

IN31085.89-08

g e  
g e n e r a t i e r i o o l w a t e r -  
z u i v e r i n g s i n r i c h t i n g e n

rwzi  
2000

---

R09-08

## **SYMPOSIUM 'RWZI 2000'**

**d.d. 5 oktober 1989**

# **DBW/RIZA**

rijkswaterstaat  
dienst binnenwateren/riza

postbus 17, 8200 AA IJlstad 03200-70411



stichting toegepast onderzoek  
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-512710

Toekomstige

uiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectleiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70467



## SYMPOSIUM "RWZI 2000"

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

De stand van zaken

5 oktober 1989, Reehorst Ede

NVA - RWZI 2000

RWZI 2000 89-08

25 OKT 1989



0000 0403 1700

Het onderzoek "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000" is een samenwerkingsverband van de STORA en Rijkswaterstaat (DBW/RIZA).

1501 01/03 \*

## VOORWOORD

Het project "Toekomstige Generatie Rioolwater Zuiveringsinrichtingen", kortweg RWZI 2000, loopt nu circa anderhalf jaar. Het lijkt mij een goede zaak de buitenwereld regelmatig over de stand van zaken van het project te informeren.

Op 5 oktober is in "De Reehorst" te Ede in samenwerking met programma-groep III van de NVA een presentatie van enkele deelonderzoeken van het project gegeven. De voordrachten zijn gebundeld in het eerste gedeelte van het voorliggende rapport.

In het tweede gedeelte wordt inhoudelijke informatie gegeven over de voortgang en de resultaten van de deelonderzoeken van het project RWZI 2000. De peildatum is 1 november 1989. De deelprojecten zijn genummerd overeenkomstig onderzoeksplan en jaarverslag 1988. Bij elk deelproject is aangegeven de inhoud en opzet, uitvoering en begeleiding, een omschrijving en voortgang van het onderzoek. Bij een aantal projecten nemen STORA en DBW/RIZA vanuit RWZI 2000 samen met andere instanties deel aan het onderzoek.

Lelystad, december 1989

Voor de Stuurgroep RWZI-2000

dr. J. de Jong  
(voorzitter)

## **I VOORDRACHTEN NVA-DAG**

## Ontwikkelingen en nieuwe inzichten in de toekomstige rwzi's gepresenteerd

'Het jaar 2000', dat klinkt alsof het om iets in de verre toekomst gaat. Maar dat jaar ligt nog maar een decennium van ons verwijderd. En zeker in het project rwzi 2000, een gezamenlijk project van STORA en DBW/RIZA, is er geen sprake van futurisme. Dat zei drs. E. R. Dingemans als dagvoorzitter van het NVA-symposium dat op 5 oktober jl. over het bewuste project werd gehouden in de Reehorst te Ede.

Er was voor het symposium een ruime belangstelling, zo ruim dat in een late fase van de voorbereidingen nog naar een grotere zaal moest worden uitgeweken: ca. 200 deelnemers volgden de voordrachten, waarin de verwerking van zuiveringsslib centraal stond. Die belangstelling was wel begrijpelijk, omdat na een algemene inleiding door de projectleider, ir. W. van Starckenburg, ingegaan werd op de stand van zaken in een aantal deelonderzoeken van het project. Hieronder geven we de samenvattingen van de voordrachten.

### 1. Inleiding: het project rwzi 2000

ir. W. van Starckenburg  
(Dienst Binnenwateren/RIZA)



De nieuwe eisen op het gebied van effluentkwaliteit en slibsamenvatting stellen de waterkwaliteitsbeheerders voor grote problemen. Dat geldt niet alleen in technische zin.

Er zal ook gepoogd worden om de kosten van het zuiveren van afvalwater verder te beperken. Voor een aantal problemen zijn de oplossingen niet voorhanden.

Onderzoek is hiervoor nodig. In 1988 is door de waterkwaliteitsbeheerders en de Rijksoverheid besloten dit onderzoek te bundelen. Dit heeft geleid tot een meerjarig onderzoeksproject. Dit project, Toekomstige Generatie Riolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi 2000) genaamd, heeft een looptijd van vijf jaar en wordt uitgevoerd door de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) en de Dienst Binnenwateren/RIZA (ministerie van Verkeer en Waterstaat).

De doelstelling van het project rwzi 2000 is om nieuwe technologieën te ontwikkelen die beter geschikt zijn om in te spelen op toekomstige problemen. Kortweg komt het er op neer dat voor de toekomst geldt dat de huidige effluent- en slibkwaliteit tegen lagere kosten bereikt moet worden of dat de kwaliteit wordt verbeterd tegen lagere kosten dan met de huidige technieken mogelijk zou zijn.

Om vast te stellen in hoeverre een dergelijke doelstelling haalbaar is, is in 1987 een uitgebreide haalbaarheidsstudie afgerond. In deze studie zijn een groot aantal zuiveringsprincipes op zowel hun technische als financiële merites beoordeeld. De resultaten van deze studie waren positief. Volgens de berekeningen was bovenvermelde doelstelling haalbaar. Vervolgens zijn de resultaten verwerkt in een onderzoeksplan.

De opzet van het project rwzi 2000 is sterk geleid door de knelpunten die rond het zuiveren van afvalwater zijn ontstaan gedurende de laatste tien jaar. Deze knelpunten laten zich in twee probleemvelden onderverdelen:

- de waterzuivering;
- de slibverwerking.

Op deze gebieden wordt de komende jaren onderzoek verricht. De aard van de onderzoeken is te onderscheiden in toegepast en fundamenteel. Binnen het toegepaste onderzoek wordt gekeken naar technologieën die reeds met succes worden toegepast bij de industrie of voor huishoudelijk afvalwater in het buitenland. Het doel is vast te stellen in hoeverre een Nederlandse toepassing zinvol is. In het onderstaande zijn voorbeelden gegeven van zowel toegepaste als fundamentele onderzoeken.

In de periode 1988-1989 zullen een groot aantal onderzoeken worden uitgevoerd om de doelstellingen van dit project te verwezenlijken. Voor de uitvoering is een bedrag beschikbaar van 10 miljoen gulden.

### 2. Vermindering van de slibproductie

prof. dr. S. A. L. M. Kooijmans i.s.m.  
A. H. Stouthamer (Vrije Universiteit  
Amsterdam, Biologisch Laboratorium)



Het begin dit jaar aangevangen onderzoek naar de mogelijkheden om de slibvorming bij de zuivering van huishoudelijk afvalwater te verminderen begeeft zich langs

twee paden.

De eerste aanpak is te trachten een reactor met bijbehorende bedrijfsvoering zo te ontwerpen dat:

1. geselecteerd wordt op soorten bacteriën die veel energie nodig hebben om hun biomassa te vermeerderen, dan wel veel energie moeten steken in hun routine metabolisme. In de gebruikelijke installaties wordt onbedoeld juist geselecteerd op soorten die weinig energie behoeven te besteden aan hun routine metabolisme, en die zeer efficiënt zijn in

de productie van biomassa;

2. omstandigheden optreden waaronder de aanwezige bacteriën, ongeacht de soort, weinig groeien en de uit het substraat vrijgemaakte energie voornamelijk besteden aan het routine metabolisme. Dit vindt vooral plaats als de hoeveelheid substraat per bacterie zeer gering is, dus onder hoge concentraties van actieve biomassa.

Het voornaamste probleem in deze aanpak is ervoor te zorgen dat de verhouding actief/niet-actief slib gunstig hoog blijft, wel mogelijk condities oplevert voor fluctuaties in het substraataanbod, betrokken op de hoeveelheid slib in de installatie. In zogenaamde recyclingfermentoren is het reeds gelukt in een proef van ruim 1 maand een hoge graad van mineralisatie van het substraat te verkrijgen zonder netto biomassa-vorming. Wel traden sterke schommelingen van de biomassa-concentratie op. De oorzaak van deze schommelingen wordt nader onderzocht in verband met de stabiliteit van het afbraakproces.

De tweede aanpak is te trachten de gevormde biomassa te laten consumeren door organismen als ciliaten, rotiferen en oligochaeten op een manier die de substraatafbraak niet negatief beïnvloedt. Bij deze omvorming van bacterie-biomassa naar andere biomassa gaat energie en dus biomassa verloren en treedt verbetering van de resterende slibkwaliteit op in termen van afzinkbaarheid. Op dit moment wordt gezocht naar adequate laboratorium-opstellingen en een bruikbaar theoretisch kader om de haalbare biomassa-reductie te evalueren en stabiliteitsonderzoek te richten.

### 3. Slib op poreuze drager

ir. D. H. Eikelboom (TNO-MT, Delft)



Door de introductie van dragermaterialen in actief-slibinrichtingen, kan de hoeveelheid biomassa in deze systemen (aanmerkelijk) worden vergroot. Hierdoor kunnen, bij gelijk-

blijvende zuiveringsprestaties, hogere volumebelastingen toegepast worden. Daarnaast zullen langzaam groeiende micro-organismen zich via hechting kunnen handhaven, onafhankelijk van de slibleeftijd en de hydraulische verblijftijd. In opdracht van de Dienst Binnenwateren/RIZA en het Ministerie VROM heeft MT-TNO de toepassingsmogelijkheden van het Linpor-proces onderzocht. Hierbij worden kubusvormige sponsjes (grootte ca. 2,5 cm<sup>3</sup>; porositeit 97%) van



Grote belangstelling voor rwwz 2000.

polyurethaanschuim als drager toegepast, in de beluchtingsruimte of in een aparte tank voor nitrificatie van het effluent. Er werden experimenten uitgevoerd op 600 l en op 18 m<sup>3</sup> schaal. De installaties waren voor maximaal 20 vol.% gevuld met sponsjes. Ze werden gevoed met stedelijk afvalwater. In de actief-slibsystemen werd de hydraulische verblijftijd gevarieerd van 4,8 tot 8 uur, in de nazuivering van 0,7 tot 1,8 uur.

Het droge-stofgehalte in de sponsjes nam in eerste instantie vrij snel toe tot 10 à 15 kg ds/m<sup>3</sup> spons, vervolgens steeg dit geleidelijk verder tot 25 à 30 kg ds/m<sup>3</sup> spons. Dit ging, in vergelijking tot de zuiveringsresultaten van een referentie-installatie, gepaard met:

- een wat betere CZV-verwijdering;
- een duidelijk betere nitrificatie, vooral bij lagere temperaturen waren de verschillen opmerkelijk;
- een lagere slibvolume-index en een stabiel proces.

Bij activiteitsmetingen werd vastgesteld dat op de sponsjes een relatief grote nitrificerende populatie aanwezig was. Desondanks nam de nitrificatie in een andere reactor sterk af, nadat de belasting was verhoogd tot > 2 kg CZV/m<sup>3</sup>.dag. Qua zuiveringsprestaties en processtabiliteit verschilden een proefopstelling volgens het A/B-Verfahren en een reactor met sponsjes nauwelijks van elkaar.

Bij proeven met een nazuivering werd een hoge nitrificatie-activiteit (5 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/g ds·uur) op de sponsjes vastgesteld.

De slibproductie werd niet beïnvloed door de toevoeging van sponsjes.

Het Linpor-proces biedt dus wel bepaalde

perspectieven, vooral voor het verbeteren van de zuiveringsprestaties van een wat overbelaste actief-slibinstallatie. De hoge kosten (circa DM 300,-/m<sup>3</sup> aërietank) vormen echter een groot nadeel.

#### 4. Biologische defosfatering

ir. T. W. M. Wouda

(GTD Oost-Brabant, Boxtel)



Het effluent van de rwwz Eindhoven (750.000 i.e.) wordt geloosd op het riviertje de Dommel en bepaalt in belangrijke mate de waterkwaliteit. Doordat de Dommel in het

WKBP is aangewezen als één van de wateren met de functie natuur zullen vergaande stikstofverwijdering, naast defosfatering en voorkomen van slibuitspoeling binnen enkele jaren moeten worden gerealiseerd. Bij de keuze van de defosfateringstechniek wordt veel belang gehecht aan minimalisering van de extra (anorganische) slibproductie. Dit wegens de plannen tot het bouwen van een centrale slibverbrandingsinstallatie in Oost-Brabant.

Op grond van deze argumenten is gekozen voor toepassing van biologische defosfatering in een deelstroom van het slibretourcircuit.

Het project is opgesplitst in vier delen, waarvan het eerste deel - batch-experimenten - is afgerond. Het tweede deel - experimenten op pilot-plant schaal - is nu in uitvoering en bestaat uit 5 fasen:

- tijdens fase 1 is de pilot-plant gestart,

waarbij nog geen defosfatering wordt nagestreefd;

- in fase 2 werd de stripperlijn ingeschakeld en is de defosfatering op gang gebracht;

- tijdens fase 3 wordt door middel van het toevoegen van natriumacetaat (NaAc) gestreefd naar optimalisatie, waarbij met name de slibstroom en de verblijftijd in de strippertank worden verkleind;
- in fase 4 en 5 zal in plaats van NaAc voorverzuurd slib worden gedoseerd, wordt het aanvoerdebiet gevarieerd en zal P-verwijdering uit de geconcentreerde deelstroom worden geïnstalleerd.

Hoewel het onderzoek nog in volle gang is, zijn reeds enkele deelconclusies te formuleren:

- effluentconcentraties < 1 mg P/l zijn in de gekozen procesuitvoering haalbaar;
- onder de toegepaste CZV-belastingcondities blijkt simultane nitrificatie en denitrificatie moeilijk haalbaar;
- de slibvolume-index is stabiel en varieert tussen 110 en 150 ml/g.

#### 5. Toepasbaarheid van het Deep Shaft systeem voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater

ir. E. Eggers (DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, Amersfoort)



Het Deep Shaft systeem is in de jaren 1973-1974 door de Agricultural Division van ICI in Engeland ontwikkeld. Na aanvankelijk optimisme over het systeem, waarbij ook in

NVA-verband naar de toepasbaarheid in Nederland is gekeken, bleef een doorbraak uit.

De laatste jaren is de belangstelling voor systemen met diepe reactoren om diverse redenen toegenomen. In Engeland is in 1985 de grootste rwwz volgens het Deep Shaft principe in gebruik genomen, nadat vrij ingrijpende wijzigingen aan het oorspronkelijke concept waren aangebracht.

Het Deep Shaft systeem is een actief-slibstelsysteem, waarbij de beluchtingstank is uitgevoerd als een kolom van 30 tot 150 m diepte. In de kolom bevinden zich twee kanalen. Door het ene kanaal stroomt het afvalwater/-slibmengsel naar beneden ('de downcomer'), door het andere weer naar boven ('de riser'). Op enige diepte wordt in de 'downcomer' lucht geïnjecteerd voor het instandhouden van de circulatie en voor de zuurstofvoorziening van het actief slib.

De oorspronkelijke ontwerper heeft als voordelen geclaimd:

- besparing ruimtegebruik;
- laag energiegebruik/hoge zuurstof-overdracht;
- lage investeringskosten;
- weinig milieubelasting;
- zeer lage SVI.

In 1988 waren er in de wereld 46 rwzi's van het Deep Shaft type in werking. Verreweg de meeste staan in Japan.

Aan de hand van de elders opgedane ervaring is de mogelijke toepasbaarheid voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater in Nederland beschouwd, waarbij een viertal criteria is aangehouden:

1. effluent- • BZV  
kwaliteit • zwevende stof  
• stikstofverbindingen
2. kosten
3. slibproductie en -ontwaterbaarheid
4. ruimtegebruik.

Het is te verwachten dat toepassing van de Deep Shaft in Nederland slechts in zeer specifieke gevallen aantrekkelijk zal zijn.

## 6. Multireactor Wageningen

ir. J. B. Kok (Multireactor BV, Hillegom)



In het kader van het DBW/RIZA-project rwzi 2000 is Multireactor BV uitgenodigd voor 2,5 jaar onderzoek te verrichten naar de optimalisatie van de multireactor voor de

behandeling van huishoudelijk afvalwater. Het principe van de multireactor is voortgekomen uit onderzoek aan de Landbouw Universiteit Wageningen. Het patent berust bij het in 1982 opgerichte ingenieursbureau Multireactor BV. Van 1983 tot en met 1985 is door het bureau onderzoek verricht aan een prototype en een daaruit voortgekomen semi-praktijkschaal installatie (1.500 i.e.). Met de opgedane ervaringen kon in 1986 worden gestart met de bouw van de eerste praktijkschaal Multireactor (10.000 i.e.) bij het vleeswarenbedrijf Compaxo in Gouda. Momenteel zijn drie multireactoren operationeel bij levensmiddelen-industrieën.

De multireactor is een actief-slibinstallatie, gekenmerkt door een beluchtingsruimte in de vorm van een diepe schacht (20-60 m) en een slib/waterscheiding door middel van flotatie. Bovenin de schacht worden influent en retour-slib toegevoegd, onderin vindt de beluchting plaats. Van onderuit de schacht wordt het inmiddels biologisch gezuiverde slib/watermengsel via een stijgbuis naar de bovenop de schacht geplaatste flotatie-eenheid gevoerd.

In de flotatie-eenheid komen door oververzadiging microbelletjes vrij. Het slib/watermengsel is immers in de schacht onder druk (2-6 bar) met lucht verzadigd geraakt en is dus onder de atmosferische condities in de flotatie-eenheid oververzadigd. De microbelletjes zorgen voor opdrijven van het slib. Ter vervollediging van de flotatie wordt een deel van het effluent in een drukvat (ca. 5 bar) verzadigd met lucht en onderin de flotatie-eenheid via een nozzle aan het slib/watermengsel toegevoegd. De ontstane drijfslag wordt afgeroomd door een schrapermechanisme. Het geklaarde water wordt via een duikschot onderin de flotatie-eenheid afgevoerd. De zuiveringsrendementen (BZV, NKj) van de multireactor zijn gelijk aan laag tot zeer laag belaste actief-slibsystemen. De energiekosten voor de beluchting liggen op eenzelfde niveau als conventionele installaties (ca. 2 kg O<sub>2</sub>/kWh).

Voordelen van het multireactorsysteem ten opzichte van conventionele systemen zijn:

- 15-20 maal minder oppervlak nodig dan aëratietank en bezinkingstanks van conventionele installaties,
- klein aëratievolume: dankzij het hoge retour-slibgehalte kunnen slibgehalten van 8-10 g/l in de schacht worden gehandhaafd,
- geen licht slib problemen,
- hoge slibindikking (5%), doordat flotatie zich voortzet in spuislibbuffer,
- milieumaatregelen (stank, aerosolen en geluid) eenvoudig te nemen door kleine oppervlak,
- korte bouwtijd (4 maanden voor installatie 10.000 i.e.),
- volledig computergestuurde procesregeling.

Er is een aantal essentiële verschillen met het Deep Shaft proces. De Deep Shaft is als het ware een verticale hoge flow oxydatiesloop, waarbij de stroming door de beluchting (dichtheidsverschillen) tot stand worden gebracht. De multireactor is een sterk gemengde propstroom-reactor, waarbij doorstroming wordt verkregen door influent- en retour-slibpompen. Terwijl bij het multireactorproces juist gebruik wordt gemaakt van de optredende flotatie van het slib uit de schacht, wordt bij de meeste Deep Shaft installaties het slib ontgast om vervolgens te bezinken (groot deel van de ruimtewinst gaat hiermee verloren). Bij het Deep Shaft proces is alleen bij naschakeling van een afzonderlijke beluchtingstank nitrificatie mogelijk. De multireactor nitrificeert zonder extra maatregelen goed.

Het onderzoek dat door Multireactor BV in het kader van het project rwzi 2000

wordt uitgevoerd is getiteld 'Behandeling van stedelijk afvalwater met behulp van het multireactorsysteem'. Voor het onderzoek is op de oude proeflocatie naast de proefhal waterzuivering van de Landbouw Universiteit Wageningen opnieuw een semi-praktijkschaal multireactor opgebouwd. Uit vorige onderzoeken van Multireactor is aangetoond dat de biologische zuivering van huishoudelijk afvalwater zeer goed mogelijk is. Voorwaarde hierbij was echter een redelijk, constante belasting van de flotatie-eenheid. In praktijksituaties zullen echter debietsvariëaties tot 500% goed mogelijk zijn (DWA/RWA). Onderhavig onderzoek zal zich dan ook concentreren op een nieuwe, door Multireactor ontwikkelde, flotatie-eenheid. In deze flotatie-eenheid kan het waterniveau worden geregeld door middel van een modulerende afsluiter. Het waterniveau in de flotatie-eenheid bepaalt de dikte van de slibkoek boven water (de slibgoot blijft op constant niveau). De dikte van de slibkoek bepaalt de verblijftijd van het slib in de flotatie-eenheid en hiermee de retour-slibconcentratie. Bij verhoging van het influentdebiet zal het waterniveau worden verlaagd en bij verlaging van het debiet worden verhoogd. Onder (gesimuleerde) praktijkomstandigheden zal worden onderzocht welke debietsvariëaties en hydraulische/droge-stofbelastingen de flotatie-eenheid kan verwerken. Begin september is de installatie opgestart. Onderzoeksresultaten zijn nog niet beschikbaar. De huidige zuiveringsresultaten zijn goed (90% nitrificatie).

## 7. Karakterisering en ontwatering van zuiveringsslibben

dr. ir. W. J. Coumans i.s.m. prof. dr. ir. P. J. A. Kerkhof (Technische Universiteit, Eindhoven)



In Nederland (maar ook daarbuiten) zullen de mogelijkheden voor afzet van slib, al dan niet ontwaterd, in de landbouw en op stortplaatsen in de nabije toekomst sterk ver-

minderen. De optie slibverbranding wordt daardoor steeds belangrijker. Vanwege deze ontwikkelingen wordt het steeds belangrijker te komen tot een zo groot mogelijke reductie van volume en massa van het slib. Bovendien wil men in verband met ruimtelijke ordeningsproblemen ook het ruimtebeslag van rwzi's minimaliseren. Met betrekking tot het slibontwateringsproces betekent bovenstaande, dat met zo



laag mogelijke kosten gestreefd dient te worden naar:

- zo hoog mogelijke eind-droge-stof-gehalten en/of
- sneller ontwateren in kleinere apparaten.

Onderzoek aan rioolwaterzuiveringsinstallaties werd tot nog toe gekenmerkt door een sterke aandacht voor proces-optimalisaties. Volgens 'rwzi 2000' blijkt dat zonder fundamenteel gerichte onderzoeken geen nieuwe doorbraken in het zuiveringsproces te verwachten zijn. In het kader van bovengenoemde problematiek heeft de groep van prof. Kerkhof een onderzoeksvoorstel met betrekking tot de *mechanische ontwatering van zuiveringsslibben* geformuleerd. Het voorgestelde onderzoek beoogt meer inzicht en kennis van het ontwateringsgedrag van zuiveringsslibben te verwerven, door de volgende twee deelonderzoeken:

1. slibkarakterisering. Hierbij gaat het om het vaststellen van slibeigenschappen die wezenlijk geacht worden voor een goed begrip van het ontwateringsproces. Met name wordt hier gedacht aan: samenstelling van slib, colloïd-chemische grootheden, kenmerken van vaste stof-deeltjes, slib/waterbinding en de tijdsafhankelijkheid van voorgenoemde eigenschappen;
2. vast/vloeistofscinding bij zuiverings-slibben. Dit deelonderzoek zal zich richten op het ontwikkelen en experimenteel verifiëren van fysisch-/mathematische rekenmodellen voor filtratieprocessen, waarbij tengevolge van deformeerbare deeltjes sterk comprimeerbare filterkoecken worden gevormd.

## 8. Slibverwerking door middel van het 'Carver Greenfield droogproces' en het 'VerTech natte oxydatieproces'

dr. ing. W. H. Rulkens (Landbouw Universiteit Wageningen)

(In samenwerking met dr. ir. A. Rinzema, ing. F. van Voorneburg, ir. J. R. A. G. Schepman)



In het kader van het project rwzi 2000 wordt door TNO en Witteveen + Bos een studie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van het 'Carver-Greenfield droogproces' en

het 'VerTech natte oxydatieproces' voor het verwerken van zuiveringsslib op een Nederlandse rwzi met een zuiveringscapaciteit van 200.000 i.e. en een slibverwerkingscapaciteit, overeenkomend met 500.000 i.e. (een hoeveelheid slib

overeenkomend met 300.000 i.e. wordt van elders aangevoerd). In de studie wordt aandacht besteed aan het principe van deze systemen, de status van deze systemen, de energie- en milieu-aspecten en de inpassing van deze systemen in een bestaande rwzi. Verder wordt er een analyse gemaakt van de verwerkingskosten waarbij de invloed van onder andere de verwerkingscapaciteit, de bedrijfstijd en het droge-stofgehalte van het slib wordt vastgesteld door middel van een gevoeligheidsanalyse.

Het *Carver-Greenfield proces* berust op het principe van meertrapsindamping waarbij de hete damp uit de ene verdampertap wordt gebruikt als energiebron voor de volgende verdampertap. Bij het proces wordt gebruik gemaakt van een niet met water mengbare, hoogkokende drager-vloeistof (olie) waarin het slib wordt gesuspenderd. Deze dragervloeistof zorgt ervoor dat tijdens het indampproces het te drogen slib vloeibaar blijft. Na het indampproces, dat meestal in drie of vier trappen wordt uitgevoerd, worden slib, droge stof en dragervloeistof mechanisch gescheiden. Het eindproduct bestaat uit droog slib. Wat betreft de keuze van de dragervloeistof kan onderscheid worden gemaakt tussen een lichte olie-variant en een zware olie-variant.

Bij de lichte olie-variant bedraagt het rest-oliegehalte in het slib enkele procenten en wordt primair gedacht aan het storten van het slib. In principe kan een lichte olie worden gekozen die niet toxisch en microbiologisch afbreekbaar is. Bij de zware olie-variant bedraagt het olie-gehalte 10 à 30% en wordt primair gedacht aan slibverbranding.

Uit de studie blijkt dat, uitgaande van voorontwaterd slib met een droge-stofgehalte van 20% en een verwerkingscapaciteit overeenkomend met 500.000 i.e., de kosten van zowel de lichte als de zware olie-variant circa f 685,- per ton droge stof bedragen. Bij de lichte olie-variant zijn de storkosten hierbij inbegrepen.

Bij een capaciteit van 1.800.000 i.e. bedragen de kosten van de lichte olie-variant f 430,- per ton droge stof. Indien voor de Carver-Greenfield installatie de nieuwe Richtlijn Verbranden (augustus 1989, van toepassing wordt verklaard, zullen de hier vermelde kosten iets hoger uitvallen.

Het *VerTech-proces* berust op de oxydatie van organische slibcomponenten in de waterfase met behulp van zuurstof bij verhoogde temperatuur (> 260 °C), en druk (circa 100 bar). Het proces wordt uitgevoerd in een circa 1.200 m lange, ondergrondse pijpreactor. Onderin de pijp

wordt de benodigde druk bereikt door het gewicht van de bovenstaande vloeistofkolom. Door de toevoer en afvoer van de pijpreactor uit te voeren via een systeem van concentrische buizen wordt tevens een efficiënte uitwisseling van reactiewarmte tussen in- en uittrekkende slibstroom verkregen.

De natte oxydatie is er primair op gericht de hoeveelheid slib droge stof te reduceren en de ontwatering van het resterende slib te verbeteren door een belangrijk deel van de aanwezige organische stof te oxyderen. Stikstofverbindingen worden daarbij omgezet in ammoniak. Het resterende slib dat hierbij ontstaat, bestaat voornamelijk uit as en kan na ontwatering tot 50% droge stof worden gestort.

Uit de studie blijkt dat, uitgaande van slib met 5% droge stof, de uiteindelijk te storten hoeveelheid slib na behandeling met het VerTech-systeem 25 à 30% bedraagt van de hoeveelheid slib die resteert bij een conventionele mechanische ontwatering met een filterpers. Het deeltjesvrije effluent uit het VerTech-proces moet worden nagezuiverd ter verwijdering van CZV en N-Kjeldahl. Voor een slibverwerkingscapaciteit overeenkomend met 500.000 i.e. bedragen de verwerkingskosten, inclusief de storkosten, circa f 925,- per ton droge stof. Verhoging van de capaciteit tot 1.800.000 i.e. resulteert in een daling van de verwerkingskosten tot f 520,- per ton droge stof. Een verdere kostendaling is mogelijk door verhoging van de bedrijfstijd.

De studie bevindt zich nog in de afrondingsfase. Bovengenoemde cijfers moeten dan ook als voorlopig worden beschouwd.

## 9. Elektro-akoestische ontwatering van zuiveringsslib

ing. I. H. Smith (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden)



Autotherme verbranding en storten van zuiveringsslib vereisen een slibkoeck met een droge-stofgehalte van minstens 28, respectievelijk 35%. Met de huidige

ontwateringstechnieken worden doorgaans niet zulke hoge droge-stofgehalten verkregen. De Columbus Division van Battelle (Columbus, Ohio, USA) heeft ontdekt dat de effectiviteit van het ontwateringsproces kan worden verbeterd door het toepassen van een elektrisch veld in combinatie met ultrasonore energie: elektro-akoestische ontwatering (EAD).

Bij het aanbrengen van een elektrische spanning over de slib suspensie vindt transport plaats van water naar de kathode terwijl de vaste stofdeeltjes worden afgestoten. De hoogfrequent geluidsgolven bevorderen het vrijkomen van het water tegen de persdruk in en het agglomereren van de slibdeeltjes. Deze techniek laat zich goed inpassen in zeebandpersen.

In 1988 zijn er in Nederland op laboratoriumschaal proeven gedaan met een aantal aëroob en anaëroob gestabiliseerde slibben.

De belangrijkste conclusies waren:

- ontwatering tot 48% droge stof mogelijk;
- bij ontwatering tot 30% droge stof is de extra energie voor EAD geringer dan de energie die nodig is voor droging; het specifiek energieverbruik is minder dan 0,15 kWh/kg extra verwijderd filtraatwater;
- met betrekking tot het energieverbruik verdient het de voorkeur het slib zover mogelijk voor te ontwateren;
- de toepassing van ultrasonore energie in combinatie met elektrische energie is economischer dan het toepassen van elektrische energie alleen;
- bij verhoging van de flocculant dosering neemt het energieverbruik toe.



## VOORWOORD

Na het jaar 2000 zal alles anders zijn.

Met deze gedachte hebben futurologen ons decennia lang achtervolgd.

Daardoor is het jaar 2000 bijkans een magisch begrip geworden, ondanks het feit dat de aanvechtbare keuze voor het tientallig stelsel hierin een niet onbelangrijke rol speelt. Inmiddels is het bijna 1990, en nu 2000 de realiteit van de nabije toekomst blijkt te zijn begint het allengs iets van zijn magie te verliezen.

De titel van het project: RWZI 2000 zal voor velen nog een futuristische klank hebben. Zij slaat echter wel degelijk op ontwikkelingen die voor de nabije toekomst van belang zijn.

Op 5 oktober 1989 werd door programmagroep 3 van de Nederlandse Vereniging voor Afvalwaterbehandeling en Waterkwaliteitsbeheer (N.V.A.) in nauwe samenwerking met ir. W. van Starckenburg, projectleider van RWZI 2000, een symposium georganiseerd met als oogmerk het project te presenteren aan de hand van een algemeen overzicht en een aantal aansprekende deelprojecten. Het is uiteraard niet mogelijk geweest in het tijdsbestek van één dag een compleet beeld van het project te geven. Daarom is er voor gekozen om naast enkele inleidingen met betrekking tot fundamenteel onderzoek in ieder geval die onderwerpen te belichten waar concrete resultaten geboekt zijn.

Opvallend, maar niet verwonderlijk, is dat slib in het programma een centrale positie inneemt.

Soms lijkt het dat slib alleen maar die hinderlijke reststof is waarmee de waterzuiveraar zo hevig geplaagd wordt. Slib is echter in de eerste plaats het onvervangbare medium dat zo belangrijk is voor het zuiveringsresultaat. Het vormt de kern van het biologische proces, en menig afvalwatertechnoloog beseft nauwelijks dat hij daarmee in feite het tegenwoordig meer aansprekende vak van de biotechnologie beoefent. Juist dit vakgebied ontwikkelt zich snel en mettertijd zal dat ook zijn weerslag hebben op de afvalwaterzuiveringstechnologie. Het tamelijk ambachtelijke bedrijf zoals het nu is kan zich daarmee ontwikkelen tot een modern biotechnologisch proces.

Zal na het jaar 2000 in de afvalwaterzuivering dan toch alles anders zijn? Niet alles, maar misschien wel veel. Het project RWZI 2000 wil daar in ieder geval het nodige toe bijdragen.

De voorzitter van N.V.A.III  
drs. E.R. Dingemans

## RWZI 2000 IN BREDER PERSPECTIEF

Ir. W. van Starckenburg  
(DBW/RIZA)

Het zuiveren van afvalwater is een betrekkelijk oude activiteit. De eerste zuiveringsinstallaties dateren van ruim voor 1900. Hoewel de fundamentele kennis over het zuiveren van afvalwater op een veel lager peil stond dan op dit moment zien we ook in die beginjaren al zuiveringstypen die ook heden ten dage nog worden gebouwd. Door de jaren heen zien we zuiveringstypen komen en gaan. De keuze van het type zuivering lijkt zelfs aan mode onderhevig. Een voorbeeld is het oxydatie-bed. Het oxydatie-bed is in de loop van honderd jaar diverse malen verguisd maar toch telkenmale weer omarmd. Een twintig jaar geleden dachten velen toch zeker te weten dat het oxydatie-bed had afgedaan. De slechte prestaties in de winter waren hier debet aan. Tien jaar later werden er echter weer oxydatie-bedden gebouwd nu als eerste stap in aërobe tweetraps installaties. De opkomst van tweetraps actiefslibsystemen verhinderde echter een nieuwe doorbraak. Op dit moment wordt weer gedacht over nageschakelde oxydatie-bedden voor de nitrificatie en denitrificatie. En zoals de mode zich elke zoveel jaar herhaalt zien we iets vergelijkbaars bij de keuze voor het type zuiveringsinstallatie. Hier komt echter wel bij dat de keuze zich voor een groot deel laat sturen door de gestelde milieu-eisen. Vergelijkbare verhalen zijn er te houden voor actiefslib systemen en oxydatiesloten. Dit heeft alles naar mijn idee te maken met de zeer geringe verschillen tussen de systemen. De biologische afbraak van afvalwater is gebaseerd op de afbraak van afvalstoffen door bacteriën. Zolang de bacterie-soorten gelijk blijven alsmede de omstandigheden waaronder deze hun werk moeten doen, mag niet verwacht worden dat systeem modificaties tot zeer grote verschillen in bijvoorbeeld kosten zullen leiden. Het zijn dan vooral de plaatselijke omstandigheden en natuurlijk ook de milieu-eisen die de keuze bepalen. Een historisch voorbeeld in dit verband is het plan voor rioolwaterzuiveringen in de Rotterdamse regio. Drie installaties die gelijk van opzet zouden worden. Door ze na elkaar te bouwen zouden betonbekistingen kunnen worden hergebruikt, slechts éénmaal zouden de ontwerpkosten betaald moeten worden en dergelijke. Kortom, het aantal voordelen aan een dergelijke werkwijze was legio. De drie installaties zijn zeer verschillend geworden. Ze verschillen zelfs meer dan welk drietal installaties in Nederland dan ook. De lokale omstandigheden hebben daarbij een zeer belangrijke rol gespeeld. Op dat moment gaan de kosten een belangrijke rol spelen. Hoewel vooraf het identieke bouwen goedkoper leek, moest erom lokale omstandigheden van worden afgeweken.

Aanvankelijk was het zuiveren van afvalwater een betrekkelijk ambachtelijk activiteit. Het zuiveringsbedrijf ging uit van de empirische aanpak. Door jarenlang op dezelfde wijze te werk te gaan, konden goede resultaten worden geboekt. De zuiveringsresultaten waren goed ondanks een groot gebrek aan fundamentele gegevens. Het systeem werkte, alleen de waterzuiveringstechnoloog wist niet exact hoe.

De laatste jaren is men hiermee niet meer tevreden. Het besef is gegroeid dat het zeer voordelig kan zijn als het systeem ten volle wordt begrepen. Met deze instelling is het kennisniveau de laatste jaren geweldig omhoog gegaan. Dat moest ook wel omdat de nieuwe eisen meer kennis vereisen.

Door de scherper wordende eisen zijn de momenteel beschikbare technieken niet meer voldoende in staat om aan die eisen te voldoen. Hier komt nog bij dat getracht moet worden de kosten die aan het zuiveren zijn verbonden, te verlagen. Er is daarom behoefte aan nieuwe technologieën. Deze nieuwe technologieën moeten ontwikkeld worden door de instanties die hiervoor in de Nederlandse situatie in aanmerking komen, namelijk de waterkwaliteitsbeheerders verenigd in de STORA (Stichting Onderzoek Reiniging Afvalwater) en Dienst Binnenwateren/RIZA. Waterzuiverend Nederland was toe aan het project RWZI 2000.

De doelstelling van het project is als volgt te definiëren:

- \* met de nieuwe technologie moet meer kunnen dan met de huidige technologieën mogelijk is,
- \* bij gelijke prestatie en gelijke invloed op het milieu moet de nieuwe technologie goedkoper zijn, dan de momenteel beschikbare technologieën.

Bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën is het noodzakelijk vast te stellen waar die nieuwe technieken aan moeten voldoen, met andere woorden waar liggen de knelpunten van de huidige technieken.

Een van de knelpunten is het ruimtebeslag. Toen men in Nederland begon met het zuiveren van afvalwater is gekozen voor lokaties die zo ver mogelijk aflagen van de bebouwde omgeving. Hierbij hield men verder zoveel mogelijk in het oog dat het afvalwater onder vrij verval zou kunnen toestromen en dat het gezuiverde afvalwater kon worden afgevoerd. Door de verdergaande verstedelijking is de bebouwing evenwel steeds meer opgerukt in de richting van de ooit solitair gelegen zuiveringsinstallatie. Hierdoor staan enerzijds de uitbreidingsmogelijkheden onder druk terwijl anderzijds ook de omgeving eisen begint te stellen aan de installatie. Dit heeft zeer sterke implicaties voor de mogelijk toe te passen technologieën. Er is behoefte aan compactheid en beheersbaarheid. Beheersbaarheid in die zin dat beter kan worden voldaan aan de eisen die de omgeving stelt. Het zal duidelijk zijn dat stank en geluid in een kleine compacte installatie eenvoudiger te bestrijden zijn dan bij veel van de huidige zuiveringsinstallaties.

De eisen die aan het effluent worden gesteld zijn een ander belangrijk punt. Door tamelijk voortvarende internationale akties zijn er afspraken gemaakt met betrekking tot fosfaat en stikstof. De gevolgen voor het waterkwaliteitsbeheer in Nederland zijn verstrekkend. Hierbij wordt niet bedoeld toepassing van de afzonderlijke conventionele technieken, zoals simultane chemische fosfaatprecipitatie en biologische stikstofverwijdering door nitrificatie en denitrificatie. Hieromtrent is al veel bekend. Het probleem ligt veeleer in de combinatie ervan. Een actuele vraag is bijvoorbeeld de combinatie-mogelijkheden tussen simultane defosfatering, nog steeds de goedkoopste defosfateringstechniek, en biologische N-verwijdering. Een actuele vraag is hoe de nitrificatie zich houdt

bij aanwezigheid van de zouten en metalen van de chemische defosfatering.

Een ander knelpunt is de toekomstige slibafzet. Enkele jaren geleden kon er nog van worden uitgegaan dat ook in de toekomst een groot deel van het slib zou worden afgezet in de landbouw. Door de omvangrijke mestproblematiek is de behoefte aan zuiveringsslib als meststof evenwel sterk verminderd. Gevoegd bij de verscherpte kwaliteitseisen voor landbouwkundige afzet mag ervan worden uitgegaan dat de hoeveelheid slib dat nog een nuttige bestemming vindt, in de landbouw of als compost, in de komende jaren zeer sterk zal verminderen.

Voor de toekomst is behoefte aan zuiveringssystemen die deze ontwikkelingen aankunnen. Hierbij hoeft men niet veel fantasie te hebben om zich voor te kunnen stellen dat, gezien de waterbodempoblematiek de eisen in de toekomst nog wel verder zullen gaan dan stikstof en fosfaat.

Voor de oplossing van bovenstaande problemen is in het project RWZI 2000 gekozen voor de volgende werkwijze.

Er is allereerst een inventarisatie gemaakt van alle mogelijke technologieën. Deze technologieën variëren van vage ideeën tot concrete toepassingen. Vervolgens is deze verzameling getoetst aan de Nederlandse situatie. Hierbij is gekeken naar zaken als de watertemperatuur, de beperkingen door het klimaat, de uitvoering van het rioolstelsel, eisen met betrekking tot effluent en slib en ook nog naar andere wettelijke bepalingen zoals bijvoorbeeld de Hinderwet.

Na deze eerste screening waren er nog zo'n 90 potentiële mogelijkheden over. Er is gekeken welke technologieën veelbelovend lijken. Hierbij wordt afgegaan op hetgeen de technologie mogelijkwijs in zich heeft. In dit stadium vallen technologieën af omdat het duidelijk is dat toekomstige milieueisen niet haalbaar zullen blijken te zijn of omdat het zeer evident is dat de techniek ook in de toekomst veel duurder zal zijn dan andere technieken. Na de globale toetsing blijven nog 40-45 technieken over.

De laatst overgebleven groep technieken is nog nauwkeuriger doorgerekend. Zeer concreet is vastgesteld welke winst kan worden geboekt ten opzichte van bestaande technieken. Deze winst kan bestaan uit lagere kosten, zowel exploitatie als investeringen, maar ook uit betere milieuprestaties. Dit laatste kan betrekking hebben op een betere effluentkwaliteit, minder slib, schoner slib of minder omgevingsoverlast. Deze laatste zeef laat slechts 10-15 technologieën over die voor nader onderzoek in aanmerking komen. Dit nader onderzoek kan zowel een uitgebreide evaluatie als een praktisch onderzoek inhouden. Technieken die uit de haalbaarheidsstudie als veelbelovend naar voren komen zijn o.a. slibverwerking, fundamenteel onderzoek waterzuivering, slib op (zand)drager, fluid bed defosfatering. Voor een groot deel is op basis hiervan een onderzoekplan opgesteld.

