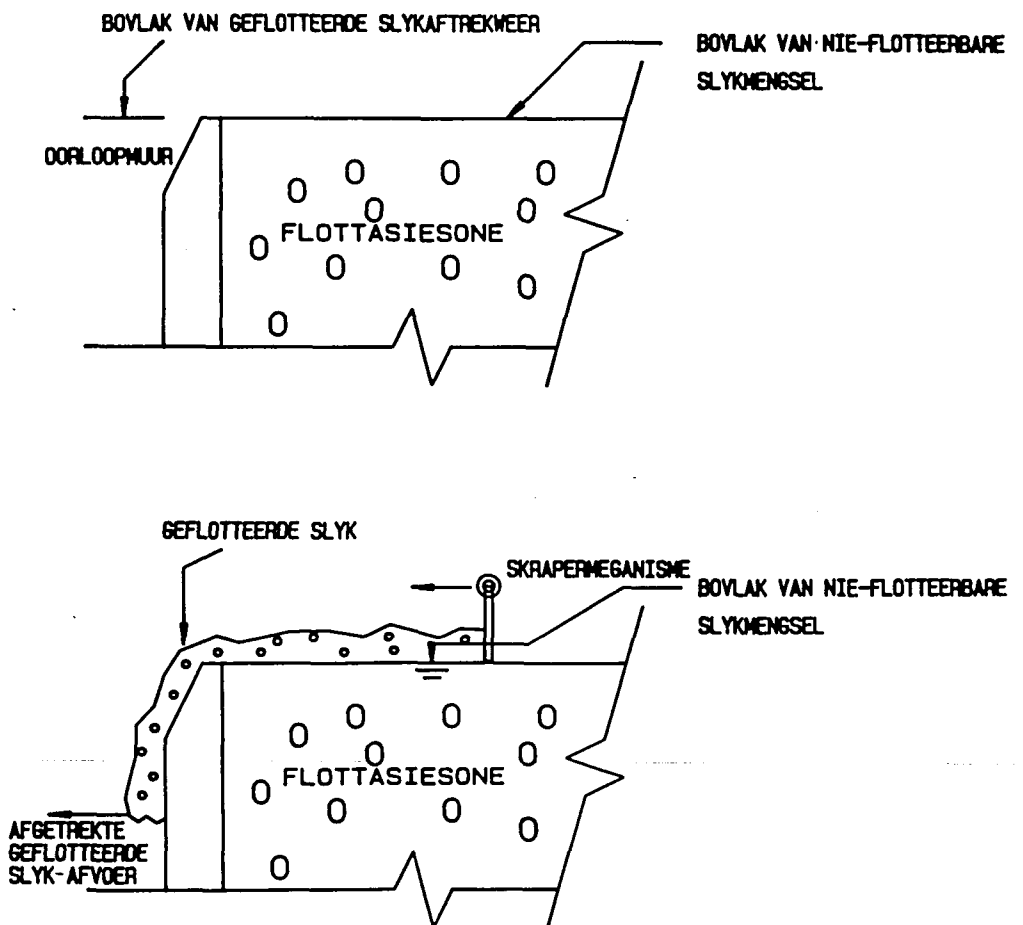
Ten einde die slykvlak in die sel te reguleer het uitvloei-sel van nie-flotteerbare slyk vanuit die flottasiesel na

die besinktenk, geskied langs 'n onderuitlaat wat aan 'n verstelbare oorloop verbind is.

Die geflotteerde slyk is langs 'n tweede oorloop afgetrek deur die vlak van die slykmengsel sodanig te verstel dat dit net-net nie oor die tweede oorloop kon vloei nie. Deurdat die geflotteerde slyk bo-op hierdie slykmengsel dryf en dus hoër is, kon dit met min moeite oor die oorloop aangehelp word. Figuur 6.3 illustreer hierdie beginsel.

6.2.2.5 Slyk hersirkulasie

Die hersirkulasie van besinkte slyk na die belugtingsbak is deur middel van 'n borreelpomp uitgevoer.



Figuur 6.3: Geflotteerdeslyk-aftrekmeganisme

- a) Bo: Geen flotteerbare slyk in slykmengsel
- b) Onder: Flotteerbare slyk in slykmengsel

Tabel 6.1: Bedryfskriteria van die loodsstelsel.

PARAMETERS	MEETEENHEID	REAKTOR A: KONTROLE EENHEID	REAKTOR B: KONTROLE EENHEID
<u>SUBSTRAAT</u>			
Toevoertempo	l/h	16,7	16,7
Gemiddelde CBS	mg/l	480	480
Gemiddelde KN *	mg/l	44	44
<u>SLYKMENGSEL</u>			
Slykouderdom	dae	20	20
Aftrek vir slyk- retensiekontrolle	l/dag	12,8	13,7
SMI (aanvanklik)	%	Varieer per ondersoek	Varieer per ondersoek
<u>SLYKRETOER</u>			
Retoertempo	l/h	50	50
Verhouding tot gemiddelde vloei	R:1	3:1	3:1
<u>HIDROULIESE RETENSIES</u>			
Belugtingsbak	uur	12	12
Besinktenk	uur	3	3
Flottasiesel: $\bar{t}$	uur	-	1
Totaal in stelsel: $\bar{t}_1$	uur	15	16
Werklike retensies in flottasiesel: $\bar{t}_w$	uur	-	0,25
<u>OPGELOSTE SUURSTOFKON- SENTRASIE IN BELUGTING- KOMPARTEMENTE</u>			
Kompartement 1	mg/l	1,1	1,1
Kompartement 2	mg/l	1,5	1,5
<u>FYNBORRELDIFFUSIETEMPO IN FLOTTASIESEL</u> (Volume lug/volume slyk/uur)	$m^3/m^3 \cdot h^{-1}$	-	24
Gemiddelde borrelgrootte	mm	-	2,5
Diepte van sel	m	-	0,360
Bedryfsfaktor F_b	-	-	57,6

* KN: Kjeldahl Stikstof.

6.2.3 Die bedryfskriteria van die loodsaanleg

Die bedryfskriteria van die loodsstelsel word in Tabel 6.1 uiteengesit.

Bespreking van enkele bedryfsaspekte

- a) Albei stelsels is ingeënt met skuimverrykte slykmengsels komende van die Daspoort-aanleg.
- b) Die kapasiteit van 16,7 l waaroor die flottasiesel beskik het, verteenwoordig 'n hidroulise retensieperiode van een uur by die aangewende toevoertempo. Volgens die ontwerpdata wat in Hoofstuk 5 uiteengesit word, is hierdie tydsduur genoegsaam om doeltreffende flottasie te verseker.

6.2.4 Metode

(i) Analises

Analises vir SSSM-, CSB-, KN- en nitraatbepalings is uitgevoer soos in "Standard Methods"⁴⁸ beskryf word, terwyl die SSVI volgens die metode van White⁵¹ uitgevoer is. Die skuimindeks is uitgevoer volgens die metode wat in Hoofstuk 4 beskryf word. Mikroskopiese waarnemings van die onderskeie slyke is periodiek gedoen.

(ii) Uitvoering van die ondersoek

Drie ondersoeke is uitgevoer; elk met varieerende aanvangskuimindekse en elk oor 'n periode van 48 uur. Slykmengselmonsters is daaglik om 10h00 en 17h00 uit albei stelsels geneem vir analisering.

Die volgende parameters is deurgaans gemonitor:-

- a) Die SSSM en SMI van die slykmengsels;
- b) Die SSVI van die slykmengsels;
- c) In- en uitvloeiselkwaliteite deur middel van CSB-, Kjeldahl-stikstof- en nitraatbepalings;

- d) Die ware skuiminhoud in die geflotteerde fraksies;
- e) Mikroskopiese ondersoeke van die slykmengsels en uitvloeisels.

Na afloop van die derde ondersoek is die stelsels vir 'n verdere periode van 24 dae normaal bedryf sonder om skuim by te voeg of enige bedryfsaanpassings te maak. Bogenoemde parameters, uitgesonderd (d), is elke vierde dag gemeet.

Figuur 6.4 toon die reaktors by die aanvang van 'n ondersoek met die biologiese skuim duidelik sigbaar op die oppervlakte van die belugtingsbakke.

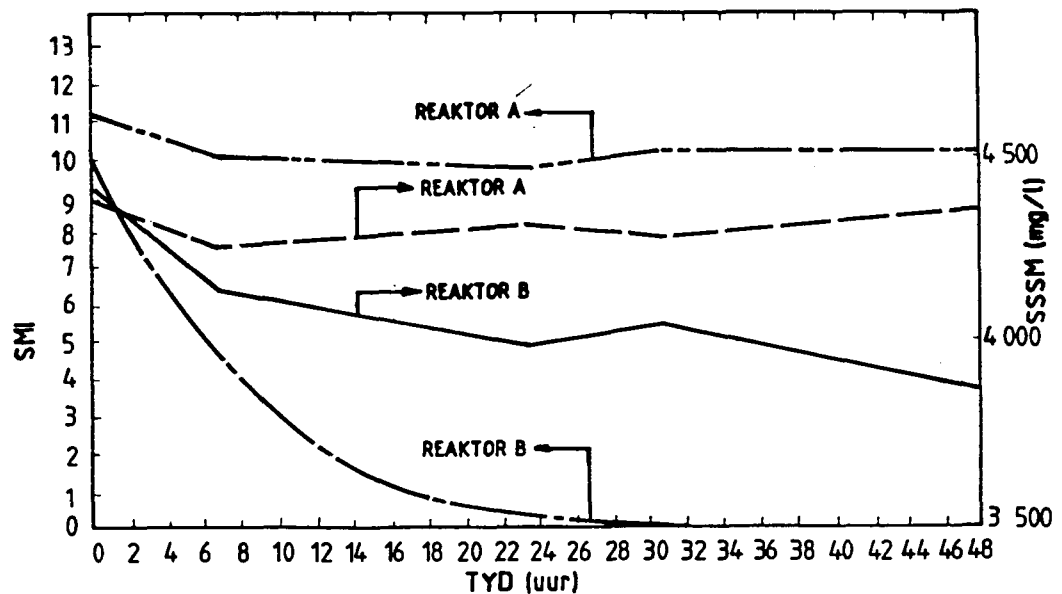
Figuur 6.4: Loodsreaktors A en B by aanvang van ondersoek.

Die teoretiese afname in die skuiminhoud in Toetsreaktor B is vir die drie ondersoeke bereken volgens die wiskundige model en vergelyk met die gemete afname.

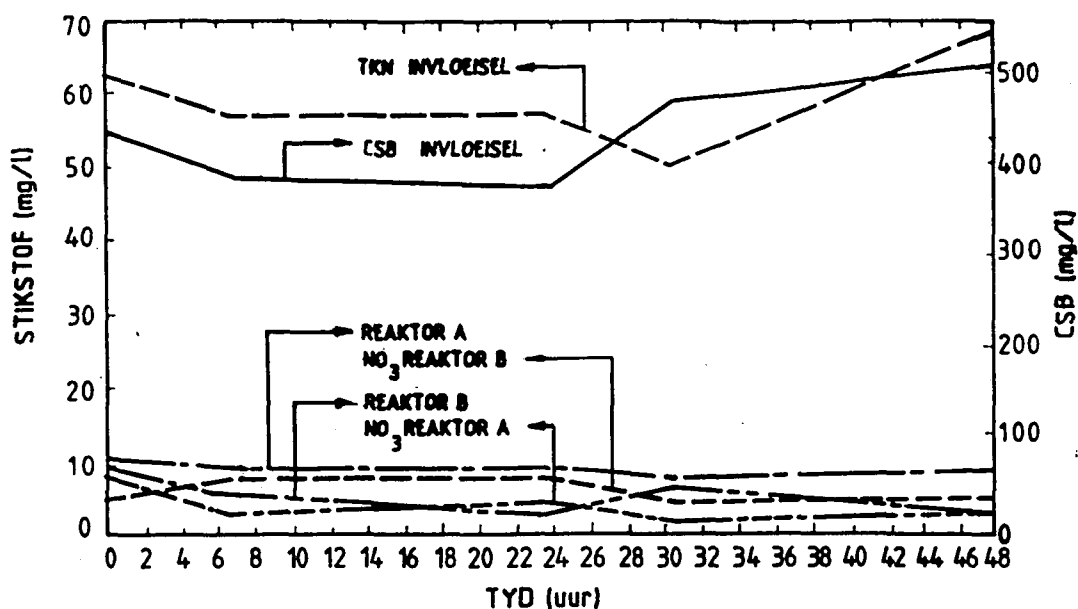
6.2.6 Resultaat

Die eksperimentele data van die drie ondersoek word in Aanhangsel D - Tabel D.1 weergegee. Deurdat die resultate van die ondersoek nie noemenswaardig varieer nie, word die resultate van die tweede ondersoek verteenwoordigend in Figuur 6.5 aangebied. Die resultate van die laaste ondersoek word in Figuur 6.6 getoon.

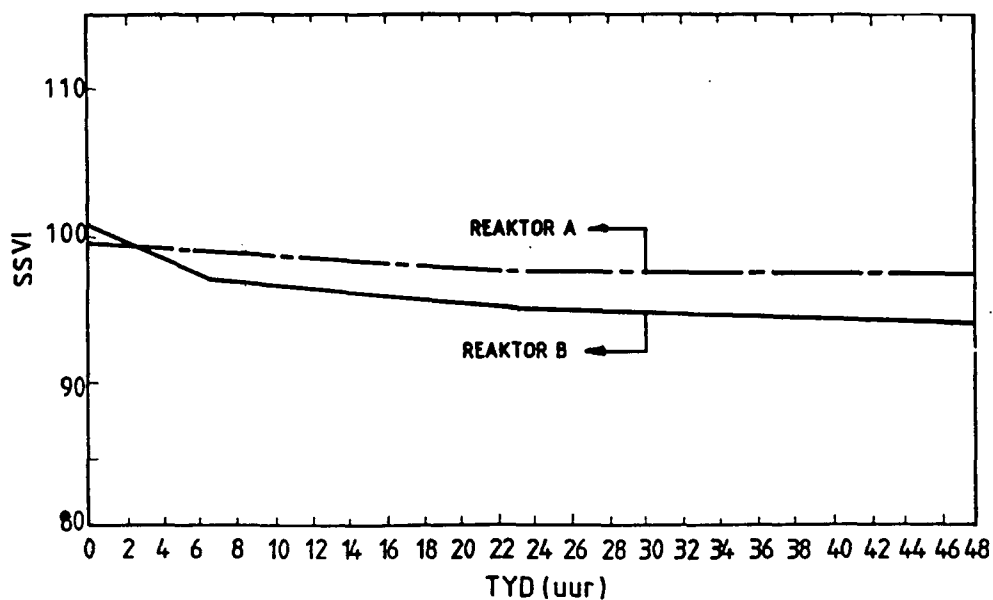
Die biologiese skuim in Reaktor B het met al drie die ondersoekes vin-
nig verminder en binne 48 uur was daar geen sigbare en meetbare skuim
in die stelsel nie, soos uit Figuur 6.7 blyk. Die afname in skuimin-
houd word in Figuur 6.5 duidelik getoon deur die afname in die skuim-
indeks. Mikroskopiese ondersoekes op die slykmengsel in Reaktor B na
afloop van elke ondersoek, het getoon dat die skuimbakterieë *Nocardia*
deur middel van die negatiewe selektors tot 'n onbeduidende lae inhoud
in die slykmengsel gefraksioneer is.



Figuur 6.5(a) Onderzoek 2: Wisseling in SMI en SSSM met tyd.



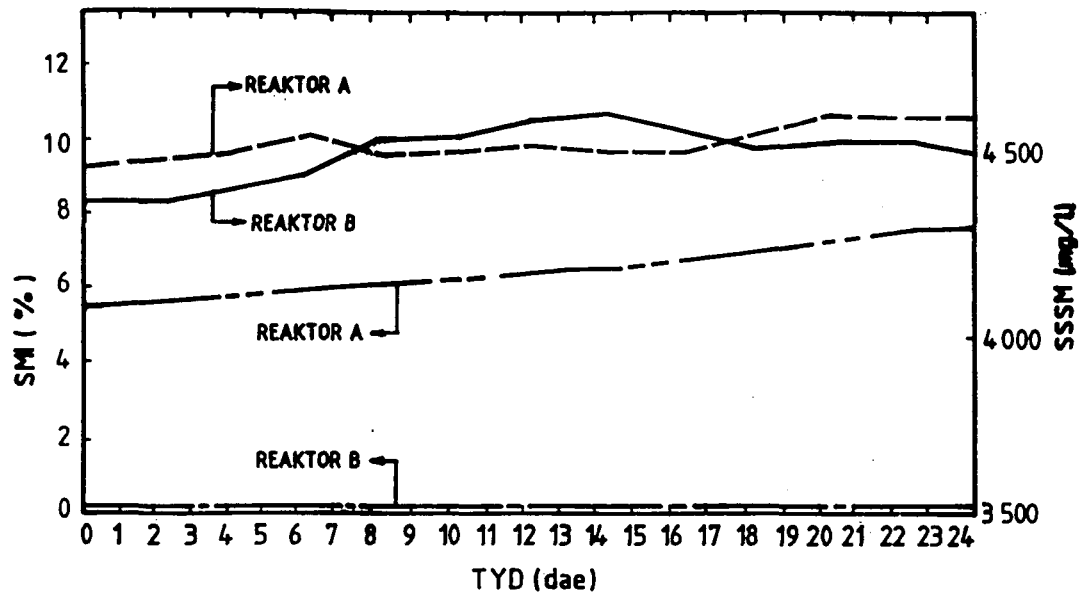
Figuur 6.5(b) Onderzoek 2: Wisseling in stikstof-verbinding en CSB in in- en uitvloeisel met tyd.



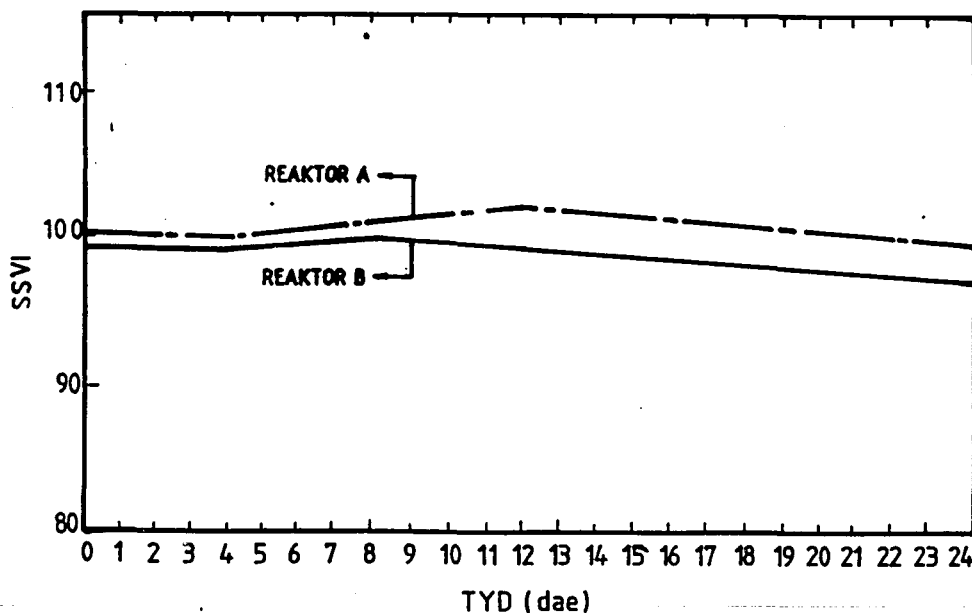
Figuur 6.5(c) Onderzoek 2: Wisseling van SSVI met tyd.

Met die laaste verlengde ondersoek is bevind dat geen merkbare of meetbare skuim op Reaktor B ontwikkel het nie, met ander woorde 'n

skuimindeks van nul is deurgaans gemeet. (Figuur 6.6(b)). Reaktor A het egter 'n stadige maar kontinue vermeerdering in skuim ondervind soos blyk uit die toename in skuimindeks in Figuur 6.6(a).



Figuur 6.6(a) Onderzoek 4: Wisseling in SMI en SSSM met tyd.



Figuur 6.6(b) Onderzoek 4: Wisseling in SSVI met tyd.

Die biologiese skuim in Reaktor A het daarenteen redelik konstant gebly, soos deur 'n feitlik konstante skuimindeks in dieselfde figure geïllustreer word en uit Figuur 6.8 blyk.

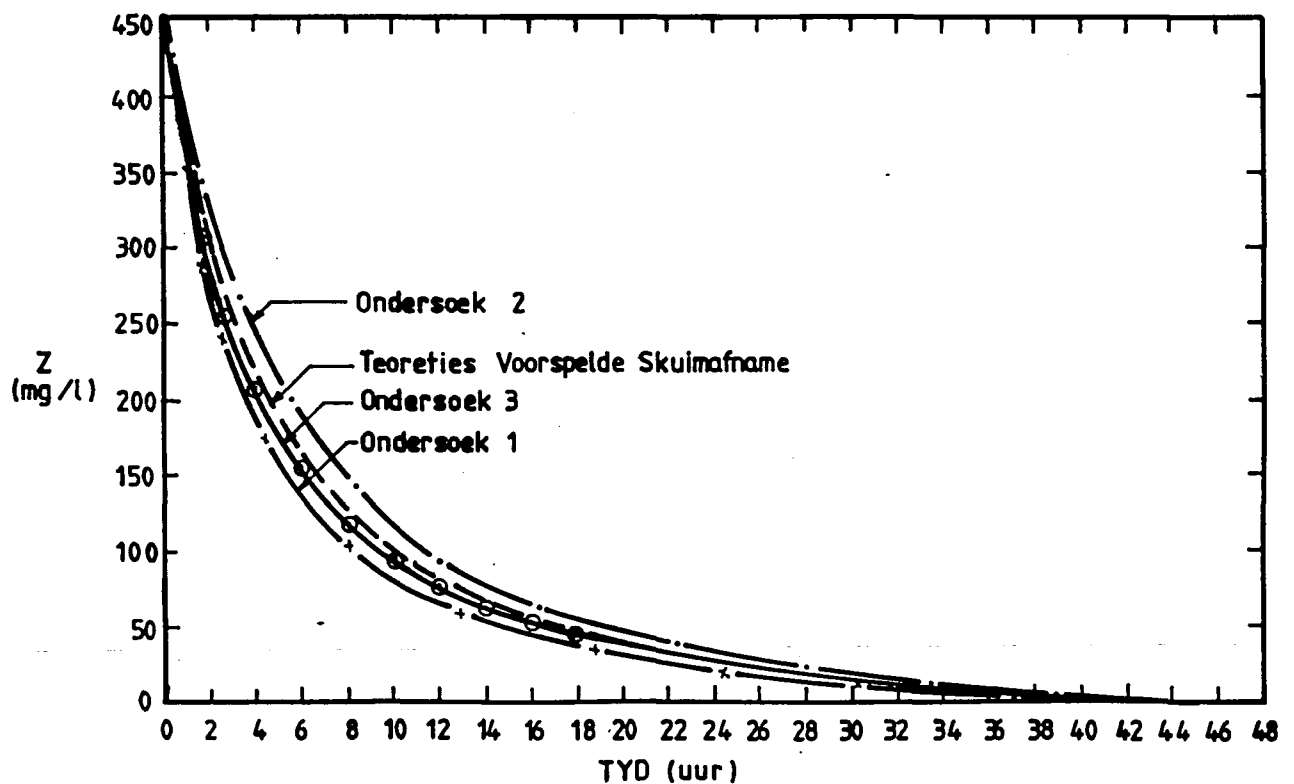
Figuur 6.7: Reaktor B by afloop van ondersoek met geen skuim sigbaar nie.

Figuur 6.8: Reaktor A na afloop van ondersoek met volop skuim sigbaar.

Die bepaling van die in- en uitvloeiselkwaliteite wat op albei stelsels uitgevoer is tydens die drie ondersoeke, het soos uit Figuur 6.5 (b) afgelei kan word, niks noemenswaardig opgelewer nie. Genoemde figuur toon dat die resultate van die twee parallelle stelsels deurgaans binne dieselfde orde grootte was. Die SSVI van die slyk in Reaktor B het met elke ondersoek waarin skuimverwyderings toegepas is, 'n baie geringe daling getoon. (Figuur 6.5 (c))

Die aanvanklike geflotteerde slykfraksie het oor 'n gemiddelde skuimindeks van 65 % beskik; met ander woorde 35 % van die slyk bestaan uit gewone slyk wat in die skuumatriks vasgevang is.

