

'n

ONDERSOEK NA DIE GEVORDERDE SUIWERING VAN

KONVENSIONELE RIOOLWERKE-UITVLOEISELS

VIR DRINKDOELEINDES

deur

LUCAS RUDOLPH JANSEN VAN VUUREN

'N ONDERSOEK NA DIE GEVORDERDE SUIWERING VAN
KONVENSIONELE RIOOLWERKE-UITVLOEISELS
VIR DRINKDOELEINDES

deur

LUCAS RUDOLPH JANSEN VAN VUUREN

'n Proefskrif wat voorgelê is vir die graad D.Sc.
(Industriële Chemie) van die Potchefstroomse Univer-
siteit vir Christelike Hoër Onderwys.

1971

E R K E N N I N G

Graag wil ek my opregte dank betuig aan al my kollegas en in besonder dr. G.G. Cillie wat betrokke was by verskillende fases van hierdie ondersoeke, asook aan die Stadsingenieursafdeling van Windhoek, S.W A. vir hul hulp en samewerking.

'n Spesiale woord van dank gaan ook aan die Direkteur en Assistent-direkteur van die Nasionale Instituut vir Waternavorsing vir hulle bekwame leiding en aandeel in hierdie werk, en aan professor S.P. Ligthelm van die Potchefstroomse Universiteit vir C H.O vir sy besondere belangstelling en aanmoediging.

Ook wil ek my waardering uitspreek teenoor die Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad wat my vergun het om hierdie werk vir nagraadse studiedoeleindes te gebruik.

O P S O M M I N G

Verslag word gedoen van proewe wat in Windhoek, S.W.A. en Pretoria uitgevoer is onder projekteierskap van skrywer. Hierdie proewe behels intensiewe ondersoeke na die ekonomiese en tegniese moontlikhede om rioolwerke-uitvloeisel te herwin vir hergebruik.

In Windhoek is 'n loodsaanleg (1000 gpu) opgebou om verouderingsdam-uitvloeisel te herwin. 'n Flottasie-tegniek is ontwikkel om die moeilike probleem van algeskeiding te oorbrug. Hierdie werk het die grondslag gelê vir 'n grootskaalse aanleg van 1 miljoen gelling per dag (mgd) wat in Oktober 1968 in gebruik geneem is.

In Pretoria is die proses verder ondersoek en 'n kalkflottasieproses is ontwikkel vir die behandeling van beide humustenkuitvloeisel en besinkte rioolwater. 'n Koeltoring is gebruik om ammoniakaliese stikstof uit te stroop. 'n Loodsaanleg vir die behandeling van 1000 gpu is bedryf en ontwerp kriteria is verkry vir 'n volskaalse demonstrasieaanleg vir die behandeling van 1 mgd. Hierdie aanleg is gedurende November 1970 amptelik in gebruik geneem.

S U M M A R Y

A report is given of tests carried out in Windhoek, S.W.A. and Pretoria under the project leadership of the author. Intensive studies were conducted on the technical and economic feasibility of reclaiming sewage works effluents for potable re-use.

In Windhoek a pilot-scale plant (1000 gph) was constructed for the reclamation of maturation pond effluent. A flotation technique was developed for efficient separation of algal floc. This work materialized into the construction of a large-scale reclamation plant treating 1 mgd and which was commissioned in October 1968.

In Pretoria an improved process was developed using lime softening flotation for treating humustank effluents and settled sewage. A cooling tower was used for the stripping of ammoniacal nitrogen. A pilot plant for the treatment of 1000 gph was operated and design criteria was obtained for a full scale demonstration unit treating 1 mgd. This plant was officially commissioned during November 1970.

---oOo---

I N H O U D

Bladsy

HOOFSTUK I

1.	<u>INLEIDING</u>	2
1.1	Motivering van ondersoek	2
1.2	Literatuur in verband met hergebruik	3
1.3	Probleme in verband met gevorderde suiwerig van rioolwerke-uitvloeiels	4

HOOFSTUK II

2.	<u>GEVORDERDE SUIWERING VAN VEROUDERINGS- UITVLOEISEL</u>	9
2.1	Voorlopige opnames en ondersoeke	9
2.1.1	Kwaliteit van verouderingsdamuitvloeiels ..	10
2.1.2	Laboratoriumondersoeke	11
2.1.2.1	Behandeling van verouderings- damuitvloeiels met aluminium- sulfaat	11
2.1.2.2	Behandeling van verouderings- damuitvloeiels met oormaat gebluste kalk	12
2.1.2.3	Gebruik van ander vlokmiddels .	13
2.1.2.4	Behandeling van verouderingsdam- uitvloeiels met chloor	14
2.1.2.5	Behandeling van humustenkuit- vloeiels met gebluste kalk (laboratoriumskaal)	14
2.1.3	Voorlopige Loodskaal ondersoeke na die verbetering van verouderingsdamuitvloeiels.	16
2.1.3.1	Resultate verkry met ewewydige stelsels	19

2.2	Verbetering van Rioolwerke-uitvloeisel	22
2.2.1	Ondersoeke na die vermindering van ammoniak en nitraat	23
2.2.1.1	Afskeiding van industriële uitvloeiels .	24
2.2.1.2	Bevordering van Biologiese Aktiwiteit .	24
2.2.1.2.1	Die rol van alge	24
2.2.1.2.2	Biochemiese Denitrifikasie.	28
2.2.1.2.2.1	Laboratoriumskaal- ondersoeke	29
2.2.1.2.2.2	Loodsskaal Denitrifi- kasieondersoeke	29
2.3	Verwydering van alge uit verouderingsdamuitvloeisel	35
2.3.1	Inleiding	35
2.3.2	Loodsskaal-ondersoeke met eenheid vir gelykty- dige flottasie en besinking van alge	37
2.3.2.1	Verdeling van vlok tussen drywende en besinkte fases	37
2.3.2.2	Resultate met volledige loodsaanleg met flottasie/besinktenk as eerste stadium	39
2.3.3	Laboratorium-ondersoek na die toestand benodig vir algehele flottasie of besinking van alge .	44
2.3.3.1	Toestand vir algehele flottasie van alge	49
2.3.3.2	Toestand vir algehele besinking van alge	50
2.3.4	Ontwikkeling van 'n loodsskaal flottasietenk	51
2.4	Vermindering van Sintetiese Wasmiddels	57
2.4.1	Literatuur	57
2.4.2	Teorie van Skuimopwekking	58
2.4.3	Laboratorium-ondersoeke	60
2.4.4	Loodsskaaleenheid vir skuimfraksionering	62
2.5	Finale behandeling met geaktiveerde koolstof	62

	Bladsy
2.5.1 Literatuur	62
2.5.2 Eksperimentele werk uitgevoer	
2.6 Resultate met volledige loodsaanleg en algehele flottasie as eerste stadium	67
2.7 Virologiese en Bakteriologiese Toetse	67
2.8 Koste van Behandeling	70
2.9 Gevolgtrekkings i.v.m. gevorderde suiwering van verouderingsdamuitvloeisel	70

HOOFSTUK III

3. <u>GEVORDERDE SUIWERING VAN HUMUSTENKUITVLOEISEL EN BESINKTE RIOOLWATER.....</u>	72
3.1 Inleiding	72
3.2 Aanpassing van flottasie-tegniek vir behandeling van primêre en sekondêre rioolwerke-uitvloeisel	74
3.2.1 Toestande vir kalkflottasie	74
3.2.2 Ontwikkeling van 'n geskikte eenheid vir kalk- flottasie	77
3.2.3 Rol van magnesium in kalkflottasieproses	80
3.3 Fisies/Chemiese Verwydering van Ammoniakaliese stikstof	81
3.3.1 Literatuur	81
3.3.2 Teoretiese Beginsels van ammoniakstroping met lug	83
3.3.2.1 Gasfilm-beheerde prosesse	83
3.3.2.2 Ewewig tussen gas en vloeistof	83
3.3.2.3 Vergelyking vir die tempo van massa- oordrag	84
3.3.2.4 Kapasiteitskoëffisiënte	86
3.3.3 Berekening van kapasiteitskoëffisiënte vir die eksperimentele koeltoring	88
3.3.3.1 Bepaling van Ewewigskonsentrasies by hoë p_{H_2}	89

3.3.3.2	Berekening van Henry se konstante (proef 1 as voorbeeld)	90
3.3.3.3	Berekening van ko-ordinate van werksskurwe	91
3.3.3.4	Berekening van logaritmiese gemid- delde dryfkrag en kapasiteitskoëffi- siënt	92
3.4	Stablisering van Kalkbehandelde uitvloeisel met kool- suurgas	94
3.4.1	Toediening van koolsuurgas	94
3.4.2	Stabilisasietenk vir skeiding van kalsiumkarbo- naat	95
3.5	Finale behandelingsprosesse	97
3.6	Bespreking van resultate	103
3.7	Koste van behandeling met kalkflottasieproses	103
3.8	Gevolgtrekkings	104

HOOFSTUK IV

4. VOLSKAALSE HERWINNING VAN RIOOLWATER

4.1	Inleiding	106
4.2	Volskaalse herwinning van verouderingsdamuitvloeisel ..	107
4.3	Resultate verkry met volskaalse herwinning van ver- ouderingsdamuitvloeisel	108
4.4	Volskaalse Herwinning van Sekondêre Uitvloeisels	111

H O O F S T U K I

1. INLEIDING

1.1 Motivering van ondersoek

Die gemiddelde jaarlikse reënval vir die Republiek van Suid-Afrika kom te staan op 18.5 duim, en die totale neerslag word beraam op $130,000 \times 10^9$ gellings per jaar¹. As gevolg van geografiese en fisiese faktore en die verspreiding van hulpbronne is die potensiële voorraad vir industriële, landboukundige en huishoudelike gebruik slegs sowat 900 gellings per persoon per dag teenoor 3,700 gellings per persoon per dag in die VSA². Die teenwoordige bevolking van 16 miljoen in Suid-Afrika sal teen die huidige groeitempo aan die einde van hierdie eeu te staan kom op 39 miljoen. Die waterpotensiaal sal dan verminder tot ongeveer 370 gellings per persoon per dag, waarvan 310 effektief verbruik sal word. Dit laat slegs 60 gellings per persoon per dag beskikbaar vir verdere sosio-ekonomiese ontwikkeling.

Die hergebruik van water is reeds van besondere belang in die waterekonomie van die Republiek, veral in plekke waar die vraag die beskikbare voorrade oorskrei. Hierdie toestand het reeds in 'n stad soos Windhoek, S.W.A. ingetree³, en die herwinning van rioolwerke-uitvloeiisel kon hierdie toestand verlig.

Die hergebruik van water het in die afgelope dekade in 'n toenemende mate onder nasionale aandag gekom, en die Nasionale

Instituut vir Waternavorsing van die Suid-Afrikaanse Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad, het baie navorsing hieraan bestee. 'n Groot bydrae is reeds gemaak om nywerhede en plaaslike owerhede behulpsaam te wees met besparing, beplanning en hergebruik van water.

1.2 Literatuur in verband met hergebruik

As 'n standhoudende en steeds groeiende bron word konvensioneel biologies gesuiwerde rioolwater (sekondêre uitvloeisels) op toenemende skaal gebruik as verkoelingswater in kragentrales, vir besproeiingsdoeleindes en ook in die papier- en tekstielnywerhede. Ongeveer 70% van die waterverbruik deur plaaslike owerhede beland in die rioolnetwerk en die indirekte hergebruik van rioolwater vind vandag in baie lande wye toepassing in die vorm van uitvloeisels wat in riviere en waterlope gestort word. Vir die doel van drinkwatervoorsiening uit rioolwater as bron, word meer gevorderde prosesse as die konvensionele watersuiweringsprosesse benodig om aan die hoë kwaliteitsvereistes te voldoen. Die suiwing van sekondêre uitvloeisels is by verskeie plekke onderneem met 'n beperkte mate van sukses. Metsler et al⁴ het gerapporteer oor die herwinning in Chanute, Kansas, VSA, gedurende 1956. Behandelde rioolwater is gedurende 'n droogteperiode in die bestaande opvanggebied gestort vanwaar die watersuiweringswerke voorsien is. Probleme is ondervind as gevolg van sintetiese wasmiddels en die

opbou van minerale soute. Die proses is vir 5 maande bedryf, en daarna gestaak nadat goeie reëns die droogte gebreek het.

'n Aanleg van 7.5 miljoen gellings per dag (mgd) is by South Tahoe, Kalifornia, VSA, opgerig⁵. Hierdie werke bestaan uit konvensionele biologiese eenhede gevolg deur chemiese koagulasie, ammoniakstropping, adsorpsie aan geaktiveerde koolstof en herwinning van chemikalieë. Die totale behandelingskoste insluitend bedryf en kapitaaldelging beloop sowat 13.5 SA sent/1000 gellings.

Verskeie werkers in Kalifornia en ander plekke het 'n studie gemaak van die rol van alge om oorblywende voedingstowwe in konvensionele rioolwerke-uitvloeisels te verminder. Hierdie metode het beperkte inslag gevind weens die moeilike skeiding van alge met konvensionele prosesse soos besinking en filtrasie.

In Windhoek, S.W.A., is die probleem van algeskeiding oorbrug deur die ontwikkeling van 'n flottasietegniek. Loodsskaal-ondersoeke is uitgevoer gedurende 'n periode van 4 jaar, en ontwerpkriteria is bekom vir die oprigting van 'n 1 mgd aanleg wat in Oktober 1968 in gebruik geneem is. Die koste van hierdie water is mededingend met water wat vanaf bestaande bronne verkry kan word⁶.

1.3 Probleme in verband met gevorderde suiwering van rioolwerke-uitvloeisel

Uit die aard van sy komplekse oorsprong, bevat rioolwerke-uitvloeisels 'n wye spektrum van oorblywende organiese en anorganiese stowwe waarvan die organiese stowwe nie volledig deur kon-

vensionele biologiese prosesse afgebreek word nie. Fosfaat (PO_4), organiese stikstof (Org-N), sintetiese wasmiddels (ABS), ammoniakaliese stikstof ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitraatstikstof ($\text{NO}_3\text{-N}$), bakterieë en virusse is tot 'n minder of meerdere mate teenwoordig. Die organiese onsuierhede is teenwoordig in die vaste sowel as opgeloste vorm en verskil dan ook in hierdie opsig van die meeste natuurlike oppervlaktewaters.

In die sisteem wat in Windhoek gebruik word, speel verouderingsdamme 'n belangrike rol om die sekondêre uitvloeiende (biologies behandelde rioolwater) verder te suiwer met behulp van die groei van alge in verouderingsdamme veral ten opsigte van verlagings in $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4 , opgeloste organiese stowwe en bakteriologiese kwaliteit. Een van die belangrikste probleme wat ondervind is was om 'n geskikte proses te ontwikkel vir die skeiding van alge uit die verouderingsdamuitvloeiende. Ook moes geskikte metodes ondersoek word om ABS en ander organiese stowwe uit oplossing te verminder. As 'n maatstaf vir die teenwoordigheid van organiese onsuierhede is die Biochemiese Suurstof Behoeftes (BSB) en Chemiese Suurstof Behoeftes (CSB) gebruik.

Gevorderde tegnieke soos die adsorpsie van ABS en CSB aan geaktiveerde koolstof⁷ asook die vermindering van ABS deur skuimopwekking met lug⁸ was prosesse wat gedurende die duur van hierdie ondersoeke meer op die voorgrond getree het in die veld van waterherwinning. Hierdie probleme kon dus tot 'n groot mate empiries

benader word maar het nogtans uitgebreide eksperimentele werk vereis. Die navorsing was dus in die eerste plek daarop gemik om die selfsuiweringsvermoë van aktiewe algegroeï en ander biologiese prosesse beter te benut vir die daarstelling van 'n bron wat geskik sou wees vir verdere suiwing. In die tweede plek moes 'n ekonomiese en doeltreffende proses gevind word vir die verwydering van alge alvorens behandelingsproesse soos adsorpsie aan geaktiveerde koolstof, chlorering en skuimfraksionering aangepas kon word vir finale suiwing van die algevrye uitvloeisel.

Hierdie ondersoek na die herwinning van verouderingsdamuitvloeisel is in Windhoek suksesvol voltooi, en is daarna verder gevoer vir die direkte herwinning van primêre en sekondêre rioolwerke uitvloeiels gedurende 'n later periode van ondersoek in Pretoria. Die inhoud van hierdie proefskrif het betrekking op die eksperimentele werk wat uitgevoer is om die belangrikste probleme te oorkom gedurende al hierdie ondersoek, veral ten opsigte van die volgende:

- (a) Verbetering van verouderingsdamuitvloeisel met biologiese prosesse om as bron geskik te wees vir gevorderde suiwing.
- (b) Doeltreffende verwydering van algemateriaal.
- (c) Empiriese ondersoek na die geskiktheid van gevorderde suiwingstegnieke soos skuimfraksionering en adsorpsie aan geaktiveerde koolstof.
- (d) Ontwikkeling van 'n flokkulasie/flottasieproses vir behandeling van humustenuitvloeisel.

- (e) Ontwikkeling van 'n proses wat verouderingsdamme kon vervang wat betref die vermindering van $\text{NH}_3\text{-N}$.

In die algemeen word betreklik hoë konsentrasies ammoniakaliese stikstof aangetref in primêre uitvloeisel (besinkte rioolwater) sowel as sekondêre uitvloeisel (humustenkuitvloeisel). Die vermindering hiervan vereis fisies-chemiese metodes wat nie by konvensionele watersuiwering benodig word nie.

Wat die fisies-chemiese verwydering van ammoniak aanbetref was daar tot onlangs geen ekonomiese proses uit die literatuur bekend nie. Na aanleiding van basiese oorwegings ten opsigte van die analogie tussen hitte- en massaoordrag is besluit om die doeltreffendheid van 'n koeltoring te ondersoek as 'n moontlike proses om ammoniakaliese stikstof te verminder. 'n Kleinskaalse koeltoring vir die behandeling van 1000 gpu is vir hierdie doel verkry. Gedurende hierdie tydperk (1967) is 'n ondersoek ook in die VSA in hierdie verband uitgevoer en resultate met 'n koeltoring is beskryf⁵. Kriteria in verband met doeltreffendheid, belading en energieverbruik is onder plaaslike toestande vergelyk en 'n groot mate van ooreenstemmende resultate is verkry. Ontwerpsdata vir groot-skaalse toepassing het later uit hierdie ondersoeke voortgespruit.

Die sukses wat behaal is met die suiwering van humustenkuitvloeisel het aanleiding gegee tot die volskaalse ontwerp van 'n 1 mgd aanleg in Pretoria. Hierdie aanleg is in November 1970 in werking gestel en sal dien as 'n demonstrasieaanleg sowel as 'n

proefaanleg vir verdere navorsing in verband met herwinning.

Die loodsaanleg in Pretoria (1000 gpu) is op 'n later stadium ook gebruik vir die behandeling van primêre uitvloeisel waarmee 'n groot mate van sukses verkry is. Ook oksidasiedam- en verouderingsdamuitvloeisel kon doeltreffend met hierdie nuwe proses gesuiwer word. Verdere verfyning van hierdie proses word op die huidige stadium ondersoek, en verskillende kombinasies van eenheidsprosesse het reeds betekenisvolle resultate opgelewer.

In hierdie proefskrif word die belangrikste resultate van die ondersoek op verouderingsdamuitvloeisel in Hoofstuk II beskrywe, terwyl die gevorderde suiwing van sekondêre en primêre uitvloeisels in Hoofstuk III behandel word.

'n Kort beskrywing word ook in hoofstuk IV gegee van die volskaalse herwinning van verouderingsdam- en humustenuitvloeisels.

H O O F S T U K I I

2. GEVORDERDE SUIWERING VAN VEROUDERINGSDAMUITVLOEISEL

2.1 Voorlopige opnames en ondersoeke

2.1.1 Kwaliteit van verouderingsdamuitvloeisel

Die projek in Windhoek is aangevoer deur opnames te maak van die kwaliteit van die verouderingsdamuitvloei- teen die agtergrond van klimaatstoestande. Hierdie opnames het aangetoon dat die biochemiese kwaliteit van die verouderingsdamuitvloeisel gedurende die somermaande aansienlik verbeter het in vergelyking met wintertoestande veral met betrekking tot fosfaat, stikstof en bakterieë. Hierdie verbetering in kwaliteit kon hoofsaaklik toegeskrywe word aan verhoogde aktiwiteit van die biologiese sytelbeddings gedurende warmer klimaatstoestande.

Na veroudering in die seriegeskakelde damme het die ammoniak en fosfaat verder verminder as gevolg van metabolisme deur algegroeie. Ook die nitraat het gedurende periodes van lae ammoniak aansienlik verminder deur die damstelsel. Die opname het verder aangetoon dat die ammoniak in die finale damuitvloeisel gemiddeld 1.0 en 10.0 d.p.m. respektiewelik vir somer- en wintertoestande was, met ooreenstemmende nitraatwaardes van 18 en 26 d.p.m. Hierdie opname word meer volledig in Tabel 1 aangetoon.

TABEL 1

KWALITEIT VAN VEROUDERINGS DAMUITVLOEISEL NA 7 DAE
RETENSIE

Bepaling in dpm behalve waar anders gemeld	Somer			Winter		
	Maks.	Min.	Gemid.	Maks.	Min.	Gemid.
Totale Opgeloste Vaste						
Stowwe (T.O.V.S.)	750	600	660	770	670	725
Natrium	160	110	138	180	110	146
Kalium	36	28	30	35	30	30
Hardheid as CaCO_3	210	130	174	250	110	190
Alkaliniteit as CaCO_3	210	140	170	270	150	200
Sulfaat	150	100	123	113	100	104
Chloried	160	90	107	125	115	120
Fosfaat as PO_4	13	5	11	23	15	18
Totale Stikstof as N	32	14	24	60	23	40
Org. Stikstof as N	7	3	5	10	2	4
Ammoniakaliese Stikstof as N	4	0.1	1.0	30	2	10
Stikstof Oksiedes as N	26	8	18	36	18	26
Permanganaat waarde (4 ure)	17	9	14	20	8	14
B.S.B. ₅	17	2	9	24	3	12
Fekale E.Coli (M.W.G. per 100 ml)	2000	10	600	25000	100	5000
pH-waarde	10	8.9	9.5	10	8.1	8.8
Opgeloste Suurstof (% Versadiging)	-	-	300	-	-	150
Kleur (Hazen)	-	-	75	-	-	100

2.1.2 Laboratorium-ondersoeke

Die ondersoeke is aanvanklik gerig op die verbetering van verouderingsdamuitvloeiing met verskillende chemikalieë en vlok-middels. Die gebruik van aluminiumsulfaat, gebluste kalk, natriumaluminaat en ystersulfaat is afsonderlik en in kombinasie met hulpvlokmiddels soos poli-elektroliete, geaktiveerde silika, chloor, swawelsuur en koolstofdiksied ondersoek. Standaard laboratoriumapparatuur is gebruik vir die toetse wat uitgevoer is.

Die verdampingsverliese wat gepaard gaan met verouderingsdamstelsels was 'n ongewenste faktor, en aandag is ook gegee aan die chemiese voorbehandeling van syfelbeduitvloeiing.

Die mees belangrike waarnemings en resultate wat uit hierdie laboratoriumskaal-ondersoeke voortgespruit het is die volgende:

2.1.2.1 Behandeling van verouderingsdamuitvloeiing met aluminiumsulfaat

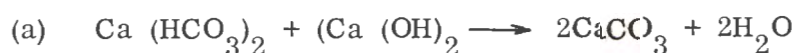
Die dosis aluminiumsulfaat benodig vir optimale uitvlokking van algemateriaal was afhanklik van die alkaliteit en pH van die verouderingsdamuitvloeiing en die aanvraag het gewissel van 150 tot 250 dpm. Optimale uitvlokking is verkry by pH 6.5 tot 7.0. Doeltreffende besinking van uitgevlokte materiaal was egter onvoorspelbaar in soverre dat gedeeltelike flottasie van alge herhaalbaar voorgekom het gedurende die uitvoer van laboratoriumskaal roertoetse.

Voorbehandeling met swawelsuur of koolstofdiksied tot pH 7.0-7.5 het die aluminiumsulfaataanvraag verminder van 180 tot ongeveer 125 dpm. Deur die bufferkapasiteit van die uitvloeisel met suur te verlaag kon die dosis aluminiumsulfaat dus tot 'n aansienlike mate besnoei word. Andersins moes 'n hoër dosis aluminiumsulfaat via hidrolise tot swawelsuur self aan hierdie suurvereiste voldoen sodat die pH genoegsaam verlaag kon word vir optimale uitvlokkings.

Die biochemiese analises het aangetoon dat afnames tot lae waardes in fosfaat (< 0.5 dpm), organiese stikstof (< 1.5 dpm), Biochemiese Suurstof Behoeftes (< 5 dpm) en kleur (< 20 Hazen-eenhede) verkry kon word na koagulasie en skeiding van vaste swewende stowwe.

2.1.2.2 Behandeling van verouderingsdamuitvloeisel met oormaat gebluste kalk

Met gebluste kalk as vlokmiddel het die optimale toediening gewissel van 300 tot 400 dpm ook na gelang van verandering van pH en alkaliniteit van die ruwater. Die optimum toestand vir uitvlokkings is verkry by 'n pH van 10.8 tot 11.2. By hierdie pH-waarde het beide kalsium en magnesium ook neergeslaan in ooreenstemming met die volgende versagtingsreaksies:



'n Oormaat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was benodig om reaksie (b) te bevorder sodat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan in oplossing bly. Die resulterende vlok het

egter beter besink as in die geval van aluminiumsulfaatflokkulasie.

Ontledings het aangetoon dat fosfaat verminder het tot < 0.2 dpm, organiese stikstof tot < 1.5 dpm terwyl bakteriologiese tellings ook drasties afgeneem het soos aangetoon in Tabel 2. Die aanduiding was dat bo en behalwe die uitvlokking en adsorpsie van bakterieë die alkaliniteit in die hidrosiedvorm sterk ontsmettings-eienskappe uitgeoefen het.

TABEL 2

VERMINDERING VAN BAKTERIEË IN VEROUDERINGS-
DAMUITVLOEISEL NA KALKBEHANDELING TOT pH 11.0

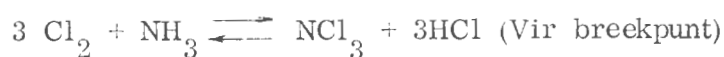
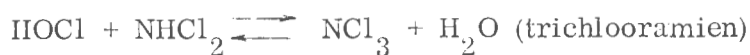
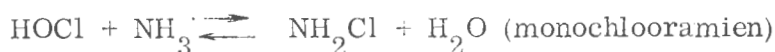
Monster	Totale Organismes per 100 ml	Coliform organis- mes per 100 ml	E.Coli per 100 ml
Onbehandelde	185,000	600	50
Behandelde	105,000	0	0

2.1.2.3 Ander vlokmiddels

Verskeie ander vlokmiddels soos natriumaluminaat, poli-elektroliete en ystersoute, is ook afsonderlik en in kombinasie met óf kalk óf aluminiumsulfaat uitgetoets. Die beste resultate wat verkry is was van dieselfde orde as wat met die alleengebruik van kalk of aluminiumsulfaat verkry is. Die keuse het dus geval tussen aluminiumsulfaat en kalk as geskikte vlokmiddels vir die behandeling van verouderingsdamuitvloeisel.

