

1979-06\_slibontwatering-droge-stof

**stora**

---

**Slibontwatering**  
tot meer dan 40% droge stof

79 E

**stora**

postbus 414, 2280 AK Rijswijk Z.H. ☎ 070 - 980.287 stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

## Slibontwatering

tot meer dan 40% droge stof

STOWA  
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 8090  
3503 RB Utrecht  
tel. 030-321199  
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht  
kunt u uitsluitend bestellen bij:  
Hageman Verpakkers BV  
Postbus 281  
2700 AC Zoetermeer  
tel. 079-611188  
fax 079-613927  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.

## Inhoud

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| Ten geleide |   | V         |
| 1           | SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 1 - 31    |
|             | Inhoud                                    | 3 - 4     |
| 2           | SLIBCONDITIONERING                        | 33 - 45   |
|             | Inhoud                                    | 35        |
| 3           | LITERATUURINFORMATIE                      | 47 - 113  |
|             | Inhoud                                    | 49 - 50   |
| 4           | LEVERANCIERSINFORMATIE                    | 115 - 156 |
|             | Inhoud                                    | 117 - 118 |
| 5           | NEDERLANDSE PRAKTIJKINFORMATIE            | 151 - 179 |
|             | Inhoud                                    | 153 - 154 |
| 6           | LITERATUUR                                | 181 - 190 |

ERRATUM op STORA-rapport "Slibontwatering tot meer dan 40% droge stof".

blz. 148 - In tabel 45 is de soort valuta niet aangegeven. Dit zijn guldens.

blz. 14 ) In tabel 2 en 46 is voor de rioolwaterzuiveringsinrichting  
blz. 155) Groningen als filterpersleverancier "Passavant" vermeld.  
Dit moet zijn "Rittershaus & Blecher".

## Ten geleide

Wanneer zuiveringsslib niet op nuttige wijze in de natuurlijke kringloop van meststoffen wordt gebracht - via afzet in de landbouw en/of compostering - is storten het enige alternatief.

Bij deze - onnutte - vorm van slibafzet is een optimaal compromis tussen mate van ontwatering, verwerkbaarheid op stortplaatsen, ruimtebeslag, transportafstand en kosten, vanzelfsprekend.

Voor wat betreft het drogestofgehalte van het stortklare product ligt dit compromis hoogstwaarschijnlijk boven de veertig procent.

Een drogestofgehalte van veertig procent of meer kan via een grote verscheidenheid van proces- en apparatuurcombinaties worden gerealiseerd. Dit rapport is door de Onderzoekadviescommissie van de STORA\* daarom bedoeld als naslagwerk voor degenen die zijn betrokken bij het ontwerp van de exploitatie van rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Pasklare oplossingen voor concrete situaties ontbreken echter; deze situaties verschillen daarvoor teveel van geval tot geval.

Daarnaast vormt het ontbreken van praktijkervaring in Nederland met een groot aantal processen die hier worden besproken, een belangrijke beperking.

Het onderzoek, dat aan dit rapport ten grondslag ligt, werd uitgevoerd door het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO te Delft, bijgestaan door het Centraal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn.

Bij zijn werkzaamheden werd TNO namens de STORA begeleid door een commissie, bestaande uit de heren: ir. R. Karper (voorzitter), ir. O.P. Kwasnička, ir. H.M.J. Scheltinga en ing. D. Wouda.

De eindredactie van het rapport werd verzorgd door het STORA-secretariaat dat de vele tabellen, grafieken en figuren uit de buitenlandse literatuur heeft vertaald en voor een uniforme indeling van de materie in de verschillende hoofdstukken heeft gezorgd.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

Rijswijk, mei 1979.

\* prof. ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr. ir. H.J. Eggink, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. M. van der Lugt, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, jhr.dr. J.J. Quarles van Ufford, ir. H.M.J. Scheltinga, dr. ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. F.B. Veldkamp en ir. A.P. Vernimmen, M. Sc. (leden).

## 1. Samenvatting

conclusies en aanbevelingen

## Inhoud

|       |   |         |
|-------|---|---------|
| 1.1   | INLEIDING   | 5 - 6   |
| 1.2   | PROBLEEMSTELLING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK          | 6 - 7   |
| 1.2.1 | Probleemstelling                                    | 6 - 7   |
|       | <i>procestechnische aspecten</i>                    | 6       |
|       | <i>economische aspecten</i>                         | 6 - 7   |
|       | <i>milieuaspecten</i>                               | 7       |
| 1.2.2 | Doel  | 7       |
| 1.3   | ALGEMEEN  | 7 - 9   |
| 1.3.1 | Beschikbare kennis                                  | 7       |
| 1.3.2 | Proceskeuze   | 7 - 8   |
| 1.3.3 | Kosten  | 8 - 9   |
| 1.3.4 | Milieuaspecten                                      | 9       |
| 1.4   | OVERZICHT SLIBVERWERKINGSMETHODEN                   | 9 - 10  |
| 1.5   | MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP      | 11 - 15 |
| 1.5.1 | Algemeen  | 11      |
| 1.5.2 | Procestechniek, apparatuur en eindproduct           | 11 - 13 |
|       | <i>kamerfilterpersen</i>                            | 11 - 12 |
|       | <i>centrifuges, zeefbandpersen en vacuümfilters</i> | 13      |
|       | <i>eindproduct</i>                                  | 13      |
| 1.5.3 | Kosten  | 13 - 14 |
| 1.5.4 | Milieuaspecten                                      | 14      |
| 1.5.5 | Ervaring in Nederland                               | 14 - 15 |
| 1.6   | DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP                      | 16 - 20 |
| 1.6.1 | Algemeen  | 16      |
| 1.6.2 | Procestechniek en eindproduct                       | 16 - 17 |
|       | <i>procestechniek</i>                               | 16 - 17 |
|       | <i>eindproduct</i>                                  | 17      |
| 1.6.3 | Kosten  | 17 - 18 |
| 1.6.4 | Milieuaspecten                                      | 18 - 19 |
| 1.6.5 | Ervaring in Nederland                               | 19 - 20 |
| 1.7   | VERBRANDING ALS LAATSTE PROCESSTAP                  | 21 - 25 |
| 1.7.1 | Algemeen  | 21      |
| 1.7.2 | Procestechniek                                      | 21 - 22 |

|       |                                     |         |
|-------|-------------------------------------|---------|
| 1.7.3 | Kosten                              | 22      |
| 1.7.4 | Milieuaspecten                      | 23      |
| 1.7.5 | Ervaring in Nederland               | 23 - 25 |
| 1.8   | COMPOSTERING ALS LAATSTE PROCESSTAP | 26 - 28 |
| 1.8.1 | Algemeen                            | 26      |
| 1.8.2 | Procestechniek en eindproduct       | 26 - 27 |
|       | <i>procestechniek</i>               | 26 - 27 |
|       | <i>eindproduct</i>                  | 27      |
| 1.8.3 | Kosten                              | 27      |
| 1.8.4 | Milieuaspecten                      | 27 - 28 |
| 1.8.5 | Ervaring                            | 28      |
| 1.9   | NIEUWE ONTWIKKELINGEN               | 29      |
| 1.10  | CONCLUSIES                          | 30      |
| 1.11  | AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK | 31      |

In dit rapport wordt een inventarisatie en evaluatie gegeven van slib-ontwaterings- en/of verwerkingsmethoden met een eind-drogestofgehalte van 40% of meer. Sterke en zwakke zijden van diverse processen worden belicht, maar er worden geen directe uitspraken gedaan die een bepaalde methode verwerpen of aanprijzen.

Bij de opzet van het onderzoek hebben de mogelijkheden voor toepassing in de praktijk vooropgegaan. Zo wordt bijvoorbeeld persfilterontwatering niet theoretisch behandeld, maar wordt hierover een veelheid aan praktische gegevens (filterbelasting, filterdoekkeuze, doekvervuiling, enzovoorts) verschaft.

Het onderzoek is in hoofdzaak gebaseerd op de volgende drie bronnen:

- literatuurinformatie;
- leveranciersinformatie;
- praktijkinformatie in Nederland.

In de delen 3, 4 en 5 zijn deze bronnen uitvoerig behandeld.

Bij gravitatie-indikking\* wordt het niet gebonden water door middel van de zwaartekracht afgescheiden.

In dit rapport worden de verschillende processtappen na de indikking behandeld.

Om het drogestofgehalte van het ingedikte slib (circa 4%) daarna met mechanische apparatuur aanzienlijk te kunnen verhogen, dient het slib een voorbehandeling te ondergaan (conditionering).

Deel 2 is aan conditionering gewijd; met name conditioneringsmethoden, die in combinatie met verdere slibontwatering een drogestofgehalte opleveren van 40% of meer.

