

# Aëroob gestabiliseerd slib: karakteristieken en parameters

In zoverre de bouwkosten sneller stijgen dan de energiekosten wordt voor grotere installaties de slibstabilisatie langs aërobie weg economischer dan langs anaërobie weg. De anaërobie slibstabilisatie werd reeds veelvuldig toegepast en is dan ook tamelijk goed gekend [1, 2, 3]. De aërobie slibstabilisatie werd tot heden minder uitvoerig bestudeerd. Rüffer [4] stelt als belangrijkste karakteristiek voor aëroob gestabiliseerd slib dat het ether-extraheerbaar vetgehalte kleiner moet zijn dan 65 mg vet/g dr.stof. Ten einde na te gaan of deze karakteristiek



IR. F. F. NOTEBAERT  
Instituut voor Industriële  
Scheikunde  
Afdeling Waterverontreiniging  
Katholieke Universiteit Leuven



PROF. IR. A. A. VAN HAUTE  
Instituut voor Industriële  
Scheikunde  
Afdeling Waterverontreiniging  
Katholieke Universiteit Leuven



DR. IR. D. A. WILMS  
Instituut voor Industriële  
Scheikunde  
Afdeling Waterverontreiniging  
Katholieke Universiteit Leuven

ook geldig is voor het slib van een oxydatiesluit dachten wij dat het zinvol was de fysische en chemische samenstelling van het slib te volgen gedurende zijn stabilisatie alsook de variatie, gedurende de stockering van het slib, van enkele typische grootheden als endogene ademhaling, vetgehalte en de tijd waarna vrijzetting van  $H_2S$  optreedt. Daar de  $H_2S$  produktie een gevolg is van de aanwezigheid van zwavelhoudende componenten in het slib en in het slibwater, werd er ook een uitvoerige analyse gedaan van de invloed van de sulfideconcentratie in de voeding op het slib, op de slibindex en op de slibstabiliteit; met dezelfde proefopstelling werd ook de invloed van de slibbelasting op deze grootheden getest. Daar ijzerionen de fosfaten kunnen neerslaan komen deze in het slib terecht. Er werd dan ook nagegaan in hoeverre ijzer de  $H_2S$ -test beïnvloedt: immers  $Fe^{2+}$  geeft met  $S^-$  een zwarte neerslag van  $FeS$ . Naast de karakteristieke eigenschappen van het slib zelf werd ook de verandering in samenstelling van het slibwater gevolgd gedurende het aërobie stabilisatieproces of gedurende het anaërobie bewaren van gedeeltelijk gestabiliseerd slib. Bij onze proeven werd er vooral gebruik gemaakt van slib afkomstig van bestaande

oxydatiesloten uit Nederland met een capaciteit van 3000 i.e., of van slib van onze labo-installaties; ook werden monsters slib van een conventionele actief slib installatie onderzocht, ten einde de vergelijking met oxydatiesluit slib mogelijk te maken.

## 1. Verandering in de fysische en chemische samenstelling van het slib gedurende de aërobie stabilisatie

### 1.1. Fysische eigenschappen

#### 1.1.1. Oxydatiesluit slib

Het slib afkomstig van een oxydatiesluit heeft gewoonlijk een vlokke structuur met weinig fijne deeltjes. In het slib van enkele installaties waren er nogal veel draadvormige organismen aanwezig. Het slib van deze installaties dikte dan ook zeer moeilijk in, de slibvolume index (SVI) was dan ook ongeveer 150 ml/g dr.stof na 30 minuten bezinken in een maatcilinder met een diameter van 6 cm. De slibvolume index van de andere bemonsterde installaties waar geen draadvormige organismen aanwezig waren, was echter veel lager en varieerde van 40 tot 70 ml/g droge stof. Het gehalte organische stof in de verschillende monsters varieerde van 65 tot 75 % en was het hoogst voor de slibsoort met de hoogste slibvolume index. Wanneer een dergelijk monster in het laboratorium bij kamertemperatuur enkele weken belucht werd, dan bezonk het slib tamelijk snel maar de bovenstaande vloeistof was erg troebel. Een microscopisch onderzoek wees uit dat de mooie vlokke structuur die het slib had bij de staalname, verdwenen was; sommige vlokken waren namelijk uiteengevallen in zeer fijne deeltjes zodat die niet meer bezonken. Gedurende deze belichting daalde het procent organische stof langzaam om na een drietal weken ongeveer 50 % te bereiken. Pas na twee maanden beluchten daalde het procent organische stof tot ongeveer 40 %. Het procent organische stof van het oxydatiesluit slib is natuurlijk functie van de bedrijfsvoering: indien er in de installatie geen zandvangervoorzien is, zal het procent organische stof uiteraard lager zijn; een laag procent organische stof betekent dus niet onmiddellijk dat het slib gestabiliseerd is. De zetapotential werd gemeten met een 'Standaard Zeta-Meter'. Een lage waarde van deze potential duidt op goede ontwateringseigenschappen van het slib. De gemiddelde zetapotential van het slib uit de oxydatiesluit schommelde gewoonlijk rond — 12 à — 14 mV. Indien het slib enkele dagen anaërobie gestockeerd werd in een slibput was de zetapotential gestegen tot ongeveer — 20 mV. Bij beluchten van dit slib op het labo daalde de zetapotential terug tot ongeveer — 12 mV.

#### 1.1.2. Surplusslib van een conventionele actief slibinstallatie

De slibstructuur van dit slib was ook vlokke en goed geflocculeerd. De SVI was 120 ml/g en bleef ongeveer konstant gedurende de aërobie stabilisatie. De bovenstaande vloeistof was reeds na 2 à 3 dagen beluchten troebel. Het procent organische stof bij de staalname was ongeveer 75 % en na 10 dagen beluchten in het labo was dit gedaald tot ongeveer 65 %. De gemiddelde zetapotential van het vers slibmonster was — 14 mV.