2.1.2.4 Behandeling van verouderingsdamuitvloeisel met chloor

Die tegniek van "breekpunt chlorering" dit wil sê totale oksidasie van $\text{NH}_3\text{-N}$ en teenwoordigheid van ongebonde chloor is beskou as 'n noodsaaklike behandelingsproses vanweë die bakteriologiese en virologiese kwaliteit van rioolwerke-uitvloeiels. Die algemateriaal het egter ook 'n aansienlike chlooraanvraag uitgeoefen, en moes dus eers deur flokkulasie geskei word. Die chlooraanvraag vir breekpunt chlorering was daarna in verhouding ± 12.5 tot 1 met die ammonia-kaliese stikstofgehalte in ooreenstemming met die volgende reaksies⁹:



By "breekpunt" was die uitvloeisel totaal ontkleur. In geval van voorbehandeling met kalk was dit nodig om die pH eers te verlaag voordat 'n effektiewe breekpunt verkry kon word. (Sien Figuur 1).

2.1.2.5 Behandeling van humustenuitvloeisel met gebluste kalk (laboratorium-skaal)

Die verbeterde besinking na flokkulasie van verouderingsdamuitvloeisel met kalk en die doeltreffende vermindering van fosfaat en

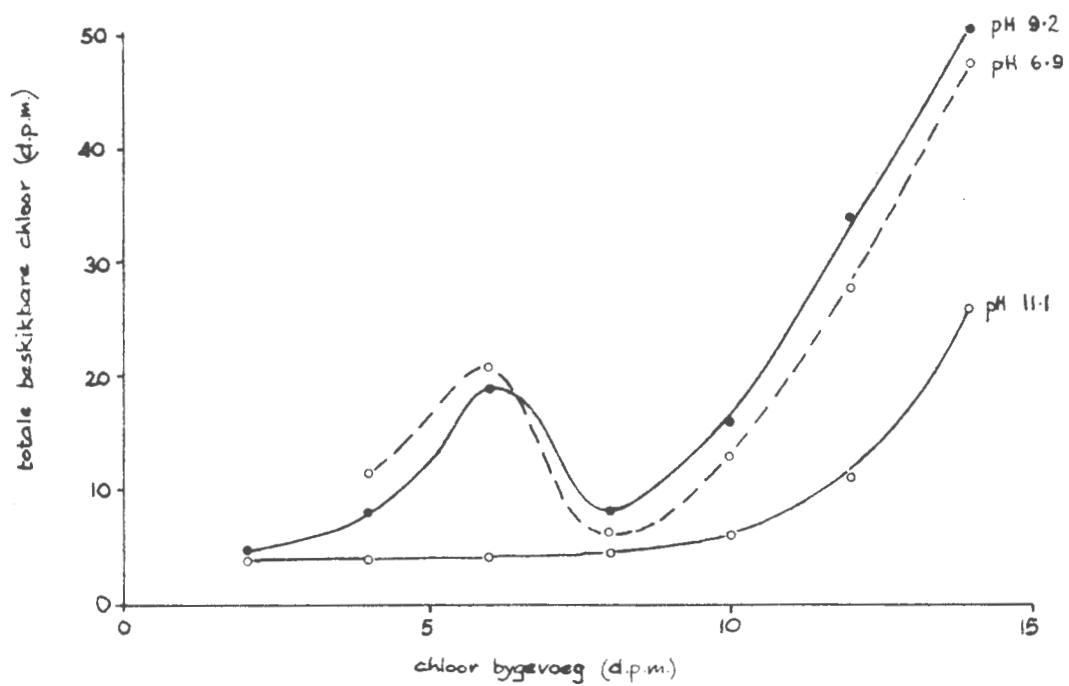


Fig. 1 : Breëpunt-kurwes vir kalk behandelde verouderingsdam-uitvloei
na suurbehandeling tot verskillende pH-waardes.

bakterieë, het soortgelyke ondersoek met humustenkuitvloeisel aangemoedig. Bekertoets het weereens bevestig dat goeie verbetering van bakteriologiese en biochemiese kwaliteit verkry kon word deur verhoging van pH bokant 11.0 met gebluste kalk. Die $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NH}_3\text{-N}$ het egter min verander en dit het geblyk dat hierdie bestanddele slegs deur biologiese aktiwiteit verminder kon word. Tipiese resultate wat met humustenkuitvloeisel verkry is, word in Tabel 3 aangetoon.

2.1.3 Voorlopige Loodsskaal ondersoek na die verbetering van verouderingsdamuitvloeisel

Die voorbehandeling van syelbeduitvloeisel (voor besinking in humustenk) met gebluste kalk is op grootskaal ondersoek met die oog op 'n verdere verbetering in die kwaliteit van die verouderingsdamuitvloeisel veral ten opsigte van stikstof in die vorm van ammoniak en nitraat. Dit is voorsien dat voorbehandeling met kalk die organiese lading op die damme drasties sou verminder en dat daar terselfdertyd ook 'n vermindering kon intree van $\text{NH}_3\text{-N}$ wat by hoë pH gedeeltelik vervlugtig¹⁰ in ooreenstemming met die reaksie

$$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}.$$

Die vloeipatroon van die rioolwatersuiweringswerke is aangepas vir hierdie ondersoek. 'n Grootskaalse kalkdoseerder is aangebring en vier ewewydige stelsels elk bestaande uit 'n biologiese syelbedding, humustenk en afsonderlike verouderingsdam met 7 dae retensie, is voorsien (Sien Figuur 2).

TABEL 3

VERBETERING VAN BIOLOGIESE SYPELBEDUITVLOEISEL NA KALK-BEHANDELING TOT pH 11.2 (RESULTATE IN DPM BEHALWE WAAR ANDERS VERMELD)

Bepaling	Ruwater	Na kalkbehandeling
pH-waarde	7.9	11.2
Alkaliniteit as CaCO_3		
Totaal	142	185
Karbonaat	0	74
Bikarbonaat	142	0
Hidroksied	0	111
Hardheid as CaCO_3		
Totaal	249	300
Kalsium	148	300
Magnesium	101	0
Fosfaat as PO_4	20.3	0
Nitraat as N	31.3	25.9
Nitriet as N	0.3	0.2
Ammoniak as N	1.2	0.8
Kjeldahl as N	5.4	2.9
Org. Stikstof as N	4.2	2.1
Permanganaat-waarde (4 ure)	20.7	4.6
B.S.B. (5 dae)	40	12.5
Totale telling agar $37^\circ\text{C}/100\text{ ml}$	7,155,000	1,900
Coli-organismes MWG $37^\circ\text{C}/100\text{ ml}$	2,500,000	25
Tipiese E.Coli $44^\circ\text{C}/100\text{ ml}$.	1,300,000	5

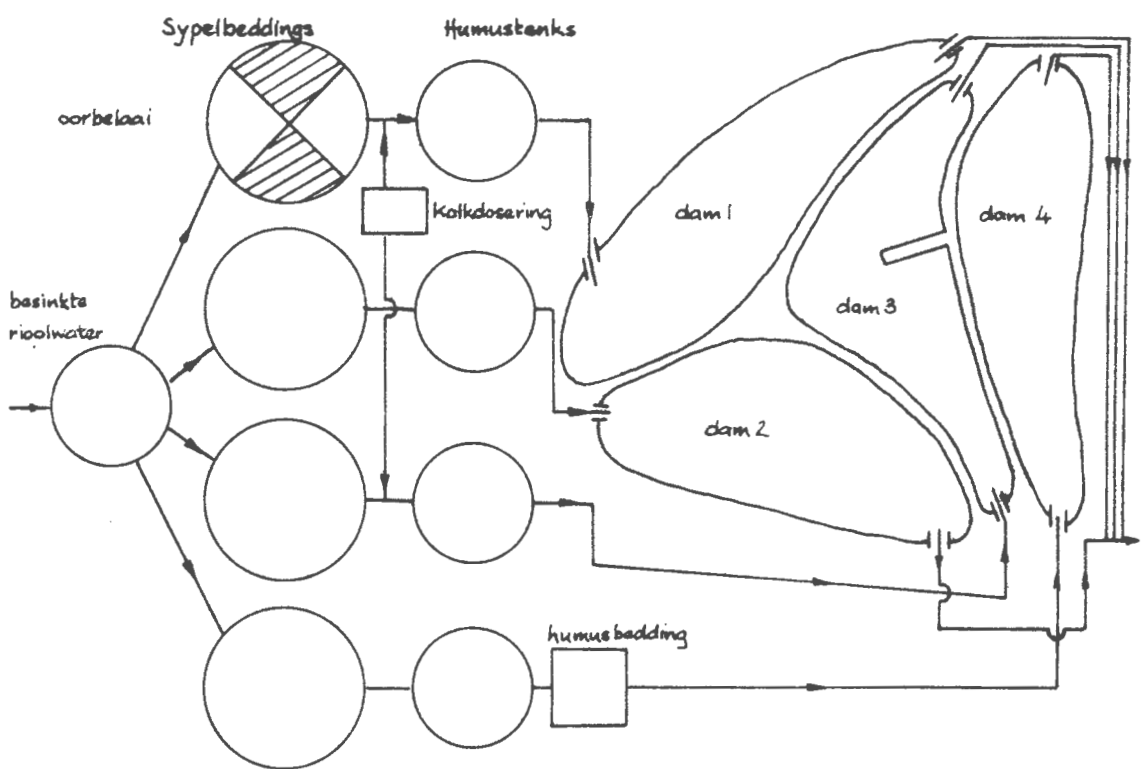


Fig. 2 : Vier ewewydige stelsels.

Stelsel 1 het bestaan uit 'n oorbelaaiete biologiese sypelbed wat verkry is deur slegs sowat 20% van die totale oppervlakte van die bed te belas. Hierdie modifikasie het meegebring dat 'n vrag van 20,000 beladingseenhede (suurstof opname uit $\frac{N}{40} \text{KMnO}_4$ in 4 ure) voorsien is waardeur nitrifikasie beperk kon word. Gevolklik kon nitraatwaardes tot minder as 4 dpm verlaag word. Hierdie uitvloeisel is voorts met kalk behandel tot pH 11.0 en die organiese materiaal is deur besinking in die humustenk geskei. Die uitvloeisel is daarna verouder vir 'n periode van 7 dae.

Stelsel 2 het gedien as 'n kontrole waar goed genitrifiseerde biologiese sypelbeduitvloeisel (± 4000 beladingseenhede) op konvensionele wyse deur die humustenk en daaropvolgende verouderingsdam gestuur is.

Stelsel 3 was identies aan die kontrole-stelsel, behalwe dat voorsiening ook gemaak is vir voorbehandeling met kalk.

Stelsel 4 was weereens identies aan die kontrole-stelsel maar 'n humusbedding (22 uur retensie) is ingeskakel tussen die humustenk en ooreenstemmende verouderingsdam. Op 'n later stadium is 'n mikromaassif ingeskakel in die plek van die bedding om die verwydering van humus deur die twee sisteme te vergelyk.

2.1.3.1 Resultate verkry met ewewydige stelsels

(a) Stelsels 1 en 2

Kalk is deurlopend toegedien vir 'n periode van

5 weke en 'n registrerende pH-meter is ingeskakel om die dosering te kontroleer. Buitensporig hoë doserings (600 tot 1200 dpm) was nodig vir optimale uitvloeking by pH 10.8 tot 11.2, veral gedurende periodes wanneer vleisinmaak- en slagplaasafloopwater teenwoordig was. Die hoë alkaliniteit van die oorbelaaide sytelbeduitvloeisel het ook bygedra tot hierdie hoë kalkaanvraag. Tipiese resultate wat verkry is word in Tabel 4 aangetoon.

TABEL 4
DIE EFFEK VAN GROOTSKAALSE KALKBEHANDELING VAN
OORBELAAIDE BIOLOGIESE SYTELBEDUITVLOEISEL OP
DAMGEHALTE

Bepaling in dpm	Oorbelaaide Sytelbeduit- vloeisel plus 500 dpm kalk (Stelsel 1)		Konvensionele Sytelbeduit- vloeisel sonder kalk (Stelsel 2)	
	Biologiese Sytelbeduit- vloeisel	Dam uitvloeisel	Biologiese Sytelbeduit- vloeisel	Dam uitvloeisel
pH-waarde	8.1	9.6	7.8	8.8
Permanga- naat-waar- de	28.7	16.2	25.5	14.4
Fosfaat	16.9	2.7	16.1	7.1
Org. -N	16.2	8.7	14.0	6.3
NH ₃ -N	35.8	22.3	13.7	8.1
NO ₃ -N	4.1	1.5	22.3	17.6
NO ₂ -N	3.1	2.1	1.1	1.7
Tot. -N	59.2	34.6	51.1	33.7

Uit die resultate het geblyk dat beter fosfaat verwydering verkry kon word met stelsel 1, maar dat $\text{NH}_3\text{-N}$ nog uitermatig hoog was in vergelyking met dié van stelsel 2. Die voordeel van lae $\text{NO}_3\text{-N}$ is dus opgehef deur die hoë $\text{NH}_3\text{-N}$ in stelsel 1. Na verloop van 5 weke is gevind dat kalkdosering nadelig was vir die biologiese lewe en die gepaardgaande selfsuiweringsvermoë van dam 1. 'n Algehele afwesigheid van alge en opgeloste suurstof het ontwikkel in die dam. Gevolglik het anaerobiese toestande ontstaan en 'n onaangename reuk is waargeneem. Hierdie verskynsel is toegeskrywe aan die uitvloeking van voorafbestaande alge deur die vorming van $\text{Mg}(\text{OH})_2$ by hoë pH¹¹. Die teenwoordigheid van hidroksied alkaliniteit het ook die groei van alge teengewerk soos later bevestig is met laboratoriumskaal inentingsproewe. (Sien ook 2.2.1.2.1).

(b) Stelsel 3

Die resultate wat verkry is met hierdie stelsel was ietwat beter wat betref $\text{NH}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ in vergelyking met stelsel 2. Die deurlopende toediening van kalk het egter weereens die nadelige uitwerking op biologiese aktiwiteit in die ooreenstemmende dam bevestig. Resultate wat met hierdie stelsel verkry is word in Tabel 5 in vergelyking met die kontrolestelsel aangetoon.

(c) Stelsel 4

Die humusbedding het 'n aansienlike vermindering in bakteriologiese tellings teweeggebring maar die in- en uitvloei het,

TABEL 5

INVLOED VAN GROOTSKAALSE KALKBEHANDELING OP DIE
KWALITEIT VAN KONVENSIONELE BIOLOGIESE SYPELBED-
UITVLOEISEL

(Resultate in dpm)

	Konvensionele sykelbeduit- vloeiisel	Na kalk behande- ling	Na veroude- rings dam	Na kontro- le dam
pH-waarde	7.9	10.7	10.1	8.8
Kjeldahl-N	27.7	16.6	11.5	14.8
NH ₃ -N	13.7	10.9	7.8	9.7
Organiese-N	14.0	5.7	3.7	5.1
NO ₃ -N	22.3	21.7	16.9	16.2
NO ₂ -N	1.0	1.1	2.0	1.3
Fosfaat as PO ₄	16.1	1.2	1.6	9.4
Permanganaat- waarde (4ure)	25.5	10.5	10.7	12.3
Totale N	50.8	39.4	30.4	32.3

wat biochemiese kwaliteit aanbetref, nie betekenisvol verskil
nie. (Sien Tabel 6).

2.2 Verbetering van Rioolwerke-uitvloeiisel

Die voorlopige laboratorium- en loodsskaalondersoeke het gedui
op die nodigheid vir meer doeltreffende werking van die biologiese
eenhede ten einde 'n uitvloeiisel te lewer wat as bron geskik sou
wees vir gevorderde suiwing. Om hierdie doelwit te bereik was
dit noodsaaklik om laer waardes veral ten opsigte van NH₃-N en
NO₃-N te bewerkstellig.

TABEL 6

VERGELYKING VAN DIE KWALITEIT VAN DIE IN- EN UITVLOEI
VAN DIE HUMUSBEDDING

Bepaling in dpm	Invloei na humus- bedding	Uitvloei van humus- bedding
pH	7.9	8.1
Kjeldahl - N	20.5	20.9
NH ₃ -N	14.2	13.5
Organiese - N	6.3	7.4
NO ₃ -N	20.7	19.6
NO ₂ -N	1.0	1.0
Totale N	42.1	41.5
Fosfaat as PO ₄	16.9	16.2
Permanganaat-waarde (4 ure)	15.7	14.9

2.2.1 Ondersoeke na die vermindering van ammoniak en nitraat

Om 'n uitvloeisel te lewer wat as bron geskik sou wees is 'n mikpunt gestel op 'n maksimum totale stikstofgehalte van 20 dpm as N. Hierdie beperkende waarde is gestel met die verwagting dat alle stikstof na nitraat omgesit sou word. Daarby is NH₃-N van groter as 5 dpm as onekonomies ten opsigte van breekpunt chlorering beskou.

Hierdie doelwitte is nie bereik gedurende die voorlopige ondersoeke nie en die besluit is geneem om die probleem te benader deur stikstofdraende industriële uitvloeisels af te skei en ook om die toestande vir biologiese aktiwiteit te bevorder.

2.2.1.1 Afskeiding van industriële uitvloeiings

'n Opname is gemaak van die afloopwaters van die slagplaas, vleisinmaak- en beenmeelfabrieke. Statistieke het aangetoon dat ongeveer 300 stuks grootvee daaglik geslag word, en dat slegs 'n beperkte herwinning van die afvalprodukte toegepas word.

Die opname het bevestig dat 'n hoë bydrae aan stikstof en ander organiese bestanddele in hierdie nywerhede ontspring en dat dit baie wenslik was om hierdie uitvloeiings af te skei vir afsonderlike behandeling. Hierdie besluit is deurgevoer en na afskeiding het 'n aansienlike verbetering (sien Tabela 7 en 8) in die kwaliteit van die rioolwater ingetree.

2.2.1.2 Bevordering van Biologiese Aktiwiteit

2.2.1.2.1 Die rol van alge

Deur gebruik te maak van verouderingsdamme as 'n finale stadium in die konvensionele rioolwatersuiweringswerke was dit duidelik dat 'n aansienlike vermindering in onsuiverhede verkry kon word afhangende van damkapasiteit, biotika en klimaatstoestande. Hierdie stelsel is gebaseer op die bekende selfsuiweringseienskappe van water met behulp van mikro-organismes in 'n gebalanseerde voedselketting. Hierin vorm alge 'n belangrike skakel deur die voorsiening van fotosintetiese

TABEL 7

KWALITEITSOPNAME VAN NYWERHEIDSUITVLOEISELS

Bepaling in dpm	Vleisinmaakfabriek	Slagplaas	Beenmeel-fabriek
pH-waarde	6.7	7.3	6.7
Geleidingsvermoë	385	1345	6270
NH ₃ -N	92	62	701
Kjeldahl-N	485	345	7525
Organiese-N	393	283	6824
Permanganaat-waarde (4 ure)	272	356	8174
B. S. B. (5 dae)	6100	2310	170500
Vloei in (gpd)	48000	94000	4200

TABEL 8

ONTLEDINGS VAN SAAMGESTELDE RIOOLWATERMONSTERS
VOOR EN NA AFSKEIDING VAN NYWERHEIDSUITVLOEISELS

	Inkomende rioolwater		Besinkterioolwater		Sypelbedui tvloei sel	
	Voor Skei-ding	Na Skei-ding	Voor Skei-ding	Na Skei-ding	Voor Skei-ding	Na Skei-ding
Kejldahl-N	124	74	112	60	55	16
NH ₃ -N	48	37	53	37	23	5
Organiese-N	76	37	59	23	32	11
NO ₃ -N	-	-	-	-	23	21
Permanga-naatwaarde	80	55	62	35	34	18
B. S. B. (5 dae)	870	710	410	175	100	43

suurstof. Die doeltreffende afskeiding van alge was egter 'n noodsaaklike vereiste by verdere behandeling.

Die verhoging in $\text{NH}_3\text{-H}$ gedurende die winter asook die teenwoordigheid van $\text{NO}_3\text{-N}$ tot meer as 20 dpm (maksimum toelaatbaar vir menslike gebruik)¹² het die noodsaaklikheid van groter stikstofverwydering beklemtoon.

Fosfaat vermindering in die verouderingsdamme was tot 'n groot mate afhanklik van die heersende pH wat op sigself afhanklik was van alge-aktiwiteit. Sintetiese wasmiddels (ABS) het voorgekom in konsentrasies tot 8 dpm (as Manoxol OT) en E.Coli het progressief verminder deur die konvensionele suiweringswerke en serig^eskakelde damme.

Gedurende die voorlopige ondersoeke is ook bevestig dat die verhouding bikarbonaat/karbonaat alkaliniteit 'n rol speel by die stimulering van alge-groei en dat hoë pH-waardes soos verkry deur voorbehandeling met kalk toksies is vir algegroeie. Laboratoriumskaalproewe is vervolgens uitgevoer om hierdie verskynsel nader te ondersoek. Hierdie proewe is as volg uitgevoer:

'n Voorraad oplossing van sypelbeduitvloei (6 liter) is met kalk behandel tot pH 11.0 en die vlok is afgeskei. Die voorraad is toe opgedeel in 6 x 1 liter volumes en koolsuurgas is bygevoeg tot pH-waardes wat gewissel het vanaf 6.9 tot 11.0 in die reeks. By elke volume is 10 ml algedraende uitvloei

as 'n metode van inenting bygevoeg, en die series was toegelaat om algekulture op te bou oor 'n periode van 7 dae. Daaglikse bepalings van alkaliniteit is uitgevoer en visuele waarnemings is gemaak van die digtheid van algegroe. Hierdie resultate word in Tabel 9 aangetoon.

TABEL 9

INVLOED VAN pH EN ALKALINITEIT OP ALGEAKTIWITEIT

Toets Nr.	Dae retensie	Alkaliniteit as dpm CaCO_3			pH
		HCO_3	CO_3	OH	
1	0	0	274	121	11.0
	2	0	276	37	9.6
	5	-	-	-	9.0
	7*	145	110	0	8.1
2	0	0	410	0	9.6
	2	95	275	0	9.1
	5*	155	150	0	8.9
	7	10	210	0	8.8
3	0	150	260	0	9.1
	2	183	212	0	8.8
	5*	250	88	0	9.4
	7	0	150	25	9.2
4	0	303	130	0	8.6
	2*	303	120	0	8.5
	5	0	310	0	10.0
	7	0	170	5	9.0
5	0	450	0	0	7.9
	2*	415	35	0	8.1
	5	0	270	0	10.0
	7	0	170	40	9.3
6	0*	450	0	0	6.9
	2	450	10	0	7.8
	5	150	312	0	9.9
	7	0	150	60	9.4

*Eerste dag waarop algegroe waarneembaar was. 27

Uit die resultate het geblyk dat 'n verhouding van bikarbonaat tot karbonaat-alkaliniteit van groter as 1 nodig was vir aktiewe algegroeie. Hierdie waarneming het ook verklaar waarom die grootskaalse voorbehandeling van sypelbeduitvloei- sel met kalk misluk het.

2.2.1.2.2 Biochemiese Denitrifikasie

Gaillard¹³ het gevind dat nitraatwaardes afneem in 'n verouderingsdam wanneer besinkte rioolwater bygevoeg word. Bringman¹⁴ en andere het suksesvolle denitrifikasie verkry deur 'n waterstofskenker te voorsien by 'n optimum redokspotensiaal. Johnson en Schroepfer¹⁵ het aangetoon dat hoog-genitrifiseerde uitvloei- sel van 'n konvensionele geaktiveerde slykproses gedeni- trifiseer kon word deur vermenging met rou slyk onder anaero- biese toestande. Deur berekening van die materiaalbalans ten opsigte van stikstof is vasgestel dat die nitraat prakties volledig tot stikstofgas gereduseer het. Die gevolgtrekking is gemaak dat die slyk onder anaerobiese toestande die nitraat as 'n bron van suurstof benut.

Op grond van hierdie waarnemings is besluit om denitrifi- kasie te ondersoek deur vermenging van goed genitrifiseerde sypelbeduitvloei- sel met besinkte rioolwater. 'n Mispunt van 10 dpm nitraat as N is gestel vir die uitvloei- sel van die finale verouderingsdam.

2.2.1.2.2.1 Laboratoriumskaalondersoek

Uitgebreide laboratoriumondersoek is uitgevoer om die benaderde toestande vas te stel vir denitrifikasie.

Besinkte rioolwater is in verskillende verhoudings vermeng met goed genitrifiseerde sypelbeduitvloei, en in 'n broeikas by 25°C geplaas vir 'n periode van 3 dae. Aanvanklike stikstofkonsentrasies van die onderskeie vermengings is bereken van die samestelling van die twee afsonderlike uitvloei's wat ook as blankos blootgestel was aan dieselfde toestande.

Die verlies aan stikstof is na 3 dae bepaal en vergelyk met berekende waardes gebaseer op vermenging van die blankos. (Sien Tabel 10).

Uit hierdie resultate was dit duidelik dat denitrifikasie in die laboratorium verkry kon word ten koste van verhoging in $\text{NH}_3\text{-N}$. Vir grootskaalse toepassing is besluit om die verhouding besinkte rioolwater sodanig te kies dat die $\text{NO}_3\text{-N}$ van die verouderingsdamuitvloei nie 10 dpm oorskrei nie, terwyl die $\text{NH}_3\text{-N}$ van die orde 5 dpm en laer moes wees.