Met het oog op de toepasbaarheid van de informatie voor de praktijk is de inventarisatie en evaluatie van de gegevens toegespitst op de volgende aspecten:

- kwaliteit van het te verwerken slib;
- kwantiteit van het te verwerken slib;
- flexibiliteit van het ontwateringsproces ten aanzien van de kwantiteit en de kwaliteit van het uitgangsmateriaal;
- bedrijfszekerheid, onderhoud;
- ervaring op rioolwaterzuiveringsinrichtingen, waar ontwateringsapparatuur in bedrijf is, motivatie van de proceskeuze;
- bedrijfsresultaten (eind-drogestofgehalte van het slib, nabehandeling van de waterfase, energie- en chemicaliënverbruik);
- nieuwe ontwikkelingen (hoewel veelal nog slechts op semi-technische schaal toegepast);
- kosten (investerings- en bedrijfskosten);
- milieuaspecten (voornamelijk geluidshinder en luchtverontreiniging);
- afzetmogelijkheden van het eindproduct.

Bij de uitvoering van dit project is op bepaalde gebieden een duidelijke leemte in de kennis over slibverwerking naar voren gekomen. Aanbevelingen voor verder onderzoek, ondermeer betreffende de waterbinding van het slib, het optimaal gebruik van procesapparatuur en conditioneringsmidde-

\*zie STORA-rapport: Slibindikking I. Literatuuronderzoek (1977).



len en de invloed van defosfatering op de slibverwerkingsmethoden, zijn in hoofdstuk 11 van dit deel (p. 31) opgenomen.

In dit deel is de meest relevante informatie uit de volgende delen samengevat en waar mogelijk is de informatie uit de diverse bronnen vergeleken en geëvalueerd.

## 1.2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

### 1.2.1 Probleemstelling

In 1975 werd ongeveer een derde deel van de 30 miljoen in Nederland geproduceerde inwonerequivalenten voornamelijk aëroob-biologisch gezuiverd.

In 1980 zal dit volgens het Indicatief Meerjarenprogramma 1975 - 1979 van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat ongeveer 60 - 70% en in 1985 omstreeks 90% zijn. Parallel hiermee zal ook de hoeveelheid zuiveringsslib toenemen. Indien defosfatering wordt toegepast zal de slibhoeveelheid nog verder stijgen.

Om dergelijke grote hoeveelheden af te zetten in de landbouw of te dumpen op stortplaatsen lijkt in vele gevallen een verregaande reductie van het slibvolume (en dus verhoging van het drogestofgehalte) gewenst uit het oogpunt van ruimtebeslag en transportkosten.

Als ondergrens wordt in dit onderzoek een drogestofgehalte van 40% aangehouden, omdat zich problemen kunnen voordoen wanneer slib met een lager drogestofgehalte samen met huisvuil wordt gestort.

Bij de overwegingen welke slibverwerkingsmethode in een bepaalde situatie de voorkeur verdient of hoe een bestaande methode kan worden verbeterd spelen met name procestechnische-, economische- en milieuaspecten een rol.

#### *procestechnische aspecten*

Er is een groot aanbod van goed functionerende slibverwerkingsapparatuur. De problemen hiermee betreffen veelal niet de apparatuur zelf, maar eerder de kwaliteit en de toevoersnelheid van de grondstof, die in tegenstelling tot de procesindustrie vaak moeilijk voorspelbaar zijn. De onzekerheid over de slibeigenschappen (vooral bij nieuwe rioolwaterzuiveringsinrichtingen), onvermijdelijke schommelingen in slibkwantiteit en -kwaliteit en de invloed van industriële lozingen op de slibverwerkingsmogelijkheden zijn vaak de oorzaak dat ondanks het bijregelen door het bedienend personeel de apparatuur of methode niet aan de verwachting voldoet ten aanzien van capaciteit of eind-drogestofgehalte. De bedrijfszekerheid van een slibverwerkingsmethode voor wat betreft deze factoren en een efficiënte procescontrole zijn daarom uiterst belangrijk.

#### *economische aspecten*

Voor de verwerking van het slib zullen bestemming alsmede economische aspecten van doorslaggevend belang zijn. De keuze van de meest economische methode is niet eenduidig te geven. Een complex van factoren, zoals capaciteit, aantal bedrijfsuren per dag, investeringskosten, arbeidslonen, prijzen van energie en chemicaliën, afvoer en afzet van het eindproduct (ook op lange termijn) speelt mee. De reeds genoemde

onzekerheid betreffende slibkwaliteit en -kwantiteit kunnen de slibverwerkingskosten in sterke mate beïnvloeden.  
Al deze factoren moeten voor elke situatie worden bestudeerd.

#### *milieuaspecten*

De milieuaspecten betreffen met name luchtverontreiniging en geluids-overlast. De grondwaterkwaliteit kan door de afzet (dumping) van het eindproduct worden beïnvloed. Met behulp van technische maatregelen kan aan de normen, die van plaats tot plaats kunnen verschillen, worden voldaan.

#### 1.2.2 Doel

Het doel van het onderzoek is een hulpmiddel te verschaffen bij het beoordelen van de mogelijkheden voor en de beperkingen van slibverwerkingsmethoden, die resulteren in een eind-drogestofgehalte van 40% of meer.

#### 1.3 ALGEMEEN

##### 1.3.1 Beschikbare kennis

Slibverwerkingsproblemen zijn vanaf het begin van de waterzuivering opgetreden.

Toch blijkt nog steeds weinig inzicht te bestaan in soms zeer essentiële onderdelen van de slibverwerking, zoals de waterbinding. Welke componenten van het slib veroorzaken de volumineuze waterrijke structuur? Welk maximaal drogestofgehalte kan bereikt worden met een methode, waarbij de cellen intact blijven?

Nadere kennis van het verschijnsel "ontwateren" of "waterbinding" kan leiden tot het ontwikkelen van betere methoden van conditionering of mechanische ontwatering. Een voorbeeld van het zoeken naar nieuwe wegen is de studie van biologische conditionering met behulp van enzymen!

Algemene informatie over slibverwerking, waaronder slibconditionering wordt gegeven in regelmatig terugkerende symposia en cursussen<sup>2 - 5</sup>. Daarnaast geven een aantal recente boeken een goed beeld van de verschillende aspecten van slibverwerking<sup>6 - 10</sup>.

##### 1.3.2 Proceskeuze

Bij de keuze van de methode van slibverwerking worden veelal oplossingen gevonden die enerzijds in verband staan met de afzetmogelijkheden als nuttige grondstof in natte of droge vorm en anderzijds met het storten of verbranden van het slib. Als selectiecriteria geldt dan met name de meest economische werkwijze. Het in de toekomst te voeren beleid aangaande de afzet van slib tekent zich nog niet duidelijk af. Moet het slib zoveel mogelijk een nuttige bestemming worden gegeven; zo ja, wat zal dan bijvoorbeeld de maximale opnamecapaciteit van de landbouw en andere afnemers zijn? Of moet in de eerste plaats het slibvolume zo ver mogelijk gereduceerd worden met inachtneming van milieuaspecten als luchtverontreiniging? De maximale volumereductie vindt plaats bij verbranding. Dit proces is technologisch gezien vrij gecompliceerd, zodat het alleen geschikt is voor grote zuiveringsinrichtingen (> 300.000 inwonerequivalenten).

Een belangrijk aspect is de bedrijfszekerheid van de slibverwerkingsmethode. Afgezien van het normale onderhoud moet het proces of de methode een hoge mate van bedrijfszekerheid bezitten. Onherroepelijk optredende schommelingen in de slibkwantiteit en kwaliteit moeten kunnen worden opgevangen. Bij het ontwerp zullen bijvoorbeeld twee kleinere filterpersen de voorkeur verdienen boven één grote filterpers. Toch zullen zelfs bij flexibele uitvoering van de slibverwerkingslijn alternatieven aanwezig moeten zijn in het geval dat langdurige stagnatie van de slibverwerking optreedt.

De keuze van de slibverwerkingsapparatuur qua type en capaciteit wordt bij nieuwe rioolwaterzuiveringsinrichtingen bemoeilijkt door het feit dat de eigenschappen van het toekomstige slib en de verwerkings- en afzetmogelijkheden nog niet bekend zijn zoals in gevallen, waar een mengsel van industrieel en huishoudelijk afvalwater wordt behandeld. Ook bij bestaande slibverwerkingsmethoden kunnen als gevolg van de wijziging van industriële lozingen, die veelal de verhouding van primair en secundair slib beïnvloeden, onvoorziene complicaties optreden. Verslechtert bijvoorbeeld de ontwatering met behulp van de filterpers, waardoor langere cyclustijden ontstaan, dan neemt de slibverwerkingscapaciteit af. Er zal een beslissing genomen moeten worden, die hetzij uitbreiding van het aantal filterpersen betreft, hetzij vergroting van de chemicaliëndosering inhoudt. Extra chemicaliën betekent meer droge stof, maar wellicht een aanzienlijke verbetering van de filtreerbaarheid.