Het onderzoekplan is opgezet langs twee onderzoeklijnen. De eerste lijn omvat alles dat met de zuivering van afvalwater te maken heeft. De tweede groep van onderzoeken betreft het verwerken van zuiveringsslib.

De systematiek van beide onderzoeklijnen is dat er een drietal soorten van onderzoek worden onderscheiden

- a. evaluatie onderzoeken
- b. praktisch onderzoek
- c. fundamenteel onderzoek

ad a. In de evaluaties worden bestaande systemen beoordeeld op de mogelijkheden voor Nederland. Vooral de toetsing aan de specifiek Nederlandse omstandigheden als RWA/DWA verhouding en watertemperatuur is hierbij belangrijk.

ad b. Vanuit de industrie of vanuit het buitenland zijn systemen bekend die een nader onderzoek verdienen. Dit kan zowel onderzoek op pilot plant als onderzoek op praktijkinstallaties zijn.

ad c. Fundamenteel langjarig onderzoek is tot nu toe in Nederland nauwelijks uitgevoerd. Dit onderzoek heeft in zich dat nieuwe systemen zouden kunnen worden ontwikkeld.

In het tweede deel van deze rapportage zijn de afzonderlijke onderzoeken aangegeven.

Tot slot wil ik ingaan op enkele toekomstverwachtingen. Op het moment dat het project RWZI 2000 is gestart werd reeds jaarlijks een hoeveelheid geld aan onderzoek uitgegeven. Dit onderzoek was evenwel zeer toepassingsgericht. De eisen die gesteld werden aan het effluent en het slib waren hier voor een groot gedeelte debet aan. Er kon ruimschoots worden voldaan aan die eisen. Voor het doen van diepgaand en toekomstgericht onderzoek waren daarom nauwelijks stimulansen aanwezig. Doordat er weinig geld beschikbaar was voor langlopend onderzoek zijn universiteiten en instituten nauwelijks gestimuleerd dit te ontwikkelen. Dit is door de bezuinigingen van de laatste jaren nog eens extra versterkt. De problemen van dit moment geven echter aan dat ook in fundamenteel onderzoek moet worden geïnvesteerd. Zouden we dit nu weer niet doen dan is de Nederlandse Waterkwaliteitsbeheerder binnen een beperkt aantal jaren volledig afhankelijk van buitenlandse ontwikkelingen. Vanuit deze problematiek moet het project RWZI 2000 daarom meer als een startproject dan als een eindproject worden gezien. RWZI 2000 is een inhaalactie. Het is echter ook onderdeel van een groter geheel. Het grote geheel is het gehele veld aan milieu-onderzoek. RWZI 2000 is onderdeel van de sector water of waterzuivering. Voor de toekomst moet de projectmatige aanpak omgezet worden in een permanente activiteit. Binnen die permanente activiteit zal met



name het fundamentele langlopende onderzoek een belangrijke plaats moeten innemen. Door op die wijze voortdurend vernieuwend bezig te zijn wordt de kans op ongewenste verrassingen in de toekomst aanmerkelijk verkleind. Gesteld mag daarom worden dat, met het project RWZI 2000 als startpunt, verder in de diepte gewerkt moet gaan worden.

Het zuiveren van afvalwater heeft als primair doel de verontreiniging van oppervlaktewater tegen te gaan. Er zijn echter meer bronnen die de oppervlaktewaterkwaliteit beïnvloeden. De waterzuivering maakt dan deel uit van een breder geheel. Voor de waterkwaliteitsbeheerder behoren hiertoe ook zaken als diffuse bronnen, preventieve milieumaatregelen bij bedrijven, huishoudens en riolering. Met name het type riolering blijkt een grote invloed te hebben op de toe te passen zuiveringstechnologie en daaruit op de mogelijk haalbare resultaten. Een ander punt is de plaats die Nederland internationaal inneemt. In vele landen gebeuren momenteel vergelijkbare zaken. Dit pleit voor betere internationale kennisuitwisseling.

Een opstelling zoals zojuist geschetst, heeft, zeker gezien de onderzoekbudgetten die tot nu toe aan het waterbeheer zijn besteed, aanzienlijke financiële consequenties. Jaarlijks wordt voor het waterkwaliteitsbeheer 1 miljard gulden uitgegeven. De onderzoekinspanning is op dit moment voor het project RWZI 2000 2 miljoen gulden per jaar. Deze inspanning zal de komende jaren omhoog moeten om bijvoorbeeld universitaire vakgroepen zover te krijgen dat fundamenteel onderzoek wordt opgezet.

De slotconclusie van mijn verhaal is dat het project RWZI 2000, hoewel voor Nederlandse begrippen sprake is van een aanzienlijke inspanning, slechts de eerste stap is in een proces dat moet leiden tot meer begrip van zuiveringsprocessen en slibverwerking. Om herhaling van de geschiedenis te voorkomen zou men zich nu reeds moeten verdiepen in problemen die te maken hebben met de toekomstig gewenste effluentkwaliteit. Door een goede fundamentele inzet op dit moment kan blijvend op toekomstige eisen worden ingespeeld.

## REDUCTIE VAN DE SLIBPRODUKTIE IN RWZI's

A.H. Stouthamer  
H.W. van Verseveld  
S.A.L.M. Kooijman  
(VU-Amsterdam)

Een groot scala van soorten bacteriën zijn actueel en/of potentieel betrokken bij de afbraak van organisch substraat in RWZI's. Deze soorten verschillen in de aard van de omzettingen die ze kunnen uitvoeren, maar ook in de omstandigheden waaronder ze dit het beste doen. Deze omstandigheden betreffen zaken als zuurgraad, zuurstof spanning, watersamenstelling in het algemeen, temperatuur etc. Een tweetal karakteristieken van de omzettingen die bacteriën doen zijn van bijzonder belang in verband met de slibproductie. De eerste karakteristiek is de hoeveelheid energie die elke bacterie moet uitgeven om in leven te blijven, de zogenaamde onderhouds- of metabole kosten. De precieze aard van deze kosten is overigens niet helemaal duidelijk. Elementen erin zijn:

- het in stand houden van concentratie gradiënten van een aantal ionen over de celmembraan
- de continue afbraak en opbouw van enzymen die b.v. door hydrolyse hun activiteit verliezen
- het transport van produkten binnen de cel
- de kosten voor een goede regulatie van stof- en energiestromen op de wisselende behoeften van de cel.

Het belang van metabole kosten is vooral gelegen in het feit dat energie die hieraan uitgegeven wordt, niet besteed kan worden aan groei. De tweede karakteristiek is de hoeveelheid energie die het een bacterie kost een nieuwe cel te maken. Zijn deze kosten hoog, dan zal bij een door het toegevoerde substraat gegeven energie hoeveelheid de gerealiseerde groei laag zijn. Nu lijkt het zo te zijn dat verschillende soorten bacteriën verschillen in hun metabole- en groei-kosten. In de bestaande RWZI's wordt onbedoeld geselecteerd op soorten met zeer lage metabole- en groei-kosten. Een deel van het onderzoek is gericht op de mogelijkheden te selekteren naar soorten met hoge energetische kosten, hetgeen dus leidt tot een verminderde slib productie. Om dit goed te kunnen doen is het nodig tot op zekere hoogte te begrijpen waarom soorten eigenlijk verschillen in de hoogte van de kosten. Naar verwachting geeft dit begrip aanknopingspunten voor selectie mechanismen. Bovendien moet worden geëvalueerd hoe groot de verschillen tussen een aantal belangrijke soorten zijn. Zijn die verschillen betrekkelijk klein, dan loont het selekteren de moeite niet.

Een tweede taktiek om te komen tot een verminderde slibproductie maakt gebruik van het gegeven dat de kosten voor het routine metabolisme door de bacterie zowiezo "betaald" moeten worden, wil deze in leven blijven, en dat het surplus van wat energetisch beschikbaar is besteed kan worden aan groei. Er is dus sprake van een prioriteits-regel voor de besteding van energie. Een deel van het onderzoek is gericht op het creëren en in stand houden van situaties waarin bacteriën, ongeacht de soort, vrijwel al de beschikbare energie aan metabolisme moeten besteden. Dit doet zich onder andere voor bij een lage slibbelasting. Indien het interval tussen opvolgende delingen door lage substraat toevoer per bacterie, lang wordt, en er dus sprake is van een zeer langzame membraan vernieuwing, dan wordt het mechanisme van membraan-veroudering merkbaar. Dit hangt samen met de overlevingskans van de cel. Indien een cel sterft, zal hij ten dele als substraat dienen. In de praktijk zal als regel bij een

lagere slibbelasting de fraktie actief slib afnemen, waardoor de substraat toevoer betrokken op de fraktie actief slib hoog blijft. Het heeft om verschillende redenen zin te proberen deze fraktie hoog te houden, terwijl toch de slibbelasting laag blijft. Er is aangetoond dat bacteriën bij een geringe substraat toevoer ( per levende bacterie) overgaat op een metabolisme dat extra energiekosten intensief is, de zogenaamde 'stringent respons'. Een verklaring voor dit gedrag zou kunnen zijn dat de cellen bij zeer lage groeisnelheden extra controle en repair systemen voor het aflezen van DNA en RNA aan de gang zetten, die niet operabel zijn indien de bacterie snel groeit. In een laboratorium opstelling is het reeds gelukt een cultuur in een recycling fermentor 25 dagen actief te houden bij een slibbelasting van 1.5 mmol glucose plus 1.5 mmol acetaat per gram biomassa (= 0.25 g COD per gram drooggewicht per dag), waarbij 78% van de toegevoerde koolstof in koolstofdioxide werd omgezet bij 20°C.

Hoewel langs boven beschreven paden gepoogd kan worden de slibproductie zoveel mogelijk te beperken, ligt het niet in de lijn van de verwachting dat voorkomen kan worden dat enige slibproductie optreedt. De volgende stap in de reductie van de netto slibvorming is te trachten het (overtollige) slib dat inmiddels gevormd is te laten 'begrazen' door een aantal soorten die normaal al (ongekontroleerd) in RWZI's voorkomen. Zo is bekend dat sommige flagellaten, vele ciliaten en rotiferen los zwevende bacteriën op grote schaal kunnen verorberen, terwijl kleine oligochaeten als Nais en Aeolosoma de vlokken te lijf gaan. Door dit graas gedrag niet aan het toeval over te laten, maar actief te beheren, kan in principe veel van het gevormde slib worden omgezet in koolstofdioxide. Enerzijds gaat energie verloren bij de omzetting van de ene vorm van biomassa, naar de andere; anderzijds moeten ook deze organismen metabole kosten betalen, die mogelijk veel hoger zijn dan die van bacteriën. Om te voorkomen dat te veel slib wordt gegeten en het zuiveringsproces als geheel nadelig beïnvloed zou worden, wordt in eerste instantie aan een twee-traps reaktor gedacht, waarbij de omstandigheden zo worden gekozen dat genoemde grazers in de eerste trap geen kans krijgen en in de tweede trap juist wel. De belangrijkste sturing vindt plaats door de keuze van verblijftijden van water en substraat, die met behulp van membraan filters, vaste dragers en/of sponsjes verschillend gekozen kunnen worden. De stabiliteit van het graas proces is het belangrijkste onderwerp van onderzoek. Hierbij is het van belang een goed idee te krijgen van het graas en groei gedrag van enige belangrijke soorten op grond van metingen aan afzonderlijke individuen. Het is inmiddels gelukt Nais in het laboratorium te kweken op materiaal dat twee maal per week uit een oxydatie sloot wordt gehaald. Dit geeft echter nog onvoldoende standaardisatie. Op het moment wordt getracht het kweken zo te verbeteren dat enige fysiologische metingen gedaan kunnen worden om parameters van een wiskundig model te schatten voor de opname en gebruik van energie uit de omgeving. Dit model wordt vervolgens gebruikt in het stabiliteitsonderzoek, en zal dienen om gericht experimenten op te zetten.

SLIB OP POREUZE DRAGER

D.H. Eikelboom  
E.A.M.A. Bral  
(TNO-MT)

## SAMENVATTING

In opdracht van de Dienst Binnenwateren/RIZA en het Ministerie VROM heeft MT-TNO de toepassingsmogelijkheden van het Linpor-proces bij de zuivering van afvalwater onderzocht. Hierbij worden kubusvormige sponsjes (grootte ca. 2,5 cm<sup>3</sup>; porositeit 94%) van polyurethaanschuim als drager toegepast, in de beluchtingsruimte van een actief-slibinrichting of in een aparte tank voor nitrificatie van het effluent.

Er werden experimenten uitgevoerd op 600 l en op 18 m<sup>3</sup> schaal. De installaties waren voor maximaal 20 vol.% gevuld met sponsjes en werden gevoed met voorbezonden stedelijk afvalwater. In de actief-slibsystemen werd de hydraulische verblijftijd gevarieerd van 4,8 tot 8 uur, in de nazuivering (nitrificatie) van 0,8 tot 1,3 uur.

Het droge-stofgehalte in de sponsjes nam in eerste instantie vrij snel toe tot 10 à 15 kg d.s./m<sup>3</sup> spons, vervolgens steeg dit geleidelijk verder tot 25 à 30 kg d.s./m<sup>3</sup> spons.

Er werd voorgesteld dat hoogstwaarschijnlijk alleen de biomassa aan de buitenkant van de sponsjes kan bijdragen aan het zuiveringsproces, waardoor 20 vol.% drager correspondeert met 96 m<sup>2</sup> hechtingsoppervlak per m<sup>3</sup> reactor. Het transport vanuit de waterfase is diffusiegelimiteerd, waardoor bijvoorbeeld het zuurstofgehalte in de waterfase grote invloed heeft op de maximale omzetting van CZV en/of Kjeldahlstikstof door het slib in de sponsjes.

De toepassing van dit poreuze dragermateriaal leidde tot een consistent betere CZV-verwijdering, soms ook tot een verdergaande nitrificatie, betere bezinkeigenschappen van het vrij zwevende slib en een stabiel proces. Het denitrificatierendement en de slibproductie (door het ontbreken van slibconsumerende wormen) werden echter niet wezenlijk beïnvloed door de toevoeging van sponsjes.

Het Linpor proces lijkt daarom vooral geschikt om een wat lagere slibbelasting te bewerkstelligen en zo bijvoorbeeld de nitrificatie te verbeteren. Dit laatste kan ook door toepassing van Linpor N bewerkstelligd worden. De relatief hoge kosten van dit dragermateriaal vormen echter een nadeel.

## INLEIDING

Aan de huidige generatie aërobe afvalwaterzuiveringsinrichtingen (=awzi's) zijn enkele bezwaren verbonden. Dit betreft, naast de forse slibproductie, vooral de lage volumebelasting die toegepast moet worden om aan de gestelde effluenteisen te kunnen voldoen. Een lage volumebelasting betekent een grote installatie, c.q. hoge bouwkosten, een fors ruimtebeslag en kostbare voorzieningen voor het bestrijden van stankemissie en geluidshinder.

Toepassing van dragermaterialen, waaraan micro-organismen kunnen hechten, biedt mogelijkheden het gehalte aan biomassa in een reactor aanmerkelijk op te voeren

en zo de volumebelasting te verhogen, zonder dat het zuiveringsrendement daalt. Hieraan draagt ook bij dat langzaam groeiende micro-organismen zich in zo'n reactor via hechting kunnen handhaven, onafhankelijk van de sibleeftijd en de hydraulische verblijftijd. Dit laatste aspect is vooral belangrijk voor de kwetsbare, nitrificerende populatie.

Bij het Linpor proces worden kubusvormige sponsjes van polyurethaanschuim als dragermateriaal toegepast. Er worden drie uitvoeringsvormen onderscheiden.

Bij Linpor C worden de sponsjes toegevoegd aan de aëratietank van hoogbelaste actief-slibinrichtingen, waardoor hierin zowel vrij gesuspendeerd als op/in sponsjes geëmmobiliseerd slib aanwezig is. Dit zou leiden tot een beter CZV-verwijderingsrendement, een lagere slibvolume-index (SVI) van het vrije slib, een stabiel proces en minder slibproductie.

Bij Linpor N worden de sponsjes toegepast in een aparte tank voor nitrificatie van effluent. Omdat bij deze tertiaire zuiveringsstap nauwelijks vrij gesuspendeerde biomassa wordt geproduceerd, is geen extra nabezinktank vereist.

Linpor C/N is een combinatie van voornoemde twee processen. Het is bedoeld voor actief-slibinrichtingen die nauwelijks nitrificeren, omdat de sibleeftijd net te kort is. Met de toepassing van sponsjes wordt beoogd een gehechte nitrificerende populatie van voldoende omvang in de aëratietank te handhaven, zodat genoemde voordelen van het Linpor C proces uitgebreid zouden kunnen worden met vergaande nitrificatie en soms ook gedeeltelijke denitrificatie.

De voornaamste karakteristieken van de sponsjes zijn:

poriëndiameter	:	0,2 of 1 mm;
volume	:	2,5 cm <sup>3</sup> ;
porositeit	:	94%;
specifiek oppervlak	:	circa 2.10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

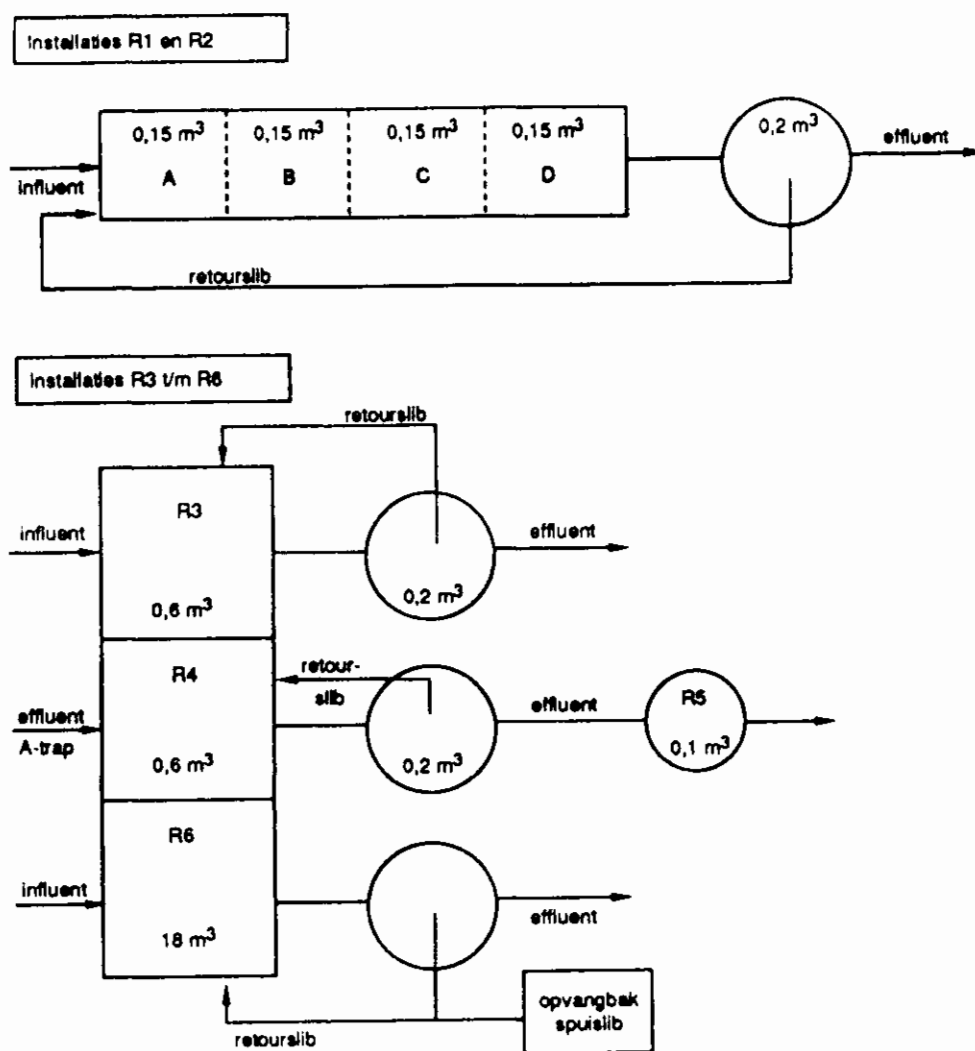
Ze kunnen tot maximaal 40 vol.% van de tank toegepast worden, meestal wordt echter volstaan met 20 vol.%. De sponsjes blijven permanent in de tank. Ze worden dus niet, zoals bij het Captor proces wel het geval is, periodiek uit de reactor gehaald, uitgerst om de biomassa te verwijderen en weer gerecirculeerd.

De diverse Linpor modificaties zijn nader onderzocht. Tevens werd een proef uitgevoerd waarbij het voorschakelen van een zogenaamde A-trap (i.e. de hoogbelaste 1e trap van het A/B-Verfahren) vergeleken werd met de toepassing van 20 vol.% sponsjes. Op deze wijze werden twee opties om het functioneren van een awzi te verbeteren, met elkaar vergeleken.

In deze publicatie wordt een aantal aspecten van het uitgevoerde onderzoek behandeld.

## PROEFINSTALLATIES EN PROCESOMSTANDIGHEDEN

In figuur 1 worden de proefinstallaties schematisch weergegeven. De reactoren 1 en 2 waren cascaderectoren van elk 4 x 150 l. In compartiment R1-D waren de 20 vol.% sponsjes bij de start van het onderzoek al circa twee jaar aanwezig, aan de compartimenten A t/m C werd successievelijk, en gespreid in de tijd, eveneens 20 vol.% sponsjes toegevoegd. De reactor werd onder Linpor C/N condities bedreven, met het zwaartepunt op de invloed van sponsjes op de stikstofomzettingen. Reactor 2 fungeerde als referentie. Van de reactoren met volledige menging, bevatte R3 20 vol.% sponsjes en was R4 in serie geschakeld met een A-trap. Het effluent van R4 fungeerde als voeding voor de Linpor N installatie R5. Deze bevatte eveneens 20 vol.% sponsjes. Vanaf dag 185 was R5 overigens in serie met R1 geschakeld.



Figuur 1 Schematisch overzicht van de proefinstallaties. Sponsjes aanwezig in : R1, R3, R5 en R6. R5 vanaf dag 185 in serie met R1.



De relatief kleine schaal (0,6 m<sup>3</sup>) van de proefinstallaties zou tot een vertekend beeld van de slibproductie kunnen leiden. Teineinde dit aspect beter te kunnen onderzoeken, werd een extra proef op 18 m<sup>3</sup> schaal (R6) uitgevoerd. Deze reactor werd onder Linpor C/N condities bedreven.

De reactoren 1 t/m 3 en 6 werden continu gevoed met voorbezonden, stedelijk afvalwater uit Delft. Onder droog-weeromstandigheden was het CZV van dit influent 500 à 600 mg O<sub>2</sub>/l, het gehalte van Kjeldahlstikstof (= N<sub>kj</sub>) fluctueerde tussen 60 en 80 mg N/l. De voorbehandeling in de A-trap leidde tot een circa 30% lagere CZV, de concentratie van N<sub>kj</sub> werd hierdoor echter niet noemenswaardig beïnvloed.

In R1 en R2 werd steeds een hydraulische verblijftijd van 8 uur aangehouden. In R3 en R4 werd hiermee ook gestart, maar op de dagen 102 en 124 werd deze in beide reactoren verkort tot respectievelijk 6 en 4,8 uur. Dit had tevens tot gevolg dat de hydraulische verblijftijd in R5 van 1,3, via 1,0 tot 0,8 uur daalde. In R6 werd een waternverblijftijd van 9,5 uur gehandhaafd.

De experimenten zijn uitgevoerd in de periode augustus 1988 - februari 1989. De temperatuur in de reactoren daalde in de loop van de tijd geleidelijk van 19°C tot 12 à 14°C.

Het zuurstofgehalte in de reactoren was vrijwel steeds >1,5 à 2,0 mg O<sub>2</sub>/l, omdat tamelijk fors belucht moest worden teneinde bezinken van de sponsjes te voorkomen.

## RESULTATEN<sup>1</sup>

Als voorbeeld van de biomassa-ontwikkeling in/op de drager is in figuur 2 het verloop van het droge-stofgehalte in de sponsjes in R1 weergegeven.

Actief-slibvlokken migreren gemakkelijk in lege sponsjes. Het droge-stofgehalte in de sponsjes steeg, na het toevoegen van de drager, in enkele dagen tot circa 10 kg d.s./m<sup>3</sup> spons. Het gehalte aan vrij slib daalde overeenkomstig. De verdere toename van de hoeveelheid gebonden biomassa verliep veel trager, de sponsjes lijken maximaal circa 25 kg d.s./m<sup>3</sup> spons te kunnen bevatten.

### Belastingen

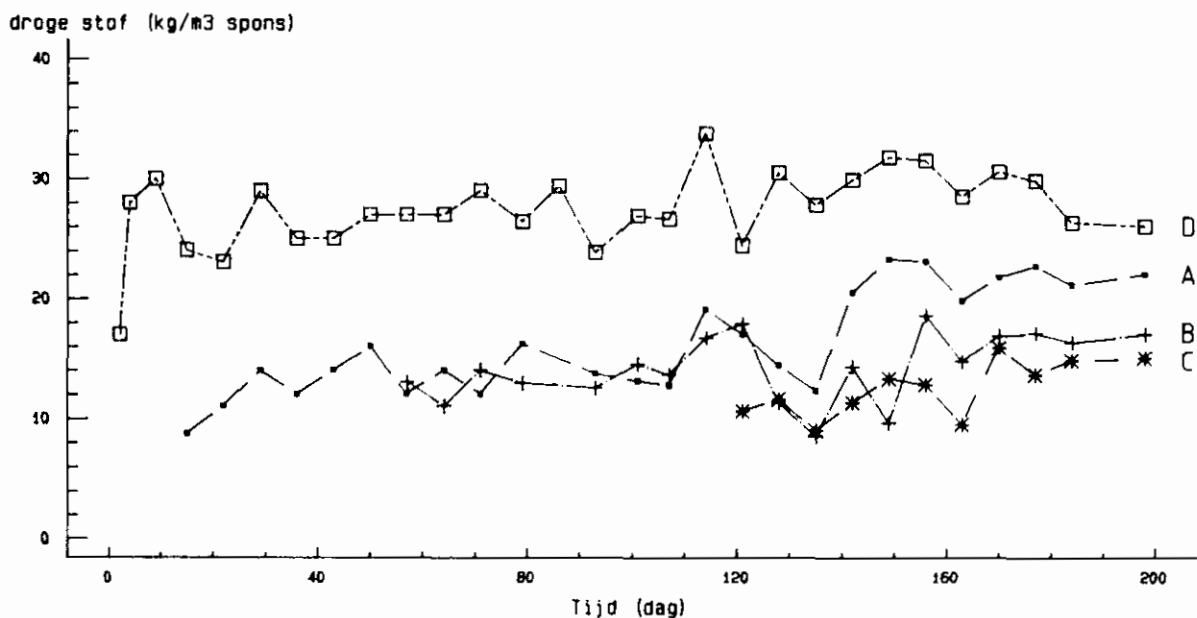
De volume- en slibbelastingen zijn vermeld in de tabellen 1 en 2. De onderverdeling in perioden correspondeert met het toevoegen van de sponsjes aan de compartimenten in R1 of met het verhogen van de belasting in R3+R4. Omdat onbekend was of het slib in de sponsjes gelijkwaardig is aan het vrije slib, zijn bij de slibbelastingen in de reactoren 1 en 3 twee waarden opgegeven, in- en exclusief de gehechte biomassa

---

<sup>1</sup> Het functioneren van R6 komt alleen in paragraaf 3.6 ter sprake.

(= slibbelasting II en I).

Door chronische licht-slibproblemen in R2, was het gehalte aan vrije biomassa in deze reactor voortdurend lager dan in R1, waardoor ook de slibbelasting-I in de reactor met sponsjes steeds (wat) lager was dan in R2.



Figuur 2 Het verloop van het droge-stofgehalte in de sponsjes in R1.  
N.B. In D waren de sponsjes al circa 2 jaar aanwezig, in A, B en C werden ze toegevoegd op de dagen 12, 52 en 115 van het experiment.

Tabel 1 Per periode gemiddelde waarden van de CZV-belastingen, de droge-stofgehalten en de temperaturen in de reactoren 1 en 2.

Periode <sup>1)</sup> reactor	D		AD		ABD		ABCD	
	1	2	1	2	1	2	1	2
vrij slib (kg/m <sup>3</sup> )	4,2	2,9	3,6	3,3	3,3	2,8	3,3	2,8
gehecht slib (kg/m <sup>3</sup> )	1,0		1,7		2,2		3,1	
temperatuur (°C)	19	19	17	17	14	15	13	13
volumebelasting <sup>2)</sup>	1,7	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5
slibbelasting-I <sup>2)</sup>	0,41	0,59	0,42	0,46	0,42	0,50	0,46	0,54
slibbelasting-II <sup>2)</sup>	0,34		0,30		0,28		0,26	

1) sponsjes in de compartimenten van R1. De vier perioden zijn: dag 1-12, dag 13-52, dag 53-115 en dag 116-184.

2) volumebelasting in kg CZV/m<sup>3</sup>.dag, slibbelastingen in kg CZV/kg ds.dag. Het onderscheid I en II betreft : alleen het vrije slib (= I) en vrij + gehecht slib (= II).

Tabel 2 Per periode gemiddelde waarden van de CZV-belastingen, de droge-stofgehalten en de temperaturen in de reactoren 3 t/m 5.

dagen na start reactor <sup>3)</sup>	29-101			107-123			128-184		
	3	4	5 <sup>1)</sup>	3	4	5	3	4	5
watervverblijftijd (h)	8	8	1,3	6	6	1,0	4,8	4,8	0,8
vrij slib (kg/m <sup>3</sup> )	3,1	2,8	<0,1	3,7	2,9	<0,1	3,7	3,1	<0,1
gehecht slib (kg/m <sup>3</sup> )	2,8		0,7	3,3		0,8	4,3		1,8
temperatuur (°C)	16	16	16	13	13	13	13	13	13
volumebelasting <sup>2)</sup>	1,4	0,89	1,4	1,6	0,70	1,1	2,5	2,1	2,8/10,1 <sup>4)</sup>
slibbelasting-I <sup>2)</sup>	0,45	0,32		0,43	0,24		0,68	0,68	
slibbelasting-II <sup>2)</sup>	0,27		2,0	0,26		1,4	0,34		1,6/5,6 <sup>4)</sup>

1) R5: dag 1-101

2) zie legenda Tabel 1

3) sponsjes in: R3 en R5

4) ex-/inclusief twee extreme CZV-influent waarden, door forse slibverliezen uit R4

Het successievelijk vullen van de compartimenten met sponsjes had nauwelijks invloed op de slibbelastingen in R1, omdat het effect van de toename van de hoeveelheid gehechte biomassa gecompenseerd werd door een daling van het gehalte aan vrij slib en/of veranderingen van de volumebelasting.

De volumebelasting en de slibbelasting-I waren in R3 vrijwel steeds aanmerkelijk hoger dan in R4. Inclusief de bijdrage van de gehechte biomassa, was het verschil in slibbelasting tot dag 123 echter klein. Alleen tijdens de laatste periode waren de slibbelastingen in R3  $\leq$  die in R4.

De korte hydraulische verblijftijden in R5 leidden automatisch tot forse CZV-belastingen in deze reactor. Dit betrof echter wel de rest-CZV in het effluent van R4 en actiefslib dat uit deze reactor spoelde tijdens de laatste periode. Overigens was het gehalte aan vrij slib in R5 steeds  $< 0,1$  kg ds/m<sup>3</sup>.

## Microscopisch onderzoek en bezinkeigenschappen van het slib

De sponsjes die aan de compartimenten A t/m C van R1 toegevoegd werden, waren binnen enkele weken praktisch volledig gevuld met slib, net als bij die in R1-D en R3 al vanaf de start het geval was. Open poriën werden slechts incidenteel waargenomen. Er is niet nagegaan welk gedeelte van het "sponsjesslib" daadwerkelijk aan de drager was gehecht.

Aan de buitenkant van de sponsjes waren enorm veel gehechte ciliaten aanwezig, in de sponsjes voornamelijk veel vrije ciliaten en soms ook talrijke rotiferen, nematoden en (schaal)amoeben. Al deze organismen zijn op hetzelfde soort voedsel aangewezen, i.c. losse bacteriecellen, kleine organische deeltjes, minuscule slibvlokjes of andere protozoën.

Slibconsumerende, aquatische wormen werden alleen in de sponsjes uit R5 in grote aantallen waargenomen. Na circa 4 maanden nam de populatie-omvang echter drastisch af.

Het microscopisch beeld van het slib in de sponsjes uit 1A t/m 1C leek de eerste weken na het toevoegen van de drager nog veel op dat van het vrije slib; na verloop van tijd werden de verschillen echter steeds groter. Bij het slib in de sponsjes verdwenen de draadvormende organismen, het aantal losse bacteriecellen nam sterk toe, de genoemde populaties van protozoën e.d. ontwikkelden zich en de structuur van de vlokken veranderde van stevige, compacte deeltjes naar een veel minder samenhangend geheel. Het beeld begon steeds meer op dat van het sponsjesslib in R1-D en R3 te lijken, slibben die regelmatig met "puin" gekwalificeerd werden.

Bij het microscopisch onderzoek van het vrije slib werd vooral gekeken naar het aantal draadvormende organismen, omdat dit het bezinkgedrag in sterke mate bepaalt.

Het verloop van het categoriegetal, een maat voor het aantal draadvormende organismen, is weergegeven in tabel 3. In R1 t/m R3 werd in feite gestart met licht slib, alleen in R4 waren bij het begin van de proeven nauwelijks draadvormende organismen aanwezig.

In de reactoren met sponsjes daalde het aantal draden vervolgens tot een niveau van 2 à 3, in R2 bleven permanent veel draadvormende organismen aanwezig. In R4 nam het aantal draden geleidelijk toe, de tijdelijke afname rond dag 120 was mogelijk het gevolg van de wat lagere belasting tijdens de tweede periode. Overigens bestaat in deze proefinstallaties pas bij een categoriegetal van 4 kans op slibuitspoeling.

Licht slib leidde in R2 tot frequente slibverliezen, bij de referentiereactor met sponsjes vond nauwelijks slibuitspoeling plaats. Ook uit R3 (tijdens de eerste weken) en R4 (na dag 128) werd nogal wat slib met het effluent afgevoerd.

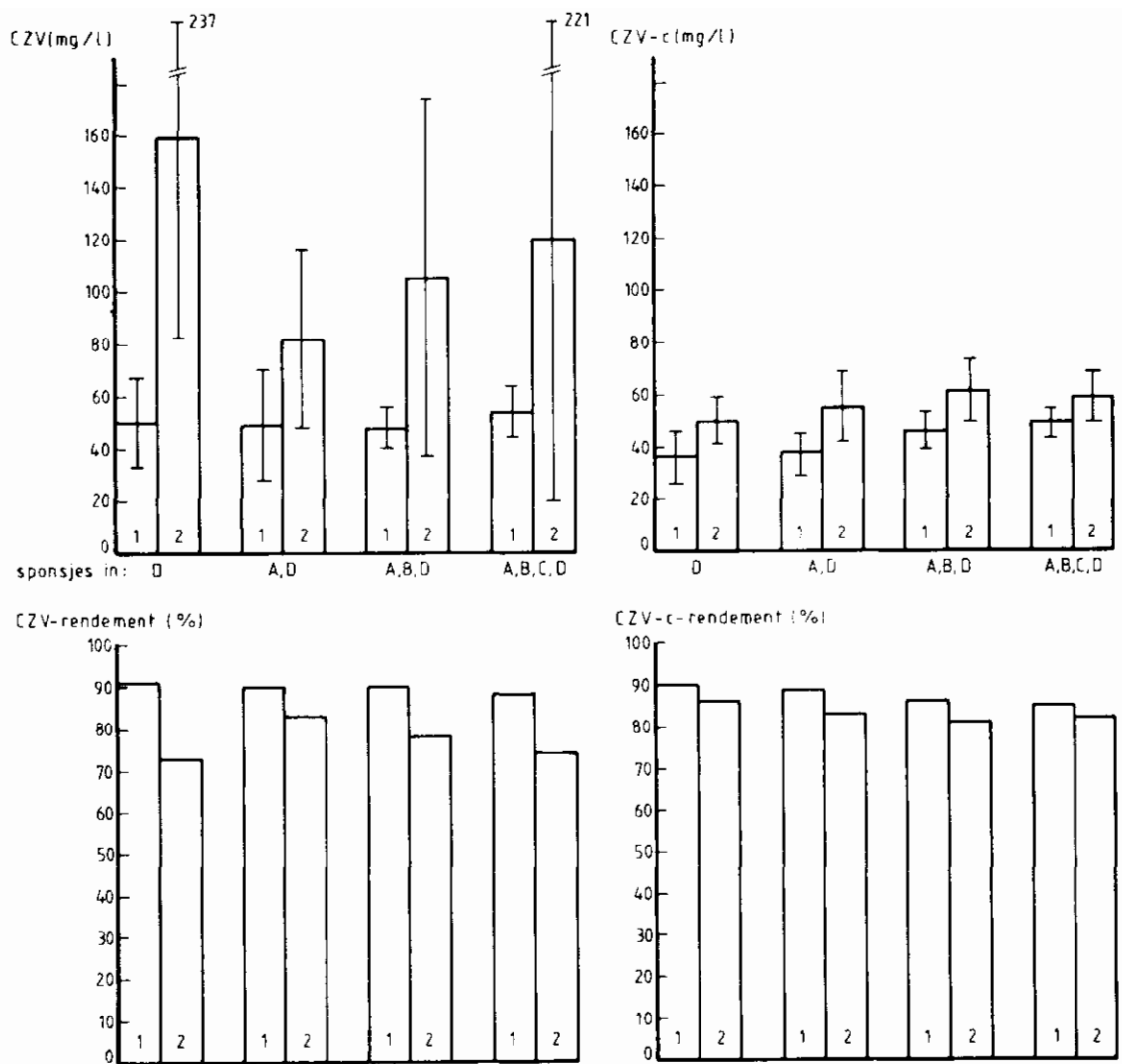
Tabel 3 Categoriegetal van de vrije slibben.  
Schaal 0-4<sup>+</sup> = geen - zeer veel draadvormende organismen aanwezig.

Dag	R1	R2	R3	R4
29	3-4	4 <sup>+</sup>	4	0-1
36	4	3-4	4	0
43	4	4	4	1
50	4	4 <sup>+</sup>	3-4	0-1
57	3-4	4 <sup>+</sup>	4	0-1
71	4	4	4	1
79	4	4 <sup>+</sup>	3-4	1
86	4	4	3-4	2
93	3-4	4	3-4	2
101	3	4	4	3
107	3	4	3-4	2
114	2-3	4	3	2
121	2-3	4 <sup>+</sup>	3	1
128	2	4	3-4	0-1
135	2	4	3	2
142	2-3	4 <sup>+</sup>	2	3-4
149	2-3	4	2-3	4
156	2	4	2	3-4
163	2	4	4 <sup>1)</sup>	3-4
170	2-3	4	3	4
184	2-3	3-4	1	4

1) wel veel draadvormende organismen aanwezig, maar van een soort die het bezinken van actiefslib nauwelijks beïnvloedt (Type 1863).

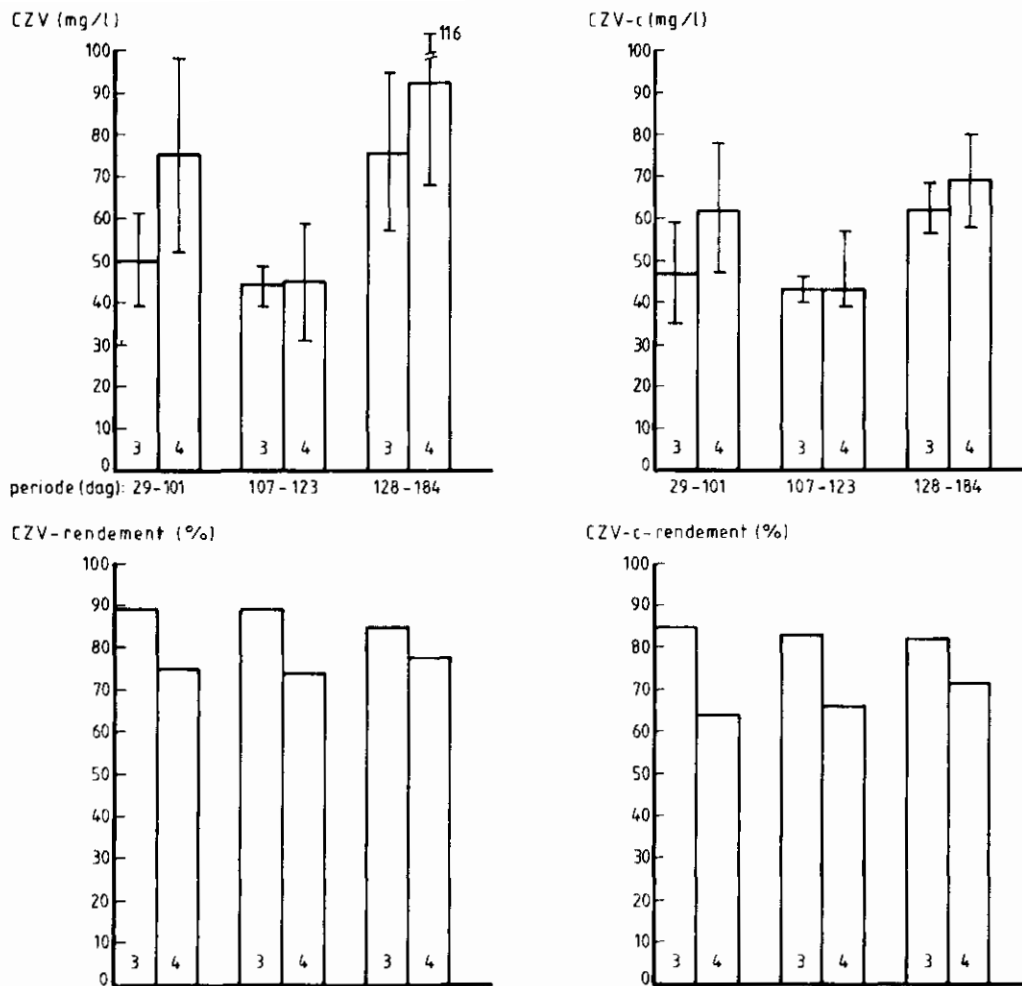
### CZV-verwijdering

In de figuren 3 en 4 zijn de per periode gemiddelde waarden van de effluent-CZV's en de CZV-rendementen van de reactoren 1 t/m 4 grafisch weergegeven. Enkele, door de aanwezigheid van veel uitgespoeld slib in de effluenten van R2 en R4, extreme CZV-waarden zijn hierbij overigens buiten beschouwing gelaten. De toevoeging c (bij CZV-c en Nkj-c) betekent dat zwevend stof (deeltjes (> circa 1  $\mu\text{m}$ ) met behulp van centrifugeren voor de analyse werd verwijderd.