2.2.1.2.2.2 Loodsskaal Denitrifikasie-ondersoek

Om die verwagte toename in $\text{NH}_3\text{-N}$ teen te werk is 'n nominale retensie van 14 dae voorsien in die seriegeskakelde verouderingsdamme. Vir hierdie doel is 50% van die totale vloei as 'n tydelike maatreël omgelei sodat slegs 50% deur die damme kon vloei. 'n Verhouding van 25%, 15% en 10%

TABEL 10

Verhouding van Sypel - beduitvloeisel tot be- sinkte rioolwater	Begin-konsentrasie in dpm						Na 3 dae retensie						% NO ₃ vermin- dering
	Bepaalde waardes			Berekende waardes			Bepaalde waardes			Berekende waardes			
	NH ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₃	NO ₃	NO ₂	
1/0	3.8	59.2	2.0				7.2	55.8	1.4				
0/1	86.8	0.0	0.0				58.7	0.0	0.0				
1/1				45.3	29.6	1.0	29.4	0.0	0.0	33.0	27.9	0.7	100.0
2/1				31.5	39.5	1.3	26.1	1.3	6.3	24.4	37.2	0.9	96.5
3/1				24.6	44.4	1.5	22.2	15.8	6.6	20.1	41.9	1.1	62.2
4/1				20.4	47.4	1.6	19.9	18.8	8.4	17.5	4.8	1.1	58.0
5/1				17.6	49.3	1.7	17.7	28.3	6.2	15.8	46.5	1.2	39.1
9/1				12.1	53.3	1.8	14.3	41.9	4.5	12.4	50.2	1.3	16.5

besinkte rioolwater tot syfelbeduitvloei is saamgestel vir behandeling in die damme, en 'n periode van etlike weke is toegelaat tussen die 3 onderskeie eksperimente sodat ewewigstoestande kon intree voor monsterneming.

(a) 25% Besinkte rioolwater vermeng met 75% Syfelbeduitvloei

Vir hierdie eksperiment is die beweging van die verspreidingsarms van een van die vier syfelbeddings gestop om sodoende 'n uitvloei te verkry wat min verskillend was van besinkte rioolwater. Hierdie uitvloei is vermeng met die goed genitrifiseerde uitvloei van die ander drie syfelbeddings. Daaglikse monsters is geneem van die individuele syfelbeddings asook 7 uur na vermenging in die toevoerkanaal tussen humustenks en eerste verouderingsdam. Gemiddelde resultate word in Tabel 11 aangetoon.

Uit hierdie resultate het geblyk dat die $\text{NH}_3\text{-N}$ in die damme verminder het met 14.8 dpm (68.2%) terwyl die $\text{NO}_3\text{-N}$ verminder het met 4.8 dpm (32.2%). Denitrifikasie het ook plaasgevind binne die bestek van 7 ure.

(b) 15% Besinkte rioolwater vermeng met 85% Syfelbeduitvloei

Hierdie resultate word in Tabel 12 aangetoon.

TABEL 11

LOODSSKAAL DENITRIFIKASIE DEUR VERMENGING VAN 25%
BESINKTE RIOOLWATER MET SYPELBEDUITVLOEISEL

(Resultate in dpm)

Monster	NH ₃ -N	Kjeldahl -N	Organie- se-N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Tot. -N	% Afname na 7 ure retensie		
							NH ₃ -N	NO ₃ -N	Tot. -N
Konven- sionele Sykelbed- uitvloei- sel	13.8	21.2	7.4	39.7	1.4	62.3			
Besinkte riool	57.0	72.9	15.9	0.9	0.3	74.1			
Na ver- menging (bereken)	24.6	34.1	9.5	30.0	1.2	65.3			
Na 7 ure retensie	21.7	28.4	6.7	14.9	6.1	49.4	11.5	50.8	24.1
Na 14 dae re- tensie in dam	6.9	-	-	10.1	-	-	% afname na 14 dae retensie		
							68.2	32.2	-

TABEL 12

LOODSSKAAL DENITRIFIKASIE DEUR VERMENGING VAN 15%
BESINKTE RIOOLWATER MET SYPELBEDUITVLOEISEL

(Resultate in dpm)

Monster	NH ₃ -N	Kjeldahl -N	Organie- se-N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Tot. -N	% Afname na 7 ure retensie		
							NH ₃ -N	NO ₃ -N	Tot. -N
Konven- sionele Sykelbed- uitvloei- sel	9.6	15.3	5.7	40.6	1.4	57.3			

TABEL 12 (vervolg)

Monster	NH ₃ -N	Kjeldahl -N	Organie- se-N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Tot. -N	% Afname na 7 ure retensie		
							NH ₃ -N	NO ₃ -N	Tot. -N
Besinkte riool	50.9	65.0	14.1	0.2	0.2	65.4			
Na ver- menging (bereken)	15.8	22.7	6.9	34.5	1.2	58.4			
Na 7 ure retensie	17.5	23.7	6.2	17.7	5.7	47.1	+10.8	48.7	19.4
Na 14 dae re- tensie in dam	5.5	-	-	8.2	-	-	% Afname na 14 dae retensie		
							62.9	53.7	-

Die NO₃-N en NH₃-N was respektiewelik 8.2 en 5.5 dpm in die finale verouderingsdamuitvloei. Die NH₃-N het dus verminder met 12.0 dpm (62.9%) en die NO₃-N met 9.5 dpm (53.7%) deur die damme.

(c) 10% Besinkte rioolwater vermeng met 90% syfelbeduitvloei

Vir hierdie eksperiment moes die volle biologiese aktiwiteit in die kortgeslote syfelbed eers weer herstel word waarvoor 'n periode van etlike maande benodig was. Gevolglik is hierdie proef op 'n later stadium onder gunstiger klimaatstoelstande uitgevoer.

Al vier die syfelbeddings het op hierdie stadium goed genitrifiseer en 10% besinkte rioolwater is ingebloei by die gesamentlike uitvloei.

Die resultate wat verkry is word in Tabel 13 aangetoon.

TABEL 13

LOODSSKAAL DENITRIFIKASIE DEUR VERMENGING VAN 10%
BESINKTE RIOOLWATER MET SYPELBEDUITVLOEISEL

(Resultate in dpm)

Monster	NH ₃ -N	Kjeldahl -N	Organie- se-N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Tot. -N	% Afname na 7 ure retensie		
							NH ₃ -N	NO ₃ -N	Tot. -N
Konven- sionele Sypelbed- uitvloei- sel	6.2	10.8	4.6	23.3	1.3	35.4			
Besinkte riool	33.4	43.4	10.0	0.0	0.0	43.4			
Na ver- menging (bereken)	8.9	14.1	5.2	21.0	1.2	36.3			
Na 7 ure retensie	8.4	12.8	4.4	15.0	3.8	31.6	5.6	28.6	12.9
Na 14 dae re- tensie in dam	2.2	4.7	2.5	6.8	1.9	13.4	% Afname na 14 dae retensie		
							75.2	67.6	63.1

Die NO₃-N en NH₃-N was respektiewelik 6.8 en 2.2 dpm in die finale verouderingsdamuitvloei- sel. Hierdie uitvloei- sel het dus voldoen aan die vereistes wat gestel is vir 'n geskikte bron vir gevorderde suiwering.

Gedurende hierdie proewe is die groei van alge ook merkbaar gestimuleer en 'n aansienlike verandering van E.Coli is aangete-

ken ten spyte van die invoer van besinkte rioolwater. Dit was egter beduidend dat verouderingsdamme met 'n totale retensie van minstens 14 dae nodig sou wees vir die grootskaalse herwinning van verouderingsdamwater en aan hierdie vereiste is dan ook later voldoen deur addisionele verouderingsdamme aan te bou. Vir verdere ondersoek is die volle vloei weer deur die damme gestuur sodat die damme weer normaal teen 7 dae retensie belaaï is.

2.3 Verwydering van alge uit verouderingsdamuitvloei

2.3.1 Inleiding

Die voorlopige ondersoek het bevestig dat aluminiumsulfaat en kalk albei doeltreffend was as vlokmiddels vir alge, maar soos vermeld was die skeiding van die uitgevlokte materiaal nog 'n probleem wat nadere ondersoek geverg het. Die gedeeltelike flottering van uitgevlokte alge was 'n verskynsel wat herhaaldelik voorgekom het. Ook is in sommige toetse waargeneem dat besinkte vlok na 'n uur of meer na die oppervlakte gestyg het. Die suiwering wat verkry is was met beide vlokmiddels van dieselfde orde behalwe dat met kalkbehandeling tot pH 11.0 weer aangesuur moes word voor verdere behandeling. Ook het aluminiumsulfaat-flokkulasie 'n groter adsorpsie van sintetiese wasmiddels bewerkstellig in vergelyking met kalkflokkulasie. Vervolgens is besluit om die ondersoek

voort te sit met aluminiumsulfaat as vlokmiddel. Onder-
soeke wat later in Pretoria uitgevoer is het egter bewys
dat oormaat kalkbehandeling besliste voordele inhou in ver-
gelyking met aluminiumsulfaat.

In die algemeen word die teenwoordigheid van alge in
enige drinkwaterbron problematies beskou weens die traagheid
van besinking, toeslaan van sandfilters en onaangename reuk
en smaak wat met chlorering kan ontwikkel. 'n Aantal me-
todes van ondersoek vir skeiding van alge is bekend uit die
literatuur^{16,17,18}. Dit sluit eenheidsprosesse in soos che-
miese behandeling, besinking, flottasie, filtrasie en sentrifu-
gering. Hiervan word chemiese behandeling as die mees
belowende beskou.

Praktiese en tegniese probleme soos ondervind deur
Gelueke en Oswald¹⁶ en ook deur Levin¹⁷ met die flottering
van alge was minder suksesvol.

Die voorlopige ondersoeke deur die Nasionale Instituut
vir Waternavorsing het aangetoon dat uitgevlokte alge inherente
flottasie-eienskappe besit en dit was van belang geag om die
toestande wat flottasie bevorder noukeurig te bestudeer. Aan-
vanklik is 'n poging aangewend om uitgevlokte alge volledig
te besink in 'n loodsskaal besinktenk. Slegs gedeeltelike
besinking is verkry en hierdie eenheid is gemodifiseer om te
funksioneer as 'n flottasie/besinktenk¹⁹. Vervolgens is die

verskynsel van flottasie meer breedvoerig in die laboratorium ondersoek en die bevindings het die grondslag gelê vir 'n loodsskaaleenheid vir algehele flottasie. Verdere navorsing is dan ook toegespits op verbetering van die flottasie-eenheid as sulks en verskillende ontwerpe met inagneming van hidroulika, belugtingstegnieke en fisiese parameters is vergelyk. Die suksesvolle ontwerp van die grootskaalse flottasie-eenheid wat deel vorm van die herwinningsaanleg in Windhoek het uit hierdie ondersoeke voortgespruit.

2.3.2 Loodsskaal Ondersoeke met eenheid vir gelyktydige flottasie en besinking van alge

2.3.2.1 Verdeling van vlok tussen drywende en besinkte fases

Hierdie eenheid was aanvanklik ontwerp as 'n besinktenk met $3\frac{1}{2}$ ure retensie teen 'n vloei van 1000 gpu. Uit die staanspoor was dit duidelik dat in ooreenstemming met laboratorium-bevindings slegs gedeeltelike flottasie verkry kon word. Hierdie eenheid was vierkantig in seksie met 'n omgekeerde piramidale bodem (Sien Figuur 3).

Die oppervlakte aftrekstelsel is verander om water onder die dryflaag uit te neem. Die uitvloei-sel was betreklik vry van algevlok.

Lopies is uitgevoer by opwaartse vloeisnelhede

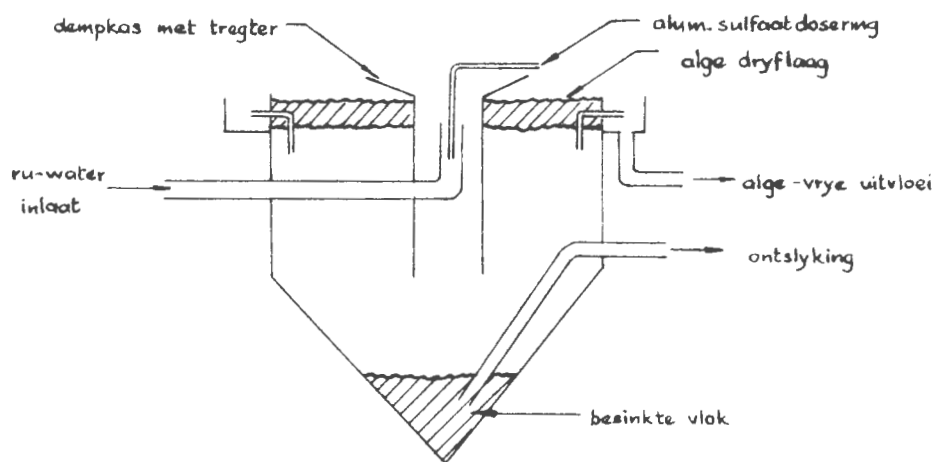


Fig.3 : Eenheid vir flottasie/sedimentasie.

van 2.2 en 6 vt/uur met die doel om die verdeling van uitgevlokte materiaal tussen drywende en besinkte fases vas te stel. In beide gevalle is die totale dryflaag afgeskep en die volume is bepaal. Die verhelderde water is daarna afgetap en ook is die besinkte vlok versamel. Verteenwoordigende monsters is getrek van die drywende en besinkte fases vir die bepaling van swewende materiaal, asook organiese materiaal en R_2O_3 op droë basis. Die resultate word in Tabel 14 aangetoon.

Die resultate het aangetoon dat die persentasie organiese vlok nie betekenisvol verskil het in die besinkte en drywende fases nie. By die verskillende vloeisnelhede was die organiese materiaal op 'n droë basis bereken ongeveer 54% in besinkte sowel as drywende fases. Die gevolgtrekking is gemaak dat belugtingsfaktore verantwoordelik was vir die gedeeltelike flottasie van alge en dat sintetiese wasmiddels ook 'n rol speel by hierdie verskynsel.

2.3.2.2 Resultate met volledige loodsaanleg met flottasie/besinktenk as eerste stadium

'n Verdere modifikasie aan die flottasie/besinktenk is aangebring deur die inlaat tot 'n hoogte van 12 duim bokant die oppervlakte te lig. (Sien figuur 4). Sodoende is gepoog om 'n groter hoeveelheid lug te verkry vir flottasiedoeleindes.

TABEL 1₁

LOODSSKAALPROEWE : ONDERSOEKE NA DIE VERHOUDING
 VAN BESINKTE EN DRYWENDE ALGEVLOK NA ALUMINIUM-
 SULFAATDOSERING EN OPWAARTSE VLOEITEMPOS VAN
 2.2 EN 6.0 VT/UUR.

Opwaartse Vloeitempo	2.2 vt/uur		6 vt/uur	
	Drywende Fase	Besinkte Fase	Drywende Fase	Besinkte Fase
Totale volume vlok gemonster	44 gell.	55 gell.	40 gell.	50 gell.
Volume vlok af- geskei na 24 ure retensie in 2 li- ter maatsilind- ers	740 ml	800 ml	800 ml	700 ml
Droë gewig per 250 ml. by 105 ^o C	1.0187 g	1.0167 g	1.4175 g	1.0595 g
Berekende ge- wig vaste stof vir totale vo- lume gemon- ster	814 g	1016 g	1029 g	962 g
Ammoniakalie- se stikstof as N	10 mg/l	11 mg/l	11.0 mg/l	12.0 mg/l
Kjeldahl Stikstof as N	85 mg/l	83 mg/l	135 mg/l	86.0 mg/l
Organiese Stik- stof as N	75 mg/l	72 mg/l	124 mg/l	74.0 mg/l
Berekende or- ganiese N vir totale volume gemonster	15 g	18 g	22.5 g	16.8 g

TABEL 14 (vervolg)

Opwaartse Vloeitempo	2.2 vt/uur		6 vt/uur	
	Drywende Fase	Besinkte Fase	Drywende Fase	Besinkte Fase
% As (droë gewigsbasis)	46.1	45.8	47.9	45.2
% Organiese materiaal(droë gewigsbasis)	53.9	54.2	52.1	54.8
Berekende organiese materiaal vir totale volume gemonster	439 g	551 g	536 g	528 g
% R_2O_3 (droë gewigsbasis)	41.0	43.1	28.6	51.9
Gewig R_2O_3 per 250ml	0.4101 g	0.4291 g	0.3955 g	0.5287 g
Berekende R_2O_3 vir totale volume gemonster	327 g	428 g	287 g	479 g

Hierdie verandering het die uitwerking gehad dat 'n baie groter verhouding van drywende fase tot besinkte fase gevorm het.

Ook het 'n stabiele skuim as gevolg van sintetiese wasmiddels ontwikkel en toetse het bevestig dat die ABS van 7.0 na die orde 4.0 dpm verlaag kon word.

Hierdie eenheid is daarna gekoppel aan die res van die loodsaanleg bestaande uit 'n doseerapparaat vir chloor en kalk, 'n sekondêre besinktenk, 'n sandfilter en 'n kolom met geaktiveerde koolstof. (Sien figuur 5).

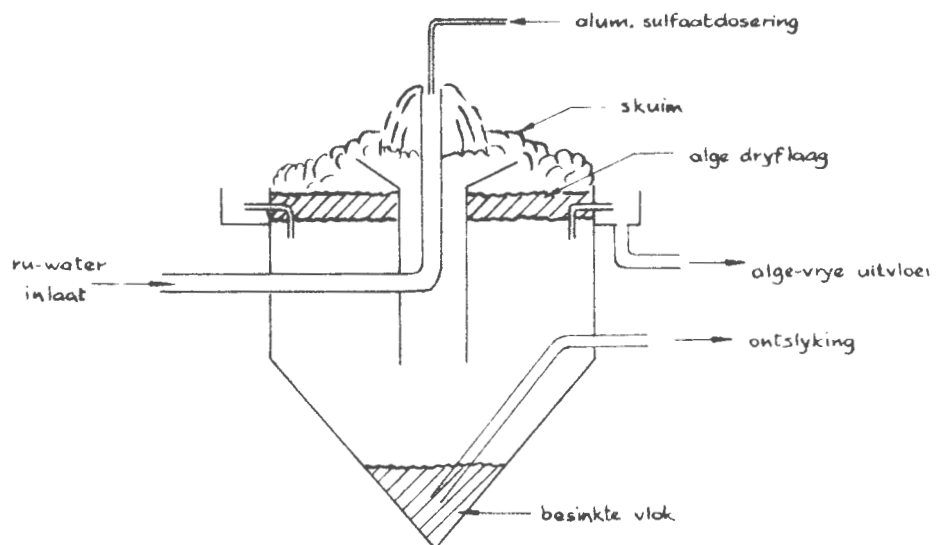
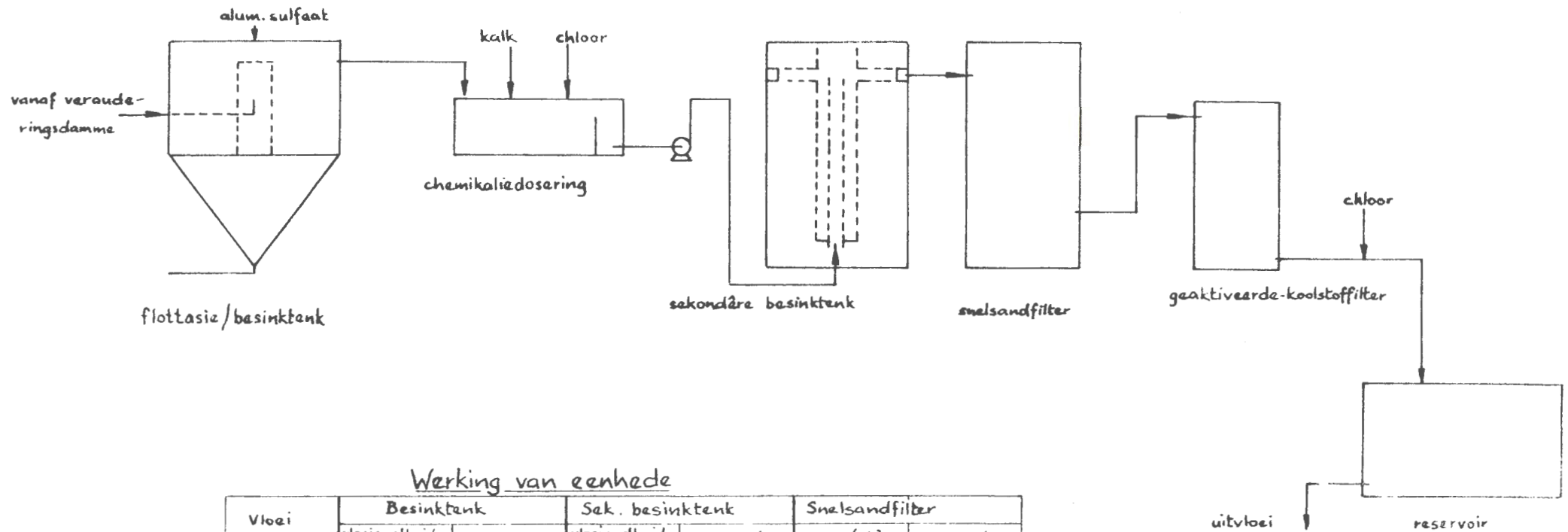


Fig. 4 : Eenheid vir flottasie/sedimentasie (gewysig)



Werking van eenhede

Vloei g.p.u.	Besinktank		Sek. besinktank		Snelsandfilter	
	vloei snelheid vt./uur	retensie (uur)	vloei snelheid vt./uur	retensie (uur)	g.p.u./vt ²	retensie (uur)
1000	2.22	2.85	2.96	3.50	80	0.50
1500	3.33	1.90	4.45	2.30	119	0.34
2000	4.44	1.42	5.95	1.73	159	0.25
2500	5.55	1.14	7.45	1.40	199	0.20
3000	6.66	0.95	8.90	1.15	238	0.17

Fig. 5 : Loodsaanleg met flottasie/besinktank as primêre stadium.

Aluminiumsulfaat is as vlokmiddel gebruik in die flottasie/ besinktenk gevolg deur kalk en chloor in die sekondêre besinktenk. Die resultate het aangetoon dat $\text{NH}_3\text{-N}$ en kleur prakties ten volle verwyder kon word met breekpunt chlorering. Die finale uitvloeisel was van 'n goeie biochemiese gehalte, behalwe vir $\text{NO}_3\text{-N}$ wat onveranderd deur die proses gegaan het. Ook was 'n klein hoeveelheid organiese stikstof (< 2.0 dpm) nog teenwoordig. (Sien Tabel 15).

2.3.3 Laboratorium-onderzoek na die toestand benodig vir algehele flottasie of besinking van algeblok

'n Hipotese is opgestel om die verskynsel van drywende algeblok te verklaar. Volgens hierdie hipotese het komplekse belugtingsfaktore van chemiese, biochemiese en meganiese aard tydens die stadium van vlokvorming en in teenwoordigheid van 'n skuimmiddel soos ABS bygedra tot die verskynsel van flottasie. Chemiese Belugting kon plaasvind as gevolg van die reaksie van gehidroliseerde aluminiumsulfaat met bikarbonate om koolsuurgas vry te stel.

Biochemiese Belugting kon plaasvind deur die vrystelling van oorsadigde fotosintetiese suurstof onder turbulente toestande.

Meganiese Belugting kon ontstaan deur insluiting van lugborrels wanneer 'n vryvallende toevoerstroombaan by 'n watermassa aansluit.

Met hierdie hipotese as uitgangspunt is standaard bekertoetse

TABEL 15

VEROUDERINGS DAMUITVLOEISEL BEHANDEL MET 150 DPM
ALUMINIUMSULFAAT, 50 DPM KALK EN 15 DPM CHLOOR

Bepaling in dpm	Onbehandelde uitvloeisel	Na flottasie/ besinking	Na stabilisasie chlorering en sandfiltrasie
pH-waarde	9.8	7.1	8.5
Ammoniakaliese N	1.1	0.5	0.1
Eiwit-N	2.5	1.1	0.5
Organiese N	6.8	2.8	1.2
NO ₃ -N	18.8	18.4	17.5
NO ₂ -N	1.1	1.0	0
Fosfaat as PO ₄	3.3	0.6	0.6
Chloried	83	80	98
Sulfaat	124	194	188
Kalium	24	23	21
Natrium	61	61	55
Totale alkaliniteit as CaCO ₃	140	74	64
Karbonaat alkaliniteit as CaCO ₃	56	0	0
Bikarbonaat alkaliniteit as CaCO ₃	84	74	64
Hidroksiedalkaliniteit as CaCO ₃	28	0	0
Totale hardheid as CaCO ₃	166	176	208
Kalsium hardheid as CaCO ₃	105	119	154
Magnesium hardheid as CaCO ₃	61	57	54
TOVS	612	554	612
SiO ₂	17	14	10
Swewende vaste stowwe	42	30*	0
Permanganaat-waarde (4 ure)	16.4	8.9	3.4
B.S.B. (5 dae)	27.3	9.5	2.9
Totale Telling/ml	145,000	15,800	130

hervat met aluminiumsulfaat as vlokmiddel. Die invloed van roertempo en roertyd is eers bestudeer. Daar is gevind dat met 'n vinnige roertempo vir 5 tot 10 minute, 'n algehele besinking van vlok verkry kon word. Na verloop van 30 tot 60 minute het 'n gedeelte van die besinkte vlok egter na die oppervlakte gestyg.

Met 'n stadige roertempo vir 2 tot 3 minute het gedeeltelike flottasie van vlok ontstaan. Hierdie waarnemings het aangedui dat oormatig turbulente toestande besinking van vlok bevorder moontlik weens die vrystelling van oorversadigde suurstof. Die aanduiding was dus dat biochemiese belugting wel 'n rol speel by die verskynsel van flottasie.

Die konvensionele bekertoetse met roerapparaat is daarna vervang met 'n eenvoudiger stelsel deur twee 2-liter maatsilinders te gebruik. Na byvoeging van die optimum dosis aluminiumsulfaat by albei silinders is verouderingsdamwater vanaf 'n hoogte van sowat 12 duim in die silinders gestort. Die een silinder is daarna geroer vir 'n paar sekondes terwyl die ander een baie sterk geroer is vir 2 tot 3 minute (sien figure 6 en 7).

In die eerste silinder is algehele flottasie verkry na ongeveer 5 minute terwyl slegs gedeeltelike flottasie in die tweede silinder verkry kon word. Die tegniek om die uitvloeisel vanaf 'n hoogte in die silinder te stort is gesien as 'n vorm van meganiese belugting omdat fynverdeelde lugblasies daardeur ontstaan het.

