

DIE VERFYNING VAN ONTWERPSPARAMETERS VIR SLYKVERDIKKING MET BEHULP VAN OPGELOSTELUGFLOTTASIE

**Finale Verslag aan die
Watervorsingskommissie**

deur

J Haarhoff en E Bezuidenhout

**Watervorsingsgroep
Departement Siviele en Stedelike Ingenieurswese
Randse Afrikaanse Universiteit**

**WNK Verslag No 556/1/98
ISBN 1 86845 422 3**

EXECUTIVE SUMMARY

1. REASONS FOR AND OBJECTIVES OF THIS STUDY

The work reported here followed from a design guide commissioned by the South African Water Research Commission (Haarhoff & Van Vuuren, 1993). In this publication, design and operational data from a survey of South African DAF plants was used in conjunction with published literature and theory to suggest a number of empirical guideline values for practical design. In this process, it was noted that there seemed to be a wide discrepancy between values actually measured on site, and the values predicted by the design model of Bratby and Marais developed more than 20 years ago, also under the direction of the Water Research Commission (summarized in Bratby & Marais, 1976). In an attempt to resolve these puzzling discrepancies, the current project was undertaken with the specific objective to systematically measure the performance of a number of thickening plants, and to compare it with available design models (Bezuidenhout, 1995). This paper summarizes the main findings from the latter project. The specific objectives of this project are to:

- review the variables which are usually used in DAF thickening models,
- summarize the principal design guidelines for waste activated sludge thickening,
- present the results of a detailed, extended survey of a number of South African dissolved air flotation systems where waste activated sludge is thickened,
- compare predicted with actual performance and explain the discrepancies.

This study is confined to the thickening of waste activated sludge by dissolved air flotation, without the use of any chemical conditioning.

2. SELECTION OF EXPERIMENTAL VARIABLES

A number of potentially important variables were identified by previous reports. They can be broadly classified into a number of categories, namely properties of the incoming sludge, the applied air concentration, the flotation reactor geometry, the properties of the float layer, and the properties of the underflow.

Table 1 contains a list of the variables measured in a number of important previous studies. From these variables, a total of seven independent variables and three dependent variables were chosen for inclusion in this study, indicated in the last column of Table 1.

Table 1 Dependent and independent variables selected in previous studies, as well as variables selected for this study.

	Vrablik (1959)	Ettelt (1964)	Bratby & Marais (1975)	Langenegger & Viviers (1977)	Gulas (1978)	Haarhoff (1993)	Bratby & Ambrose	This study
C_F	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
SS_{out}	✓				✓	✓		✓
d_b			✓				✓	✓
COD_{out}					✓			
SS_{in}	✓	✓		✓	✓	✓		✓
VSS_{in}				✓				
COD_{in}					✓			
SVI		✓		✓		✓	✓	✓
θ				✓	✓			
Q_s			✓			✓	✓	✓
V_L			✓			✓		✓
a_s		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P	✓					✓		
V_c						✓		✓
t_c						✓		✓
Contact zone layout		✓				✓		✓
V_d						✓		✓
d_w			✓	✓			✓	✓
t_e			✓				✓	✓

3. MONITORING OF PLANTS AND METHODS USED

Five treatment plants were selected for this study. Four of them are situated in the Pretoria area, operated by two different municipalities, while the fifth is in the Vereeniging area, south of Johannesburg. All five plants are activated sludge treatment plants for predominantly domestic wastewater, and the DAF units are used for thickening of the waste activated sludge. In all cases, the thickened waste activated sludge is discharged to either aerobic or anaerobic digestion, in some cases mixed with raw sludge from primary settling tanks, before eventual land disposal. There is no direct processing of the thickened waste activated sludge, such a centrifuging or mechanical dewatering, at any of the plants. The primary focus of the DAF units, therefore, is not necessarily to obtain the highest possible sludge concentration or the clearest possible underflow, but to separate and recover the bulk of the water within the waste activated sludge.

The five treatment plants (numbered #1 to #5 in this summary) were visited on a periodic basis. A total of 22 site visits were made in total. Plants #1, #2 and #5 were visited six times each, Plant #3 four times and Plant #4 two times. The treatment plants covered a considerable range of design and operational parameters. Not only were there considerable differences amongst plants, but there were also considerable differences over time at each individual plant.

Analytical measurements (suspended solids and SVI) were done according to Standard Methods (1985). Total incoming flow measurements were obtained with the flumes, gauges and meters provided on site. Recycle flows were generally poorly instrumented or gauges were not working - they had therefore been measured with a portable clip-on type ultrasonic flow meter which was calibrated against a magnetic flow meter in the laboratory. Pressure readings were done with a calibrated pressure gauge; the same gauge used on all sites. Saturator efficiency was measured with a batch measurement apparatus which measured the air volume precipitated after pressure release. The top of the float layer and the water level was determined with a tape measure from a horizontal reference line. The total float layer depth was measured with a thin glass tube connected to a peristaltic pump. As the tube was slowly lowered or lifted through the float layer, the bottom of the float layer could be detected quite precisely by watching when the liquid in the tube changed from sludge to clear water,

or *vice versa*. These measurements were performed at three positions in the tank 120° apart and averaged. It should be noted that the individual measurements differed substantially, especially when the total float layer was thin.

4. EVALUATION OF EXISTING DESIGN MODELS

Only two design models are currently available. The first is the model of Bratby & Marais (1975), and the second is the model of Bratby & Ambrose (1994). The measured values for the independent variables were used to predict the dependent variables with both design models. The calculated performance could then be compared with the actual performance.

4.1 Prediction of the float layer concentration

The model of Bratby & Marais (1975) provides an acceptable *range* of values between normal and poorly settling sludge, with 16 of the measured values within the range, and 6 outside the range. There is, however, not much evidence that the *trend* of the data is closely predicted. There is also no clear indication that there are consistent differences amongst the different plants.

The model of Bratby & Ambrose (1994) does not predict C_F as well as the model of Bratby & Marais (1975). The predicted values for normal sludge do approximately intersect the main data cluster, but the predicted values for poorly settling sludge are obviously too low. In this case, there is less evidence that the underlying structure of the model is mirrored by the data. In both cases, the predicted values show much less variation than the measured values.

4.2 Prediction of the float layer depth under the water level

The model of Bratby & Marais (1975) does intersect the data cluster approximately through the middle, but there is no indication that the underlying structure of the model is supported. The model of Bratby & Ambrose (1994) provides neither a good fit, nor does its structure match the data. In fact, the data indicates a trend opposite to that of the model. The negative values are obviously physically impossible.

5. REGRESSION MODELS ON THE DATA OF THIS STUDY

5.1 Statistical screening and model development

With the data set used in this investigation, some mutual correlation, or collinearity amongst the “independent” variables are inevitable. For example; all the hydraulic loadings such as v_L , v_c and v_d are calculated from the physical dimensions of the relevant zones (which are different for each variable) as well as the flow rate Q (which is the same in all cases). The data was therefore firstly screened for collinearity. Evidence for collinearity was found amongst almost all variables. Unusually strong correlation was only found between v_c and v_d (due to the fact that both are strongly tied to the geometry of the contact zone), which indicated that one of them should be dropped from the data set as they contribute very similar information. In this case, the cross-flow velocity v_c was judged to be of lesser importance and was dropped from further consideration, which reduced the data set to nine independent and three dependent variables.

An exponential multiplicative model was reported in this study:

$$Y = a.X_1^b.X_2^c. \quad (1)$$

The model was fitted with one, two, three and four independent variables respectively, leading to what will be designated as one-parameter, two-parameter, three-parameter and four-parameter models. No models beyond four independent variables are presented. Not only are such complicated models of limited practical value, but the incremental improvement in fit with more variables beyond four was minimal.

The regression models were developed by forward selection. The single best predictor was found amongst the independent variables, resulting in the best one-parameter model. A second independent variable is then selected for the best two-parameter model, *et cetera*.

5.2 Regression model for float layer concentration

The best-fit multiplicative models are summarized in Table 2.

Table 2 Best-fit regression for the float layer concentration C_F .

	Constant	Exponent				r^2
Number of parameters	(-)	V_L ($m \cdot h^{-1}$)	d_w (m)	SS_{in} ($mg \cdot l^{-1}$)	SVI ($ml \cdot g^{-1}$)	(-)
1	4.19	-0.359				0.270
2	4.93	-0.386	0.0514			0.319
3	2.08	-0.384	0.0565	0.111		0.348
4	1.09	-0.395	0.0460	0.132	0.0951	0.373

Table 2 shows that C_F cannot be predicted very well from the independent parameters. The one-parameter model has a correlation coefficient of only 0.27 and this improves only to 0.37 after three more independent variables are added. There is also no evidence of consistent differences amongst the different plants.

5.3 Regression model for float layer depth below water level

The best-fit multiplicative models are summarized in Table 3.

Table 3 Best-fit regression for depth of float layer below water level d_b .

	Constant	Exponent				r^2
Number of parameters	(-)	d_w (m)	t_e (min)	Q_s $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	SS_{in} ($mg \cdot l^{-1}$)	(-)
1	1.28	0.632				0.531
2	0.606	0.650	0.533			0.708
3	0.936	0.713	0.617	-0.432		0.794
4	34.9	0.668	0.534	-0.287	-0.473	0.819

In this case, a reasonably good prediction of d_b is possible. The one-parameter model has a correlation coefficient of 0.53 and the addition of two more variables improves this to 0.79. There is very little benefit in adding the fourth independent variable SS_{in} .

5.4 Regression model for suspended solids in underflow

The best-fit multiplicative models are summarized in Table 4.

Table 4 Best-fit regression for the suspended solids in the underflow SS_{out}

	Constant	Exponent				r^2
Number of parameters	(-)	d_w (m)	t_e (min)	SS_{in} (mg.l ⁻¹)	SVI (ml.g ⁻¹)	(-)
1	3.31	-0.690				0.570
2	1.60	-0.672	0.517			0.721
3	4.91×10^{-3}	-0.634	0.602	0.728		0.796
4	4.74×10^{-4}	-0.689	0.492	0.772	0.416	0.819

A reasonably good prediction of SS_{out} is possible. The one-parameter model has a correlation coefficient of 0.57 and the addition of two more variables improve this to 0.80. There is very little benefit in adding the fourth independent variable SVI. There is no evidence of consistent differences amongst the different plants.

6. THE RELATIVE IMPORTANCE OF THE EXPERIMENTAL VARIABLES

6.1 Air requirements

A key parameter for DAF thickening is the volume of air released in the contact zone. To move the solid particles in the sludge to the surface, enough air has to be attached to the particles to attain positive buoyancy. The more solids, the more air is required; this led to the concept of maintaining a constant mass ratio of air to solids, designated as a_s . It was shown early on that the air is not utilized efficiently (Ettelt, 1964). A number of potential air "losses" in DAF were recently enumerated (Haarhoff & Steinbach, 1997) which showed that the air application efficiency could indeed be much lower than generally thought. Different plants could have very different air application efficiencies. Furthermore, for DAF thickening very little had been reported on injection nozzle design, in stark contrast to the application

of DAF to clarification in water treatment, where the importance of injection nozzle design, and bubble size distribution, had been evident for years and reported on in much more detail (Rykaart & Haarhoff, 1995). Important other aspects affecting the air application efficiency may be overlooked by characterizing the air requirement for thickening simply by a_s . However, there is no doubt that an adequate a_s is at least a necessary prerequisite for effective thickening, albeit crude.

The models of Bratby & Marais (1975) and Bratby & Ambrose (1994) do not include a_s as a predictor of C_F . Both models do, however, include a_s as a predictor for d_b . It was argued that a_s influences both the rise rate of the agglomerates and d_b and therefore can indirectly lead to higher C_F . For a given set of parameters, however, there is no direct link between a_s and C_F . In this study, a_s was not amongst the top four predictors for either C_F , d_b or SS_{out} . This could only indicate that a_s is important up to a certain point, but that more air beyond that point does not improve the flotation performance. In this study, a_s was usually higher than the minimum of 0.02 which is usually recommended.

6.2 Sludge properties

It had been shown in a number of studies that not all sludges respond similarly to DAF thickening. Bratby and Marais (1975) allowed for this phenomenon by providing two sludge categories, namely "poorly settling sludge" or "normal sludge". With the exception of zeta potential (Roberts *et al*, 1978), which incidentally did not show any systematic effect, very little has been published in the DAF thickening literature on fundamental sludge properties and rheology.

6.2.1 The role of SVI

Some researchers did find a definite relationship between C_F and the sludge volume index (SVI) which is widely used as a measure of sludge settleability. The higher the SVI, the lower the C_F that could be attained by DAF thickening. Bratby & Marais (1975) did not find this consistent dependence on SVI. Bratby & Ambrose (1994) later did use SVI as a measure to distinguish between time periods when sludge was more efficiently thickened than others.

The regression models derived from this study do not assign significant importance to SVI. For the prediction of C_F , it only enters as the fourth most important predictor. For d_b it does not enter in the top four independent variables. For SS_{out} it enters again as the fourth best predictor, but its addition to the regression model contributes very little to the overall fit.

6.2.2 The role of SS_{in}

Langenegger & Viviers (1978) found with batch tests that C_F was influenced by SS_{in} ; the higher SS_{in} , the higher C_F . This finding was supported by further experimental work (Gulas *et al*, 1980). It was further reinforced by the regression model of this study, which found SS_{in} to be the third best predictor of C_F .

6.3 **Contact zone parameters**

The contact zone of a DAF reactor is the zone where sludge particles and air mix for the first time to form stable, buoyant agglomerates. The processes within the contact zone can be likened to three-phase flocculation, where bubbles, particles and water are mixed. Analogous to conventional two-phase flocculation, the *intensity* of mixing as well as the *time* of mixing should be of importance. In one of the earliest papers on sludge thickening (Ettelt, 1964) it was indeed shown that the contact zone "...was the most critical structural feature for flotation..." Despite this early finding, the research since has concentrated almost exclusively on appropriate parameters for the separation zone. There are, therefore, no generally accepted parameters for the characterization of the contact zone. A first attempt was made (Haarhoff & Van Vuuren, 1993) to use the hydraulic retention time in the contact and the average velocity or *hydraulic loading* through the contact zone as crude measures of the mixing time and mixing intensity.

The regression models developed in this study assign very little significance to any of the contact zone parameters; they do not enter as in the top four predictors for any one of C_F , d_b or SS_{out} . This does not necessarily rule out the importance of the contact zone, but it does mean that perhaps other parameters have to be found which provide a better description of contact zone turbulence and retention time.

6.4 Separation zone parameters

Following the contact zone, the flow enters into the *separation* zone, where quiescent conditions are required for the particle/bubble agglomerates to separate and be buoyed into the float layer. The separation zone is sized to limit either the solids loading Q_s (expressed as $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$), or the hydraulic loading v_L (expressed as m.h^{-1}). For clarification applications with low SS_{in} , the hydraulic loading is limiting, but for thickening with high SS_{in} , Q_s is the limiting parameter (Bratby & Marais, 1975).

6.4.1 The role of Q_s

The solids loading rate Q_s was included in the prediction of C_F in the model of Bratby & Marais (1975); C_F being approximately inversely proportional to the square root of Q_s . In the later model by Bratby & Ambrose (1994), Q_s is also included, but with significantly smaller exponents, thereby reducing its effect. Its importance was rationalized by the logical argument that Q_s controls the rise rate of the float above the water level, thereby directly governing the effective drainage time t_b . In the regression model for C_F of this study, surprisingly, Q_s was not one of the top four predictors.

The model of Bratby & Marais (1975) did not include Q_s in its prediction of d_b , but the later model of Bratby & Ambrose (1994) did include it with approximately a linear correlation between d_b and Q_s . The regression model of this study did not show Q_s to be one of the top four predictors for d_b .

6.4.2 The role of v_L

The hydraulic loading v_L was not recognized as an important variable for thickening applications. Somewhat surprisingly, v_L turned out to be the best single predictor in this study for C_F . Although the correlation between v_L and C_F is weak, it suggests that hydraulic loading should not be completely ignored for predictions of C_F .

6.5 Float layer depth and position

A clear, elegant explanation was developed by Bratby & Marais (1975) of the thickening mechanism within the float layer. Three important elevations are recognized; the top of the float layer (theoretically determined by the bottom edge of the sludge scraper), the water level (the elevation on the top of the water surface at the separation zone outlet), and the bottom of the float layer. The depth of the float layer above the water level is designated as d_w and the depth of the float layer below the water line is designated as d_b , with the total float layer depth thus $(d_w + d_b)$. The thickening is partly caused by the air pushing on the bottom of the float layer, thereby squeezing out some of the interstitial water (analogous to compression settling). The most important thickening mechanism, however, is the draining of interstitial water from the part of the float layer above the water line. The independent variable d_w is therefore of importance for C_F . The depth below the water level d_b is a dependent variable, and also important for design. An excessively deep buildup of sludge below the water level could increase the lateral flow velocity under the float layer to the extent that the float layer is eroded from below.

6.5.1 The role of d_w

The model by Bratby & Marais (1975) included d_w in both their predictions of C_F and d_b . In the later model by Bratby & Ambrose (1994), d_w was dropped from the prediction of C_F , and its role in its prediction for d_b was changed, as is evident from Equations (6), (13) and (14).

The regression models of this study assign an important role to d_w . It is the second most important predictor for C_F , which agrees with the mechanism above. It is obviously also the most important predictor for d_b , for any given d_w will require adequate d_b to remain floating. Somewhat surprising, d_w is also the most important predictor for SS_{out} . This may be indirectly related to the practical problems of float layer scraping, as will be discussed further on.

6.5.2 The role of t_e

Bratby and Ambrose (1994) introduced t_e into their prediction for both C_F and d_b . The regression models of this study do not include t_e as one of the top four predictors for C_F , but

do include t_o as the second most important predictor for both d_b and SS_{out} . This suggests that t_o is an important parameter which plays an important role in DAF thickening.

6.6 Float layer removal

The conceptual model of float scraping is that the scraper blade cuts cleanly into the float layer and only slices off the top part of the layer, without disturbing or moving the rest of the float layer. In a very small tank or a circular test column, float scraping may approximate this ideal situation. In a full-scale tank, however, there is a tendency for the entire depth of the float layer to be affected by the scraper. A number of problems have been identified; namely knockdown (parts of the float layer breaks loose when the scraper moves over the float layer), depression (the float layer is pushed downward by the scraper and pushes up again after the scraper has passed) and rolling (the float layer breaks into strips which roll and partially decompose as the scraper passes over). Most plants, including those surveyed in this study, have float scraping mechanisms which are imperfect and do not come close to the ideal case. Float layers are visibly pushed around and white water is momentarily visible at the trailing edge of the scraper blade. This explains the difficulty, reported earlier, in attaining reproducibility and precision when measuring d_b and d_w .

The regression models developed in this study, even with inclusion of up to four independent parameters, showed poor correlation with C_F and only disappointing correlation with d_b and SS_{out} , despite the fact that almost all the potentially significant process parameters were considered. The main reason for the generally poor predictive power of all the models developed in this project is the imperfect sludge scraping systems of the plants studied. This is evidenced by the fact that the depth of the float layer above the water layer d_w was the single best predictor of the quality of the underflow SS_{out} , despite the fact that these two parameters have no physical connection - in a flotation tank the part of the float layer below the water level acts as a barrier between them! The explanation of this apparent paradox is that the float layer is significantly disrupted by the float scraper, and parts of the float layer is "mixed" with the underflow when the scraper passes overhead. The thinner the float layer, the more severe this mixing becomes. The two plants with the thickest float layers were the two plants with lowest SS_{out} , while the plant with the very thin float layer had the highest SS_{out} .

It seems reasonable to suggest that float scraping imperfections will be amplified when the total float layer is thin. With a thick layer, it will be more difficult to push the entire float layer laterally or vertically, and therefore easier to slice off the top part of the layer. This is especially evident in the bottom graph of Figure 1, which shows a marked deterioration of SS_{out} when d_w drops below about 150mm. For three of the plants studied, d_w was consistently below this value. This fits in well with the suggested minimum d_w of 300mm put forward for practical design (Langenegger & Viviers, 1978).

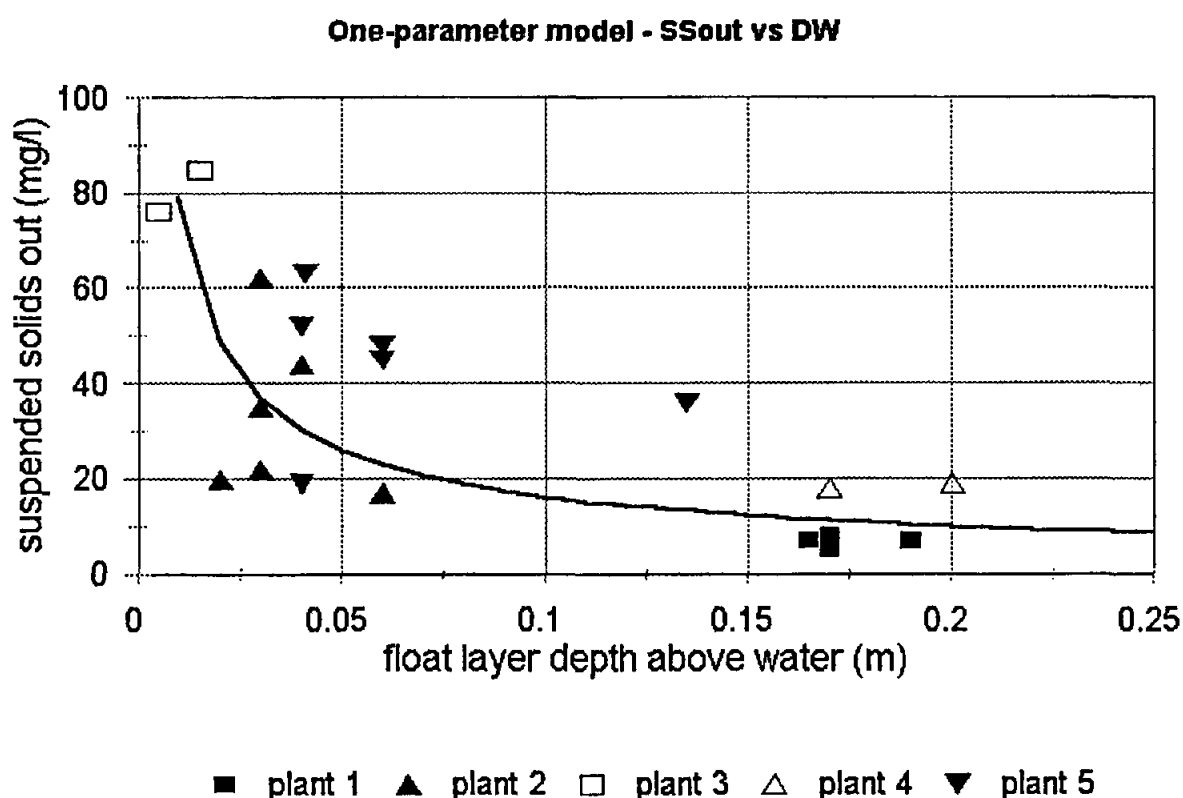


Figure 1 **Quality of the effluent as a function of the float layer depth above the water level.**

7. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Published surveys of full-scale DAF thickening plants showed wide scatter in performance. In order to eliminate sampling or measurement errors, considerable care was taken in this study to measure as many variables as practically possible, to measure them in a consistent way at all five plants surveyed, and to make repeat measurements at all five plants to ensure a more reliable assessment of each plants performance. There was considerable variation in the activated sludge properties over time, and also a wide range in the design parameters for each plant. This explains the fairly wide variation in day-to-day operational performance of the DAF thickeners.

A primary finding of this study is that three of the five plants do not allow the float layer to accumulate sufficiently to adequately allow the drainage of water from the float layer above the water level, and to provide enough stability to protect the float layer from being destabilized by the sludge scrapers. The data from this study can therefore not be used as absolute verification of the published design models. The model of Bratby & Marais (1975) was calibrated on laboratory and pilot-scale where the float layer could be removed in an ideal way. The later model of Bratby & Ambrose (1994) was calibrated on a full-scale plant where the float layer was allowed to accumulate much more than reported here. Given these constraints, the following conclusions pertain to these models:

- The model of Bratby & Marais (1975) made the important distinction between the parts of the float layer which are above and below the water level. The importance of the depth above the water level d_w is demonstrated in this study by the fact that it features as one of the top two predictors in all three correlations reported in this study.
- The role of the air-to-solids ratio a_s does not appear to be so important, as it did not feature amongst the top four parameters in any of the three reported correlations. This indicates that air seems to be a necessary condition up to a point, but that it has no further effect once a certain threshold concentration is reached.
- The main contribution of the model of Bratby & Ambrose (1994) is the introduction of the effective drainage time t_e . It features as the second best predictor in two of the reported correlations.

INHOUDSOPGAWE

EXECUTIVE SUMMARY	14p
SIMBOLELYS	1p
VERSLAG	
1. Inleiding	1.1
1.1 Die flottasieproses	1.1
1.2 Agtergrond	1.2
1.3 Doelstelling	1.2
1.4 Ordening van verslag	1.2
2. Literatuurstudie	2.1
2.1 Belangrike vorige studies	2.1
2.2 Identifikasie van belangrike veranderlikes	2.4
2.3 Belangrikste gerapporteerde verbande	2.6
3. Aanlegdata	3.1
3.1 Inleiding	3.1
3.2 Meting en berekening van bedryfsparameters	3.1
3.3 Modelberekeninge vir tipiese aanlegbesoek	3.5
3.4 Daspoort	3.10
3.5 Leeuwkuil	3.17
3.6 Rooiwal	3.24
3.7 Verwoerdburg	3.30
3.8 Zeekoegat	3.37

4.	Data-ontleding	4.1
4.1	Opsomming van verwerkte data	4.1
4.2	Ontleding van gepubliseerde modelle	4.3
4.3	Ontwikkeling van regressiemodelle vanaf eie data	4.10
5.	Evaluasie van resultate	5.1
5.1	Lugbenodigdhede	5.1
5.2	Slykeienskappe	5.2
5.3	Uitleg van kontakstone	5.3
5.4	Uitleg van skeidingsone	5.3
5.5	Dryflaagdiepte en -posisie	5.4
5.6	Dryflaagverwydering	5.6
6.	Samevatting	6.1
6.1	Gevolgtrekkings uit hierdie studie	6.1
6.2	Vergelyking met oorspronklike projekdoelwitte	6.3
6.3	Verdere navorsing	6.4
6.4	Erkennings	6.4
7.	Bronnelys	7.1

SIMBOLELYS

$a_{p(\text{teor})}$	-	Teoretiese hoeveelheid opgeloste lug per liter versadigervoer [mg.l ⁻¹]
$a_{p(\text{prak})}$	-	Werklike hoeveelheid opgeloste lug per liter versadigervoer [mg.l ⁻¹]
a_s	-	Lug/soliedes verhouding [mg.mg ⁻¹]
C	-	Versadigereffektiwiteit [%]
C_F	-	Dryflaagkonsentrasie [%]
d_T	-	Totale diepte van die dryflaag [cm]
d_W	-	Diepte van die dryflaag bo watervlak [cm]
d_B	-	Diepte van die dryflaag onder watervlak [cm]
E	-	Atmosferiese druk [kPa]
P	-	Versadigerdruk [kPa]
P_d	-	Dampdruk [kPa]
Q	-	Spuislykvloeitempo [m ³ .h ⁻¹]
Q_s	-	Swewende stowwe lading [kg.m ⁻² .h ⁻¹]
SS_{in}	-	Inkomende swewende stowwe konsentrasie [mg.l ⁻¹]
SS_{uit}	-	Uitgaande swewende stowwe konsentrasie [mg.l ⁻¹]
SVI	-	Slykvolume indeks [ml.g ⁻¹]
T	-	Temperatuur [°C]
t_e	-	Dreinerings tyd [min]
t	-	Kontak tyd [s]
rQ	-	Hersirkulasietempo [m ³ .h ⁻¹]
v_d	-	Deurvloeisnelheid van reaksiesone na flottasiesone [m ³ .m ⁻² .h ⁻¹]
v_L	-	Hidrouliese lading van die flottasiesone [m ³ .m ⁻² .h ⁻¹]
v_r	-	Hidrouliese lading van die reaksiesone [m ³ .m ⁻² .h ⁻¹]
v_v	-	Hidrouliese lading van die versadiger [m ³ .m ⁻² .h ⁻¹]

1. INLEIDING

1.1 DIE FLOTTASIEPROSES

Opgelostelugflottasie is 'n proses waarmee swewende stowwe partikels verwyder word van water of geaktiveerde slyk, deur middel van die generasie van mikro-grootte lugborrels wat aan die swewende stowwe partikels vasheg, en na die bolaag geflotteer word. Dit gebeur as gevolg van die borrel-partikel agglomeraat se gesamentlike digtheid wat dan minder is as die digtheid van die medium waarin die agglomeraat verkeer.

Die opgelostelugflottasieproses kan vir die verheldering van drinkwater, en die verdikking van geaktiveerde slyk gebruik word. Hierdie studie handel spesifiek oor die verdikking van geaktiveerde slyk voor wegdoening of sekondêre ontwatering.

Geaktiveerde slyk word tipies van 'n biologiese reaktor na die opgelostelugflottasie aanleg gevoer. Die mikro-grootte borrels word verkry deur lug in die water op te los in 'n versadiger onder druk, en dan die lugversadigde water aan 'n groot drukval te onderwerp wanneer dit in die flottasietenk vrygestel word. Die borrels heg aan die soliede partikels en gee dit 'n dryfvermoë. Die verhoogde dryfvermoë veroorsaak dat die partikels na bo dryf. Die stygende soliedes wat laag vir laag na bo gedryf word, veroorsaak nie net 'n faseskeidingseffek nie, maar ook 'n mate van verdikking. Die dryflaag word aan die bokant van die flottasietenk in 'n versamelbak geskraap, en die ondervloei word vir hersirkulasie onttrek.

Die proses word deur vele gesien as 'n meer betroubare en effektiewe alternatief tot besinking, vir gevalle waar soliedes met lae digthede en/of hoë organiese inhoud die besinkingsproses nadelig kan beïnvloed.

1.2 AGTERGROND

Opgelostelugflottasie word die afgelope 30 jaar reeds in Suid-Afrika bestudeer en gebruik in die riool- en watersuiweringsbedryf. Vol- en loodsskaaleksperimentasie oor die proses is al op 'n groot verskeidenheid van eutrofe oppervlakwaters, industriële uitvloeisels, water- en rioolslyke gedoen. Die studies en die implementering van die proses het gelei tot 'n aansienlike toename in die oprigting van opgelostelugflottasieaanlegte regoor die land in die tagtigerjare.

Die aanlegte word oorheersend empiries ontwerp aangesien min praktiese ontwerpstriglyne vir die proses bestaan. In 'n onlangse landswye aanlegopname van flottasie-eenhede wat in opdrag van die WNK uitgevoer was, was dit veral die verdikkingsaanlegte vir geaktiveerde slyk wat 'n besonder wye variasie getoon het ten opsigte van sekere ontwerpparameters (Haarhoff en Van Vuuren, 1993).

1.3 DOELSTELLING

Die doel van hierdie ondersoek was om met behulp van 'n kritiese evaluering van literatuur en bestaande volskaalse verdikkingsaanlegte :

- die ontwerp- en bedryfsparameters te identifiseer wat die dryflaagkonsentrasie (C_F), die uitgaande swewende stowwe konsentrasie (SS_{uit}), en die diepte van die dryflaag onder die watervlak (d_b) beïnvloed
- om die bestaande modelle waarmee C_F en d_b voorspel kan word, krities te evalueer
- moontlike nuwe verwantskappe tussen die kritiese parameters, C_F , SS_{uit} , en d_b te vind.

1.4 ORDENING VAN DIE VERSLAG

In hoofstuk 2 word die literatuurstudie van sewe belangrike vorige bydraes aangebied. Daar word veral klem gelê op die parameters waarna gekyk was in elke studie, en ook na laboratorium-, loodsskaal- en volskaaltoetse wat gedoen was.

In hoofstuk 3 word die aanlegdata gedokumenteer. Die fisiese uitleg van elke stelsel wat uit flottasietenks, hersirkulasiestelsel, en dryflaagverwyderingstelsel bestaan word beskryf. Die metode van dataversameling en berekeninge word bespreek. Algemene probleme wat ondervind was met die bedryf van elke spesifieke stelsel word ook bespreek.

In hoofstuk 4 word die data-ontleding gedoen. Eerstens word die modelle van Bratby en Marais (1976) en Bratby en Ambrose (1994) getoets aan die hand van data wat van die aanlegte verkry was. Tweedens word nuwe modelle voorgestel na aanleiding van 'n meervoudige regressie-ontleding van die data wat tydens hierdie ondersoek ingewin is.

Hoofstuk 5 bevat 'n kritiese evaluasie van die resultate, veral om die tersaaklike parameters te identifiseer en elkeen se rol in die verdikkingsproses te probeer verstaan.

