

**stora**

postbus 80200, 2508 GE den haag

☎ 070-3512710

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

**Slibindikking**

**I. Literatuuronderzoek**

## Inhoud

Ten geleide	V - VI
1 SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	1 - 9
Inhoud	3
2 GRAVITATIE - INDIKKING	11 - 51
Inhoud	13 - 14
3 MECHANISCHE INDIKKING	53 - 86
Inhoud	55 - 56
4 FLOTATIE - INDIKKING	87 - 128
Inhoud	89 - 90
5 LITERATUUR	129 - 139
6 VERKLARING VAN BEGRIPPEN	141 - 142

## Ten geleide

Slibindikking is het verhogen van het drogestofgehalte van zuiverings-slib door afscheiding van vrij water.

In tegenstelling tot slibontwatering, waarbij een hogere graad van ontwatering wordt bereikt, blijft het slib na indikking vloeibaar.

De capaciteit van slibgistingstanks, ontwateringsapparatuur en pasteurisatie-installaties - waarin het slib na indikking verder wordt verwerkt - wordt voor een belangrijk deel bepaald door de mate waarin het slib kan worden ingedikt.

Indikking tot een drogestofgehalte van vijf procent vermindert het volume van het ingedikte slib met twintig procent ten opzichte van indikking tot vier procent.

Optimalisering van de slibindikking kan dan ook leiden tot kostenbesparing op slibverwerking en slibtransport.

Op voorstel van haar onderzoekadviescommissie, besloot het algemeen bestuur van de STORA tot onderzoek naar de factoren die bij de verschillende slibindikkingsmethoden een rol spelen.

De uitvoering van het onderzoek werd opgedragen aan het ingenieursbureau Dwars, Heederik & Verhey b.v., namens de STORA begeleid door H. Geurkink, ing., ir. E.L.C. Koster, ir. O. Kvasnička en drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff. Na afsluiting van de literatuurstudie werd deze begeleidingscommissie uitgebreid met ir. T. Meijer.

In dit rapport, het eerste resultaat van het project, is de literatuur over de verschillende indikmethoden door het bureau Dwars, Heederik & Verhey bijeengebracht. De resultaten zijn in drie afzonderlijke delen (gravitatie-indikking, mechanische indikking en flotatie-indikking) beschreven; de eindredactie werd verzorgd door het STORA-secretariaat.

Theoretische beschouwingen over de verschillende indikprocessen zijn in deze inventarisatie niet uitvoerig opgenomen. De betekenis van dergelijke literatuur voor de praktijk is vaak beperkt; dikwijls wordt uitgegaan van de veronderstelling dat zuiverings-slib een ideaal mengsel is. In de praktijk is het tegendeel de regel.

Verder werd de inventarisatie beperkt tot het indikken van ongeconditioneerde slibsoorten; literatuur over de toepassing van chemicaliën is alleen beschouwd voor de gevallen dat de chemicaliën uitsluitend ten doel hadden de indikking te verbeteren.

Chemische en thermische conditionering ten behoeve van de slibontwatering hebben dikwijls een gunstige invloed op het indikproces; zij worden echter in ander kader ( STORA-project "Slibontwatering tot meer dan 40% droge stof) behandeld.

In de inventarisatie is veel aandacht besteed aan de kosten van de verschillende indiksystemen. Volstaan is echter met het aangeven van richtlijnen voor het opstellen van kostenberekeningen, omdat absolute

kostengegevens door valutaverschillen en verschillen in tijdstip van publicatie onderling niet vergelijkbaar zijn.

De onderzoekadviescommissie die tot dit onderzoek adviseerde, bestond uit : prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. M. van der Lugt, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, jhr.dr. J.J. Quarles van Ufford, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing, ir. J. van Selm, ir. F.B. Veldkamp en ir. A.P. Vernimmen, M.Sc. (leden).

Rijswijk, 1 augustus 1977

de directeur van de STORA  
drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

## 1. Samenvatting

conclusies en aanbevelingen

<u>Inhoud</u>		3
1.1	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	5 - 9
1.1.1	Algemeen	5
1.1.2	Gravitatie-indikking	5 - 6
1.1.3	Mechanische-indikking	6 - 7
	<i>decanteercentrifuges</i>	6
	<i>schotelcentrifuges</i>	7
	<i>basketcentrifuges</i>	7
1.1.4	Flotatie-indikking	8 - 9
	<i>dissolved air flotation</i>	8
	<i>biologische flotatie</i>	8
	<i>elektrolytische flotatie</i>	8 - 9
1.2	AANBEVELINGEN	9
1.2.1	Gravitatie-indikking	9
1.2.2	Flotatie-indikking	9
1.2.3	Bepaling slibeigenschappen	9

## 1.1 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

### 1.1.1 Algemeen

Slibindikking is het concentreren van de droge stof in de slibmassa door verwijdering van vrij water; het slib blijft na indikking vloeibaar.

Slibontwatering leidt tot een verdergaande afscheiding van water en levert een relatief droge slibmassa (koek).

In het kader van dit literatuuronderzoek is de informatie over de verschillende indikmethoden - gravitatie-indikking, mechanische indikking en flotatie-indikking - bijeengebracht.

Deze inventarisatie werd sterk op de praktijk gericht; fundamentele theorieën achter de diverse indikmethoden worden daarom niet uitvoerig behandeld. Het onderzoek is beperkt tot het indikken van niet-geconditioneerd slib; de invloed van chemicaliën op het indikproces is alleen in beschouwing genomen als zij worden gebruikt om het indikken te verbeteren.

Uiteraard is aandacht besteed aan de kosten van de verschillende indiksystemen. Daarbij is volstaan met het vermelden van richtlijnen en het beschrijven van de manier waarop de kostenberekeningen worden uitgevoerd. Absolute gegevens werden niet opgenomen; dit vanwege valuta-verschillen, verschillen in kostprijsberekeningsgrondslagen of veroudering.

Met betrekking tot de onderzochte literatuur moet helaas worden geconstateerd dat veel publicaties over slibindikking onbruikbaar zijn door het ontbreken van voldoende gegevens over de samenstelling, de eigenschappen en het type van het onderzochte slib.

Daarnaast wordt de bruikbaarheid van sommige onderzoeken ernstig beperkt doordat de experimenten in (te) kleine modelindikkers werden uitgevoerd.

### 1.1.2 Gravitatie-indikking

Bij gravitatie-indikking wordt slib ingedikt onder invloed van de zwaartekracht: hierbij wordt een deel van het vrije water uit het slib afgescheiden.

Gravitatie-indikking vindt in het algemeen plaats in ronde tanks met een kantdiepte van 2 tot 4 meter en een hellende bodem.

De indikkers zijn dikwijls voorzien van een roerwerk en/of een slibruimer.

De theorieën die zijn ontwikkeld om het indikproces kwantitatief te beschrijven en de modellen voor het dimensioneren van gravitatie-indikkers die daarop zijn gebaseerd, leiden tot onbevredigende resultaten bij toepassing in de praktijk.

Een belangrijke oorzaak hiervan is dat deze theorieën veelal uitgaan van de veronderstelling dat zuiveringsslib een ideaal mengsel is.

In werkelijkheid is het tegendeel veeleer het geval, terwijl de verschillende slibsoorten bovendien sterk in eigenschappen verschillen. Deze eigenschappen (zoals gloeirest, deeltjesgrootte, alkaliteit, viscositeit, samendrukbaarheid en slibindex) bepalen het verloop van het indikproces.

Omdat de eigenschappen van het in te dikken slib niet eenvoudig te beïnvloeden zijn en bij dezelfde slibtypen sterk kunnen verschillen, moeten algemene dimensioneringsgrondslagen voor het ontwerpen van indikkers met de nodige reserve worden gehanteerd. Voor de meeste slibsoorten zijn dergelijke grondslagen ontwikkeld, deels langs theoretische weg, deels via de praktijk.

Bij gravitatie-indikking spelen vele procesvariabelen een rol; hun invloed op het indikresultaat staat niet altijd duidelijk vast. Veel onderzoekers concluderen dat de drogestof-oppervlaktebelasting en de drogestof-verblijftijd de belangrijkste parameters zijn.

Naast de procesvariabelen kunnen de constructie van de indikker en de wijze van bedrijfsvoering het indikresultaat beïnvloeden. Hierover is echter nog weinig bekend.

De jaarlijkse kosten van gravitatie-indikkers bestaan uit vaste lasten (rente en afschrijving) en variabele kosten (energie, onderhoud en bediening).

Bij kostenvergelijkingen tussen gravitatie-indikkers en andere indiksystemen (zoals mechanische of flotatie-indikking) moeten besparingen op gistingsruimte, ontwateringsapparatuur en slibtransport in de berekeningen worden betrokken.

### 1.1.3 Mechanische-indikking

Bij mechanische indikking van slib wordt de bezinksnelheid van de slibdeeltjes vergroot door gebruik te maken van de grote centrifugale kracht die in centrifuges kan worden opgewekt (1000 - 6000 g).

Voor het indikken van slib langs mechanische weg worden meestal decanteercentrifuges, schotelcentrifuges of basket-centrifuges gebruikt.

#### *decanteercentrifuges*

De decanteercentrifuge is een continu werkende machine, gekenmerkt door een inwendige transportschroef waarmee het ingedikte slib continu uit de centrifuge wordt verwijderd.

Door de grote in- en uitlaatopeningen van de centrifuge kan de decanteercentrifuge slib verwerken dat veel grof materiaal bevat, zoals primair slib.

Bij slibsoorten die bestaan uit lichte vlokken (zoals actief-slib) heeft de beweging van de transportschroef een ongunstige invloed op het drogestofrendement; door de turbulentie in de centrifuge worden slibdeeltjes met het afgescheiden water uitgeworpen. Veelal worden daarom polymeren aan het slib toegevoegd om de werking van de centrifuge te verbeteren.

De decanteercentrifuge is zeer geschikt voor het verwerken van grote hoeveelheden droge stof, maar heeft een beperkte hydraulische capaciteit. Voor het indikken van actief-slib (met 0,5 - 1% droge stof) is zij dan ook minder geschikt. Daarom wordt de decanteercentrifuge bijna uitsluitend gebruikt voor het ontwateren van slib dat reeds op andere wijze is ingedikt. Over het indikken van slib met decanteercentrifuges zijn dan ook zeer weinig gegevens uit de praktijk gevonden.



### *schotelcentrifuges*

Een schotelcentrifuge bestaat uit een huis waarin een groot aantal schotels zijn opgesteld; deze vormen op compacte wijze een groot sedimentatie-oppervlak. Hierdoor combineert de schotelcentrifuge een hoge hydraulische capaciteit (tot 140 m<sup>3</sup>/h) met een hoog scheidend vermogen.

Omdat het ingedikte slib door nozzles (diameter = 1,78 - 2,06 mm) de centrifuge moet verlaten blijft het toelaatbare drogestofgehalte in het ingedikte slib beperkt.

Om verstopping van de centrifuge te voorkomen moet het in te dikke slib eerst worden voorbereid met een cycloon, zeef of strainer.

De schotelcentrifuge is dan ook niet geschikt voor het indikken van slibsoorten met veel grof materiaal, zoals primair slib, maar bij uitstek bruikbaar voor vlokkige slibsoorten, zoals actief-slib of aerob gestabiliseerd slib.

De resultaten die bereikt kunnen worden met actief-slib hangen - onder meer - sterk af van de eigenschappen van dit slib. Als maat hiervoor wordt de slibindex gebruikt.

Afhankelijk van de slibindex en het rendement van de centrifuge wordt actief-slib ingedikt tot een drogestofconcentratie van 3 à 7 %.

### *basketcentrifuges*

De basketcentrifuge bestaat uit een roterende trommel waarin het slib discontinu wordt ingedikt. In de trommel van de basketcentrifuge bevinden zich geen bewegende delen, zodat de sedimentatie van lichte slibdeeltjes niet wordt verstoord. Hierdoor is de centrifuge zeer geschikt voor het indikken van slib dat bestaat uit lichte vlokken zoals actief-slib of aerob gestabiliseerd slib, zonder gebruik van polymeren.

Door de relatief lage centrifugale kracht (vergeleken met de decanteer- en schotelcentrifuge) heeft de basketcentrifuge slechts een beperkte hydraulische capaciteit.

De resultaten die met een basketcentrifuge kunnen worden bereikt hangen af van de slibsoort die wordt ingedikt, de kwaliteit van het slib, de belasting van de centrifuge en het al of niet toevoegen van polymeren. Met deze centrifuge is oxydatieslootslib ingedikt (zonder polymeren) van 5 tot 12% droge stof.

De jaarlijkse kosten van mechanische indikkers zijn samengesteld uit vaste kosten (kapitaalslasten) en variabele kosten (energie, chemicaliën, onderhoud en bediening). Voor de drie verschillende typen centrifuges wordt aangegeven op welke wijze in de literatuur de jaarlijkse kosten worden berekend.

Bij vergelijking van mechanische indikking met andere indiksystemen, zoals gravitatie of flotatie-indikking, moeten ook hier de besparingen op gistingruimte, ontwateringsapparatuur en slibtransport in beschouwing worden genomen.

Flotatie-indikking

Bij flotatie-indikking worden gasbelletjes in contact gebracht met het in te dikken slib. De gasbelletjes hechten zich aan de slibdeeltjes, waardoor deze deeltjes lichter worden dan water en gaan drijven.

De drijflaag (slibdeken) wordt als ingedikt slib uit de flotatie-indikker verwijderd.

Van de verschillende flotatiemethoden die geschikt zijn voor het indikken van slib (dissolved air flotation, biologische flotatie en elektrolytische flotatie), zijn tot nu toe de meeste ervaringen opgedaan met het dissolved air flotation (DAF) proces.

*dissolved air flotation*

Bij het DAF-proces wordt een hoeveelheid verdunningswater (effluent van de zuiveringsinrichting of van de flotatie-indikker) onder hoge druk (4,5 - 6 ato) verzadigd met lucht. Door dit verdunningswater via een reduceerklep plotseling te laten expanderen, wordt dit water oververzadigd met lucht. Deze lucht ontwijkt als zeer kleine bellen die zich aan het in te dikken slib hechten.

Van het DAF-proces is aangegeven welke procesvariabelen een rol spelen en welke ontwerpgrondslagen worden toegepast.

Het DAF-proces is zeer geschikt voor het indikken van actief-slib en aerob gemineraliseerd slib en wordt in de Verenigde Staten vooral voor deze slibsoorten toegepast.

Het indikresultaat hangt - onder meer - af van de kwaliteit van het slib en het wel of niet gebruiken van flocculanten. Veelal wordt actief-slib zonder polymeren ingedikt tot 3 à 6% droge stof en met polymeren tot 4 à 8%.

Over het algemeen geldt, dat de investeringskosten van een DAF-indikker lager zijn dan die van een gravitatie-indikker, maar dat de jaarlijkse kosten hoger uitvallen. Het toepassen van DAF-indikers wordt daarom meestal beperkt tot actief-slib en moeilijk indikbare industriële slibsoorten.

*biologische flotatie*

Bij biologische flotatie wordt gebruik gemaakt van het gas, dat slib onder anaerobe omstandigheden produceert, om het slib te laten opdrijven. Dit proces is tot nu toe op beperkte schaal alleen met succes toegepast op primair slib. Met actief-slib zijn geen goede resultaten verkregen.

*elektrolytische flotatie*

Bij elektrolytische flotatie wordt water onder invloed van een elektrische spanning ontleed in waterstof en zuurstof, die vrijkomen in de vorm van zeer kleine belletjes. Deze worden gebruikt om het slib te laten opdrijven.

De informatie in de literatuur over het indikken van slib door elektrolytische flotatie is uiterst beperkt.

Met betrekking tot de jaarlijkse kosten van flotatie-indikking en de kostenvergelijking met de andere indiksystemen geldt hetgeen daarom-

trent bij deze systemen reeds werd opgemerkt.

Voor het dissolved air flotation proces is aangegeven op welke wijze in de literatuur de jaarlijkse kosten worden berekend.

## 1.2 AANBEVELINGEN

Op grond van dit literatuuronderzoek wordt het volgende aanbevolen:

### 1.2.1 Gravitatie-indikking

In Nederland komen naast traditionele gravitatie-indikkers ook andere uitvoeringsvormen van gravitatie-indikkers voor, zoals lagunes en indikbakken.

Op grond van (nog niet gepubliceerde) goede bedrijfsresultaten en lage investeringskosten verdienen deze vormen verdere aandacht.

De invloed van procesvariabelen, wijze van bedrijfsvoering en uitvoeringsvormen van de indikkers op de indikresultaten moeten nader worden onderzocht; misschien leidt dit tot een verbetering van het indikproces.

Aan de mogelijkheden tot automatisering van het indikproces moet daarbij aandacht worden besteed.

### 1.2.2 Flotatie-indikking

In Nederland wordt slib hoofdzakelijk door gravitatie ingedikt. Buiten Nederland, met name in de Verenigde Staten, worden actief-slib en aeroob gemineraliseerd slib ook door middel van flotatie ingedikt.

In flotatie-indikkers worden over het algemeen hogere drogestofgehalten van het ingedikte slib bereikt dan met gravitatie-indikkers.

Het lijkt daarom zinvol in Nederland met een flotatie-indikker op semi-technische schaal proeven te doen op een aantal zuiveringsinrichtingen.

In eerste instantie zou voor een aantal situaties een kostenvergelijking kunnen worden opgesteld tussen gravitatie en flotatie-indikking, waarbij uitgegaan wordt van de ontwerpgrondslagen in de literatuur.

### 1.2.3 Bepaling slibeigenschappen

Nagegaan zou moeten worden of snelle en betrouwbare bepalingen, zoals de CST (capillary suction time)-test en de specifieke filterweerstand, voor een betere karakterisering van de eigenschappen van ongeconditioneerd slib kunnen worden gebruikt.

In dit verband zou bij publicaties over slibverwerking meer aandacht moeten worden besteed aan het nauwkeurig omschrijven van de omstandigheden waaronder proeven worden uitgevoerd (zoals het zuiveringssysteem, de slibbelasting en de samenstelling van het afvalwater) en de slibkarakteristieken (type slib, gloeirest, deeltjesgrootte, alkaliteit, slibindex).

Met betrekking tot de karakterisering van zuiveringsslib lijkt ook aandacht gewenst voor parameters die tot dusver zelden worden vermeld (zoals viscositeit en compressibiliteit).

## 2. Gravitatie – indikking

<u>Inhoud</u>		13 - 14
2.1	INLEIDING	15
2.2	THEORIE	15 - 19
2.2.1	Discontinu indikken	15 - 17
2.2.2	Continu indikken	17 - 19
2.3	CONSTRUCTIE EN DIMENSIONERINGS-GRONDSLAGEN	20 - 26
2.3.1	Constructie	20 - 21
	<i>algemeen</i>	20
	<i>slibaanvoer en invoerconstructie</i>	20
	<i>roerwerk met aandrijving</i>	21
	<i>drijfslaagafvoer</i>	21
	<i>slibwaterafvoer</i>	21
	<i>bodemhelling</i>	21
	<i>kantdiepte</i>	21
2.3.2	Dimensioneringsgrondblagen	21 - 22
2.3.3	Invloed van de constructie op het indikproces	23 - 25
	<i>algemeen</i>	23
	<i>slibaanvoer en invoerconstructie</i>	23 - 24
	<i>roerwerk, slibruimers en drijfslaagafvoer</i>	24 - 25
	<i>bodemhelling</i>	25
	<i>kantdiepte</i>	25
2.3.4	Bijzondere uitvoeringsvormen (sliblagunes)	26
2.4	PROCESVARIABLEN	27 - 41
2.4.1	Algemeen	27
2.4.2	Slibsoort	27 - 28
2.4.3	Drogestof-oppervlaktebelasting	29 - 31
2.4.4	Hydraulische oppervlaktebelasting	31
2.4.5	Drogestof-ruimtebelasting	32
2.4.6	Vloeistofverblijftijd	32
2.4.7	Temperatuur en viscositeit	32 - 33
2.4.8	Drogestofgehalte aangevoerd slib	33 - 34
2.4.9	Roeren	35
2.4.10	Kantdiepte	35 - 36
2.4.11	Diameter	36
2.4.12	Luchtdruk	36
2.4.13	Chemicaliën-dosering	37
2.4.14	Slibindex	38 - 40
2.4.15	Organische stof in het slib	40 - 41

2.5	BEDRIJFSVOERING	42 - 47
2.5.1	Algemeen	42
2.5.2	Slibaanvoer	42 - 43
2.5.3	Slibafvoer	43 - 44
2.5.4	Roeren	44
2.5.5	Overloopwater	44 - 45
2.5.6	Spoelen	45 - 46
2.5.7	Koelen	46
2.5.8	Bemonstering	46 - 47
2.6	KOSTEN	48 - 49
2.6.1	Algemeen	48
2.6.2	Vaste kosten	48
2.6.3	Variabele kosten	48 - 49
	<i>onderhoud</i>	48
	<i>bediening en toezicht</i>	49
	<i>energie</i>	49
	<i>chemicaliën</i>	49
2.7	CONCLUSIES	50 - 51
2.7.1	Dimensionering van gravitatie-indikers	50
2.7.2	Invloed van de constructie op het indikproces	50
2.7.3	Procesvariabelen	50
2.7.4	Bedrijfsvoering	51
2.7.5	Kosten	51

## 2.1 INLEIDING

Bij gravitatie- of statische indikking wordt het drogestofgehalte van slib verhoogd door afscheiding van vrij water onder invloed van de zwaartekracht.

In volgorde van toenemende bindingskracht kan het water in de slibmassa worden onderscheiden in vrij, colloïdaal, capillair en cellulair gebonden water.

Gravitatie-indikking kan op vrijwel alle slibsoorten worden toegepast, zoals primair, secundair, humuslib en uitgegist slib.

Dit deel geeft een overzicht van de belangrijkste literatuur over gravitatie-indikking: achtereenvolgens wordt ingegaan op de theorie, de constructie en dimensioneringsgrondslagen van de indikker, alsmede op de invloed van procesvariabelen en de procesvoering op het indikproces.

## 2.2 THEORIE

### 2.2.1 Discontinuu indikken

Bij discontinuu-indikking kan de aanvoer van in te dikken slib zowel continu als discontinuu zijn; de afvoer is echter altijd discontinuu. Discontinuu-indikken wordt vooral toegepast bij het indikken van uitgegist slib.

Het verloop van dit proces kan kwalitatief worden beschreven aan de hand van een proef in een bezinkglas (zie figuur 1).

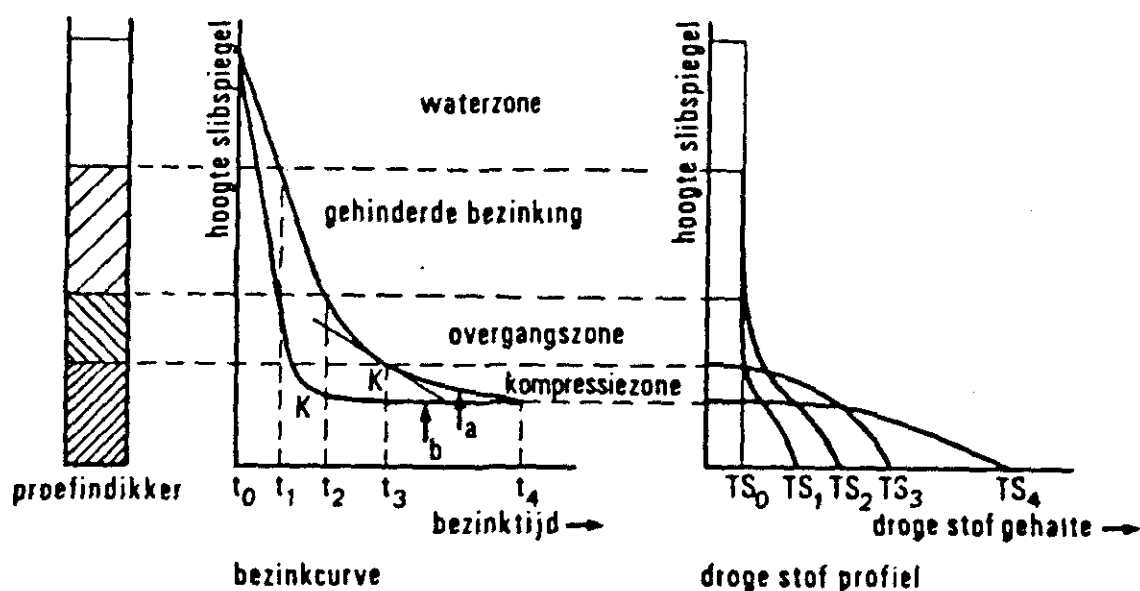


Fig. 1. Discontinuu indikken<sup>10)</sup>

Bij discontinuu indikken wordt het in te dikken slib met een bepaald drogestofgehalte ( $TS_0$ ) in de proefindikker (bezinkglas) gebracht. Na het vullen ( $t = t_0$ ) van het bezinkglas vormt zich een grensvlak tussen slib en het bovenstaande water.

Dit grensvlak wordt de slibspiegel genoemd; deze daalt aanvankelijk met constante snelheid ( $t_0 \rightarrow t_2$ ).

Na enige tijd neemt het aantal slibdeeltjes op de bodem van de indik-  
ker snel toe. Er vormt zich duidelijk een sliblaag op de bodem met een  
toenemend drogestofgehalte.

De daling van de slibspiegel wordt duidelijk vertraagd als de groeiende  
sliblaag op de bodem van het bezinkglas en de slibspiegel elkaar  
min of meer bereiken ( $t = t_2$ ).

De vertraagde daling van de slibspiegel speelt zich af in de overgangs-  
zone ( $t_2 \rightarrow t_3$ ).

Als de daling van de slibspiegel vrijwel ten einde is, begint de com-  
pressiezone (compressiepunt K;  $t = t_3$ ).

Het bezinken van de slibmassa in de compressiezone wordt behalve door  
hydraulische weerstanden ook gehinderd door de verdichting van de slib-  
massa (vormverandering slibdeeltjes).

De verdichting van de slibmassa komt tot stand door de overdracht van  
de (mechanische) druk van de bovenliggende op de onderliggende slibla-  
gen (compressie). Als het vrije water niet snel genoeg "ontwijkt" komt  
het onder druk te staan en wordt tussen de slibdeeltjes door naar bo-  
ven geperst.

De hoeveelheid water, die uit de compressiezone kan ontwijken wordt  
voornamelijk bepaald door de capillaire druk en stromingsweerstand  
(doorlaatbaarheid) van de bovenliggende sliblagen. Na het bereiken van  
een evenwicht tussen de compressie, de capillaire druk en de stromings-  
weerstand neemt de drogestofconcentratie van het slib niet meer toe.

In figuur 1 zijn de bezinkcurven afgebeeld van twee verschillende slib-  
soorten.

Lijn "a" is de bezinkcurve van samendrukbaar slib (afvalwaterslib) met  
een duidelijke overgangs- en compressiezone.

De overgang tussen beide zone's wordt het compressiepunt K genoemd. Op  
dit punt heeft de bezinkcurve zijn sterkste kromming.

Lijn "b" is de bezinkcurve van weinig samendrukbaar slib. De slibspie-  
gel bereikt het compressiepunt met een vrijwel lineaire snelheid.

Na dit punt daalt de slibspiegel vrijwel niet meer.

In figuur 1 is ook het verloop weergegeven van het drogestofgehalte in  
de indikker tijdens de verschillende fasen van het indikproces.

Over dit verloop kan het volgende worden opgemerkt:

- Op  $t = t_0$  is het drogestofgehalte van de slibmassa gelijk over de  
volle diepte van de indikker ( $TS_0$ ). Na  $t = t_0$  begint de slibafzetting  
op de bodem van de indikker ( $TS_0 \rightarrow TS_1$ ).
- Op  $t = t_1$  treedt gehinderde bezinking op. Het drogestofgehalte van de  
slibmassa in de indikker is niet meer gelijkmatig verdeeld.  
Het drogestofgehalte van de slibmassa in de indikker neemt toe tot  
aan de bodem ( $TS_0 \rightarrow TS_1$ ).
- Op  $t = t_2$  bevindt al het slib zich in de overgangszone of lager; het  
drogestofgehalte neemt toe tot aan de bodem van de indikker.
- Op  $t = t_3$  neemt het drogestofgehalte van de slibmassa vanaf het com-  
pressiepunt tot aan de bodem sterk toe. Van een gelijkmatige verde-  
ling van het drogestofgehalte van de slibmassa in de indikker is in  
het geheel geen sprake meer.



Aan het einde van de compressiefase vindt geen verdere daling van de slibspiegel meer plaats; het drogestofgehalte van het slib neemt niet meer toe.

Het discontinue indikproces is ten einde.

Ten behoeve van het dimensioneren van (discontinue) indikkers is door diverse onderzoekers (Dick, Eckenfelder, Stalman en Vesilind) getracht het verloop van het indikproces kwantitatief te beschrijven 21, 33, 94, 110.

Het onderzoek werd in het algemeen uitgevoerd op laboratoriumschaal. Hierbij werd de invloed bepaald van de belangrijkste procesvariabelen (zie 2.4) op de snelheid en het eindresultaat van het indikproces. De hieruit voortvloeiende theorieën gaan veelal uit van de eigenschappen van slib als "ideaal mengsel".

Dit ideale mengsel wordt gekenmerkt door homogeniteit van de slibmassa. Deze homogeniteit heeft voornamelijk betrekking op de afmetingen, gewicht, vorm, korrelverdeling, binding en samenballing van de slibdeeltjes.

Slib van afvalwaterzuiveringsinrichtingen wijkt sterk af van de veronderstelde homogeniteit. Alle slibsoorten verschillen bovendien onderling sterk in de genoemde eigenschappen.

De "vertaling" van theorieën, veelal gebaseerd op laboratoriumproeven onder sterk van de werkelijkheid afwijkende omstandigheden, in ontwerpgrondslagen voor de praktijk, is daarom niet zonder gevaar 5, 38, 45.

### 2.2.2 Continu indikken

Bij continu indikken wordt het in te dikken slib continu toegevoerd, terwijl de slibafvoer zowel continu als discontinu kan plaatsvinden. Continu-indikken vindt vooral toepassing bij vers-slibindikkers.

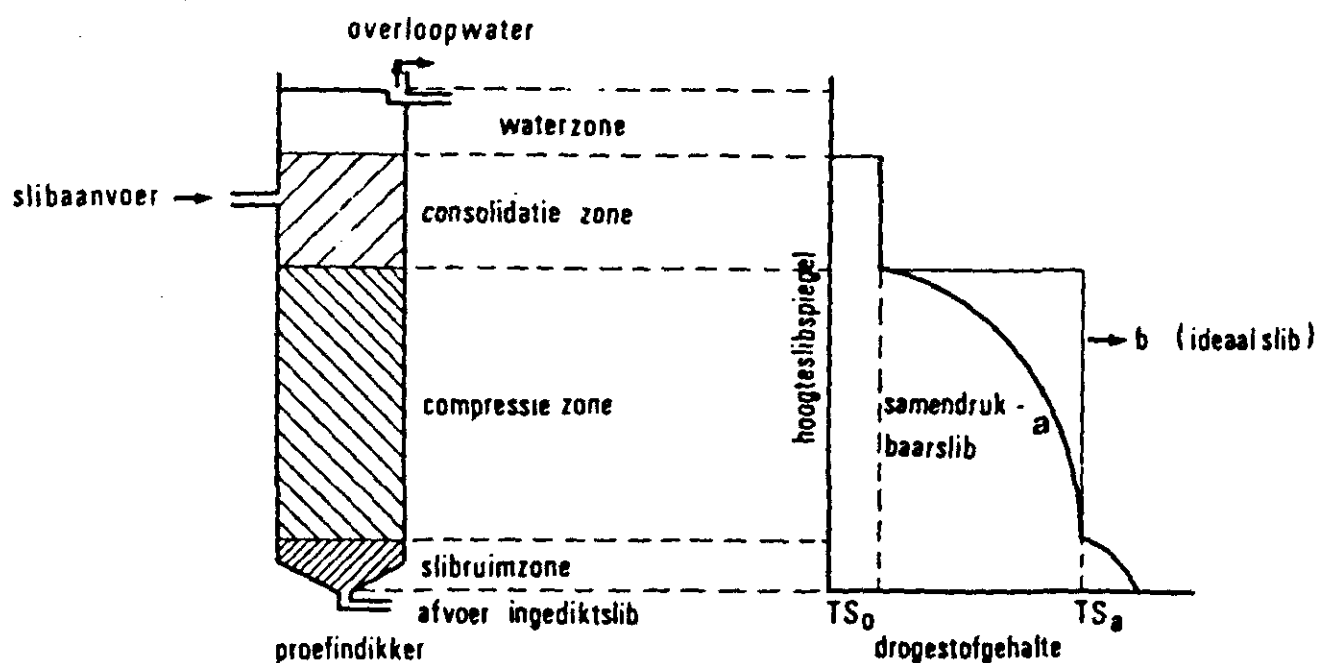


Fig. 2. Continu indikken<sup>10</sup>

In figuur 2 is het verloop van het continu indikproces weergegeven door samendrukbaar slib (lijn a) en ideaal slib (lijn b). De in deze figuur getekende curven zijn indirect afgeleid van de formules van Coe, Clevenger, Shannon en Torry 12, 90.

Samendrukbaar slib is te vergelijken met afvalwaterslib.  
Onder ideaal slib wordt hier verstaan:

- bezinksnelheid van de slibdeeltjes is uitsluitend afhankelijk van de drogestofconcentratie van de slibmassa;
- in het horizontale vlak is het drogestofgehalte constant.

In de continu-indikker zijn waterzone, consolidatiezone (gehinderde bezinking) en compressiezone tegelijkertijd aanwezig; de overgangzone - kenmerkend voor het discontinu indikproces - komt wegens het stationaire karakter van het proces niet voor. Na de consolidatiezone volgt direct de compressiezone.

Uit figuur 2 blijkt dat het drogestofgehalte van samendrukbaar slib (lijn "a") in de consolidatiezone constant is ( $TS_0$ ), maar in de compressiezone toeneemt met de diepte.

Het onderste deel van de compressiezone wordt de slibruimzone genoemd. In deze zone vindt onder invloed van de ruiming en de slibafvoer nog een verdere toename van het drogestofgehalte plaats.

Uit het verloop van lijn "b" in de compressiezone blijkt het ideale slib in het geheel niet samendrukbaar; het drogestofgehalte blijft constant.

Men kan een horizontale "slibschijf" van een continu-indikker vergelijken met een spons, die gedurende de afdaling in de indikker steeds sterker wordt samengedrukt. Het onder druk komende vrije water volgt de weg van de minste weerstand en stroomt tegen het bezinkende slib in, bijvoorbeeld langs de wand van de indikker of door kanaaltjes in het slib.

Het "sponsachtige" karakter van het slib en de hiermee samenhangende resultaten van het indikproces, hangen in sterke mate af van de permeabiliteit en de samendrukbaarheid van de slibmassa. De permeabiliteit (doorlatendheid) is een maat voor de snelheid waarmee het vrije water kan ontwijken; de samendrukbaarheid voor de mate waarin de slibdeeltjes kunnen worden samengedrukt.

Volgens Dick en Kalbskopf <sup>56</sup> hangen de samendrukbaarheid en permeabiliteit af van de structuur van de slibdeeltjes en van de drogestofconcentraties in de sliblaag.

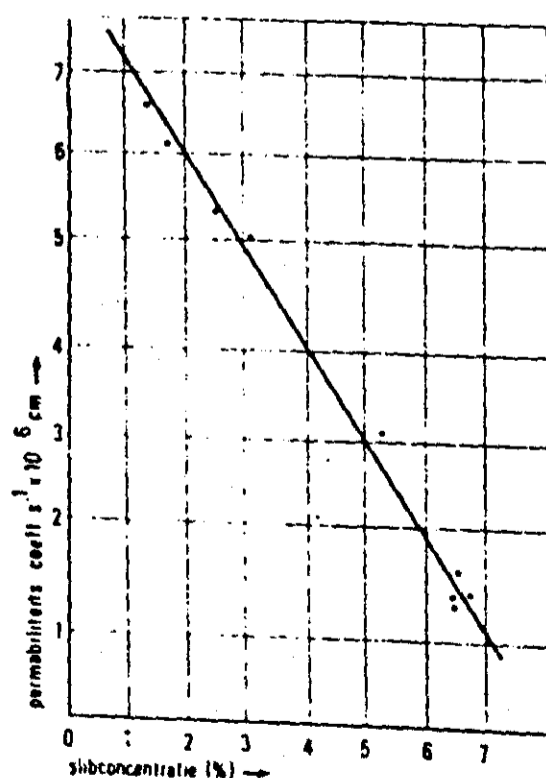


Fig. 3. Permeabiliteit en drogestofconcentratie 56

Verschillende onderzoekers, waaronder Coe, Clevenger en Kynch, hebben theorieën ontwikkeld voor het ontwerpen van continu-indikers 12, 61. Deze theorieën trachten het continu-indikken kwantitatief te beschrijven aan de hand van het gedrag van ideale mengsels.

Evenals bij discontinu indikken (zie ook 2.2.1) is de toepassing van deze theorieën voor het dimensioneren van indikers bezwaarlijk vanwege de afwijkende chemische en fysische eigenschappen van afvalwaterslib ten opzichte van ideale mengsels en de risico's verbonden aan het "vertalen" van proefresultaten op laboratoriumschaal naar technische schaal.

Het is daarom gewenst onderzoek naar het dimensioneren van slibindikers uit te voeren onder omstandigheden die zoveel mogelijk overeenkomen met de praktijk 28, 97.

## 2.3 CONSTRUCTIE EN DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN

### 2.3.1 Constructie

#### *algemeen*

In Nederland komen verschillende typen gravitatie-indikers voor; figuur 4 illustreert een vaak toegepaste constructie.

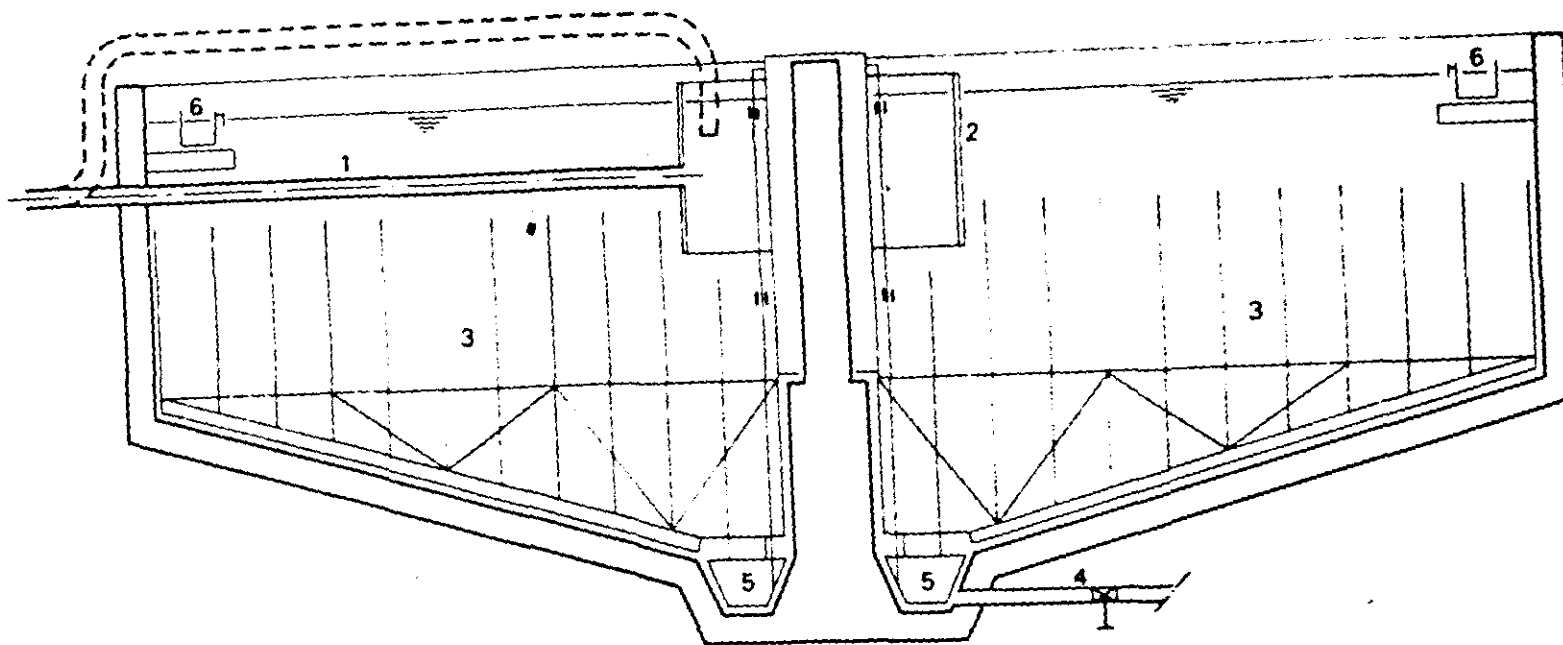


Fig. 4. Gravitatie-indikker 18, 68

1. Slibaanvoer (onder of boven vloeistofspiegel)
2. Inlooptrommel
3. Roerwerk (eventueel met ruimers en drijfslaagafvoer)
4. Slibafvoer
5. Slibschuivers
6. Afvoergoten

Kenmerkend voor de constructie van gravitatie-indikers zijn vooral: de wijze van slibaanvoer en de invoerconstructie, het roerwerk met aandrijving, de drijfslaagafvoer, de slibwaterafvoer, de bodemhelling en de kantdiepte.

#### *slibaanvoer en invoerconstructie*

De aanvoer van slib (met pompen of onder vrij verval) kan op de volgende manieren plaatsvinden:

- vanaf de bodem van de indikker via de middenkolom naar de inlooptrommel;
- vlak boven of onder de vloeistofspiegel naar de inlooptrommel bij de middenkolom;
- onder de vloeistofspiegel naar de inloopconstructie aan de buitenzijde van de indikker (vooral bij kleine indikers).

De invoerconstructie wordt dikwijls uitgevoerd zoals in figuur 4 is weergegeven.

De verhouding tussen de diameters van de inlooptrommel en de indikker is veelal 1 : 5.

### *roerwerk met aandrijving*

Het roerwerk kan worden uitgevoerd met roerstaven (rond of hoeklijnprofiel), eindigend:

- circa 1 m onder de vloeistofspiegel;
- boven de vloeistofspiegel (meestal toegepast bij indikkers voor vers of uitgegist slib).

De aandrijving van de roerwerken kan op drie manieren worden uitgevoerd<sup>18</sup>:

- aandrijving van het roerwerk op doorgaande stalen brug (diameter van de indikker < 18 m);
- aandrijving van het roerwerk op middenkolom (diameter van de indikker 18 - 25 m);
- aandrijving op middenkolom of randaandrijving (diameter van de indikker > 25 m).

### *drijfslaagafvoer*

Het afvoeren van de drijfslaag op het vloeistofoppervlak wordt in het algemeen alleen toegepast bij indikkers voor uitgegist slib; de indikker wordt daartoe voorzien van een duikschot vóór de overstortrand.

Het drijfslaagafvoermechanisme is verbonden aan het roerwerk en schuift de gevormde drijfslaag van het vloeistofoppervlak in de drijfslaagafvoerput.

### *slibwaterafvoer*

Het afgescheiden vrije water (overloopwater) uit het slib stort over via een overstortrand langs de gehele omtrek van de indikker (behalve bij kleine indikkers) en verzamelt zich in een buitenliggende goot.

Indikkers voor uitgegist slib zijn dikwijls ook voorzien van een telescoopaflaat voor het verwijderen van de laag afgescheiden water beneden de overstortrand bij discontinue bedrijfsvoering.

### *bodemhelling*

De bodemhelling van de indikker varieert in het algemeen van 1 : 5 tot 1 : 8.

De helling dient ter bevordering van het slibtransport naar de slibzak of goot in het midden van de indikker.

De slibzak is veelal voorzien van schuivers voor het slibtransport naar de slibaflaatleiding (figuur 4).

### *kantdiepte*

De kantdiepte van de indikker (afstand tussen bovenkant van de indikker en hoogste punt van de bodem) bedraagt in het algemeen 2 à 3 m. Grotere kantdiepten worden incidenteel toegepast.

## 2.3.2 Dimensioneringsgrondslagen

In tabel 1 zijn voor Nederland gebruikelijke <sup>18</sup> dimensioneringsgrondslagen van gravitatie-indikkers gegeven (blz. 22).

Daarbij is de slibverwerking tijdens het weekeinde en het drogestofrendement van de mechanische slibontwatering buiten beschouwing gelaten.

Bij de dimensionering van de indikker moet hiermee rekening worden gehouden door vermenigvuldiging van de betreffende grondslagen met 7/5

(voor de verwerking van slib uit het weekeinde tijdens de werkweek) en incalculeren van de hoeveelheid slib die met het filtraat van de mechanische ontwatering naar de indikker wordt teruggevoerd.

indikker voor	slibproductie (g/i.e.d)	oppervlaktebelasting (kg d.a./m.d)	verblijftijd (d)	kantdiepte (m)	inhoud (l/i.e.)	toevoer (l/i.e..h)	afvoer ingedikt slib (l/i.e.h)	ingediktheid tot (% d.a.)	spoelen	chemicaliën dosering
primair slib										
- vers	60	100 - 150		3	1.1-1.7	0,25 <sup>a</sup>	0,15	7 - 8	+	+
- uitgegiat	34	-		3	3	0,15 <sup>aa</sup>	0,15	tot 10	+	+
actief slib (vers)	33	20 - 30		3	3.3-5	1,0 <sup>a</sup>	0,15	3	+	+
humuslib (vers)	- vindt nauwelijks enige toepassing -									
actief + primair slib										
- vers	87	20 - 40	-	3	6.5-13	1,5 <sup>a</sup>	0,25	5	+	+
- uitgegiat	56	-	4	3	8	0,15 <sup>aa</sup>	0,15	5	+	+
- aerob gestabiliseerd (oxydatiesloot)	40	30	-	3	3	0,6 <sup>a</sup>	0,15	4	+	+
humus + primair slib										
- vers	74	30 - 50	-	3	4.4-7.4	1,0 <sup>a</sup>	0,2	5	+	+
- uitgegiat	48	-	4	3	6.4	0,2 <sup>aa</sup>	0,2	6	+	+

Tabel 1. Gebruikelijke<sup>18</sup> grondslagen gravitatie-indikers in Nederland

<sup>a</sup> capaciteit inclusief spoelwater.

<sup>aa</sup> capaciteit exclusief spoelwater.

(verhouding slibwater/spoelwater is veelal 1 : 1, indien spoelwater noodzakelijk is).

• ja

- nee

± facultatief

De in tabel 1 onderstreepte getallen benaderen de praktijk het meest.

### 3.3 Invloed van de constructie op het indikproces

#### *algemeen*

Van sommige onderdelen van gravitatie-indikkers wordt verondersteld dat de wijze van uitvoering het verloop van het indikproces kan beïnvloeden.

Dergelijke onderdelen zijn de invoerconstructie voor de slibtoevoer, de roerwerkconstructie (inclusief slibruimers en drijfslagafvoer), de bodemhelling van de indikker en de kantdiepte.

De uitvoering van de overige delen van de indikker zal in het algemeen worden bepaald door bouwkundige of mechanische overwegingen; deze onderdelen zullen hier niet worden besproken.

#### *slibaanvoer en invoerconstructie*

De slibaanvoerleiding en de invoerconstructie van de indikker kan op meerdere manieren worden uitgevoerd:

- *aanvoerleiding boven de vloeistofspiegel.*  
In het algemeen dient vorstbescherming te worden aangebracht.
- *aanvoerleiding onder de vloeistofspiegel.*  
De roerwerkconstructie dient hierop te worden aangepast.
- *aanvoerleiding via de bodem van de indikker naar de middenkolom;*
- *aanvoerleiding uitmondend in de buitenwand van de tank.*

In het algemeen wordt de plaats en de hoogte van de invoerconstructie zodanig gekozen dat het slib centraal in de indikker wordt ingevoerd ter hoogte van de consolidatiezone.

Het is niet uitgesloten dat slibaanvoer in de compressiezone betere resultaten oplevert (zie paragraaf 2.5.5, blz. 44). Onderzoek op semi-technische schaal <sup>94</sup>, <sup>105</sup> wijst uit dat zonder roerwerk en bij slibaanvoer in de compressiezone de slibdeeltjes in de slibzone minder worden gestoord dan bij slibaanvoer boven in de tank (in de consolidatiezone) met een roerwerk, terwijl het eindresultaat beter was.

Voordeel van slibaanvoer in de compressiezone is dat de consolidatiezone achterwege blijft en de fijne slibdeeltjes in de indikker achterblijven door de filterwerking van de compressiezone.

Over deze manier van slibaanvoer ontbreken echter bruikbare gegevens op praktijkschaal.

De vorm van de invoerconstructie dient zodanig te zijn dat de intreesnelheid van de slibaanvoer zoveel mogelijk wordt gesmoord en de aanvoer gelijkmatig over de tank wordt verdeeld zonder dat kortsluitingen optreden.

Een in Nederland dikwijls toegepaste invoerconstructie is weergegeven in figuur 4 (blz. 20); een voornamelijk buiten Nederland toegepaste constructie is de "fitch feedwell", een patent van Dorr-Oliver (zie figuur 5, blz. 24).

Bruikbare gegevens over de invloed van de vorm van de invoerconstructie op het verloop van het indikproces ontbreken.

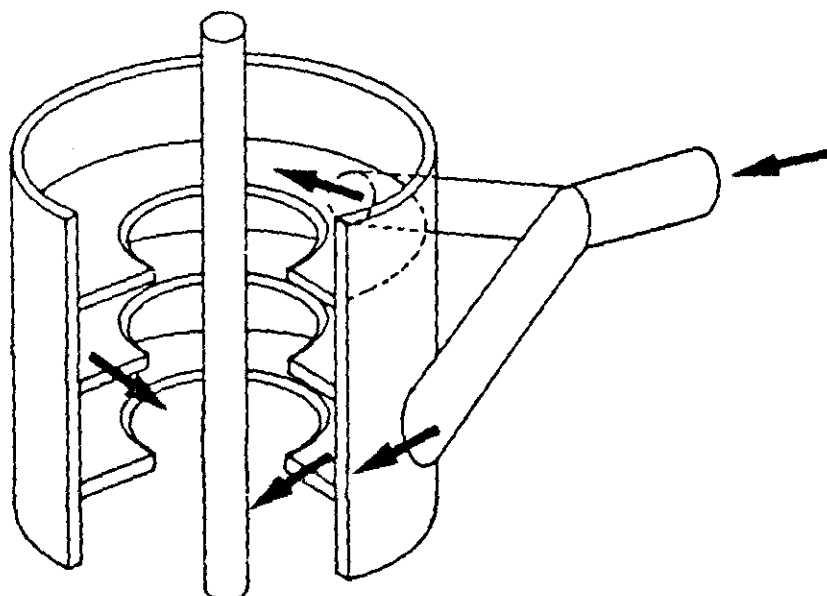


Fig. 5. Invoerconstructie "Fitch Feedwell" 31

*roerwerk, slibruimers en drijf laagafvoer*

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de toepassing en uitvoeringsvorm van het roerwerk bij verschillende slibsoorten (zie ook: paragraaf 2.3.1, blz.21).

slibsoort	roerwerk	drijf laagafvoer
primair slib	staven boven vloeistofoppervlak	zonder
uitgegist slib	staven boven vloeistofoppervlak	met
actief slib	staven onder vloeistofoppervlak	zonder

Tabel 2. Roerwerkconstructie 18

Het motief om bij uitgegist slib de roerstaven boven water uit de laten komen is om de gevormde drijf laag te breken en eenvoudiger te kunnen afvoeren.