Figuur 3 Effluent-CZV's (boven) en CZV-rendementen (onder) van de reactoren 1 en 2.

Het zuiveringsrendement van de cascadereactor met sponsjes was voortdurend beter dan dat van de referentie-installatie R2. Het verschil werd voor een belangrijk gedeelte veroorzaakt door het aanmerkelijk hogere gehalte van zwevend stof in het effluent van R2, bij het CZV-c waren de verschillen veel kleiner.



Figuur 4 Effluent-CZV's (boven) en CZV-rendementen (onder) van de reactoren 3 en 4.

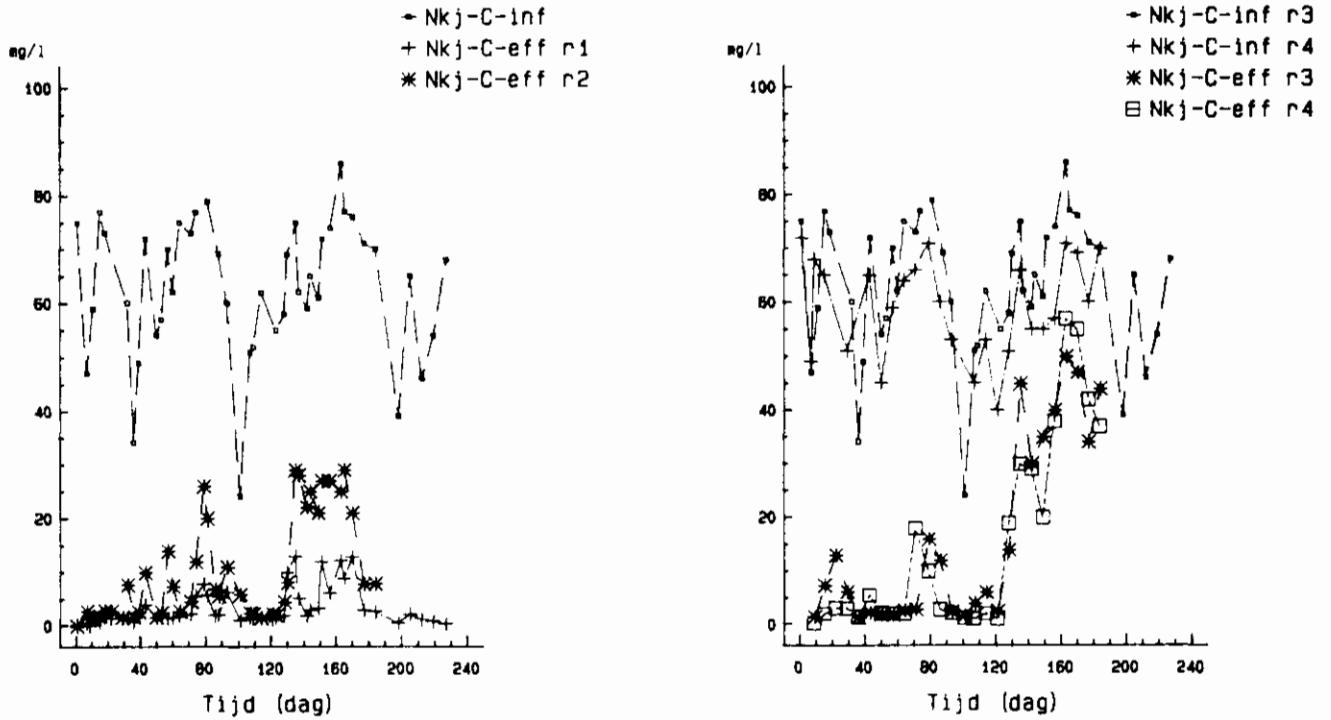
Qua CZV en CZV-c was het effluent van R3 beter dan dat van de reactor met de voorgeschakelde A-trap. De forse belastingverhoging tijdens de laatste periode beïnvloedde de rendementen weliswaar weinig, maar de effluentkwaliteit van beide reactoren verslechterde aanmerkelijk.

Het CZV-rendement van R5 was vrijwel steeds < 10% en soms zelfs negatief, door uitspoeling van geïmmobiliseerde biomassa.

#### Nkj-verwijdering

In figuur 5 is het verloop van de Nkj-c-gehalten in de in- en effluenten van R1 t/m R4 weergegeven, figuur 6 toont de per periode gemiddelde uitkomsten van de

Nkj-c-analyses van de effluenten en de rendementen.

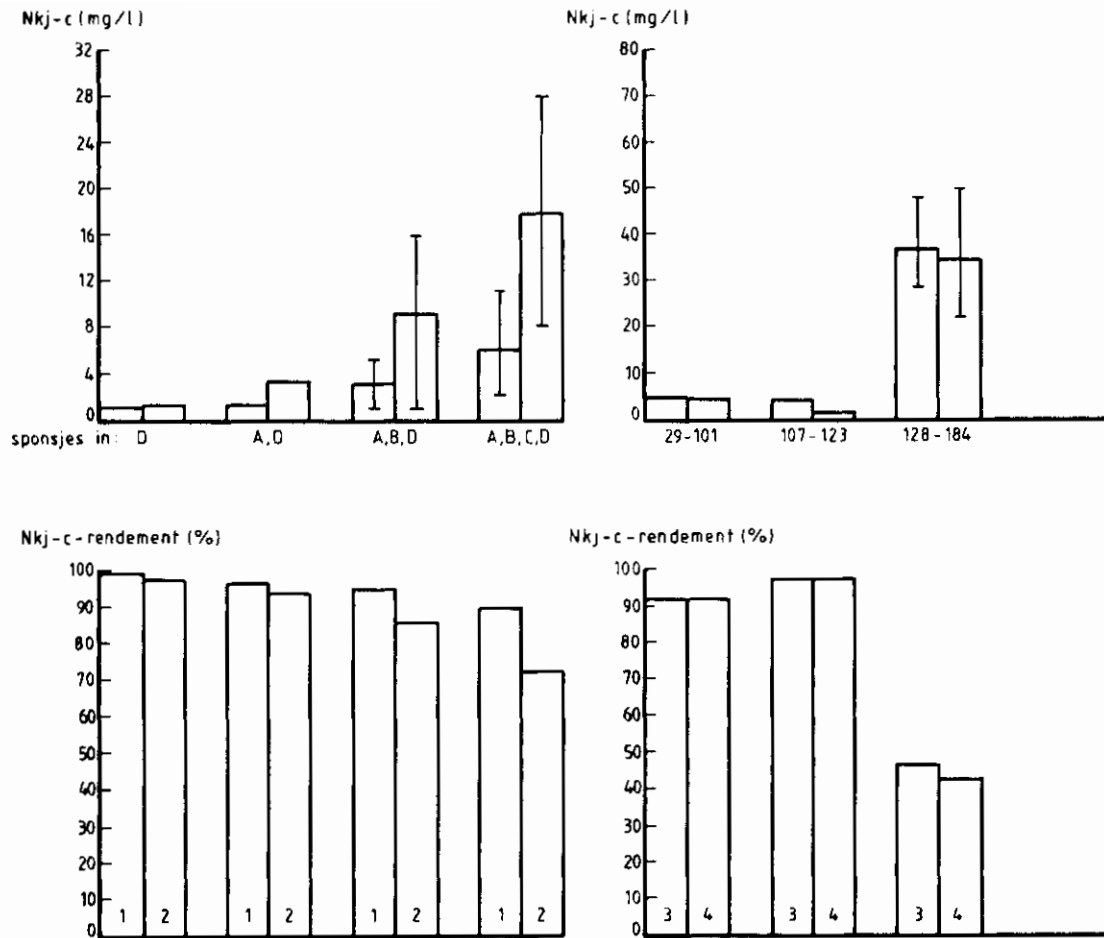


Figuur 5 Het verloop van de Nkj-c-concentraties (mg/l) in in en effluent van de reactoren.  
Links: reactoren 1 en 2; Rechts: reactoren 3 en 4.

In het effluent van R1 werden voortdurend de laagste Nkj-c-concentraties gemeten. Het verschil met R2 werd bovendien groter naarmate het rendement, waarschijnlijk door de afname van de temperatuur, in de loop van de tijd daalde. De Kjeldahlstikstof werd voor een belangrijk gedeelte omgezet in nitraat, het effluent van R2 bevatte daarnaast ook 1-4 mg/l aan nitrietstikstof.

In de reactoren 3 en 4 waren de verschillen qua Nkj-c-gehalten in de effluenten en de Nkj-c-rendementen marginaal. Na de verhoging van de volume-/slibbelasting op dag 123 verslechterden de rendementen bovendien in gelijke mate. Net als bij de cascaderectoren, waren de nitrietconcentraties in de effluenten laag ( $< 3 \text{ mg NO}_2^-/\text{l}$ ).





Figuur 6 Per periode gemiddelde waarden van de Nkj-c-concentraties (mg/l) in de effluënten en de Nkj-rendementen (%).

Links : reactoren 1 en 2

Rechts : reactoren 3 en 4

Uit de N-balans kan worden berekend dat in alle reactoren slechts in zeer beperkte mate denitrificatie plaats vond.

In tabel 4 worden de concentraties van diverse stikstofverbindingen in het influent en het effluent van reactor 5 gegeven. Tot dag 124 was het gehalte aan Kjeldahlstikstof in het influent dermate laag, dat een verdergaande reductie nauwelijks mogelijk was, alleen de resterende nitriet werd omgezet tot nitraat. Tijdens de derde periode was weliswaar sprake van een forse Nkj-reductie (28%), maar dit resultaat moet, mede gelet op de concentraties van Nkj-c en  $N-NO_3^-$  in in- en effluent, voornamelijk aan de filtrerende werking van de sponsjes worden toegeschreven. Een afname van het gehalte aan Nkj-c met 4 mg/l correspondeert met een omzetting van 0,12 kg N/m<sup>3</sup> reactor.dag.

Tabel 4 Gehalte (in mg/l) van diverse stikstofverbindingen in in- en effluent van reactor 5.

	dag 0-101	dag 107-123	dag 128-184
Nkj-influent	4,6	1,3	53
Nkj-effluent	5,8	1,3	38
Nkj-c-influent	4,0	1,4	36
Nkj-c-effluent	3,1	1,6	32
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -influent	2,6	0,6	1,2
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -effluent	0,7	0,1	0,6
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -influent	41	42	13
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -effluent	44	43	18

### Activiteitsmetingen

Tijdens de laatste maand van de experimenten zijn op vier dagen activiteitsbepalingen uitgevoerd. De gemiddelde uitkomsten zijn vermeld in tabel 5. Het zuurstofgehalte in de meetvaatjes was vaak aanmerkelijk hoger dan in de reactoren. Op de consequenties van dit verschil wordt in het volgende hoofdstuk nader ingegaan.

De weergegeven volgorde van het sponsjesslib in R1 correspondeert met die van het successievelijk toevoegen van de sponsjes aan de compartimenten; in 1D waren ze (veruit) het langste aanwezig, in 1C het kortste.

Uit de onderlinge verschillen kunnen enkele opmerkelijke conclusies worden getrokken. Dit betreft met name:

- . de CZV-verwerkingscapaciteit was bij het vrije slib veel groter dan bij het sponsjesslib;
- . qua nitrificatie-activiteit waren er, met uitzondering van het slib uit R5, geen grote verschillen tussen de slibben;
- . de N-NH<sub>4</sub>-reductie was bij de sponsjes aanmerkelijk groter dan de hoeveelheid N-NO<sub>x</sub> die werd gevormd. Dit duidt op denitrificatie;
- . het vrije slib uit R1 was qua reductie van CZV en N-NH<sub>4</sub> minder actief dan het vrije slib uit R2. Dit betekent dat de activiteit van het vrije slib kennelijk afneemt, indien de omzettingen voor een deel door sponsjesslib worden uitgevoerd;
- . van de sponsjesslibben vertoonde 1D de laagste en R5 de hoogste activiteit.

Tabel 5 Resultaten (steeds in mg/g slib.uur) van de activiteitsmetingen.

	Slib In sponsjes						Vrij slib			
	1D	1A	1B	1C	3	5	R1	R2	R3	R4
O <sub>2</sub> -consumptie	4,2	12	16	11	12	26	15	12	15	17
N-NH <sub>4</sub> -reductie	1,1	1,1	1,6	2,0	1,4	5,2	1,0	1,4	0,7	1,4
N-NO <sub>x</sub> -vorming <sup>1)</sup>	0,5	0,3	1,2	1,5	0,8	3,5	0,9	1,0	0,5	1,3
CZV-reductie <sup>2)</sup>	5	16	19	26	15	22	49	61	52	33
kg ds/m <sup>3</sup> spons	29	20	16	12	21	11				

1) NO<sub>x</sub> = NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>

2) met natriumacetaat als substraat

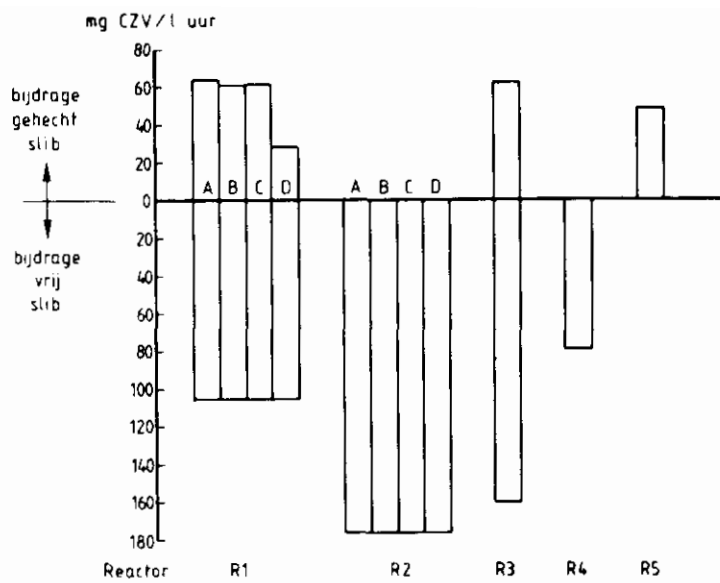
Vermenigvuldiging van de gemeten activiteit met de hoeveelheid biomassa leidt tot de "potentiële capaciteit" die voor de omzetting van bijvoorbeeld CZV of N-NH<sub>4</sub> beschikbaar was. In de figuren 7 en 8 is dit grafisch weergegeven. Deze tonen dat de potentiële bijdrage van het sponsjesslib vooral de omzetting van N-NH<sub>4</sub> betrof, de CZV-afbraak werd vooral door het vrije slib uitgevoerd.

#### Slibproductie

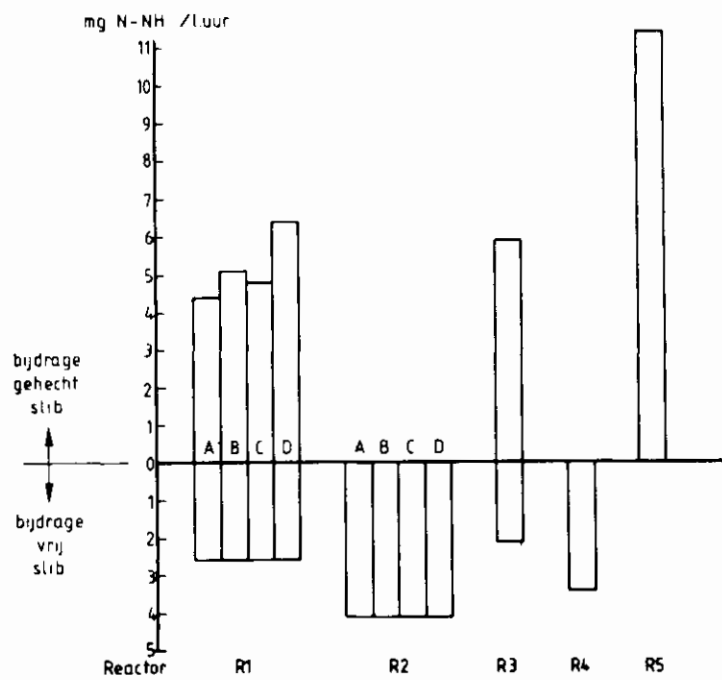
Het experiment op 18 m<sup>3</sup> schaal (R6) was primair opgezet om de specifieke slibproductie (= kg geproduceerd slib/kg verwijderde CZV, op semi-praktijkschaal te kunnen meten. Er werd een volumebelasting van 1,4 kg CZV/m<sup>3</sup>.dag toegepast. Zuiveringsresultaten en microscopisch beeld waren zodanig, dat geconcludeerd mag worden dat de proefinstallatie normaal functioneerde.

De resultaten van de slibproductiemetingen in R6 en in de andere reactoren worden in tabel 6 gegeven. Perioden met grote slibverliezen door licht slib zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

Een vergelijking met CBS-cijfers inzake de specifieke slibproductie in Nederlandse awzi's toont dat de slibproductie in geen van de vijf proefinstallaties opvallend laag was. Ook was geen sprake van duidelijke verschillen tussen de referentie-installaties onderling.



Figuur 7 CZV-reductiecapaciteit in mg CZV/l reactor.uur.



Figuur 8 N-NH<sub>4</sub> reductiecapaciteit in mg N/l reactor.uur.

Tabel 6 Specifieke slibproductie in de reactoren.

Reactor	kg slib gevormd/kg CZV verwijderd
1*	0,38
2	0,35
3*	0,46
4	0,42
6*	0,45
Nederlandse awzi's	0,37-0,60

\* met sponsjes

## DISCUSSIE

Het gebruik van sponsjes als dragermateriaal betekent dat de biomassa zowel een hechtingsoppervlak als een "schuilgelegenheid" aangeboden wordt. De verblijftijd van de biomassa in/op de sponsjes wordt daardoor losgekoppeld van de slibleeftijd of de hydraulische verblijftijd. Doordat bij toepassing in actiefslib naast vrij gesuspenseerd slib ook sponsjesslib aanwezig is, kan bovendien meer biomassa per reactorvolume-eenheid in de reactor worden gehandhaafd.

Dit zou de volgende consequenties kunnen hebben:

- . lagere slibbelasting
  - opties : - beter CZV-rendement
  - lagere SVI
  - minder slibproductie
- . traag-groeiende organismen kunnen zich beter handhaven
  - opties : - betere nitrificatie
  - afbraak xenobiotica e.d.
  - meer *protozoa en metazoa* (o.a. wormen)
- . zuurstofgradiënt in de sponsjes
  - optie : - denitrificatie

## Kwantiteit en kwaliteit van het slib in de sponsjes

Er werd vastgesteld dat door het toevoegen van 20 vol.% sponsjes 2,5-5 kg d.s./m<sup>3</sup> reactor kan worden geïmmobiliseerd. Het gehalte aan biomassa in een reactor kan dus aanmerkelijk worden verhoogd door de toepassing van deze drager.

Voor het beoordelen van de mogelijkheden van het Linpor proces is echter naast de kwantiteit, voor de kwaliteit van de geïmmobiliseerde biomassa van belang. Tabel 7 toont dat een opmerkelijke reeks uitkomsten wordt verkregen indien de gemeten activiteiten uit tabel 5 omgerekend worden naar g/m<sup>3</sup> spons.uur. De slibben uit 1A, 1B, 1C en 3 verschillen dan nauwelijks van elkaar. Dit betekent dat de activiteit per g biomassa kleiner was, naarmate de sponsjes meer slib bevatten. De totale activiteit was dus niet gekoppeld aan de leeftijd of de hoeveelheid biomassa, maar aan het volume van de drager. De snelheid waarmee voedingsstoffen naar binnen getransporteerd konden worden was dus doorslaggevend voor de gemeten activiteiten. Dit betekent dat voornamelijk aanvoer via diffusie plaats vond. Het relatief forse formaat van de sponsjes (rib lengte 13 mm) vormt dan een grote handicap en de zuurstofvoorziening in de sponsjes snel een knelpunt. Uit diverse berekeningen en overwegingen werd geconcludeerd dat alleen de micro-organismen, aanwezig in een dunne laag van enkele honderden µm's dik, aan de buitenkant van de sponsjes (kunnen) bijdragen aan de omzetting van CZV en Nkj. Met het vrijwel ontbreken van transport naar binnen, is een sponsje (met 10 à 15 kg d.s./m<sup>3</sup> spons) in feite gereduceerd tot een oppervlak van 12 cm<sup>2</sup>, waardoor 20 vol.% correspondeert met 96 m<sup>2</sup> hechtingsoppervlak per m<sup>3</sup> reactor.

Tabel 7 Activiteiten van de sponsjesslibben in g/m<sup>3</sup> spons.uur.

	1D	1A	1B	1C	3	5
O <sub>2</sub> -consumptie	122	240	256	132	252	286
N-NH <sub>4</sub> -reductie	32	22	26	24	29	57
N-NO <sub>x</sub> -vorming	15	6	19	18	17	39
CZV-reductie	145	320	304	312	315	242
droge stof (kg/m <sup>3</sup> spons)	29	20	16	12	21	11

Diffusie als voornaamste transportmechanisme impliceert dat de grootte van het concentratieverschil in/buiten de sponsjes bepaalt hoeveel naar binnen getransporteerd wordt. Voor de omzetting van CZV en Nkj is veel zuurstof nodig. Uitgaande van 20 vol.% sponsjes en 2 mg O<sub>2</sub>/l in de waterfase, wordt de hoeveelheid zuurstof, die via diffusie in de sponsjes getransporteerd kan worden, geschat op 0,5 kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> reactor.dag. Dit beperkt de bijdrage van het sponsjesslib vooral bij wat hogere belastingen in sterke mate. In de proefinstallaties was de zuurstofconcentratie meestal aanmerkelijk groter dan deze 2 mg O<sub>2</sub>/l, waardoor de sponsjesslibben een

substantiële bijdrage hebben kunnen leveren aan de omzetting van CZV en Nkj.

### **Evaluatie van de uitgevoerde proeven**

Het CZV van de effluenten van de reactoren 1 en 3 was voortdurend lager dan dat van de referentie-installaties. Dit verschil kan voor een belangrijk gedeelte teruggevoerd worden op een lager gehalte aan zwevend stof in de effluenten van de reactoren met sponsjes. De betere verwijdering van zwevend stof kan ten dele uit de bezinkeigenschappen van de slibben worden verklaard. Het lijkt echter waarschijnlijk dat daarnaast ook de filtrerende werking van de sponsjes hierbij een rol heeft gespeeld. Dit kan zowel invangen van minuscule deeltjes betreffen, als daadwerkelijke consumptie hiervan door de forse populatie van op de sponsjes gehechte ciliaten.

Het geleidelijk verder vullen van R1 met sponsjes verhinderde niet dat in deze reactor, net als in R2, het CZV-c-rendement geleidelijk met circa 5% verminderde door de daling van de temperatuur.

De toepassing van 20 vol.% sponsjes leidde tot een consistent betere totale CZV-verwijdering dan het voorschakelen van een A-trap. De sponsjes verhinderden echter niet een verslechtering van de effluentkwaliteit, toen tijdens de laatste periode een veel hogere belasting werd toegepast in R3 en R4. Bij een hoge belasting mag echter, gelet op hetgeen hiervoor over diffusielimitering in de sponsjes is opgemerkt en de cruciale rol van de zuurstofvoorziening hierbij, ook geen extra bijdrage van het sponsjesslib worden verwacht.

Qua CZV-verwijdering was de nazuiverende werking door R5 gering.

R1 nitrificeerde voortdurend beter dan R2. Het negatieve effect van de temperatuurdaling op de nitrificatie werd in deze reactor voor een belangrijk gedeelte gecompenseerd door de toevoeging van 20 vol.% sponsjes aan de overige compartimenten, waardoor het gehalte aan Nkj-c in het effluent steeds beneden 10 mg N/l bleef.

De verschillen qua nitrificatie tussen R3 en R4 waren miniem. Door de veel hogere belasting tijdens de derde periode, verslechterde het nitrificatierendement in beide reactoren met circa 50%. Dit betekent dat de biomassa in/op de sponsjes niet in staat was de extra N te nitrificeren, hetgeen uiteraard past in de theorie over de doorslaggevende rol van diffusielimitering.

In de reactoren vond nauwelijks denitrificatie plaats. Het is onverklaarbaar waarom tijdens de activiteitsmetingen (zie Tabel 5) wel stikstofverwijdering via dit proces optrad.

Bij de Linpor N installatie (R5) was sprake van een forse discrepantie tussen de potentiële nitrificatiecapaciteit, die uit de activiteit (Tabel 5) berekend kan worden, en de gemeten Nkj-c-reductie (Tabel 4). Tijdens de derde periode zou, uitgaande van de activiteit, circa 0,3 kg N/m<sup>3</sup> reactor.dag genitrificeerd kunnen worden. Dit stemt qua orde van grootte redelijk overeen met hetgeen in de literatuur over de

nitrificatiecapaciteit van Linpor N (bij 13°C) is vermeld. Er werd echter slechts circa 0,1 kg N/m<sup>3</sup> reactor.dag genitrificeerd. De verklaring voor het grote verschil moet mogelijk ook weer aan beperking door transport in de sponsjes worden toegeschreven.

De verschillen qua bezinkeigenschappen tussen de reactoren met/zonder sponsjes waren weliswaar niet altijd even consistent, maar desondanks lijkt geconcludeerd te mogen worden dat de extra biomassa (in de sponsjes) de kans op het ontstaan van licht slib verkleint.

Mede door deze meestal betere bezinkeigenschappen, waren de processen in R1 en R3 stabiel dan in de referentie-installaties.

De aanwezigheid van sponsjes leidde niet tot een significant lagere slibproductie. Dit mocht echter ook niet worden verwacht, omdat slibconsumerende wormen alleen in R5 (tijdelijk) werden waargenomen.

### **Economische aspecten**

De kosten van het Linpor proces bedragen circa f 350,-/m<sup>3</sup> tankvolume. Dit bedrag omvat 20 vol.% sponsjes, enkele voorzieningen die nodig zijn voor een homogene verdeling van de sponsjes in de tank en de installatie door de leverancier. Genoemd bedrag bestaat echter voor een belangrijk gedeelte uit de kosten van de sponsjes. Slijtage en verlies van de sponsjes treedt, gelet op de ervaringen in awzi's waarin deze drager al circa zes jaar aanwezig is, nauwelijks op.

Een tweede kostenpost vormt het hogere energieverbruik. Dit betreft zowel extra beluchtingsintensiteit om het bezinken van sponsjes te voorkomen, als een hogere zuurstofconcentratie in de waterfase om de gevolgen van diffusielimitering zoveel mogelijk te beperken.

### **CONCLUSIES**

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Door het toevoegen van Linpor sponsjes als dragermateriaal kan 2,5-5 kg slib/m<sup>3</sup> reactor worden geïmmobiliseerd.
2. Het transport in/uit de sponsjes lijkt echter diffusie-gelimiteerd te zijn, waardoor voornamelijk de micro-organismen aan de buitenkant van de sponsjes kunnen bijdragen aan de omzetting van CZV en Kjeldahlstikstof.
3. Het toevoegen van 20 vol.% sponsjes correspondeert daardoor met het creëren van 96 m<sup>2</sup> hechtingsoppervlak per m<sup>3</sup> reactor.
4. Bij 20 vol.% sponsjes, met 2 mg O<sub>2</sub>/l in de omringende waterfase, wordt de bijdrage, die het sponsjesslib kan leveren aan de omzetting van Nkj+CZV,



onder enig voorbehoud geschat op een hoeveelheid die overeenkomt met een zuurstofverbruik van  $0,5 \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \text{ reactor.dag}$ .

5. De aanwezigheid van sponsjesslib leidt echter wel tot een wat lagere activiteit van het vrije slib.
6. Het CZV-rendement neemt toe door de toepassing van deze drager. Hieraan draagt vooral de betere verwijdering van zwevend stof bij. Aan de extra "zuiveringsinspanning", die vereist is indien de belasting wordt verhoogd, kan het sponsjesslib, door de onder 2 genoemde limitatie, echter slechts een beperkte bijdrage leveren.
7. Het sponsjesslib levert een aanmerkelijk grotere bijdrage aan de nitrificatie dan het vrije slib.
8. Er mag echter geen grote bijdrage van de sponsjes aan de denitrificatie worden verwacht.
9. De resultaten van de proef met Linpor N waren niet consistent, waardoor uit dit experiment geen conclusies kunnen worden getrokken.
10. De toepassing van deze drager leidt alleen tot een lagere slibproductie, indien een omvangrijke wormenpopulatie in de sponsjes gehandhaafd kan worden.
11. De kans op het ontstaan van licht slib wordt (wat?) kleiner indien deze drager toegepast wordt. De processtabiliteit neemt mede daardoor ook toe.
12. Een vergelijking van de reactoren 3 en 4 toont dat de toepassing van 20 vol.% sponsjes tot een beter CZV-zuiveringsrendement leidt dan de voorschakeling van een A-trap.
13. Samenvattend wordt geconcludeerd dat het Linpor proces vooral geschikt is om een wat lagere slibbelasting te bewerkstelligen en zo bijvoorbeeld de nitrificatie te verbeteren. De relatief hoge kosten vormen echter een nadeel.

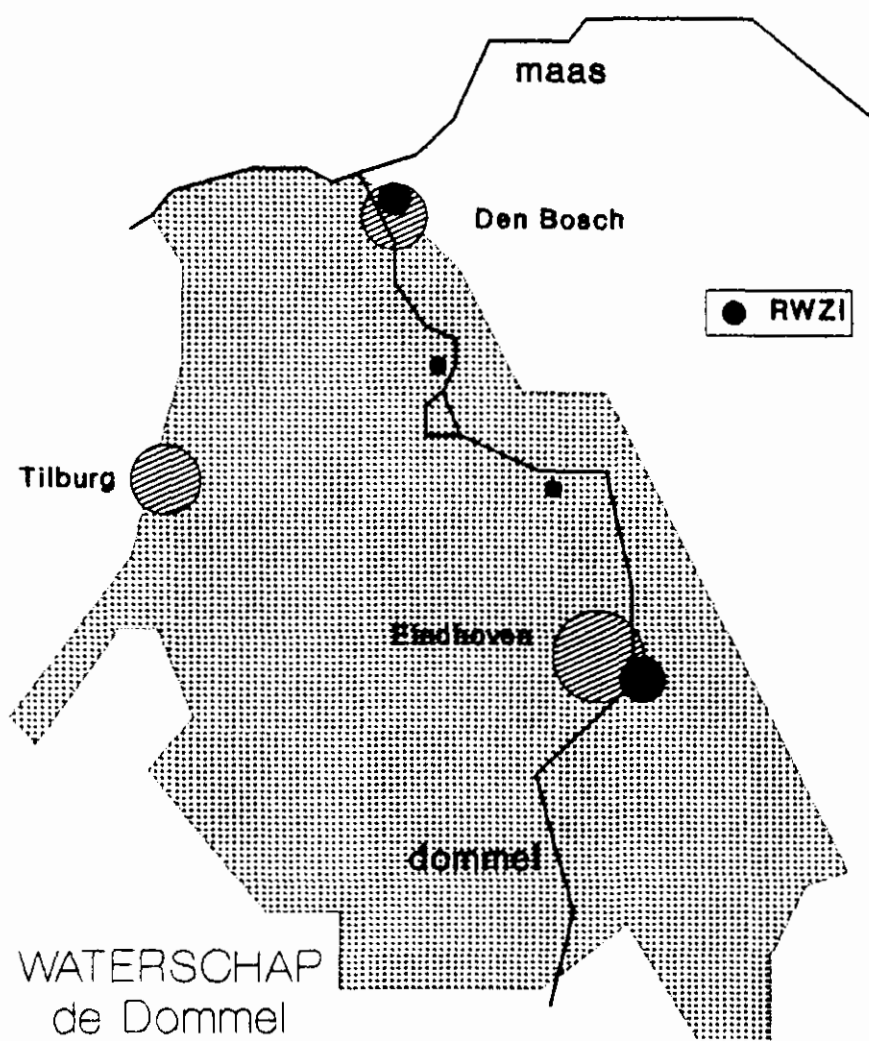
**Documentatie**

## BIOLOGISCHE DEFOSFATERING

ir. T.W.M. Wouda  
ir. J. Kruit  
ing. L.J.A.M.Jacobs  
(GTD Oost-Brabant)

## INLEIDING

De rivier de Dommel is het belangrijkste oppervlaktewater in het gebied van het waterschap de Dommel. De oorsprong ligt in België en de Dommel stroomt vervolgens door Brabant; langs Eindhoven via St. Oedenrode en Boxtel naar 's-Hertogenbosch. Daar vloeit ze samen met de Aa om als de Dieze in de Maas uit te stromen. De regionale rioolwaterzuiveringsinstallaties (r.w.z.i.) van de genoemde plaatsen lozen hun gezuiverde effluent op de Dommel.



Figuur 1. Stroomgebied van rivier de Dommel.

Hiervan heeft de r.w.z.i. Eindhoven met een zuiveringscapaciteit van 750.000 inwonerequivalenten de belangrijkste invloed op de waterkwaliteit.

In het waterkwaliteitsbeheersplan 1985 - 1994 van het waterschap wordt de Dommel aangewezen als één van de wateren met de functie natuur, waardoor hoge eisen aan de waterkwaliteit worden gesteld. Voor de r.w.z.i. Eindhoven zal dit gaan betekenen dat ingrijpende aanpassingen moeten plaatsvinden. De stikstofverwijdering, via het proces van biologische nitrificatie, zal tenminste 75% moeten bedragen. Daarnaast moet fosfaatverwijdering worden gerealiseerd tot waarden van 1 mg fosfor/l of minder. Een derde belangrijke doelstelling is het voorkomen van slibverliezen uit de r.w.z.i., welke vooral bij regenweer met hoge wateraanvoeren dreigen.

Bij defosfatering ontstaat extra (anorganisch) slib. Verwerking van dit slib brengt dus extra kosten met zich mee. Omdat het waterschap, tezamen met de waterschappen de Aa en de Maaskant plannen uitwerkt om tot gezamenlijke slibverbranding te komen is minimalisering van de slibhoeveelheden een belangrijke randvoorwaarde bij de keuze van de defosfateringstechniek.

### DEFOSFATERINGSTECHNIEK

Defosfatering kan op chemische of biologische wijze worden gerealiseerd. Vóór chemische defosfatering pleit, dat het een bekende techniek is en goed inpasbaar in bestaande r.w.z.i.'s.

<u>chemisch</u>	<u>biologisch</u>
+ bestaande techniek	- pilot-plant
+ Inpasbaar	- nieuwbouw/planologie
- invloed waterlijn	+ geen invloed waterlijn
- zoutbelasting	+ nauwelijks
- 30-50 % extra slib	+ 10 % extra slib
<u>kosten</u>	
lage kapitaalslasten	hoge kapitaalslasten
hoge exploitatiekosten	lage exploitatiekosten

Figuur 2. Voor- en nadelen van chemische- en biologische defosfatering

Daarentegen is biologische defosfatering buiten Nederland op praktijkschaal bekend, doch in Nederland nog slechts op pilot plant schaal toegepast. Intro-

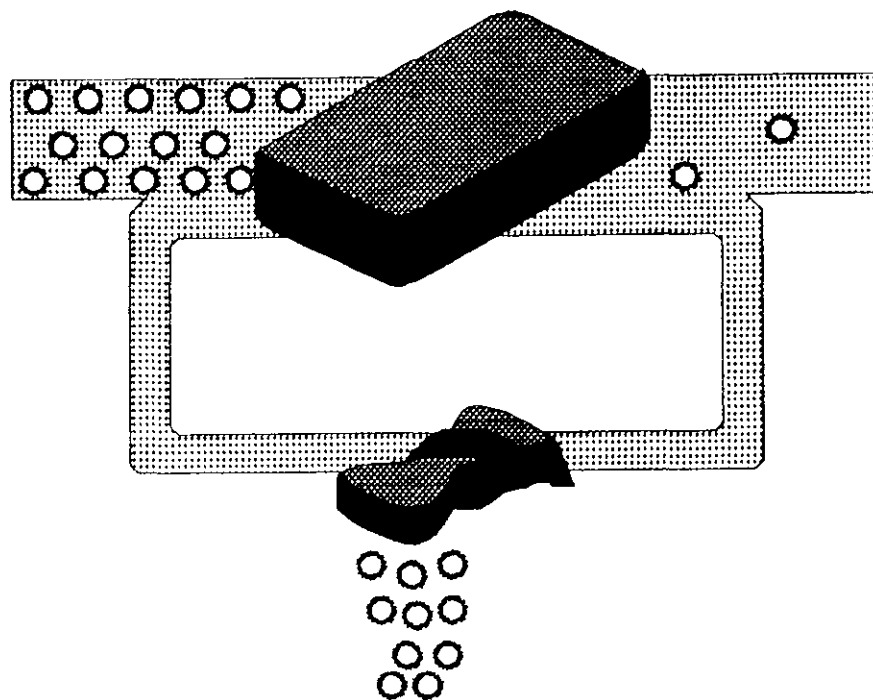
ductie zal altijd tot aanzienlijke bouwkundige ingrepen leiden. Nadelen van de chemische defosfatering zijn echter de invloed die dosering van chemicaliën op de waterlijn kan hebben; de nitrificatie kan in gevaar komen, terwijl een extra zoutbelasting via het effluent kan optreden. De extra slibproductie zal 30 tot 50% kunnen bedragen afhankelijk van de plaats waar chemicaliën worden toegevoerd.

Bij biologische defosfatering zijn deze bezwaren in duidelijk mindere mate aanwezig. De extra slibproductie wordt geschat op 10%. Dit extra fosfaatslib kan bovendien apart van het overige slib worden opgevangen, waardoor recycling mogelijk is.

Met betrekking tot de kosten onderscheidt chemische defosfatering zich door relatief lage investeringen, terwijl chemicaliënverbruik en slibverwerking tot relatief hoge exploitatiekosten leiden. Bij biologische defosfatering liggen deze accenten juist tegenovergesteld.

Voor het totale kosten-niveau wordt voor beide technieken een jaarlijks bedrag rond de f 10,- per inwonerequivalent aangehouden.

Uiteindelijk is voor r.w.z.i. Eindhoven in eerste instantie gekozen voor toepassing van biologische defosfatering in een deelstroom van de slibretourstroom. Het werkingsprincipe van deze uitvoeringsvorm kan het best worden geïllustreerd door een beeldspraak.



Figuur 3. Werkingsprincipe van biologische defosfatering.

De fosfaten bevinden zich in het binnenkomende afvalwater en komen in de beluchtingstank. Hierin bevinden zich bacteriën het zogenaamde actief-slib die verontreiniging op een biologische wijze afbreken. Dit slib kan worden gestimuleerd om extra hoeveelheden fosfaat op te nemen. Het slib werkt daardoor als

een "spons", die de fosfaten "opzuigt". Dit proces stopt echter indien de "spons" verzadigd raakt. Daarom wordt een deel van het slib via een zogenaamde stripperlijn geleid, waarin het zodanig wordt gemanipuleerd dat de opgehoopte fosfaten worden losgelaten: de "spons" wordt "uitgeknepen". Daarna wordt het slib weer teruggevoerd naar de beluchtingstank waar het opnieuw fosfaat kan opnemen.

## PLANNING EN MEETPROGRAMMA

Om de drie, in de inleiding genoemde, doelstellingen te verwezenlijken is voor de r.w.z.i. Eindhoven een project gestart, verdeeld in een viertal deelonderzoeken.

Deel 1 betreft literatuur inventarisatie en het uitvoeren van batch experimenten op laboratoriumschaal, zowel in de water- als in de sliblijn. De experimenten zijn in 1988 uitgevoerd. Aandachtspunten waren o.a. het effect van propstroom-uitvoering, de invloed van anaërobe zones, de invloed van natriumacetaat (NaAc) op selectie en P-afgifte bij contacttijden van 10 - 15 uur.

### Introductie

- propstroom
- anaerobe zone
- NaAc dosering

P	Rend (%)	Effl (mg/l)
CZV	80-85	50-100
N-Kj	80-90	2-4
NO <sub>3</sub>	-	< 10
P-tot	80-85	0.5-1.5
SVI	-	80-90 ml/g

- P-release experimenten
  - t = 10 - 15 h
  - P-tot filtraat: max 50 mg/l

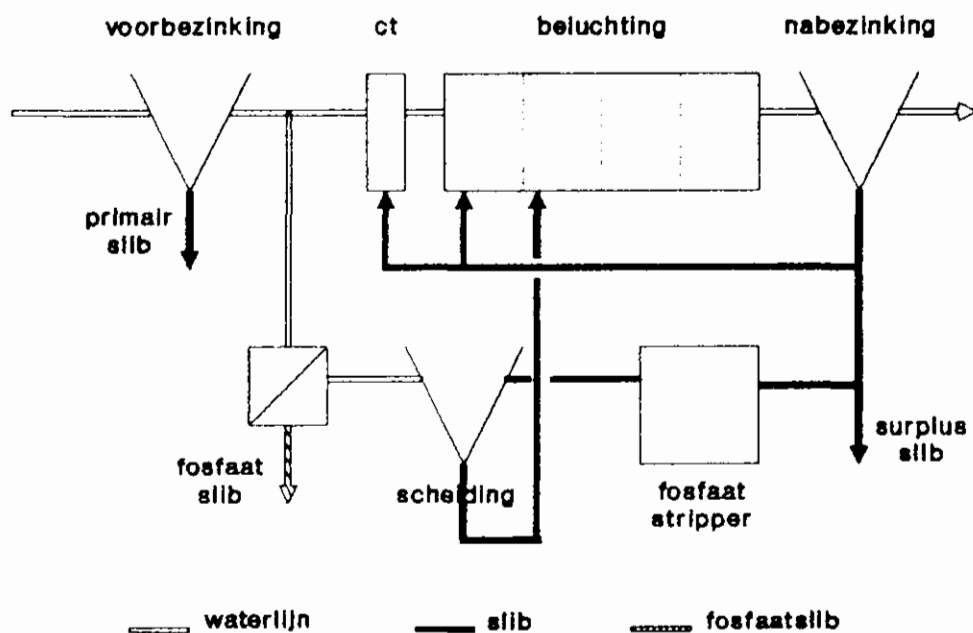
Figuur 4. Resultaten van batch-experimenten (deel 1).