Hoofstuk 6 is die samevattende gevolgtrekkings van die projek. Die studie word aan die hand van die oorspronklike doelwitte geëvalueer en aanbevelings word gemaak.

2. LITERATUURSTUDIE

2.1 BELANGRIKE VORIGE STUDIES

Hierdie hoofstuk bevat 'n literatuurstudie van werk wat oor die afgelope 35 jaar gepubliseer is oor die verdikking van geaktiveerde slyk met behulp van opgelosteflottasie. In die vorige navorsing wat gedoen was, was gebruik gemaak van laboratorium-, loodsskaal en volskaaltoetse om die invloed van verskillende parameters in die proses te probeer identifiseer. Sewe vorige studies is uitgesoek as verteenwoordigend van die vordering wat in hierdie tyd gemaak is, en word hieronder opgesom.

Vrablik (1959) het laboratoriumskaaltoetse gedoen met 'n apparaat wat bestaan het uit 'n belugtingskamer en 'n flottasiekamer. 'n Monster van 800 cm^3 was in 'n belugtingskamer onder druk geplaas, en dan geskud om lug in die mengsel te laat oplos. Die monster was dan na die flottasiekamer oorgeplaas deur 'n klep te open wat terselfdertyd die druk verminder het. Na die drukvermindering het die lug uit die oplossing gepresipiteer, en flottasie het plaasgevind. Die ondersoek was gedoen op industriële geaktiveerde slyk.

Ettelt (1964) het aanvanklik laboratoriumskaal en loodsskaaltoetse gedoen. Van die laboratoriumskaal werk word nie 'n beskrywing gegee nie, slegs 'n verwysing na vorige werk deur die Chain Belt Co. Loodsskaaltoetse was gedoen op 'n rioolsuiweringsaanleg in Chicago, Illinois. Twee $34 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ loodsskaaleenhede was gebruik, maar die dryflaagdiepte en dryflaagverwydering kon nie effektief beheer word nie, en geen sinvolle data was uit die eksperimente verkry nie. Daar was wel tot die gevolgtrekking gekom dat die ontwerp van die kontakskone krities was vir die werking van die proses.

Vir beter beheerbaarheid was daarna met volskaalse eksperimentasie begin. Die spuislyk en hersirkulasietoever was eers gemeng en dan onder druk geplaas, voordat dit deur drie diafragmalepe na die flottasietenk gevoer was. Die flottasietenk was 22 m lank; 13.7 m wyd en 4.4 m diep. Daar was veral klem gelê op turbulensie in die kontakskone, en die optimum gebruik van die hersirkulasiestroom.

Langenegger (1977) het aanvanklik laboratoriumskaaltoetse gedoen om die belangrike parameters te identifiseer wat 'n invloed het op die doeltreffendheid van die proses. Die laboratoriumskaal apparaat het bestaan uit 'n 193 mm diameter perspex kolom, 1200 mm hoog. Dit is opgevolg met loodsskaaltoetse waartydens meer eksperimentele veranderlikes gemeet is. Hier was gebruik gemaak van 'n 770 mm wyd, 1270 mm lank en ± 1500 mm diep tenk met 'n skrapermeganisme. Die invloed van die dryflaagdiepte bo die watervlak op die dryflaagkonsentrasie het duidelik na vore gekom. Die toetse was op verskillende tipes toevoerslyk uitgevoer, naamlik a) geaktiveerde slyk vanaf 'n $16\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ geaktiveerde slykaanleg, met 'n konstante slykouderdom, b) geaktiveerde slyk vanaf 'n proefaanleg wat bedryf was teen 'n konstante vloeitempo van $173\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ en waar die slykouderom willekeurig verander kon word en c) geaktiveerde slyk van 'n Bardenpho proefaanleg wat bedryf was teen $120\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ met 'n konstante slykouderdom.

Gulas (1978) het die interafhanklikheid van die spuislykouderdom en die dryflaagkonsentrasie met laboratoriumskaal apparaat ondersoek. Daar was gebruik gemaak van drie reaktor eenhede, en die spuislyk was sinteties opgemaak. Dit het bestaan uit 'n mengsel van glukose, stikstof, mangaan, magnesium, yster, kalsium, en fosfaat. Drie kontinue vloeieenhede met volumes van 11 liter elk was gebruik vir eksperimentele doeleindes. Die opgemaakte spuislyk of substraat was gebruik by chemiese suurstof behoefte (CSB) waardes van 500, 1000, en $1500\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ by 'n vloeitempo van $20\text{ l}\cdot\text{d}^{-1}$. Slykouderdomme van 5, 10, of 13 dae was gebruik. Elke kombinasie van substraat konsentrasie en slykouderdom veroorsaak verskillende swewende stowwe konsentrasies, en dus was nege verskillende swewende stowwe konsentrasies wat getoets kon word. Die lug/soliedes verhouding was beskou as die belangrikste parameter in die ontwerpproses en was ook as basis gebruik vir 'n ontwerpprocedure wat voorgestel was.

Bratby en Marais (1976) van die Universiteit van Kaapstad het vanaf 1974 baanbrekerswerk in die flottasieveld in Suid Afrika gedoen. Beide verheldering en verdikking was beskou, en ontwerpparameters was vir die prosesse geïdentifiseer. Daar was, met loodsskaaleksperimentasie, verbande tussen die betrokke parameters gevind. Die verbande was geldig gevind vir verskeie tipes slyktoevoere in latere studies. Die flottasie-eenheid wat gebruik was vir die loodsskaaltoetse het bestaan uit twee konsentriese silinders omtrent 2 m hoog. Die buitesilinder het 'n diameter van 550 mm gehad, en die binnesilinder 'n

diameter van 500 mm. Die binnesilinder was vas aan die bokant van die eenheid, en 25 mm gelig vanaf die basis, vir die verwydering van uitvloeiwat. Die versadigervoer en die spuislyktoevoer was in 'n pyp gemeng, waarna dit loodreg in 'n kontakstone gepomp was. Die kontakstone was 360 mm hoog gemeet vanaf die basis van die eenheid. Uitlaatpype op die buitenste silinder het die hoogte van die watervlak bepaal, en as uitlaat gedien vir die uitvloeiwat. Die borrel-partikel agglomerate het dan deur 'n koniese obstruksie (wat 'n skeidslaag gevorm het tussen die stygende borrel-partikel agglomerate en die uitvloeiwat) gestyg. 'n Skrapermeganisme wat deurlopend beweeg het is bo-op die eenheid geïnstalleer, en 'n vertikale rooster het verseker dat die dryflaag nie "rol" nie (Bratby en Marais, 1976). Daar was ook gebruik gemaak van 'n laboratoriumskaal apparaat wat op 'n sleepwaentjie geïnstalleer was, sodat eksperimentele werk ook op aanlegte gedoen kon word. Die flottasiekolom was soortgelyk aan die loodsskaalapparaat, net op 'n kleiner skaal. Die binnediameter van die flottasiekolom was 250 mm, met 'n hoogte van 1 m.

Haarhoff en Van Vuuren (1993) het met 'n wye literatuurstudie en opname van 26 verteenwoordigende aanlegte in Suidelike Afrika wat opgelostelugflottasie gebruik die belangrikste ontwerpparameters probeer identifiseer. Twee toepassings van die proses was beskou, naamlik verheldering en verdikking. Die resultate, in die vorm van riglynwaardes vir ontwerp, is deur die Waternavorsingskommissie gepubliseer as "A South African design guide for dissolved air flotation". Wat slykverdikking betref, is gevind dat die ontwerpparameters 'n wye spektrum dek, en die algemene indruk van die operateurs van die aanlegte wissel van baie positief tot negatief. Die kontakstone, waar die lug, water en soliedes die eerste keer meng, word beskou as die belangrikste faktor by die ontwerp van die proses.

Bratby en Ambrose (1994) het die vorige model van Bratby en Marais (1976) uitgebrei deur die effektiewe dreinerings tyd van die dryflaag bykomend in ag te neem. Die effektiewe dreinerings tyd is 'n veranderlike wat operasioneel verander kan word deur die slykskraper vinniger of stadiger te laat beweeg, of om die skrapper slegs periodies te laat beweeg. Die hersiene model is getoets en gekalibreer op 'n groot munisipale aanleg met 12 flottasie-eenhede wat drie verskillende soorte slyk in die toetsperiode verdik het.

2.2 IDENTIFIKASIE VAN BELANGRIKE VERANDERLIKES

Elkeen van die gerapporteerde studies het verskillende veranderlikes in ag geneem. Om 'n eie eksperimentele plan vir hierdie projek saam te stel, is die keuse en belangrikheid van die parameters in die vorige studies probeer peil.

Die belangrikste *afhanklike* prestasieparameters was die volgende:

- Die dryflaagkonsentrasie C_F van die slyk wat van die tenk se oppervlakte afgeskraap word, wat die primêre doelwit van slykverdikking is,
- Die swewende stowwe SS_{uit} van die water wat onder uit die tenk onttrek word, dikwels 'n belangrike sekondêre doelwit van slykverdikking,
- Die dikte d_b van die dryflaag onder die watervlak, 'n veranderlike wat indirek belangrik mag wees, soos uit sekere van die modelle sal blyk, en
- Die chemiese suurstofbehoefte CSB_{uit} van die water wat uit die tenk onttrek word.

Daar is heelwat meer *onafhanklike* veranderlikes wat in ag geneem is.

- Die swewende stowwe SS_{in} in die inkomende slykstroom
- Die vlugtige swewende stowwe VSS_{in} in die inkomende slykstroom
- Die chemiese suurstofbehoefte CSB_{in} in die inkomende slykstroom
- Die slyk-volume-indeks SVI van die inkomende slykstroom
- Die slykouderdom θ van die inkomende slykstroom
- Die soliedes belasting Q_s op die skeidingsone
- Die hidrouliese belasting v_L op die skeidingsone
- Die lug-soliedes massaverhouding verhouding a_s in die skeidingsone
- Die versadigingsdruk P
- Die hidrouliese belasting v_r op die kontaktsone
- Die retensietyd t in die kontaktsone
- Die geometriese uitleg van die kontaktsone
- Die deurvloeiensnelheid v_d tussen kontaktsone en skeidingsone
- Die dikte d_w van die dryflaag bokant die watervlak
- Die effektiewe dreinerings tyd t_d van die dryflaag

Tabel 2.1 wys die watter veranderlikes deur watter vorige studies in ag geneem is. Vir maklike verwysing word die veranderlikes wat tydens hierdie studie gemeet is, ook aangedui.

Tabel 2.1 Onafhanklike en afhanklike parameters wat in vorige en in hierdie studie gebruik is

	Vrablok (1959)	Ettelt (1964)	Bratby (1976)	Langenegger (1977)	Gulas (1978)	Haarhoff (1993)	Bratby (1994)	Hierdie studie
C_F	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
SS_{uit}	✓				✓	✓		✓
d_b			✓				✓	✓
CSB_{uit}					✓			
SS_{in}	✓	✓		✓	✓	✓		✓
VSS_{in}				✓				
CSB_{in}					✓			
SVI		✓		✓		✓	✓	✓
θ				✓	✓			
Q_s			✓			✓	✓	✓
V_L			✓			✓		✓
a_s		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P	✓					✓		
V_c						✓		✓
t_c						✓		✓
Kontaksone uitleg		✓				✓		✓
V_d						✓		✓
d_w			✓	✓			✓	✓
t_e			✓				✓	✓

2.3 BELANGRIKSTE GERAPPORTEERDE VERBANDE

2.3.1 Eienskappe van inkomende slyk

Vrablok (1959) het gevind dat die dryflaagkonsentrasie verminder soos die konsentrasie van swewende stowwe in die invloei verhoog. Dit was gevind by 'n wye reeks waardes van 0 tot 25000 mg/l swewende stowwe konsentrasie, 'n dryflaagkonsentrasie tussen 0 tot 7%, en by versadigerdrukke tussen 138 en 310 kPa. Die rede hiervoor gegee was dat indien 'n aanname gemaak word van konstante lugborrelgewig in die dryflaag, en die soliedes in die dryflaag vermeerder, dan sal die digtheid van die dryflaag afneem. Soos die invloei swewende stowwe konsentrasie verhoog word, was gevind, verlaag die aanvanklike stygtempo van die grenslaag tussen die vloeistof en die dryflaag. Verskillende dryflaaghoogtes en retensietye was herlei na een dryflaaghoogte of volume. Hierdie beginstygtempo van die grenslaag was dan gebruik om die volskaal- of loodsskaal flottasiearea of uitvloeiempo te bepaal.

Ettelt (1964) het gevind dat hoë slykvolume indeks waardes in verband gebring kan word met lae effektiwiteit van die flottasieproses.

Langenegger (1977) het, tydens laboratoriumskaaltoetse, bevind dat 'n verandering in die slykvolume indeks (SVI), met alle ander parameters konstant, verskillende dryflaagkonsentrasies lewer. Die verskillende dryflaagkonsentrasies wat verkry was, was verklaar deur te noem dat borrel vashegting meer doeltreffend plaasvind in sommige slykmengsels, en dat hierdie vlokke dan digter in die dryflaag saampak. Dit blyk dat spuislyk met 'n lae slykvolume indeks makliker flotter, en beter verdig in die dieselfde toestand. Tydens loodsskaal eksperimentasie toon slykmengsels met 'n lae slykvolumeindeks waardes 'n groter verandering in die verhouding van dryflaagdiepte bo watervlak en totale dryflaagdiepte, vir dieselfde verandering in lug/soliedes verhouding, as slykmengsels met hoër slykvolumeindeks waardes. Daar was ook gevind dat verskillende slykmengsels verskillende minimum massas lug nodig het voordat flottasie kon plaasvind.

Gulas (1978) het gekyk na die verband tussen die slykvolume indeks en die slykouderdom. Daar word gevind dat die slykvolume indeks daal vir 'n slykouderdom van 3 tot 5 dae, en dan

afplat by 140 ml/g na 5 dae. Daar was bevind dat laer slykvolume indeks waardes hoë dryflaagkonsentrasies tot gevolg het. Nog 'n verband wat beklemtoon was, was die verband tussen swewende stowwe konsentrasie van die uitvloeisel uit die reaktor en die slykouderdome. Die swewende stowwe neem eksponensieël toe met toenemende slykouderdome. Daar was ook gevind dat die dryflaagkonsentrasie direk eweredig was aan die inkomende swewende stowwe konsentrasie en die lug/soliedes verhouding. Die stygspoed van die agglomerate neem toe met toename in die inkomende swewende stowwe konsentrasie tot 3000 mg/l, en neem dan af vir konsentrasies groter as 3000 mg/l.

Bratby en Marais (1976) het aanvanklik gevind dat die slykvolume indeks nie 'n rol speel nie. Later het Bratby en Ambrose (1994) wel SVI as 'n belangrike veranderlike vir verdikking identifiseer.

2.3.2 Lugdosering en borrelproduksie

Vrablok (1959) het gevind dat hoër dryflaagkonsentrasies verkry kan word by hoër drukke, omdat 'n groter volume lug in die dryflaag voorkom. Te veel lug het egter 'n verlaging in die dryflaagkonsentrasie veroorsaak. Daar was bevind dat die dryflaagvolume 'n liniêre funksie van die invoer swewende stowwe konsentrasie was. Swewende stowwe konsentrasie van die uitvloeisel was 'n funksie van die versadigerdruk, by 'n vaste dryflaagkonsentrasie, behalwe in die geval van een aanleg waar die swewende stowwe konsentrasie in die uitvloeitoe neem soos die dryflaagkonsentrasie toeneem. Daar was gevind dat hoër drukke groter volumes lug veroorsaak wat in die dryflaag vasgevang word. Omdat dit 'n vermindering in die dryflaagdigtheid veroorsaak, kon meer soliedes geflopteer word. Daar was ook gevind dat die uitvloeisel helderheid kon toeneem of afneem, afhangende van die slyk wat getoets word, soos belugtingsdruk toeneem. Te hoë drukke het egter turbulensie veroorsaak wat die vlokke laat opbreek het.

Ettelt (1964) het bevind dat verskillende lug/soliedes verhoudings by konstante vloeitempo's die effektiwiteit van die proses kan beïnvloed. Die grootste verbetering in die effektiwiteit van die proses was gevind by lae lug/soliedes verhoudings, waar die verhoging in effektiewe terminale snelheid die grootste was. Die uitvloeisel swewende stowwe konsentrasie was nie afhanklik van die lug/soliedes verhouding nie, behalwe vir baie lae lugtoevoere en hoë

soliedes ladings. Die lug/soliedes verhouding was wel afhanklik van die ontwerp van die kontakstone.

Langenegger (1977) het met laboratoriumskaaltoetse gevind dat hoër lug/soliedes verhoudings hoër dryflaagkonsentrasies teweegbring. Soos die lug/soliedes verhouding toegeneem het, het die dryflaagkonsentrasie geleidelik toegeneem, en neig na 'n maksimum waarde wat afhanklik was van die karakter van die slyk. Met loodsskaaltoetse is 'n reglynige verband tussen die lug/soliedes verhouding en dryflaagdiepte bo watervlak/totale dryflaagdiepte verhouding gevind. Die versadigereffektiwiteit het gewissel het tussen 20 en 60% en die beste resultate was verkry met drukverskille groter as 400 kPa.

Gulas (1978) het bevind dat 'n toename in die lug/soliedes verhouding 'n vermindering in die optimum vlok populasiedigtheid veroorsaak. (Optimale vlok digtheid was die digtheid waar die beste borrel-soliede deeltjies binding voorkom.) Dit was toegeskryf aan 'n toename in die waarskynlikheid van kontak tussen die borrels en partikels as gevolg van toename in die aantal lugborrels.

Bratby en Ambrose (1994) het bevind dat die lug/soliedes verhouding die hoeveelheid lug geadsorbeer op die partikels beïnvloed, en daardeur beïnvloed dit ook die stygsnelheid van die borrel-partikel agglomeraat, en die dryflaagdiepte onder die watervlak benodig om die boonste dryflaag te ondersteun. Vir 'n gegewe stel parameters, sal verstellings aan die lug/soliedes verhouding dan nie die dryflaagkonsentrasie beïnvloed nie. Indirek, was daar gevind, sal dit egter 'n invloed hê. 'n Verhoging in die lug/soliedes verhouding verminder die totale dryflaagdiepte. Dus hoër lug/soliedes verhoudings het 'n dieper dryflaag bo watervlak tot gevolg, en kan dus indirek hoër dryflaagkonsentrasies tot gevolg hê.

Haarhoff en Van Vuuren (1993) het aanbeveel dat die lug/soliedes verhouding beskou moet word as 'n kritiese parameter in die verdikkingsproses. Die verhouding was bereken vir elke aanleg deur 'n versadigereffektiwiteit te aanvaar. Daar was 'n versadigereffektiwiteit van 60% aanvaar vir ongepakte versadigers sonder interne hersirkulasie, en 70% vir ongepakte versadigers met interne hersirkulasie. Die lug/soliedes verhouding was oor die algemeen in die omgewing van 0.02 tot en met 0.04 mg.mg⁻¹; en waar die verhouding baie minder was het die aanlegte nie bevredigend gefunksioneer nie.

2.3.3 Kontakstone

Ettelt (1964) het ses verskillende kontakstone getoets op 'n volskaalse aanleg. 'n Vertikale verspreiding van die invoer het die beste resultate gehad, maar die kontakstone word nie baie goed beskryf nie. Minimum turbulensie in die kontakstone het die beste resultate verskaf; met 'n kort periode van beperking na die uitlaat om die maksimum verbinding tussen die lug en soliede deeltjies te kry. Die effektiwiteit van die konfigurasie was gemeet aan die hoeveelheid soliedes wat verdik was, en die terminale snelheid.

Langenegger (1977) het baie klem gelê op die ontwerp van die kontakstone. Daar moes genoeg turbulensie by die inlaat toegelaat word om energie te verskaf om die waterlagie wat om die partikels voorkom te verplaas, sodat die borrel-partikel vashegting kon plaasvind. Nadat die borrel aan die partikel vasgeheg was, moes turbulensie beperk word, want die agglomeraat het 'n groter volume aangeneem, en die versnellings moes noodwendig groter sleurkragte meebring, wat die borrel van die partikel kon laat losbreek.

Haarhoff en Van Vuuren (1993) het ook die ontwerp van die kontakstone as baie belangrik beskou. Twee parameters waarna gekyk was, was die retensietyd en die hidrouliese belasting. 'n Wye variasie van retensietye in die kontakstone was gevind; van 6 sekondes tot amper 20 minute, met 'n mediaan van 59 sekondes. Oor die algemeen was bevind dat die effektiwiteit van die verdikkingsproses die slegste was waar retensietye kort, en hidrouliese ladings hoog was. 'n Retensietyd van 30 tot 120 sekondes, en 'n hidrouliese lading van 100 tot 200 m.h⁻¹ is aanbeveel. 'n Verdere parameter wat as belangrik beskou was, was die deurvloeisnelheid van die kontakstone na die skeidingsone. Te hoë deurvloeisnelhede veroorsaak 'n oormaat turbulensie wat die vlok-lug agglomerate opbreek. Die aanbevole deurvloeisnelheid was 50 tot 200 m.h⁻¹, en 'n kantdiepte wat wissel tussen 2 en 4 meter.

2.3.4 Chemiese dosering

Ettelt (1964) het gevind dat 'n kationiese polimeer die dryflaagverwyderings-kapasiteit op 'n volskaalse flottasieaanleg verdubbel, met 'n verbetering in soliedes herwinning van 92.5 tot 99.6 %. Die dryflaagkonsentrasie het verhoog van 3.0 na 3.9 % na polimeerbyvoeging.

Bratby en Ambrose (1994) het gevind dat gebruik van 'n polimeer slegs 'n effense verbetering in die dryflaagkonsentrasie tot gevolg het.

Haarhoff en Van Vuuren (1993) het bevind dat voorbehandeling van die spuislyk oor die algemeen nie gebruik word met verdikking in Suid-Afrika nie. Net een aanleg in die opname het gebruik gemaak van 'n koagulant, naamlik ferrichloried in die belugtingsreaktor (vir fosfaat verwydering). Drie ander verdikkingsaanlegte het gebruik gemaak van 'n polimeer.

2.3.5 Dryflaagverwydering

Tydens **Ettelt (1964)** se loodsskaaltoetse was gevind dat die skrapermeganisme turbulensie in die dryflaag veroorsaak, en dus opbreking van die dryflaag veroorsaak, selfs op die minimum skraapspoed. Die hoogte van die skraper was verstel om die effek te minimeer. Met behoorlike beheer van die dryflaagverwyderingstempo was 4% dryflaagkonsentrasie verkry met 'n dryflaagdiepte van 600 mm en soliedes lading van 1080 kg.h^{-1} .

Langenegger (1977) het gevind dat die afgeskraapte slykkonsentrasie toeneem soos die diepte van die dryflaag bo die watervlak toeneem tot 'n maksimum waarde; en dié waarde was afhanklik van die fisiese karakter van die slyk. Hy het ook tydens die laboratoriumtoetse gevind dat die tydsinterval wat 'n bepaalde slyk in die dryflaag verkeer, die graad van verdikking van die slyk beïnvloed. Langer konsentrasietye het hoër dryflaagkonsentrasies opgelewer. Met loodsskaal eksperimentasie was gevind dat die dryflaagdiepte bokant die watervlak 'n groter invloed op die dryflaagkonsentrasie het as die lug/soliedes verhouding. Die totale diepte van die dryflaag was afhanklik van die lug/soliedes verhouding. Die dryflaagdiepte bo die watervlak wat die maksimum dryflaagkonsentrasie in 'n bepaalde kontinue proses sal oplewer, hang egter af van die totale diepte van die dryflaag, aangesien water voortdurend uit die dryflaag bokant die watervlak moet dreineer. Hierdie water moet dus effektief deur die hele dryflaag beweeg, andersins verdun dit die dryflaag.

2.3.6 Retensietyd in die dryflaag

Vrablok (1959) het die retensietyd en flottasiehoogte gebruik om verskillende toetse op- en af te skaal, om sodoende die toetse met mekaar te kan vergelyk. Die retensietyd was die tyd

wat die dryflaag neem om 'n sekere hoogte te bereik. 'n Verband was afgelei tussen die dryflaagkonsentrasie, volume van dryflaag, en tyd. Die hoogtes het gewissel van 0.03 tot 1.20 m, met tye vanaf 0 tot 70 minute.

Langenegger (1977) het tydens loodsskaaltoetse gevind dat die retensietyd van die slyk in die dryflaag gekoppel kan word aan die soliedes lading (Q_s); beskryf as die massa soliedes per area per tydseenheid. Baie lang retensietye in die dryflaag was verkry as die dryflaag dik en die soliedes lading laag was. 'n Dryflaagdiepte van 600 mm het byvoorbeeld 'n dryflaag konsentrasie van 2 % gegee met 'n soliedes lading van $1 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Dié konfigurasie het dan 'n teoretiese retensietyd van 12 uur gegee! Geen noemenswaardige verskil in die effektiwiteit van die proses was gevind by verskillende soliedes ladings nie.

Bratby en Ambrose (1994) het 'n nuwe veranderlike gedefinieer, naamlik dreinerings tyd (t_e), gedefinieer as die tyd tussen skrapingsiklusse wanneer die dryflaag bo die watervlak toegelaat word om van die water in die laag ontslae te raak, dus word die diepte van die dryflaag indirek hierdeur beheer. Die dreinerings tyd was soos volg gedefinieer:

$$t_e = \frac{t_c}{t_o} \cdot \frac{L}{v} \quad (1)$$

waar: t_c = skrapper siklustyd = $t_o + t_{off}$
 t_o = tyd wat skrapper aan is gedurende 'n siklus (minute)
 t_{off} = tyd wat skrapper af is gedurende 'n siklus (minute)
 L = effektiewe lengte van reghoekige flottasietenk, of omtrek van sirkelvormige flottasietenk (m)
 v = skrapersnelheid vir reghoekige flottasietenks, of randsnelheid vir sirkelvormige flottasietenks (m/dag)

Operasionele verstellings aan volskaalse verdikkingsaanlegte is gewoonlik beperk tot verstellings aan die skraapspoed, wat die effektiewe dreinerings tyd van die dryflaag beïnvloed. Dit word dan ook gebruik as basis om 'n metode saam te stel waarmee optimale gebruik van die proses verkry kan word, deur die optimale skraperspoed te bepaal. Hoe langer effektiewe tyd toegelaat word, was bevind, hoe langer tyd het die dryflaag om te dreineer, en hoe hoër sal die dryflaagkonsentrasie wees. Daar was egter 'n boonste limiet

vir die dreinerings tyd. Vir 'n gegewe dryflaagdiepte bo watervlak (d_w), was 'n groter dryflaagdiepte onder watervlak (d_b) nodig om die boonste dryflaag te ondersteun. Die limiet was dus bepaal deur die diepte van die flottasietenk, of meer spesifiek die diepte van die uitlate vir die uitvloei.

2.3.7 Opsomming

- Wat die hidroulika van die proses betref, blyk die afwesigheid van oormatige turbulensie in die kontaksones die belangrikste faktor te wees. Daar moet egter genoeg energie beskikbaar wees om die partikels en die lugborrels goed te vermeng.
- Die versadigerdruk was deur Vrablik (1959) as belangrik beskou, maar in die meeste latere studies deur ander navorsers was die versadigerdruk net belangrik om genoegsame lug in die hersirkulasiewater op te los.
- Tydens dryflaagverwydering moet turbulensie as gevolg van die skrapermeganisme tot die minimum beperk word. Die tyd wat die soliedes in die dryflaag deurbring en die diktes van die dryflaag speel belangrike rolle in die optimisering van die proses.
- Die slykarakter was een van die belangrike parameters wat 'n invloed het op die effektiwiteit van die proses. Die karakter van die slyk was hoofsaaklik beskryf deur die slykvolumeindeks, en die hoeveelheid swewende stowwe. Verskeie navorsers het gevind dat 'n hoër slykvolumeindeks waarde 'n minder effektiewe proses tot gevolg het.
- Die belangrikste faktore wat geïdentifiseer was deur Langenegger (1977) wat 'n invloed op die kontinue flottasieproses het, was die dikte van die dryflaag bokant die watervlak, die lug/soliedes verhouding, die retensie tyd van die slyk in die dryflaag, en die eienskappe van die slyk wat geflotteer word.
- Bratby en Marais (1976) het gevind dat die belangrikste parameters wat verdikking beïnvloed die dryflaagdiepte bo die watervlak (d_w), die soliedes lading (Q_s) in die flottasie-eenheid, en in 'n mindere mate die lug/soliedes verhouding was.
- Haarhoff en Van Vuuren (1993) het bevind dat die soliedes lading een van die belangrikste parameters vir die proses was. Die soliedes ladings van die aanlegte wat besoek was, was vergelyk met soortgelyke resultate van die VSA, en daar was gevind dat aanlegte wat nie koagulant gebruik nie, se soliedes lading baie hoër was as die van soortgelyke aanlegte in die VSA. Dit word as 'n moontlike rede gegee vir die variasie van die effektiwiteit van die flottasieproses in Suid-Afrika.

3. AANLEGDATA

3.1 INLEIDING

'n Aantal aanlegte wat opgelostelugflottasie gebruik vir slykverdikking was tydens die projek periodiek besoek. Die beskrywing van elke aanleg verskaf word soos volg uiteengesit:

- 'n Fisiese beskrywing van die aanleg, detail van die flottasietenk, die hersirkulasiestelsel, en metode van dryflaagverwydering.
- Geometriese parameters van die aanleg en veranderlike bedryfsparameters wat tydens elke besoek gemeet was. Die resultate wat verkry was van laboratoriumontledings wat op die monsters gedoen was word aangetoon, asook die berekende parameters. Die werkverrigting van die aanleg word getoon in terme van die voerwater, verdikte slyk, en uitvloeikwaliteit.
- Algemene bedryf- en instandhoudingsprobleme word uitgewys.

Monsteranalises vir die bepaling van swewende stowwe konsentrasies was vir 'n tydperk getoets vir tegniek en herhaalbaarheid voordat met volle datastelle begin was. Om foutiewe lesings by die aanlegte te probeer uitskakel was die vloeimeting, slyklaagdieptes en die bepaling van die lugkonsentrasies drie maal herhaal, en die mediaan van die lesings was dan gebruik vir elke datastel, soos aangetoon in die datastelle in die aanhangsel.

Voordat die detail van die individuele aanlegte bespreek word, word 'n algemene beskrywing gegee van die metodes wat gebruik was om die werksverrigting van die aanlegte te meet, met gepaardgaande berekeninge.

3.2 METING EN BEREKENING VAN BEDRYFSPARAMETERS

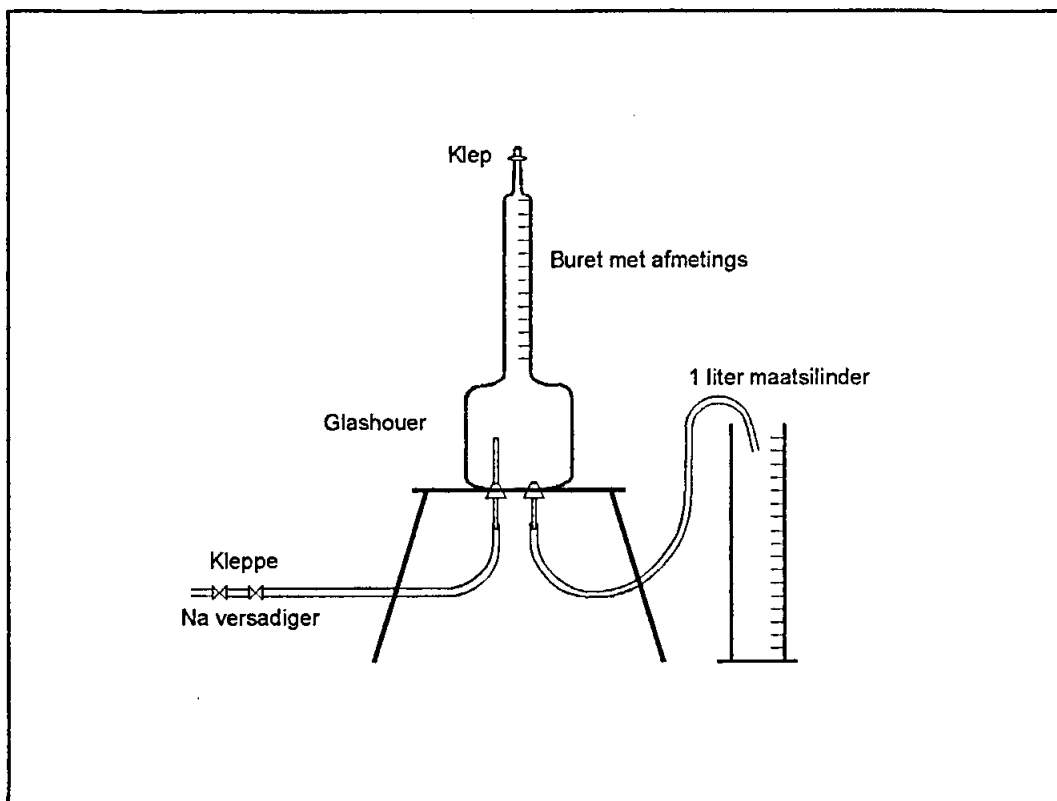
3.2.1 Vloeimetings

Die vloeitempo van die spuislyk (Q) was afgelees van bestaande vloeimeters waar betroubare meters geïnstalleer was, andersins bepaal by bestaande meetgeute; en die

hersirkulasietempo (rQ) was met 'n KDG Mobrey PA12 draagbare Doppler vloeimeter gemeet. Dié vloeimeter was in die laboratorium getoets teen 'n magnetiese vloeimeter, en die vloeilesings het in die slegste geval 10 % verskil van mekaar met water met 'n hoë soliedes inhoud. Dit was, ondanks die foutkomponent, die beste koste-effektiewe manier om die hersirkulasietempo eenvormig by elke aanleg te meet.