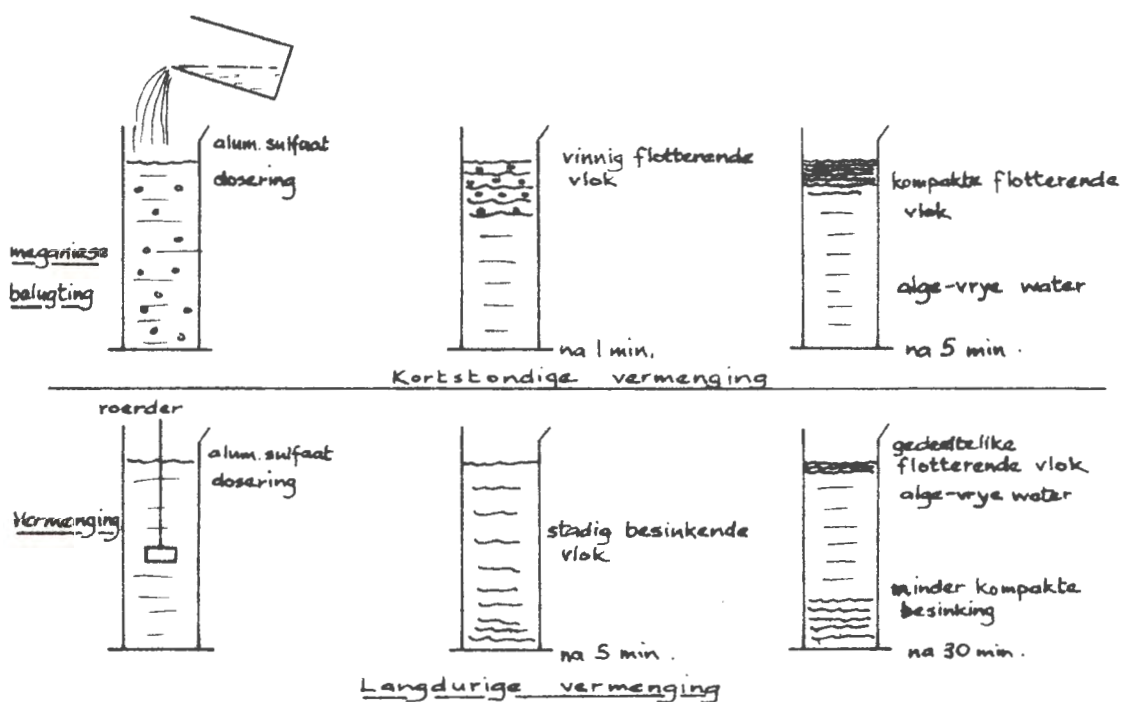
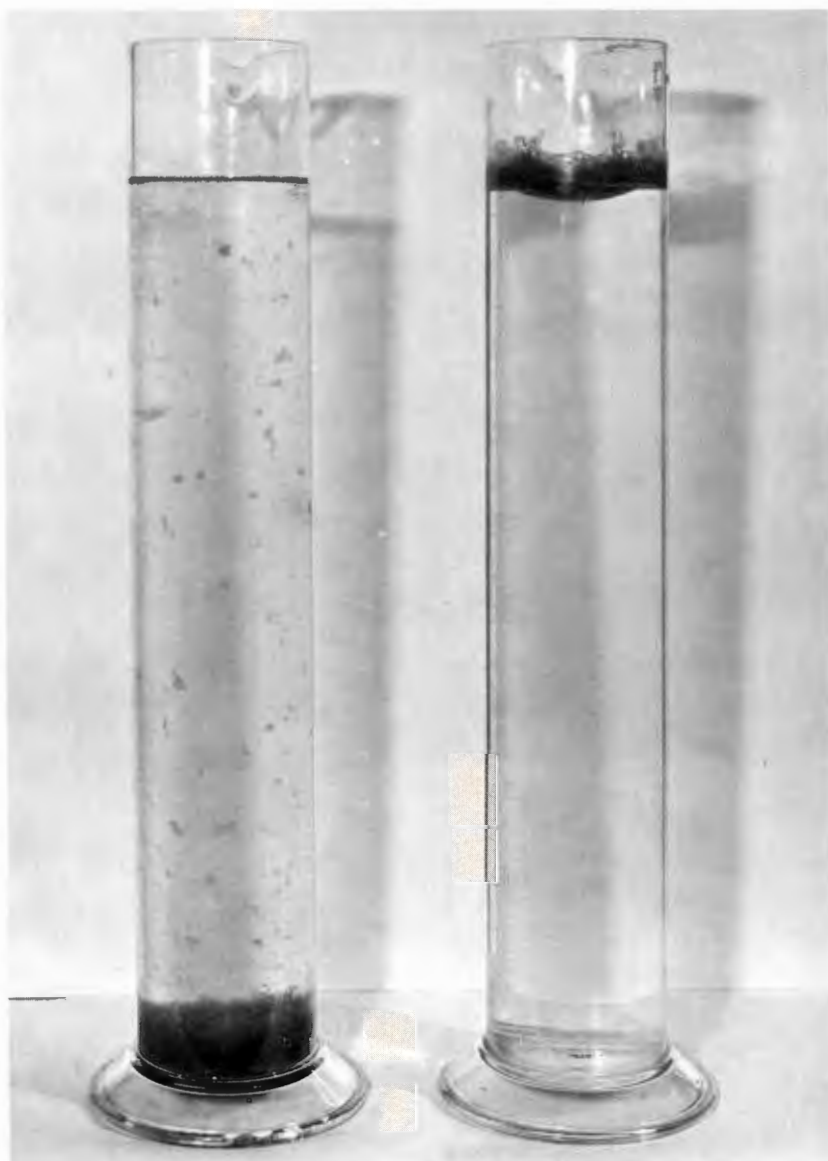


Fig. 6: Laboratorium-roertoets om besinking en flottasie van alge by verskillende toestande van vermenging aan te toon.



Figuur 7

'n Foto om die
volledige skeiding
met flottasie in
die laboratorium
aan te toon.

Met stilbyvoeging deur byvoorbeeld, die silinder skuins te hou was flottasie minder volledig en was die tydsduur vir skeiding van vlok ook langer. Die hipotese dat meganiese belugting 'n bydrae lewer het dus ook stand gehou. Aangesien dieselfde resultate met kalk by hoër pH verkry kon word kon die aanname van chemiese belugting egter verwerp word.

Verdere toetse is uitgevoer deur lug met behulp van 'n lugspreier by te voeg. Die resulterende vlok het egter neigings getoon om te besink sodat hierdie behandeling ooreengekom het met oormatig turbulente toestande, en verlies van oorversadigde suurstof.

2.3.3.1 Toestande vir algehele flottasie van alge

Op grond van bogenoemde toetse was dit nou moontlik om die toestande wat vir algehele flottasie van algevlak bevorderlik was te beheer. Hierdie toestande is in berekening gebring by die konstruksie van 'n loodsskaal-flottasietenk wat hieronder beskryf word.

Die toestande en aspekte vir algehele flottasie is soos volg opgesom:

- (a) 'n Kort periode vir vermenging van vlokmiddel en om oorversadigde suurstof gedeeltelik vry te stel.

(Langdurende vermenging veroorsaak algehele stroping van suurstof).

- (b) Gasvrystelling word gekataliseer deur verlaging in partiële druk wanneer lug meganies ingeklits word.
- (c) Insluiting van mikro lug- en suurstofblasies om dryfbaarheid aan vormende vlok te verleen.
- (d) Laminêre vloeitoestande gedurende die skeiding van vlok sodat die opbreek van gevormde vlok met vrystelling van ingeslote gasblasies verhoed word.

Die invloed van oorversadigde suurstof is ook bewys deur eers die oorversadigde suurstof met lug te stroop waarna slegs gedeeltelike flottasie verkry kon word. Daarna is aangetoon dat flottasie met dieselfde water weereens verkry kon word deur meganiese belugting te voorsien deur lug in oplossing te bring onder hoë druk. Vir hierdie doel kon enige gas met sukses aangewend word, maar die gebruik van koolsuurgas was besonder doeltreffend weens die hoë oplosbaarheid, en veral omdat die pH van die uitvloeisel gelyktydig verlaag kon word tot die gebied waar aluminiumsulfaat 'n optimum werking vertoon het. Sodoende was dit moontlik om die aluminiumsulfaatsosis aansienlik te verlaag.

2.3.3.2 Toestande vir algehele besinking van alge

Op dieselfde grondslag kon algehele besinking van alge vlok toegeskrywe word aan die volgende faktore:

- (a) Langdurende turbulente toestande tydens die stadium van vlokvorming.

- (b) Vrstelling van ingeslote lug en suurstof tydens die stadium van vlokvorming.
- (c) Nodigheid vir 'n diep besinkingsseenheid vir:
 - (i) stadige besinkingstempo van voluminieuse vlokdeeltjies;
 - (ii) afskerming van sonlig om verdere metaboliese gasontwikkeling te verhoed.

Die voordele van flottasie het gelê in die meer volledige en vinniger skeiding wat verkry is asook die meer kompakte dryflaag in vergelyking met die stadiger skeiding en minder kompakte uitsakking van vlok by 'n besinkingsproses. (Figuur 7).

2.3.4 Ontwikkeling van 'n loodsskaal flottasietenk

Die betreklik eenvoudige empiriese toestande wat vir flottasie benodig was en die inherente flotterbaarheid van algevlok het die nodigheid vir meer gesofistikeerde en konvensionele flottasieapparatuur²⁰ uitgeskakel. 'n Reghoekige-eenheid is gebou (Figuur 8) en getoets by vloeisnelhede van 800 tot 1200 gpu met 'n aluminiumsulfaattoediening van 170 tot 200 dpm. Hierdie eenheid het 'n uitvloeisel gelewer wat baie helder en vry van alge vertoon het. Die resultate wat verkry is word in Tabelle 16 en 17 aangetoon.

Hierdie resultate het gunstig vergelyk met dié wat met die loodsskaal flottasie/besinktenk verkry is. As in aanmerking geneem word dat die deurvloeityd vir flottasie/besinking $3\frac{1}{2}$ uur was, teenoor slegs

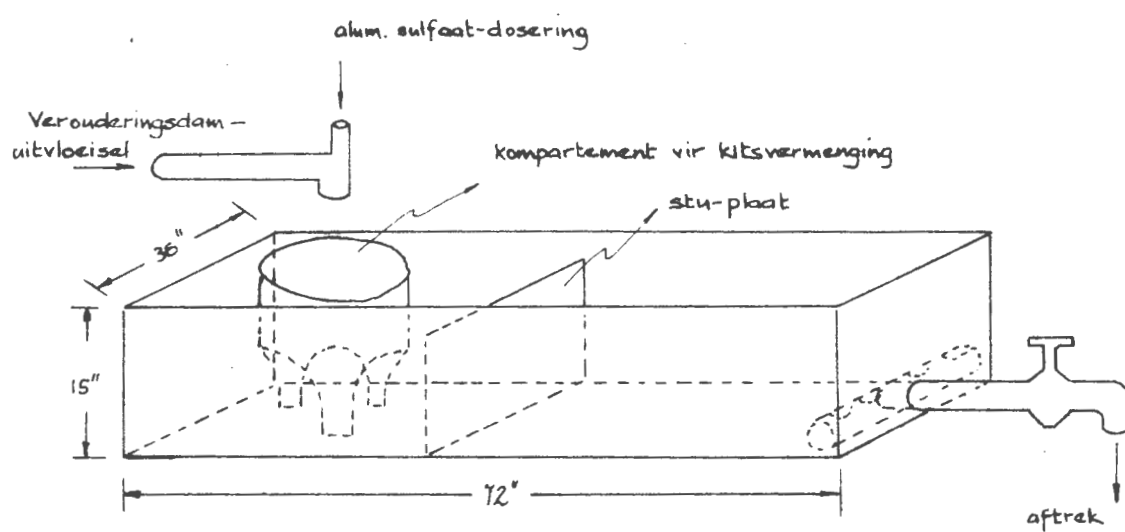


Fig.8: Loodsskaal flottasie-eenheid.

TABEL 16

VERBETERING IN KWALITEIT NA ALGEHELE FLOTTASIE
BY VERSKILLENDSE VLOEITEMPOS

(Aluminiumsulfaat-dosis 270 dpm)

Bepaling in dpm	Onbehandelde uitvloeisel	Na Flottasie 800 gpu	Onbehandelde uitvloeisel	Na Flottasie 1000 gpu	Onbehandelde uitvloeisel	Na Flottasie 1200 gpu
Organiese -N	2.5	1.5	5.0	0.8	7.1	1.7
Fosfaat	11.7	1.4	7.8	1.1	8.2	0.1
Permanganaatwaarde (4 ure)	11.6	6.8	14.6	5.4	22.9	8.5
B S.B(5 dae)	18.5	4.6	26.1	4.5	42.0	2.0
Totale alkaliniteit as CaCO_3	213	90	218	93	207	63
T.O.V.S	-	-	-	-	741	824
Kleur (Hazen)	140	15	200	25	150	25
Troebelheid	28	18	-	-	44	15
Totale telling/ml	26,100	2,380	450,000	0	-	-

TABEL 17

VERBETERING VAN KWALITEIT NA ALGEHELE FLOTTASIE
MET VERSKILLENDSE DOSERINGS ALUMINIUMSULFAAT

Bepaling in dpm	Onbehandelde uitvloeisel	Na flottasie met aluminiumsulfaat		
		170 dpm	200 dpm	220 dpm
Organiese N	3.5	2.4	2.1	1.3
Fosfaat	13.8	0	0	0
Permanganaatwaarde (4 ure)	12.1	8.6	7.5	5.9
B S.B. (5 dae)	22.5	11.8	6.2	6.9
C S.B	121	89	73	77

6 minute vir algehele flottasie in 'n betreklik eenvoudige konstruksionele eenheid, was die verdere uitbouing van die flottasieproses van groot ekonomiese belang.

Die werking van die flottasie-eenheid het die bevindinge in die laboratorium bevestig asook die toestande wat gepostuleer was vir algehele flottasie. Vir die implementering van hierdie toestande in 'n volskaalse eenheid was dit egter nodig om eers 'n studie te maak van die hidroulika van verskeie geometriese ontwerpe. Dit was ook duidelik dat die proses verder verfyn kon word deur die belugtingstegniek te verbeter. Hiervoor is 'n Venturi-prinsiep van belugting gebruik waarmee uitstekende resultate gedurende verdere ontwikkelingswerk behaal is. Dit was ook van belang om by die finale ontwerp van 'n flottasie-eenheid voorsiening te maak vir die volgende:

- (a) 'n Tenk met geskikte dempkas waarin die kinetiese energie van die toevoerstroom opgehef kon word en waarin doeltreffende vermenging van vlokmiddels kon plaasvind.
- (b) 'n Bodemaftrekstelsel.
- (c) Stilvloeitoestande in die flottasie-kompartement van die eenheid.

Van die verskillende eenhede wat ontwerp en uitgetoets is, was beide die eenhede met onderskeidelik radiaal en vertikaal afwaartse vloei (Sien Figure 9 en 10) baie doeltreffend⁶.

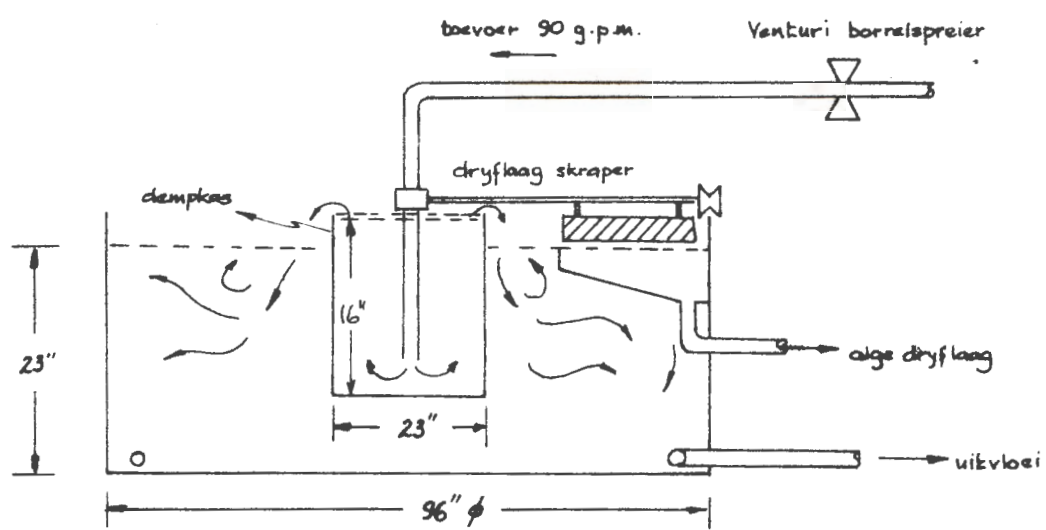
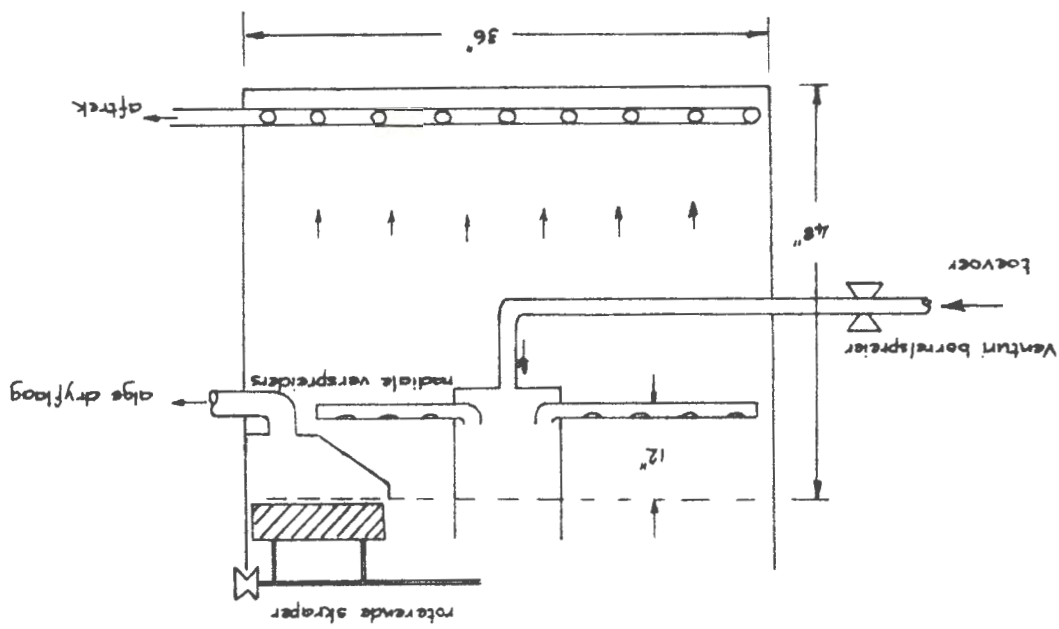


Fig. 9: Flottasie-eenheid met radiale vloei.

Fig.10: Floottasie-eenheid met vertikale vloei



In die bedryf van albei eenhede was die hoeveelheid besinkte vlok minimaal in verhouding tot die drywende fase.

Die ontwikkeling van 'n geskikte flottasie-tegniek²¹ was 'n deurbraak ten opsigte van die gevorderde suiwering van verouderingsdamuitvloei. Dit was nou moontlik om die suiwerings-eienskappe van aktiewe algegroei onbeperk te benut. Die algedryflaag kon ook effektief afgeskraap word om terselfdertyd 'n proteïnerike produk vry te stel. 'n Bykomstige voordeel van die proses was ook die aansienlike vermindering in bakteriologiese tellings as gevolg van adsorpsie en skeiding tesame met die algedryflaag.

2.4 Vermindering van Sintetiese Wasmiddels

2.4.1 Literatuur

As basiese bestanddeel van meeste kommersiële beskikbare sintetiese wasmiddels word natriumalkielbenseensulfonaat (ABS) gebruik wat van tetrapropileen berei word. Slegs 'n gedeelte hiervan is biologies afbreekbaar sodat 'n aansienlike gedeelte sy weg vind na riviere en waterlope waardeur die onestetiese probleem van skuiming ontstaan.

Verskeie ondersoeke is uitgevoer na 'n beter verwydering van ABS uit sekondêre uitvloei as wat verkry kon word deur bakteriologiese afbreking alleen. Een metode wat veral in die jongste tyd vordering gemaak het, is skuimfraksionering wat as eenheidsproses goedkoper is as adsorpsie aan

geaktiveerde koolstof. Wegdoening van die skuim deur verdamping kan egter probleme skep wanneer 'n oormaat water in die skuim teenwoordig is, omdat die energievereistes vir verdamping onekonomies verhoog kan word. Skuimfraksies met 1000 tot 5000 dpm ABS is maklik verkrygbaar met eenvoudige tegnieke van skuimopwekking. Deur hersirkulasie en dreinerings van skuim kan die konsentrasie van ABS tot 20,000 dpm verhoog word²². Sodoende kan 'n droër skuim afgeskei word, maar hierdie voordeel moet dan ook opgeweeg word teen 'n hoër bedryfskoste.

2.4.2 Teorie van Skuimopwekking

Die onderliggende teorie vir skuimopwekking word breedvoerig in die literatuur beskryf²³. Dit behels konsepte soos lugborrel-dinamika, ewewig van skuimoppervlaktes en materiaalbalans vir berekening van massa-oordragskoëffisiënte en kolomhoogtes. Wace et al²⁴ gee die volgende formules vir berekening van kolomhoogtes:

$$t = \frac{K}{hm} \int_{\Gamma_1}^{\Gamma_2} \frac{d\Gamma}{\Gamma e - \Gamma}$$

waar t = kontaktyd wat vir lugborrel nodig is om die konsentrasie van Γ_1 na Γ_2 te verhoog.

$\Gamma_e - \Gamma$ = verskil tussen ewewig- en oppervlakte konsentrasie van lugborrel op enige tydstop.

K = Helling van ewewigslyn.

hm = Massaoordragskoëffisiënt.

Die massaoordragskoëffisiënt kan bereken word van

$$hm = \frac{D}{d} \left[A + B (Re)^n (Sc)^{1/3} \right]$$

waar D = diffusietempo

Re = Reynoldgetal

Sc = Schmidtgetal

$$A = \frac{2}{\left[1 - (1 - \xi)^{1/3} \right]}$$

$$B = \frac{2}{3}$$

$$\frac{2 - 3n}{3n - 1} = 4.65 \text{ Re}^{-0.28}$$

ξ = volume tussen lugborrels as breukdeel van totale kolomvolume

Tenslotte kan die hoogte bereken word deur

$$\text{waar } H = ut$$
$$u = u_s \left[\frac{\xi^{1/2}}{1 - (1 - \xi)^{2/3}} \right] = \text{relatiewe snelheid van lugborrel}$$

en u_s = Snelheid van enkel lugborrel.

Die toepassing van bogenoemde vergelyking vir die berekening van kolomhoogtes verg egter uitgebreide eksperimentele gegewens vir ewewigskonsentrasies by verkillende pH en temperatuur. Ook verander die lugborrelgrootte met diepte, en is daar met borrelbelugting 'n wye distribusie van borrelgrootte teenwoordig. Gevolglik is by die ondersoeke in Windhoek die probleem benader deur gebruik te maak van die volgende empiriese gegewens wat uit die literatuur beskikbaar was:

McGaughey et al²⁵ het gevind dat die graad van skuimvorming 'n funksie was van die oorspronklike konsentrasie ABS en dat ewe-

wigstoestande ingetree het met 'n oorblywende konsentrasie van ± 1 dpm. 'n Belugtingsverhouding van 5 tot 1 (lug tot vloeistof) is beskou as die ekonomiese optimum. Met borreldinamika is ook teoreties bewys dat die maksimum oordrag van ABS verkry word met borrelgroottes van 0.8 mm^{24} as optimum.

2.4.3 Laboratorium-ondersoeke

Die konsentrasie sintetiese wasmiddels (ABS) in die inkomende rioolwater en verouderingsdamuitvloeisel was gemiddeld 15 en 7 dpm respektiewelik. Die aanduiding was dat slegs sowat 50% biologiese afbreking plaasgevind het met behulp van die syfelbeddings en verouderingsdamme. Die skuimfraksioneringstegniek is vervolgens ondersoek ten einde hierdie oorblywende ABS verder te verlaag en sodoende die belasting op die geaktiveerde koolstoffilter wat by die loodsaanleg voorsien is tot die minimum te beperk.

Ewewigskonsentrasies

Hoeveelhede van 2.7 liter verouderingsdamwater is belug teen 'n tempo van 2 liter per minuut vir 'n periode van 120 minute en monsters is met tussenposes getrek vir ontleding. Die invloed van aluminiumsulfaat is vir vergelyking ondersoek. Die resultate word in Tabel 18 aangetoon.

Hierdie resultate het aangetoon dat 'n ewewigskonsentrasie van 1.7 dpm verkry kon word. Met byvoeging van aluminiumsulfaat het die waarde verlaag tot 1.2 dpm.

TABEL 18

VERMINDERING VAN ABS MET TYD

Belugtings- tyd Minute	Oorblywende ABS konsentrasie in dpm	
	met aluminiumsulfaat	sonder aluminiumsulfaat
0	7.1	6.8
10	3.8	3.6
20	1.8	2.7
30	1.6	2.2
120	1.2	1.7

Ten einde praktiese toestande vir 'n ononderbroke proses te simuleer, is 'n kolom opgestel en die vloeitempo van uitvloeisel is varicer tussen 100 en 900 ml/min terwyl die lugvloeikonsstant gehou is op 500 ml/min. (Sien Tabel 19).

TABEL 19

VERMINDERING VAN ABS MET ONONDER-
BROKE VLOEI

Vloeitempo ml/min		Verhouding Lug tot uitvloeisel	Teoretiese retensie (Minute)	Oorblywende ABS dpm
Uitvloeisel	Lug			
0	0	0	0	6.0
100	500	5:1	27.0	1.2
300	500	5:3	9.0	2.6
600	500	5:6	4.5	2.0
900	500	5:9	3.0	3.4

2.4.4 Loodsskaaleenheid vir skuimfraksionering

Volgens hierdie resultate kon 'n verhouding van 5:1 lug tot uitvloeisel en 'n retensie van 27 minute die ABS verlaag tot 'n waarde van 1.2 dpm. Hierdie konsentrasie is as benaderde waarde vir ewewig in goeie ooreenstemming met die literatuur aanvaar.

Verdere toetse op loodsskaal het aangetoon dat die diepte van die watervlak bokant die lugspreiers nie baie krities was nie. Dit het aangedui dat 'n vlakeenheid verkieslik sou wees bo 'n diep kolom met die voordeel van 'n laer belugtingsdruk. Hierdie kriteria is ook op 'n later stadium ingebou in die volskaalse aanleg in Windhoek en die resultate wat reeds verkry is het die korrektheid van hierdie kriteria bevestig.

'n Loodsskaalmodel is ook op 'n later stadium gebou en gebruik vir die behandeling van humustenkuitvloeisel in Pretoria. Hierdie eenheid was toegerus met fasiliteite vir hersirkulasie van skuim (Sien figuur 11) en 'n suigwaaier is voorsien om die opgewekte skuim saam te slaan. Ooreenstemmende resultate is verkry met 'n belugtingsverhouding van 5:1.

2.5 Finale Behandeling met geaktiveerde koolstof

2.5.1 Literatuur

Geaktiveerde koolstof word gebruik om organiese onsuiverhede in water deur die proses van adsorpsie te verwyder.