Die teoretiese afname in die skuiminhoud in Toetsreaktor B, soos deur die wiskundige model beskryf word, het met elke ondersoek nagenoeg die gemete afname gevolg. Die rekenaarberekening van die model by die spesifieke bedryfskriteria word in Aanhangsel D - Figuur D.1 gegee. Die gemete afnames van al drie ondersoeke word in Figuur 6.9 geïllustreer en vergelyk met die teoretiese skuimvermindering.



Figuur 6.9: Gemete afnames in skuiminhoud vir Reaktor B met tyd vir al drie ondersoeke, versus die teoretiese afname.

6.2.7 Gevolgtrekking

- a) Die loodsskaalondersoek het bewys dat skuimvormende organismes in totaal uit 'n gemengde slykstelsel geselekteer en verwyder kan word deur fynborrelflottasie.
- b) Die metode wat gebruik is om die geflotteerde slyk deur middel van 'n skuimoorloop feitlik kontinue uit die stelsel te verwyder, funksioneer doeltreffend deurdat 'n relatief lae verlies aan slyk uit die stelsel daarmee ondervind word. Die verlies wat wel ondervind word, kan teengewerk word deur geen slykaftrek vir slykouderdombeheer tydens die flottasieproses uit te voer nie.
- c) Die verwydering van *Nocardia* vanuit 'n stelsel het geen waarneembare invloed op die suiweringsvermoë van die oorblywende slykmengsel nie.
- d) Dit kom nie voor of die verwydering van *Nocardia spp* uit 'n stelsel die besinkvermoë van die oorblywende slykmengsel drasties verbeter nie.
- e) Die wiskundige model wat in Hoofstuk 5 ontwikkel is, beskryf die skuimverwyderingspatroon bevredigend en kan gevolglik deur ingenieurs en aanlegoperateurs aangewend word om 'n flottasiemeganisme vir 'n stelsel te ontwerp of om die verwagte tydsduur van skuimverwydering uit 'n bestaande stelsel te bereken.

'N VOLSKAALSE ONDERSOEK NA DIE VERWYDERING VAN BIOLOGIESE SKUIM7.1 BEPLANNING VAN DIE ONDERSOEK

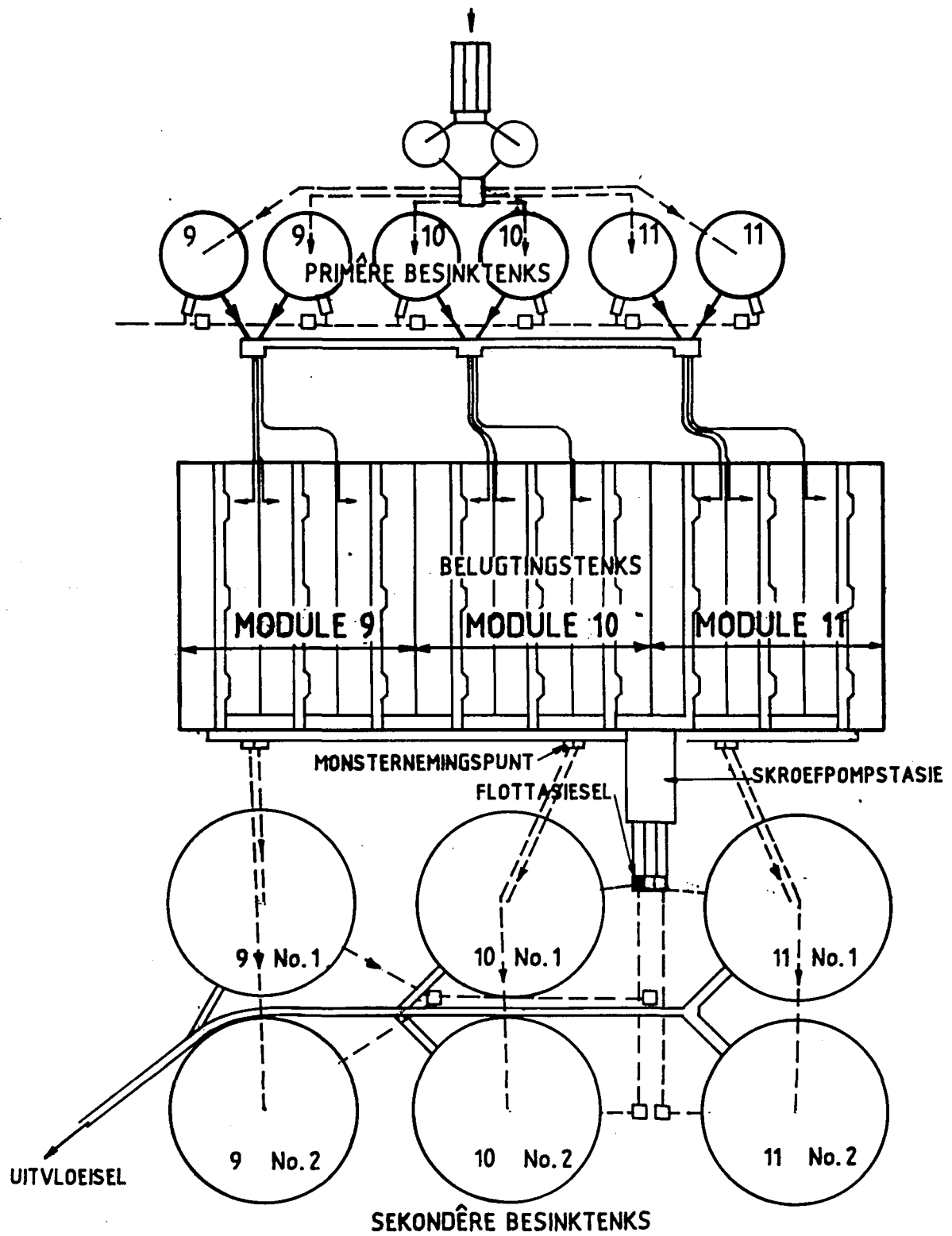
Na aanleiding van die sukses wat met die verwydering van biologiese skuim deur middel van 'n flottasiesel op 'n loodsskaalreaktor behaal is, (Hoofstuk 6) het dit noodsaaklik geword om hierdie beginsel op 'n volskaalse aanleg te toets. Die Daspoort-geaktiveerdeslykaanleg by Pretoria is vir hierdie doel oorweeg.

Die Daspoortaanleg is in sekere opsigte geskik om 'n volskaalse ondersoek op uit te voer en wel om die volgende twee redes:-

- a) Die aanleg ondervind 'n "matige" voorkoms van biologiese skuim, met *Nocardia* die betrokke probleemorganisme. Met "matige" voorkoms word bedoel dat die aanleg 'n gemiddelde skuimindeks van 7,7 % ten tye van die aanvang van die ondersoek ondervind het.
- b) Die aanleg beskik oor 3 identiese parallelle modules bekend as Module 9, 10 en 11, wat die moontlikheid bied om skuimverwydering op een module (Module 10) uit te voer terwyl 'n tweede module (Module 11) dien as kontrole. Figuur 7.1 toon 'n uitleg van die Daspoort-geaktiveerdeslykaanleg.

Die enigste negatiewe aspek van die gebruik van die Daspoort-aanleg is dat dit nie oor 'n bak of kanaal beskik wat ideaal geskik is vir aanwending as 'n flottasiesel nie.

Die geskikste plek vir gebruik as 'n flottasiesel by die betrokke aanleg is die slykversamelpunt voor die skroefpomp op die slykretoerlyn. Hierdie kas se afmetings is egter net 2,25 x 2,70 x 2,00 diep (volume 12 m³) wat 'n hidrouliese retensie van slegs 3 minute bied; dus aansienlik minder as die periode wat benodig word.



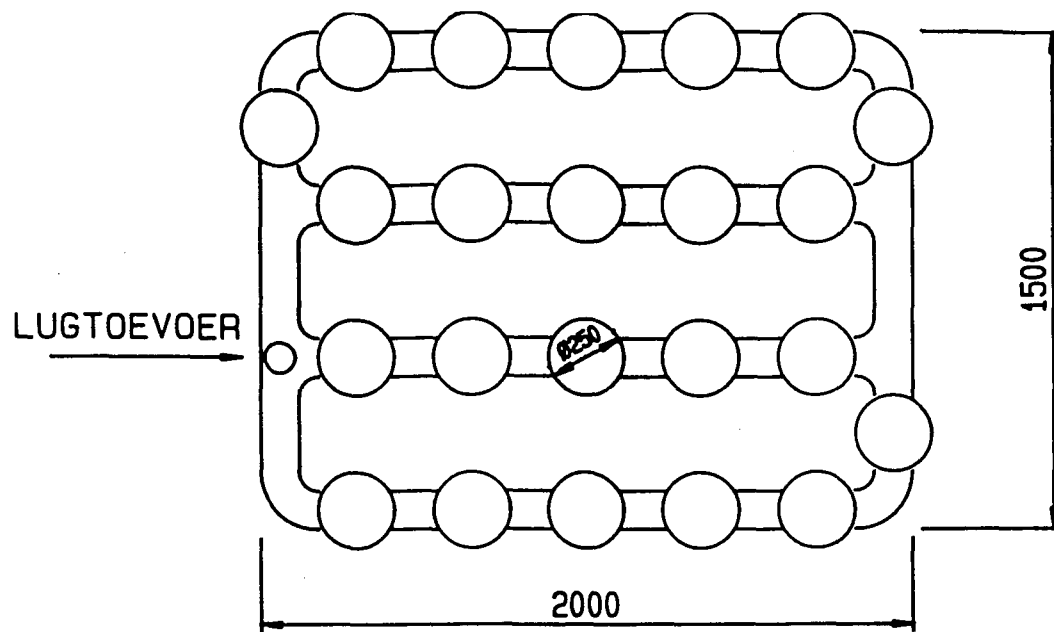
Figuur 7.1: Uitleg van Daspoort-aanleg met posisie van flottasiesel aange-
toon.

7.2 DOEL VAN DIE ONDERSOEK

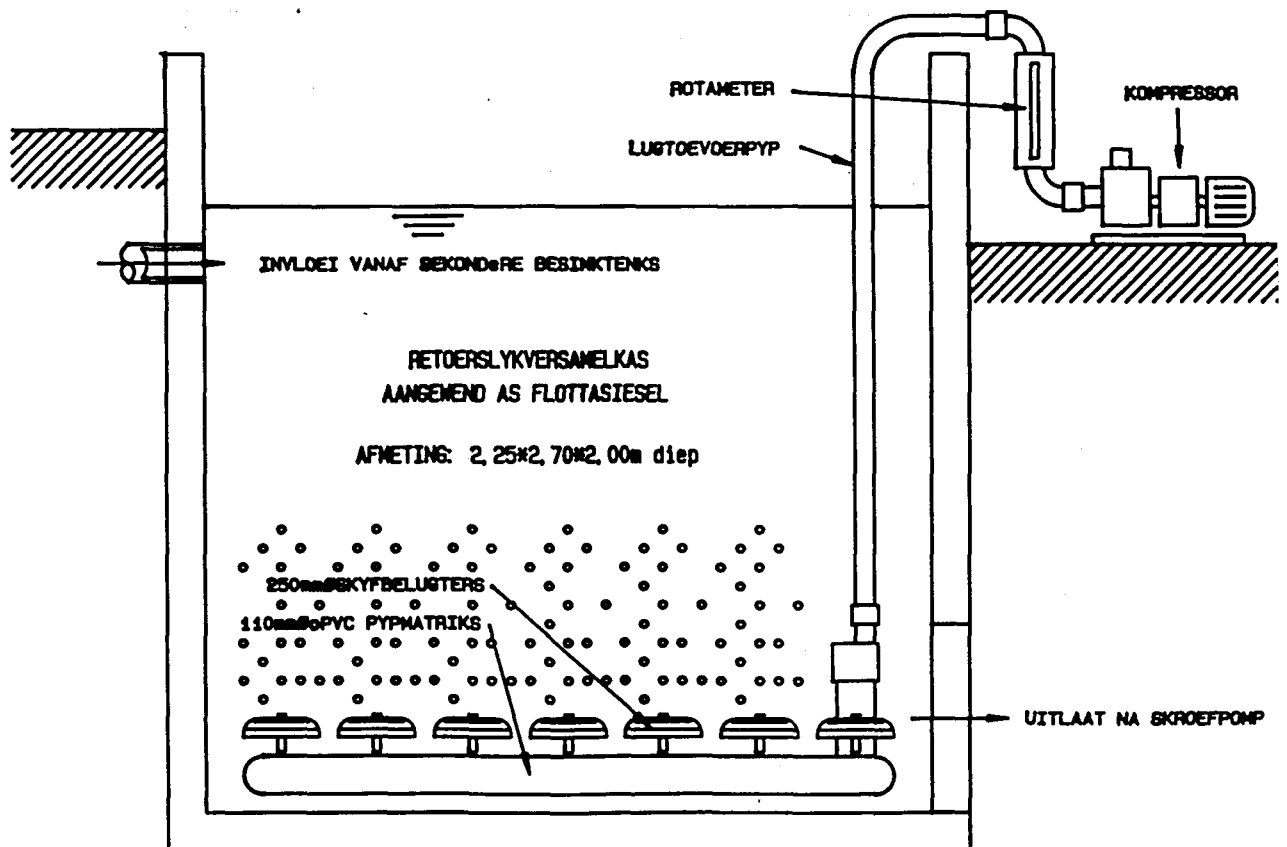
- a) Vanweë die verwagte ondoeltreffendheid van die betrokke flottasiesel, was dit van die staanspoor af te betwyfel of volledige skuimverwydering uit die stelsel daarmee bewerkstellig kon word. Die ondersoek stel dit dus nie ten doel om die doeltreffendheid van die betrokke flottasiesel as 'n skuimbeheermeganisme te bepaal nie, maar is daarop gerig om te bewys dat die konsentrasie biologiese skuim in 'n volskaalse aanleg effektief verminder kan word deur die betrokke spesie skuimbakterie d.m.v. negatiewe seleksie uit die stelsel te verwyder.
- b) Die ondersoek word uitgebrei om vas te stel of 'n verband bestaan tussen die skuimkonsentrasie, uitgedruk in terme van die SMI en die besink-eienskappe van die betrokke slykmengsel, soos uitgedruk in terme van die SSVI.
- c) 'n Verdere aspek wat ondersoek word, is watter fraksie die skuimorganismes uitmaak van die drywende slykmasa op die oppervlakte van die sekondêre besinktenks by die Daspoort-aanleg. Hierdie inligting is benodig aangesien negatiewe seleksie in 'n groot mate reeds toegepas word deur dat aanlegpersoneel die drywende slyk daagliks verwyder.
- d) Die finale doel van die ondersoek is om te bepaal of die skuiminhoud in die stelsel weer toeneem indien die proses van verwydering van skuimorganismes gestaak word.

7.3 APPARAAT

- a) 'n Fynborrelspreier is spesiaal opgemaak om in die betrokke flottasiesel te pas. Dit het bestaan uit 'n pypmatriks wat opgebou is uit 110 mm deursnit oPVC pype. Drie-en-twintig 250 mm deursnit skyfbelugters ("disc aerators") is eweredig oor die matrikse gespaseer. Die uitleg van die belugter word in Figuur 7.2 geïllustreer.
- b) Lugtoevoer is voorsien deur 'n enkele kompressor terwyl 'n tweede een as bystandseenheid aangewend is. Die lugvloei tempo is gereguleer deur 'n drukuitlaatklep, terwyl die lugvloei gemeet is deur middel van 'n rotameter. 'n Skematiese voorstelling van die hele opstelling word in Figuur 7.3 getoon.



Figuur 7.2: Uitleg van die belugtingsapparaat in plan getoon.



Figuur 7.3: Skematiese voorstelling van die apparaat in die flottasiesel.

7.4 BEDRYFSKRITERIA VAN DIE VOLSKAALSE ONDERSOEKE

Die bedryfskriteria van die modules word in Tabel 7.1 opgesom.

Parameter	Eenheid	Module 10 met flottasiesel	Module 11 Kontrole-eenheid
<u>SLYKMENGSEL</u>			
Slykouderdom	dae	gemiddeld 21	gemiddeld 21
Slykbeladingstempo	kgCSB/d.kgSSSM ⁻¹	0,12	0,12
SSSM	mg/l	2950	3140
SMI (aanvanklik)	%	7,6	7,2
<u>HIDROULIESE RETEN- SIE</u>			
Totaal in stelsel:	uur	15	15
In flottasiesel	minute	3	-
<u>SLYKRETOER</u>			
Retoertempo	m ³ /h	583	583
Verhouding tot gemiddelde vloei:	R:1	1:1	1:1
<u>OPGELOSTE SUUR- STOFKONSENTRASIE</u>			
	mg/l	2,1	2,0
Tempo van belug- ting in flotta- siesel	m ³ /m ³ .h ⁻¹	9,4	-
Gemiddelde borrel- grootte	mm	3	-
Substraattoevoer- tempo	ml/d	14	14

OPMERKING AANGAANDE BEDRYF

Die belugtingstempo van $9,4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ reaktor.h}^{-1}$ wat in die flottasiesel gehandhaaf is, is as sulks gekies om in die bestek te val wat in die praktyk by fynborrelbelugtingsstelsels toegepas word.

Die borrelgrootte is nie fisies gemeet nie, maar is afgelees vanaf 'n tabel⁴⁹ wat deur die vervaardiger van die betrokke skyfbelugters beskikbaar gestel is.

Geen slykaftrek vir slykouderdombeheer is by die Daspoort-aanleg toegepas gedurende die ondersoekperiode, asook die ses maande wat die ondersoek vooraf gegaan het nie. Die rede hiervoor is dat groot volumes slykverlies reeds plaasvind as gevolg van die daaglikse skoonmaak van die besinktenks.

7.5 METODE(i) Analises

Die SSVI is volgens die metode van White⁵¹ uitgevoer, terwyl Skuimindeksbepalings uitgevoer is volgens die metode wat in Hoofstuk 4 beskryf is.

(ii) Uitvoering van die ondersoek

Die ondersoek is oor 'n periode van 60 dae uitgevoer. Skuim wat op die oppervlakte van die flottasiesel ontwikkel het, is daaglik om 08h00, 11h00, 14h00 en 16h30 met emmers afgeskep en uit die stelsel verwyder.

Met die aanvang van die ondersoek, het die Daspoort-aanleg-personeel die drywende slyk op die sekondêre besinktenks daaglik op 'n roetine basis verwyder. Nadat die ondersoek reeds 14 dae gevorder het, is begin om die oppervlakte van die besinktenks twee maal per dag skoon te maak aangesien die skoonmaakpersoneel hul prosedure toevallig op hierdie stadium soveel verbeter het dat dit toe moontlik was om een tenk binne 30 minute af te handel.

Verwydering van skuim vanaf die besinktenkoppervlakte is tydens die ondersoek toegelaat aangesien dit 'n bykomende hulp was in die proses om skuimbakterieë uit die stelsel te verwyder.

Na afloop van die nege-en-dertigste ondersoekdag is skuimverwydering deur middel van die flottasiesel gestaak, hoewel roetine skoonmaak van die besinktenkoppervlaktes op 'n tweemaal-per-dag-basis volgehou is. Die skuimindeks van die stelsel is egter vir 'n verdere 21 dae gemonitor om vas te stel of 'n toename in die skuiminhoud plaasvind.

Monsters vir SMI- en SSVI-bepalings is daaglik om 08h00 geneem vanuit die onderskeie verdeelkaste aan die stroomafkant van die belugtingseenhede, waar op Figuur 7.1 aangedui word. Daar is op hierdie punt besluit aangesien die turbulensie wat in die verdeelkas voorkom, meebring dat die skuim deeglik met die slykmengsel vermeng en sodoende 'n verteenwoordigende monster bied.

Ten einde te bepaal wat die ware skuiminhoud van die drywende slyk op die oppervlakte van die besinktenks is, is in 'n slykmonster voor die aanvang van die ondersoek willekeurig van die oppervlakte van elke van die vier sekondêre besinktenks van Modules 10 en 11 geneem en in die flottasie-apparaat gefraksioneer. Die massa van die verrykte finaalgefraksioneerde skuim is bepaal en vergelyk met die massa van die skuim wat aanvanklik in die apparaat geplaas is.

7.6 RESULTAAT

Die resultate van die volskaalse ondersoek word in Figuur 7.5 getoon.

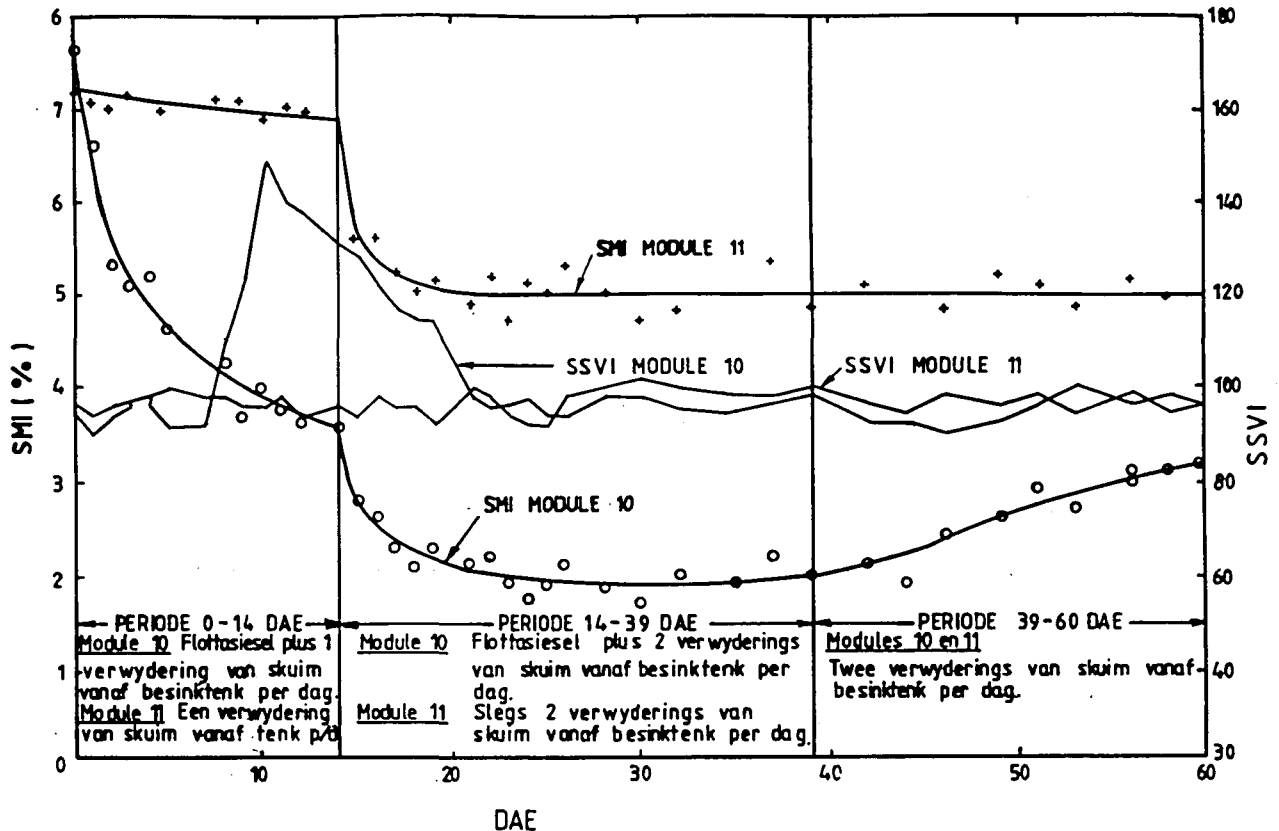
Module 10

Na 'n aanvanklike skerp daling in die skuimindeks vanaf 7,6 % het dit begin stabiliseer by ongeveer 3,4 % maar 'n verdere skerp daling is vanaf Dag 14 ondervind toe die sekondêre besinktenks twee maal per dag begin skoonmaak is. Die skuimindeks het egter teen Dag 20 'n tweede keer begin stabiliseer by ongeveer 2 % en het by hierdie vlak gebly tot die flottasiemeganisme op Dag 39 onttrek is. Hoewel dié tweemaal-per-dag-schoonmaak van die besinktenkoppervlaktes volgehou is, is 'n stadige maar geredelike toename in die skuiminhoud gedurende die volgende 21 dae ondervind totdat 'n skuimindeks van ongeveer 3,2 % teen Dag 60 bereik is. Die ondersoek is daarmee beëindig.