### 1.3.3 Kosten

Voor de verwerking van het slib zullen in de praktijk economische factoren vaak van doorslaggevend belang zijn. Het is niet juist om de slibverwerking apart van de totale afvalwaterbehandeling te zien. Bij zeer laag belaste actief-slibsystemen ontstaat ten koste van extra energietoevoer, voor de aërobe stabilisatie van het slib, een slibproductie van circa 40 g droge stof per inwoner per dag.

Bij conventionele zuiveringssystemen is de slibproductie vóór de slibgisting ongeveer tweemaal zoveel. Voor het ontwerpen van nieuwe zuiveringsinrichtingen zijn de investerings- en jaarlijkse kosten van de mechanische en biologische zuivering van afvalwater te zamen met die van de slibverwerking van belang.

Ook bij bestaande zuiveringsinrichtingen geldt dat de combinatie van alle kostenfactoren de totale economie bepaalt. De keuze van de meest economische methode is niet eenduidig aan te geven. Een complex van factoren, zoals capaciteit, investeringskosten, arbeidslonen, prijzen van energie en chemicaliën, afvoer en afzet van het eindproduct, speelt mee. Deze factoren moeten voor elke situatie worden bestudeerd. Het is zeer moeilijk om zelfs de kosten van gelijksoortige slibverwerkingsprocessen bij verschillende zuiveringsinrichtingen te vergelijken. Vaak is niet bekend welke factoren zijn opgenomen. Het aantal bedrijfsuren per werkdag beïnvloedt bijvoorbeeld de bijdrage van de vaste kosten op de totale slibverwerkingskosten per ton droge stof in sterke mate. Het is inherent aan de praktijk van de slibverwerking dat schommelingen in de slibkwantiteit en/of kwaliteit zullen optreden. Daarom zal een slibverwerkingsinstallatie doorgaans niet optimaal kunnen werken voor wat betreft de slibverwerkingscapaciteit en het bezinkbare eind-drogestofgehalte (zie ook 1.2.1 pp. 6-7).

Zo is het dan ook niet verwonderlijk dat de leveranciers van slibverwerkingsapparatuur veelal op lagere kosten per ton droge stof uitkomen dan in de praktijk wordt gerealiseerd.

#### 1.3.4 Milieuaspecten

De milieuaspecten bij slibverwerking betreffen de emissie van stof en gasvormige verontreinigingen alsmede de geluidshinder. Er bestaan geen landelijke normen. De gangbare procedure kan als het volgt worden samengevat. De instantie, die de hinderwetvergunning verleent (gemeente of provincie), stelt de voorwaarden voor de toelaatbare emissies vast. Zij kan zich hierbij laten adviseren door de regionale inspecteurs van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de Hygiëne van het Milieu. Als richtlijnen worden veelal de buitenlandse normen, die ook elders in dit rapport worden vermeld, gehanteerd. Bij het vaststellen van de normen speelt de plaatselijke situatie (landelijke omgeving en/of industriegebied) een belangrijke rol, hetgeen ondermeer blijkt uit de eisen ten aanzien van de geluidsoverlast. Bij verbrandingsinstallaties is de wet Luchtverontreiniging (LUVU) van belang.

#### 1.4 OVERZICHT SLIBVERWERKINGSMETHODEN

In dit deel wordt de meest relevante informatie uit de delen 3, 4 en 5 (literatuurinformatie, leveranciersinformatie en praktijkinformatie) beknopt samengevat en waar mogelijk vergeleken. In het overzicht van de voornaamste slibverwerkingsmethoden, waarmee *in principe* 40% of meer droge stof kan worden bereikt zijn de selectie en indeling gebaseerd op de laatste processtap. Indien met mechanische ontwatering 40% droge stof wordt bereikt gaat hieraan meestal een chemische of thermische conditionering vooraf. Bij de kwalitatieve waardering van de diverse aspecten van de verschillende slibverwerkingsmethoden, die in tabel 1 (p. 10) is weergegeven, worden de droog-, verbrandings- en *composterings*processen beschouwd *na* de voorontwatering. Een aantal aspecten kan door aanvullende maatregelen worden verbeterd. In de tabel is evenwel uitgegaan van de basissituatie; bijvoorbeeld, een ventilator produceert bij slibdroging veel lawaai, of verbranding is een gecompliceerd proces. Aan de andere kant wordt verondersteld, dat het slib geen bijzondere nadelige kenmerken vertoont, waardoor abnormale corrosie, scaling stankhinder, verstoppingen en dergelijke, optreden.

Gezien de relevante waarde, die aan de kosten van de slibverwerkingsprocessen moet worden toegekend is in tabel 1 (p. 10) de kwalitatieve waardering zeer globaal aangegeven. Uiteraard wordt op de kosten in de volgende hoofdstukken en delen nader ingegaan. De tabel is niet bedoeld om uit de balans van plussen en minnen een bepaalde methode te verkiezen, maar dient als hulpmiddel bij de beoordeling van de processen. Overigens blijkt het dat geen methode in alle opzichten superieur is aan de andere. Voor grote installaties zijn technisch gecompliceerde installaties als slibverbranding, die vrij ongevoelig zijn voor de eigenschappen van het slib, toepasbaar. Gezien het regionaal sterk verschillend slibaanbod enerzijds en anderzijds de afzetmogelijkheden van slib, is het dan ook verklaarbaar dat zeer veel verschillende slibverwerkingsmethoden worden toegepast.

| aspecten van slibverwerking  | mechanische ontwatering     |                           |                      | drogen                           | verbranden | composteren  |
|--|-----------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------|------------|--|
|  | conditionering              |                           |                      | waardering<br>nā voorontwatering |            | mechanische<br>voorfermentatie<br>nā voorontwatering |
|  | chemisch                    |                           | thermisch            |                                  |            |  |
|  | organisch <sup>x</sup>      | anorganisch <sup>xx</sup> | 170°C <sup>xxx</sup> |                                  |            |  |
|  | primair/uit-<br>gegist slib |                           |                      |                                  |            |  |
| <u>processtechniek</u>   |                             |                           |                      |                                  |            |  |
| - 40% of meer droge stof kan bereikt worden bij veel slibsoorten                     | +                           | ++                        | +++                  | +++                              | +++        | +++  |
| - flexibiliteit t.a.v. slibkwantiteit en kwaliteit - bedrijfszekerheid               | ++                          | ++                        | +++                  | ++                               | +++        | ++   |
| - geschikt voor kleinere r.w.z.i.'s mogelijkheden voor niet-continue bedrijfsvoering | ++                          | ++                        | +                    | +++                              | -          | +++  |
| - energieverbruik  | -                           | -                         | ---                  | ---                              | ---        | -  |
| - slibvolumereductie   | ++                          | +                         | ++                   | +++                              | +++        | +  |
| - invloed conditionering op biologische zuivering                                    | 0                           | 0                         | -                    | 0                                | 0          | 0  |
| <u>eindproduct</u>   |                             |                           |                      |                                  |            |  |
| - drogestofgehalte   | < 40%                       | < 40%                     | < 50%                | < 95%                            | < 95%      | 50 - 60%   |
| - bemestingswaarde   | ++                          | ++                        | +                    | +++                              | 0          | +++  |
| - hygiënische betrouwbaarheid  | -                           | ++                        | +++                  | +++                              | +++        | +++  |
| <u>kosten</u>  |                             |                           |                      |                                  |            |  |
| - zonder/met verkoop van het eindproduct   | -/-                         | -/-                       | -/-                  | -/-                              | -/-        | -/-  |
| <u>milieuaspecten</u>  |                             |                           |                      |                                  |            |  |
| - maatregelen tegen luchtverontreiniging   | 0                           | 0                         | ---                  | --                               | ---        | --   |
| - invloed op grondwaterkwaliteit bij stortten  | -                           | -                         | -                    | 0                                | -          | 0  |
| - maatregelen tegen geluidshinder  | -                           | -                         | --                   | --                               | ---        | -  |

Tabel 1. Kwalitatieve waardering van slibverwerkingsmethoden, waarmee een eind-drogestofgehalte van 40% of meer gehaald kan worden.

0 ) niet van toepassing

- )

-- ) mate van negatieve waardering

--- )

+ )

++ ) mate van positieve waardering

+++ )

<sup>x</sup> ) toepassing van zeefbandpersen, centrifuges, vacuümfilters

<sup>xx</sup> ) toepassing van persfilters.

<sup>xxx</sup> ) veel typen apparatuur ontwateren na thermische conditionering tot ongeveer 40% droge stof.