3.2.2 Bepaling van die lugkonsentrasie in die hersirkulasievloei

Die glasfles wat gebruik was vir die bepaling van die lugkonsentrasie het 'n inlaat en uitlaat onderaan, en bo-op die fles is 'n buret gemonteer met 'n klep op die bopunt daarvan. Om die hoeveelheid opgeloste lug per liter versadigervoer (a_p) te bepaal was die glasfles- en buretkoppeling gebruik waardeur 'n gedeelte van die versadigerstroom laat vloei was. Die versadigerstroom was verkry van 'n aftrekpunt wat aangebring was op die pyp tussen die versadiger en uitlaat. Die toetseenheid was gevul met water tot 'n sekere volume, en alle lug in die water was sover moontlik uit die eenheid verwyder. Die versadigervoer was dan deur die toetseenheid gesirkuleer met die boonste klep toe, en sodoende het die opgeloste lug uit die water gepresipiteer en versamel bo in die toetseenheid.



Figuur 3.1: Meetapparaat vir die bepaling van die lugkonsentrasie in die hersirkulasievloei

Die uitvloei was in 'n maatsilinder opgevang en die hoeveelheid lug wat gepresipiteer was kan dan van die buretlesings afgelees word. Die atmosferiese druk (E) was ook benodig vir die berekening van die hoeveelheid opgeloste lug. Dié waarde was van 'n barometer op die aanleg gelees, of kan benaderd bereken word deur die hoogte bo seevlak te gebruik.

$$E = \left(\frac{\text{hoogte bo seevlak} - 44332}{-11881} \right)^{5.256} \cdot \left(\frac{1}{10.13} \right) \quad (1)$$

Die temperatuur van die versadigde water was elke keer gemeet by die laaste toets. Die praktiese waarde van die hoeveelheid opgeloste lug was dan vir standaard toestande gegee, met ander woorde by 0°C en by atmosferiese druk. Die teoretiese waarde vir gepresipiteerde lug, wat net op temperatuur van die water en druk van die versadiger gebaseer word, word ook bereken, sodat die versadigereffektiwiteit (C) bepaal kan word. Die versadigereffektiwiteit is die verhouding van die massa lug werklik opgelos en die massa lug teoreties opgelos. Die toets was vier maal herhaal, en die mediane van die waardes wat verkry was, was gebruik vir berekeninge.

3.2.3 Die slykvolume indeks

Die slykvolume indeks (SVI) was bepaal deur die slykversakking en die swewende stowwe konsentrasie in die spuislyk te gebruik. Die SVI is die volume, in milliliters, opgeneem deur 1 g spuislyk na 30 minute versakking. Die indeks word normaalweg gebruik om besinkbaarheid van spuislyk te monitor. Die apparaat wat gebruik was, was 'n glassilinder en 'n dun reguit staaldraad. Die een liter spuislykmonster was elke vyf minute baie stadig geroer deur die staaldraad een omwenteling aan die wand van die glassilinder te roteer om die invloed van die wand van die glassilinder op die spuislyk te verminder.

Die toets was by elke aanleg gedoen sodra die swewende stowwe monster geneem was, en sorg was gedra dat die temperatuur van die monster redelik konstant bly, aangesien die periode na monsterneming en die verandering in temperatuur van die monster 'n invloed op die resultate het.

3.2.4 Dryflaagdieptes

Die dryflaagdieptes was bepaal deur 'n dun glasbuis te koppel aan 'n peristaltiese pomp. Die glasbuis was dan tot onder die dryflaag laat sak, en soos die pomp die water-slyk mengsel uitpomp was die glasbuis stadig opgetrek. Die skeidingsvlak tussen die water en die slyklaag kan dan baie duidelik waargeneem word as die pypie stadig op en af in die slyk beweeg word. Die gemete afstand op die pypie was dan die totale diepte (d_t) van die dryflaag. Daar was gevind dat die slykdiepte redelik baie verskil van plek tot plek op die oppervlak van die flottasietenk. Die slykdiepte was by drie punte van die kant van die tenk geneem aan die teenoorgestelde kant van die skraapbak, om konsekwent te bly tydens die dataversameling.

Die slykdiepte bo die watervlak (d_w) was bepaal deur die hoogteverskil fisies tussen die bokant van die dryflaag en die watervlak by die uitlaat te meet. Die verskil tussen die twee ($d_t - d_w$) is dan die slykdiepte onder die watervlak (d_b).

3.2.5 Slykskraapmeganisme

Die slykskraapspoed en die skraapdiepte was by elke besoek genoteer aangesien dit 'n groot invloed op die konsentrasie van die slyklaag het. Die skraapspoed was die hoeveelheid omwentelinge wat elke skraperarm per uur roteer, en die skraapdiepte was die breedte van die skraperlem wat onder die slykvlak was.

3.2.6 Hidrouliese lading

Die hidrouliese lading (v_L) op die flottasietenk was die vertikale vloeisnelheid deur die totale skeidingsarea. Die skeidingsarea was geneem as die area van die totale flottasietenk wat beskikbaar was vir flottasie. Aangesien die kontakzone gewoonlik onder die watervlak was, en 'n klein area beslaan, was die totale tenkarea gewoonlik gebruik as skeidingsarea.

Die versadigerbelasting (v_v) was die vertikale vloeisnelheid deur die versadiger en die kontakzone belasting (v_r) was die vertikale vloeisnelheid deur die kontakzone. Die deurvloeisnelheid (v_d) was die snelheid deur die deurvloeiarea tussen die kontakzone en die

skeidingsone. Die deurvloeiarea tussen die kontakzone en die skeidingsone was geneem as die totale oop area wat die grens vorm tussen die kontakzone en skeidingsone.

Die belasting van swewende stowwe (Q_s) was die massa soliedes per area wat in 'n sekere tydperk deur die tenk gevloei het. Die hersirkulasiestroom soliedeskonsentrasie was gemiddeld $6,9 \text{ mg.l}^{-1}$ teenoor die 2699 mg.l^{-1} van die spuislyk by Daspoort; dus maar 'n kwart persent van die spuislyk soliedeskonsentrasie. Soortgelyke resultate was ook op die ander aanlegte gekry. Die aanname was dus gemaak dat geen soliedes in die versadigerstroom teenwoordig was wat weer saam met die hersirkulasiestroom in die flottasietenk invloei nie.

3.2.7 Swewende stowwe, dryflaagkonsentrasie en lug/soliedes verhouding

Die monsters wat by elke aanleg versamel was, was gebruik om die swewende stowwe konsentrasies te bepaal van die inkomende spuislyk (SS_{in}) en uitgaande water (SS_{uit}), asook die slykkonsentrasie van die verdikte slyk (C_F) soos voorgeskryf deur Standard Methods (1985). Die lug-soliedes verhouding (a_s) was bereken deur die verhouding te neem van die massa lug gepresipiteer per liter versadigervloei en die massa soliedes per liter spuislyk.

3.3 MODELBEREKENINGE VIR TIPIESE AANLEGBESOEK

Die voorgaande prosedure word hier geïllustreer met die waardes wat verkry is tydens die aanlegbesoek aan Daspoort op 16 November 1993. (Vergelyk die syfers in die volgende gedeelte met die beskrywing van die Daspoort-aanleg in §3.4).

3.3.1 Hidrouliese belastings

Die hidrouliese belasting word uitgedruk as die gemiddelde vertikale spoed waarteen die vloei deur 'n reaktor beweeg. Die vloei spoed moet laag genoeg wees om nie die dryflaag te beïnvloed nie, met ander woorde laer as die hidrouliese grensbelasting (v_L), wat die hoogste vloei tempo is wat gehandhaaf kan word voordat die uitvloeikwaliteit verswak. Hoe laer die vloei spoed egter, hoe groter flottasietenk sal benodig word vir 'n spesifieke vloei tempo, wat natuurlik hoër koste sal meebring. Daar moet dus tydens die ontwerp 'n kompromis tussen die twee gevind word.

Vir die hidrouliese belasting op die skeidingsone (v_f) en op die kontakzone (v_r), word die totale vloei (dit is voerwater (Q) plus hersirkulasievloei (rQ)) gebruik:

$$v = \frac{Q \cdot (1 + r)}{A} \quad (2)$$

Die hidrouliese belasting op die skeidingsone (v_f) was dan:

$$v_f = \frac{71.3(1 + 0.808)}{53} = 2.44 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \quad (3)$$

Die hidrouliese belasting op die kontakzone (v_r) was dan:

$$v_r = \frac{71.3(1 + 0.808)}{2.5} = 50.7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \quad (4)$$

Die deurvloeiensnelheid van die kontakzone na die skeidingsone v_d is die snelheid van vloei deur die area wat die kontakzone skei van die res van die tenk. Dit sal in die geval van Daspoort dieselfde wees as v_r , omdat die kontakzone heeltemal oop bo is.

Vir die hidrouliese belasting (v_v) op die versadiger word die hersirkulasievloeitempo gebruik:

$$v_v = \frac{r \cdot Q}{A} \quad (5)$$

Vir Daspoort was die hidrouliese belasting op die versadiger:

$$v_v = \frac{0.808 \cdot 71.3}{2.5} = 22.6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \quad (6)$$

3.3.2 Belasting van swewende stowwe

Die inkomende spuislyk soliedes konsentrasie was bepaal soos voorgeskryf deur Standard Methods (1985). Dit is gemeet as $SS_{\text{inkomend}} = 2870 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Netso was die uitgaande water soliedes konsentrasie gemeet as $SS_{\text{uitgaande}} = 7.25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Die swewende stowwe belasting op die flottasietenk was uitgedruk as die massa swewende stowwe wat per tydsinterval deur 'n area beweeg:

$$Q_s = \frac{Q \cdot SS_{\text{inkomend}}}{1000 \cdot A_{\text{skeidingsone}}} \quad (7)$$

Dus was die belasting van swewende stowwe op die skeidingsone:

$$Q_s = \frac{71.3 \cdot 2870}{1000 \cdot 53} = 3.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \quad (8)$$

3.3.3 Lugoordrag

Die gepresipiteerde lugkonsentrasie (a_p) wat by die aanlegte bepaal was, word by standaard toestande beskryf sodat die waardes wat gemeet was by verskillende toestande, vergelyk kan word. Die gebruik is om die lugkonsentrasie as droë lug, met ander woorde sonder waterdamp; by 'n temperatuur van 0°C; en by atmosferiese druk, 101,3 kPa; te beskryf. Onder hierdie omstandighede is die digtheid van atmosferiese lug 1,2881 g.l⁻¹. Dus is die hoeveelheid gepresipiteerde lug in mg.l⁻¹:

$$a_p = \left(\frac{A}{B} \right) \cdot \left(\frac{273}{273 + T} \right) \cdot \left(\frac{E}{101.3} \right) \cdot 1.2881 \quad (9)$$

met die eerste faktor die volumetriese lugkonsentrasie wat by die aanleg gemeet was:

$$\frac{A}{B} = \frac{60}{0.800} = 75.0 \text{ mL} \cdot \ell^{-1} \quad (10)$$

Korrigeer dan die volumetriese lugkonsentrasie vir die temperatuur met die tweede faktor, en die lugdruk met die derde faktor. Die watertemperatuur was 25 °C in die geval.

Die atmosferiese druk wat gebruik word, moet vir droë lug bereken word, met ander woorde sonder waterdamp om by standaard toestande beskryf te word. By 25 °C is die potensiële dampdruk 3,17 kPa, wat ongeveer 3% van die totale atmosferiese druk uitmaak. Die aanname word gemaak dat die effek van dampdruk weglaatbaar klein is. Die lesing word verkry vanaf 'n barometer op die aanleg, en was 88,66 kPa op 16 November 1993. Die laaste faktor is die digtheid van atmosferiese lug by 0 °C en 101,3 kPa, en word gebruik om die volumetriese lugkonsentrasie om te skakel na 'n massakonsentrasie. Dus was die hoeveelheid gepresipiteerde lug:

$$a_{p(\text{prakties})} = 73.9 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \quad (11)$$

Die berekening was gedoen vir elkeen van die drie of vier toetse wat op die aanleg gedoen was, en die mediaan hiervan was gebruik vir verdere berekeninge. Die ander waardes wat verkry was in hierdie geval was 79,0 mg.l⁻¹, 80,9 mg.l⁻¹ en 77,1 mg.l⁻¹.

Die oplosbaarheid van lug is afhanklik van temperatuur, lugdruk en die samestelling van die lug in die versadiger. Die lug in die versadiger word minder oplosbaar met toenemende temperatuur en meer oplosbaar met toenemende druk. Die samestelling van versadigerlug by ewewig is benaderd 88% stikstof en 12 % suurstof (Haarhoff & Van Vuuren, 1993). Die teoreties berekende lugkonsentrasie by ewewig kan uitgedruk word in die vorm:

$$a_{p(\text{teoreties})} = S_T \cdot P \quad (12)$$

waar a_p die oormaat lugkonsentrasie in mg.l⁻¹, P die meterdruk in kPa, en S_T die oplosbaarheidskonstante in mg.l⁻¹.kPa⁻¹ by temperatuur T . Die oplosbaarheidskonstante kan bereken word met (Rykaart, 1991):

$$S_T = S_{20} \cdot \left(\frac{293}{273 + T} \right) \cdot 10^{-500 \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T} \right)} \quad (13)$$

met $S_{20} = 0,219$ vir versadigerlug (Rykaart, 1991), en T die watertemperatuur in °C. Die oplosbaarheidskonstante word ook beïnvloed deur die totale opgeloste soliedes in die water, maar speel slegs 'n rol met totale opgeloste soliedes vlakke wat baie hoër is as wat aangetref word in water en rioolsuiwering, en word dus nie in berekening geneem nie.

By 25 °C was S_T dan gelyk aan $S_{17} = 0,202$ en met 'n versadigerdruk van 500 kPa, was die teoretiese lugkonsentrasie:

$$a_{p(\text{teoreties})} = 101 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \quad (14)$$

Die versadigereffektiwiteit was die verhouding van die prakties gemete gepresipiteerde lug konsentrasie en die teoreties bepaalde gepresipiteerde lugkonsentrasie:

$$C = \frac{a_{p(\text{prakties})}}{a_{p(\text{teoreties})}} \cdot 100 \quad (15)$$

Die versadigereffektiwiteit was dus:

$$C = \frac{73.9}{101} \cdot 100 = 77\% \quad (16)$$

3.3.4 Lug/soliedes verhouding en slykeienskappe

Die lug/soliedes verhouding was die verhouding van die massa lug tot die massa soliedes wat deur die flottasiereaktor gevloei het. Die gemete massakonsentrasie wat in die vorige paragraaf bepaal was, was hiervoor gebruik:

$$a_s = \frac{a_{p(\text{prakties})} \cdot r \cdot Q}{SS_{\text{inkomend}} \cdot Q} = \frac{78.1 \times 57.6}{2870 \times 71.3} = 0.0220 \quad (17)$$

Die verdikte slykkonsentrasie word as 'n belangrike parameter beskou en word as maatstaf gebruik om die werkverrigting van die aanleg te bepaal. Die konsentrasie word gewoonlik as 'n persentasie uitgedruk. Met 'n slyksoliedes- en houer massa, na droging, van 45530,1 mg; 'n begin houermassa van 44472,9 mg, en 'n volume van 41 ml was die verdikte slykkonsentrasie:

$$C_F = \frac{45530.1 - 44472.9}{0.041 \times 10000} = 2.60\% \quad (\% = 10^4 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}) \quad (18)$$

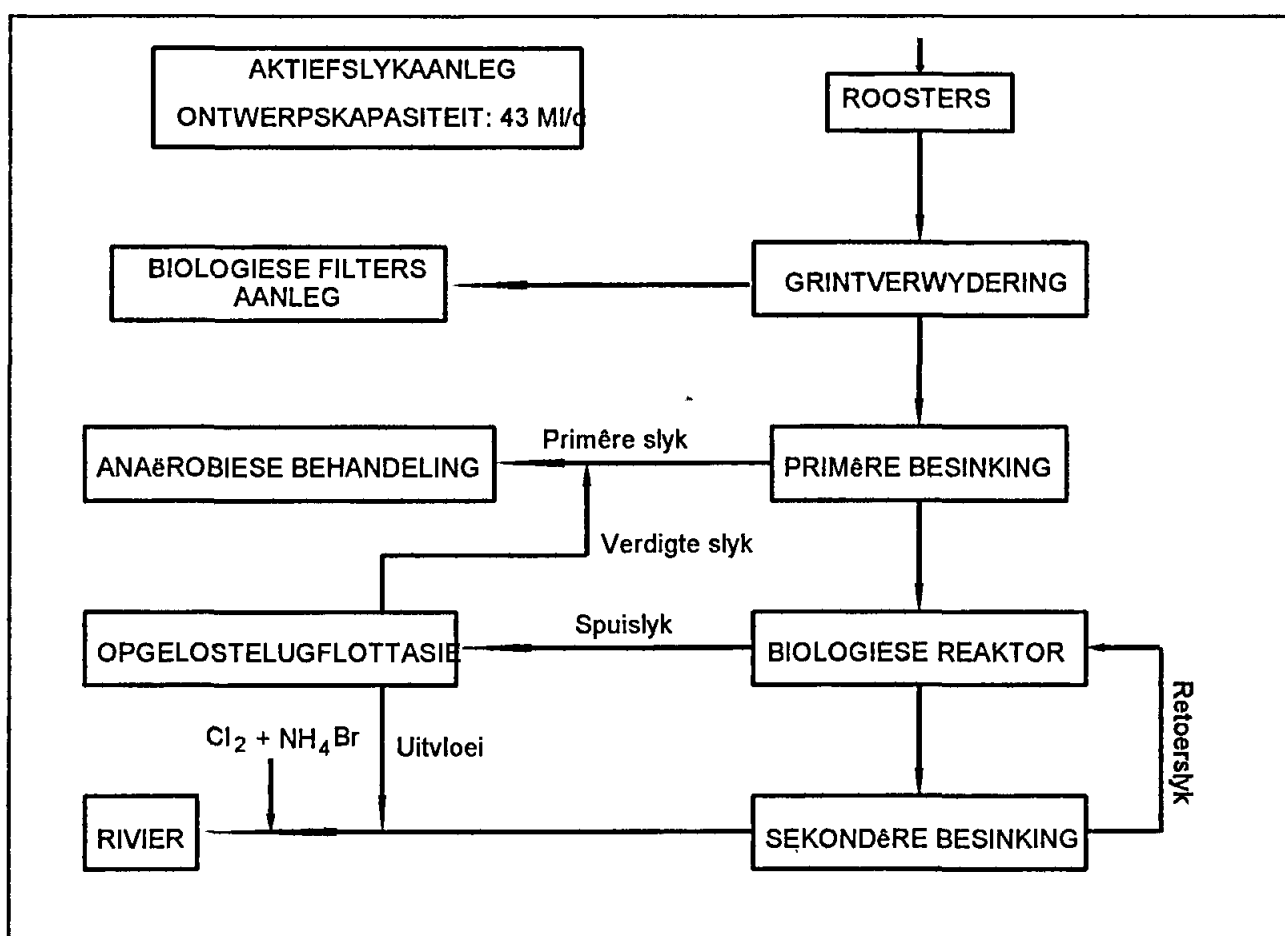
Die slykvolume indeks word bepaal soos voorgeskryf in Standard Methods (1985):

$$SVI = \frac{\text{besinkte slykvolume} \times 1000}{SS_{\text{inkomend}}} = \frac{280 \times 1000}{2870} = 98 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1} \quad (19)$$

Dié indeks gee 'n duidelike aanduiding van die aard van die soliedes wat geflotteer moet word, oftewel die verdigbaarheid van die slyk.

3.4 DASPOORT

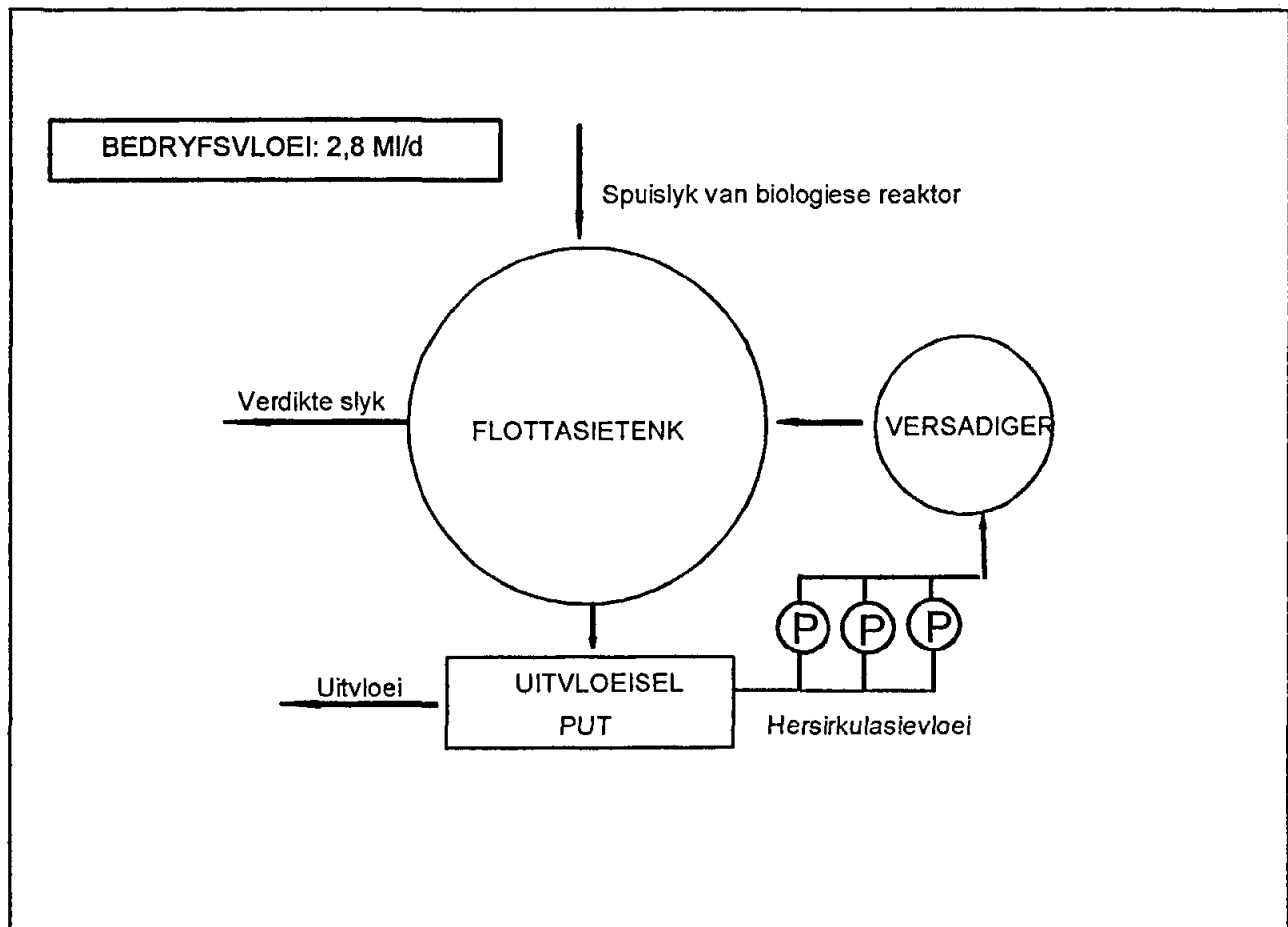
Die aanleg bedien hoofsaaklik Pretoria middestad, wat oorwegend huishoudelike rioolwater aan die aanleg voorsien. Die aanleg bestaan uit twee gedeeltes; 'n ou biologiese sytelbed behandelingsaanleg, en 'n nuwer geaktiveerde slyk aanleg. Die gemiddelde droëweervloei wat tans deur Daspoort hanteer word is ongeveer 43 $\text{MI} \cdot \text{d}^{-1}$. Alles meer as die vloei word na Rooiwal vir behandeling afgevoer. Die finale afvloei word na ontsmetting (chloor en ammoniumbromied) na die Apiesrivier gevoer.



Figuur 3.2: Daspoort, uitleg van die rioolsuiweringsaanleg, met klem op die aktiefslykaanleg

3.4.1 Doel van die flottasieaanleg

Die flottasieaanleg word vir die verdikking van spuislyk uit 'n 3-stadium Bardenpho eenheid gebruik. Dit word tans teen 'n mediaan van ongeveer 2,8 $\text{MI} \cdot \text{d}^{-1}$ (spuislyktoevoer + hersirkulasietoevoer) bedryf.



Figuur 3.3: Daspoort, uitleg van flottasieaanleg

3.4.2 Flottasietenk

'n Bestaande 264 m³ flokkulasiesone van 'n besinktenk was verander om gebruik te word as 'n flottasietenk. Die afvoerput langs die tenk het 'n verstelbare oorloopyp, (telescopic bellmouth) waarmee die watervlak beheer word. Die reaksiesone vir vermenging van die hersirkulasievloei en die spuislyktoevoer bestaan uit 'n 1,8 m diameter pyp, met 'n redelike dun wand wat heeltemal oop is en wat op die vloer in die middel van die flottasietenk vasgebout is.

Die sone strek van die bodem van die flottasietenk tot 2,5 m onder die watervlak. Geen bodemskraping vind plaas nie. Afhangende van die kwaliteit van die ondervloei word dit hersirkuleer deur die biologiese reaktor vir verdere behandeling, of vloei dit oor 'n oorloop na die ontsmettingseenheid, en dan na die rivier.

3.4.3 Hersirkulasiestelsel

'n Ongepakte 6 m³ versadiger voorsien die versadigervoer. Die watervlak word gehou op 0,8 m van die onderpunt van die versadiger; met 'n lugkolom van 1,6 m; deur die lugtoevoer

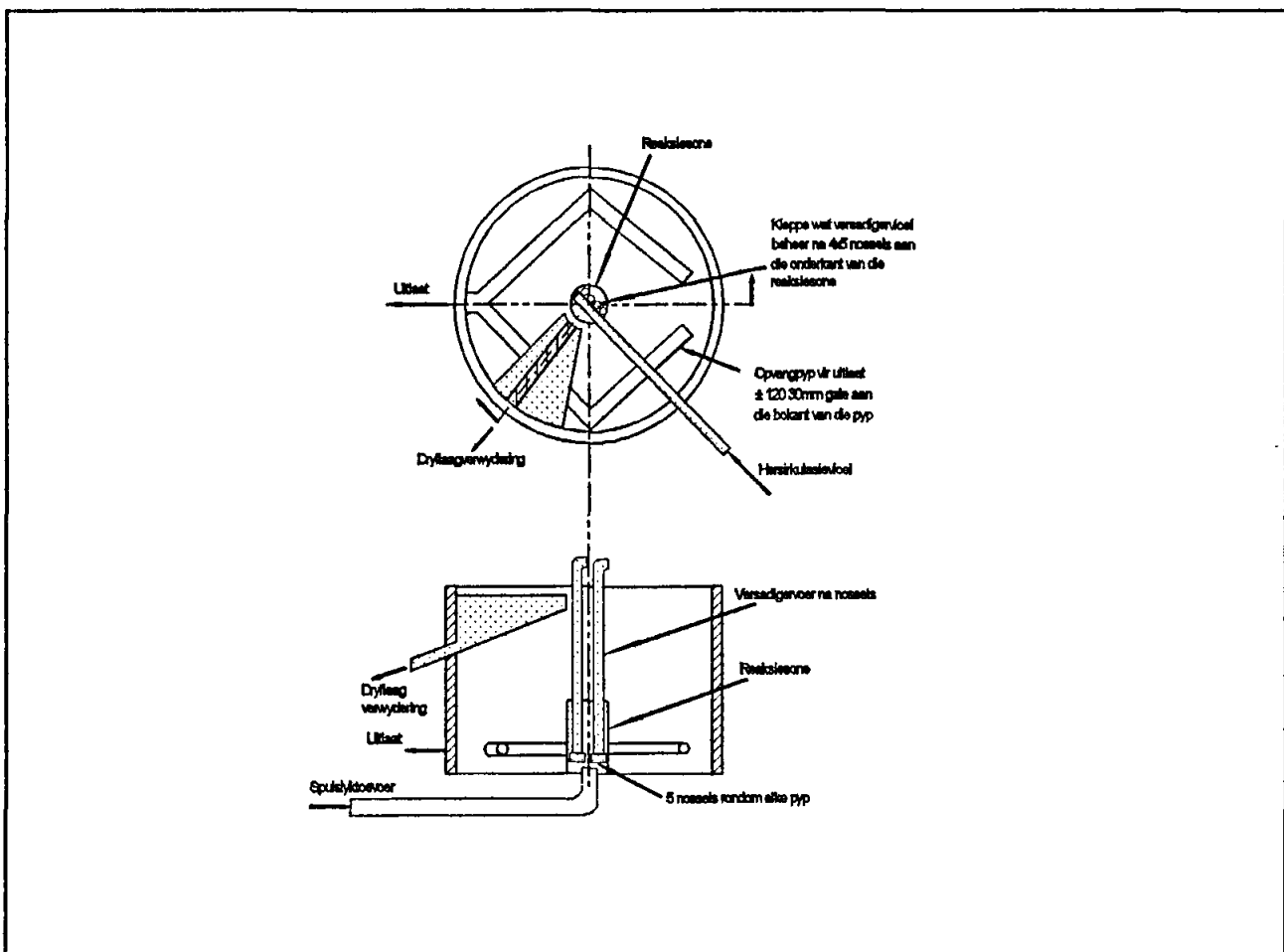
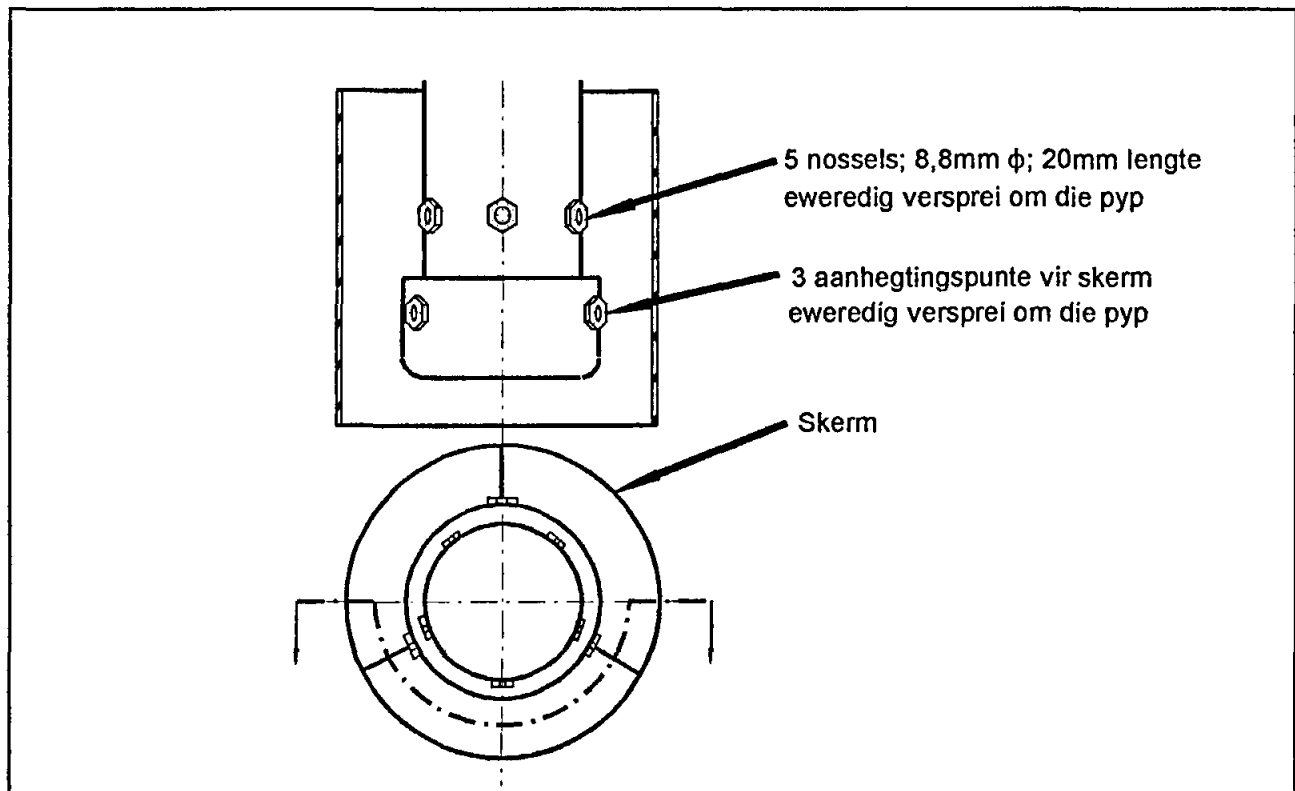


Figure 3.4 Daspoort, uitleg van flottasietenk

met 'n solenoïedklep te beheer. Die solenoïedklep word beheer deur 'n vlotterskakelaar in die versadiger wat toemaak vir 'n lae watervlak, en oopmaak vir 'n hoë watervlak. Die inkomende hersirkulasiestroom word opwaarts teen plate gespuit, om die water se blootstelling aan die lug te vermeerder. Die reaksiesone in die flottasietenk is heeltemal oop bo, en het dus 'n groot deurstromingsarea van 2,5 m². 'n Gedeelte van die uitvloeiwatervlak word deur die versadiger gesirkuleer, en die ander gedeelte word na ontsmetting na 'n nabygeleë rivier gevoer.