### 1.2. Chemische samenstelling

#### 1.2.1. De gebruikte methoden

In al onze proefnemingen werd, waar het kon, de voorkeur gegeven aan gewassen, gedroogd en fijngemalen slib omdat men dan het gewicht van het monster nauwkeurig kan bepalen. Indien men immers een klein monster neemt uit een slibmengsel dan is het zeer moeilijk om een homogeen monster te nemen. Gedurende de staalname zullen sommige delen bezinken en bekomt men geen representatief monster meer. Dit euvel heeft men niet indien men werkt met een gedroogd slib. Vooraleer het slib te drogen werd het gewassen met gedestilleerd water. Hiertoe werd aan 1 l slib, 1 l water toegevoegd. Na vermenging liet men het slib bezinken en goot men de bovenstaande vloeistof af en herhaalde de bewerking. Door het wassen werden de in het slibwater opgeloste stoffen dus niet meegemeten bij de COD, C, N, P of S bepaling. Voor de COD werd de gewone procedure gevolgd: een monster van ongeveer 500 mg gedroogd en gemalen slib werd aangelengd met 50 ml gedestilleerd water, verder werd analoog gewerkt zoals voor de gewone COD bepaling [5].

Voor de C bepaling werd een monster van 500 mg gedroogd en gemalen slib samen met 10 g  $K_2Cr_2O_7$ , in een erlenmeyer voorzien van een reflux koeler samengetreurd zwavelzuur toegevoegd en gedurende 2 uur gekookt om de organische koolstof te oxyderen tot  $CO_2$ . De gevormde  $CO_2$  werd uitgedreven met  $N_2$  gas. Om eventueel meegesleurde HCl tegen te houden werd de gasstroom eerst door een wasfles met een zure oplossing van  $Ag_2SO_4$  geleid. Het  $CO_2$  werd dan geabsorbeerd in een 1 N NaOH oplossing. Om een volledige absorptie te bekomen werden er 2 wasflessen met NaOH in serie geplaatst. De NaOH oplossing werd dan getitreerd met een 1 N  $H_2SO_4$  oplossing. Hieruit kon het aantal mg C/g org. stof berekend worden.

De organische stikstof werd bepaald met

een Kjeldahl destructie gevolgd door een stoomdestillatie.

Fosfor werd bepaald door het slib eerst te calcineren en daarna de calcinatierest op te koken met geconcentreerd salpeterzuur.

Na afkoeling werd de oplossing gefiltreerd. Het filterresidu werd terug opgekookt met geconcentreerd salpeterzuur en zo vier maal na elkaar. Het bekomen volume filtraat werd dan aangelengd tot bijv. 500 ml met gedestilleerd water. Een monster van deze zure oplossing werd dan geneutraliseerd met NaOH en aangelengd tot een gekend volume. De fosfaten werden dan hierin spectrofotometrisch bepaald met ammoniummolybdaat als kleurreagens en een mengsel van ascorbinezuur en tartraat als reductiemiddel [6].

S werd bepaald door een monster van ongeveer 50 mg gedroogd, gewassen slib in een kwartsschuitje af te wegen. Dit werd dan in een kwartsbuis geplaatst. Door deze buis werd lucht geblazen. De lucht borrelde eerst door een licht basische oplossing om eventueel aanwezige S<sup>=</sup> tegen te houden. Het kwartsschuitje werd dan geleidelijk in een oven op zeer hoge temperatuur ( $\pm 1000^\circ\text{C}$ ) geschoven. Het slib verbrandde volledig en alle S werd door de luchtzuurstof geoxydeerd tot SO<sub>2</sub> of SO<sub>3</sub>. Deze dampen werden dan geabsorbeerd in een waterstofperoxydeoplossing, waarin het SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub> tot SO<sub>4</sub><sup>-</sup> geoxydeerd werd. De sulfaten werden dan met Ba<sup>++</sup> neergeslagen, afgefiltreerd en in een gekende hoeveelheid EDTA terug opgelost. De verbruikte hoeveelheid EDTA werd met MgCl<sub>2</sub> bepaald.

### 1.2.2. Resultaten

Zowel voor het oxydatieslootslib als voor het surplusslib van een actief slibinstallatie werden er gedurende het aëroob stabiliseren van het slib praktisch geen wijzigingen gemeten in COD, C, N en S gehalte. De fosfor concentratie nam geleidelijk toe. De COD van het oxydatieslootslib varieerde van 1250 tot 1500 mg O<sub>2</sub>/g org. stof. De COD van het surplusslib van de actief slibinstallatie lag met 1350 mg O<sub>2</sub>/org. stof tussen de uiterste waarden. Het koolstofgehalte was praktisch in alle gevallen 500 mg C/g org. stof. De organische stikstof daalde van ongeveer 83 mg tot ongeveer 76 mg N/g org. stof. Echter na zeer lang beluchten (meer dan zes weken) daalde de COD tot 1200 mg O<sub>2</sub>/g org. stof zowel voor het slib dat oorspronkelijk 1500 mg O<sub>2</sub>/g org. stof had als voor het slib die een begin COD waarde had van 1250 mg O<sub>2</sub>/g org. stof; de C daalde tot 450 mg C/g org. stof en de organische stikstof tot 58 mg N/g org. stof. De fosforconcentratie steeg met de beluchtingsduur van 22 mg P/g org. stof tot ongeveer

40 mg P/g org. stof. De hoeveelheden ijzer in het slib aanwezig zijn natuurlijk functie van de aard van het rioolwater.

De gevonden waarden varieerden van 5 tot 25 mg Fe<sup>3+</sup>/g droge stof. De zwavelconcentratie in het slib varieerde van 10 tot 20 mg/g org. stof, zowel voor oxydatiesloot slib als voor surplusslib van een conventionele actief slib installatie. Gedurende de aëroob stabilisatie werd er geen grote verandering van de zwavelconcentratie waargenomen.

## 2. Karakteristieke eigenschappen van aëroob gestabiliseerd slib

Naast de fysische en chemische eigenschappen werden er ook een aantal parameters getest zoals de endogene ademhaling, het vetgehalte en de H<sub>2</sub>S test.