Uiteindelijk bleek op laboratorium schaal effluent kwaliteit bereikbaar waarbij een CZV-gehalte van 50 - 100 mg/l, een N-Kj gehalte van 2 - 4 mg/l, een N-NO<sub>3</sub> gehalte van minder dan 10 mg/l en een P-totaal gehalte van 0,5 - 1,5 mg/l werd gerealiseerd. De slibvolume-index (SVI) bleef daarbij tussen 80 - 90 ml/g.

Deel 2, het vervolg op deze bemoedigende resultaten, wordt in 1989 en het begin van 1990 uitgevoerd en omvat proeven op pilotplant schaal op de r.w.z.i. Eindhoven. Voor deze experimenten werd een deelsubsidie verkregen in het kader van het RWZI 2000 programma, opgesteld onder auspiciën van de DBW/RIZA en STORA. Dit deelonderzoek 2 is opgesplitst in een vijftal fasen:

- fase 1. Het opstarten van de installatie. Het opgang brengen van CZV- en stikstof-verwijdering, echter nog geen biologische fosfaatverwijdering. Duur 1 - 2 maanden.
- fase 2. In deze fase wordt de zogenaamde stripperlijn, waardoor de biologische fosfaatverwijdering op gang komt, ingeschakeld. Duur 1 - 2 maanden.
- fase 3. Door middel van dosering van NaAc in de stripperlijn wordt de selectie van Acinetobacter bacteriën bevorderd. Hierdoor wordt betere opname en sneller afgifte van fosfaat (afhankelijk van procesomstandigheden) bevorderd. Daardoor kan optimalisatie van de deelstromen en verblijftijd in stripperlijn worden bereikt. Duur 3 - 4 maanden.
- fase 4. Verdere optimalisatie wordt onderzocht door in plaats van NaAc voorverzuurd primair slib of influent te doseren. Duur 2 - 3 maanden.
- fase 5. Door instelling van wisselende influentdebieten worden praktijkcondities nader getest. Ook wordt de fosfaatrijke waterstroom uit de stripperlijn via neerslag van fosfaat ontgaan en weer in de beluchting teruggevoerd. Duur 2 - 3 maanden.

De totale proefduur bedraagt 10 - 15 maanden en zal naar verwachting eind mei 1990 zijn afgerond.



Figuur 5. Schema biologische defosfatering.

In de schematische opzet van de proefinstallatie wordt de beluchtingstank - verdeeld in 4 compartimenten met afzonderlijk beluchttingsregelingen - voorafgegaan door een contacttank (CT) die de vorming van goed bezinkbaar slib moet garanderen. De slibretourstroom wordt zodanig over de CT en de beluchtingstank verdeeld dat een goede vlokbelading wordt verkregen. Op deze wijze wordt een goed bezinkbaar slib gecreëerd. Een deel van het retour slib wordt geleid door de stripperlijn, welke bestaat uit een geroerde tank en een indikker. De anaërobe contacttijden kunnen tussen ca. 8 en 20 uur worden ingesteld. In deze periode gaat fosfaat van de slibfase over naar de vloeistoffase. In de indikker worden (fosfaat-arm) slib en (fosfaat-rijk) water gescheiden. Slib gaat terug naar de beluchting. Water passeert een fosfaatverwijderingsunit en komt daarna ook terug in de beluchting. Voor de fosfaatverwijdering komen chemische technieken in aanmerking evenals korrelreactor of magnetische verwijdering.

Na beëindiging van deze experimenten volgt deel 3, waarbij een experiment op praktijkschaal, wordt uitgevoerd met een gedeelte van de r.w.z.i. Eindhoven gedurende een periode van ongeveer een jaar.

Na evaluatie van deze resultaten volgt dan deel 4, waarin de uitwerking en uitvoering volgt voor de gehele r.w.z.i. Eindhoven.

Het project moet vóór 1995 zijn afgerond.

## RESULTATEN

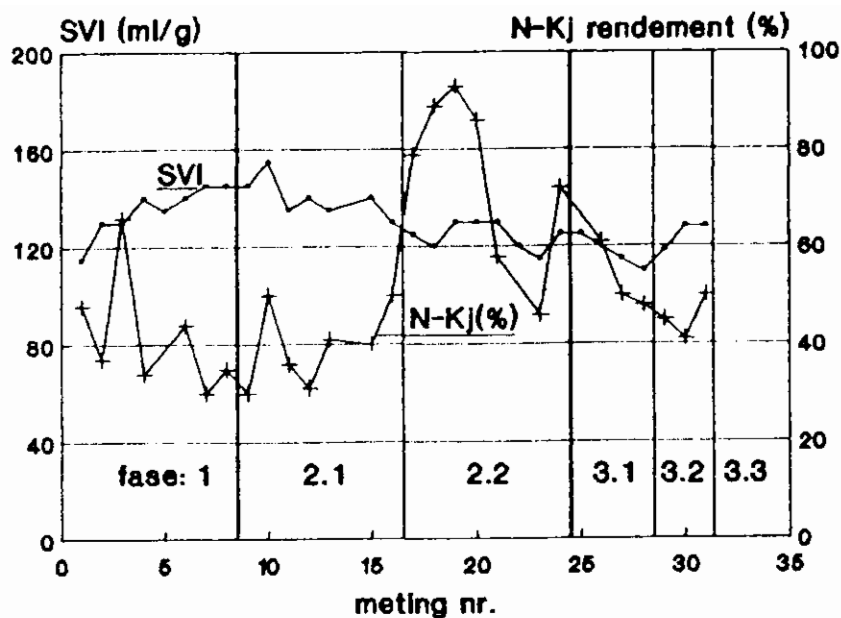
Het onderzoek bevindt zich momenteel in fase 3.

Optimalisatie is daarom nu pas aan de orde en evaluatie van de meetresultaten tot dusver heeft nog niet plaats kunnen vinden.

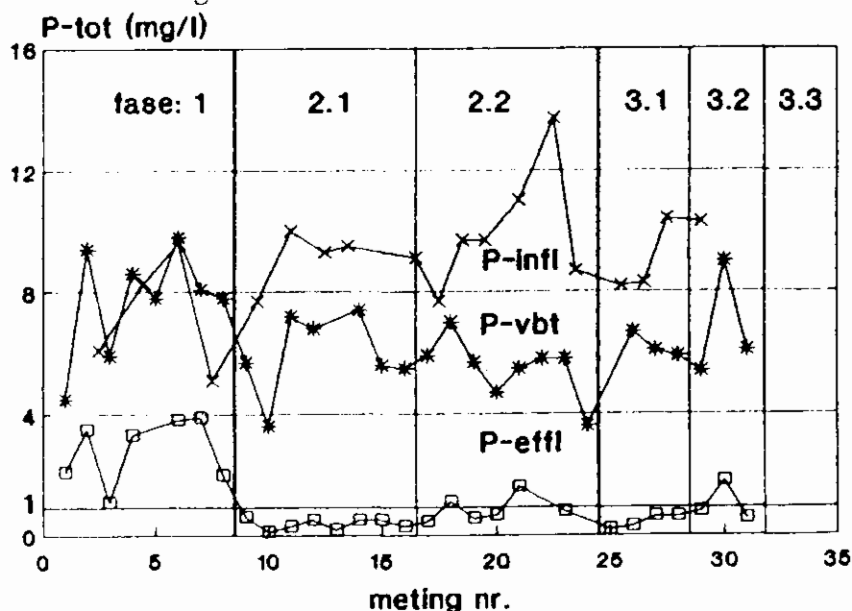
Desondanks zijn enkele meetresultaten te presenteren.

De SVI varieert tussen de waarden 110 en 150 ml/g en stabiliseert zich op ongeveer 120 ml/g. Voor de nitrificatie, weergegeven door het rendement op N-Kj, ontstaat het volgende beeld. In fase 1 en begin fase 2 was het rendement laag, ongeveer 40%. Reden was voornamelijk een te hoge CZV-slibbelasting van ca. 0,4 à 0,5 kg CZV/kg z.s.d. Door de belasting te verlagen steeg het rendement in fase 2 uiteindelijk tot maximaal 90%. In fase 3 werd begonnen met dosering van NaAc waardoor extra CZV in de stripperlijn werd toegevoerd. Deze extra CZV-belasting leidde weer tot afname van het N-Kj rendement tot waarden van 40 - 60%.



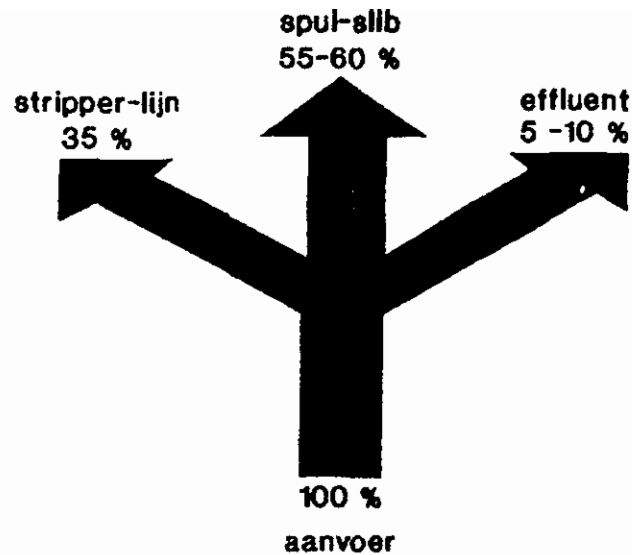


Figuur 6. Slibvolumeindex (ml/g) en N-Kj rendement (%) bij biologische defosfatering.



Figuur 7. Totaal fosfaat concentraties (mg/l) bij biologische defosfatering.

Het fosfaat-gehalte in het influent van de installatie varieert globaal tussen 8 en 12 mg P-totaal/l, gemiddeld ca. 10 mg/l. Na de voorbezinktank liggen de variaties tussen 4 en 8 mg/l, met een gemiddelde van ca. 6 mg/l. Gedurende fase 1 (zonder inschakeling stripperlijn) bleef een verdere daling beperkt, zodat in het effluent het gehalte tussen 2 en 4 mg/l bleef. Direct na inschakeling van de stripperlijn (fase 2) daalt het gehalte beneden 1 mg P/l en blijft vervolgens gedurende fase 2 en 3 met een enkele uitzondering beneden deze grens. Het gemiddelde is ca. 0,5 mg P/l. Er is over het biologische deel van de proefinstallatie een P-balans op te stellen. Hierbij moet echter nadrukkelijk worden gewezen op het voorlopige karakter van de cijfers.



Figuur 8. P-balans

Van het aangevoerde fosfaat verdwijnt 5 - 10% via effluent en ca. 35% via de stripperlijn. Het overige deel ca. 55 - 60% verdwijnt via het spui-slib.

De percentages van deze laatste twee deelstromen kunnen onderling nog aanzienlijk verschuiven waarbij uiteindelijk een wisseling van getallen wellicht mogelijk wordt. Een tweede verschuiving kan ontstaan door verkleining van de hoeveelheid en verblijftijd van slib in de stripperlijn, in combinatie met dosering van NaAc of (verzuurd) primair slib.

## CONCLUSIES

Uit het lopende onderzoek naar biologische fosfaatverwijdering op de r.w.z.i. Eindhoven kunnen enkele voorlopige conclusies worden getrokken.

- \* een effluent kwaliteit van minder dan 1 mg P/l lijkt haalbaar.
- \* bij de toegepaste CZV-belasting is simultane nitrificatie en denitrificatie moeilijk te realiseren.
- \* een stabiele SVI kan worden bereikt met waarden tussen 110 - 150 ml/g.

# TOEPASSING VAN DE DEEP SHAFT REACTOR

Ir. E. Eggers

Ing. F.J. van der Schot

(DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV)

## INLEIDING

In het kader van het project "Toekomstige Generatie Rioolwaterzuiveringsinrichtingen" (RWZI 2000) is ondermeer aandacht besteed aan een aantal uitvoeringsvormen van reactoren waarin het actiefslibproces kan worden uitgevoerd. Een van de nader bestudeerde uitvoeringsvormen is het Deep-Shaft systeem.

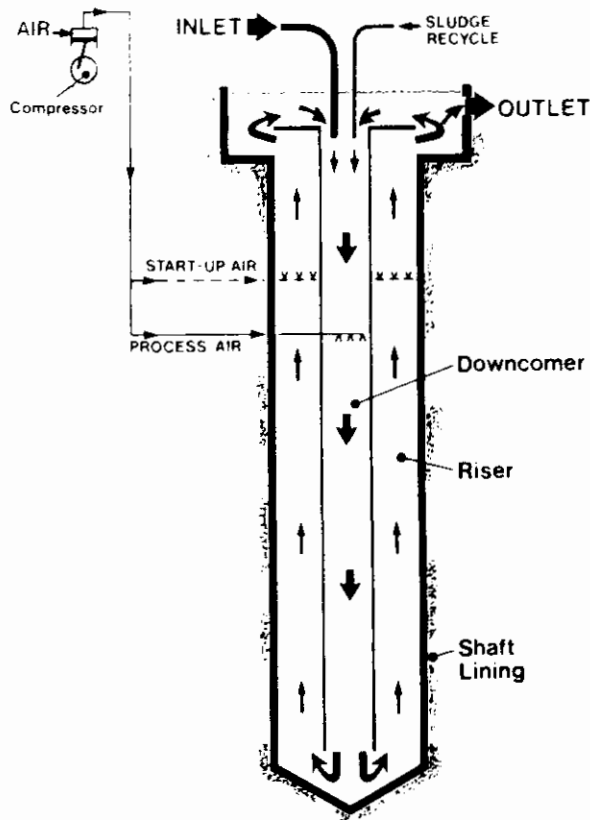
Vanwege de door ICI geclaimde voordelen, die aan de toepassing van het systeem zijn verbonden, mocht aanvankelijk een brede toepassing van het systeem worden verwacht. Thans moet echter worden geconstateerd dat de verwachte doorbraak, althans in West Europa en Amerika, achterwege is gebleven. Daarentegen blijkt in Japan het systeem tamelijk populair te zijn geworden.

In dit artikel wordt met name ingegaan op de mogelijke toepasbaarheid van het Deep-Shaft systeem voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater.

## BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM

### Principe en uitvoeringsvormen

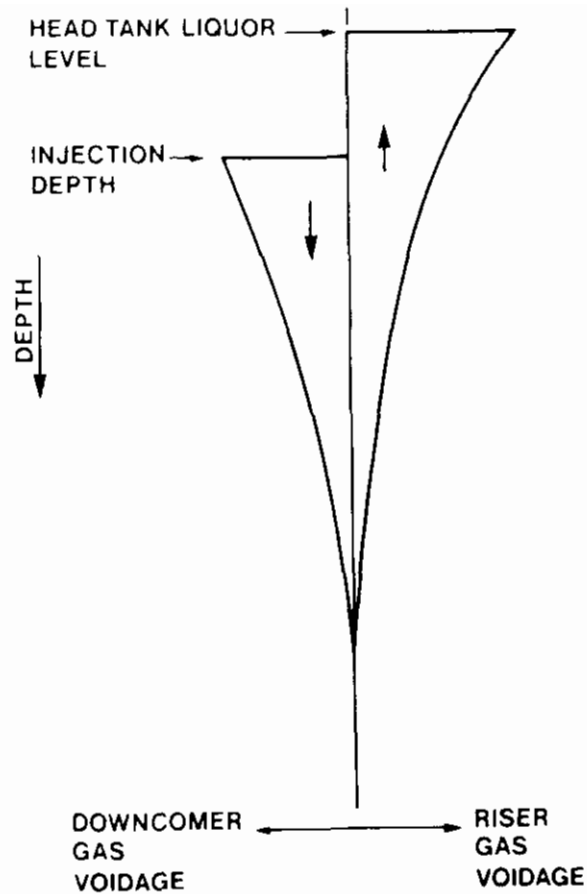
Het Deep-Shaft-systeem is een uitvoeringsvorm van het actiefslibproces voor de aërobe biologische behandeling van afvalwater. De Deep-Shaft-reactor bestaat uit een verticale schacht met een diepte van 30 tot 150 m diepte en een diameter van 2 tot 6 m. In de schacht bevinden zich twee kanalen waardoor het actiefslibmengsel circuleert, de "downcomer" (het kanaal met de neerwaartse stroming), en de "riser" (het kanaal met de opwaartse stroming). De interne circulatie wordt in stand gehouden door de "airlift" werking van de lucht, die in de "downcomer" wordt gebracht. De lucht is tevens noodzakelijk voor de zuurstofvoorziening van het actiefslib.



Figuur 1. Schema Deep Shaft reactor

De lucht wordt ingebracht op enige diepte in de "downcomer". Doordat de neerwaartse snelheid van het water groter is dan de stijgsnelheid van de lucht-bellen, worden de bellen meegesleept naar beneden. Door de toenemende hydrostatische druk gaat de zuurstof veel sneller in oplossing dan onder atmosferische druk, en komt er meer zuurstof beschikbaar voor de bacteriën. In de "riser" expandeert de overgebleven lucht. Er ontstaat dus een verschil in dichtheid tussen de gasvrije waterkolom in de "downcomer" ten opzichte van het punt waar lucht wordt geïnjecteerd en de kolom van het lucht-water mengsel in het overeenkomstige deel van de "riser". Daardoor ontstaat de stroming.

Omdat de circulatie niet zelfstartend is, moet voor het starten eerst lucht in de "riser" worden geïnjecteerd.



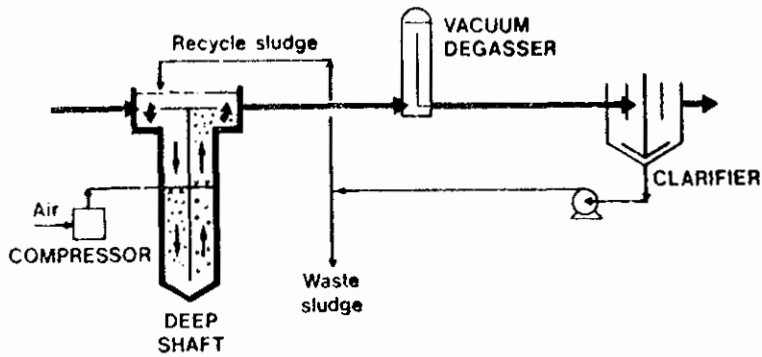
Figuur 2. Diagram voor de vergelijking van het volume gas in de "downcomer" en in de "riser" over de hoogte van de reactor.

Bij het Deep-Shaft systeem kunnen problemen ontstaan bij de scheiding water-slib-lucht. Om deze problemen te ondervangen zijn de volgende uitvoeringsvormen ontwikkeld:

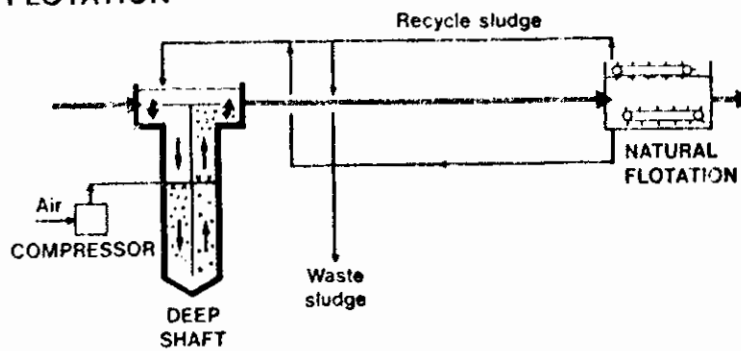
- met vacuümontgassing en bezinking
- met flotatie
- tweetraps proces met gecombineerd systeem actief-slib/beluchte ontgasser en bezinking.

Deze drie uitvoeringsvormen zijn weergegeven in figuur 3.

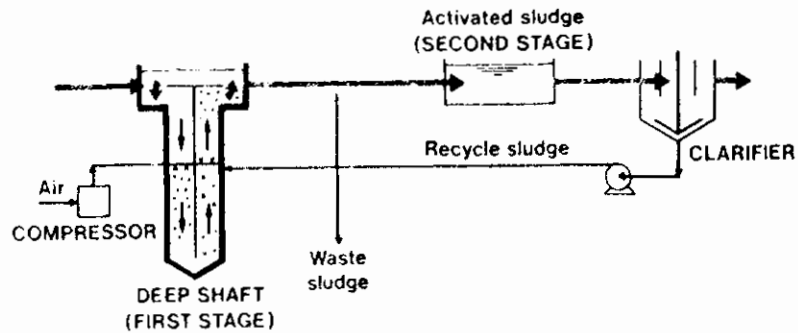
### a SEDIMENTATION



### b FLOTATION



### c 2-STAGE PROCESS



Figuur 3. Drie uitvoeringsvormen van het Deep-Shaft systeem.

## HISTORIE

Het Deep-Shaft systeem voor de behandeling van afvalwater is door ICI (Imperial Chemical Industries Ltd) in de zeventiger jaren ontwikkeld uit een proces voor de productie van single-cell protein. ICI meende, door besparingen op ruimtebeslag en investeringen, een veelbelovend systeem te hebben ontwikkeld en heeft het beluchtingssysteem geïmplementeerd.

De volgende voordelen worden geclaimd:

- besparing op investeringen
- laag energieverbruik/hoge zuurstofoverdracht
- besparing op ruimtebeslag
- eenvoudige slibverwerking/goede ontwaterbaarheid
- zeer lage slib volume index (SVI)
- geen milieubezwaren (geluidsoverlast en stankemissie)

Tegen de gewekte verwachtingen in bleef een doorbraak van het Deep-Shaft systeem uit. De oorzaak hiervan wordt gezocht in:

- de concurrentie van anaërobe systemen, die in dezelfde jaren werden ontwikkeld voor hoog- en middelgeconcentreerd (met name industrieel) afvalwater.
- de praktijkresultaten die ten opzichte van zeer optimistische claims tegenvielen.
- in de beginperiode onvoldoende kennis bij ICI van de eisen en kenmerken van de afvalwatermarkt.

In 1978 werd PCI (Paterson Candy International) licentiehouders voor het Verenigd Koninkrijk. PCI verbeterde het concept. In Engeland werden drie proefinstallaties gebouwd voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater, al dan niet gemengd met industrieel afvalwater, te weten in Aylesbury, Billingham en Tilbury.

In globaal dezelfde periode ontwikkelde de licentiehouders voor Noord Amerika, Eco Research, een eigen concept. Dit concept heeft o.a. een aparte contacttank, een flotatie-inrichting en een aparte schuimafvang met terugvoer naar de reactor.

Elders in de wereld werd het Deep-Shaft-systeem vooral gebruikt voor de behandeling van middel- en hooggeconcentreerd afvalwater.

Er is inmiddels een aantal zuiveringsinrichtingen uitgevoerd volgens het principe "Deep Shaft" te weten, zoals Japan (37), USA (1), Engeland (4), Canada (3) en West Duitsland (2)

Van deze installaties zijn er 13 bestemd voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater en 30 voor de behandeling van industrieel afvalwater. De overigen worden ingezet voor de behandeling van gemengd afvalwater (huishoudelijk + industrieel).

Opvallend is dat in Japan circa vier maal zoveel installaties gebouwd zijn volgens het Deep-Shaft systeem dan het totaal in de rest van de wereld. Naar verwachting speelt hierbij de grote ruimtenood in Japan een belangrijke rol. ICI schrijft dit ook toe aan de grotere innovatiebereidheid in Japan. Deze verklaring is echter vooralsnog onvoldoende om in Europa een rooskleurige toekomst voor het Deep-Shaft systeem te voorspellen.



Binnen het kader van het project "Toekomstige Generatie Rioolwaterzuiveringsinrichtingen" is de aandacht vooral gericht op de zuivering van stedelijk afvalwater.

De referentielijst van ICI voor Deep-Shaft installaties, waar stedelijk of uitsluitend huishoudelijk afvalwater wordt behandeld, is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Deep-Shaft installaties waar stedelijk of uitsluitend huishoudelijk afvalwater wordt behandeld.

BZV				
capaciteit [ie à 54g]	aanvoer [kg/d]	influent [g/m <sup>3</sup> ]	effluent [g/m <sup>3</sup> ]	rendement [%]
13.000	700	300	20	93
130.000	7.050	800	30	96
105.000	5.670	500	30	94
1.500	80	60	20	67
5.000	270	200	30	85
230.000	12.480	830	80	90
2.600	140	620	20	97
6.100	329	500	20	96
1.300	68	68	5	93
4.600	250	616	20	97
407.000	22.000	600	60	90
10.600	570	1.580	170	89 (nightsoil)
2.500	136	135	8	94
3.100	170	444	20	95
1.400	75	75	3	60
12.000	640	-	-	-
2.200	117	390	10	97
1.500	79	600	20	97

De gemiddelde BZV-concentratie van het influent bedraagt ca 490 mg/l (range 60 - 1580) en van het effluent ca 33 mg/l (range 5 - 170). De BZV verwijdering is ca 90% (range 60 - 97).

Uit tabel 1 blijkt dat de werking van de Deep-Shaft zuiveringsinstallaties qua BZV-verwijdering over het algemeen redelijk goed is.

## TOEPASBAARHEID DEEP-SHAFT SYSTEEM VOOR STEDELIJK AFVALWATER IN NEDERLAND

### Algemeen

Voor het gebruik van het Deep-Shaft systeem voor de nederlandse situatie zijn de volgende aspecten van belang:

1. effluentkwaliteit (zwevende stof, BZV,  $\text{NKj}$ ,  $\text{NO}_3^-$ )
2. kosten
3. slibproductie en ontwaterbaarheid.
4. ruimtegebruik

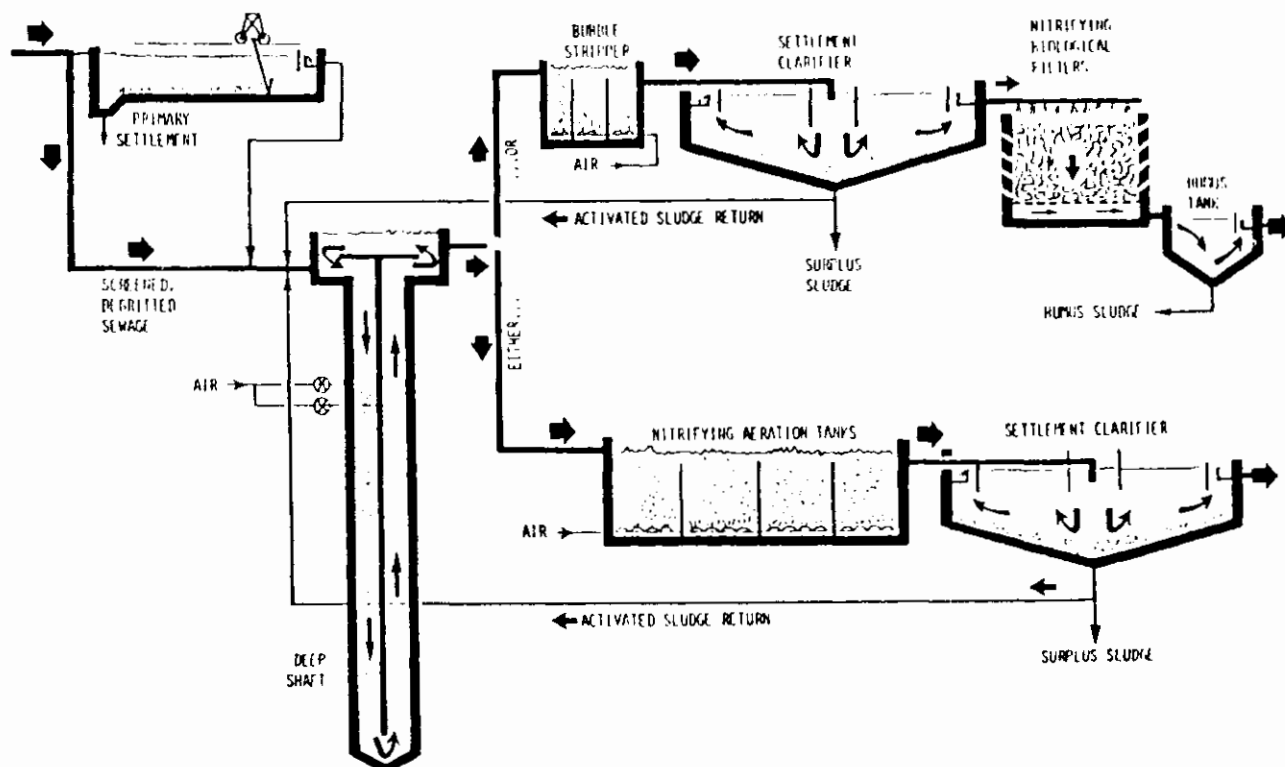
### Effluentkwaliteit

De BZV verwijdering is vooral afhankelijk van de slibbelasting. De gemiddelde BZV-verwijdering van de installaties voor de behandeling van stedelijk of uitsluitend huishoudelijk afvalwater bedraagt ca. 90%. Als de slibbelasting juist wordt gekozen, kan een laag BZV-gehalte in het effluent worden gehaald.

In het kader van het Rijn- Noordzeeverdrag zullen aan de stikstof-verwijdering hogere eisen worden gesteld dan tot nu toe.

Aan eventuele nitrificatie eisen zal het Deep-Shaft systeem in het algemeen niet kunnen voldoen vanwege de relatief lage slibleeftijd.

Ook denitrificatie is in principe niet mogelijk.



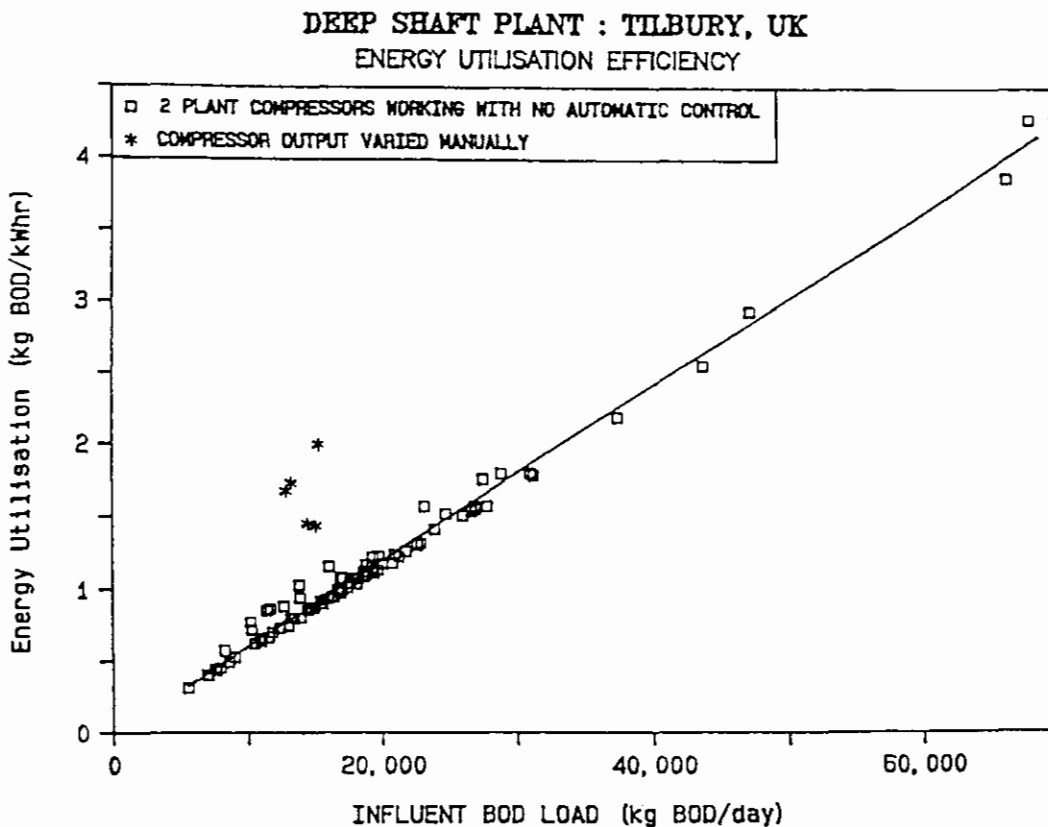
Figuur 4. Uitbreiding van een bestaand Deep-Shaft systeem voor het bereiken van nitrificatie

ICI stelt dan ook oplossingen voor waarbij andere proces onderdelen worden voor- of nageschakeld. Daarmee gaan de relatieve voordelen ten aanzien van het ruimtebeslag deels verloren. Twee voorbeelden, die uit oogpunt van kosten nog interessant zouden kunnen zijn, zijn het energieverbruik en de slibproductie

### Energieverbruik

Het BZV-omzettingsefficiency van de installatie te Tilbury bedraagt globaal ca. 0,5 à 2 kg BZV/kWh en is over het algemeen niet beter dan dat van een conventionele, hoogbelaste installatie. Hierbij moet echter worden aangetekend dat de inrichting niet optimaal wordt bedreven en dat een hoger rendement tot de mogelijkheden behoort.

Een en ander blijkt uit de resultaten die zijn weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Resultaten van het BZV-omzettingsefficiency van de installatie Tilbury.

### Slibproductie

De slibproductie kan op grond van de beschikbare gegevens niet goed worden geëvalueerd. Het is niet mogelijk om een uitspraak te doen over meer- of minderproductie ten opzichte van conventionele actiefslibinstallaties.

Het slib heeft over het algemeen een slibvolumeindex lager dan 100 ml/g. Enige voorzichtigheid ten aanzien van de vertaling naar nederlandse kondities is geboden, omdat de procedure voor het bepalen van de SVI in het buitenland vaak anders is dan in Nederland.

## CONCLUSIE

Mede vanwege de verscherping van de lozingseisen is te verwachten dat de toepassing van het Deep-Shaft systeem in Nederland slechts in zeer specifieke gevallen aantrekkelijk zal zijn. Daarbij wordt gedacht aan de (voor)behandeling van relatief hoog geconcentreerd afvalwater dat gemakkelijk biologisch afbreekbaar is.

De opmerkelijke belangstelling in Japan voor de toepassing van het Deep-Shaft systeem kan vooralsnog verklaard worden uit de specifieke Japanse omstandigheden (ruimtenood), doch maakt nadere analyse zinvol.

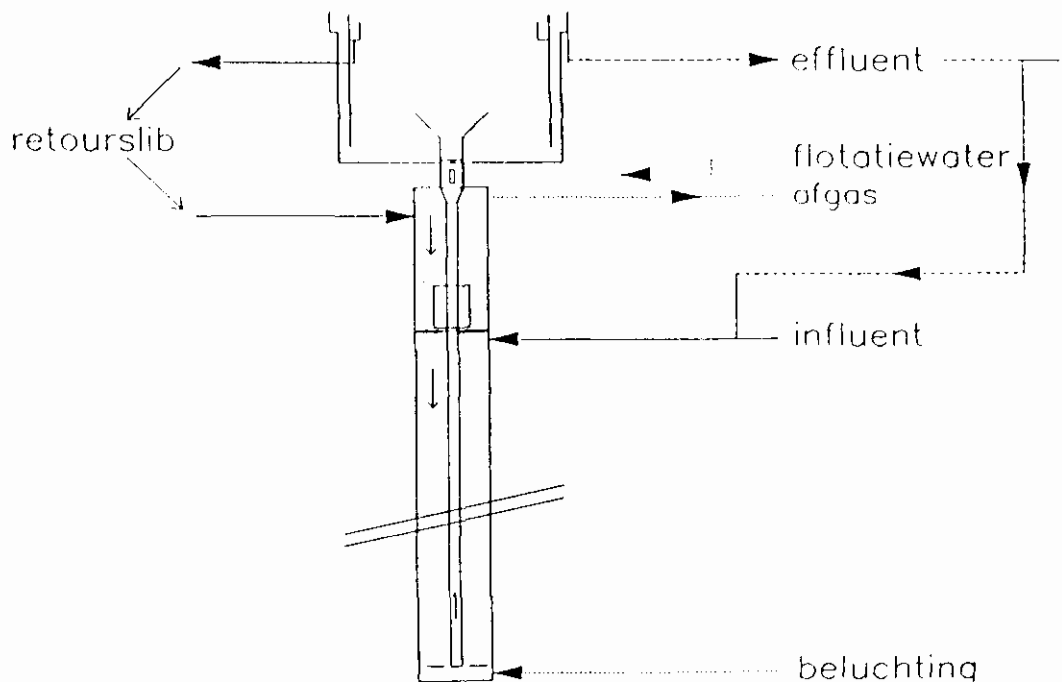
# MULTIREACTOR

Ir. J.B. Kok  
(Multireaktor B.V.)

In kader van het project RWZI 2000 is Multireaktor BV uitgenodigd gedurende 2,5 jaar onderzoek te verrichten naar de optimalisatie van de Multireaktor voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater.

Het principe van de Multireaktor is voortgekomen uit onderzoek verricht in samenwerking met de Landbouw Universiteit Wageningen. Het systeem is gepatenteerd door het in 1982 opgerichte ingenieursbureau Multireaktor BV. Van 1983 t/m 1985 is door het bureau onderzoek verricht aan een prototype en een daaruit voortgekomen semi-praktijkschaal installatie. Met de opgedane ervaringen kon in 1986 worden gestart met de bouw van de eerste praktijkschaal Multireaktor (10.000 i.e.) bij het vleeswaren-bedrijf Compaxo in Gouda. De positieve ervaringen met de Multi-reaktor in Gouda gaven aanleiding tot de bouw van een tweede Multireaktor bij Compaxo Zevenaar in 1988. Sinds kort is de derde Multireaktor operationeel in Elst bij de levensmiddelenconcern Heinz. Daarnaast heeft Multireaktor zijn onderzoeksactiviteiten gecontinueerd met een anaërobe proefinstallatie in Vuren en de opnieuw opgebouwde proefinstallatie bij de Landbouw Universiteit Wageningen. Alvorens in te gaan op het onderzoek dat wordt verricht in Wageningen, zal eerst het Multireaktor-systeem worden toegelicht.

De Multireaktor is een actiefslib installatie, gekenmerkt door een beluchtingsruimte in de vorm van een diepe schacht (20-60 m) en een slib/waterscheiding d.m.v. flotatie.



Figuur 1. Proefinstallatie Multireaktor te Bennekom

De schacht is onderverdeeld in een aantal compartimenten. In het bovenste compartiment bevindt zich de slibstabilisatieruimte, waar het retourslib wordt ingebracht. Het influent wordt in het daar-onder liggende compartiment gepompt en opgemengd met het slib uit de slibstabilisatieruimte. Het slib/watermengsel stroomt vervolgens tegenstrooms aan de bellenbeluchting naar de bodem van de schacht. Via een stijgbuis in het midden van de schacht stroomt het inmiddels biologisch gezuiverde slib/watermengsel van onderuit de schacht naar de flotatie-eenheid. In de flotatie-eenheid wordt het slib opgedreven en m.b.v. van een mechanische ruimer afgeroomd. Het schone water wordt via een duikschot afgevoerd.

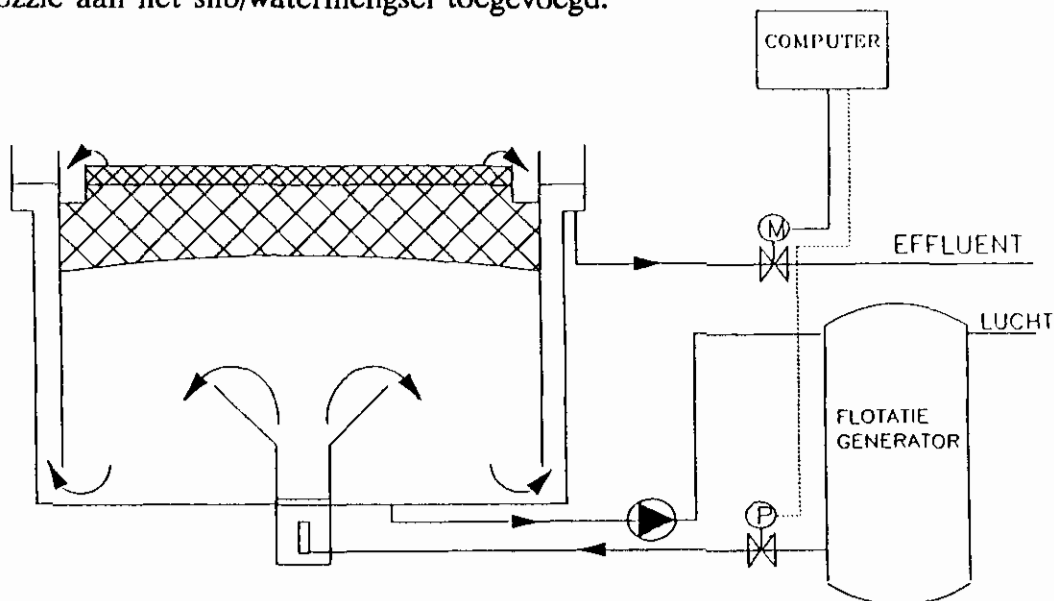
De zeer fijne bellenbeluchting vindt plaats op de bodem van de schacht. In elk compartiment van de schacht wordt m.b.v. een "mushroom" het belvolume gereduceerd, waarbij tevens een intensieve menging van slib en lucht plaats vindt. Bovenin de schacht wordt door gecontroleerde luchtaflaat een luchtkussen in stand gehouden. Een drietal factoren veroorzaken het zeer hoge beluchttingsrendement van de Multireactor:

- fijne bellenbeluchting door de hoge hydrostatische druk onderin de schacht,
- lange contacttijd tussen lucht- en waterfase door diepe schacht,
- bij de hoge hydrostatische druk kan aanzienlijk meer zuurstof oplossen in de waterfase.

De extra benodigde energie voor beluchting onder hoge druk wordt dan ook ruimschoots gecompenseerd door het hoge rendement.