Het valt te betwijfelen of het nodig is om de roerstaven te laten eindigen in de consolidatiezone van de indikker; wellicht is het aanbren-gen van roerstaven in de compressiezone voldoende 92.

Roerstaven kunnen rond of hoekig zijn; volgens Sparr 92 "ontgassen" ronde roerstaven het slib minder goed dan hoekige (zie figuur 6, blz. 25); deze laatste veroorzaken meer turbulentie.

Het roerwerk kan aan de onderzijde zijn voorzien van slibschiuiverbladen om het slibtransport naar het midden van de tank te bevorderen.



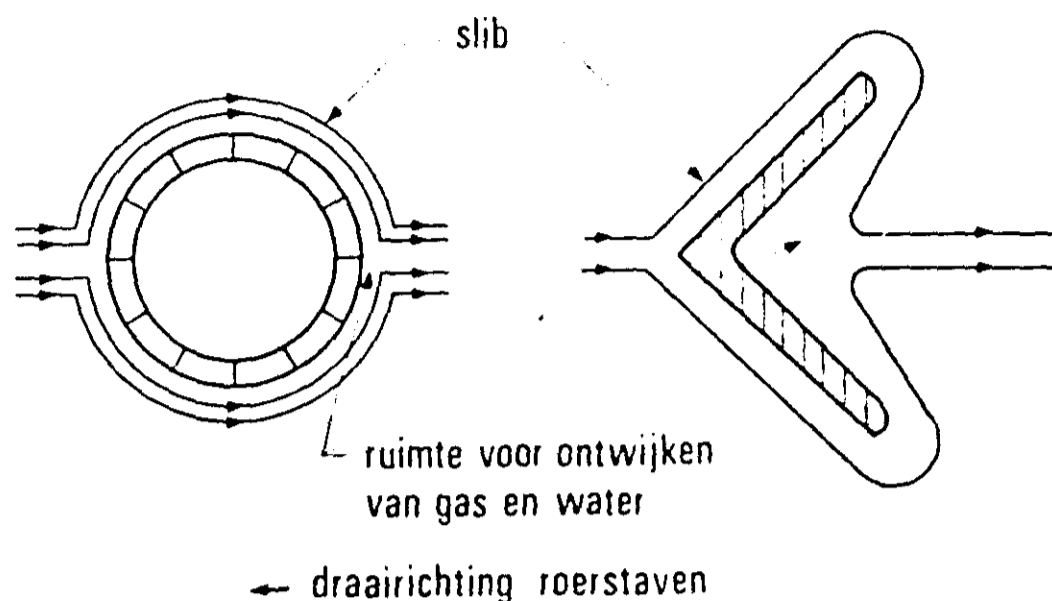


Fig. 6. Vormgeving van roerstaven 92

De onderlinge afstand van de roerstaven op het roerwerk bedraagt doorgaans ongeveer 30 cm; een te geringe afstand tussen de staven bevordert "brugvorming" (draden, algen etc.) waardoor de slibzone kan worden verstoord <sup>18</sup>.

Om het aantal roerstaven effectief te gebruiken verdient het volgens Kemper <sup>58</sup> aanbeveling de staven op het roerwerk ter weerszijden van de middenkolom ten opzichte van elkaar te laten verspringen.

De vorming van een drijfslaag is bij geen enkele slibsoort uitgesloten.

Als de drijfslaag niet kan worden afgevoerd wordt de slibwaterafvoer belemmerd, terwijl tevens een hoge plaatselijke messbelasting kan optreden.

Het drijfslaagafvoermechanisme is vrijwel altijd direct gekoppeld aan het roerwerk.

#### *bodemhelling*

De bodem van gravitatie-indickers wordt veelal geconstrueerd met een helling van 1 : 4 tot 1 : 8.

De helling dient ervoor om het slibtransport naar het aftappunt te bevorderen.

Of dit transport bij een vlakke bodem niet optimaal is, is niet bekend.

Informatie over de noodzaak om andere bodemhellingen toe te passen ontbreekt.

#### *kantdiepte*

In Nederland wordt in het algemeen een kantdiepte toegepast van 2 à 3 m.

In Duitsland en Amerika worden grotere kantdiepten toegepast. Bruikbare resultaten over de relatie tussen de kantdiepte en het drogestofgehalte van het ingedikte slib ontbreken nog <sup>18, 55</sup>.

#### 2.3.4 Bijzondere uitvoeringsvormen (sliblagunes)

Een bijzondere vorm van indikken is de verwerking van slib in lagunes.

Sliblagunes zijn in het algemeen opgebouwd uit omdijkte stukken land (dijkhoogte 1,30 - 1,50 m) en de bodem is veelal voorzien van een drainage-systeem. Voor de verwijdering van het afgescheiden vrije water is de lagune op diverse plaatsen voorzien van decanteer-aflaten.

De slibaanvoer is in de praktijk zowel continu als discontinu. De slibafvoer (ruiming/afgraving) vindt plaats 3 tot 5 jaar na vulling.

In Nederland worden sliblagunes wegens ruimtegebrek weinig toegepast en, wegens de kans op stankoverlast, voor de verwerking van uitgegist slib.

In het buitenland worden sliblagunes vooral toegepast in Amerika, Duitsland en Engeland.

Bruikbare gegevens over dimensionering, bedrijfsresultaten en toepassing voor verschillende slibsoorten zijn niet voorhanden.

Voor een juiste beoordeling van sliblagunes moeten deze gegevens worden verzameld.

Aandacht voor deze gegevens is zinvol, omdat met deze vorm van indikken goede resultaten worden behaald, terwijl de kosten laag lijken te zijn.

## 2.4 PROCESVARIABLEN

### 2.4.1 Algemeen

Bij gravitatie-indikking kan een groot aantal variabelen van invloed zijn op het indikproces (tabel 3).

procesvariabele	eenheid
slibsoort	-
drogestof-oppervlaktebelasting	kg d.s./m <sup>2</sup> .d.
hydraulische oppervlaktebelasting	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h
drogestof-ruimtebelasting	kg d.s./m <sup>3</sup> .d.
vloeistofverblijftijd	d
temperatuur	°C/°F
viscositeit	cS
drogestofgehalte aangevoerd slib	gew. %
roeren	omw./min.
kantdiepte	m
diameter	m
luchtdruk	mm kwikdruk
chemicaliëndosering	-
slibindex	ml/g
organische stof	gew. %

Tabel 3. Procesvariabelen bij gravitatie-indikking <sup>18</sup>

In de volgende paragrafen zal, aan de hand van literatuurgegevens, worden ingegaan op de mogelijke invloed van diverse procesvariabelen op het indikken.

Hierbij zal worden gelet op het drogestofgehalte van het ingedikte slib, de snelheid en het rendement van het proces.

### 2.4.2 Slibsoort

Uit tabel 1 (blz.22) blijkt een nauwe relatie tussen de slibsoort en het maximaal haalbare drogestofgehalte.

De slibsoort neemt een bijzondere plaats in tussen de overige procesvariabelen, omdat zij niet naar believen kan worden beïnvloed.

De slibeigenschappen worden - direct of indirect - immers vooral bepaald door:

- de samenstelling van het afvalwater (aangerot, industrieel afvalwater, toestand riolering, gewoonten van de bevolking, controle op de lozingen etc.) en
- het toegepaste zuiveringsproces (mechanische of biologische zuivering, oxydatiebedden, actiefslib, beluchtingssysteem, dosering van chemicaliën, aerobe of anaerobe stabilisatie, belasting, slibleeftijd etc.).

De eigenschappen van een bepaalde slibsoort komen vooral tot uitdrukking in:

- het gehalte aan organische stoffen (gloeiverlies);
- de slibindex;
- grootte, vorm en soortelijk gewicht van de slibdeeltjes en de homogeniteit van de slibmassa;
- het bezinkings- en indikkingsgedrag in het algemeen.

Het hanteren van de slibindex als maatstaf voor de fysische eigenschappen van slibsoorten dient met de uiterste voorzichtigheid te gebeuren (zie 2.4.14, blz. 38).

Onderscheid naar deeltjesgrootte heeft weinig zin; grootte, vorm en verdeling van de slibdeeltjes in één en dezelfde slibmassa zijn uiterst wisselvallig.

Bij het indikken van slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen onderscheidt men de volgende slibsoorten:

- primair slib (zowel vers als uitgegist);
- humuslib;
- actief of secundair slib;
- "chemisch" slib;
- "zuurstof" slib;
- mengsels van primair en secundair slib;
- mengsels van primair slib met humuslib;
- mengsels van secundair slib met humuslib.

Bij experimenten met indikkers wordt de samenstelling van het gebruikte slib in de literatuur dikwijls onvolledig of in het geheel niet vermeld 32, 57, 58, 84. De bruikbaarheid van de resultaten kan hierdoor sterk verminderen.

Als aanvulling op tabel 1 is in tabel 4 de haalbare drogestofconcentratie bij indikking van verschillende slibsoorten gegeven <sup>94</sup>.

De vermelde concentraties dienen als indicatie te worden beschouwd.

primair slib	haalbare drogestofconcentratie
- gloeirest < 35%	5 - 7 %
- gloeirest > 35%	7 - 12 %
- uitgegist	8 - 14 %
actief-slib	
- uitgegist	6 - 9 %
- thermisch geconditioneerd	10 - 15 %
actief + primair slib	
- aerob gestabiliseerd	3 - 5 %
- slibindex > 100 ml/g	4 - 6 %
- slibindex < 100 ml/g	6 - 11 %
humus + primair slib	7 - 10 %
primair + zwaar industrieslib	10 - 30 %

Tabel 4. Indikresultaten van verschillende slibsoorten <sup>94</sup>  
(zonder toevoeging van chemicaliën)

### 2.4.3 Drogestof-oppervlaktebelasting

Door diverse onderzoekers zijn theorieën ontwikkeld voor het berekenen van de optimale drogestof-oppervlaktebelasting bij het indikken van bepaalde slibsoorten.

Vrijwel al deze theorieën bestempelen deze procesvariabele tot één van de belangrijkste parameters voor het dimensioneren van gravitatie-indikkers.

In tabel 5 zijn de in Nederland en Amerika gebruikelijke drogestof-oppervlaktebelastingen voor het indikken van verschillende slibsoorten weergegeven.

slibsoort	d.s.-oppervlaktebelasting (kg d.s./m <sup>2</sup> .d)	
	Nederland	USA
primair slib	125	100
primair + humusslib	40	70
primair + actief-slib	40	50
actief-slib (gestabiliseerd)	30	20

Tabel 5. Drogestof-oppervlaktebelasting bij verschillende slibsoorten 18, 94

Door Dust <sup>32</sup> is het verband tussen drogestof-oppervlaktebelasting en het drogestofgehalte van het ingedikte slib op praktijkschaal onderzocht.

Zijn resultaten (figuur 7) komen voor een deel overeen met de bevindingen van Dick, Keefer en Stalman <sup>28, 32, 57, 94</sup>.

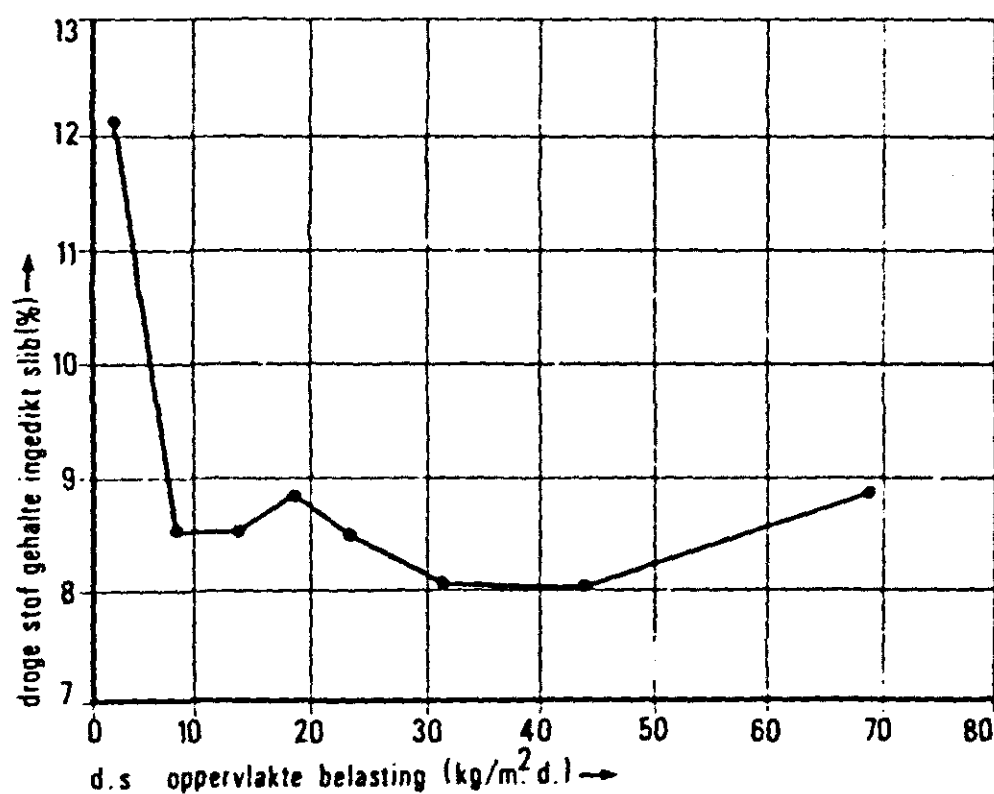


Fig. 7. Drogestof-oppervlaktebelasting en indikresultaat <sup>32</sup>

Deze auteurs hebben voor diverse slibsoorten de relatie onderzocht tussen de drogestof-oppervlaktebelasting, het drogestofgehalte van het ingedikte slib en het drogestofrendement van de indikker.

In figuur 8 is het verband tussen drogestof-oppervlaktebelasting, drogestof-ruimtebelasting en het drogestofgehalte van het ingedikte slib gegeven; ook de diepte van de slibzone is in deze relatie betrokken.

De cijfers in deze figuur, die betrekking heeft op actief-slib van het Emscher Genossenschaft, zijn gemiddelden van etmaalbemonsteringen.

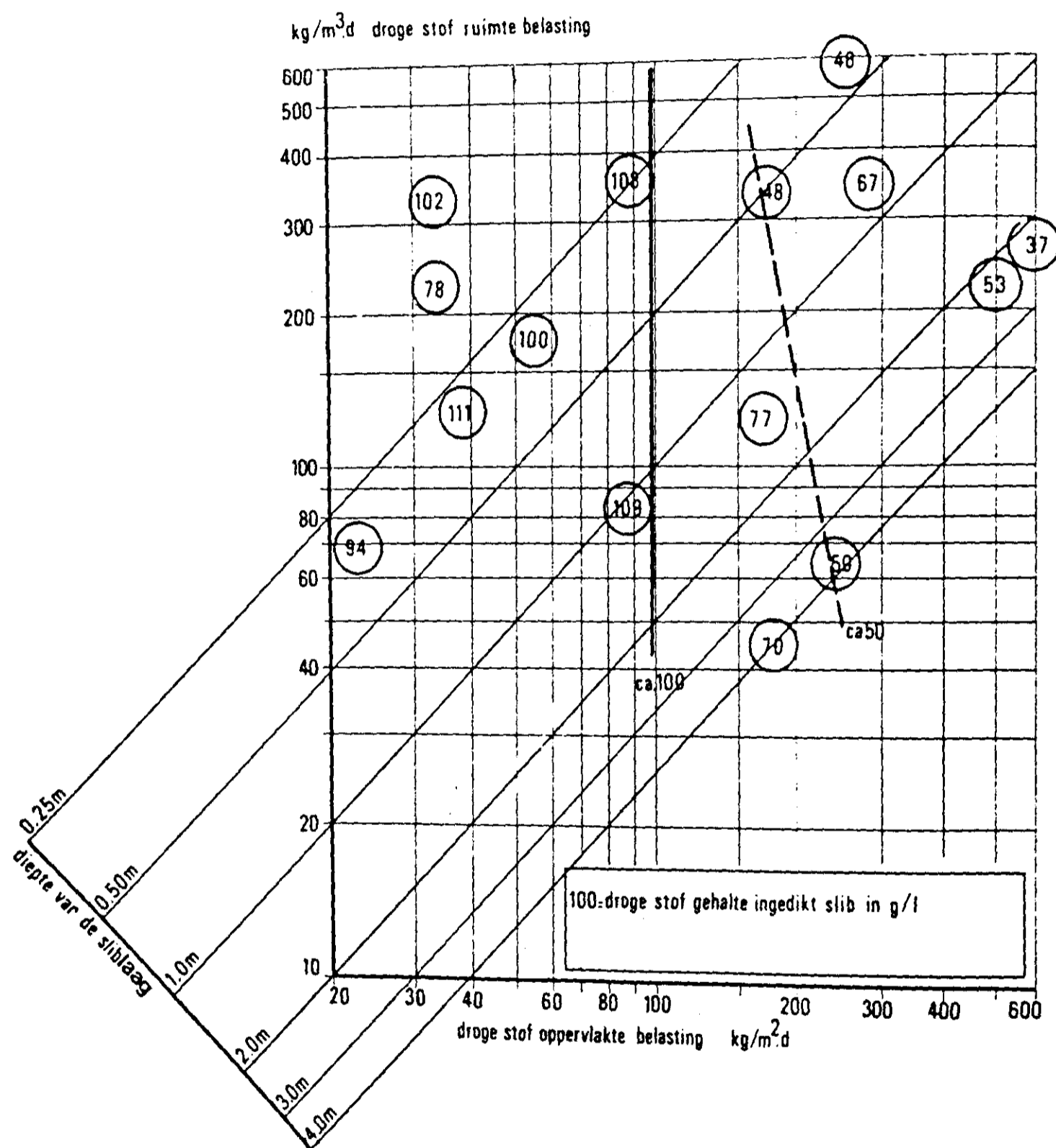


Fig. 8 . Drogestof-oppervlaktebelasting, drogestof-ruimtebelasting, dikte van de sliblaag en drogestofgehalte van ingedikt slib 94

Uit figuur 8 blijkt, dat de maximale drogestofconcentratie (circa 10%) werd gehaald bij een drogestof-oppervlaktebelasting van 70 - 100  $\text{kg/m}^2\text{d}$ ; variatie in de drogestof-ruimtebelasting (zie 2.4.5,

blz. 32) van 85 tot 350 kg/m<sup>3</sup>.d. is op dit resultaat niet van invloed. Overschrijding van een drogestof-oppervlaktebelasting van 100 kg/m<sup>2</sup>.d. leidde tot verlaging van de drogestofconcentratie (zie ook 2.4.5).

Verhoging van de drogestof-oppervlaktebelasting gaf in het algemeen ook een verlaging van het drogestofrendement <sup>94</sup>.

In figuur 9 is de relatie gegeven tussen de drogestof-oppervlaktebelasting, de sliblaagdikte en het drogestofgehalte van ingedikt actief-slib <sup>55</sup>.

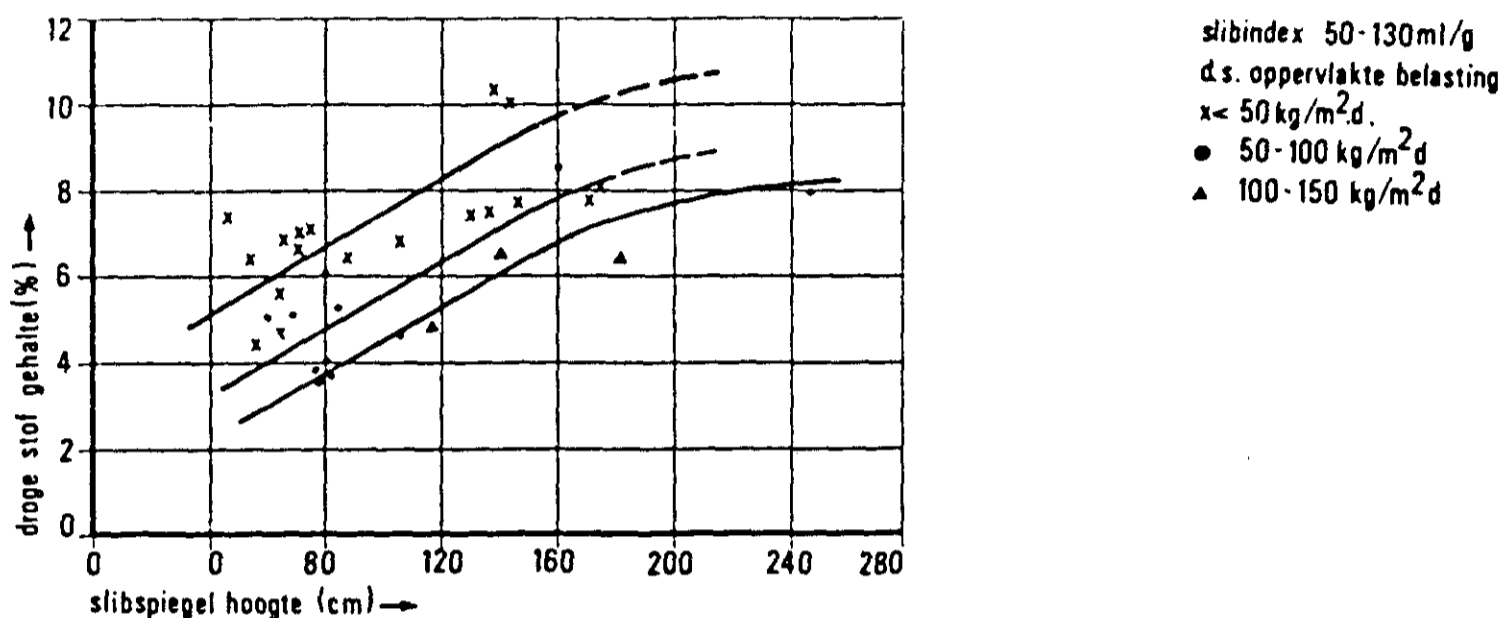


Fig. 9. Drogestof-oppervlaktebelasting, sliblaagdikte en drogestofgehalte van ingedikt actief-slib <sup>55</sup>

Voor het dimensioneren van discontinu-indikkers is de drogestof-oppervlaktebelasting een moeilijk te hanteren grootte. De verblijftijd van het slib in de indikker is daarvoor een betere grondslag.

Van vrijwel alle slibsoorten ontbreken echter voldoende praktijkgegevens over de relatie tussen de drogestof-oppervlaktebelasting, de indiktijd en het eindresultaat van het indikken.

#### 2.4.4 Hydraulische oppervlaktebelasting (oppervlaktebelasting)

In de literatuur wordt in het algemeen weinig aandacht besteed aan de invloed van de oppervlaktebelasting op het indikken; veelal wordt verondersteld dat de oppervlaktebelasting alleen het drogestofrendement van de indikker <sup>18, 94</sup> beïnvloedt.

Afhankelijk van de slibsoort wordt een oppervlaktebelasting gekozen van 0,6-1,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h.

In de praktijk blijkt dit te resulteren in een drogestofrendement van 96 - 98 %, hetgeen als voldoende wordt beschouwd.

Een hydraulische oppervlaktebelasting kleiner dan 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h kan stankoverlast veroorzaken <sup>92</sup>.

#### 2.4.5 Drogestof-ruimtebelasting (ruimtebelasting)

De drogestof-ruimtebelasting is een maat voor de verblijftijd van de droge stof in de indikker.

Uitgaande van een bepaalde sliblaagdikte kan uit de drogestof-ruimtebelasting de verblijftijd van het slib in de sliblaag worden berekend; deze wordt bij constante aanvoer bepaald door de hoogte en het drogestofgehalte in de sliblaag.

De per tijdseenheid vrijkomende hoeveelheid vrij water is theoretisch onafhankelijk van de sliblaagdikte en dus niet van invloed op de snelheid van het indikproces <sup>94</sup>.

De in de literatuur vermelde gegevens over de optimale hoogte van de sliblaag lopen aanzienlijk uiteen. Een verklaring hiervoor is wellicht dat de betreffende onderzoekers <sup>13, 57</sup> verschillende slibsoorten onderzochten.

De aanbevolen waarden voor de sliblaagdikte variëren van 0,6 - 1,5 m bij een kantdiepte van 3 à 4 m <sup>9, 94</sup>.

De relatie tussen drogestof-ruimtebelasting, drogestof-oppervlaktebelasting en het drogestofgehalte van het ingedikte slib werd reeds gedeeltelijk besproken in paragraaf 2.4.3 en geïllustreerd in figuur 8 (blz. 30); geconcludeerd werd, dat het drogestofgehalte van het ingedikte slib daalt als de drogestof-oppervlaktebelasting tot meer dan 100 kg/m<sup>2</sup>.d. stijgt.

Figuur 8 suggereert dat deze daling (slechts zeer ten dele) kan worden gecompenseerd door variatie van de ruimtebelasting; verlaging van deze parameter (= langere verblijftijd) wordt begrensd door de snelheid waarmee het slib tot gisting overgaat.

Over de invloed van de ruimtebelasting op het indikproces van verschillende slibsoorten zijn meer - en betrouwbaardere - praktijkgegevens nodig; ondanks het ontbreken hiervan wordt door veel onderzoekers <sup>9, 13, 57, 94</sup> gesteld dat de ruimtebelasting van grote invloed kan zijn op het drogestofgehalte van het ingedikte slib.

#### 2.4.6 Vloeistofverblijftijd

Onder de vloeistofverblijftijd bij slibindikers kan worden verstaan de verblijftijd van de vloeistof in de indikker en/of in de waterzone (zone boven de sliblaag).

In de onderzochte literatuur wordt aan deze variabele weinig aandacht besteed.

#### 2.4.7 Temperatuur en viscositeit

Temperatuurverhoging van een vloeistof resulteert in verlaging van de viscositeit; de bezinksnelheid van kogelvormige deeltjes in een vloeistof neemt toe bij verlaging van de viscositeit (wet van Stokes). De relatie tussen de temperatuur en de bezinksnelheid van kogelvormige deeltjes is weergegeven <sup>10</sup> in figuur 10 (zie blz. 31 ).



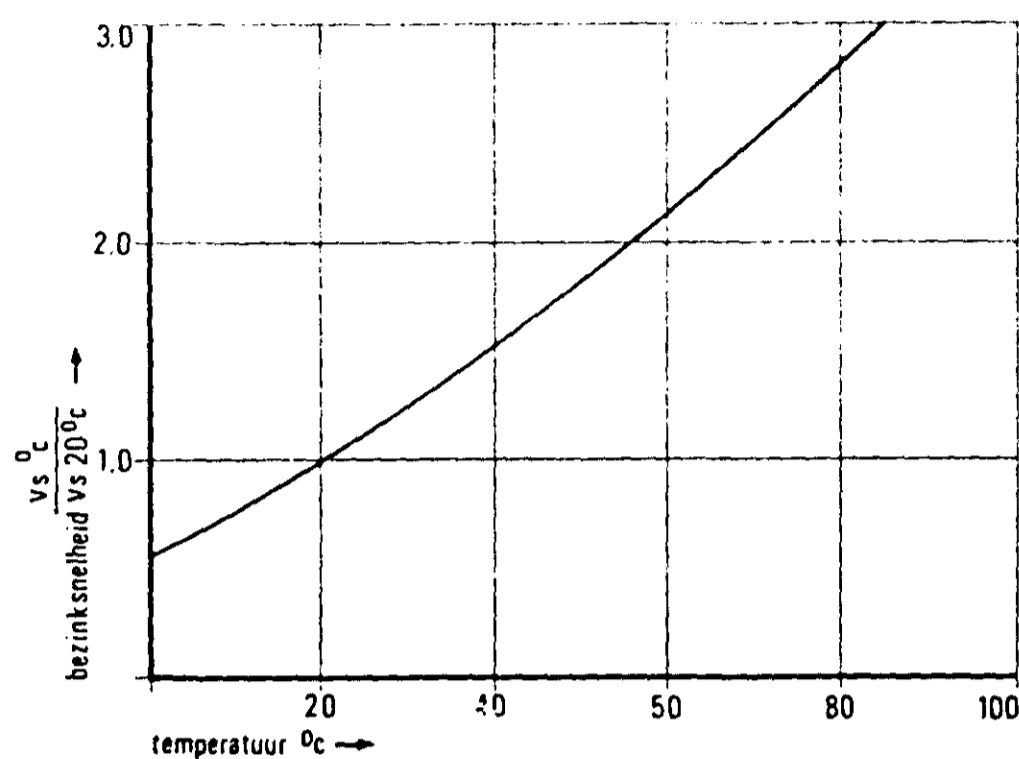


Fig. 10. Bezinksnelheid van ideale deeltjes <sup>10</sup>

De temperatuur in de indikker blijkt in de praktijk van invloed te zijn op de snelheid en het eindresultaat van het indikproces. Hoewel de informatie van diverse onderzoekers <sup>84, 94</sup> soms tegenstrijdig is, blijkt de gravitatie-indikking in het algemeen bij temperaturen tussen 10 - 20°C beter te verlopen dan bij lagere of hogere temperaturen <sup>57, 92</sup>.

Bij actief-slib kan de temperatuur van de slibmassa gedurende de verblijftijd in beluchtingsruimte mogelijk ook van invloed zijn op het verloop van het indikproces <sup>94</sup>.

In sommige gevallen blijkt het drogestofgehalte van het ingedikte slib 's-zomers circa 60% lager te zijn dan 's-winters.

Op grond van de onderzochte literatuur <sup>57, 84, 92, 94</sup> kunnen nog geen conclusies over de invloed van de temperatuur worden getrokken; het ontbreekt vooral aan inzicht in de bedrijfsvoering van indikkers bij hoge temperaturen.

#### 2.4.8 Drogestofgehalte aangevoerd slib

Omdat tijdens het indikproces verschillende drogestofconcentraties worden "doorlopen" ligt het niet voor de hand dat het drogestofgehalte van de aanvoer van beslissende betekenis is voor de eindconcentratie van het ingedikte slib.

Dit wordt bevestigd door onderzoek van Stalman <sup>94</sup>.

Uit dit onderzoek blijkt, dat de aanvangsconcentratie wel de bezinkingssnelheid beïnvloed (figuur 11)\*, maar niet of nauwelijks van invloed is op de eindconcentratie van het ingedikte slib (figuur 12).\*

\* zie blz. 34.

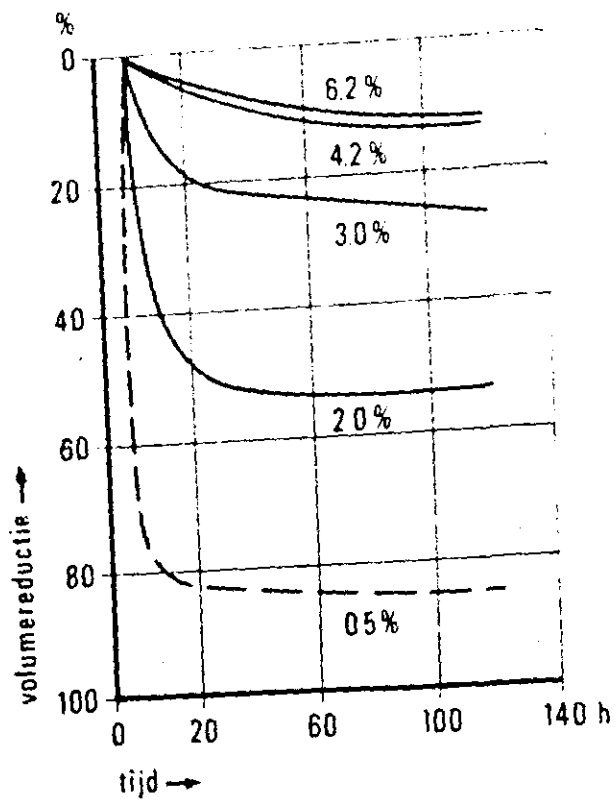


Fig. 11. Aanvangsconcentratie en de bezinksnelheid van slib 35.

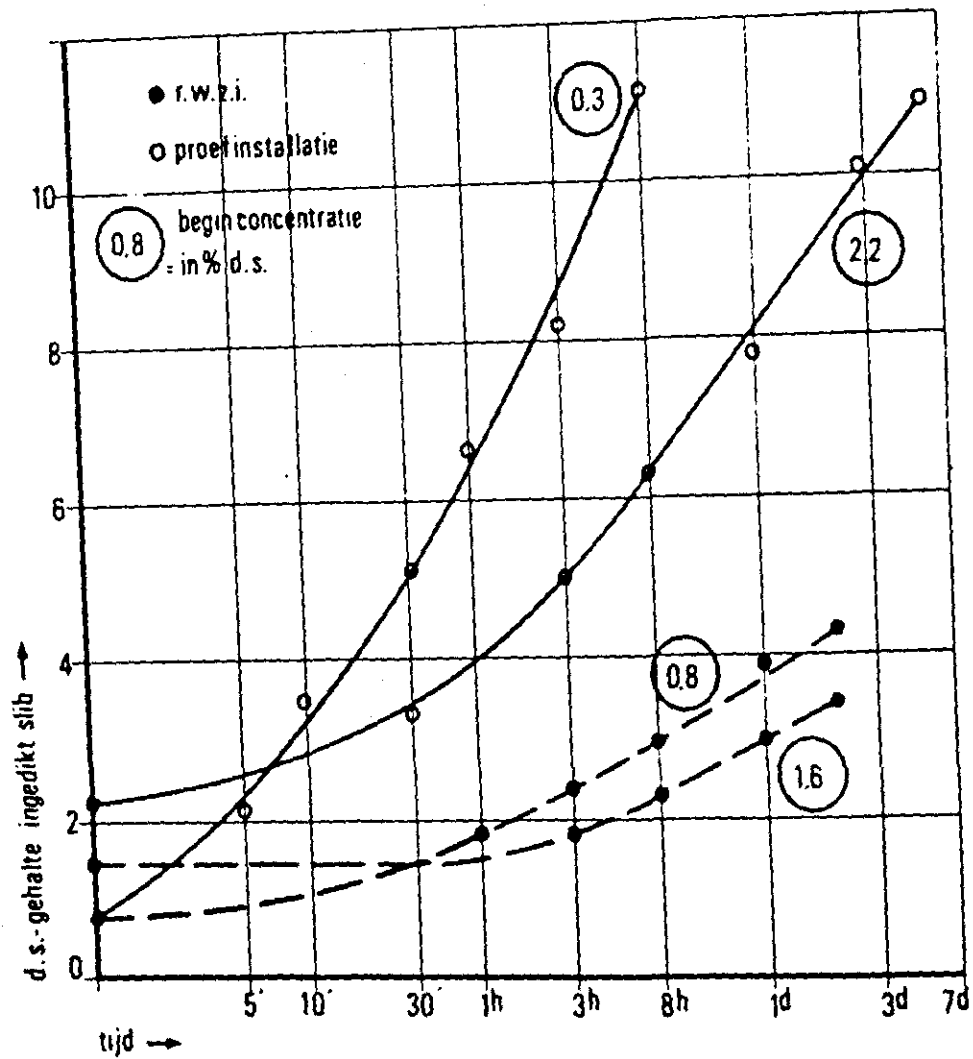


Fig. 12. Aanvangsconcentratie en drogestofconcentratie van het ingedikte slib 94

In de consolidatiezone (gehinderde bezinking) is de aanvangsconcentratie wel van enig belang omdat de slibvlokken bij grotere dichtheid elkaar hinderen.

#### 2.4.9 Roeren

Het roerwerk in een gravitatie-indikker kan een gunstige invloed hebben op de vlokvorming van het slib, het ontwijken van het vrije water en het homogeniseren van de slibmassa.

Over de noodzaak om in gravitatie-indikers een roerwerk toe te passen bestaan tegenstrijdige inzichten 10, 13, 21, 94.

Dit wordt vooral veroorzaakt door de verschillende omstandigheden waaronder de onderzoekers werkten (continu of discontinu indikken, laboratoriumschaal of semi-technische schaal).

Vooraf bij indikers met een kleine diameter blijkt roeren een gunstig effect te hebben op de indiksnelheid 58, 94, 109; Stalman 94 vond geen duidelijke verschillen in het eindresultaat (figuur 13).

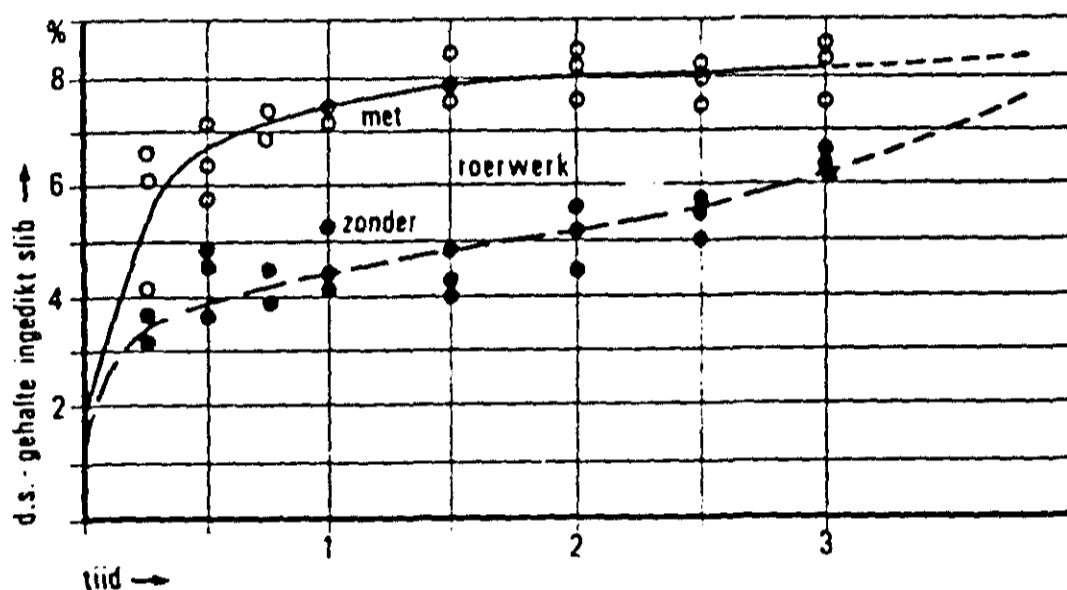


Fig. 13. Roeren in een gravitatie-indikker en de drogestofconcentratie van ingedikt slib 94

Afgaande op diverse onderzoeken 21, 51, 92, 94, 109 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- roeren bevordert de indiksnelheid, maar niet duidelijk het eindresultaat van de indikking (figuur 13);
- roeren resulteert in een volumebesparing op de indikker;
- roeren moet altijd worden toegepast bij slib dat neigt tot brugvorming, vooral bij indikers op laboratorium- of semi-technische schaal;
- de omtreksnelheid van het roerwerk dient kleiner te zijn dan 0,1 m/s.

De waarde van voornoemde conclusies is echter beperkt omdat de meeste onderzoeken zijn verricht op laboratorium- of semi-technische schaal; aanvullend onderzoek op technische schaal is noodzakelijk.

#### 2.4.10 Kantdiepte

In een gravitatie-indikker vormt zich een globale scheiding tussen slib- en waterzone; op eenzelfde diepte onder water is de druk op alle kanten van de slibdeeltjes gelijk.

De hoogte van de waterzone zal de concentratie van het slib dus niet verhogen, hetgeen door onderzoek van Stalman 94 op laboratoriumschaal wordt bevestigd (tabel 6, blz. 36).

volumereductie bij verschillende waterzones			
waterzone (cm)	50	140	90
slibspiegelhoogte (cm) na:			
- 1 uur	20	20	20
- 2 uur	14,5	14,0	15,5
- 21 uur	8,7	8,7	8,9

Tabel 6. Hoogte van de waterzone en slibspiegelhoogte <sup>94</sup>

In de praktijk wordt in gravitatie-indikkers als hoogte van de waterzone circa 0,5 - 1,5 meter aangehouden.

Volgens Darey <sup>94</sup> is de hoogte van de slibzone (compressie-zone) niet van invloed op de stijgsnelheid van het vrije water in de slibmassa; zij bepaalt echter wel de compressie op de onderliggende sliblagen. In de slibzone neemt het drogestofgehalte van de slibmassa toe met de diepte, terwijl de doorlaatbaarheid sterk afneemt (zie figuur 3, blz.18).

Bij slibzones hoger dan 1,5 - 2,0 m neemt de kans op gasvorming toe en daardoor de kans op ongunstige beïnvloeding van het indikresultaat. De gasvorming is het gevolg van een te lange verblijftijd van het slib in de indikker.

#### 2.4.11 Diameter

Het indikken op laboratorium- of semi-technische schaal kan nadelig beïnvloed worden door de diameter van de indikker <sup>10</sup>.

De volgende effecten treden vooral op bij indikkers met een kleine diameter:

- *wand-effect*: het verdrongen vrije water uit de onderste sliblagen kiest de weg van de minste weerstand via een horizontaal vlak naar de wand en deze horizontale stroming verstoort de snelheid van het indikproces;
- *silo-effect*: bij stijgend drogestofgehalte zal het gevormde netwerk in het slib zich als het ware aan de wand van de indikker hechten en een deel van de compressiedruk van de bovenliggende lagen opvangen. Daardoor wordt het einddrogestofgehalte nadelig beïnvloed.

De indruk bestaat dat deze effecten alleen van belangrijke invloed zijn bij proeven op laboratoriumschaal <sup>18, 94</sup>; kwantitatieve gegevens over het verband tussen diameter (wand- en silo-effect), slibsoort en eindconcentratie van het ingedikte slib zijn echter nog niet voorhanden.

#### 2.4.12 Luchtdruk

De gemiddelde luchtdruk in Nederland bedraagt circa 760 mm Hg (740 - 820 mm Hg).

Luchtdrukverandering blijkt in de praktijk geen waarneembare invloed te hebben op de snelheid en het eindresultaat van het indikproces <sup>21, 94</sup>.

### 2.4.13 Chemicaliën-dosering

Door toevoeging van chemicaliën aan slib kan worden getracht de slibeigenschappen of de omstandigheden in de indikker zodanig te beïnvloeden dat het indikken sneller verloopt en het drogestofgehalte van het ingedikte slib stijgt.

De dosering van (bijvoorbeeld) kalk aan uitgegist slib beëindigt de activiteit van anaerobe micro-organismen waardoor de gasvorming wordt gestopt.

Alkalische of zure stoffen zullen in het algemeen de eigenschappen van het slib veranderen <sup>92</sup>:

- de activiteit van de micro-organismen wordt verstoord;
- voor een aantal colloïdale stoffen wordt wellicht het iso-electrische punt bereikt, waardoor kleinere deeltjes samenballen (vlokvorming).

De mogelijke invloed van de pH van actief slib op de indikeigenschappen is weergegeven in figuur 14.

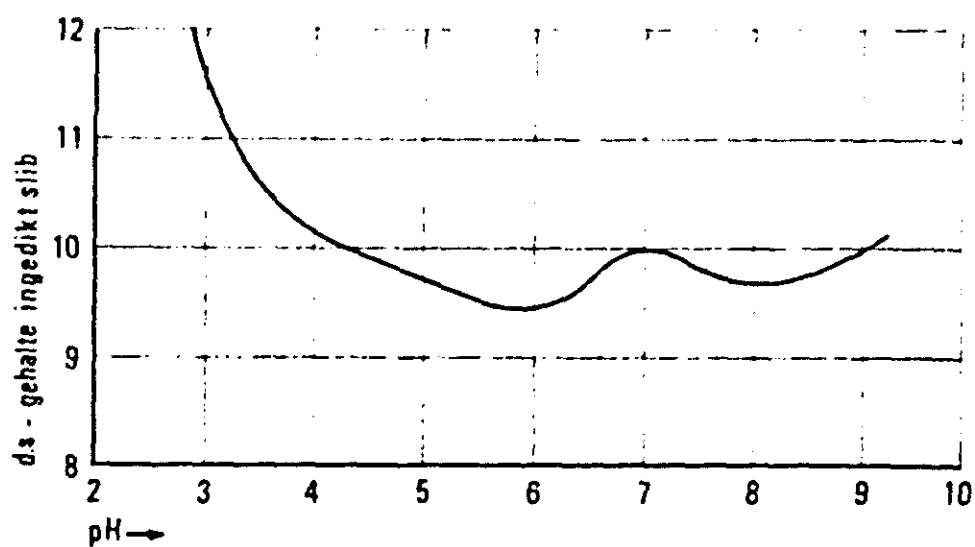


Fig. 14. pH en drogestofgehalte van ingedikte actief slib <sup>10</sup>

Door Sparr <sup>92</sup> is - op laboratoriumschaal - veel onderzoek verricht naar de invloed van chemicaliën bij het indikken van actief slib (tabel 7).

chemicaliën	effect op het indikresultaat
natriumhypochloriet	geen
calciumhypochloriet	geen
kopersulfaat	alleen invloed bij dosering groter dan 100 mg/l
ferrichloride	geen
ferrisulfaat	geen
aluminium	geen
as, kalk etc.	geen
polyelectrolyten	geen, (wel hoge drogestof-oppervlaktebelastingen mogelijk)

Tabel 7. Chemicaliën-dosering en indikresultaat <sup>92</sup>

Over onderzoek op technische schaal is weinig bekend.

2.4.14 Slibindex

In Nederland is de slibindex ingeburgerd als maat voor de fysische eigenschappen van het slib.

Bij gelijke slibindex kunnen de bezinkingseigenschappen van verschillende slibsoorten echter sterk uiteenlopen (figuur 15).

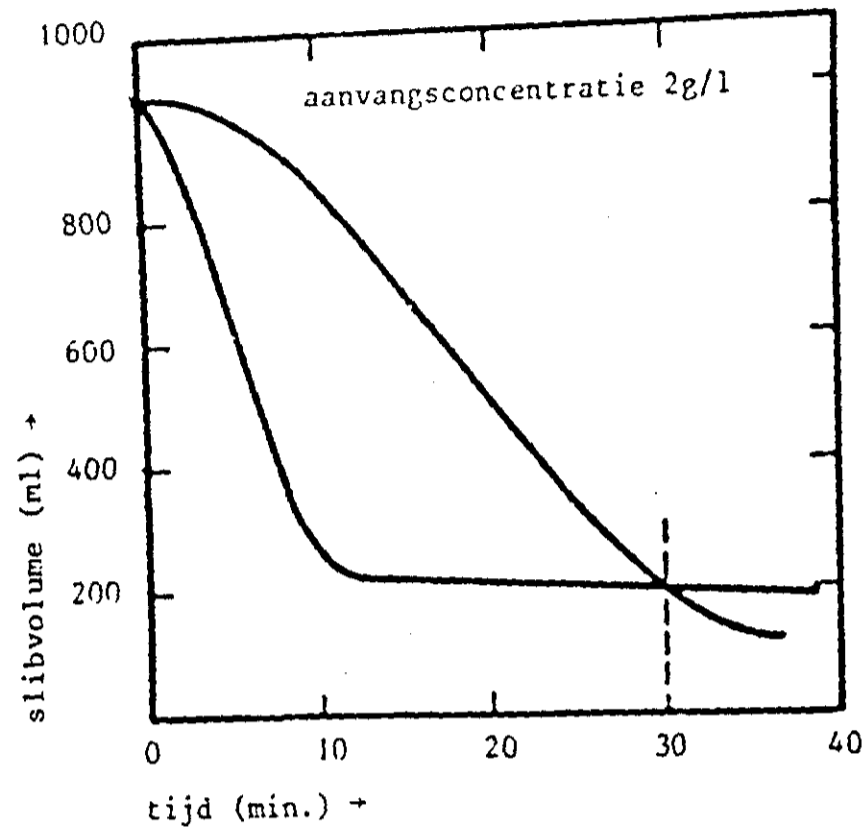


Fig. 15. Slibindex en bezinkingseigenschappen 23

De slibindex wordt in sterke mate bepaald door de aard van het slib; omdat bij gravitatie-indikking alleen het vrije water kan worden afgescheiden, ligt een zekere relatie voor de hand tussen de slibindex en de mate waarin actief-slib kan worden ingedikt 55, 66.

Dit verband is weergegeven in figuur 16 voor actief-slib van verschillende rioolwaterzuiveringsinrichtingen van het Emscher Genossenschaft.

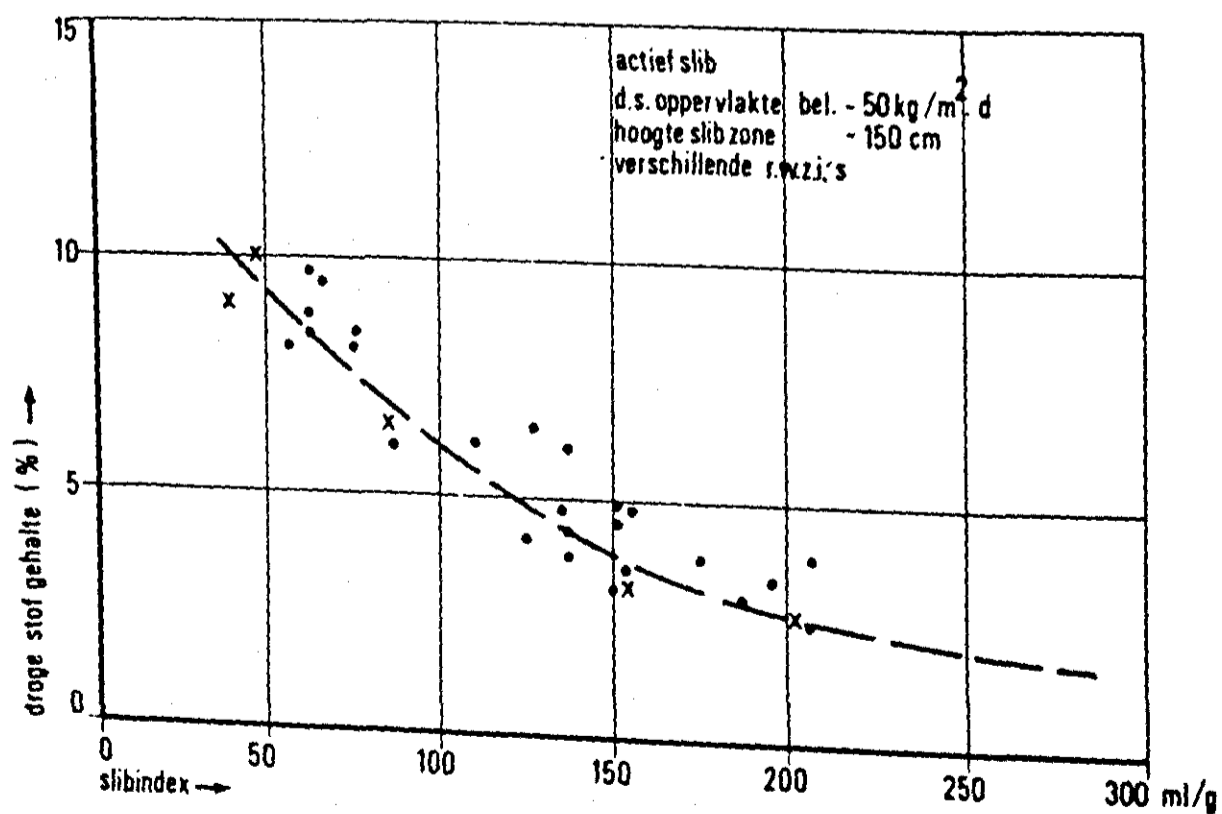


Fig. 16. Slibindex en drogestofgehalte van ingedikt actief-slib 55

Figuur 17 geeft voor vier zuiveringsinrichtingen in Amerika het verband tussen de slibindex en het drogestofgehalte in het aangevoerde (actief)-slib.