### 2.1. De endogene ademhaling

Eén van de belangrijkste parameters waardoor men kan nagaan of het slib gestabiliseerd is, is zijn endogene ademhaling. Deze is immers een maat voor de snelheid waarmee de cel haar reservestoffen verbruikt. Hoe meer reservestoffen de cel bevat hoe groter de endogene ademhaling zal zijn, maar ook hoe groter de rotbaarheid van het slib is. De endogene ademhaling kan gemakkelijk gemeten worden met een Sapromat. Men plaatst een monster van 166 ml van het slibmengsel in de Sapromat en men volgt het O<sub>2</sub> verbruik van dit slibmengsel gedurende 5 of 10 dagen. Om het uur wordt de totale hoeveelheid verbruikte zuurstof in mg O<sub>2</sub>/l monster op een papierband afgedrukt. Om het O<sub>2</sub>-

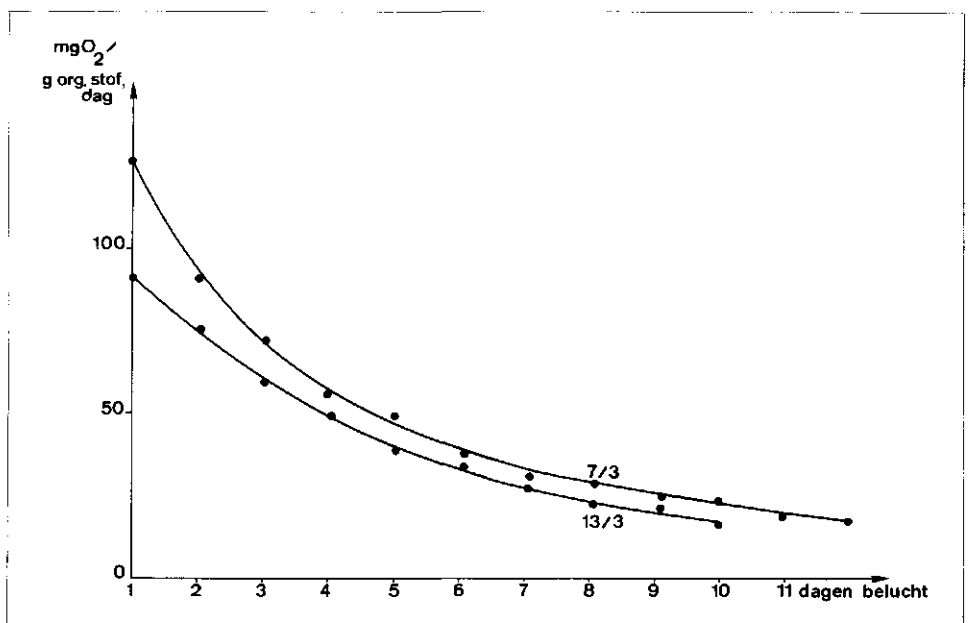
verbruik te kunnen omrekenen tot g O<sub>2</sub>/g org. stof dag moet men natuurlijk ook het gehalte organische stof in het monster aanwezig, bepalen door een tweede monster te drogen en te calcineren.

De endogene ademhaling van oxydatiesloot slib daalde zeer snel met de beluchtingstijd. Voor het slib uit de sloot zelf was deze waarde de eerste dag 110 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag; deze daalde dan tot 72, 50, 41, 35, 29, 26, 20, 18, 17, 16 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag voor de volgende dagen. Wanneer echter een slibmonster uit de slibindickingstank of slibput van een oxydatiesloot genomen werd, was de endogene ademhaling veel groter: 150 mg O<sub>2</sub>/g org. stof de eerste dag, 115 de tweede dag, en dan verder 95, 80, 69, 59, enz. Doordat het slib enkele dagen in een anaëroob milieu vertoefd heeft, is de endogene ademhaling veel hoger.

Een verklaring hiervoor wordt gegeven in §3. Indien het slib dan verder in het laboratorium belucht werd, daalde de endogene ademhaling maar het O<sub>2</sub> verbruik per dag was altijd hoger dan van het monster dat een gelijk aantal dagen in de Sapromat gestaan had; zo was de endogene ademhaling van het slib na 6 dagen beluchten nog 92 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag waar het O<sub>2</sub> verbruik van het monster direct in de Sapromat geplaatst nog slechts 38 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag was (afb. 1).

Voor het surplusslib van een conventionele actief slib installatie werden gelijkaardige verschijnselen waargenomen. De endogene ademhaling van het slib was echter groter, namelijk 175 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag; na 4 dagen was deze waarde reeds gedaald tot 50 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag, dus tot

Afb. 1 - Vergelijking tussen de endogene ademhaling van een slibsoort direkt na de staalname en nadien na 6 dagen beluchten in het laboratorium.



dezelfde waarde als voor het oxydatie-slootslib. Het slib van een actief slib installatie heeft dus een hoger levensritme en het komt vrij vlug tot stabilisatie indien men voldoende  $O_2$  toevoert.

### 2.2. Het vetgehalte

Daar de micro-organismen bij een normale belasting een gedeelte van de aangeboden voedingsstoffen kunnen opslaan als reservestoffen, waarvan een gedeelte petroleumether-extraheerbare vetten zijn, zou het vetgehalte van het slib een maat moeten zijn van de stabiliteit van het slib. Ruffer [4] stelt voor een slib gestabiliseerd te noemen als het gehalte vet lager is dan 65 mg vet/g org. stof. Deze waarde lijkt ons echter te hoog daar wij voor vers surplusslib van een conventionele actief slib installatie maar 50 mg vet/g org. stof vonden. Gedurende het stabilisatieproces daalt dit vetgehalte tot ongeveer 25 mg vet/g org. stof, om na heel lange beluchtings-tijden nog lagere waarden te bereiken. Het slib vers uit de oxydatiesloot bevatte ook ongeveer 25 mg vet/g org. stof. Wanneer het slib van dezelfde oxydatiesloot gedurende enkele dagen anaëroob ingedikt werd, steeg het vetgehalte van het oxydatieslootslib tot ongeveer 40 à 50 mg vet/g org. stof, wat te wijten is aan het begin van een vetzure anaërobe gisting.