Module 11

Die skuimindeks het gedurende die eerste 14 dae konstant gebly op ongeveer 7,2 % maar het daarna ook 'n skerp afname ondervind as gevolg van die byko-

mende skoonmaak van die besinktenks. Dit het gestabiliseer by 'n skuimindeks van 5 % en het benaderd op daardie vlak gebly totdat die ondersoek beëindig is.



Figuur 7.5: Vergelyking van die bedryf van volskaalse stelsels.

Figuur 7.5 toon dat die besinkeienskappe van die slykmengsels gedurende die ondersoek binne perke konstant gebly het by 'n SSVI van 95, ongeag die gepeardgaande wisselings in die skuiminhoud. Die enigste uitsondering was 'n onverklaarbare skerp styging in die SSVI van Module 10 tot by 150 gedurende die periode, Dag 7 tot Dag 10, gevolg deur 'n geleidelike afname terug na die oorspronklike vlak, wat op Dag 21 bereik is.

Die resultaat van die fraksioneringsondersoek op drywende skuim in die besinktenks word in Tabel 7.2 getoon.

Tabel 7.2: Skuimfraksie van drywende slyk op besinktenks by die Daspoort-aanleg.

Module	Sekondêre besinktenk nr.	Massa van ongefraksioneerde skuimmonster mg	Massa van herwinde veredelde skuim mg	SMI %
10	1	260	56	21,6
	2	286	65	22,8
11	1	244	54	22,0
	2	272	61	22,4
Gemiddeld:-				22,2

Dit blyk uit die ondersoek dat bykans 78 % van die drywende slykmasa by die Daspoort-aanleg toegeskryf kan word aan stygende slyk as gevolg van dentrifikasie in die besinktenks en slegs die oorblywende 22 % aan die voorkoms van *Nocardia*-skuim.

7.7 GEVOLGTREKKING

- a) Die biologiese skuim wat 'n volskaalse aanleg ondervind, kan beheer word deur die betrokke skuimbakterie deur middel van 'n flottasiesel selektief uit die stelsel te fraksioneer en te verwyder.
- b) Met die volskaalse ondersoek op die Daspoort-aanleg het die flottasiesel meegebring dat die skuimindeks verlaag is van 7,6 % tot 3,4 %. Verdere skuimverwydering tydens die ondersoek is verhoed deurdat die flottasiesel nie oor 'n voldoende retensieperiode beskik het nie, in ooreenstemming met wat in Hoofstuk 5 bevind is. Die tempo waarteen skuimorganismes uit die stelsel verwyder is was dus nie vinnig genoeg om te verhoed dat dit in die stelsel vermeerder nie.

- c) Die daaglikse verwydering van drywende slyk van die oppervlakte van die besinktenks dra by tot die negatiewe seleksie van die *Nocardia*-organisme, deurdat 22 % van die drywende slyk in die geval van die Daspoort-aanleg uit hierdie skuimbakterie bestaan het.
- d) 'n Beduidende hoeveelheid geaktiveerdeslykmengsel (78 % per massa) word egter op hierdie wyse verspil, met die gevolg dat normale slykaftrek vir slykouderdombeheer verkieslik gestaak moet word gedurende die periode wat drywende slyk van die oppervlakte van besinktenks verwyder word.
- e) In die geval van *Nocardia*-skuim kan geen verband vasgestel word tussen die skuiminhoud en die besinkeienskappe van 'n slykmengsel nie. Geen verklaring kan gegee word vir die onverwagte styging in die SSVI by Module 10 gedurende die ondersoekperiode nie.

AANHANGSEL ASKUIMBEHEER DEUR DIE ONDERDRUKKING VAN DIE SKUIMVERMOE-
VAN SKUIMVORMENDE ORGANISMESA.1 AGTERGROND

Die ondersoek was tot dusver daarop gerig om biologiese skuim te kan kwantifiseer en om 'n meganisme te ontwikkel waarvolgens hierdie skuim in 'n stelsel beheer kan word deur negatiewe seleksie. In Hoofstuk 3 is reeds bespreek dat daar bewyse is dat sekere organismes mikrobiiese oppervlaktmiddels produseer. 'n Alternatiewe metode om skuim te beheer, is dus om vas te stel onder watter toestande skuimbakterië 'n benattingsmiddel produseer wat teen die selwande geadsorbeer word en sodoende skuimvorming tot gevolg het. Deur hierdie toestande te kontroleer, behoort dit dus teoreties moontlik te wees om biologiese skuimvorming te beheer.

Hierdie potensiele metode van skuimbeheer verskil ingrypend van die metode wat reeds ontwikkel is, deurdat die skuimbakterië nie noodwendig uit die stelsel verwyder word nie, maar dat daar slegs weggedoen word met die toestande wat tot gevolg het dat 'n benattingsmiddel deur hierdie organismes geproduseer word.

A.2 DOEL VAN ONDERSOEK

Die doelstelling is:-

- a) Om die chemiese samestelling van skuim en meer spesifiek van die geadsorbeerde benattingsmiddels van die twee algemene skuimbakterië, *Nocardia* en *M. parvicella*, te bepaal. Hierdie inligting mag nuttig wees om te bepaal watter substraatsamestelling die produksie van die benattingsmiddel tot gevolg het.
- b) Om vas te stel onder watter toestande hierdie benattingsmiddels van die selwand verwyder kan word.

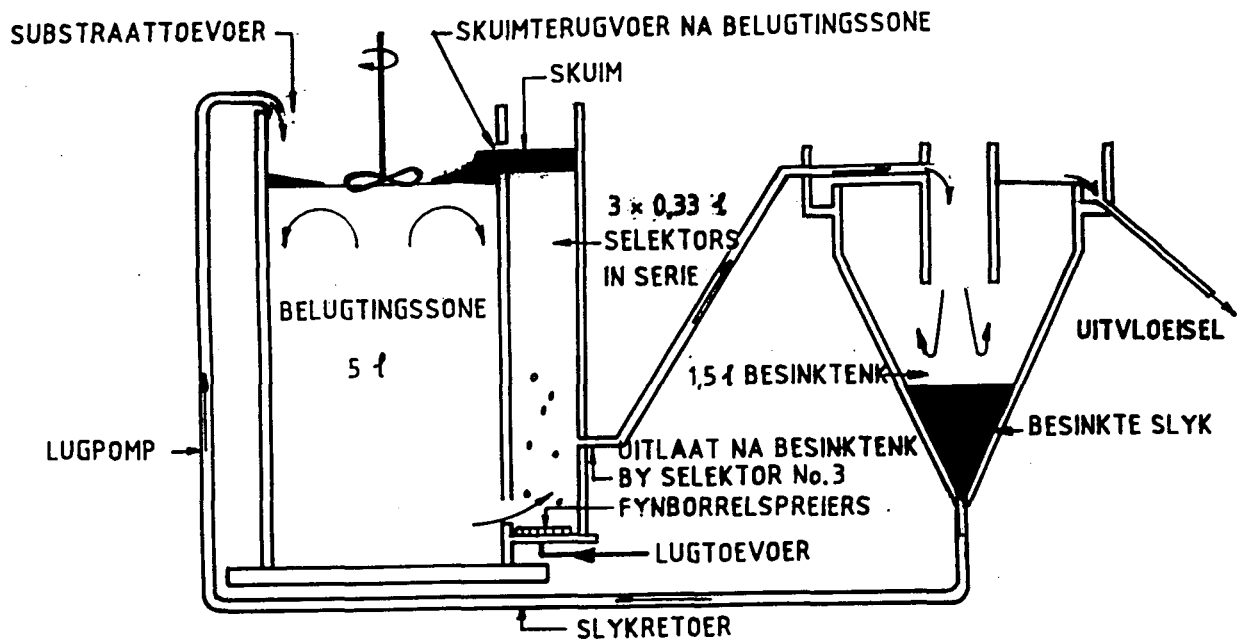
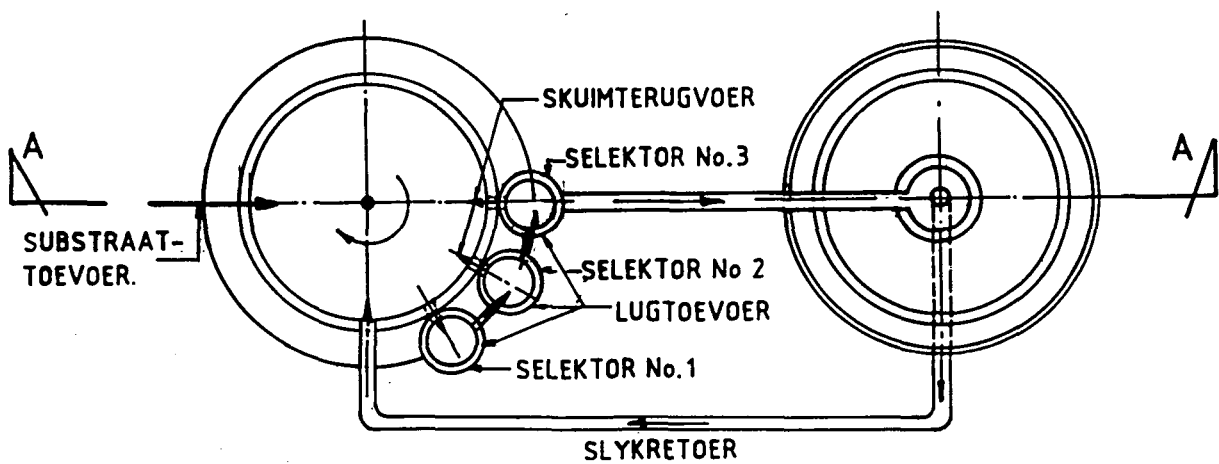
Hierdie ondersoek sal die volgende aspekte dek:-

- 1) Om te bepaal of die skuimbakterieë onder sekere beheerde bedryfstoestande ophou om 'n benattingsmiddel te produseer.
 - 2) Om te bepaal of *Nocardia*, soos *M. parvicella*,^{46,47} onder lae substraattoestande die benattingsmiddel absorbeer en verbruik as 'n voedingbron.
- c) Indien sukses behaal word met die verwydering van die benattingsmiddel, om te ondersoek of die proses omgekeer kan word, met ander woorde of dit moontlik is om skuimvorming willekeurig te laat terugkeer.
- d) Indien bekend is watter bedryfstoestande biologieseskuimvorming tot gevolg het, om vas te stel hoe korrektiewe maatreëls prakties in 'n geaktiveerdeslykstelsel geïmplimenteer kan word.

A.3 APPARAAT

- a) Gaschromatograaf en meegaande toerusting vir die bepaling van die vet-suursamestelling van biologiese skuim, naamlik vir:-
- (i) Eterekstraksie; en
 - (ii) Chloroform/methanol-ekstraksie.
- b) Ten einde die verwydering van benattingsmiddels van die organisme-selwand te ondersoek, is twee identiese laboratoriumapparate gekonstrueer om te verseker dat die minimum skuimbakterieë uit die stelsel verlore gaan. Twee lugpompies per apparaat word in Figuur A.1 geïllustreer, en die bedryfsbeginsel word vervolgens kortliks beskryf.

Die silindriese vorm van die belugtings/vermengingsone bring mee dat die skuim nie in hoeke vasgevang kan word en sodoende kontak met die substraat vryspring nie; terwyl die aanwending van die oppervlakbelugter/roerder tot gevolg het dat skuimbakterieë wat neig om te flotter, gedurig teruggeklits word in die slykmengsel. Kontinue vermenging van die skuimbakterieë is noodsaaklik vir doeltreffende kontak met die substraat.

SNIT A - A.PLAN

Figuur A.1: Laboratoriumapparaat wat skuim, deur seleksie, in belugtingstelsel vasgevang hou.

Drie serie-geakelde fynborrelfraksioneringsones, hierna genoem selektors, met 'n totale kapasiteit van 1 l, is tussen die belugtingsone en besinktenk voorsien. In die selektors word die skuimbakterieë geskei van die res van die slykmengsel en deur middel van 'n borrelpomp teruggevoer na die belugtingsone. Die nie-flotterbare slykfraksie word telkens deur

middel van 'n onderuitloop na die volgende selektor gevoer en die uitvloei van die laaste selektor na die besinktenk, waarna die besinkte slyk deur middel van 'n lugpomp teruggevoer word na die belugtingsone.

- c) 'n Lig mikroskoop.
- d) 'n sintetiese substraat wat vetvry is en oor 'n lae CSB beskik.
- e) Tween 80.

A.4 Metode

(i) Analise

Die vetsuursamestelling van die skuim is ontleed volgens die Rose-Gottlieb-eter-ekstraksie-metode⁴³ asook die Chloroform/methanol-ekstraksie-metode van Folch *et al.*¹⁴ Laasgenoemde metode het die vermoë om die samestelling van die selwand van organismes ook te ekstraheer in teenstelling met eter-ekstraksie wat slegs vloeistoffases kan ontleed.

Die analyses vir die totale swewende stowwe (TSS)-konsentrasie is uitgevoer volgens die standaard prosedures wat in "Standard Methods"⁴⁸ beskryf word. Skuiminhoudbepalings is egter uitgevoer volgens die metode wat in Hoofstuk 4 uiteengesit word.

(ii) Mikroskopiese ondersoek

Mikroskopiese ondersoeke is vir vergelykende doeleindes uitgevoer deur middel van 'n lig mikroskoop.

(iii) Opmaak van media

Monsters *Nocardia* en *M. parvicella*-skuim is vanaf die Daspoort- en Middelburgaanlêe onderskeidelik geneem en afsonderlik verryk volgens die metodes wat in Hoofstuk 4 beskryf is. Die TSS-konsentrasies van die verrykte skuim is bepaal.

(iv) Uitvoering van die ondersoek

- a) Bepaling van selwandsamestelling:- Die vetsure in die selwande van elke tipe skuimbakterie is agtereenvolgens deur die eter- en die chloroform/methanol-metodes geëkstraheer en die vetzuurspektrums deur middel van 'n gaschromatograaf bepaal. Die onderskeie vetzuurfraksies is gekwantifiseer deur 'n afgemete kontrole-vetsuur telkens by die geëkstraheerde produk te voeg, voordat die gaschromatografiese ontleding onderneem is.
- b) Ondersoek na die produksie van benattingsmiddels:- Verrykte monsters *Nocardia* en *M. parvicella* is afsonderlik opgemaak tot SSSM-konsentrasies van 4 500 mg/l en in die selektorreaktor geplaas. Die stelsels is oor 'n periode van 60 dae bedryf, (3 slykouderdomme), terwyl dit kontinu gevoer is met lae CSB-sintetiese substrate wat geen vetverwante produkte bevat nie. Die rede vir hierdie tipe substraat was om stadige, volgehoue groei en metabolisme van die skuimbakterieë te verseker, terwyl ander organismes wat in die verrykte skuim agtergebly het, veral die hoë slykladingstipe, 'n minimum groei-geleentheid gebied is. Die rede vir die vetvrye aard van die substraat was om die bevindings en hipoteses van ander navorsers, soos wat in Afdeling 3.4.4 en 3.5.2 bespreek word, te ondersoek.

Geen doelbewuste slykaftrek vir slykouderdombeheer is toegepas nie en die enigste slykverlies was dié wat elke tweede dag as gevolg van monsterneming plaasgevind het.

Die bedryfskriteria word in Tabel A.1 opgesom.

Monsters vir SSSM-, CSB- en skuimindeksbepaling is elke tweede dag geneem, asook klein grypmonsters vir mikroskopiese ondersoeke. Mikroskopiese ondersoeke is ook uitgevoer op die nie-flotteerbare fraksies tydens skuimindeksbepalings.

- c) Verrykte monsters van die twee tipes skuimbakterieë is, soos in die voorafgaande ondersoek, opgemaak en op 'n soortgelyke wyse vir 60 dae bedryf, met dié verskil dat die substraat in hierdie geval kraanwater was. Die rede waarom kraanwater gebruik is, was dat verwag is dat die uiters lae CSB-konsentrasie feitlik alle ander organisme-groei sal ontmoedig.

Tabel A.1: Bedryfskriteria van die lae CSB-gevoerde stelsels.

PARAMETERS	Eenheid	<i>Nocardia</i> - Stelsel	<i>M. parvicella</i> Stelsel
<u>Slykmengsel</u>			
Hidrouliese retensie in stelsel	uur	12	12
Slykouderdom	dae	20	20
Aanvangs-SSSM	mg/l	4 500	4 500
Aanvangskuimindeks	%	99,8	99,7
Gemiddelde temperatuur	°C	18	18
pH		6,8	6,5
<u>Algemeen</u>			
Slykretoertempo tot gemiddelde vloei	R:1	3:1	3:1
Opgeloste suurstof- konsentrasie in be- lugtingsone	mg/l	3,2	3.5
CSB-invloei	mg/l	150	150

- d) Poging om nie-skuimende, potensieel skuimvormende organismes te laat skuim:- 'n Afgemete 1 500 mg massa slykmengselmonster, wat *M. parvicella* dominant, maar in 'n nie-skuimende staat bevat, is vanuit die vorige ondersoek geneem, en vermeng met 'n slykmengsel wat geen skuimvormende organismes bevat nie en sodoende opgemaak tot 'n SSSM-konsentrasie van 4 500 mg/l.

Die slykmengsel is in die selektorreaktors geplaas en bedryf oor 'n periode van 30 dae, terwyl dit kontinu gevoer is met 'n lae CSB-substraat wat met Tween 80 aangevul is. Tween 80 is 'n Oleyensuurverbinding wat soos in Afdeling 3.5.2 bespreek word, 'n noodsaaklike voedingsbron vir die betrokke organisme is.

Die bedryfskriteria word in Tabel A.2 opgesom.

Tabel A.2: Bedryfskriteria van die Tween 80-gevoerde-stelsel.

PARAMETERS	EENHEID	WAARDE
<u>Slykmengsel</u>		
Hidrouliese retensie in stelsel	uur	12
Slykouderdom	dae	20
Gemiddelde temperatuur	°C	18,3
Gemiddelde pH		6,5
Aanvangs-SSSM	mg/l	4180
Aanvangskuimindeks	%	0
<u>Algemeen</u>		
Slykretoertempo	R:1	3:1
O.S.*-konsentrasie in belugtingsone	mg/l	3,1

* O.S. - opgeloste suurstof

Die konsentrasie Tween 80 in die substraat is gedurende die ondersoek gevarieer, soos in Tabel A.3 getoon word.

Tabel A.3: Wisseling in Tween 80-konsentrasie in substraat.

ONDERSOEKDAG	TWEEN 80-KONSENTRASIE ml/l.dag ⁻¹ -SUBSTRAAT
1	0,035
7	0,025
14	0
28	0,010

Monsters vir SSSM-, CSB- en skuimindeksbepalings is elke tweede dag geneem, asook klein grypmonsters vir mikroskopiese ondersoeke.

A.5 RESULTAAT

a) Selwandsamestelling

Die resultaat van die eter- en chloroform/methanol-ekstraksies word in Tabel A.4 opgesom.

Dit volg hieruit dat 58,72 % van die vetsure wat deur middel van eter

uit *M. parvicella*-skuim geëkstraer is, uit palmetien-, stearine- en oleïensure bestaan, teenoor 71,86 % in die geval van chloroform/methanol-ekstraksie. Hierdie drie produkte is oorheersend in enige rioolwater en rioolslyk. Wat egter insiggewend is, is dat die palmetien- en stearinekonsentrasies met albei tipes ekstraksies binne dieselfde orde grootte is, wat daarop dui dat dit nie uit die selwande van die organismes in die skuim geëkstraer is nie, maar wel uit die vloeistoffase in die skuim. Daarenteen is feitlik dubbel die oleïensuur- en linoleïensuurkonsentrasie deur middel van chloroform/methanol geëkstraer, wat daarop dui dat die balans tussen die twee ekstraksies vanuit die selwand van die skuimbakterieë afkomstig was. Hierdie bevinding klop met dié van Slijkhuis et al,⁴⁶ soos in Afdeling 3.5.2 bespreek word.

Tabel A.4: Vetsuursamestelling en -inhoud van skuimmonsters.

ETER-EKSTRAKSIE

SAMESTELLING (g/100g vetsure)

*Lengte van koolstofketting en vertakkings					PALMETIEN-SUUR	STEARINE-SUUR	OLEÏENSUUR	LINOLEÏEN-SUUR			
MONSTER*	12:0	12:1	14:0	15:0	16:0	18:0	18:1	18:2	20:0	21:0	22:0
<i>M. parvicella</i>	10,84	-	5,9	1,6	21,63	26,69	10,40	0,89	-	-	-
<i>Nocardia</i>	7,39	-	4,2	1,3	23,66	34,19	8,9	3,1	1,07	0,58	0,8

VETSUURINHOUD (mg/100 g monster)

1. *M. parvicella* - 24,03 %
2. *Nocardia* - 32,72 %

CHLOROFORM-EKSTRAKSIE

SAMESTELLING (g/100 g vetsure)

*Lengte van koolstofketting en vertakkings					PALMETIEN-SUUR	STEARINE-SUUR	OLEÏENSUUR	LINOLEÏEN-SUUR			
MONSTER*	12:0	12:1	14:0	15:0	16:0	18:0	18:1	18:2	20:0	21:0	22:0
<i>M. parvicella</i>	9,3	-	5,6	1,45	24,54	27,21	20,11	4,2	0,8	-	-
<i>Nocardia</i>	7,9	-	4,3	1,26	23,34	32,20	15,31	2,7	1,1	-	0,97

VETSUURINHOUD (mg/100 g monster)

1. *M. parvicella* - 42,65 %
2. *Nocardia* - 68,8 %

'n Feitlik soortgelyke waarneming word gemaak in die geval van *Nocardia*-skuim. Hier bestaan 65,85 % van die vetsure wat deur ekstraksie verkry is, uit palmetien-, stearine- en oleïensure, teenoor 70,85 % in die geval van die tweede ekstraksiemethode. In hierdie geval is dit egter net die oleïensuurkonsentrasie wat bykans dubbel dié is wat deur eter-ekstraksie verkry word. Die bevinding dat oleïensuur in die selwand van *N. amarae* voorkom, is in ooreenstemming met dit van Lechevalier,³¹ soos in Afdeling 3.4.2 bespreek word.

b) Die produksie van benattingsmiddels

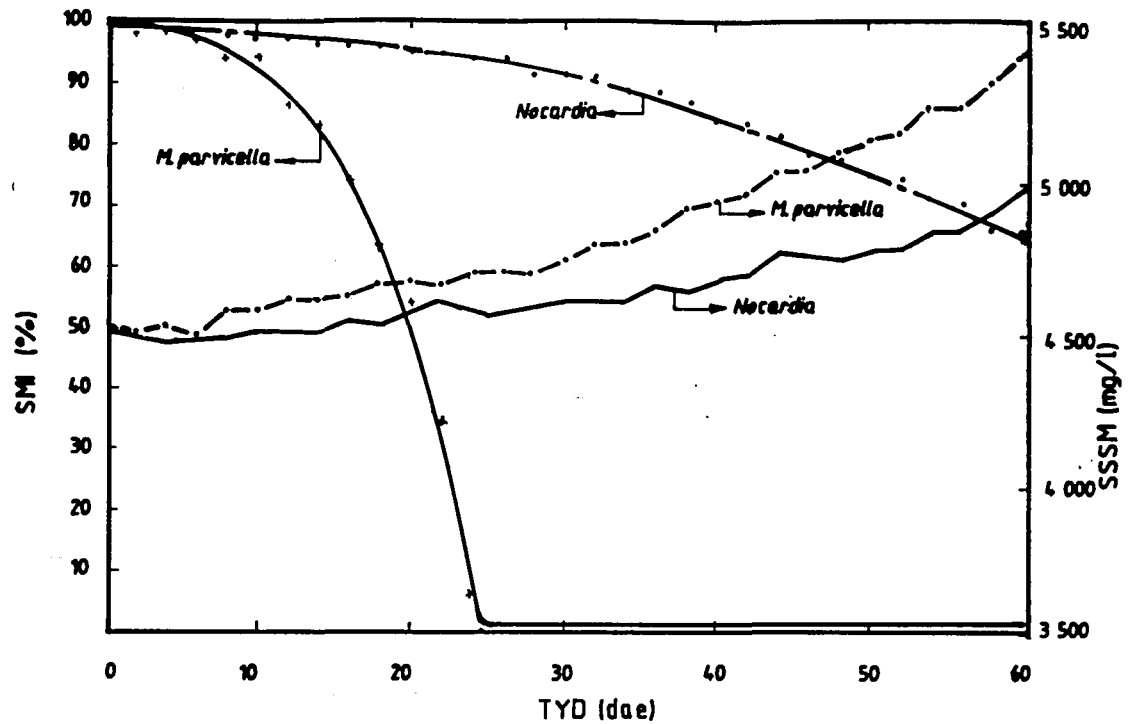
Die bedryf van die selektorreaktors was sodanig dat veral oor die eerste 6 dae van die ondersoek, ignoreerbaar min slyk in die besinktenks beland het, aangesien dit intern in die belugtingsgedeelte geselekteer en dan gehersirkuleer is. Na ongeveer 6 dae het 'n nie-drywende fraksie in die besinktenk begin verskyn. Hierdie visuele waarneming word deur die volgende resultate gestaaf:- Die skuimvermoë van *M. parvicella*-dominante slyk het na 'n aanvanklike stabiele 10 dae periode begin afneem totdat dit na ongeveer 25 dae oor geen skuimvermoë beskik het nie.