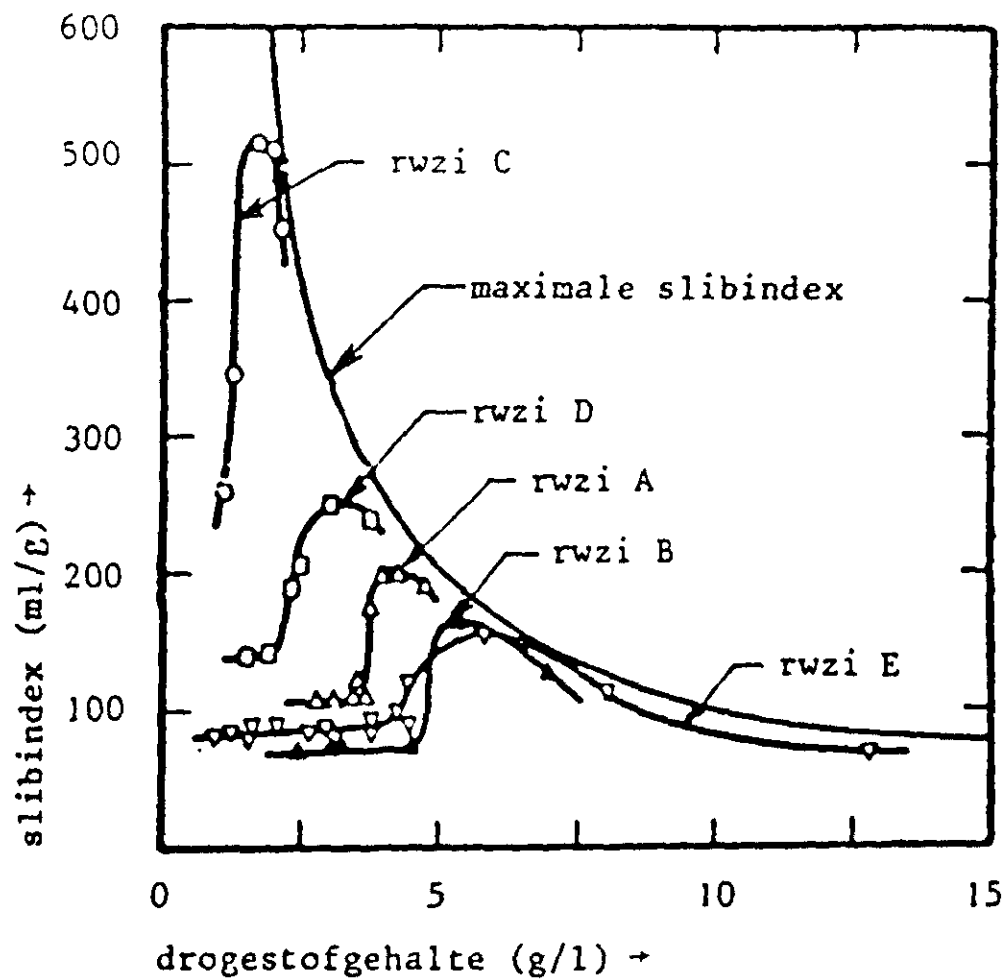


Fig. 17. Slibindex en drogestofgehalte van in te dikken actief-slib <sup>23</sup>

Ook de wijze waarop en de temperatuur waarbij de slibindex wordt bepaald, beïnvloeden deze variabele; in Europa bestaan diverse genormaliseerde indexbepalingen (Duitsland: verdunningsindex; Engeland: geroerde index; Nederland: NEN 3235.4.5).

Figuur 18 toont <sup>23</sup> de invloed van de diameter van het bezinkglas (bij eenzelfde standaardinhoud, 1 liter), waarin de slibindex wordt bepaald, op de uitkomst voor drie verschillende soorten actief-slib.

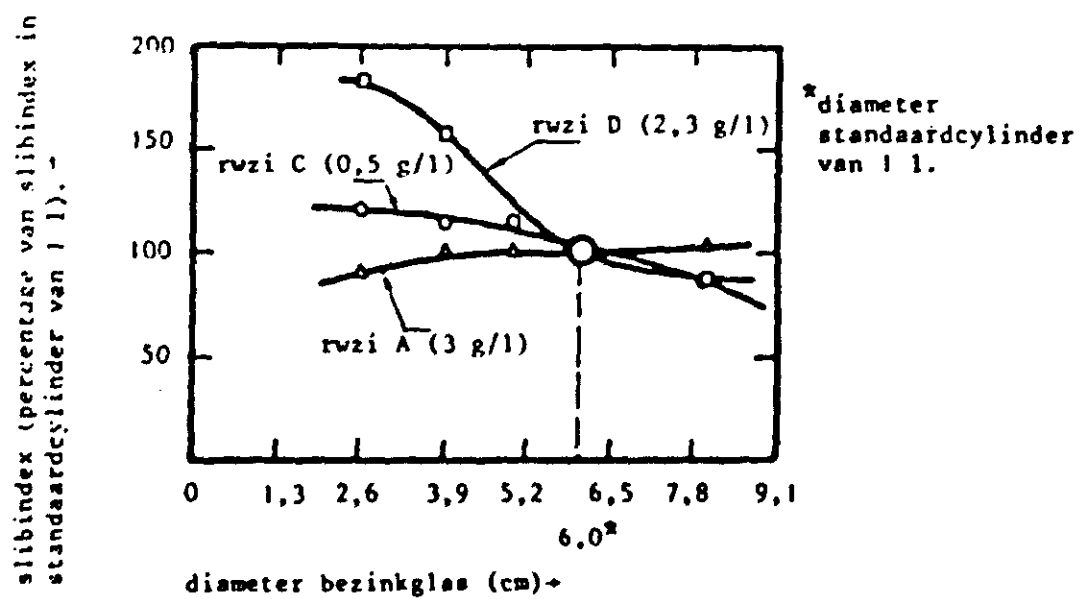


Fig. 18. Slibindex en diameter bezinkglas <sup>23</sup>

Figuur 19 (blz. 40) illustreert <sup>23</sup> het effect van roeren op de slibindex; de "geroerde" index is lager.

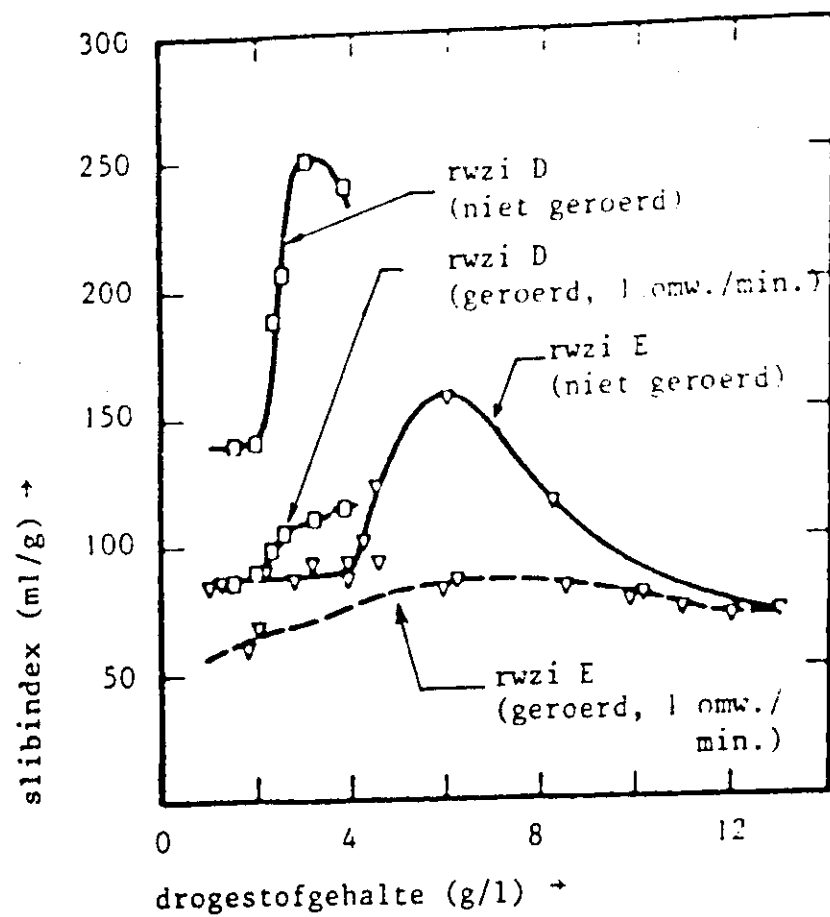


Fig. 19. Slibindex en roeren 23

Tenslotte geeft figuur 20 de invloed van de temperatuur op de slibindex.

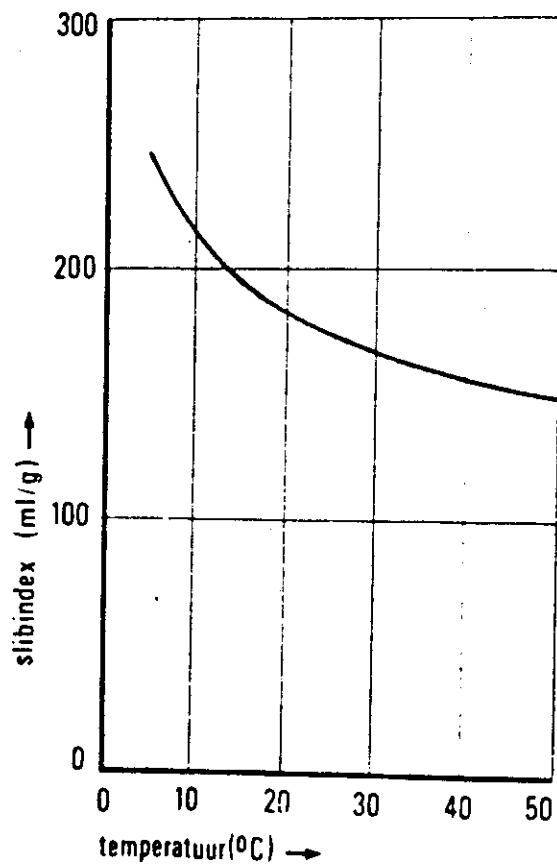


Fig. 20. Slibindex en temperatuur 23

De in deze paragraaf besproken literatuur toont duidelijk aan, dat de slibindex slechts met uiterst groot voorbehoud kan worden gehanteerd als maatstaf voor de fysische eigenschappen van het slib.

Vooraf het vergelijken van verschillende slibsoorten op basis van hun slibindex is niet zonder gevaar; dit gevaar wordt nog vergroot doordat de gebruikte slibsoort en de wijze waarop de slibindex werd bepaald in de literatuur dikwijls niet worden vermeld.

#### 2.4.15 Organische stof in het slib

De hoeveelheid organische stof in slib wordt bepaald door de samenstelling van het afvalwater en de aard van het zuiveringsproces.



Deze procesvariabele kan daarom niet naar believen worden beïnvloed. De hoeveelheid organische stof bepaalt in hoofdzaak het waterbindend vermogen (gebonden water) van het slib.

In figuur 21 is het verband tussen het organische stofgehalte (als gloeirest) en de eindconcentratie van het ingedikte slib weergegeven voor verschillende slibsoorten.

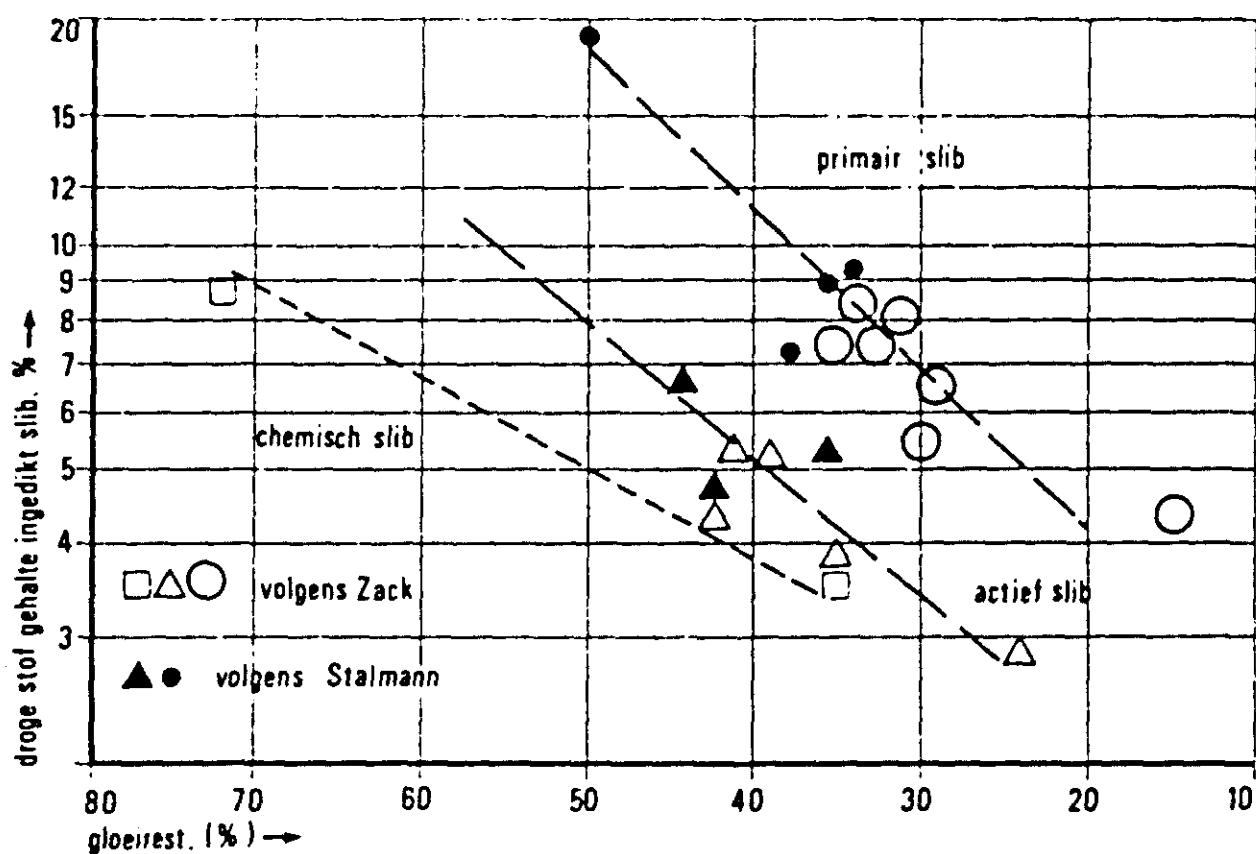


Fig. 21. Organische stofgehalte en slibindikking

Figuur 21 is afgeleid uit een groot aantal proeven op praktijkschaal 116; uit deze figuur blijkt duidelijk dat, afhankelijk van de slibsoort, de beste indikresultaten werden bereikt bij een laag gehalte aan organische stof in het slib.

## 2.5

## BEDRIJFSVOERING

## 2.5.1

Algemeen

De bedrijfsvoering van gravitatie-indikers in Nederland richt zich voornamelijk op de drogestofconcentratie van het ingedikte slib en -in geringere mate- op het drogestofrendement van de indikker.

Slibspiegelmeting en meting van de slibconcentratie in de indikker worden nog weinig toegepast; ruime ervaring met automatische sturing van het indikproces ontbreekt.

Gravitatie-indikers worden zowel discontinu als continu bedreven en beide wijzen van bedrijfsvoering overlappen elkaar voor een deel; daarnaast worden veel tussenvormen toegepast.

## 2.5.2

Slibaanvoer

De slibaanvoer naar een indikker kan continu of discontinu plaatsvinden.

Dit hangt onder andere samen met:

- de grootte van de installatie (regelmatige belasting);
- de bedrijfsvoering van de slibgistingstanks (continue of discontinue voeding);
- de aanwezigheid van ontwateringsapparatuur (bijvoorbeeld: continu voeden van filterpersen);
- de mogelijkheid om het ingedikte slib continu of discontinu af te voeren;
- de slibsoort (stank).

In tabel 8 is een overzicht gegeven van de in Nederland in het algemeen gevolgde bedrijfsvoering bij het indikken van verschillende slibsoorten<sup>18</sup>; de tussen haakjes geplaatste wijze van procesvoering komt minder vaak voor.

slibsoort	bedrijfsvoering	
	aanvoer	afvoer
primair slib	discontinuu (continu)	continu discontinuu
uitgelist slib	discontinuu (continu)	discontinuu
actief slib	continu discontinuu	discontinuu

Tabel 8. Bedrijfsvoering slibindikers 18

Nadelen van een discontinue bedrijfsvoering kunnen zijn 18, 94 de arbeidsintensiviteit, een groter benodigd volume van de indikker en wisselende bedrijfsresultaten.

Weinig onderzoek is verricht naar de invloed van de bedrijfsvoering van een gravitatie-indikker (continu of discontinu) op het drogestofgehalte van het ingedikte slib.

De resultaten van onderzoek op semi-technische schaal <sup>94</sup> zijn weergegeven in tabel 9; uit deze tabel blijkt, dat continu indikken een hoger drogestofgehalte van het ingedikte slib gaf dan discontinu indikken.

Ook in de praktijk bestaat de indruk <sup>18, 92, 94</sup> dat discontinu indikken tot wat minder goede resultaten leidt dan continu indikken.

De oorzaak hiervan is wellicht dat bij discontinu indikken de verblijftijd van het slib (de hoogte van de slibzone) uit het oog wordt verloren. Het discontinu afvoeren van slib kan dan leiden tot het ontstaan van een "gat" (kortsluiting) in de sliblaag.

indikker (nummer)		1	2	1	2
bedrijfsvoering		discontinuu		continu	
roerwerk		zonder	met	zonder	met
verblijftijd van de aanvoer in de indikker	(h)	10	10	4,7	3,9
drogestofgehalte ingedikte slib	(%)	7,6	7,4	8,4	9,5
drogestofgehalte overloopwater	(mg/l)	130	133	162	149
rendement	(%)	99,0	98,9	98,7	98,8

Tabel 9. Discontinuu en continu-indikken <sup>94</sup>  
(bedrijfsresultaten op semi-technische schaal)

### 2.5.3 Slibafvoer

Ook de slibafvoer kan continu of discontinuu plaatsvinden; dit kan noodzakelijk zijn uit oogpunt van bedrijfsvoering.

Er bestaat weinig inzicht in de relatie tussen continu en/of discontinuu afvoeren en de drogestofconcentratie van het ingedikte slib.

Bij continue slibafvoer moet worden gelet op de drogestof-oppervlaktebelasting en de hoogte van de slibzone; beide factoren dienen constant te worden gehouden.

Dit kan worden bereikt door debietmeting (magnetisch-inductief) en meting (radiometrisch) van het drogestofgehalte in de aanvoer naar de indikker. Het "produkt" van beide metingen stuurt vervolgens zowel de slibaanvoer als -afvoerpomp.

Bij discontinuu afvoeren dient vooral te worden gelet op de hoogte van slibzone (slibverblijftijd). Deze hoogte kan constant worden gehouden

door de slibafvoerpomp via de slibspiegelhoogte te sturen, bijvoorbeeld met een fotometrische schakeling <sup>95</sup>.

Bruikbare informatie over de ervaring (vervuiling van de meetapparatuur, betrouwbaarheid, etc.) met het automatisch aflatenvan slib ontbreekt echter nog.

#### 2.5.4 Roeren

De voordelen van een roerwerk in gravitatie-indikers zijn besproken in paragraaf 2.4.9 (blz. 35).

Bij aanwezigheid van een roerwerk is variatie mogelijk in de omtreksnelheid van het roerwerk en in het gebruik van het roerwerk (continu of discontinu).

De omtreksnelheid van het roerwerk blijkt in de praktijk niet boven 0,1 m/s uit te moeten gaan <sup>18</sup>.

Over de invloed van het continu of discontinu roeren op het drogestofgehalte van het ingedikte slib zijn geen bruikbare praktijkgegevens bekend.

#### 2.5.5 Overloopwater

Het drogestofgehalte van het overloopwater van een indikker (rendement!) hangt, behalve met de hoogte van de slibzone, ten nauwste samen met de slibsoort.

Vanwege zijn onzekere kwaliteit moet overloopwater altijd worden teruggevoerd naar het influent van de zuiveringsinrichting; dit betekent, afhankelijk van de slibsoort, een extra BZV-belasting.

Vanwege het geringe debiet van het overloopwater is deze belasting echter doorgaans gering ten opzichte van de totale BZV-belasting van de zuiveringsinrichting.

Het is waarschijnlijk dat in het overloopwater juist de lichte slibdeeltjes terechtkomen. De invloed van de lichte deeltjes op het zuiveringsproces (slibindex!) is mogelijk negatief <sup>10</sup>; dit is echter nog niet door praktijkonderzoek aangetoond.

Volgens Stalman kan zwevende stof in het overloopwater worden bestreden door de slibaanvoer niet in de consolidatiezone, maar in de compressiezone van de indikker te leiden <sup>94</sup>; deze zone fungeert dan als filter.

Dit is volgens Stalman vooral effectief bij een hydraulische oppervlaktebelasting tot circa  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  (zie figuur 22, blz. 45).

De hoeveelheid zwevende stoffen in het overloopwater kan ook worden verminderd door het doseren van flocculant; bruikbare praktijkervaring hiermee ontbreekt.

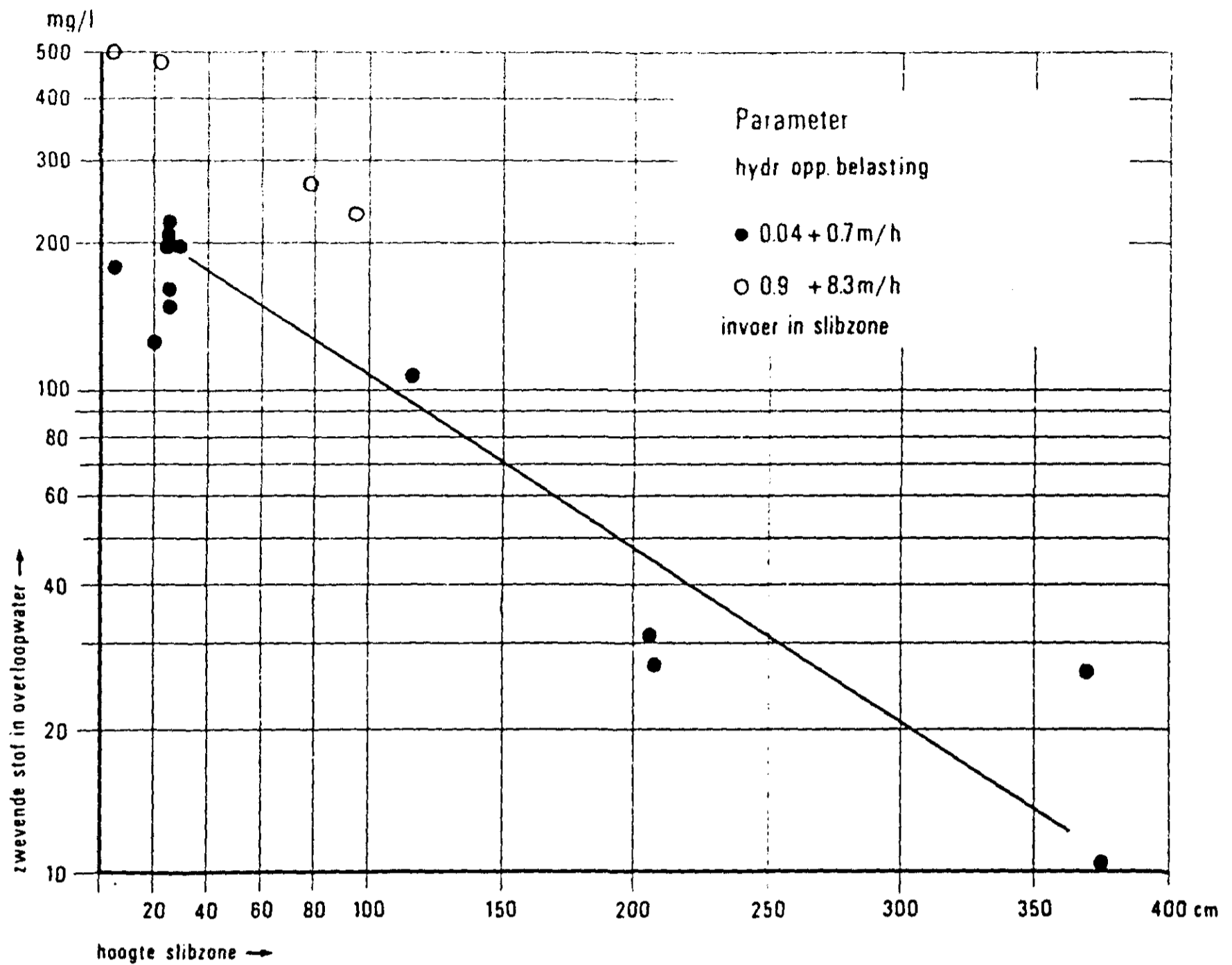


Fig. 22. Zwevende stof in overloopwater (invoer in compressiezone) 94

### 2.5.6 Spoelen

Het spoelen van slibindikers kan op twee manieren plaatsvinden:

- spoelen met effluent wanneer geen slibaanvoer naar de indikker plaatsvindt (tot de maximale hydraulische oppervlaktebelasting);
- spoelen met effluent als permanente (hydraulische) aanvulling op de slibaanvoer.

In het algemeen wordt verondersteld dat spoelen een positief effect heeft op het indikken en de ontwaterbaarheid van het ingedikte slib. Hiervoor worden de volgende argumenten aangevoerd 15, 18:

- de lichte slibdeeltjes worden uitgespoeld;
- er ontstaat minder kans op anaërobe omstandigheden (gasvorming) in de indikker;
- stikstofverbindingen worden uitgespoeld, waardoor bij ontwatering minder toeslag ( $\text{FeCl}_3$ ) is vereist;
- de alkaliteit van het slib wordt verlaagd (hoger drogestofgehalte ingedikte slib);
- de flocculantbehoefte van het slib wordt verlaagd.

De mate waarin het indikken positief wordt beïnvloed staat niet duidelijk vast en overtuigende praktijkresultaten ontbreken nog.

### 2.5.7 Koelen

Slib kan worden gekoeld in een gesloten (koelspiraal in de slibaanvoerleiding) of in een open koelsysteem (koelwater injecteren in de slibaanvoerleiding).

Als koelmiddel kan zowel effluent als grondwater worden toegepast; effluent kan in de zomer voor koeling te warm zijn.

De gegevens van verschillende onderzoeken zijn dikwijls strijdig 10, 77, 83; de tendens bij veel onderzoeken is dat bij lage temperaturen (10 - 20°C) het indikken beter verloopt dan bij hogere temperaturen.

Of koeling voor alle slibsoorten noodzakelijk is, staat niet vast.

Bij indikken van uitgegist slib ligt koelen voor de hand. Door koeling tot ver beneden de optimale gistingstemperatuur wordt de gasproductie beëindigd. Het gas zou het indikken en de samenstelling van het overloopwater nadelig kunnen beïnvloeden.

### 2.5.8 Bemonstering

Bemonstering en onderzoek van de deelstromen van het indikproces vormen de belangrijkste hulpmiddelen bij het beoordelen van de snelheid en het eindresultaat van het indikproces.

Schommelingen van het drogestofgehalte in de aan- en afvoer van de indikker worden afgevlakt bij continue proportionele bemonstering van de deelstromen.

Het drogestofgehalte dient te worden gecorrigeerd voor het zoutgehalte; zonder deze correctie kunnen fouten optreden (figuur 23).

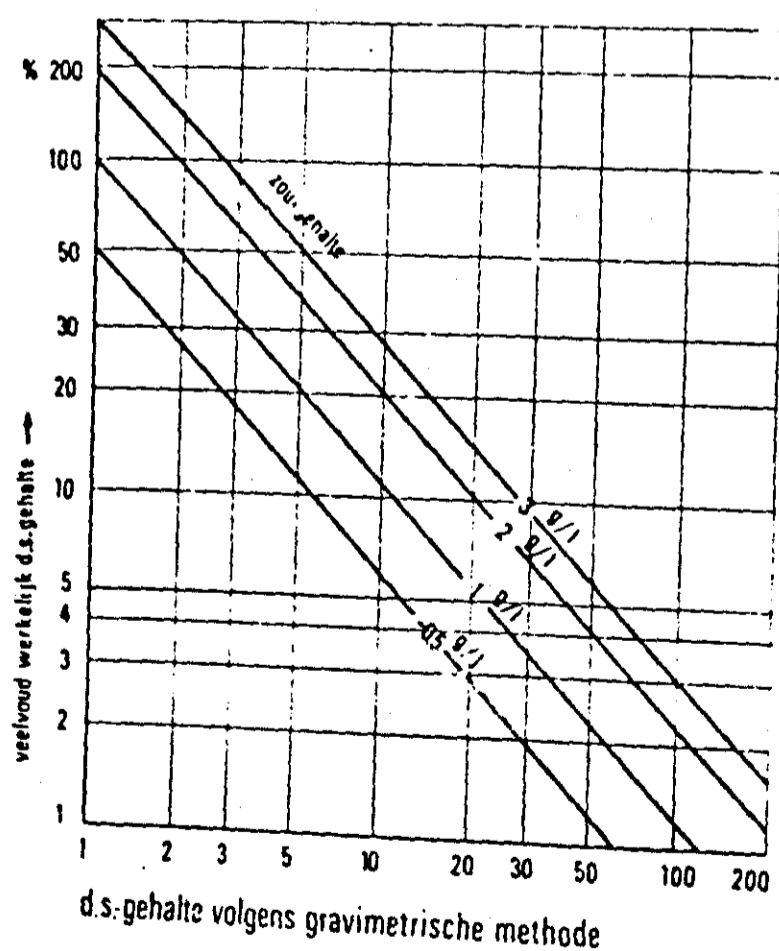


Fig. 23. Zoutgehalte en drogestofgehalte 94

Bij de bemonstering van het ingedikte slib moet rekening worden gehouden met de verschillen in drogestofconcentratie in de slibzone; door compressie neemt in de onderste lagen van deze zone de concentratie toe <sup>94</sup>.

Bij langdurige onttrekking van ingedikt slib aan de indikker daalt het drogestofgehalte van het ingedikte slib.

## 2.6 KOSTEN

### 2.6.1 Algemeen

Bij de keuze van het indikstelsel spelen behalve betrouwbaarheid, stabiliteit en indikresultaten ook de jaarlijkse kosten een grote rol.

De jaarlijkse kosten van slibindikken door gravitatie bestaan uit vaste en variabele lasten.

Onder de vaste lasten worden verstaan de investeringskosten voor het bouwkundige en mechanische deel van de indikker (indikker, roerwerk, drijfslagafvoer) en de randapparatuur (pompen en leidingen voor de aan- en afvoer van slib, spoelwater, overloopwater en chemicaliën).

De variabele kosten hebben betrekking op onderhoud (bouwkundig en mechanisch), bediening, energie en chemicaliënverbruik.

Volgens Stalman<sup>96</sup> kunnen de totale jaarlijkse kosten aan rente, aflossing en onderhoud van gravitatie-indikers als volgt worden verdeeld (totale jaarlijkse kosten = 100%);

- bouwkundig gedeelte	20%
- mechanisch gedeelte	25%
- energie	5%
- bediening en toezicht	50%

Op grond van dit overzicht lijkt besparing door automatisering van bediening en toezicht van grote invloed op de jaarlijkse kosten.

In vergelijkingen van de jaarlijkse kosten van verschillende indiksystemen moeten ook de eventuele besparingen op de investerings- en jaarlijkse kosten van slibgistingruimte, slibontwateringsapparatuur en slibtransport worden betrokken.

### 2.6.2 Vaste kosten

De literatuur bevat in het algemeen weinig uitvoerige of bruikbare informatie over de kosten van gravitatie-indikers. De informatie is meestal verouderd en niet bruikbaar voor vergelijking, omdat de gekozen uitgangspunten voor de kostenberekening (rentepercentage, arbeidsloon, percentage droge stof in aanvoer en afvoer) niet eenduidig zijn.

Dikwijls worden de investeringskosten voor de randapparatuur buiten beschouwing gelaten.

Voor het bouwkundig deel van de indikker wordt gerekend met een afschrijvingstermijn van 30 jaar<sup>18, 96</sup> of 50 jaar<sup>35</sup>; voor het elektrisch/mechanisch deel wordt gerekend met een termijn van 15 jaar<sup>18, 96</sup> of 20 jaar<sup>35, 94</sup>.

### 2.6.3 Variabele kosten

#### onderhoud

De jaarlijkse onderhoudskosten van het bouwkundig en mechanisch deel van de indikker worden in de literatuur veelal uitgedrukt in een percentage van de investeringskosten; voor het bouwkundig deel wordt gerekend met 0,5%, voor het mechanisch deel met 2 tot 5%<sup>35, 96</sup>.



### *bediening en toezicht*

De kosten voor bediening en toezicht worden veelal niet vermeld. Stalman<sup>96</sup> adviseert hiervoor gemiddeld 0,4 à 0,6 manjaar aan te houden, hetgeen nogal laag lijkt.

### *energie*

De energiekosten bij gravitatie-indikking zijn samengesteld uit stroomkosten voor de aandrijving van roerwerk/drijfslagafvoermecanisme en pompen voor aan- en afvoer van slib, spoelwater en overloopwater. De energiekosten worden verder bepaald door de wijze van bedrijfsvoering (continu/discontinu).

In de literatuur worden energiehoeveelheden aangenomen die variëren van 0,4 à 0,8 kWh/ton droge stof<sup>35, 96</sup>.

### *chemicaliën*

Het verbruik van chemicaliën (polyelektrolyten, kalk, ijzer, etc.) hangt in de praktijk sterk af van de slibsoort, de verwerkingsmethode en de kosten. De kosten van chemicaliën zijn aan sterke variaties onderhevig.

In Nederland worden chemicaliën als hulpmiddel bij gravitatie-indikking van afvalwaterslib nog weinig toegepast.

## 2.7.1

Dimensionering van gravitatie-indikers

Door diverse onderzoekers zijn theorieën ontwikkeld voor het dimensioneren van gravitatie-indikers; zij gaan daarbij veelal uit van slib als ideaal mengsel.

De voornaamste bezwaren tegen deze theorieën zijn het verschil in eigenschappen tussen afvalwaterslib en een ideaal mengsel en het "vertalen" van proeven op laboratoriumschaal naar technische schaal.

Door de veelheid in soorten slib (primair slib, actief-slib, etc.) en mengsels daarvan, elk met hun eigen fysische eigenschappen, is een theoretische benadering van de dimensionering van slibindikers vooralsnog niet betrouwbaar.

De dimensionering van gravitatie-indikers is daarom in hoofdzaak gebaseerd op praktijkervaring met indikers op technische schaal.

## 2.7.2

Invloed van de constructie op het indikproces

Over de invloed van de invoerconstructie, de uitvoering van het roerwerk, de bodemhelling en de kantdiepte van indikers op de snelheid en het eindresultaat van het indikproces is te weinig bekend en bruikbare gegevens uit de praktijk ontbreken.

Evenmin zijn gegevens beschikbaar over het dimensioneren en de bedrijfsvoering van lagunes voor het indikken van slib. Het verzamelen van deze gegevens is noodzakelijk, omdat met indikking in lagunes goede resultaten zijn behaald, terwijl de kosten laag lijken.

## 2.7.3

Procesvariabelen

De invloed van de belangrijkste procesvariabelen op het verloop van het indikproces (snelheid, eindresultaat) is door diverse onderzoekers bestudeerd.

De bruikbaarheid van de meeste onderzoekresultaten is betrekkelijk gering: meestal ontbreken gegevens van de onderzochte slibsoort en zijn de proeven uitgevoerd op laboratorium- of semi-technische schaal.

Voor het dimensioneren van gravitatie-indikers zijn, behalve de slibsoort, vooral van belang de hoeveelheid in te dikken slib, de drogestof-oppervlaktebelasting, de slibverblijftijd (vooral voor discontinue indikers) en de kantdiepte (hoogte slibspiegel).

Op grond van de tot nu toe bekende gegevens lijken, afhankelijk van de slibsoort, de drogestof-oppervlaktebelasting en de slibverblijftijd (ruimtebelasting) het meest bepalend voor het indikresultaat.

Factoren, die in mindere mate het drogestofgehalte van het ingedikte slib beïnvloeden zijn de hydraulische oppervlaktebelasting (drogestofrendement), de vloeistofverblijftijd, roeren, temperatuur (viscositeit), het drogestofgehalte van de aanvoer en toevoeging van chemicaliën.

Uit de tegenstrijdige of summiere onderzoekresultaten kunnen veelal geen eenduidige conclusies worden getrokken over de werkelijke invloed van deze factoren.

#### 2.7.4 Bedrijfsvoering

Over de invloed van de bedrijfsvoering van de indikker (continu of discontinu) op het eindresultaat van het indikproces zijn weinig gegevens van installaties op praktijkschaal voorhanden.

Discontinuu indikken lijkt in het nadeel, mede doordat deze methode een onnauwkeurige bedrijfsvoering in de hand werkt.

Over de noodzaak om te spoelen en/of te koelen (en over de invloed van de samenstelling van het overloopwater op het zuiveringsproces) zijn vrijwel geen bruikbare gegevens beschikbaar.

Bij lagere temperaturen verloopt het indikken in het algemeen beter dan bij hogere temperaturen.

#### 2.7.5 Kosten

Over de kosten van gravitatie-indikking wordt in de literatuur weinig vermeld en voor de kostenberekening worden dikwijls verschillende uitgangspunten gekozen.

Volgens één auteur bestaan de totale jaarlijkse kosten voor ongeveer de helft uit vaste lasten en voor de andere helft uit variabele kosten. Van de variabele kosten vormen bediening en toezicht de belangrijkste post.

Voor de berekening van de kosten geeft de literatuur in het algemeen de volgende richtlijn.

<i>afschrijving</i>	
- bouwkundig gedeelte	30 tot 50 jaar
- mechanisch gedeelte	15 tot 20 jaar
<i>onderhoud</i>	
- bouwkundig gedeelte	0,5% van de investeringskosten
- mechanisch gedeelte	2 à 5% van de investeringskosten

Bij vergelijking van indiksystemen op basis van jaarlijkse kosten dient ook de besparing op gistingsruimte, ontwateringsapparatuur etc. in beschouwing te worden genomen.

### 3. Mechanische indikking

## Inhoud

3.1	INLEIDING	57
3.2	DECANTEERCENTRIFUGE	57 - 67
3.2.1	Beschrijving	57 - 58
3.2.2	Machinevariabelen	58 - 61
	<i>ontwerp van de centrifugemantel</i>	58 - 59
	<i>hoek van het conisch gedeelte</i>	59
	<i>toerental van de centrifuge</i>	59 - 60
	<i>toerentalverschil tussen mantel en transportschroef</i>	60
	<i>hoogte van de overstortrand</i>	60
	<i>uitvoeringsvorm</i>	60 - 61
	<i>plaats van polymeerdosering</i>	61
3.2.3	Procesvariabelen	61
	<i>slibdebiet</i>	61
	<i>drogestofgehalte van het in te dikken slib</i>	61
	<i>dosering van polymeren</i>	61
3.2.4	Bedrijfsvoering	62 - 64
	<i>algemeen</i>	62
	<i>resultaten</i>	62 - 64
	<i>geluidsaspecten</i>	64
3.2.5	Kosten	65 - 66
	<i>algemeen</i>	65
	<i>rente en afschrijving</i>	65
	<i>onderhoud bouwkundig gedeelte</i>	65
	<i>onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte</i>	65
	<i>bediening en toezicht</i>	65 - 66
	<i>energie</i>	66
	<i>chemicaliën</i>	66
3.2.6	Conclusies	66 - 67
	<i>verwerkingscapaciteit</i>	66
	<i>drogestofrendement</i>	67
	<i>drogestofgehalte ingedikkt slib</i>	67
	<i>kosten</i>	67
3.3	SCHOTELCENTRIFUGE	68 - 75
3.3.1	Beschrijving	68 - 69
3.3.2	Machinevariabelen	70
3.3.3	Procesvariabelen	70 - 71
	<i>slibdebiet</i>	70
	<i>slibkwaliteit</i>	70 - 71
	<i>drogestofgehalte van het in te dikken slib</i>	71
	<i>aflaat ingedikkt slib</i>	71
3.3.4	Bedrijfsvoering	72 - 73
	<i>bedrijfszekerheid</i>	72
	<i>resultaten</i>	72 - 73
	<i>geluidsaspecten</i>	73

3.3.5	Kosten	73 - 74
	algemeen	73
	rente en afschrijving	73 - 74
	onderhoud bouwkundig gedeelte	74
	onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte	74
	bediening en toezicht	74
	energie	74
3.3.6	Conclusies	74 - 75
	verwerkingscapaciteit	74
	drogestofrendement en drogestofgehalte ingedikt slib	75
	kosten	75
3.4	BASKET-CENTRIFUGE	76 - 86
3.4.1	Beschrijving	76 - 78
3.4.2	Machinevariabelen	78
3.4.3	Procesvariabelen	78 - 79
	slibdebiet, vloeistofverblijftijd en drogestof-	
	verblijftijd	78
	drogestofgehalte van het in te dikken slib	78 - 79
	ontschuiming	79
	dosering van polymeren	79
3.4.4	Bedrijfsvoering	79 - 84
	resultaten	79 - 84
	geluidsaspecten	84
3.4.5	Kosten	85 - 86
	algemeen	85
	rente en afschrijving	85
	onderhoud bouwkundig gedeelte	85
	onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte	85
	bediening en toezicht	85
	energie	85
	chemicaliën	86
3.4.6	Conclusies	86
	verwerkingscapaciteit	86
	drogestofrendement	86
	drogestofgehalte ingedikt slib	86
	kosten	86

### 3.1 INLEIDING

Bij de mechanische indikking van slib wordt de bezinksnelheid van de slibdeeltjes vergroot door de grote middelpuntvliedende kracht (1000-6000 g) die in centrifuges kan worden opgewekt.

Onder het indikken van slib wordt hier verstaan het verhogen van het drogestofgehalte van het slib, zodanig dat dit nog vloeibaar blijft en nog verpompt kan worden. Dit in tegenstelling tot slibontwatering waarbij een product met een veel hoger drogestofgehalte ontstaat.

Voor het mechanisch concentreren van afvalwaterslib wordt veelal een keuze gemaakt uit drie soorten centrifuges:

- de decanteercentrifuge;
- de schotelcentrifuge;
- de basketcentrifuge.

In dit deel van het rapport is elk van deze centrifuges beschreven, waarbij wordt ingegaan op de parameters die een rol spelen bij het indikproces en de resultaten.

In Nederland worden centrifuges niet vaak toegepast voor het indikken van afvalwaterslib. Alleen daar worden centrifuges ingezet, waar gebrek aan ruimte of de aard van het slib een andere indikmethode (gravitatie, flotatie) onbruikbaar maakt <sup>131</sup>.

### 3.2 DECANTEERCENTRIFUGE

#### 3.2.1 Beschrijving

Een decanteercentrifuge bestaat uit twee kenmerkende onderdelen, een roterende mantel en een roterende transportschroef (figuur 24).

De centrifugemantel bestaat uit een cilindrisch en een conisch gedeelte. De mantel en de transportschroef draaien beiden in dezelfde richting met een gering verschil in toerental.

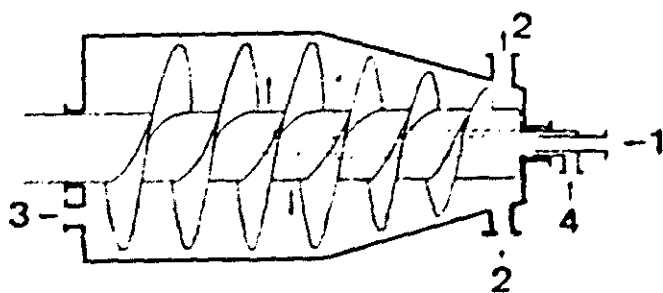


Fig. 24. Decanteercentrifuge (schematisch) 128

Het in te dikken slib wordt centraal (1, figuur 24) in de centrifuge gebracht, waarna het slib wordt onderworpen aan de centrifugale kracht. De slibdelen worden hierdoor tegen de centrifugemantel geslingerd.

Nadat de slibdelen zijn afgescheiden wordt het slib door de transportschroef tegen de helling van het conisch gedeelte naar de uitwerpoening (2, figuur 24) getransporteerd.

In dit conisch gedeelte vindt nog een soort drainage plaats <sup>126</sup>.

Het filtraat verlaat de centrifuge via de instelbare overlooprand (3, figuur 24).

Indien gewenst kunnen chemicaliën aan het slib worden toegevoegd voordat het slib de centrifuge ingaat. Rechtstreekse dosering in de centrifuge is ook mogelijk (4, figuur 24).

De decanteercentrifuge is vooral geschikt voor het behandelen van slib dat grote hoeveelheden droge stof bevat. De verwerkingscapaciteit van de centrifuge wordt, vooral bij slib met een laag drogestofgehalte, beperkt door de hydraulische capaciteit (maximaal 44 m<sup>3</sup>/h).

Door de relatief grote slibinlaatpijp en slibuitwerpopeningen en de manier van slibverwijdering (met een transportschroef) is de centrifuge geschikt om ook vrij grof materiaal te verwerken <sup>126</sup>.

Voor een goede werking van de decanteercentrifuge is het belangrijk dat het slib goed wordt gesedimenteerd en goed uit de centrifuge kan worden verwijderd <sup>134</sup>.

Bij slibsoorten met veel fijne vlokken, zoals actief-slib en aeroob gestabiliseerd slib, veroorzaakt de beweging van de transportschroef dat slibvlokken weer de centrifuge ingaan en zo in het filtraat terecht komen.

De centrifuge is dus niet zonder meer geschikt voor alle slibsoorten, vooral niet voor slibsoorten die een zwakke vlokstructuur bezitten <sup>132</sup>.

Door het toevoegen van polymeren kan de werking van de centrifuge worden verbeterd. Polymeren verstevigen de slibvlokken, die daardoor beter transporteerbaar worden <sup>117</sup>. Voor een goede werking van de centrifuge zijn voor slibsoorten met een zwakke vlokkige structuur echter betrekkelijk hoge chemicaliëndoseringen nodig <sup>131</sup>.

De variabelen die een rol spelen bij het indikken van slib in een decanteercentrifuge kunnen verdeeld worden in variabelen die betrekking hebben op de bouw van de machine (machinevariabelen) en procesvariabelen.

### 3.2.2 Machinevariabelen

In de literatuur worden de volgende machinevariabelen genoemd <sup>134</sup>:

- lengte van de centrifugemantel;
- diameter van de centrifugemantel;
- lengte van het conische gedeelte van de mantel;
- de hoek van het conische gedeelte;
- het toerental van de centrifuge;
- het toerentalverschil tussen mantel en transportschroef;
- de hoogte van de overstortrand voor het filtraat;
- de spoed van de transportschroef;
- de plaatsing van de slibinvoer en de afvoer van filtraat en slibkoek;
- plaats van de chemicaliëndosering.

Op deze machinevariabelen wordt hieronder nader ingegaan.

#### *ontwerp van de centrifugemantel*

De lengte/diameter verhouding van de centrifugemantel die veelal wordt toegepast varieert van 2,5 - 3,5.



Over het algemeen geldt dat met toeneming van de lengte/diameterverhouding de verblijftijd van de vloeistof in de centrifuge groter wordt. Het slib wordt hierdoor langer aan de centrifugale kracht onderworpen, hetgeen tot hogere drogestofrendementen kan leiden.

Onder het rendement van de centrifuge wordt verstaan de mate waarin de toegevoerde droge stof in de centrifuge wordt teruggehouden, in formulevorm:  $\frac{\text{kg d.s. in het ingedikte slib}}{\text{kg d.s. in voeding}} \times 100 \%$ .

#### *hoek van het conisch gedeelte*

Naarmate de hoek ( $\alpha$ ) van het conisch gedeelte kleiner wordt, neemt de kracht af waarmee het afgescheiden slib in de drainagezone tegen de transportschroef wordt gedrukt (figuur 25).

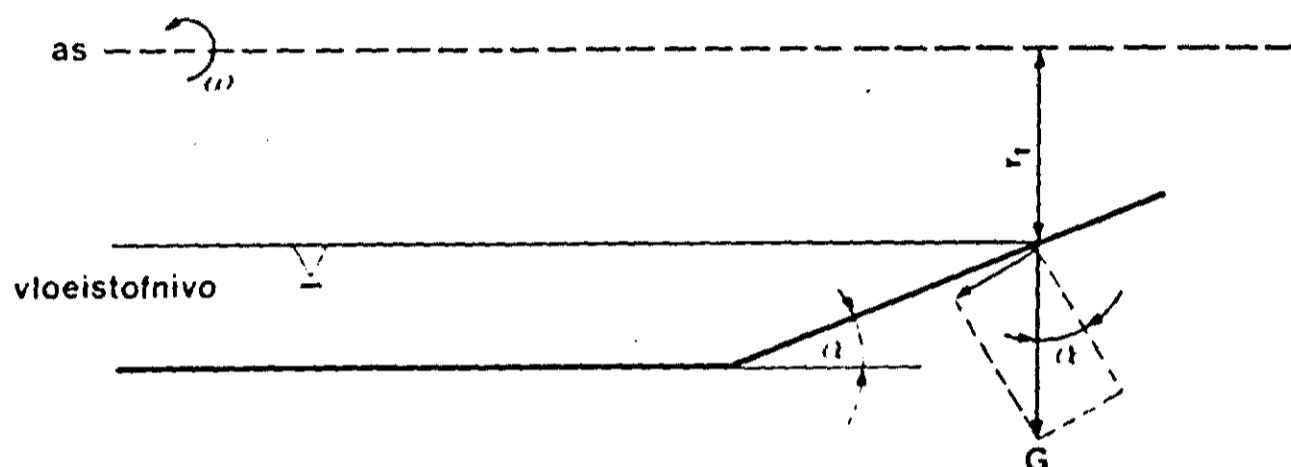


Fig. 25. Invloed van de hoek  $\alpha$  op de centrifugale kracht in de drainagezone

Deze kracht  $F = G \sin \alpha$ , waarin  $G = \omega^2 r$ .

Hierin is:

$G$  = centrifugale versnelling ( $\text{m/sec}^2$ );

$\omega$  = hoeksnelheid van de centrifuge ( $\text{sec}^{-1}$ );

$r$  = afstand (m) van het slibdeeltje tot de as van de centrifuge.

Naarmate  $F$  kleiner is, neemt de kans dat fijne slibdelen onder de schroef doorslippen af.

Door een kleine hoek  $\alpha$  te kiezen kunnen ook moeilijk te transporteren slibdeeltjes worden afgevangen.

#### *toerental van de centrifuge*

De grootte van de centrifugale kracht waaraan de slibdeeltjes in de centrifuge worden onderworpen is afhankelijk van het toerental van de centrifuge, volgens  $G = \omega^2 r$ .

Naarmate  $G$  toeneemt, zal de afscheiding van de slibdelen in het cilindrische gedeelte van de mantel beter verlopen. Daarentegen neemt de afschuifkracht  $F$  op het conische gedeelte toe (zie: *hoek van het conisch gedeelte*). Verhoging van  $G$  impliceert dan ook niet altijd een verbetering van het rendement van de centrifuge.

Bij een hoger toerental wordt het sedimentatieproces bevorderd, maar het afscheidingsproces wordt daardoor bemoeilijkt.

Momenteel worden ook centrifuges ontworpen die bij kleinere centrifugale krachten werken ( $G = 500 - 800 g$ ). Deze centrifuges hebben onder andere het voordeel dat minder geluidshinder en slijtage optreedt.

Bij de kleinere  $G$ 's wordt het slib bij het binnenkomen van de centrifuge aan minder grote krachten onderworpen, waardoor de zwakkere slibvlokken niet worden kapotgemaakt. Deze centrifuges zijn bedoeld om een hoog rendement te bereiken bij een laag polymeerverbruik. Zij zijn dus meer geschikt voor het indikken van slib <sup>131</sup>.