Uit deze waarnemingen blijkt dat men zeer voorzichtig moet zijn indien men het vetgehalte als maat van de stabiliteit van slib wil gebruiken. De voorgeschiedenis van het slibmonster is immers zeer belangrijk. Ter vergelijking werd ook het vetgehalte bepaald van het slib uit het voorbezink-bekken van de conventionele actief slib installatie (primaire slib + het surplus actief slib). Het vetgehalte bedroeg 190 mg vet/g org. stof. Na twee dagen intensief beluchten was deze waarde reeds gedaald tot 75 mg vet/g org. stof. Bij verder beluchten daalde deze waarde langzaam verder.

### 2.3. De $H_2S$ test

Vele auteurs beschouwen een slib als stabiel indien het binnen de zes weken, bewaard op kamertemperatuur en afgesloten van de lucht, geen  $H_2S$  afgeeft. In deze test wordt 50 ml slib in een erlenmeyer van 100 ml gebracht; boven het wateroppervlak wordt een loodacetaatpapiertje bevestigd. Indien er  $H_2S$  geproduceerd wordt zal het lood-acetaatpapiertje bruin kleuren.

Het slib van de oxydatiesloten was praktisch altijd stabiel. Alleen als men het slib gedurende enkele dagen in een slibput ingedikt had, was de  $H_2S$  test positief. Indien men het ingedikt slib op het labo niet verder beluchtte, was de  $H_2S$  test ook

altijd positief; de anaërobe gisting zette zich dus voort en na 2 of 3 dagen trad er een volledige verkleuring op van het lood-acetaatpapiertje.

Het surplusslib van de actief slib installatie was duidelijk niet stabiel. Na 3 dagen trad er reeds een verkleuring op. Echter reeds na drie dagen beluchten van het slibmengsel bekwam men een negatieve  $H_2S$  test. Dit wijst op een zeer snelle stabilisatie. Dit was niet zo voor het slib uit de indikkingstank van een oxydatiesloot. Dit kan verklaard worden doordat het slib onder sterk verschillende omstandigheden belucht wordt. De droge stof concentratie van het surplus actief slib was veel lager dan voor het ingedikt oxydatiesloot slib (10 g/l tegenover 22 g/l), zodat men bij het surplus actief slib gemakkelijker voldoende  $O_2$  kon inbrengen en de concentratie aan afbraakprodukten was ook kleiner; deze laatste schijnen het stabilisatieproces sterk te vertragen. Een tweede reden is de voorgeschiedenis van het slib. Daar het ingedikt oxydatiesloot slib lange tijd anaëroob geweest is, zijn heel wat cellen afgestorven en hun celmateriaal dient als voeding voor nog levende organismen; wanneer men zo'n slib terug belucht, is het voedselaanbod voor deze organismen hoog, wat een niet gestabiliseerd slib geeft. Bij het surplus actief slib daarentegen zijn praktisch alle cellen nog actief, zodat de reservestoffen vlug verbruikt worden.

#### 2.3.1. Invloed van de $SO_4^{=}$ en $Fe^{3+}$ ionen op de $H_2S$ test

De  $H_2S$  test die op zichzelf een eenvoudige proef is en praktisch door niets kan gestoord worden, is toch onderhevig aan een aantal parameters. Zo werden er een reeks proeven gedaan waarbij er telkens drie monsters van hetzelfde slib aan de  $H_2S$  test onderworpen werden. Het ene monster bevatte alleen een hoeveelheid van het slibmengsel, het andere bevatte gewassen slib en een derde monster gewassen slib waaraan 50 mg  $SO_4^{=}$ /l toegevoegd werd. Het gewassen slib met  $SO_4^{=}$  toevoeging verkleurde gewoonlijk twee à drie dagen eerder dan het monster gewassen slib en dit nog eens enkele dagen eerder dan het niet gewassen slib. Daar de bacteriën in anaëroob midden sterk reducerend werken, en dus  $SO_4^{=}$  reduceren tot  $S^{=}$  lijkt het

niet verwonderlijk dat  $SO_4^{=}$  toevoeging een versnelling van de  $H_2S$  productie met zich meebrengt. Dat het niet gewassen slib het traagst  $H_2S$  afgeeft is waarschijnlijk te wijten aan een hogere buffercapaciteit van het niet-gewassen slib en ook aan een eventuele neerslag van  $FeS$ . In een anaëroob midden wordt  $Fe^{3+}$  immers gemakkelijk gereduceerd tot  $Fe^{2+}$ . Indien er nu voldoende ijzer in het slibmengsel aanwezig is, kan het al de sulfiden neerslaan zodat de  $H_2S$  test negatief blijft niettegenstaande het slib toch niet stabiel is. Dit verschijnsel doet zich vooral voor wanneer er bijv. in de beluchtingsruimte van een oxydatiesloot  $Fe^{2+}$  gedoseerd wordt om de fosfaten te verwijderen. In het slib krijgt men dan grote hoeveelheden  $FePO_4$  (soms tot 10 à 15 % van het totaal gewicht droge stof). Bij het anaëroob bewaren wordt het  $Fe^{3+}$  volledig gereduceerd tot  $Fe^{2+}$ , toch gaan de orthofosfaten niet in oplossing. Van zo'n slibmonster werd immers na 9 weken anaëroob bewaren van het slib, het gehalte  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $PO_4^{3-}$  bepaald zowel in het filtraat als in het slib zelf. Het filtraat bevatte 1,2 mg  $Fe^{2+}$ /l en 2,05 mg  $PO_4^{3-}$ /l, het slib 21,1 mmol  $Fe^{2+}$ /l of 1180 mg/l en 17,1 mmol  $PO_4^{3-}$ /l of 1625 mg/l. Zowel in het filtraat als in het slib was er geen  $Fe^{3+}$  meer aanwezig. De overmaat  $Fe^{2+}$  kon alle  $S^{=}$  neerslaan. Het slibmengsel was dan ook zwart maar het loodacetaatpapiertje was niet verkleurd. De endogene ademhaling van dit slibmonster was even groot als deze van een monster niet-stabiel slib. Indien er dus tamelijk veel ijzerionen in het slib aanwezig zijn zal de  $H_2S$  test altijd negatief blijven niettegenstaande het slib misschien niet stabiel is. De ijzerionen verhinderen wel de reukproblemen in verband met de sulfiden maar er kunnen ook nog onaangename geuren gevormd worden, zodat men toch een reukprobleem blijft behouden. Het slib kan dus niet-stabiel zijn en toch een negatieve  $H_2S$  test geven.