3.4.4 Nossels

Die lug word uit die oorversadigde hersirkulasiestroom gepresipiteer net na 'n stel inskroef geelkoper nossels. Die nossels is geleë by die onderpunt van vier pype wat tot aan die bodem van die reaksiesone gaan.



Figuur 3.5: Daspoort, uitleg van inspuithossels

Die pype is voorsien van kleppe, wat aan die buitekant van die flottasietenk verstel kan word. Die nosseldiameter van 8,8 mm is net groot genoeg gemaak om verstoppings te voorkom. Om die kinetiese energie van die water deur die nossels te verminder, is daar 'n skerm om die pyp aangebring. Daar is 20 nossels, 5 op elkeen van die vier pype voorsien. Net drie van die pype, met ander woorde 15 nossels word tans gebruik vir optimale resultate.

3.4.5 Dryflaagverwydering

Vier skraperarms word gebruik om die verdikte slyk te verwyder. Die arms is 90° uitmekaar geplaas, en roteer teen 'n redelik konstante spoed van 5,8 omwentelinge per uur. Die slyk word na 'n 150 mm wyd, 3 m lank opvangbak geskraap waarvandaan die slyk na 'n reservoir

vloei. Van hier word die verdikte slyk met rou slyk van die primere besinktenk vermeng, anaerobies behandel, en dan na droogbeddings gepomp, en word na droging deur die munisipaliteit vir bemesting gebruik. Daar is nie voorsiening vir bodemskraping onder in die flottasietenk gemaak nie.

3.4.6 Algemeen

'n Opsomming van die geometriese parameters word in Tabel 3.1 gegee, terwyl Tabel 3.2 die vernaamste bedryfsparameters opsom.

Probleme was tydens die ondersoek ondervind met die pompe wat die verdikte slyk moet verplaas. Die slyk moes verdun word om deur die pompe hanteer te kon word. Instandhouding van die ratkas wat die skrapers draai moes een maal gedoen word. Geen verdere probleme was ondervind nie, en die aanleg het volgens die operateurs baie bevredigend gefunksioneer.

Tabel 3.1: Geometriese parameters van Daspoort flottasieaanleg

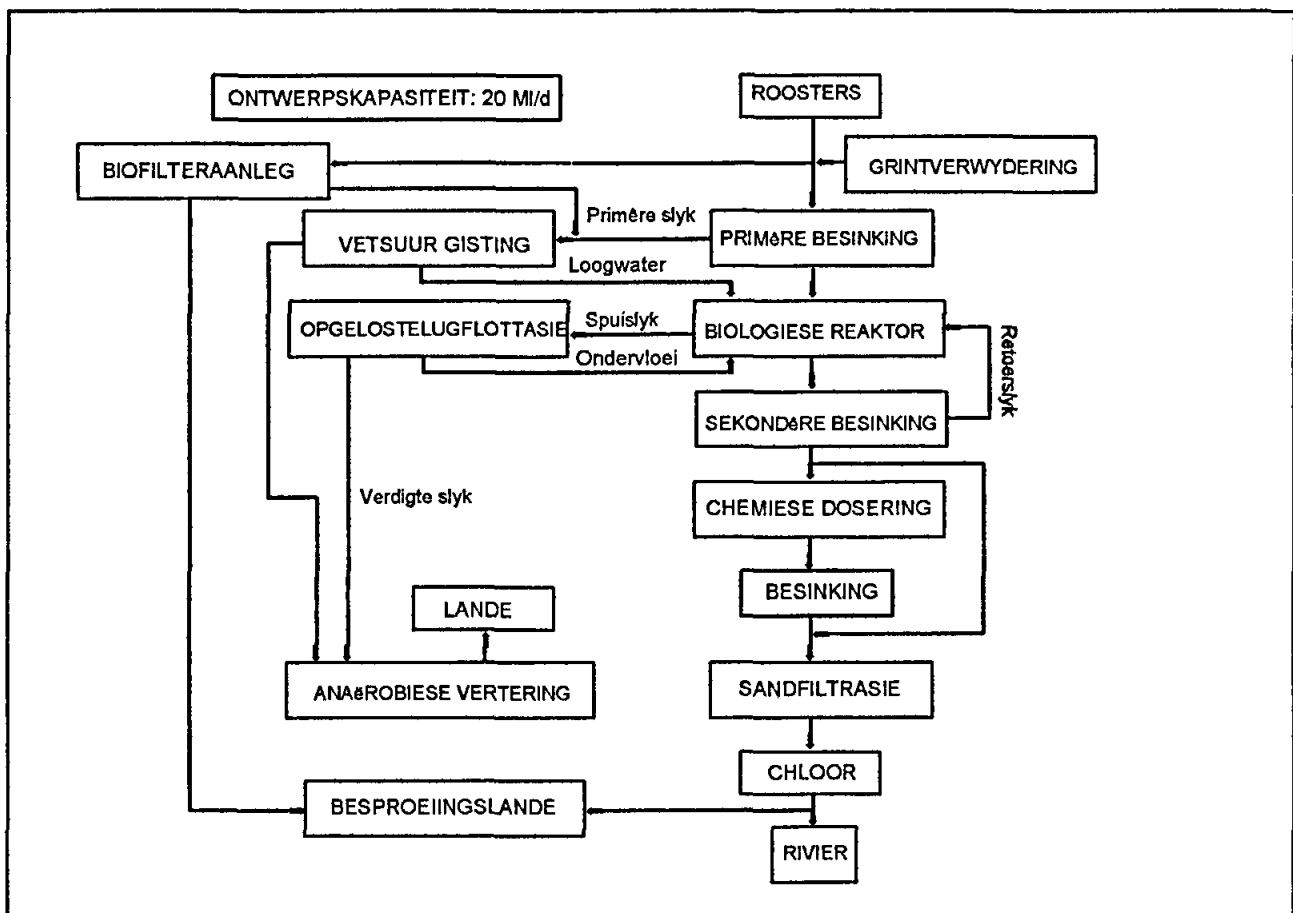
FLOTTASIETENK GEOMETRIE	EENHEID	WAARDE
Aantal flottasietenks		1
Watervlakbeheer tipe		Verstelbare oorlooppyp
Flottasietenkvorm		Rond
Binnediameter	m	0
Buitediameter	m	8,2
Diepte	m	4,1
Reaksiesonevorm		Rond
Diameter	m	1,8
Diepte	m	1,9
Deurvloeiarea	m ²	2,5
VERSADIGER		
Aantal versadigers		1
Vertikaal/Horisontaal		Vertikaal
Pakstukke/Geen pakstukke : Tipe		Geen
Watervlakbeheertipe		Magnetiese vlakskakelaar
Versadigerdiameter	m	1,8
Waterdiepte	m	0,8 van onder
Lengte of hoogte	m	2,6
Nosseltipe		Sien figuur 3.5
Aantal nossels		20
Nossel plasing		Sien figuur 3.4
SLYKVERWYDERING		
Rooster/Skraper/Geen		Skrapers
Aantal skrapers		4
Skraper plasing		90°

Tabel 3.2: Gemete en berekende bedryfsparameters van Daspoort flottasieaanleg

PARAMETERS	BEDRYF		
	Min	Maks	Med
Spuislyktoevoer, Q (kl.d ⁻¹)	670	1877	1783
Hersirkulasietoevoer, rQ (kl.d ⁻¹)	978	1199	1382
Hidrouliese lading, flottasiesone, v_f (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	1,49	2,50	2,38
Hidrouliese lading, reaksiesone, v_r (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	31,0	53,3	49,4
Hidrouliese lading, versadiger, v_v (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	16,0	22,6	20,0
Swewende stowwe konsentrasie in, SS_{in} (mg.l ⁻¹)	2020	3210	2650
Swewende stowwe konsentrasie uit, SS_{uit} (mg.l ⁻¹)	4,8	8,2	6,0
Swewende stowwe lading, Q_s (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	1,07	4,06	3,72
Lug/soliedes verhouding, a_s (mg.mg ⁻¹)	0,0138	0,0679	0,0218
Slykvolume indeks, SVI (ml.g ⁻¹)	59	172	97
Versadigerdruk, P (kPa)	460	500	480
Hoeveelheid opgeloste lug, $a_{p(prak)}$ (mg.l ⁻¹)	72,6	82,4	76,6
Versadigereffektiwiteit, C (%)	71	83	76
Diepte van dryflaag onder watervlak, d_B (cm)	20,0	39,5	35,0
Diepte van dryflaag bo watervlak, d_W (cm)	16,5	19,0	17,0
Totale diepte van die dryflaag, d_T (cm)	36,5	58,5	52,0
Dryflaagkonsentrasie, C_F (%)	2,58	3,69	3,45

3.5 LEEUWKUIL

Leeuwkuil rioolsuiweringsaanleg is geleë tussen Vereeniging en Sharpville. Die aanleg word bedryf in twee parallelle bene; die biofilteraanleg is ontwerp vir 16 Ml.d^{-1} rioolwater, en die Bardenpho aanleg, waarvan die flottasieaanleg deel is, 20 Ml.d^{-1} . Die gemiddelde droëweervloei is huidiglik $8,5 \text{ Ml.d}^{-1}$ vir die biofilteraanleg en $11,5 \text{ Ml.d}^{-1}$ vir die Bardenpho aanleg. Die rioolwater wat behandel word, is hoofsaaklik huishoudelik van aard. Omtrent 8 % van die totale invloei is industriële rioolwater. Die biofilter afvloeï word gebruik vir besproeiing en die finale afvloeï van die Bardenpho aanleg word gevoer na die Vaalrivier Barrage.

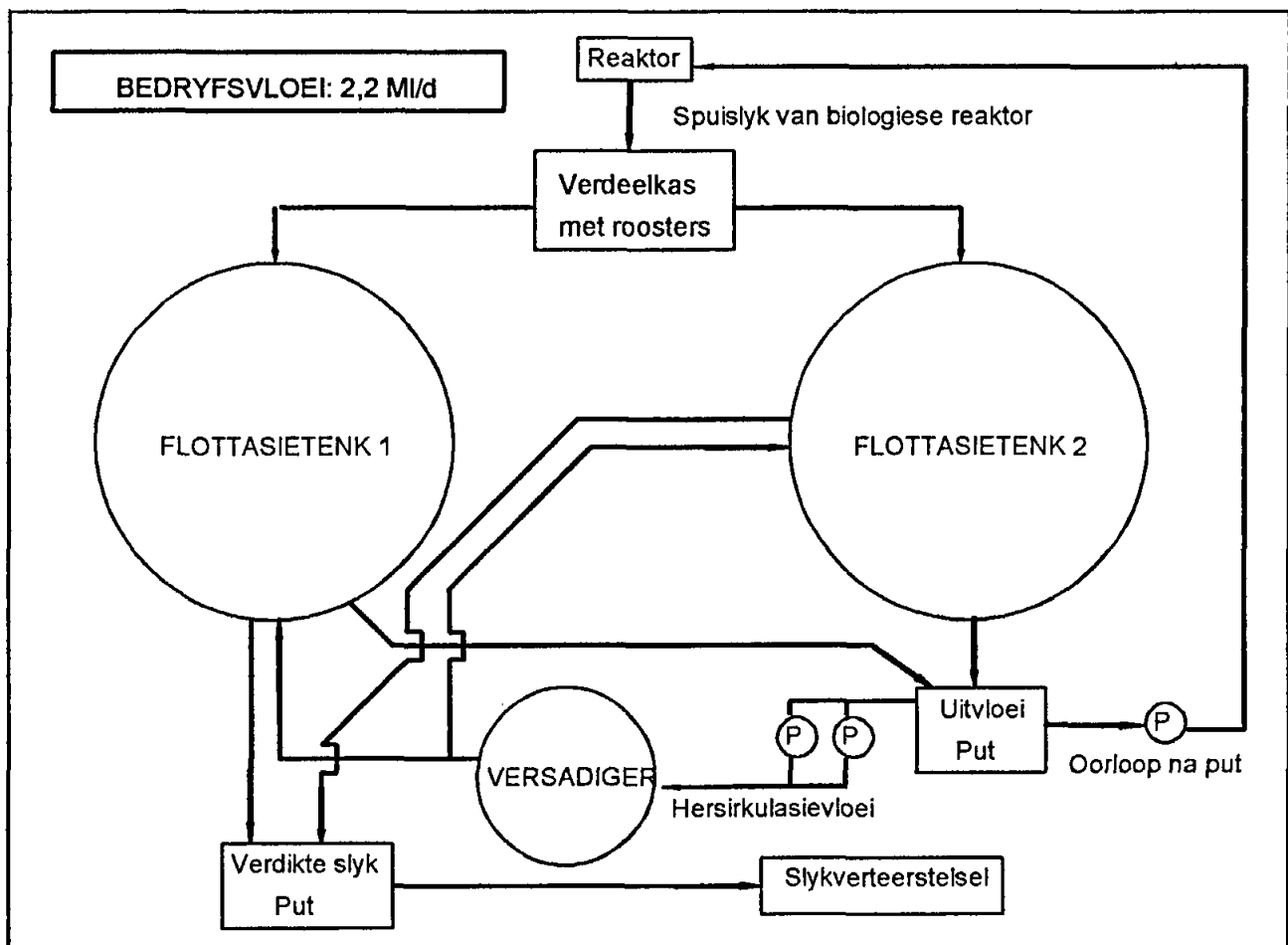


Figuur 3.6: Leeuwkuil, uitleg van die rioolsuiweringsaanleg, met klem op die aktiefslykaanleg

3.5.1 Doel van die flottasieaanleg

Die flottasieaanleg word gebruik vir die verdikking van spuislyk uit 'n 5-stadium biologiese reaktor. Daar word van die Bardenpho proses gebruik gemaak. Die aanleg word tans bedryf

teen 'n mediaan van ongeveer $4 \text{ MI} \cdot \text{d}^{-1}$ (spuislyktoevoer+ hersirkulasietoevoer), met 'n totale aanlegkapasiteit van $20 \text{ MI} \cdot \text{d}^{-1}$. Die flottasieaanleg is ontwerp vir 'n kapasiteit van ongeveer $2 \text{ MI} \cdot \text{d}^{-1}$ per tenk; met die ander tenk as bystand.



Figuur 3.7: Leeuwkuil, uitleg van flottasieaanleg

3.5.2 Flottasietenks

Daar word van twee identiese ronde flottasietenks in parallel gebruik gemaak in die proses. Die spuislyk invoer word deur roosters met 5 mm gleuwe gevoer om enige ongewenste materiaal uit die invoer te haal wat die inlate kan verstop.

Die tenkvloere van die afsonderlike tenks loop met 'n 12:1 afwaartse helling van buite na die middel. Bodemskraping by elke tenk word gedoen met twee skrapersarms, met 'n totale lengte van ongeveer 5 meter, waaraan drie 1 meter lank skraperslemme geheg is. Die lemme is so geplaas dat die besinkte slyk in 'n kegelvormige versamelbak in die middel van die tenkvloer geskraap word, waarvandaan dit onder gravitasie gevoer word na die verdigte slyk

put, en dan na die anaërobiese verteerders gepomp word. Die skraperarms beweeg kontinu en teen dieselfde spoed as die skrapers wat die dryflaag verwyder. Die afvoerwater word versamel aan die kante van tenk, tussen die tenkmuur en 'n wand wat die skeidslaag vorm tussen die afvoerwater en die verdikte slyk. Hierna loop dit oor vaste oorlope wat rondom die tenk aangebring is; en dan vanaf 'n kanaal rondom die tenk na die uitlaat, waarna dit versamel word in 'n put. Van hier af word 'n gedeelte gebruik vir hersirkulasievloei, en die oorskot word terug gepomp na die biologiese reaktor.

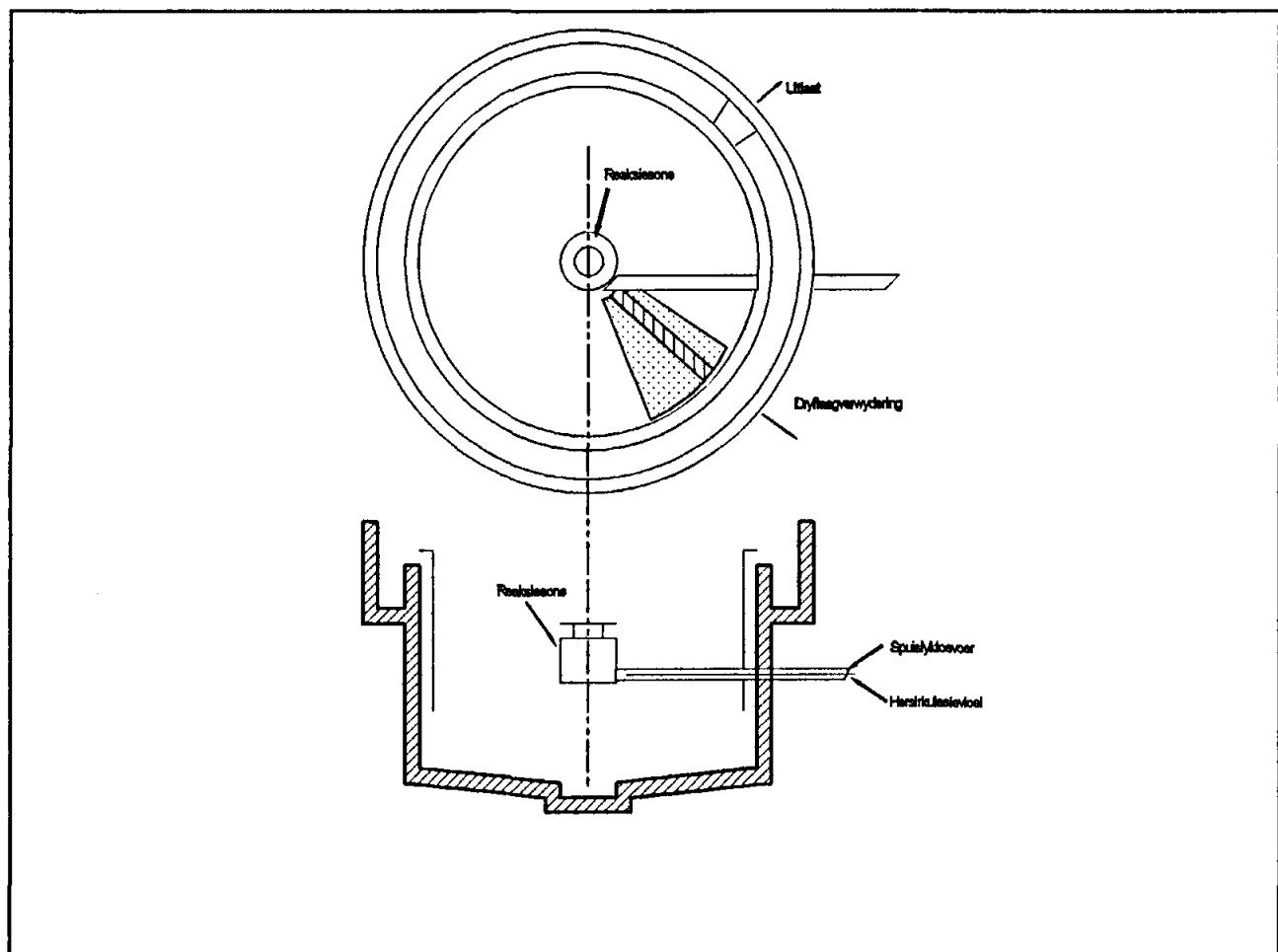


Figure 3.8 Leeuwkuil, uitleg van flottasietenk

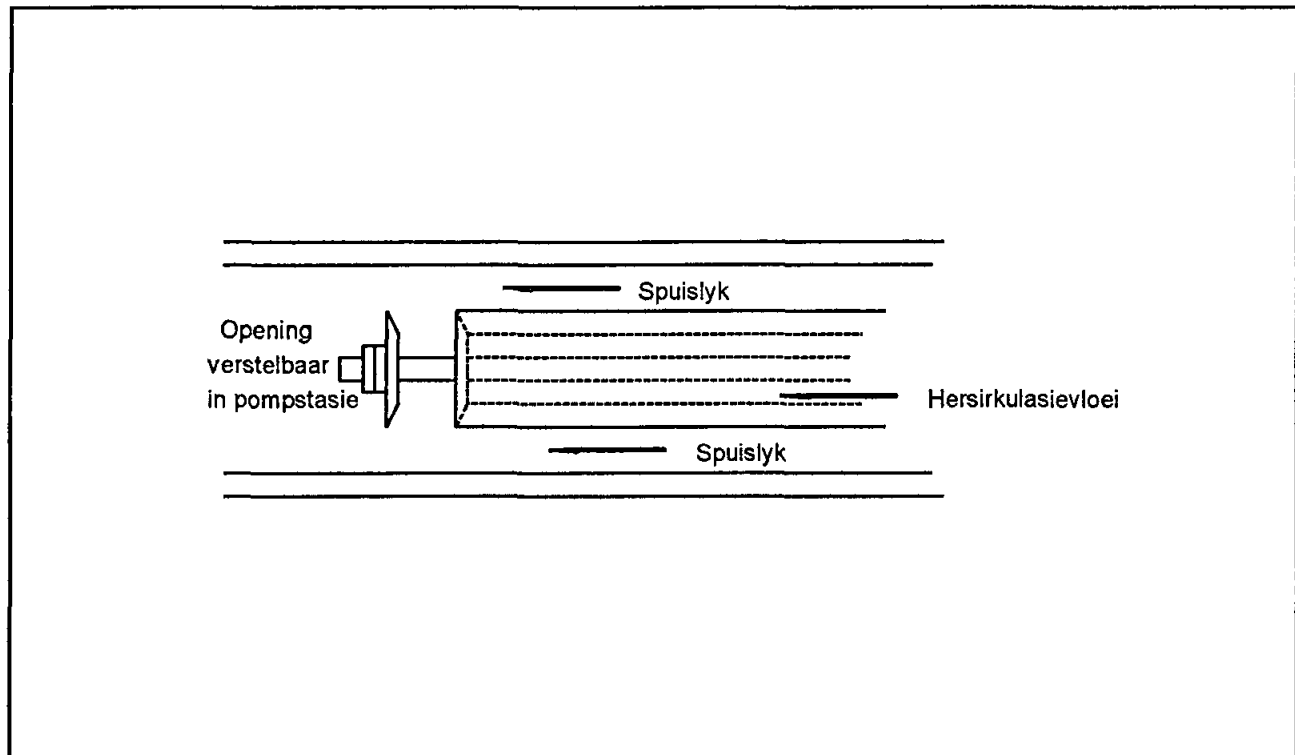
3.5.3 Hersirkulasiestelsel

Een ongepakte 0,856 m³ vertikale versadiger bedien beide flottasietenks. Die waterinvoer van die versadiger word in die versadiger versprei deur middel van 'n plaat waarteen die invloei bots. Die watervlak word beheer deur die lugtoevoer te beheer via 'n vlakskakelaar in die versadiger. Die reaksiesone is 'n 77 liter silindervormige sone, omtrent in die middel

van die flottasietenk. Die boonste deel van die reaksiesone is heeltemal oop, met 'n 0,765 m diameter skerm 50 mm van die bokant van die sone. Aan die onderkant van die reaksiesone en die middel van die boonste skerm is 230 mm diameter openinge waardeur die bodemskrapers en boonste skrapermeganisme verbind is met 'n vertikale as. 'n Gedeelte van die uitvloeiwatervord hersirkuleer en die ander deel word weer na die biologiese reaktor gepomp.

3.5.4 Nossels

Die nossel bestaan uit 'n 115 mm diameter pyp, met 'n verstelbare klep op die punt daarvan. Die klep kan van buite die flottasietenk verstel word, en word gewoonlik bedryf met 'n 2 mm opening by die mond van die pyp. Die spuislyktoevoer word parallel aan die hersirkulasievloei gevoer, in die vorm van die hersirkulasiepyp binne die spuislykpyp. Die twee invoere word aan die kant van die reaksiesone ingevoer, sodat 'n draaikolk effek binne die reaksiesone verkry word.



Figuur 3.9: Leeuwkuil, snit deur die inspuitsnossel

3.5.5 Dryflaagverwydering

Die dryflaag word verwyder met twee skrapperarms, wat teen 'n gemiddelde spoed van 6,4 omwentelinge per uur roteer. Die verdikte slyk word in 'n skuins versamelbak geskraap, waarna dit onder gravitasie na 'n versamelpot gevoer word. Van hier word dit gepomp na die anaërobiese verteerders.

3.5.6 Algemeen

'n Opsomming van die geometriese parameters word in Tabel 4.1 gegee, terwyl Tabel 4.2 die vernaamste bedryfsparameters opsom.

Die meting van die hersirkulasievloei was gedoen met behulp van 'n draagbare Doppler vloeimeter, soos by al die ander aanlegte. By Leeuwkuil kon egter nie aan die vereiste reguit pylengtes opstroom en afstroom van die vloeimeter soos voorgeskryf voldoen nie, en die hersirkulasietoevoersyfers soos aangedui in tabel 3.4 kan moontlik 'n groter meetfout hê as by die ander aanlegte.

Die werkverrigting van die aanleg was oor die algemeen bevredigend en konstant. Die verstelbare nossel moet periodies (elke twee weke) skoongemaak word om verstoppings te voorkom.

Tabel 3.3 *Geometriese parameters van Leeuwkuil flottasieaanleg*

FLOTTASIETENK GEOMETRIE	EENHEID	WAARDE
Aantal flottasietenks		2
Watervlakbeheer tipe		Vaste oorlope
Flottasietenkvorm		Rond
Binnediameter	m	0
Buitediameter	m	6
Diepte	m	2,2 *
Reaksiesonevorm		Silindervormig
Diameter	m	0,46
Diepte	m	0,46
Deurvloeiarea	m ²	0,21
VERSADIGER		
Aantal versadigers		1
Vertikaal/Horisontaal		Vertikaal
Pakstukke/Geen pakstukke : Tipe		Geen
Watervlakbeheertipe		Magnetiese vlakskakelaar
Versadigerdiameter	m	0,762
Waterdiepte	m	-
Lengte of hoogte	m	1,889
Nosseltipe		Sien figuur
Aantal nossels		1
Nossel plasing		Sien figuur
SLYKVERWYDERING		
Rooster/Skraper/Geen		Skrapers
Aantal skrapers		2
Skraper plasing		180°

* Diepte aan die kant van die flottasietenk

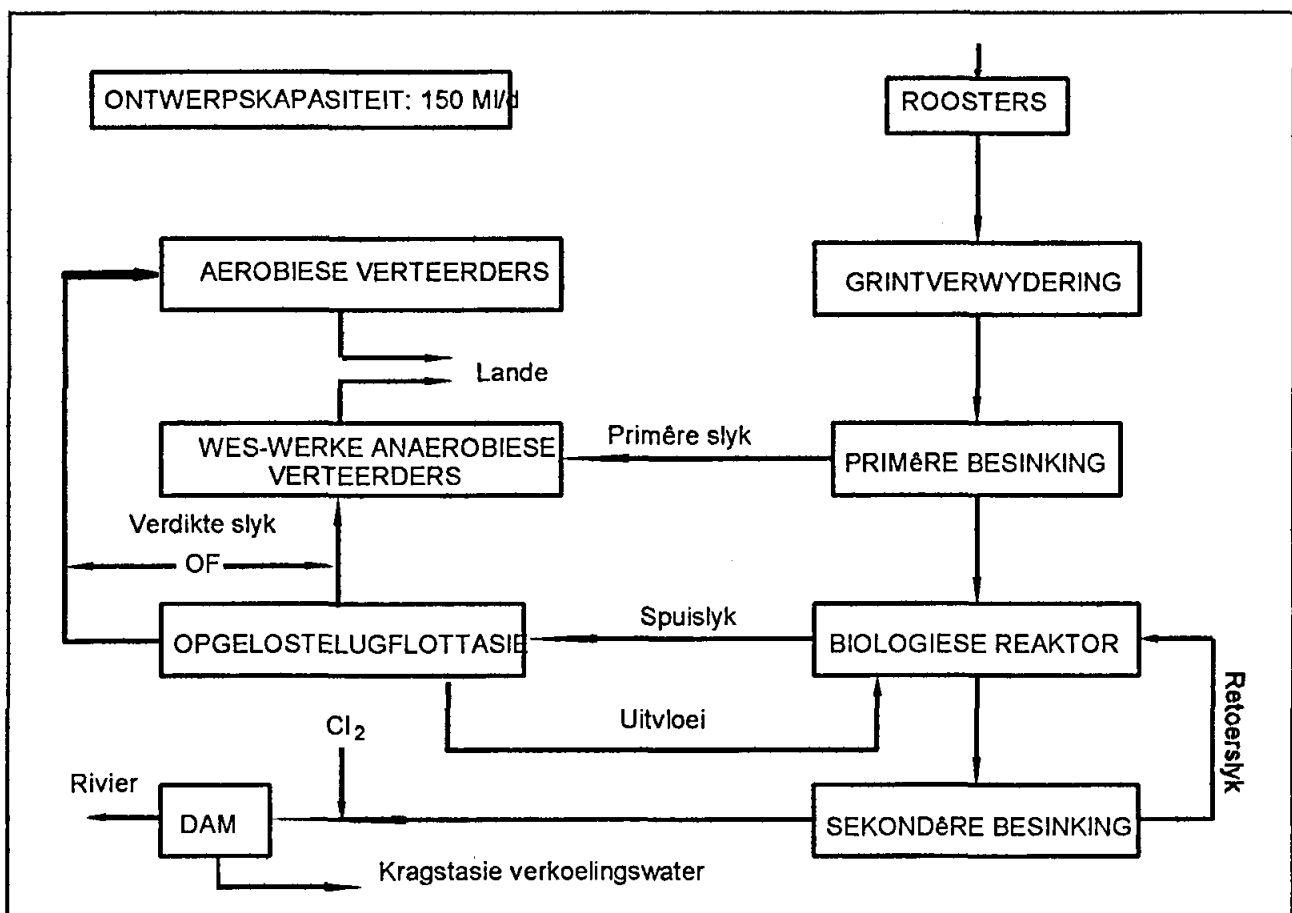
Tabel 3.4: Bedryfsparameters van Leeuwkuil flottasieaanleg

PARAMETERS	BEDRYF		
	Min	Maks	Med
Spuislyktoevoer, Q (kl.d ⁻¹)	391,2	859,2	427,2
Hersirkulasietoevoer, rQ (kl.d ⁻¹)	384,0	986,4	741,6
Hidrouliese lading, flottasiesone, v_f (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	1,16	2,72	1,72
Hidrouliese lading, reaksiesone, v_r (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	234	550	348
Hidrouliese lading, versadiger, v_v (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	27,8	71,3	53,7
Swewende stowwe konsentrasie in, SS_{in} (mg.l ⁻¹)	1700	2620	2293
Swewende stowwe konsentrasie uit, SS_{uit} (mg.l ⁻¹)	17,0	62,0	28,4
Swewende stowwe lading, Q_s (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	1,08	3,32	1,42
Lug/soliedes verhouding, a_s (mg.mg ⁻¹)	0,0201	0,0669	0,0332
Slykvolume indeks, SVI (ml.g ⁻¹)	94	130	100
Versadigerdruk, P (kPa)	475	518	508
Hoeveelheid opgeloste lug, $a_{p(prak)}$ (mg.l ⁻¹)	46,0	66,1	54,0
Versadigereffektiwiteit, C (%)	41	63	52
Diepte van dryflaag onder watervlak, d_B (cm)	9,0	28,5	25,8
Diepte van dryflaag bo watervlak, d_W (cm)	2,0	6,0	3,0
Totale diepte van die dryflaag, d_T (cm)	12,0	31,5	29,8
Dryflaagkonsentrasie, C_F (%)	2,3	5,0	3,1

Waardes in die voorafgaande tabel gee hoeveelhede vir een van die twee flottasietenks.