Daarenteen het die skuimvermoë van die *Nocardia*-dominante slyk, na 'n aanvanklike stabiele toestand, afgeneem totdat 'n skuimindeks van 60,5 % na 60 dae bereik is.

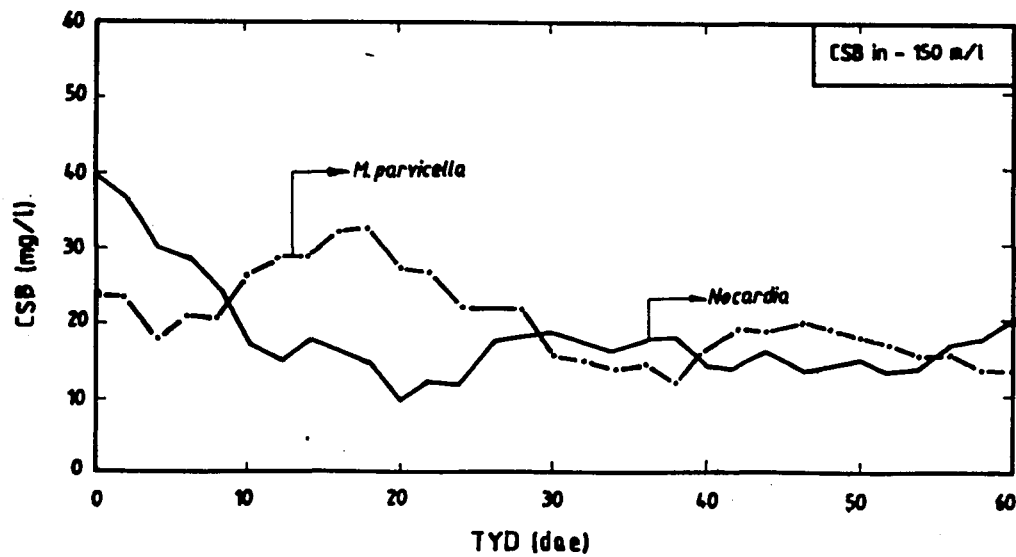
Die afname in die skuimindeks en die ooreenstemmende SSSM-konsentrasies word in Figuur A.2 teenoor tyd aangetoon.

Die uitvloeisel CSB's van albei reaktors was deurgaans baie laag, soos uit Figuur A.3 blyk, wat daarop dui dat die slykmengsel aktief was ten spyte van die relatief lae CSB-substraattoevoer.

Die mikroskopiese ondersoek het egter aangetoon dat ander draadvormige organismes geleidelik in die stelsel begin toeneem het en teen 60 dae oorheersend was in albei stelsels. Die nie-flotteerbare fraksies tydens skuimindeksbepaling het weer eens 'n mengsel van slykorganismes getoon, met die *M. parvicella*-spesie duidelik waarneembaar in die een stelsel, maar geen *Nocardia* in die ander nie.



Figuur A.2: Afname in die skuimvermoë van die skuimbakterieë met 'n lae CSB-sintetiese substraat as voedingsbron.



Figuur A.3: Wisseling in uitvloeisel-CSB's vir albei reaktors met 'n lae CSB-sintetiese substraat as voedingsbron.

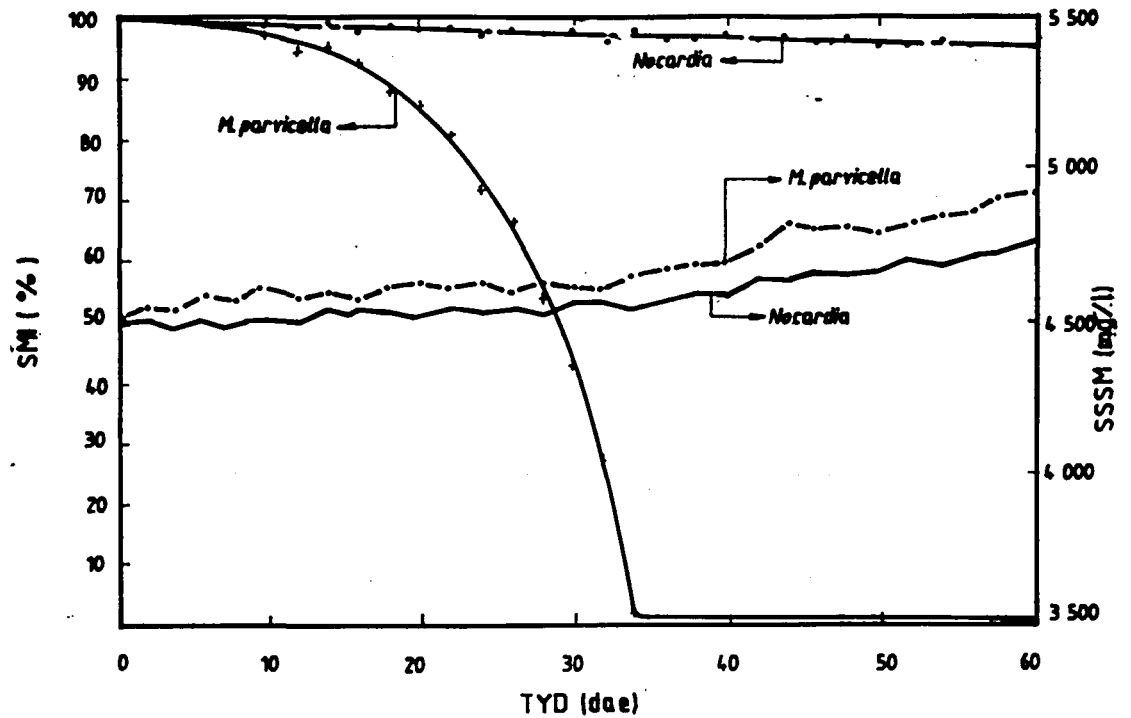
Dit kom dus voor of *M. parvicella* nie alleenlik opgehou het om 'n benattingsmiddel te produseer nie, maar ook die aanvanklike benattingsmiddel geabsorbeer het. Daarenteen het *Nocardia* nie sy benattingsmiddel geabsorbeer en dus sy skuimvermoë verloor nie. Die afname in die skuimkonsentrasie van die *Nocardia*-stelsel word dus hoofsaaklik toegeskryf aan die toename van ander organismes in die stelsel, terwyl dit in die *M. parvicella*-stelsel 'n bydraende faktor was.

Die ondersoek waartydens kraanwater die substraat was, het dieselfde tendens geopenbaar. Die skuimvermoë van die *M. parvicella*-dominante slyk het weer eens, na 'n aanvanklike stabiele 10 dae periode, begin afneem totdat dit na ongeveer 34 dae oor geen skuimvermoë beskik het nie. Daarenteen het die skuimvermoë van die *Nocardia*-dominante slyk deurgaans feitlik konstant gebly en oor die ondersoekperiode slegs afgeneem tot 90,5 %.

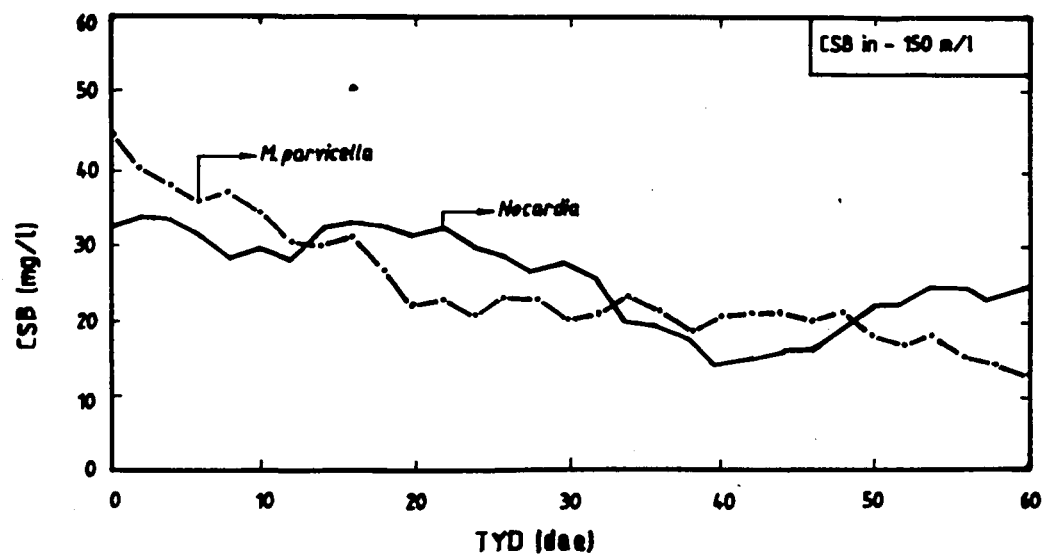
Die skuimindekse en ooreenstemmende SSSM-konsentrasies word in Figuur A.4 teenoor tyd aangetoon.

Die uitvloeisel CSB's van albei reaktors was deurgaans baie laag, soos uit Figuur A.5 blyk, wat daarop dui dat die slykmengsel aktief gebly het ten spyte van die baie lae CSB-substraat-toevoer.

Die mikroskopiese ondersoeke het aangetoon dat die toename in ander draadvormige bakterieë tot 'n minimum beperk is. Dit word ook geïllustreer deur die feit dat die skuimindeks van die *Nocardia*-dominante slyk so konstant hoog gebly het. Die nie-flotteerbare fraksies tydens skuimindeksbepaling het in die geval van die *M. parvicella*-slyk, hierdie organisme dominant getoon, wat dus bewys dat *M. parvicella* sy skuimbaareheid mettertyd verloor het.



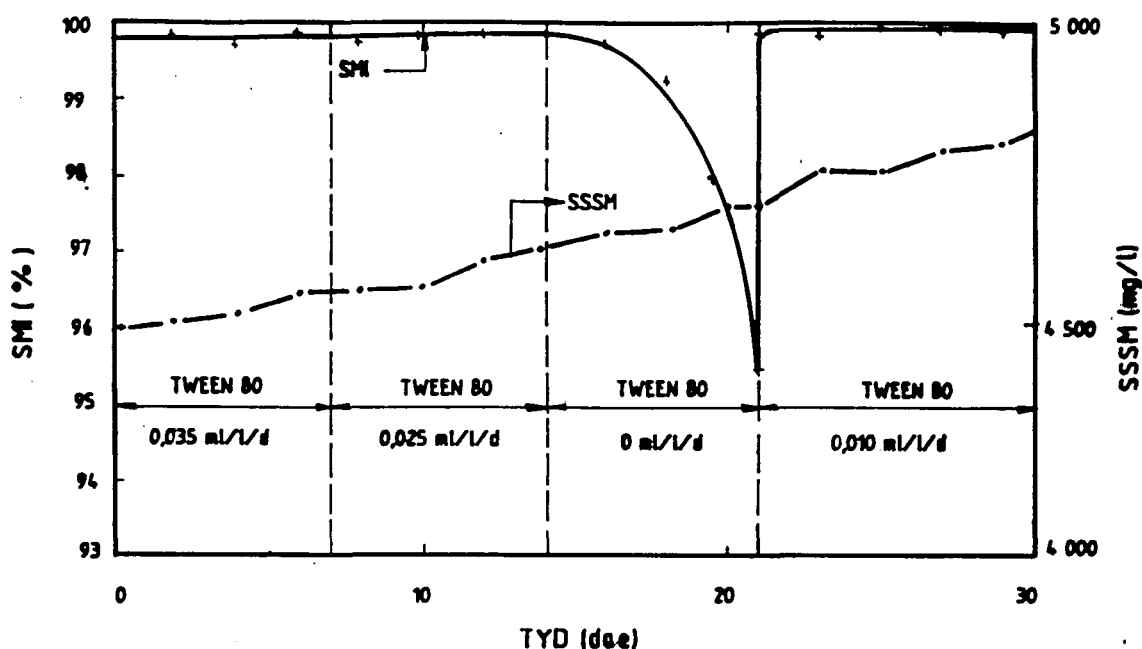
Figuur A.4: Afname in die skuimvermoë van die skuimbakterieë met kraanwater as voedingsbron.



Figuur A.5: Wisseling in uitvloeisel-CSB's vir albei reaktors met kraanwater die voedingsbron.

c) Poging om nie-skuimende, potensieel skuimvormende organismes te laat skuim

Die slykmengsel het van die staanspoor af in geheel geskuim, soos die baie hoë en feitlik konstante aanvanklike skuimindeks in Figuur A.6 aantoon.

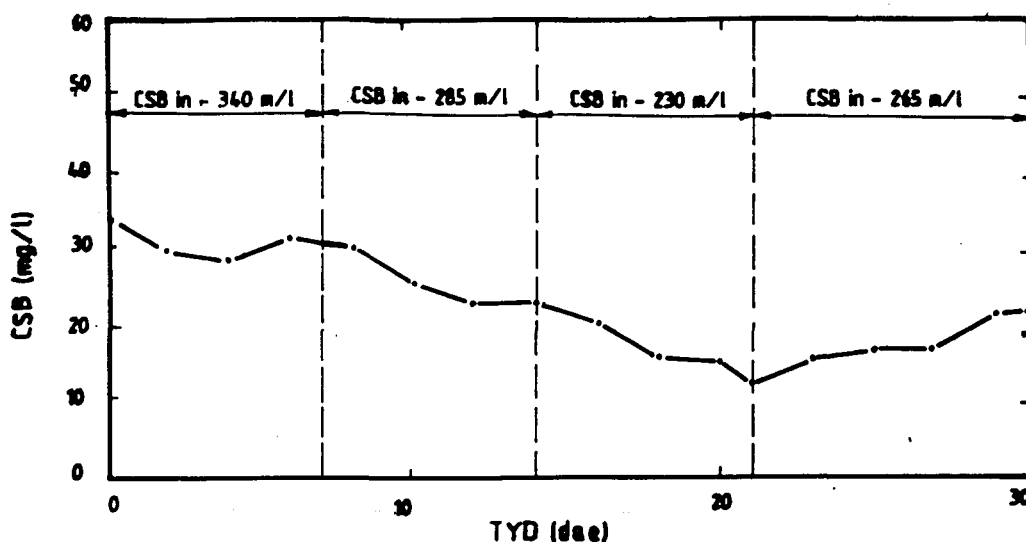


Figuur A.6: Wisseling in skuimindeks met varieerende dosisse Tween 80

Die rede hiervoor is dat Tween 80 'n seep- en dus 'n skuimmiddel is. Weens die oënskynlike te hoë konsentrasie waarin dit gedoseer is, het dit teen die selwande van die ander nie-skuimvormende organismes geadsorbeer wat tot gevolg het dat hierdie organismes ook begin flotter het. Eers nadat dosering van Tween 80 na 2 weke beëindig is, het die skuimindeks in geheel effens afgeneem, maar die skuimvermoë van *M. parvicella* het gelyktydig verminder soos blyk uit die mikroskopiese ondersoek van die nie-geflotterde fraksies. Dit het dus nie selektief aanhou skuim nie. Hoewel die dosering van Tween 80 hervat is in baie klein hoeveelhede, het die proses hom herhaal. Dit kom dus voor of daar spesifieke bykomende toestande moet heers, byvoorbeeld 'n korrekte pH- of temperatuurbestek, voordat *M. parvicella* selektief sal begin skuim.

Die CSB van die uitvloeisel was deurgaans laag soos uit Figuur A.7 blyk,

wat daarop dui dat die slykmengsel tydens die ondersoek deurgaans aktief gebly het.



Figuur A.7: Wisseling in uitvloeisel CSB met varieerende dosisse Tween 80.

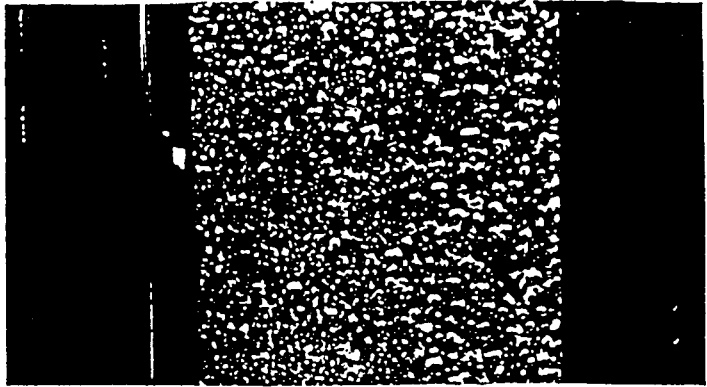
A.6 GEVOLGTREKKING

- a) Oleyensuur kom in 'n beduidende hoeveelheid voor in die selwand van *Nocardia*. Die hipotese is dat hierdie vetsuur deur die organisme self geproduseer en vrygestel word en sodoende as die benattingsmiddel optree, wat skuimvoorkoms tot gevolg het.
- b) Oleyensuur en in 'n mindere mate linoleyensuur kom voor in die selwand van *M. parvicella*. Volgens Slijkhuis⁴⁶ word die oleyensuur deur die organisme uit die substraat opgeneem en gestoor, gevolg deur 'n stadige opname daarvan. Die hipotese is dus dat hierdie produk die benattingsmiddel vorm wat skuimvoorkoms onder sekere omstandighede tot gevolg het.
- c) Geen bewys kon uit die ondersoek gevind word dat *Nocardia* enigsins bestaan anders as in 'n toestand van skuimvorming nie. Die benattingsmiddel word nie tydens 'n toestand van lae organiese lading (toestand van verhongering) deur die organisme self opgeneem nie.
- d) *M. parvicella* daarenteen verloor mettertied sy skuimvermoë tydens 'n toe-

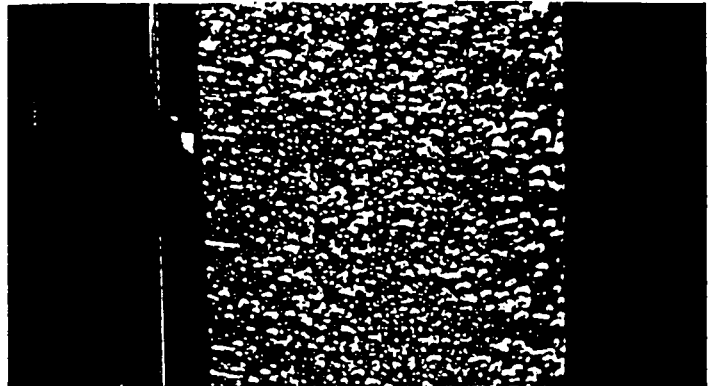
stand van lae organiese lading en met geen vetverwante produkte en spesifieke oleaatsamestellings in die substraattoevoer nie.

- e) Met hierdie ondersoek kon nie vasgestel word onder watter bedryftoestand of kombinasie daarvan, *M. parvicella* sy skuimvermoë herwin nie.

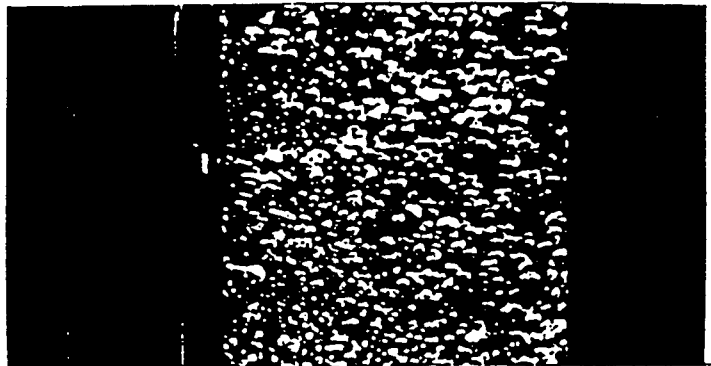
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 1
Borrelgrootte: 0,5 mm



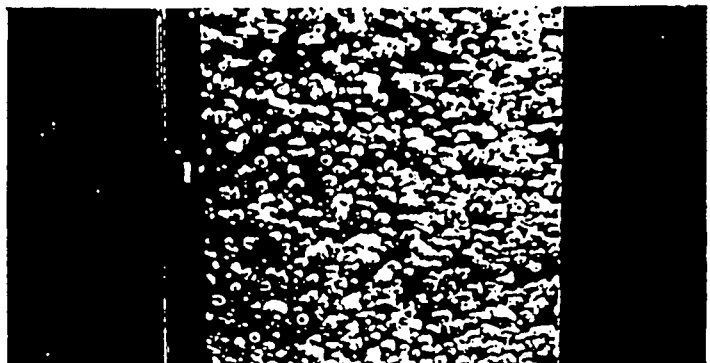
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 2
Borrelgrootte: 1,0 mm



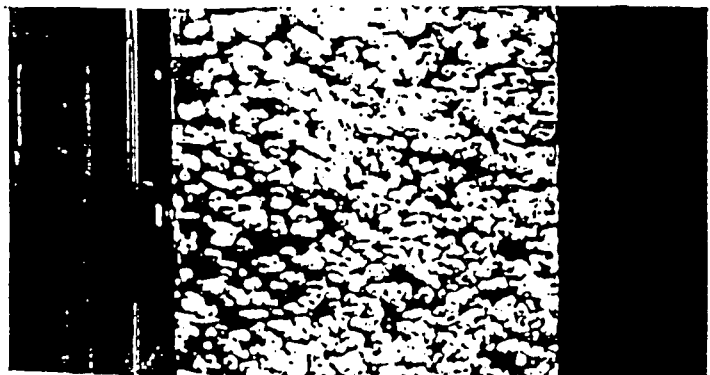
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 3
Borrelgrootte: 1,56 mm



BEDRYFSKOMBINASIE NR. 4
Borrelgrootte: 2,7 mm

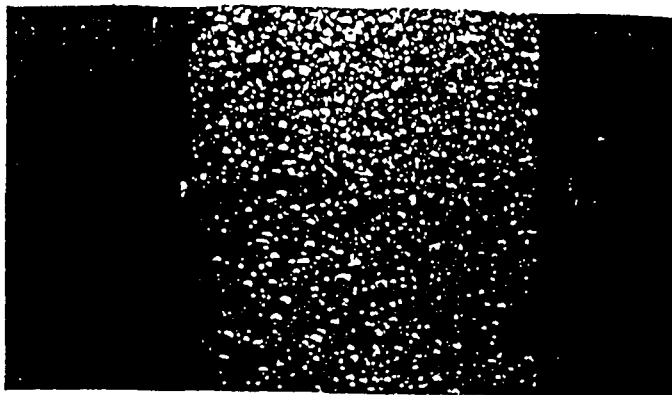


BEDRYFSKOMBINASIE NR. 5
Borrelgrootte: 5,0 mm

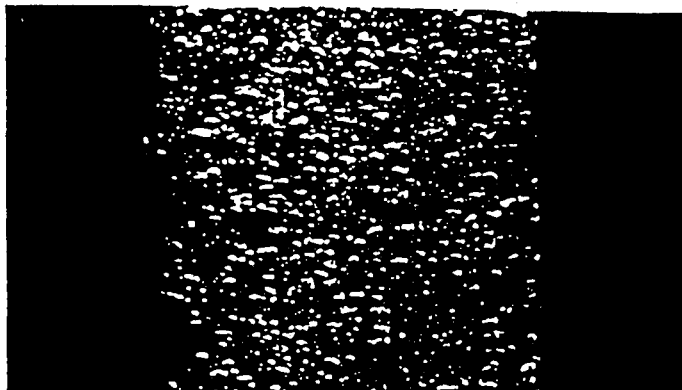


Figuur B.1: Borrelgroottebepaling

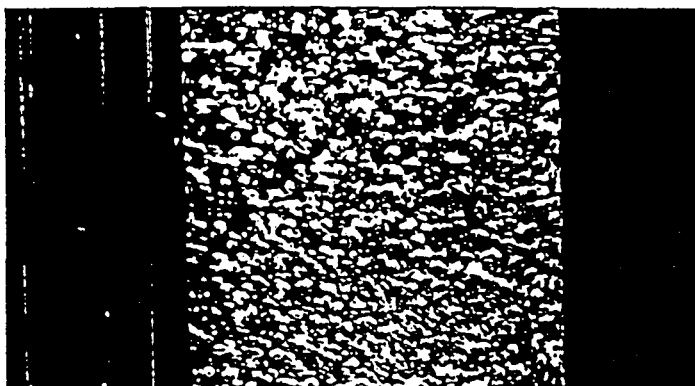
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 6
Borrelgrootte: 0,57 mm