## 1.5 MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 1.5.1 Algemeen

Wanneer mechanische ontwatering als laatste processtap wordt toegepast bij de verwerking van slib met het doel circa 40% droge stof te bereiken, worden meestal kamerfilterpersen gebruikt. Dit kan worden verklaard uit het universele karakter van dit type ontwateringsapparatuur ten aanzien van verschillende slibsoorten. Andere typen mechanische ontwateringsapparatuur zoals centrifuges, zeefbandpersen en roterende vacuümfilters, kunnen in bijzondere gevallen, bijvoorbeeld bij thermisch geconditioneerd slib of uitgegist slib, drogestofgehalten opleveren van om en nabij de 40%.

### 1.5.2 Procestechniek, apparatuur en eindproduct

#### *kamerfilterpersen*

De kamerfilterpers is sinds eind vorige eeuw in gebruik voor het ontwateren van rioolslib. De ontwikkeling hiervan is voornamelijk gericht geweest op het verbeteren van de filterdoek kwaliteit en het automatiseren van de pers met het oog op besparing van personeelskosten. Onlangs is daar de ontwikkeling van nieuwe constructiematerialen (bijvoorbeeld polypropyleen) voor filterplaten bijgekomen.

Voor het ontwateren van slib met behulp van een filterpers moet het slib eerst een voorbehandeling ondergaan. Meestal is dit een chemische of een thermische behandeling. Voor gedetailleerde gegevens over de slibconditionering wordt verwezen naar deel 2. Bij conditionering is het streven gericht op het bereiken van een bepaalde waarde van een ontwateringskenmerk. Zo wordt als richtwaarde voor de specifieke filtratieweerstand  $r < 1,5 \cdot 10^{12} \text{ m/kg}^*$  bij 0,5 atm. opgegeven. Een ander ontwateringskenmerk is de CST\*\*. De CST-bepaling maakt een snelle controle op het optimaal gebruik van de conditioneringschemicaliën mogelijk. In dit verband wordt opgemerkt dat het effect van de chemische conditionering door mechanische afbraak tijdens het transport naar de filterpers kan worden teniet gedaan. Membraanpompen, waterpompen of transport vanuit een drukvat (perslucht) veroorzaken relatief weinig mechanische afbraak van de slibvlokken.

Bij chemische conditionering met anorganische chemicaliën zoals  $\text{FeCl}_3$  en  $\text{Ca(OH)}_2$  ontstaat weliswaar een hoog drogestofgehalte, maar de droge stof bestaat voor een aanzienlijk deel (een kwart) uit toegevoegde chemicaliën. Bij de rioolwaterzuiveringsinrichting Helmond werd over 1975 met behulp van filterpersen gemiddeld 35% droge stof bereikt. Toename van het drogestofgehalte tot 40% kan worden bereikt door verhoging van de kalkdosering van 325 tot 600 kg per ton droge stof.

Bij filtratie met een pers zijn ondermeer de filtratiedruk, de koekdikte en de perstijd van belang. Essentieel voor een goede filtratie is de snelheid waarmee de filterpers wordt gevuld. Soms wordt hiertoe

\* ook wel vermeld als  $r < 1,50 \cdot 10^8 \text{ sec}^2/\text{g}$ .

\*\* CST Capillary Suction Time.

een bufferreservoir tussen perspomp en filterpers geplaatst, waardoor een snelle vulling van de filterpers bij aanvang van de filtratie plaatsvindt. Ondanks de lange ervaring met filterpersen is het inzicht in het optimaal functioneren van de filterpers in relatie tot de slibeigenschappen nog duidelijk te verbeteren. Getuige ook het verschil in opvattingen met betrekking tot de toe te passen filtratiedruk. (Engeland voornamelijk 7 ato., Duitsland voornamelijk 15 ato.)

De koekdikte bedraagt meestal 20 - 40 mm. Er worden in de praktijk perstijden van 1 tot 6 uur verkregen. Een duidelijke relatie tussen de persdruk en de perstijd kan uit de talrijke praktische gegevens niet worden afgeleid. Gezien de verschillen in slibeigenschappen en conditioneringsmethoden is dit evenwel niet verwonderlijk. Een belangrijke oorzaak is het veelal ontbreken van belangrijke ontwateringskenmerken zoals de specifieke weerstand en de drukafhankelijkheid hiervan (de compressibiliteit). Voor een bepaalde situatie zullen de optimale procesomstandigheden experimenteel moeten worden bepaald. Dit schept uiteraard problemen bij de bouw van nieuwe rioolwaterzuiveringsinrichtingen wanneer de slibeigenschappen nog niet bekend zijn. Bij het ontwerp zal met voldoende flexibiliteit rekening moeten worden gehouden, zodat inderdaad optimalisatie achteraf mogelijk is. Wordt de apparatuur gedimensioneerd op een bepaalde slibverwerkingscapaciteit, dan ontstaan bij een tegenvallende slibontwaterbaarheid snel probelemen. Zo werd bij de rioolwaterzuiveringsinrichting Helmond als gevolg van industriële saneringsmaatregelen de verhouding primair/secundair slib verlaagd, waardoor de perstijd toenam. Aangezien deze zuiveringsinrichting nog niet op de ontwerpcapaciteit werkt kon deze tegenvaller met de bestaande filterpersen worden opgevangen.

De filterbelasting bedraagt voor de ontwatering met de filterpers afhankelijk van de slibkwaliteit en het begin-drogestofgehalte, en dergelijke, 2 - 6 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h. Het drogestofgehalte van de filterkoek (inclusief chemicaliën) komt zelden boven 40%.

De keuze van het filterdoek dient bij voorkeur experimenteel te worden bepaald. De praktijkgegevens van verschillende filterdoekmaterialen ten aanzien van levensduur (500 - 4000 charges) en doekreiniging (na 50 - 200 charges) geven een grote spreiding te zien. De doekreiniging kan enige uren in beslag nemen. In het licht van de verschillen in slibeigenschappen en conditioneringswijze bezien is dit verschijnsel niet verwonderlijk.

De filtratie met de filterpers verloopt discontinu. De werkwijze respectievelijk de totale perscyclus kan volledig worden geautomatiseerd. In dit geval beperkt de bedrijfsvoering zich tot het noodzakelijke toezicht bij het automatisch (electromechanisch platen-transport) lossen van de filterkoek. Het is duidelijk dat de slibconditionering zodanig beheerst moet worden, dat bij de vooraf ingestelde perstijd of hoeveelheid filtraat droge, goed te lossen filterkoeken zijn gevormd.

### *centrifuges, zeefbandpersen en vacuümfilters*

Met centrifuges, zeefbandpersen en vacuümfilters zijn in sommige gevallen, bijvoorbeeld bij uitgegist en thermisch geconditioneerd slib, drogestofgehalten van circa 40% te bereiken. Het is duidelijk dat dit resultaat niet uitsluitend is terug te voeren tot de gebruikte ontwateringsapparatuur, doch veeleer tot de slibsoort en de toegepaste conditioneringswijze. Voor het eind-drogestofgehalte gelden de volgende percentages met bovengenoemde apparatuur meestal als bovengrens: thermisch geconditioneerd slib circa 45%, uitgegist oxydatiebedslib circa 40%, uitgegist actief slib circa 30% en oxydatieslootslib circa 20%.

Voor het uitvlokken van het slib worden in het algemeen polyelektrolyten gebruikt. Praktische waarden voor het polyelektrolytverbruik liggen als regel tussen de 3 en 6 g per kg slib droge stof. Worden bij bovengenoemde apparatuur drogestofpercentages bereikt van ongeveer 30% dan kan hetzelfde uitgangsslib, na chemische conditionering met ijzer en kalkverbindingen, met een kamerfilterpers tot circa 40% droge stof worden ontwaterd.

### *eindproduct*

Mechanische ontwatering tot ongeveer 40% droge stof wordt als laatste processtap gevolgd door een nuttige of onnuttige afzet van het slib. Toepassing als meststof of als middel om de bodemstructuur te verbeteren komt, afhankelijk van de samenstelling van het slib en de afzetmogelijkheden, in aanmerking. Indien de mechanische ontwatering voorafgegaan wordt door thermische conditionering neemt de bemestingswaarde van het slib aanzienlijk af. Een groot deel van de stikstofverbindingen gaat namelijk in oplossing. De thermisch (180°C) en chemisch (Fe/Ca: pH >11) geconditioneerde slibsoorten zijn als zodanig hygiënisch betrouwbaar.

### 1.5.3 Kosten

Door de leveranciers worden voor de jaarlijkse kosten van chemische of thermische conditionering gevolgd door mechanische ontwatering, afhankelijk van de capaciteit en de gevolgde werkwijze, voor het gebied van 50.000 - 300.000 i.e. bedragen genoemd van minimaal f 60,- tot circa f 200,- per ton droge stof.