3.6 ROOIWAL

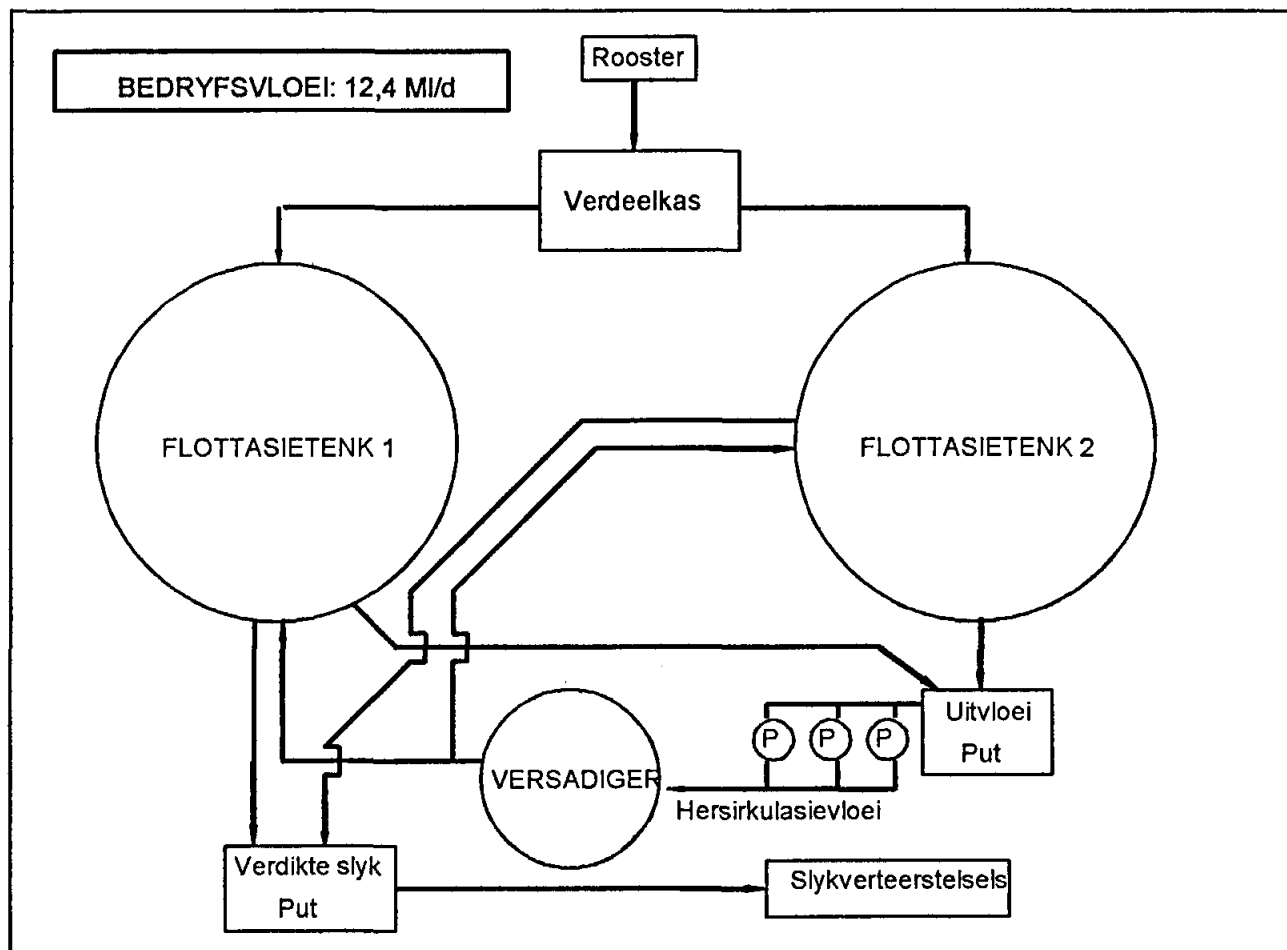
Die aanleg behandel alle rioolwater wat natuurlik na die aanleg dreineer vanaf Pretoria, Akasia, Rosslyn industriële area, en ander industrieë in die omgewing. Industriële rioolwater maak omtrent 50% van die totale invloei in die aanleg uit, wat insluit bierbrouerye en 'n abattoir. Die ander 50% is huishoudelike rioolwater. Hierdie aanleg is ook verbind aan Daspoort riolsuiweringsaanleg, en die oormaat van ongeveer 43 $\text{ML}\cdot\text{d}^{-1}$ vir Daspoort kan ook hier behandel word.



Figuur 3.10: Rooiwal, uitleg van die riolsuiweringsaanleg, met klem op die aktiefslykaanleg

3.6.1 Doel van die flottasieaanleg

Die flottasieaanleg verdik spuislyk van 'n drie stadium Bardenpho biologiese reaktor. Die ontwerpkapasiteit van die flottasieaanleg is $5,2 \text{ ML}\cdot\text{d}^{-1}$, met 'n maksimum soliedes belading van $4885 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ en word tans bedryf teen 'n mediaan van $6,2 \text{ ML}\cdot\text{d}^{-1}$ (spuislyktoevoer + hersirkulasietoevoer), met 'n soliedes lading mediaan van $5007 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

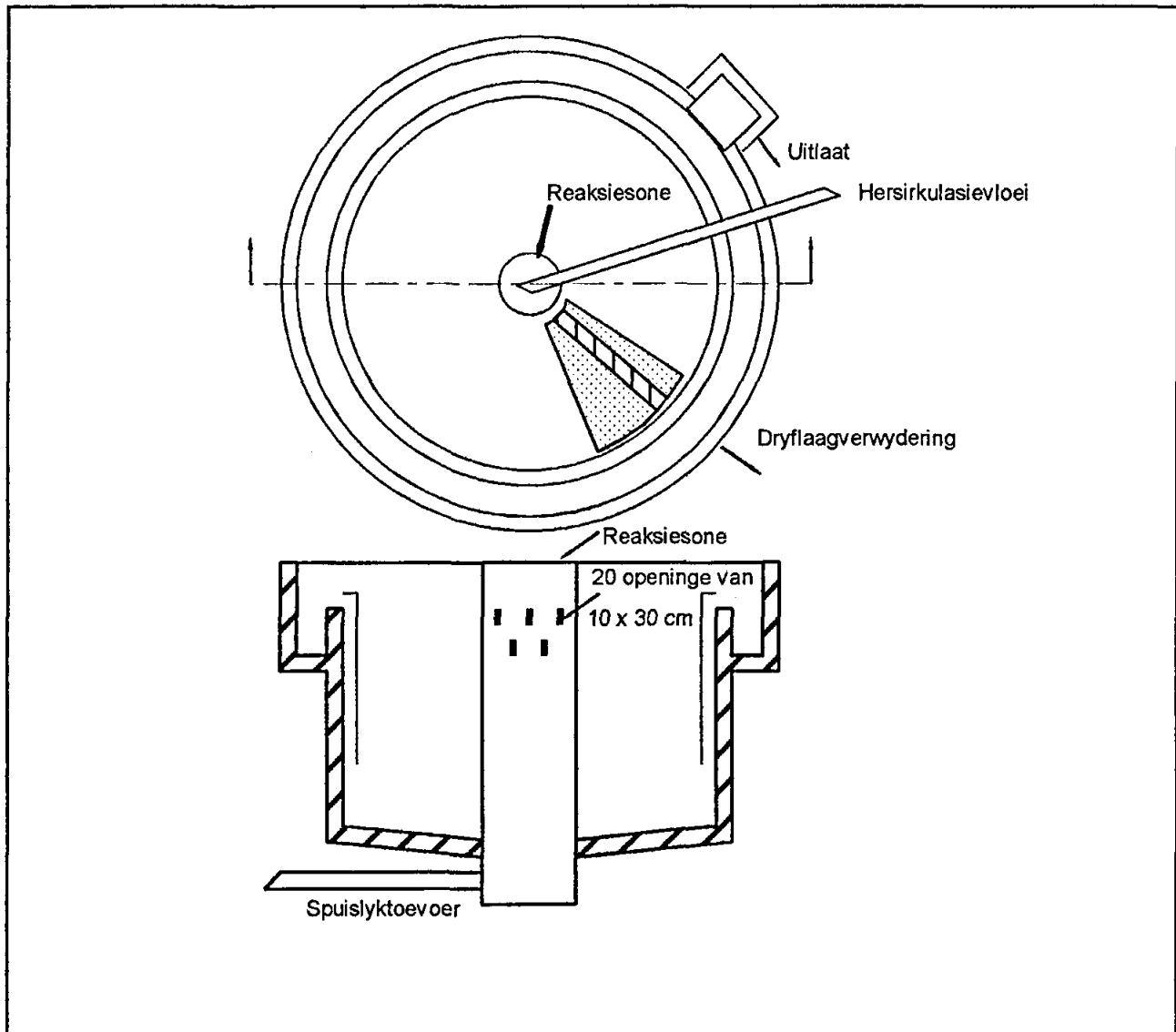


Figuur 3.11: Rooiwal, uitleg van die flottasieaanleg

3.6.2 Flottasietenks

Daar word gebruik gemaak van twee identiese 200 m³ flottasietenks. Die inkomende spuislyk word eerstens deur roterende roosters gevoer, waarna die vloei verdeel word oor twee V-keep oorlope, waarna die spuislyk na die afsonderlike flottasietenks gevoer word. Die tenkvloere van die afsonderlike tenks loop met 'n helling afwaarts van buite na die middel.

Bodemskraping by elke tenk word gedoen met twee skraperarms, waaraan vier skraperlemme geheg is. Die lemme skraap die besinkte slyk in 'n stel openinge in die vloer wat dan die besinkte slyk versamel in 'n put, waarna dit dan na die aërobiese verteerders gepomp word.



Figuur 3.12: Rooiwal, uitleg van die flottasietenks

Die afvoerwater word versamel aan die kante van tenk, tussen die tenkmuur en 'n wand wat die skeidslaag vorm tussen die afvoerwater en die verdikte slyk. Hierna loop dit oor vaste oorlope wat rondom die tenk aangebring is; en dan vanaf 'n kanaal rondom die tenk na die uitlaat, waarna dit versamel word in 'n put. Van hier af word 'n gedeelte gebruik vir hersirkulasievloei, en 'n gedeelte word teruggepomp na die biologiese reaktor.

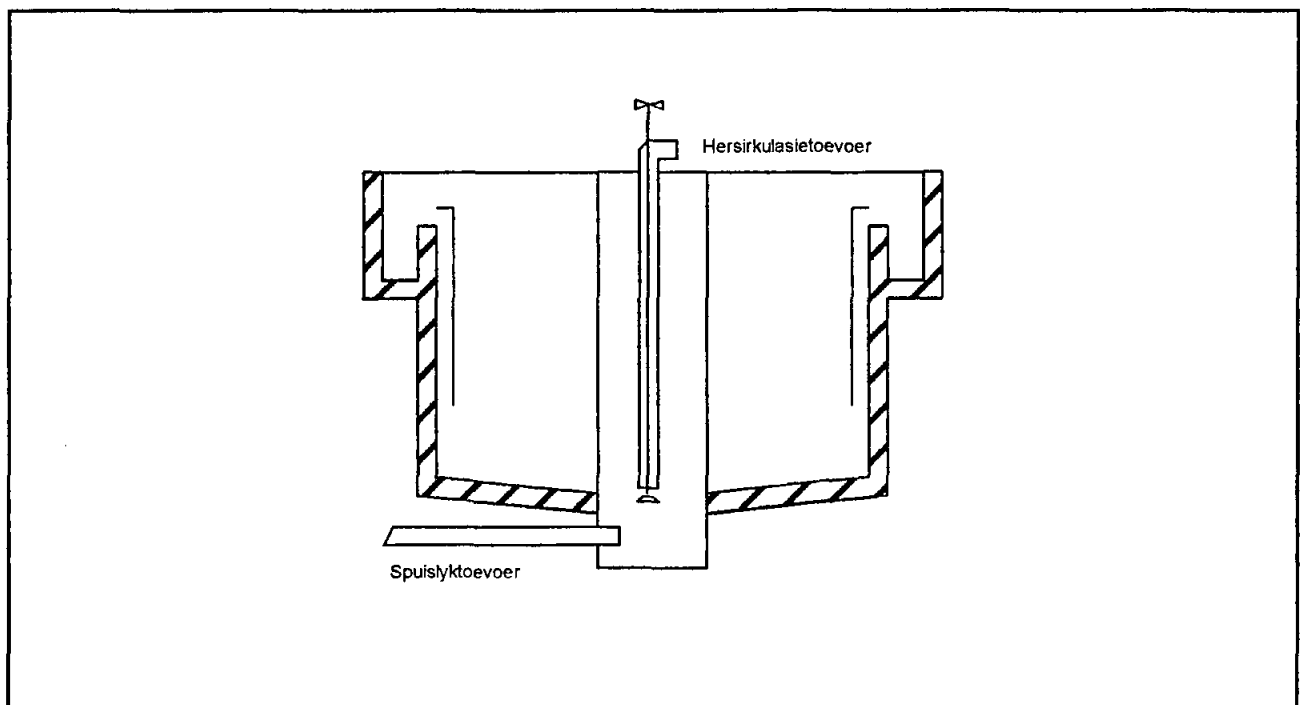
3.6.3 Hersirkulasiestelsel

Een ongepakte 5 m³ vertikale versadiger bedien beide flottasietenks. Die watervlak word beheer deur die lugtoevoer te beheer via 'n vlakskakelaar in die versadiger. Die reaksiesone strek die volle hoogte van die flottasietenk, met 'n diameter van 0,9 m. Twintig 100 by

300 mm openinge in twee rye aan die bokant die reaksiesone word gebruik om die hersirkulasie- en spuislykmengsel na die res van die flottasietenk te voer.

3.6.4 Nossel konfigurasie

Drukval vind plaas oor 'n verstelbare skyf-klep wat bo-op die tenk se brug verstel kan word. Die hersirkulasievloei en die spuislyk word loodreg tot mekaar in die reaksiesone gevoer.



Figuur 3.13: Rooiwal, voorstelling van die drukverminderingmeganisme

3.6.5 Dryflaagverwydering

Vier skrapearms word gebruik by elke flottasietenk om die verdikte slyk in 'n opvangbak te skraap, waarna dit onder gravitasie na 'n versamelput loop. Van hier word dit na die aerobiese verteerders gepomp.

3.6.6 Algemeen

Die effektiwiteit van die proses was wisselvallig, en probleme was ondervind met die pompe wat die verdikte slyk moet wegpomp, asook probleme met die ratkaste van die slykskraapmeganisme.

Tabel 3.5: Geometriese parameters van Rooiwal flottasieaanleg

FLOTTASIETENK GEOMETRIE	EENHEID	WAARDE
Aantal flottasietenks		2
Watervlakbeheer tipe		Verstelbare oorloopyp
Flottasietenkvorm		Rond
Binnediameter	m	0,9
Buitediameter	m	10
Diepte	m	2,4 *
Reaksiesonevorm		Rond
Diameter	m	0,9
Diepte	m	2,7
Deurvloeiarea	m ²	0,6
VERSADIGER		
Aantal versadigers		1
Vertikaal/Horizontaal		Vertikaal
Pakstukke/Geen pakstukke : Tipe		Geen
Watervlakbeheertipe		Magnetiese vlakskakelaar
Versadigerdiameter	m	1,8
Waterdiepte	m	-
Lengte of hoogte	m	2,5
Nosseltipe		Sien figuur 3.12
Aantal nossels		1
Nossel plasing		Nie van toepassing
SLYKVERWYDERING		
Rooster/Skraper/Geen		Skrapers
Aantal skrapers		4
Skraper plasing		90°

* gemeet aan die kant van die flottasietenk

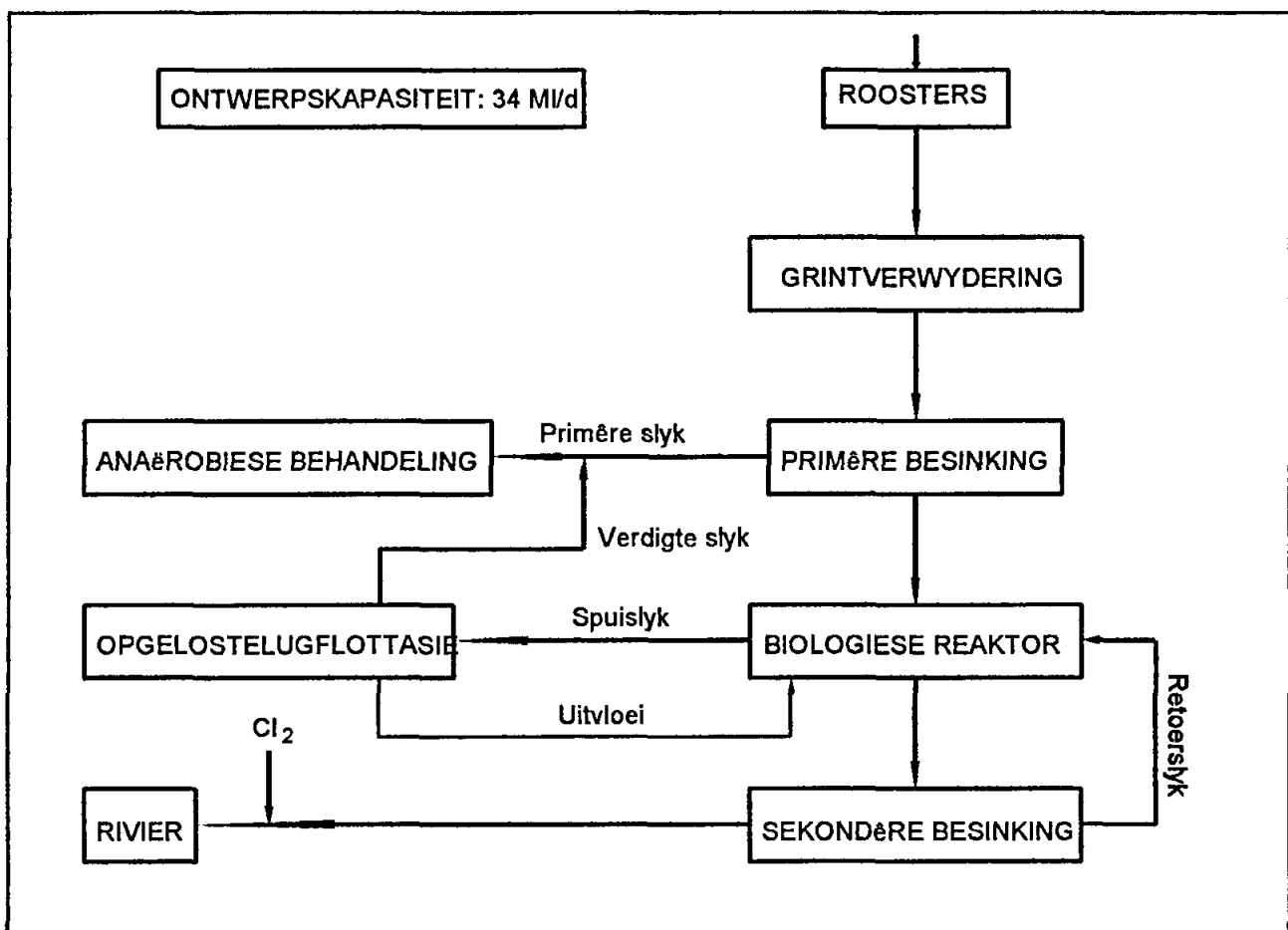
Tabel 3.6: *Bedryfsparameters van Rooiwal flottasieaanleg*

PARAMETERS	BEDRYF		
	Min	Maks	Med
Spuislyktoevoer, Q (kl.d ⁻¹)	537,6	1192,8	993,6
Hersirkulasietoevoer, rQ (kl.d ⁻¹)	1391,0	3110,4	2084,6
Hidrouliese lading, flottasiesone, v_f (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	1,38	2,22	1,51
Hidrouliese lading, reaksiesone, v_r (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	179	289	196
Hidrouliese lading, versadiger, v_v (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	22,8	50,9	34,1
Swewende stowwe konsentrasie in, SS_{in} (mg.l ⁻¹)	4585	6043	5007
Swewende stowwe konsentrasie uit, SS_{uit} (mg.l ⁻¹)	69	115	81
Swewende stowwe lading, Q_s (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	1,51	3,39	2,66
Lug/soliedes verhouding, a_s (mg.mg ⁻¹)	0,0118	0,0322	0,0475
Slykvolume indeks, SVI (ml.g ⁻¹)	52	86	69
Versadigerdruk, P (kPa)	460	480	475
Hoeveelheid opgeloste lug, $a_{p(prak)}$ (mg.l ⁻¹)	36,7	65,5	47,8
Versadigereffektiwiteit, C (%)	37	74	52
Diepte van dryflaag onder watervlak, d_B (cm)	2,0	3,5	2,8
Diepte van dryflaag bo watervlak, d_W (cm)	0,5	1,5	1,0
Totale diepte van die dryflaag, d_T (cm)	3,5	30,0	12,1
Dryflaagkonsentrasie, C_F (%)	2,2	4,1	3,6

Waardes in die voorafgaande tabel gee hoeveelhede vir een van die twee flottasietenks.

3.7 VERWOERDBURG

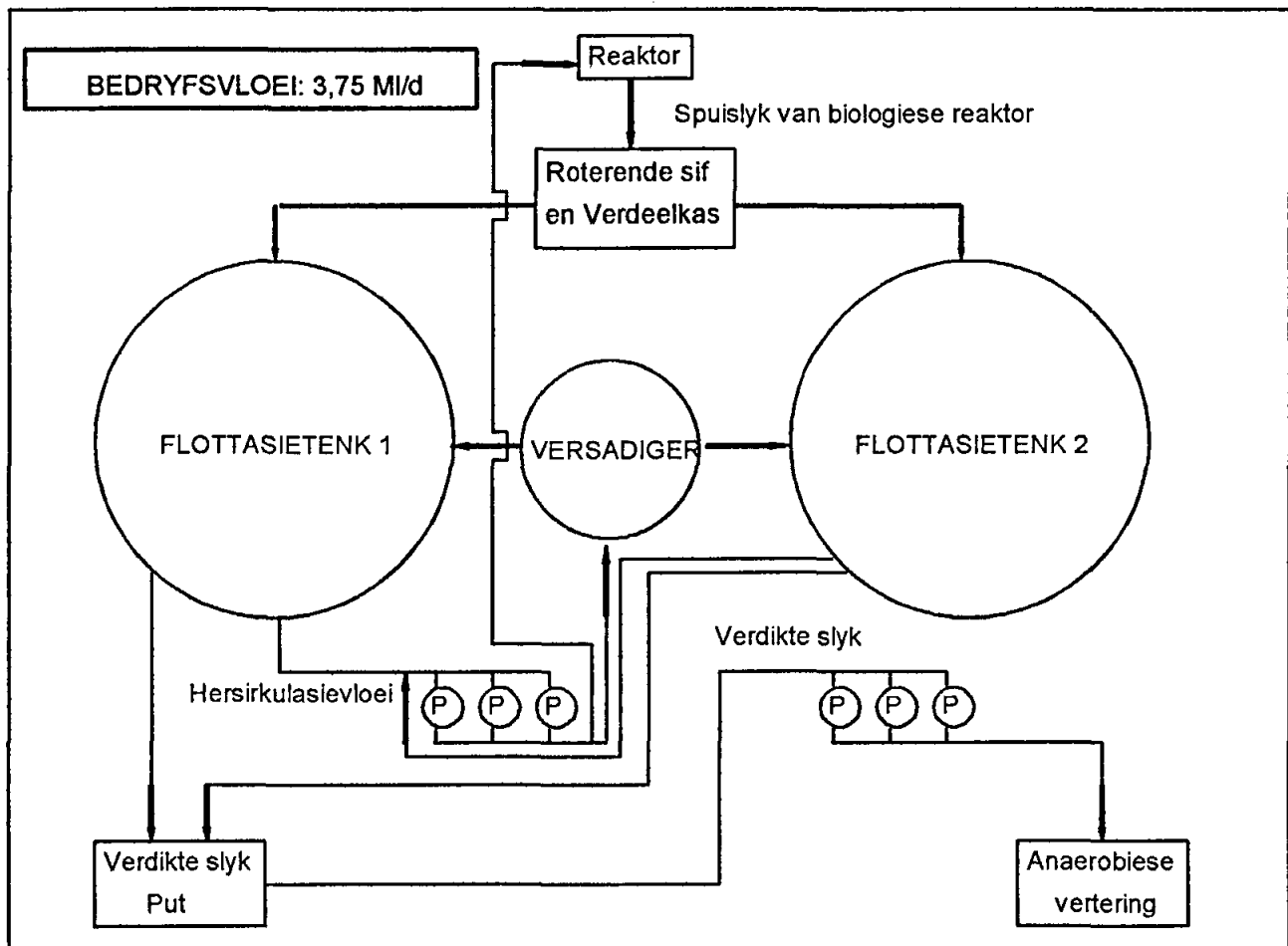
Die aanleg behandel hoofsaaklik huishoudelike rioolwater, omtrent 90% van die totale invloei; en dan ook ongeveer 10% industriële rioolwater wat plateringsfabrieke, brouerye en fabrieke wat skoonheidsmiddels vervaardig insluit; dus met gepaardgaande metale, vette, olies en hoë CSB waardes in die rioolwater. Die geaktiveerde slyk aanleg bestaan uit twee modules, met dieselfde tipe uitleg, soos aangedui in die figuur, wat ongeveer 34 $\text{MI} \cdot \text{d}^{-1}$ rioolwater kan hanteer. Die finale afvloeï word na chloordosering na die Hennopsrivier gevoer.



Figuur 3.14: Verwoerdburg, uitleg van die riolsuiweringsaanleg met klem op die aktiefslykaanleg, module 2 en 3 (identiese uitleg)

3.7.1 Doel van die flottasieaanleg

Die flottasieaanleg word gebruik vir verdikking van spuislyk, en word tans bedryf teen 'n mediaan van 3,75 $\text{MI} \cdot \text{d}^{-1}$ totale invloei (spuislyktoevoer + hersirkulasietoevoer).

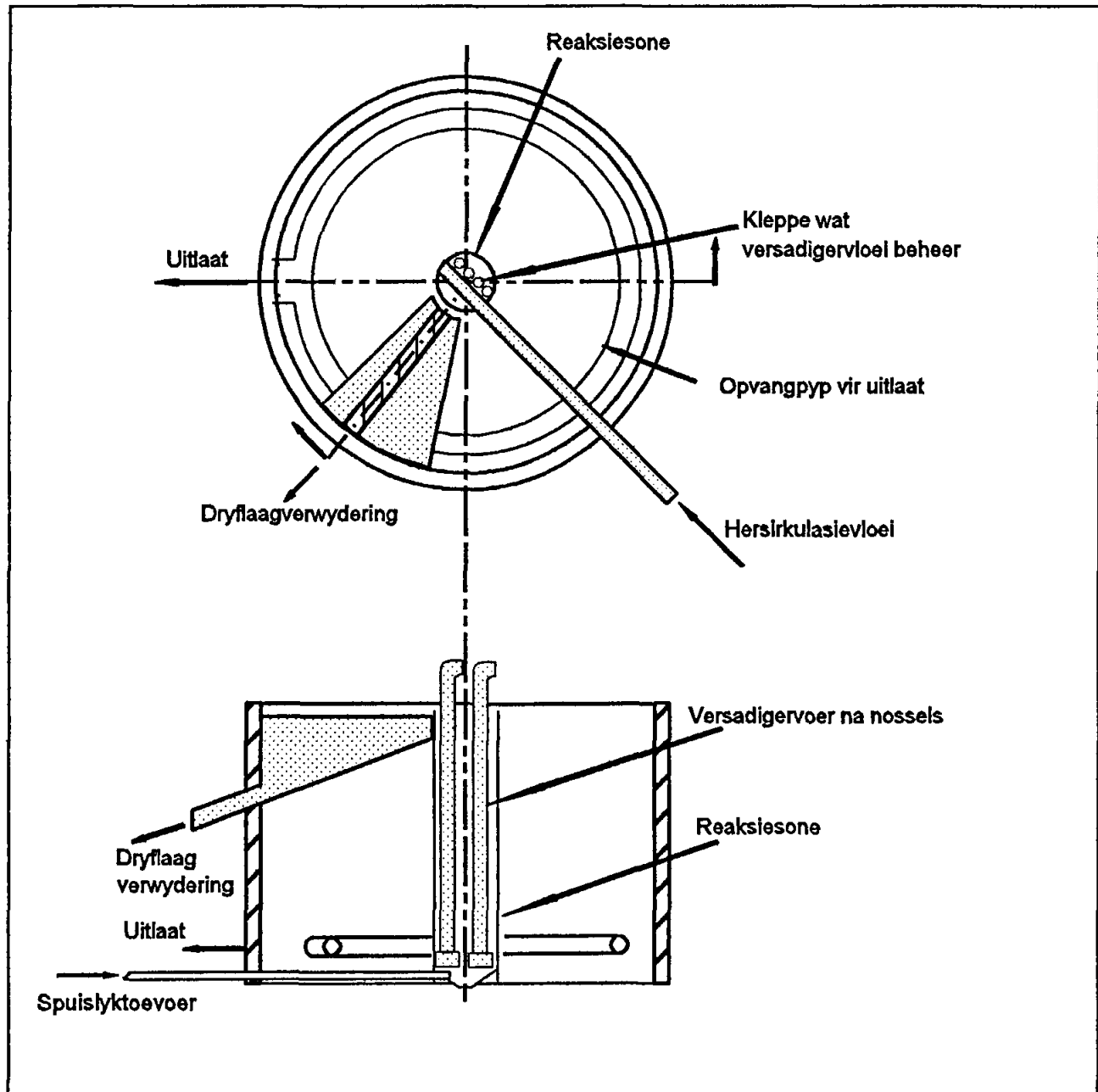


Figuur 3.15: Verwoerdburg, uitleg van die flottasieaanleg

3.7.2 Flottasietenk

Daar word gebruik gemaak van twee identiese 185 m³ flottasietenks. Die spuislyk word eerstens deur 'n roterende fyn-sif gevoer voordat dit in die verdeelkas na die afsonderlike tenks gevoer word onder gravitasie. Die vloere van die flottasietenks is plat, en geen bodemskraping word gebruik nie. Daar is voorsiening gemaak vir leegmaak van die tenks met 'n spoelklep ("scour valve") met pype wat na die verdikte slyk put afloop.

Die afvoerwater word onttrek deur 'n 200 mm diameter pyp, wat die omtrek van die tenk volg. Die afvoerwatervlak word in 'n reservoir langs die tenk met 'n verstelbare oorlooppyp ("telescopic bellmouth") beheer. Dié water word dan gedeeltelik na die versadiger en gedeeltelik terug na die biologiese reaktor gepomp. Die reaksiesone strek oor die volle lengte van die flottasietenk, met 'n diameter van 2,1 m. Ses 1,6 by 0,4 m openinge aan die bokant die reaksiesone word gebruik om die hersirkulasie- en spuislykmengsel na die res van die flottasietenk te voer.