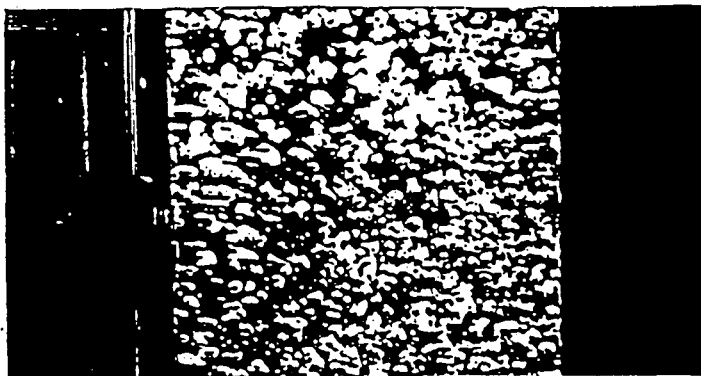
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 7
Borrelgrootte: 1,17 mm



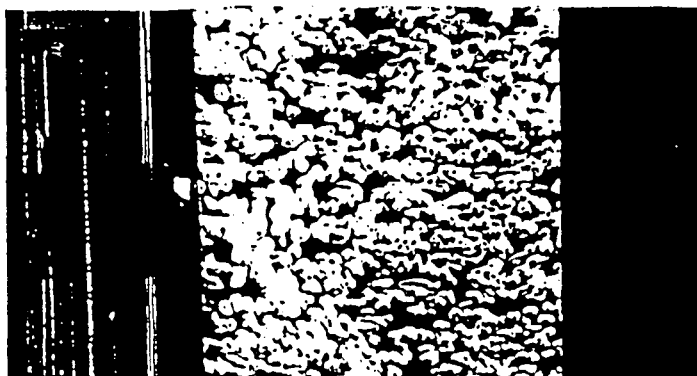
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 8
Borrelgrootte: 1,8 mm



BEDRYFSKOMBINASIE NR. 9
Borrelgrootte: 3,0 mm

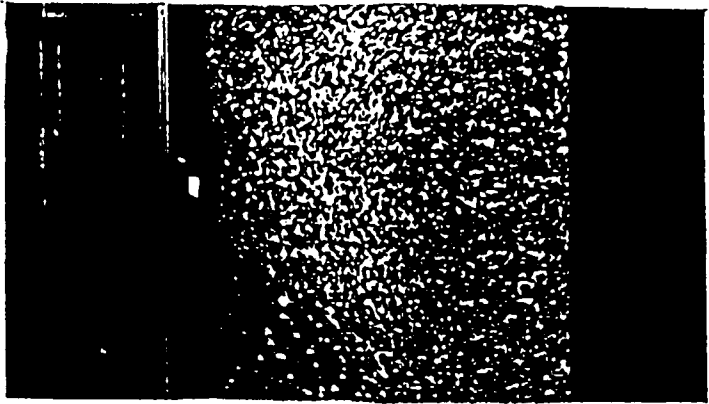


BEDRYFSKOMBINASIE NR. 10
Borrelgrootte: 6,17 mm

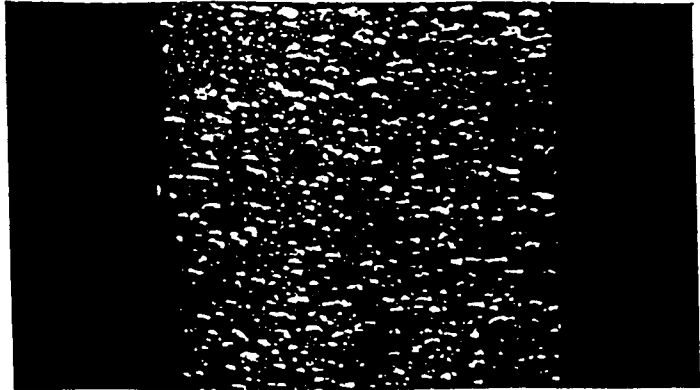


Figuur B.1: Borrelgroottebepaling (vervolg)

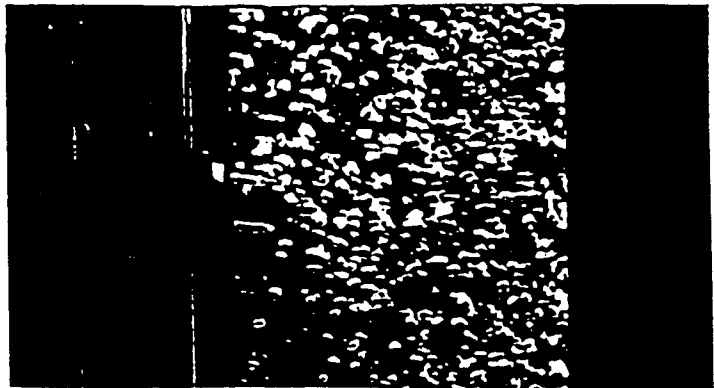
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 11
Borrelgrootte: 0,6 mm



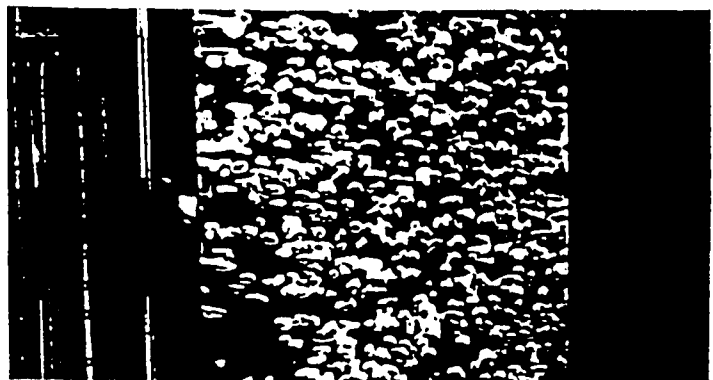
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 12
Borrelgrootte: 1,28 mm



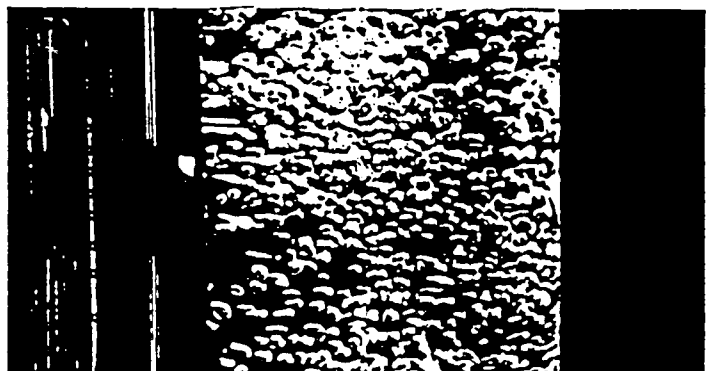
BEDRYFSKOMBINASIE NR. 13
Borrelgrootte: 2,0 mm



BEDRYFSKOMBINASIE NR. 14
Borrelgrootte: 3,5 mm



BEDRYFSKOMBINASIE NR. 15
Borrelgrootte: 6,5 mm



Figuur B.1: Borrelgroottebepaling (vervolg)

TABEL B.1: Skuiminhoud, Z in lotbedryfde stelsel, versus tyd, tydens fraksionering.

Bedryfs- kombina- sie Nr.	Fraksioneringstyd (min)								
	0	2	5	8	15	30	60	60	60
1	1000	250	100	50	10	8	4	2	0
2	1000	500	200	120	60	40	20	10	5
3	1000	550	250	150	90	60	30	15	7
4	1000	600	320	210	130	90	50	30	17
5	1000	670	380	250	170	110	60	40	22
6	1000	720	480	300	200	130	70	45	25
7	1000	750	500	350	220	150	80	48	28
8	1000	760	520	370	230	170	90	50	30
9	1000	780	560	410	260	200	150	90	50
10	1000	790	570	420	270	210	160	100	55
11	1000	760	520	370	230	170	90	50	30
12	1000	770	550	390	250	180	95	65	34
13	1000	780	560	410	260	230	150	90	48
14	1000	790	570	425	275	242	160	100	56
15	1000	800	575	430	280	230	165	105	58
16	1000	760	520	370	230	170	90	50	30
17	1000	765	530	385	240	170	100	55	35
18	1000	770	535	395	250	190	105	57	40
19	1000	785	570	415	260	200	112	62	45
20	1000	780	565	415	260	210	150	90	50
21	1000	810	580	450	310	260	200	110	60
22	1000	810	590	460	320	270	215	115	62
23	1000	812	595	465	330	290	160	118	63
24	1000	815	610	480	340	300	165	122	66
25	1000	820	618	495	350	310	170	130	72

TABEL B.2: Z VERSUS VIR VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
1	Lineaar	1000	60	0,94	1000	10	0,99	1000	10	0,99	1000	8	0,99	1000	10	0,99	1000	10	0,99
		400	28	0,93	300	6	0,98	200	4	0,98	200	4	0,98	125	3	0,98	125	3	0,98
	Logarit- miese Funksies	400	28	0,93	300	6	0,98	200	4	0,98	200	4	0,98	125	3	0,98	125	3	0,98
		300	27	0,91	200	6	0,97	150	5	0,97	100	3	0,97	50	3	0,95	50	3	0,95
		250	28	0,89	100	4	0,96	100	5	0,95	75	5	0,94	15	2	0,88	15	2	0,88
		200	26	0,87	50	6	0,89	50	5	0,90	25	3	0,90						
		150	24	0,84	25	4	0,86	25	5	0,80	20	3	0,85						
		100	21	0,79															
		50	15	0,70															
		35	14	0,60															
	R ₁ -Faktor	0,972			0,941			0,933			0,934			0,936			0,936		
		17,1			59,6			55,4			71,2			68,5			68,5		
		12,8			9,0			8,3			5,3			5,0			5,0		
	Mags Funksie	35	14,0	0,60	25	35	0,86	25	5,0	0,80	20	3,0	0,85	15	1,8	0,88	15	1,8	0,88
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₂ -Faktor	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
		0,14			0,31			0,31			0,44			0,35			0,48		
		1,07			1,14			1,14			1,19			1,16			1,27		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIOOR (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
2	Linieer	1000	120	0,88	1000	60	0,94	1000	40	0,96	1000	40	0,96	1000	30	0,97	1000	80	0,97
		600	96	0,84	600	48	0,92	600	42	0,94	425	30	0,93	500	35	0,93	500	20	0,94
	Logarit- niese Funksies	650	104	0,84	600	48	0,92	600	42	0,94	425	30	0,93	500	35	0,93	500	20	0,94
		500	100	0,80	500	50	0,90	500	45	0,91	400	37	0,92	400	32	0,92	400	28	0,93
		400	96	0,76	400	44	0,89	400	44	0,89	300	27	0,91	300	30	0,90	300	21	0,91
		300	87	0,71	300	39	0,87	300	39	0,87	200	36	0,82	200	28	0,86	200	26	0,87
		200	82	0,59	200	36	0,82	200	36	0,82	100	28	0,72	100	30	0,70	100	24	0,76
		150	75	0,50	150	38	0,75	100	32	0,68	85	32	0,62	90	32	0,65	75	26	0,66
		100	62	0,30	90	36	0,60	75	30	0,60									
		75	53	0,29															
	E ₂ -Faktor	0,932			0,945			0,735			0,937			0,941			0,946		
		g			-120,0			-108,1			-50,4			-41,3			-35,8		
		h			30,1			27,2			18,9			21,2			20,1		
	Mags Funksie	75	53	0,29	90	36	0,60	75	30	0,60	85	32	0,62	90		0,65	75		0,66
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	E ₂ -Faktor	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
		log c			-0,38			-0,31			-0,29			-0,27			0,25		
		e			0,85			0,88			0,89			0,89			0,89		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
3	Linieer	1000	190	0,81	1000	90	0,91	1000	70	0,93	1000	60	0,94	1000	50	0,85	1000	50	0,95
		800	168	0,79	750	82	0,89	700	63	0,91	600	54	0,91	600	48	0,92	600	48	0,92
	Logarit- miese Funksies	800	168	0,79	750	82	0,89	700	63	0,91	600	54	0,91	600	48	0,92	600	48	0,92
		650	163	0,75	600	78	0,87	600	66	0,89	500	55	0,89	500	50	0,90	500	50	0,90
		500	160	0,68	500	80	0,84	500	65	0,87	400	52	0,87	400	48	0,88	400	48	0,88
		400	152	0,62	400	80	0,80	400	64	0,84	300	54	0,82	300	51	0,83	300	48	0,84
		300	144	0,52	300	78	0,74	300	63	0,79	250	53	0,79	250	50	0,80	250	30	0,80
		200	122	0,39	200	72	0,64	200	60	0,70	200	48	0,76	200	50	0,75	200	48	0,76
		150	104	0,31	150	68	0,55	150	55	0,63	150	51	0,66	150	49	0,67	150	48	0,68
		100	79	0,21	100	59	0,41	100	55	0,50	100	50	0,50	100	46	0,54	100	46	0,54
		0,996			0,969			0,957			0,931			0,951			0,941		
		-115,0			-63,6			-33,2			-44,1			-37,3			-35,2		
		29,3			23,65			19,17			21,7			20,7			20,4		
	Mags Funksie	100	79	0,21	100	59	0,41	100	55,5	0,50	100	30	0,50	100	46	0,54	100	46	0,54
		25	24	0,83	25	23	0,06	60	51	0,15	25	22	0,11	25	21	0,13	25	21	0,14
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	B ₁ -Faktor log c e	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
		-0,47			-0,29			-0,25			-0,19			-0,15			-0,15		
		0,81			0,88			0,89			0,92			0,93			0,93		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
4	Linieër	1000	230	0,77	1000	130	0,87	1000		0,90	1000	90	0,91	1000	80	0,92	1000	80	0,92
		800	200	0,75	850	119	0,86	835	100	0,88	750	37	0,87	700	77	0,89	700	77	0,89
	Logarit- miese Funksies	800	200	0,75	850	119	0,86	835	100	0,88	750	97	0,87	700	77	0,89	700	77	0,89
		650	195	0,70	650	117	0,82	650	97	0,85	500	90	0,82	500	75	0,85	600	72	0,88
		600	198	0,67	500	115	0,77	500	95	0,81	400	88	0,78	400	76	0,81	500	70	0,86
		500	195	0,61	400	112	0,72	400	96	0,76	300	84	0,72	300	75	0,75	400	68	0,83
		400	188	0,53	300	111	0,63	300	93	0,69	250	82	0,67	250	75	0,70	300	69	0,77
		300	174	0,42	200	104	0,48	250	92	0,63	200	74	0,63	200	74	0,63	250	67	0,73
		200	144	0,28	150	94	0,37	200	88	0,56	150	75	0,50	150	67	0,55	200	76	0,67
		150	123	0,18				150	85	0,43							150	64	0,57
								125	78	0,37							115	62	0,46
	<u>R_t-Faktor</u>	0,998			0,979			0,968			0,959			0,974			0,962		
	g	-157,0			-106,7			-90,7			-60,1			-53,3			-68,0		
	h	35,1			29,3			27,3			22,7			22,1			24,9		
	Mags Funksie	150	123	0,18	150	95	0,37	125	79	0,37	150	75	0,50	150	68	0,55	115	62	0,46
		25	25	0,02	25	24	0,05	25	23	0,08	25	23	0,08	25	23	0,09	25	23	0,08
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>R_t-Faktor</u>	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,57			-0,37			-0,28			-0,27			-0,24			-0,25		
	e	0,77			0,84			0,88			0,88			0,90			0,90		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
5	Linieër				1000	170	0,83	1000	110	0,89	1000	110	0,89	1000	110	0,89	1000	90	0,91
					900	162	0,82	900	126	0,86	850	110	0,87	700	98	0,86	750	90	0,88
	Logarit- miese Funksies	1000	250	0,71	900	162	0,82	900	126	0,86	850	110	0,87	700	98	0,86	750	90	0,88
		800	256	0,68	750	150	0,80	750	127	0,83	650	110	0,83	650	97	0,85	650	91	0,86
		700	252	0,64	650	149	0,77	650	123	0,81	500	110	0,78	500	100	0,80	500	90	0,82
		600	246	0,59	500	150	0,70	500	125	0,75	400	108	0,73	400	100	0,75	400	88	0,78
		500	235	0,53	400	144	0,64	400	124	0,69	300	105	0,65	300	96	0,68	300	90	0,70
		400	220	0,45	300	141	0,53	300	120	0,60	250	102	0,59	250	92	0,63	250	87	0,65
		300	195	0,35	200	124	0,38	250	115	0,54	200	100	0,50	200	92	0,54	200	84	0,58
		200	162	0,19	160	113	0,29	200	110	0,45	150	91	0,39	150	84	0,44	150	79	0,47
								150	99	0,34									
	<u>R₁-Faktor</u>	0,999			0,993			0,984			0,983			0,978			0,973		
	g	-173,9			-138,5			-117,9			-108,4			-87,7			-74,5		
	h	36,4			33,3			30,8			30,0			26,9			25,0		
	Mags Funksie	200	162	0,19	160	113	0,29	150	99	0,34	150	91	0,39	150	84	0,44	150	79	0,47
		25	24	0,01	25	24	0,03	25	23	0,06	25	23	0,05	25	23	0,07	25	23	0,07
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>R₂-Faktor</u>	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,63			-0,45			-0,36			-0,36			-0,30			-0,30		
	e	0,74			0,81			0,85			0,85			0,87			0,88		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
6	Linieër				1000	210	0,80	1000	160	0,84	1000	130	0,87	1000	120	0,88	1000	100	0,90
					800	176	0,78	900	153	0,83	860	129	0,85	750	105	0,86	645	103	0,84
	Logarit- miese Funksies	1000	320	0,68	800	176	0,78	900	153	0,83	860	129	0,85	750	105	0,86	645	103	0,84
		800	296	0,63	650	175	0,73	645	141	0,78	645	122	0,81	700	105	0,85	600	120	0,80
		650	279	0,57	500	170	0,66	500	140	0,72	500	120	0,76	645	109	0,83	400	96	0,76
		500	270	0,46	400	164	0,59	400	140	0,65	400	120	0,70	500	110	0,78	300	96	0,68
		400	244	0,39	300	153	0,49	300	132	0,56	300	114	0,62	400	108	0,73	250	92	0,63
		300	213	0,29	250	147	0,41	250	127	0,49	250	110	0,56	300	105	0,65	200	88	0,56
		250	195	0,22	200	134	0,33	200	118	0,41	200	106	0,47	200	96	0,52	150	81	0,46
		220	190	0,18	175	126	0,28	140	99	0,29	150	94	0,37	150	85	0,43			
	R ₁ -Faktor	0,999			0,993			0,996			0,987			0,990			0,971		
	g	-174,5			-144,9			-133,7			-113,9			-92,2			-75,6		
	h	35,1			33,7			33,0			30,5			27,3			24,8		
	Mags Funksie	220	180	0,18	175	126	0,28	140	99	0,29	150	94	0,37	150	85	0,93	150		0,46
		25	24	0,01	25	24	0,02	25	24	0,04	25	24	0,04	25	23	0,06	25	23	0,06
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,60			-0,61			-0,41			-0,34			-0,32			-0,31		
	e	0,73			0,80			0,83			0,86			0,87			0,87		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN REKENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	REKENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
7	Lineaar										1000	150	0,85	1000	130	0,87	1000	110	0,89
											900	144	0,84	790	126	0,84	800	112	0,86
	Logarit- miese Funksies	1000	340	0,66	1000	220	0,80	1000	170	0,83	900	144	0,84	790	126	0,84	800	112	0,86
		800	304	0,62	800	192	0,76	800	160	0,80	805	136	0,83	700	126	0,82	700	112	0,84
		700	301	0,57	700	189	0,73	700	161	0,77	700	140	0,80	600	126	0,79	600	114	0,81
		600	288	0,52	600	186	0,69	600	156	0,74	600	138	0,77	500	125	0,75	500	110	0,78
		500	275	0,45	500	185	0,63	500	160	0,68	500	135	0,73	400	120	0,70	400	108	0,73
		400	252	0,37	400	180	0,55	400	152	0,62	450	132	0,67	300	117	0,61	300	108	0,64
		300	225	0,25	300	168	0,44	300	144	0,52	300	129	0,57	200	106	0,47	200	100	0,50
		340	199	0,17	200	144	0,28	200	128	0,36	200	116	0,42	150	96	0,36	140	86	0,38
					190	138	0,27	160	115	0,28	150	100	0,33						
	R ₁ -Faktor	0,985			0,976			0,996			0,974			0,964			0,972		
	g	-181,5			-126,8			-110,4			-95,8			-79,1			-66,6		
	h	37,6			31,3			29,7			27,9			25,1			23,9		
	Mags Funksie	240	199	0,17	190	138	0,27	160	115	0,28	150	100	0,33	150	96	0,36	140	86	0,38
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,989			0,998			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,78			-0,61			-0,48			-0,46			-0,36			-0,35		
	e	0,70			0,76			0,82			0,83			0,86			0,85		

TABEL B.2: Z VERSUS VIE VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
8	Lineaar										1000	170	0,85	1000	140	0,86	1000	130	0,87
											950	152	0,84	800	136	0,83	800	120	0,85
	Logarit- miese Funksies	1000	350	0,65	1000	230	0,77	1000	190	0,81	950	152	0,84	800	136	0,83	800	120	0,85
		800	320	0,60	800	200	0,75	750	172	0,77	800	152	0,81	600	138	0,77	600	120	0,80
		700	308	0,56	700	203	0,71	600	174	0,71	600	150	0,75	500	135	0,73	500	120	0,76
		650	305	0,53	600	198	0,67	500	170	0,66	500	150	0,70	400	132	0,67	400	116	0,71
		600	300	0,50	500	200	0,60	400	168	0,58	400	148	0,63	300	126	0,58	300	114	0,62
		550	291	0,47	400	196	0,51	300	156	0,48	300	141	0,53	250	120	0,52	250	110	0,56
		500	285	0,43	300	180	0,40	250	150	0,40	250	135	0,46	200	112	0,44	200	102	0,49
		450	224	0,39	250	170	0,32	200	136	0,32	200	124	0,38	150	85	0,43	150	94	0,37
		300	231	0,23													125	86	0,31
		250	210	0,16															
	R ₂ -Faktor	0,999			0,995			0,997			0,990			0,991			0,985		
	g	-197,6			-175,2			-153,5			-129,7			-114,1			-110,3		
	h	83,6			37,7			35,1			31,9			29,9			29,8		
	Mags Funksie	250	210	0,16	250	170	0,32	200	136	0,32	200	124	0,38	150	85	0,43	125	86	0,31
		25	24	0,005	25	24	0,01	25	24	0,03	25	24	0,03	25	24	0,05	25	24	0,04
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	1,0			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,81			-0,63			-0,50			-0,46			-0,38			-0,40		
	e	0,69			0,75			0,80			0,81			0,84			0,84		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
9	Linieer													1000	190	0,81	1000	180	0,82
														850	187	0,78	850	153	0,80
	Logarit- miese Funksies	1000	400	0,60	1000	260	0,74	1000	200	0,77	1000	200	0,77	850	187	0,78	850	153	0,80
		800	352	0,56	800	256	0,68	800	224	0,72	800	224	0,72	800	184	0,77	800	176	0,78
		700	357	0,49	700	252	0,64	650	208	0,68	750	232	0,69	750	217	0,71	750	202	0,73
		600	342	0,43	600	252	0,58	500	215	0,57	500	180	0,64	500	185	0,63	520	182	0,65
		500	330	0,34	500	245	0,51	400	212	0,47	400	196	0,51	400	184	0,54	400	172	0,57
		400	304	0,24	400	236	0,41	300	198	0,34	300	186	0,38	300	180	0,40	300	165	0,45
		350	283	0,19	300	219	0,27	250	187	0,25	250	177	0,29	250	167	0,33	250	160	0,36
		290	252	0,13							275	168	0,25	200	156	0,22	200	148	0,26
	R ₁ -Faktor	0,998			0,994			0,994			0,985			0,982			0,981		
	g	-229,2			-211,2			-201,6			-180,0			-173,3			-160,9		
	h	42,5			42,0			41,3			38,2			37,5			35,8		
	Mags	290	252	0,13	300	219	0,27	250	187	0,25	225	168	0,25	200	156	0,22	200	148	0,26
	Funksie	25	24	0,03	25	23	0,05	25	21	0,15	25	21	0,13	25	24	0,02	25	23	0,05
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₂ -Faktor	1,0			1,0			1,0			1,0			0,99			0,98		
	log c	-0,91			-0,77			-0,62			-0,63			-0,55			-0,59		
	e	0,65			0,71			0,75			0,75			0,77			0,77		