Aanvullend worden hier de praktijkkosten (basis 1975) van de bezochte rioolwaterzuiveringsinrichtingen vermeld.

|               |  |
|---------------|--|
| Helmond       | : 250.000 i.e. f 300/ton droge stof (ontwerp 400.000 i.e.)                 |
| Apeldoorn     | : 260.000 i.e. f 250/ton droge stof  |
| Tilburg-Noord | : 450.000 i.e. f 108/ton droge stof (actief-slibinstallatie 230.000 i.e.). |

Hieruit mag niet zonder meer worden geconcludeerd dat de praktijkkosten zoveel hoger liggen dan de leverancierskosten, zoals hier wordt gesuggereerd.

Immers de kosten hangen ook samen met de mate en wijze van gebruik van de apparatuur.



Ten aanzien van de relatieve waarden van de vermelde bedragen over de kosten van slibontwatering, wordt verwezen naar de desbetreffende passage in paragraaf 1.3.3, p. 8. Voor uitgebreide informatie wordt verwezen naar de delen over literatuur, leveranciers- en praktijkinformatie.

#### 1.5.4 Milieuaspecten

De milieuaspecten van mechanisch slibontwateren houden zowel verband met de voorbehandeling van het slib (conditionering) als met de verdere verwerking of afzet van het slib.

Met name bij thermische conditionering speelt het voorkomen van luchtverontreiniging een belangrijke rol. Voor het storten van slibkoek geldt dat, hoe droger de filterkoek is, des te (mechanisch) stabiel het gestorte materiaal is. In elk specifiek geval geldt dat het eventuele uitlogen van zware metalen of andere ongewenste verbindingen nagegaan moet worden. Het vermijden van verontreiniging van het grondwater zal grote aandacht moeten krijgen. Voorts is de aanwezigheid van stank in de bedrijfsruimten voornamelijk afhankelijk van de te ontwateren slibsoort.

#### 1.5.5 Ervaring in Nederland

Op basis van gegevens van het RIZA is tabel 2 opgesteld, waarin aangegeven is waar in Nederland met mechanische ontwatering als laatste processtap een drogestofgehalte van omstreeks 40% in principe kan worden bereikt.

| gemeente          | inwoner-equivalenten | thermische conditionering | zeefband  | persfilter              | vacuümfilter             | opmerkingen                                    |
|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|--|
| Ede (Enka)*       | 20.000               |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Naarden *         | 60.000               |                           |           | Edward & Jones          |                          |  |
| Groningen         | 300.000              |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Eindhoven         | 750.000              |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Arnhem-Noord      | 31.000               |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Hilversum-Oost    | 80.000               |                           | Passavant |                         |                          |  |
| Katwijk           | 160.000              |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Venlo             | 200.000              |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Helmond           | 250.000              |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Arnhem-Nieuwgraaf | 330.000              |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Renkum-Wageningen | 120.000              |                           |           | Rittershaus/<br>Blecher |                          | in aanbouw                                     |
| Apeldoorn         | 260.000              | Zimpro                    |           | Schule                  | EIMCO                    |  |
| Breda             | 650.000              | Zimpro                    |           | Progress                |                          |  |
| Tilburg-Noord     | 230.000              | Farrer                    |           |                         | Dorr-Oliver              | slibverwerkings-<br>capaciteit<br>450.000 i.e. |
| Huizen            | 60.000               | Farrer                    |           |                         | Dorr-Oliver-<br>Webstrol | pas in bedrijf                                 |
| Woerden           | 45.000               | Farrer                    |           | Progress                |                          |  |

Tabel 2. Mechanische ontwatering tot circa 40% droge stof in Nederland

\* industrieel afvalwater.

Van de in tabel 2 vermelde rioolwaterzuiveringsinrichtingen zijn de volgende drie bezocht: Helmond (chemische conditionering en persfilters), Apeldoorn (Zimpro thermische conditionering en pers- en vacuümfilters) en Tilburg-Noord (Farrer thermische conditionering en vacuümfilters). Voor uitvoerige informatie wordt verwezen naar deel 5 Nederlandse praktijkinformatie.

Het conditioneringsproces met  $\text{FeCl}_3$  en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  wordt in Helmond gecontroleerd en bijgesteld op basis van de pH waarde ( $\text{pH} > 11$ ) en de CST waarde ( $< 25-30$  sec. bij een drogestofgehalte van 4-4,5%). De verhouding primair/secundair slib is van invloed op het conditionerings c.q. ontwateringsproces. Naarmate het slibmengsel meer secundair slib bevat verloopt de ontwatering bij de gebruikelijke chemicaliëndosering slechter. Bijsturing met chemicaliën is mogelijk, maar verhoogt nauwelijks de slibverwerkingscapaciteit ten opzichte van het uitgangsmateriaal. Een gemiddeld drogestofgehalte van circa 35% wordt bereikt. Hogere drogestofpercentages ( $> 40\%$ ) zijn mogelijk, zij het ten koste van grote hoeveelheden kalk, die extra moeten worden toegevoegd!

De perstijd bij 15 ato. blijkt 2,5 uur te zijn en is langer dan destijds bij het ontwerp was aangenomen. Dit houdt direct een lagere slibverwerkingscapaciteit in.

De filterdoeken worden na elke honderd charges gereinigd. Voor de doekreiniging wordt effluent gebruikt; de reiniging duurt circa 4 uur per pers. Naarmate meer secundair slib wordt verwerkt neemt de frequentie van de doekreiniging toe.

De thermische conditioneringsprocessen zijn veel minder gevoelig voor veranderingen in de verhouding primair/secundair slib. Deze verhouding kan ondermeer ten gevolge van zijn wijzigende industriële afvalwaterlozingen worden beïnvloed. Wel treden andere aspecten naar voren, met name blijkt de mate van scaling of aankorsting van de reactor en warmtewisselaar in verband te staan met de samenstelling van het influent. De frequentie van het spoelen met zuren om dit verschijnsel tegen te gaan varieert in de praktijk dan ook sterk van installatie tot installatie. De eisen die gesteld worden aan de constructiematerialen staan soms ook in verband met de samenstelling van het influent. Bevat het influent bijvoorbeeld relatief veel chloride, dan is roestvrij staal bij de toegepaste temperatuur erg gevoelig voor corrosie.

De toegepaste bedrijfscondities (185 - 195°C, 20 atm., 14-15 min. verblijftijd) veroorzaken een aanzienlijke verbetering van de ontwateringseigenschappen. De specifieke weerstand van het geconditioneerde materiaal ligt tussen 0,2 en  $2 \cdot 10^{12}$  m/kg. Bij ontwatering op het vacuümfilter wordt een filterbelasting gevonden van 15 - 30 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h met een drogestofgehalte in de slibkoek van 35 - 45%. Na ontwatering op een persfilter (Apeldoorn) bij 15 atm. en 80 min. perstijd heeft de filterkoek een drogestofgehalte van 50 - 55%.

In Apeldoorn worden de bij de thermische conditionering vrijkomende gassen naverbrand. Dit gebeurde voorheen met behulp van een katalytische naverbrander (temperatuur 400 - 500°C). Daar dit systeem niet voldeed is men op directe naverbranding (temperatuur 850 - 950°C) overgegaan.

## 1.6 DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 1.6.1 Algemeen

Bij het drogen van slib gaat het, anders dan bij het mechanisch ontwateren, meestal niet primair om de reductie van het slibvolume. Immers de droogkosten zijn relatief hoog; de energiekosten kunnen circa 40% van de totale kosten uitmaken. Slibdroging tot circa 90% droge stof zal veelal eerst dan worden toegepast als het er om gaat een "hoogwaardig" verkoopbaar eindproduct (mest) af te leveren. Wanneer het slib eventueel niet meer als meststof kan worden afgezet en derhalve moet worden gestort is het uiteraard niet noodzakelijk de droging tot het genoemde hoge drogestofgehalte voort te zetten, maar kan worden volstaan met dat gehalte dat economisch en storttechnisch optimaal is.

### 1.6.2 Procestechniek en eindproduct

#### *procestechniek*

De procesomstandigheden zijn afhankelijk van het type droger. De voornaamste factoren zijn: de temperatuur van de drooglucht (600 - 900°C), de temperatuur van de afgassen (circa 100°C), de benodigde hoeveelheid drooglucht (4000 - 5000 Nm<sup>3</sup>\* lucht per m<sup>3</sup> te verdampen water) en de droogtijd (enkele seconden tot maximaal 1 uur). In een enkel systeem bedraagt de temperatuur van de drooglucht 150°C (Nateko).