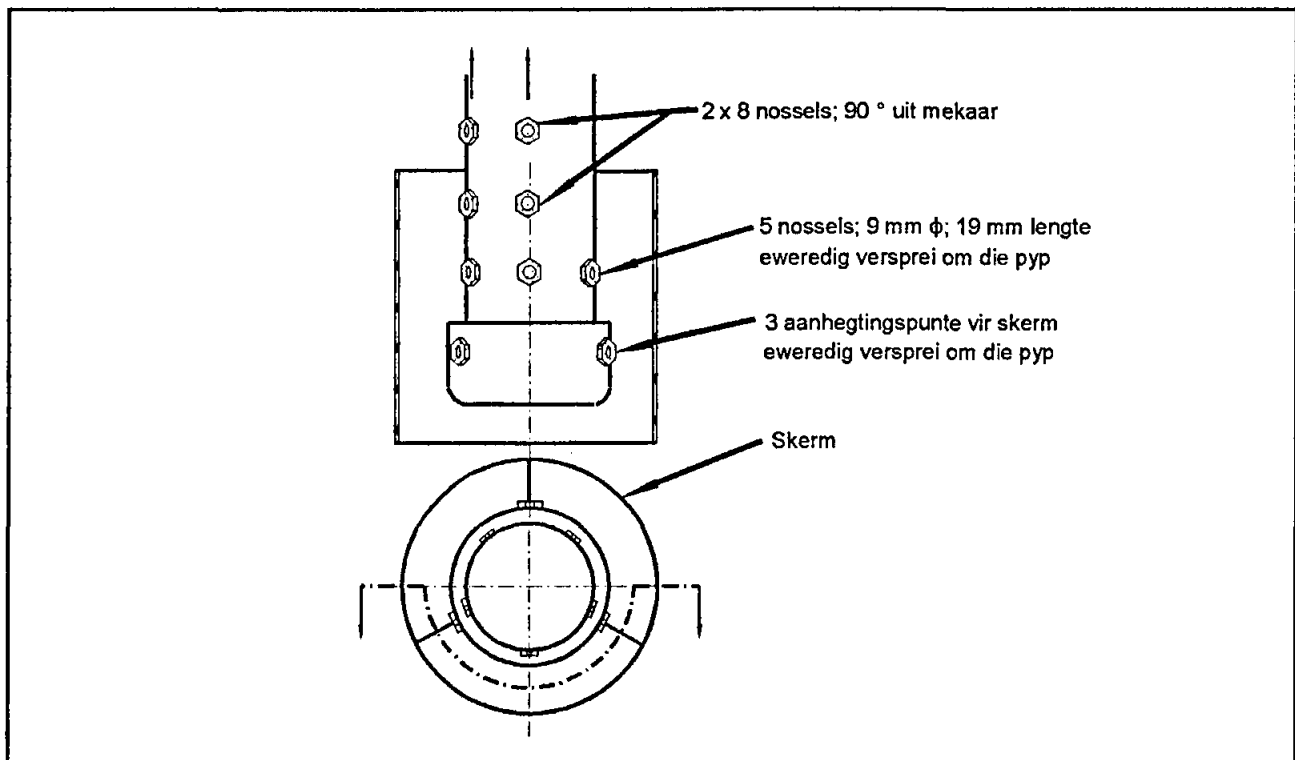
Figuur 3.16: Verwoerdburg, uitleg van die flottasietenks

3.7.3 Hersirkulasiestelsel

Een ongepakte 14,6 m³ versadiger bedien beide flottasietenks. Die inkomende water in die versadiger word met 'n nossel opwaarts gespuit. Die watervlak, omtrent 1,2 m van die onderkant van die versadiger, word gehandhaaf deur 'n Trimod Besta skakelaar wat die lugtoevoer beheer. 'n Gedeelte van die uitvloeiwat word deur die versadiger gesirkuleer. Die ander gedeelte word hersirkuleer na die biologiese reaktor.

3.7.4 Nossels

Vier hersirkulasiepype is elk voorsien van 'n klep wat van buite die flottasietenk verstel kan word. Slegs drie van die pype word algemeen gebruik en afhangende van die inkomende slyk word so min as 2 van die hersirkulasiepype gebruik vir optimum resultate.



Figuur 3.17: Verwoerdburg, uitleg van die inspuitnossels

Die hersirkulasiepype is ongeveer 4 m PVC pype met 'n afsluitkraan onder en 5 nossels eweredig versprei om die pyp. Verdere voorsiening is ook gemaak vir 2 rye van 8 nossels, 90° uitmekaar verder op met die pyp. Die 5 nossels aan die onderkant van die pyp is egter al wat gebruik word. 'n Silindervormige skerm 40 mm vanaf die nossels, omtrent 120 mm lank, verminder die turbulensie in die reaksiesone.

3.7.5 Dryflaagverwydering

Vier skraperarms word gebruik by elke flottasietenk om die verdikte slyk in 'n opvangbak te skraap, waarna dit onder gravitasie na 'n reservoir loop. Van hier word dit na die anaërobiese verteerders gepomp. Daar is nie voorsiening gemaak vir bodemskraping in die flottasietenks nie.

3.7.6 Algemeen

Daar is tydens die ondersoek probleme ondervind met 'n solenoïedklep wat die lugtoevoer na die versadiger beheer.

Die hersirkulasiepype moet periodiek skoongemaak word by die afsluitkraan en die nossels self wat verstop raak. Fluktuasies van die spuislyktoevoer as gevolg van die feit dat die invoer na die flottasieaanleg van twee modules kom het die proses se kontinue werkverrigting beïnvloed. Die vloei van die een module moes omgelei word na die ander module, sodat die totale spuislyktoevoer van een pompstasie na die flottasieaanleg gepomp kon word.

Tabel 3.7: Geometriese parameters vir Verwoerdburg flottasieaanleg

FLOTTASIETENK GEOMETRIE	EENHEID	WAARDE
Aantal flottasietenks		2
Watervlakbeheer tipe		Verstelbare oorloopyp
Flottasietenkvorm		Rond
Binnediameter	m	2.1
Buitediameter	m	9.1
Diepte	m	3
Reaksiesonevorm		Rond
Diameter	m	1,6
Diepte	m	4
Deurvloeiarea	m ²	3,84
VERSADIGER		
Aantal versadigers		1
Vertikaal/Horisontaal		Vertikaal
Pakstukke/Geen pakstukke : Tipe		Geen
Watervlakbeheertipe		Magnetiese vlakskakelaar
Versadigerdiameter	m	2,5
Waterdiepte	m	1,2 van onder
Lengte of hoogte	m	3,2
Nosseltipe		Sien figuur
Aantal nossels		4x5 per tenk (15 gebruik)
Nossel plasing		Sien figuur
SLYKVERWYDERING		
Rooster/Skraper/Geen		Skrapers
Aantal skrapers		4
Skraper plasing		90°

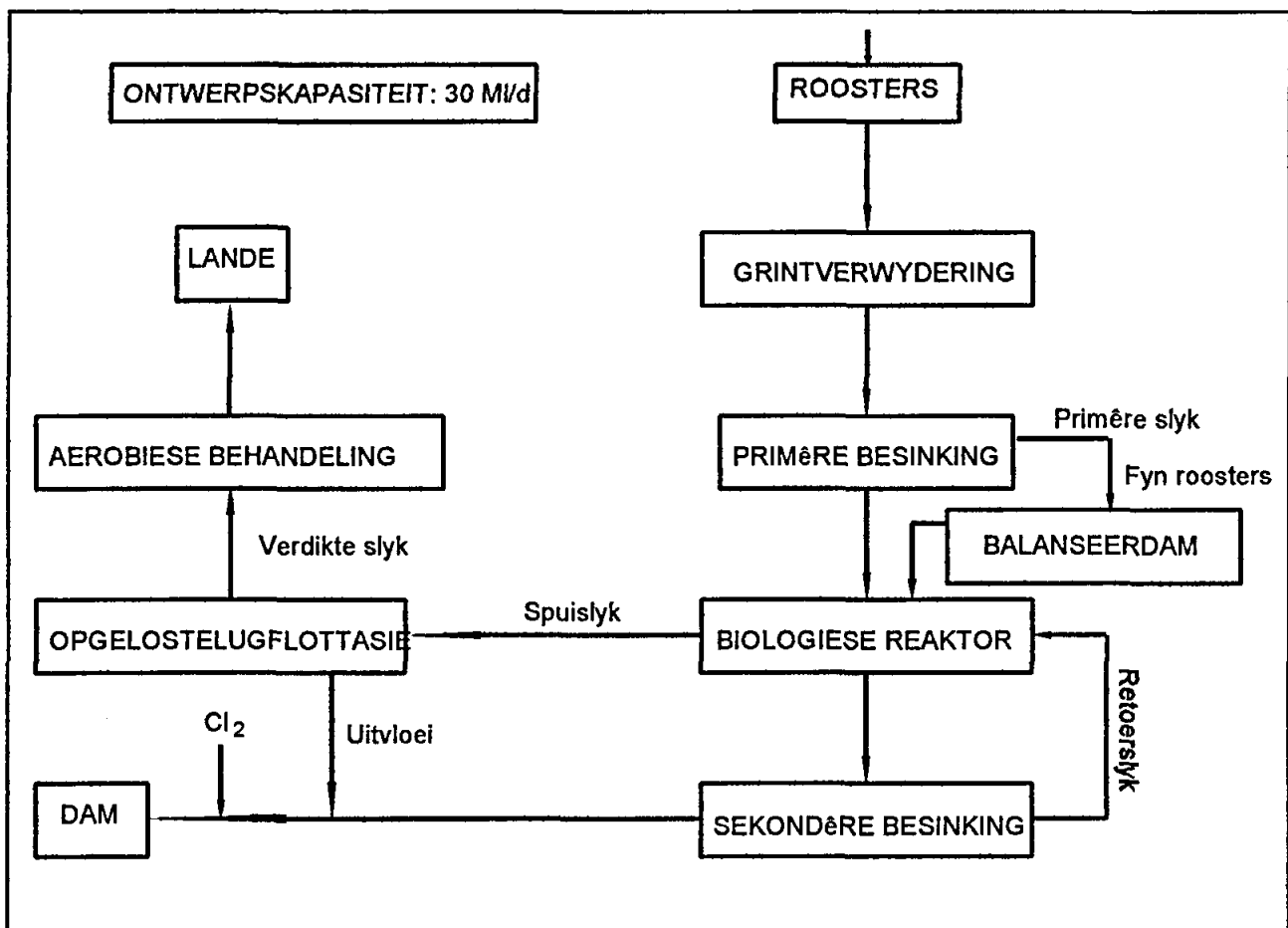
Tabel 3.8: Bedryfsparameters van Verwoerdburg flottasieaanleg

PARAMETERS	BEDRYF		
	Min	Maks	Med
Spuislyktoevoer, Q (kl.d ⁻¹)	384,0	674,4	529,2
Hersirkulasietoevoer, rQ (kl.d ⁻¹)	1197,6	1496,2	1346,9
Hidrouliese lading, flottasiesone, v_f (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	1,3	1,3	1,3
Hidrouliese lading, reaksiesone, v_r (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	20	20	20
Hidrouliese lading, versadiger, v_v (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	10,2	12,7	11,5
Swewende stowwe konsentrasie in, SS_{in} (mg.l ⁻¹)	2950	2960	2955
Swewende stowwe konsentrasie uit, SS_{uit} (mg.l ⁻¹)	18,0	18,5	18,3
Swewende stowwe lading, Q_s (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	0,77	1,30	1,04
Lug/soliedes verhouding, a_s (mg.mg ⁻¹)	0,0398	0,1053	0,0726
Slykvolume indeks, SVI (ml.g ⁻¹)	197	264	231
Versadigerdruk, P (kPa)	490	550	520
Hoeveelheid opgeloste lug, $a_{p(priak)}$ (mg.l ⁻¹)	66,2	80,2	73,1
Versadigereffektiwiteit, C (%)	59	61	60
Diepte van dryflaag onder watervlak, d_B (cm)	55	82	69
Diepte van dryflaag bo watervlak, d_W (cm)	17	20	19
Totale diepte van die dryflaag, d_T (cm)	72	102	87
Dryflaagkonsentrasie, C_F (%)	3,5	5,1	4,3

Waardes in die voorafgaande tabel gee hoeveelhede vir een van die twee flottasietenks.

3.8 ZEEKOEKAT

Die aanleg bedien die oostelike voorstede van Pretoria, wat hoofsaaklik bestaan uit woongebiede en ligte industriële gebiede. Die aanleg is met 'n pyplyn verbind aan Rooiwal-Oos rioolsuiweringswerke, en die oormaat van 30 ML.d^{-1} kan daarheen gevoer word. Die finale uitvloeisel vloei ná chloordosering en 'n chloorkontakdam, na die Roodeplaatdam.

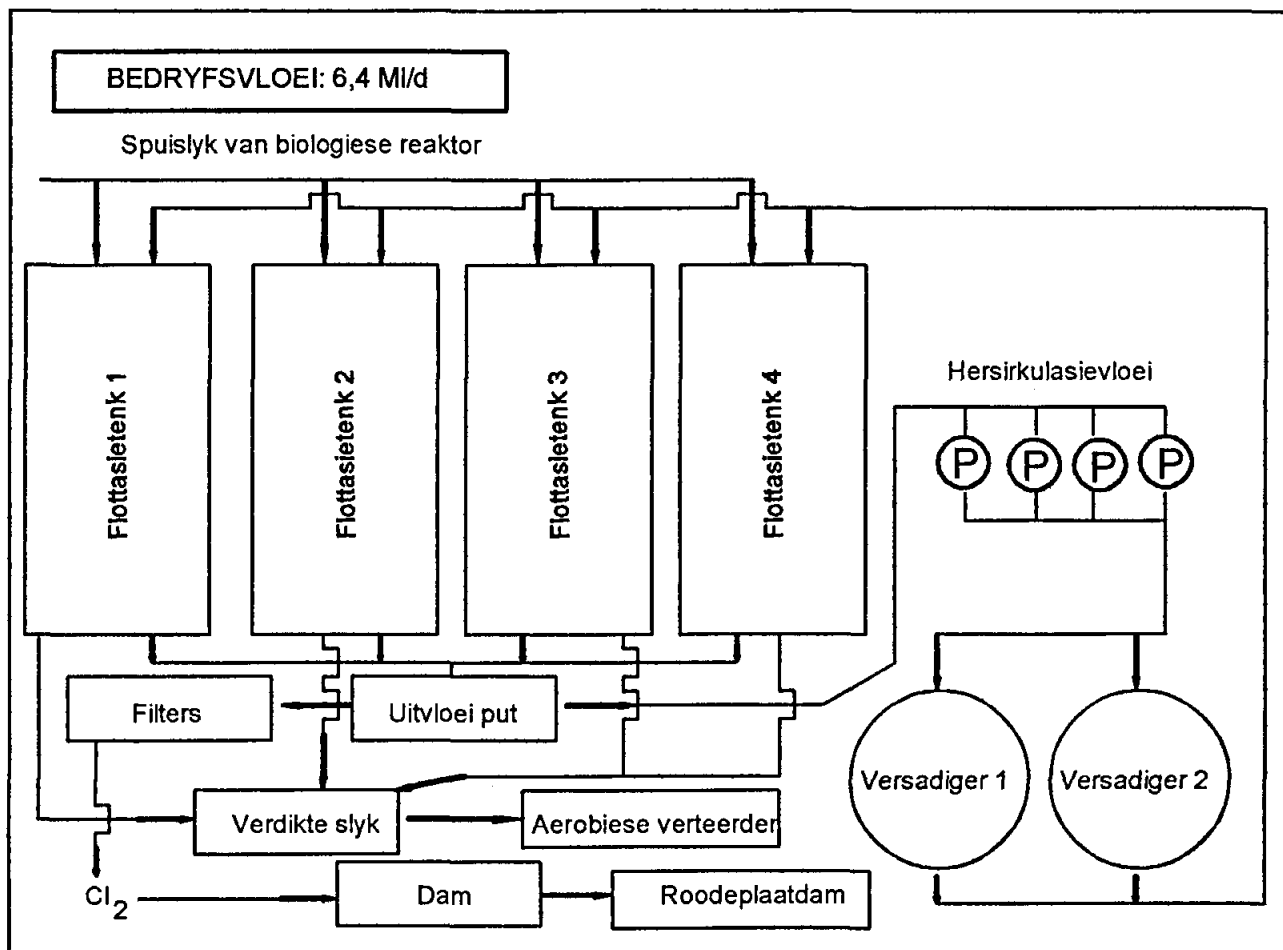


Figuur 3.18: Zeekoegat, uitleg van die rioolsuiweringsaanleg

3.8.1 Doel van die flottasieaanleg

Die flottasieaanleg word gebruik vir die verdikking van spuislyk uit 'n biologiese reaktor. Dit word tans bedryf teen 'n mediaan van ongeveer 6 ML.d^{-1} (spuislyktoevoer + hersirkulasietoevoer), en spuislyk swewende stowwe konsentrasie van 3098 mg/l .

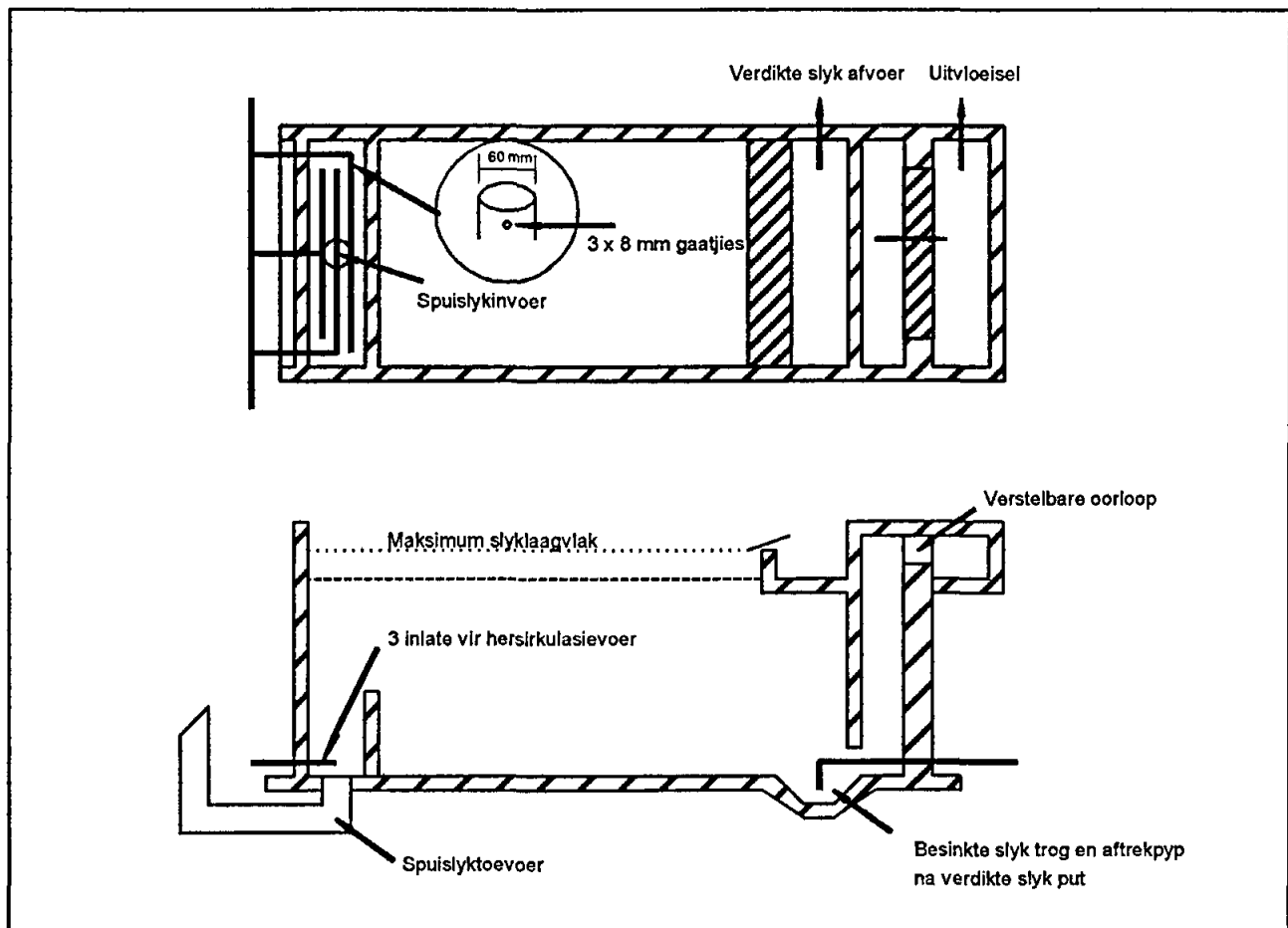
Dit in vergelyking met 'n aanlegkapasiteit van $1,44$ tot $4,32 \text{ ML.d}^{-1}$ met 'n spuislyk swewende stowwe konsentrasie kapasiteit van 5000 mg/l .



Figuur 3.19: Zeekoegat, uitleg van die flottasieaanleg

3.8.2 Flottasietenks

Vier 103 m^3 reghoekige flottasietenks, 4 m diep word gebruik. Die watervlak in elke tenk kan verstel word met 'n verstelbare oorloop. Die hersirkulasie- en spuislyktoevoer word aan die een kant van die tenk ingevoer, en die afvloeiwatervatervlak en verdikte slyk word aan die ander kant afgetrek. Die hersirkulasie- en spuislykvloei word in 'n $1,2 \text{ m}$ hoë reghoekige inlaat, wat oor die breedte van die tenk van $3,5 \text{ m}$ strek, bymekaar gevoeg, waarna dit in die tenk versprei. Die wydte van die reaksiesone is $0,95 \text{ m}$. 'n Trog op die bodem van die tenk is voorsien om die besinkte slyk te verwyder.



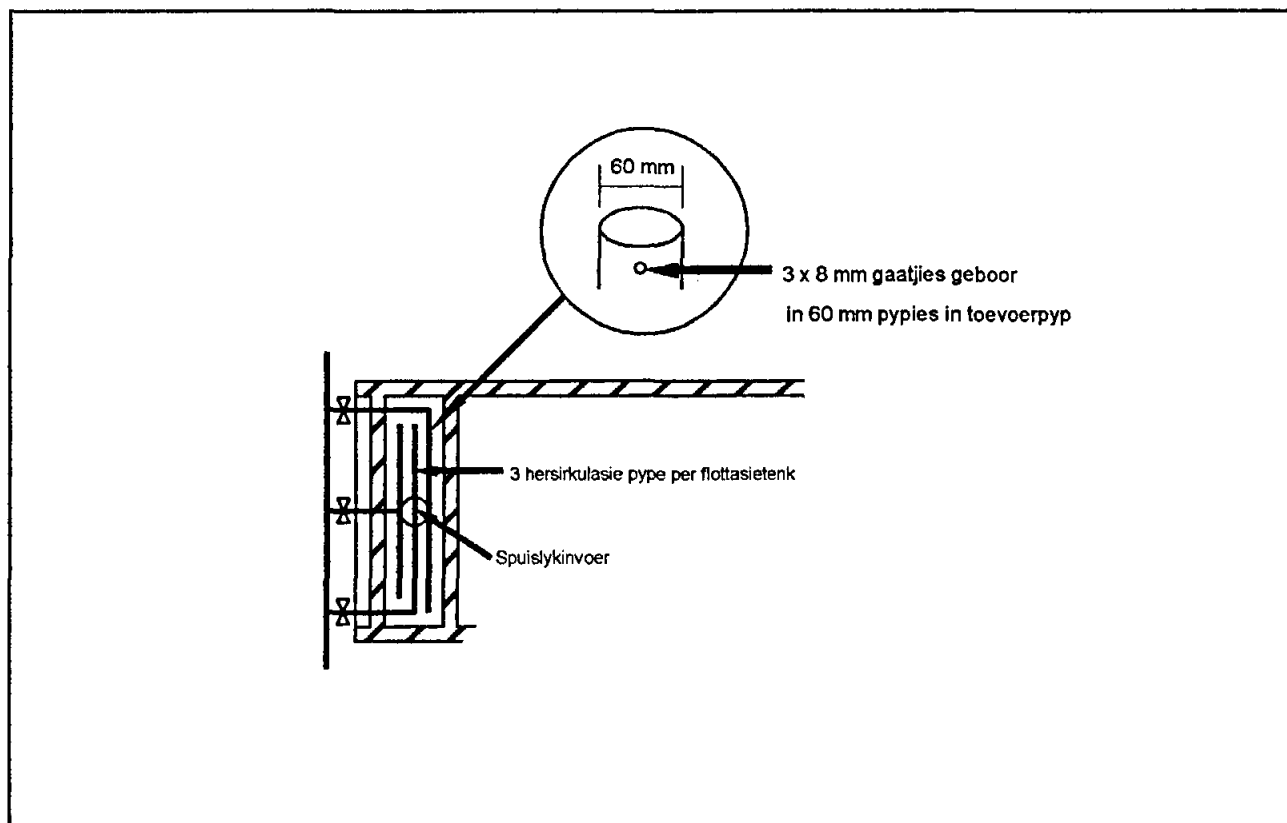
Figuur 3.20: Zeekoegat, uitleg van die flottasietenks

3.8.3 Hersirkulasiestelsel

Twee 7 m³ versadigers waarvan die pakstukke verwyder is, word gebruik om die lugversadigde water te voorsien vir die proses. Die watervlak word gehou op min of meer 0,95 m van die onderpunt van die versadigers; en die lugtoevoer word beheer met 'n magnetiese watervlakbeheerskakelaar. 'n Gedeelte van die uitvloeiwatervat word deur die versadiger gesirkuleer. Die ander gedeelte word grotendeels na die sandfilters gestuur, en 'n klein gedeelte terug na die biologiese reaktor.

3.8.4 Nossels

Daar word gebruik gemaak van 12 nossels, elk met drie 10 mm gaatjies, vir elke tenk. Die nossels is 60 mm diameter pypies waarvan die boonste deel verseël is, met drie gaatjies rondom die pypie soos aangedui in figuur 3.21.



Figuur 3.21: Zeekoegat, konfigurasië van die inspuitmossels

3.8.5 Dryflaagverwydering

Daar word gebruik gemaak van 7 skrapersarms by elke tenk. Die arms beweeg siklies oor die tenkoppervlak en skraap 'n lengte van 40 cm met die afwaartse deel van die siklus. Die skraapspoed is gemiddeld 104 m/h, met 'n totale siklustyd van ongeveer 36 sekondes. Die verdikte slyk word in 'n kanaal aan die een kant van die flottasietenk geskraap, en word dan onder gravitasie na 'n reservoir gevoer. Van hier word dit gepomp na die aërobiese verteenders.

3.8.6 Algemeen

Verdikte slyk word doelbewus nie te veel verdik nie om probleme met die wegvoerpompe te vermy. Probleme was ondervind met die hersirkulasiepompe, en met die pype wat die verdikte slyk moet wegpomp. Die skrapermeganisme het 'n rukkerige beweging wat die dryflaag versteur en 'n ander skrapermeganisme word op die stadium oorweeg. 'n Verdere instandhoudingsprobleem was verwerping van pypies van die hidrouliese skrapermeganisme.

Tabel 3.9: Geometriese parameters van Zeekoegat flottasieaanleg

FLOTTASIETENK GEOMETRIE	EENHEID	WAARDE
Aantal flottasietenks		4
Watervlakbeheer tipe		Verstelbare oorloopweir
Flottasietenkvorm		Reghoekig
Lengte	m	7,350
Breedte	m	3,50
Diepte	m	4,00
Reaksiesonevorm		Reghoekig
Lengte en breedte	m	3,50 en 0,95
Diepte	m	1,2
Deurvloeiarea	m ²	3,33
VERSADIGER		
Aantal versadigers		2
Vertikaal/Horisontaal		Vertikaal
Pakstukke/Geen pakstukke : Tipe		Geen
Watervlakbeheertipe		Magnetiese vlakskakelaar
Versadigerdiameter	m	1,9
Waterdiepte	m	0,95 van onder
Lengte of hoogte	m	1,85
Nosseltipe		Sien figuur 2.20
Aantal nossels		12 per tenk
Nossel plasing		Sien figuur 2.20
SLYKVERWYDERING		
Rooster/Skraper/Geen		Skrapers
Aantal skrapers		7
Skraper plasing		1 m uit mekaar

Tabel 3.10: Bedryfsparameters van Zeekoegat flottasie aanleg

PARAMETERS	BEDRYF		
	Min	Maks	Med
Spuislyktoevoer, Q (kl.d ⁻¹)	648,0	1036,8	715,2
Hersirkulasietoevoer, rQ (kl.d ⁻¹)	741,6	988,8	804,0
Hidrouliese lading, flottasiesone, v_f (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	2,6	3,4	3,0
Hidrouliese lading, reaksiesone, v_r (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	17,6	23,0	20,0
Hidrouliese lading, versadiger, v_v (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	10,9	14,5	11,8
Swewende stowwe konsentrasie in, SS_{in} (mg.l ⁻¹)	1550	6380	3098
Swewende stowwe konsentrasie uit, SS_{uit} (mg.l ⁻¹)	19,0	63,0	46,5
Swewende stowwe lading, Q_s (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	2,01	7,75	4,29
Lug/soliedes verhouding, a_s (mg.mg ⁻¹)	0,0089	0,0438	0,0149
Slykvolume indeks, SVI (ml.g ⁻¹)	139	239	154
Versadigerdruk, P (kPa)	440	530	460
Hoeveelheid opgeloste lug, $a_{p(prak)}$ (mg.l ⁻¹)	34,8	63,3	42,5
Versadigereffektiwiteit, C (%)	30	65	42
Diepte van dryflaag onder watervlak, d_B (cm)	7,9	41,0	32,3
Diepte van dryflaag bo watervlak, d_W (cm)	4,0	13,5	5,1
Totale diepte van die dryflaag, d_T (cm)	12,0	45,0	41,5
Dryflaagkonsentrasie, C_F (%)	2,0	3,6	2,9

Waardes in die voorafgaande tabel gee hoeveelhede vir een van die vier flottasietenks.

4. DATA-ONTLEDING

4.1 OPSOMMING VAN VERWERKTE DATA

Data is versamel oor 'n periode van agt maande by die vyf aanlegte wat in die vorige hoofstuk beskryf is. Drie van die aanlegte is ses keer besoek, een aanleg vier keer en een aanleg twee keer, wat 'n totaal van 24 besoeke gee. Na aanleiding van die literatuurstudie is drie afhanklike en tien onafhanklike parameters gekies vir verdere studie. Die parameterkeuse is aangedui in Tabel 2.1. Die data soos verkry uit die aanlegbesoeke is verwerk in terme van die gekose parameters, en die volledige dataset word in Tabel 4.1 aangetoon. Tydens twee besoeke is die drylaagdieptes nie gemeet nie, wat die weggelate waardes in die tabel verklaar.

Die geaktiveerde slyk se karakteristieke vir die verskillende aanlegte was baie wisselend; nie net van aanleg tot aanleg nie, maar ook op verskillende tye op spesifieke aanlegte. Die grootste wisseling in die inkomende swewende stowwe konsentrasie (SS_{in}) by 'n spesifieke aanleg het byvoorbeeld gewissel van 1550 tot 6380 $mg.l^{-1}$. Die slykvolume indeks (SVI) het gewissel van 52 tot 264 $ml.g^{-1}$ by verskillende aanlegte. Die prosesse by elke aanleg het fisies ook baie verskil, soos beskryf in hoofstuk 3. Die reaksiesonevolumes van die verskillende aanlegte het gewissel tussen 76 en 8042 liter, met retensietye (t) van 3,6 tot 371,2 sekondes. Die lug/soliedes verhouding (a_s) het gewissel tussen 0,9 tot 10,5 %.

Die effektiwiteit van die proses het gevolglik net soveel wisseling getoon, met dryflaagkonsentrasies (C_F) van tussen 2,0 en 5,1 %, uitgaande swewende stowwe konsentrasie (SS_{uit}) van tussen 4,8 en 115,0 $mg.l^{-1}$, en dryflaagdiepte onder watervlak (d_B) van 20 tot 820 mm!