Als het slib/watermengsel via de stijgbuis omhoog stroomt, neemt de hydrostatische druk geleidelijk af. Hierdoor zal het slib/watermengsel oververzadigd raken met lucht en zal de opgeloste lucht uittreden in de vorm van zeer kleine belletjes. De belletjes hechten zich aan het slib en zorgen voor flotatie van het slib. Dit effect is echter niet voldoende om alle slib te floteren.

Ter vervollediging van de flotatie wordt een deel van het effluent in een drukvat bij 5 bar verzadigd met lucht en onderin de flotatie-eenheid via een nozzle aan het slib/watermengsel toegevoegd.



Figuur 2. Flotatie-eenheid.

De hiermee toegevoegde extra hoeveelheid microbelletjes zorgt voor een volledige flotatie. Een effluent met een zwevende stof gehalte van 10 mg/l is nu eenvoudig te verwezenlijken.

Om praktische redenen wordt een retourslibgehalte van ca. 30 g/l gehandhaafd. Hogere gehalten zijn echter goed mogelijk.

Het biologische zuiveringsrendement van de Multireactor is gelijk aan dat van een gelijk belaste conventionele installatie. De energiekosten voor de beluchting zijn gelijk of lager dan conventionele installaties (afhankelijk van de diepte van de schacht).

Specifieke voordelen van het Multireactorsysteem t.o.v. conventionele systemen zijn:

- 15-20 maal minder oppervlak benodigd als aeratietank en bezinktank conventionele installaties,
- klein aeratievolume; dankzij het hoge retourslibgehalte kunnen slibgehalten van 8-12 g/l in de schacht eenvoudig worden gehandhaafd,
- geen licht slib problemen,
- hoge slibindikking (5%), doordat flotatie zich voortzet in spuislibbuffer,
- geen milieu-maatregelen nodig (stank, aerosolen en geluid); installatie is volledig afgedekt,
- korte bouwtijd door modulaire opzet en het gebruik van prefab onderdelen (4-5 maanden voor installatie 10.000 i.e.),
- volledige computergestuurde procesregeling

Er zijn een aantal essentiële verschillen met het Deep Shaft proces. De Deep Shaft is a.h.w. een verticale hoge flow oxidatiesloot, waarbij de stroming door de beluchting (dichtheidsverschillen) tot stand wordt gebracht (de beluchting wordt dus niet bepaald door de zuurstofbehoefte). De Multireactor houdt het midden tussen een propstroom en een cascade reactor, waarbij doorstroming wordt verkregen door influent en retourslib in de schacht te pompen. Terwijl bij het Multireactorproces juist gebruik wordt gemaakt van de optredende flotatie van het slib uit de schacht, wordt bij de meeste Deep Shaft installaties het slib ontgast om vervolgens te bezinken. Hiermee gaat een groot deel van de ruimte winst verloren. Bij het Deep Shaft proces is alleen door naschakeling van een tweede trap nitrificatie mogelijk, omdat de eerste trap wordt ontworpen op hoge slibbelastingen. De Multireactor nitrificeert bij slibbelastingen rond de 0,1 kg/kgd zonder extra maatregelen goed.

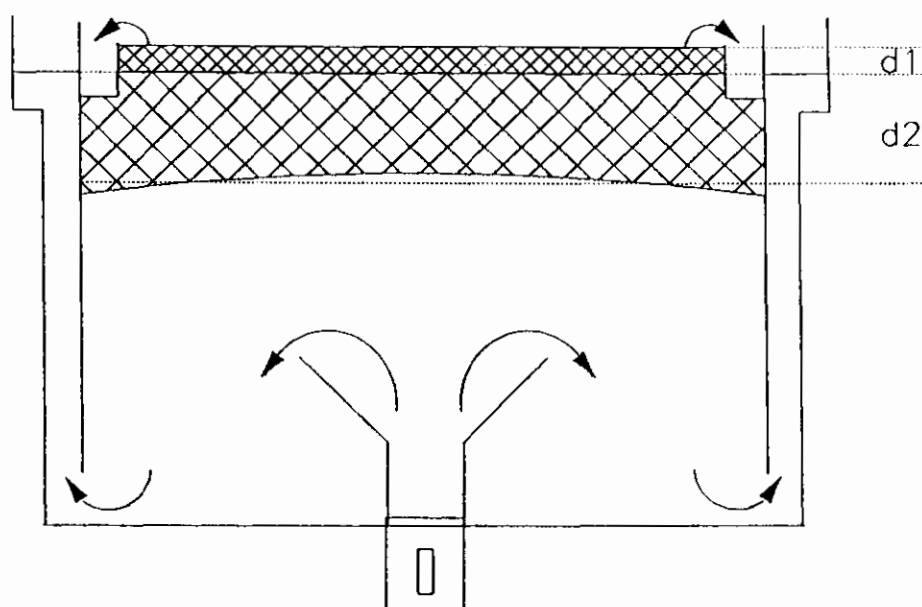
Het onderzoek dat door Multireaktor BV in het kader van het project RWZI 2000 wordt uitgevoerd is getiteld "Behandeling van stedelijk afvalwater m.b.v. het Multireactorsysteem". Voor het onderzoek is op de oude proeflocatie naast de proefhal van de vakgroep Waterzuivering van de Landbouw Universiteit Wageningen opnieuw een semi-praktijkschaal Multireactor gebouwd. In vorige onderzoeken van Multireaktor is aangetoond, dat de biologische zuivering van



huishoudelijk afvalwater zeer goed mogelijk is. Voorwaarde voor een laag zwevend stofgehalte is echter een redelijk constante belasting van de flotatie-eenheid. In praktijk situaties zullen echter debietsvariaties tot 500 % mogelijk zijn (DWA/RWA). Dit betekent dat ook de belasting van de flotatie-eenheid tot 500% van de DWA omstandigheden kan oplopen.

Onderhavig onderzoek zal zich dan ook concentreren op een nieuwe, door Multireaktor ontwikkelde, flotatie-eenheid.

In deze flotatie-eenheid kan het waterniveau worden geregeld d.m.v. een computer gestuurde afsluiter op de effluent afvoer (zie figuur 2). Het waterniveau in de flotatie-eenheid bepaalt de dikte "d1" van de slibkoek boven water (zie figuur 3).



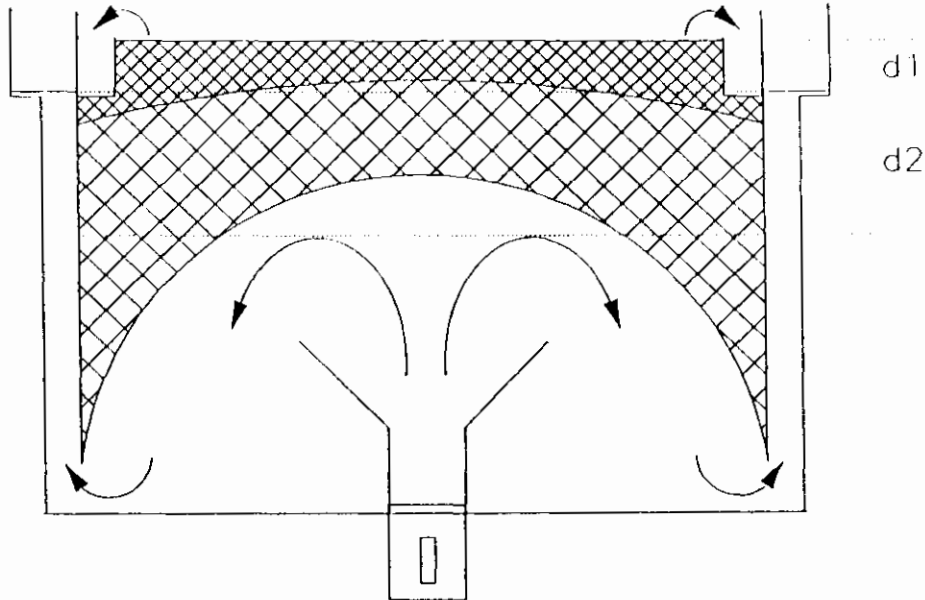
Figuur 3. Flotatie-eenheid bij normale belasting.

De slibkoekdikte "d1" bepaalt de verblijftijd van het slib in de flotatie-eenheid. De verblijftijd van het slib bepaalt de mate van indikking, ofwel de retourslibconcentratie. M.a.w. de retourslibconcentratie kan constant worden gehouden door bij verandering van de oppervlakte belasting (influentdebiet), d1 aan te passen. Bij verhoging van het influentdebiet zal het waterniveau worden verlaagd (d1 verhoogd) en bij verlaging van het influentdebiet zal het waterniveau worden verhoogd.

Het zwevend stof gehalte in het effluent wordt bepaald door de dikte van de diffuse sliblaag onder water "d2" (zie figuur 3). Deze is afhankelijk van de "air-to-solids-ratio", ofwel A/S (de verhouding tussen de hoeveelheid luchtballen en hoeveelheid slib). In vorige onderzoeken van Multireaktor is aangetoond dat een A/S groter dan 1 % een goede effluent kwaliteit garandeert. Om een bepaald A/S percentage te handhaven zal de flotatiegeneratordebiet dus moeten worden afgestemd op het influentdebiet. In de proef-installatie wordt

het flotatiegeneratordebiet geregeld d.m.v. een computer gestuurde nozzle (zie figuur 2).

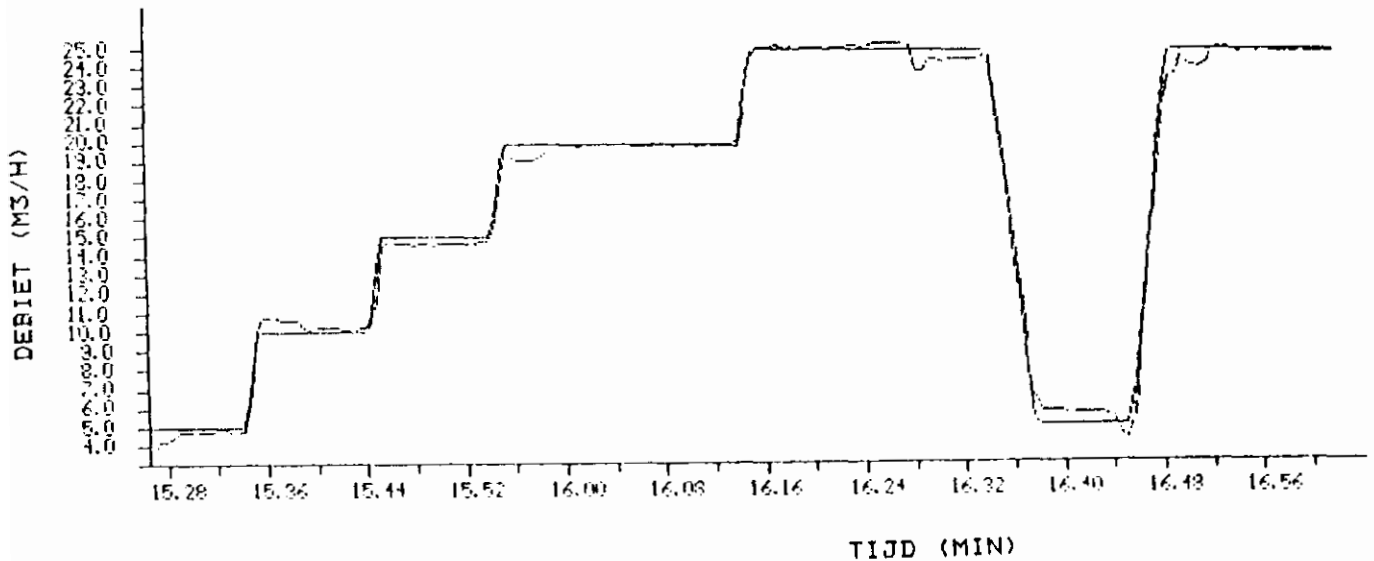
De maximale belasting van de flotatie-eenheid wordt bereikt als de diffuse sliblaag onderwater t.g.v. sterke stroming een concave vorm krijgt (zie figuur 4).



Figuur 4. Flotatie-eenheid bij maximale belasting

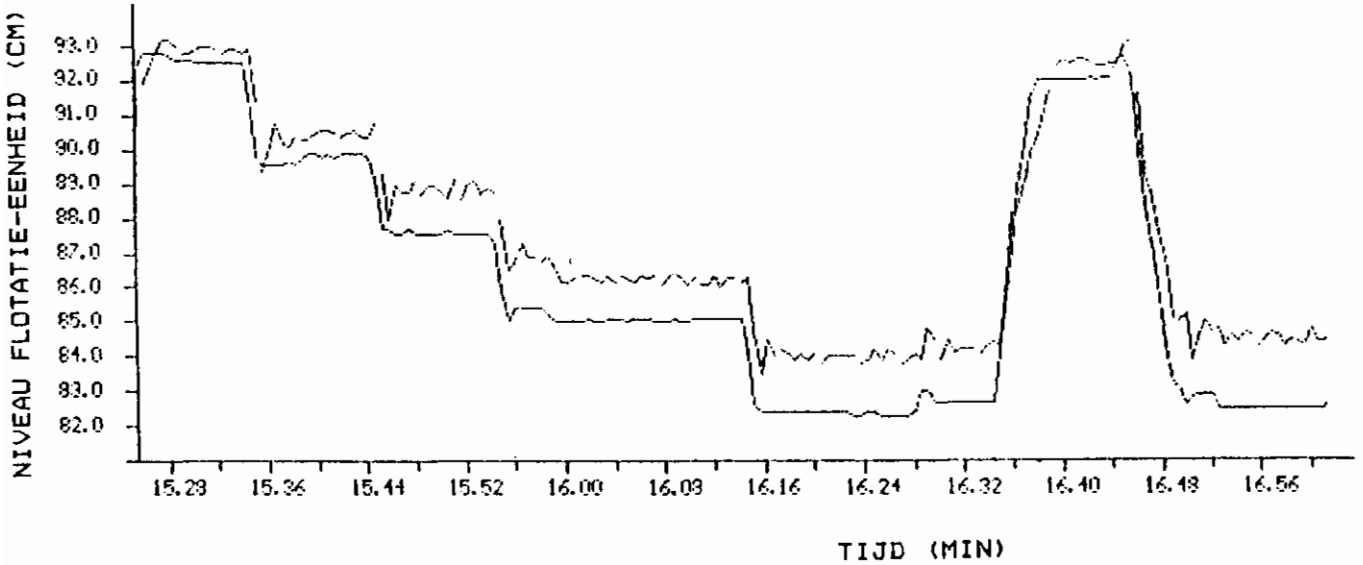
Het slib zal nu via het duikschot uitspoelen.

De belasting van de flotatie-eenheid in de proefinstallatie kan worden gevarieerd d.m.v. effluentrecirculatie. Hiertoe wordt effluent uit de effluentbuffer gepompt en toegevoegd aan het influent. Het recirculatie-debiet is m.b.v. de computer te sturen. Op deze wijze kunnen praktijk (RWA) omstandigheden worden gesimuleerd. Een voorbeeld van een simulatie is afgebeeld in figuur 5.



Figuur 5. Voorbeeld influent debiet variatie d.m.v. effluent recirculatie.

De ononderbroken lijn is het geprogrammeerde verloop van het debiet, de gestippelde lijn is het werkelijke (gemeten) debietverloop. Het waterniveau (slibkoekdikte) in de flotatie-eenheid is via de computer te koppelen aan het debietverloop. Een voorbeeld van het verloop van het waterniveau in de flotatie-eenheid resulterende uit het debietverloop uit figuur 5 is afgebeeld in figuur 6.



Figuur 6. Voorbeeld niveauregeling afhankelijk van influentdebiet.

De ononderbroken lijn is het door de computer berekende niveau, de gestippelde lijn is het gemeten niveau. In onderhavig onderzoek zal dit verband tussen influentdebiet en optimaal waterniveau moeten worden bepaald. Daarnaast moet ook de relatie tussen influentdebiet en flotatiegeneratordebiet worden bepaald. Zijn deze relaties bekend, dan kan m.b.v. praktijk simulaties worden bepaald wanneer en hoe snel het systeem zal moeten reageren op debietsvariatie.

Begin september is de installatie opgestart. Onderzoeksresultaten zijn nog niet beschikbaar. De huidige zuiveringsresultaten onder stabiele omstandigheden zijn goed.

# KARAKTERISERING EN ONTWATERING VAN ZUIVERINGSSLIBBEN

Dr. Ir. W.J. Coumans  
Prof. Dr. Ir. P.J.A.M. Kerkhof  
(TU-Eindhoven)

## INLEIDING

Onderzoek aan rioolwaterzuiveringsinstallaties werd tot nog toe gekenmerkt door een sterke aandacht voor procesoptimalisaties. Volgens "RWZI-2000" blijkt dat zonder fundamenteel gerichte onderzoeken geen nieuwe doorbraken in het zuiveringsproces te verwachten zijn.

In het kader van bovengenoemde problematiek is een onderzoekvoorstel m.b.t. de mechanische ontwatering van zuiveringslibben geformuleerd. In deze lezing zijn geen resultaten te melden, daar het onderzoek nog moet starten. Wel is er een voorstudie (= literatuurstudie) gedaan naar slibkarakterisering en slibontwatering. Op basis daarvan is het onderzoekvoorstel geformuleerd, dat door STORA en DBW/RIZA is gehonoreerd. In deze lezing zullen enkele aspecten van het voorgestelde onderzoek worden toegelicht. Ook zullen enkele overwegingen die een rol hebben gespeeld bij het formuleren van het onderzoek, de revue passeren. Met name het afbakenen van het onderzoeksveld is erg belangrijk. Het terrein van karakterisering en ontwatering biedt een "mer a boire" voor onderzoekonderwerpen. Er zullen dus keuzes gemaakt moeten worden. Hoe deze keuzes tot stand zijn gekomen zal worden toegelicht.

## HET "SLIBPROBLEEM"

In Nederland (maar ook daarbuiten) zullen de mogelijkheden voor afzet van slib, al dan niet ontwaterd, in de landbouw en op stortplaatsen in de nabije toekomst sterk verminderen. De afzet in de landbouw stagneert vanwege de mestoverschotten en de hogere eisen t.a.v. toxische stoffen en pathogenen; wegens het "volraken" van de stortplaatsen wordt de afzet van slib aldaar eveneens bemoeilijkt.

Daarom is het streven nu gericht op:

- minimaliseren VOLUME en MASSA van slib, waardoor minder opslag en transportkosten. Hierdoor komt de optie **slibverbranding** in de belangstelling te staan. Economische haalbaarheid van slibverbranding is gunstiger naarmate droge stofgehalte hoger is (minstens autotherme verbranding gewenst)
- minimaliseren RUIMTEBESLAG RWZI i.v.m. ruimtelijke ordeningsproblemen.

M.b.t. het slibontwateringsproces betekent bovenstaande, dat met zo laag mogelijke kosten gestreefd dient te worden naar: **zo hoog mogelijke eind droge stofgehaltes en/of sneller ontwateren in kleinere apparaten**. Het zijn deze ontwikkelingen die vragen om een meer fundamenteel gericht onderzoek van slibontwatering.

## AFBAKENING VAN HET ONDERZOEKSVELD

De ontwaterbaarheid van slib hangt af van de ontstaansgeschiedenis van het slib en van het gekozen ontwateringsproces. Een studie naar slibontwatering zou dus heel breed van opzet kunnen zijn en zou werk kunnen bieden aan talrijke onderzoekers. Echter de personele en materiële middelen voor het verrichten van onderzoek zijn beperkt, zodat het noodzakelijk is te komen tot een zo verstandig mogelijke **keuze** van onderzoekonderwerpen en tot een **generaliserende** aanpak.

Bij de ontstaansgeschiedenis spelen nogal wat factoren een rol, zoals herkomst afvalwater, type RWZI (processen en bedrijfsvoering), klimatologische omstandigheden, rioleringsstelsel, wijze van opslag en transport naar/in/vanaf RWZI, type indikkingsproces, aërobe/anaërobe stabilisering, type **CONDITIONERING** ter verbetering ontwaterbaarheid, zoals:

- toevoegingen:  $\text{FeCl}_3$ +kalk, polyelectrolyten, filtration aids
- thermische behandeling: pasteurisatie, Porteous proces, natte oxydatie, pyrolyse, vriesdooien
- elutriatie, d.i. verwijdering fijne deeltjes.

Het aldus gevormde slib zal vervolgens ontwaterd worden, hetzij op natuurlijke wijze, of via thermische methoden (verdampen, drogen) of, wat meestal het geval zal zijn, op mechanische wijze.

### 1e afbakening van het onderzoeksveld:

Het onderzoek richt zich voornamelijk op wat er binnen het **mechanische ontwateringsproces** gebeurt. Fundamenteel begrip van mechanisch ontwateringsprocessen als zodanig kan een rationele basis vormen voor vervolgstudies naar de invloed van andere aspecten van de ontstaansgeschiedenis op de ontwaterbaarheid. Bij keuzes die men maakt t.a.v. het ontwerp van een RWZI zullen de consequenties voor de ontwaterbaarheid van het uiteindelijk gevormde slib beter te voorspellen zijn.

**Dus: onderzoek vrijmaken van type slib en richten op ontwatering van een gegeven slib. Dit gegeven slib dient dan wel gekarakteriseerd te worden.**

Zoals gesteld zal de ontwaterbaarheid van het slib ook een functie van het gekozen ontwateringsproces zijn. Te onderscheiden zijn hier de klassieke processen: kamerfilterpers, zeefbandpers en decanteercentrifuge en enkele nieuwe, of althans in ontwikkeling zijnde processen:

- Membraanfilterpers: soort kamerfilterpers met een zwellichaam en automatische koeklossing.
- Zeefbandpers met hoge druk stap
- Centri-pers: centrifuge met uitpers-zone, de zgn. compactie-zone.
- HI-compact proces: ook een tweetraps ontwateringsproces. Eerste trap levert koek op waarvan pellets gemaakt kunnen worden. Pellets worden bestrooid met rigide poederlaag, welke bij verder uitpersen van pellets als **drainage laag** functioneert. Hier dus een netwerk van drainagelaagjes die

niet gemakkelijk verstoppert. Dit is belangrijke verschil met fysische conditionering, waar inerte materiaal homogeen wordt verdeeld.

- Ultra-filterpers of multi-laag filtratie. Dit is een radiale membraanpers: filterdoek met dunne laag van het te ontwateren slib wordt opgerold als een rollade met in het centrum het zwellichaam. Zo ontstaat een multi-laag, bij uitpersen wordt water via filterdoek zijdelings afgevoerd.

In voorgenoemde procesuitvoeringen kunnen de volgende drijvende krachten werkzaam zijn:

- Zwaartekracht: vaak te verwaarlozen m.b.t. eind droge stof gehalte.
- Centrifugaal kracht
- Druk (pers, vacuüm)

Meer recent ook toegepast:

- Elektrische velden: electrokinetische verschijnselen spelen een rol: electro-osmose, electro-forese.
- Magnetische velden: High Gradient Magnetic Field, werkt alleen bij slib als paramagnetische stoffen worden toegevoegd, waaraan zich de slibdeeltjes hechten. Terugwinning van deze toevoeging soms moeilijk. Techniek nog in ontwikkeling.
- Akoestische velden: Electro-acoustic dewatering (EAD) lijkt t.a.v. slib een perspectiefrijk ontwateringsproces te zijn. In dit proces vindt toepassing plaats van elektrische en akoestische velden.

### 2e afbakening van het onderzoeksveld

Het is ondoenlijk om al die uitvoeringsvormen, met diverse drijvende krachten, te gaan bestuderen. Voor een fundamenteel onderzoek zoeken we iets dat gemeenschappelijk is in alle bestaande (en nog te ontwikkelen) processen. Wat is hier nu het gemeenschappelijke?

In alle apparaten wordt uiteindelijk een slibkoek gevormd. Op micro-schaal zullen bij de vorming van de slibkoek in alle processen dezelfde fysisch/technologische verschijnselen ten grondslag liggen, alleen zijn er verschillen in aard, grootte en richting van de drijvende kracht(en), andere geometrie, e.d.

**Dus: het onderzoek vrijmaken van type ontwateringsproces en richten op SLIB-KOEKVORMING.**

### EEN TWEELEDIG ONDERZOEK

Welke basisverschijnselen liggen nu ten grondslag aan de slibkoekvorming en wat heeft dat dan te betekenen t.a.v. het te bereiken droge stof gehalte (%DS)?

Het voorgestelde onderzoek zal zich bezig houden met de beantwoording van deze vragen. Een belangrijk uitgangspunt daarbij is dat slibkoekvorming en %DS in slibkoek zullen afhangen van stoffeigenschappen en procesvariabelen. Bij **stoffeigenschappen** gaat het om het vaststellen van slibkenmerken, die wezenlijk geacht worden voor een goed begrip van het ontwateringsproces. Met

name wordt hier gedacht aan: samenstelling van slib, colloïd-chemische grootheden, kenmerken van vaste stofdeeltjes, slib/water binding en de tijdsafhankelijkheid van voorgenoemde eigenschappen.

Dit aspect leidt tot **Deelonderzoek 1:**

### **KARAKTERISERING VAN GEGEVEN SLIB**

Bij **procesvariabelen**, die van belang zijn voor de slibkoekvorming, moet gedacht worden aan grootte, richting en aard van de drijvende krachten, verblijftijd, koekdikte, geometrie apparaat, etc.

Dit aspect leidt tot **Deelonderzoek 2:**

### **FYSISCH-MATHEMATISCHE MODELLERING VAN VAST/VLOEISTOFSCHEIDING BIJ COMPRIMEERBARE MEDIA**

Dit deelonderzoek zal zich richten op het ontwikkelen en experimenteel verifiëren van fysisch/mathematische rekenmodellen voor filtratie-processen, waarbij tengevolge van deformeerbare deeltjes sterk comprimeerbare filterkoecken worden gevormd.

Het eindgehalte aan droge stof in een mechanisch ontwateringsproces zal met name afhangen van:

- de fysisch-chemisch slib/waterbinding  
Dit betreft een intrinsieke stoffeigenschap en vormt een belangrijk element van deelonderzoek 1.
- "opsluiting van water" tussen deeltjes  
Dit kan worden veroorzaakt door de volgende twee mechanismen: Ten eerste, door de aangelegde drukgradiënt over de slibkoek zullen de slibdeeltjes deformeren en daardoor de afvoerkanalen tussen de deeltjes afsluiten.

Ten tweede, bij een ongunstige deeltjesgrootteverdeling kunnen door kleine deeltjes de afvoerkanalen eveneens verstopt raken.

De mate van "opsluiting van water" zal sterk afhangen van de procescondities bij het ontwateren en zal een belangrijk aspect zijn in deelonderzoek 2.

Het lijkt erop dat de meeste winst in het mechanisch ontwateringsproces valt te bereiken door de hoeveelheid "opgesloten water" te verminderen. Deze zienswijze wordt gesteund door de hoge droge stofgehalten die bereikt kunnen worden in de ultra-pers, HI-compact-pers en de membraanfilterpers (dunne slibkoek, lage drukgradiënt, minder deformatie, meer afvoerkanalen).

### **SLIB-WATERBINDING**

Het voorgaande kan wellicht voor sommigen wat abstract en vaag zijn. Dus laten we wat concreter zijn en eens toelichten hoe de slib-waterbinding geke-



rakteriseerd zou kunnen worden. Daartoe stellen we eerst het volgende probleem:

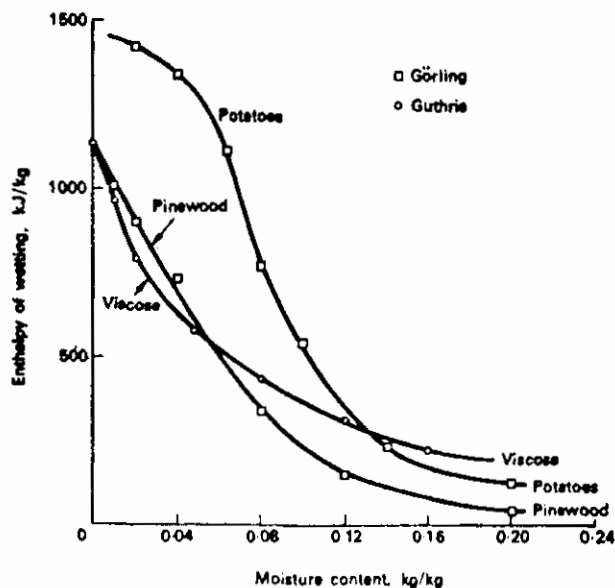
Stel de procesvoering is ideaal zodat er geen insluiting van water in de koek optreedt. Kunnen we dan een maximaal %DS aangeven dat theoretisch haalbaar is? Anders geformuleerd: indien alleen de fysisch/chemische slib/waterbinding een rol speelt, welk eindgehalte aan droge stof is dan maximaal haalbaar?

Om deze vraag te beantwoorden beschouwen we een dun waterlaagje met dikte  $\delta=1 \mu\text{m}$  op het oppervlak van een bol (= ideaal slibdeeltje) met straal  $R=100 \mu\text{m}$ . Bij welke bindingsenergie water/bol zal het dunne waterlaagje net niet van de bol "afdruipen" en een apart waterdruppeltje vormen?

Deze fasenscheiding zou alleen kunnen optreden als er drijvende krachten voor zijn, zoals oppervlaktespanning, zwaartekracht, centrifugaalkracht, drukval. Deze krachten worden tegengewerkt door de bindingsenergie water/bol. De minimale bindingsenergie nodig om fasenscheiding te verhinderen blijkt als volgt te zijn:

- bij oppervlaktespanning : 0.066 kJ/kg water
- bij zwaartekracht :  $10^{-6}$  kJ/kg water
- bij centrifugaal kracht
- op enkel deeltje : 0.01 kJ/kg water
- op deeltjes in koek : 1.5 kJ/kg water
- bij drukval
- over deeltjes in koek : 1.5 kJ/kg water

"Normale" waarden voor fysische binding liggen in bereik van 0-1500 kJ/kg water, afhankelijk van het vochtgehalte. Als voorbeeld (zie figuur 1): Bindingsenergie van aardappelen, dennehout en viscose als functie van het vochtgehalte (kg water/kg ds).



Figuur 1. Bindingsenergie als functie van vochtgehalte (uit: "Drying: Principles and Practice", R.B. Keey)

Bindingsenergie kan erg hoog zijn vooral bij lage vochtgehaltes, merk echter op dat de bindingsenergie afneemt naarmate het vochtgehalte hoger is. Merk bovendien op dat in deze voorbeelden "gewone" mechanische velden niet in staat zullen zijn om vochtgehaltes lager dan 20% te realiseren. Conclusie: kennis van bindingsenergie slib/water als functie van vochtgehalte maakt het mogelijk uitspraken te doen over het theoretisch maximaal haalbare droge stof gehalte in een zeker ontwateringsproces. De bindingsenergie versus vochtgehalte is de sleutelgrootheid om slib/water binding te karakteriseren.

Met een calorimeter is het in principe mogelijk de bindingsenergie **direct** te bepalen. Ook zijn er enkele **indirecte** methoden voor de karakterisering van de slib/waterbinding, met name via de sorptie-isotherm, de droogcurve en de vriescurve.

We zullen deze drie methoden iets toelichten.

**Sorptie-isotherm**, d.i. de evenwichtsrelatie bij een zekere temperatuur die het verband geeft tussen de waterdampspanning in de gasfase en het vochtgehalte in het slib. Een waterdampspanning die lager is dan de verzadigingsdampspanning duidt op een binding tussen water en slibdeeltjes. Dus dampspanningsverlaging, uitgedrukt als relatieve vochtigheid of wateractiviteit, is een maat voor de slib/water binding. Uit sorptie-isothermen bij verschillende temperaturen kan de bindingsenergie van slib/water worden berekend.

**Droogcurven** (niet-evenwicht), waarbij het gewicht van slibmonster als functie van tijd wordt gemeten. Door droogsnelheid uit te zetten tegen het gemiddelde vochtgehalte in slib wordt de droogcurve verkregen. Uit het verloop van de droogcurve kunnen diverse droogstadia worden vastgesteld die informatie geven over de mate waarin het water wordt gebonden.

Bijvoorbeeld:

- droogstadium met constante droogsnelheid duidt op ongebonden water
- droogstadium met dalende droogsnelheid zou op diffusielimitering kunnen wijzen. T.g.v. de slib-waterbinding daalt de mobiliteit van de watermoleculen. In dit geval zou de waarde van diffusiecoëfficiënt een maat voor waterbinding kunnen zijn.

**Vriescurven** (niet-evenwicht), waarbij tijdens geprogrammeerd afkoelen van een slibmonster de vrijkomende kristallisatiewarmte wordt gemeten. De optredende vriespuntsverlaging alsmede de vrijkomende kristallisatiewarmte geven informatie over de slib/waterbinding. Bijzonder bij deze methode is dat sterk gebonden water zodanig gefixeerd is dat dit niet zal kristalliseren.

## ANDERE ASPECTEN VAN ONDERZOEK

We zijn nu nogal diep ingegaan op de karakterisering van de slib/waterbinding. Echter, het slib heeft meerdere intrinsieke stoffeigenschappen die van belang zullen zijn in het ontwateringsgedrag. We gaan daar verder niet te diep op in, en volstaan met ze te noemen:

- samenstelling, hier is het van belang om ter wille van de beheersbaarheid

- van de data en de werklust te komen tot een clustering van grootheden, bijv. %water, %droogrest, %as, %organisch, %anorganisch, e.d.
- colloïd-chemische grootheden ter karakterisering van de interacties tussen de deeltjes, die op hun beurt weer afhangen van de eigenschappen van de elektrische dubbellaag, bijv. pH, ionensterkte, zeta-potentiaal.
- karakterisering van deeltjes, bijv. grootte verdeling, vorm, deformeerbaarheid, e.d. In dit deel van het onderzoek zal gebruik gemaakt worden van image processing technieken.
- veroudering van slibeigenschappen, dit treedt op vanwege de aanwezigheid van enzymen, levende micro-organismen. De "levendigheid" van slib zou bijv. door het meten van ATP-concentraties kunnen worden gekarakteriseerd.

De tijdsafhankelijkheid van het slib zou wel eens voor ernstige complicaties kunnen zorgen bij andere delen van het onderzoek. Daarom zal getracht worden om een modelsysteem voor het slib te formuleren.

Tenslotte zullen we nog iets toelichten m.b.t. deelonderzoek 2 betreffende de **vast/vloeistofscheiding**. In dit deelonderzoek speelt de wijze waarop de slibkoek gevormd en vervormd wordt een centrale rol. Voor de vorming van de slibkoek zijn van belang:

- geometrie ontwateringsapparaat
- drijvende kracht(en), grootte, richting en type(n)
- vloeistofstroming door "vangend oppervlak" (hydrodynamica)
- grensvlakverschijnselen (colloïd-chemie)
- deformatiegedrag van slibdeeltjes (grondmechanica)
- verouderingsgedrag van slib

Bovenstaande is nogal complex en vraagt om enige simplificatie omwille van de **hanteerbaarheid van de probleemstelling**. Daarom zou in een eerste aanpak beschouwd kunnen worden: alleen zwaartekracht en drukgradiënt als drijvende krachten, stroming in slechts een richting, een horizontaal "vangend oppervlak" en een modelsysteem voor slib.

Op basis van deze aanpak zullen fysisch/mathematische modellen worden ontwikkeld voor de vast/vloeistofscheiding. Bijzondere problemen die hier te verwachten zijn hangen samen met de deformeerbaarheid van de deeltjes.

Ook zullen de **modelparameters** experimenteel worden vastgesteld.

Deze modelparameters kunnen bovendien fungeren als grootheden ter karakterisering van de **ontwaterbaarheid** van het slib. Uiteraard ligt het in de bedoeling het contact met eerder onderzoeken niet te verbreken en zullen ook de min of meer klassieke testen voor de karakterisering van de ontwaterbaarheid worden uitgevoerd, met name de specifieke filtratieweerstand en de capillary suction time (CST).

Daar het resultaat van alle inspanningen uiteraard een slibkoek moet opleveren is het wel van belang deze **slibkoek** nader te onderzoeken en te **karakteriseren**. Naast het droge stof gehalte valt hierbij te denken aan morfologie, porositeit, channeling en dode hoeken, comprimeerbaarheid koek, e.d.

**Besluit:** Zoals in het begin van deze voordracht gesteld, moet dit onderzoek nog van start gaan. Het ligt in de bedoeling per 1 januari 1990 te starten met het echte werk.

Gaarne zijn wij bereid om in de toekomst op symposia, georganiseerd door NVA III, onze vorderingen te presenteren.

**SLIBVERWERKING DOOR MIDDEL VAN HET CARVER-GREENFIELD  
DROOGPROCES EN HET VERTECH NATTE OXYDATIEPROCES**

Prof. dr. ir. W.H. Rulkens, dr. ir. A. Rinzema (LU-Wageningen)

ing. F. van Voorneburg (TNO-MT)

ir. J.R.A.G. Schepman (Witteveen + Bos)

## SAMENVATTING

In het kader van het project RWZI 2000 is door TNO en Witteveen + Bos een studie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van het "Carver-Greenfield droogproces" en het "VerTech natte oxydatieproces" voor het verwerken van zuiverings-slib op een Nederlandse RWZI met een zuiveringscapaciteit van 200.000 i.e. en een slibverwerkingscapaciteit overeenkomend met 500.000 i.e. (een hoeveelheid slib overeenkomend met 300.000 i.e. wordt van elders aangevoerd). In de studie wordt aandacht besteed aan het principe en de status van deze systemen, de energie- en milieu-aspecten en de inpassing in een bestaande RWZI. Verder wordt een analyse gemaakt van de verwerkingskosten, waarbij de invloed van o.a. de verwerkingscapaciteit, de bedrijfstijd en het drogestofgehalte van het te verwerken slib wordt vastgesteld door middel van een gevoeligheidsanalyse.

Het Carver-Greenfield proces berust op het principe van meertrapsindamping waarbij de hete damp uit de ene verdampertrap wordt gebruikt als energiebron voor de volgende verdampertrap. Bij het proces wordt gebruik gemaakt van een niet met water mengbare, hoogkokende dragervloeistof (olie) waarin het slib wordt gesuspendeerd. Deze dragervloeistof zorgt ervoor dat tijdens het indampproces het te drogen slib vloeibaar blijft. Na het indampproces, dat meestal in drie of vier trappen wordt uitgevoerd, worden slib droge stof en dragervloeistof mechanisch gescheiden. Het eindproduct bestaat uit droog slib. Voor wat betreft de keuze van de dragervloeistof kan onderscheid worden gemaakt tussen een lichte olie-variant en een zware olie-variant.

Bij de lichte olie-variant bedraagt het rest-oliegehalte in het slib maximaal enkele procenten en wordt primair gedacht aan het storten van het slib. In principe kan een lichte olie worden gekozen die niet toxisch en microbiologisch afbreekbaar is. Bij de zware olie-variant bedraagt het oliegehalte 10 à 30% en wordt primair gedacht aan slibverbranding.

Uit de studie blijkt dat, uitgaande van vóórontwaterd slib met een drogestofgehalte van 20% en een verwerkingscapaciteit overeenkomend met 500.000 i.e., de kosten van zowel de lichte als de zware olie-variant circa f 690,- per ton droge stof bedragen. Bij de lichte olie-variant zijn de stortkosten hierbij inbegrepen. Bij een verwerkingscapaciteit, overeenkomend met 1.800.000 i.e., bedragen de kosten van de lichte olie-variant circa f 435,- per ton droge stof. Indien voor de Carver-Greenfield installatie de nieuwe "Richtlijn Verbranden" (augustus 1989) van toepassing wordt verklaard, zullen de hier vermelde kosten iets hoger uitvallen.

Het VerTech-proces berust op de oxydatie van organische slibcomponenten in de waterfase met behulp van zuurstof bij verhoogde temperatuur en druk (circa 100 bar). Het proces wordt uitgevoerd in een circa 1.200 m lange, ondergrondse pijpreactor. Onderin de pijp wordt de benodigde druk bereikt door het gewicht van de bovenstaande vloeistofkolom. Door de toevoer en afvoer van de

pijpreactor uit te voeren via een systeem van concentrische buizen wordt tevens een efficiënte uitwisseling van reactiewarmte tussen in- en uittredende slibstroom verkregen.

De natte oxydatie is er primair op gericht de hoeveelheid slib droge stof te reduceren en de ontwatering van het resterende slib te verbeteren door een belangrijk deel van de organische stof te oxyderen. Stikstofverbindingen worden daarbij omgezet in ammoniak. Het resterend slib bestaat voornamelijk uit anorganisch materiaal (as) en kan na ontwatering tot  $\geq 50\%$  droge stof worden gestort.

Uit de studie blijkt dat, uitgaande van slib met 5% droge stof, de uiteindelijk te storten hoeveelheid slib na behandeling met het VerTech-systeem 25 à 30% bedraagt van de hoeveelheid slib die resteert bij een conventionele mechanische ontwatering met een filterpers. Het deeltjesvrije effluent uit het VerTech proces moet worden nagezuiverd ter verwijdering van CZV en N-Kjeldahl. Voor een slibverwerkingscapaciteit, overeenkomend met 500.000 i.e., bedragen de verwerkingskosten, inclusief de stortkosten, circa f 930,- per ton droge stof. Hierbij is uitgegaan van slib met 5% droge stof. Verhoging van de verwerkingscapaciteit tot een waarde overeenkomend met 1.800.000 i.e. resulteert in een daling van de verwerkingskosten tot circa f 520,- per ton droge stof. Een verdere kostendaling is mogelijk door verhoging van de bedrijfstijd.

## INLEIDING

In het kader van het project RWZI 2000 is door TNO en Witteveen + Bos een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van het "Carver-Greenfield droogproces" en het "VerTech natte oxydatieproces" voor het verwerken van zuiveringsslib op een Nederlandse RWZI. Het gaat hier om twee nieuwe verwerkingssystemen die in het buitenland zijn ontwikkeld. Het "Carver-Greenfield proces" heeft betrekking op een energiezuinige wijze van drogen, waarbij gebruik wordt gemaakt van het principe van een méértrapsindampproces. Het VerTech-proces is gericht op de natte oxydatie van slib in een lange, ondergrondse pijpreactor.