Aan de thermische droging gaat vrijwel altijd een mechanische voorontwatering met centrifuges, zeefbandpersen of persfilters vooraf. Mechanische voor-ontwatering is procestechnisch gezien niet bij alle typen drogers vereist, doch is uit het oogpunt van energieverbruik aantrekkelijk. Drogen van in mindere of meerdere mate voorontwaterd slib zal zeker in overweging genomen moeten worden, indien goedkope afvalwarmte beschikbaar is. Hierbij kan worden gedacht aan een combinatie van droging en huisvuilverbranding (eventueel slibgisting).

In de praktijk wordt de mechanische voorontwatering meestal gevolgd door menging met reeds gedroogd slib tot een drogestofgehalte van ongeveer 50%. De menging geschiedt veelal op het "oog".

De menging van voorontwaterd slib met reeds gedroogd slib blijkt een bijzonder kritische fase bij het droogproces te zijn. Bij te lage drogestofgehalten van het mengsel (30 - 40%) kan sterke korrelaangroei en/of aankleven op de wanden van de droger optreden. Hierdoor wordt de droging ongunstig beïnvloed. Dit geldt eveneens voor de pasteurisatie. Er wordt dan namelijk een droge schil gevormd, terwijl de kern van het materiaal nat blijft.

Indien door welke oorzaak dan ook de ontwateringseigenschappen van het slib afnemen, zal dit resulteren in een lager drogestofgehalte van het slib na de voor-ontwateringsfase. Dit betekent dat meer gedroogd slib moet worden bijgemengd (grotere retourstroom) om op het vereiste aanvangsdrogestofgehalte te komen.

\* 1 Nm<sup>3</sup> = 1 m<sup>3</sup> (0°C, 0,760 m Hg)

De verhoging van de retourstroom veroorzaakt extra slijtage van menger, transportschroeven en transportleidingen (vooral in de bochten), terwijl bovendien meer lawaai wordt geproduceerd. Uit het voorgaande is duidelijk dat de materiaalstromen binnen ruime grenzen regelbaar moeten zijn. Daarnaast kan ook de capaciteit van de ventilator een limiterende factor vormen, wanneer het watergehalte van het te drogen slib toeneemt. Wanneer te sterke korrelaangroei optreedt, kan een breker in het drogercircuit worden opgenomen, waardoor het mogelijk is grof materiaal in casu gedroogd slib na verkleining als "recycle" materiaal toe te voegen.

Het is bij droging technisch gezien niet van belang welk soort slib wordt verwerkt. Uiteraard is de samenstelling van het slib wel van belang voor de verkoopbaarheid van het gerede eindproduct (zware metalen) en/of op de productie van stankvormige componenten in de afgassen (bijvoorbeeld bijzondere verontreinigingen als kippeveren).

Het verbruik aan thermische energie bedraagt theoretisch minimaal 640 en kan oplopen tot 900 kcal. per kg verdampt water\*. Het verbruik aan elektrische energie varieert afhankelijk van het type droger en het drogestofgehalte van het slib van 10 tot 25 kWh/m<sup>3</sup> slib.

Voor wat betreft veiligheidsaspecten is vooral de vorming van ontvlambare stof van belang. In verband met mogelijke stofexplosie wordt in de drooginstallatie soms een explosiezuik aangebracht. Boven 60°C kan als gevolg van broei brand optreden in voorraadsilo's van gedroogd slib.

#### *eindproduct*

Het eind-drogestofgehalte van het korrelvormige slib, dat hygiënisch betrouwbaar is, kan tot circa 93% oplopen. Hogere waarden zijn mede in verband met stuifproblemen niet realiseerbaar. De met droging verkregen volumereductie van het slib bedraagt meer dan 90% ten opzichte van het natte uitgangproduct (ingedikt slib met omstreeks 4% droge stof). Soms worden chemicaliën als ureum en kaliumzouten toegevoegd om de waarde als meststof te verbeteren. Het gedroogde slib wordt onder meer afgezet in tuincentra, mestverwerkings- en composteringsbedrijven. De opbrengst bedraagt, afhankelijk van de gebruikswaarde als meststof, maximaal ongeveer f 150,- per ton droge stof (prijspeil 1976). Economisch is het uiteraard van belang, dat de afzet van het gedroogde slib op de lange termijn verzekerd is.

#### 1.6.3 Kosten

Pepping<sup>47</sup> geeft op basis van het prijspeil 1973 aan, dat de kosten voor slibontwatering en droging in het capaciteitsgebied van 50.000 tot 300.000 i.e. ongeveer f 500,- tot f 200,- per ton droge stof bedragen.

Op basis van de leverancierinformatie zullen de *totale* bedrijfs-

\*1 kcal = 4,19 x kJ

kosten (exclusief gebouw) voor slibontwatering en droging in dit capaciteitsgebied circa f 300,-- tot f 200,-- per ton droge stof zijn.

Door de beheerders van slibdrooginstallaties worden evenwel hogere kosten genoemd, te weten f 500,-- tot f 300,-- als *variabele* kosten per ton droge stof (30.000 tot 70.000 i.e.).

Hieruit mag niet zonder meer worden geconcludeerd, dat de praktijkkosten zoveel hoger liggen dan de leverancierskosten, zoals hier wordt gesuggereerd.

Ten aanzien van de relatieve waarden van de opgegeven getallen over de kosten van slibverwerking middels ontwatering en droging wordt gerefereerd aan de passage in paragraaf 1.3.3 p. 8 over dit onderwerp. Voor uitgebreide informatie wordt verwezen naar de paragrafen 3.2.5 pp. 78-80, 4.4.4 pp. 140-142 en hoofdstuk 5.3 pp. 169-174. Voor een globale indruk wordt hier vermeld, dat de verdeling over de vaste- en variabele kosten, afhankelijk van de capaciteit, ongeveer 40% respectievelijk 60% bedraagt. Meer dan de helft van de variabele kosten zijn energiekosten.

Volgens opgave worden voor het gedroogde slib op verschillende plaatsen prijzen gemaakt van ongeveer f 150,- per ton droge stof, hetgeen een aanzienlijke vermindering betekent van de jaarlijkse kosten voor slibverwerking via het droogproces. De verkoopbaarheid is in belangrijke mate afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van zware metalen en andere ongewenste stoffen in het slib.

#### 1.6.4 Milieuaspecten

De voornaamste factoren betreffen de luchtverontreiniging door stof- en gasvormige emissies (stank, schroeilucht). Zoals min of meer werd verwacht is de informatie op dit gebied beperkt. Het in de afgassen aanwezige stof kan met behulp van cyclonen of elektrofilters worden afgevangen. Het resultaat van de stofvangst met cyclonen is veelal onvoldoende, omdat het gedroogde materiaal niet homogeen in korrelgrootte en vochtgehalte is. Hierdoor wordt het fijne stof in de cycloon niet afgevangen. Na passage van een elektrofilter kan het afgas minder dan 100 mg stof per Nm<sup>3</sup>lucht bevatten. Als norm wordt 100 - 150 mg per Nm<sup>3</sup> gehanteerd.

Voor het bestrijden van de gasvormige componenten komt wassing, bijvoorbeeld met de venturiwasser in aanmerking.

Indien men gezien de situering van de installatie een beperkte stankemissie van de afgassen kan toelaten wordt met effluent gewassen. Door toevoeging van chemicaliën aan het waswater kan het waseffect duidelijk verbeterd worden. Andere stankbestrijdingsmethoden zoals directe naverbranding tot circa 750°C of katalytische naverbranding zouden niet in aanmerking komen, voor wat betreft de eerste methode vanwege de hoge energiekosten (het temperatuurniveau van de afgassen is laag) en voor wat betreft de tweede methode vanwege de vergiftiging van de katalysator door meegeleerde stofdeeltjes.

In de praktijk is bij de drooginstallaties in principe te voldoen aan alle eventuele geluidseisen. Zo kan door het plaatsen van ge-

luiddempers en dergelijke, het geluid van de ventilator (belangrijkste geluidsbron) tot elk gewenst niveau worden teruggebracht. Ten aanzien van het geluidsniveau binnen het gebouw, waarin de droger is geplaatst, gelden de gebruikelijke normen van omstreeks 80 dBA. De eisen die buiten het gebouw of aan de rand van het terrein gesteld worden zijn afhankelijk van de plaatselijke situatie. (industrieterrein of landelijke omgeving, zie paragraaf 1.3.4 p. 9).

#### 1.6.5 Ervaring in Nederland

De in de procesindustrie toegepaste drogers, zoals de trommel-, band-, pneumatische- en etagedroger, worden ook voor het drogen van slib gebruikt. In Nederland worden sinds enkele jaren een tiental drogers van het type Van den Broek en Seiler Koppers toegepast. Daarnaast is sinds kort een Nateko droger in gebruik genomen. Bovengenoemde typen installaties worden uitvoerig besproken in de hoofdstukken 4.4 pp. 138-142 en 5.3 pp. 169-174.