Hierdie hoofstuk bestaan uit drie gedeeltes:

- Toets van die model van Bratby en Marais (1975)
- Toets van die model van Bratby en Ambrose (1994)
- Ontwikkeling van 'n regressiemodel gebaseer op die data van hierdie studie

Tabel 4.1 Opsomming van verwerkte data

Aanleg	Besoek	SS _n	SVI	a _s	Q _s	v _t	d _w	t _s	v _d	v _r	t	C _F	SS _{out}	d _b
		mg/l	ml/g	-	kg/m ² h	m/h	m	min	m/h	m/h	s	%	mg/l	m
1	1	2870	97	.0020	3.88	2.44	0.165	2.62	51	51	135	2.58	7	0.350
	2	2560	172	.0218	3.79	2.57	0.170	2.53	53	53	128	3.69	8	0.348
	3	2560	59	.0191	3.71	2.38	0.190	2.60	49	49	138	3.41	7	0.395
	4	2020	168	.0679	1.08	1.49	0.170	2.53	31	31	221	3.51	6	0.298
	5	2740	124	.0138	4.04	2.25	0.170	2.52	47	47	146	3.50	6	0.200
	6	3210	65	.0217	3.24	1.97	0.170	2.62	41	47	168	3.13	5	0.285
1	mediaan	2650	111	.0218	3.75	2.23	0.170	2.57	48	48	142	3.46	7	0.258
2	1	2380	100	.0238	1.42	1.16	0.030	7.39	234	197	8.4	5.00	35	0.285
	2	1700	94	.0669	1.08	1.72	0.030	10.8	349	293	5.7	2.30	62	0.285
	3	2280	101	.0410	1.42	1.72	0.030	3.57	347	292	5.7	2.90	22	0.150
	4	2310	100	.0448	1.33	1.67	0.020	3.57	339	285	5.8	2.60	20	0.090
	5	2000	100	.0254	2.46	2.58	0.060	3.57	522	439	3.8	3.30	17	0.265
	6	2620	130	.0201	3.33	2.72	0.040	6.33	550	462	3.6	3.70	44	0.250
2	mediaan	2295	100	.0332	1.42	1.72	0.030	4.95	348	292	5.7	3.10	28	0.258
3	1	6040	73	.0322	3.38	2.22		1.05	289	272	35.7	4.00	69	
	2	4590	52	.0118	2.92	1.38		1.72	179	169	57.4	2.20	115	
	3	5230	65	.0272	1.50	1.40	0.005	1.88	182	172	56.6	4.10	76	0.035
	4	4780	86	.0229	2.42	1.62	0.015	1.10	210	198	49.1	3.20	85	0.020
3	mediaan	5005	69	.0251	2.67	1.51	0.010	1.41	196	185	52.9	3.60	81	0.028
4	1	2950	197	.0398	1.29	1.27	0.170	2.96	20	39	371	3.50	18	0.550
	2	2960	264	.1053	0.79	1.27	0.200	5.21	20	39	370	5.10	19	0.820
4	mediaan	2955	231	.0726	1.04	1.27	0.185	4.09	20	39	370	4.30	18	0.685
5	1	1550	239	.0438	2.00	2.70	0.040	9.65	18	18	241	3.40	19	0.390
	2	2590	158	.0151	3.21	2.60	0.041	8.28	18	18	246	3.10	63	0.079
	3	1730	179	.0175	3.38	3.30	0.040	11.0	22	22	194	2.00	52	0.410
	4	3610	139	.0121	5.75	3.40	0.060	9.32	23	23	188	2.40	45	0.380
	5	6380	149	.0089	7.75	2.80	0.060	13.2	19	19	228	2.70	48	0.155
	6	3760	144	.0146	5.21	3.10	0.135	8.78	21	21	207	3.60	36	0.265
5	mediaan	3100	154	.0149	4.29	2.95	0.051	9.49	20	20	217	2.90	47	0.323
almaal	maks	6380	264	.1053	7.75	3.40	0.200	13.2	550	462	371	5.10	115	0.820
almaal	min	1550	52	.0089	0.79	1.16	0.005	1.05	18	18	3.6	2.00	5	0.020
almaal	mediaan	2680	113	.0225	3.06	2.24	0.060	3.57	50	50	137	3.35	28	0.285

4.2 ONTLEDING VAN GEPUBLISEERDE MODELLE

4.2.1 Die model van Bratby en Marais (1975)

Hierdie model word opgesom deur twee vergelykings wat onderskeidelik die slykkonsentrasie en die totale dikte van die dryflaag voorspel:

$$C_F = K_4 \cdot d_w^{K_5} \cdot Q_s^{-K_6} \quad (1)$$

en

$$(d_b + d_w) = d_w \cdot (a_s^{K_7} + K_8) \cdot a_s^{-K_7} \quad (2)$$

Vergelyking (2) kan gemanipuleer word om die afhanklike veranderlike in terme van onafhanklike veranderlikes te skryf:

$$d_b = d_w \cdot K_8 \cdot a_s^{-K_7} \quad (3)$$

Waardes vir die konstantes K_4 tot K_8 vir verskillende tipes slyk word in onderstaande Tabel 4.2 aanbeveel (Bratby en Ambrose, 1994).

Tabel 4.2 Aanbevole konstantes vir die model van Bratby en Marais (1975). Die konstantes is geldig indien alle ander veranderlikes uitgedruk word in terme van meter (lengte), kilogram (massa) en dae (tyd).

Konstante	Geaktiveerde slyk normaal verdigbaar	Geaktiveerde slyk swak verdigbaar
K_4	30.00	31.75
K_5	0.22	0.20
K_6	0.30	0.50
K_7	0.45	0.45
K_8	0.76	0.76

In hierdie studie word meter (lengte) en kilogram (massa) konsekwent gebruik. Tyd word op twee maniere uitgedruk. Vir soliedes belasting Q_s word uur gebruik ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$) en vir die

effektiewe dreinerings tyd t_e word minute gebruik. Met inagnome van hierdie keuse van eenhede, kan Vergelyking (1) kan, met substitusie van die konstantes in Tabel 2, vir hierdie studie aangepas word om 'n direkte verband vir die verskillende slykgevalle te gee. Vir 'n normale verdigbare slyk word die volgende verkry:

$$C_F = 11.56 \cdot d_w^{0.22} \cdot Q_s^{-0.30} \quad (4)$$

Netso word vir 'n swak verdigbare slyk die volgende verkry:

$$C_F = 6.124 \cdot d_w^{0.20} \cdot Q_s^{-0.50} \quad (5)$$

Op 'n soortgelyke manier kan Vergelyking (3) herskryf word vir beide normaal en swak verdigbare slyk:

$$d_b = 0.76 \cdot d_w \cdot a_s^{-0.45} \quad (6)$$

Die Bratby/Marais model kan dus gebruik word om twee afhanklike parameters mee te voorspel. Elkeen van die afhanklike parameters word met twee onafhanklike parameters voorspel; sogenaamde twee-parameter modelle. Die model maak nie voorsiening vir die voorspelling van die uitlaatkonsentrasie van swewende stowwe nie.

4.2.2 Die model van Bratby en Ambrose (1994)

Hierdie model is 'n hersiene weergawe van die model van Bratby en Marais (1975). Die effektiewe dreinerings tyd van die dryflaag word as 'n nuwe veranderlike gebruik:

$$t_e = \frac{t_c}{t_o} \cdot \frac{L}{v} \quad (7)$$

Die dryflaagkonsentrasie en die dryflaagdiepte onder die watervlak word as volg voorspel:

$$C_F = K' \cdot t_e^{\frac{K_5}{1+K_5}} \quad (9)$$

$$d_b = \frac{Q_s \cdot t_e^{\frac{1}{1+K_5}}}{10 \cdot K'} \cdot \left(1 + \frac{K_8}{a_s^{K_7}} \right) - d_w \quad (8)$$

Die konstantes is steeds dieselfde as in Tabel 4.2. Die hulpveranderlike K' word as volg gedefinieer:

$$K' = \left(\frac{K_4}{Q_s^{K_6-K_5} \cdot 10^{K_5}} \right)^{\frac{1}{1+K_5}} \quad (10)$$

Vergelyking (8) kan met die aannames soos in Paragraaf 4.2.1 herskryf word vir normaal verdigbare slyk:

$$C_F = 2.347 \cdot Q_s^{-0.06557} \cdot t_e^{0.1803} \quad (11)$$

Vir swak verdigbare slyk word dit:

$$C_F = 1.634 \cdot Q_s^{-0.25} \cdot t_e^{0.1667} \quad (12)$$

Vergelyking (9) word op soortgelyke manier herskryf vir normaal verdigbare slyk:

$$d_b = 7.102 \cdot 10^{-4} \cdot Q_s^{1.066} \cdot t_e^{0.8197} \cdot (1 + 0.76 \cdot a_s^{-0.45}) - d_w \quad (13)$$

Vir swak verdigbare slyk, word dit:

$$d_b = 1.020 \cdot 10^{-3} \cdot Q_s^{1.25} \cdot t_e^{0.8333} \cdot (1 + 0.76 \cdot a_s^{-0.45}) - d_w \quad (14)$$

Die model van Bratby en Ambrose (1994) verskil in 'n paar belangrike opsigte van die model van Bratby en Marais (1975):

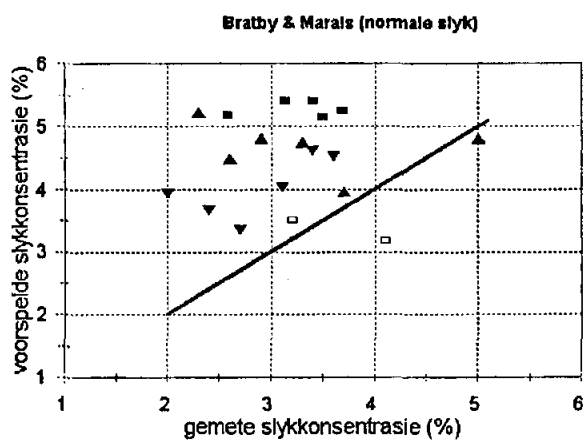
- Om die slykkonsentrasie te voorspel, gebruik beide modelle twee parameters. Die latere model gebruik egter t_e in die plek van d_w .
- Om die dryflaagdiepte onder die watervlak te voorspel, gebruik die latere model vier parameters teenoor die oorspronklike model se twee. Die parameter a_s word weggelaat, en drie nuwe parameters word ingevoer. Die struktuur van die model word verander deurdat die totale dryflaagdiepte ($d_b + d_w$) onafhanklik van d_w voorspel word, en d_w dan bloot afgetrek word. Die parameter Q_s se rol word ook omgekeer, vanaf 'n negatiewe eksponent tot 'n positiewe eksponent.

4.2.3 Voorspelling van die dryflaagkonsentrasie

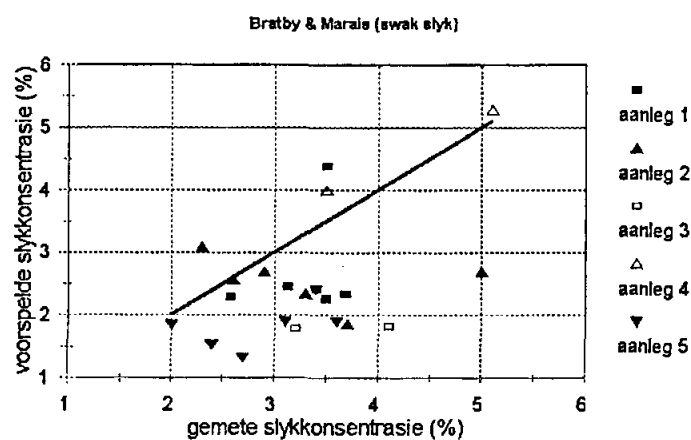
Die data wat tydens hierdie ondersoek ingesamel is, is gebruik om die dryflaagkonsentrasie te voorspel met Vergelykings (4), (5), (11) en (12). Die voorspelde waardes is deurgaans teenoor die gemete waardes geplot. Die passing van die model van Bratby en Marais (1975) word in Figuur 4.1 (normaal verdigbare slyk) en Figuur 4.2 (swak verdigbare slyk) getoon. Die passing van die model van Bratby en Ambrose (1994) word in Figuur 4.3 (normaal verdigbare slyk) en Figuur 4.4 (swak verdigbare slyk) getoon.

Die model van Bratby en Marais (1975) is korrek insoverre die meeste gemete datapunte tussen die normaal en swak verdigbare grensgevalle val. Slegs vier datapunte toon swakker verdigting as wat vir swak verdigbare slyk voorspel word, en slegs twee datapunte toon beter verdigting as wat vir normaal verdigbare slyk voorspel word. Daar is egter geen aanduiding dat die onderliggende struktuur van die model deur die verloop van die datapunte ondersteun word nie.

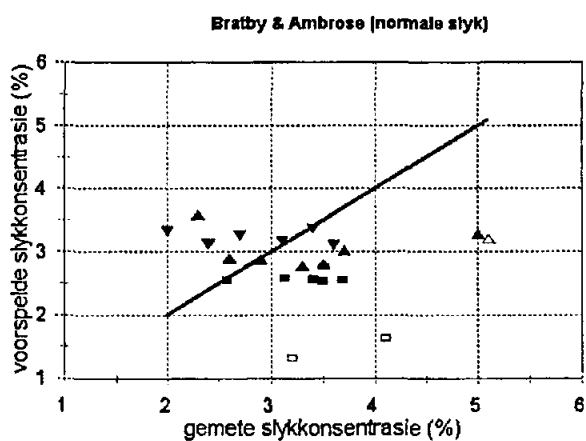
Die model van Bratby en Ambrose (1994) maak minder akkurate voorspellings as die model van Bratby en Marais (1975). Die voorspelling vir normaal verdigbare slyk sny nagenoeg deur die middel van die datagroep, maar die voorspellings vir swak verdigbare slyk is ooglopend te laag. In hierdie geval is daar nog minder aanduiding dat die onderliggende struktuur van die model deur die verloop van die datapunte ondersteun word.



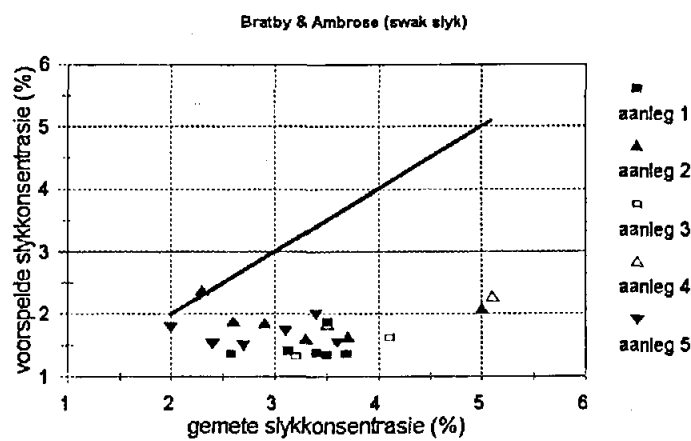
Figuur 4.1



Figuur 4.2



Figuur 4.3



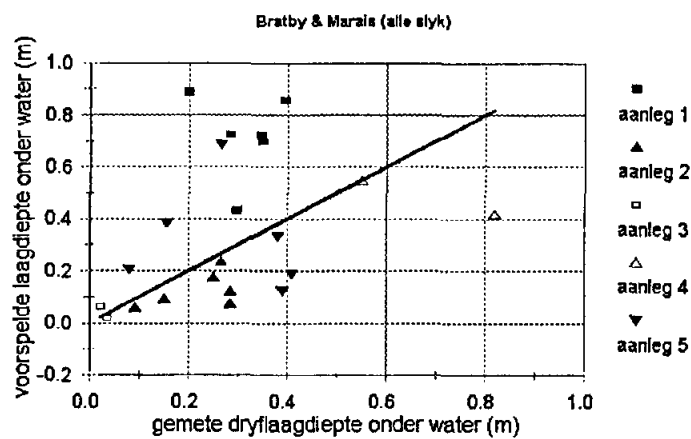
Figuur 4.4

4.2.3 Voorspelling van die dryflaagdiepte onder die watervlak

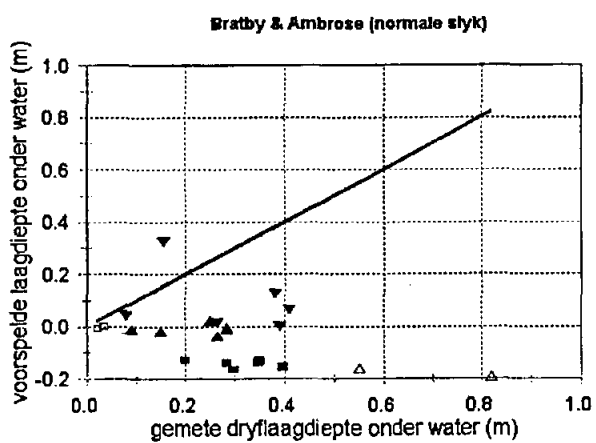
Die data wat tydens hierdie ondersoek ingesamel is, is gebruik om die dryflaagdiepte onder die watervlak te voorspel met Vergelykings (6), (13) en (14). Die voorspelde waardes is deurgaans teenoor die gemete waardes geplot. Die passing van die model van Bratby en Marais (1975) word in Figuur 4.5 (wat geld vir beide normale en moeilik verdigbare slyk) getoon. Die passing van die model van Bratby en Ambrose (1994) word in Figuur 4.6 (normale slyk) en Figuur 4.7 (moeilik verdigbare slyk) getoon.

Die model van Bratby en Marais (1975) toon 'n baie swak verband, alhoewel die voorspellingslyn nagenoeg deur die middel van die datagroep sny. Daar is geen aanduiding dat die struktuur van die model deur die data ondersteun word nie.

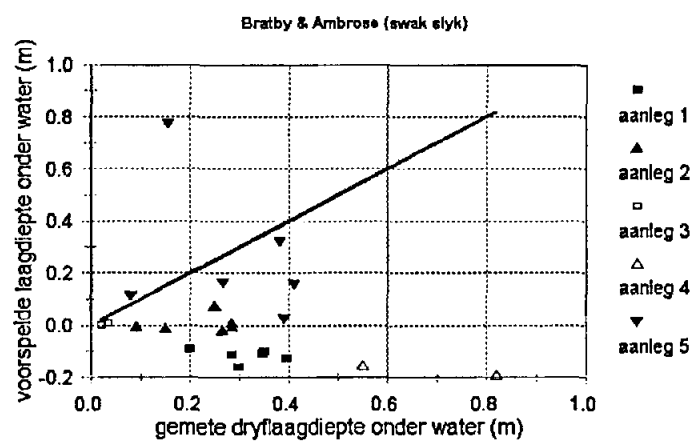
Die model van Bratby en Ambrose (1994) maak nie naastenby betroubare voorspellings nie. Nie net is die passing swak nie, maar die data wys skynbaar 'n tendens wat teenoorgesteld is van die voorspellingslyn. Die voorspelde waardes is ook meestal negatief, wat natuurlik fisies onmoontlik is.



Figuur 4.5



Figuur 4.6



Figuur 4.7

4.3 ONTWIKKELING VAN REGRESSIEMODELLE VANAF EIE DATA

4.3.1 Verwydering van kollineariteit

Die eerste toets vir meervoudige regressie is of die “onafhanklike” veranderlikes werklik onafhanklik in die streng statistiese sin van die woord is. Waar daar byvoorbeeld sterk onderlinge verbande tussen sommige onafhanklike veranderlikes bestaan, word daar nie werklik “nuwe” inligting bygevoeg wanneer ‘n ekstra onafhanklike veranderlike by die regressiemodel gevoeg word nie. In hierdie geval, byvoorbeeld, word ‘n aantal snelhede (hidrouliese belasting op flottasiesone, hidrouliese belasting op die kontakzone, en die deurvloeisnelheid tussen die kontak- en flottasiesones) as onafhanklike veranderlikes beskou. In werklikheid word hierdie verskillende snelhede bereken vanaf verskillende dele van die flottasiereaktor se geometrie en *dieselfde* vloeitempo. Netso word die belasting van swewende stowwe onder andere bereken vanaf die konsentrasie van swewende stowwe in die inlaatwater, terwyl altwee parameters as “onafhanklike” parameters in Tabel 4.1 gelys word. Dit kan dus verwag word dat daar ‘n mate van kollineariteit tussen die onafhanklike veranderlikes sal voorkom.

‘n Ontleding is op die onafhanklike veranderlikes uitgevoer om hierdie vermoede te bevestig. Alhoewel daar ‘n mate van kollineariteit tussen die meeste onafhanklike veranderlikes gevind is, was daar egter net een sterk verband, naamlik tussen die hidrouliese belasting op die kontakzone en die deurvloeisnelheid. Die deurvloeisnelheid, wat as ‘n minder kritiese parameter as die hidrouliese belasting op die kontakzone beskou word, is daarom as ‘n onafhanklike veranderlike van verdere oorweging geskrap. Die datastel in Tabel 4.1 is sodoende gereduseer van tien na nege onafhanklike veranderlikes, terwyl aldrie afhanklike veranderlikes behou is.

4.3.2 Regressiemodelle en passingstegnieke

Twee tipes modelle is in hierdie studie getoets. Die eerste model is ‘n additiewe of reglynige regressiemodel met die vorm:

$$Y = a + b.X_1 + c.X_2 + \dots \quad (1)$$

Die tweede is 'n multiplikatiewe of eksponensiële model met die vorm:

$$Y = a.X_1^b.X_2^c. \quad (2)$$

wat vir passingsdoeleindes getransformeer kan word na:

$$\log Y = \log a + b.\log X_1 + c.\log X_2 + \quad (3)$$

In alle gevalle is beide additiewe en multiplikatiewe modelle getoets. Modelle is terselfdertyd gepas met 1, 2, 3 en 4 onafhanklike veranderlikes; hier genoem een-, twee-, drie- of vier-parameter modelle.

Die regressiemodelle is met voorwaartse passing ontwikkel. Dit beteken dat die beste een-parameter model eerstens gevind is deur al nege onafhanklike parameters stelselmatig deur te werk. Daardie onafhanklike parameter is vervolgens as die eerste parameter in 'n volgende twee-parameter model behou en die beste tweede parameter is uit die oorblywende agt onafhanklike parameters gevind. Hierdie twee parameters is vervolgens as die eerste twee parameters in 'n volgende drie-parameter model behou en die beste derde parameter is uit die oorblywende sewe onafhanklike parameters gevind, ensovoorts. Die passings is nie verder gevoer as vir vier-parameter modelle nie omdat die voorspellingswaarde feitlik konstant bly met modelle met mer as vier parameters, en ook omdat meer ingewikkelde modelle nie van veel waarde in die praktyk sal wees nie.

4.3.2 Regressiemodelle vir die dryflaagkonsentrasie

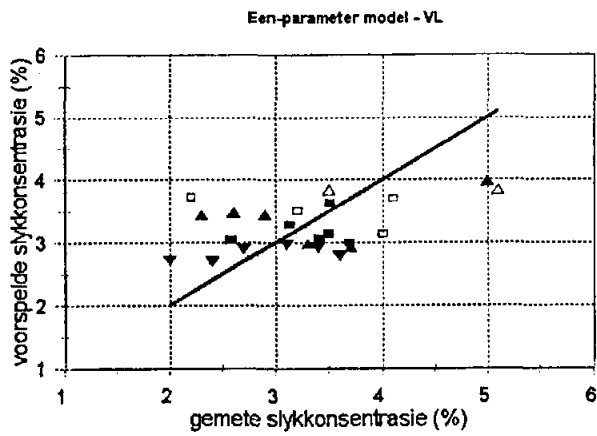
Die multiplikatiewe regressiemodel kon beter gepas word as die additiewe model. Die resultate van die vier beste regressiemodelle, soos gemeet aan die korrelasiekoëffisiënt, word in Tabel 4.3 aangegee.

Tabel 4.3 Beste regressiemodelle vir die dryflaagkonsentrasie.

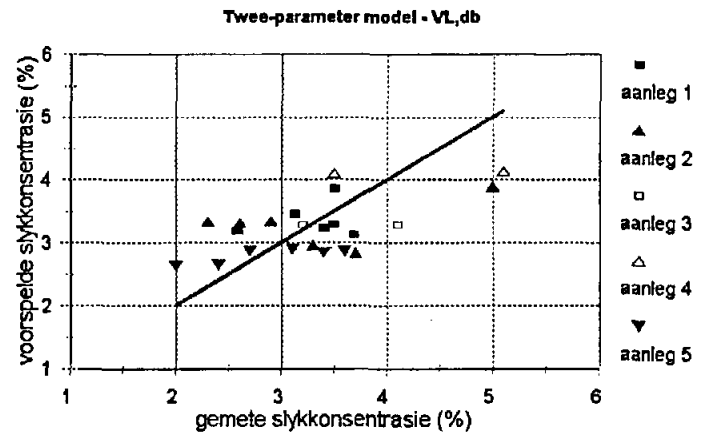
	Konstante	Eksponent				r^2
Aantal parameters	(-)	V_L (m.h ⁻¹)	d_w (m)	SS_{in} (mg.l ⁻¹)	SVI (ml.g ⁻¹)	(-)
1	4.193	-0.3593				0.2698
2	4.931	-0.3856	0.05135			0.3189
3	2.081	-0.3840	0.05653	0.1106		0.3483
4	1.090	-0.3945	0.04602	0.1318	0.09505	0.3729

Die voorspelde dryflaagkonsentrasies word teenoor die gemete konsentrasies geplot in Figuur 4.8, 4.9, 4.10 en 4.11 vir die een-, twee-, drie- en vier-parameter modelle onderskeidelik. Die direkte plot vir die een-parameter model word in Figuur 4.12 gegee.

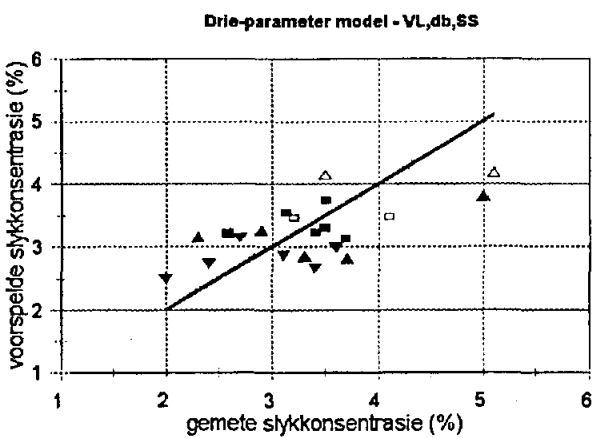
Die beste regressiemodelle gee nie 'n baie betroubare voorspelling nie. Die korrelasiekoëffisiënt begin maar by 0.27 en is selfs vir die vier-parameter model net 0.37. Daar is ook geen aanduiding dat daar konsekwente verskille tussen verskillende aanlegte is nie - 'n verskynsel wat dalk die swak passing sou kon veroorsaak het. (As daar ander belangrike verskille tussen die aanlegte is wat nie by die gekose onafhanklike parameters ingesluit is nie, sal dit enige werklik goeie passing onmoontlik maak.)



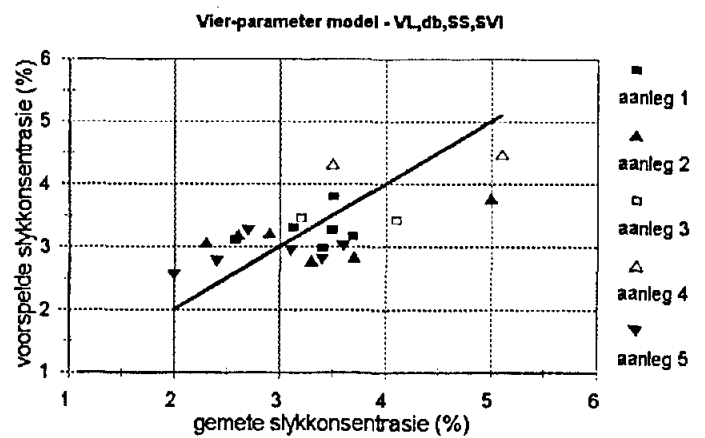
Figuur 4.8



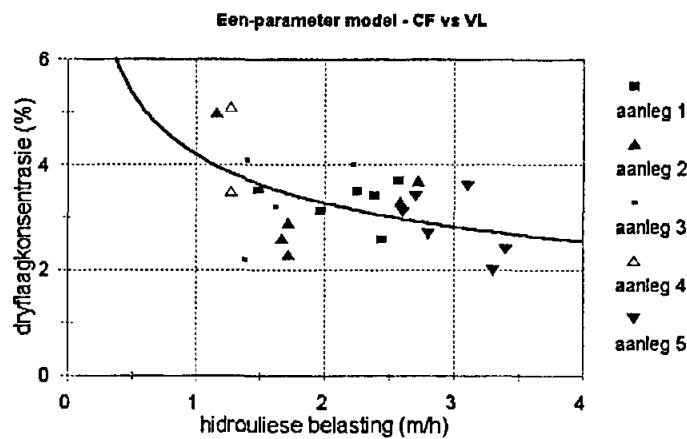
Figuur 4.9



Figuur 4.10



Figuur 4.11



Figuur 4.12

4.3.3 Regressiemodelle vir dryflaagdiepte onder die watervlak

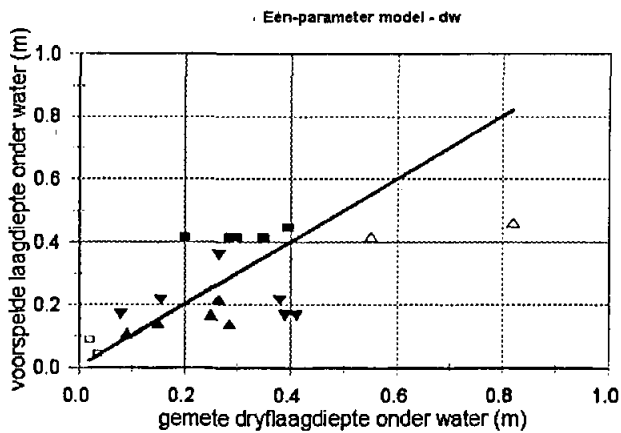
Die multiplikatiwe regressiemodel kon beter gepas word as die additiewe model. Die resultate van die vier beste regressiemodelle, soos gemeet aan die korrelasiekoëffisiënt, word in Tabel 4.4 aangegee.

Tabel 4.4 Beste regressiemodelle vir die dryflaagdiepte onder die watervlak.

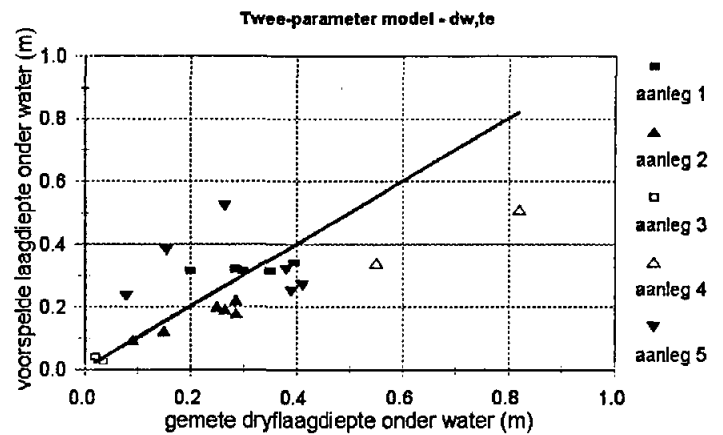
	Konstante	EkspONENT				r^2
Aantal parameters	(-)	d_w (m)	t_e (min)	Q_s $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$	SS_{in} (mg.l^{-1})	(-)
1	1.280	0.6322				0.5311
2	0.6064	0.6503	0.5325			0.7083
3	0.9360	0.7131	0.6174	-0.4316		0.7935
4	34.85	0.6677	0.5336	-0.2871	-0.4730	0.8193

Die voorspelde dryflaagkonsentrasies word teenoor die gemete konsentrasies geplot in Figuur 4.13, 4.14, 4.15 en 4.16 vir die een-, twee-, drie- en vier-parameter modelle onderskeidelik. Die direkte plot vir die een-parameter model word in Figuur 4.17 gegee.

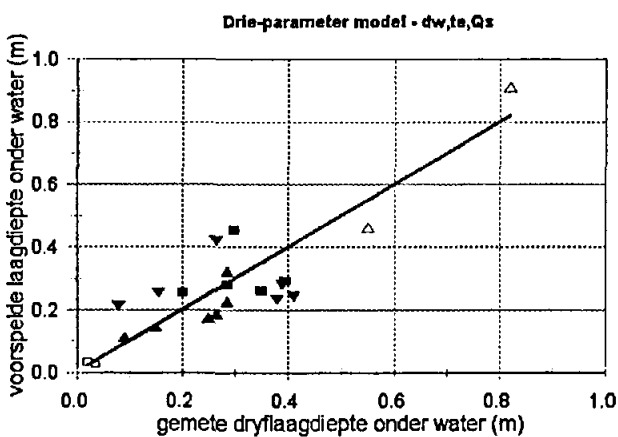
Die beste regressiemodelle gee in hierdie geval 'n beter voorspelling. Die korrelasiekoëffisiënt begin by 0.53 en styg tot 0.79 vir die drie-parameter model, waarna daar nie betekenisvolle verdere verbetering is nie. Daar is ook aanduiding van konsekwente verskille tussen verskillende aanlegte. Aanleg 4 se drylaagdiepte is konsekwent dunner as voorspel (alle modelle), en Aanleg 1 se dryflaagdiepte konsekwent dikker as voorspel (slegs een-parameter model).