De studie omvat een evaluatie van de technische, economische en milieuhygiënische aspecten van de toepassing van deze systemen op Nederlandse RWZI's.

In de studie is aandacht besteed aan:

- Het principe van deze processen.
- De mogelijke uitvoeringsvormen.
- Het ontwikkelingsstadium en de ervaringen met deze processen.
- Het energieverbruik.
- De inpasbaarheid op een bestaande RWZI.
- De kosten en kostenopbouw.
- Het effect van belangrijke procesparameters, zoals bv. verwerkingscapaciteit, bedrijfstijd en aanvangsdrogestofgehalte van het slib op de verwerkingskosten.

- De milieu- en veiligheidsaspecten.

In de evaluatie is uitgegaan van een RWZI met een zuiveringscapaciteit van 200.000 i.e. en een slibverwerkingscapaciteit welke overeenkomt met 500.000 i.e. Een hoeveelheid slib, overeenkomend met een zuiveringscapaciteit van 300.000 i.e., wordt van elders aangevoerd. De keuze voor een verwerkingscapaciteit van 500.000 i.e. is gebaseerd op het feit dat uit kosten oogpunt een minimale verwerkingscapaciteit van 500.000 i.e. noodzakelijk wordt geacht. Daarnaast is als uitgangspunt gekozen dat er in Nederland een redelijk aantal RWZI's moet voorkomen waar bovengenoemde verwerkingsystemen zouden kunnen worden ingepast. Het totaal aantal RWZI's met een zuiveringscapaciteit > 200.000 i.e. bedraagt 14. Verder is als uitgangspunt gekozen dat het slib in principe gestort wordt.

Bij de uitvoering van de studie is gebruik gemaakt van literatuur die via een computerrecherche werd verkregen, alsmede van openbare informatie die door de patenthouders/bouwers van deze systemen (Foster Wheeler voor het Carver-Greenfield proces en VerTech Treatment Systems voor het VerTech proces) is verstrekt. De patenthouders/bouwers zijn daartoe zowel mondeling als schriftelijk benaderd.

In het navolgende zullen beide systemen separaat in beschouwing worden genomen. Mede gezien het verschil in uitgangspunten die bij de evaluatie van deze systemen zijn gekozen, is afgezien van een onderlinge vergelijking van de twee systemen.

## HET CARVER-GREENFIELD DROOGPROCES

### Principe en huidige status Carver-Greenfield droogproces

Het Carver-Greenfield droogproces is in principe een méértrapsindamproces, bestaande uit meerdere enkelvoudige verdampers. De hete damp uit een verdampertrap wordt daarbij benut als energiebron voor een volgende of voorafgaande verdampertrap. Op deze wijze kan een energiezuinig indamproces worden gerealiseerd. Bij het Carver-Greenfield proces wordt gebruik gemaakt van een niet met water mengbare en niet in water oplosbare, hoogkokende dragervloeistof, waarin het slib (of een andere te drogen stof) is gesuspenseerd. Deze dragervloeistof zorgt ervoor dat tijdens het droogproces/indamproces het te drogen slib vloeibaar en derhalve verpompbaar blijft. Tijdens het indamproces kan in principe het water volledig worden verwijderd. Er resteert uiteindelijk een suspensie van watervrije slibdeeltjes in een dragervloeistof. Door middel van een mechanische scheiding kunnen de slibdeeltjes uit deze dragervloeistof worden verwijderd.

Voor wat betreft de dragervloeistof kan onderscheid worden gemaakt tussen



een lichte olie-variant en een zware olie-variant. Bij de lichte olie-variant wordt in het algemeen een olie als dragervloeistof toegepast, die een niet al te hoog kookpunt heeft, die niet toxisch is, microbiologisch afbreekbaar is en gemakkelijk kan worden verwijderd uit het gedroogde slib door middel van stoomstrippen. Het restoliegehalte in het gedroogde slib bedraagt minder dan enkele procenten. Wat de bestemming van het slib betreft wordt primair gedacht aan storten. Bij de zware olie-variant wordt een olie met een relatief hoog kookpunt gekozen en bedraagt het rest oliegehalte in het gedroogde slib 10 à 30%. Primair wordt daarbij gedacht aan verbranden van slib. De zware olie-variant heeft als voordeel dat de verwerkingsinstallatie eenvoudiger en dus goedkoper is. In de onderhavige studie heeft het accent op de lichte olie-variant gelegen.

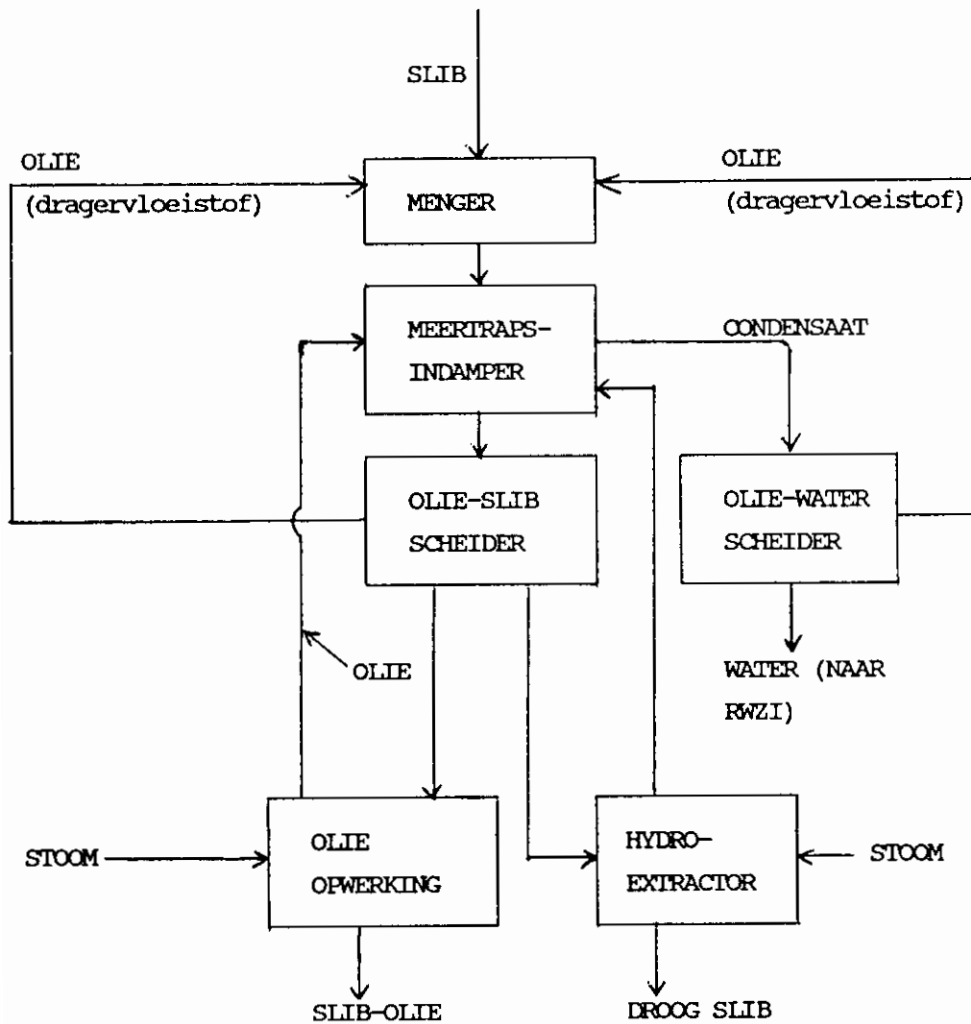
Bij het meertrapsindampproces kan ook gebruik worden gemaakt van mechanische damprecompressie. Door middel van een compressor wordt de damp, die ontstaat in een van de verdampertrappen, gecomprimeerd waardoor de energie-inhoud van de damp en het condensatiepunt van de damp worden verhoogd. Deze damp kan derhalve efficiënter als warmtebron worden benut. Het gevolg is dan dat minder verdampertrappen nodig zijn om een bepaalde energiebesparing te verwezenlijken.

Het Carver-Greenfield droogproces wordt in de praktijk toegepast voor het drogen van allerlei typen produkten en afvalstoffen afkomstig van de voedingsmiddelenindustrie, de farmaceutische industrie, de chemische industrie, de alcoholbereiding, bierbrouwerijen en destructiebedrijven. De meeste Carver-Greenfield installaties zijn geplaatst in de laatstgenoemde sector, onder andere in Nederland. De eerste Carver-Greenfield installaties voor het drogen van zuiveringslib zijn gebouwd in Japan. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de zware olie-variant. Het gedroogde slib wordt verbrand t.b.v. warmtevoorziening. In de Verenigde Staten is een aantal installaties voor het drogen van zuiveringslib met behulp van het Carver-Greenfield proces in voorbereiding.

#### Processchema Carver-Greenfield droogproces

Een sterk vereenvoudigd schema van het volledige Carver-Greenfield droogproces is weergegeven in figuur 1. Het te drogen slib wordt in een mengtank opgemengd met dragervloeistof (olie) en eventueel aangezuurd om schuimvorming te voorkomen. Het mengsel van slib en dragervloeistof wordt vervolgens gevoed aan een, in dit geval, twee-traps indampinstallatie met mechanische damprecompressie. De damp die bij het indampproces ontstaat bevat naast waterdamp ook nog een geringe hoeveelheid oliedamp. Na condensatie ontstaat een olie-watmengsel dat naar een olie-waterscheider wordt gevoerd. Nadat olie en water zijn gescheiden, wordt de olie teruggevoerd naar de mengtank. Voor een verdere verlaging van het oliegehalte kan het afgescheiden water nog door een coalescer worden geleid alvorens volledig te worden gezuiverd. Het mengsel van dragervloeistof en droge slibdeeltjes, dat de indamper verlaat, wordt met behulp van een centrifuge gescheiden. De slibkoek uit de centrifuge

bevat nog restanten dragerolie die in een zogenaamde hydro-extractor uit de droge stof worden afgescheiden. Dit gebeurt door de slibkoek onder vacuum met stoom te verhitten en te strippen, waardoor de dragerolie (en eventueel nog resterend water) verdampt. De vrijkomende dragerolie en waterdamp worden teruggevoerd naar de indampsectie.



Figuur 1. Processchema Carver Greenfield droogproces.

In het Carver-Greenfield proces worden de in het slib aanwezige oliën en vetten, de zgn. slibolie, met de dragervloeistof geëxtraheerd. Hoge sliboliegehalten in de dragervloeistof kunnen aanleiding geven tot schuimvorming en warmteoverdrachtsproblemen. Om dit te voorkomen wordt een deel van de dragerolie naar een scheidingskolom gevoerd waarin de dragerolie onder vacuum met stoom wordt gestript. Drageroliedamp en stoom worden weer teruggevoerd naar de indampsectie. Er resteert dan een slibolie die als brandstof kan worden gebruikt.

## Inpassing van het Carver-Greenfield droogproces in bestaande RWZI

Het Carver-Greenfield droogproces kan op eenvoudige wijze worden ingepast in de bestaande RWZI. Er zullen daarbij wel speciale voorzieningen moeten worden getroffen voor de aanvoer en ontvangst van het voorontwaterde slib en voor de opslag en afvoer van het gedroogde slib.

Het van dragerolie ontdane condensaat van het indampproces bevat nog een kleine hoeveelheid CZV en N-Kjeldahl. Het CZV bestaat voornamelijk uit biologisch gemakkelijk afbreekbare vluchtige componenten. De N-Kjeldahl bestaat voornamelijk uit ammoniakstikstof. Dit condensaat kan zonder problemen op de RWZI worden gezuiverd. De zuivering betekent een extra belasting voor de RWZI van minder dan 1% voor het CZV en minder dan 6% voor de NKjeldahl.

## Kostenberekening Carver-Greenfield droogproces

### **Uitgangspunten (standaardcondities)**

Bij de berekening van de kosten van het Carver-Greenfield proces zijn de navolgende uitgangspunten gehanteerd.

- De Carver-Greenfield installatie verwerkt een hoeveelheid slib die overeenkomt met 500.000 i.e. Op jaarbasis betekent dit een verwerking van 8.200 ton droge stof.
- Het type slib dat verwerkt wordt, is uitgesteid primair en surplusslib dat met behulp van polyelektrolieten is geconditioneerd en vervolgens mechanisch ontwaterd is tot 20% droge stof met behulp van een centrifuge of zeefbandpers. De samenstelling van dit slib is als volgt:
  - \* droogrest: 20% (55% organisch, 45% as);
  - \* slibolie: 10% van de droogrest;
- De bedrijfstijd bedraagt 5 dagen per week en 24 uur per dag.
- Uitgegaan wordt van een vierploegendienst met twee personen per ploeg.
- De stortkosten van het gedroogde slib bedragen f 50,- per ton slib.
- De uit het slib gewonnen slibolie wordt als energiebron gebruikt voor opwekking van stoom t.b.v. het indampproces.
- De extra bedrijfskosten op de RWZI, die voortvloeien uit de zuivering van het condensaat, bedragen f 10,- per vervuilingseenheid.
- Voor het behandelen van piekaanvoeren en het opvangen van storingen en opstartperioden wordt een overcapaciteit van 30% aangehouden.
- Het principeschema van de Carver-Greenfield drooginstallatie, zoals die door Foster-Wheeler is aangeboden, is weergegeven in figuur 2. Voor deze installatie heeft Foster Wheeler een kostenopgave verstrekt.
- De aanneemsom is berekend uit gegevens, verstrekt door Foster-Wheeler, waar nodig aangevuld met schattingen van de auteurs. Deze schattingen zijn gebaseerd op gegevens en ervaringen verkregen in soortgelijke projecten.

- De investeringen zijn opgebouwd uit:
  - \* aanneemsom voor het civiele en het mechanische gedeelte
  - \* toeslagen:
    - 18,5% BTW
    - 5% renteverlies tijdens de bouw
    - 15% advieskosten
    - 30% onvoorzien
- De volgende afschrijvingstermijnen en financiële kengetallen worden gehanteerd:
  - \* civiele voorzieningen: 30 jaar,
  - \* elektromechanische voorzieningen: 15 jaar,
  - \* nominaal rentepercentage: 7%,
  - \* berekening van de kapitaallasten op basis van de annuïteitenmethode.

### Resultaten kostencalculaties (standaardcondities)

Op basis van de eerder genoemde uitgangspunten bedragen de totale verwerkingskosten per ton droge stof circa f 690,-. In tabel 1 is de kostenopbouw weergegeven (kosten in guldens per ton droge stof).

Tabel 1

Kapitaallasten	418
Bedrijfskosten	
onderhoud	49
personeel	88
stookolie	16
elektriciteit	40
stikstof	1
dragerolie	14
koelwater	3
leidingwater	< 1
overige	5
Stortkosten	46
Zuiveringskosten	7
Totaal	circa <u>690</u>

De jaarkosten bestaan voor circa 61% uit kapitaallasten, circa 31% uit bedrijfskosten en circa 8% uit stort- en zuiveringskosten.

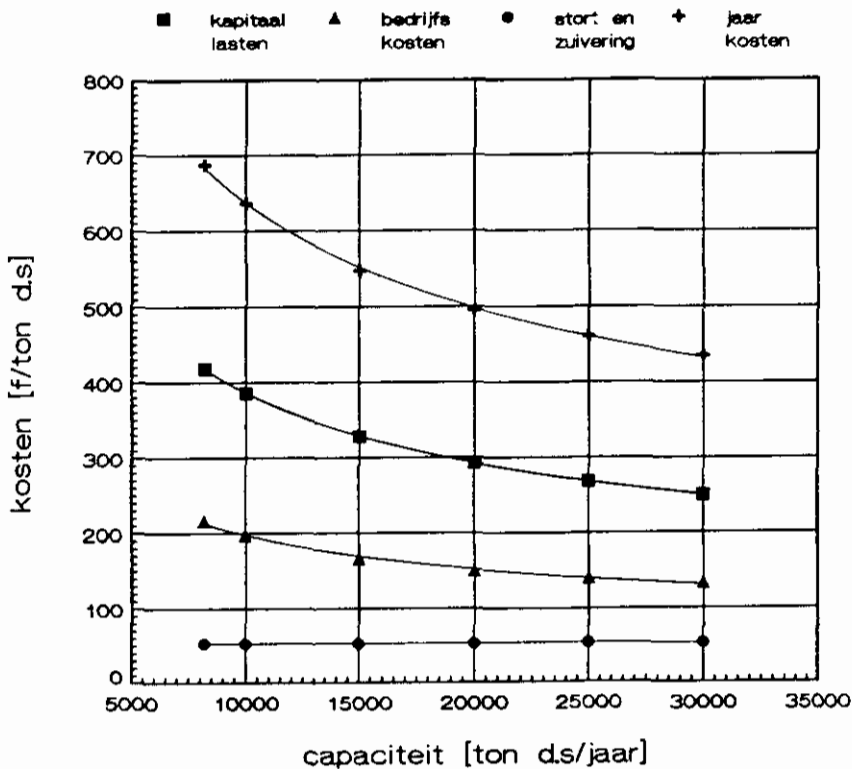
### Gevoeligheidsanalyse

Door middel van een gevoeligheidsanalyse is nagegaan wat de financiële consequenties zijn bij een wijziging van de randvoorwaarden en uitgangspunten.

- Verwerkingscapaciteit
  - Het effect van de verwerkingscapaciteit op de kosten per ton droge stof is

weergegeven in figuur 3. Het blijkt dat de verwerkingscapaciteit een grote invloed heeft op de verwerkingskosten. Een toename van de verwerkingscapaciteit tot 30.000 ton slib droge stof per jaar (overeenkomend met 1.800.000 i.e.) resulteert in een daling van de verwerkingskosten tot circa f 435,- per ton droge stof.

- **Aanvangsdrogestofgehalte van het slib**  
Een verandering van het drogestofgehalte van het ingaande slib heeft een verandering van de hoeveelheid te verdampen water en dus een verandering van het energieverbruik tot gevolg. Het effect op de verwerkingskosten is echter betrekkelijk gering. Verlaging van het droge stofgehalte van 20% naar 10% resulteert, bij de eerder gekozen standaardcondities, in een stijging van de verwerkingskosten van circa f 690,- naar circa f 740,- per ton droge stof. Verhoging van het drogestofgehalte van 20% naar 30% geeft een daling in de verwerkingskosten van circa f 690,- naar circa f 650,- per ton droge stof.
- **Bedrijfstijd**  
Een verhoging van de bedrijfstijd van 5 dagen naar 7 dagen per week resulteert, bij de gekozen standaardcondities, in een afname van de jaarlijkse kosten van circa f 690,- tot circa f 630,- per ton droge stof.
- **Richtlijn Verbranden (augustus 1989)**  
Indien voor het Carver-Greenfield proces de nieuwe "Richtlijn Verbranden" van toepassing wordt verklaard, zullen de kosten circa f 20,- per ton slib droge stof hoger uitvallen.



Figuur 3. Verwerkingskosten als functie van de verwerkingscapaciteit.

## HET VERTECH NATTE OXYDATIEPROCES

### Principe en huidige status VerTech natte-oxydatieproces

Bij natte oxydatie worden organische verbindingen in een waterfase geoxydeerd bij verhoogde temperatuur en druk. Daarbij ontstaan o.a. kooldioxyde en water. Organisch gebonden stikstofverbindingen worden omgezet in ammoniak. Zwavel- en fosforverbindingen worden in het algemeen geoxydeerd tot respectievelijk sulfaten en fosfaten. De mate van oxydatie wordt bepaald door de procestemperatuur, de reactietijd, de hoeveelheid zuurstof die wordt toegevoegd en de aard van de te oxyderen verbindingen. Volledige oxydatie wordt zelden bereikt. Het effluent van een natte oxydatie-reactor bevat dan ook vluchtige vetzuren, alcoholen, aldehyden etc.

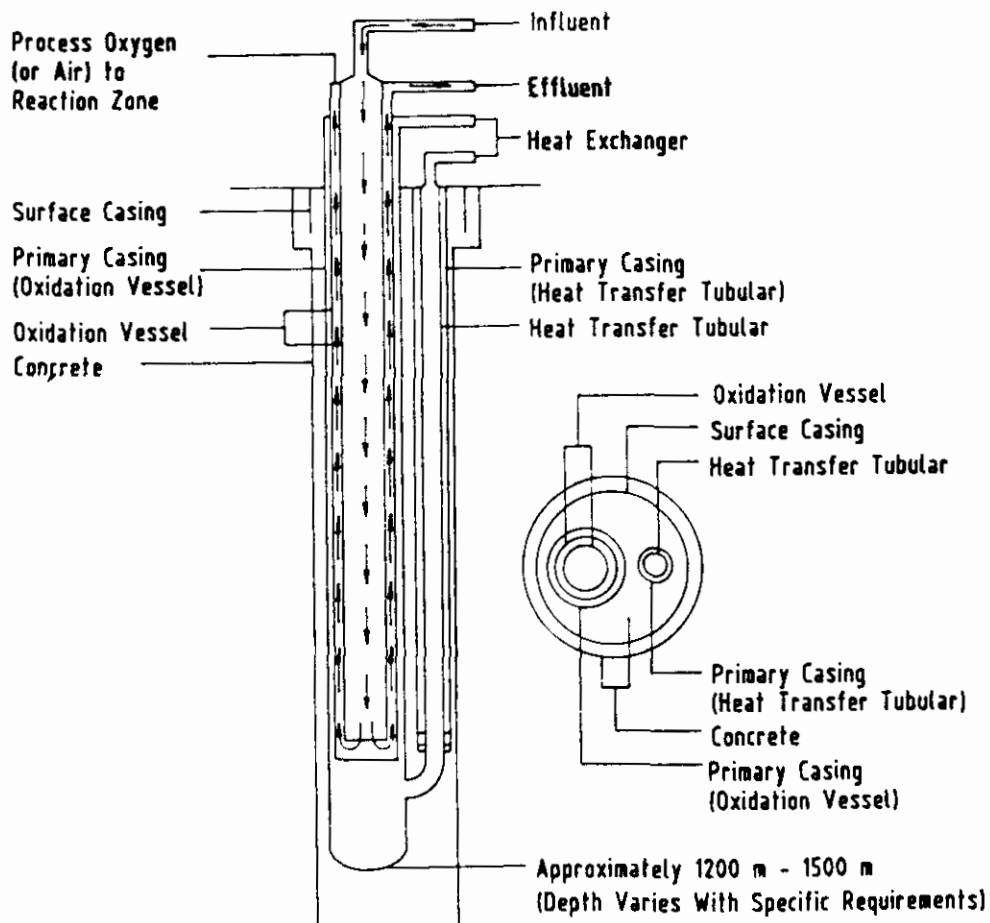
De natte oxydatie van zuiveringsslib is er primair op gericht de organische slibbestanddelen voor een belangrijk deel te oxyderen en een slib over te houden dat voor het grootste deel anorganisch van aard en goed ontwaterbaar is.

Voor een relatief volledige natte oxydatie van zuiveringsslib is een temperatuur van minimaal 175°C vereist. Dit betekent dat het proces onder hoge druk moet worden uitgevoerd. Bij het VerTech proces wordt deze druk gerealiseerd door het proces uit te voeren in een lange, vertikaal geplaatste, ondergrondse pijpreactor met een doorsnede van circa 90 cm (de doorsnede is in feite afhankelijk van de gewenste verwerkingscapaciteit) en een lengte van circa 1.200 m. De benodigde druk wordt onderin deze reactor bereikt als gevolg van de bovenstaande vloeistofkolom.

De eigenlijke VerTech reactor bestaat in feite uit twee concentrische buizen (zie figuur 4). Aan de binnenste, de downcomer, wordt de te behandelen slib suspensie toegevoerd. Hierin wordt ook de zuurstof toegevoerd en vindt de oxydatie plaats. De behandelde vloeistof wordt afgevoerd via de annulaire ruimte tussen de twee buizen (riser). Daarbij vindt ook een warmte-uitwisseling plaats tussen neergaande en opstijgende slibstroom. De eigenlijke natte oxydatiereactie vindt plaats in het gebied tussen circa 700 en 1.200 m. Daar loopt de temperatuur op van circa 175°C tot circa 270°C, waardoor de natte oxydatie voldoende snel kan plaats vinden. De beide concentrische buizen worden omgeven door een derde concentrische buis. De annulaire ruimte tussen riser en derde concentrische buis dient voor het transport van een warmteoverdragend medium. Afvoer van dit medium vindt plaats via een aparte afvoerpijp die parallel aan de reactor is geplaatst. Als warmtetransportvloeistof wordt daarbij water gebruikt.

Het uit de reactor tredende mengsel van vloeistof, gas en gesuspenseerde deeltjes ondergaat nog een verdere behandeling, gericht op afscheiding van de slibdeeltjes, reiniging van de gasfase en zuivering van de vloeistof.

## Center Tube Downcomer Vessel (CTD) Cross-Sectional Schematic

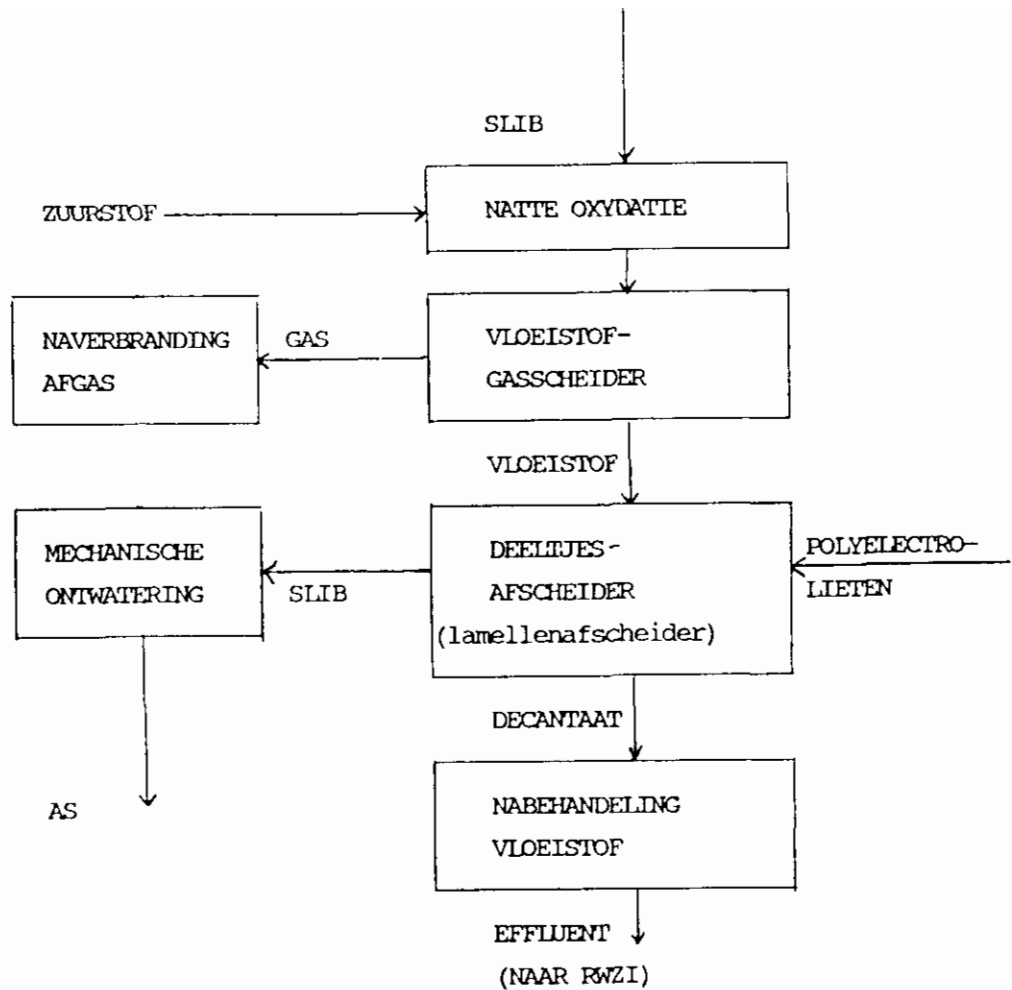


Figuur 4. Principe VerTech natte-oxydatieproces.

Het VerTech systeem is op praktijkschaal uitgebreid uitgetest en gedemonstreerd in Longmont (USA). Op basis van de resultaten, die daarbij zijn verkregen, is nu een aantal praktijkinstallaties in voorbereiding. Eén daarvan is gepland bij de RWZI in Apeldoorn voor de behandeling van minimaal 17.500 ton slib droge stof per jaar.

### Processchema VerTech natte-oxydatieproces

Een sterk vereenvoudigd schema van het VerTech natte-oxydatieproces is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Processchema VerTech natte-oxydatieproces.

Het te behandelen slib wordt, indien nodig, eerst op een droge stofgehalte van 5% gebracht door verdunning met deeltjesvrij effluent uit de natte oxydatiereactor. Vervolgens wordt het slib aan de downcomer van de natte oxydatiereactor toegevoerd. In deze neergaande slibstroom wordt (zuivere) zuurstof geïnjecteerd die nodig is voor het oxydatieproces. Het invoerpunt voor deze zuurstof bevindt zich op een diepte van ca. 300 m gerekend vanaf de bovenzijde. Zoals reeds is vermeld, vindt de eigenlijke oxydatie plaats in het onderste gedeelte van de reactor.

Het uit de riser tredende mengsel wordt door middel van een tweetal gas-vloeistofscheiders gesplitst in een afgasstroom en een vloeistofstroom. Het afgas bevat voornamelijk kooldioxyde, zuurstof, stikstof, waterdamp, koolmonoxyde en ammoniak. Dit afgas wordt met behulp van een katalytische naverbrander bij een temperatuur van ca. 490°C naverbrand. De hiervoor benodigde warmte ontstaat door oxydatie van de koolmonoxyde met de zuurstof die nog in het afgas aanwezig is. Indien dit afgas onvoldoende zuurstof bevat wordt lucht



toegevoerd.

Het ontgaste effluent wordt naar een lamellenafscheider gevoerd waar de verwijdering van slibdeeltjes plaatsvindt. Om ook de colloïdale deeltjes te kunnen afscheiden, vindt vooraf coagulatie/flocculatie met behulp van poly-elektrolieten plaats. Het slib uit de lamellenafscheider wordt in een centrifuge verder ontwaterd waarbij eventueel ook weer poly-elektrolieten worden toegepast. Het drogestofgehalte van het daarbij verkregen slib bedraagt naar schatting 50%. De droge stof bestaat voor ca. 90% uit anorganisch materiaal. Het decantaat, dat na afscheiding van de colloïdale en gesuspendeerde deeltjes wordt verkregen, bevat nog een relatief hoge concentratie aan CZV en N-Kjeldahl (voornamelijk in de vorm van ammoniak) en zal verder moet worden gezuiverd.

### Inpassing van het VerTech natte-oxydatiesysteem in bestaande RWZI

Het VerTech natte-oxydatieproces kan op een relatief eenvoudige wijze worden ingepast in de bestaande RWZI.

Voor de aanvoer en opslag van slib zullen speciale voorzieningen moeten worden getroffen. Dit geldt ook voor de opslag en afvoer van het ontwaterde, geoxydeerde slib.

Het van deeltjes ontdane decantaat uit de natte oxydatie reactor bevat nog een dusdanige vervuiling aan CZV en N-Kjeldahl, dat het niet direkt op het oppervlaktewater geloosd kan worden. Het kan ook niet zonder voorbehandeling naar de RWZI worden teruggevoerd. Wanneer, voor de gekozen verwerkingscapaciteit, het VerTech-decantaat ongezuiverd zou worden teruggevoerd naar de RWZI, levert dit een extra belasting van 20% CZV en 45% N-Kjeldahl. Daarom wordt het decantaat eerst vóórgezuiverd in een laagbelaste actief-slibinstallatie met vóórdennitrificatie.

### Kostenberekening VerTech natte-oxydatieproces

#### **Uitgangspunten (standaardcondities)**

Bij de berekening van de kosten van het VerTech natte oxydatieproces zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

- De VerTech natte oxydatie-installatie verwerkt een hoeveelheid slib die overeenkomt met 500.000 i.e. Op jaarbasis betekent dit een verwerking van 8.200 ton droge stof.
- Het type slib, dat verwerkt wordt, is uitgestikt primair en surplusslib. Het droge stofgehalte van het slib bedraagt 5%.
- De bedrijfstijd bedraagt 5 dagen per week en 24 uur per dag.
- Uitgegaan wordt van een vierploegendienst met twee personen per ploeg.
- De stortkosten van het behandelde slib bedragen f 50,- per ton.
- Voor het behandelen van piekaanvoeren en het opvangen van storingen wordt een overcapaciteit van 30% aangehouden.
- VerTech Treatment Systems heeft een kostenopgave verstrekt voor het natte-oxydatiesysteem inclusief as-afscheiding en ontwatering, afgasbe-

- handeling en energievoorziening, maar exclusief slibontvangstvoorzieningen, opslag en effluentzuivering.
- De aanneemsom is berekend uit gegevens verstrekt door VerTech Treatment Systems, waar nodig aangevuld met schattingen van de auteurs. De kosten van de vóórzuivering van het decantaat zijn berekend door de auteurs. De door de auteurs gemaakte schattingen en berekeningen zijn gebaseerd op gegevens en ervaringen verkregen in soortgelijke projecten.
  - De investeringen zijn opgebouwd uit:
    - \* aanneemsom voor het civiele en het mechanische gedeelte
    - \* toeslagen:
      - 18,5% BTW
      - 5% renteverlies tijdens de bouw
      - 15% advieskosten
      - 30% onvoorzien
  - De volgende afschrijvingstermijnen en financiële kengetallen worden gehanteerd:
    - \* civiele voorzieningen: 30 jaar;
    - \* electromechanische voorzieningen: 15 jaar;
    - \* nominaal rentepercentage: 7%;
    - \* berekening kapitaallasten op basis van de annuïteitenmethode.

#### **Resultaten kostencalculaties (standaardcondities)**

Op basis van de eerder genoemde uitgangspunten bedragen de totale verwerkingskosten per ton droge stof circa f 930,-. In Tabel 2 is de kostenopbouw weergegeven (gulden per ton droge stof).

Tabel 2

Kapitaallasten	526
Bedrijfskosten	
onderhoud	60
personeel	88
aardgas	23
electriciteit	35
zuurstof	135
overige	12
Stortkosten	49
Totaal	circa <u>930</u>

De jaarkosten bestaan voor circa 57% uit kapitaallasten, circa 38% uit bedrijfskosten en circa 5% uit stortkosten.

## Gevoeligheidsanalyse

Door middel van een gevoeligheidsanalyse is nagegaan wat de financiële consequenties zijn bij een wijziging van de gekozen randvoorwaarden en uitgangspunten.

- Verwerkingscapaciteit.

Het effect van de verwerkingscapaciteit op de kosten per ton droge stof is weergegeven in figuur 6. Het blijkt dat de verwerkingscapaciteit een grote invloed heeft op de kosten. Een toename van de verwerkingscapaciteit tot 30.000 ton slib droge stof per jaar (overeenkomend met 1.800.000 i.e.) resulteert in een daling van de verwerkingskosten tot circa f 520,- per ton droge stof.

- Aanvangsdrogestofgehalte slib.

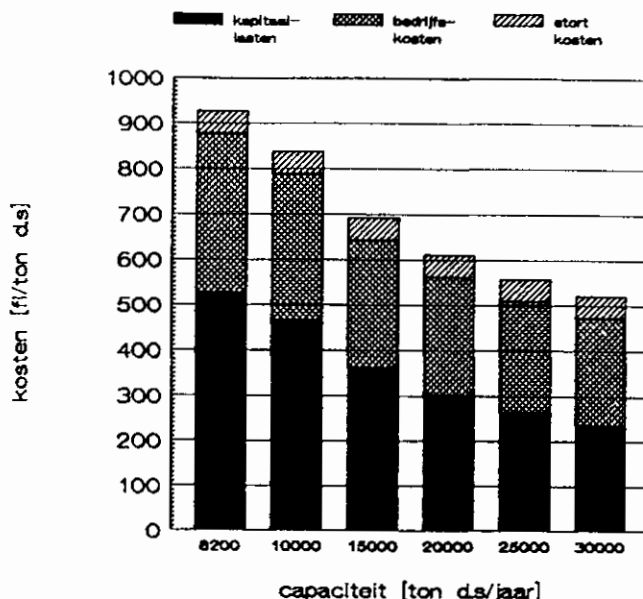
Verlaging of verhoging van het drogestofgehalte van het slib tot 4% respectievelijk 6% heeft een te verwaarlozen effect op de verwerkingskosten.

- Bedrijfstijd.

Een verhoging van de bedrijfstijd van 5 dagen naar 7 dagen per week resulteert bij de gekozen (overige) standaardcondities in een afname van de verwerkingskosten per ton van circa f 930,- tot circa f 860,- per ton droge stof.

- Prijs van vloeibare zuurstof.

Uit de kostenberekening blijkt dat, uitgaande van een zuurstofprijs van f 0,20 per kg, de verwerkingskosten voor circa 15% bestaan uit de kosten voor (vloeibare) zuurstof. Een toename van de zuurstofprijs tot f 0,30 per kg leidt tot een stijging van de kosten per ton slib droge stof tot circa f 995,-. Een afname van de zuurstofprijs tot f 0,15 per kilo zuurstof geeft een daling in de verwerkingskosten tot circa f 895,- per ton droge stof.



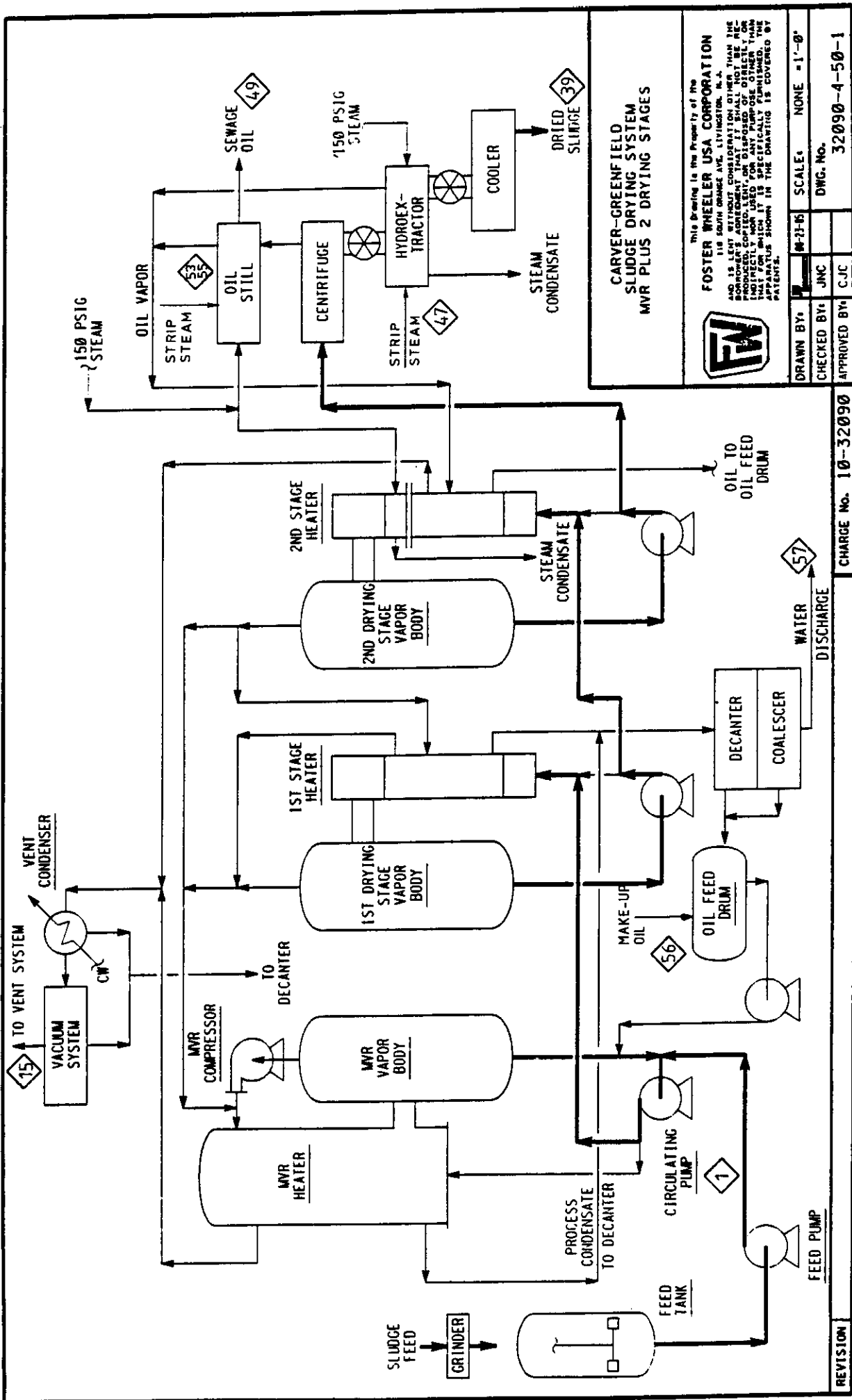
Figuur 6. Verwerkingskosten als functie van de verwerkingscapaciteit

### Overige aspecten VerTech natte-oxydatieproces

De verwachting is dat toepassing van het VerTech natte oxydatieproces voor slibverwerking geen onoverkomelijke milieuproblemen met zich mee zal brengen. De veiligheidsrisico's van het VerTech systeem zijn gemeten naar industriële maatstaven niet uitzonderlijk hoog. Het werken met hoge temperaturen en drukken (ondergronds) is echter nieuw voor een RWZI.

### SLOTOPMERKING

Deze publikatie geeft een beschrijving van het VerTech-systeem op basis van de gegevens die in juli 1989 beschikbaar waren. Met het VerTech systeem is nog weinig praktijkervaring opgedaan. De verwachting is dat de komende jaren meer gegevens over het VerTech systeem beschikbaar komen. Bij de beoordeling van het VerTech systeem dient derhalve ook steeds aanvullende informatie, die na juli 1989 beschikbaar is gekomen, te worden meegenomen. In dit verband moet bijvoorbeeld gewezen worden op de MER voor de geplande installatie te Apeldoorn. Deze MER, die eind 1989 wordt afgerond, zal met name t.a.v. een aantal milieu-aspecten aanvullende informatie verstrekken.