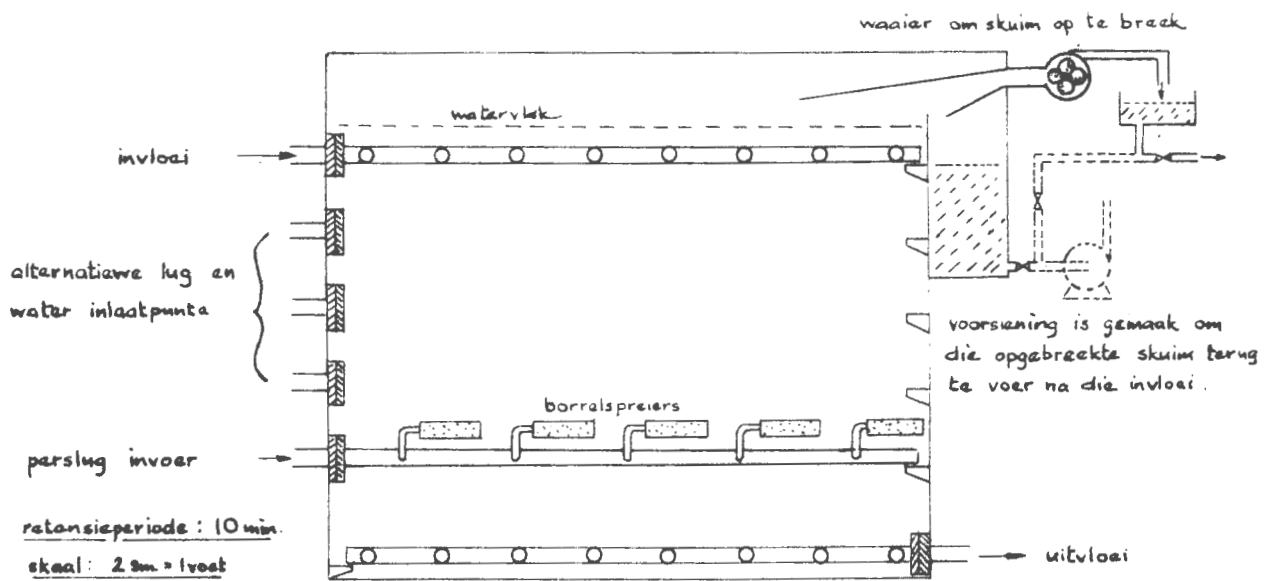


Fig.11: Loodsskaal skuimfraksioneerder.

Die uitermate hoë aktiewe oppervlakte per eenheidsvolume maak dit 'n doeltreffende adsorpsiemateriaal. Dit word vervaardig van 'n verskeidenheid roumateriale en die tipes wat gebruik word vir watersuiwering word gewoonlik uit hout of steenkool vervaardig.

Regenerasie by hoë temperatuur is die enigste praktiese metode om gebruikte koolstof te hernu²⁶.

Koolstof wat van hout vervaardig word is gewoonlik nie hard genoeg om hidroulies gehanteer te word nie, en waar regenerasie toegepas word is korrelkoolstof, wat van steenkool vervaardig word, meer geskik.

Verpoeierde geaktiveerde koolstof word algemeen gebruik vir reuk- en smaak verwydering in konvensionele watersuiwering. Hassler²⁷ rapporteer dat 'n gemiddelde koolstofdosies van 23 lb per miljoen gellings gebruik is by 'n opname van 137 verskillende munisipaliteite. Die moeilike regenerasie van verpoeierde koolstof het egter tot dusver die gebruik daarvan vir herwinning van rioolwerkeuitvloeiels beperk.

Volgens Morris en Weber²⁸ is die tempo van adsorpsie aan geaktiveerde koolstof 'n lineêre funksie van die vierkantswortel van die geadsorbeerde stof. Die proses begunstig dus die verwydering van lae konsentrasies adsorbate. Hulle het ook gevind dat die tempo van adsorpsie omgekeerd eweredig is aan die kwadraat van die konsentrasie en dat korrelgrootte hoofsaaklik die tempo van adsorpsie beïnvloed en nie die kapasiteit van die koolstof nie.

Verder is gevind dat adsorpsie van ABS toeneem met verlaging in pH.

In Pamona, Kalifornia, is 'n 0.3 mgd geaktiveerde koolstof aanleg bedryf vir die behandeling van uitvloeisel van 'n geaktiveerde slykproses²⁹. Die gemiddelde verbruik aan koolstof was 250 lb per miljoen gelling, en die beraamde koste was 80 dollar per miljoen gellings vir 'n 10 mgd aanleg.

Joyce et al het die koste van geaktiveerde koolstoffiltrasie vir die behandeling van sekondêre uitvloeisel beraam op 130 dollar per miljoen gellings met 'n 1 mgd aanleg.

In South Tahoe, Kalifornia⁵ is 'n 7.5 mgd aanleg geïnstalleer vir die behandeling van sekondêre uitvloeisel. Die regenerasiekoste is bereken op 11.75 dollar, en die kapitale koste op 18.00 dollar per miljoen gellings (29.75 dollar totaal). Dit is ekwivalent aan ± 4 SA sent/1000 gellings.

Verskillende aanlae is deur skrywer in die loop van die afgelepe 2 jaar besoek. Die kriteria wat algemeen vir die ontwerp van koolstoffilters gebruik word is 'n hidrouliese lading van 2 tot 10 gpm/vt² en 'n beddiepte van 8 tot 10 vt.

2.5.2 · Eksperimentele werk uitgevoer

Weens die betreklik hoë kostes verbonde aan geaktiveerde koolstofbehandeling is die navorsingswerk toegespits op die vergelyking van verskillende tipes kommersiële beskikbare geaktiveerde kool-

stof vir adsorpsie van ABS en CSB onder praktiese toestande.

Hierdie toetse is aangevul deur laboratorium-ondersoeke waar verskillende parameters soos invloed van korrelgrootte, ewewigstempo en adsorpsie isoterme van die verskillende koolstoftipes vergelyk is, asook die ekonomiese evaluasie van verpoeierde teenoor korrelkoolstof.

Hierdie ondersoeke duur nog voort, alhoewel waardevolle inligting reeds verkry is ten opsigte van die mees geskikte tipe vir die herwinning van rioolwerke-uitvloeiels. Ook is 'n tegniek ontwikkel om die benutting en skeiding van verpoeierde geaktiveerde koolstof te verbeter.

Die resultate wat verkry is met die behandeling van beide verouderingsdam- en humustenkuitvloeiels op loodsskaal (1000 gpu) met geaktiveerde koolstoffiltrasie as finale stadium het die doeltreffendheid en noodsaaklikheid van hierdie proses beklemtoon.

Gedurende uitgebreide kolomtoetse is gevind dat enige oorblywende ABS na skuimfraksionering prakties ten volle geadsorbeer word terwyl weerspanninge organiese reste in terme van CSB tot vlakke van 15 dpm en minder verlaag kon word. 'n Belangrike eienskap van geaktiveerde koolstof naamlik die katalitiese reduksie van chloorverbindinge het bygedra om 'n water te produseer waarvan die reuk, smaak en kleur van baie hoogstaande gehalte was en nie te onderskei was van gewone kraanwater nie.

2.6 Resultate met volledige loodsaanleg en algehele flottasie as eerste stadium

Die volledige loodsaanleg kon nou bedryf word op 'n aaneenlopende basis en 'n groot aantal lopies is uitgevoer met verouderingsdamwater met wisselende kwaliteit. Die resultate wat verkry is het ooreengestem met dié wat voorheen met die flotasië/besinktenk as eerste stadium verkry is. Dit was nou moontlik om 'n meer volledige skeiding van alge te bewerkstellig in 'n flottasiëeenheid met betreklik kort deurvloei periode en hierdie vollediger skeiding van alge het die chlooraanvraag vir breekpunt begunstig.

Die kwaliteit van herwonne water word in Tabel 20(a) vergelyk met water uit die bestaande watervoorsieningsnetwerk. 'n Berekening van die verandering in kwaliteit van die bestaande water na vermenging met herwonne water word ook aangetoon teenoor kwaliteitstandaarde van die Wêreld Gesondheidsorganisasie¹².

2.7 Virologiese en Bakteriologiese Toetse

Verskeie studies is op verskillende stadiums van die ondersoek uitgevoer om die veiligheid van die algehele suiweringsproses teen bakteriologiese en virologiese besmetting te beproef. Beide die flottasië/besinktenk en later ontwikkelde flottasiëtenk is as eerste stadiums gebruik. Die verskillende eenhede in die loodsaanleg is afsonderlik, en ook in kombinasie, geevalueer deur inenting van skokkladings van bakterieë en virusse. Hierdie werk is uitgevoer in samewerking met die Polionavorsingsinstituut en word elders breedvoerig beskryf³. Enkele resultate word egter hierby ingesluit soos aangetoon in Tabelle 20 en 21.

TABEL 20 (a)

KWALITEIT VAN HERWONNE WATER EN BESTAANDE WATER IN
VERGELYKING MET INTERNASIONALE STANDAARDE VIR
DRINKWATER

Eienskappe	Bestaande water- voor- siening	Herwon- ne water	Water voor- siening na ver- menging	W G O	
				Maks. aan- vaarbare konsentra- sie	Maks. toe- laatbare konsentra- sie
pH	7.4	8.0	7.8	7.0-8.5	6.5-9.2
Kleur(eenhede)	6	10	8	5	50
Troebelheid (eenh)	3	5	4	5	25
T O.V.S. (dpm)	400	680	540	500	1500
Natrium (dpm)	36	111	76	-	-
Kalium (dpm)	9	30	19	-	-
Sulfaat (dpm)	90	160	125	200	400
Chloried (dpm)	12	110	62	200	600
Totale Alkalini- teit as CaCO_3 (dpm)	129	100	114	-	-
Totale hardheid as CaCO_3 (dpm)	206	191	200	-	-
Nitraat as N(dpm)	-	27	9	-	45
Ammoniak as N (dpm)	0.02	0.2	0.2	0.5	-
Kjeldahl as N (dpm)	0.46	0.5	0.5	1.0	-
Permanganaat- waarde (dpm)	0.63	0.4	0.5	-	-
Fosfaat as PO_4 (dpm)	0.02	0	0.02	-	-
C.S.B. (dpm)	3	35	14	10	-
B.O.D. (5 dae) (dpm)	0.5	0.3	0.3	6	-

TABEL 20

VERMINDERING VAN POLIOVIRUS NA INENTING IN VEROU-
DERINGS DAMUITVLOEISEL

Uitvloeisel	Kumulatiewe retensie uur	Poliovirus TCID ₅₀ /ml
Verouderingsdam	0.00	469
Na flottasie	0.14	10
Na Chlorering	0.36	Nul
Na Sekondêre Besinking	3.50	Nul
Na Sandfiltrasie	4.04	Nul
Na Koolstoffiltra- sie	4.07	Nul

TABEL 21

VERMINDERING VAN BAKTERIEË MET EN SONDER INENTING
IN VEROUDERINGS DAMUITVLOEISEL

Uitvloeisel	Sonder inenting		Met inenting van 3% riool- water	
	Fekale E.Coli MWG/ ml	Totale Lewens- vatbare organis- mes MWG/ml	Fekale E.Coli MWG/ ml	Totale lewens- vatbare organis- mes MWG/ml
Verouderingsdam	8	57,000	420	213,000
Na flottasie	1	9,300	75	16,000
Na Chlorering	Nul	75	Nul	245
Na Besinking	Nul	70	Nul	130
Na Sandfiltrasie	Nul	40	Nul	30
Na Koolstoffiltrasie	Nul	145	Nul	45

E. Coli is volledig deur die proses verwyder. Die rioolwater wat gebruik is as 'n inentmiddel het die teenwoordigheid van Salmonella, Proteus, Providencia, Pseudomonas, Alkacescens Dispar-groep aangetoon. Geen patogene organismes insluitende Mycobacterium tuberculosis kon egter in die gesuiwerde water gevind word nie.

2.8 Koste van Behandeling

Op basis van die loodsskaalondersoeke is die koste van herwonne water in Windhoek bereken op 40 sent/1000 gelling. Die koste vir water uit die bestaande opgaardamme was 48 sent/1000 gelling en hierdie koste, sou na beraming nog verder toeneem met uitbreiding van die bestaande opgaarskemas³.

2.9 Gevolgtrekkings in verband met gevorderde suiwering van verouderingsdamuitvloeisel

1. Die ondersoeke het aangetoon dat die herwinning van verouderingsdamuitvloeisel tegnies en ekonomies uitvoerbaar was.
Die chemiese, bakteriologiese en virologiese kwaliteit van die finale produk was geskik vir menslike gebruik.
2. Uitvloeisels van die slagplaas, vleisinmaak- en beenmeelfabriek het die kwaliteit van verouderingsdamuitvloeisel nadelig beïnvloed.
Afskeiding van hierdie uitvloeisels was nodig om die konsentrasie van stikstofverbindinge in die verouderingsdamuitvloeisel te beperk.

3. 'n Verouderingsdamuitvloeisel wat as bron geskik sou wees vir gevorderde suiwering kon verkry word deur die damkapasiteit van 7 na 14 dae retensie te vermeerder.
4. Die nitraatgehalte kon verminder word deur biochemiese denitrifikasie na vermenging van 10% besinkte rioolwater en genitri-fiseerde sypelbeduitvloeisel.
5. Alge kon sukselvol verwyder word met beide 'n proses van flottasie/besinking of algehele flottasie. Laasgenoemde het die voordeel gehad van kompaktheid en kort deurvloeiperiode.
6. Die vermindering van sintetiese wasmiddels kon met 'n proses van skuimopwekking ekonomies uitgevoer word.
7. Die gebruik van geaktiveerde koolstof was die mees geskikte metode om oorblywende ABS en weerspannige organiese stowwe te adsorbeer ten einde 'n drinkbare kwaliteit water te produseer.

H O O F S T U K I I I

3. GEVORDERDE SUIWERING VAN HUMUSTENKUITVLOEISEL EN BESINKTE RIOOLWATER

3.1 Inleiding

Die essensiële verskil in kwaliteit tussen verouderingsdamme en humustenkuitvloeiSEL as bron vir gevorderde suiwering lê in die hoër $\text{NH}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$, die afwesigheid van alge en die laer suurstofkonsentrasies van konvensionele humustenkuitvloeiSEL. Die voordele van die bykomstige suiwering wat met verouderingsdamme verkry kan word moet egter opgeweeg word teen faktore soos insypelings- en verdampingsverliese asook die koste en beskikbaarheid van grond wat vir die konstruksie van verouderingsdamme benodig word. Om hierdie rede was daar 'n sterk motivering vir 'n ondersoek na die direkte herwinning van humustenkuitvloeiSELS met gevorderde tegnieke.

Die eerste ondersoek is toegespits op die moontlikhede om die flottasie-proses ook aan te pas vir die behandeling en herwinning van humustenkuitvloeiSEL. Soos elders aangetoon, het die oorversadigde suurstofkonsentrasie die flotterbaarheid van alge vergemaklik. Geskikte metodes van belugting asook die mees doeltreffende vlokmiddel en die toestande wat nodig is vir flottasie van uitgevlokte stowwe moes egter opnuut vasgestel word.

Beide kalk en aluminiumsulfaat was soos vir verouderingsdam-
uitvloeiisel die mees geskikte vlokmiddels maar verskeie faktore
het die voordele van kalkbehandeling onderskraag. Die verminde-
ring van fosfaat en bakterieë was meer volledig en ook kon 'n
afname van totale opgeloste soute deur kalkversagting verkry word.
Die belangrikste aspek van kalkbehandeling lê egter in die omsetting
van $\text{NH}_3\text{-N}$ by hoë pH van die ioniese na die meer vlugtige gasvorm.
In die opgeloste gasvorm is dit moontlik om die ammoniak met be-
hulp van lug uit te stroop en sodoende kan 'n beheerde fisies/che-
miese proses vir verwydering van $\text{NH}_3\text{-N}$ ingespan word in teen-
stelling met die biologies afhanklike prosesse om NH_3 te verminder
soos in die geval van verouderingsdamme.

Die gebruik van oormaat kalk as vlokmiddel verg egter 'n
addisionele stadium waarin die oortollige Ca(OH)_2 met koolsuurgas
uit oplossing gebring moet word. Hierdeur ontstaan fynverdeelde
 CaCO_3 wat eers geskei moet word voordat verdere behandelings-
prosesse soos filtrasie, breekpunt chlorering, skuimfraksionering
en adsorpsie aan geaktiveerde koolstof toegepas kan word soos byvoor-
beeld by die herwinning van verouderingsdamuitvloeiisel.

Aangesien nitraat stikstof onveranderd deur die herwinningspro-
sesse bly is gepoog om 'n oplossing vir hierdie probleem te vind.
Die ondersoek is vervolgens toegespits op primêre humustenuit-
vloeiisels waarin lae ordes nitraat konsentrasies teenwoordig was.

Die werk is later ook verder uitgebrei tot die behandeling van besinkte rioolwater (primêre uitvloeisel) waarin $\text{NO}_3\text{-N}$ afwesig, maar $\text{NH}_3\text{-N}$ relatief van 'n hoë orde was.

Die probleme wat oorkom moes word in hierdie fase van die ondersoek het dus betrekking gehad op die volgende aspekte:

- (i) Ontwikkeling van 'n flottasietegniek vir humustenkuitvloeisel en besinkte rioolwater met kalk as vlokmiddel.
- (ii) Stroping van $\text{NH}_3\text{-N}$ met lug.
- (iii) Doeltreffende besinking van fynverdeelde CaCO_3 na stabilisasie met koolsuurgas.
- (iv) Ontwerpkriteria vir skuimfraksionering, koolstofadsorpsie en chlorering vir die verskillende tipes uitvloeisel wat ondersoek is.

3.2 Aanpassing van flottasie-tegniek vir behandeling van primêre en sekondêre rioolwater-uitvloeisel

3.2.1 Toestande vir kalkflottasie

Uit die literatuur is verskeie flottasie-prosesse bekend. Minerale word veredel met 'n proses wat bekend staan as skuimflottasie³⁰. Skuimmiddels word gebruik om die oppervlakte van die herwinbare of onbruikbare ertsdeeltjies hidrofobies te maak sodat dit vaskleef aan lugblasies wat met sterk roeraksie versprei word. Die herwinbare produk word dan uit die skuimlaag of die ondervloei na gelang van die selektiwiteit

van die skuimmiddel, herwin. Hierdie proses vind egter slegs geringe toepassing buite die verdeling van minerale.

In 'n ander bekende proses word flottasie verkry met opgeloste lug. Lugblasies word by 'n laer druk uit 'n hoogdrukstelsel van 'n lug/vloeistofsisteem vrygestel. 'n Paar bekende toepassings behels die behandeling van afloopwaters van vis- en vrugteinmaak-fabrieke, wasserye, vleisprodukte, seep, olie, suiker en verskeie ander industrieë²⁰. Hierdie proses bestaan in hoofsaak uit fasiliteite vir luginspuiting, retensietenk, teendruk regulering en flottasie-eenheid met dosering van chemikalieë. Die drukstelsel word gewoonlik by 'n absolute druk van 3 tot 6 atmosfeer bedryf.

Die teorie van flottasie met opgeloste lug maak voorsiening vir:

- (i) adhesie van lugblasies;
- (ii) insluiting van lug in vlokdeeltjies gedurende die opstyging van lugblasies;
- (iii) Absorpsie van lugblasies gedurende vlokvorming.

Flottasie met lugverspreiding word baseer op die skuifaksie van 'n skroef, of ook met behulp van borrelspreiers. By flottasie met opgeloste lug is die grootte van die lugblasies ongeveer 80 μ teenoor 'n orde grootte van 1000 μ met meganiese lugverspreiding.

Die hoeveelhede lug benodig vir flottasie van minerale blyk aansienlik groter te wees as vir die flottasie van organiese materiaal met kenmerkend lae digthede soos teenwoordig in konvensionele

rioolwerke-uitvloeiels. In die geval van verouderingsdamuitvloei-sel is aangetoon dat oorversadigde suurstof inherente flottasie-eien-skappe aan uitgevlokte alge verleen het. Dit was egter vanaf die staanspoor duidelik dat daar 'n vorm van meganiese belugting be-nodig sou word vir flottasie van humustenkuitvloei-sel en besinkte rioolwater.

Standaard flottasie-tegnieke met lugverspreiding en opgeloste lug is in die laboratorium ondersoek. Die belangrikste waarne-ming wat gemaak is was dat die teenwoordigheid van mikro-lug-blasies teenwoordig moet wees tydens die stadium van vlokvorming. Adhesie of adsorpsie van lugblasies aan reeds gevormde vlok was minder geslaagd. Die toestand vir flottasie word dus geskep deur die vlokmiddel by te voeg wanneer mikro-lugblasies reeds teen-woordig is sodat die lugblasies in die groeiende vlok vasgevang kan word. Hierdie toestand het geblyk van besondere belang te wees vir die flottasie van beide humustenkuitvloei-sel en besinkte rioolwater. Ook is gevind dat die teenwoordigheid van sintetiese wasmiddels 'n belangrike rol speel by die flotterbaarheid van uitgevlokte organiese materiaal. So is byvoorbeeld bevind dat primêre uitvloeiels met hoër konsentrasies ABS meer geskik is vir die flottasieproses as sekondêre uitvloeiels met lae orde konsentrasies ABS.

3.2.2 Ontwikkeling van 'n geskikte eenheid vir kalkflottasie

Die loodsskaaleenheid (1000 gpu) wat ontwikkel is word in Figuur 12 aangetoon. Voorsiening is gemaak vir afskraping van die dryflaag (Figuur 13), en 'n koniese bodem is aangebring vir skeiding van enige besinkte fase. Die eenheid het basies bestaan uit die volgende kompartemente:

- (i) Sentrale vermengingskompartement met afwaartse vloei (115 vt/uur).
- (ii) Flottasie-kompartement met opwaartse vloei (21 vt/uur).
- (iii) Aftrekkompartement met afwaartse vloei (13 vt/uur).

Gedurende hierdie ondersoeke is gevind dat die benodigde volume lug weens die lae digtheid van die resulterende vlok van 'n baie lae orde was³¹. Voldoende belugting is verkry deur 1 tot 1½% lug (op volume basis) by die suigkant van 'n sentrifugale voerpomp in te bloei. Die fynverspreide lugblasies wat sodoende opgewek is kon behoue bly deur die linêre voertempo op 7 vt/sek te reguleer. In die sentrale vermengingskompartement was 'n sterk reaksie nodig om die lugverspreiding verder te behou, en ook om goeie vermenging van kalk gelyktydig te bewerkstellig. Die afwaartse vloeitempo in hierdie kompartement is ook sodanig gekies dat belugte vlokdeeltjies afwaarts gedwing kon word voor vrylating in die flottasie-kompartement.

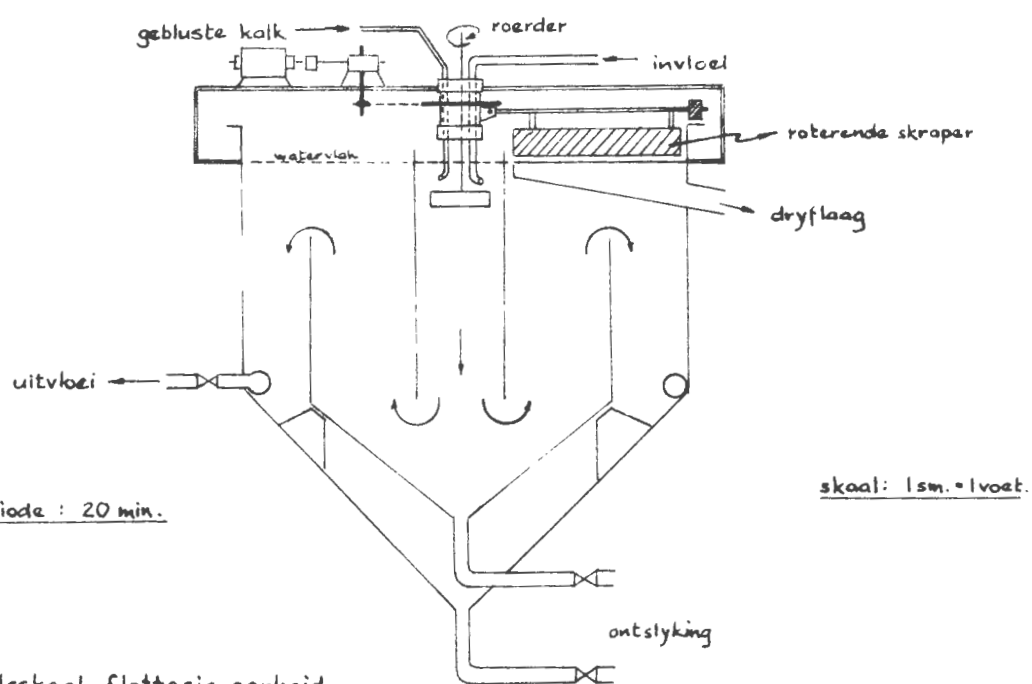


Fig. 12: Loodsskaal flottasie-eenheid.



Figuur 13. Dryflaag verkry met kalk-flottasie.

3.2.3 Rol van magnesium in kalkflottasie

Die uitvloeisels wat behandel is was van dolomitiese oorsprong, en die hardheid aan magnesium en kalsium was elk van die orde 100 dpm as CaCO_3 . Die Mg(OH)_2 en CaCO_3 wat by ~~die~~ pH 11.0 neergeslaan is, het respektiewelik 'n growwe jelagtige en fyn kristallyne struktuur vertoon. Dit was duidelik dat Mg(OH)_2 'n belangrike rol gespeel het³² in die doeltreffendheid van die flottasieproses en na langdurige ondersoek is die volgende gevolgtrekkings gemaak:

- (i) Die vlok wat gevorm het, het bestaan uit fynverdeelde CaCO_3 en kalsiumfosfaatverbindings, asook Mg(OH)_2 en organiese vlok met growwer struktuur. Die fosfaat wat na biologiese oksidasie oorwegend in die orto-vorm voorkom, het volledig as onoplosbare fosfate (waarskynlik hidroksiapatiet en trikalsiumfosfaat) neergeslaan. Die aanduiding was ook dat polifosfate soos in die geval van besinkte rioolwater tot die orto-vorm gehidroliseer het by hoë pH.
- (ii) Die growwe struktuur van die Magnesiumhidroksied sowel as organiese vlok het as 'n kollekteerder van die fynverdeelde kalsiumverbindings gedien en hierdie verhelderingsmeganisme is in terme van okklusie en adsorpsie verklaar.