In tabel 3 is aangegeven, waar in Nederland slibdrogers worden gebruikt. Hiervan zijn er een drietal bezocht, te weten Bunnik (Seiler Koppers), Zeist (Van den Broek) en Capelle a/d IJssel (Nateko - geen voorontwatering).

| Gemeente                   | capaciteit i.e. circa | type slibdroger |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Hoogezand-Sappermeer       | 50.000                | Van den Broek   |
| Gouda-Unilever (industrie) | 125.000               | Van den Broek   |
| Hoensbroek                 | 200.000               | Van den Broek   |
| Meppel-Staphorst           | 70.000                | Van den Broek   |
| Zeist                      | 70.000                | Van den Broek   |
| Leek                       | 34.000                | Van den Broek   |
| Ridderkerk                 | 80.000                | Van den Broek   |
| Bunnik                     | 32.000                | Seiler Koppers  |
| Bunschoten                 | 30.000                | Seiler Koppers  |
| Barneveld                  | 55.000                | Seiler Koppers  |
| Epe                        | 42.000                | Seiler Koppers  |
| Capelle a/d IJssel         | 25.000                | Nateko          |

Tabel 3 . Rioolwaterzuiveringsinrichtingen in Nederland met slibdroging (RIZA)

Wanneer de voorontwatering goed verloopt, ontstaan geen problemen bij het droogproces. Het mengen van voorontwaterd slib met reeds gedroogd slib moet nauwgezet worden gecontroleerd. Dit vindt plaats op het "oog" of "gevoel" van het bedienend personeel.

Meer optimale regeling kan alleen worden gerealiseerd met een aanzienlijke uitbreiding van de meet- en regelapparatuur, hetgeen bij de relatief kleine eenheden sterk kostenverhogend werkt. Voor twee bezochte installaties, te weten Bunnik (Seiler Koppers) en Zeist (Van den Broek) geldt, dat voor de bediening van het droogproces (onder andere controle van de menging, afzakken van het gedroogde slib) niet meer dan 1 man in dagdienst wordt ingezet. Aan de bovengenoemde installaties wordt 1 à 2 maal per jaar groot onderhoud uitgevoerd. Dit houdt globaal in dat de installatie 10 tot 20 dagen buiten bedrijf is.

De stankproblemen, die inherent zijn aan het droogproces, zijn naar gelang de gestelde eisen tot een laag niveau terug te brengen. Naarmate de eisen hoger zijn zullen uiteraard de kosten van de technische maatregelen (zoals chemicaliëntoevoeging aan het waswater of thermische naverbranding) stijgen.

Afgezien van de grote volumereductie van dit slib ligt de aantrekkelijkheid van het droogproces vooral in de waarde van het eindproduct. Behalve de verkoopwaarde verdient vooral het nuttig gebruik van de materie veel aandacht.

## 1.7 VERBRANDING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 1.7.1 Algemeen

Het verbranden van slib wordt reeds lang toegepast. In het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten zijn sinds de dertiger jaren etageovens voor het verbranden van slib in gebruik. De ontwikkeling en toepassing van wervelbedovens voor slibverbranding in deze landen vindt plaats vanaf de zestiger jaren. Behoudens de verbranding van slib in combinatie met de verbranding van huisvuil te Dordrecht en de onlangs in bedrijf gestelde verbrandingsinstallatie van de rioolwaterzuiveringsinrichting Oss heeft men in Nederland geen ervaring met het verbranden van slib.

Benutting van de warmte die bij de verbranding van huisvuil vrijkomt, maakt gecombineerde huisvuil/slibverbranding in warmte-economisch opzicht aantrekkelijker. Behoudens het voordeel van de grote volumereductie, de benutting van de vrijkomende warmte en het mogelijk gebruik van de as als conditionerings- en filtratiehulpmiddel, roept de verbranding van slib, meer dan bij de andere slibverwerkingsmethoden, nevenproblemen op. Deze problemen houden verband met milieuaspecten, verbonden aan de afvoer van rookgassen en de afzet van de as. Mede door de gecompliceerde procesvoering biedt slibverwerking door middel van verbranding uitsluitend mogelijkheden voor zeer grote zuiveringsinrichtingen (richtwaarde  $> 300.000$  i.e.).

### 1.7.2 Procestechniek

Belangrijk bij de verbranding van slib zijn het watergehalte, het gehalte aan brandbare stof c.q. organische stof en de calorische waarde van het slib. De calorische waarden die vermeld worden vertonen, afhankelijk van de slibsoort, een grote spreiding. Boven een bepaald water- en/of drogestofgehalte kan de verbranding zichzelf onderhouden (autothermische verbranding). De in de literatuur genoemde drogestofgehaltenes van het slib waarbij de autothermische verbranding optreedt liggen voor slib met een organische stofgehalte van 70% tussen de 30 - 50% droge stof. De spreiding in de opgaven is niet vreemd aangezien zowel de calorische waarden van de brandbare stof voor de diverse slibsoorten als de verbrandingstemperatuur verschillen.

De totale procescombinatie van voorontwatering en verbranding moet economisch gezien optimaal zijn. Dit betekent niet, dat de voorontwateringsstap altijd het maximaal haalbare drogestofgehalte moet opleveren (filterpers). Factoren als bedrijfs-, investerings-, chemicaliën-, brandstofkosten en andere spelen mee. De combinatie van centrifuge of zeefbandpers met verbranding komt gunstig naar voren (zie paragraaf 3.3.6, pp. 94-97).

Het effect van hulpstoffen (bijvoorbeeld conditioneringsmiddelen als  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) op de verbranding met name op de calorische waarde van het slib is meestal negatief. Hulpstoffen verhogen niet alleen de asproductie (verhoging van de kosten voor de afzet), maar kunnen bovendien bij verbranding laagsmeltende slakken vormen, welke schadelijk voor de bemetseling van de oven zijn.



Daarnaast bestaat er gevaar voor corrosie (bijvoorbeeld door HCl).

De keuze van de verbrandingstemperatuur, die ligt tussen 700 - 900°C, is bepaald door de volgende factoren:

- de stankdrempel: een temperatuur van 700°C of meer is vereist voor een volledige (na)verbranding van de vrijkomende gassen;
- het verwekingspunt van de as uit het slib (circa 1000 - 1100°C);
- de warmte-economie van het verbrandingsproces;
- de eisen te stellen aan de constructiematerialen.

De verblijftijd van het materiaal in de verbrandingsoven hangt sterk af van het type apparaat en kan variëren van enkele minuten tot een veelvoud hiervan. Afhankelijk van het type apparatuur en het watergehalte van het slib bedraagt de belading per m<sup>2</sup> contactoppervlak (etageoven) respectievelijk doorsnede (wervelbedoven) ongeveer 25 - 60 kg droge stof/m<sup>2</sup>.h.

Voor de controle en de regeling van het verbrandingsproces worden in het algemeen de temperatuur, de druk alsmede het O<sub>2</sub>-, CO- en CO<sub>2</sub>-gehalte van de rookgassen en de vuurhaardtemperatuur gemeten. Beoordeling van de volledigheid van de verbranding vindt plaats aan de hand van het percentage onverbrand in het eindproduct in casu de as.

Zoals bekend heeft het watergehalte invloed op de structuur van het slib. Dit is van belang in verband met transport, dosering, verkleining en homogenisering van het slib ten behoeve van het verbrandingsproces. Gewezen wordt op mogelijke problemen bij de invoer van het slib in de wervelbedoven; zoals aankleven in de vulopening en brugvorming. Een goede "korrel"-grootte verdeling van het slib in de oven is van belang. Bij grotere klonten is de kans op onvolledige verbranding erg groot. Een "korrel"-grootte van circa 10 mm wordt vermeld als bovengrens. Door de sterke onderlinge wrijving van slib- en zanddeeltjes in het wervelbed is de kans op samenklontering van slib in dit type oven vrij gering.

### 1.7.3 Kosten

In Oss is met de totale slibverwerkingsinstallatie (300.000 i.e.) - slibontwatering en verbranding inclusief gebouw - een bedrag van 4,4 miljoen gulden gemoeid. De investeringskosten van de verbrandingsinstallatie bedragen circa 2,4 miljoen gulden. Daar er nog geen betrouwbare praktijkgegevens beschikbaar zijn kunnen de jaarlijkse exploitatiekosten in dit stadium niet worden vermeld. Op grond van voorcalculatie verwacht men dat deze kosten f 200,- tot f 300,- per ton droge stof zullen bedragen.