*toerentalverschil tussen mantel en transportschroef*

Het verschil in toerental tussen de mantel en de transportschroef bepaalt, samen met de spoed van de schroef, de snelheid waarmee het gesedimenteerde slib wordt getransporteerd.

Voor een hoog drogestofrendement en bij slib met een zwakke vlokstructuur dient het toerentalverschil zo klein mogelijk te worden gekozen <sup>124</sup>. Door te hoge snelheden worden immers de fijne slibdelen uitgewassen. Wel zal het toerentalverschil voldoende groot moeten zijn om de hoeveelheid gesedimenteerde slib uit de centrifuge te transporteren <sup>131</sup>.

*hoogte van de overstortrand*

De stand van de verstelbare overstortrand bepaalt de hoogte van het vloeistofniveau in de centrifuge en daarmee ook de verblijftijd van de vloeistof in de centrifuge.

Naarmate de verblijftijd toeneemt wordt het slib langer aan de centrifugale kracht onderworpen, hetgeen de afscheiding van slibdelen bevordert. Bij te hoge vloeistofniveaus zullen de slibdelen echter een lange weg moeten afleggen voordat ze uit het filtraat zijn verwijderd; daarom mag het vloeistofniveau ook niet te hoog zijn <sup>131</sup>.

De hoogte van de vloeistofspiegel in de centrifuge beïnvloedt ook het slibtransport in het conische gedeelte van de centrifugemantel. Op het droge gedeelte van de conus wordt het slib door drainage verder ontwaterd.

Is de kracht  $F$ , waarmee het water (dat uit het slib komt) wordt teruggevoerd, groot, dan zullen veel lichte slibdeeltjes onder de schroef doorglippen en opnieuw in de centrifuge terecht komen <sup>131</sup>.

Door verhoging van de overstortrand vindt de scheiding vast - vloeistof pas later plaats in een gebied met een lage centrifugale versnelling (zie figuur 25, blz. 59). Daartegenover staat dat het slib minder tijd krijgt om te ontwateren op de conus en dus natter wordt uitgeworpen <sup>124</sup>.

*uitvoeringsvorm*

De decanteercentrifuge kan uitgevoerd worden volgens het meestroom- of volgens het tegenstroomprincipe.

In een meestroomcentrifuge wordt het slib aan de ene zijde ingevoerd en ingedikt slib en filtraat aan de andere zijde afgevoerd. Bij een tegenstroomcentrifuge vinden slibinvoer en -afvoer aan één kant plaats en de afvoer van filtraat aan de andere zijde (zie figuur 24, blz. 57).

Bij het meestroomprincipe verstoort het binnenkomende slib het reeds ingedikte slib minder dan bij het tegenstroomproces. Daarentegen moet in

een meestroomcentrifuge de droge stof over de gehele lengte van de centrifuge worden getransporteerd <sup>131</sup>.

#### *plaats van polymeerdosering*

De plaats waar de polymeren aan het slib worden toegevoegd is belangrijk. Dosering in de toevoerleiding vóór de centrifuge heeft tot gevolg dat het polymeer zich hecht aan alle slibdeeltjes. Dosering in de centrifuge, dus gescheiden van de slibtoevoer (zie figuur 24, blz. 57) heeft tot gevolg dat het vlokmiddel zich in de afscheidingszone van de centrifuge hecht aan de nog niet tegen de mantel afgezette slibdelen. Dit heeft enerzijds tot gevolg dat hierdoor de moeilijk tot sedimentatie te brengen delen een grotere dosis krijgen, en anderzijds dat de vlokvorming tot stand komt na de versnelling van het slib in de centrifuge.

De voordelen van het doseren van polymeren in de centrifuge komen in de praktijk niet altijd naar voren; beide doseersystemen worden toegepast, afhankelijk van de eigenschappen van het slib.

### 3.2.3 Procesvariabelen

In de literatuur worden de volgende procesvariabelen genoemd <sup>134</sup>:

- slibdebiet
- vloeistofverblijftijd in de centrifuge (zie: *de hoogte van de overstortrand*, 3.2.2, blz. 60);
- slibsoort;
- drogestofgehalte van het in te dikken slib;
- dosering van chemicaliën (soort en hoeveelheid).

#### *slibdebiet*

Het slibdebiet beïnvloedt zowel het rendement van de centrifuge als het drogestofgehalte in de slibkoek.

Bij een toenemend debiet neemt de verblijftijd in de centrifuge en daarmee ook het rendement af. Het drogestofgehalte in de slibkoek neemt als regel toe, door het uitwassen van fijnere slibdelen <sup>128, 131</sup>.

#### *drogestofgehalte van het in te dikken slib*

Bij de decanteercentrifuge is de hydraulische capaciteit veelal beperkend voor de hoeveelheid ingedikte slib die geproduceerd kan worden. Daarom is zij dan ook minder geschikt voor het indikken van slib met een laag drogestofgehalte.

#### *dosering van polymeren*

Door het gebruik van polymeren kan het drogestofrendement van de decanteercentrifuge worden verhoogd.

Omdat dan de fijnere slibdelen eveneens worden afgevangen zal het drogestofgehalte van het ingedikte slib veelal afnemen.

De hoeveelheid polymeren die nodig is, varieert sterk. Over het algemeen geldt dat voor primair slib minder nodig is dan voor actief-slib.

*algemeen*

Is eenmaal een bepaalde centrifuge gekozen voor het behandelen van een slibstroom, dan zijn in de bedrijfssituatie de resultaten van de centrifuge te beïnvloeden met de volgende procesvariabelen <sup>124</sup>, <sup>128</sup>, <sup>134</sup>:

- het toerental van de centrifuge;
- het toerentalverschil tussen mantel en transportschroef;
- stand van de overlooprand voor het filtraat;
- grootte van het slibdebiet;
- gebruik van polymeren.

Deze variabelen kunnen ingesteld worden om het rendement van de centrifuge te verbeteren of het drogestofgehalte in het ingedikte slib te verhogen.

Een beter rendement kan bereikt <sup>124</sup> worden door:

- een hoger toerental;
- een lager toerentalverschil tussen mantel en schroef;
- een hogere stand van de overstortrand;
- een kleiner debiet;
- het toepassen van polymeren.

Een hoger drogestofgehalte in de slibkoek wordt bevorderd <sup>124</sup> door:

- een hoger toerental;
- een lager toerentalverschil tussen mantel en schroef;
- een lagere stand van de overstort;
- een kleiner debiet;
- geen of weinig polymeren.

*resultaten*

Omdat de decanteercentrifuge vooral geschikt is voor het verwerken van grote hoeveelheden droge stof (zie: *drogestofgehalte van het in te dikken slib*, 3.2.3, blz. 61) en slechts een beperkte hydraulische capaciteit heeft, wordt dit type centrifuge voornamelijk toegepast voor het ontwateren van afvalwaterslibben. Het doel van ontwateren is een zo hoog mogelijk drogestofgehalte in de slibkoek te verkrijgen waarbij het rendement van de centrifuge kan worden verhoogd door het gebruik van polymeren.

In verband met de beperkte hydraulische capaciteit van de decanteercentrifuge wordt in de praktijk veelal uitgegaan van reeds ingedikte slib, verkregen door gravitatie- of flotatie-indikking.

De meeste resultaten die in de literatuur beschreven zijn hebben dan ook betrekking op het ontwateren van reeds ingedikte slib. Over het indikken van afvalwaterslibben met een decanteercentrifuge is slechts beperkte informatie gevonden, mede omdat dit type centrifuge ook niet ontworpen is voor het indikken van slib.

Ettelt <sup>122</sup> heeft een decanteercentrifuge gebruikt voor het indikken van actief-slib. Hij heeft zowel een centrifuge van het meestroomtype als van het tegenstroomtype getest.

In figuur 26 is de invloed van het in te dikken slibdebiet, hier uitgedrukt in kg drogestof/h op het rendement van beide typen centrifuges weergegeven.

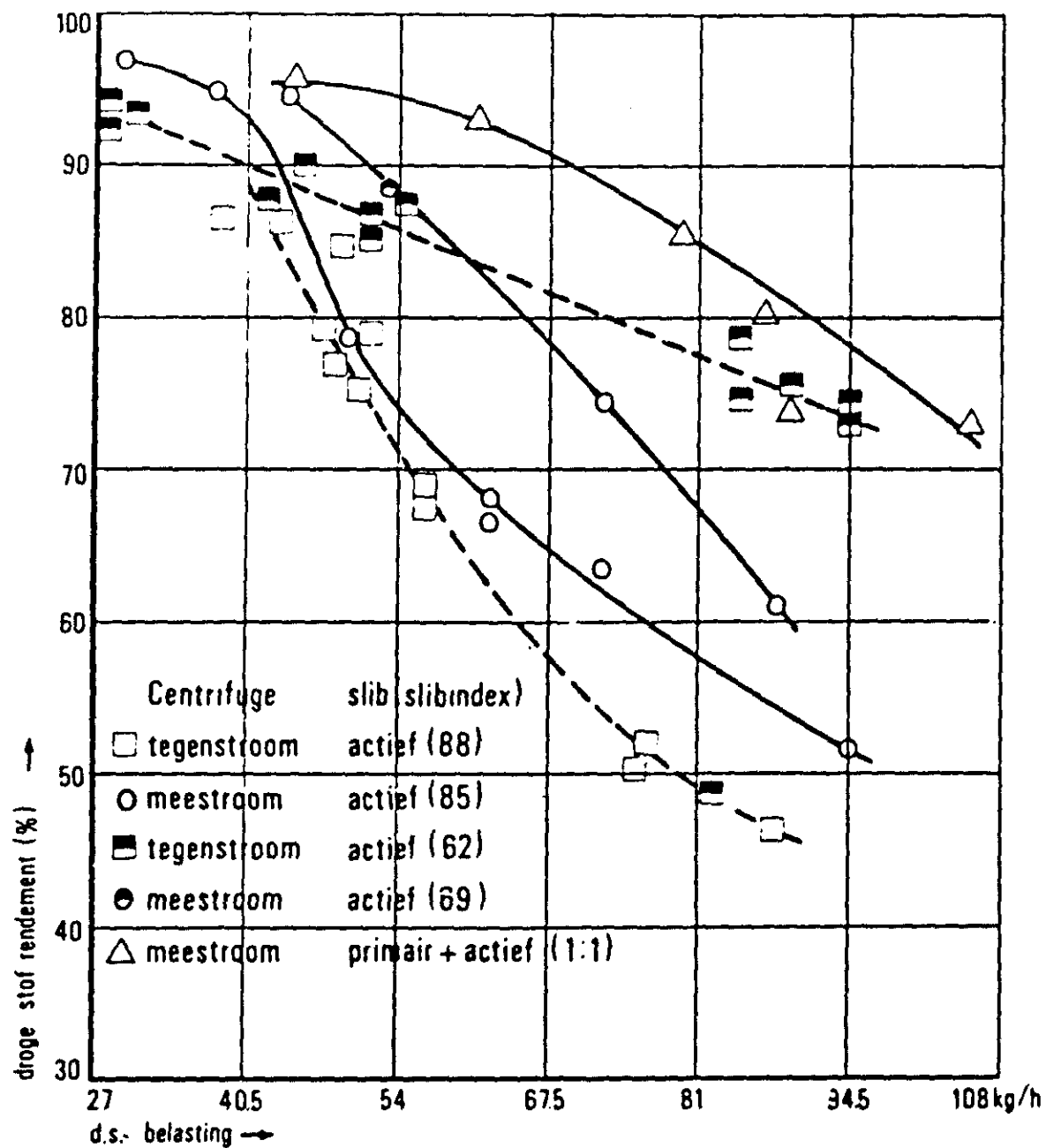


Fig. 26. Rendement van de decanteercentrifuge onder optimale condities<sup>122</sup>

Het actief-slib werd in de tegenstroomcentrifuge ingedikt tot 6,6 à 7,0% droge stof, afhankelijk van de slibindex.

In de meestroomcentrifuge werd 7 à 7,5% droge stof bereikt met hetzelfde slib.

Een mengsel van gelijke delen primair en actief-slib werd tot 9,8% droge stof ingedikt.

Deze drogestofgehalten werden bij hoge centrifugerendementen (90%) bereikt. Bij lagere centrifugerendementen kunnen (doordat de fijne slibdelen worden uitgewassen) hogere drogestofgehalten worden verkregen in het ingedikte slib.

De invloed van het gebruik van polymeren op het drogestofgehalte in de slibkoek is gegeven in figuur 27 (blz. 64).

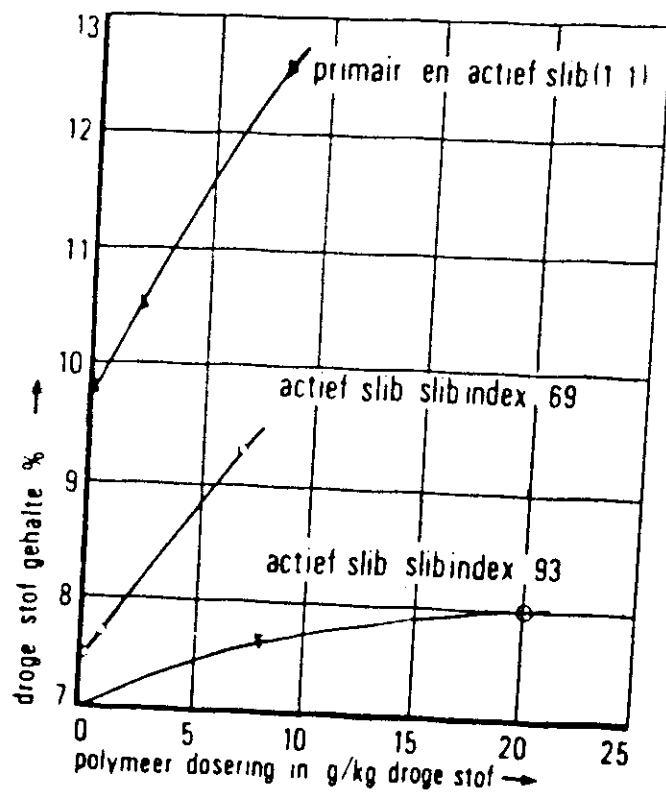


Fig. 27. Decanteercentrifuge: polymeren en het drogestofgehalte van ingedikt slib (bij 90% rendement) 122

Andere resultaten met een decanteercentrifuge zijn in onderstaande tabel weergegeven 131:

drogestofgehalte (%)		rendement in %	polymeren in g/kg d.s.
voeding	ingedikt slib		
1,5	9 - 13	90	geen
0,44 - 0,78	5 - 7	90 - 80	geen
0,5 - 0,7	5 - 8	65 85 90 95	geen < 2,5 2,5 - 5 5 - 7,5

Tabel 10. Decanteercentrifuge: indikresultaten voor actief-slib

De resultaten in deze tabel hebben slechts een betrekkelijke waarde, omdat weinig gegevens bekend zijn over de omstandigheden waaronder het slib werd geproduceerd.

*geluidsaspecten*

In de onderzochte literatuur wordt geen informatie gegeven over geluidsaspecten.

### 3.2.5 Kosten

#### *algemeen*

De gegevens in de literatuur over de jaarlijkse kosten van een decanteercentrifuge hebben uitsluitend betrekking op het ontwateren van slib.

Niettemin kunnen de uitgangspunten die gehanteerd worden voor het berekenen van de jaarlijkse kosten voor slibontwateren met een decanteercentrifuge ook worden toegepast op het indikken van slib.

De totale jaarlijkse kosten zijn opgebouwd <sup>124</sup> uit de kosten van:

- rente en afschrijving;
- onderhoud aan het bouwkundig gedeelte;
- onderhoud aan het mechanisch en elektrisch gedeelte;
- bediening en toezicht;
- energie;
- chemicaliën.

#### *rente en afschrijving*

Hieronder vallen de uitgaven aan rente en afschrijving op de investeringen in het gebouw, de centrifuge (eventueel met reserveschroef), pijpleidingen, afsluiters, pompen, polymeeraanmaak- en doseerinstallatie.

In de literatuur wordt gerekend met een afschrijvingstermijn voor het bouwkundig gedeelte van 30 jaar <sup>135, 137, 138</sup> of met een termijn van 50 jaar <sup>136, 138</sup>.

Voor het elektrisch mechanisch gedeelte wordt gerekend met een termijn van 15 jaar <sup>124, 136, 138, 139</sup>. Eggink <sup>135</sup> rekent met een afschrijvingsstermijn van 10 jaar voor het geval dat centrifuges door twee ploegen worden bediend.

Vater <sup>137</sup> maakt onderscheid tussen één, twee en drie ploegendienst; de termijnen zijn dan respectievelijk 13, 7 en 4,7 jaar.

#### *onderhoud bouwkundig gedeelte*

Door Onstwedder <sup>129</sup> wordt gerekend met onderhoudskosten van 0,5% van de investeringskosten.

#### *onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte*

Voor het onderhoud van het mechanisch en elektrisch gedeelte wordt veelal 2% van de investeringskosten gekozen <sup>136</sup>.

In de regel worden de kosten voor de revisie van de transportschroef apart opgegeven.

Door Schultze wordt voor deze revisie een vast bedrag van 0,8 à 1.0 Zwitserse Fr. per bedrijfsuur gerekend (Flottweg Z 3 L) en door Vater <sup>137</sup> een vast bedrag van 1 DM per bedrijfsuur (cap. = 7 m<sup>3</sup>/h). Karper <sup>124</sup> rekent met een revisie van de transportschroef na 8000 draaiuren.

#### *bediening en toezicht*

Voor de bediening van centrifuges inclusief klein onderhoud rekent Schultze <sup>136</sup> 2 uur per dag per centrifuge.

Vater <sup>137</sup> maakt onderscheid tussen één, twee en drie ploegendienst.

### 3.3 SCHOTELCENTRIFUGE

#### 3.3.1 Beschrijving

De schotel- of lamellencentrifuge bestaat uit een huis waarin een groot aantal schotels op compacte wijze een groot sedimentatieoppervlak vormt (figuur 28).

De schotels staan zeer dicht bij elkaar (afstand 1,3 mm); daardoor hoeven de slibdeeltjes slechts over een zeer kleine afstand te bezinken.

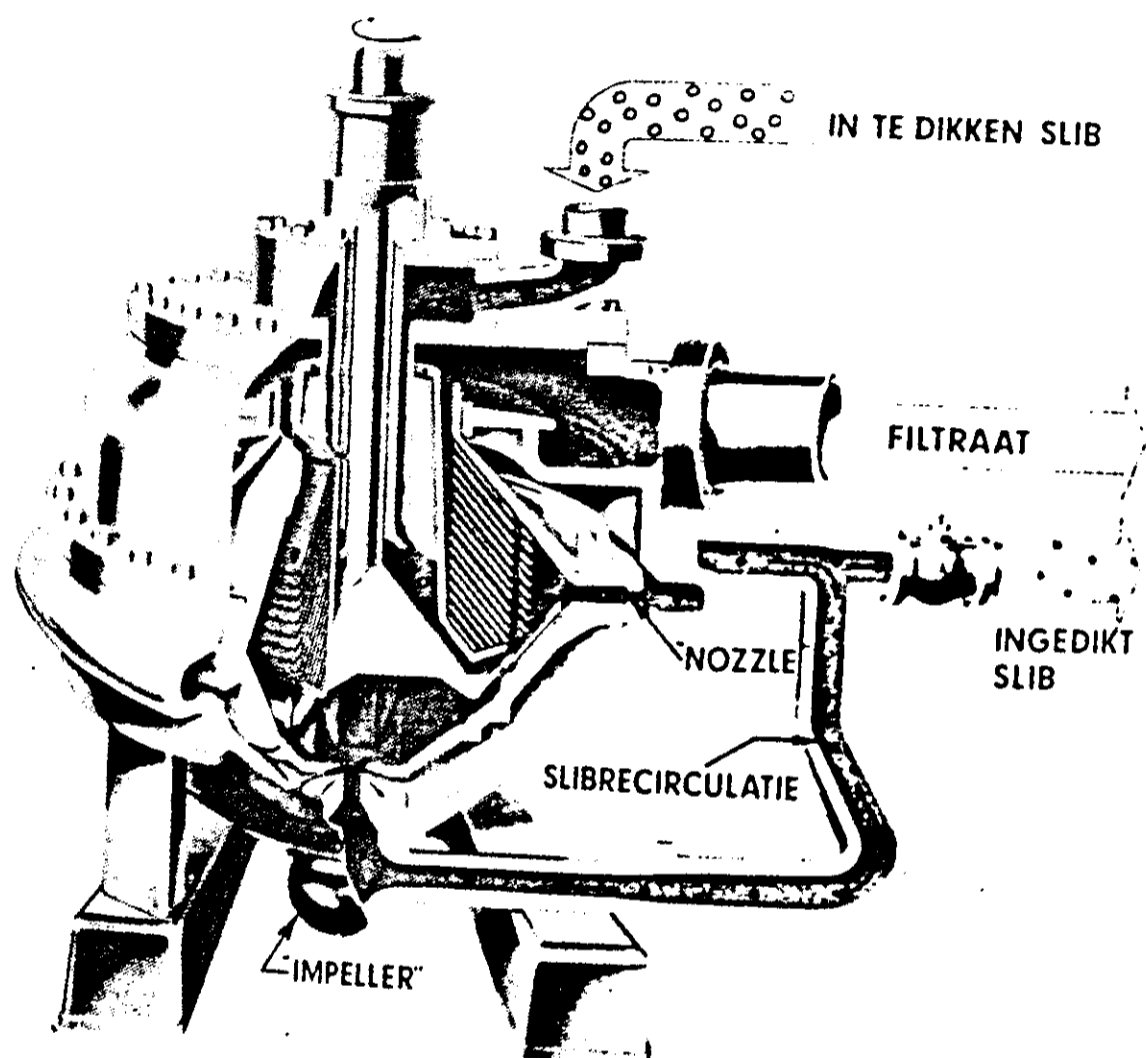


Fig. 28. Schotelcentrifuge (uit brochure Dorr Oliver)

Het in te dikken slib wordt in de centrifuge gepompt en loopt langs de rotor-as naar de scheidingskamer. Door de centrifugale kracht worden de slibdeeltjes via kleine (diameter 1,78 - 2,06 mm) openingen ("nozzles", figuur 28) naar buiten geslingerd. Een deel van het ingedikte slib wordt, via een klep, afgelaten; de rest wordt via een pompwerk ("impeller", figuur 28) naar de scheidingskamer teruggepompt. Deze recirculatie heeft een aantal voordelen 117, 133:

- het slib wordt nogmaals geconcentreerd voordat het wordt afgelaten. Het drogestofgehalte van het ingedikte slib neemt daardoor toe;
- door de hogere drogestofconcentratie van het ingedikte slib kunnen grotere nozzles worden toegepast. Hierdoor wordt de kans op verstopping verkleind en een stabiel procesverloop verkregen.



Het filtraat wordt afgevoerd via de schotels of lamellen; daarop kunnen de - moeilijk af te scheiden - lichte slibdeeltjes samenklonteren tot grotere agglomeraten en alsnog sedimenteren.

Bij toepassing van een schotelcentrifuge moet het in te dikken slib worden voorbehandeld om verstopping van de nozzles te voorkomen. In figuur 29 is een complete opstelling <sup>131</sup> schematisch weergegeven.

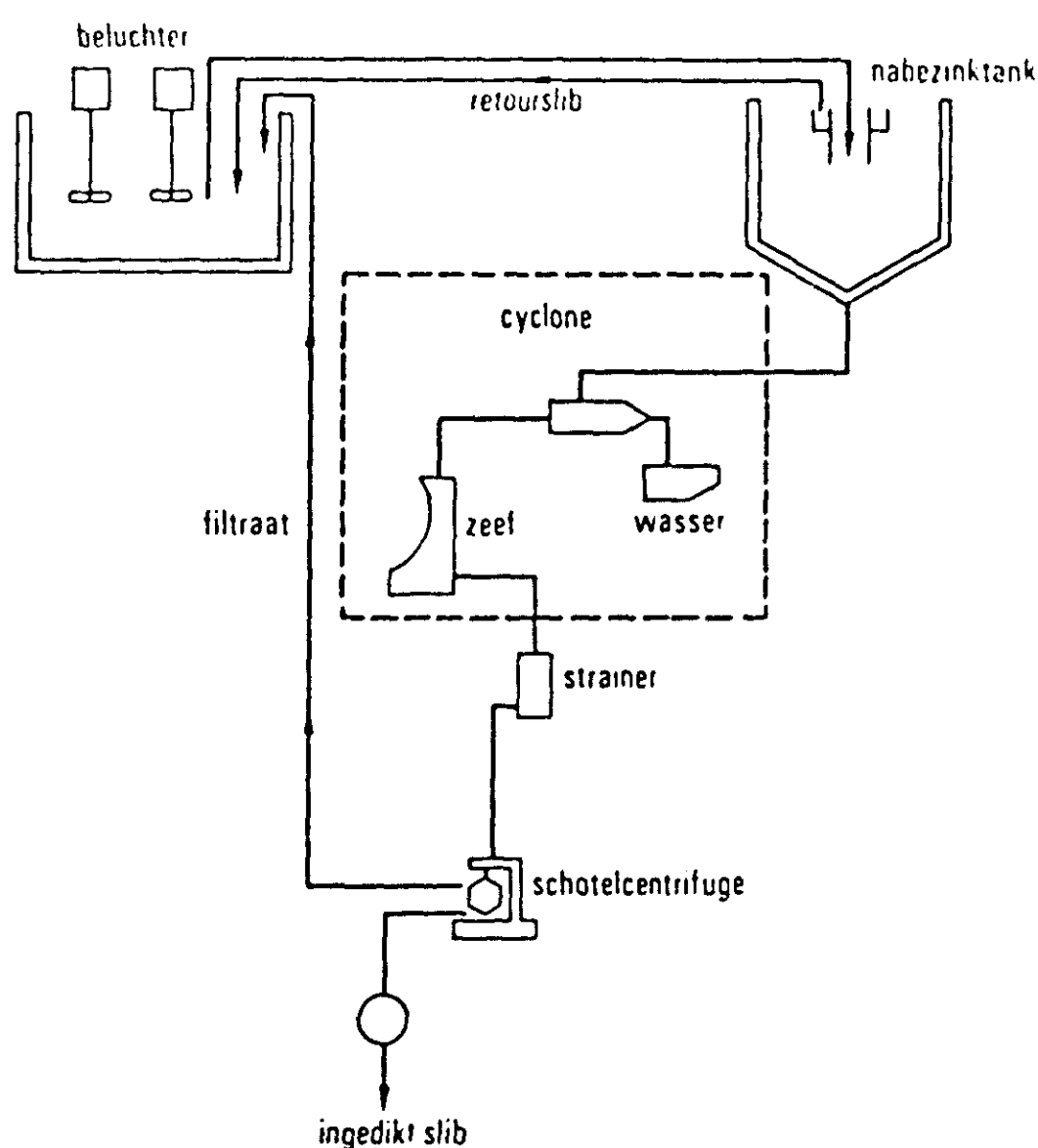


Fig. 29. Opstelling schotelcentrifuge <sup>131</sup>

In de cycloon wordt zand, koffiedik en dergelijk grof materiaal afgevangen. In de zeef worden haren en vezels verwijderd en in de strainer de te grote slibdelen. Meestal worden strainers met openingen van 0,82 mm gebruikt <sup>133</sup>. Tussen elke bewerking is een pomp opgesteld.

Zelfs als het slib goed wordt gezeefd kunnen nog verstoppingen optreden als de voeding wordt onderbroken of wanneer het slibdebiet beneden een bepaalde waarde daalt <sup>131</sup>.

De schotelcentrifuge is ontworpen voor het indikken van vloeistofstromen met een laag drogestofgehalte, zoals actief-slib. Door de constructie is de hydraulische capaciteit groot (tot circa 140 m<sup>3</sup>/h) en het scheidend vermogen van de centrifuge hoog.

De bereikbare drogestofconcentratie kan echter niet hoog zijn, omdat het ingedikte slib door de nozzles moet kunnen stromen <sup>126</sup>.

De centrifuge is daarom ook niet geschikt voor het indikken van slib dat veel grof materiaal bevat (zoals primair slib) maar beter geëigend voor het indikken van voorbezonden actief-slib <sup>117</sup>.

### 3.3.2 Machinevariabelen

De volgende machinevariabelen worden in de literatuur genoemd <sup>133</sup>:

- het toerental van de centrifuge;
- de afstand tussen de schotels;
- het aantal schotels;
- de hoek tussen schotels en centrifuge-as;
- de grootte van de schotels;
- grootte en aantal nozzles;
- de plaats en wijze waarop de voeding wordt ingebracht;
- de geometrie van de indikzone.

De afstand tussen de schotels is normaal 0,6 à 1,9 mm. Een grote afstand kan de sedimentatietijd van de slibdeeltjes verlengen; een kleine afstand levert gevaar voor verstopping op <sup>132</sup>.

De hoek ( $35^{\circ}$  à  $45^{\circ}$ ) tussen de schotels en de centrifuge-as wordt zodanig gekozen dat de sedimentatie-afstand klein wordt, maar ook zodanig dat de slibdeeltjes nog afglijden naar de nozzles <sup>132</sup>.

Bij de constructie van een schotelcentrifuge worden de machinevariabelen aangepast aan het soort slib waarvoor de centrifuge is bestemd. Is de machine eenmaal opgesteld, dan kan alleen nog de grootte van de nozzles worden veranderd <sup>133</sup>.

### 3.3.3 Procesvariabelen

De volgende procesvariabelen worden onderscheiden <sup>133</sup>:

- slibdebiet;
- slibkwaliteit;
- drogestofgehalte van het in te dikken slib;
- de hoeveelheid ingedikt slib die wordt afgelaten.

#### *slibdebiet*

Bij een groot slibdebiet is de verblijftijd in de centrifuge kort en daardoor ook de tijd waarin het slib aan de centrifugale versnelling wordt onderworpen.

Voor een stabiele bedrijfsvoering is een continue voeding met slib van een constante samenstelling belangrijk <sup>133</sup>.

#### *slibkwaliteit*

De fysische eigenschappen van actief-slib beïnvloeden de indikresultaten; door Vaughn <sup>133</sup> is de slibindex gebruikt om deze invloed te onderzoeken.

In figuur 30 (blz. 71) is de invloed van de slibindex van actief-slib op het rendement van de schotelcentrifuge en het drogestofgehalte van het ingedikte slib geïllustreerd.

Door Bradney <sup>119</sup> zijn proefnemingen beschreven met actief-slib, afkomstig van huishoudelijk en industrieel afvalwater. Uitgaande van 0,8% droge stof kon dit worden ingedikt tot 5% bij een rendement van 97,3%. De resultaten van deze proeven komen goed overeen met de lijnen in figuur 30.

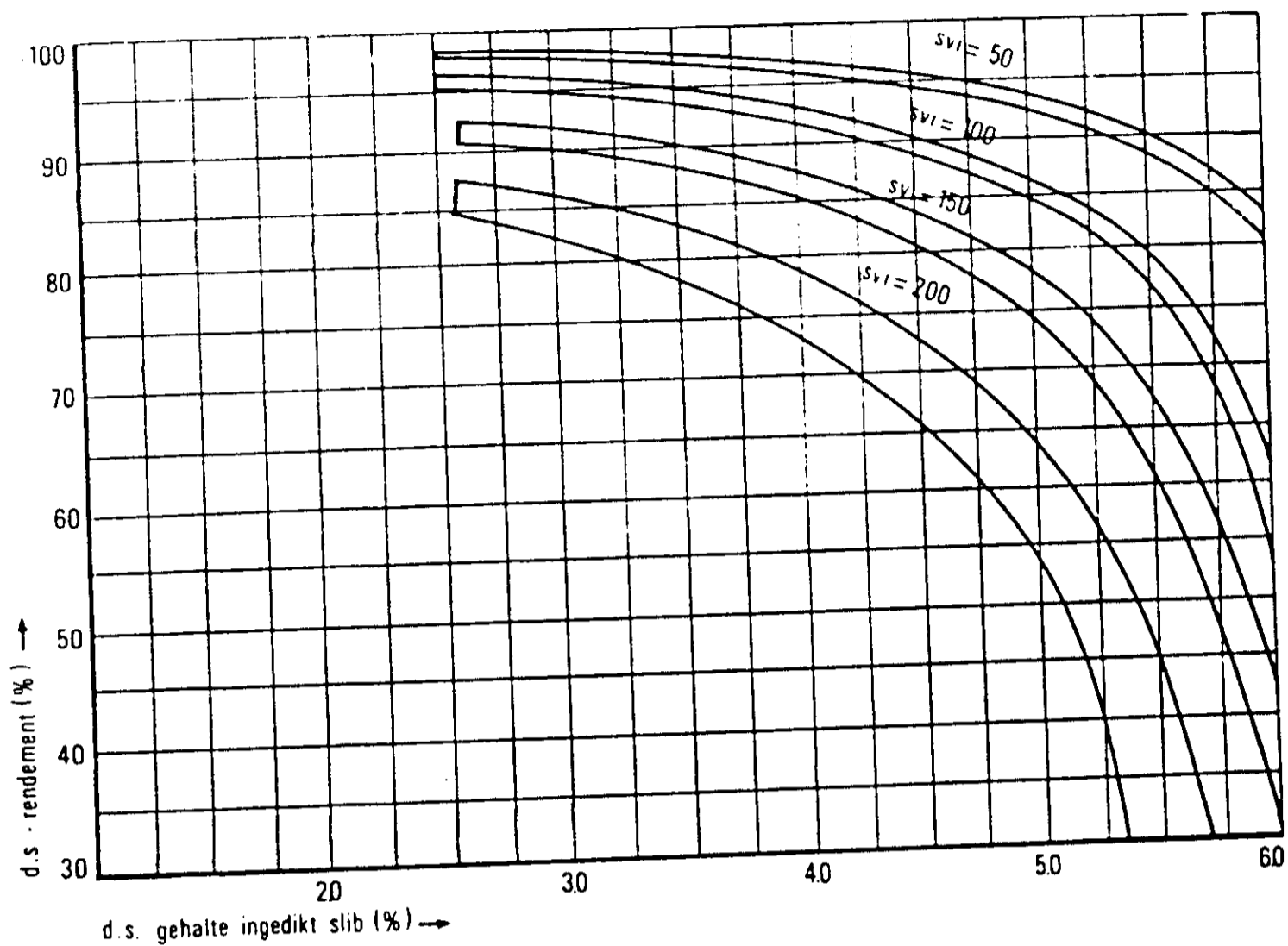


Fig. 30. Slibindex, drogestofrendement en indikresultaat van de schotelcentrifuge <sup>133</sup>

Ook met aeroob gestabiliseerd slib werden proeven gedaan; uitgaande van ongeveer 2% droge stof werd dit slib ingedikt tot 2,5 à 5,6% droge stof bij een rendement van 70 à 95%.

In de literatuur zijn geen resultaten gevonden voor het indikken van andere slibsoorten dan actief-slib en aeroob gestabiliseerd slib (primaire en actief-slib).

#### *drogestofgehalte van het in te dikken slib*

Naarmate het in te dikken slib een hoger drogestofgehalte heeft zal het sneller worden ingedikt. Bij minder geconcentreerd slib zal namelijk een groter watervolume moeten worden verwerkt om tot het gewenste drogestofgehalte in het ingedikte slib te komen <sup>133</sup>.

#### *aflaat ingedikt slib*

Het drogestofgehalte in het ingedikte slib kan worden gevarieerd door het instellen van de hoeveelheid ingedikt slib die wordt afgetapt. Vermindering van deze hoeveelheid afgetapt slib (door verhoogde recirculatie in de centrifuge) leidt tot een hoger drogestofgehalte in het ingedikte slib. De hoeveelheid filtraat neemt echter toe en de verblijftijd van het filtraat (met de daarin aanwezige slibdeeltjes) op de schotels neemt af. Daardoor daalt het drogestofrendement van de centrifuge. Dit wordt geïllustreerd in figuur 32 (blz. 73).

*bedrijfszekerheid*

Al bij drie à vier procent deeltjes  $> 0,42$  mm in het in te dikken actief-slib kunnen de nozzles van de schotelcentrifuge verstopt raken <sup>122</sup>; te grove deeltjes moeten daarom vooraf uit het slib worden verwijderd.

Volgens Keith <sup>126</sup> wordt deze voorbehandeling echter niet altijd goed uitgevoerd. Hierdoor is het idee ontstaan, dat de schotelcentrifuge niet geschikt zou zijn voor het indikken van actief-slib.

Veel auteurs <sup>119, 121, 122, 131</sup> waarschuwen voor verstoppingsproblemen; volgens Vaughn <sup>131</sup> kunnen deze met verbeterde zeefapparatuur (cycloon, zeef en strainer, figuur 29, blz. 69) bijna geheel worden opgelost. Dit wordt door Albertson <sup>117</sup> en de EPA <sup>131</sup> bevestigd. Bradney <sup>119</sup> gebruikte met succes een combinatie van zeef en strainer (openingen 0,23 mm en 0,8 mm, respectievelijk); de strainer moest tweemaal daags worden schoongemaakt. Dit kostte tien minuten per keer.

Ondanks goede zeefapparatuur kunnen toch verstoppingen optreden wanneer de slibtoevoer wordt onderbroken of wanneer het slibdebiet beneden een bepaalde waarde daalt <sup>131</sup>.

*resultaten*

Vaughn <sup>133</sup> beschrijft proeven met een schotelcentrifuge (capaciteit 45 m<sup>3</sup>/h) voor het indikken van actief-slib op een zuiveringsinrichting in Pennsylvania; de invloed van de slibindex komt uit de resultaten (figuur 31) duidelijk naar voren.

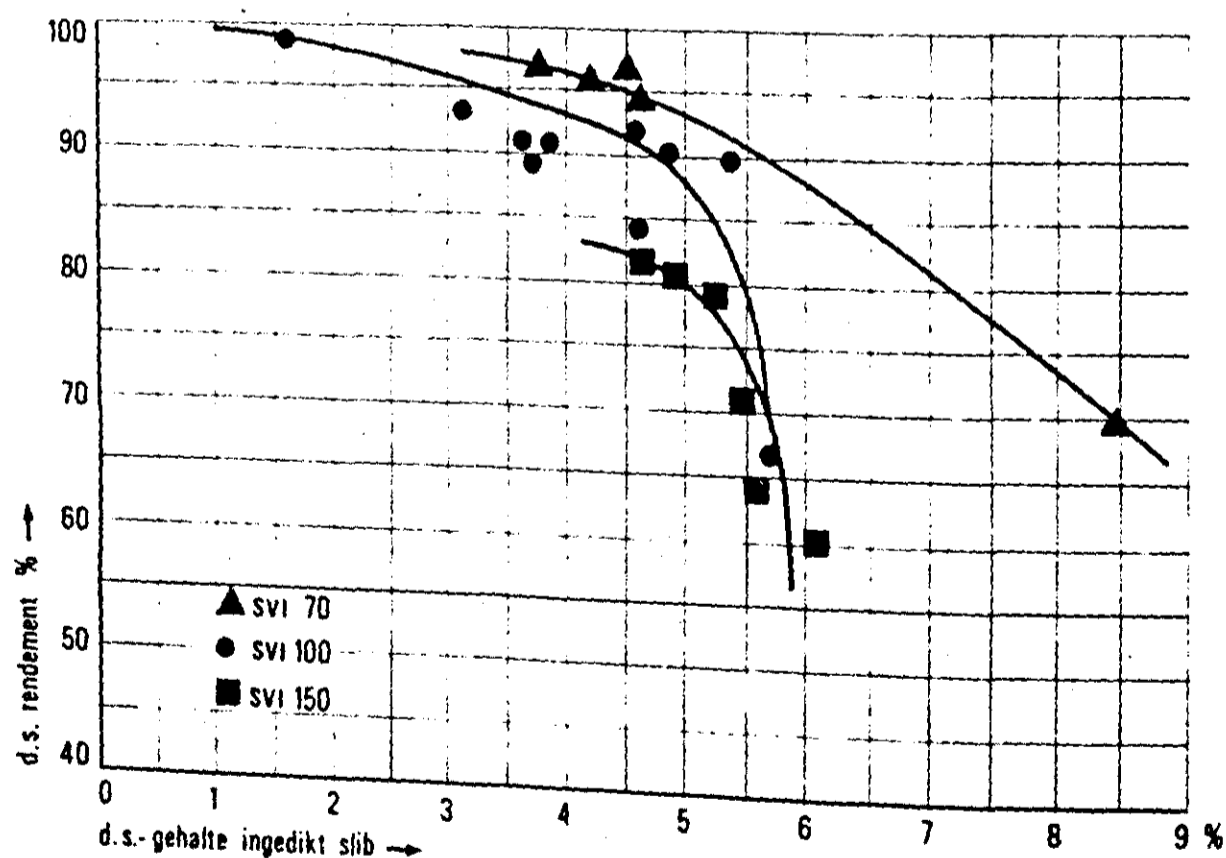


Fig. 31. Slibindex, drogestofrendement en indikresultaat van de schotelcentrifuge <sup>133</sup> (actief-slib, zuiveringsinrichting in Pennsylvania).

Op de rioolwaterzuivering van Oregon werd actief-slib met een slibindex van 350 ml/g ingedikt tot verschillende drogestofconcentraties (figuur 32).

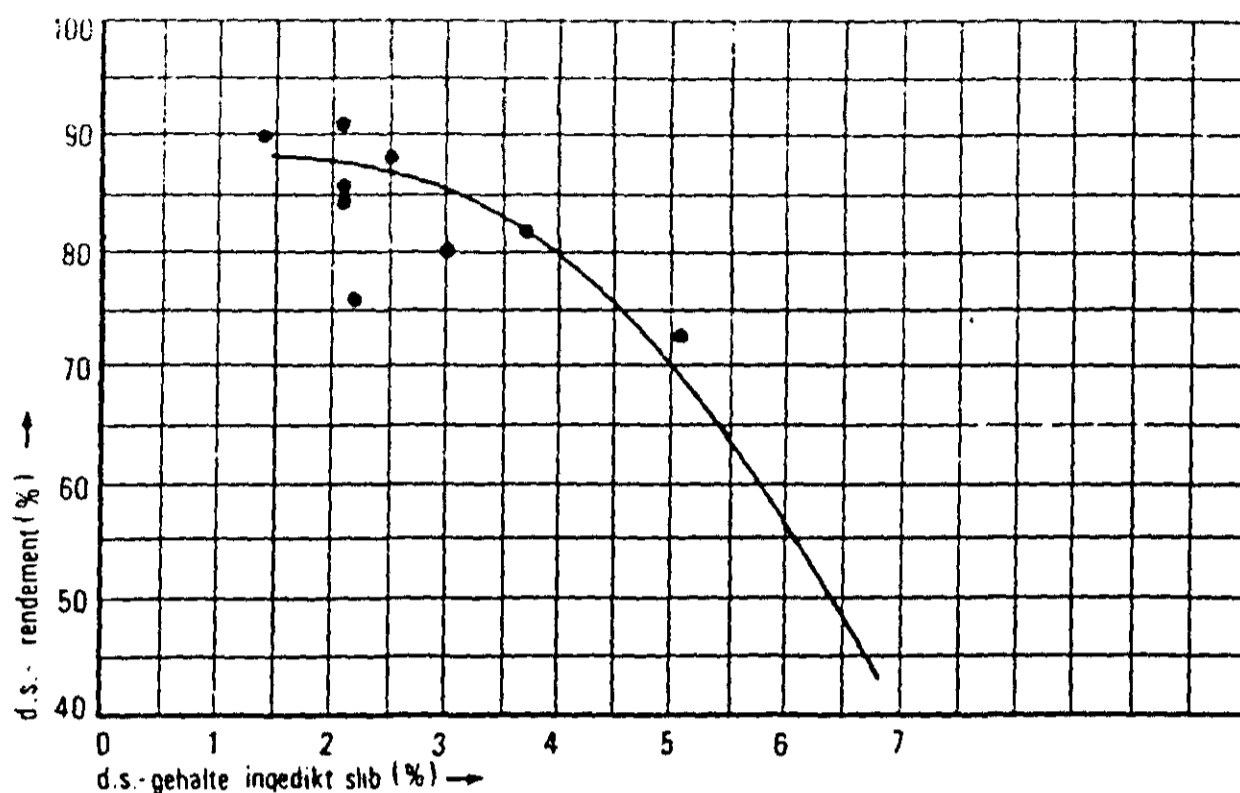


Fig. 32. Drogestofgehalte van ingedikt actief-slib (slibindex 350 ml/g) en rendement van de schotelcentrifuge <sup>133</sup>

Uit deze figuur blijkt duidelijk het verband tussen het drogestofgehalte van het ingedikte slib en het drogestofrendement van de centrifuge.

#### *geluidsaspecten*

In de bestudeerde literatuur wordt geen informatie gegeven over geluidsaspecten.

### 3.3.5

#### Kosten

##### *algemeen*

De schotelcentrifuge wordt slechts op zeer beperkte schaal toegepast voor het indikken van zuiveringsslib; in de literatuur zijn daarom maar weinig gegevens over de jaarlijkse kosten te vinden.

Bradney <sup>119</sup> onderscheidt deze kosten in:

- rente en afschrijving;
- onderhoud aan het bouwkundig gedeelte;
- onderhoud aan het mechanisch en elektrisch gedeelte;
- bediening en toezicht;
- energie.

##### *rente en afschrijving*

Hieronder vallen de kosten aan rente en afschrijving op gebouw, centrifuge, pompen, zeefapparatuur, afsluiters en pijpleidingen.

De kosten van het bouwkundige gedeelte kunnen in dezelfde periode worden afgeschreven als voor de decanteercentrifuges is vermeld (zie 3.2.5, blz. 65).

Bradney <sup>119</sup> kiest voor de afschrijving van een schotelcentrifuge een termijn van 15 jaar.

#### *onderhoud bouwkundig gedeelte*

Voor het onderhoud van het bouwkundig gedeelte kan dezelfde berekeningswijze worden gehanteerd als genoemd is bij de decanteercentrifuge (zie 3.2.5, blz. 65).

#### *onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte*

Bradney <sup>119</sup> stelt de onderhoudskosten van de centrifuge op 2% van de investeringskosten.

#### *bediening en toezicht*

Bradney <sup>119</sup> rekent met een halve mankracht voor het bedienen van twee centrifuges.

#### *energie*

Volgens Vaughn <sup>133</sup> kost het indikken van secundair slib aan energie 1,67 \$ per ton droge stof.

Uitgaande van de in de USA veel gebruikte energieprijis van \$ 0,01 kWh betekent dit 167 kWh/ton droge stof.

Volgens Townsend <sup>132</sup> wordt gewoonlijk ongeveer 1,5 kW per m<sup>3</sup> slib geïnstalleerd.

Vaughn <sup>133</sup> vergelijkt de kosten van twee indiksystemen met elkaar:

- het gemengd indikken van primair + secundair slib door middel van gravitatie en
- het indikken van primair slib in een gravitatie-indikker en secundair slib in een schotelcentrifuge.

Volgens Vaughn <sup>133</sup> zijn de investeringskosten van de laatste indikmethode bijna éénderde minder dan de investeringskosten van de eerste.

Volgens de EPA <sup>131</sup> kost centrifugaal-indikken veel onderhoud en energie; het proces wordt alleen toegepast bij ruimtegebrek of indien andere indikmethoden niet voldoen. Bovendien wordt gesteld, dat indikking met centrifuges niet economisch is als slib zonder chemicaliën kan worden ingedikt door gravitatie of flotatie.

Bij een kostenvergelijking tussen slibindikken met centrifuges en slibindikken door middel van gravitatie mogen niet alleen de indikkosten met elkaar worden vergeleken; ook de besparingen op slibgisting, slibontwatering en slibtransport moeten in de berekeningen worden betrokken.

### 3.3.6 Conclusies

#### *verwerkingscapaciteit*

De schotelcentrifuge combineert een grote hydraulische capaciteit (tot 140 m<sup>3</sup>/h) met een hoog scheidend vermogen.

De centrifuge is ongeschikt voor het verwerken van slib dat veel grof materiaal bevat (zoals primair slib) maar bij uitstek geëigend voor het indikken van actief-slib en aerob gestabiliseerd slib.

Het in te dikken slib moet vooraf van te grove deeltjes (zand, vezels, haren) worden ontdaan, anders zal de centrifuge snel verstopten.

### *Drogestofrendement en drogestofgehalte ingedikte slib*

Het drogestofrendement van de centrifuge en het bereikbare drogestofgehalte van het ingedikte slib worden in sterke mate bepaald door de slibindex.

Bij gelijkblijvend drogestofrendement stijgt het drogestofgehalte - en bij gelijkblijvend drogestofgehalte stijgt het rendement - met afname van de slibindex.

Het verband tussen deze variabelen wordt geïllustreerd door figuur 31 (blz. 72) die als indicatie kan dienen voor de resultaten die kunnen worden bereikt.

### *kosten*

Volgens de EPA <sup>131</sup> vergt slibindikking met centrifuges veel onderhoud en energie en wordt deze wijze van indikking alleen toegepast bij ruimtegebrek of indien andere indikmethoden niet voldoen.

Voor het bepalen van de jaarlijkse kosten van de schotelcentrifuge wordt verwezen naar paragraaf 3.3.5 (blz. 73).

Bij een kostenvergelijking met indikking door middel van gravitatie moeten de eventuele besparingen op slibgistingruimte, slibontwatering en slibtransport door de verdergaande indikking in de centrifuge eveneens in beschouwing worden genomen.

### 3.4 BASKET-CENTRIFUGE

#### 3.4.1 Beschrijving

De basket-centrifuge bestaat uit een roterende trommel (basket) waarin het in te dikken slib via de onderzijde door vier openingen over de centrifuge wordt verdeeld (figuur 33).

Door de centrifugale kracht worden de slibdeeltjes tegen de wand van de trommel geslingerd, terwijl het filtraat boven over de rand van de trommel uit de centrifuge loopt.

Omdat de basketcentrifuge geen continue slibruiming heeft (in tegenstelling tot een decanteercentrifuge) moet de voeding worden gestopt wanneer de basket met slib gevuld is om het ingedikte slib te verwijderen.