#### 2.3.2. De invloed van $S^{=}$ concentratie in de voeding en van de slibbelasting op de $S$ concentratie in het slib

Daar de hoeveelheid  $SO_4^{=}$  aanwezig in het slibwatermengsel een invloed heeft op de  $H_2S$  test werd een proef opgezet waarin twee identieke laboratoriuminstallaties gebruikt werden waarvan de belasting, de slibconcentratie en de luchttoevoer

TABEL I - Oxydatie van  $S^{=}$  en organische  $S$  tot  $SO_4^{=}$ .

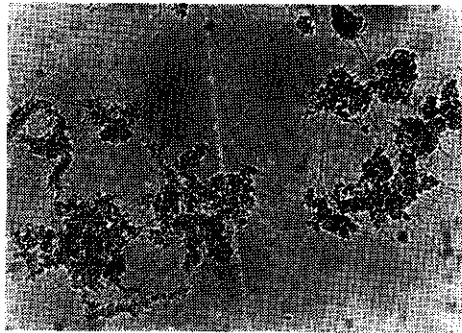
$S^{=}$ in voeding in mg S/l	$SO_4^{=}$ in voeding in mg S/l	tot. S in voeding in mg S/l	$SO_4^{=}$ in effluent in mg S/l	$S^{=}$ in effluent in mg S/l
38,6	29,4	82,4	85	0
49,8	27,6	97,5	96	0
53,0	24,9	99	97	0
30,0	23,8	67,5	64	0

identiek waren. In een van beide werd er continu een oplossing van Na<sub>2</sub>S toegevoerd. De S<sup>=</sup> en ook de organisch gebonden zwavel in de voeding aanwezig, werden in de actief slib installatie volledig geoxydeerd tot SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (tabel I).

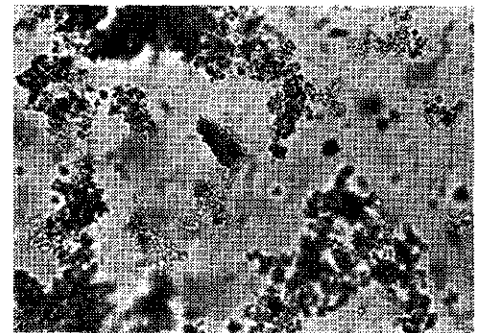
De H<sub>2</sub>S test was voor beide installaties negatief zolang er gewerkt werd met slibbelastingen lager dan 0,1 kg BOD/kg droge stof dag. Deze waarde lijkt nogal hoog om toch nog een stabiel slib te bekomen.

Dit kan echter verklaard worden door het feit dat de installaties op kamertemperatuur werkten en altijd gelijkmatig belast werden. Het is immers bekend dat de activiteit van de micro-organismen stijgt met toenemende temperatuur. Voor een slibbelasting van 0,13 kg BOD/kg droge stof dag werd de H<sub>2</sub>S test positief na ongeveer twintig dagen. Voor een slibbelasting van 0,2 kg BOD/kg droge stof dag was het loodacetaatpapiertje reeds volledig verkleurd na acht dagen.

De H<sub>2</sub>S test van de installatie met S<sup>=</sup> voeding was altijd enkele dagen vroeger positief dan de andere. Hieruit blijkt dat er een zekere invloed is, maar de invloed van de slibbelasting is toch groter. Gedurende enkele weken werd voor de installatie zonder sulfide voeding een grotere slibbelasting toegepast (ongeveer 0,22 tegenover 0,19 kg BOD/kg droge stof dag) en de H<sub>2</sub>S test was het vlugst positief voor de installatie met de hoogste slibbelasting.



Afb. 2.



Afb. 3.

TABEL II - Invloed van S<sup>=</sup> concentratie op de slibindex, het zwavelgehalte in het slib en op de H<sub>2</sub>S test.

S <sup>=</sup> concentratie in de voeding in mg S <sup>=</sup> /l rioolwater	Slib- belasting kg BOD <sub>20</sub> /kg dr. st. dag	Slibvolume index ml slib/g dr. stof	% S in droog slib		H <sub>2</sub> S test	
			mg S/g org. stof	gewassen	gew. + SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	niet gew.
64	0,06	119	2,8	—	—	—
1,3	0,06	76	2,3	—	—	—
39	0,1	82	2,7	—	30	—
6	0,1	79	2,1	—	41	—
26,5	0,13	89	2,4	13	7	15
8	0,13	72	1,9	25	20	30
22	0,13	128	2,3	12	5	17
3	0,13	78	1,7	27	22	35
12	0,19	79	2,0	10	9	12
4	0,23	105	2,1	4	3	9
108	0,25	469	3,1	—	—	—
6	0,25	87	1,9	4	3	8
7	0,25	64	2,0	2	2	4
7	0,25	73	1,6	4	2	7

### 2.3.3. Invloed van de sulfiden op de slibindex

Gedurende de proeven uitgevoerd zoals beschreven in 2.3.2. werd ook de slibindex van beide installaties bepaald. Uit tabel II volgt dat de slibvolume index altijd hoger was voor de installatie waar sulfiden gevoed werden. Bij een slibbelasting van 0,25 kg BOD/kg droge stof dag en bij een grotere S<sup>=</sup> dosis (100 mg S<sup>=</sup>/l rioolwater) kreeg het slib op een bepaalde dag een grijs-witte kleur, twee dagen later bezonk het slib niet meer. Een microscopisch onderzoek leerde dat op de vlok puntige uitsteeksels gegroeid waren, die de bezinking onmogelijk maakten. Afb. 2 geeft een beeld van dit slib. Het slib van de referentie-installatie had een normaal vlokkig uitzicht (afb. 3). De slibvolume index van de installatie zonder sulfide voeding was normaal gebleven. De sulfide voeding werd gestopt en na één week kregen we terug een normaal bezinkend slib.