Figuur 2. Principe-schema van de Carver-Greenfield drooginstallatie

ELEKTRO-AKOESTISCH ONTWATEREN

I.H. Smith  
(Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden)

Documentatie

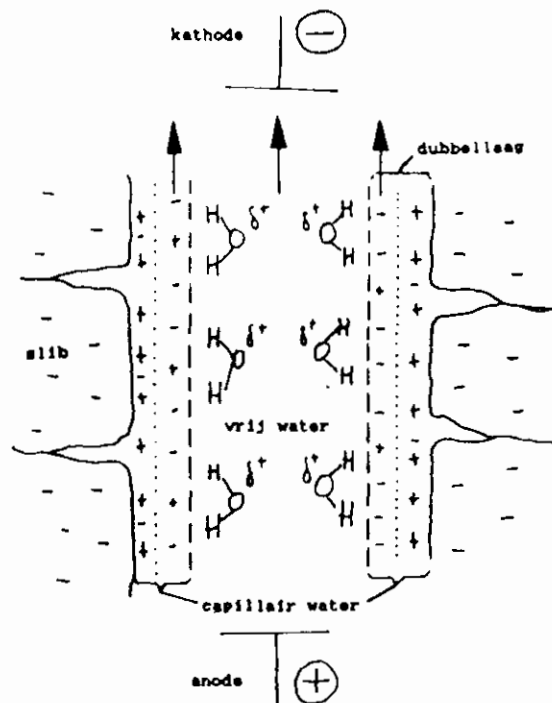
## INLEIDING

Elektro-akoustische ontwatering is een betrekkelijk nieuwe techniek die verder gaat waar de mechanische ontwatering ophoudt. De extra wateruitdrijvende kracht wordt ontleend aan de synergetische werking van een elektrisch veld en ultrasonore trillingen. Om die werking te begrijpen is het niet onverstandig eerst iets over het principe te vertellen.

## HET PRINCIPE

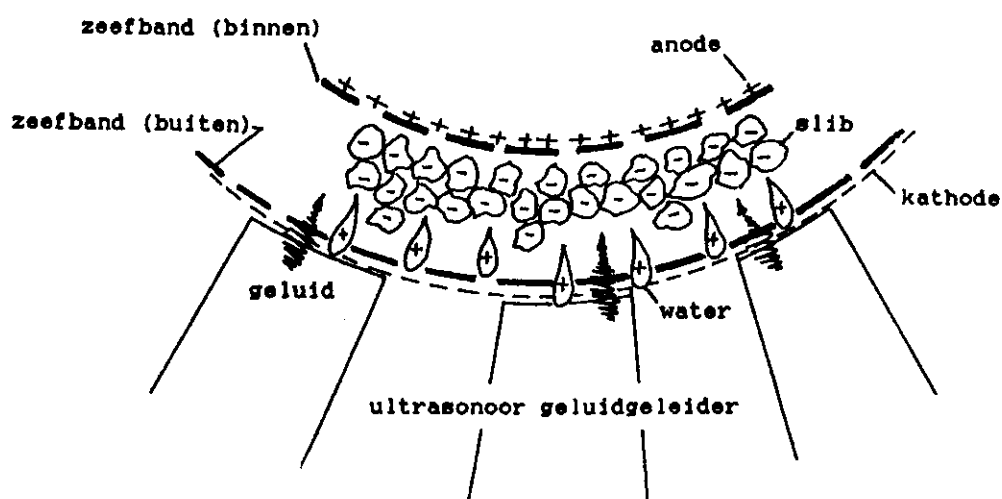
Alle goede dingen bestaan uit twee, zo ook hier. Het was al sinds het begin van de vorige eeuw bekend dat het aanbrengen van een elektrisch potentiaalverschil over een medium met poriën of capillairen het transport van het vloeibare medium naar één der elektroden teweegbrengt. Wat minder lang geleden hebben onderzoekers van het Amerikaanse Columbus-instituut van Battelle bij de toepassing van deze techniek op slibontwatering ontdekt dat dit transport effectiever verloopt als er hoofdfrekvent geluid wordt ingestraald. Vandaar het woord elektro-akoustische ontwatering of kortweg EAD (Electro Acoustic Dewatering).

Zoals gezegd treedt als gevolg van het elektrische potentiaalverschil een transport van water op; dit proces wordt elektro-osmose genoemd. Op de details zal ik hier niet ingaan. Het belangrijkste is dat de watermoleculen naar de (negatieve) elektrode worden getransporteerd en de negatieve slibdeeltjes daar worden afgestoten.



Figuur 1. Elektro-osmose in een slibcapillair.

Experimenten met alleen een elektrisch potentiaalverschil leverden echter geen bevredigende resultaten. Toepassing van ultrasonoor geluid gaf een verbetering. Hierbij spelen meerdere mechanismen een rol. Simpel gezegd komt het effect hierop neer dat de weg waarlangs het water moet worden afgevoerd niet verstoord raakt; ook wordt water uit de mikroporiën verdreven. Het totale effect geeft een aanzienlijke verbetering van het ontwateringsresultaat.



Figuur 2. Principe Elektro-Akoustische rol.

Onderzoekers van Battelle waren bovendien van mening dat dit principe zich goed laat inpassen in een zeefbandpers.

#### AANLEIDING VOOR HET ONDERZOEK IN NEDERLAND

De eerste resultaten die op laboratoriumschaal werden verkregen zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1. Resultaten EAD van enkele Amerikaanse slibben.

Materiaal	%DS ingedikt slib	Drogestofgehalte	
		conventioneel	slibkoek (%) EAD
Vers slib (prim.+sec.)	1	15 - 22	38
Idem	5	15 - 22	45
Uitgegist slib	4	15 - 22	45



Deze bevindingen zijn buitengewoon interessant. Zoals u allen weet worden de afzetmogelijkheden van zuiveringsslib steeds beperkter terwijl de produktie alleen maar stijgt. Een aanmerkelijke volumereduktie heeft daarom grote voordelen: minder transport (lagere kosten en minder milieuvervuiling), minder ruimtebeslag (lagere storkosten en minder milieubelasting). Moet het slib verbrand worden dan biedt een hoog drogestofgehalte eveneens voordelen: wegvallen van de behoefte aan primaire energie door autotherme verbranding, kleinere verbrandingscapaciteit, eventueel energieopbrengst.

Gezien het veelbelovende karakter en de aanzienlijke, mogelijke besparingen op de verwerkings- en verwijderingskosten van zuiveringsslib is er in 1988 een haalbaarheidsonderzoek voor EAD uitgevoerd. In dit onderzoek zijn tevens de toepassingsmogelijkheden voor de ontwatering van varkensdrijfmest nagegaan. Hierop zal ik in dit kader niet ingaan.

Het onderzoek is technisch en financieel ondersteund door VROM, STORA, DBW/RIZA, GTD-OB, ZHEW, IREM, FOM, IMAG en PROMEST BV.

## OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek viel in twee delen uiteen. In eerste instantie is de haalbaarheid van EAD voor Nederlandse slibben op laboratoriumschaal nagegaan. Vervolgens is aan de hand van een zeer groot aantal experimenten vastgesteld volgens welke ontwerpkriteria een prototype van een zeefbandpers met EAD moet worden gekonstrueerd.

De uitvoering van het onderzoek lag in handen van Battelle en vond plaats bij de licentiehouder, de Technische Maatschappij Bergmann BV in Berkel Rodenrijs.

Voor het onderzoek zijn vier slibben geselecteerd, twee aeroob gestabiliseerde slibben van de ultralaagbelaste aktiefslibinstallaties Ridderkerk en Veghel-Uden en twee uitgegiste slibben van de laagbelaste aktiefslibinstallaties Rotterdam-Dokhaven en 's Hertogenbosch.

## RESULTATEN

### Haalbaarheidsonderzoek.

De voornaamste resultaten zijn:

- ontwatering tot 48 %DS is mogelijk;
- Bij ontwatering tot 30 %DS is de extra energie voor EAD geringer dan de energie benodigd voor thermische droging; Het specifieke energieverbruik is kleiner dan 0.15 kWh/kg extra filtraat;
- EAD bij voorkeur in de laatste fase van een zeefbandpers inbouwen (zover mogelijk voorontwateren);
- de combinatie van ultrasonore en elektrische energie is voordeliger dan elektrische energie alleen.

### Onderzoek naar de ontwerpparameters

In dit onderzoek is de invloed van de volgende parameters nagegaan:

- voltage (Volt)
- ultrasonoor vermogen (Watt)
- ontwateringstijd (min.)
- drogestofbelasting (kgDS/m<sup>2</sup>)
- polymeerdosering (gPE/kgDS)
- persdruk (bar)

Op grond van 105 experimenten met de slibben van 's Hertogenbosch en Ridderkerk zijn de volgende conclusies getrokken:

- het is technisch haalbaar zuiveringsslib elektro-akoestisch te ontwateren tot 28 % en 35 % drogestof, voldoende voor autotherme verbranding, respectievelijk storten;
- lagere voltages met langere ontwateringstijden leveren een lager specifiek energieverbruik dan hogere voltages met kortere ontwateringstijden;
- een lage drogestofbelasting reduceert het energieverbruik aanzienlijk; m.a.w. een dunne laagdikte is bevorderlijk;
- toepassen van ultrasonore energie vermindert het benodigde voltage en het totale energieverbruik;
- overmatige polymeerdosering verhoogt het energieverbruik;
- persdruk speelt geen rol (in het onderzochte traject);
- de EAD-zone dient bij voorkeur achterin/-aan de zeefbandpers te worden gesitueerd.

### BEDRIJFSECONOMISCHE EVALUATIE

Het is één ding om te weten dat met EAD een aantrekkelijk ontwateringsresultaat kan worden behaald, maar is het ook rendabel ?

Het is daarom interessant om de jaarlijkse kosten van slibverwerking en slibafzet met en zonder toepassing van EAD in een zeefbandpers te vergelijken. Als eindbestemming zijn storten en verbranden in een slibverbrandingsinstallatie (SVI) beschouwd. Voor storten is uitgegaan van een te bereiken einddrogestofgehalte van 35 % en voor verbranden van 28 %. Bij deze waarde treedt bij "gemiddeld" zuiveringsslib autotherme verbranding op zodat niet met externe energie hoeft te worden voorgedroogd. Bij de variant verbranden is voorts het effect van een EAD-slibkoek met 35 %DS doorgerekend om de invloed van het drogestofgehalte op de totale kosten na te gaan. Hierbij is geen extra opbrengst uit het overschot aan verbrandingsenergie in rekening gebracht omdat dat afhankelijk is van plaatselijke omstandigheden. Bij de conventioneel ontwatering is een einddrogestofgehalte van 18 % aangehouden.

De volgende varianten zijn beschouwd:

IA : Kalktoevoeging op de awzi en storten;

- IB : Drogen in de open lucht en storten;
- IIA : Verbranden in een aardgas gestookte SVI; het slib wordt met aardgaswarmte voorgedroogd;
- IIB : Verbranden in een SVI gekoppeld aan een huisvuilverbrandingsinstallatie (VVI) waarbij de restwarmte van de VVI voor slibdroging wordt benut.

Voor de kosten is uitgegaan van bestaande en in voorbereiding zijnde projecten. De investeringskosten van de ontwateringsapparatuur zijn verstrekt door Bergmann BV.

Voorts zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Slibproductie van de awzi : 5.000 ton DS/j; 300.000 ie
- Capaciteit van de SVI : 50.000 ton DS/j
- Specifieke energie bij EAD : min. 150 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat  
max. 210 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat.

Voor alle varianten zijn nog drie situaties onderscheiden. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat het specifiek energieverbruik omgekeerd evenredig is met de drogestofbelasting; vergroting van de pers leidt dus bij een gelijkblijvende capaciteit tot een lager energieverbruik (optimalisering naar energiekosten) en omgekeerd (optimalisering naar investeringskosten). Daarnaast is een "worst case" berekend.

De kosten zijn inclusief BTW en exclusief de bouwkundige kosten voor slibontwatering omdat deze voor alle varianten gelijk zijn.

Tabel 2: Jaarlijkse kosten slibverwerking en -afzet in f/ton DS

	conventionel zeefbandpers	EADpers		
		geoptimaliseerd naar energie investeringe		worst case
specifieke energie investering EAD-pers		150	210	210
% DS slibkoek	18	I	I - 35 %	I
		28 35	28 35	28 35
IA :Kalken+storten	1001	499	504	532
IB :Drogen+storten	541	499	504	532
IIA:SVI	569	522 495	518 500	546 528
IIB:SVI/VVI	539	522 495	518 500	546 528

### Conclusies:

Bij geoptimaliseerde energiebehoefte en investeringen blijkt EAD voor alle varianten zicht te geven op aantrekkelijke besparingen:

- bij kalken en storten:  $f500/\text{tonDS}$ ;
- bij drogen in de open lucht en storten:  $f37 - 42/\text{tonDS}$ ;
- bij verbranden in een zelfstandige SVI:  $f47 - 51/\text{tonDS}$ ;
- bij verbranden in een aan een VVI gekoppelde SVI:  $f17 - 21/\text{tonDS}$ ;
- verder ontwateren kan bij verbranden nog tot een behoorlijke reductie in jaarlijkse lasten leiden of, bij een bestaande SVI, tot een vergroting van de verwerkingscapaciteit;
- in de "worst case" benadering lopen de besparingen uiteen van zeer aantrekkelijk tot verwaarloosbaar.

### HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

Bij de opzet van het onderzoek heeft een snelle toepassing van de EAD-technologie voorop gestaan. Het vaststellen van de haalbaarheid en het experimenteel bepalen van ontwerpkriteria moesten leiden tot proeven op praktijkschaal. Deze laatste fase is in Nederland nog niet uitgevoerd omdat men hiertoe in Amerika reeds overging. Volgens recente gegevens blijken de praktijkresultaten van een zeefbandpers met een bandbreedte van 1.2 m volledig overeen te komen met die welke op laboratoriumschaal zijn verkregen. Hopelijk kan deze techniek op korte termijn in de praktijk worden uitgetest.

### RESUMÉ

Toepassing van elektro-akoustische ontwatering voor vergaande ontwatering van zuiveringslib is technisch haalbaar. Afhankelijk van de feitelijke situatie kan de EAD-techniek financieel aantrekkelijk tot zeer aantrekkelijk zijn.

## **II OVERZICHT RWZI 2000 PROJECTEN**

### Project 3.2.1.3. ANAËROBE VOORZUIVERING

#### *inhoud en opzet*

Anaërobe voorzuivering wordt gekenmerkt door geringe energiebehoefte, lage slib productie en technische eenvoud van anaërobe installaties. Daarom is meerdere jaren naar toepassingsmogelijkheden van het korrelslib UASB-systeem op de voorzuivering van ruw rioolwater van een gescheiden en een gemengd rioolstelsel gekeken.

Doel van het project is te komen tot het vaststellen van goede dimensioneringsgrondslagen voor een anaërobe reactor en de juiste bedrijfsvoering hiervan, zodat er een zo vergaand mogelijke zuivering plaatsvindt onder Nederlandse omstandigheden.

#### *uitvoering*

Landbouwniversiteit (LU-Wageningen) en DBW/RIZA, begeleid door een commissie bestaande uit ir. W. van Starckenburg (voorzitter, DBW/RIZA), dr. A.M. Breure (RIVM), ir. A.E. van Giffen (Hoogheemraadschap West-Brabant), ir. P. Hack (Paques), ir. A. Mulder (Gist-Brocades), ing. G.B.J. Rijs (DBW/RIZA), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. A.J. van de Vlucht (VROM), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden),

#### *voortgang*

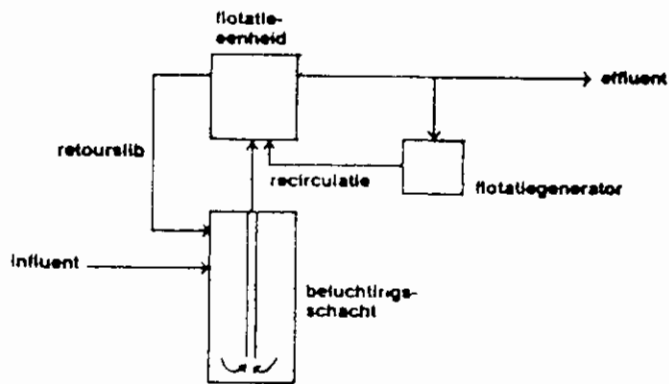
Bij toepassing van het UASB-systeem (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) zijn uitsluitend met voorbezonden afvalwater van de rwzi Bennekom goede resultaten geboekt. Het afvalwater uit het gescheiden stelsel van Lelystad leverde evenwel niet de verwachte resultaten.

Momenteel wordt laatstgenoemd onderzoek geëvalueerd en wordt de mogelijke oorzaak van de teleurstellende resultaten nagegaan.

In het kader van dit onderzoek is in het afgelopen jaar tevens nagegaan welke de financiële consequenties zijn bij toepassing van anaërobe voorzuivering voor huishoudelijk afvalwater. Uit deze kostentechnische evaluatie komt naar voren dat toepassing van de UASB-reactor in de Nederlandse situatie uitsluitend interessant kan worden indien de zuiveringsprestaties zeer sterk verbeteren. Op dit moment wordt er ernstig rekening mee gehouden dat een dergelijke verbetering niet mogelijk is.

Een complexerende factor in dit verband is nog dat de anaërobe voorzuivering niet tegelijk kan worden toegepast met het proces van biologische defosfatering. Gezien de goede vooruitzichten van deze laatste techniek moet worden vastgesteld dat de prioriteit om verder onderzoek op het terrein van de anaërobe zuivering uit te voeren in het kader van RWZI 2000 lager dient te zijn dan in het onderzoekplan is ingeschat. Het onderzoek met de UASB-reactor is inmiddels afgerond.

Het eindrapport zal eind 1989 verschijnen.



### Processchema Multireactor-systeem.

Vanaf medio 1989 zal de komende twee en half jaar onderzoek op pilotplant schaal worden uitgevoerd. Het onderzoek vindt plaats op het terrein van de LUW Vakgroep Waterzuivering te Bennekom, waar als gevolg van eerder onderzoek aan dit systeem, als overblijfsel nog een aantal voorzieningen resteren. Deze geamoveerde proefinstallatie is inmiddels gemodificeerd en het onderzoek is gestart.

## Project 3.2.1.4 ADSORPTIE-ACTIEFSLIBPROCES (AB-PROCES)

### *inhoud en opzet*

Het AB-proces is een tweetraps actiefslibstelsysteem met een hoogbelaste eerste trap en een laagbelaste tweede trap. De gestelde voordelen van het AB-proces worden gekenmerkt door een goede effluentkwaliteit (stikstof), gering ruimtebeslag en gering energieverbruik.

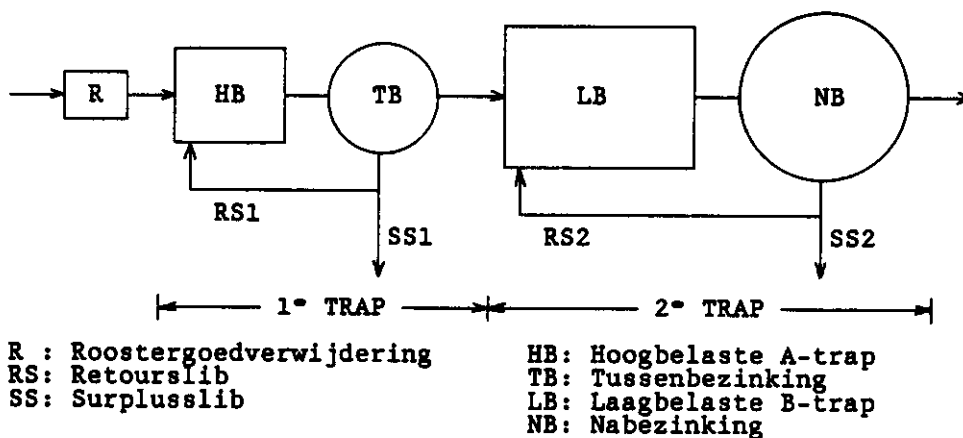
Het onderzoek bestaat uit een evaluatie van de ervaringen in binnen- en buitenland. In Nederland betrof het de bedrijfsgegevens van de r.w.z.i.'s Dokhaven, Veendam en Nieuwveer geïnventariseerd; in het buitenland (West-Duitsland) literatuuronderzoek.

### *uitvoering*

DHV Raadgevend Ingenieursbureau begeleid door ir. W. van Starckenburg (voorzitter, DBW/RIZA), ing. J.J. Jonk (Hoogheemraadschap West-Brabant), ing. W.A. Oorthuizen (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) en ir. P.C. Stamperius (STORA).

### *voortgang*

Het AB-proces, ontwikkeld door prof. Böhnke, is een tweetraps actiefslibstelsysteem met een hoogbelaste eerste trap de A(dsorption)-trap, en een laagbelaste tweede trap, de B(elebung)-trap. In de A-trap treedt voornamelijk adsorptie op van verontreinigingen aan de slibvlokken. Voor de adsorptie is geen zuurstof nodig, waardoor het zuurstofgehalte laag mag zijn. In de B-trap treedt substraatafbraak en verdere mineralisatie op.



Processchema AB-systeem



Kenmerkend voor het AB-proces zijn:

- de handhaving van een hoge slibbelasting in de A-trap (met een slibbelasting van minimaal 2 kg BZV/kg d.s.d)
- de strikte scheiding van de (verschillende) actief-slibstromen van de A- en de B-trap
- in het algemeen het ontbreken van een voorbezinking

Eind 1988 is gestart met de evaluatie van het AB-proces in binnen- en buitenland. Het systeem is getoetst aan de gestelde verwachtingen ten aanzien van effluentkwaliteit, ruimtebeslag en energieverbruik. Tevens is nagegaan in hoeverre het systeem aan de toekomstige scherpere effluenteisen (stikstof, fosfaat), zou kunnen voldoen. De werking van de Nederlandse AB-installaties, nl. r.w.z.i.'s Dokhaven, Veendam en Nieuwveer zijn geëvalueerd op basis van de door de waterkwaliteitsbeheerders verstrekte bedrijfsresultaten; de buitenlandse AB-systemen (West-Duitsland), op basis van een literatuuronderzoek en bezoeken aan r.w.z.i.'s en prof. Böhnke.

Er zijn enkele wezenlijke verschillen gebleken tussen beide AB-systemen in beide landen. In Nederland is de RWA/DWA-verhouding groter en de slibbelasting in de A-trap lager dan in West-Duitsland. De A-trap van de drie onderzochte r.w.z.i.'s voldoet niet aan de minimale slibbelasting. Derhalve kan formeel niet van een AB-systeem maar moet van een tweetraps actief-slibstelsysteem zonder voorbezinking worden gesproken. Hierdoor zijn ook de specifieke voordelen van gering ruimtebeslag en energieverbruik van de A-trap van het AB-systeem niet van toepassing op de Nederlandse situatie. Daarentegen zijn boven conventionele AS-installaties de volgende voordelen aan te geven:

- het zuiveringssysteem heeft een hoge processtabiliteit;
- het kan aan strenge effluenteisen voldoen (5 mg BZV/l en 40 tot 70 mg CZV/l);
- de goede gasproductie geeft goede mogelijkheden voor eigen energieopwekking ( > 17-20 l/ i.e.d.);
- het systeem biedt interessante mogelijkheden bij uitbreiding van bestaande r.w.z.i.'s;
- door de lage slibvolumeindex zal minder slibuitspoeling plaatsvinden.

Daarnaast zou dit zuiveringssysteem geschikt kunnen zijn voor vergaande stikstofverwijdering. Voor de optimale P- en N-verwijdering zal echter nog veel onderzoek nodig zijn.

De komende jaren zullen de Nederlandse AB-installaties door de desbetreffende beheerders met behulp van een uitgebreid meetprogramma intensief worden gevolgd. Het eindrapport van de evaluatie zal in het laatste kwartaal van 1989 gereed zijn.

## Project 3.2.2.2. MULTIREACTOR

### *inhoud en opzet*

Het Multireactorproces is gebaseerd op het aerobe actiefslibproces. Het systeem bestaat uit een ondergrondse diepe schacht, waarin de aerobe afbraak van organische stof plaatsvindt en bovengronds een flotatieeenheid voor de slib/waterscheiding. Het grote voordeel ten opzichte van conventionele actiefslibinstallaties ligt vooral in het ruimtebeslag, waardoor een betere beheersbaarheid wordt verkregen ten aanzien van stank en geluidsproblemen. Tevens zijn er enige aanwijzingen dat dit proces leidt tot een lagere slibproductie. Toepassing van het Multireactorsysteem lijkt derhalve voor de behandeling van stedelijk afvalwater een goede optie. Desalniettemin vereist het flotatieproces, dat verantwoordelijk is voor een belangrijk deel van de voordelen, vooralsnog een constant debiet van afvalwater.

De doelstelling van dit project is het Multireactor flotatie-proces bedrijfszeker te laten functioneren bij sterk wisselende afvalwaterdebieten c.q. vuilvrachten.

### *uitvoering*

Het onderzoek wordt uitgevoerd door Multireactor B.V., begeleid door ir. W. van Starckenburg (voorzitter, DBW/RIZA), ing. G. van Geest (Hoogheemraadschap van Rijnland), ir. C.J. van Haastrecht (Novem), ing. J.J. Jonk (Hoogheemraadschap West-Brabant), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. A.J. van der Vlugt (VROM), dr. ir. W.H. Rulkens (TNO), ir. H.A.A.M. Webers (Witteveen en Bos).

### *voortgang*

Het Multireactor-systeem bestaat uit een ondergrondse 20 m diepe schacht voor aerobe afbraak van organische stof en bovengronds een flotatie-eenheid voor de slib-waterscheiding.

Het principe is als volgt: Het afvalwater en retourslib worden tijdens het neerwaartse transport in de buitenpijp belucht. Door de druk van de bovenstaande vloeistofkolom kan onderin de schacht meer zuurstof in het afvalwater oplossen dan bij conventionele actiefslibsystemen. Vervolgens stroomt het slib/watermengsel via de binnenpijp omhoog en wordt in de flotatie-eenheid gescheiden in effluent en retourslib. In de flotatie-eenheid treedt door de lagere druk de opgeloste lucht vervolgens uit in de vorm van kleine luchtbelletjes die zich vasthechten aan het slib. Het flotatie-proces wordt hierdoor bevorderd.

*inhoud en opzet*

Vergelijking van de defosfateringstechnieken, waarbij de "state of the art" van elke techniek is nagegaan en met welke randvoorwaarden en knelpunten bij de invoering rekening moet worden gehouden. Tevens zijn de belangrijkste consequenties ten aanzien van chemicaliënverbruik, verzouting van het effluent, slibproductie en kosten nagegaan. De beschouwde defosfateringstechnieken zijn: chemische precipitatie, korrelreactor, magnetische separatie, biologische verwijdering (pho-strip-proces) en vlokfiltratie.

*uitvoering*

Het onderzoek is uitgevoerd door Witteveen & Bos, Raadgevende Ingenieurs, begeleid door ir. W. van Starckenburg (voorzitter, DBW/RIZA), ing. R. van Dalen (Zuiveringsschap Veluwe) en ing. G.B.J. Rijs (DBW/RIZA).

*voortgang*

De eindrapportage "Knelpunten bij de invoering van defosfatering" (RWZI 2000 89-02) geeft een overzicht van de stand van de ontwikkeling van de defosfateringstechnieken, die momenteel beschikbaar zijn of ontwikkeld worden en de knelpunten die bij de invoering van deze technieken in de praktijk te verwachten zijn. Gelet op de snelle ontwikkeling van een aantal technieken moet de vermelde informatie gezien worden als een momentopname van eind 1988.

De belangrijkste conclusies zijn dat de chemische defosfatering weliswaar eenvoudig en betrouwbaar is, maar dat er toch een aantal nadelen aan de toepassing zijn verbonden. Er ontstaan reststoffen die niet kunnen worden hergebruikt, het totaal-P gehalte komt over het algemeen niet beneden de 1-2 mg/l en het effluent wordt belast met een zoutvracht. De nieuwe technieken zijn minder ver in hun ontwikkeling. Op dit punt dient nog een hoeveelheid onderzoek gedaan te worden. De resultaten gaven ook aan dat de "nieuwe" technieken gevoelig zijn voor beleidsontwikkelingen met betrekking tot slibafzetmogelijkheden(en kosten), effluenteisen en vooral voor de verlaging in het influent van het fosfaatgehalte. Deze verlaging, vooral een gevolg van de vermindering van fosfaten in wasmiddelen, heeft nauwelijks invloed op de defosfateringskosten van de "nieuwe" technieken. Chemische defosfatering daarentegen wordt aanmerkelijk goedkoper bij een teruglopen van de hoeveelheid fosfaat in het influent.

*inhoud en opzet*

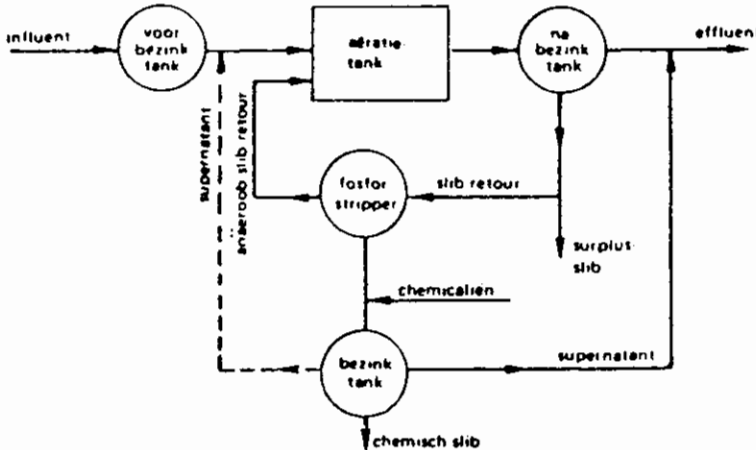
Biologische P-verwijdering is gebaseerd op het feit dat bepaalde micro-organismen (*Acinetobacter*) meer fosfaat uit het afvalwater kunnen opnemen dan voor de celgroei noodzakelijk is. Onder anaerobe condities wordt het opgeslagen fosfaat weer afgegeven aan de waterfase. Bij het pho-strip-proces vindt deze P-afgifte plaats in een aparte reactor van de sliblijn. De vrijgekomen geconcentreerde stroom aan fosfaat wordt door chemische precipitatie verder behandeld. Deze werkwijze wordt op praktijkschaal onderzocht.

*uitvoering*

Het onderzoek wordt uitgevoerd door de Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant in samenwerking met de LU-Wageningen.

*voortgang*

Hieronder is schematisch het pho-strip-proces weergegeven.

**Het Pho-stripproces.**

Het belangrijkste voordeel van het Pho-strip-proces is de aanzienlijk gereduceerde stroom water waaruit fosfaat verwijderd moet worden ten opzichte van de oorspronkelijke influentstroom. Naast deze volumereductie van de vloeistofstroom die behandeld moet worden, is het verkregen fosfaatslib van het pho-strip-proces aanmerkelijk minder met andere stoffen verontreinigd, waardoor hergebruik ook eerder in aanmerking komt. Ook de chemicaliëndosering en de te lozen zoutvracht zal afnemen.

Vanaf begin 1989 wordt het pho-strip-proces op pilot-plant schaal onderzocht

op de r.w.z.i. Eindhoven. Uit vooronderzoek op laboratoriumschaal is gebleken dat een effluentkwaliteit met een CZV-gehalte van 50-100 mg/l, een N-Kj gehalte van 2-4 mg/l, een N-NO<sub>3</sub> gehalte van minder dan 10 mg/l en een P-totaal gehalte van 0,5 - 1,5 mg/l kan worden gerealiseerd. De slibvolumeindex lag tussen 80 - 90 ml/g. Het pilotplant onderzoek zal in het tweede kwartaal van 1990 worden afgerond.

Project 3.2.2.5/3      BIOLOGISCHE P-VERWIJDERING MET PHO-STRIP-  
PING EN KORRELREACTOR

*inhoud en opzet*

Het onderzoek heeft een zelfde opzet als project 3.2.2.5/2, met dien verstande dat de geconcentreerde deelstroom in een korrelreactor wordt behandeld.

*uitvoering*

LU-Wageningen en DHV Raadgevend Ingenieursbureau, begeleid door ir. W. van Starckenburg (voorzitter, DBW/RIZA), ir. J.J. Ebbenhorst (Provinciale Waterstaat Utrecht), drs. M. E. Ikelaar (NOVEM), ir. P.J.M. Knaapen (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. P. Tessel (Zuiveringsschap Veluwe), ir. A.J. van der Vlugt (VROM) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

*voortgang*

Het onderzoek wordt uitgevoerd op pilot-plant schaal op het terrein van de Vakgroep Waterzuivering van de LUW en zal 2 jaar duren. Aan de orde zullen komen de volgende punten van onderzoek:

- Introductie, bedrijfsvoering en optimalisering korrelreactor in het biologisch defosfateringsproces;
- Invloed van het natuurlijk verloop van het debiet (DWA/RWA) op het defosfateringsproces;
- Economische haalbaarheid van de fermentatieve productie van lagere vetzuren uit primair slib ten behoeve van stripproces, ten opzichte van dosering van extern substraat.

Het project is gestart in het vierde kwartaal van 1989.

*inhoud en opzet*

Naast de praktische ervaring, die verkregen wordt uit de projecten 3.2.2.5/2 en 3.2.2.5/3 is aanvullende fundamentele microbiologische kennis gewenst voordat biologische defosfatering op grote schaal zou kunnen worden toegepast.

Onbekend zijn met name (a) goede dimensioneringsgrondslagen, (b) de invloed van de afvalwatersamenstelling op het proces en (c) de optimale omstandigheden van fosfaatopname en afgifte.

Doel van dit fundamentele onderzoek is enerzijds om de nog bestaande leemtes in de microbiële kennis op te heffen en anderzijds de microbiologische, bioprocestechnologische en zuiveingstechnologische kennis en ervaring te combineren om te komen tot een onderbouwd ontwerpmodel voor biologische defosfatering.

Als randvoorwaarde worden in het procesontwerp de simultane stikstof eliminatie en het pho-strip proces meegenomen.

*uitvoering*

Het onderzoek zal worden uitgevoerd door de TU-Delft, vakgroep Bioproces-technologie en LU-Wageningen, vakgroep Microbiologie.

*voortgang*

Het onderzoek zal starten medio 1990

## Project 3.2.2.7 AEROOB SLIB-OP-DRAGER/DRIE-FASENSYSTEEM

### *inhoud en opzet*

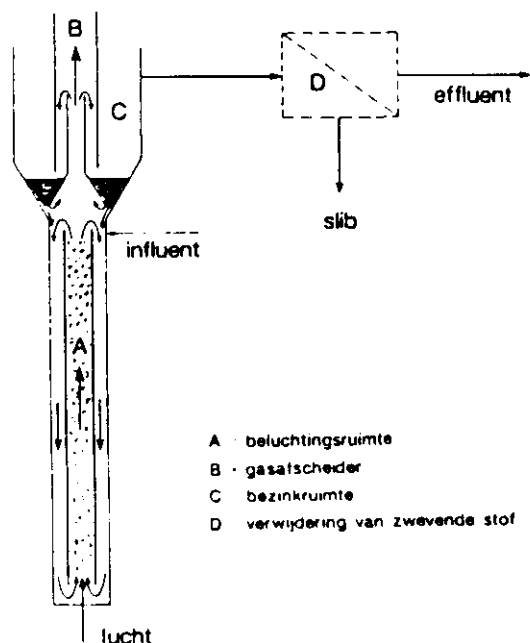
Bij dit systeem is de biomassa gehecht aan een inerte drager (zand). Het zuiveringsproces op zich komt overeen met conventionele actief slib systemen. De begroeide dragers in de kolom worden opwaarts doorstroomd. Door de hoge vuilbelasting die haalbaar is en de zeer korte verblijftijden in de reactor kan het systeem veel ruimte besparen.

### *uitvoering*

Maatschappelijke Technologie-TNO (Delft), begeleid door ir. A. van Giffen (voorzitter, Hoogheemraadschap West-Brabant) dr. J. van Andel (RIVM), ir. C. van Beersum (DBW/RIZA), ir. J.J. Heijnen, ir. A. Mulder (tot 01-06-'89), ir. W. Enger (vanaf 01-06-'89) (Gist-Brocades), dr.ir. G. Schraa (LU-Wageningen), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. A.J. van der Vlugt (VROM) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

### *voortgang*

Sinds enkele jaren is een drie fasen airlift reactor voor de zuivering van industrieel afvalwater bij Gist-Brocades in gebruik. Het zuiveringsproces is vergelijkbaar met een conventionele actief slib systeem, maar onderscheidt zich doordat de biomassa aan zand is gehecht. De reactor wordt opwaarts doorstroomd.



De reactor bestaat in essentie uit twee concentrische buizen en een nabezinkruimte. Het voorbezinken influent wordt bovenin de reactor ingebracht en doorstroomt de buitenbuis van boven naar beneden. Zuurstof, in de vorm van



luchtbellen, wordt onderin de binnenbuis ingebracht. Doordat de diameter klein is ten opzichte van de reactorhoogte, treedt een sterk opwaartse stroom van lucht, water en begroeide drager op. Direct boven de beluchtingsruimte vindt fase scheiding plaats. De ingebrachte lucht ontwijkt, terwijl de begroeide drager bezinkt. Het bezonken materiaal stroomt samen met het influent, via de buitenbuis, terug naar de beluchtingsruimte. Het effluent stroomt naar een nabezinkruimte waar het gesuspendeerd materiaal wordt afgevangen.

De resultaten van het onderzoek zijn tot nu toe gunstig. Het blijkt mogelijk om hoge slibconcentraties in het systeem te handhaven waarbij ook de organische stof afbraak goed is.

Het pilot-plant onderzoek wordt uitgevoerd met 25 liter reactoren gedurende de periode september 1987 tot en met december 1989. Een drietal aandachtspunten stonden hierbij centraal, te weten: de processtabiliteit, de verbetering van het zuiveringsrendement en het gedrag van zwevende stof. Bij een hydraulische verblijftijd van 1,5 uur werd er een stabiel proces verkregen. Tevens trad bij een belasting van ca. 10 kg CZV/m<sup>3</sup>/dag en een biomassaconcentratie van 10 à 30 kg/m<sup>3</sup> een goede verwijdering van opgelost en colloïdaal CZV (70%) op. De stikstofverwijdering was uitzonderlijk hoog; de N-Kj- gehalte in het effluent was doorgaans lager dan 4 mg/l.

Naast goede zuiveringsrendementen zijn er aanwijzingen dat de slibproductie aanmerkelijk lager is dan doorgaans in conventionele systemen het geval is. Op grond van deze resultaten mag een voortzetting in een semi-praktijk reactor van enkele duizenden i.e.'s worden verwacht. Alvorens hiertoe over te gaan zal in de aanvullende fase 3 een verklaring gegeven moeten worden op vragen met betrekking tot het plotseling loslaten van de biofilm van de drager en de langzame aangroei hierna. Met de opschaling zou in 1990 een begin kunnen worden gemaakt.

## Project 3.2.2.8 SLIB OP POREUZE DRAGERS

### *inhoud en opzet*

Poreuze dragermaterialen (poly-urethaan sponsjes) worden in de waterzuivering gebruikt om het slibgehalte in het aerobe deel van de zuiveringsinstallatie te verhogen. Hierdoor kunnen, bij gelijkblijvende zuiveringsprestaties, hogere volumebelastingen toegepast worden. Daarnaast zullen langzaam groeiende micro-organismen zich via hechting kunnen handhaven, onafhankelijk van de slibleeftijd en de hydraulische belasting. Dit onderzoek is aanvankelijk opgezet om na te gaan in hoeverre de toepassing van poreuze dragers zou leiden tot meer stabiele zuiveringsprocessen, met name daar waar het gaat om sterk overbelaste systemen.

### *uitvoering*

Maatschappelijke Technologie-TNO, begeleid door ir. C. van Beersum (voorzitter DBW/RIZA), ir. C.H. van Haastrecht (NOVEM), ir. P.C. Stamperius (STORA), prof. dr. A.H. Stouthamer (VU-Amsterdam), ir. A.J. van der Vlugt (VROM), ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

### *voortgang*

In dit onderzoek is aandacht besteed aan de toepassingsmogelijkheden van het Linpor-proces. Hierbij worden kubusvormige sponsjes (grootte ca. 2,5 cm<sup>3</sup>, porositeit 97 %) van polyurethaanschuim als drager toegepast, in de beluchtingsruimte of in een aparte tank voor nitrificatie van effluent.

Er werden experimenten uitgevoerd op 600 l en op 18 m<sup>3</sup> schaal. De installaties waren voor maximaal 20 vol.% gevuld met sponsjes en gevoed met stedelijk afvalwater. In de actief-slibsystemen werd de hydraulische verblijftijd gevarieerd van 4,8 tot 8 uur, in de nazuivering van 0,7 tot 1,8 uur.

Het droge-stofgehalte in de sponsjes nam in eerste instantie vrij snel toe tot 10 à 15 kg d.s./m<sup>3</sup> spons, vervolgens steeg dit geleidelijk verder tot 25 à 30 kg d.s./m<sup>3</sup> spons. Gebleken is dat toepassing van sponsjes de processtabiliteit sterk vergroot. Daarnaast kunnen als voordelen worden genoemd: een enigszins verbeterde CZV-verwijdering, een lagere slibvolume index en een duidelijk betere nitrificatie met name bij lagere temperaturen. Een lagere slibproductie was daarentegen niet merkbaar.

De verwachting is dat het Linpor-proces in specifieke omstandigheden voor de toekomst perspectieven biedt, met name bij overbelaste actief-slib systemen, maar de hoge kosten (ca. 300 DM/m<sup>3</sup> aeratietank) zullen een toepassing op uitgebreide schaal negatief beïnvloeden. Het eindrapport is begin 1990 gereed.

Project 3.2.3.4/1      NUTRIENTENVERWIJDERING OP RWZI's (HEW & US)

*inhoud en opzet*

Het onderzoek heeft eenzelfde opzet als project 3.2.2.5/2, met dien verstande dat bij de verwerking van de geconcentreerde P-deelstroom magnetische separatie wordt toegepast. De uitvoering van dit praktijkonderzoek vindt plaats op een tweetal rioolwaterzuiveringsinstallaties van het zeer laag belaste, volledig gemengde type (r.w.z.i. Bergambacht en Oosthuizen). Als randvoorwaarde wordt vergaande stikstofverwijdering, conform de te verwachten lozingsnormen in dit project meegenomen.