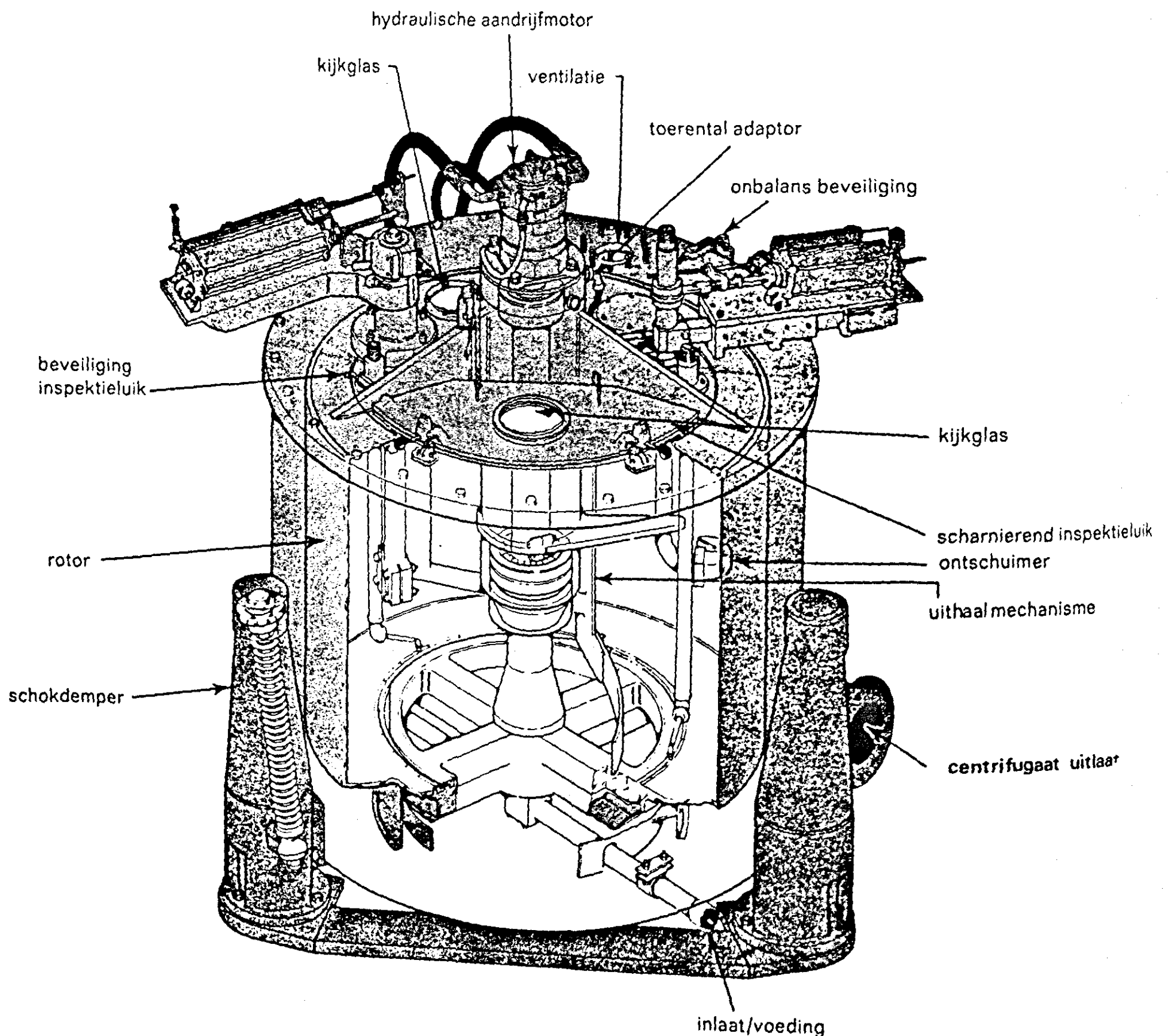


Fig. 33. ATM basket-centrifuge in doorsnede (uit brochure Alfa-Laval)



Het indikken van slib in een basket-centrifuge is dan ook een discontinu proces.

In figuur 34 is het tijdschema van één indikcyclus van de ATM basket-centrifuge geïllustreerd.

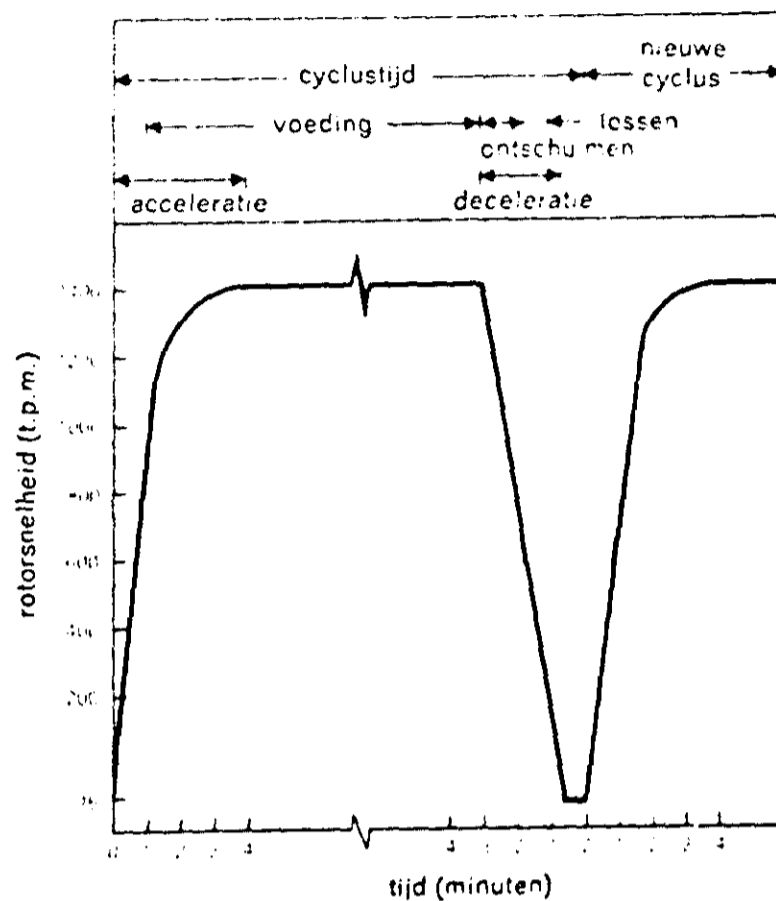


Fig. 34. Indikcyclus van de ATM basket-centrifuge  
(uit brochure Alfa-laval)

In de eerste fase wordt de centrifuge versneld tot 1400 toeren per minuut (tpm); vanaf circa 800 tpm wordt de centrifuge met slib gevoed (tweede fase).

Op het moment dat de trommel gevuld is met slib, zullen slibdeeltjes meegenomen worden met het filtraat. De voeding wordt dan gestopt om de slibkoek te verwijderen (derde fase). Er bevinden zich dan drie lagen in de centrifuge:

- een filtraatlaag;
- een laag met matig ingedikt slib;
- een laag met ingedikt slib.

De eerste twee lagen kunnen op volle snelheid van de centrifuge worden verwijderd door een ontschuimer; de afgeschuimde laag wordt teruggevoerd naar de slibvoorraadtank.

Om de hardere, ingedikte sliblaag te verwijderen is het nodig de centrifuge af te remmen. Deze laag wordt door een mes bij circa 75 tpm uit de trommel geschrapt.

Nadat de centrifuge is gelegeerd kan met de volgende cyclus worden begonnen.

De indikcyclus kan automatisch worden gestuurd door middel van troebelheidsmeting in het filtraat of koekdikteregistratie in de basket. Deze parameters worden dan gebruikt als signaal om de voeding te onderbreken terwijl de basket wordt geledigd.

De basket-centrifuge is geschikt voor het behandelen van slibstromen met relatief lage drogestofconcentraties. In principe kunnen allerlei soorten slib in de basket-centrifuge worden geconcentreerd <sup>120</sup>.

Omdat in de basket de sedimentatie van de slibdelen niet wordt verstoord door bewegende delen (zoals een transportschroef bij een decanteercentrifuge) kan de basket-centrifuge ook moeilijk in te dikken slibsoorten, zoals actief-slib, goed indikken.

De variabelen die bij het indikken van slib in een basket-centrifuge een rol spelen kunnen ook hier worden verdeeld in variabelen die betrekking hebben op de bouw van de machine en variabelen die het indikproces betreffen.

#### 3.4.2 Machinevariabelen

Deze variabelen zijn de maximale centrifugale versnelling en de afmetingen van de centrifuge. Beide variabelen zijn door de constructie van de centrifuge vastgelegd en achteraf niet beïnvloedbaar; daarom zal hierop niet nader worden ingegaan.

#### 4.3 Procesvariabelen

De volgende procesvariabelen worden onderscheiden:

- slibdebiet;
- vloeistofverblijftijd;
- drogestofverblijftijd;
- drogestofgehalte van het in te dikken slib;
- ontschuiming;
- dosering van polymeren.

*slibdebiet, vloeistofverblijftijd en drogestofverblijftijd*

Een van de belangrijkste parameters bij het indikproces in een basket-centrifuge is de verblijftijd. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de vloeistofverblijftijd en de drogestofverblijftijd.

De vloeistofverblijftijd in de centrifuge is een functie van het slibdebiet en de grootte van de centrifuge.

Naarmate de vloeistofverblijftijd afneemt zal ook het rendement van de centrifuge verminderen, omdat steeds meer slibdeeltjes met het filtraat meegaan.

De drogestofverblijftijd in de centrifuge is een functie van het slibdebiet, het drogestofgehalte van het in te dikken slib, de grootte van de centrifuge en het rendement van de centrifuge.

*drogestofgehalte van het in te dikken slib*

In figuur 35 (blz. 79) is de invloed van de drogestofverblijftijd in de centrifuge op het drogestofgehalte van het ingedikte slib weergegeven.

Figuur 35 illustreert dat het drogestofgehalte van het ingedikte slib toeneemt met toename van de drogestofverblijftijd; de mate van toename is echter niet gelijk voor verschillende slibsoorten.

Wanneer het in te dikken slib een hoog drogestofgehalte bezit is de centrifuge snel gevuld. Uit figuur 35 blijkt dat bij korte

drogestofverblijftijd de indikkingsgraad hierdoor nadelig wordt beïnvloed <sup>120</sup>.

Bovendien zal de ledigingstijd van de centrifuge een groot deel van de cyclustijd in beslag nemen.

Daarentegen neemt bij aerob gestabiliseerd slib het drogestofgehalte van het eindproduct toe, door uitwassing van lichte slibdeeltjes.

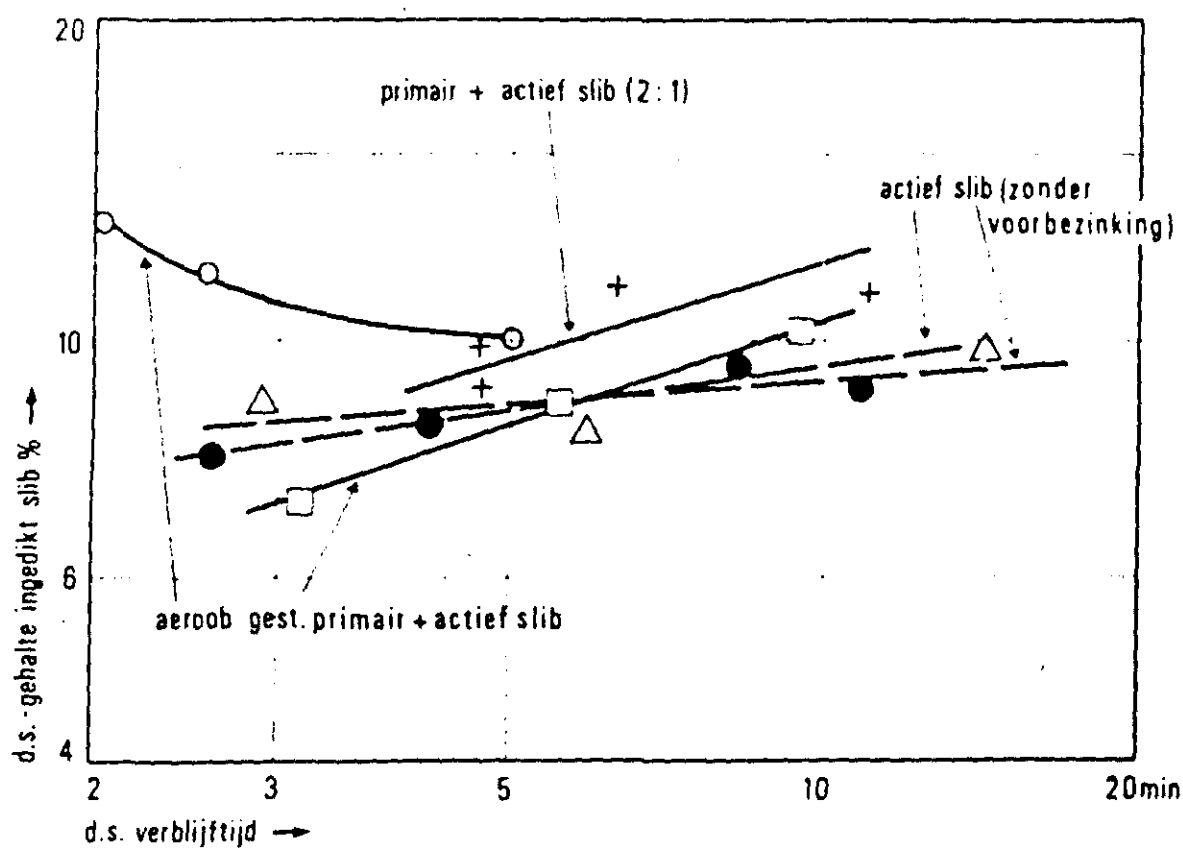


Fig. 35. Basket-centrifuge: drogestofverblijftijd en drogestofgehalte van ingedikt slib <sup>120</sup>

#### *ontschuiming*

Door te ontschuimen wordt de buitenste sliblaag, die het minst is ingedikt, uit de centrifuge verwijderd en teruggevoerd naar de voorraad-tank. Dit leidt tot een hoger drogestofgehalte in het ingedikte slib. Een gevolg van het ontschuimen is echter wel dat het rendement van de centrifuge daalt.

#### *dosering van polymeren*

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.4.4 (blz. 82 - 84).

### 3.4.4 Bedrijfsvoering

#### *resultaten*

Op de rioolwaterzuiveringsinrichting te Zutphen zijn indikproeven gedaan met een basket-centrifuge. Het betrof hier slib van een oxydatiesloot met een slibindex van 125 - 190 ml/g.

In figuur 36 en 37 (blz. 80) zijn de resultaten uitgezet die met re-tourslib (drogestofgehalte circa 1%) werden behaald.

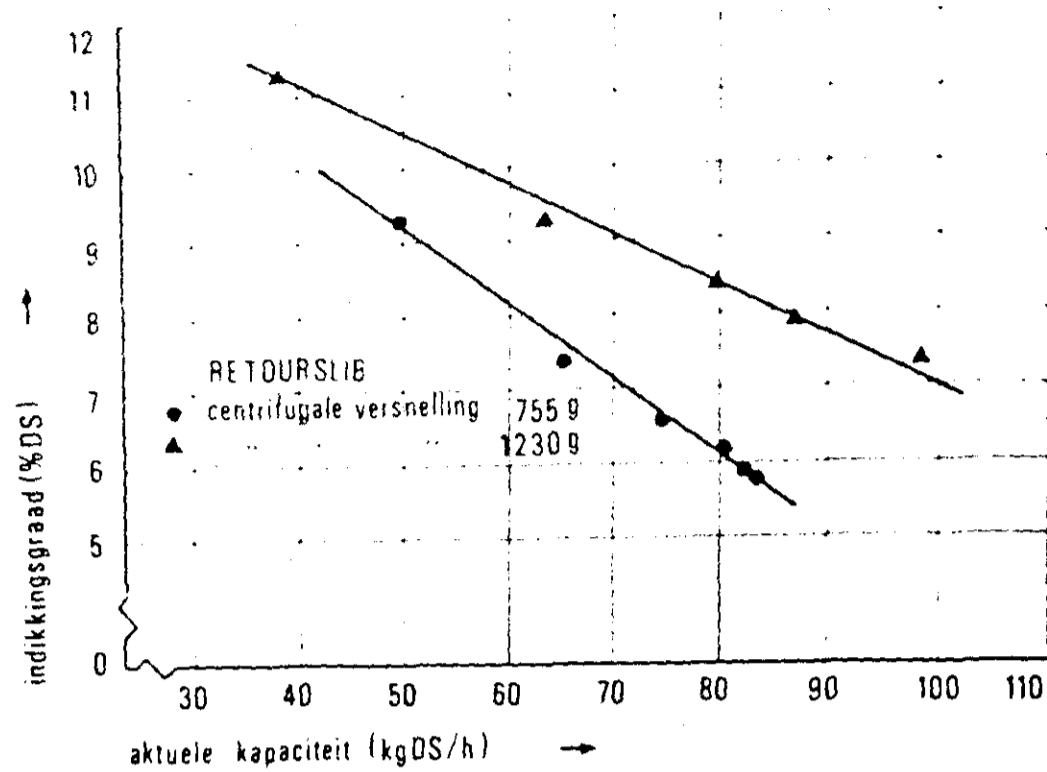


Fig. 36. Basket-centrifuge: actuele capaciteit en indikkingsgraad 129

Onder de actuele capaciteit van de centrifuge wordt hier verstaan de hoeveelheid ingedikt materiaal (in kg droge stof/h) die de centrifuge produceert. De tijd die nodig is voor het accelereren en ledigen van de centrifuge is hierin begrepen.

Het verband tussen de actuele capaciteit van de basket-centrifuge en het rendement wordt geïllustreerd door figuur 37.

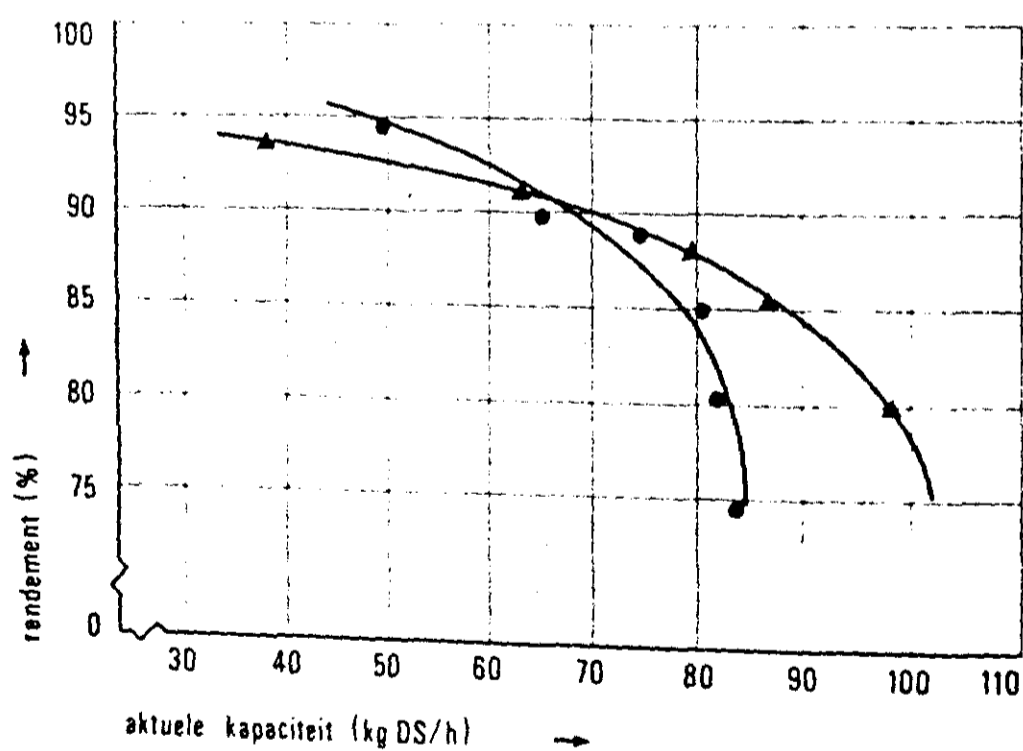


Fig. 37. Basket-centrifuge: actuele capaciteit en rendement 129  
(voor slibsoort en symbolen zie figuur 36).

Uit figuur 36 en 37 blijkt dat bij hogere belastingen, dus bij kortere vloeistof- en drogestofverblijftijden, zowel de indikkingsgraad als het rendement afnemen.

Deze resultaten komen overeen met de metingen van O'Donnel en Parkhurst.

O'Donnel <sup>120</sup> gebruikt (figuur 38) de factor  $\Sigma$ , die de theoretische capaciteit van de centrifuge voorstelt en gebaseerd is op de afmetingen van de centrifuge.

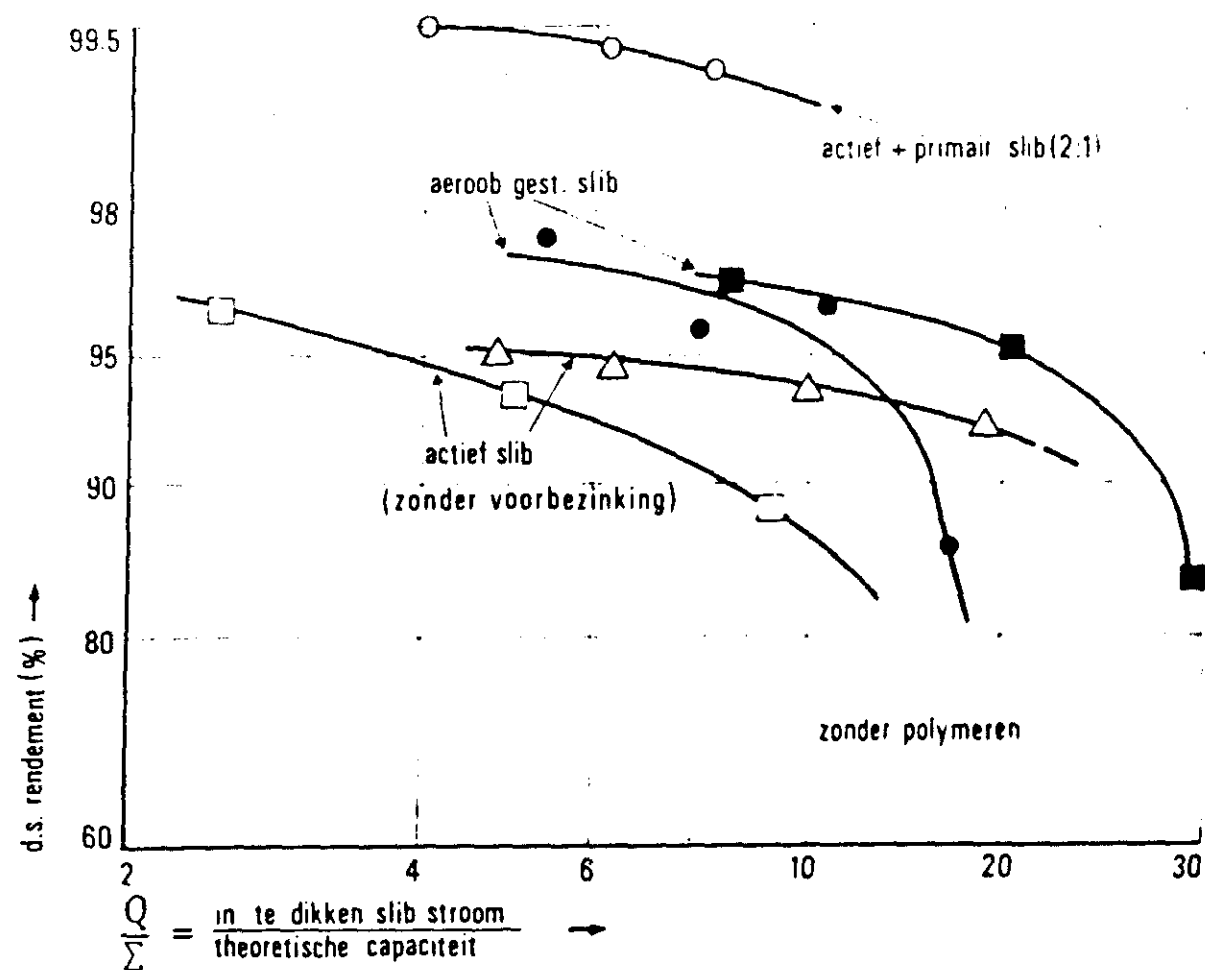


Fig. 38. Basket-centrifuge: hoeveelheid in te dikken slib en rendement <sup>120</sup>

Parkhurst <sup>130</sup> onderzocht de mogelijkheid om het filtraat van een decanteercentrifuge, waarin anaeroob gegist primair slib met een rendement van 30% werd ontwaterd, met behulp van een basket-centrifuge (diameter: 76,2 cm) in te dikken. Het filtraat van de decanteercentrifuge bevatte nog 2,5 à 3% droge stof. De resultaten zijn weergegeven in figuur 39.

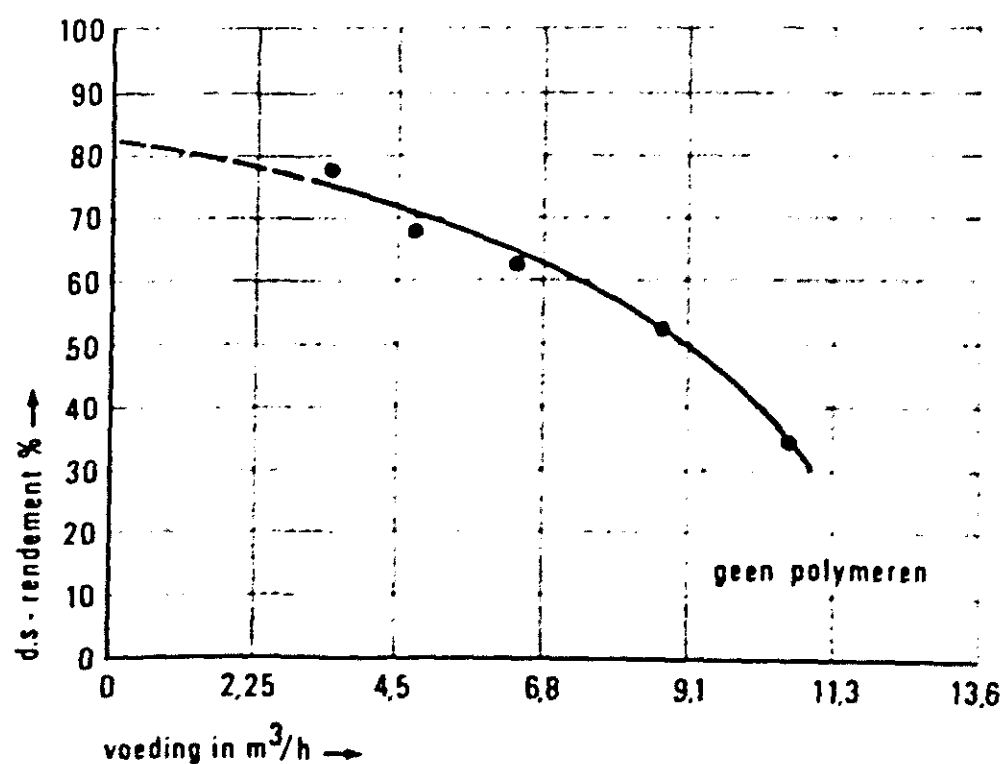


Fig. 39. Basket-centrifuge: drogestofrendement en belasting <sup>130</sup>

De invloed van polymeren op het indikken van slib van de oxydatiesloot te Zuphen is onderzocht door Onstwedder <sup>129</sup>. Deze auteur constateerde een toeneming van het drogestofgehalte van het ingedikte slib met 1 à 1,5% bij een polymeerdosering van 0,5 g/kg droge stof (figuur 40).

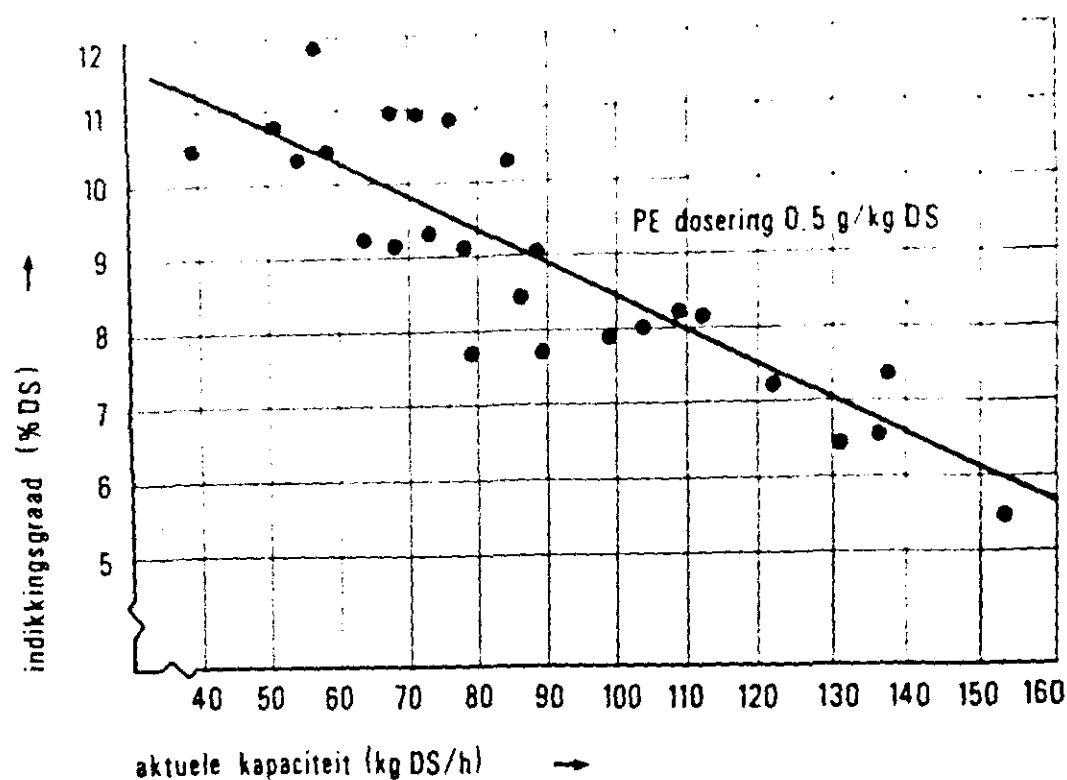


Fig. 40. Basket-centrifuge: actuele capaciteit en indikkingsgraad van oxydatieslootslib bij polymeer (PE) dosering <sup>129</sup>

Ook het rendement van de centrifuge, vooral bij grotere actuele capaciteiten, bleek hoger bij polymeerdosering (figuur 41).

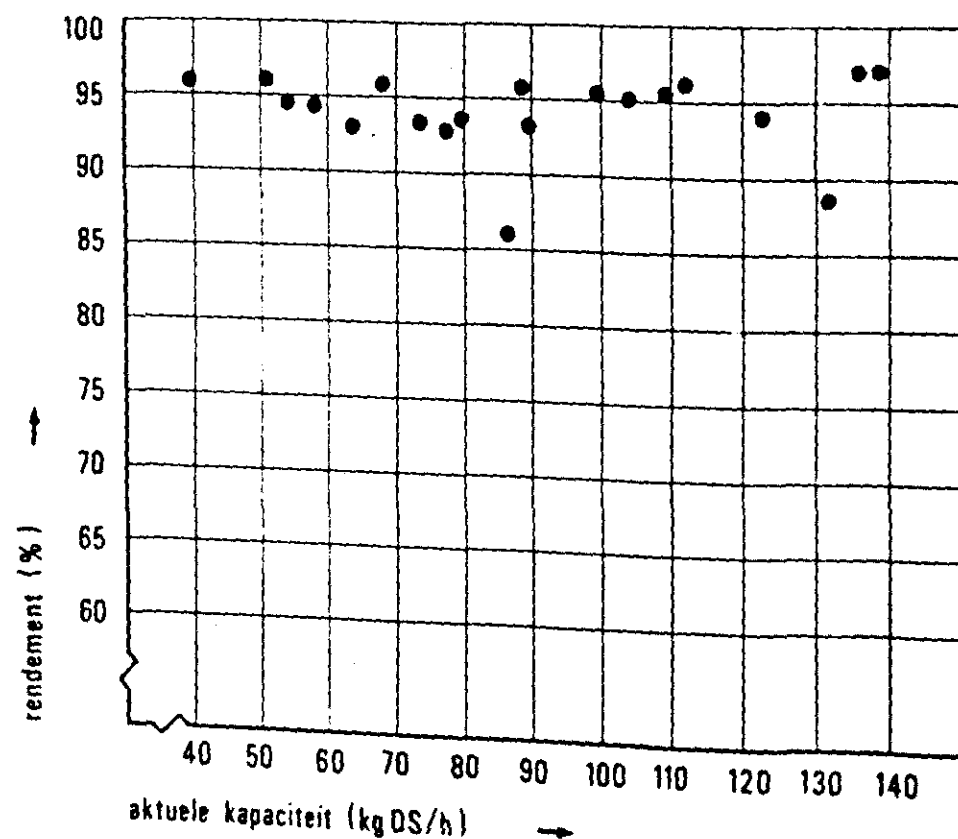


Fig. 41. Basket-centrifuge: actuele capaciteit en rendement bij indikking van oxydatieslootslib met polymeerdosering (0,5 g/kg d.s.) <sup>129</sup>

Uit dezelfde proeven van Onstwedder bleek bovendien dat polymeerdoseringen van meer dan 1 g/kg droge stof niet leiden tot verdere indikking van het slib of een hoger drogestofrendement.

Door Parkhurst<sup>130</sup> werden soortgelijke ervaringen opgedaan met de toediening van polymeren aan het filtraat van uitgegist primair slib dat met een basket-centrifuge werd ingedikt.

Zo bleek dat door verhoging van de polymeerdosering van 0,5 tot 2 g/kg droge stof het drogestofgehalte van het ingedikte slib hoger werd. Hogere doseringen hadden weinig effect (figuur 42).

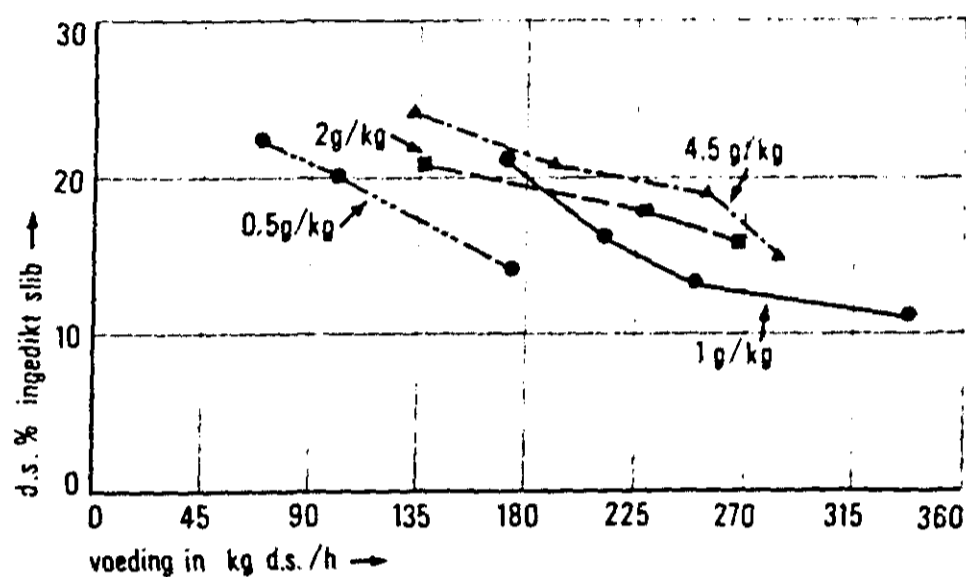


Fig. 42 Basket-centrifuge: drogestofgehalte ingedikt slib, polymeerdosering en belasting<sup>130</sup>

In figuur 43 is voor de proeven van Parkhurst het effect van polymeerdosering op het drogestofrendement geïllustreerd.

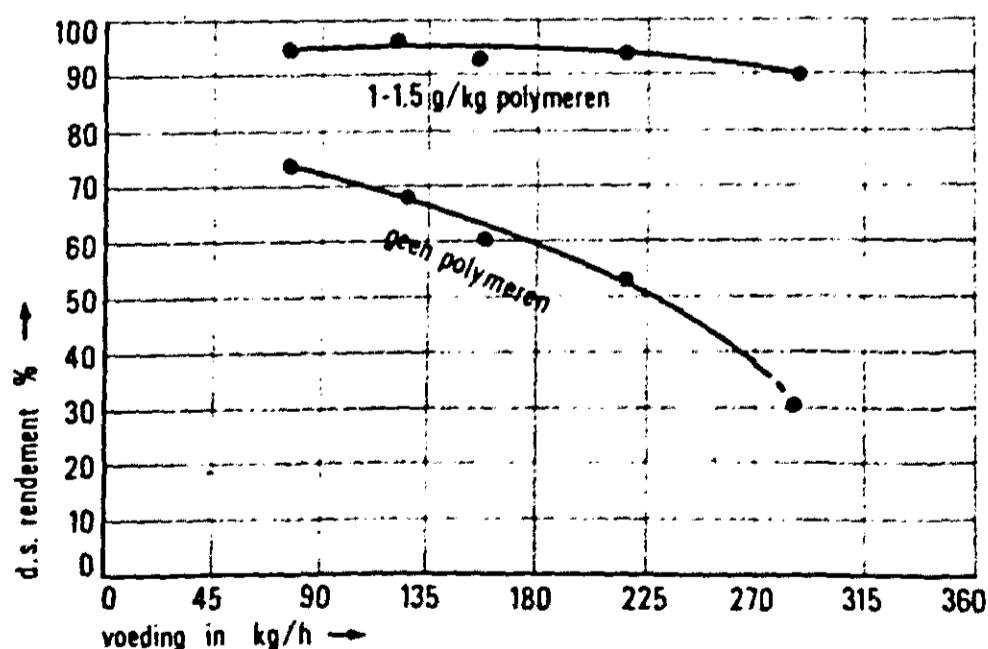


Fig. 43. Basket-centrifuge: drogestofrendement, polymeerdosering en belasting<sup>130</sup>

Door Onstwedder<sup>129</sup> is de invloed van de centrifugale kracht op de indikking van oxydatieslootslib onderzocht; toename van deze kracht blijkt de indikingsgraad positief te beïnvloeden (figuur 44, zie ook: figuur 36, blz. 80).

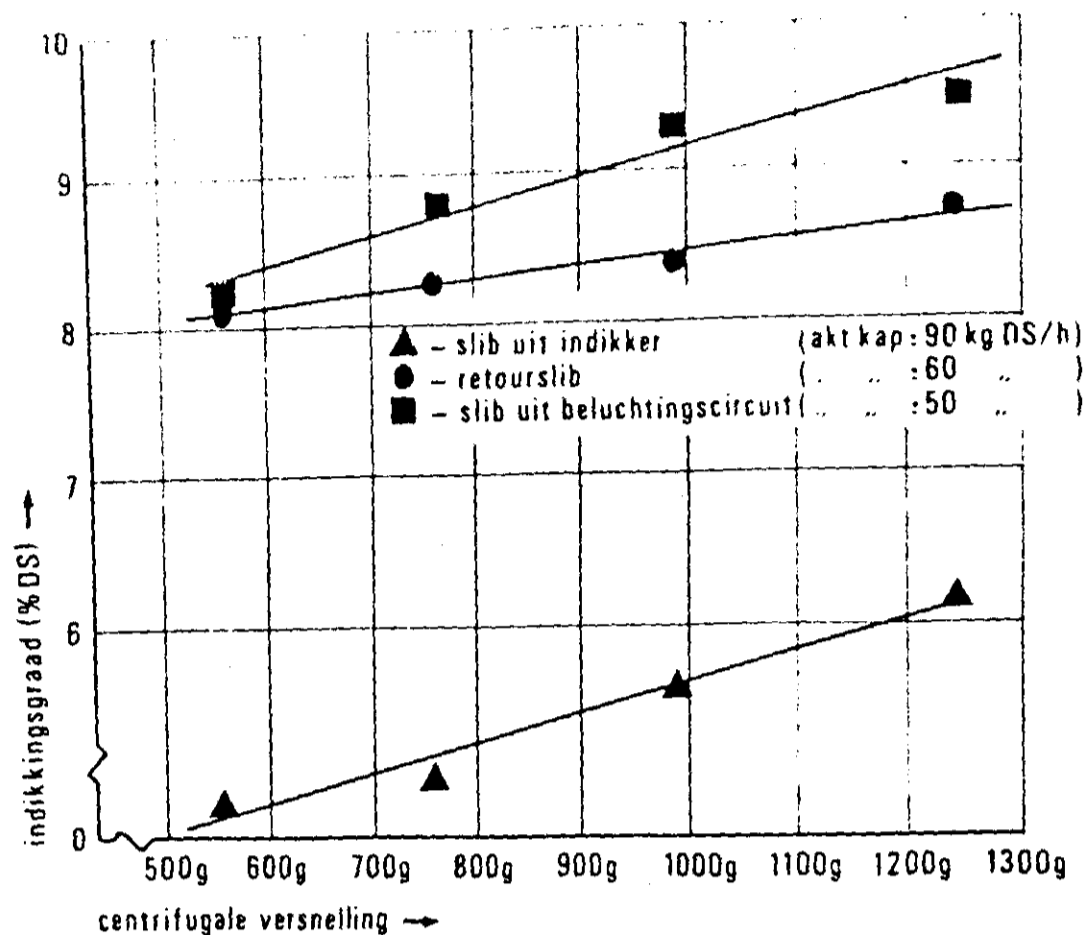


Fig. 44. Basket-centrifuge: centrifugale versnelling en indikingsgraad (oxydatieslootslib)<sup>129</sup>

Uit de proeven met het slib van de oxydatiesloot te Zutphen bleek verder dat het drogestofgehalte van het in te dikken slib geen merkbare invloed had op de resultaten<sup>129</sup>. Dit komt overeen met de resultaten van O'Donnell<sup>121</sup>; deze auteur constateerde dat slib van een zuiveringsinrichting zonder voorbezinktank weinig gevoelig is voor de drogestofverblijftijd in de centrifuge (zie figuur 35, blz. 79).

#### *geluidsaspecten*

Tijdens de proeven met de basket-centrifuge te Zutphen zijn geluidmetingen verricht<sup>129</sup>.

In de nissenhut, waar de centrifuge stond opgesteld, bedroeg het geluidsniveau 92 - 94 dB(A) en op 1 m afstand van de centrifuge was het niveau 97 dB(A).

Gesteld wordt<sup>129</sup> dat de basket-centrifuge geen geluidsoverlast voor de omgeving behoeft te veroorzaken, indien de centrifuge in een akoestisch aangepast gebouw is geplaatst.

Een geluidsniveau van 97 dB(A) is echter dusdanig hoog, dat dit blijvende gehoorbeschadiging kan veroorzaken.

In elk geval zullen gehoorbeschermingsmiddelen dus moeten worden gedragen<sup>129</sup> door het personeel van de zuiveringsinrichting bij werkzaamheden in de ruimte waar de centrifuge staat opgesteld\*.

\*Zie STORA-rapport: Veiligheid op rioolwaterzuiveringsinrichtingen (1977)



### 3.4.5 Kosten

#### *algemeen*

De jaarlijkse kosten van slibindikking met een basket-centrifuge kunnen als volgt worden opgebouwd <sup>129</sup>:

- rente en afschrijving voor gebouw, centrifuge, pompen, leidingen en afsluiters, eventueel van polymeeraanmaak- en doseerinstallatie;
- onderhoud aan het bouwkundig gedeelte;
- onderhoud aan het mechanisch en elektrisch gedeelte;
- bediening en toezicht;
- energie;
- chemicaliën.

#### *rente en afschrijving*

Voor de afschrijving van het bouwkundig gedeelte kan dezelfde termijn (30 of 50 jaar) worden aangehouden als voor de decanteercentrifuge (zie 3.2.5, blz. 65).

Onstwedder <sup>129</sup> kiest voor de afschrijving van het mechanisch/electrisch gedeelte een termijn van 15 jaar.

#### *onderhoud bouwkundig gedeelte*

Voor het onderhoud van het bouwkundig gedeelte kan dezelfde rekenfactor (0,5 % van de investeringskosten) worden gehanteerd als genoemd is bij de decanteercentrifuge (zie 3.2.5, blz. 65).

#### *onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte*

Onstwedder <sup>129</sup> stelt de onderhoudskosten van de basket-centrifuge op 2% van de investeringskosten; O'Donnel <sup>120</sup> noemt als voordeel van deze centrifuge de lage onderhoudskosten.

#### *bediening en toezicht*

De basket-centrifuge kan geheel automatisch worden bedreven; door de lage storingsgevoeligheid kan het toezicht beperkt blijven tot het dagelijks controleren van één volledige cyclus, het oliepeil, de olietemperatuur en het uitvoeren van een visuele inspectie op eventuele olielekages <sup>129</sup>.

#### *energie*

Het energieverbruik van de basket-centrifuge per m<sup>3</sup> slib hangt - onder meer - af van het drogestofgehalte van het slib, de slibsoort, de slibeigenschappen en het toerental van de centrifuge.

Voor slib van een oxydatiesloot met een drogestofgehalte van circa 1% bedroeg het energieverbruik <sup>129</sup>:

- bij 1230 g : 1,8 kWh/m<sup>3</sup>
- bij 755 g : 1,4 kWh/m<sup>3</sup>

Volgens Townsend <sup>132</sup> wordt meestal ongeveer 3,3 kW/m<sup>3</sup> slib geïnstalleerd.

## *Chemicaliën*

Het slib kan worden ingedikt met of zonder polymeren. Het polymeerverbruik is lager dan bij de decanteercentrifuge en ligt in de orde van 0,5 - 2 g polymeer/kg droge stof 129, 130.

Bij kostenvergelijking tussen slibindikking in een basket-centrifuge en slibindikken door middel van gravitatie, dienen niet alleen de pure indikkosten met elkaar te worden vergeleken. Door de verdergaande indikking kunnen immers kostenbesparingen in slibgisting, slibontwatering en slibtransport optreden; deze besparingen moeten mede in beschouwing worden genomen.

- 6

## Conclusies

### *verwerkingscapaciteit*

De basket-centrifuge werkt discontinu en bij relatief lage centrifugale krachten. Door dit laatste wordt het in te dikken slib niet aan hoge afschuifkrachten blootgesteld, hetgeen de vlokstabiliteit bevordert.

Door de relatief lage centrifugale kracht heeft de basket-centrifuge slechts een beperkte hydraulische capaciteit; zelfs grote machines verwerken vaak niet meer dan 14 m<sup>3</sup>/h.

Hoewel de basket-centrifuge in principe geschikt is om allerlei soorten slib in te dikken, is zij bij uitstek geschikt voor moeilijk in te dikken slibsoorten, zoals actief-slib.

### *drogestofrendement*

In de basket-centrifuge sedimenteren de slibdeeltjes ongehinderd door bewegende delen (zoals de transportschroef bij de decanteercentrifuge). Mede daardoor kunnen moeilijk in te dikken slibsoorten zonder polymeren met hoge rendementen worden ingedikt.

### *drogestofgehalte ingedikt slib*

De resultaten die met de basket-centrifuge worden gehaald houden het midden tussen slibindikken en slibontwateren. Zo kan actief slib zonder polymeren ingedikt worden tot 9 à 11 % droge stof bij een rendement van 90 à 95 % 131.

### *kosten*

Voor het bepalen van de jaarkosten van een basket-centrifuge wordt verwezen naar paragraaf 3.4.5 (blz. 85).

Bij een kostenvergelijking tussen slibindikken met een basket-centrifuge en slibindikken door middel van gravitatie, dienen de eventuele besparingen op slibgisting, slibontwatering en slibtransport door de verdergaande ontwatering met de centrifuge eveneens in beschouwing te worden genomen.

## 4. Flotatie – indikking

## Inhoud

4.1	INLEIDING	91
4.2	THEORIE	92 - 93
4.3	DISSOLVED AIR FLOTATION	94 - 120
4.3.1	Procesbeschrijving	94
4.3.2	Uitvoering en constructies	94 - 100
	<i>het oplossen van lucht</i>	94 - 96
	<i>menging van verdunningswater en slib</i>	96 - 97
	<i>vorm van de flotatietank</i>	97 - 99
	<i>aanvoer van slib en verdunningswater</i>	99
	<i>chemicaliën-dosering</i>	99
	<i>slibruiming</i>	99 - 100
4.3.3	Dimensioneringsgrondblagen	100 - 102
	<i>drogestofbelasting</i>	100
	<i>hydraulische belasting</i>	100
	<i>verhouding lucht/vaste stof</i>	100 - 101
	<i>werkdruk</i>	101
	<i>hoeveelheid verdunningswater</i>	101
	<i>verblijftijd in de drukketel</i>	102
	<i>verblijftijd van de slibdeken</i>	102
4.3.4	Procesvariabelen	102 - 111
	<i>algemeen</i>	102
	<i>slibsoort en slibkwaliteit</i>	102 - 104
	<i>druk</i>	104 - 106
	<i>verhouding lucht/vaste stof</i>	106 - 108
	<i>slibconcentratie</i>	108 - 109
	<i>vloeistofverblijftijd</i>	109
	<i>verblijftijd van de slibdeken</i>	109 - 110
	<i>chemicaliën-dosering</i>	111
4.3.5	Bedrijfsvoering	112 - 117
	<i>algemeen</i>	112
	<i>resultaten zonder chemicaliën</i>	112 - 113
	<i>resultaten met chemicaliën</i>	114 - 115
	<i>resultaten met slibmengsels</i>	116
	<i>toepassing van polymeren</i>	116 - 117
	<i>bedrijfszekerheid</i>	117
4.3.6	Kosten	117 - 119
	<i>algemeen</i>	117
	<i>rente en afschrijving</i>	117 - 118
	<i>onderhoud bouwkundig gedeelte</i>	118
	<i>onderhoud mechanisch/electrisch gedeelte</i>	118
	<i>bediening en toezicht</i>	118
	<i>energie</i>	118 - 119
	<i>chemicaliën</i>	119
4.3.7	Dissolved air flotation en gravitatie-indikking	119 - 120
	<i>voordelen van flotatie-indikking</i>	119 - 120
	<i>nadelen van flotatie-indikking</i>	120

4.4	BIOLOGISCHE FLOTATIE	121 - 122
4.4.1	Procesbeschrijving	121
4.4.2	Procesvariabelen	121
4.4.3	Resultaten	121
4.4.4	Kosten	122
4.4.5	Voor- en nadelen, toepassingsmogelijkheden	122
4.5	ELECTROLYTISCHE FLOTATIE	123 - 125
4.5.1	Procesbeschrijving	123
4.5.2	Uitvoering en constructie	123 - 124
4.5.3	Procesvariabelen	124
4.5.4	Resultaten	124
4.5.5	Kosten	124
4.5.6	Voor- en nadelen	124 - 125
4.6	OVERIGE FLOTATIEPROCESSEN	126 - 127
4.6.1	Mechanische flotatie	126
4.6.2	Flotatie met perslucht	126
4.6.3	Vacuümflotatie	126 - 127
4.6.4	Chemische flotatie	127
4.7	CONCLUSIES	128
4.7.1	Algemeen	128
4.7.2	Dissolved air flotation	128
4.7.3	Biologische flotatie	128
4.7.4	Electrolytische flotatie	128

## INLEIDING

Flotatie is een proces dat gebruikt kan worden voor het afscheiden van vaste delen uit vast-vloeistof systemen. Het flotatieproces werd vroeger voornamelijk toegepast in de ertsverwerkende industrie. Tegenwoordig wordt flotatie - vooral in Amerika - in toenemende mate gebruikt voor het verwijderen van gesuspendeerde vaste stoffen uit afvalwater en voor het indikken van afvalwaterslib<sup>153</sup>.

Bij flotatie-indikking van afvalwaterslib worden luchtbelletjes in contact met het slib gebracht. De belletjes hechten zich aan de slibdeeltjes die daardoor lichter dan water worden en gaan drijven. De drijf-laag (slibdeken) dikt door drainage verder in en wordt verwijderd.

Het voornaamste verschil tussen de verschillende flotatiemethoden betreft de wijze waarop de gasbelletjes worden gevormd en met het slib worden gemengd en de grootte van de gasbelletjes.

In dit hoofdstuk zullen afzonderlijk worden besproken: dissolved air flotation (paragraaf 4.3, blz. 94 - 120), biologische flotatie (paragraaf 4.4., blz. 121 - 122) en electrolytische flotatie (paragraaf 4.5, blz. 123 - 125).

Andere flotatiemethoden (mechanische flotatie, flotatie met perslucht, vacuümflotatie en chemische flotatie) worden gezamenlijk behandeld (paragraaf 4.6, blz. 126 - 127).

Het dissolved air flotation-proces is reeds vele malen met succes toegepast voor het indikken van afvalwaterslib.

Mede omdat over de biologische en electrolytische flotatiemethoden minder is gepubliceerd, is het dissolved air flotation-proces uitgebreider beschreven dan deze twee methoden.

Op de overige methoden wordt slechts summier ingegaan, deels omdat zij niet (mechanische flotatie, perslucht-flotatie) of minder (vacuümfiltratie) geschikt zijn voor het indikken van zuiveringslib, deels omdat geen literatuur werd gevonden over hun toepassing in de praktijk (chemische flotatie).