- (iii) Die vinnig-groeiende $\text{Mg}(\text{OH})_2$ /organiese vlok was uiters geskik vir die insluiting van mikro-lugblasies veral in teenwoordigheid van sintetiese wasmiddels. Hierdie eienskap kon dus goed benut word in 'n flottasieproses.
- (iv) Die skeidingstempo met flottasie was aansienlik hoër as met besinking maar as gevolg van die teenwoordigheid van $\text{Mg}(\text{OH})_2$ nie so vinnig as by algeflottasie nie. Die skeiding van CaCO_3 kon dus weereens bewerkstellig word in 'n betreklik eenvoudige proses met korter deurvloeiperiode as by besinking.
- (v) Proewe in die laboratorium het aangetoon dat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ook soos $\text{Mg}(\text{OH})_2$ as kollekteerder of vlokmiddel vir fynverdeelde CaCO_3 gebruik kon word. Hierdie beginsel is dan ook later met welslae in die stabiliseertenk toegepas.

3.3 Fisies/Chemiese Verwydering van Ammoniakaliese stikstof

3.3.1 Literatuur

Die teenwoordigheid van fosfaat en stikstof in rioolwerke-uitvloeisels dien as die belangrikste voedingstowwe vir die groei van alge en ander mikro-organismes en sodoende ontstaan sekondêre besoedeling. Uitgebreide navorsing word vandag in verskillende wêrelddele op die bestryding van besoedeling in die vorm van die verwydering van fosfaat en stikstof toegespits³³.

Die uitstroping van $\text{NH}_3\text{-N}$ met lug is 'n proses wat betreklik onlangs op die voorgrond getree het, veral met uitvloeisels soos dié van 'n rioolwatersuiweringswerke waarin die konsentrasie $\text{NH}_3\text{-N}$ van 'n betreklik lae orde is.

'n Studie deur Kuhn³⁴ is uitgevoer met munisipale afloopwater. Hy het gevind dat die verwydering van $\text{NH}_3\text{-N}$ toeneem deur die pH van 8 tot 11 te verhoog. Geen betekenisvolle bykomstige vermindering kon verkry word deur die pH tot 12 te verhoog nie. $\text{NH}_3\text{-N}$ kon met 90% verminder word in 'n kolom gepak met Raschig-ringe, deur 'n lug tot vloeistof verhouding van 500 vt^3 per gelling aan te wend.

Bayley³⁵ het 'n teoretiese studie uitgevoer vir berekening van die kapitale- en bedryfskoste om $\text{NH}_3\text{-N}$ van 40 tot 10 dpm te verlaag in 'n toring wat 'n vloeï van 1 mgd kon behandel. Die kapitale koste vir verpakkingsmateriaal alleen is bereken op R76,000 en energie-verbruik vir belugting op R1.36 per 1000 gellings. Vir 'n alternatiewe belugtingsproses met borrelspreiers is bereken dat die elektriese kragverbruik R6 per 1000 gellings sal oorskrei. Hierdie buitensporige bedryfskoste is toegeskryf aan die hoë weerstand van verpakkingsmateriaal veral waar 'n uitermate hoë verhouding van lug tot vloeistof in hierdie proses vereis word.

Smith en Chapman⁵ het sekondêre uitvloeisels met kalk behandel tot pH 11.5 en daarna is die ammoniak met lug gestroop in

'n koeltoring met houtverpakking. Ongeveer 250 vt³ lug per gelling uitvloeisel het die NH₃-N met 90% verminder. Vir 95% verwydering was 400 vt³/gelling benodig terwyl 98% verwydering verkry is met 800 vt³/gelling. Hierdie proewe is by $\pm 20^{\circ}\text{C}$ uitgevoer. 'n Studie van die invloed van temperatuur het aangetoon dat 10^oC daling in temperatuur die doeltreffendheid met 40% verlaag. Die toring wat gebruik is het min weerstand teen lugvloei gehad weens die los houtverpakking wat algemeen vir koeltorings gebruik word.

3.3.2 Teoretiese Beginsels vir Ammoniakstroping met lug

3.3.2.1 Gasfilmbeheerde prosesse

Volgens die Whitmann teorie³⁶ bestaan daar 'n gas- en vloeistoffilm by die skeidingsvlak tussen 'n vloeistof in kontak met 'n gasfase. Hierdie films bied weerstand teen diffusie van opgeloste gas na vloeistof en omgekeerd. By hoog oplosbare gasse soos in die geval van ammoniak, bied die gasfilm die grootste gedeelte van die totale weerstand en die stroping van opgeloste ammoniak uit water ressorteer onder die konsep van 'n gasfilmbeheerde proses. Deur die lugvloei turbulent te hou word die gasfilmweerstand verlaag, en die diffusie-tempo verhoog.

3.3.2.2 Ewewig tussen gas en vloeistof

'n Oplossing van 'n gas in 'n vloeistof oefen 'n bepaalde partiële druk uit by 'n spesifieke temperatuur en

konsentrasie. Wanneer die konsentrasie van opgeloste gas laag is, is die ewewigskurwe reglynig, en Henry se wet is van toepassing:

$$\text{d.w.s. } p = Hx$$

waar p = parsiële druk van gas in gasfase

x = konsentrasie van gas in vloeistoffase

H = Henry se konstante

Uit die literatuur³⁷ is bekend dat Henry se wet vir ammoniakiese oplossings van toepassing is tot konsentrasies van .06 molfraksie ($\pm 56,000$ dpm). Deur dissosiasie van NH_3 in water word NH_4^+ gedeeltelik gevorm by gemiddelde pH-waardes. By verhoogde pH (> 11.0) bestaan 99% van die ammoniak as NH_3 --gas in oplossing⁵, (Sien figuur 15), waardeur die oplosbaarheid verminder en Henry se konstante toeneem.

3.3.2.3 Vergelyking vir die tempo van massaoordrag

Die snelheid waarmee 'n proses soos stroping van NH_3 met lug plaasvind, kan voorgestel word deur die volgende vergelyking:

$$N_A = K_g A (p_e - p)$$

Waar N_A = tempo van massaoordrag

K_g = totale massaoordragskoëffisiënt op gasbasis

p = parsiële druk van NH_3 in lug

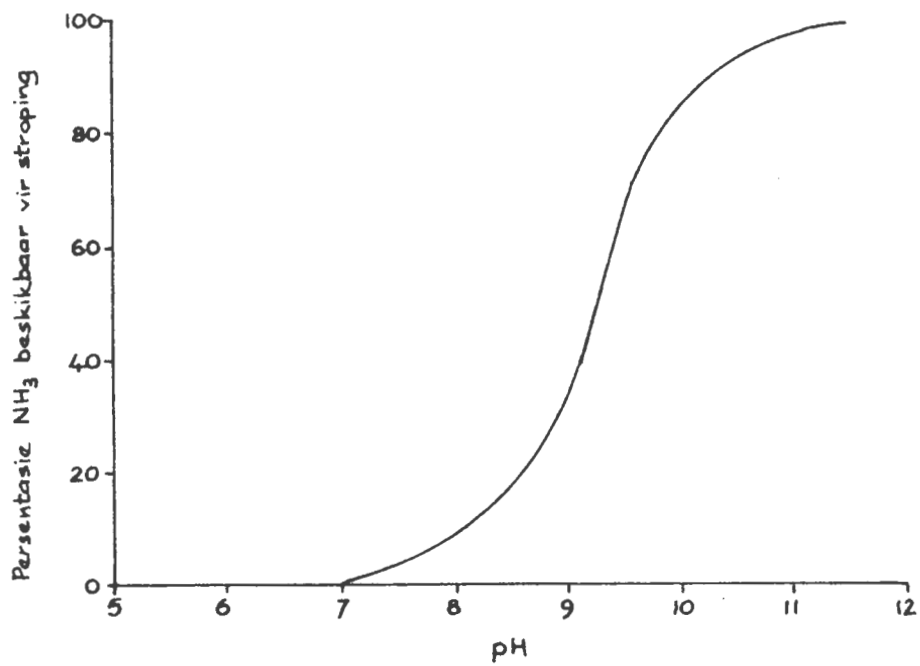


Fig.15: Persentase ammoniak beskikbaar vir stroping by 77°F as h funksie van pH.

$p_e - p$ = totale dryfkrag op gasbasis

p_e = passiële ewewigsdruk van opgeloste NH_3 van
spesifieke konsentrasie x in vloeistoffase

A = oppervlakte van kontak tussen lug en waterfases.

Uit hierdie vergelyking kan die tempo van massaoordrag per eenheidsoppervlakte bereken word tussen 'n vloeistof met samestelling x en lug met samestelling p indien die massa-oordragskoëffisiënt bekend is. In 'n strooptoring verander die samestelling van beide lug en vloeistof voortdurend en 'n verband tussen die samestelling van lug en vloeistof op enige punt in die toring moet eers vasgelê word. 'n Materiaal-balans van die opgeloste NH_3 tussen die top van die toring en enige punt in die toring met samestelling (p, x) word gegee deur

$$Lm \left(\frac{x_2}{x_2 - x} - \frac{x}{1 - x} \right) = Gm \left(\frac{p_2}{\pi - p_2} - \frac{p}{\pi - p} \right)$$

Waar Lm = vloeï van ammoniakvrye vloeistof (lb mol/
uur vt^2)

Gm = vloeï van ammoniakvrye lug (lb mol/uur vt^2)

x_2 = molfraksie ammoniak in onbehandelde vloeistof

p_2 = molfraksie ammoniak in lug na stroping

π = totale druk van gasfase (atmosfeer)

Hierdie vergelyking gee die verband tussen die samestellings van vloeistof en lug op enige punt in die toring en staan bekend

as die formule vir die werkskurwe. Wanneer die konsentrasie ammoniak laag van orde is word

$$\pi \gg p \text{ en } \frac{p}{\pi - p} \approx \frac{p}{\pi}$$

$$\text{Ook } 1 \gg x \text{ en } \frac{x}{1 - x} \approx x$$

Onder hierdie voorwaarde is die kurwe 'n reguitlyn met

$$\text{helling } \pi \frac{L_m}{G_m}$$

3.3.2.4 Kapasiteitskoëffisiënte

Die oppervlakte term betrokke in die massa-oordragsvergelyking is moeilik bepaalbaar en 'n veranderlike a wat die effektiewe oordragoppervlakte per eenheidsvolume voorstel, word gewoonlik gebruik. Die hoeveelheid oordrag dQ wat plaasvind per tydseenheid in 'n klein volume dZ van die toring, word gegee deur

$$dQ = N_A a dV = K_g a (p_e - p) dZ$$

Omdat beide a en K_g afhanklik is van die tipe verpakking en die vloeisnelhede van lug en vloeistoffases word 'n saamgestelde parameter K_g a gebruik wat bekend staan as die kapasiteitskoëffisiënt op 'n gasbasis. Die eenheid van K_g a word uitgedruk in lb mol/uur ft^3 atmosfeer. Die oordrag van massa tussen die top van die toring en 'n punt in die toring word gegee deur:

$$Q = G_m \left(\frac{p_2}{\pi - p_2} - \frac{p}{\pi - p} \right)$$

$$dQ = - \frac{G_m \pi dp}{(\pi - p)^2}$$

$$Kga (p_e - p)dZ = \frac{-Gm \pi dp}{(\pi - p)^2}$$

$$dZ = \frac{-Gm \pi dp}{Kga (\pi - p)^2 (p_e - p)}$$

$$Z = - Gm \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{Kga (\pi - p)^2 (p_e - p)}$$

Hierdie is die algemene vergelyking waaruit die hoogte van die toring (Z) bereken kan word mits Kga bekend is. Aangesien Gm die lugvloei per eenheids verpakkingsoppervlakte is gee Z die hoogte van die verpakking.

In die geval waar Kga onbekend is maar die hoogte van 'n eksperimentele toring met eksperimentele gegewens wel bekend is, kan Kga vir die voorwaardes waaronder die eksperimente uitgevoer is, bereken word.

Hierdie algemene vergelyking word vereenvoudig wanneer aan die volgende voorwaardes voldoen word:

- (i) Wanneer konsentrasie opgeloste gas laag is bly Kga konstant en die werkskurwe is reglynig:

$$\text{d.w.s. } Z = \frac{-Gm \pi}{Kga \pi} \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{p_e - p}$$

- (ii) Wanneer die ewewigskurwe daarbenewens 'n reguitlyn is kan bewys word dat die integraal reduceer tot die logaritmiese gemiddelde van die terminale dryfkragte bo en onder in die toring:

$$\begin{aligned} \text{d.w.s. } Z &= \frac{-Gm (p_1 - p_2)}{Kga \pi \Delta p_m} \\ \therefore Z &= \frac{Gm (p_2 - p_1)}{Kga \pi \Delta p_m} \\ \text{Waar } \Delta p_m &= \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{\ln \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}} \end{aligned}$$

Waar $\Delta p = p_e - p$ wat grafies of analities van die ewewigslyn en werkslyn verkry kan word.

3.3.3 Berekening van kapasiteitskoëffisiënte van die eksperimentele koeltoring

Die eksperimentele koeltoring is gekonstrueer met 24 vt hoogte en 'n deursnee verpakkingsoppervlakte van 12 vt^2 (Sien figuur 14 (3)).

Die hidrouliese beladings was 1000 gpu en die lugvloei $480,000 \text{ vt}^3/\text{uur}$.

Die uitvloeisel wat deur die toring gestuur is, is eers met oormaat kalk behandel en die organiese vlok geskei. Die pH het gewissel van 11.0 tot 11.5 en verskillende uitvloeisels met ammoniak-konsentrasies tussen 10 en 60 dpm is gedurende die verloop van 15 maande onder verskillende klimaatstoestande behandel. Die konsentrasies van 60 dpm is aangetref in besinkte rioolwater dit wil sê sonder biologiese oksidasie. Na ammoniakstroping het die konsentrasie verminder tot 6 dpm. In die geval van humustenkuitvloei het konsentrasies van 10 dpm verminder tot die orde 2.5 dpm.

Vir die doel van hierdie berekening word die kapasiteitskoëffisiënt bepaal vir 'n tipiese resultaat waar 60 to 6 dpm vermindering by 20°C verkry is.

3.3.3.1 Bepaling van Ewewigskonsentrasies by hoë pH.

Weens die verhoging in dampdruk van ammoniak met verhoging in pH is Henry se konstante by pH 11.0 eksperimenteel in die laboratorium bepaal, en vergelyk met data wat in die literatuur beskikbaar was vir suiwer ammoniakaliese oplossings³⁰.

Metode: 'n Monster van humuskenkuitvloei is na kalkflottasie geneem, en die $\text{NH}_3\text{-N}$ is met NH_4Cl verhoog tot onderskeidelik 115 dpm, 197 dpm en 236 dpm as N in drie verskillende proewe. 'n Volume van 10 ml monster is in 2.5 liter flesse geplaas en geskud totdat die konsentrasie ammoniak in die lug en vloeistoffases by kamertemperatuur ewewig bereik het.

Die volgende resultate wat verkry is word in Tabel 22 aangetoon:

TABEL 22
EWEWIGSKONSENTRASIES VAN $\text{NH}_3\text{-N}$ BY pH 11.0

Proef Nr.	Begin konsentrasie (mg/l)	Ewewigskonsentrasie (mg/l)	p_e (atmosfeer)	x (dpm)	H (atm.dpm ⁻¹)
1	115	80	2.4×10^{-4}	80	3.0×10^{-6}
2	197	115	5.62×10^{-4}	115	4.9×10^{-6}
3	236	138	6.71×10^{-4}	138	4.86×10^{-6}

3.3.3.2 Berekening van Henry se konstante (proef 1 as voorbeeld)

Volume lug = 2.5 liter

$$\begin{aligned}\text{Gewig NH}_3 \text{ opgeneem} &= \frac{115 - 80}{100} = 0.35 \text{ mg as N} \\ &= \frac{0.35 \text{ gm mol.}}{14 \times 1000} \\ &= 2.5 \times 10^{-5} \text{ gm mol.}\end{aligned}$$

2.5 liter lug by 20°C beslaan $2.5 \times \frac{273}{293}$ liter by NTD

$$= 2.33 \text{ liter by NTD}$$

22.4 liter lug by NTD word beslaan deur 1 gm mol lug

$$2.33 \text{ " " " " " " " } \frac{2.33 \text{ gm mol lug}}{22.4}$$

$$= 0.1042 \text{ gm mol lug}$$

$$\text{d.w.s. } p_e = \frac{2.5 \times 10^{-5}}{(2.5 \times 10^{-5}) + 0.1042} = 2.4 \times 10^{-4} \text{ atmosfeer}$$

$$x = 80 \text{ dpm}$$

$$p_e = Hx$$

$$\begin{aligned}\therefore H &= \frac{p_e}{x} = \frac{2.4 \times 10^{-4}}{80} \text{ atmosfeer dpm}^{-1} \\ &= 3 \times 10^{-6} \text{ atmosfeer dpm}^{-1}\end{aligned}$$

Uit bostaande resultate word 'n H-waarde van 4.9×10^{-6} atmosfeer dpm^{-1} vir die ewewigslyn gekies. Die eenhede vir H word sonder dimensie wanneer x in molfraksies uitgedruk word, maar word vir hierdie doel gerieflikheidshalwe in dpm uitgedruk.

In Perry³⁰ word die parsiële druk van 'n 0.105% dit wil sê 1050 dpm ammoniakaliese oplossing by 25°C gegee as 0.791 mm Hg.

$$\begin{aligned} \text{d.w.s. } p &= \frac{0.791}{760} \text{ atmosfeer} \\ &= 1.04 \times 10^{-3} \text{ atmosfeer} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= 1050 \text{ dpm as } \text{NH}_3 \\ &= 1050 \times \frac{14}{17} \text{ dpm as N} \end{aligned}$$

$$= 863 \text{ dpm as N}$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{1.04 \times 10^{-3}}{863} \\ &= 1.2 \times 10^{-6} \text{ atmosfeer dpm}^{-1} \end{aligned}$$

Uit die eksperimentele waarde van H by verhoogde pH blyk dit dus dat H met die verhouding $\frac{4.9 \times 10^{-6}}{1.2 \times 10^{-6}} = 4.1$ toeneem. Die nodigheid vir verhoging van pH-waarde tot die orde 11.0 is dus van essensiële belang vir ammoniakstroping met lug.

3.3.3.3 Berekening van ko-ordinate van werkskurwe

$$\text{Watervloei} = 1000 \text{ gpu}$$

$$\text{NH}_3\text{-N verminder van } 60 \text{ dpm na } 6 \text{ dpm}$$

$$\text{d.w.s. met } 0.6 - 0.06 = 0.54 \text{ lb/uur} = 0.0386 \text{ lb mol/uur}$$

$$\begin{aligned} \text{Lugvloei} &= 480,000 \text{ vt}^3 / 12 \text{ vt}^2 \text{ uur verpakkingsoppervlakte} \\ &= 40,000 \text{ vt}^3 / \text{vt}^2 \text{ uur} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{Gm} = \frac{40,000 \text{ lb mol/vt}^2 \text{ uur (benaderd)}}{386}$$

$$= 104 \text{ lb mol/vt}^2 \text{ uur}$$

$$\text{NH}_3 \text{ in lug opgenecm} = \frac{0.0386}{12} = 0.0032 \text{ lb mol/vt}^2 \text{ uur}$$

Parsiële druk van NH_3 in lug na stroping (p_2) =

$$\frac{0.0032}{104.0032} = 3.08 \times 10^{-5}$$

en parsiële druk van NH_3 in lug voor stroping (p_1) = 0

Konsentrasie van NH_3 in uitvloeisel voor stroping

$$(x_2) = 60 \text{ mg/l}$$

Konsentrasie van NH_3 in uitvloeisel na stroping (x_1) =

$$6 \text{ mg/l}$$

3.3.3.4 Berekening van logaritmiëse gemiddelde dryfkrag en kapasiteits-koëffisiënt

Van die vergelykings van die ewewigs- en werkskurwes volg:

$$\begin{aligned} p_{e_2} &= Hx_2 \\ &= 4.1 \times 10^{-6} \times 60 \\ &= 24.6 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$p_2 = 3.08 \times 10^{-5}$$

$$\Delta p_2 = 21.52 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} p_{e_1} &= Hx_1 \\ &= 4.1 \times 10^{-6} \times 6 \\ &= 2.46 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$p_1 = 0$$

$$\Delta p_1 = 2.46 \times 10^{-5}$$

Logaritmiëse gemiddelde dryfkrag Δp_m =

$$= \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{\ln \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}}$$

$$= \frac{21.52 \times 10^{-5} - 2.46 \times 10^{-5}}{\ln \frac{21.52 \times 10^{-5}}{2.46 \times 10^{-5}}}$$

$$= \frac{19.06 \times 10^{-5}}{2.303 \log 8.72}$$

$$= 8.8 \times 10^{-5}$$

$$Z = \frac{Gm}{Kga} \frac{p_2 - p_1}{\Delta pm}$$

$$Kga = \frac{Gm}{Z} \frac{p_2 - p_1}{\Delta pm}$$

$$= \frac{104}{24} \times \frac{3.08 \times 10^{-5}}{8.8 \times 10^{-5}}$$

$$= 1.52 \text{ lb mol/uur vt}^3 \text{ atmosfeer.}$$

Hierdie waarde van Kga kan gebruik word om die hoogte van 'n toring met dieselfde tipe verpakking te bereken vir 'n verlangde persentasie verwydering van NH_3 . Die invloed wat temperatuur, lug tot vloeistofverhouding, humiditeit van lugstroom en tipe verpakking het op die kapasiteitskoëffisiënt word tans meer breedvoerig bestudeer in die laboratorium van die Nasionale Instituut van Waternavorsing.

Die loodsskaalondersoeke wat dusver uitgevoer is het baie bevredigende resultate opgelewer. Die NH_3 -N van humustenkuitvloeisel kon afhangende van klimaatstoestande verminder word met van 70 tot 90% teen die geringe koste van 1.5 sent/1000 gelling. 'n Verhouding van 480 vt³ lug per gelling vloeistof is verkry met 'n

insuigwaaier aan die bopunt van die toring. 'n Drukverlies van slegs 1.5 cm water het bewys dat die weerstand van die toring teen lugvloei gering was.

3.4 Stabilisering van Kalkbehandelde Uitvloeisel, met koolsuurgas

3.4.1 Toediening van koolsuurgas

In die versagtingsproses word 'n oormaat Ca(OH)_2 benodig om magnesium volledig neer te slaan by $\text{pH} \pm 11.0$. Ook organiese verbindings met amfoteriese eienskappe vereis pH-waardes van ± 11.0 om uit oplossing te presipiteer. Gevolglik ontstaan tydelike kalsiumhardheid wat neerslagvormend is in waterverspreidingsstelsels. Hierdie oormaat Ca(OH)_2 kan egter deur beheerde dosering van koolsuurgas, as CaCO_3 neerslaan by 'n pH van 9.5 tot 10.0. Met oormaat koolsuurgas word oplosbare $\text{Ca(HCO}_3)_2$ gevorm by pH 8.3 in ooreenstemming met die volgende reaksies:



Die doeltreffendheid van die absorpsie van koolsuurgas in alkaliese medium word verhoog deur bogenoemde reaksies.

Die massaoordrag vind dus plaas in terme van beide absorpsie en chemiese reaksie. Deur gebruik te maak van suiwer koolsuurgas word die dryfkrag vir absorpsie verder verhoog. Gevolglik is hierdie eksperimente uitgevoer met eenvoudige absorpsieapparatuur. 'n Kommersieel graad CO_2 is met behulp van

'n borrelspreier in die toevoerpyp na die stabiliseerder vrygestel.

Die toediening is beheer by 'n pH van 9.8 tot 10.2 sodanig dat hidroksiedalkaliniteit net geneutraliseer word.

3.4.2 Stabilisasietenk vir skeiding van kalsiumkarbonaat

Na karbonering van die oormaat kalkbehandelde uitvloeisel het die CaCO_3 as 'n fynverdeelde suspensie bestaan wat baie stadig besink het. Direk na byvoeging van CO_2 het 'n oorversadiging aan CaCO_3 ontstaan en die toestande vir bevordering van maksimum versagting is derhalwe eers nader ondersoek in die laboratorium. Die probleem het daaruit bestaan dat die regte toestande vir die groei van CaCO_3 kristalle geskep moes word ten einde 'n verhoogde besinkingstempo te bevorder.

Die probleem is aanvanklik benader deur hersirkulasie van die besinkte fase toe te pas. Sodoende kon kristalkieme benut word om die oorversadiging aan CaCO_3 te verminder.

Na aanleiding van die rol wat $\text{Mg}(\text{OH})_2$ gespeel het as 'n kollekteerder in die flottasie-tegniek is besluit om die gebruik van $\text{Fe}(\text{OH})_3$ vir 'n soortgelyke funksie in die stabiliseerder te beproef. Gehlo-reerde ystersulfaatoplossing is vir hierdie doel bygevoeg in die toevoer na die stabiliseerder. Die stabiliseerder (Sien figuur 16) is toegerus met 'n sentrale vermengingskompartement met roerder en voorsiening is ook gemaak vir hersirkulasie van besinkte vlok. Met hierdie stelsel is bevredigende resultate verkry. 'n Totale

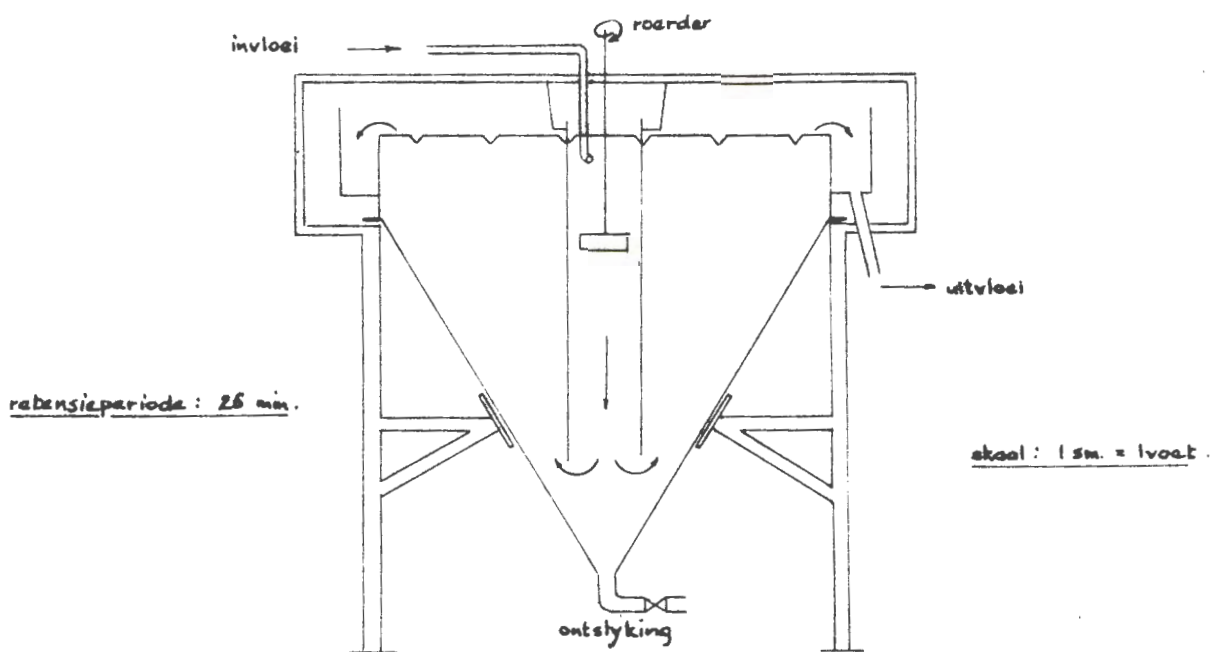


Fig.16 : Loodsskaal stabilisatietank.

inkomende hardheid van 200 dpm kon verlaag word tot die orde 60 dpm as CaCO_3 . Die stabiliseerder kon belaa word met 'n vloei van 1000 gpu (30 minute retensie) sonder merkwaardige oordrag van vlok na die opvolgende sandfilter. Hierdie versnelde besinking van CaCO_3 is toegeskryf aan die goeie flokkulasie wat verkry is met ferri-soute as vlokmiddel.