*uitvoering*

Grontmij N.V. in samenwerking met zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden en Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen.

*voortgang*

Het onderzoek zal in december 1989 starten.

Project 3.2.3.4/4      SIMULTANE HETEROTROFE NITRIFICATIE EN  
AEROBE DENITRIFICATIE

*inhoud en opzet*

Enkele jaren geleden is ontdekt dat sommige bacteriën (o.a. *Thiosphaera panthotropha*) simultaan organisch koolstof en ammoniak oxideren, en nitraat en nitriet reduceren. Dit biedt de mogelijkheid om, met dergelijke micro organismen, ammoniak in één (aerobe) processtap te elimineren. Het kan een mogelijk alternatief zijn voor de conventionele stikstofeliminatie; autotrofe aerobe nitrificatie en anaerobe denitrificatie.

Het doel van het project is om d.m.v. toepassingsgericht basisonderzoek te komen tot de ontwikkeling van een één-staps, aeroob, biotechnologisch proces voor de omzetting (tot  $N_2$ ) van gereduceerde stikstofverbindingen uit rioolwater. Aansluitend aan dit onderzoek, zal in samenwerking met de waterkwaliteitsbeheerders onderzocht worden of, en in welke mate, aerobe denitrificatie en/of heterotrofe nitrificatie reeds optreedt in bestaande r.w.z.i.'s.

*uitvoering*

Vakgroep Bioprocestechnologie van TU-Delft

*voortgang*

Het onderzoek zal medio 1990 starten en 4 jaar duren.

## Project 3.2.4.2. ANALYSE VAN BEDRIJFSGEGEVENS VAN RWZI'S

### *inhoud en opzet*

Door de waterkwaliteitsbeheerders worden grote hoeveelheden bedrijfsgegevens van rwzi's verzameld aan de hand van het Nationaal Standaard Programma (NSP). Deze gegevens karakteriseren de belasting, de samenstelling van in- en effluent, energieverbruik, slibproductie en bedrijfsvoering.

Naast het CBS wordt op deze databank evenwel slechts incidenteel een beroep gedaan.

Doel van het onderzoek is het vergroten van het inzicht in de werking van rwzi's door bewerking van de bedrijfsgegevens. Dit om te onderzoeken of deze qua bedrijfsvoering en ontwerp verder te optimaliseren zijn. Tevens zouden hieruit veelbelovende nieuwe richtingen voor vernieuwend onderzoek kunnen worden afgeleid.

### *uitvoering*

DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. te Amersfoort, begeleid door ir. P.J.M. Knaapen (Hoogheemraadschap van Rijnland, voorzitter), ir. A.H. Dirkwager (DBW/RIZA), ir. P. de Jong (Witteveen en Bos), ir. P. Schlösser (Waterschap Zuiveringsschap Limburg) en ir. P.C. Stamperius (STORA).

### *voortgang*

Veel aandacht werd besteed aan toegankelijk maken, aanvullen op opbouwen van gegevensbestanden voor periodieke analyse van bedrijfsresultaten. Dit onderzoek zal naar verwachting begin 1990 worden afgesloten.

Project 3.2.4.4./1      FUNDAMENTEEL ONDERZOEK VERMINDERING  
SLIBPRODUKTIE/RU-GRONINGEN

*inhoud en opzet*

Het fundamentele onderzoek richt zich nadrukkelijk op slibvorming en slibeigenschappen. Getracht wordt meer inzicht te verkrijgen in wat zich op het niveau van micro-organismen in slibvlokken afspeelt. Tevens zullen high-performance bioreactor systemen ontwikkeld worden met de volgende eigenschappen:

- Verhoogde afbraaksnelheid per reactorvolume;
- Verhoging van substraatverbranding versus substraatverbruik ten behoeve van celgroei (minder slibvorming);
- Verbreding van substraatrange, zodat (nog) meer verbindingen gereinigd kunnen worden.

*uitvoering*

Vakgroep Biochemie RU-Groningen, begeleid door ir. C. Kerstens (voorzitter, Provincie Groningen), ir. C. van Beersum (DBW/RIZA), drs. N. Boots (STW), ir. L. Borghans (Gist-Brocades), dr. P. Bos (TU-Delft), ir. E. Eggers (DHV), ir. D. Eikelboom (TNO-MT), ir. B.A. Heide (TNO), ir. P.C. Stamperius (STO-RA), alsmede de uitvoerders van de projecten 3.2.4.4/2 , prof. dr. A.H. Stouthamer (VU) en prof.dr.ir. S.A.L.M. Kooyman (VU) en 3.2.4.4/3 prof.dr.ir. J.J. Heynen (TU-Delft)

*voortgang*

Het onderzoek is in maart 1989 gestart met een ca. 6 maanden durende haalbaarheidsstudie.

Toepassing van membraanfilters in "high performance" bioreactoren biedt in beginsel de mogelijkheid om met hogere biomassa concentraties in de reactor te werken. In de biotechnologische industrie zijn deze reactoren al geruime tijd in gebruik, bij rioolwaterzuivering nog niet. Om deze reden zal allereerst bepaald moeten worden of er een geschikt membraansysteem bij rioolwaterzuivering voor handen is en zo ja, welke de voorkeur verdient.

Punten voor onderzoek hierbij zijn:

- optimalisatie membraanfilters, energieverbruik, flux en reductie van vervuiling;
- karakteristieken zuiveringsslib, kinetische parameters;
- zuiveringskarakteristieken (zuiveringsrendement, slibgehalten, slibproductie, slib- en volumebelasting).

Het voornemen is om op basis van deze resultaten na circa 6 maanden te gaan experimenteren met afvalwater.

Project 3.2.4.4/2      VERMINDERING SLIBPRODUKTIE/VU-AMSTER-  
DAM

*inhoud en opzet*

Het fundamentele onderzoek richt zich volledig op de omstandigheden die leiden tot lagere slibgroei in slib-op-dragersystemen.

Langs een tweetal lijnen (de fysiologische en de oecologische) zal nagegaan worden in hoeverre een verminderde slibopbrengst verkregen kan worden bij behoud van een hoge zuiveringscapaciteit en een hoog rendement.

De fysiologische aanpak: Door veranderingen in de procesvoering komen tot slib (cq. soorten micro-organismen) met andere eigenschappen (met name: hogere energetische kosten voor groei en onderhoud), waardoor de produktie hiervan vermindert.

De oecologische aanpak: Door het introduceren van slibetende organismen energie (en dus biomassa) in de vorm van CO<sub>2</sub> kwijt te raken door gebruik te maken van het energieverlies dat optreedt in de voedselketens.

*Uitvoering*

Vakgroepen Microbiële Fysiologie en Theoretische Biologie van de VU-Amsterdam, begeleid door dezelfde commissie als voor 3.2.4.4/1, alsmede de uitvoerders van de projecten 3.2.4.4/1 en 3.2.4.4/3, prof. dr. B. Witholt en prof. dr. ir. J.J. Heynen.

*voortgang*

Het microbiële fysiologisch deelonderzoek is gestart in november 1988. In dit deelonderzoek zal getracht worden een zuiveringssysteem met bijbehorende bedrijfsvoering zodanig te ontwerpen, dat enerzijds de bacteriën geselecteerd worden op soorten, die veel energie nodig hebben om hun biomassa te vermeerderen, dan wel veel onderhoudsenergie nodig hebben. In de huidige zuiveringssystemen wordt onbedoeld geselecteerd op bacteriën met tegengestelde eigenschappen. Anderzijds dient aan een zuiveringssysteem zodanige procescondities te worden verbonden dat de aanwezige bacteriën, ongeacht de soort, weinig groeien en de energie, die uit het substraat wordt vrijgemaakt, voornamelijk te besteden voor onderhoud.

Bij de oecologische aanpak wordt getracht de gevormde biomassa te laten consumeren door organismen als ciliaten, rotiferen en oligochaeten op een manier die de substraatafbraak niet beïnvloedt. Bij deze omvorming van bacterie-biomassa naar andere biomassa gaat energie en dus biomassa verloren en treedt verbetering van de resterende slibkwaliteit op in termen van bezinkbaarheid. Dit deelonderzoek is in januari 1989 gestart. Naast literatuurstudie is begonnen met het kweken van de betrokken organismen. Deze dienen als uitgangsmateriaal voor experimenten waarin via groeikrommes energie parameters worden bepaald. In de groeiexperimenten, waarin de a-sexuele reproductie-

tijd van de wormen wordt bepaald, wordt gewerkt met substraat van verschillende herkomst (r.w.z.i, eigen kweek) en verschillende vloggrootte (doorzeven).



## Project 3.2.4.4/3      AEROOB-OP-DRAGER/BIOLAAGVORMING

### *inhoud en opzet*

Het onderzoek richt zich nadrukkelijk op de air-lift reactor. Het uitgangspunt hierbij is dat deze reactor bij uitstek geschikt is voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. Hierbij staat de ontwikkeling van een gestructureerd kinetisch model voor de beschrijving van de biolaagvorming centraal. In de praktijk kan dit model gebruikt worden bij de beheersing van de biolaagdikte, de biolaagsamenstelling en de slibproductie. Tevens zal het naar verwachting inzicht geven in de rol van de gesuspendeerde biomassa.

Het onderzoek bestaat uit twee deelprojecten. Het eerste deelproject onderzoekt met name het verschil in fysiologie, enzymactiviteit, slibopbrengst en "maintenance factor" van de micro-organismen. In het tweede deelproject wordt de modelstructuur voor de dynamica van de biolaagvorming vastgesteld.

De resultaten van het onderzoek zullen worden getoetst aan de gegevens die beschikbaar zijn uit het air-lift reactor onderzoek van Gist Brocades en het air-lift reactor onderzoek van TNO (project 3.2.2.7).

### *uitvoering*

Vakgroep Biotechnologie van de TU-Delft met ondersteuning van MT-TNO, begeleid door dezelfde commissie als voor project 3.2.4.4/1 uitgebreid met de uitvoerders van de projecten 3.2.4.4/1 en 3.2.4.4/2, prof. dr. B. Witholt (RU-Groningen), prof. dr. ir. S.A.L.M. Kooijman en prof. dr. A.H. Stouthamer.

### *voortgang*

Het onderzoek zal in januari 1990 starten.

Project 3.2.4.5/1      SLIBGEHALTE IN BELUCHTINGSYSTEMEN (METING EN REGELING)

*inhoud en opzet*

Een goede beheersing van het droge stofgehalte in beluchtingsystemen is noodzakelijk voor een goede procesvoering. Bij een te hoog droge stofgehalte stijgt de kans op slibuitspoeling, verslechtert de effluentkwaliteit en neemt het energieverbruik toe; te laag droge stofgehalte leidt tot onvoldoende zuiveringsresultaat (met name bij de nitrificatie) en onvoldoende gestabiliseerd slib (bij oxydatiesloten). Automatische meting en regeling van het droge stofgehalte, gekoppeld aan slibspui, leidt tot een stabielere procesgang, groter bedieningsgemak en besparing op energie, bedienings- en analysekosten. In dit project worden de mogelijkheden geïnventariseerd voor automatische besturing voor het droge stofgehalte in beluchtingsystemen.

*uitvoering*

Adviesbureau BKH B.V., begeleid door ir. W.G. Werumeus Buning (voorzitter, Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), ing. H. Geurking (Waterschap Regge en Dinkel), ir. H. Hartong (DHV), ing. J.J. Jonk (Hoogheemraadschap West Brabant), ir. P.C. Stamperius (STORA), M.M.B. van Uden (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen).

*voortgang*

In de eerste fase van het onderzoek zijn de mogelijkheden voor automatische meting van het slibgehalte geëvalueerd. Tevens is nagegaan in welke mate het slibgehalte in de beluchtingtanks fluctueert en wat hiervan de gevolgen zijn.

De belangrijkste conclusies zijn:

- In de slibconcentratie in de beluchtingtanks kunnen niet voorspelbare fluctuaties optreden in de orde van 0,5 g/l. Regeling op basis van steekmonsters kan slibuitspoeling en lagere nitrificatie veroorzaken.
- Een reproduceerbare en betrouwbare continue slibconcentratiemeting is mogelijk met optische slibconcentratiemeters.
- Continue meting van de slibconcentratie maakt automatische regeling van het actief-slibproces mogelijk. Hierbij kan worden geregeld op een constant slibgehalte, een constante slibbelasting of een constante slibleeftijd.
- Automatische regeling van de slibspui op basis van een constant slibgehalte in de beluchtingtank biedt de beste perspectieven. Deze vorm van regeling sluit het beste aan op de huidige praktijk van regeling, heeft de meest eenvoudige uitvoering.

Toepassingsmogelijkheden voor automatische regeling zijn te verwachten voor:

- Kleine actief-slibinstallaties met discontinue bemanning, waardoor minder

- frequent bezoek en een betere bewaking mogelijk wordt.
- Laagbelaste actief-slibinstallaties, waarbij een betere procesbeheersing mogelijk wordt met betrekking tot slibuitspoeling en nitrificatie.
  - Hoogbelaste actief-slibinstallaties, die vanwege de korte slibleeftijd een frequente bepaling van het slibgehalte behoeven.

De praktijkervaring met automatische regeling van het slibgehalte is zowel in Nederland als daarbuiten nog beperkt. In fase 2 zal in een praktijkonderzoek op de rioolwaterzuiveringsinstallatie Nijmegen naar de randvoorwaarden en gevoeligheden van een automatische slibgehalteregeling worden gekeken. Afronding van het project is eind 1989 te verwachten.

Project 3.2.4.5/2      ONTWIKKELING VAN EEN SLIBGEHALTE-METER  
(TNO)

*inhoud en opzet*

Bij de besturing van rioolwaterzuiveringsinstallaties bestaat meer en meer de behoefte aan een niet vervuilingsgevoelige sensor voor het meten van het gehalte aan actief slib.

Bij MT-TNO is een optische sensor voor het meten van hoge gistconcentraties in fermentoren ontwikkeld. Deze sensor is gebaseerd op het principe van terugwaartse lichtverstrooiing, met als bijzonder kenmerk dat er gebruik wordt gemaakt van een luchtlaag als optisch venster. Hierdoor is de sensor in staat om onder de meest vervuilende omstandigheden te meten, zonder zelf te vervuilen.

In dit project zal de toelaatbaarheid van deze sensor voor het meten van het slibgehalte in beluchtingssystemen van r.w.z.i.-'s worden nagegaan. Bij goede toekomstperspectieven zal de sensor verder worden ontwikkeld en een prototype worden geconstrueerd.

*uitvoering*

Maatschappelijke Technologie TNO, begeleid door ir. C. van Beersum (voorzitter, DBW/RIZA), ir. H.L. Dorussen (BKH), ir. S.G. van der Kooij (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), alsmede de uitvoerder van het project 3.2.4.5/3.

*voortgang*

Het onderzoek zal starten in december 1989

Project 3.2.4.5/3      ONTWIKKELING VAN EEN SLIBGEHALTE-METER  
(WL)

*inhoud en opzet*

De achtergrond van dit project is gelijk aan het project 3.2.4.5/2 van TNO. Bij het WL zijn in het verleden zowel optische als akoustische slibmeetmethoden ontwikkeld voor de bepaling van o.a. slibgehalten in onderwaterbodems. Met deze expertise en voortbouwend op het project 3.2.45/1 van BKH zullen de tekortkomingen van de momenteel op de markt zijnde meetsystemen geïnventariseerd worden. Daarnaast zal de praktische toepasbaarheid van een aantal recent ontwikkelde nieuwe optische en akoustische meetprincipes geëvalueerd worden. Op basis van deze inventarisatie en evaluatie zal de richting van vervolgonderzoek bepaald worden; aanpassen of verbeteren van de huidige meetinstrumenten of het gaan ontwikkelen van een nieuwe specifieke slibgehaltemeter voor toepassing in beluchtingssystemen van een r.w.z.i.

*uitvoering*

Waterloopkundig Laboratorium, begeleid door ir. C. van Beersum (voorzitter, DBW/RIZA), ir. H.L. Dorussen (BKH), ir. S.G. van der Kooij (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), alsmede de uitvoerder van het project 3.2.4.5/2.

*voortgang*

Het onderzoek zal starten in december 1989

## Project 3.3.1.2 THERMOFIELE SLIBGISTING

### *inhoud en opzet*

De anaërobe slibgisting beoogt de hygiënische kwaliteit te verbeteren, de voor stank verantwoordelijke stoffen af te breken, de hoeveelheid organische stoffen te verminderen en de ontwaterbaarheid te verbeteren. In dit onderzoeksproject wordt getracht om door middel van vergelijkend semi-technisch onderzoek kennis te verkrijgen omtrent de voor- en nadelen van mesofiele en thermofiele slibgisting.

In de eerste fase van het onderzoek zijn de aandachtspunten:

- vergistingsnelheid;
- produktie van methaangas en afbraakpercentage organische stof;
- reductie van pathogene micro-organismen;
- stabiliteit, ontwaterbaarheid en verwerkbaarheid van uitgelist slib.

In de tweede fase wordt aandacht besteed aan de processtabiliteit. Dit geldt met name voor de procesgevoeligheid ten opzicht van toxische stoffen en temperatuurfluctuaties.

### *uitvoering*

DBW/RIZA en LU-Wageningen

### *voortgang*

De resultaten van de eerste fase zijn niet eenduidig. Desondanks lijkt het erop dat thermofiele vergisting van zuiveringslib mogelijk is in 8 - 10 dagen. De referentie-reactor, een mesofiele vergister, bleek een goede vergisting te geven bij circa 12 dagen. Deze gegevens betekenen dat de mesofiele gisting nog verder zou kunnen worden geoptimaliseerd. Hierdoor zijn de verschillen in noodzakelijke gistingstijd tussen mesofiel en thermofiel veel geringer dan altijd is aangenomen.

### Project 3.3.1.3 VERGISTEN VAN VERGAAND AEROOB GESTABILISEERD SLIB

#### *inhoud en opzet*

Bij de systeemkeuzestudie voor de uitbreiding van de r.w.z.i. Beemster (oxydatiesloot) beleeft een laag belast actief slibstelsel (slibbelasting 0,10 kg BZV/(kg ds.d) met vergisting van het secundaire slib zonder voorbezinking financieel de meest aantrekkelijke optie. Aangezien slechts een zeer beperkte ervaring met het vergisten van secundair spuislib bekend was, is een literatuurstudie en semipraktijkonderzoek op de r.w.z.i. Beemster verricht. De resultaten van het gedane onderzoek worden in dit project op een rijtje gezet.

#### *uitvoering*

DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, begeleid door ir. S.B. Gaastra (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen), ir. P.C. Stamperius (STORA), ing. P.J.C. Kuiper en ir. W. van Starckenburg (DBW/RIZA).

#### *voortgang*

De rapportage zal in december 1989 gereed komen.

## Project 3.3.1.4 HYDROLYSE IN COMBINATIE MET VERGISTING

### *inhoud en opzet*

Met de thermofiele of mesofiele anaerobe vergisting is het mogelijk de hoeveelheid organische stof in zuiveringslib te reduceren. Van een volledige afbraak is geen sprake, aangezien doorgaans 20-50 % van het organisch materiaal niet wordt afgebroken. Verdere reductie zou mogelijk zijn door het slib van te voren te hydrolyseren met als doel een grotere hoeveelheid organische stof toegankelijk te maken voor anaerobe omzetting.

In het verleden is gekeken naar hydrolyse met behulp van NaOH-dosering (pH 12) en bij een temperatuur boven 100° C. Nadelen van dit proces zijn de hoge zoutconcentraties in het effluent en de kosten van de benodigde hoeveelheden chemicaliën.

In een verkennend onderzoek wordt getracht dit bezwaar te ondervangen door de toepassing hydrolyse van het zuiveringslib met ammoniak te laten plaatsvinden, gevolgd door terugwinning van ammoniak en anaerobe vergisting van het hydrolysaat.

### uitvoering

Maatschappelijke Technologie TNO, begeleid door ir. K.F. de Korte (voorzitter, Gemeente Amsterdam), ir. H.L. Dorussen (BKH), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. P.J. Tessel, ing. R. van Dalen (Zuiveringsschap Veluwe), ing. G.B.J. Rijs en ir. W. van Starckenburg (DBW/RIZA), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

### *voortgang*

Het verkennend onderzoek naar de hydrolyse van ammoniak, gevolgd door terugwinning van ammoniak en anaerobe vergisting van het hydrolysaat, is onder te verdelen in een aantal berekeningen voor het vaststellen van de randvoorwaarden en een oriënterend experimenteel onderzoek. Op basis van een theoretische evaluatie van de technische haalbaarheid van de hydrolyse met ammoniak en een globale kosten-batenanalyse is het aantal te onderzoeken variabelen voor het experimentele gedeelte ingeperkt. Uit de theoretische evaluatie blijkt dat de hydrolyse van zuiveringslib met ammoniak bij voorkeur moet worden uitgevoerd met een mengsel van 20 % ammoniak en 80 % slib, bij een temperatuur van 100° C, pH 10 en een druk van 7 bar. Daarnaast is ook de hydrolyse met natronloog ( 100° C, pH 12, 7 bar) onderzocht om een vergelijking met eerder beschreven onderzoek (Pasveer, Brons) mogelijk te maken.

Uit het laboratoriumonderzoek blijkt dat:

- de concentratie van opgelost materiaal ( $< 0,45 \mu\text{m}$ ) niet verder toeneemt dan tot 40-45 % van het totale CZV, ook niet na 24 uur verhitting;



- de concentratie van opgelost en fijn-colloïdaal materiaal tezamen ( $< 1,2 \mu\text{m}$ ) na circa 3-4 uur toeneemt tot 55-65 % van het totale CZV;
- de methaanproductie bij anaerobe vergisting niet noemenswaardig toeneemt.

Uit het verkennend onderzoek kan worden geconcludeerd dat hydrolyse van zuiveringslib met ammoniak en natronloog geen toekomstperspectieven biedt. De onderzoeksresultaten staan beschreven in het eindrapport "Hydrolyse van zuiveringslib in combinatie met anaerobe vergisting" (RWZI 2000 89-05).

### Project 3.3.1.5 HET SSP-SLIBVERWERKINGSSYSTEEM

#### *inhoud en opzet*

Het SSP (sustained shockwave plasma) slibverwerkingssysteem zou als voordeel ten opzichte van conventionele slibverbranding hebben een geringere emissie van verontreinigingen en een her te gebruiken restprodukt. De SSP-reaktor bestaat uit een tweetal zones. Het vergaand gedroogde zuiveringslib (tot ca. 90 % d.s.) passeert allereerst de plasmazone. Hierin wordt het slib bij een temperatuur van 25.000 °C en een verblijftijd van 20 milliseconden chemisch gereduceerd en voorbereid. In de tweede zone, de oxidatiezone vindt onder toevoeging van zuurstof verbranding van het slib plaats. De temperatuur bedraagt 815 - 925 °C, de verblijftijd ca. 1.000 milliseconden. De kosten zijn voor zover is na te gaan vergelijkbaar met conventionele slibverbranding. Het project zal bestaan uit een evaluatie van de verwerkingsgegevens in USA en pilotplant onderzoek in Nederland.

#### *uitvoering*

Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden

#### *voortgang*

Het onderzoek zal medio 1990 starten en circa 3 maanden duren.

## Project 3.3.2.1 FUNDAMENTEEL ONDERZOEK SLIBEIGENSCHAPPEN EN SLIBONTWATERING

### *inhoud en opzet*

Verhoging van het droge stofgehalte van zuiveringsslib vermindert de hoeveelheid slib die moet worden gestort, verbrand of in de landbouw afgezet. Deze hoeveelheid kan worden beperkt door vermindering van de slibproductie en door verbetering van de slibontwatering.

Het eerste is het doel van de projecten 3.2.4.4/1, 3.2.4.4/2 en 3.2.4.4/3, het tweede onderwerp van dit onderzoek.

Zonder fundamenteel onderzoek naar de slib/waterbinding is substantiële verhoging van het droge stofgehalte echter niet mogelijk. Om dit te kunnen definiëren is (als fase 1) een voorstudie naar de "state of the art" van de slibontwatering uitgevoerd.

Fase 2 zal uiteindelijk moeten leiden tot zoveel meer kennis en inzicht van het ontwateringsproces van gegeven slibben, dat technieken kunnen worden ontwikkeld of verder geoptimaliseerd, die een aanzienlijke verhoging van droge stof-gehalten in slib en reductie van het volume/massa kunnen bewerkstelligen.

### *uitvoering*

#### fase 1

TU-Delft en TU-Eindhoven, begeleid door ir. H.A. Meijer (voorzitter, Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), ir. R.E.M. van Oers (Hoogheemraadschap West-Brabant), ir. F.W.A.M. Rijnart (Witteveen en Bos), ing. G.B.J. Rijs (DBW/RIZA), dr. ir. W.H. Rulkens (LUW) en ir. P.C. Stamperius (STORA).

#### fase 2

TU-Eindhoven, begeleid door dezelfde bovenstaande commissie.

### *voortgang*

De eindrapportage "slibontwatering; een voorstudie" (RWZI 2000 89-01) geeft een overzicht van reeds uitgevoerd onderzoek naar de slibontwatering en slib/waterscheiding en draagt suggesties aan voor mogelijke onderzoeksvelden voor fundamenteel onderzoek. Aandacht wordt geschonken aan samenstelling en eigenschappen van slib, karakteriseringsmethoden voor slib, bestaande ontwateringsmethoden en nieuwe ontwateringsprincipes. Het onderzoek heeft geresulteerd in een onderzoeksvorstel voor fase 2.

Fase 2 start in het eerste kwartaal van 1990 en is onder te verdelen in een tweetal deelonderzoeken:

- slibkarakterisering

Hierbij gaat het om het vaststellen van slibeigenschappen, die wezenlijk

geacht worden voor een goed begrip van het ontwateringsproces, zoals samenstelling van slib, colloïd-chemische grootheden, kenmerken van vaste stofdeeltjes, slib/waterbinding en de tijdsafhankelijkheid van voor genoemde eigenschappen.

- Vast/vloeistofscheiding bij zuiveringsslibben.

Dit deelonderzoek richt zich op het ontwikkelen en experimenteel verifiëren van fysisch/mathematische modellen voor filtratieprocessen, waarbij ten gevolge van deformeerbare deeltjes sterk comprimeerbare filterkoeken worden gevormd.

### project 3.3.2.3. HOGE-GRADIENT MAGNETISCHE SCHEIDING

#### *inhoud en opzet*

Met HGMS kunnen para- of ferromagnetische deeltjes selectief uit een vloeistof worden afgescheiden. Niet (para)magnetische deeltjes kunnen eveneens worden afgescheiden onder voorwaarde dat zij allereerst geënt worden met magnetisch materiaal, zoals magnetiet, ijzerhydroxide en ijzerzouten. Wellicht is het ook mogelijk om met HGMS selectief stoffen uit huishoudelijk afvalwater te verwijderen.

Doel van het onderzoek is vast te stellen of selectieve afscheiding van zware metalen mogelijk is met behulp van een magneetsysteem. Achterliggende gedachte is de zware metalen in het ruwe rioolwater te concentreren in een beperkt volume met als gevolg een kwaliteitsverbetering van de grootste hoeveelheid slib.

#### *uitvoering*

Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO (Apeldoorn) en Smit Magnetische Waterzuiveringssystemen, begeleid door ir. K.F. de Korte (voorzitter, Gemeente Amsterdam), ir. H.L. Dorussen (BKH), ir. W. van Starckenburg, ing. G.B.J. Rijs (D.B.W./RIZA), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. P.J. Tessel, ing. R. van Dalen (Zuiveringsschap Veluwe), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

#### *voortgang*

Allereerst is onderzocht of magnetisch afscheidbare deeltjes in het rioolwater aanwezig zijn. Verder is gekeken op laboratoriumschaal naar het type magneet, dosering en type flocculatie/coagulatie chemicaliën en ferromagnetisch materiaal van magnetische afscheiding. Het accent lag op de mate van selectiviteit van de afscheiding, zoals selectieve uitvloeking en vervolgens selectieve binding aan magnetiet, het magnetisch entmateriaal.

Uit de experimenten zijn geen aanwijzingen gevonden dat zich in het rioolwater als zodanig magnetisch afscheidbare deeltjes bevinden.

Verder kan geconcludeerd worden dat door toevoeging van magnetiet in combinatie met dosering van poly-elektrolyt, ijzerchloride en/of kalk een beperkte selectieve magnetische verwijdering van de deeltjes die in het water aanwezig zijn, kan worden gerealiseerd.

Deze selectiviteit van de voorbehandeling was sterk afhankelijk van de samenstelling van het behandelde afvalwater.

Vanwege de te geringe selectiviteit in afscheiding van zware metalen en de grote gevoeligheid van de voorbehandeling voor de samenstelling van het rioolwater mag verwacht worden, dat deze zuiveringsmethode geen perspectief zal bieden voor het bereiken van het gestelde doel, d.i. het continueren van de

slibafzet naar de landbouw. Een bijkomend aspect is dat door de aanwezigheid van nog andere micro-verontreinigingen (organisch) dan zware metalen in relatie tot de scherper wordende milieu-eisen voor hergebruik in de landbouw, de afzetmogelijkheden van het slib alsnog belemmerd zullen worden. Het onderzoek is met de eindrapportage "Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van een magneetsysteem" (RWZI 2000 89-03) afgerond.

### Project 3.3.3.1 VERTECH NATTE LUCHT OXYDATIE

#### *inhoud en opzet*

Het Vertech natte-luchtoxydatieproces berust op natte oxydatie, d.i. oxydatie van organische componenten - tot hoofdzakelijk kooldioxide en water - in de waterfase met behulp van zuurstof. Voor natte oxydatie van slib is een temperatuur van minimaal 175 °C vereist en zeer hoge druk om te sterke verdamping van water te voorkomen. Bij het Vertech-systeem vindt de natte oxydatie plaats in een verticaal de grond ingeboorde pijpreactor (diepte ca. 1200 m). Onderin deze pijp wordt de benodigde druk bereikt door het gewicht van het bovenstaande gas/vloeistofmengsel. De temperatuur bereikt ten gevolge van de vrijkomende reactorwarmte een waarde van 260-300 °C. Door de toevoer en afvoer van de pijpreactor uit te voeren via een systeem van twee concentrische buizen, is beheersing van de temperatuur en efficiënte terugwinning van de reactiewarmte mogelijk. In deze technisch-economische evaluatie is aandacht besteed aan het principe en de uitvoering van het Vertech-proces, de status van het proces voor het drogen van zuiveringsslib, de energieaspecten, de milieuaspekten, de inpassing van het proces in een bestaande r.w.z.i. en de verwerkingskosten met bijbehorende gevoeligheidsanalyse.

#### *uitvoering*

Maatschappelijke Technologie TNO, begeleid door ir. K.F. de Korte (voorzitter, Gemeente Amsterdam), ir. H.L. Dorussen (BKH), ing. G.B.J. Rijs, ir. W. van Starckenburg (DBW/RIZA), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. P.J. Tessel en ing. R. van Dalen (Zuiveringsschap Veluwe), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

#### *voortgang*

De technisch-economische evaluatie is uitgevoerd met uitgangspunten die voor Nederland het meest waarschijnlijk zijn, namelijk: De Vertech-installatie is geplaatst op een bestaande r.w.z.i. van 200.000 i.e., de hoeveelheid zuiveringsslib (5 % d.s.) komt overeen met de slibproductie van 500.000 i.e. en er wordt 5 dagen (24 uur/dag) per week verwerkt. De droge stof (as) die na de oxydatie resteert, wordt mechanisch ontwaterd en gestort.

De belangrijkste conclusies uit de concept-eindrapportage zijn:

- Het Vertech-proces is een gecompliceerd proces. De praktijkervaring met het proces is zeer beperkt. Vertech ondervangt de beperkte ervaring door de slibverwerking in eigen beheer uit te voeren tegen gegarandeerde prijzen en met garanties voor een alternatieve verwerkingsroute.
- Vertech verwacht bij de natte oxydatie van vergist zuiveringsslib een CZV-reductie van 70 - 75 % en 90 % afbraak van organisch gesuspendeerd materiaal. De hoeveelheid te storten materiaal wordt met ruim 35 %

gereduceerd op volume- en gewichtsbasis.

- Het decantaat (asvrije effluent) uit de Vertech-installatie dient voorgezuiverd te worden alvorens het wordt afgevoerd naar de r.w.z.i. Bij een verwerkingscapaciteit van 500.000 i.e. en de bouw van de reactor bij een rwzi met een zuiveringscapaciteit van 200.000 i.e. zou door deze ongezuiverde lozing de CZV-belasting met 20 % toenemen en de N-Kj belasting zelfs met 45 %.
- De jaarkosten voor de natte oxydatie van zuiveringsslib met behulp van het Vertech-systeem bij een capaciteit van 8200 ton droge stof per jaar zijn f 910,00 per ton droge stof. De investeringskosten maken een groot deel uit van de jaarkosten, zodat vergroting van de verwerkingscapaciteit een gunstige invloed heeft op de kosten. Bij een capaciteit van 30.000 ton droge stof per jaar (1800.000 i.e.) nemen de jaarkosten af tot f 505,00 per ton droge stof. Variatie in bedrijfstijd, begin droge stofgehalte en prijs van vloeibare zuurstof hebben een kleinere invloed op de verwerkingskosten.
- De milieuaspekten en de inpassing van het Vertech-systeem in een bestaande r.w.z.i. zullen naar verwachting niet voor onoverkomelijke problemen zorgen. Meer informatie hierover kan worden verkregen uit de MER-rapportage voor de geplande Vertech-installatie in Apeldoorn.



### Project 3.3.4.1 CARVER GREENFIELD DROOGPROCES

#### *inhoud en opzet*

Het Carver-Greenfield droogproces berust op het principe van meertraps vacuüm indamping. Gebruik wordt gemaakt van een hoogkokende, niet in water oplosbare dragervloeistof (meestal olie), die aan het te drogen slib wordt toegevoegd. De slibmassa blijft hierdoor tijdens het indampen vloeibaar. Nadat het water is verdampt, wordt de dragervloeistof van het gedroogde slib gescheiden, waarna deze dragervloeistof opnieuw wordt gebruikt.

Van het Carver-Greenfieldproces is zowel een lichte- als een zware olie variant bekend. De keuze wordt bepaald door de afzetmogelijkheden van het gedroogde slib. In deze technisch-economische evaluatie heeft het accent gelegen op de lichte-olie variant. Aandacht is besteed aan het principe en de uitvoering van het Carver-Greenfieldproces, de status van het proces voor het drogen van zuiveringsslib, de energieaspecten, de milieuaspekten, de inpassing van het proces op een bestaande rioolwaterzuiveringsinstallatie en de verwerkingskosten met bijbehorende gevoeligheidsanalyse.

#### *uitvoering*

Maatschappelijke Technologie TNO, begeleid door ir. K.F. de Korte (voorzitter, Gemeente Amsterdam), ir. H.L. Dorussen (BKH), ing. G.B.J. Rijs en ir. W. van Starckenburg (DBW/RIZA), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. P.J. Tessel en ing. R. van Dalen (Zuiveringsschap Veluwe), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

#### *voortgang*

In de studie is de voor Nederland meest waarschijnlijke uitvoeringsvorm van het Carver-Greenfieldproces, de lichte-olie-variant, in beschouwing genomen. Bij de lichte-olie-variant bevat het gedroogde slib een gering percentage (< 1 %) van een biologisch goed afbreekbare olie. De vet- en oliehoudende bestanddelen (ca. 10 % van de droge stof) uit het te drogen slib worden als "slibolie" afgescheiden. Deze slibolie kan als energiebron worden gebruikt. Daarnaast zijn als uitgangspunten gekozen, dat de Carver- Greenfieldinstallatie op een bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting (r.w.z.i.) van 200.000 i.e. is geplaatst. Ontwaterd slib (20 % d.s.) afkomstig van 500.000 i.e. (ook van andere r.w.z.i.'s) wordt in 5 dagen (24 uur/dag) verwerkt. Het gedroogde slib (95 % d.s.) wordt gestort en het verontreinigde procescondensaat wordt teruggevoerd naar de r.w.z.i.

Uit de technisch-economische evaluatie van het Carver-Greenfieldproces kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het Carver-Greenfieldproces is een gecompliceerd proces. Voordelen boven een conventioneel slibdroogstelsel zijn een lager energieverbruik

en een kleinere afgasstroom. Hiertegenover staan hogere investeringskosten. Derhalve vraagt het proces om een vol-continue bedrijfsvoering en een grote verwerkingscapaciteit.

- De vrijkomende slibolie levert een belangrijke bijdrage aan de energievoorziening.  
Als het gehalte olie- en vetbestanddelen in slib hoog is (10 % of meer op droge stofbasis) dan is autotherme slibdroging mogelijk.
- De jaarkosten voor het drogen van voorontwaterd slib bij een capaciteit van 8200 ton droge stof per jaar zijn f 690,- per ton droge stof. Aangezien de investeringskosten hoog zijn, heeft vergroting van de verwerkingscapaciteit een grote invloed op de kosten. Bij een capaciteit van 30.000 ton droge stof per jaar (1800.000 i.e.) nemen de jaarkosten af tot 435,- per ton droge stof. Variatie in begin droge stofgehalte, bedrijfstijd en gebruik van stookolie in plaats van slibolie, hebben een kleinere invloed op de verwerkingskosten.
- Een Carver-Greenfieldinstallatie kan in principe goed worden ingepast in een bestaande r.w.z.i. van voldoende capaciteit. Het condensaat is niet sterk verontreinigd en kan zonder voorzuivering op de r.w.z.i. worden geloosd. Bij een verwerkingscapaciteit van ontwaterd slib van 500.000 i.e. en een zuiveringscapaciteit van een r.w.z.i. van 200.000 i.e. betekent dit een extra CZV en NKJ-vracht van respectievelijk 1 en 6 %.

In december 1989 zal het project worden afgerond met de eindrapportage.

## Project 3.3.5.1 ELECTROLYTISCHE BEHANDELING VAN ZUIVERINGS- SLIB

### *inhoud en opzet*

Electrolytische afscheiding van metalen uit waterrijke oplossingen is een bekend proces, dat in de industrie op grote schaal wordt toegepast. Door de oplossing wordt een gelijkstroom gevoerd waardoor de metaal-ionen worden gereduceerd en als metaal neerslaan. De achterliggende gedachte is dat de metaal-ionen uit de oplossing naar de elektrode oppervlak diffunderen met als gevolg een verlaging van de metaalconcentratie. Door verschuiving van het evenwicht zal er een nalevering van metaal-ionen uit de vaste slibdeeltjes naar de waterfase optreden. De mate van deze nalevering bepaalt voor het overgrote deel de snelheid van dit afscheidingsproces.

### *uitvoering*

Maatschappelijke Technologie TNO, begeleid door ir. K.F. de Korte (voorzitter, Gemeente Amsterdam), ir. H.L. Dorussen (BKH), ing. G.B.J. Rijs en ir. W. van Starckenburg (DBW/RIZA), ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. P.J. Tessel en ing. R. van Dalen (Zuiveringsschap Veluwe), ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

### *voortgang*

Het oriënterend onderzoek is inmiddels met de eindrapportage "Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door elektrolyse" RWZI 2000 89-04) afgerond. Hieruit blijkt dat het in principe mogelijk is om zware metalen in redelijke mate (verwijderingsrendement circa 50 %) uit zuiveringsslib te verwijderen langs elektrolytische weg. Als voorbehandeling ter mobilisering van de metalen werd beluchting en pH-verlaging toegepast. Door beluchten kunnen de onoplosbare metaalsulfiden door middel van oxydatie in oplossing worden gebracht tot oplosbare sulfaten. Bij verlaging tot een pH = 4 worden de aan het slib gebonden metaal-ionen verdrongen door waterstof-ionen, waarbij de metaal-ionen in oplossing gaan. Voor de elektrode is gekozen voor een roterende cilinderelektrode, aangezien door het roteren een goede stofoverdracht vanuit de vloeistof naar de elektrode wordt verkregen.

Op basis van de uitgevoerde elektrolyse-experimenten (schaal: 10 m<sup>3</sup>/uur) is een schatting gemaakt van de totale kosten voor elektrolytische verwijdering. Deze bedraagt circa f 500,- per ton slib droge stof. Overigens is voor de gewenste praktijkschaal nog geen elektrolyse-apparatuur verkrijgbaar. Hierdoor moet rekening gehouden worden met een langdurige ontwikkelingsfase. Ondanks de redelijke resultaten biedt de elektrolytische verwijdering van metalen uit zuiveringsslib weinig toekomstperspectief. Dit heeft te maken met

de aanwezigheid van onder andere organische microverontreinigingen in het slib in relatie tot de scherper wordende milieu-eisen. Hierdoor wordt hergebruik in de landbouw belemmerd.

PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE  
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000"

1. Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst.  
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport  
DBW/RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos  
raadgevend ingenieursbureau  
Juli 1986
2. Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000  
Onderzoekplan  
DBW/RIZA, STORA  
Januari 1988
3. Jaarverslag 1988  
DBW/RIZA, STORA  
Maart 1989
4. Slibontwatering; een voorstudie  
TU-Delft, TU-Eindhoven  
RWZI 2000 89-01  
Januari 1989
5. Knelpunten bij de invoering van defosfatering  
Witteveen & Bos  
RWZI 2000 89-02  
April 1989
6. Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp  
van een magneetsysteem  
Smit-Nymegen, TNO-MT  
RWZI 2000 89-03  
Oktober 1989
7. Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door elektrolyse  
TNO-MT  
RWZI 2000 89-04  
Oktober 1989
8. Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting  
TNO-MT  
RWZI 2000 89-05  
Oktober 1989

9. Het drogen van zuiveringslib met het Carver-Greenfieldproces  
TNO-MT, Witteveen & Bos  
RWZI 2000 89-06  
December 1989
10. Natte oxydatie van zuiveringslib met het Vertech-systeem  
TNO-MT, Witteveen & Bos  
RWZI 2000 89-07  
December 1989
11. Symposium "RWZI 2000"  
d.d. 5 oktober 1989  
DBW/RIZA, STORA  
RWZI 2000 89-08  
December 1989

**Documentatie**