Bij het flotatieproces worden gas(lucht)belletjes gebruikt om het soortelijk gewicht van de slibdeeltjes zodanig te verminderen dat deze deeltjes gaan drijven.

De hechting van een gasbelletje aan een slibdeeltje kan tot stand komen door <sup>162</sup>:

- *adhaesie van een gasbelletje aan een slibdeeltje*

De adhaesie wordt mogelijk door botsing van een belletje met een slibdeeltje; naarmate de stijgsnelheid van de belletjes kleiner is (bij kleine belldiameters) wordt de botsingskans groter.

Adhaesie kan ook het gevolg zijn van nucleatie; het belletje ontstaat daarbij aan het oppervlak van een slibdeeltje.

- *het invangen van een luchtbelletje in een slibvlok*

De kans op invangen neemt toe naarmate de slibvlokken groter en onregelmatiger van vorm zijn.

- *het inbouwen van een luchtbelletje in een slibvlokstructuur*

Dit inbouwen vindt plaats op het moment dat de slibvlokstructuur ontstaat.

Bij de adhaesie van gasbelletjes aan een slibdeeltje spelen grensvlakspanningen een grote rol.

Dit wordt verduidelijkt door figuur 45.

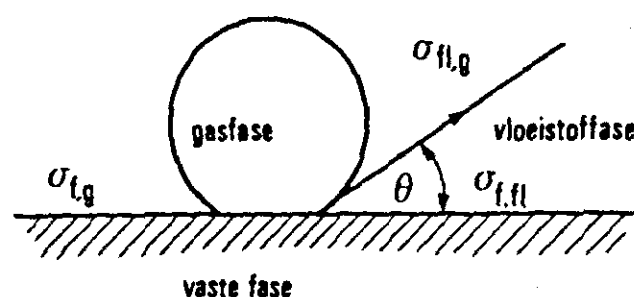


Fig. 45. Het gas-vloeistof-vaste stof systeem bij flotatie <sup>151</sup>

Volgens Hahn <sup>151</sup> is de bindingssterkte tussen de gasbel en het slibdeeltje afhankelijk van de hoek  $\theta$ , die een functie is van de grensvlakspanningen tussen de verschillende fasen, volgens:

$$\sigma_{f,g} = \sigma_{f,fl} + \sigma_{fl,g} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

waarin:

$\sigma_{f,g}$  = de grensvlakspanning tussen vaste fase en gasfase;

$\sigma_{f,fl}$  = de grensvlakspanning tussen vaste fase en vloeistoffase;

$\sigma_{fl,g}$  = de grensvlakspanning tussen vloeistoffase en gasfase.

De adhaesie-energie aan het grensvlak gasfase - vaste fase wordt beschreven door:

$$E_{\text{adhaesie}} = \sigma_{f,fl} + \sigma_{fl,g} - \sigma_{f,g} \quad (2)$$

Door substitutie van (1) in (2) ontstaat:

$$E_{\text{adhaesie}} = \sigma_{fl,g} (1 - \cos \theta) \quad (3)$$

Naarmate de slibdeeltjes meer hydrofoob (waterafstotend) zijn, wordt de hoek  $\theta$  groter, waardoor een betere hechting van het gasbelletje aan het slibdeeltje mogelijk is (figuur 46).

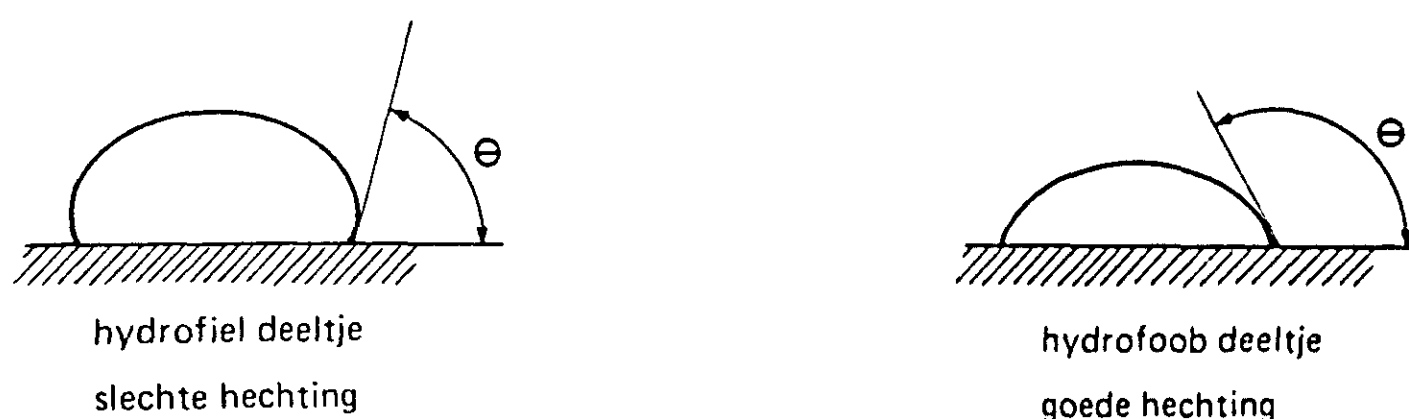


Fig. 46. Hechting van een gasbel aan hydrofiële en hydrofobe deeltjes 159

Bij het aanleggen van een gasbel aan het oppervlak van een slibdeeltje is het van belang dat het gasbelletje ongeveer dezelfde afmetingen heeft als het slibdeeltje <sup>147</sup>.

Relatief grote bellen (diameter  $\geq 1$  mm) veroorzaken door hun turbulentie een intensieve menging, zodat alleen de grote slibvlokken worden afgescheiden <sup>161</sup>.

Juist kleine gasbelletjes hechten zich aan de kleine en licht slibvlokken, zodat voor het indikken van afvalwaterslib bellen met een diameter  $< 1$  mm toegepast moeten worden <sup>159, 160</sup>.

Bij het indikken van het slib kunnen ook hulpstoffen worden gebruikt, zoals aluminium en  $\text{Fe}^{3+}$ -zouten en polymeren.

Door deze chemicaliën wordt het colloïdale karakter van het slib verbroken en ontstaan grotere slibvlokken die beter kunnen worden afgescheiden <sup>159</sup>.

Heteropolaire polymeren (polyelectrolyten) hebben daarenboven de eigenschap, dat hun polaire groep zich hecht aan het slibdeeltje, terwijl de apolaire groep naar buiten wordt gericht. Het slibdeeltje wordt daardoor meer hydrofoob en de hechting van een gasbel aan het slibdeeltje wordt hierdoor bevorderd <sup>159</sup>.



### .3 DISSOLVED AIR FLOTATION

#### .3.1 Procesbeschrijving

Dissolved air flotation berust op het principe dat lucht, die bij hoge druk in water is opgelost, bij plotselinge expansie tot één atmosfeer vrijkomt in de vorm van kleine bellen (diameter 0,05 tot 0,1 mm). Deze belletjes hechten zich aan de slibdeeltjes die daardoor opdrijven.

Het dissolved air flotation proces kan op twee manieren worden bedreven:

- slib en verdunningswater worden in hun geheel onder verhoogde druk belucht en vlak na de reduceerklep gemengd met het slib (figuur 47);

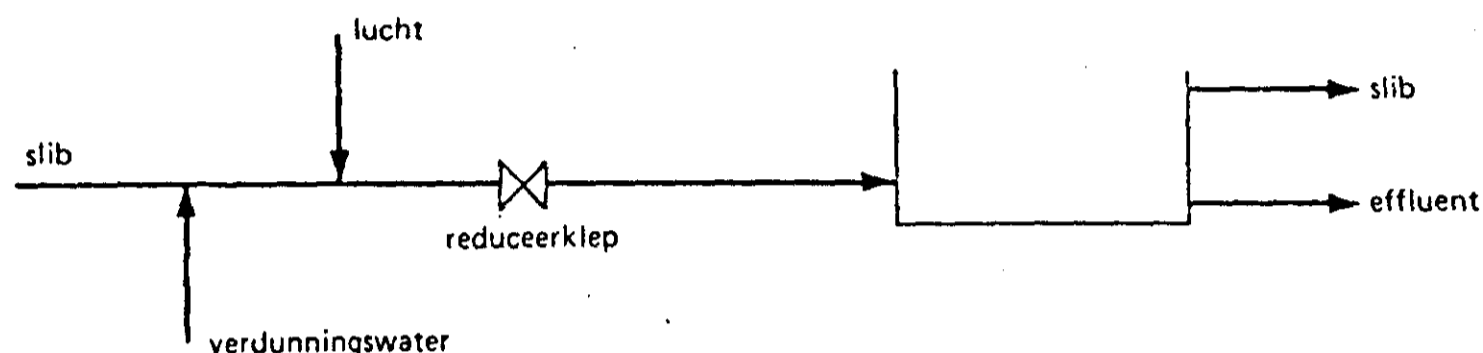


Fig. 47. Dissolved air flotation: slib en verdunningswater in hun geheel belucht

- alleen het verdunningswater wordt onder verhoogde druk belucht en vlak na de reduceerklep gemengd met het slib (figuur 48).

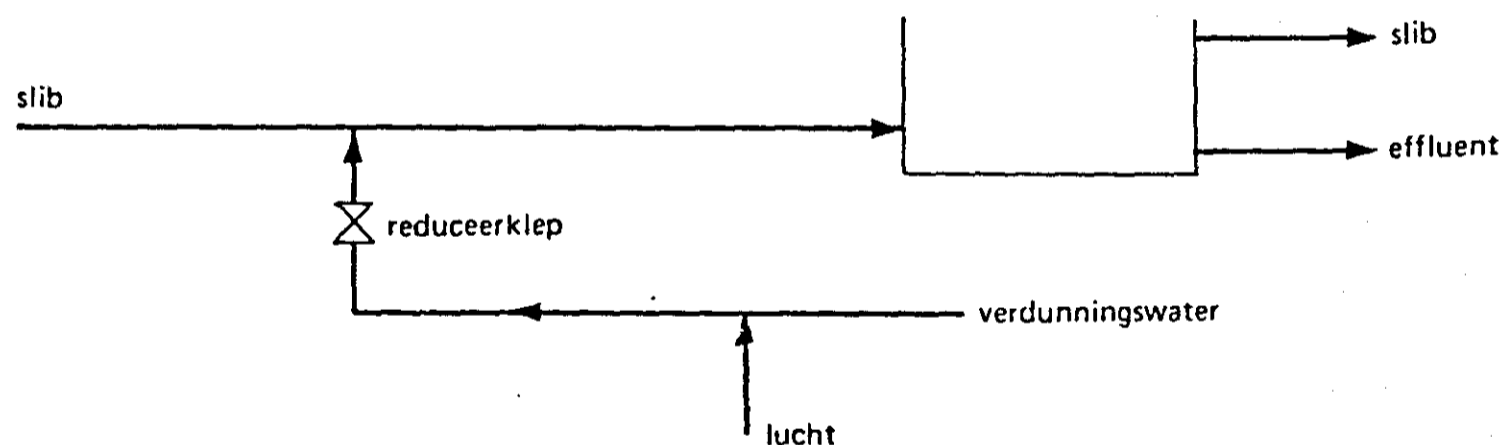


Fig. 48. Dissolved air flotation: alleen verdunningswater belucht

In beide systemen is het verdunningswater nodig om voldoende lucht te kunnen oplossen.

Köhler <sup>159</sup> stelt dat procesvoering volgens figuur 48 over het algemeen betere resultaten geeft dan volgens figuur 47.

Bij de werkwijze volgens eerstgenoemde figuur kunnen de slibvlokken worden beschadigd door de turbulentie bij het passeren van de reduceerklep; ook het hogedruksysteem heeft meer kans op verstopping.

#### .3.2 Uitvoering en constructies

##### *het oplossen van lucht*

Figuur 49 (blz.95) geeft het processchema van een dissolved air flotation installatie, waarbij alleen het verdunningswater onder druk wordt gezet.

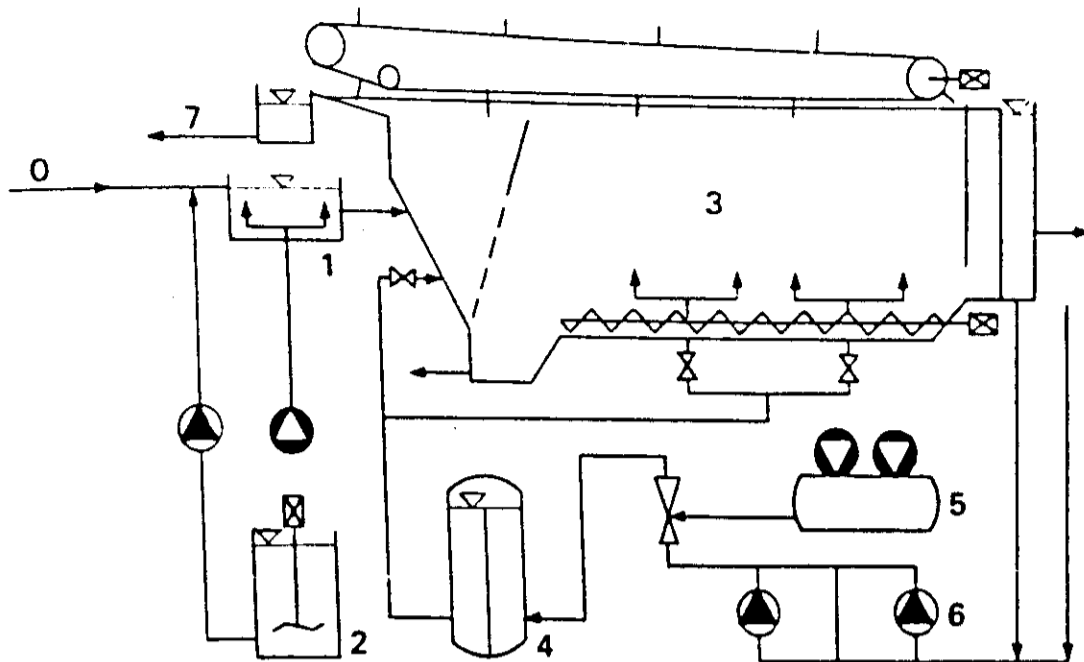


Fig. 49. Dissolved air flotation: processchema volgens Köhler<sup>161</sup>

- |                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| 0 = in te dikken slib           | 4 = drukketel       |
| 1 = mengtank voor flocculant en | 5 = compressoren    |
| 2 = flocculant                  | 6 = hoge drukpompen |
| 3 = flotatietank                | 7 = ingedikt slib   |

Bij procesvoering volgens figuur 49 wordt de lucht voor het floteren van het slib aan de perszijde van de hogedrukpompen in het verdunningswater geperst. In de drukketel lost de lucht in het verdunningswater op.

Köhler<sup>161</sup> beschrijft een aantal constructies van de drukketel die kortsluiting in de ketel moeten voorkomen (figuur 50).

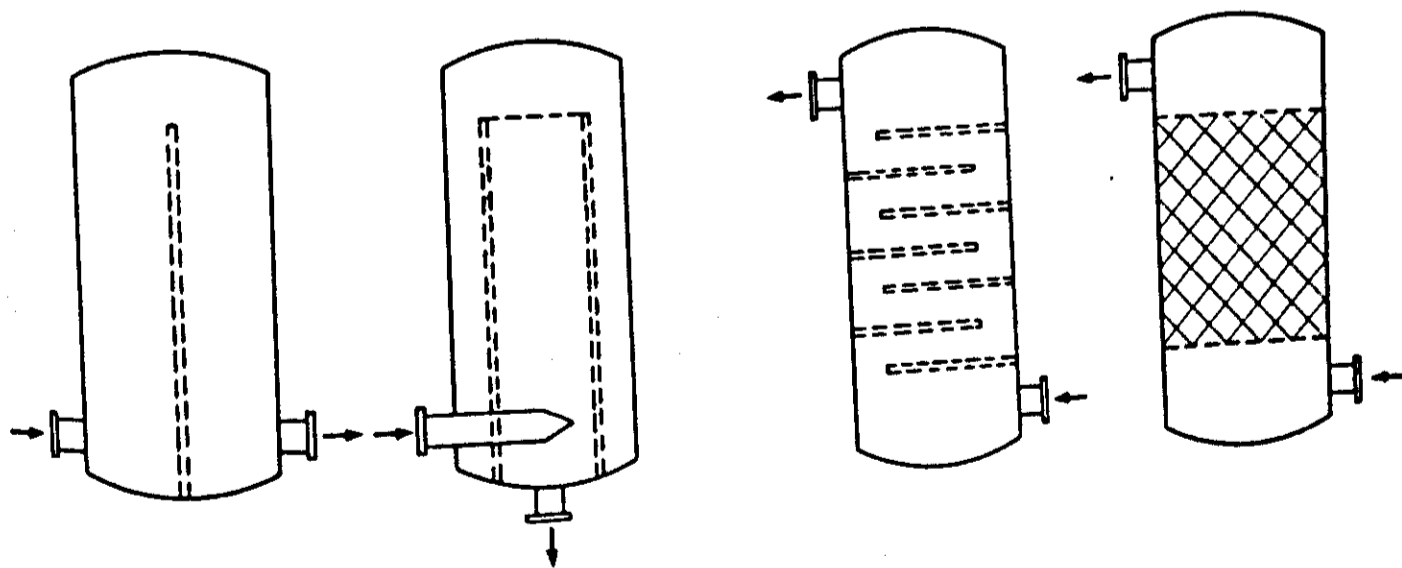


Fig. 50. Flotatie-drukketels volgens Köhler<sup>161</sup>

Door Jones<sup>154</sup> wordt een andere wijze van luchtoplossen beschreven; in de drukketel wordt de lucht opgelost met behulp van een reaeratiepomp. Het luchtniveau in de ketel wordt geregeld door twee elektroden.

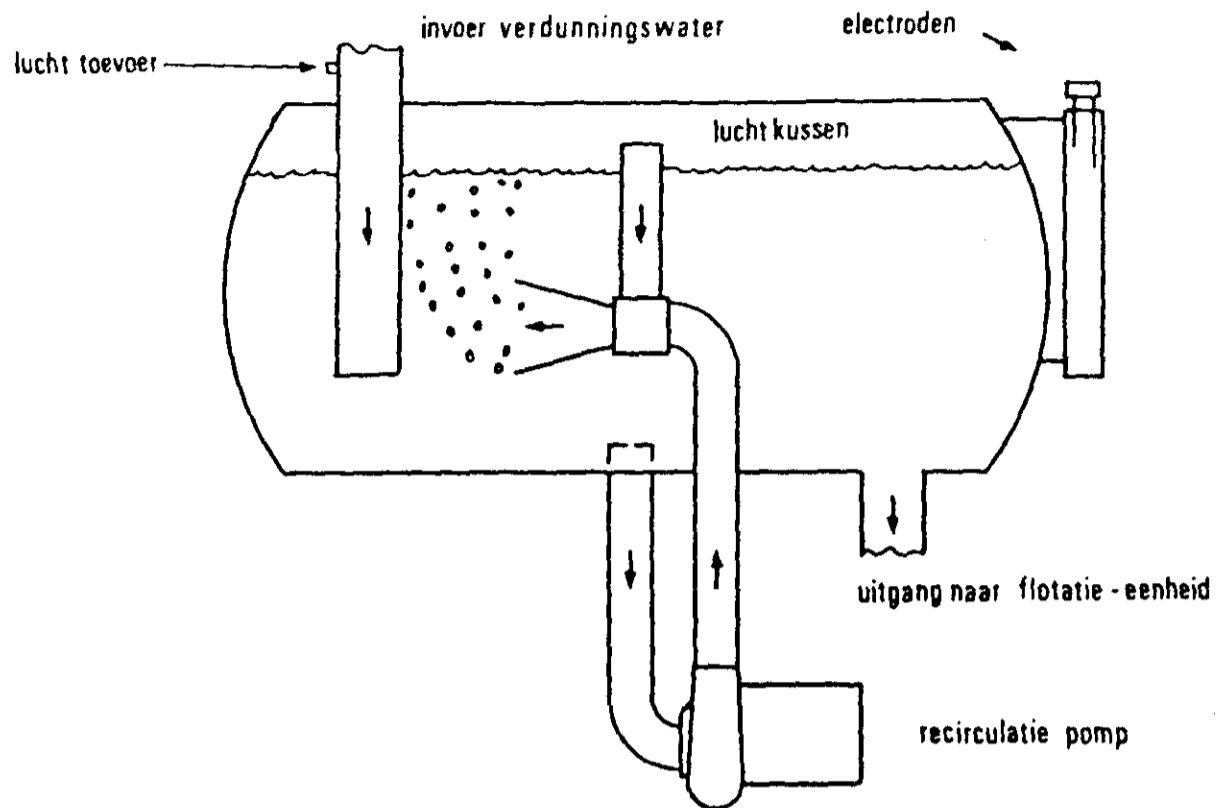


Fig. 51. Flotatie-drukketel volgens Jones <sup>154</sup>  
(Komline en Sanderson installatie)

Zowel het systeem Köhler als het systeem Jones geeft goede resultaten.  
*menging van verdunningswater en slib*

In het processchema volgens figuur 49 (blz. 95) wordt het verdunningswater, gescheiden van de slibstroom, op enkele punten in de flotatietank gevoerd.

Figuur 52 illustreert een andere werkwijze; hier worden slib en verdunningswater voor het ingaan van de flotatietank gemengd.

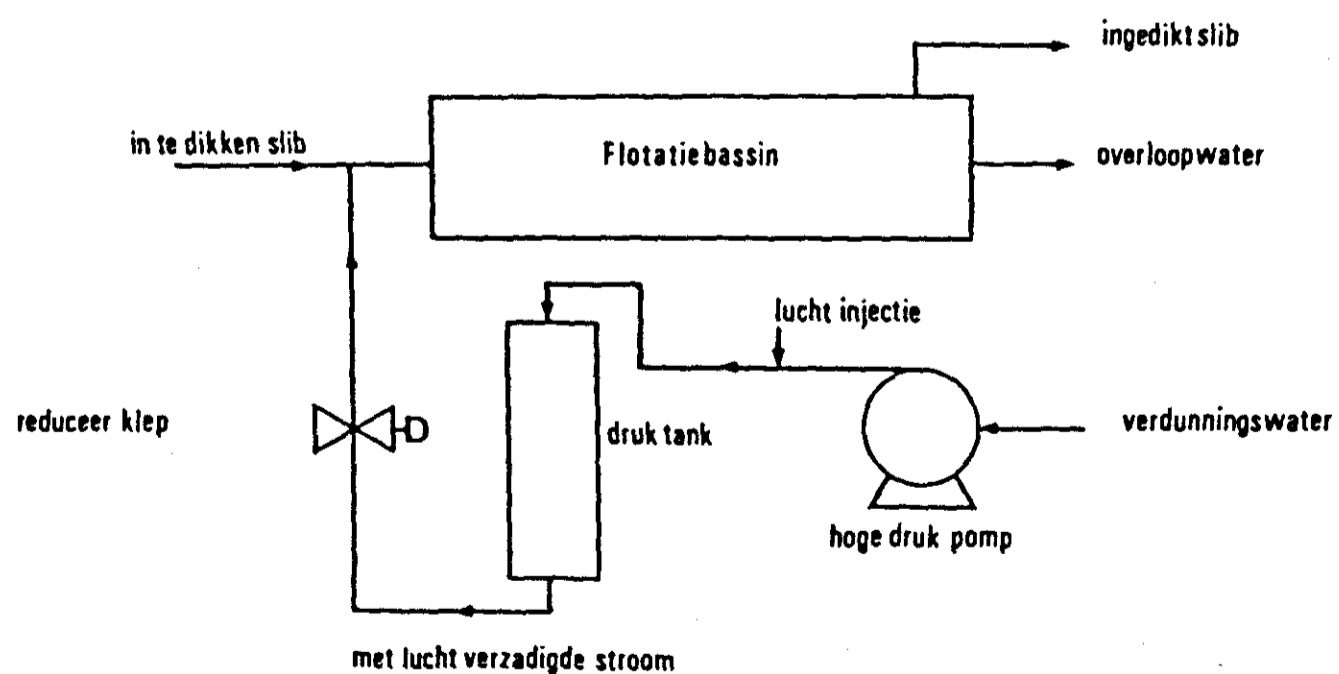


Fig. 52. Dissolved air flotation: processchema volgens Katz <sup>158</sup>

Een derde werkwijze geeft figuur 53; slib en verdunningswater worden in een aparte kamer in de flotatietank gemengd.

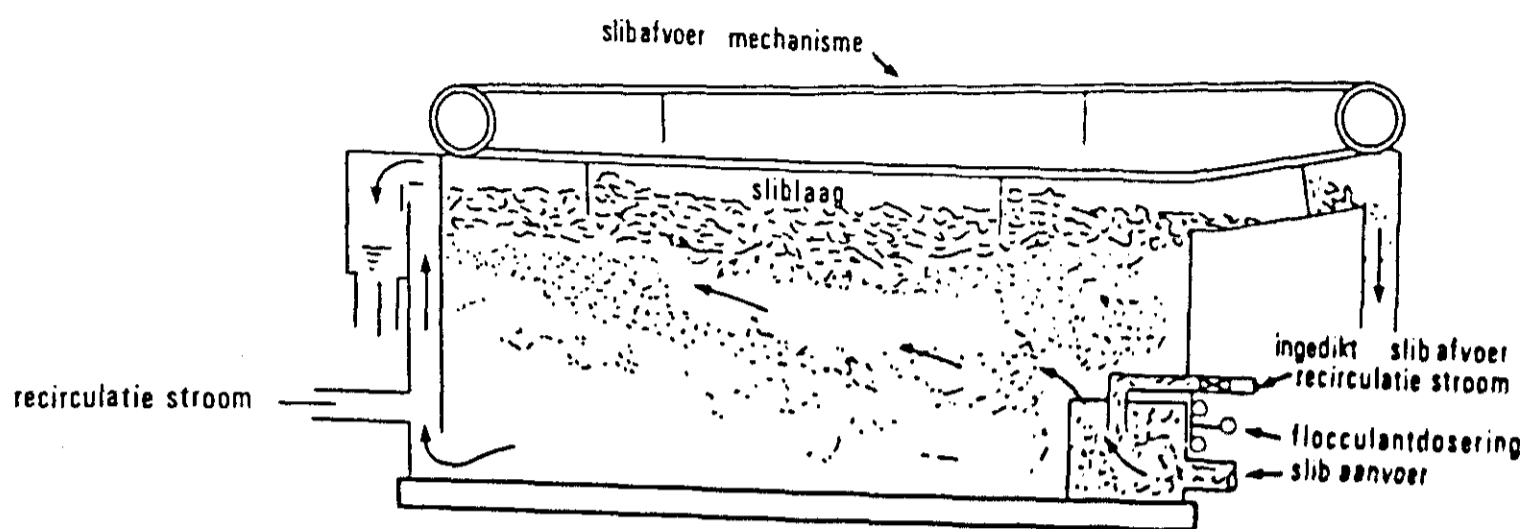


Fig. 53. Dissolved air flotation: flowdiagram volgens Ainsworth 141  
(Komline en Sanderson flotation unit)

In alle gevallen is het van het grootste belang, dat de inlaatconstructie zodanig is, dat weinig turbulentie optreedt, opdat een goede adhaesie tussen luchtbellens en slibdeeltjes kan optreden.

In een ideaal ontwerp is de inlaatconstructie voor het in te dikke slib en voor het verdunningswater zodanig ontworpen, dat weinig turbulentie optreedt en een goed contact tussen luchtbellens en slibdeeltjes ontstaat, hetgeen resulteert in een maximale adhaesie. Turbulentie is ongewenst omdat hierdoor een scheiding tussen luchtbellens en slibdeeltjes wordt veroorzaakt waardoor een gedeelte van het slib bezinkt.

Belangrijk is ook de wijze waarop de drukval in het verdunningswater plaatsvindt.

Water, dat bij hoge druk met lucht is verzadigd, wordt bij één atmosfeer oververzadigd, maar dit houdt niet automatisch in dat de oververzadigde lucht als kleine bellens ontwijkt. Belletjes worden pas gevormd op het moment dat het met lucht oververzadigde water door een klep stroomt waarbij een plotselinge drukval optreedt. De mate waarin de vrijkomende lucht in bellens wordt omgezet hangt af van de intensiteit van de turbulentie op het punt van de drukval.

De pompkosten van het verdunningswater vertegenwoordigen een aanzienlijk deel van de bedrijfskosten. Daarom is het van groot belang dat de reduceerklappen zodanig geconstrueerd zijn, dat zoveel mogelijk lucht in bellens wordt omgezet en dat na de drukval zo weinig mogelijk turbulentie optreedt 172.

#### *vorm van de flotatietank*

Het flotatieproces kan zowel in ronde als in rechthoekige tanks plaatsvinden. Volgens Köhler 159, 161 verdienen rechthoekige tanks de voorkeur, omdat het proces daarin beter kan worden gestuurd. Bovendien zijn de bouwkosten van rechthoekige tanks lager dan van ronde 199.

In figuur 54 zijn de afmetingen van een aantal rechthoekige Amerikaanse flotatie-units gegeven.

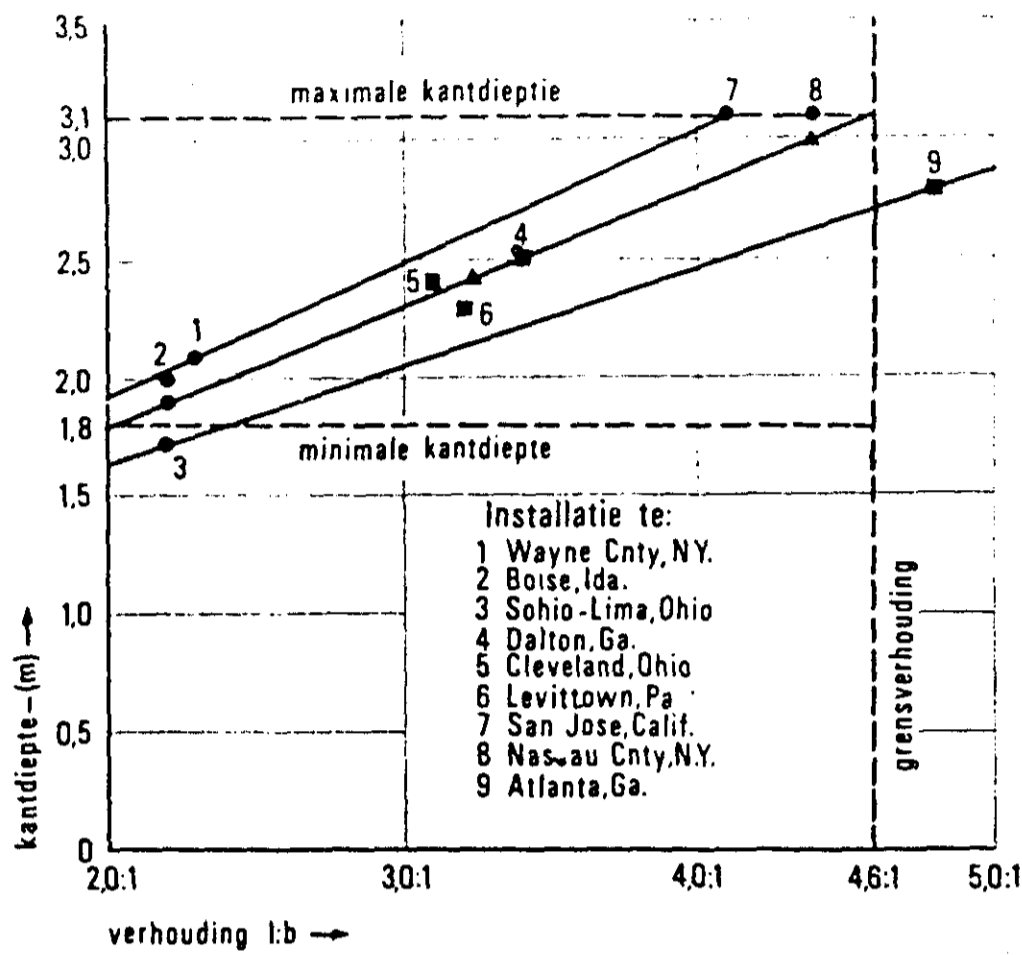


Fig. 54 . Afmetingen van rechthoekige flotatietanks 161

Door Köhler wordt uit figuur 54 afgeleid, dat de lengte/breedte verhouding kan variëren tussen 2 en 4,6 waarbij de diepte toeneemt van 1,87 naar 3,1 meter.

Dit verband is uitgezet in figuur 55.

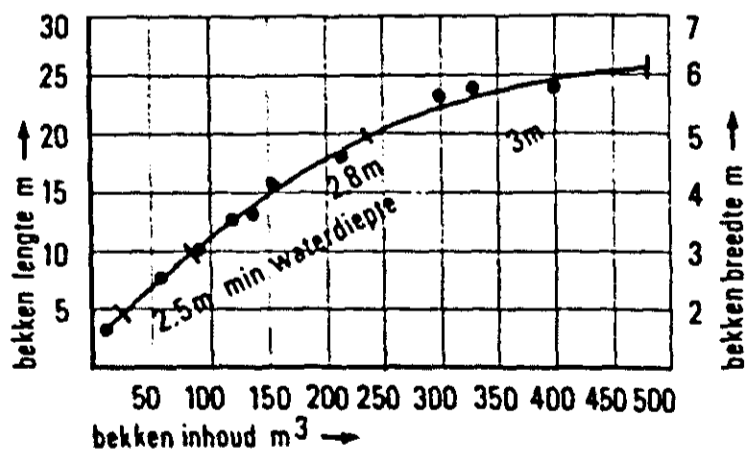


Fig. 55. Lengte, breedte en diepte van rechthoekige flotatietanks 161

In figuur 56 (blz.99) zijn door Köhler de afmetingen voor ronde tanks weergegeven; boven diameters van 18 m moet op grond van de stromingstoestand op sedimentatie worden gerekend 159.

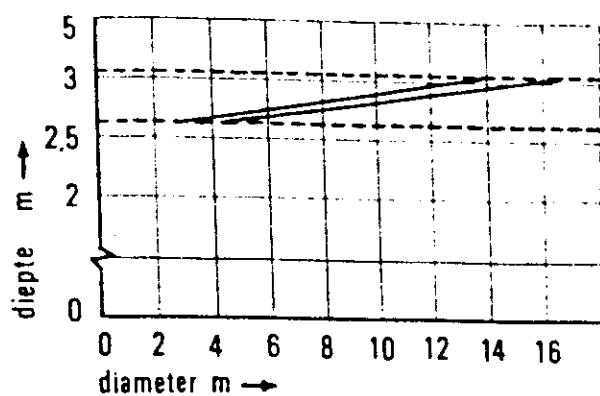


Fig. 56. Afmetingen van ronde flotatie-tanks 161

#### *aanvoer van slib en verdunningswater*

De flotatie-installatie moet zo gelijkmatig mogelijk met slib en verdunningswater worden gevoed; onregelmatige voeding gaat meestal ten koste van de resultaten <sup>154</sup>.

Dit houdt in dat zowel het slibdebiet als de samenstelling van de voeding zo constant mogelijk moeten zijn, vooral wanneer met polymeren wordt gewerkt, omdat de dosering hiervan aan de voeding moet worden aangepast.

Een constant voedingsdebiet kan worden bereikt met een positieve verdringerpomp (bijvoorbeeld een monopomp) of een centrifugaalpomp in combinatie met een venturi, overstort of magnetische flowmeter. Ook de dosering van verdunningswater en lucht (zie figuur 51, blz. 96) moet worden gecontroleerd.

Als verdunningswater, waarin de lucht voor het floteren van het slib moet worden opgelost, kan het effluent van de voorbezinktank, de zuiveringsinstallatie of de flotatie-indikker worden gebruikt.

Volgens Katz <sup>158</sup> is effluent van de zuiveringsinstallatie het beste ter voorkoming van verstopping van het druksysteem. Dit gevaar bestaat bij gebruik van effluent van de voorbezinktank of van de flotatie-indikker. Alleen wanneer polymeren worden toegepast kan het zinvol zijn om effluent van de flotatie-indikker te recirculeren, om de chemicaliënkosten te verminderen.

#### *chemicaliën-dosering*

Flocculanten ter verbetering van het indikproces kunnen op verschillende plaatsen worden toegevoegd.

De flocculanten kunnen aan het slib worden gedoseerd in een aparte flocculatieruimte (figuur 49, blz. 95) of in de flotatietank op het moment dat de luchtbelletjes worden gevormd (figuur 53, blz. 97).

Volgens Jones <sup>154</sup> blijkt uit de praktijk, dat de beste resultaten worden verkregen indien de flocculanten aan het verdunningswater worden toegevoegd op het moment dat de luchtbelletjes zich vormen.

#### *slibruiming*

Het gefloteerde slib wordt over het algemeen met behulp van een ruimer afgescheiden, tegen de stromingsrichting van de vloeistof in. Het is daarbij gewenst dat de ruimersnelheid gevarieerd kan worden.

De steekdiepte van de ruimer in de slibdeken kan over het algemeen gevarieerd worden door het verstellen van de hoogte van de overlooprand van de flotatietank.

In de praktijk wordt ook het bodemslib afgevoerd omdat altijd wel wat zand of zwaar slib bezinkt <sup>166</sup>.

#### 4.3.3 Dimensioneringsgrondslagen

##### *drogestofbelasting*

De drogestofbelasting van een flotatie-indikker wordt uitgedrukt in kg slib droge stof per m<sup>2</sup> horizontale tankdoorsnede. De toelaatbare drogestofbelasting hangt af van de slibsoort, de slibkwaliteit en het wel of niet gebruiken van polymeren.

De ontwerpbelastingen die Komline <sup>174</sup> adviseert, zijn in onderstaande tabel samengevat.

actief-slib	ontwerpbelasting (kg/m <sup>2</sup> .h)	
	met	zonder
	polymeren	
zuiveringsinrichting:		
- zonder voorbezinking	15	7,5
- met voorbezinking	9,8	5

Tabel 11. Dissolved air flotation: ontwerpwaarden voor de drogestofbelasting <sup>174</sup>

De waarden in tabel 11 zijn garantiebelastingen; in de praktijk worden met hogere belastingen veelal ook goede resultaten bereikt. Dit blijkt uit de ervaringen in Amerika (figuur 57, blz. 101) en in andere landen (zie tabellen 13 en 14, blz. 113 en 115).

##### *hydraulische belasting*

De hydraulische belasting wordt uitgedrukt in m<sup>3</sup> in te dikken slib per m<sup>2</sup> horizontale tankdoorsnede.

Köhler <sup>161</sup> adviseert een maximale hydraulische belasting van 2,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h (zie ook figuur 57, blz. 101). Andere belastingen die worden genoemd zijn 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h <sup>154</sup> en 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h <sup>166</sup>. Bij een ontwerp-drogestofbelasting van 10 kg/m<sup>2</sup>.h en een maximale hydraulische belasting van 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h betekent dit dat het in te dikken slib minimaal 5 g droge stof/l moet bevatten.

##### *verhouding lucht/vaste stof*

De gebruikte ontwerpnormen variëren van 0,01 - 0,04 kg lucht per kg droge stof <sup>159, 160, 161, 172</sup>. In de praktijk voldoet 0,02 kg lucht per kg slib droge stof meestal goed <sup>161, 172</sup>.

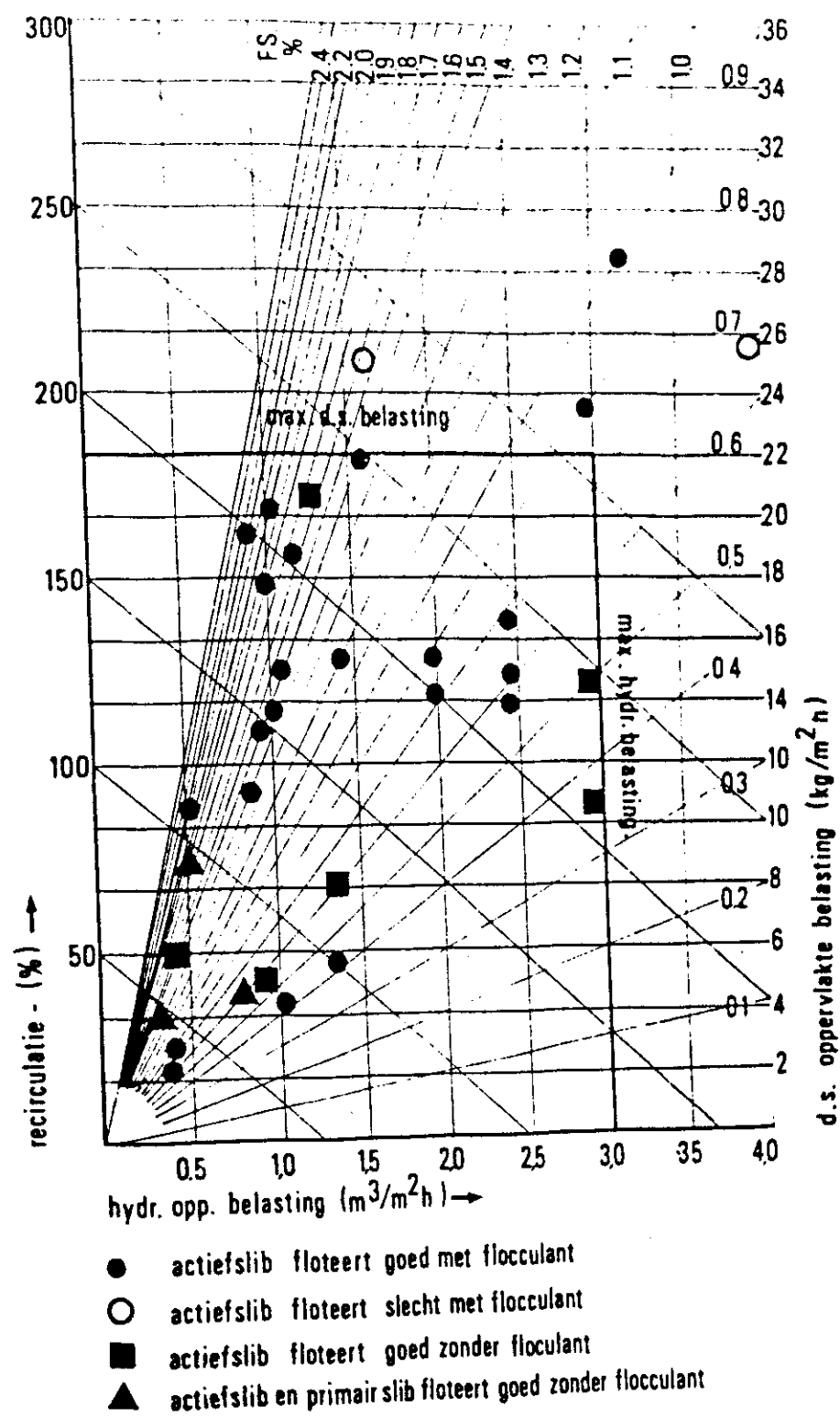


Fig. 57. Resultaten van dissolved air flotation in Amerika 161

*werkdruk*

Voor de druk waarbij het verdunningswater in de drukketel moet worden verzadigd met lucht, worden waarden gegeven die variëren van 4,5 tot 6 ata 148, 149, 153, 161.

*hoeveelheid verdunningswater*

De benodigde hoeveelheid verdunningswater wordt berekend uit het drogestofgehalte van het in te dikken slib, de werkdruk en temperatuur van het water, het rendement van de drukketel en de gewenste verhouding tussen lucht en slib (als droge stof).

Uit figuur 57 blijkt dat de toegepaste hoeveelheid verdunningswater (recycle) varieert van 30 - 250% van de slibstroom. Komline 174 adviseert als ontwerpnorm 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h verdunningswater bij 4,1 tot 4,8 ato; bij 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h in te dikken slib is dit 250% recycle.



#### *verblijftijd in de drukketel*

De toegepaste verblijftijden van het verdunningswater in de drukketel variëren van 1 tot 2,5 minuut 159, 160, 161.

#### *verblijftijd van de slibdeken*

Door verschillende auteurs 157, 161, 166 wordt een verblijftijd van de slibdeken in de flotatietank voorgesteld van 2,5 à 3 uur (zie ook figuur 66, blz. 110).

De dikte van de slibdeken varieert van 25 tot 60 cm 153, 155, 166.

Gezien de concentratiegradiënt in de slibdeken (figuur 67, blz. 110) dient de slibschrapper zo te worden ingesteld, dat slechts de bovenste 1,5 à 2 cm van de slibdeken wordt verwijderd.

De schrapper moet daarbij langzaam lopen, opdat geen verstoring van de slibdeken optreedt.

Een goede schrapersnelheid is 25 à 35 cm/min., maar de snelheid mag zeker niet hoger zijn dan 40 cm/min. 159, 161.

Het soortelijk gewicht van het ingedikte slib bedraagt circa 0,7 kg/dm<sup>3</sup>; na enkele uren is de lucht uit het slib ontweken en neemt het soortelijk gewicht toe tot de normale waarde van 1 kg/dm<sup>3</sup>.

### 4.3.4 Procesvariabelen

#### *algemeen*

De belangrijkste procesvariabelen bij dissolved air flotation zijn:

- slibsoort en slibkwaliteit;
- de druk waarbij het verdunningswater met lucht wordt verzadigd;
- de verhouding: lucht/vaste stof (in grammen lucht per gram slib);
- de concentratie van het in te dikken slib;
- de verblijftijd van het water/slibmengsel (vloeistofverblijftijd) in de flotatietank;
- de verblijftijd van de slibdeken in de flotatietank;
- dosering van chemicaliën (flocculanten).

Op deze variabelen wordt in de volgende subparagrafen (blz. 102 - 111) achtereenvolgens ingegaan.

#### *slibsoort en slibkwaliteit*

Het indikresultaat van het dissolved air flotation-proces is sterk afhankelijk van de slibsoort en de kwaliteit van het slib.

Verschillende auteurs 151, 153, 154, 162, 166 stellen dat dit flotatie-proces bij uitstek geschikt is voor het indikken van actief-slib, aerob gemineraliseerd slib en actief-slib van zuiveringsinrichtingen zonder voorbezinking.

Actief-slib bestaat uit gelijkvormige vlokken, waarin de opstijgende luchtbellen gemakkelijk worden gevangen 162.

Met mengsels van primair en actief-slib worden hogere drogestofgehalten in het ingedikte slib bereikt dan met actief-slib alleen. Dit blijkt onder meer uit de indikresultaten van de flotatie-indikker van Nassau-County; bij een toenemend deel primair slib in het mengsel werden,

ondanks de hogere drogestofbelastingen, toch hogere drogestofgehalten in het ingedikte slib bereikt <sup>157</sup> (tabel 12).

primair/actief-slib (verhouding)	belasting (kg d.s./m <sup>2</sup> .dag)	ingedikt slib d.s.(%)
0	51	4,1
1,2	81	6,8
2	95	6,4
3	131	7,1

Tabel 12. Indikresultaten van de dissolved air flotation-indikker te Nassau County (USA) <sup>157</sup>

Volgens Jones <sup>151</sup> kunnen primair slib en mengsels van primair slib en slib van oxydatiebedden vaak beter door gravitatie worden ingediktd.

Het indikken van primair slib door flotatie, zonder toevoeging van polymeren, verloopt niet goed door de inhomogeniteit van de slibdeeltjes <sup>153, 163</sup>.

Ook het indikken van anaeroob gestabiliseerd slib door flotatie stuit op problemen, omdat dit slib door zijn compactheid niet voldoende vrij oppervlak bezit voor de adsorptie van luchtbellen <sup>151</sup>. Hierdoor bezinkt een deel van het slib en verlaat een ander deel de installatie met het effluent <sup>162</sup>.

Het dissolved air flotation proces is dus bij uitstek geschikt voor het indikken van actief-slib en aerob gemineraliseerd slib.

De kwaliteit van het actief-slib heeft een grote invloed op de indikresultaten.

Ettelt <sup>150</sup> gebruikte de slibindex als een maat voor de oppervlakte-eigenschappen van het slib. De invloed van de slibindex van actief-slib op de stijgsnelheid van de slibdeeltjes bij flotatie in een laboratoriuminstallatie is weergegeven in figuur 58; bij toenemende index neemt de stijgsnelheid af.

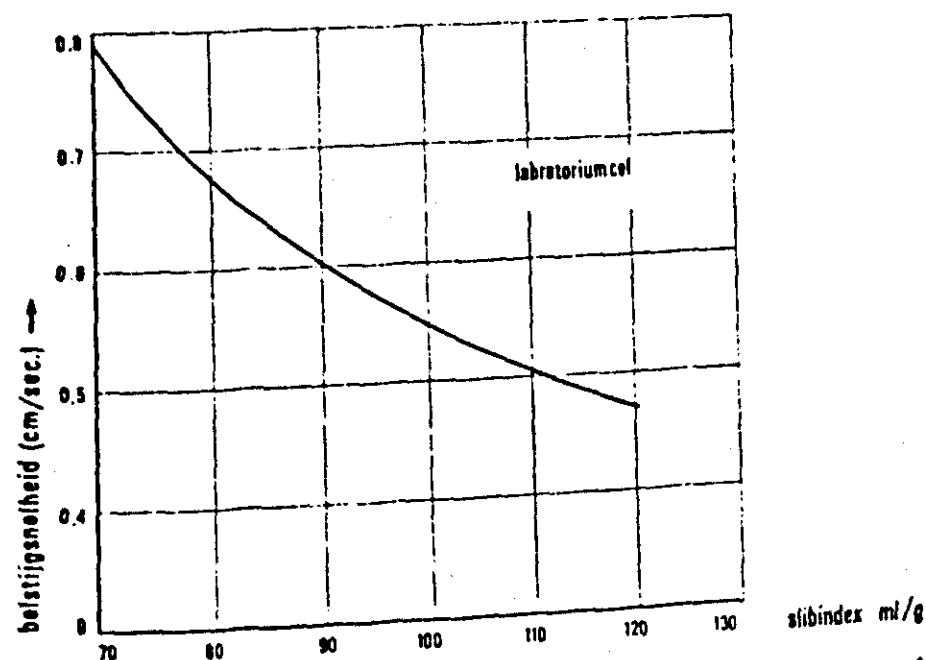


Fig. 58. Slibindex en stijgsnelheid van slibdeeltjes <sup>150</sup>

Maddock 172 heeft voor actief-slib van dertien zuiveringsinrichtingen in Engeland in flotatieproeven op laboratoriumschaal de fractie van het slib bepaald, die als slibdeken kan worden afgevangen en het drogestofgehalte in de slibdeken.

Het slib van twaalf van de dertien zuiveringsinrichtingen bleek voor 95 à 99% flotabel; van één inrichting was het slib voor 70% flotabel. Maddock vergeleek het drogestofgehalte in de slibdeken (dus het ingedikte slib) met de Stirred Sludge Density (SSD)\* van het slib (figuur 59).