TABEL B.2: Z VERSUS IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
10	Linieër													1000	210	0,79	1000	200	0,80
														860	197	0,77	900	189	0,79
	Logarit- miese Funksies	1000	420	0,58	1000	270	0,72	1000	210	0,76	1000	210	0,77	860	197	0,77	900	189	0,79
		800	376	0,53	800	256	0,68	800	224	0,72	800	216	0,73	800	200	0,75	800	192	0,76
		700	364	0,48	700	252	0,64	700	231	0,67	700	210	0,70	700	196	0,72	700	189	0,73
		600	360	0,40	600	252	0,58	600	228	0,62	600	210	0,65	600	186	0,69	600	192	0,68
		500	340	0,32	500	245	0,51	500	225	0,55	500	205	0,59	500	195	0,61	500	185	0,63
		400	312	0,22	400	236	0,41	400	216	0,46	400	200	0,50	400	192	0,52	400	180	0,55
		300	264	0,12	300	219	0,27	300	204	0,32	300	189	0,37	300	183	0,39	300	171	0,43
					260	205	0,21	250	177	0,24	225	186	0,25	210	159	0,24	200	150	0,25
	R ₁ -Faktor	0,968			0,959			0,974			0,958			0,959			0,966		
	g	-233,3			-212,3			-206,1			-184,3			-178,1			-166,6		
	h	44,1			42,3			41,8			38,8			38,1			36,3		
	Mags Funksie	300	264	0,12	260	205	0,21	250	178	0,29	225	168	0,25	210	159	0,24	200	150	0,25
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,988			0,991			0,989			0,990			0,993			0,997		
	log c	-1,11			-0,90			-0,83			-0,83			-0,80			-0,75		
	e	0,61			0,65			0,67			0,67			0,69			0,71		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN REKENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	REKENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
11	Linieër										1000	150	0,85	1000	140	0,86	1000	130	0,87
											950	152	0,84	800	136	0,83	800	120	0,85
	Logarit- miese Funksies	1000	450	0,65	1000	140	0,86	1000	130	0,87	950	152	0,84	800	136	0,83	800	120	0,85
		800	336	0,58	800	112	0,84	800	112	0,86	800	112	0,86	500	75	0,85	500	70	0,86
		700	315	0,55	700	133	0,81	500	105	0,79	500	90	0,82	400	76	0,81	400	72	0,82
		600	300	0,50	600	132	0,78	400	104	0,74	400	88	0,78	300	75	0,75	300	69	0,77
		500	290	0,42	500	130	0,74	300	105	0,65	300	58	0,71	200	74	0,63	200	66	0,67
		250	210	0,16	400	128	0,68	250	100	0,60	200	80	0,60	150	67	0,55	150	64	0,57
					300	126	0,58	200	94	0,53	150	75	0,50				115	62	0,46
					200	114	0,43	150	87	0,42									
					150	99	0,34												
	R ₁ -Faktor	0,999			0,989			0,977			0,959			0,974			0,96		
		g			-197,8			-174,4			-151,6			-129,6			-114,0		
		h			38,7			37,6			34,9			31,8			29,9		
	Mags Funksie	250	210	0,16	150	99	0,34	150	87	0,42	150	75	0,50	150	67	0,55	115	62	0,46
		25	24	0,01	25	24	0,04	25	23	0,07									
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₂ -Faktor	0,99			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
		log c			-0,81			-0,50			-0,46			-0,30			-0,40		
		e			0,69			0,80			0,81			0,84			0,84		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
12	Linieër													1000	170	0,83	1000	160	0,84
														825	165	0,80	850	153	0,82
	Logarit- miese Funksies	1000	370	0,63	1000	250	0,75	1000	200	0,80	1000	180	0,82	825	165	0,80	850	153	0,82
		800	344	0,57	800	224	0,72	800	200	0,75	800	176	0,78	800	168	0,79	800	152	0,81
		700	336	0,52	700	224	0,68	700	196	0,72	700	175	0,75	700	168	0,76	700	154	0,78
		600	324	0,46	600	222	0,63	600	198	0,67	600	174	0,71	600	168	0,72	600	156	0,74
		500	317	0,37	500	220	0,56	500	195	0,61	500	175	0,65	500	165	0,67	500	155	0,69
		400	292	0,27	400	216	0,46	400	192	0,52	400	172	0,57	400	164	0,59	400	132	0,62
		300	252	0,16	300	204	0,33	300	183	0,39	300	165	0,45	300	156	0,48	300	147	0,51
		280	240	0,14	240	184	0,23	225	171	0,24	200	146	0,27	200	138	0,31	200	132	0,34
														175	126	0,28	180	126	0,30
	R ₂ -Faktor	0,975			0,968			0,990			0,968			0,959			0,958		
	g	-210,1			-185,3			-166,1			-138,8			-122,0			-118,2		
	h	38,3			38,5			36,6			33,2			31,3			30,2		
	Mags Funksie	280	240	0,14	240	184	0,23	225	171	0,24	200	147	0,27	175	126	0,28	180	126	0,30
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₂ -Faktor	0,985			0,983			0,992			0,985			0,911			0,996		
	log c	-0,85			-0,45			-0,43			-0,40			-0,41			-0,37		
	e	0,68			0,84			0,83			0,83			0,83			0,85		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
13	Linieer													1000	190	0,81	1000	180	0,82
														850	187	0,78	850	170	0,80
	Logarit- miese Funksies	1000	390	0,61	1000	260	0,75	1000	230	0,77	1000	140	0,86	850	187	0,78	850	170	0,80
		800	360	0,55	800	248	0,69	800	216	0,73	800	200	0,75	800	184	0,77	800	176	0,78
		700	350	0,50	700	252	0,64	650	221	0,66	750	232	0,69	750	217	0,71	750	202	0,73
		600	342	0,43	600	252	0,58	500	215	0,57	500	200	0,60	500	185	0,63	500	175	0,65
		500	325	0,35	500	240	0,52	400	212	0,47	400	196	0,51	400	180	0,55	400	172	0,57
		400	304	0,24	400	232	0,42	300	198	0,34	300	186	0,38	300	177	0,41	300	165	0,45
		350	280	0,20	300	219	0,27	250	187	0,25	250	177	0,29	250	167	0,33	250	160	0,36
		290	252	0,13							225	168	0,25	200	154	0,23	200	148	0,26
	<u>R₁-Faktor</u>	0,998			0,994			0,994			0,985			0,982			0,981		
	g	-229,2			-211,2			-201,6			-180,0			-173,3			-160,9		
	h	42,5			42,0			41,3			38,2			37,5			35,8		
	Mags	290	252	0,13	300	219	0,27	250	187	0,25	225	168	0,25	200	154	0,23	200	148	0,26
	Funksie	25	24	0,003	25	24	0,005	25	24	0,015	25	24	0,013	25	24	0,023	25	24	0,015
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>R₂-Faktor</u>	1,0			1,0			0,991			0,981			0,993			0,984		
	log c	-0,91			-0,77			-0,62			-0,63			-0,55			-0,59		
	e	0,65			0,71			0,75			0,75			0,77			0,77		

TABEL B.2: Z VERSUS IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
14	Linieer													1000	220	0,78	1000	200	0,80
														875	220	0,76	900	198	0,78
	Logarit- miese Funksies	1000	440	0,56	1000	275	0,72	1000	242	0,76	1000	240	0,76	875	220	0,76	900	198	0,78
		800	392	0,51	800	264	0,67	800	232	0,71	800	216	0,73	800	208	0,74	800	192	0,76
		700	378	0,46	700	266	0,62	700	238	0,66	700	217	0,69	700	203	0,71	700	189	0,73
		600	372	0,38	600	258	0,57	600	234	0,61	600	210	0,65	600	204	0,66	600	192	0,68
		500	350	0,30	500	255	0,49	500	230	0,54	500	210	0,58	500	200	0,60	500	190	0,62
		400	320	0,20	400	240	0,40	400	220	0,45	400	204	0,49	400	196	0,51	400	152	0,55
		300	264	0,12	300	219	0,27	300	204	0,32	300	189	0,37	300	183	0,39	300	171	0,43
					260	205	0,21	250	190	0,24	225	169	0,25	200	150	0,25	200	150	0,25
	<u>B₁-Faktor</u>	0,997			0,986			0,974			0,981			0,959			0,71		
	g	-231,2			-214,6			-205,6			-184,6			-177,1			-165,7		
	h	43,1			42,4			41,9			38,5			37,9			36,2		
	Mags Funksie	300	264	0,12	260	205	0,21	350	190	0,24	225	169	0,25	200	150	0,25	200	150	0,25
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>B₂-Faktor</u>	0,989			0,989			0,991			0,979			0,989			0,978		
	log c	-0,93			-0,91			-0,88			-0,87			-0,85			-0,83		
	e	0,64			0,65			0,67			0,67			0,68			0,69		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIETPERIOODE

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETIENSIETPERIOODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
15	Linieer													1000	240	0,76	1000	210	0,79
														875	218	0,75	900	207	0,77
	Logarit- miese Funksies	1000	500	0,50	1000	280	0,72	1000	230	0,74	1000	250	0,75	875	218	0,75	900	207	0,77
		800	416	0,48	800	272	0,66	800	248	0,69	800	240	0,70	800	216	0,73	800	208	0,74
		700	406	0,42	700	273	0,61	700	245	0,65	700	231	0,67	700	217	0,69	700	210	0,70
		600	396	0,34	600	270	0,55	600	240	0,60	600	222	0,63	600	216	0,64	600	210	0,65
		500	370	0,26	500	260	0,48	500	235	0,53	500	220	0,56	500	215	0,57	500	205	0,59
		400	336	0,16	400	248	0,38	400	224	0,44	400	212	0,47	400	208	0,48	400	192	0,52
		325	289	0,11	300	225	0,25	300	210	0,30	300	202	0,33	300	195	0,35	300	180	0,40
					160	126	0,21	250	192	0,23	240	182	0,24	225	173	0,23	210	159	0,24
	R ₁ -Faktor	0,997			0,982			0,966			0,959			0,976			0,981		
	g	-236,0			-216,4			-209,8			-188,3			-182,0			-170,1		
	h	44,4			42,6			41,9			38,4			38,8			37,1		
	Mags Funksie	325	289	0,11	160	126	0,21	250	192	0,23	240	182	0,24	225	173	0,23	210	159	0,24
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,991			0,993			0,995			0,988			0,981			0,990		
	log c	-0,96			-0,93			-0,89			-0,88			-0,86			-0,85		
	e	0,63			0,64			0,67			0,67			0,68			0,68		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIETPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIETPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
11	Linieer										1000	150	0,85	1000	140	0,86	1000	130	0,87
											950	152	0,84	800	136	0,83	800	120	0,85
	Logarit- miese Funksies	1000	450	0,65	1000	140	0,86	1000	130	0,87	950	152	0,84	800	136	0,83	800	120	0,85
		800	336	0,58	800	112	0,84	800	112	0,86	800	112	0,86	500	75	0,85	500	70	0,86
		700	315	0,55	700	133	0,81	500	105	0,79	500	90	0,82	400	76	0,81	400	72	0,82
		600	300	0,50	600	132	0,78	400	104	0,74	400	88	0,78	300	75	0,75	300	69	0,77
		500	290	0,42	500	130	0,74	300	105	0,65	300	58	0,71	200	74	0,63	200	66	0,67
		250	210	0,16	400	128	0,68	250	100	0,60	200	80	0,60	150	67	0,55	150	64	0,57
					300	126	0,58	200	94	0,53	150	75	0,50				115	62	0,46
					200	114	0,43	150	87	0,42									
					150	99	0,34												
	<u>R₁-Faktor</u>	0,999			0,989			0,977			0,959			0,974			0,96		
	g	-197,8			-174,4			-151,6			-129,6			-114,0			-109,9		
	h	38,7			37,6			34,9			31,8			29,9			29,5		
	Mags	250	210	0,16	150	99	0,34	150	87	0,42	150	75	0,50	150	67	0,55	115	62	0,46
	Funksie	25	24	0,01	25	24	0,04	25	23	0,07									
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>R₁-Faktor</u>	0,99			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,81			-0,63			-0,50			-0,46			-0,30			-0,40		
	e	0,69			0,75			0,80			0,81			0,84			0,84		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIETPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETIENSIETPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
17	Lineaar										1000	170	0,83	1000	160	0,84	1000	150	0,85
											950	171	0,82	800	152	0,81	800	136	0,83
	Logarit- miese Funksies	1000	370	0,63	1000	240	0,70	1000	150	0,85	950	171	0,82	800	152	0,81	800	136	0,83
		800	352	0,56	800	220	0,63	800	128	0,84	800	160	0,80	500	105	0,79	500	100	0,80
		700	322	0,54	700	187	0,57	500	115	0,77	500	115	0,77	400	96	0,76	400	84	0,79
		600	312	0,48	600	144	0,52	400	112	0,72	400	104	0,74	300	81	0,73	300	72	0,76
		500	300	0,40	500	140	0,43	300	108	0,64	300	96	0,68	200	76	0,62	200	68	0,66
		400	276	0,31	400	132	0,38	200	96	0,52	200	82	0,59	150	69	0,54	150	66	0,56
		300	240	0,20	300	129	0,29	150	88	0,41	150	76	0,49				118	64	0,45
		260	221	0,15	240	210	0,18												
	R ₁ -Faktor	0,965			0,995			0,978			0,959			0,970			0,978		
	g	-189,0			-173,9			-151,4			-129,4			-113,8			-109,8		
	h	38,5			37,8			35,0			31,8			20,0			29,4		
	Mags Funksie	260	221	0,15	240	210	0,18	150	88	0,41	150	76	0,49	150	69	0,54	118	64	0,45
		100	97	0,03															
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,988			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,80			-0,63			-0,49			-0,54			-0,38			-0,41		
	e	0,69			0,75			0,80			0,80			0,84			0,84		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIETPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIETPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
18	Linieer										1000	190	0,81	1000	170	0,83	1000	160	0,84
											950	190	0,80	800	160	0,80	800	144	0,82
	Logarit- miese Funksies	1000	380	0,62	1000	250	0,71	1000	160	0,84	950	190	0,80	800	160	0,80	800	144	0,82
		800	344	0,57	800	230	0,64	800	136	0,83	800	168	0,79	500	110	0,78	500	105	0,79
		700	322	0,54	700	190	0,58	500	115	0,77	500	120	0,76	400	100	0,75	400	88	0,78
		600	312	0,48	600	146	0,52	400	116	0,71	400	108	0,73	300	84	0,72	300	72	0,76
		500	305	0,39	500	142	0,43	300	108	0,64	300	90	0,70	200	76	0,62	200	48	0,66
		400	276	0,31	400	135	0,38	200	96	0,52	200	84	0,58	150	69	0,54	150	66	0,56
		300	240	0,20	300	131	0,29	150	90	0,40	150	63	0,49				120	67	0,44
		260	221	0,15	210	212	0,18												
	<u>R₁-Faktor</u>	0,975			0,991			0,979			0,960			0,971			0,981		
	g	-198,4			-174,1			-151,5			-129,6			-114,0			-110,2		
	h	38,6			37,9			35,0			32,0			20,1			29,6		
	Mags	260	221	0,15	210	212	0,18	150	98	0,40	150	63	0,49	150	69	0,54	120	67	0,44
	Funksie	100	97	0,03															
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>R₁-Faktor</u>	0,988			1,0			1,0			1,0			1,0			1,0		
	log c	-0,80			-0,63			-0,50			-0,45			-0,38			-0,41		
	e	0,69			0,75			0,80			0,80			0,84			0,84		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN REKTENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	REKTENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
19	Linieër													1000	170	0,83	1000	160	0,84
														850	170	0,80	850	153	0,82
	Logarit- miese Funksies	1000	390	0,61	1000	260	0,75	1000	210	0,79	1000	200	0,80	850	170	0,80	850	153	0,83
		800	352	0,56	800	240	0,70	800	200	0,75	800	184	0,77	800	168	0,79	800	160	0,80
		700	350	0,50	700	245	0,65	650	208	0,68	750	217	0,71	750	202	0,73	750	187	0,75
		600	336	0,44	600	246	0,59	500	210	0,58	500	170	0,66	500	175	0,65	500	165	0,67
		500	325	0,35	500	240	0,52	400	212	0,47	400	192	0,52	400	180	0,55	400	168	0,58
		400	304	0,24	400	232	0,42	300	195	0,35	300	183	0,39	300	171	0,43	300	162	0,46
		350	283	0,19	300	216	0,28	250	185	0,26	250	157	0,30	250	165	0,34	250	157	0,37
		290	246	0,15							225	166	0,36	200	154	0,23	200	146	0,27
	R ₁ -Faktor	0,995			0,994			0,991			0,987			0,980			0,986		
	g	-229,1			-210,8			-201,5			-179,8			-173,6			-161,1		
	h	42,5			42,0			41,2			38,3			37,9			35,1		
	Hags Funksie	290	246	0,15	300	216	0,28	250	185	0,26	225	166	0,26	200	154	0,23	200	146	0,27
														100	89	0,11	100	89	0,11
	R ₁ -Faktor	1,0			1,0			1,0			1,0			0,98			0,98		
	log c	-0,92			-0,77			-0,63			-0,64			-0,54			-0,59		
	e	0,65			0,72			0,75			0,75			0,77			0,77		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
20	Linieer													1000	190	0,81	1000	180	0,82
														850	187	0,78	850	170	0,80
	Logarit- miese Funksies	1000	390	0,61	1000	260	0,75	1000	230	0,77	1000	140	0,86	850	187	0,78	850	170	0,80
		800	360	0,55	800	248	0,69	800	216	0,73	800	200	0,75	800	184	0,77	800	176	0,78
		700	350	0,50	700	252	0,64	650	221	0,66	750	232	0,69	750	217	0,71	750	202	0,73
		600	342	0,43	600	252	0,58	500	215	0,57	500	200	0,60	500	185	0,63	500	175	0,65
		500	325	0,35	500	240	0,52	400	212	0,47	400	196	0,51	400	180	0,55	400	172	0,57
		400	304	0,24	400	232	0,42	300	198	0,34	300	186	0,38	300	177	0,41	300	165	0,45
		350	280	0,20	300	219	0,27	250	187	0,25	250	177	0,29	250	167	0,33	250	160	0,36
		290	252	0,13							225	168	0,25	200	154	0,23	200	148	0,26
	E_1 -Faktor	0,998			0,994			0,994			0,985			0,982			0,981		
	g	-229,2			-211,2			-201,6			-180,0			-173,3			-160,9		
	h	42,5			42,0			41,3			38,2			37,5			35,8		
	Mags	290	252	0,13	300	219	0,27	250	187	0,25	225	168	0,25	200	154	0,23	200	148	0,26
	Funksie	25	24	0,003	25	24	0,005	25	24	0,015	25	24	0,013	25	24	0,023	25	24	0,015
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	E_2 -Faktor	1,0			1,0			0,991			0,981			0,993			0,984		
	log c	-0,91			-0,77			-0,62			-0,63			-0,55			-0,59		
	e	0,65			0,71			0,75			0,75			0,77			0,77		

TABEL B.2: Z VERSTUS IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z _i	η	Z	Z _i	η	Z	Z _i	η	Z	Z _i	η	Z	Z _i	η	Z	Z _i	η
21	Linieer													1000	250	0,75	1000	240	0,76
														900	243	0,73	950	237	0,75
	Logarit- miese Funksies	1000	520	0,84	1000	310	0,69	1000	270	0,73	1000	260	0,74	900	243	0,73	950	237	0,75
		800	464	0,42	800	296	0,63	800	272	0,66	800	256	0,68	800	240	0,70	800	240	0,70
		700	441	0,37	700	287	0,59	700	266	0,62	700	245	0,65	700	238	0,66	700	231	0,67
		600	420	0,30	600	282	0,53	600	258	0,57	600	240	0,60	600	234	0,61	600	228	0,62
		500	390	0,22	500	275	0,45	500	250	0,50	500	235	0,53	500	230	0,54	500	220	0,56
		400	344	0,14	400	260	0,35	400	236	0,41	400	224	0,44	400	220	0,45	400	208	0,48
		340	309	0,09	300	231	0,23	300	216	0,28	300	210	0,30	300	204	0,32	300	195	0,35
					280	227	0,19	260	200	0,23	250	190	0,24	235	181	0,23	230	179	0,22
	R ₁ -Faktor	0,958			0,946			0,948			0,936			0,945			0,938		
	g	-240,2			-220,1			-213,3			-192,1			-186,0			-175,4		
	h	46,5			43,8			42,9			40,2			39,5			38,1		
	Mags	340	309	0,09	280	227	0,19	260	200	0,23	250	190	0,24	235	181	0,23	230	179	0,22
	Funksie	100	98	0,06	100	96	0,04	100	94	0,06	100	94	0,06	100	92	0,075	100	93	0,065
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,985			0,988			0,981			0,990			0,992			0,980		
	log c	-0,97			-0,94			-0,91			-0,89			-0,88			-0,85		
	e	0,62			0,64			0,65			0,66			0,66			0,67		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
22	Linieer													1000	270	0,73	1000	360	0,74
														900	252	0,72	950	256	0,73
	Logarit- miese Funksies	1000	550	0,45	1000	320	0,68	1000	290	0,71	1000	270	0,73	900	252	0,72	950	256	0,73
		800	480	0,40	800	296	0,63	800	272	0,66	800	264	0,67	800	256	0,68	800	248	0,69
		700	455	0,35	700	294	0,58	700	266	0,62	700	245	0,65	700	245	0,65	700	238	0,66
		600	432	0,28	600	288	0,52	600	258	0,57	600	246	0,59	600	240	0,60	600	234	0,61
		500	395	0,21	500	280	0,44	500	255	0,49	500	235	0,53	500	235	0,53	500	225	0,55
		400	348	0,13	400	260	0,35	400	160	0,40	400	228	0,43	400	228	0,43	400	212	0,47
		340	309	0,09	300	234	0,22	300	219	0,27	300	213	0,29	300	207	0,31	300	198	0,34
					280	227	0,19	270	211	0,22	260	200	0,23	240	187	0,22	235	186	0,21
	R ₁ -Faktor	0,966			0,941			0,939			0,932			0,946			0,950		
	g	-241,6			-220,9			-214,1			-192,8			-186,9			-176,1		
	h	46,8			44,0			42,9			40,3			39,6			38,1		
	Mags	340	309	0,09	280	227	0,19	270	211	0,22	260	200	0,23	240	187	0,22	235	186	0,21
	Funksie	100	98	0,15	100	96	0,04	100	95	0,055	100	94	0,06	100	92	0,75	100	94	0,060
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,985			0,987			0,990			0,995			0,986			0,991		
	log c	-0,98			-0,95			-0,91			-0,90			-0,89			-0,86		
	e	0,61			0,64			0,64			0,66			0,66			0,67		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
23	Lineêr													1000	280	0,72	1000	270	0,73
														900	261	0,71	955	267	0,72
	Logarit- miese Funksies	1000	570	0,43	1000	330	0,67	1000	300	0,70	1000	290	0,71	900	261	0,71	955	267	0,72
		800	496	0,38	800	288	0,64	800	280	0,65	800	264	0,67	800	264	0,67	800	256	0,68
		700	462	0,34	700	294	0,58	700	273	0,61	700	252	0,64	700	245	0,65	700	238	0,66
		600	438	0,27	600	288	0,52	600	258	0,57	600	246	0,59	600	198	0,67	600	234	0,61
		500	390	0,22	500	280	0,44	500	255	0,49	500	235	0,53	500	235	0,53	500	225	0,55
		400	344	0,14	400	260	0,35	400	240	0,40	400	228	0,43	400	228	0,43	400	212	0,47
		350	322	0,08	300	234	0,22	200	219	0,27	200	142	0,29	200	207	0,31	300	198	0,34
					280	223	0,19	270	211	0,22	260	200	0,23	240	187	0,22	235	186	0,21
	R ₁ -Faktor	0,951			0,948			0,936			0,940			0,946			0,938		
	g	-240,8			-220,9			-213,8			-192,7			-86,6			-176,2		
	h	46,7			44,0			43,3			40,5			40,0			38,6		
	Mags	350	322	0,08	280	223	0,19	270	211	0,22	260	200	0,23	240	187	0,22	285	186	0,21
	Funksie	100	99	0,013	100	96	0,04	100	95	0,055	100	94	0,06	100	94	0,075	100	94	0,060
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₂ -Faktor	0,990			0,998			0,996			0,988			0,990			0,992		
	log c	-0,99			-0,96			-0,91			-0,91			-0,91			-0,87		
	e	0,61			0,64			0,64			0,65			0,64			0,67		