Die belangrikste aspekte betrokke by hierdie fase van die ondersoek was die volgende:

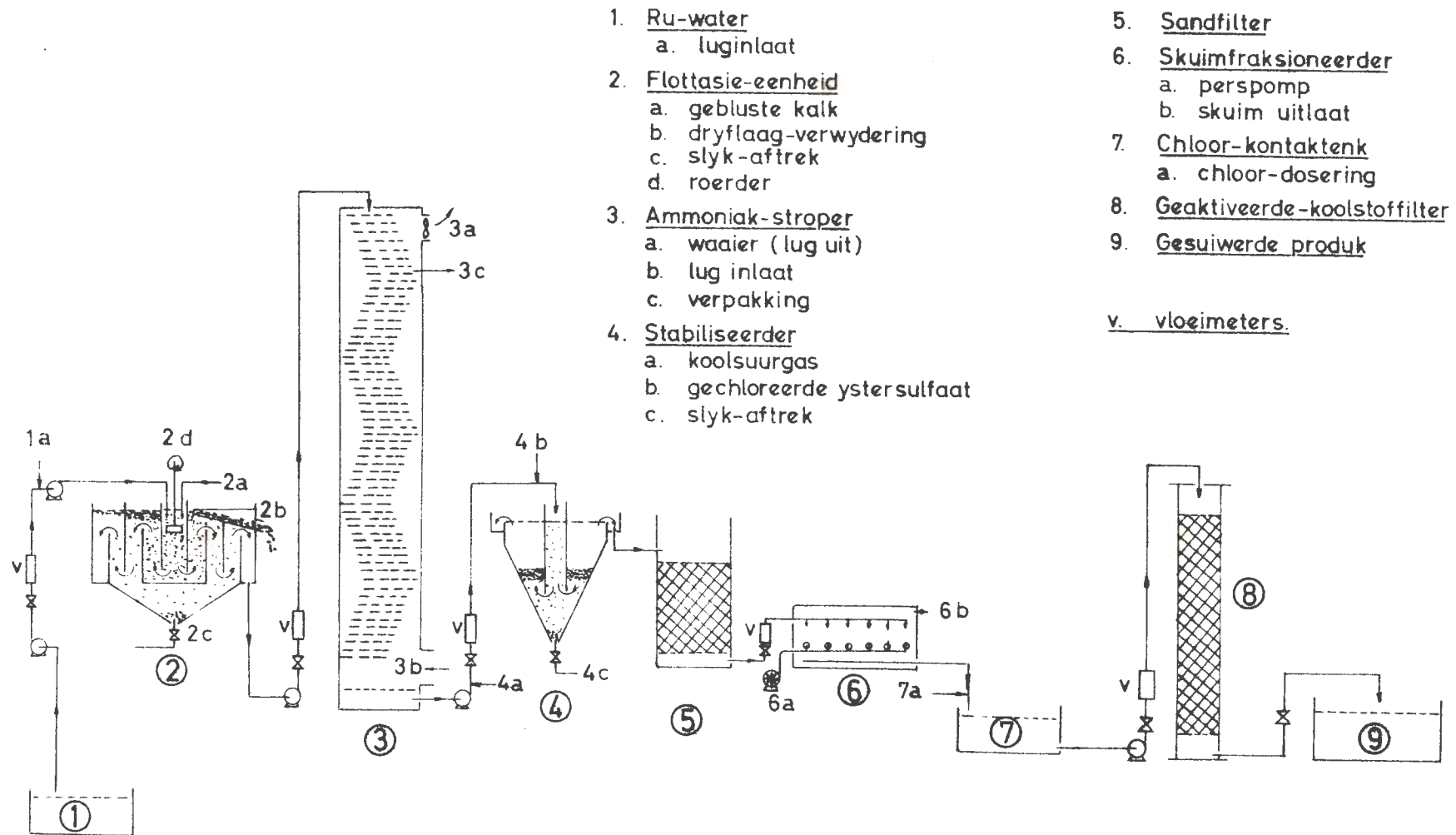
- (i) Doeltreffende skeiding van CaCO_3 is verkry met 'n goedkoop chemikalie soos ystersulfaat.
- (ii) Die skeiding kon bewerkstellig word in 'n eenheid met kort deurvloeiperiode (30 minute).
- (iii) 'n Afname van totale opgeloste vaste stowwe is verkry en 'n betreklik sagte water kon produseer word. Hierdie aspek was van kardinale belang wat betref die gedeeltelike demineralisasie van herwonne water om te voldoen aan die kwaliteitsvereistes van 'n klas A drinkwater (< 500 dpm).

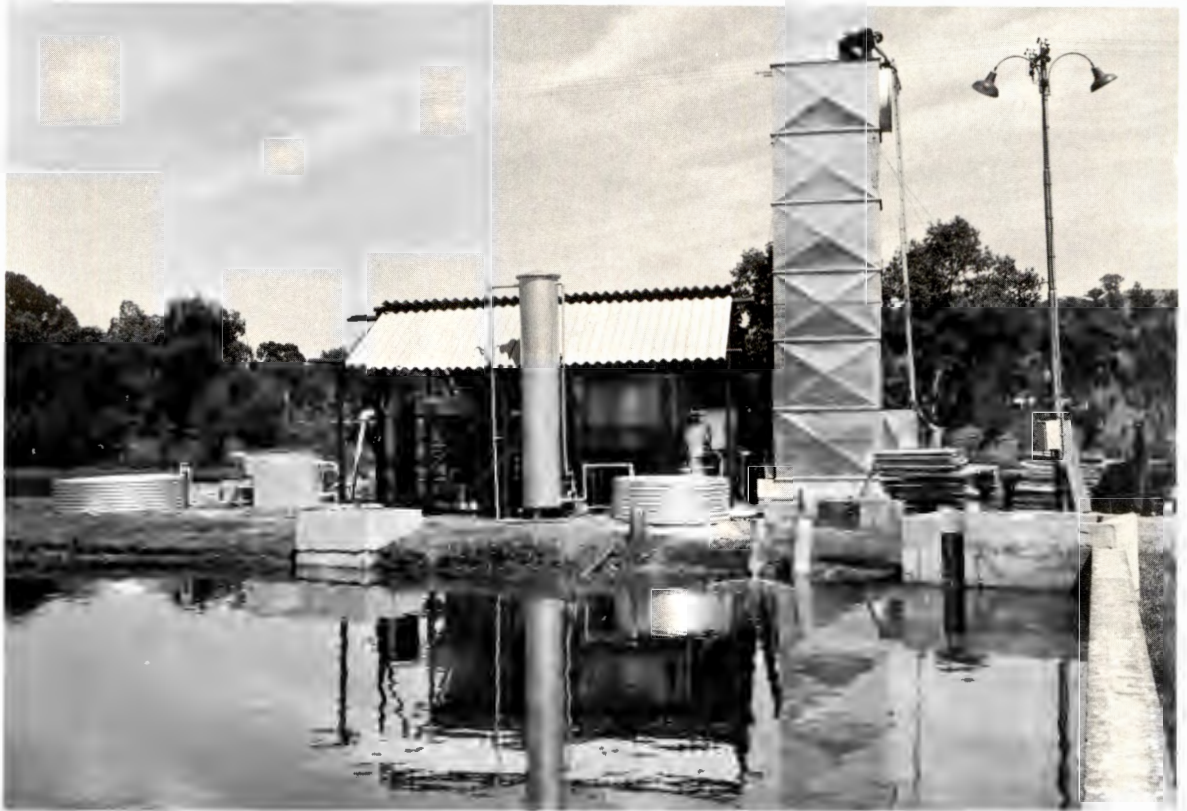
3.5 Finale Behandelingsprosesse

Soos in die geval van verouderingsdamuitvloei is die finale proses bestaan uit sandfiltrasie, breekpunt chlorering, skuimfraksionering en geaktiveerde koolstoffiltrasie^{38,39}.

Die loodsaanleg wat in Pretoria opgebou is word in Figure 14 en 17 aangetoon. Verteenwoordigende resultate wat met hierdie aanleg behaal is word grafies in Figure 18 tot 27 aangetoon tesame met bedryfs- en kapitale-koste vir die behandeling van beide humustenuitvloei en besinkte rioolwater.

FIG.14 : Vloedigram vir gevorderde rioolwater suiwing.





Figuur 17. Loodsaanleg vir behandeling van humustenk-
uitvloeisel of besinkte rioolwater.

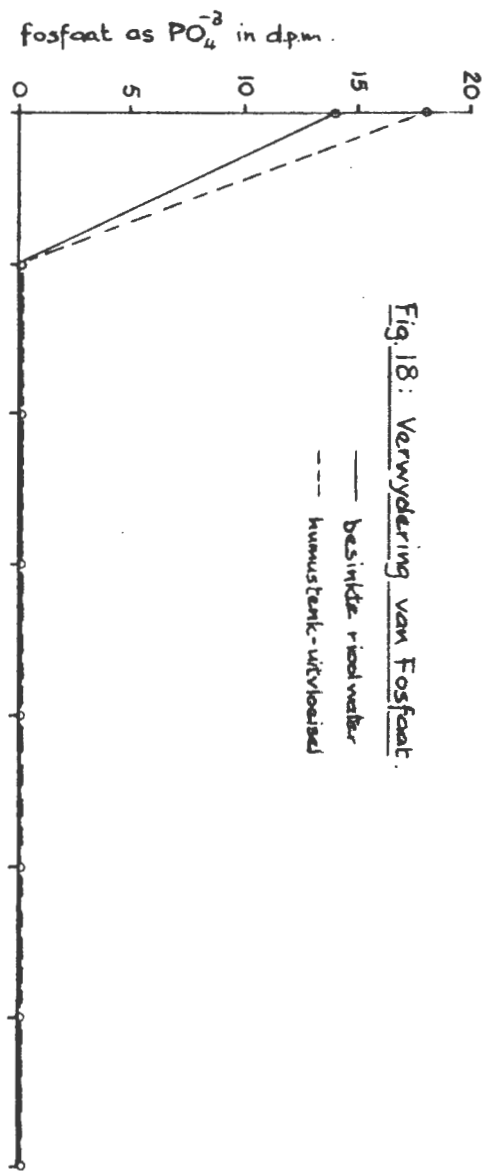


Fig. 18: Verwydering van Fosfaat.

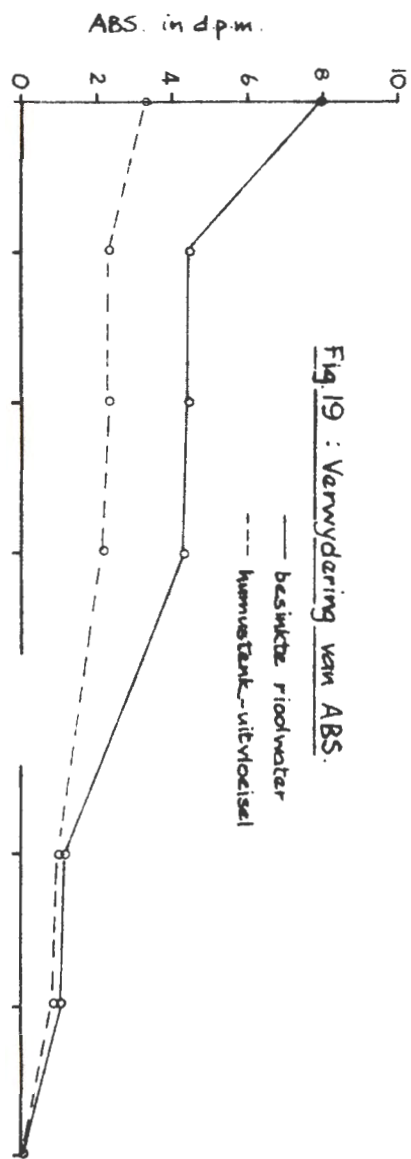


Fig. 19: Verwydering van ABS.

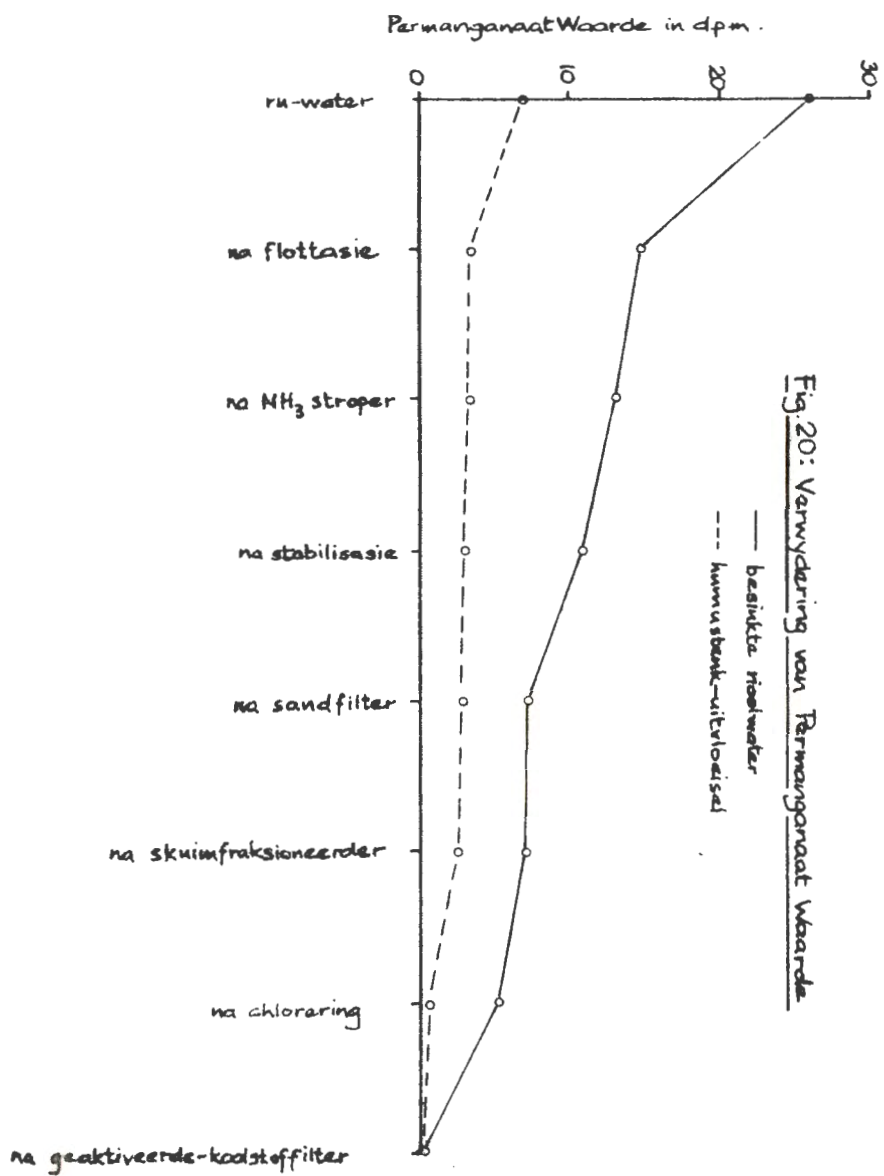
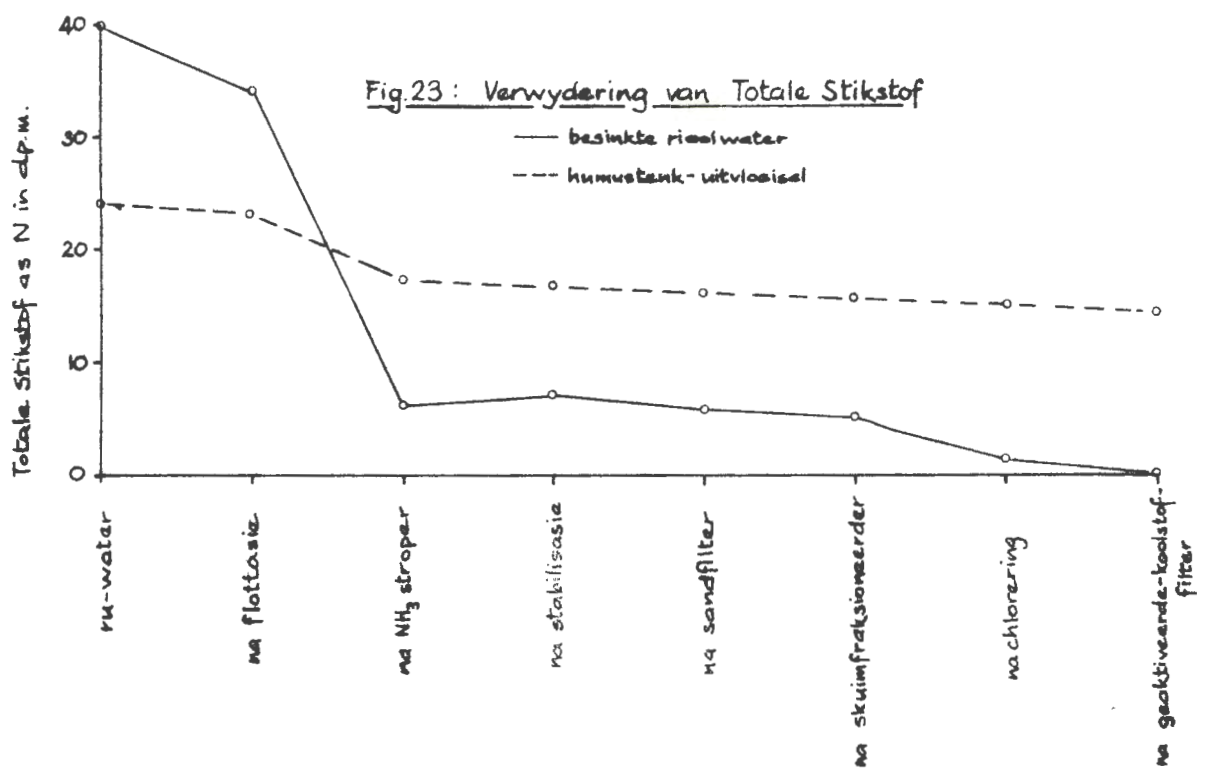
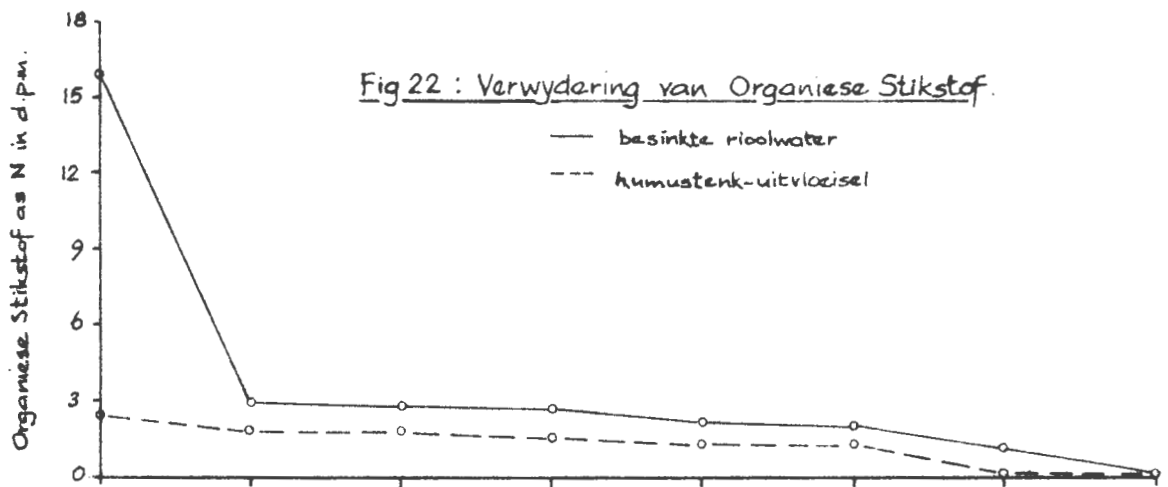
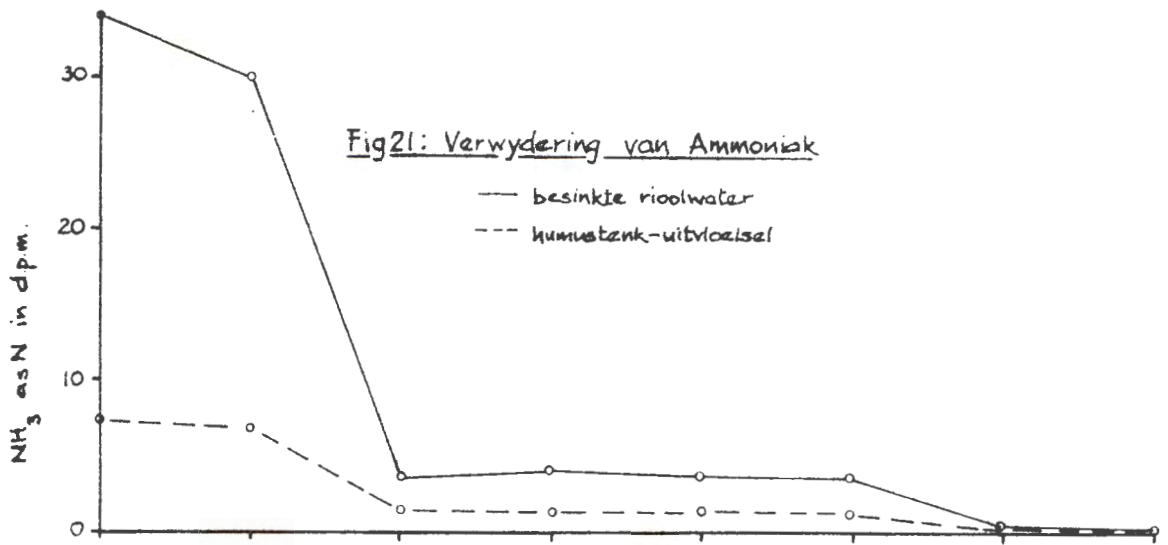
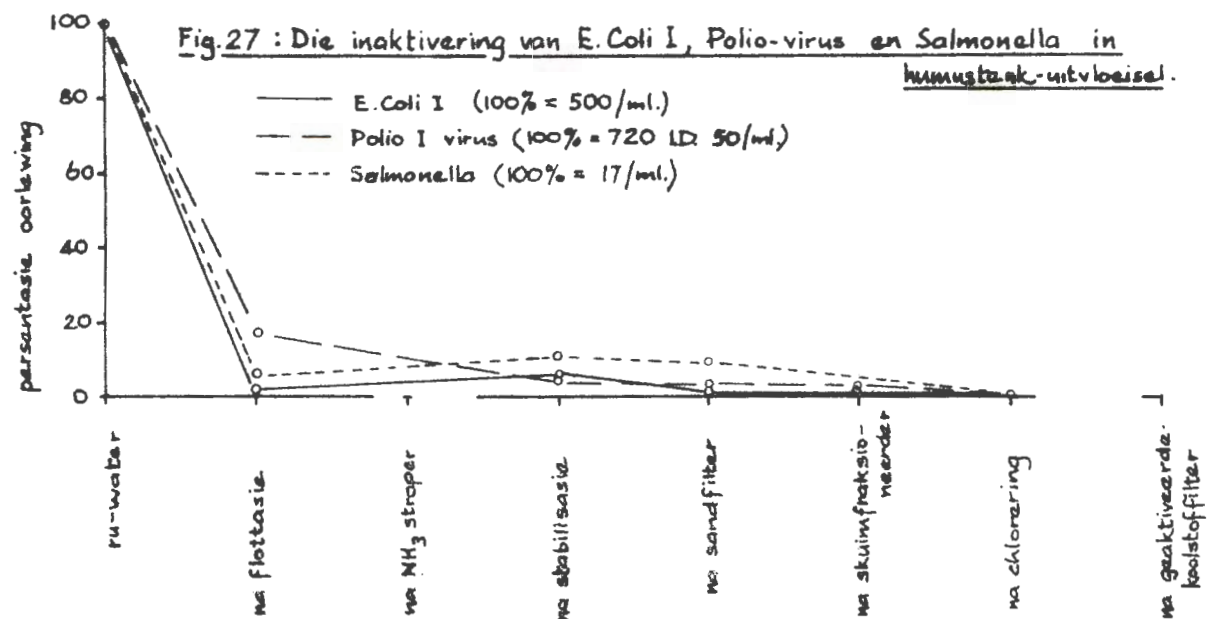
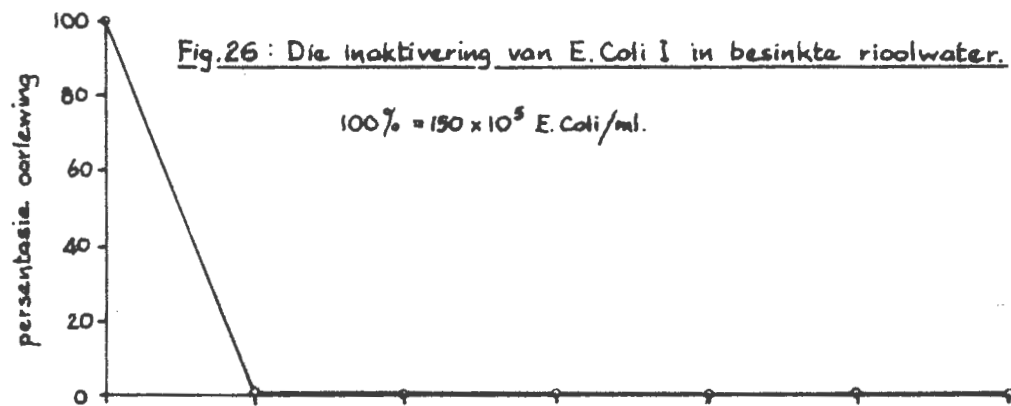
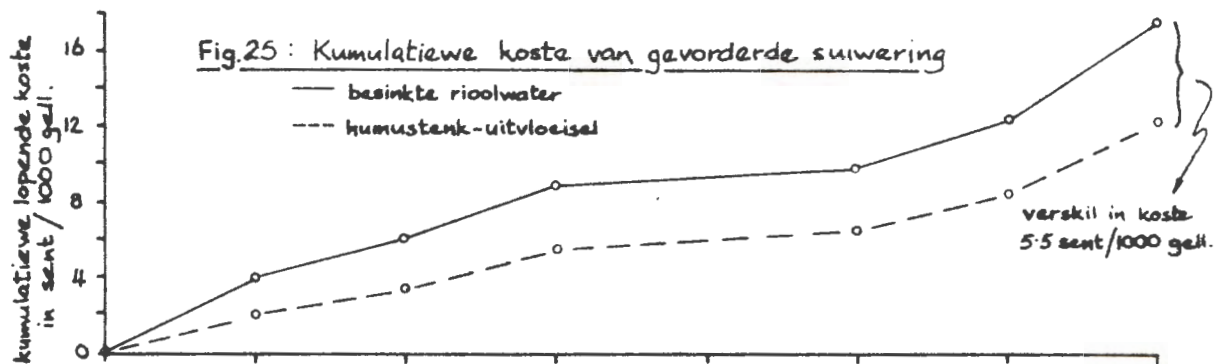
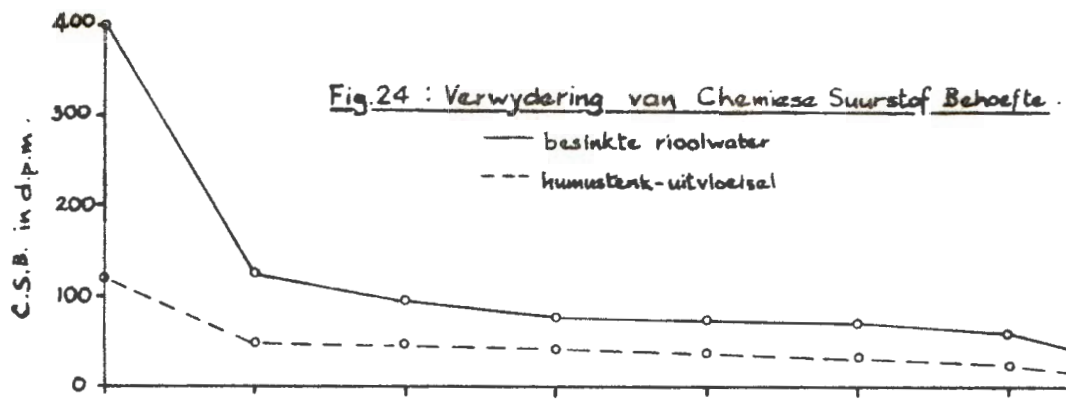


Fig. 20: Verwydering van Permanganaat Waarde.