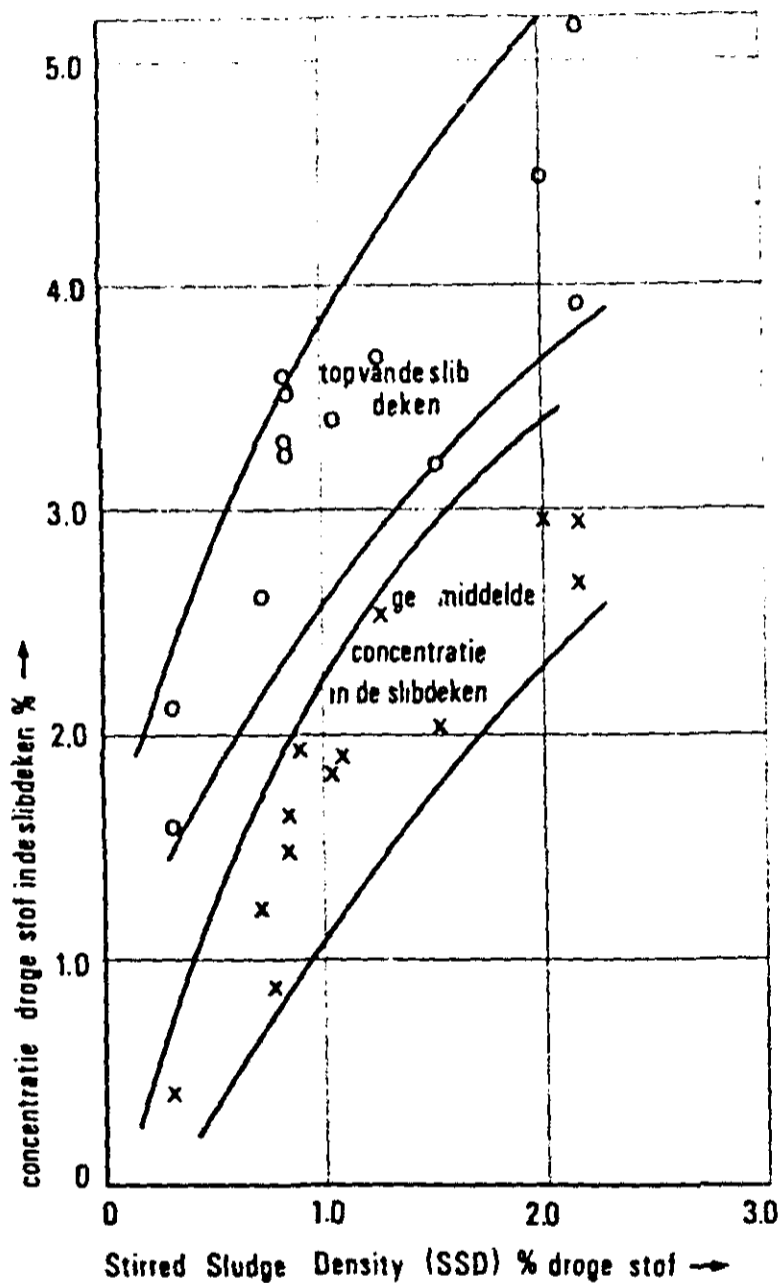


Fig. 59. Drogestofgehalte van actief-slib in de slibdeken en de Stirred Sludge Density (SSD) 172

Maddock concludeert dat actief-slib, dat door gravitatie goed indikt, ook met flotatie goed ingedikd kan worden en dat slib met slechte bezinkeigenschappen ook minder goed via flotatie kan worden ingedikd.

*druk*

Volgens de wet van Henry is de hoeveelheid lucht die in water kan oplossen evenredig met de luchtdruk, volgens:

\* De SSD is het drogestofgehalte van het bezonken slib na een half uur bezinken in een standaard geroerd cilindrisch glas (ontwerp van het Water Research Centre in Engeland).

$$C_L = k \cdot p_L$$

waarin:

$C_L$  = de concentratie van lucht in water

$p_L$  = de luchtdruk

$k$  = een factor, waarin de temperatuursinvloed is verwerkt.

Figuur 60 geeft de verzadigingsconcentratie van lucht in water als functie van de luchtdruk en de watertemperatuur.

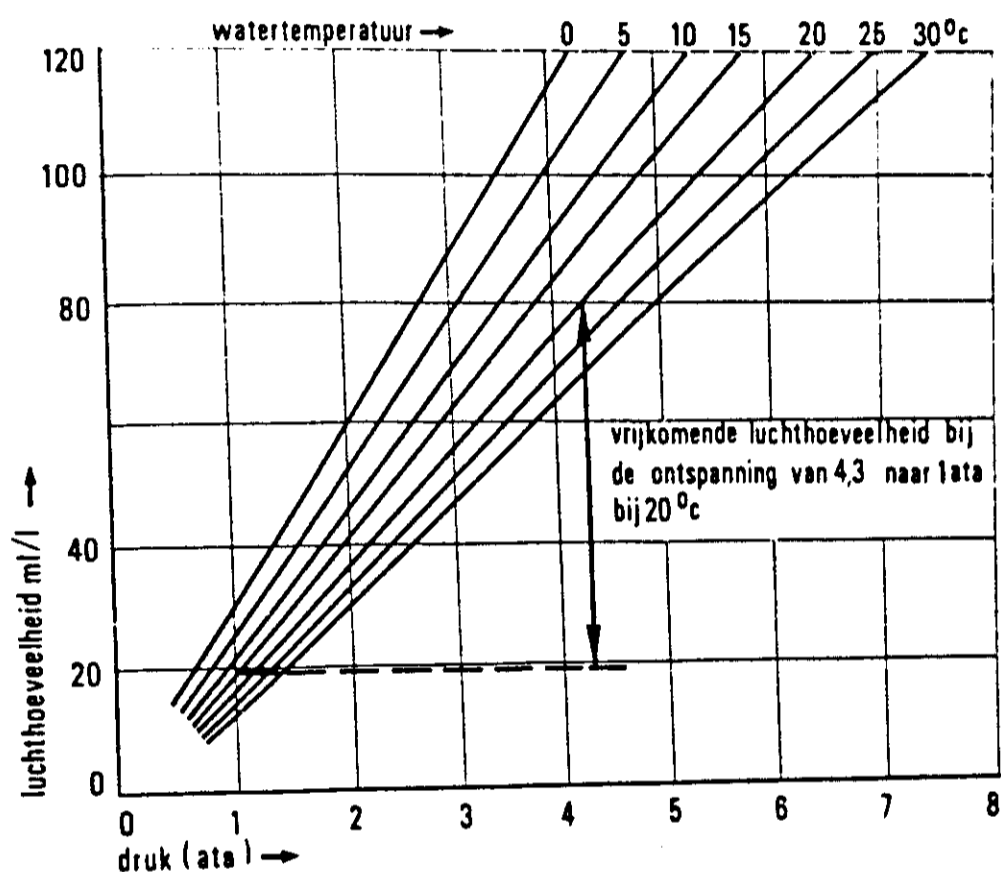


Fig. 60. Verzadigingsdiagram voor lucht in water 162

Uit dit verzadigingsdiagram kan worden afgelezen hoeveel lucht maximaal kan vrijkomen bij het expanderen van verdunningswater dat bij verhoogde druk met lucht is verzadigd.

In de praktijk treedt in de drukketel echter geen 100% verzadiging op. Evenmin ontwijkt bij de expansie van het verdunningswater alle onverzadigde lucht in de vorm van belletjes; het verdunningswater blijft na expansie nog enigszins oververzadigd. Volgens Köhler 162 moet gerekend worden met 50 à 90% verzadiging van het verdunningswater in de drukketel. Jones 154 geeft 95% verzadiging aan.

De grootte van de luchtbelletjes die vrijkomen bij expansie van het verdunningswater wordt medebepaald door de druk, waarbij het verdunningswater wordt verzadigd 159, 166.

Naarmate de verzadigingsdruk in de drukketel hoger is, wordt een meer uniforme verdeling van de grootte van de luchtbelletjes verkregen. Figuur 61 (blz. 106) geeft de verdeling van de beldiameter bij een tweetal verzadigingsdrukken 176.

Volgens Katz 157 wordt boven 5,6 ata geen extra hoeveelheid bellen gevormd, omdat de kleine bellen samengaan tot grotere, zodat het niet zinvol is om bij zeer hoge drukken te floteren.

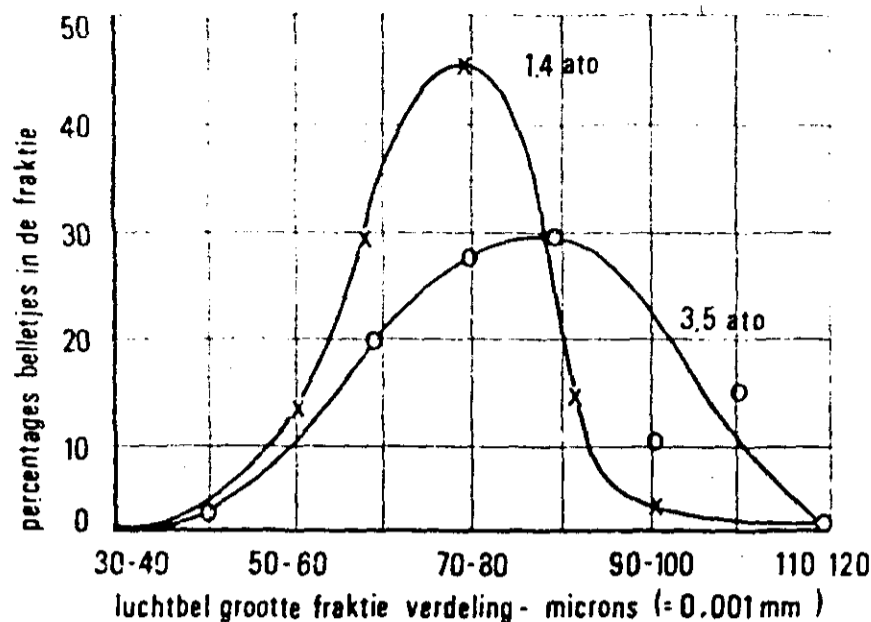


Fig. 61. Luchtbeldiameter bij verschillende verzadigingsdruk 176

Volgens Köhler <sup>161</sup> neemt bij een verzadigingsdruk beneden 4 ata de kwaliteit van het flotatie-effluent en het drogestofgehalte van het ingedikte slib af.

Bij hoge verzadigingsdrukken, daarentegen, kan bij expansie zoveel lucht ontwijken dat de vorming van slibvlok-luchtbelagglomeraten wordt verstoord.

Volgens deze auteur worden de beste resultaten bereikt bij een verzadigingsdruk van 4,6 à 5 ata mits ook polymeren worden toegevoegd.

*verhouding lucht/vaste stof*

In principe is het mogelijk <sup>153, 159</sup> om de hoeveelheid lucht te berekenen die nodig is om alle slibdeeltjes te laten opdrijven; volgens Ettelt <sup>150</sup> wordt echter slechts 5 à 15% van de luchtbelletjes benut.

In de praktijk is de benodigde hoeveelheid lucht per kilogram vaste stof onder meer afhankelijk van de aard van het slib en van het ontwerp van de flotatie-installatie <sup>153</sup>.

Uit laboratoriumproeven blijkt, dat de stijgsnelheid van de slibdeeltjes toeneemt naarmate de verhouding lucht/vaste stof groter wordt (figuur 62).

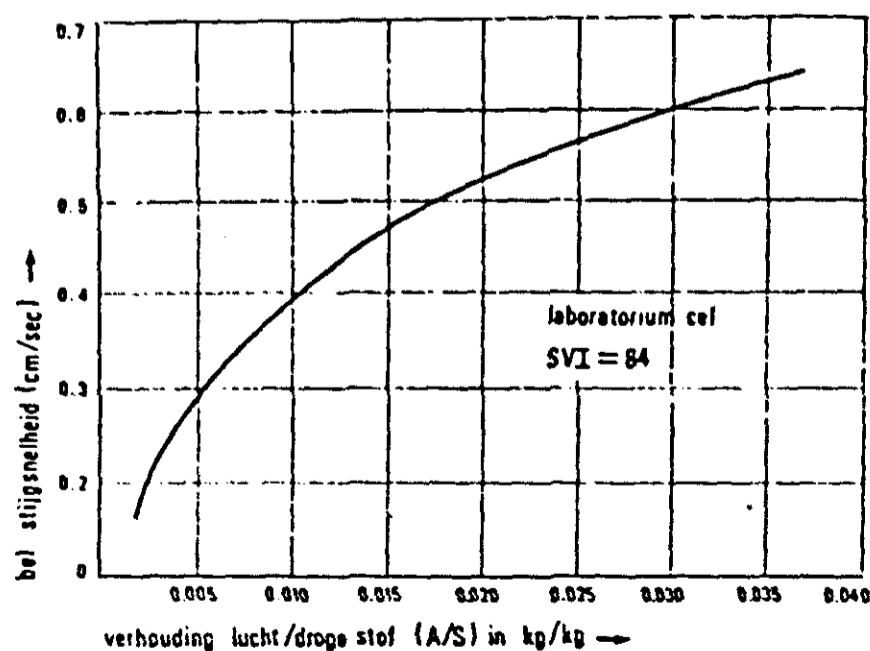


Fig. 62. Verhouding lucht/droge stof en stijgsnelheid van slibdeeltjes 150

Hoewel de stijdsnelheden op praktijkschaal aanzienlijk kunnen afwijken van de waarden in laboratoriumproeven, is wel eenzelfde invloed van de lucht/droge stofverhouding op de stijgsnelheid van de slibdeeltjes aanwezig.

Naarmate de verhouding lucht/droge stof groter wordt, neemt het soortelijk gewicht van de slibdeken af. Hierdoor neemt het drijvend vermogen van de slibdeken toe en stijgt het drogestofgehalte in het bovenste deel van de deken door een betere drainage 172.

In figuur 63 is de invloed van de verhouding lucht/droge stof op het drogestofgehalte van het ingedikte slib in de drijflaag weergegeven.

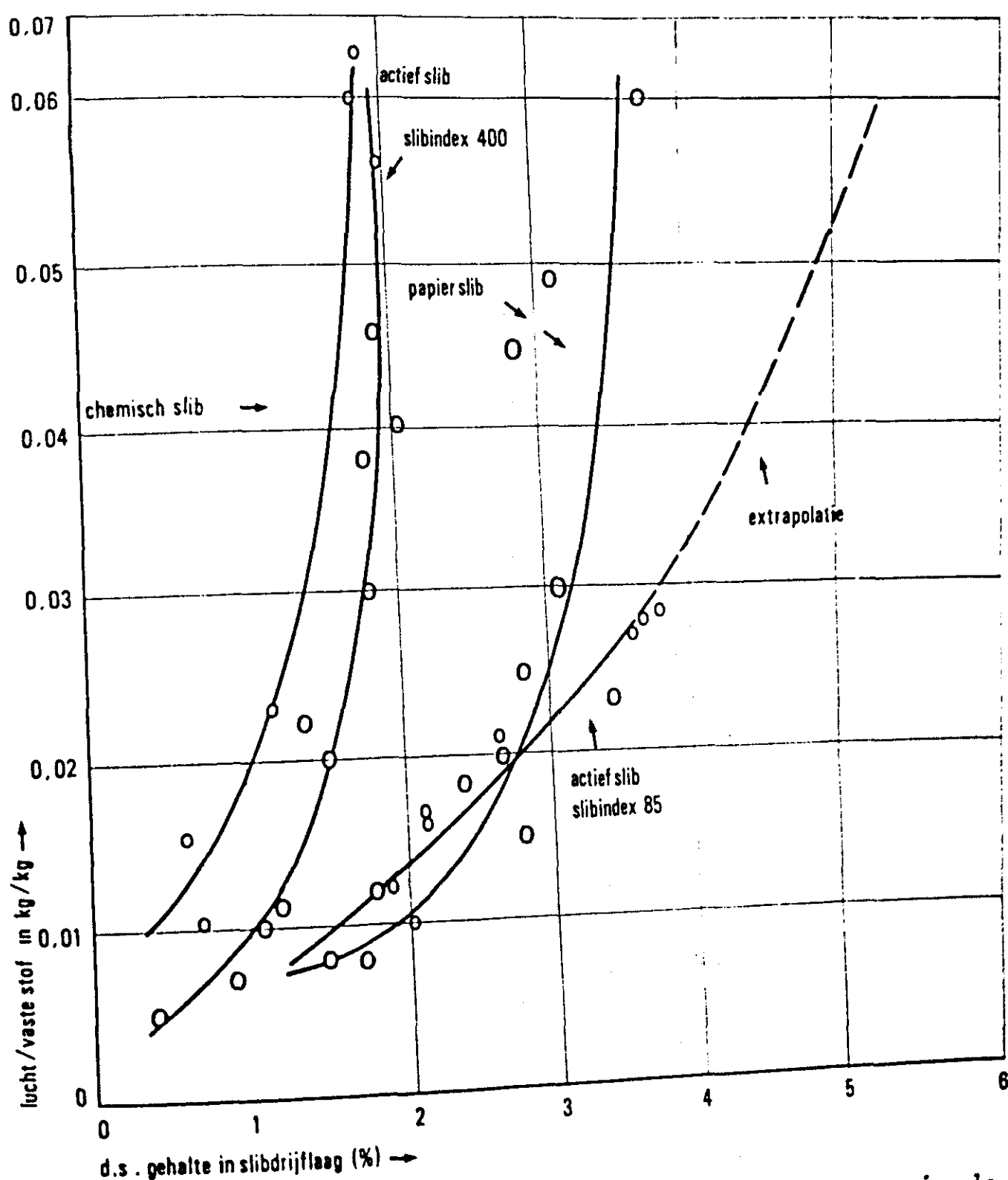


Fig. 63. Verhouding lucht/droge stof en drogestofgehalte in de slibdrijflaag 166

Een dergelijke verloop van het drogestofgehalte is door Maddock 172 ook gevonden in laboratoriumexperimenten.

Hilmer 153, daarentegen, vond in een proefinstallatie (oppervlak 2 m<sup>2</sup>) met actief-slib van de zuiveringsinstallatie Malmö geen significant verschil in rendement en drogestofgehalte van het ingedikte slib bij lucht/droge stof verhoudingen van 0,007, 0,016 en 0,019.

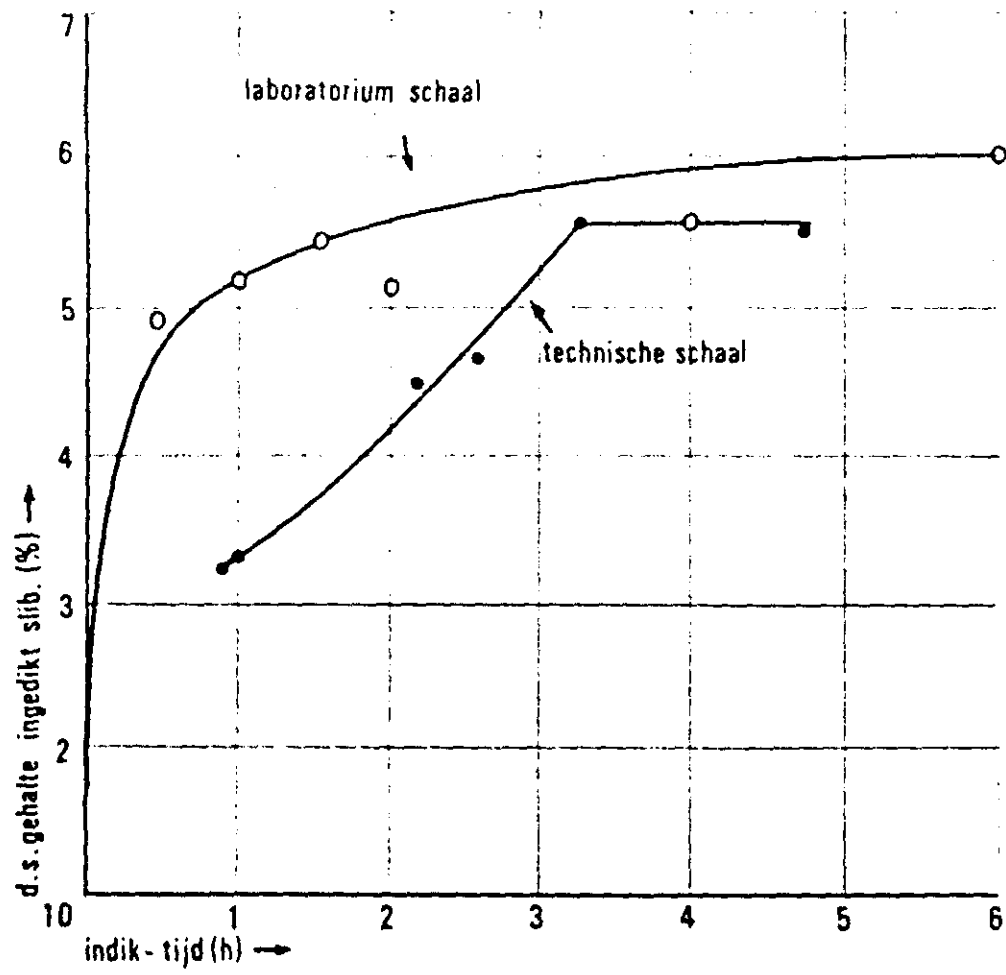


Fig. 66. Verblijftijd van de slibdeken en drogestofconcentratie in de slibdeken. (uit Public Works dec. 1958)

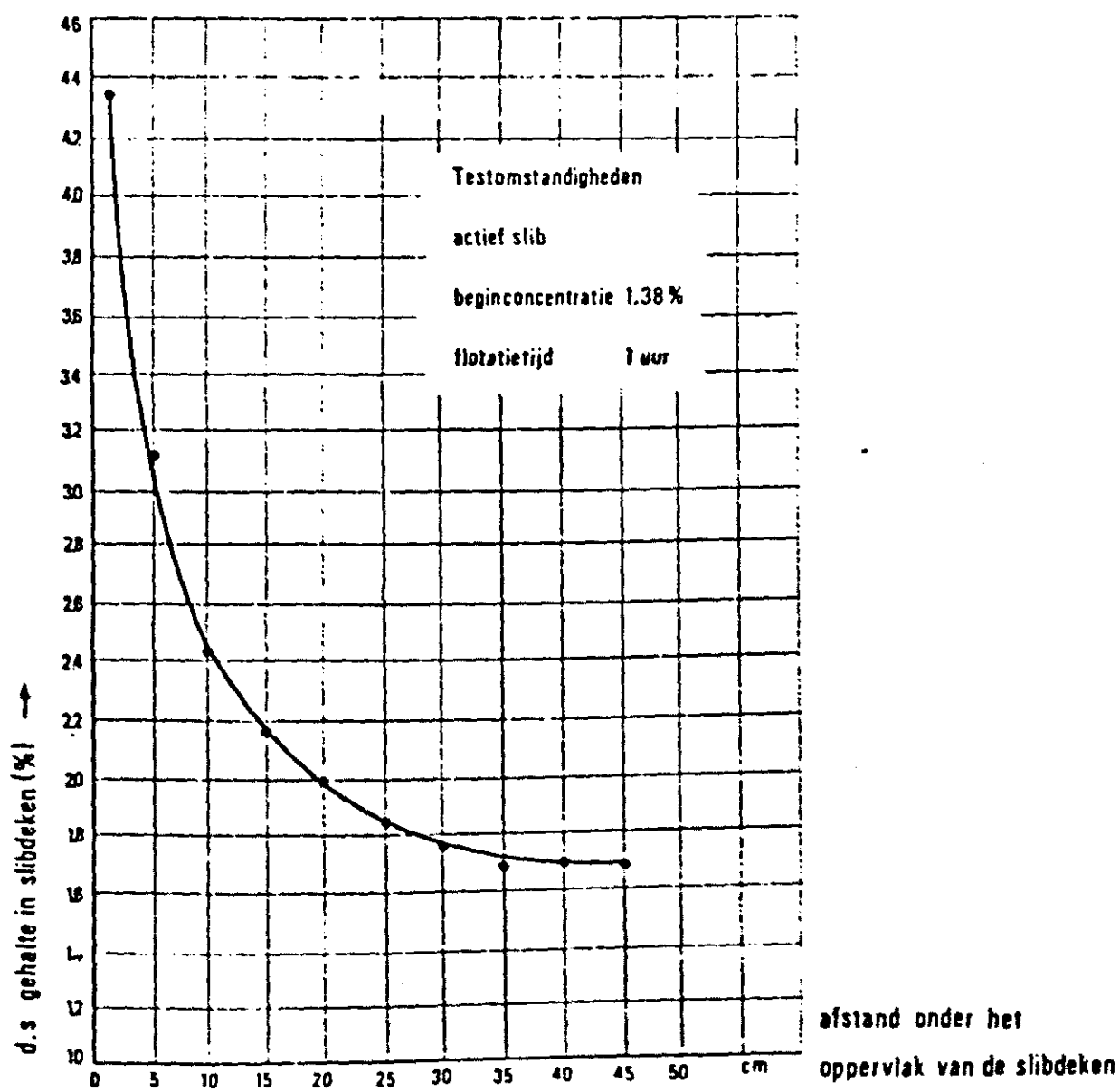


Fig. 67. Concentratiegradiënt in de slibdeken 143

### chemicaliën-dosering

Bij slibindikking kunnen chemicaliën worden gebruikt om het colloïdale karakter van het slib te verbreken en de stijgsnelheid van de slibdeeltjes te vergroten. Veelal worden hiervoor kationische polymeren toegepast 143.

Het doseren van polymeren kan leiden tot een helderder effluent (= een hoger drogestofrendement), een hoger drogestofgehalte in de slibdeken en een hogere toelaatbare drogestofbelasting 143, 158.

Bovendien wordt over het algemeen een betere processtabiliteit verkregen 158.

Op de waterzuiveringsinrichting te Columbus (USA) zijn bij verschillende belastingen van de flotatie-indikker (uitgedrukt in kg droge stof per m<sup>2</sup> tankoppervlak per dag) verschillende polymeerdoseringen toegepast; figuur 68 illustreert het resultaat 158.

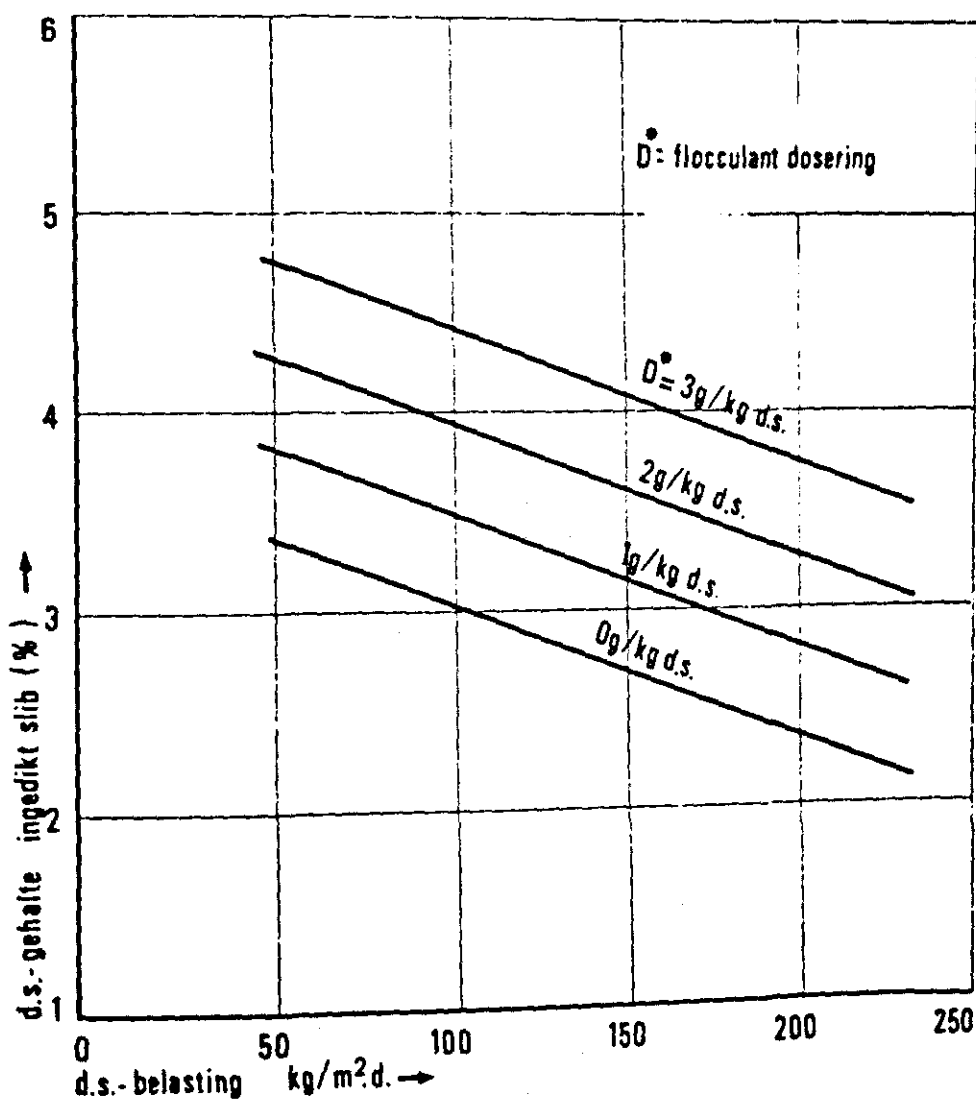


Fig. 68. Belasting, polymeerdosering en indikresultaat 138

Het effect van het toevoegen van polymeren kan per installatie en per slibsoort nogal verschillen.

Of het economisch zinvol is om polymeren te gebruiken hangt af van de benodigde hoeveelheid, de vermindering van kapitaalkosten (er kan met een kleinere installatie worden volstaan), de effectiviteit van de polymeren en het gewenste indikresultaat 158.



#### 4.3.5 Bedrijfsvoering

##### *algemeen*

Met de bedrijfsvoering van dissolved air flotation-indikkers is in Nederland weinig ervaring opgedaan; de ervaring in andere landen, vooral in Amerika, is vermeld onder de volgende twee subparagrafen.

Vooraf een zo gelijkmatig mogelijke voeding van de indikker is belangrijk; dit geldt zowel voor het slibdebiet als voor de toevoer van verdunningswater en lucht.

In streken waar het kan vriezen en het flotatieproces niet continu wordt bedreven, moet de flotatie-installatie in een overdekte ruimte worden opgesteld <sup>154</sup>.

##### *resultaten zonder chemicaliën*

Bedrijfsresultaten van dissolved air flotation-indikkers in de Verenigde Staten, Engeland en Zweden zijn samengevat in tabel 13 (blz. 113). Hierbij is onderscheid gemaakt tussen praktijk- en proefinstallaties (pilot plants). De meeste gegevens hebben betrekking op het indikken van actief-slib.

Tabel 13 geeft aan dat het drogestofgehalte van het ingedikte slib varieert tussen 2,7 en 6,5%, afhankelijk van de slibeigenschappen en de procesomstandigheden.

Komline <sup>174</sup> stelt dat een drogestofgehalte van 3% wordt gegarandeerd, maar dat in de praktijk veelal 4 à 5% wordt bereikt. Dit stemt overeen met de resultaten (4,5 à 5%) die door Köhler <sup>160</sup> worden opgegeven.

Het rendement van de flotatie-indikkers, hier gedefinieerd als:

$$\frac{\text{mg SS/l influent} - \text{mg SS/l effluent}}{\text{mg SS/l influent}} \times 100\%$$

bedraagt, zonder gebruik van chemicaliën, 83 à 99,5 % (tabel 13).

De drogestofbelasting van de flotatie-indikkers varieerde van 2,5 à 21 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h. De gemiddelde belasting van de installaties, genoemd in tabel 13 bedraagt circa 9 kg/m<sup>2</sup>.h, duidelijk meer dan de ontwerpnorm van 5 kg/m<sup>2</sup>.h van Komline <sup>174</sup> (zie tabel 11, blz. 100).

plaats van de zuiveringsinstallatie	datum artikel	bron	slibsoort	influent droge stof (mg/l)	effluent onopgeloste stof (mg/l)	rendement (%)	ingedikt slib (Z d.s.)	belasting		opmerkingen
								kg d.s./m <sup>2</sup> .h	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	
Bernardsville NJ	1974	166	actief slib (aeratietaank)	3.600	200	94,5	3,8	10,3	3	
Bernardsville NJ	1974	166	actief slib (retourslib)	17.000	196	98,8	4,3	21	1,25	
Morristown NJ	1974	166	actief slib (retourslib)	6.800	200	97,0	3,5	8,5	1,25	
Bay Park STP	1974*	166	actief slib (retourslib)	7.600	460	94,0	3,3	6,5	0,83	
Warren Mich.	1962**	145	actief slib	-	-	-	4,1	4,5**	-	
Sjölunda Malmö (S)	1973	153	actief slib (retourslib)	7.600	-	95	6,22	5,4	0,75	Slib dikte niet altijd in
idem	1973	153	idem	8.200	-	91	5,5	8,5	1,0	
idem	1973	153	idem	8.100	-	83	4,69	10,1	1,25	
idem	1973*	153	idem	6.300	-	85	5,14	9,7	1,50	
Hanover park, Chicago	1976*	174	actief slib	5.000	30 - 40	99	3,5	5	-	
Amarillo, Texas	1965*	174	actief slib	7.600	redelijk	92	2,7	2,5	-	
(pilot plant 0,1 m2)	1970*	174	actief slib uit de eerste trap van een tweetraps	7.400	36	99,5	4,25	7,5 - 15	-	30% van het afvalwater van de papierindustrie
East Fitchburg Mass.	1970*	174	actief slib	16.800	119	99,3	6,1	21	-	idem
(pilot plant 0,1 m2)	1970*	174	actief slib	16.800	119	99,3	6,1	21	-	idem
idem	1970*	174	actief slib	16.800	119	99,3	6,1	21	-	idem
Xenia Ohio	1974 - 1976*	174	actief slib uit de eerste trap van een tweetraps	6.000	helder	99,5	4,0	7,5	-	maximale resultaten
Eugene, Oregon	1976	174	actief slibinstallatie <sup>3+</sup> idem als boven maar Al dosering in de aeratietaank voor defosfatering	5.000	licht troebel	90	4,5 - 5	7,5	-	
Palton Ga	1964 - 1965*	158	Aerob gestabiliseerd actief slib zonder voorbezinktank primair + oxidatiebeddenslib	12.900	-	-	max. 6	7,5	-	
Nassau County NY	1959 - 1961*	158	actief + primair slibmengsel	8.100	-	-	7,8 - 4,8	-	-	
Nassau County NY	1964*	158	actief slib	7.700	-	60 - 98	gem. 6,1	-	-	
Wayne County Mich.	1959*	158	actief slib	4.500	-	gem. 85	7,2 - 3,3	-	-	
Levittown Pa	1964*	158	actief slib	8.000	-	100-98	gem. 4,9	-	-	
idem	1964	158	actief slib + primair slib	6.400	-	gem. 99	4,75 - 2,82	-	-	
Boise Ida	1962	158	actief slib	4.600	-	75 - 89	gem. 3,7	-	-	
						gem. 83,4	4,9 - 4,4	-	-	
						93	gem. 4,6	-	-	
						91	6,5	-	-	
						92,4 - 80,4	8,6	-	-	
						gem. 88,0	4,1 - 3,6	-	-	
							gem. 4,0	-	-	

Tabel 13. Dissolved air flotation: bedrijfsresultaten zonder dosering van chemicaliën

\* In deze gevallen is het jaar genoemd, waarin de metingen plaatsvonden.  
 \*\* Hier is bedoeld de productie aan ingedikt slib in kg/m<sup>2</sup>.h.

*resultaten met chemicaliën*

Tabel 14 (blz. 115) geeft bedrijfsresultaten van flotatie-indikkers in de Verenigde Staten en Engeland; ook hier is onderscheid gemaakt tussen praktijk- en proefinstallaties. Tenzij in de tabel anders is vermeld, worden met chemicaliën polymeren bedoeld.

De meeste gegevens van deze tabel betreffen het indikken van actief-slib, zowel van zuiveringsinrichtingen met als zonder voorbezinking.

Volgens tabel 14 varieert het drogestofgehalte van het ingedikte actief-slib van 3,7 tot 12,4 % met een gemiddelde waarde van 5,5% voor zuiveringsinrichtingen met voorbezinking; voor inrichtingen zonder voorbezinking bedraagt het drogestofgehalte 4 à 8%, met een gemiddelde van 6,1%.

Het rendement (zie blz. 112) varieert van 95 tot 99,9% met een gemiddelde van 98,8%.

De drogestofbelasting van de flotatie-indikkers varieerde van 9 tot 38 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h met een gemiddelde waarde van 18,0 kg/m<sup>2</sup>.h voor zuiveringsinrichtingen met voorbezinking en van 16 tot 30 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h met een gemiddelde van 17,1 kg/m<sup>2</sup>.h voor inrichtingen zonder voorbezinking.

Komline <sup>174</sup> geeft als ontwerpnormen voor zuiveringsinrichtingen met voorbezinking 9,8 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h bij 95% rendement met polymeren en een drogestofgehalte van 4% in ingedikt actief-slib.

Voor aerob gestabiliseerd actief-slib is het drogestofgehalte van het ingedikte slib wat lager en voor actief-slib van inrichtingen zonder voorbezinking wat hoger bij een belasting van 15 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h.

plaats van de zuiveringsinstallatie	datum artikel	bron	slibsoort	influent droge stof (mg/l)	effluent onopgeloste stof (mg/l)	rendement (%)	ingedikt slib (% d.s.)	belasting		opmerkingen
								kg d.s./m <sup>2</sup> .h	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	
Abington, Pa	1974	166	actief slib (retourslib)	5.000	188	96,2	2,8	15	3,0	
Abington, Pa	1974	166	actief slib (retourslib)	5.000	188	96,2	6,0	15	2,0	na 12 uur indiktijd
Hatbora, Pa	1974	166	actief slib (retourslib)	7.300	300	96,0	4,0	15	2,0	
Omaha, Nebr.	1974	166	actief slib (retourslib)	19.660	118	99,8	5,9	38	2,0	
Omaha, Nebr.	1974	166	actief slib (retourslib)	19.660	118	99,8	8,8	38	2,0	
Omaha, Nebr.	1974	166	actief slib (aeratieltank)	7.910	50	99,4	6,8	15,5	2,0	na 12 uur indiktijd
Bellefonte, Ill.	1974	166	actief slib (retourslib)	18.372	233	98,7	5,7	19,1	2,0	
Indianapolis, Ind.	1974	166	actief slib (retourslib)	2.960	144	95,0	5,0	10,5	1,0	
Indianapolis, Ind.	1974	166	actief slib (retourslib)	2.960	144	95,0	7,8	10,5	3,6	
Warren, Mich.	1974*	166	actief slib (retourslib)	6.000	350	95,0	6,9**	10,5	3,6	na 12 uur indiktijd
idem	1966*	174	idem	14.827	95	99,4	5,3**	26	4,4	
idem	1975** 76*	174	idem	11.700	vervaarloosb.	> 99	5,3	16	-	
idem	1963*	145	idem	14.000	90	-	5,9	10,5	-	\$ 3,85/ton d.s. aan polymeren
idem	1968	154	idem	11.900	35,7	99,7	5,0	15,5***	-	7,5 kg/ton d.s. polymeren
Frankenmuth, Mich.	1974	166	actief slib (aeratieltank)	9.000	80	99,1	6,8	19,5	-	38 g polymeren/m <sup>3</sup> 286 g FeCl <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>
Oakmont, Pa	1974	166	actief slib (slibretour)	6.250	80	98,7	8,0	32,5	3,25	
Columbus, Ohio	1974	166	actief slib (slibretour)	6.800	40	99,5	5,0	15	2,5	
Levittown, Pa	1974	166	actief slib (slibretour)	5.700	31	99,4	5,5	16,5	2,5	
Nassau County, NY	1974	166	actief slib (retourslib)	8.100	36	99,6	4,4	14,5	2,5	
Bay Park STP	1964*	158	actief slib	7.700	-	99,9-100	4,69-3,43	-	-	dosering polymeren, 13 - 1,5 kg/ton d.s.
Nashville, Tenn.	1974*	166	actief slib (retourslib)	15.400	44	gem. 99,9	gem. 4,05	25,5	1,45	
Boise, Ida	1962*	158	actief slib	4.500	-	99,6	12,4	-	-	
Sterling TWP, Mich.	1968	154	actief slib (zonder voorbezinktank)	12.146	265	97,8	4,2 - 3,8	16,5	-	polymeerdosering, 3 - 6 kg/ton d.s.
Biddeford, Me.	1968	154	actief slib (zonder voorbezinktank)	13.400	48	99,6	6,6	16,4	-	
Cycliffe (GB)	1974*	173	actief slib	7.040	3	99,8	4,6	8,96	1,26	Polymeerdosering, 8,9 kg/ton d.s.
idem	1975*	173	actief slib	6.790	18	99,7	4,1	10,11	1,53	polymeerdosering, 7,89 kg/ton d.s.
Hanover Park, Ill.	1974*	174	actief slib	10.000	helder	> 99	> 4	12,5	-	
Atlanta, Ga	1974*	174	actief slib	9.500	27	99,7	6,9**	23,5	-	polymeerdosering, 1,6 kg/ton d.s.
(pilot plant 0,1 m <sup>2</sup> )	1965*	174	actief slib	10.255	79	99,2	3,7	11,5	-	polymeerdosering, 3,2 kg/ton d.s.
Asarillo, Texas	1975*	174	actief slib	7.000	73	99	4,3	18,5	-	
(pilot plant, 0,1 m <sup>2</sup> )	1973*	174	actief slib (zonder voorbezinktank)	8 - 12.000	150	98	6 (gem.)	16	-	polymeerdosering, 15 kg/ton d.s.
Denver, Col.	1973*	174	actief slib (zonder voorbezinktank)	5 - 7.000	50	> 99	12 (max.)	17,5	-	
Dartmouth, Mass.	1973*	174	actief slib (zonder voorbezinktank)	8.000	50	99,4	4,4 - 6,8	16	-	
Somerset, Mass.	1973*	174	actief slib (zonder voorbezinktank)	8.000	50	99,4	4,0	16	-	polymeerdosering, 1 kg/ton d.s.
Athol, Mass.	1975*	174	actief slib (zonder voorbezinktank)	8.000	50	99,4	4,0	16	-	

Tabel 14. Dissolved air flotation: bedrijfsresultaten bij toevoeging van polymeren

\* In deze gevallen is het jaar genoemd, waarin de metingen plaatsvonden.

\*\* Hier is bedoeld de waarde die werd bereikt, nadat de installatie werd geoptimaliseerd.

\*\*\* Hier is bedoeld de productie van ingedikt slib in kg/m<sup>2</sup>.h.

### resultaten met slibmengsels

Het indikken van mengsels van actief- en primair slib leidt tot hogere drogestofgehalten in het ingedikte slib dan indikking van actief-slib alleen (zie tabel 12, blz. 103).

Volgens Burd <sup>143</sup> dikt een mengsel van actief- en primair slib door gravitatie echter minstens evenveel in als door flotatie, tenzij het aandeel primair slib gering is.

Ook Jones <sup>154</sup> stelt dat alleen het actief-slib door flotatie moet worden ingedikt, omdat het floteren energie en chemicaliën kost.

### toepassing van polymeren

Volgens Komline <sup>174</sup> kan door het gebruik van polymeren de drogestofbelasting op de flotatie-indikker minstens tweemaal hoger gekozen worden dan zonder chemicaliën, terwijl het drogestofgehalte van het ingedikte slib over het algemeen 1% hoger ligt.

De invloed van polymeren op de drogestofbelasting van flotatie-indikers en op de indikresultaten is in tabel 15 weergegeven.

zuiveringsinrichting	datum	literatuurbron	slibsoort	poly-meer	ingedikt slib % d.s.	drogestofbelasting in kg/m <sup>2</sup> .h
Warren	1962	145	actief-slib	nee	4,1	4,5*
	1963	145		ja	5,9	15,5*
Hanover park, III	1976	174	actief-slib	nee	3,5	5
	1974	174		ja	> 4	12,5
Amarillo, Texas (pilot plant)	1965	174	actief-slib	nee	2,7	2,5
	1965	174		ja	3,7	11,5
Fitchburg, Ma. (pilot plant)	1970	174	actief-slib	nee	4,25	7,5 - 15
	1970	174		ja	4,67	9,5 - 15
Xenia, Ohio	1974	174	actief-slib (zonder voorbezinking)	nee	4	7,5
	1974	174		ja	8	30

Tabel 15. Dissolved air flotation met en zonder polymeren.

\* productie aan ingedikte slib in kg/m<sup>2</sup>.h.

Het gebruik van flocculanten leidt niet altijd tot verhoging van het drogestofgehalte van het ingedikte slib.

Zo is uit proeven met de flotatie-installatie van Nassau County gebleken, dat het drogestofgehalte in de slibdeken zonder en met polymeren ongeveer gelijk (circa 4%) bleef; met polymeren kon de indikker echter



Door Jones <sup>154</sup> worden voor indikkers van het type Komline-Sanderson de volgende oppervlakken aangegeven voor het gebouw, waarin flotatie-inrichting en polymeeraanmaak- en doseerinrichting zijn opgesteld.

oppervlak flotatie-inrichting (m <sup>2</sup> )	oppervlak van het gebouw (m <sup>2</sup> )
4,5	31
9	54
18	75
45	160
90	320

Op de zuiveringsinstallatie Aycliffe (GB) zijn twee flotatie-indikkers met een totaal oppervlak van 46 m<sup>2</sup> in één gebouw opgesteld, met een oppervlak van 280 m<sup>2</sup> en een hoogte van 5 m.

Ashman <sup>173</sup> stelt echter dat de flotatietank buiten opgesteld kan worden; polymeeraanmaak- en doseerinrichting en pompen blijven dan binnen opgesteld. Ook de ruimer, met name de ketting en de bladen, kan buiten worden opgesteld (hij verdient dan wel extra aandacht).

Op deze wijze is veel minder overdekt vloeroppervlak nodig en het gebouw behoeft ook niet 5 m hoog te zijn.

In de literatuur wordt gerekend met een afschrijvingstermijn van 30 jaar <sup>135, 137, 138</sup> of 50 jaar <sup>136, 139</sup> voor het bouwkundig gedeelte; Komline <sup>174</sup> houdt een afschrijvingstermijn aan van 20 jaar voor de indikker.

#### *onderhoud bouwkundig gedeelte*

Onstwedder <sup>129</sup> rekent hiervoor 0,5% van de investeringskosten per jaar.

#### *onderhoud mechanisch/elektrisch gedeelte*

Hiervoor wordt door Köhler gerekend met 2,5% van de investeringskosten. Komline <sup>174</sup> neemt 1% van de investeringskosten als onderhoudskosten voor de totale installatie, inclusief het bouwkundig gedeelte.

#### *bediening en toezicht*

Köhler rekent met één uur toezicht per dag; Ashman <sup>173</sup> stelt dat minimaal één man nodig is voor schoonmaak, onderhoud en aanmaken van polymeren bij de twee flotatie-indikkers te Aycliffe.

Komline <sup>174</sup> rekent 15 uur per week voor onderhoud en bediening bij honderd bedrijfsuren per week.

#### *energie*

De energiekosten worden hoofdzakelijk veroorzaakt door het elektriciteitsverbruik van de hogedrukpomp van het recirculatiewater.

Komline en Sanderson vermelden voor een aantal flotatie-indikkers het volgende opgesteld vermogen:

oppervlak van de flotatie-indikker (m <sup>2</sup> )	recirculatie-pomp (PK)	re-aeratie-pomp (PK)	ruimer (PK)
4,5	7,5	0,75	0,5
9	10	1,5	0,5
18	15	2	0,5
36	25	5	0,75

Voor de totale energiekosten kan gerekend worden met 0,15 - 0,25 kWh per kg slib (als droge stof) 153, 162, 172, 173.

#### *chemicaliën*

Het chemicaliënverbruik hangt sterk af van de slibeigenschappen en de resultaten die men wil bereiken. Uit tabel 14 (blz. 115) blijkt, dat het verbruik varieert tussen 0,9 en 15 kg polymeer per ton slib droge stof. De prijs van polymeren (in 1976) bedraagt f 15 à f 25/kg.

#### 4.3.7

#### Dissolved air flotation en gravitatie-indikking

##### *voordelen van flotatie-indikking*

Volgens Komline <sup>174</sup> worden gravitatie-indikers voor actief-slib in de Verenigde Staten meestal ontworpen met een drogestofbelasting van 24,4 tot 39 kg droge stof/m<sup>2</sup>.d.

Onder deze condities wordt actief-slib ingedikt tot 2 à 3% droge stof.

Dissolved air flotation-indikers worden ontworpen voor 9,8 kg droge stof per m<sup>2</sup>.h en de drogestofgehalten die met polymeren bereikt worden zijn veelal hoger dan 4%.

Met dissolved air flotation wordt actief slib verder ingedikt dan met gravitatie <sup>154, 155, 158</sup>. Op de zuiveringsinrichting van Boonton (USA) werd met flotatie en polymeren een drogestofgehalte van 4,5% bereikt; op dezelfde inrichting kwam dit met gravitatie-indikking niet hoger dan 2,5%. Deze uitkomsten worden door proeven op semi-technische schaal (in pilot plants) bevestigd (tabel 16).

parameter	gravitatie	flotatie	
		100	150
drogestofbelasting (kg/m <sup>2</sup> .d)	40	100	150
drogestofgehalte ingedikt slib (%)	3 - 7	5 - 9	5 - 7

Tabel 16. Gravitatie-indikking en dissolved air flotation:  
drogestofbelasting en drogestofgehalte van ingedikt slib <sup>157</sup>  
 (30% primair en 70% actief-slib, pilot plants)

Als het ingedikte slib nog anaeroob gestabiliseerd moet worden, heeft flotatie-indikking door het hogere drogestofgehalte van het ingedikte



slib de volgende voordelen ten opzichte van gravitatie-indikking:

- er is minder gistingruimte nodig;
- er ontstaat minder supernatant in de gistingstank;
- er is minder energie nodig om de ingedikte slibstroom op te warmen;
- zand en zware slibdelen worden niet gefloteerd en dus ook niet met het ingedikte slib naar de gistingstank gepompt <sup>157, 158</sup>.

Bovendien wordt het slib tijdens de indikking aeroob gehouden. Daardoor worden stankproblemen voorkomen, terwijl het slib geen fosfaten verliest. Dit laatste blijkt uit de volgende gemeten <sup>154</sup> fosfaatconcentraties:

slibsoort	fosfaatconcentratie
in te dikken slib	570 mg P/l
ingedikt slib	1400 mg P/l
effluent indikker	14 mg P/l

#### *nadelen van flotatie-indikking*

Het flotatieproces is gevoelig voor veranderingen in een groot aantal parameters die het indikresultaat bepalen.

Enkele van deze parameters zijn:

- het drogestofgehalte van het in te dikken slib;
- de temperatuur van het slib;
- temperatuurverschillen in de flotatietank;
- de kwaliteit van het verdunningswater;
- verandering in de grootte van de slibdeeltjes;
- de sibleeftijd;
- het organisch stofgehalte van het slib.

De gevoeligheid voor veranderingen in deze parameters wordt sterk gereduceerd door het gebruik van polymeren <sup>143</sup>; daardoor wordt weliswaar een hoger drogestofgehalte van het ingedikte slib bereikt, maar bij hogere energie- en chemicaliënkosten dan bij gravitatie-indikking.

De investeringskosten van een flotatie-indikker zijn lager dan die van een gravitatie-indikker <sup>143, 166</sup>; de jaarlijkse kosten zijn echter hoger.

De toepassing van flotatie-indikers is daarom meestal beperkt tot actief-slib of moeilijk indikbare industriële slibsoorten <sup>143</sup>.

## 4.4 BIOLOGISCHE FLOTATIE

### 4.4.1 Procesbeschrijving

Bij biologische flotatie wordt gebruik gemaakt van de gasproductie die ontstaat bij biologische processen. Het slib wordt onder anaerobe omstandigheden gebracht, waarbij koolzuur en eventueel stikstof geproduceerd wordt; daardoor gaat het slib opdrijven.

In het Laboon-proces dat op de zuiveringsinrichting van Pittsburgh wordt toegepast, zijn de procesomstandigheden zodanig gekozen, dat biologische flotatie optimaal is <sup>143</sup>.