TABEL B.2: Z VERSUS η IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
24	Linieër													1000	290	0,71	1000	280	0,72
														925	278	0,70	970	281	0,71
	Logarit- miese Funksies	1000	600	0,40	1000	340	0,66	1000	310	0,69	1000	300	0,70	925	278	0,70	970	281	0,71
		800	512	0,36	800	312	0,61	800	288	0,64	800	280	0,65	800	272	0,66	800	271	0,67
		700	483	0,31	700	308	0,56	700	280	0,60	700	266	0,62	700	259	0,63	700	259	0,63
		600	456	0,24	600	300	0,50	600	270	0,55	600	258	0,57	600	246	0,57	600	246	0,59
		500	315	0,17	500	290	0,42	500	265	0,47	500	250	0,50	500	250	0,50	500	210	0,52
		400	360	0,10	400	268	0,33	400	248	0,38	400	240	0,40	400	240	0,40	400	224	0,44
		350	325	0,07	300	240	0,20	300	225	0,25	300	219	0,27	300	216	0,28	300	210	0,30
					285	234	0,18	270	213	0,21	270	208	0,23	250	197	0,21	240	193	0,20
	R ₁ -Faktor	0,958			0,938			0,946			0,950			0,932			0,940		
	g	-242,4			-222,0			-215,0			-193,3			-187,0			-177,3		
	h	47,1			44,8			44,1			40,9			41,0			39,3		
	Mags	350	325	0,07	285	224	0,18	270	213	0,21	270	280	0,23	250	197	0,21	240	192	0,20
	Funksie	100	99	0,010	100	99	0,010	100	95	0,050	100	95	0,50	100	93	0,070	100	95	0,050
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	R ₁ -Faktor	0,988			0,986			0,990			0,990			0,992			0,994		
	log c	-1,03			-0,98			-0,93			-0,93			-0,89			-0,89		
	e	0,60			0,61			0,64			0,64			0,64			0,66		

TABEL B.2: Z VERSUS IN VERSKILLENDE BEDRYFSKOMBINASIES EN RETENSIEPERIODES

Bedryfs- kontrole Nr.	Verge- lyking Passing	RETENSIEPERIODE (Min.)																	
		10			30			45			60			75			90		
		Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η	Z	Z ₁	η
25	Linieër													1000	300	0,70	1000	290	0,71
														930	288	0,69	980	294	0,70
	Logarit- miese Funksies	1000	620	0,38	1000	350	0,65	1000	320	0,68	1000	310	0,69	930	288	0,69	980	294	0,70
		800	528	0,34	800	320	0,60	800	296	0,63	800	288	0,64	800	280	0,65	800	272	0,66
		700	497	0,29	700	315	0,55	700	287	0,59	700	273	0,61	700	273	0,61	700	266	0,62
		600	462	0,33	600	306	0,49	600	276	0,54	600	264	0,56	600	264	0,56	600	258	0,57
		500	420	0,16	500	295	0,41	500	295	0,41	500	250	0,50	500	260	0,48	500	245	0,51
		400	364	0,09	400	272	0,32	400	252	0,37	400	244	0,39	400	248	0,38	400	232	0,42
		360	335	0,07				300	228	0,24	300	183	0,26	300	222	0,26	300	213	0,29
					295	242	0,18	280	221	0,21	270	211	0,22	255	204	0,20	250	200	0,20
	<u>R₁-Faktor</u>	0,955			0,960			0,941			0,948			0,938			0,946		
	g	-243,0			-222,9			-216,0			-195,0			-188,3			-178,2		
	h	48,0			45,2			45,0			41,3			41,7			39,9		
	Mags	360	335	0,07	295	242	0,18	280	221	0,21	210	211	0,22	255	204	0,20	250	200	0,20
	Funksie	100	99	0,010	100	97	0,030	100	98	0,060	100	95	0,50	100	94	0,60	100	98	0,070
		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	<u>R₁-Faktor</u>	0,996			0,994			0,988			0,990			0,992			0,991		
	log c	-1,33			-0,99			-0,94			-0,93			-0,94			-0,91		
	e	0,58			0,61			0,64			0,64			0,64			0,65		

TABEL B.3: Effek van die diepte van 'n flottasiesel

Bedryfs- kombina- sie Nr.	H	g by:						F _h by:						Gem. F _h	F _h ¹
		Retensieperiodes van: (MIN.)						Retensieperiodes van: (MIN.)							
		10	30	45	60	75	90	10	30	45	60	75	90		
1	1	17,1	59,6	55,4	71,2	68,5	68,5	23,9	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24	1
2		-120,0	-108,1	-50,4	-41,3	-35,8	-33,3	23,3	23,0	23,4	23,3	23,1	23,5	23,3	1
3		-115,0	-63,6	-33,2	-44,1	-37,3	-35,2	23,2	23,3	23,0	23,0	23,1	23,0	23,1	1
4		-157,7	-106,7	-90,7	-60,1	-53,3	-68,0	22,4	22,3	23,1	23,2	23,1	22,2	22,2	1
5		-173,9	-138,5	-117,9	-108,4	-87,7	-74,5	21,4	21,4	21,6	21,7	21,6	21,7	21,6	1
GEM.														1	
16	2	-197,8	-174,4	-151,6	-129,6	-114,0	-109,9	20,0	20,1	19,7	19,8	19,9	19,9	19,9	0,829
17		-198,0	-173,9	-151,4	-129,4	-113,8	-109,8	19,3	19,3	19,3	19,1	19,5	19,4	19,3	0,828
18		-198,4	-174,1	-151,5	-129,6	-114,0	-110,2	19,0	19,3	19,0	19,2	19,5	19,2	19,2	0,831
19		-229,1	-210,8	-210,5	-179,8	-173,6	-161,1	18,2	18,5	18,4	18,5	18,4	18,5	18,4	0,829
20		-229,2	-211,2	-201,6	-180,0	-173,3	-160,9	18,0	17,8	17,9	18,0	17,8	17,9	17,9	0,829
GEM.														0,829	
21	3	-240,2	-220,1	-213,3	-192,1	-186,0	-175,4	15,5	15,6	15,7	15,6	15,5	15,7	15,6	0,650
22		-241,6	-220,9	-214,8	-192,8	-186,9	-176,1	15,0	15,2	15,4	15,5	15,3	15,2	15,2	0,652
23		-240,8	-220,9	-213,8	-192,7	-186,6	-176,3	15,2	14,8	15,0	15,1	15,0	14,9	15,0	0,649
24		-242,4	-222,0	-215,0	-193,3	-187,0	-177,3	14,6	14,3	14,4	14,4	14,2	14,3	14,4	0,649
25		-243,0	-222,9	-216,0	-195,0	-188,3	-178,2	13,8	13,9	14,3	14,1	14,0	14,0	14,0	0,648
GEM.														0,650	

TABEL B.4: Eksperimentele data vir optimisering van die borrelgrootte

Bedryfs- kombina- sie Nr.	Gemiddelde Borrel- grootte mm	SMI van	SMI van	$\eta = \frac{B}{A} \times 100$
		Onverrykte	Verrykte	A
		slykfraksie A %	slykfraksie B %	%
1	0,50	90,0	63,1	70,1
3	1,56	66,5	59,2	89,0
4	2,70	58,8	57,7	98,2
6	0,57	86,8	62,1	71,5
8	1,8	65,0	60,0	92,3
9	3,3	57,2	57,0	99,6
11	0,6	85,5	62,8	73,5
13	2,0	62,2	57,8	93,0
14	3,5	56,8	56,6	99,7

B.1 DIE ONTWERPPROSEDURE VIR 'N FLOTTASIESEL

'n Verskillende ontwerpprocedure word gevolg indien 'n flottasiesel by 'n geaktiveerdeslykproses toegevoeg word as wanneer 'n gedeelte van 'n bestaande fynborrelbelugtingstelsel omgeskakel word na 'n flottasiesel. Die tweede procedure word vervolgens bespreek:-

B.1.1 Omskakeling van 'n bestaande fynborrelbelugtingstelsel

a) Die volgende bedryfskriteria moet bekend wees:-

1. Die SSSM-konsentrasie van die stelsel.
2. Die maksimum skuimindeks, I_0 , waarvoor die flottasiesel ontwerp moet word, met 20 % 'n praktiese keuse.
3. Die μ_{maks} -waarde van die betrokke skuimbakterie; indien dit nie in die spesifieke stelsel bekend is nie, kies 'n waarde van $0,012 \text{ h}^{-1}$ vir *Nocardia* en $0,06 \text{ h}^{-1}$ vir *M. parvicella*.
4. Die tempo van slyktersirkulasie tot gemiddelde vloei (R:1).
5. Die gemiddelde nominale retensieperiode, t^1 , in die totale geaktiveerdeslykstelsel.
6. Die gemiddelde nominale retensieperiode, t , in die verkose flottasiesel by gemiddelde vloei.
7. Die belugtingskapasiteit van die bestaande belugtingstelsel.
8. Die gemiddelde grootte van die lugborrels, soos gemeet 200 mm van die bo-vlak van die borrelspreiers. Hierdie grootte kan van die vervaardigers van die belugtingstelsel verkry word.

9. Die diepte, H , van die flottasiesel, ten einde 'n j -waarde vanuit Figuur 5.9 te kan bepaal. Die j -waarde kan verhoog word indien die verskaffers van die belugtingstoerusting die versekering kan gee dat hul toerusting van so 'n aard is dat borrelsamesmelting oor die volle diepte tot 'n minimum beperk word.

b) Die ontwerpprocedure is nou soos volg:-

1. Bepaal die ontwerpaanvangskuimkonsentrasie:-

$$Z_0 = I_0 \times \text{SSSM} \times 10^{-2}$$

2. Bepaal die bedryfsfaktor, F_b , vanuit Vergelyking 5.8.
3. Bepaal Z_L vanuit Figuur 5.10
4. Bepaal Z_e vanuit Figuur 5.11
5. Bepaal die wiskundige konstante, g , vanuit Figuur 5.8 en bereken konstante h vanuit Vergelyking 5.2(b).
6. Bereken die wiskundige konstantes, c en e , vanuit Vergelykings 5.6 en 5.5 respektiewelik.
7. Stel wiskundige vergelykings op om die afname in doeltreffendheid, η , van die flottasiesel te beskryf. Indien die skuimkonsentrasie $Z > Z_L$, volg vanuit Vergelyking 5.3. Met $Z_e < Z < Z_L$ volg η vanuit Vergelyking 5.1 en met $0 < Z < Z_e$ volg dit Vergelyking 5.4.
8. Bepaal die effektiewe retensieperiode, $\bar{t}_w$, vanuit Vergelyking 5.9.
9. Bepaal vanuit die toepaslike vergelyking en stel dit in Vergelyking 5.13 om sodoende die Z -waarde by die aanvang van 'n vasgestelde tydinterval, dt , te bereken. ($dt = t_w$ lewer bevredigende resultate). Hierdie Z -waarde word gebruik om 'n nuwe ooreenstemmende η -waarde aan die einde van dieselfde tydinterval te bereken. Hierdie proses van kruisinstelling word herhaal totdat $Z \leq 0,001 \cdot \text{SSSM}$, waarna

die totale tydverloop $t = t_m$ bekend is.

B.1.2 Ontwerp van 'n nuwe flottasiesel en fraksioneringsmeganisme

- a) Soos in Afdeling 5.2 bespreek is, is die stroomafent van die belugtingstenk die geskikste posisie om 'n flottasiesel te plaas, veral in prosesse waarin biologiese fosfaat- en nitraatverwydering toegepas word.

Die bekende bedryfskriteria van die flottasiesel is dieselfde as wat in Afdeling B.1.1 in punte 1 tot 4 bespreek is.

- b) Die volgende bedryfskriteria van die flottasiesel moet gekies word:-

1. 'n Gemiddelde hidrouliese retensieperiode, t , vir die flottasiesel; tussen 20 en 60 minute, afhangende van die lugvloeiempo, borrelgrootte en slykretoertempo.
2. Die diepte, H , van die flottasiesel, ten einde 'n j -waarde te kan bepaal, soos in Afdeling B.1.1 (a) punt 9 bespreek word. 'n Diepte in die orde van 2 tot 3 meter is prakties.
3. Die belugtingskapasiteit. 'n Lugvloeiempo van tussen 2 en $10 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{uur}^{-1}$ is algemeen by fynborrelbelugtingstelsels.
4. Die gemiddelde lugborrelgrootte. 'n Borrelgrootte van 2 mm soos gelewer word deur skyfbelugters wat oor 150 mikron openinge beskik,⁴⁹ is optimaal.

- c) Die ontwerpprocedure is dieselfde as wat in Afdeling B.1.1(b) van punt 1 tot 8 beskryf word. Indien t_m te lank word na die ontwerper se oordeel, moet die bedryfsparameters verbeter of die flottasiesel vergroot word.

B.2 'N REKENAARPROGRAM VIR DIE ONTWERP VAN 'N FLOTTASIESEL EN FRAKSIONERINGS-MEGANISME

Aangesien die iterasieproses wat in Afdeling B.1.1 (b) punt 8 beskryf word, baie stadig is, is 'n program ontwikkel op die Hewlett Packard 200-Reeks rekenaar wat algemeen gebruik word deur ingenieurs. Hierdie program het die vermoë om bogenoemde funksies uit te voer en t_m direk te bepaal. 'n Vloeidiagram van die program word in Figuur B.2 verskaf.

B.3 VOORBEELD VAN DIE ONTWERP VAN 'N FLOTTASIESEL MET BEHULP VAN DIE REKENAARPROGRAM

B.3.1 Probleemstelling

'n Flottasiesel moet ekstern toegevoeg word tot 'n volledige vermengde geaktiveerdeslykproses wat biologiese stikstof en fosfaat- verwydering toepas. Die stelsel ondervind tans *Nocardia*-skuim teen 'n skuimindeks van 20 %. Die maksimum spesifieke groeitempo van die skuimbakterieë in die stelsel is vasgestel op 0,012 per uur.

B.3.2 Bedryfskriteria van die stelsel

Die bedryfskriteria van die stelsel is soos volg:-

Gemiddelde nominale hidrouliese retensie deur die stelsel (flottasiesel uitgesluit):- $\bar{t}_s = 12$ uur. Die SSSM-konsentrasie wat gehandhaaf moet word:- SSSM = 4 500 mg/l. Verhouding:- slykretortempo tot gemiddelde vloei:- 1:1.

B.3.3 Keuse van die posisie en grootte van die flottasiesel

Aangesien die stelsel oor anaërobiese en anoksiese sones beskik, word die flottasiesel aan die stroomafent van die belugtingsbak geplaas.

Vanweë gebrek aan ruimte moet die flottasiesel relatief klein wees, gevolglik word die kapasiteit sodanig gekies dat 'n gemiddelde hidrouliese retensieperiode van 20 minute daarin gehandhaaf kan word.

Dus:- $\bar{t} = 20 \text{ minute} = 0,333 \text{ uur}$

Die diepte van die flottasiesel word gekies uit praktiese oorwegings.

$H = 3\text{m.}$

```

10  ! RE-STORE "FLOTTASIESEL"
20  GCLEAR
30  GRAPHICS ON
40  !-----
50  INPUT "SSSM ?","Sssm
60  PRINT "SSSM=","Sssm
70  INPUT "Mu maks=","Mumaks
80  PRINT "Mu maks=","Mumaks
90  INPUT "Zo  ?","Zo
100 PRINT "Zo  =" ,"Zo
110 INPUT "Zl  ?","Zl
120 PRINT "Zl  =" ,"Zl
130 INPUT "T w ?","Tw
140 PRINT "T w =" ,"Tw
150 INPUT "T rat?","Trat
160 PRINT "T rat=","Trat
170 INPUT "g   ?","A
180 PRINT "g   =" ,"A
190 B=(115.113-A)/7.655
200 INPUT "Ze  ?","Ze
210 PRINT "Ze  =" ,"Ze
220 Ink=Tw
230  !
240 T=0
250 Z=Zo
260 Zvoor=Z
270 LINE TYPE 1
280 WINDOW 0,100,0,500
290 MOVE T,Z
300 PRINT "      TYD      ETA      Z"
310 PRINT "-----"
320  !
330 Begin: !-----
340 WHILE Z>.01*Sssm
350   Zvoor=Z
360   Etavoor=Eta
370   IF Z>Zl THEN
380     Eta=(A+B*LOG(Zo))/100
390   END IF
400   IF Z<Zl AND Z>=Ze THEN
410     Eta=(A+B*LOG(Z))/100
420     D=(LGT(Eta)+6)/(LGT(Z)+6)
430     C=Eta/Z^D
440   END IF
450   IF Z<Ze THEN
460     Eta=C*Z^D
470   END IF
480   Z=Zvoor*(1-Eta*Trat+Mumaks*Tw)^1
490   IMAGE 40,20,5X,40,40,5X,40,40
500   PRINT USING 490;T,Eta*100,Z
510   DRAW T,Z
520   T=T+Ink
530   Voorverskil=Verskil
540 END WHILE
550 BEEP
560 PRINT
570 PRINT "FINALE TYD (Tm) IS ";CHR$(129);T-Int;CHR$(128);" UUR"
580 STOP
590 END

```

Figuur B.2: Vloeidiagram vir die ontwerp van 'n flottasiesiel.

B.3.4 Keuse van die bedryfskriteria van die fraksioneringsmeganisme

Die belugtingskapasiteit word gekies as:-

Die belugtingskapasiteit word gekies as:-

$$\frac{Q_L}{V_f} = 3,5 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$$

Die gemiddelde lugborrelgrootte word gekies as:-

$$\phi = 2 \text{ mm}$$

B.3.5 Ontwerpprosedure

1. Die ontwerpaanvangskuimkonsentrasie:- $Z_o = 900 \text{ mg/l}$
2. Die bedryfsfaktor vanuit Vergelyking 5.8:- $F_b = 23$
3. Dus volg vanuit Figuur 5.10:- $Z_L = 620 \text{ mg/l}$
4. Verder volg vanuit Figuur 5.11:- $Z_e = 93 \text{ mg/l}$
5. Die wiskundige konstante volg uit Figuur 5.8:- $g = -22,5$
6. Die aangepaste hidrouliese retensie deur die hele stelsel:- $\bar{t}^1 = \bar{t}_s + \bar{t}$
 $= 12,333 \text{ uur}$
7. Die werklike retensie in die flot-tasiesel volgens Vergelyking 5.7:- $\bar{t}_w = 10 \text{ minute}$
 $= 0,167 \text{ uur}$
8. Vir die doel van die rekenaarprogram:- $\bar{t} \text{ rat} = \bar{t}/\bar{t}^1$
 $= 0,027$
9. Kies die tydinkrement:- $dt = \bar{t}_w$
 $= 0,167 \text{ uur}$

SSSM= 4500
 Mu maks= .012
 Zo = 900
 Z1 = 620
 T w = .167
 T rat= .027
 g = -22.5
 Ze = 93

TYD	ETA	Z
0.00	99.7858	877.5556
.17	99.7858	855.6710
.33	99.7858	834.3321
.50	99.7858	813.5254
.67	99.7858	793.2376
.84	99.7858	773.4557
1.00	99.7858	754.1671
1.17	99.7858	735.3596
1.34	99.7858	717.0211
1.50	99.7858	699.1399
1.67	99.7858	681.7046
1.84	99.7858	664.7041
2.00	99.7858	648.1276
2.17	99.7858	631.9645
2.34	99.7858	616.2045
2.50	92.9759	601.9705
2.67	92.5558	588.1335
2.84	92.1377	574.6810
3.01	91.7218	561.6008
3.17	91.3079	548.8810
3.34	90.8960	536.5104
3.51	90.4862	524.4779
3.67	90.0785	512.7730
3.84	89.6727	501.3856
4.01	89.2690	490.3056
4.17	88.8673	479.5237
4.34	88.4676	469.0307
4.51	88.0698	458.8176
4.68	87.6740	448.8760
4.84	87.2802	439.1974
5.01	86.8884	429.7741
5.18	86.4985	420.5982
5.34	86.1105	411.6622
5.51	85.7245	402.9590
5.68	85.3403	394.4816
5.84	84.9581	386.2232
6.01	84.5778	378.1774
6.18	84.1993	370.3379
6.35	83.8227	362.6985
6.51	83.4480	355.2534
6.68	83.0752	347.9969
6.85	82.7042	340.9235
7.01	82.3350	334.0278
7.18	81.9677	327.3047
7.35	81.6022	320.7493
7.51	81.2384	314.3566

7.68	80.8765	308.1221
7.85	80.5164	302.0412
8.02	80.1581	296.1095
8.18	79.8015	290.3228
8.35	79.4468	284.6770
8.52	79.0937	279.1681
8.68	78.7424	273.7923
8.85	78.3929	268.5459
9.02	78.0451	263.4252
9.18	77.6990	258.4268
9.35	77.3546	253.5473
9.52	77.0119	248.7833
9.69	76.6709	244.1318
9.85	76.3316	239.5896
10.02	75.9940	235.1537
10.19	75.6581	230.8213
10.35	75.3238	226.5896
10.52	74.9911	222.4558
10.69	74.6601	218.4172
10.85	74.3308	214.4715
11.02	74.0031	210.6159
11.19	73.6769	206.8483
11.36	73.3525	203.1661
11.52	73.0296	199.5673
11.69	72.7083	196.0494
11.86	72.3886	192.6106
12.02	72.0704	189.2485
12.19	71.7539	185.9614
12.36	71.4389	182.7471
12.52	71.1254	179.6039
12.69	70.8135	176.5299
12.86	70.5032	173.5232
13.03	70.1944	170.5823
13.19	69.8871	167.7053
13.36	69.5813	164.8907
13.53	69.2770	162.1369
13.69	68.9743	159.4424
13.86	68.6730	156.8055
14.03	68.3732	154.2250
14.19	68.0749	151.6994
14.36	67.7781	149.2273
14.53	67.4827	146.8074
14.70	67.1888	144.4384
14.86	66.8964	142.1190
15.03	66.6054	139.8480
15.20	66.3158	137.6242
15.36	66.0276	135.4465
15.53	65.7409	133.3138
15.70	65.4556	131.2249
15.86	65.1717	129.1788
16.03	64.8892	127.1744
16.20	64.6080	125.2108
16.37	64.3283	123.2870
16.53	64.0500	121.4020
16.70	63.7730	119.5549
16.87	63.4974	117.7448
17.03	63.2231	115.9709

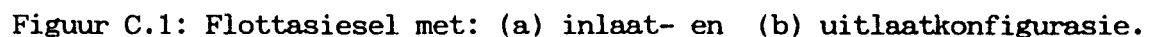
17.20	62.9502	114.2322
17.37	62.6786	112.5279
17.54	62.4084	110.8573
17.70	62.1395	109.2195
17.87	61.8720	107.6138
18.04	61.6057	106.0395
18.20	61.3408	104.4958
18.37	61.0771	102.9820
18.54	60.8148	101.4974
18.70	60.5538	100.0413
18.87	60.2940	98.6132
19.04	60.0355	97.2124
19.21	59.7783	95.8381
19.37	59.5224	94.4900
19.54	59.2677	93.1673
19.71	59.0143	91.8695
19.87	58.4178	90.6045
20.04	57.8343	89.3713
20.21	57.2631	88.1686
20.37	56.7041	86.9954
20.54	56.1567	85.8507
20.71	55.6206	84.7335
20.88	55.0955	83.6428
21.04	54.5810	82.5778
21.21	54.0769	81.5376
21.38	53.5827	80.5214
21.54	53.0983	79.5283
21.71	52.6233	78.5578
21.88	52.1574	77.6089
22.04	51.7005	76.6811
22.21	51.2521	75.7736
22.38	50.8122	74.8859
22.55	50.3804	74.0173
22.71	49.9566	73.1673
22.88	49.5405	72.3352
23.05	49.1319	71.5206
23.21	48.7306	70.7229
23.38	48.3364	69.9417
23.55	47.9491	69.1764
23.71	47.5686	68.4265
23.88	47.1946	67.6917
24.05	46.8271	66.9715
24.22	46.4658	66.2655
24.38	46.1106	65.5733
24.55	45.7612	64.8945
24.72	45.4177	64.2288
24.88	45.0798	63.5758
25.05	44.7475	62.9351
25.22	44.4204	62.3064
25.38	44.0987	61.6894
25.55	43.7820	61.0838
25.72	43.4703	60.4892
25.89	43.1635	59.9055
26.05	42.8615	59.3323
26.22	42.5641	58.7693
26.39	42.2713	58.2163
26.55	41.9829	57.6731