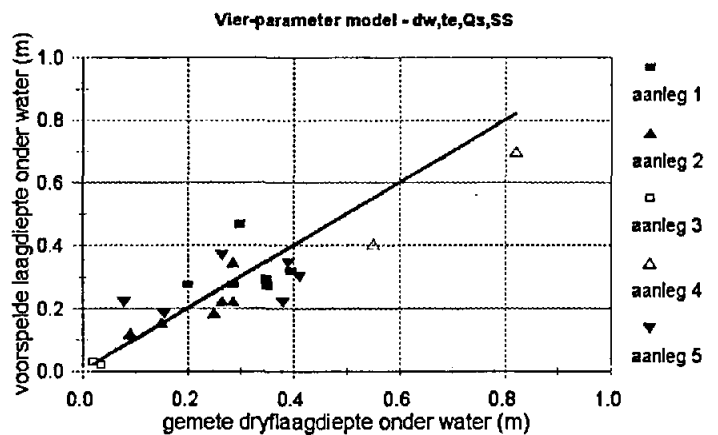
Figuur 4.13



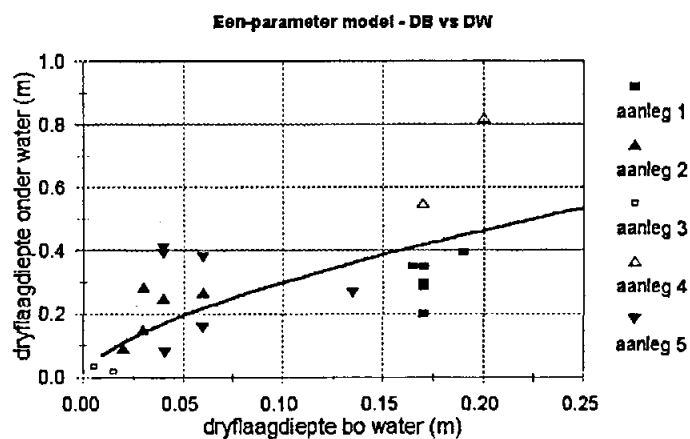
Figuur 4.14



Figuur 4.15



Figuur 4.16



Figuur 4.17

4.3.4 Regressiemodelle vir die swewende stowwe in die uitvloeewater

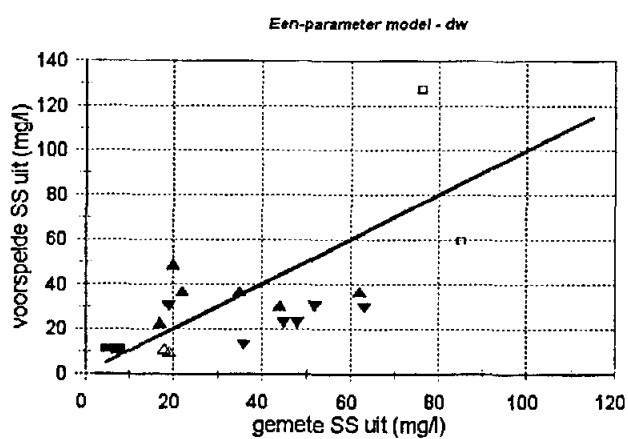
Die multiplikatiwe en additiwe regressiemodelle kon nagenoeg ewe goed met behulp van die data gepas word. Die resultate van die multiplikatiwe model word hier gerapporteer. Die resultate van die vier beste regressiemodelle, soos gemeet aan die korrelasiekoëffisiënt, word in Tabel 4.5 aangegee.

Tabel 4.5 Beste regressiemodelle vir die uitlaatkonsentrasie van swewende stowwe.

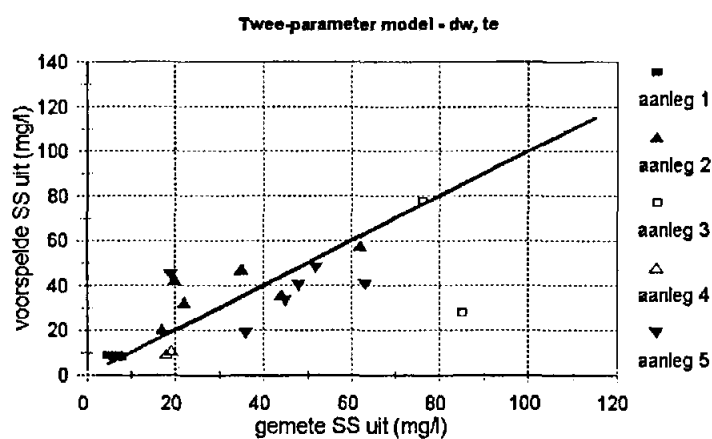
	Konstante	Eksponent				r^2
Aantal parameters	(-)	d_w (m)	t_o (min)	SS_{in} (mg.l ⁻¹)	SVI (ml.g ⁻¹)	(-)
1	3.305	-0.6894				0.5700
2	1.600	-0.6719	0.5172			0.7209
3	4.909×10^{-3}	-0.6344	0.6024	0.7275		0.7963
4	4.737×10^{-4}	-0.6889	0.4918	0.7720	0.4155	0.8194

Die voorspelde konsentrasie van swewende stowwe in die uitlaatwater word teenoor die gemete konsentrasies geplot in Figuur 4.18, 4.19, 4.20 en 4.21 vir die een-, twee-, drie- en vier-parameter modelle onderskeidelik. Die direkte plot vir die een-parameter model word in Figuur 4.22 gegee.

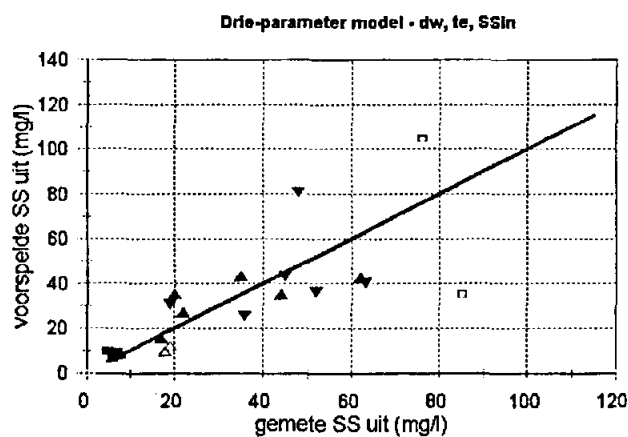
Die beste regressiemodelle gee in hierdie geval 'n redelike goeie voorspelling. Die korrelasiekoëffisiënt begin by 0.57 en styg tot 0.80 vir die drie-parameter model, waarna daar nie betekenisvolle verdere verbetering is nie. Daar is geen aanduiding van konsekwente verskille tussen verskillende aanlegte nie.



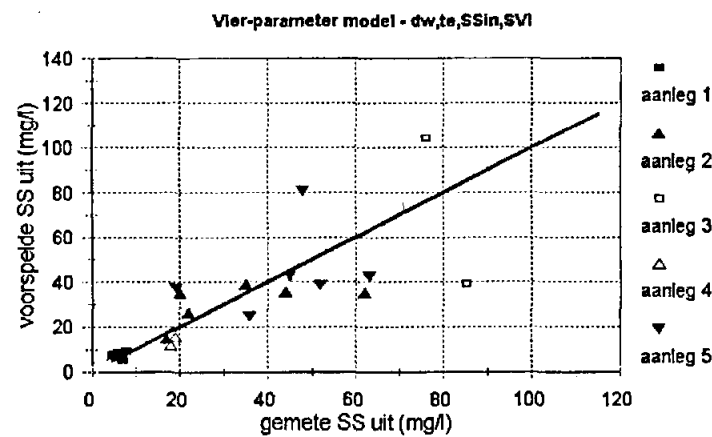
Figuur 4.18



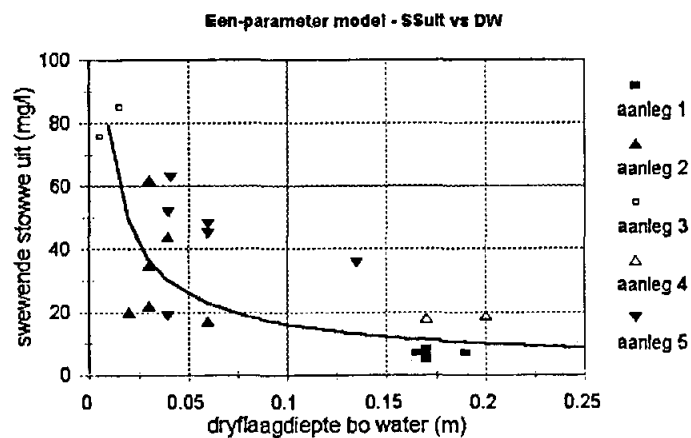
Figuur 4.19



Figuur 4.20



Figuur 4.21



Figuur 4.22

5. EVALUASIE VAN RESULTATE

In hierdie hoofstuk word elke prosesveranderlike individueel beoordeel in die lig van teoretiese oorwegings, vorige gepubliseerde werk, en in hoe 'n mate nuwe insig verkry is deur die resultate van hierdie studie.

5.1 LUGBENODIGDHEDE

Die hoeveelheid lug wat tot die slykmengsel toegevoeg word, speel 'n sleutelrol in slykverdikking (bv. Bratby & Marais, 1976; Langenegger & Viviers, 1978; Roberts *et al*, 1978). Om die slykpartikels opwaarts na die dryflaag te beweeg, moet genoeg borrels aan die partikels vasheg om 'n positiewe opdryfkrag te veroorsaak. Hoe meer partikels, hoe meer lug word benodig; dit volg dus dat 'n vaste lug/soliedes verhouding gehandhaaf moet word. Ettelt het reeds in 1964, deur gemete stygtempos met berekende stygtempos te vergelyk, gewys dat die lugeffektiwiteit laer is as 11%, wat beteken dat die grootste gedeelte van die lug geen nuttige doel dien nie. Meer onlangs het Haarhoff & Steinbach (1997) die moontlike lugverliese sistematies ontleed en tot dieselfde gevolgtrekking gekom, naamlik dat lugeffektiwiteit baie laer is as wat algemeen aanvaar word, en baie tussen verskillende aanlegte kan verskil. Daarby word baie min aandag aan die details van die inspuithossels gegee in die verdikkingsliteratuur, in teenstelling met die verhelderingsliteratuur waar die belangrike rol van die inspuithossels onteenseglik bewys is (Rykaart & Haarhoff, 1995). As 'n algemene stelling, egter, kan aanvaar word dat die hoeveelheid lug tenminste 'n noodsaaklike vereiste vir suksesvolle opgelosteflottasie is.

Die modelle van Bratby & Marais (1975) en Bratby & Ambrose (1994) sluit nie a_s as 'n voorspeller van C_F in nie. Beide modelle gebruik egter a_s as 'n voorspeller van d_b . Omdat a_s die stygtempo van die partikels sowel as d_b beïnvloed, kan dit wel indirek tot 'n hoër waarde vir C_F lei. Daar is egter geen direkte verband tussen a_s en C_F nie.

In hierdie studie was a_s nie een van die top vier voorspellers van C_F , d_b of SS_{uit} nie. Dit versterk die gevolgtrekking dat 'n sekere minimum a_s nodig is om die proses te laat werk, maar dat enige bykomende lug nie die prestasie verbeter. In hierdie studie was a_s gewoonlik meer 0,02 wat die gebruikelike minimum riglyn is.

5.2 SLYKEIENSKAPPE

'n Aantal studies het reeds gewys dat nie alle tipes slyk eenders reageer op opgelostelugflottasie nie (bv. Bratby & Marais, 1975; Langenegger & Viviers, 1978; Roberts *et al*, 1978). Bratby & Marais (1975) het vir hierdie verskynsel gekompenseer deur twee slyktipes voor te stel, naamlik "normaal" en "swak besinkbaar". Met die uitsondering van zeta-potensiaal (Roberts *et al*, 1978), wat toevallig geen sistematiese effek getoon het nie, is baie min inligting beskikbaar oor die effek van fundamentele slyk-eienskappe en -reologie.

5.2.1 Die rol van SVI

Sommige studies (Langenegger & Viviers, 1978; Gulas *et al*, 1980) het 'n besliste verband tussen C_F en die slykvolume-indeks (SVI) gevind. (SVI word wyd gebruik om die besinkbaarheid van slyk mee te karakteriseer.) Hoe hoër die SVI was, hoe laer was die C_F wat bereik kon word. Bratby & Marais (1975) het nie hierdie verskynsel gemeet nie. Dit was later ook genoem dat SVI slegs 'n primitiewe indikasie van die slyk se karakter gee en dat meer gesofistikeerde metodes gebruik behoort te word (Halliday, 1978). Bratby en Ambrose (1994) het later wel SVI gebruik om te onderskei tussen tydperke waar die slyk met minder of meer sukses verdik is.

Die regressiemodelle wat in hierdie studie ontwikkel is, wys nie dat SVI 'n belangrike veranderlike is nie. Vir die voorspelling van C_F en d_b , is dit slegs die vierde beste voorspeller (waar dit in elk geval nie betekenisvol bydra tot die verbetering van die passing nie), en vir SS_{uit} nie eers een van die beste vier nie.

5.2.2 Die rol van SS_{in}

Langeneegr en Viviers (1978) het in hulle laboratoriumwerk gevind dat C_F wel beïnvloed is deur SS_{in} ; hoe hoër SS_{in} , hoe hoër C_F . Hierdie bevinding is later herhaal deur Gulas *et al* (1980).

Die resultate van hierdie studie het ook gewys dat SS_{in} die derde beste voorspeller van C_F is.

5.3 UITLEG VAN KONTAKSONE

Die kontakstone is die plek waar die slykpartikels en lugborrels vir die eerste keer meng om stabiele agglomerate te vorm. (Hierdie sone is vantevore ook die “witwatersone”, “mengsone” en “reaksiesone” genoem, maar op ‘n internasionale konferensie in 1994 in Orlando is die term “kontakstone” in die belang van konsekwente terminologie aanvaar.) Die prosesse in die kontakstone kan vergelyk word met drie-fase flokkulasie waar water, partikels en lugborrels met mekaar gemeng word. Analooq aan konvensionele twee-fase flokkulasie, kan aanvaar word dat die *mengtyd* sowel as die *mengintensiteit* belangrik moet wees. In een van die vroegste flottasiestudies het Ettelt (1964) verklaar dat die kontakstone “...was the most critical structural feature for flotation...” In sy werk het hy ook aangetoon dat ses verskillende konfigurasies verskillende effekte het, met al die ander veranderlikes onveranderd. Ondanks hierdie vroeë riglyn, het die navorsing sedertdien die skeidingsone eerder as die kontakstone beklemtoon. Daar was tot onlangs dus geen riglyne vir die kontakstone beskikbaar nie. Haarhoff & Van Vuuren (1993) het ‘n eerste poging hiertoe aangewend om die hidrouliese retensietyd in en gemiddelde vloeisnelheid deur die kontakstone as growwe maatstawwe van mengtyd en mengintensiteit te gebruik, met ‘n verdere voorstel om die gemiddelde deurvloeisnelheid vanaf die kontakstone na die skeidingsone te beperk om oormatige turbulensie in die skeidingsone te vermy.

Die resultate van hierdie studie wys dat nie een van hierdie kontakstone-parameters belangrik is nie; hulle kom nie voor in die top vier voorspellers van enige van die drie afhanklike parameters nie. Dit beteken nie dat die kontakstone nie belangrik is nie, maar eerder dat ander, meer beskrywende parameters dalk gevind moet word.

5.4 UITLEG VAN SKEIDINGSONE

Na die kontakstone vloei die water na die skeidingsone, waar kalm toestande vereis word om die agglomerate na die dryflaag te laat styg. Dit word verseker deur of die hidrouliese belasting v_L of die soliedes belasting Q_s te beperk. Vir verheldering waar die slykkonsentrasie baie laag is, is die hidrouliese belasting die beperkende faktor, vir slykverdikking geld die teenoorgestelde. Die effek van Q_s is reeds in verskeie studies gemeet (bv. Ettelt, 1964; Langenegger & Viviers, 1978; Roberts *et al*, 1978).

5.4.1 Die rol van Q_s

Die vroeë werk van Ettelt (1964) het 'n maksimum waarde van $3 \text{ kg.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ aangedui. Later is die aanbevelings vir die maksimum Q_s verhoog na $8 \text{ kg.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ (Halliday, 1978) en $10 \text{ kg.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ (Langenegger & Viviers, 1978). Onlangs is 'n hersiene waarde van 2 tot $6 \text{ kg.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ voorgestel vir geaktiveerde slyk sonder die gebruik van koagulante (Haarhoff & Van Vuuren, 1993).

Die model van Bratby & Marais (1975) het Q_s as 'n voorspeller van C_F bevat, met C_F ongeveer omgekeerd eweredig aan die vierkantswortel van Q_s . Die model van Bratby & Ambrose (1994) bevat ook Q_s as voorspeller van C_F , maar met 'n heelwat kleiner eksponent wat die effek natuurlik kleiner maak. Die meganisme wat Q_s belangrik behort te maak, is dat Q_s die vertikale stygtempo van die dryflaag beheer, en sodoende ook te beïnvloed. In hierdie studie, verrassend genoeg, was Q_s nie een van die top vier voorspellers van C_F nie.

Die model van Bratby & Marais (1975) het nie Q_s as voorspeller van d_b bevat nie, maar die later model van Bratby & Ambrose (1994) wel, met ongeveer 'n liniêre verband tussen d_b en Q_s . Hierdie studie het nie Q_s as een van die top vier voorspellers van d_b uitgewys nie.

5.4.2 Die rol van v_L

Alhoewel die literatuur nie v_L as een van die belangrike veranderlikes vir slykverdikking uitgewys het nie, het hierdie studie dit tog as die heel beste voorspeller van C_F uitgewys. Alhoewel dit nie 'n baie sterk korrelasie getoon het nie, dui dit tog aan dat v_L nie heeltemal in slykverdikking geïgnoreer moet word nie.

5.5 DRYFLAAGDIEPTE EN -POSISIE

Bratby & Marais (1975) het 'n elegante, oortuigende meganisme vir slykverdikking in die dryflaag voorgestel. Drie belangrike hoogtes word in die verduideliking gebruik: a) die top van die dryflaag (wat bepaal word deur die onderste rand van die skraapmeganisme), b) die watervlak binne die dryflaag (dieselfde as die top van die watervlak by die uitlaat) en c) die onderkant van die dryflaag. Die afstand tussen die watervlak en die top van die dryflaag is

d_w , en die afstand tussen die watervlak en die onderkant van die dryflaag is d_b . Die totale dryflaagdikte is dus $(d_b + d_w)$. Slykverdikking kan gedeeltelik verduidelik word deur die lug wat van onder teen die dryflaag druk, en dus water uit die versadigde gedeelte van die dryflaag pers. Die belangrikste verdikkingsmeganisme is egter die water wat uit die boonste gedeelte van die dryflaag onder swaartekrag na die watervlak dreineer. Langenegger & Viviers (1978) het dan ook hierdie gepostuleerde konsentrasiegradiënt in die dryflaag gemeet, met 'n konsentrasie van 5,0% in die top van die dryflaag, 3,3% op die watervlak en 2,8% onder die watervlak. Die onafhanklike veranderlike d_b (verstelbaar deur die uitlaat en/of die skrapper) is dus van groot belang vir C_F . Die diepte onder die dryflaag d_b is 'n afhanklike veranderlike wat ook voorspel moet kan word, omdat 'n buitengewone dik dryflaag die laterale vloeitempo van die water onder die dryflaag kan verhoog totdat die dryflaag van onder weggekalwe word.

5.5.1 Die rol van d_w

Die model van Bratby & Marais (1975) het d_w gebruik vir die voorspelling van beide C_F en d_b . Die model van Bratby & Ambrose het egter nie d_w vir die voorspelling van C_F nie, en ook d_w op 'n ander manier vir die voorspelling van d_b gebruik (sien vorige vergelykings).

Hierdie studie het wel d_w as 'n belangrike veranderlike uitgewys. Dit is die tweede beste voorspeller van C_F , soos uit die meganisme hierbo verwag kan word. Dit is vanselfsprekend ook die belangrikste voorspeller van d_w , omdat 'n vaste verhouding tussen d_w en d_b intuïtief verwag word. Verrassend genoeg, is d_w ook die beste voorspeller van SS_{uit} . Dit is 'n indirekte gevolg van praktiese probleme wat met slykskraping ondervind word, wat later bespreek sal word.

5.5.2 Die rol van t_e

Bratby & Ambrose (1994) het t_e gedefinieer en as 'n voorspeller van beide C_F en d_b in hulle model ingebou. Hierdie studie het nie t_e as een van die top vier voorspellers van C_F uitgewys nie, maar wel t_e as die tweede beste voorspeller van beide d_b en SS_{uit} . Dit bevestig die belangrike rol wat t_e in slykverdikking speel.

5.6 DRYFLAAGVERWYDERING

Die teoretiese beskouing van slykverwydering is dat die lem van die slykskraper die dryflaag netjies kloof en net die boonste gedeelte verwyder sonder om die oorblywende onderste gedeelte te versteur. Hierdie situasie word wel aangetref in baie klein tenkies of in laboratorium-toetskolomme. Langenegger & Viviers (1975) kon byvoorbeeld net 5mm van die dryflaag afskil. Bratby & Marais (1975) het verseker dat die dryflaag nie versteur word nie deur 'n stabiliseringsrooster op die top van die dryflaag te plaas. In 'n gewone volskaalse tenk word die dryflaag egter ernstig deur die slykskraper versteur, waarteen Ettelt reeds in 1964 gewaarsku het as "...excessive flight and scraper operation..." Die versteuring neem 'n paar vorme aan, naamlik disintegrasie (dele van die laag breek af en sink na onder), vervorming (die dryflaag word ondertoe gedruk deur die skraper en styg weer nadat die skraper verby is) en rol (as die dryflaag in stroke skeur en onder die skraper deurrol). Die tipes probleme en moontlike oplossings is elders breedvoerig bespreek (Haarhoff & Van Vuuren, 1993). Die meeste aanlegte, insluitende die wat in hierdie ondersoek gemonitor is, het slykskrapers wat baie vêr van die ideale geval afwyk. Die dryflae word deur die skrapers op die oppervlakte rondgestoot, en daar is dikwels vir 'n kort rukkie geen teken van 'n dryflaag net agter die skraper nie. Dit verduidelik die probleme wat vroeër reeds bespreek is om 'n konstante dryflaagdikte op verskillende posisies in die tenk te meet.

Oor die algemeen gee die regressie-modelle van hierdie studie, selfs met soveel as vier parameters, swak voorspellings van C_F en effens beter voorspellings van d_b en SS_{uit} , ondanks die feit dat feitlik alle moontlike parameters in ag geneem is. Die hoofrede hoekom die voorspellings onbevredigend is, volgens die mening van die skrywers, is die versteuring wat deur die slykskrapers veroorsaak word. As 'n bewys is die verbasende resultaat dat d_w die beste voorspeller van SS_{uit} is, ondanks die feit dat die bokant van die dryflaag nie eers fisies in kontak is met die water wat die tenk verlaat nie! Hierdie onmoontlike resultaat kan slegs verklaar word indien die slykskraper die dryflaag in so 'n mate versteur dat die dryflaag in die water "inge klits" word om sodoende SS_{uit} te verhoog. Hoe dunner die dryflaag, hoe groter sal hierdie effek wees. Die twee aanlegte met die dikste dryflae het ook die laagste SS_{uit} opgelewer, terwyl die twee aanlegte met die dunste dryflae die hoogste SS_{uit} opgelewer het.

Dit is logies dat slykversteuring sal toeneem namate die totale dryflaagdikte verminder. Dit is moeiliker om 'n dik dryflaag horisontaal of vertikaal te skuif, en daarom makliker om net die boonste gedeelte van die dryflaag af te skil. Hierdie argument word gestaaf deur Fig 4.22, wat wys dat daar 'n groot verswakking in waterkwaliteit is wanneer d_w kleiner as omtrent 150mm word. Drie aanlegte het konsekwent laer waardes vir d_w gehad. Dit is ook in ooreenstemming met Langenegger & Viviers (1978) se aanbeveling dat 'n minimum d_w van 300mm in die praktyk gebruik moet word.

6. SAMEVATTING

6.1 GEVOLGTREKKINGS UIT HIERDIE STUDIE

Hierdie projek het gespruit uit die onbevredigende resultate wat met twee vorige opnames verkry is van volskaalse verdikkingsaanlegte wat van opgelostelugflottasie gebruik maak (Roberts *et al*, 1978; Haarhoff & Van Vuuren, 1993). Om hierdie rede is hierdie opname van volskaalse aanlegte beplan met besondere aandag aan die volgende aspekte:

- die insluiting van die wydste moontlike reeks van eksperimentele veranderlikes wat dalk 'n direkte of indirekte invloed op die aanlegprestasie kan hê,
- die gebruik van reproduseerbare, gestandaardiseerde meettegnieke,
- die keuse van vyf verskillende aanlegte wat 'n verteenwoordigende spektrum van volskaalse aanlegtipies dek, maar wat almal geaktiveerde slyk sonder koagulantbyvoeging verdik, en
- herhaalde opvolgbesoeke by elke aanleg oor 'n tydperk van agt maande om verteenwoordigende resultate te kan kry.

Die resultate het weereens wyd gewissel tussen aanleg tot aanleg, en tussen besoek tot besoek. Die vernaamste oorsake hiervan was:

- Die eienskappe van die geaktiveerde slyk wat verdik moes word, het by feitlik al die aanlegte baie gewissel van besoek tot besoek as gevolg van ander faktore,
- Die ontwerpparameters het aansienlik van aanleg tot aanleg gewissel, en
- Die dryflaagdiktes was oor die algemeen veel dunner as die minimum wat normaalweg in die literatuur aanbeveel word. Hierdie bevinding is miskien die belangrikste een van die hele ondersoek. 'n Baie dun dryflaag word veel makliker deur die slykskrapers versteur met 'n gepaardgaande afname in uitvloeiselkwaliteit en slykkonsentrasie.

Gegee die beperking wat deur baie dun dryflae gestel word, kan die volgende kommentaar op vorige gepubliseerde modelle gemaak word:

- Die model van Bratby en Marais (1975) is nie geskik om die prestasie van die aanlegte mee te voorspel nie. Dit is waarskynlik te wyte aan die feit dat die slyklaag in hulle laboratoriumondersoek versigtig en presies afgeskraap kon word, terwyl dit nie die geval was in die aanlegte wat ondersoek is nie.
- Die model van Bratby & Ambrose (1994) is ook nie geskik om die prestasie van die aanlegte mee te voorspel nie. Dit is waarskynlik te wyte aan die feit dat die model getoets is op 'n volskaalse aanleg waar die dryflaagdiktes veel hoër was as wat hier gemeet is (ongeveer 1000 mm teenoor meestal < 150 mm).

Die regressiemodelle wat op die data van hierdie aanlegopnames gepas is, toon dat:

- Die slykkonsentrasie nie beïnvloed word deur die hoeveelheid lug nie, wat daarop dui dat 'n sekere minimum hoeveelheid lug waarskynlik nodig is vir suksesvolle verdikking, maar dat meer lug nie noodwendig die prestasie verbeter nie.
- Die effektiewe dreinerings tyd ('n nuwe veranderlike wat vir die eerste keer in die model van Bratby en Ambrose (1994) gedefinieer is) 'n belangrike flottasie-parameter is omdat dit beide die diepte van die dryflaag onder die watervlak sowel as die uitvloeiselkwaliteit betekenisvol beïnvloed.
- Die dikte van die dryflaag bo die watervlak meer as 150mm moet wees voordat die dryflaagversteuring (en dus die uitvloeiselkwaliteit) binne perke is.

6.2 VERGELYKING MET OORSPRONKLIKE PROJEKDOELWITTE

Die oorspronklike projekdoelwitte was as volg gedefinieer:

6.2.1 Identifiseer die ontwerp- en bedryfsparameters wat die dryflaagkonsentrasie, die uitvloeiselkwaiteit en die diepte van die dryflaag onder die watervlak beïnvloed

Alle parameters wat vantevore in ander studies gemeet is, is met 'n uitvoerige literatuurondersoek gevind en vir hierdie projek oorweeg. Enkele parameters is nie in hierdie studie gemeet nie omdat daar geen logiese rede is waarom dit 'n effek behoort te hê nie; verder is almal in hierdie studie ingesluit. 'n Totaal van 10 onafhanklike en 3 afhanklike parameters is ingesluit. Hierdie doelwit is suksesvol voltooi.

6.2.2 Evalueer die bestaande modelle waarmee slykkonsentrasie en die dryflaagdiepte onder die watervlak voorspel kan word

Daar is slegs twee wiskundige modelle gepubliseer waarmee hierdie veranderlikes voorspel kan word, naamlik die model van Bratby & Marais (1975) en Bratby & Ambrose (1994). Al twee hierdie modelle is gebruik om die prestasie van die aanlegte te voorspel, en nie een van die twee het die gemete prestasie bevredigend voorspel nie. Die redes hiervoor is reeds onder die vorige hofie gegee. Hierdie doelwit is ook suksesvol voltooi.

6.2.3 Vind moontlike nuwe verwantskappe om die slykkonsentrasie, die uitvloeiselkwaliteit en die dryflaagdiepte onder die watervlak mee te voorspel

Die data van hierdie ondersoek is gebruik om met voorwaartse regressie modelle met 1, 2, 3, en 4 parameters onderskeidelik te bou, vir elk van die drie afhanklike veranderlikes, dus 12 regressiemodelle in totaal. Alhoewel hierdie verwantskappe goeie passing vir die data van hierdie ondersoek gee (en dus die doelwit streng gesproke bevredig), is die skrywers huiwerig om dit na die algemene prestasie van verdikkingsaanlegte te veralgemeen, omdat die dryflaagdiktes op die aanlegte veel minder was as wat algemeen gebruik sou word.

6.3 VERDERE NAVORSING

Die resultate van die ondersoek dui 'n aantal interessante, belowende rigtings aan waarvolgens slykverdikking met opgelostelugflottasie verder ondersoek kan word:

- Die bepaling van die kritiese dryflaagdikte, wat so 'n belangrike rol in hierdie ondersoek gespeel het, behoort moontlik te wees deur die dryflaagdikte op 'n volskaalse aanleg sistematies te verander en die verskil in prestasie te meet. Is dit dieselfde vir verskillende aanlegte? Is daar 'n maksimum dikte waarbo ander probleme na vore kom soos slegte reuke in ons warm klimaat, en moeilike hantering van die slyk?
- 'n Herhaling van 'n ondersoek soos hierdie, maar waar die dryflaagdikte orals meer as die minimum van ongeveer 150mm is. Dit sal 'n meer getroue toets van die vorige modelle wees, en ook die regressiemodelle wat dan gevind word, meer verteenwoordigend van slykverdikking in die algemeen te maak.
- Die sistematiese meting van die effek van die "nuwe" parameter t_0 wat in hierdie studie as 'n belangrike flottasieveranderlike uitgewys is. Dit kan baie maklik gemanipuleer word deur bloot die slykskraper en spoed en aan/af-tyd te verstel. Sou dit 'n groot effek hê, sou dit goedkoop en vinnig wees om die skrapers op die groot aantal bestaande slykverdikkingsaanlegte te wysig sodat beter resultate verkry kan word.

6.4 ERKENNINGS

Hierdie projek is moontlik gemaak deur die Waternavorsingskommissie se finansiële ondersteuning, asook die entoesiastiese en gewillige personeel by die volgende aanlegte:

- Daspoort, Pretoria
- Zeekoegat, Pretoria
- Rooiwal, Pretoria
- Verwoerdburg
- Leeuwkuil, Vereeniging

7. BRONNELYS

Bezuidenhout, Erno. (1995) Evaluasie van volskaalse geaktiveerde slykverdikking met opgelostelugflottasie (Evaluation of full-scale thickening of activated sludge with dissolved air flotation). M.Eng thesis submitted to the Rand Afrikaans University, Johannesburg, South Africa.

Bratby, J.R. & Marais, G.v.R. (1975) Dissolved air (pressure) flotation - an evaluation of inter-relationships between process variables and their optimization for design. *Water SA*, Volume 1, Number 2, p57-69.

Bratby, J.R. & Marais, G.v.R. (1976) A guide for the design of dissolved air (pressure) flotation systems for activated sludge processes. *Water SA*, Volume 2, Number 2, p87-100.

Bratby, J.R. and Ambrose, W.A. (1994) Design and control of flotation thickeners. Conference preprints for Flotation Processes in Water and Sludge Treatment, held 24-26 April 1994 in Orlando, Florida, p181-196.

Ettelt, G.A. (1964) Activated Sludge Thickening by Dissolved Air Flotation system. In *Proceedings 19th Industrial Waste Conference*, 1964 Purdue University, p210-244.

Gulas, V., Benefield, L., Lindsay, R. and Randall, C. (1980) Design Considerations for Dissolved Air Flotation. *Water & Sewage Works*, Volume 127, Number 7, p30-31,42

Haarhoff, J. & Van Vuuren, L.R.J. (1993) A South African design guide for dissolved air flotation. Published report to the Water Research Commission, Pretoria, South Africa.

Haarhoff, J., and Steinbach, S. (1997) Towards the Maximal Utilization of Air in Dissolved Air Flotation. *Dissolved Air Flotation*, Proceedings of an International Conference, London, April 1997, Chartered Institution of Water and Environmental Management, p25-34.

Halliday, J. (1978) Discussion on paper by Langenegger and Viviers (1978) referenced further on.

Langenegger, O. and Viviers, J.M.P. (1978) Thickening of Waste Activated Sludge with a Dissolved Air Flotation Unit. *Journal Water Pollution Control* 79-84.

Roberts, K.L., Weeter, D.W. and Ball, R.O. (1978) Dissolved Air Flotation Performance. In *Proceedings 33th Industrial Waste Conference*, 1978, Ann Arbor, p194-199.

Rykaart, E.M., and Haarhoff, J. (1995) Behaviour of Air Injection Nozzles in Dissolved Air Flotation. *Water Science and Technology*, Volume 31, Numbers 3-4, p25-35.