Beide installaties werden daarna gedurende 1 maand in bedrijf gehouden, werkend bij een slibbelasting van 0,25 kg BOD/kg droge stof dag. Daarna werd aan de ene installatie terug 100 mg S<sup>=</sup>/l rioolwater toegevoegd en na 10 dagen bezonk het slib

niet meer. De vlokken hadden terug hetzelfde uitzicht zoals op afb. 2.

### 3. De verandering in samenstelling van het filtraat gedurende de aërobie stabilisatie en gedurende het anaëroob bewaren van hetzelfde slib

Om een economische vergelijking te kunnen maken tussen aëroob of anaëroob bewaren van slib is het belangrijk dat men naast de invloed hiervan op de filtreerbaarheid, wat in een ander artikel uitvoerig beschreven werd [7], ook de samenstelling van het filtraat kent. Immers, het slibwater vrijgekomen bij de slibontwatering wordt teruggevoerd naar de zuiveringsinstallatie; indien dit slibwater een hoge BOD en een hoog NH<sub>3</sub> gehalte bezit, neemt de belasting van de installatie toe en verhogen de energiekosten voor de zuurstoftoevoer.

#### 3.1. De pH

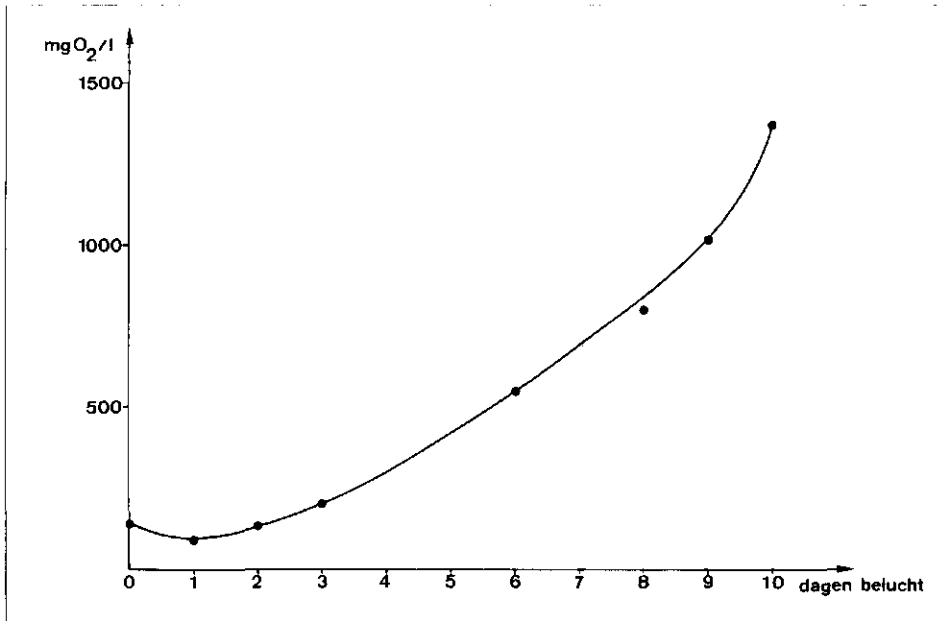
Gedurende de aërobie stabilisatie worden de ammonium- en de organische stikstofverbindingen geoxydeerd tot nitraten. Bij deze oxydatie komen er H<sup>+</sup> ionen vrij die de pH verlagen zodat men soms na een lange beluchtingsperiode pH waarden bekomt lager dan 5. Bij het anaëroob

stockeren van slib daalde de pH eerst wat tot ongeveer 6 en steeg daarna tot 8.

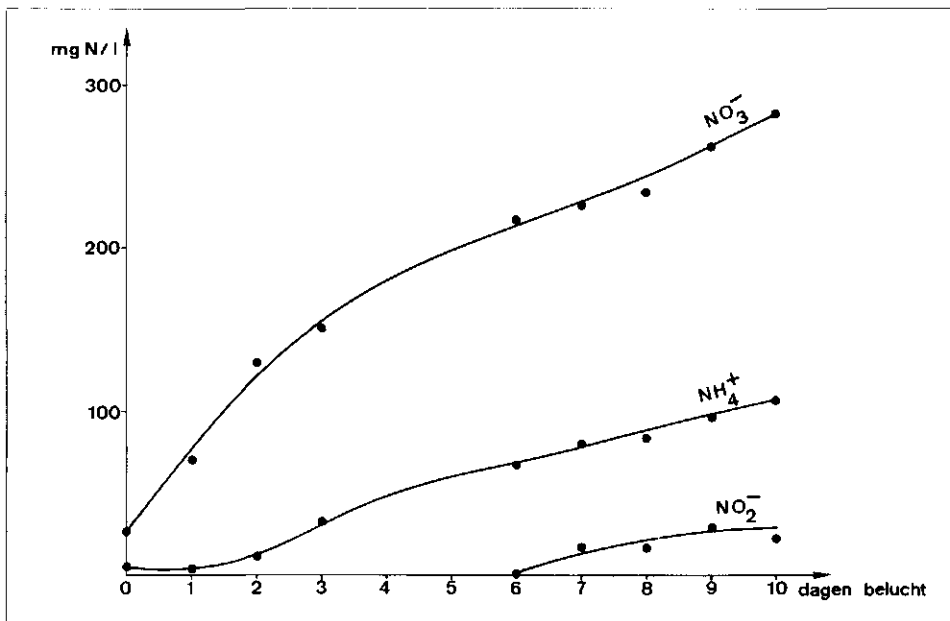
#### 3.2. BOD en COD

De BOD en de COD van het filtraat van vers oxydatiesloot slib zijn vrij laag: de BOD ongeveer 10 à 20 mg O<sub>2</sub>/l, de COD ongeveer 50 à 100 mg O<sub>2</sub>/l. Wanneer dit slib in het labo verder belucht werd, nam de COD gewoonlijk sterker toe dan de BOD. Dit kan verklaard worden doordat bij de aërobie stabilisatie een gedeelte van de micro-organismen afsterft wegens voedselgebrek. Hun celmateriaal gaat in colloïdale oplossing en dient als een nieuwe voeding voor de overlevende micro-organismen. De celwanden zijn echter biologisch niet afbreekbaar zodat de BOD van het filtraat laag is en de COD hoog.