3.6 Bespreking van resultate verkry met loodsaanleg

Die groot aantal proewe wat gedurende die loop van twee jaar uitgevoer is, het die doeltreffendheid van die kalkflottasie-proses bevestig vir die behandeling van humustenkuitvloeiels.

Die uitvloeiels wat behandel is was gedurende die somermaande van beter kwaliteit as gedurende die wintermaande. Hoë ammoniakaliese stikstof wat veral gedurende die wintermaande voorgekom het kon doeltreffend verminder word met ammoniakstropping in 'n koeltoring. Die oorblywende $\text{NH}_3\text{-N}$ is met breekpunt chlorering volledig geoksideer tot stikstof.

Soortgelyke toetse is met besinkte rioolwater uitgevoer waarin hoë $\text{NH}_3\text{-N}$ voorgekom het maar geen nitraat teenwoordig was nie. Ammoniakstropping was hier 'n noodsaaklike behandelingsproses. Die optimum dosis kalk vir flottasie het gewissel tussen 700 en 1000 dpm vir 'n pH van ± 11.5 . Alhoewel die koolstoffilter 'n groter belasting aan CSB moes adsorbeer kon 'n hoër kwaliteit drinkwater produseer word weens die algehele afwesigheid van nitraat.

'n Baie belangrike aspek van kalkflottasie was die ontsmettende eienskappe van hidroksied alkaliniteit. Die doeltreffende verwydering van fosfaat, die fisies/chemiese afstropping van ammoniak en die versagting wat verkry kon word, het die gebruik van kalk as mees geskikte vlokmiddel onderskrywe vir die behandeling van rioolwerkeuitvloeiels.

3.7 Koste van behandeling met kalkflottasie-proses

By die suiwering van huishoudelike rioolwater lê die verpligting by

plaaslike owerhede om, in terme van Waterwet Nr. 54 (1956), 'n goeie kwaliteit humustenkuitvloeiisel te produseer. Die koste vir gevorderde suiwing van humustenkuitvloeiisel word dus vanaf die humustenkstadium as meetpunt bereken.

Die kumulatiewe bedryfskoste deur die opvolgende stadia word in Figuur 25 aangetoon. Die kapitale-koste vir 'n 1 mgd aanleg word beraam op 9 sent/1000 gelling (15 jaar delging teen 8%) Die totale koste vir gevorderde suiwing van humustenkuitvloeiisel (humustenk as meetpunt) beloop dus 21.5 sent/1000 gelling teenoor 27 sent/1000 gelling vir besinkte rioolwater (primêre besinktenk as meetpunt).

Om hierdie kostes te kan vergelyk, moet die koste van biologiese behandeling bygereken word by dié vir humustenkuitvloeiisel. Volgens Bolitho⁴⁰ beloop die koste van biologiese behandeling tot die humustenkstadium sowat 4.24 sent/1000 gelling. Die totale koste vir gevorderde suiwing van besinkte rioolwater tot by die koolstofstadium is dus minimaal verskillend van die koste vir biologiese suiwing gevolg deur gevorderde suiwing van humustenkuitvloeiisel.

3.8 Gevolgtrekkings

1. Die eksperimentele resultate wat verkry is het aangetoon dat humustenkuitvloeiisel en besinkte rioolwater met gevorderde suiweringsprosesse tot 'n drinkbare kwaliteit gesuiwer kan word teen totale kostes van 21.5 en 27 sent/1000 gelling, onderskeidelik. Hierdie kostes is minimaal verskillend wanneer die koste van konvensionele

biologiese behandeling in berekening gebring word.

2. Verder verfyning en ontwikkeling van chemiese ingenieurstechnieke soos ammoniakstropping, geaktiveerde koolstofregenerasie en herwinning van chemikalieë kan 'n gunstige verlaging in koste in vergelyking met konvensionele drinkwatervoorsiening teweegbring.
3. Die belowende resultate wat op loodsskaal verkry is met primêre en sekondêre uitvloeisels regverdig verdere opvolging en ondersoek in hierdie rigting. 'n Demonstrasie-aanleg vir behandeling van 1 mgd vir die behandeling van sekondêre uitvloeisel soos verkry van die Daspoort Rioolwerke, in in November 1970 reeds in gebruik geneem.

H O O F S T U K I V

4. VOLSKAALSE HERWINNING VAN RIOOLWATER

4.1 Inleiding

Die loodsskaalondersoeke soos beskrywe in hoofstukke II en III het die grondslag gelê vir die konstruksie en ontwerp van beide die grootskaalse herwinningsaanlae wat in Windhoek en Pretoria opgerig en reeds in werking gestel is. Die aanleg in Windhoek is in Oktober 1968 in gebruik geneem en ongeveer een miljoen gelling verouderingsdamwater word daaglik herwin om die beperkte watervoorrade van die stad aan te vul. Die herwonne water beslaan ongeveer 25% van die totale gemiddelde verbruik.

Die volskaalse aanleg van 1 miljoen gelling per dag wat in Pretoria opgerig is is in November 1970 amptelik geopen en staan bekend as die Stander Herwinningsaanleg. Hierdie aanleg is ontwerp om sekondêre uitvloei soos verkry van die Daspoort Rioolwatersuiweringswerke tot 'n drinkbare kwaliteit te suiwer.

Die doel van die Stander Herwinningsaanleg is om te dien vir demonstrasiedoeleindes ten einde die publiek vertrouwd te maak met die herwinningskonsep. Verder word hierdie aanleg gebruik as 'n prototipe waarmee intensiewe navorsing beoog word ten opsigte van die verfyning van proseseenhede en die ontwikkeling van ontwerp kriteria vir groter herwinningsaanlae van die toekoms.

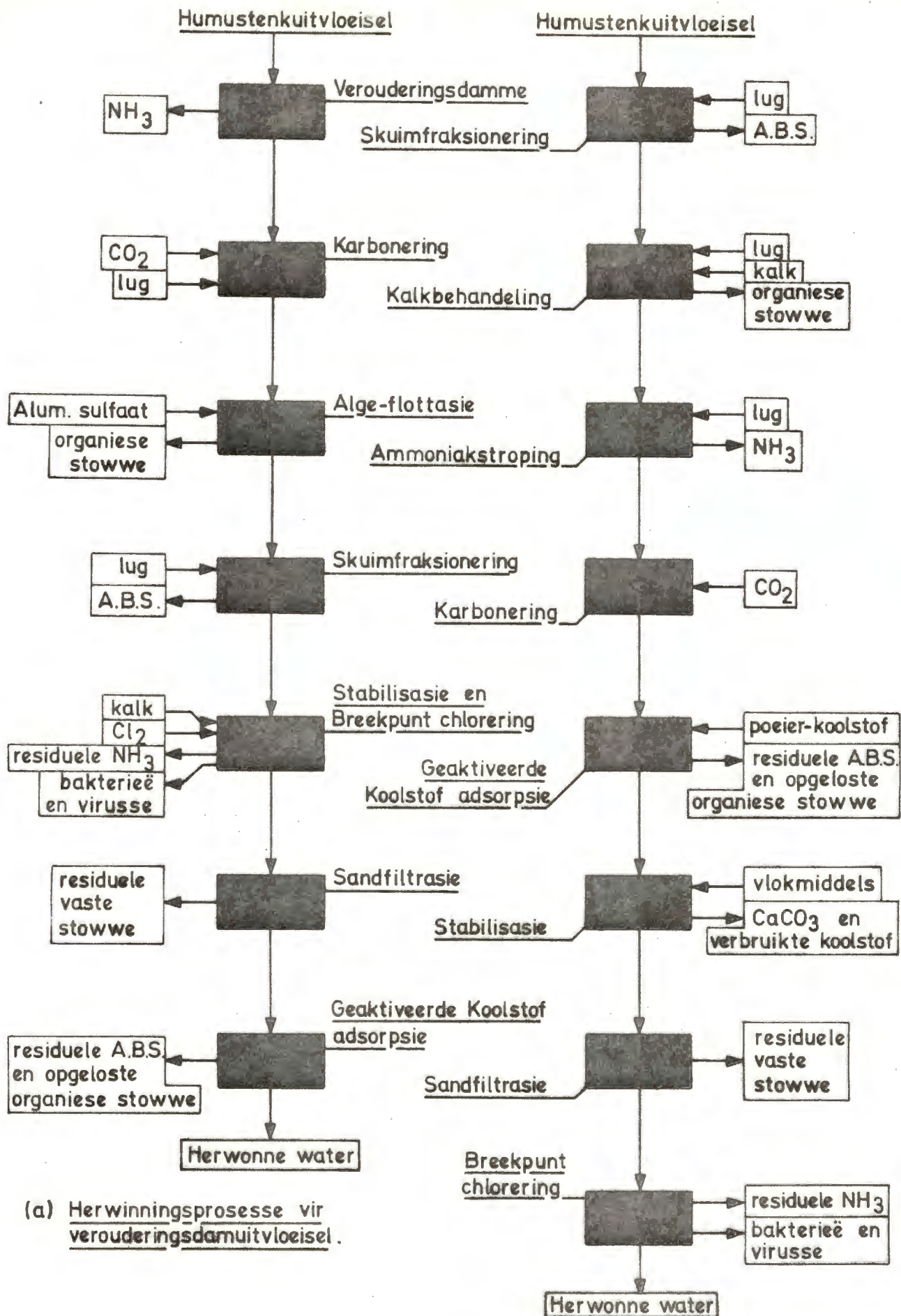
Die fisiese proseseenhede betrokke by die twee afsonderlike

aanlae is verskillend hoofsaaklik ten opsigte van die chemiese uitvlokking van organiese stowwe, die adsorpsie van opgeloste organiese stowwe en die vermindering van ammoniakaliese stikstof. 'n Kort beskrywing volg van die prosesse wat betrokke is by die volskaalse herwinning van verouderingsdam en humustenkuitvloei-sels respektiewelik en word diagramaties voorgestel in figuur 28.

4.2 Volskaalse herwinning van Verouderingsdamuitvloei-sel

As 'n eerste stadium word die verouderingsdamuitvloei-sel met kool-suurgas aangesuur tot 'n pH van ongeveer 7.5 voor byvoeging van aluminiumsulfaat. Die verbrandingsprodukte wat ontstaan uit die bereiding van kool-suurgas van butaan/propaangas word in die proses benut om flottasie van alge te bewerkstellig in die opvolgende flottasie-eenheid. Absorpsie van kool-suurgas uit die verbrandingsprodukte word verkry met 'n roterende disperseerder wat sowat 4 vt onder die watervlak geleë is. Die aansuring met kool-suurgas het geblyk 'n belangrike voorbehandelingsproses te wees ten opsigte van 'n verlaging in aluminiumsulfaatsdosis asook vir die bevordering van flottasie met behulp van die verbrandingsgasse.

Die flottasie van alge en ander uitgevlokte organiese materiaal word verkry in 'n eenheid met sowat 16 minute retensie en radiale vloei-patroon. Die doeltreffende funksionering van hierdie eenheid het die geldigheid van die ontwerp-kriteria wat van loodsskaalstudies verkry is oortuigend bewys.



(a) Herwinningsprosesse vir verouderingsdamuitvloeisel.

(b) Herwinningsprosesse vir sekondere uitvloeiels.

FIG.28 : BEHANDELINGSPROSESSE BETROKKE BY DIE HERWINNING VAN RIOOLWERKE-UITVLOEISELS.

Die uitvloei vanaf die flottasietenk word vervolgens in die skuimfraksioneerder verder behandel. Hierdie eenheid is soortgelyk aan die flottasietenk wat betref basiese ontwerp maar is toegerus met lugkerse, roterende skrapers en radiale aftrekgeute. Die opgewekte skuim word met waterspreiers saamgeslaan en weggelei.

Na skuimfraksionering word die uitvloeisel met gebluste kalk behandel tot 'n pH van ongeveer 7.8 en chloorgas word bygedoen tot "breekpunt" vir die doel van ontsmetting, ontkleuring asook vir die oksidasie van ammoniakaliese stikstof. Hierna word die water deur sandfilters gestuur gevolg deur kolomme gepak met geaktiveerde koolstof. Na-chlorering word finaal toegepas en die herwonne water vermeng met die konvensionele gesuiwerde damwater. Vir hierdie doel is die herwinningswerke dan ook as 'n integrale deel van die bestaande watersuiweringswerke beplan.

4.3 Resultate verkry met volskaalse herwinning van verouderingsdamuitvloeisel

In die algemeen gestel lewer die volskaalse aanleg dieselfde orde resultate as wat verkry is met die loodsaanleg. Die totale opgeloste vaste stowwe (T.O.V.S.) van die herwonne water het deur behandeling verhoog van ± 730 tot 800 dpm. Hierdie toename is hoofsaaklik toe te skrywe aan kalsiumsulfaat wat gevorm het deur byvoeging van kalk en aluminiumsulfaat. Die sulfaatkonsentrasie self het verhoog van sowat 40 tot 60 dpm afhangende van die alkaliniteit van die onbehandelde

verouderingsdamwater. Deur aansuring met koolsuurgas kon die aluminiumsulfaatdosis met ongeveer 30% verlaag word vir die gemiddelde kwaliteit uitvloeisel wat behandel is. Die pH en alkaliniteit van die verouderingsdamuitvloeisel het gewissel tussen 8.0 tot 9.5 en 150 tot 250 dpm respektiewelik gedurende die bestek van 'n ondersoekperiode van sewe maande. 'n Gemiddelde dosis van 80 dpm CO_2 en 150 dpm aluminiumsulfaat verteenwoordig die gemiddelde benodighede vir flottasie. Die optimum bedryfskriteria vir die byvoeging van CO_2 en aluminiumsulfaat is bevestig op ongeveer 7.5 en 7.0 respektiewelik.

Na vermenging van herwonne water met gesuiwerde damwater (T.O.V.S. 250 dpm) was die T.O.V.S. minder as 600 dpm afhangende van die mengverhouding. Die afname van nitraatgehalte was afhanklik van hierdie verhouding sowel as van verdere vermenging met boorgatwater.

Die "breekpunt" chloordosis het noue verwantskap getoon met die konsentrasie ammoniakaliese stikstof wat gedurende die wintermaande bokant 5 dpm gestyg het. Vir die grootste gedeelte van die jaar was die konsentrasie ammoniak in die verouderingsdamuitvloeisel egter laag met 'n ooreenkomstige lae chlooraanvraag.

Die opgeloste organiese stowwe (CSE) het gewissel tussen 80 en 180 dpm. 'n Afname van 70% kon verkry word tot en met die sandfilterstadium. Hierdie afname is hoofsaaklik verkry in die flottasie en koolstofadsorpsiestadiums waarmee onderskeidelik die koaguleerbare en opgeloste organiese stowwe verminder is. Dan is gevind dat

optimale bedryf van die flottasieproses van groot belang was ten einde die oordrag van vaste organiese stowwe na die koolstofkolomme te verhoed.

Nadat optimum bedryfstoestande ingetree het is 'n finale kwaliteit herwonne water geproduseer met 'n CSB van 10 dpm en ABS van minder as 0.2 dpm. Die adsorpsie van ABS was afhanklik van die doeltreffendheid van die skuimfraksioneerder wat grotendeels bevredigend gefunksioneer het.

Fosfaat en organiese stikstof is verminder tot waardes van minder as 0.5 en 0.7 dpm respektiewelik. Die vermindering van hierdie bestanddele het hoofsaaklik plaasgevind tesame met uigevlokte materiaal dit wil sê in die flottasietenk.

Soortgelyk aan die loodsaanlegproewe is gevind dat bakterieë en virusse uiters doeltreffend deur die herwinningsaanleg verwyder word en 'n baie intensiewe ondersoekprogram word in hierdie verband voortgesit.

'n Referaat⁴¹ wat handel oor die volskaalse herwinning in Windhoek as aangebied by geleentheid van die 5de Vergadering van die "International Water Pollution Research Association" te San Francisco gedurende Julie 1970.

Die volskaalse aanleg by Windhoek word in figuur 29 aangetoon.

4.4 Volskaalse Herwinning van Sekondêre Uitvloeisels

Hierdie aanleg wat teen die einde van 1970 in gebruik geneem is

word tans deur die Nasionale Instituut vir Waternavorsing uitgetoets. (Sien figuur 30). Hierdie toetse sluit in die optimisering van alle proses-eenhede en 'n intensiewe evaluasie van die algehele proses ten opsigte van kwaliteit, koste en ontwerpaspekte. Voorlopige resultate wat reeds gekry is toon groot ooreenstemming met resultate wat vroeër gedurende die Loodsondersoeke behaal is.



Figuur 29. Volskaalse herwinning van verouderingsdamuitvloeisel by Windhoek.



Figuur 30. Volskaalse Demonstrasieaanleg vir die herwinning van humustenkuitvloei.

L I T E R A T U U R

1. MURRAY, W.A. & VERSTER, G.P. Background to Gazetted Standards. Conference on the problems associated with the purification discharge and re-use of municipal and industrial effluents, Pretoria 21 - 25 October, 1963.
2. STANDER, G.J. & FUNKE, J.W. Conservation of water by re-use in South Africa. Chemical Engineering Progress Symposium Series Volume 63, Number 78, 1967.
3. C.S.I.R. Contract Report No. C WAT 4. Final Report on reclamation of purified sewage effluent for augmentation of domestic water supply of Windhoek, November, 1965.
4. METZLER, D.F. e.a. Emergency use of reclaimed water for potable supply at Chanute, Kan. Jour. Amer. Water Works Assn. 50, 1021.
5. SMITH, C.E. & CHAPMAN, R.L. Recovery of coagulant, nitrogen removal and carbon regeneration in waste water reclamation. Final Report of Project operations. Department of Interior, Federal Water Pollution Control Federation (June, 1967).
6. CILLIE, G.G. e.a. The Reclamation of Sewage Effluents for Domestic Use. Third International Conference on Water Pollution Research, München Conference, 1966.
7. COOPER, J.C. & HAGER, D.G. Water Reclamation with granular activated carbon. Chem. Eng. Prog. Symposium 1967 Vol. 63 No. 78.
8. GRIEVES, R.R. Study of the foam separation process. Br. Chem. Eng. 1968 Vol. 13 No. 1 pp 77 - 82.
9. DENYSSCHEN, J.H. Disinfection : The elimination of bacteria spores, viruses, etc. from water supplies. NIWR Project Report. Ref. W6/8/4T, Project 8.4T, 1961.
10. KREFT, e.a. A short note on the possibility of recovering ammonia from sewage effluent by raising the pH. The Water and Waste Treatment Journal, 7, 53 (1958).

11. University of California (Berkeley). Harvesting of algae from oxidation ponds. News Page in Effluent and Water Treatment Journal, February, 1965.
12. WORLD HEALTH ORGANISATION. International Standards for drinking water (1963).
13. GAILLARD, J.R. & CRAWFORD, J. The Performance of Algae Ponds in Durban. Jour. and Proc., Inst. Sew. Purif. Part 3, 221 (1964).
14. BRINGMAN, G. Optimale Stickstoff Abgasung durch Einsatz von Nitrifizierendem Belebtschaum und Redox - Steuerung. Gesundheitst Ingenieur (Germany) 81, 5, 140 (May 1960).
15. JOHNSON, W.K. & SCHROEPFER, G.J. Nitrogen removal by nitrification and de-nitrification. Journal Water Pollution Control Federation (Aug. 1964).
16. GOLUEKE, C.G. & OSWALD, W.J. Harvesting and processing Sewage-grown plantonic algae. J. Wat. Pollut. Control Fed. 37, 4. (1965)
17. LEVIN, G.V. e.a. Harvesting of algae by froth floatation. Appl. Microbiol. 10, 169 (1962).
18. IVES, K.J. An Investigation of Engineering Problems of Algal Removal Ph.D. Thesis, University College of London, London, England (1954).
19. VAN VUUREN, L.R.J. & VAN DUUREN, F.A. Removal of Algae from wastewater maturation pond effluent. Jour. Wat. Pollut. Control Fed. Vol. 37, No. 9 (1965).
20. VRABLIK, E.R. Proceedings of the 14th Industrial Waste Conference. Engin. Bull. Purdue Univ. (1959).
21. VAN VUUREN, L.R.J., e.a. The floatation of algae in water reclamation. Int. J. Air Wat. Poll. Vol. 9 pp 823-832 (1965).
22. SHARMAN, S.H. & KYRIOCOU, D. A novel method for removal of detergent from sewage. A paper presented on October 26, 1962, at the California Meeting, Santa Monica, California by the Research Chemist of the California Research Corporation.

23. FANLO, S. & LEMLICH, R. Predicting the performance of foam fractionation columns. A.I. Ch. E. Symposium Series No. 9, pp. 75 - 78, 1965.
24. WACE, P.F. & BANFIELD, D.L. Foam Separation Chemical and Process Engineering pp 70 - 76, October, 1966.
25. McGAUGEY, P.H. & KLEIN S.A. The Removal of ABS from sewage Public Waste Magazine Vol. 92 No. 5 (May, 1961).
26. FLENTJE, M.E. & HAGER, D.G. Advances in Taste and Odour Removal with Granular Carbon Filters Water and Sewage Wastes p 76 (1964).
27. HASSER, J.W. Activated Carbon. Chemical Publishing Company New York (1963).
28. MORRIS, J.C. & WEBER, W.J. Adsorption of Biochemically Resistant Materials from Solution. U.S. Public Health Service. Advanced Waste Treatment Research Publication No. 9 (1964).
29. PARKHURST, J.D. e.a. Pamona 0.3 mgd Activated Carbon Pilot Plant. Presented at the 39th Annual Meeting, Water Pollution Control Federation, Kansas City, Missouri, (September, 1966).
30. PERRY'S. Chemical Engineer's Handbook. Fourth Edition (McCraw-Hill).
31. VAN VUUREN, L.R.J., STANDER, G.J. e.a. Dispersed Air Flucculation/Floatation for Stripping of Organic Pollutants from Effluents. Water Research Vol. 2 pp. 117 - 183 (1968).
32. DENYSSCHEN, J.H. Factors which influence the last traces of phosphorous and calcium carbonate residues in the purification of humus tank effluent using the softening flotation process. (Interne vorderingsverslag, NIWN Desember 1968).
33. CECIL, L.K. Problems and Practice of Phosphate removal in water re-use. Chem. Eng. Progr. Symp. SER, 1967, Vol. 63 No. 78 pp 159 - 163.
34. KUHN, P.A. Removal of ammonium nitrogen from sewage effluent. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Wisconsin (1956).
35. BAYLEY, R.W. Desorption of waste water gases. Effluent and Water Treatment Journal 1967. (March, 1967).

36. COULSON & RICHARDSON. Chemical Engineering Volume II (Pergamon Press New York).
37. BADGER, W.L. & BACHERO, J.T. Introduction to Chemical Engineering (McGraw-Hill).
38. VAN VUUREN, L.R.J., STANDER G.J., e.a. Advanced Purification of Sewage Works Effluent using a combined system of lime softening and flotation. Water Research 1967, Vol. 1 pp 463-474.
39. STANDER, G.J. & VAN VUUREN, L.R.J. The Reclamation of potable water from sewage. A paper presented at the 1968 Conference of the Institute of Water Pollution Control at East London 13th-17th May, 1968.
40. BOLITHO, V. The economics of methods available to local authorities for the chemical and bacterial improvements of purified sewage effluents. Paper delivered to a Conference on the Problems Associated with the Purification, Discharge and Re-use of Municipal and Industrial Effluents, Pretoria, October, 1963.
41. L.R.J. VAN VUUREN e.a. The full-scale reclamation of purified sewage effluent for the augmentation of the domestic supplies of the City of Windhoek. Paper presented to the 5th International Water Pollution Research Conference in San Fransisco, July 1970.