Het Laboon proces bestaat uit de volgende stappen:

- verkleining van het ruwe primaire slib (5 à 10% droge stof) om te voorkomen dat leidingen verstopten;
- verwarming van het slib tot 35° C in warmtewisselaars;
- concentratie van het slib gedurende vijf dagen; door de gasproductie van het slib gaat dit opdrijven en dikt in;
- afscheiding van de drijf laag na vijf dagen.

### 4.4.2 Procesvariabelen

Bij het Laboon proces zijn de volgende parameters belangrijk <sup>143</sup>:

- de temperatuur van het slib;
- de verblijftijd van het slib in de flotatietank;
- het soort slib en het organische stofgehalte van het slib;
- de pH van het slib.

Uit laboratoriumproeven is gebleken dat de optimale temperatuur voor verschillende slibsoorten 35° C is en dat de optimale verblijftijd vijf dagen is.

Actief-slib kon niet door biologische flotatie worden ingedikt, omdat het niet ging drijven.

Hoewel mengsels van primair en actief-slib wel in zekere mate konden worden geconcentreerd, trad ook gedeeltelijke sedimentatie op.

Bij hoge pH's in het slib wordt de bacteriologische werking geremd en ontstaat te weinig gas om het slib te laten drijven.

### 4.4.3 Resultaten

In een proefinstallatie voor de zuiveringsinrichting te Pittsburgh werd het Laboon proces gedurende een jaar beproefd <sup>143</sup>. Ruw primair slib werd ingedikt van 4 tot 20% droge stof. Het supernatant van de indikker bevatte gemiddeld 2970 mg BOD<sub>5</sub> en 4000 mg SS per liter.

Op praktijkschaal waren de resultaten nagenoeg gelijk aan die van de proefinstallatie; primair slib werd van 10,7 tot 18% ingedikt.

Het Laboon proces wordt te Charlotte (N. Carolina) gebruikt om primair slib in te dikken tot 10 à 14%, waarna het anaeroob wordt gestabiliseerd. In Ashland (Ohio) werd primair slib ingedikt tot 15% droge stof zonder dat het slib werd verwarmd.

#### 4.4.4 Kosten

In de literatuur worden geen kosten van dit indikproces gegeven. De lange verblijftijd van het slib in de indikker (circa vijf dagen) en de verwarmingskosten, plus eventueel een installatie om het ingedikte primaire slib te mengen met andere slibsoorten alvorens het verder te verwerken, maakt het indikken van slib langs biologische weg niet goedkoop.

#### 4.4.5 Voor- en nadelen, toepassingsmogelijkheden

Op enkele plaatsen is primair slib met succes ingedikt door biologische flotatie. Met actief-slib werden tot nu toe geen goede resultaten verkregen.

Enkele nadelen van het proces zijn de hoge energiekosten voor het verwarmen van het slib (dit nadeel vervalt indien het ingedikte slib anaeroob wordt gestabiliseerd), de lange vloeistofverblijftijd en de mogelijkheid dat stankoverlast ontstaat.

Als stankoverlast optreedt, moet de flotatie in een gesloten tank plaatsvinden, waarbij de gassen worden afgezogen en gereinigd.

Het lijkt er dan ook op <sup>143</sup> dat de toepassingsmogelijkheden van biologische flotatie beperkt blijven. Zo reageert actief-slib niet goed en de kosten lijken niet gering. Mogelijk kan - indien een verbrandingsoven aanwezig is - een kostenbesparing worden verkregen door de warmte van de oven te benutten voor het opwarmen van het primaire slib.

Procesbeschrijving

Bij electrolytische flotatie wordt water onder invloed van elektrische spanning gesplitst in waterstof en zuurstof. Waterstof en zuurstof komen vrij in de vorm van kleine belletjes (diameter 0,01 - 0,06 mm) die zich aan het slib hechten dat daardoor gaat opdrijven.

Naast de vorming van waterstof- en zuurstofbelletjes treden ook nog andere processen op; elektrisch geladen colloïdale slibdeeltjes bewegen zich naar de anode of kathode, waar hun oppervlaktelading praktisch wordt geneutraliseerd. Het colloïdale karakter van het slib wordt hierdoor verminderd 167.

De zuurstof komt vrij in "statu nascendi" en kan daardoor met de in het water opgeloste stoffen reageren 144, 167.

De hoeveelheid gasbellen en de diameter van de gasbellen die bij electrolyse van water ontstaat worden, naar men aanneemt, voornamelijk bepaald door de stroomdichtheid in de electrolysecel (figuur 69). In de praktijk wordt met stroomdichtheden van 10 - 40 A/dm<sup>2</sup> gewerkt 167.

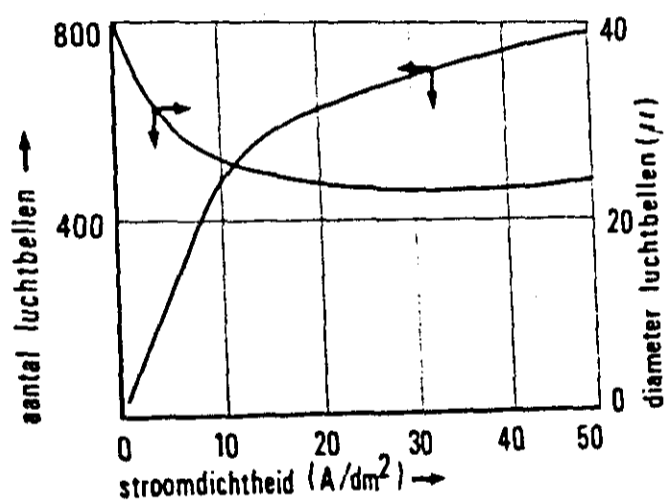


Fig. 69. Aantal bellen, grootte van de bellen en stroomdichtheid 164

Uitvoering en constructie

De flotatie-unit bestaat uit een cel waarin de elektroden op de bodem zijn geplaatst (figuur 70). De kathode bevindt zich boven de anode.

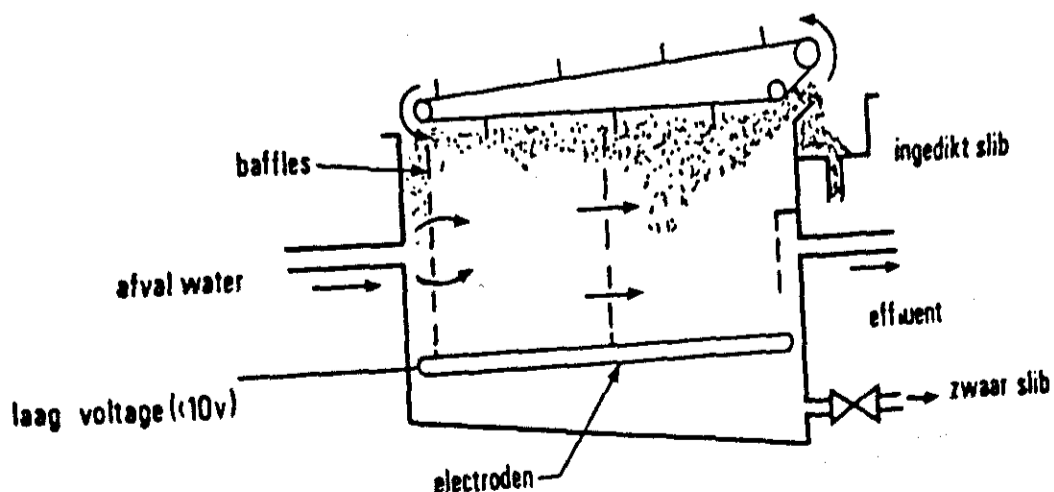


Fig. 70. Electrolytische flotatie-inrichting volgens Cooke 149

De elektroden kunnen van verschillend materiaal worden gemaakt.

De kathode (hier komt waterstof vrij) kan gemaakt worden van koolstof<sup>141</sup> of van roestvrij staal<sup>149</sup>. De anode kan gemaakt worden van aluminium of zacht staal. Deze laatste metalen corroderen echter zeer snel en gaan slechts drie maanden mee<sup>149</sup>. Door het in oplossing gaan van deze elektroden wordt wel een vlokkende werking van Fe of Al-ionen verkregen. Titaan bedekt met platina is wel corrosiebestendig, maar zeer duur. Titaan bedekt met looddioxyde heeft een leeftijd van enkele jaren, afhankelijk van de samenstelling van het slib/watermengsel en de stroomsterkte.

#### 4.5.3 Procesvariabelen

Belangrijke<sup>144</sup> procesvariabelen bij electrolytische flotatie zijn:

- de afstand tussen elektroden;
- het aan te leggen potentiaalverschil;
- de geometrie van de installatie.

De afstand tussen kathode en anode bedraagt 0,3 à 5 cm, afhankelijk van de elektrische geleidbaarheid van het slib en de hoeveelheid onopgeloste stoffen (in verband met verstoppingsgevaar<sup>164</sup>).

Omtrent het aan te leggen potentiaalverschil zijn in de literatuur alleen de onderstaande waarden gevonden met betrekking tot de electrolytische flotatie van afvalwater<sup>171</sup>:

- zeer zout water 3V;
- papierafvalwater 6V;
- slecht geleidend water 9V.

Dit houdt in dat er bij een gewenste stroomdichtheid een factor 3 verschil in energieverbruik bestaat tussen goed en slecht geleidend afvalwater<sup>171</sup>.

#### 4.5.4 Resultaten

Over het indikken van slib met behulp van electrolytische flotatie zijn zeer weinig resultaten gevonden in de literatuur. Zo zou in Engeland actief-slib met succes worden ingedikt tot circa 6% droge stof, bij een drogestofbelasting van 10 kg/m<sup>2</sup>.h, een resultaat dat met dit slib ook verkregen kon worden met dissolved air flotation<sup>141</sup>.

#### 4.5.5 Kosten

In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over de kosten van slib-indikken door electrolytische flotatie.

Theoretisch is 53,5 Ah nodig om 1 mol water (18 g) te splitsen. Bij een spanning van 6V wordt dus ongeveer 50 g zuurstof en circa 6 g waterstof per kWh geproduceerd.

#### 4.5.6 Voor- en nadelen

Voordelen van electrolytische flotatie zijn:

- er hoeft geen verdunningswater bij hoge druk met lucht verzadigd te worden;
- er zijn geen polymeren nodig; de installatie kan evenals bij dissolved air flotation ook zonder polymeren werken;

- de grootte van de gasbelletjes kan ingesteld worden door verandering van de elektrische parameters;
- de elektroden kunnen over de gehele tank worden opgesteld, zodat over het gehele oppervlak bellen opstijgen;
- omdat de elektroden niet bewegen komen de gasbelletjes met minimale snelheid vrij (weinig turbulentie).

Een nadeel van electrolytische flotatie zijn de kosten van de transformator/gelijkrichter. Deze kosten stijgen relatief naarmate de unit groter wordt, zodat er waarschijnlijk qua grootte een economische limiet bestaat 149.

..6 OVERIGE FLOTATIEPROCESSEN

..6.1 Mechanische flotatie

Bij mechanische flotatie worden de luchtbelletjes geproduceerd door lucht met een roerder in het slib te slaan (figuur 71).

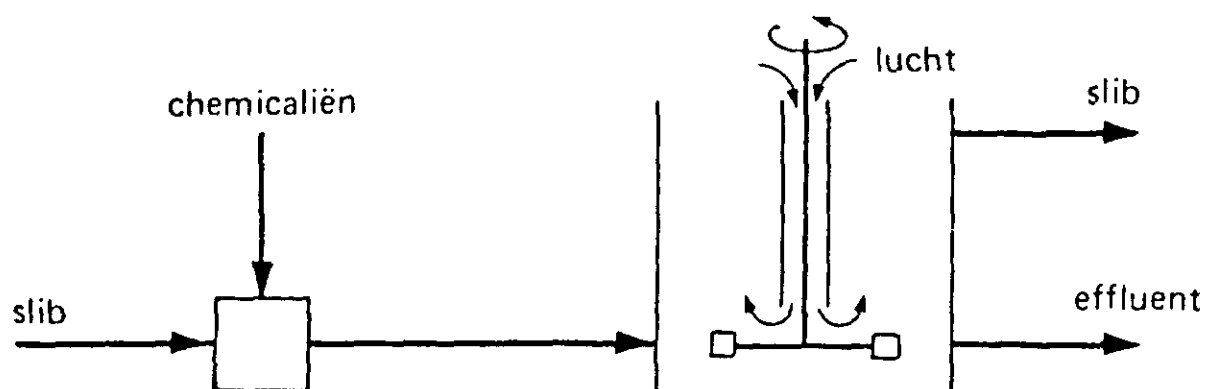


Fig. 71. Mechanische flotatie

Bij mechanische flotatie ontstaan luchtbelletjes met een diameter groter dan één millimeter.

In verband met de grootte van de slibdeeltjes is deze methode niet geschikt voor het indikken van slib; door de grote bellen ontstaat te veel turbulentie en vindt alleen afscheiding van de grote slibdelen plaats 150, 151, 161.

.6.2 Flotatie met perslucht

Bij deze methode (figuur 72) wordt de lucht via poreuze stenen ingebracht (bellenbeluchting).

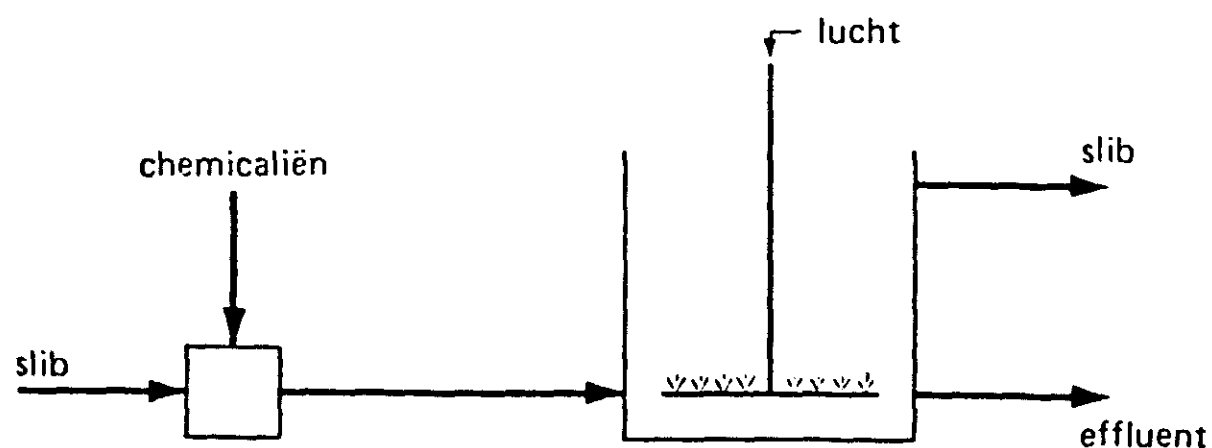


Fig. 72. Flotatie door bellenbeluchting

De luchtbellen hebben een doorsnede van meer dan één millimeter en de methode is daardoor (zie 4.6.1) niet geschikt voor het indikken van afvalwaterslib.

6.3 Vacuümflotatie

Bij vacuümflotatie (figuur 73, blz.127 ) wordt het water/slibmengsel bij één atmosfeer verzadigd met lucht en daarna onder vacuüm gebracht. Omdat de slibstroom dan wordt oververzadigd met lucht ontwijkt deze

lucht in de vorm van belletjes met een diameter van 0,08 à 0,10 mm.

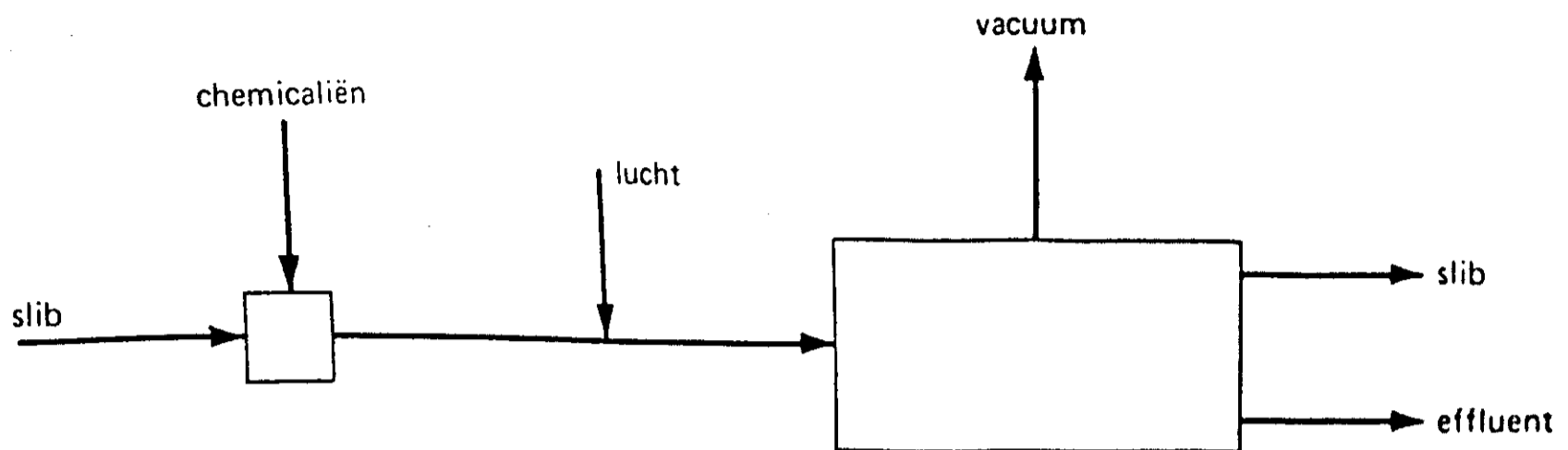


Fig. 73. Vacuümflotatie

Vacuümflotatie heeft als nadeel dat het maximale drukverschil klein is (1 atm.) waardoor slechts weinig lucht vrijkomt; bij dissolved air flotation zijn veel grotere drukverschillen mogelijk.

#### .6.4 Chemische flotatie

Bij chemische flotatie worden de gasbelletjes geproduceerd door chemicaliën die aan het slib worden toegevoegd, zoals waterstofperoxyde ( $H_2O_2$ ). Dit ontleedt in  $H_2O$  en  $O_2$  <sup>162</sup>.

Over toepassing van deze methode in de praktijk werd geen literatuur gevonden.



## CONCLUSIES

### 7.1 Algemeen

Van de verschillende flotatie-methoden, die in de onderzochte literatuur worden beschreven, komen alleen dissolved air flotation, biologische flotatie en electrolytische flotatie in aanmerking voor het indikken van afvalwaterslib.

Tot nu toe zijn de meeste ervaringen opgedaan met het dissolved air flotation-proces.

### 7.2 Dissolved air flotation

Deze methode is zeer geschikt voor het indikken van actief-slib en aerob gestabiliseerd slib. Primair slib en mengsels van primair en oxydatiebeddenslib kunnen vaak beter door middel van gravitatie worden ingedikt. Het indikken van anaerob gestabiliseerd slib met behulp van het dissolved air flotation proces stuit vaak op moeilijkheden door de structuur van dit slib.

Een van de belangrijkste voordelen van het dissolved air flotation-proces is, dat actief-slib verder - en met hogere drogestofbelastingen - kan worden ingedikt dan met gravitatie-indikking mogelijk is.

Veelal wordt zonder polymeerdosering 3 à 6% droge stof in het ingedikte slib bereikt en met polymeren 4 à 8%.

Bij gebruik van polymeren kunnen hogere drogestofbelastingen worden toegepast. Een verdergaande indikking van actief-slib kan kostenbesparend werken op de latere slibverwerking.

Over het algemeen geldt, dat de investeringskosten van een flotatie-indikker lager zijn dan die van een gravitatie-indikker, maar dat de jaarlijkse kosten hoger zijn. De toepassing van flotatie-indikers wordt dan over het algemeen ook beperkt tot actief-slib en moeilijk indikbare industriële slibsoorten.

### 7.3 Biologische flotatie

De biologische flotatiemethode is tot nu toe alleen met succes op primair slib toegepast; met actief-slib werden geen goede resultaten behaald.

Enkele nadelen van deze methode zijn de hoge energiekosten voor het opwarmen van het slib, de lange verblijftijden in de indikker en het gevaar dat stankoverlast optreedt, indien het proces zich in een open tank afspeelt.

De toepassingsmogelijkheden van het biologisch indikken van slib blijven beperkt tot primair slib en de kosten van dit proces lijken niet gering.

### 7.4 Electrolytische flotatie

In de literatuur zijn zeer weinig gegevens gevonden over de resultaten die met electrolytische flotatie van slib zijn bereikt. In Engeland werd actief-slib door electrolytische flotatie evengoed ingedikt als door dissolved air flotation.

Over de kosten van het proces zijn geen gegevens gevonden.

## 5. literatuur

GRAVITATIE-INDIKKING

- 1 Abson, J. & Clark, E. & Gray, J. - Electrolytic thickening of sludge, South African patent 6801 071 (18-11-1968).
- 2 Alderton, J.L. - Analysis of thickener operation, Jour. of the San. Eng. Div. ASCE, 89 (1963) SA 6 : 57 - 59.
- 3 Anderson, A.S. & Hanson, R.C. - A simulation model of the gravity separation of concentrated solids, Proc. 6th Intern. Water Poll. Res., juni 1972 : 457 - 474.
- 4 Balden, A.R. & Erickson, B.R. - Reuse, Not just treatment, Water & Wastes Eng., 8, 1, A - 2 (1971).
- 5 Behn, V.C. & Liebman, J.C. - Analysis of thickener operation. Jour. of the San. Eng. Div. ASCE, 89 (1963) SA 3 : 1 - 15  
SA 6 : 57 - 59  
90 (1964) SA 3 : 133 - 134
- 6 Böhm, H. & Gämmerler, H. - Neuentwickelter Krählwerkseindicker, Aufbereitungs-Technik, 13 (1972) 3 : 183 - 185.
- 7 Brisbin, St. - Sewage sludge thickening tests, Sew. & Ind. Wastes, 28 (1956) 2 : 158.
- 8 Brown, B.R. - Experiments on the dewatering of digested and activated sludge, Water Poll. Control (Canada) 71 (1972) : 61.
- 9 Burd, R.S. - A study of sludge handling and disposal, Fed. Water Poll. Control. Adm., WP-20-3 (1968).
- 10 Buysch, H.P. - Eindickung von Klärschlamm unter Einfluss der Temperatur, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 14 (1973).
- 11 Carnes, B.A. & Eller, J.M. - Characterization of waste water solids, JWPCF, 44 (1972) 8 : 1499 - 1517.
- 12 Coe, H.S. & Clevenger, G.H. - Methods for determining the capacities of slimesettling tanks, Trans. Amer. Inst. Mining Eng., 55 (1916) : 356 - 384.
- 13 Comings, E. & Pruiss, C. & De Bord, C. - Continuous settling and thickening, Ind. & Eng. Chem., 46 (1954) 6 : 1164 - 1171.
- 14 Colin, F. - Emploi des polyélectrolytes dans la flocculation et l'épaississement des boues résiduaires, Terres Eaux, 21 (1968) 55 : 27 - 28.
- 15 Dahl, B.-Polymer aids in dewatering and elutriation, JWPCF, 44 (1972) 2 : 201 - 211.
- 16 Deike, A. - Flockungsmittel in der Abwasserreinigung, Chem. Anl. Verf. (1972) 8 : 45 - 46.
- 17 DHV - Verslag van het NOW van de afdeling watertechnologie in 1969 (intern rapport).
- 18 DHV - Slibhandboek, Slibindikproeven (intern rapport), 1971.
- 19 Dick, R.T. - Applicability of prevailing gravity thickening theories to activated sludge, Thesis, University of Illinois, 1965.
- 20 Dick, R.J. & Ewing, B. - Evaluation of activated sludge thickening theories, Jour. of the San. Eng. Div. ASCE, 93 (1967) SA 4 : 9 - 29.
- 22 Dick, R. - Fundamental aspects of sedimentation, Water and Wastes Eng. 6 (1969) 3 : 44.
- 23 Dick, R.J. & Vesilind, P. - The sludge volume index - What is it? JWPCF 41 (1969) 7 : 1285 - 1291.
- 24 Dick, R.I. - Thickening characteristics of activated sludge. In: 4 th Intl. Conf. Water Poll. Res., London, Eng., Pergamon Press 625 (1970).

- 25 Dick, R.I. - Mechanisms of sludge thickening, U.S. Environ. Protection Agency, Nat. Environ. Res. Center (1971).
- 26 Dick, R.I. & Javaheri, A.R. - Continuous thickening of nonideal suspensions, U.S. Nat. Tech. Inform. Serv., PB Rep. (1972) 2095 - 31, 71.
- 27 Dick, R.I. - Gravity thickening of sewage sludge, Water Poll. Control, 71 (1972) 4 : 368 - 380.
- 28 Dick, R.I. - Thickening of sludges. In: Proc. Natl. on Municip. Sludge Managem., Inform. Transfer, Inc. Washington D.C., 21 (1974).
- 29 Dick, R.I. & Shin, S. - Effect of permeability and compressibility of flocculent suspension on thickening. In: 7th Intl. Conf. on Water Poll. Res. (1974).
- 30 Dick, R. - Sludge treatment, utilization and disposal. JWPCF, 46 (1974) 6 : 1171.
- 31 Dorr Oliver - Waste Water Treatment, Chem. Abstracts, 66 (1967) 885111.
- 32 Dust, J. - Sludge thickening proves economical in Beaumont, Texas Sewage Treatment Plant, Civil Eng., 26 (1956) : 246.
- 33 Eckenfelder, W. - Settling and compaction characteristics of biological sludges, Sew. & Ind. Wastes, 29 (1957) 10 : 1114 - 1122.
- 34 Eckenfelder, W. & Mancini J. - Application of a laboratory model to the design of continuous thickeners. In: Nat. Symp. on Sanitary Engr. Res., Pennsylvania University 1965.
- 35 Environmental Protection Agency - Process design manual for sludge treatment and disposal (1974), EPA 625/1-74-006.
- 36 Fielding, M. - The use of deep lagoons for thickening and drying of digested sludge, Water Poll. Control (Canada) 105 (1976) 3 : 48.
- 37 Fitch, E.B. & Talmage W.P. - Determining thickener unit areas, Ind. & Eng. Chem., 47 (1955) 1 : 38 - 41.
- 38 Fitch, B. - Current theory and thickener design part 1 + 2, Filtration and Separation, (1975) 6 : 355 - 359  
6 : 480 - 553.
- 39 Ford, D. & Eckenfelder, W. - Effect of process variables on sludge floc formation and settling characteristics, JWPCF, 39 (1967) 11 : 1850 - 1859.
- 40 Frey, H. - Die Schlammentwässerungsanlage in der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich, Gas, Wasser und Abwasser, 49 (1969) 5 : 157 - 162.
- 41 Glace, I.M. - Discussion of thickening of raw organic sludges. In: Proc. of the 8th Southern Municipal and Ind. Waste Conf. (1959) : 179 - 186.
- 42 Goryainov, L.G. & Shabalin, K.N. - Effect of the initial concentration of a suspension on the purity of a clarified liquid, Isv. Vyssh. Ucheb. Zaved., Khim. Technol. (USSR), 13 (1970), 1 : 126; Chem. Abs., 73 (1970) 20.
- 43 Gould, B.W. - A theory of gravity sludge thickening, Mech. Chem. Eng. Trans., 10 (1974) 1 : 18 - 22.
- 44 Gould, B.W. - Behaviour of sludges in compression sludge gravity thickener design. In: 7th Intl. Conf. on Water Poll. Res. (1974).
- 45 Gundelach, W. - Abtrennung von Feststoffen aus industriellen Abwässern in Eindickern, Aufbereitungstechnik (1970) 9.

- 46 De Haan, S. & Karper, R. & Scheltinga, H.M.J. e.a. - Methoden van slibverwerking, *H<sub>2</sub>O*, 6 (1973) 14 : 356 - 367.
- 47 Haigh, M.D.F. - Sewage treatment at Barnsley 1961 - 1971, A decade of set-backs and progress, *Water Poll. Control (GB)*, 72 (1973) 373.
- 48 Hathaway, W.S. & Farrell, B.J. - Thickening characteristics of aluminium and iron primary sewage sludges. In: *Proc. Res. Symp. on Pretreatment and Ultimate Disposal of Waste Water Solids*, New Jersey, 1974.
- 49 Hegemann, W. - Versuche zur Schlammeindickung auf dem Klärwerk Wuppertal - Buchenhofen, *Kommunalwirtschaft*, (1968) 9 : 334 - 344.
- 50 Hilson, M.A. - Sludge thickening bij polyelectrolyt test, *JJWA*, 25 (1971) 8 : 402 - 416.
- 51 Imhoff, K. - Die Eindickung von Schlamm und die weitere Entwässerung von stabilisierten Schlamm durch naturliche Verfahren, *Müncher Beiträge zur Abwasser, Fischerei und Flussbiologie*, 13 (1966) : 72 - 92.
- 52 Javaheri, A.R. & Dick, R.I. - Aggregate size variations during thickening of activated sludge, *JWPCF*, 41 (1969) 5 : R 197 - R 214.
- 53 Jordan, V.J. & Scherer, C.H. - Gravity thickening techniques at a water reclamation plant, *JWPCF*, 42 (1970) 2 : 180 - 189.
- 54 Jørgensen, S. - Concentration of primary sludge, *Vatten*, 25 (1969) : 89 - 92.
- 55 Kalbskopf, K.H. - Theoretische Grundlagen, Bemessung und Verfahrensweise der Schlammeindickung, *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser*, Aachen, 6 (1971) : 73 - 88.
- 56 Kalbskopf, K.H. - Studies on the design data of gravity thickening, *Water Res. (GB)*, 6 (1972) : 499 - 502.
- 57 Keefer, C. - Thickening of raw sludge, *Water and Sew. Works*, 107 (1960) 6 : 218 - 222.
- 58 Kempa, E.S. - Zur Schwerkrafteindickung von Abwasserschlämmen, *Chem. Techn.*, 21 (1969) 7 : 398 - 403.
- 59 Konivcek, Z. - Separation and gravity thickening in secondary sedimentations tanks, *Progr. in Watertechn.*, 7 (1975) 2 : 149-160.
- 60 Koster, E.L.C. - Indikking, flotatie, elutriatie en centrifugatie. In: *Cursus slibbehandelingsmethoden (voorlopige tekst)*, Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek, 1 (1975)
- 61 Kynch, G.J. - A theory of sedimentation, *Trans. Faraday Soc.*, 48 (1952) : 166 - 176.
- 62 Laboon. - Experimental studies on the concentration of raw sludge, *Sew. and Ind. Wastes*, 24 (1952) 4 : 423.
- 63 Laubenberger, G. & Hartmen, L. - Ursachen für das Aufschwimmen von Überschuss-schlamm aus der biologischen Stufe in Vorklärbecken. *CWF (Wasser - Abwasser)* 112 (1971) 3 : 154.
- 64 Lauer, W.N. - Sludge concentration. In: *Proc. of the 6th Southern Municipal and Ind. Waste Conf.*, 1957 : 130 - 140.
- 65 Lijklema, L. - Een eenvoudige slibspiegelsonde, *H<sub>2</sub>O*, 1 (1968) : 115.

- 66 Manz. H. - Praktiken der Beseitigung von Schlamm aus Wasserreinigungsanlagen in Grossbritannien, GWF (Wasser - Abwasser), 111 (1970) 1.
- 67 Mancini, J. - Gravity clarifier and thickening design. In: Proc. 17th Waste Conf., Purdue Univ. 1962 : 267 - 277.
- 68 Melick, L. van - Enige beschouwingen over de invloed van drogestofconcentratie op het thermisch drogen, H<sub>2</sub>O, 2 (1969) : 546.
- 69 Möller, U. - Die Schlammwaschung, Müll und Abfallbeseitigung, 1 (1964).
- 70 Möller, U. - Vorbehandlung des Schlammes, Schlammeindickung Schlammwaschung. In: Müll- und Abfallbeseitigung (Handbuch), (1964) 3110 : 1 - 9  
3120 : 1 - 5  
3130 : 1 - 7  
3140 : 1 - 2
- 71 Möller, U. - Schlammteiche oder Lagunen, Müll- und Abfallbeseitigung, 8 (1966).
- 72 Möller, U. - Schlamm- und Abfallbeseitigung, GWF (Wasser - Abwasser) 113 (1972) 2 : 90.
- 73 Nielson, H.L. & Carns, K.E. & Deboice, J.N. - Aluminium sludge thickening and disposal, Jour. Amer. Water Works Assn., 65 (1973) 6 : 385 - 394.
- 74 Niemitz, W. - Über Schlammkennwerte, GWF (Wasser-Abwasser), 109 (1968) 12 : 299 - 305.
- 75 Pipes, W.O. - Types of activated sludge, which separate poorly. JWPCF, 41 (1969) 5 : 714.
- 76 Pöpel & Vater & Jäger - Das verfahren zur Aufbereitung von Städtischem Klärschlamm, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft (1958) 2.
- 77 Reed, S.C. & Murphy, R.S. - Low temperature activated sludge settling, Jour. San. Eng. Div. Proc. ASCE, 95 (1969) SA4 : 747.
- 78 Reynolds, E.C. - Sludge washing and thickening eliminate need for grit removal, Wastes Eng., (Dec. 1956) : 640 - 641.
- 79 Reuther, H. - Abescheidung von Feststoffen aus dem Wasser durch Sedimentation, Galvanotechnik, 63 (1972) : 619 - 624.
- 80 Reuter, J. - Möglichkeiten zur Automatisierung des Betriebes von Kläreindickern in Aufbereitungsanlagen durch Anwendung organischer synthetischer Flockungsmittel, Aufbereitungstechnik, 15 (1974) 4 : 187 - 193.
- 81 Rhode, H. - Gestaltung und Betrieb von Schlamm-trocken und Lagerplätzen, Zeitschrift Kommunalwirtschaft Sonderheft Industrie Abwasser (1959) : 38 - 41.
- 82 Rüb, F. - Rationellere Schlamm-entwässerung durch Voreindickung, Wasser Luft und Betrieb, 9 (1965) 5 : 229 - 302.
- 83 Rudolfs, W. & Logan, R.P. - Sludge compacting, Effect of temperature on sludge concentration, Sew. Works Jour., 15 (1943) : 894.
- 84 Rudolfs, W. - Sludge concentration, Some results in the state of New Jersey, Proc. of the ASCE, San. Eng. Div., (1944) 70 : 1283 - 1289.

- 85 Scott, K. & Alderton, J. - Maximum solids handling capacity of continuous thickeners, Trans. of the Inst. of Mining and Metallurgy, section C, 75 (1966) : C201 - C210.
- 86 Scott, K.J. - Continuous thickening of flocculated suspensions, Ind. & Eng. Chem. Fundamentals, 9 (1970) : 422.
- 87 Schramm, G. - Die Einsatzmöglichkeiten von Schlammindickern, Industrie Abwasser (1965) : 29 - 31.
- 88 Schroepfer, J. - Factors, affecting thickening in liquid solid separation, Sanitary Eng., 3 (1964).
- 89 Schubert, H. - Zur Dimensionierung von Schwerkrafteindickern und -klärern, Verfahrenstechnik, 4 (1970) 3 : 101 - 106.
- 90 Shannon, P. & Tory, E. - The analyses of continuous thickening, Trans. of the American Inst. of Mining Eng., 235 (1966) 12 : 375 - 382.
- 91 Smith, E. Hathaway, W.S. - Laboratory procedures to obtain information for the design of a clarifier thickener for flocculent solids and sludge filtration equipment, Environ. Prot. Agency, 1971.
- 92 Sparr, A.E. & Grippi, V. - Gravity thickeners for activated sludge, JWPCF 41 (1969) 11 : 1886 - 1904.
- 93 Spöhr, G. & Eckenfelder, W.W. - Sewage sludge thickening by mechanical vibration, Public Works (New York), 89 (1958) : 111 - 112.
- 94 Stalman, V. - Untersuchungen zur Technik der Eindickung am Beispiel von Emscher - Belebtschlamm und zu den Technischen Wirtschaftlichen Auswirkungen der Eindickung auf Folgeprozesse der Abwasserschlammbehandlung, Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der T.H. Hannover (1965) 19.
- 95 Stalman, V. - Schlammbehandlung und -verwertung, NVA Congres, oktober 1965.
- 96 Stalman, V. - Beispiel für Ermittlung der Jahreskosten einer Eindickanlage (Schwerkrafteindickung), Müll- und Abfallbeseitigung (Handbuch), (1969) 3800 : 5 - 7.
- 97 Stalman, V. - Zur Eindickung von Abwasserschlamm, GWF (Wasser - Abwasser), 108 (1967) 18 : 485 - 487.
- 98 Stalman, V. - Die Bedeutung der Schwerkrafteindickung für die Schlammbehandlung, Kommunalwirtschaft (1969) 9 : 337 - 342.
- 99 Stalman, V. Grundlagen und Auswirkungen der Schwerkrafteindickung, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 28 (1967) : 73 - 89.
- 100 Stier, E. - Klärwärter - Taschenbuch, Abwassertechnischen Vereinigung, 1974, Bonn.
- 101 Swanwick, J.D. - Neuerungen in der Schlammtechnologie in den USA, GWF (Wasser - Abwasser), 110 (1969) 22.
- 102 Talmage, W.P. & Fitch, E. - Determining thickener unit areas, Ind. & Eng. Chem., 47 (1955) : 38 - 41.
- 103 Tesarik, J. & Vostrcil, J. - Hindered settling and thickening of chemically precipitated flocs, Proc. 5th Int. Water Poll. Res. Conf., (1970) II : 1 - 25.
- 104 Thorn, E. - Techniques nouvelles dan les decanteurs epaisiseurs, La Technique de l'Eau et de l'Assainissement, 17 (1963) 200 : 123 - 124.

- 105 Thorn, W. - Schlammeindickung, -entwässerung und -verwertung als biochemisches Problem, Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, (1971) 6 : 179 - 193.
- 106 Torpey, N.W. - Concentration of combined primary and activated sludges in separate thickening tanks, Jour. of the San. Eng. Div. ASCE, 80 (1954) 9 : 1 - 17.
- 107 Vaughn C. & Behn, F. & Liebman, C. - Analysis of thickener operation, Jour. of the San. Eng. Div. ASCE, 90 (1964) SA3 : 133 - 134.
- 108 Verhaagen, J. - De productie en afzet van afvalwaterzuiverings-slib in Nederland; uitkomsten enquête 1971, H<sub>2</sub>O, 5 (1972) : 25 -30.
- 109 Vesilind, P. - The influence of stirring in the thickening of biological sludge, Public Works, 99 (1968) 9 : 140.
- 110 Vesilind, P. - Design of prototype thickeners from batch settling tests, Water & Sew. Works, 115 (1968) ) : 418 - 419.
- 111 Vesilind, P. & Dick, R. - Initial depth as a variable in activated sludge settling tests, Effluent and Water Treatment Jour. 9 (1969) 5 : 263 - 267.
- 112 Voshel, D. - Sludge handling at Grand Rapids Michigan waste water treatment plant, JWPCF, 38 (1966) ) : 1506 - 1517.
- 113 Wirts, J.J. & Ausflug, F. - Concentration of activated sludge, Sew. Works and Ind. Wastes, 23 (1961) : 1219.
- 114 Wismeyer, A.A. - Slib, soorten en eigenschappen, H<sub>2</sub>O, 1 (1968) 2.
- 115 Witte, H. - Die Bedeutung der Eindickung des Faulwasser für die Leistungsfähigkeit von Kläranlagen, Gewässerschutz - Wasser Abwasser, 6 (1971).
- 116 Zack, S. - Sludge dewatering and disposal, Sew. & Ind. Wastes, 22 (1950) 8 : 975.

#### MECHANISCHE INDIKKING

- 117 Albertson, O.E. - Handling of solid wastes, Chem. Eng. Progr., 67 (sept. 1971) 9 : 49.
- 118 Anonymus - A study of sludge handling and disposal, WPCRS (1958) : 36 - 59.
- 119 Bradney, L. & Bragstad, R.E. - Concentration of activated sludge by centrifuges, Sew. & Ind. Wastes, 27 (1955) 4 : 402 - 412.
- 120 O'Donnell, C. & Keith, F. - Centrifugal dewatering of aerobic waste sludges, JWPCF 44 (1972) 11 : 2162 - 2171.
- 121 Erikson, R.A. - Design factors and applications of centrifuges. Chem. Eng. Progr., 67 (1971) 9 : 66.
- 122 Ettelt, G.A. & Kennedy, T.J. - Research and operational experience in sludge dewatering at Chicago, JWPCF, 38 (1966) : 248.
- 123 High, R.E. - Centrifuging of soft effluent sludges, Aust. Chem. Eng., 13 (1972) 10, 19.
- 124 Karper, R. & Melick, L. van & Zanten, G.D. van - Slibontwatering door centrifugeren, H<sub>2</sub>O, 3 (1970) 2 : 22 - 27.
- 125 Karper, R. & Melick, L. van & Zanten, G.D. van - Slibontwatering door centrifugeren bij verlaagd toerental, H<sub>2</sub>O, 3 (1970) 23 : 612 - 613.



- 126 Keith, F.W. & Moll, R.T. - Matching a dewatering centrifuge to waste sludges, Chem. Eng. Progr. 67 (sept. 1971) : 55 - 59.
- 127 Keith, F. - Centrifuges concentrate and dewater waste system solids, Water & Sew. Works, 116 (1969) : IW 10 - 15, IW 18.
- 128 Onstwedder, H. & Pepping, R. & Man, A. de - Toepassingsmogelijkheden van centrifuges voor de ontwatering van aeroob gemineraliseerd slib, H<sub>2</sub>O, (1970) 19.
- 129 Onstwedder H. & Vlies, A.W. van der - Indikking van aeroob gemineraliseerd slib door een basketcentrifuge, H<sub>2</sub>O (1975) 22 : 438 - 445.
- 130 Parkhurst, J.D. & Miele, R.P. & Hayashi, S.T., e.a. - Dewatering digested primary sludge, JWPCF, 45 (1974) 3 : 468 - 484.
- 131 Proces design manual for sludge treatment and disposal, Environ. Protection Agency 625/1-74-006 (oktober 1974).
- 132 Townsend, J.H. - What the wastewater plant engineer should know about centrifuges part 1 and 2, Water and Wastes Eng. 6 (1969) : 11, 12, 35, 42.
- 133 Vaughn, D.R. & Reitwiesner, G.A. - Disk-nozzle centrifuges for sludge thickening, JWPCF 44 (1972) 9 : 1789 - 1797.
- 134 Vesilind, P.A. - Estimating of sludge centrifuge performance, Jour. San. Eng. Div., ASCE, 96 (1970) juni paper 7378. 97 (1971) SA 6 : 934 - 935.
- 135 Eggink, H.J. - Experience in centrifugation of sewage sludges - aspects of performance and reliability. In: the 7th Int. Conf. on Water Poll. Res., Paris, September 9-13-1974.
- 136 Schultze, E. - Neuere Erfahrungen beim Einsatz von Dekantern Ariaqua 2/71.
- 137 Vater, W. - Beitrag zur Klärschlammzentrifugierung, CWF (Wasser - Abwasser) 115 (1974) 3 : 137.
- 138 Swanwick, J.D. - Recent development in sludge technology in the USA, Water Poll. Control (1968) : 374.
- 139 Wylemann, E.H. - Versuche der Schlammentwässerung mit Zentrifugen in zwei Stufen, Kommunalwirtschaft, (1976) 9.
- 140 Pennwalt Ltd. - Centrifugal sewage sludge dewatering.

#### FLOTATIE-INDIKKING

- 141 Ainsworth, G. - Sludge treatment - Current trends, Process Biochem. 8 (1973) : 11 - 14.
- 142 Anonymus - Analyses of flotation thickening of waste activated sludge, Water and Sew. Works 111 (1964) I : 68 - 69.
- 143 Burd, R.S. - A study of sludge handling and disposal. Water Poll. Control Res. Ser. (1968) : 36 - 59, EPA 17070-05/68.
- 144 Barrett, F. - Elektroflotation - development and application, Water Poll. Control 1975: 59.
- 145 Braithwaite, R. - Polymers as aids to the pressure flotation of waste activated sludge, Water and Sew. Works 111 (1964) 12: 545 - 547.
- 146 Brown, P. & Thomas, A. - Some experiences in the consolidation of surplus activated sludge, The Surveyor (maart 1968) : 33 - 37.
- 147 Bucher, H. - Fortschrittliche Abwasser - Aufbereitung durch flotation, Chemie-Technik, 1 (1972) 10 : 475 - 477.

- 148 Conway, R. & Kifer, L. - Polymetric coagulant improves flotation thickening, Water Works and Wastes Eng., 2 (1965) 4 : 67 - 68.
- 149 Cooke, B. - Flotation, Process Eng. (okt. 1974) : 93 - 95.
- 150 Ettelt, G. - Activated sludge thickening by dissolved air flotation. In: Proc. 19th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., ext. ser. 117 (1975) : 210 - 244.
- 151 Hahn, H.H. & Klute, R. - Neuere physikalisch - chemische Aspekte bei der Abwasserreinigung Teil II, Flotation und Filtration Wasserkalender 9 (1975), Berlin, Erich Schmidt, 1974 : 45 - 88.
- 152 High, R.E. - Centrifuging of soft effluent sludges, Aust. Chem. Eng. 13 (1972) 10, 19.
- 153 Hilmer, A. - Sludge thickening by flotation, Process Biochem. 8 (1973) 5 : 26 - 28.
- 154 Jones, W. - Sizing and application of dissolved air flotation thickeners, Water and Sew. Works 115 (1968) : 177 - 178, 180, 183 - 184, 186, 188, 190, 192, 194.
- 155 Kaeding, J. - Beitrag zur Schlammeindickung durch Flotation, Wassertechnik, 12 (1962) 1 : 6 - 11.
- 156 Karyakin, V.V. & Kharlan, N.G. & Yagubets, A.W. - A study of the process of hydrogen bubble formation and sludge flotation in electro flotation purification of electrolytes.
- 157 Katz, W. - The use of dissolved air flotation, (1963 operator's forum) JWPCF 36 (1964) 4 : 407 - 418.
- 158 Katz, W. & Geinpoulos, A. - Sludge thickening by dissolved air flotation. JWPCF 39 (1967) 6 : 946 - 956.
- 159 Köhler, R. - Technologie und Anwendung der Entspannungsflotation in der Abwasserreinigung, Wasser, Luft und Betrieb, 19 (1975) 2 : 72 - 77.
- 160 Köhler, R. - Anwendungsbereiche des Flotationverfahrens in der Abwasser- und Schlammbehandlung, Wasser, Luft und Betrieb (1972) 9 : 294 - 298.
- 161 Köhler, R. - Eindickung von Überschussschlamm durch Entspannungsflotation. Industrie-abwasser (1971) : 26 - 33.
- 162 Köhler, R. - Das Flotationsverfahren und seine Anwendung in der Abwassertechnik, Wasser, Luft und Betrieb (1969) 9.
- 163 Kramer, O.E. - Mikroblasen - Flotation ein schwedisches Abwasserbehandlungs-verfahren, Chem. Anl. Verf. (1974) 3 : 91 - 92.
- 164 Kuhn, A. - Electroflotation the technology and waste treatment applications, Chem. Processing (juni 1974) : 9 - 12.
- 165 Lundgren, H. - Recent advances in air flotation technology, Tappi, 53 (1970) 287.
- 166 Proces design manual for sludge treatment and disposal, Environ. Protection Agency EPA 625/1-74-006 (okt. 1974).
- 167 Reuter, J. - Das Flotationsverfahren und seine Anwendung bei Processen der Fest/Flüssigtrennung, Aufbereitungstechnik (1974) 9 : 475 - 482.
- 168 Wahl, A. - Sludge thickened by flotation, Wastes Eng. 32 (1961) 12 : 681.
- 169 Wood, R.F. & Dick, R.J. - Some effects of sludge characteristics on dissolved air flotation. In: Proc. of the 7th IAWPR Conf. (sept. 1974).
- 170 Wood, R.F. & Dick, R.J. - Factors influencing batch flotation tests, JWPCF 45 (1973) 3 : 304 - 315.
- 171 Treille, P. - Epuration électrique des eaux résiduaires, Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux (août-sept. 1973) 357, 358.

- 172 Maddock, J.E.L. - Research experience in the thickening of activated sludge by dissolved air flotation. In: Water Res. Centre Conf., Flotation for water and waste treatment (1976), paper 5, session 2.
- 173 Ashman, P.S. - Operational experiences of activated sludge thickening by dissolved air flotation at the Cycliffe sewage treatment works. In: Water Res. Centre Conf., Flotation for water and waste treatment, 1976, paper 6, session 2.
- 174 Komline, T.R. - Sludge thickening by dissolved air flotation in the USA. In: Water Res. Centre Conf. Flotation for water and waste treatment, 1976, paper 7, session 2.
- 175 Gregory, R. - A cost comparison between dissolved air flotation and alternative clarification processes. In: Water Res. Centre Conf., Flotation for water and waste treatment, 1976, paper 11, session 2.
- 176 Turner, M.T., - The use of dissolved air flotation for the thickening of waste activated sludge, Effluent and Water Treatment Jour. (mei 1975) : 243 - 251.

6 VERKLARING VAN BEGRIPPEN

actuele capaciteit	: produktie van ingedikt slib van een basketcentrifuge, uitgedrukt in kg droge stof per tijdseenheid
capillair gebonden water	: water dat de capillaire kanalen tussen de vaste stofdeeltjes opvult
cellulair gebonden water	: celvloeistof of door celwanden ingesloten water
chemisch slib	: slib dat wordt geproduceerd bij het langs chemische weg zuiveren van afvalwater
colloïdaal gebonden water	: water dat door grenslaagkrachten is gebonden aan slibdeeltjes
d.s.-rendement gravitatie-indikker	: $\frac{\text{kg d.s. ingedikt slib}}{\text{kg d.s. invoer indikker}} \times 100\%$
d.s.-rendement centrifuge	: $\frac{\text{kg d.s. ingedikt slib}}{\text{kg d.s. in voeding}} \times 100\%$
d.s.-rendement flotatie-indikker	: $\frac{\text{kg d.s. inlaat} - \text{kg d.s. effluent}}{\text{kg d.s. inlaat}} \times 100\%$
filtraat	: afgescheiden water inclusief eventueel meegevoerde slibdeeltjes
gloeirest	: percentage anorganische stof
humusslib	: afgestoten slib uit oxidatiebedden
hydrofobe slibdeeltjes	: deeltjes die waterafstotende eigenschappen bezitten
hydrofiele slibdeeltjes	: deeltjes die wateraantrekkende eigenschappen bezitten
iso-elektrisch punt	: pH-waarde waarbij (hydrofiele) colloïden neutraal zijn
kantdiepte	: afstand tussen vloeistofspiegel en hoogste punt van de tankbodem
mechanische slibontwatering	: ontwateren van slib met behulp van mechanische apparatuur, eventueel met toepassing van chemicaliën (zeefbandpers, filterpers, centrifuge)
mesh	: aantal zeefopeningen per lineaire inch, gemeten vanaf het centrum van een draad tot een punt 1 inch verder
overloopwater	: door indikking afgescheiden water
primair slib (ongestabiliseerd/ gestabiliseerd)	: vaste deeltjes uit het ongezuiverde afvalwater, afgescheiden door bezinking

secondair slib	: overtollig slib van een actief slib systeem
slibindex	: het volume van 1 gram actief slib in ml na 30 minuten bezinken in een cilinderglas (zie NEN 3235-4.5.)
slibdeken	: drijflaag die ontstaat bij slibfloatatie
uitgegist slib vrij water	: anaeroob gestabiliseerd slib : water zonder directe binding met vaste stof
zuurstof slib	: slib afkomstig van een zuiverings-systeem, waarbij i.p.v. lucht zuivere zuurstof is toegepast