De BOD en COD van het filtraat van een ingedikt slib uit de slibput van een oxydatiesloot zijn veel hoger dan deze van het filtraat van het verse slib uit de sloot zelf: BOD 700 mg/l voor het filtraat van ingedikt slib tegenover 16 mg/l voor het filtraat van het slib uit de sloot, COD 900 mg/l tegenover 83 mg/l. Door het verder beluchten van het ingedikt slib daalt de BOD en COD van het filtraat aanzienlijk,



Afb. 4 - De toename van de COD van het filtraat van surplusslib van een actief slib installatie in functie van de beluchtingstijd.



Afb. 5 - Verloop van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>3</sub> concentratie in functie van de beluchtingsduur van slib.

de laagste waarden (BOD 15, COD 157) werden bereikt op het ogenblik dat er terug ongeveer 10 % O<sub>2</sub> in het slibmengsel aanwezig was (10 dagen beluchten bij lage beluchtingsintensiteit). Indien daarna nog verder belucht werd, stegen deze waarden langzaam tot 42 en 372 mg/l (25 dagen beluchten).

Deze verschijnselen deden zich telkens opnieuw voor wanneer men een slibmonster had dat enkele dagen anaëroob bewaard werd. Indien men dan dit slib op het labo

ook nog anaëroob stockeerde, dan kreeg men voor de BOD en COD zeer hoge waarden. Zo was voor het filtraat de BOD van hetzelfde slib na 5 dagen anaëroob stockeren, gestegen tot 997 en de COD tot 1482 mg/l. Opvallend is dat de verhouding COD/BOD veel kleiner is dan 2 à 2,5 wat men nogal eens aangeeft voor rioolwater; voor een aëroobe stabilisatie is deze verhouding veel groter dan 2,5.

Indien men surplusslib van een actief slib installatie, onmiddellijk na zijn staalname

verder belucht, bekomt men een COD-verloop zoals aangegeven op afb. 4 Na een kleine daling, na de 1ste dag, steeg de COD continu van 80 tot 1370 mg O<sub>2</sub>/l na 10 dagen beluchten. In deze korte beluchtingsperiode is veel celmateriaal uiteengevallen, wat op een verregaande stabilisatie duidt.

### 3.3. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> — NO<sub>2</sub><sup>-</sup> — NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Bij de aëroobe stabilisatie wordt de organisch gebonden stikstof die vrijkomt door de autolyse van de cellen geoxydeerd tot nitraat. In het begin van de stabilisatie wordt alle NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> snel geoxydeerd tot NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Vanaf een nitraatconcentratie van ongeveer 200 mg<sup>-</sup>N/l vertraagt de oxydatiesnelheid en stijgt de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentratie, enkele dagen later begint ook de nitrietconcentratie fel te stijgen (afb. 5). Waarschijnlijk werkt zowel de hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentratie als de lage pH (< 6,5) deze verschijnselen in de hand. De verhoging van de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>concentratie trad op bij een pH < 6. De hoge NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentratie houdt de pH dan op een ongeveer konstante waarde, die gewoonlijk toch lager blijft dan 6.

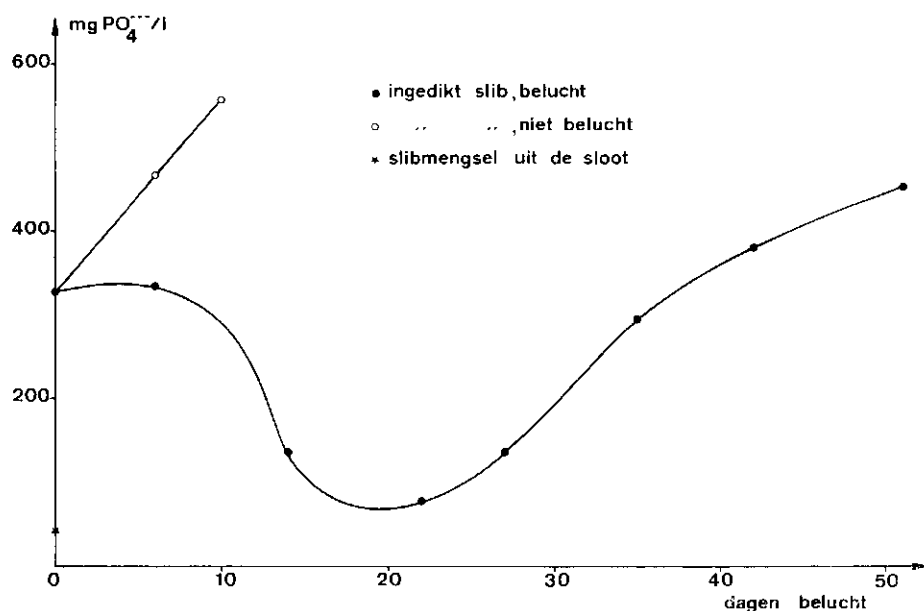
Bij een anaëroobe stockering van het slib treedt er eerst een denitrifikatie op zodat er geen nitraten of nitrieten meer aanwezig zijn, de ammoniumconcentratie stijgt tamelijk snel en bereikt vrij vlug waarden van 100 à 200 mg NH<sub>4</sub><sup>-</sup>N/l.

### 3.4. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Daar een gedeelte van celmateriaal afsterft en in colloïdale oplossing gaat, stijgt de concentratie van de fosfaten in het filtraat van een aëroob gestabiliseerd slib. Deze waarde is natuurlijk afhankelijk van de stabilisatieduur van het slib. Wanneer men echter een slib enkele dagen anaëroob laat, dan stijgt de fosfaatconcentratie zeer snel. Immers, slib dat in niet-gunstige levensomstandigheden verkeert, stoot zijn andenosine trifosfaat (ATP) af; daardoor komen deze fosfaten in het filtraat terecht [8]. Wanneer zo'n slib terug belucht wordt, zal de fosfaatconcentratie eerst gevoelig dalen om daarna langzaam terug te stijgen (afb. 6).