26.72	41.6988	57.1394
26.89	41.4190	56.6149
27.05	41.1433	56.0994
27.22	40.8717	55.5928
27.39	40.6041	55.0947
27.56	40.3403	54.6050
27.72	40.0804	54.1235
27.89	39.8241	53.6500
28.06	39.5715	53.1843
28.22	39.3225	52.7263
28.39	39.0769	52.2756
28.56	38.8348	51.8322
28.72	38.5960	51.3960
28.89	38.3605	50.9666
29.06	38.1282	50.5441
29.23	37.8990	50.1282
29.39	37.6729	49.7188
29.56	37.4498	49.3157
29.73	37.2297	48.9188
29.89	37.0125	48.5279
30.06	36.7981	48.1430
30.23	36.5865	47.7639
30.39	36.3777	47.3905
30.56	36.1715	47.0227
30.73	35.9680	46.6602
30.90	35.7670	46.3032
31.06	35.5686	45.9513
31.23	35.3726	45.6045
31.40	35.1791	45.2627
31.56	34.9880	44.9258

FINALE TYD (Tm) IS 31.563 UUR

Vanuit die loodsskaal- en volskaalstudies wat uitgevoer is, is 'n aansienlike hoeveelheid bruikbare inligting ingewin aangaande praktiese oorwegings wat die ontwerper in gedagte moet hou by die ontwerp en bedryf van 'n meganisme waarmee die negatiewe seleksie van skuimbakteriëe vanuit 'n geaktiveerdeslykaanleg met sukses uitgevoer kan word, naamlik:-

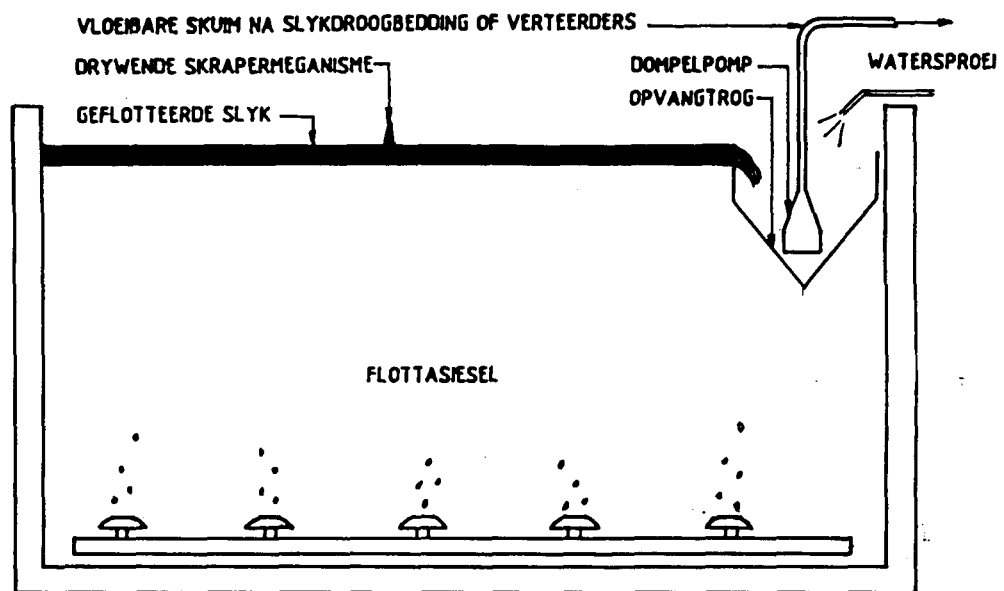
- Die aanbevole in- en uitlaatkonfiguraties word in Figuur C.1 getoon.



Die drifselkeerplaat by die inlaatkant verhoed dat die geflotteerde slyk deur die stroming van die invloeiende slykmengsel terugvermeng word in die slykmengsel.

- b) Die geflotteerde skuimfraksies kan so van die oppervlakte van die flottasiesel verwyder word:-
- (i) Met behulp van 'n outomatiese skrapermeganismes, wat met die hand beheer word, of outomaties kan aanskakel. Dit is egter duur en onprakties behalwe by baie groot geaktiveerdeslykstelsels.
 - (ii) Met behulp van 'n handbedryfde skrapermeganisme. 'n Drywende skra-per kan deur bedryfspersoneel met tussenposes oor die oppervlakte van die flottasiesel gesleep word ten einde die skuim aan te stoot na 'n ingeboude opvangtrog, vanwaar skuimverwydering kan plaasvind soos in (i) beskryf is.

Figuur C.2 illustreer hierdie beginsels.

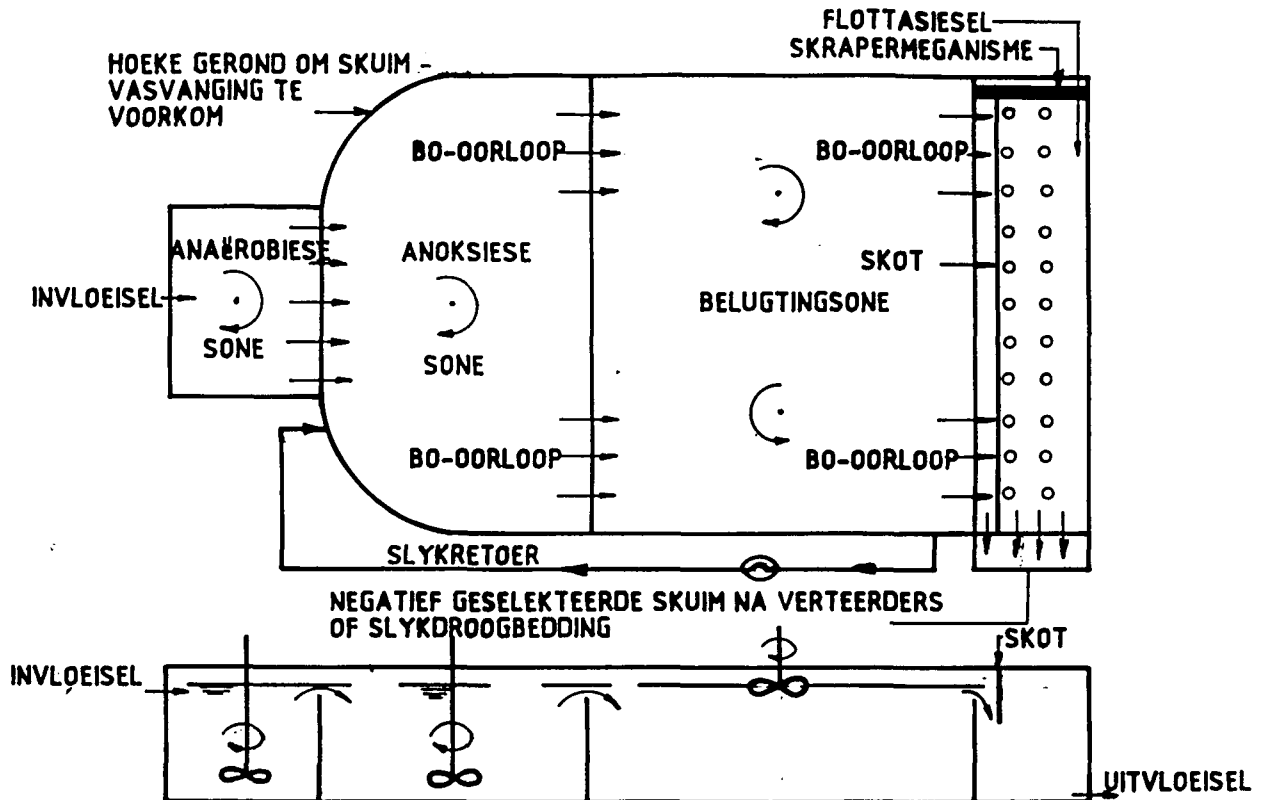


Figuur C.2: Verwydering van geflotteerde slyk uit 'n flottasiesel.

- c) Die in- en uitlaatkonfigurasies tussen die verskillende kompartemente van 'n geaktiveerdeslykaanleg, met spesiale verwysing na die vloei van slykmengsel tussen anaërobiese-, anoksiese-, belugtings- en natuurlik flottasiesones, moet sodanig wees dat biologiese skuim nie op die oppervlakte van die kompartemente vasgekeer kan word nie.

Deurdad biologiese skuim, veral in die geval van oppervlakbelugtings-sones, neig om in die hoeke van die kompartemente te versamel, moet gepoog word om die vorming van hoeke so te vermy.

Aan al bogenoemde vereistes word voldoen deur bo-uitlate oor die volle wydte van die verskillende kompartemente te voorsien. Figuur C.3 illustreer die uitleg van 'n tipiese geaktiveerdeslykaanleg waarin voorsiening gemaak word vir biologieseskuimbeheer deur middel van selektiewe flottasie.



Figuur C.3: Die uitleg van 'n stelsel waarin biologieseskuimbeheer deur middel van selektiewe flottasie toegepas word.

- d) In bestaande langslykouderdomegeaktiveerdeslykstelsels waarin skuimbeheer deur middel van selektiewe flottasie toegepas word, maar waar skuimvasvangings op die oppervlakte in die onderskeie kompartemente voorkom, word gevind dat die wiskundige model wat in Hoofstuk 5 ontwikkel is, nie volledig geld nie. Die rede hiervoor is dat die toename in die skuimorganismepopulasie in hierdie mikrobiële selekteerders sodanig is dat die tempo van skuimverwydering onvoldoende is.

'n Moontlike oplossing vir hierdie probleem is om die SSSM-konsentrasie van die slykmengsel in die stelsel tydelik te verlaag na 2 000 - 2 500 mg/l, soos deur Lechevalier *et al*³² onder andere voorgestel word. Op hierdie wyse kan die groeitempo van die skuimbakterië voldoende vertraag word om negatiewe seleksie moontlik te maak. Indien die toestande in 'n stelsel natuurlik besonder bevorderlik is vir die groei van 'n

skuimorganismespesie, byvoorbeeld in die geval van *M. parvicella* waarmee Slijkhuis⁴⁷ onder laboratoriumtoestande 'n μ_{maks} van 0,06 per uur bepaal het, sal dit nodig wees om die SSSM-konsentrasie verder te verlaag. Hoewel die voorgestelde verlaging in die SSSM-konsentrasie van 'n stelsel slegs tydelik is, kan 'n probleem deur hierdie maatreël geskep word in stelsels waarin aerobiese slykstabilisasie toegepas word. 'n Lae slykmengselkonsentrasie sal meebring dat slykstabilisasie onmoontlik is, met die gevolg dat die slyk wat gedurende hierdie periode in groot volumes verspil word, ongestabiliseerd en onwelriekend sal wees. Die skrywer is egter van mening dat die groeitempo's van die skuimorganismes in die praktyk laag genoeg is om laasgenoemde probleem te vermy.

AANHANGSEL D: BYKOMENDE RESULTATE VAN LOODSSKAALONDERSOEK BY DIE
DASPOORT-RIOOLWATERSUIWERINGSAAANLEG

TABEL D.1: Eksperimentele resultate vir Reaktors A en B

OND. NR.	REAKTOR NR.	PARAMETER	10H00 0 UUR	17H00 5 UUR	10H00 24 UUR	17H00 29 UUR	10H00 48UUR
1	A	SMI (%)	9,1	8,5	8,8	8,1	8,3
	B		8,3	3,2	0,5	0,3	0
	A	SSSM(mg/l)	4200	4050	3700	3850	4050
	B		4250	4080	3800	3850	3750
	A	SSVI (%)	105	105	103	102	103
	B		106	104	106	108	102
	A	KN-IN(mg/l)	51	50	49	40	50
		NO ₃ -UIT (mg/l)	12	15	9	10	8
	B		12	13	8	11	12
	A	CSB-IN	420	400	380	300	390
		CSB-UIT (mg/l)	50	35	40	25	34
2	B		55	38	48	35	38
	A	SMI (%)	10,4	9,4	9,5	9,7	10,1
	B		10,2	5,2	0,9	0,6	0
	A	SSSM(mg/l)	4350	4250	4300	4280	4400
	B		4400	4150	4000	4050	3900
	A	SSVI (%)	100	99,5	99	99	98,5
	B		100,5	98	96	95,5	95
	A	KN-IN	62	59	58	50	68
		NO ₃ -UIT (mg/l)	9	5	6	2	2
	B		5	9	9	7	5
3	A	CSB-IN	440	410	380	450	510
		CSB-UIT (mg/l)	80	75	75	70	65
	B		75	50	25	50	25
	A	SMI (%)	12,8	11,9	12,1	12,5	13,2
	B		13,1	5,7	0,9	0,6	0
	A	SSSM(mg/l)	4200	4050	3750	3850	4050
	B		4250	4080	3800	3850	3750
	A	SSVI (%)	105	105	103	102	103
	B		106	104	106	108	102
	A	KN-IN(mg/l)	51	50	49	40	50
		NO ₃ -UIT (mg/l)	12	15	9	10	8
3	B		12	13	8	11	12
	A	CSB-IN	420	400	380	300	390
		CSB-UIT (mg/l)	50	35	40	25	34
	B		55	38	48	35	38

SSSM= 4500
 Mu maks= .01
 Zo = 450
 Z1 = 600
 Tw = .25
 T rat= .063
 g = -50
 Ze = 90

TYD	ETA	Z
0.00	81.7722	427.9426
.25	80.6882	407.2586
.50	79.6196	387.8485
.75	78.5663	369.6209
1.00	77.5280	352.4917
1.25	76.5045	336.3836
1.50	75.4956	321.2254
1.75	74.5011	306.9515
2.00	73.5207	293.5015
2.25	72.5542	280.8195
2.50	71.6015	268.8541
2.75	70.6623	257.5576
3.00	69.7364	246.8860
3.25	68.8237	236.7985
3.50	67.9239	227.2574
3.75	67.0368	218.2277
4.00	66.1623	209.6771
4.25	65.3002	201.5753
4.50	64.4502	193.8946
4.75	63.6123	186.6088
5.00	62.7862	179.6940
5.25	61.9717	173.1276
5.50	61.1688	166.8887
5.75	60.3772	160.9579
6.00	59.5967	155.3169
6.25	58.8272	149.9490
6.50	58.0686	144.8383
6.75	57.3206	139.9700
7.00	56.5831	135.3303
7.25	55.8561	130.9065
7.50	55.1392	126.6864
7.75	54.4324	122.6587
8.00	53.7355	118.8129
8.25	53.0484	115.1392
8.50	52.3710	111.6281
8.75	51.7030	108.2712
9.00	51.0444	105.0601
9.25	50.3950	101.9872
9.50	49.7547	99.0453
9.75	49.1234	96.2277
10.00	48.5009	93.5280
10.25	47.8871	90.9402
10.50	47.2819	88.4586

10.75	46.3583	86.0963
11.00	45.4722	83.8451
11.25	44.6212	81.6977
11.50	43.8033	79.6474
11.75	43.0167	77.6880
12.00	42.2594	75.8139
12.25	41.5300	74.0199
12.50	40.8269	72.3011
12.75	40.1487	70.6531
13.00	39.4940	69.0718
13.25	38.8617	67.5534
13.50	38.2506	66.0943
13.75	37.6598	64.6915
14.00	37.0881	63.3416
14.25	36.5346	62.0421
14.50	35.9986	60.7901
14.75	35.4791	59.5833
15.00	34.9755	58.4194
15.25	34.4869	57.2962
15.50	34.0129	56.2117
15.75	33.5526	55.1640
16.00	33.1055	54.1514
16.25	32.6710	53.1722
16.50	32.2487	52.2248
16.75	31.8380	51.3079
17.00	31.4384	50.4199
17.25	31.0495	49.5597
17.50	30.6708	48.7260
17.75	30.3020	47.9176
18.00	29.9427	47.1335
18.25	29.5925	46.3726
18.50	29.2511	45.6339
18.75	28.9182	44.9167

FINALE TYD (T_m) IS 18.75 UUR

Fig.D.1. Rekenaarberekening van Wiskundige model vir Reaktor B

LITERATUURVERWYSINGS

1. Becher, P. (1975). Emulsions: Theory and Practise. American Chemical Society. Monograph Series. Reinhold Publishing Corporation. New York, U.S.A.
2. Bickerman, J.J. (1973). Foams. Springer - Verlag Berlin. Heidelberg, New York.
3. Blackbeard, J. en Ekama, G. (1984). Survey of activated sludge bulking and foaming in South Africa. IMIESA, 6 (3), 20-25.
4. Chambers, B. en Tomlinson, E.J. (1981). Control Strategies for Bulking Sludge. Water Research Centre, U.K. Technical Report, TR 21.
5. Chiesa, S.C. en Irvine, R.L. (1985). Growth and control of filamentous microbes in activated sludge: an integrated hypothesis. Water Res., 19, 471-479.
6. Clarke, A.N. en Wilson, D.J. (1978). Separation by flotation. Sep. Purif. Methods, 7 (1), 55-98.
7. Currin, B.L., Potter, F.J. en Wilson, D.J. (1978). Surfactant recovery in adsorbing colloid flotation. Sep. Sci. Tech., 14 (4), 285-302.
8. Dhaliwal, B.S. (1979). *Nocardia amarae* and activated sludge foaming. J. Wat. Pollut. Control Fed., 51(2), 344-350.
9. Du Plessis, L.M. (1985). Nasionale Voedselnavorsingsinstituut, WNNR. Persoonlike onderhoud.
10. Eikelboom, D.H. (1975). Filamentous organisms observed in activated sludge. Wat. Res., 9, 365-385.
11. Eikelboom, D.H. (1977). Identification of filamentous organisms in bulking activated sludge. Prog. Wat. Tech., 8, 153-162.
12. Eikelboom, D.H. en Van Buijsen (1981). Microscopic Sludge Investigation Manual. TNO Research Institute for Environmental Hygiene. Report A94a.
13. Ekama, G.A., Marais, G.v R., Blackbeard, J.R. (1983-1984). Final report to the W.R.C. in a two year exploratory study on Activated Sludge Bulking and Foam-

ing problems in South Africa. Research Report Nr. 54, Department of Civil Engineering, University of Cape Town.

14. Folch, J., Lees, M. en Stanley, G.H.S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Bio. and Chem., 226, 497-509.
15. Freeman, R.R. (1964). Separation of cells from fluids. Bio. Tech. and Bio. Engng, 6, 87-125.
16. French, R.M. en Wilson, D.J. (1980). Fluid mechanics - foam flotation interaction. Sep. Sci. Tech., 15(5), 1213-1227.
17. Gale, A.J. (1980). Activated sludge treatment Subiaco - W. Australia. Developing Procedures. Water (Sydney), 7, 18-21.
18. Gaudin, A.M., Davis, N.S. en Bangs, S.E. (1962). Flotation of *Escherichia coli* with some inorganic salts. Bio. Tech. and Bio. Engng, 4, 223-230.
19. Gaudy, A.F. en Gaudy, E.J. (1980). Microbiology for Environmental Scientists and Engineers. McGraw and Hill.
20. Gerardi, M.H. (1981). Sludge settling hampered by industrial discharge. Public Works, 112, 95-97.
21. Grieves, R.B. en Wang, S. (1966). Foam separation of *Escherichia coli* with a cationic surfactant. Bio. Tech. and Bio. Engng, 8, 323-336.
22. Grieves, R.B. en Wang, S. (1967). Foam separation of bacteria with a cationic surfactant. Bio. Tech. and Bio. Engng, 9, 187-194.
23. Guo, P.H.M., Bedford, W.K. en Jank, B.E. (1977). Activated Sludge Treatment of a High Strength NOCS Mill Effluent. Wastewater Technology Centre, Environmental Protection Service, Fisheries and Environment Canada. Report No. EPS 4-wp-77-1.
24. Hart, M.A. (1985). Scum formation in a nutrient removing activated sludge plant. Water S.A., 11(4), 3-13.
25. Hewlett Packard - HP41C. (1981). Standard Applications Handbook. Printed in Singapore. Editorial Nr. 00041-90366

26. Irvin, J.H. (1972). Troubleshooting activated sludge plants. WPCF Highlights, Deeds and Data, 9, D - 4.
27. Jenkins, D., Neethling, J.B., Bode, H. en Richard, M.G. (1982). The use of chlorination for control of activated sludge bulking. In: Bulking of Activated Sludge: Preventative and Remedial Methods. Edit: Chambers, B. and Tomlinson, E.J.. Ellis Horwood Ltd.
28. Kiefer, J.E. en Wilson, D.J. (1981). Time-dependent foam flotation stripping column operation. Sep. Sci. Tech., 16(2), 147-171.
29. Krige, G. (1985). Randfonteinse Estate Goudmyn. Persoonlike onderhoud.
30. Lechevalier, M.P. en Lechevalier, H.A. (1974). *Nocardia amarae* sp. nov., an actinomycete common in foaming activated sludge. Inter. J. Systematic Bact., 24, 278.
31. Lechevalier, H.A. (1975). Actinomycetes of Sewage Treatment Plants. EPA-600/2-75-031.
32. Lechevalier, H.A., Lechevalier, M.P. en Wyszowski, P.E. (1977). Actinomycetes of Sewage Treatment Plants. EPA-600/2-77-145.
33. Lemmer, H. en Popp, W. (1982). Mikrobiologische Ursachen vom Schwimmschlamm in Belebungsanlagen. Korrespondenz Abwasser, 29, 808-811.
34. Ludwig, K.L. (1981). Foam control in aeration tanks. WATER/Engineering and Management. 34-39.
35. Marais, G.v.R. en Ekama, G.A. (1976). The activated sludge process Part 1 - steady state behaviour. Water S.A. 2(4), 163-200.
36. Margaritus, A., Kennedy, K., Zajic, J.E. en Gerson, D.F. (1979). Biosurfactant production by *Nocardia erythropolis*. Developments in Industrial Microbiology, 20, 623-630.
37. Margaritus, A., Zajic, J.E. en Gerson, D.F. (1979). Production and surface - active properties of microbial surfactants. Bio. Tech. and Bio. Engng, 21, 1151-1162.

38. Milwaukee Mistery (1969). Unusual operating problem develops. Water and Sewage Works, 116, 213.
39. Nelson, J.K. (1979). Start-up and operating of Denver's pure oxygen activated sludge plant. J. Wat. Pollut. Control Fed., 51.
40. Pipes, W.O. (1977). Microbiology of dairy waste activated sludge separation problems. Wat. Res., 18, 303-309.
41. Pipes, W.O. (1978). Actinomycete scum production in activated sludge processes. J. Wat. Pollut. Control Fed., 50, 628-634.
42. Pretorius, W.A. (1985). A conceptual basis for microbial selection in biological wastewater treatment (Submitted for Publication in Water Research).
43. Rose-Gottlieb-metode van eter-ekstraksie soos gepubliseer in:- Official Method of Analysis of the A.O.A.C. 12th edition - Editor W. Horwitch. Paragraph 31.10.4.
44. Rubin, A.J. (1968). Microflotation: coagulation and foam separation of *Aerobacter aerogenes*. Bio. Tech. and Bio. Engn., 10, 89 - 98.
45. Rubin, A.J. en Cassel, E.A., Henderson, O., Johnson, J.D. en Lamb, J.C. (1966). Microflotation: new low gas-flow rate foam separation technique for bacteria and algae. Bio. Tech. and Bio. Engn. 8, 135 - 151.
46. Slijkhuis, H. en Deineman, M.H. (1982). The physiology of *Microthrix parvicella*, a filamentous bacterium isolated from activated sludge. In: Bulking of Activated Sludge: Prevention and Remedial Methods. Edit. by Chambers, B. and Tomlinson, E.J.. Ellis Horwood Ltd. 75 - 83.
47. Slijkhuis, H. (1983). The Physiology of the Filamentous Bacterium *Microthrix parvicella*. D. Sc. - thesis.
48. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th ed., APHA. New York (1980).
49. Templewood Hawksley Activated Sludge Ltd. (1968). Fine Bubble Dome Diffusers in the Activated Sludge System. Publication no. FBDD 675.

50. Wells, W.N. en Garret, M.T. (jnr) (1971). Getting the most from an activated sludge plant. Pub. Works, 63-68.
51. White, M.J.D. (1975). Settling of Activated Sludge. Water Research Centre, U.K. Technical Report, TR11.

-----xXx-----