### Besluit

Gedurende de aëroobe stabilisatie van slib vallen de slibvlokken uiteen (lysis van de cellen). Daardoor is de deeltjesstructuur na de aëroobe stabilisatie veel fijner. Het procent organische stof daalt van 75 à 65 % tot ongeveer 50 %. De chemische eigenschappen zoals COD, N, P, S gehalte van het slib blijven tamelijk konstant, pas na zeer lange beluchtingstijden dalen de COD, C, N en stijgt de P concentratie.



Afb. 6 - Verloop van de fosfaatconcentratie in functie van de beluchtingsduur van het slib.

De endogene ademhaling van gestabiliseerd slib, dat voor de staalname aëroob was, moet de 1ste dag lager zijn dan 100 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag en de 2de dag nog slechts 75 mg O<sub>2</sub>/g org. stof dag. Het vetgehalte van een aëroob gestabiliseerd slib met petroleumether in een Soxhlet-apparaat extraheerbaar in twee uur mag niet groter zijn dan 40 mg vet/g org. stof. Bij een verregaand gestabiliseerd slib is deze waarde nog slechts 25 mg vet/g org. stof.

De H<sub>2</sub>S test is onderhevig aan storingen vanwege sulfaat- of ijzerionen. De sulfaat- en ijzerionen zullen de H<sub>2</sub>S productie bespoedigen, de ijzerionen zullen het vrijkomen van H<sub>2</sub>S verhinderen.

Een hoge sulfide concentratie in de voeding kan de slibindex nadelig beïnvloeden. Daar de sulfide concentratie in rottend rioolwater 15 à 20 mg S<sup>=</sup>/l kan bedragen, is het aan te raden het afvalwater zo vers mogelijk in het beluchtingsbekken te brengen. Het zwavelgehalte in het slib is hoger naarmate de sulfide concentratie in de voeding stijgt.

Voor slibbelastingen kleiner dan 0,1 kg BOD/kg droge stof dag kregen wij in onze laboratoriumopstellingen (temperatuur ongeveer 20 °C) een surplusslib dat stabiel was; voor slibbelastingen van 0,1 tot 0,15 kg BOD/kg droge stof dag was het lood-acetaatpapiertje bruin gekleurd na ongeveer 20 dagen, voor slibbelastingen van 0,2 kg BOD/kg droge stof dag was het papiertje reeds na 8 dagen verkleurd. In de praktijk is het toch aan te raden met slibbelastingen te werken die lager zijn dan 0,1 kg BOD/kg

droge stof dag, daar de temperatuur veel lager is en er ook soms grote stootbelastingen optreden. Dat het oxydatiesloot slib dat ingedikt werd in een slibput niet meer voldoet aan de criteria van gestabiliseerd slib kan volgens ons misschien toegeschreven worden aan het ontstaan van een anaëroobe cultuur in de slibput.

Uit de analyse van de samenstelling van het filtraat blijkt dat bij de aëroobe stabilisatie van surplus actief slib of bij het verder beluchten van oxydatiesloot slib de pH kan dalen tot waarden lager dan 5.

De BOD van het filtraat van een aëroob gestabiliseerd slib is laag in vergelijking met die van het slibwater van een anaëroobe slibgisting. Het nitraatgehalte is zeer hoog maar bij een langdurige beluchting wordt het nitrifikatieproces geremd en komen er ook grote hoeveelheden ammoniak en nitrieten in het filtraat. Het gehalte orthofosfaat in het filtraat stijgt gedurende de aëroobe slibstabilisatie.

De verontreiniging van het filtraat is echter vlug tamelijk groot indien men het oxydatiesloot slib gedurende geruime tijd (3 à 5 dagen) laat indikken in een slibput. Zowel de BOD en COD als het NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> gehalte zijn hoog. Het gedeeltelijk stabiele oxydatiesloot slib ondergaat dus toch nog grote structuurveranderingen wanneer men het in een anaëroob milieu bewaart.

Onze proeven leiden tot het besluit dat de eigenschappen van aëroob gestabiliseerd slib moeilijk eenduidig vast te leggen zijn. Wel kan gesteld worden dat de endogene ademhaling zeker lager moet zijn dan

0,1 kg O<sub>2</sub>/kg org. stof dag en dat het vetgehalte lager moet zijn dan 40 mg vet/g org. stof. Van deze twee parameters lijkt ons de endogene ademhaling de belangrijkste.

#### Literatuur

1. Toerien, D. F. en Hatting, W. H. J., *Anaerobic Digestion: I, The microbiology of anaerobic digestion*. Water Research, Vol. 3, (1969), p. 385-416.
2. Katze, J. P., Thiel, P. G. en Hatting, W. H. J., *Anaerobic Digestion: II, The characterisation and control of anaerobic digestion*, Water Research, Vol. 3, (1969), p. 459-494.
3. Pretorius, W. A. *Anaerobic Digestion: III, Kinetics of anaerobic fermentation*. Water Research, Vol. 3, (1969), p. 545-558.
4. Ruffer, H., *Untersuchung zur Charakterisierung aerob-biologisch stabiler Schlämme*. Vom Wasser, (1966), p. 254-282.
5. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 12th ed., American Public Health Association, New York, 1965.
6. Harwood, J. E., Steenderen, R. A. van en Kühn, A. L., *A rapid method for orthophosphate analysis at high concentrations in water*. Water Research, Vol. 3, (1969), p. 417-423.
7. Mann, H. T. en Bright, R. E., nog te publiceren tekst.
8. Notebaert, F. F., Haute, A. A. van, Wilms, D. A., *Ontwatering van aëroob gestabiliseerd slib door vacuümfiltratie*. Ter publicatie ingediend.
9. Fohr, P. G., *De functie van de beluchting in het zuiveringsproces*. H<sub>2</sub>O, 2, (1969), p. 492-498.