Met de investering van de slibverwerkingsinstallatie in Dordrecht (200.000 i.e.) is een bedrag van 8,1 miljoen gulden (prijspeil 1972) gemoeid. De jaarlijkse exploitatiekosten voor de slibverwerking bedragen f 460,- per ton droge stof. Hiervan zijn 60% kapitaalslasten.

Voor verdere informatie over kosten, die betrekking hebben op installaties in het buitenland, wordt verwezen naar paragraaf 3.3.6, pp. 94-97.

#### 1.7.4 Milieuaspecten

Deze aspecten hebben voornamelijk betrekking op de emissie van stof en gasvormige verontreinigingen en op de afzet van as. Voor het bestrijden van stof- en gasvormige emissies worden na koeling van de rookgassen cyclonen, wassers en/of elektrostatistische stoffilters (maximum werktemperatuur 350°C) toegepast. Mits goed gedimensioneerd en bedreven kan met deze apparatuur de emissie van stof, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en dergelijke, onder de normen worden gehouden. Uitgebreide normen en bedrijfsresultaten zijn weergegeven in paragraaf 3.3.7, pp. 98-102.

De stank wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van aminen en laagmoleculaire vetzuren. Een volledige analyse van de stankcomponenten is niet bekend. De stank kan efficiënt worden bestreden door verbranding bij voldoende hoge temperatuur > 700°C, bij voorkeur 800 - 850°C.

De emissie van zware metalen, pesticiden, polychloorbifenylen (PCB) is in de Verenigde Staten uitvoerig onderzocht. De emissie van zware metalen is met uitzondering van kwik gering. Pesticiden en PCB's (niet biologisch afbreekbaar) worden bij het verbrandingsproces volledig vernietigd.

In verband met stuiven moet de verbrandingsas worden bevochtigd. Een vochtgehalte van 30% is voldoende om stuifproblemen bij transport en storten te voorkomen. Bevochtiging van de as kan bijvoorbeeld gebeuren door menging met natte as uit de gaswasser. Deze natte as wordt door bezinking uit de wasvloeistof afgescheiden.

De steriele, pesticide vrije as bevat nog fosfaat, sporen stikstof, sulfaten, chloriden, chromaten, metaaloxiden en dergelijke. Gewezen wordt op de mogelijkheid van uitloging van stoffen en het gevaar van grondwaterverontreiniging.

Een ander milieuaspect is de geluidshinder. Reeds eerder is er op gewezen dat gedifferentieerde normen, afhankelijk voor de plaatselijke situatie, worden toegepast. Zo geldt voor de verbrandingsinstallatie in Dordrecht de voor het industriegebied geldende norm van 50 dBA. Voor de verbrandingsinstallatie bij Oss, die in een landelijke omgeving is gesitueerd, geldt een geluidsniveau van 36 dBA aan de grens van het terrein.

#### 1.7.5 Ervaring in Nederland

Het meest toegepast bij de verbranding van slib zijn de etageoven, de wervelbedoven en in veel mindere mate de roterende trommeloven. De etageoven bestaat uit drie zones te weten: van onder naar boven gerekend een koelzone, een verbrandingszone en een droogzone. In de droogzone vindt directe warmte- en stofuitwisseling tussen nat slib en rookgassen plaats. De wervelbedoven kenmerkt zich door de in het zandbed aanwezige ideale condities voor stof- en warmteoverdracht. De temperatuurverdeling in het bed is zeer gelijkmatig. De bedrijfszekerheid is in hoge mate afhankelijk van het handhaven van de overmaat fluidisatielucht. De oven heeft twee zones te weten:

de verbrandingszone, dit is het eigenlijke zandbed waarin pyrolyse, vergassing en verbranding plaatsvindt en de daarboven gelegen naverbrandingsruimte.

Naast de in hoofdstuk 3.3, pp. 82-103 bijeen gebrachte gegevens zijn veel praktijkervaringen onlangs gepresenteerd te Essen. Het blijkt dat slibverbranding met etage- of wervelbedovens zelfs combinaties van beide oventypes, ingezet worden of kunnen worden voor alle soorten slib. Wordt bijvoorbeeld thermisch geconditioneerd en ontwaterd slib verbrand, dan kunnen de afgassen van de thermische conditionering, die in principe naverbranding moeten ondergaan, nu toegevoegd worden aan de verbrandingsoven.

In Dordrecht wordt het slib uit de actief-slibinstallatie (200.000 i.e.), na conditionering met polyelektrolyt en ontwatering met decanteercentrifuges tot een drogestofgehalte van 18 - 20%, verbrand in een etageoven. Als bijzonderheid geldt dat voor de verbranding van het slib, de bij de verbranding van huisvuil vrijkomende warmte wordt benut. Een belangrijk uitgangspunt bij de keuze van het slibverwerkingssysteem was, dat de installatie qua opzet eenvoudig en dus procestechnisch aantrekkelijk moest zijn. Derhalve heeft men bewust geen vermenging van functies toegepast als dat niet strikt noodzakelijk was. Mede op grond van deze overweging is de verbranding van huisvuil en slib niet gezamenlijk (in één oven) maar gescheiden (in aparte ovens) uitgevoerd. De verbrandingstemperatuur ligt tussen 900 en 1000°C. Daar de bij de verbranding van huisvuil vrijkomende warmte voor de gecombineerde droging en verbranding van het slib in de etageoven wordt gebruikt, behoeft geen extra energie in de vorm van brandstof te worden toegevoerd.

De oven is thans ruim 3 jaar in gebruik. Het onderhoud is bijzonder gering. Slechts éénmaal per jaar wordt de oven geïnspecteerd.

De rookgassen van de huisvuil- en slibverbranding worden met effluent gewassen. Het waswater wordt naar de rioolwaterzuiveringsinrichting teruggevoerd. De resultaten van de wassing zijn goed; de emissies aan HF, HCl, SO<sub>2</sub> en vliegias worden regelmatig gecontroleerd. Zij blijven beneden de gestelde eisen, te weten HCl < 60 kg/h, SO<sub>2</sub> < 15 kg/h en vliegias < 150 mg/Nm<sup>3</sup>. Hoewel de gereinigde rookgassen nog een typische verbrandingsgeur verspreiden, veroorzaken zij geen stankoverlast in de omgeving.

In Oss wordt sinds kort het slib uit een carrouselinstallatie met aparte voorbezinking (300.000 i.e.) na chemische conditionering op een zeefbandpers in een wervelbedoven verbrand. De keuze van de slibverwerking middels verbranding is hier gemaakt op grond van de volgende overwegingen:

- door de aanwezigheid van voor het gistingsproces storende stoffen kan het slib niet worden uitgist;
- afzet van het slib in de landbouw is niet mogelijk;
- ontwatering van het oxydatieslootslib tot > 40%, vereist voor storten, werd moeilijk haalbaar geacht met mechanische ontwa-

teringsmethoden;

- bij droging wordt de calorische waarde van het slib niet benut.

De oventemperatuur bedraagt 700 - 900°C. Regeling van de temperatuur tijdens bedrijf vindt plaats door suppletie van brandstof (bij warmtetekort) of inspuiting van water (bij warmteoverschot). De fluidisatie wordt gecontroleerd op drukverschilmetingen onder en boven het wervelbed.

De as uit de verbrandingsinstallatie wordt in een droog elektrostatisch filter afgescheiden en vervolgens met water bevochtigd. Na een gesloten afvoersysteem (kettingtransporteurs) wordt de as in containers opgevangen en vervolgens naar een stortplaats afgevoerd. Hier wordt de as afgedekt.

De afgassen van de verbrandingsoven passeren achtereenvolgens een luchtvoorverwarmer, een nakoeler (koeling met effluent tot < 350°C) en een droog elektrostatisch stoffilter. De gassen zijn stankvrij. De stofuitwerp is laag. Meetgegevens met betrekking tot de emissies komen binnenkort beschikbaar.

Aangezien de verbrandingsinstallatie nog maar kort in bedrijf is kunnen thans nog geen betrouwbare gegevens ten aanzien van energieverbruik en dergelijke, worden verstrekt. Deze informatie is eerst op langere termijn ( 1 - 2 jaar ) te verwachten.

## 1.8 COMPOSTERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 1.8.1 Algemeen

Er zijn talrijke mogelijkheden om slib dat bij de zuivering van stedelijk afvalwater ontstaat te gebruiken als meststof. Een primaire voorwaarde is, dat het gehalte aan zware metalen en andere ongewenste componenten laag is. Evenals gedroogd slib kan ingedikt en mechanisch ontwaterd slib, bij voorkeur na pasteurisatie, worden toegepast in de landbouw. Tevens kan uit slib door compostering een geschikte organische meststof ontstaan in de vorm van een goed strooibaar product, dat vrij is van ziektekiemen en kiemkrachtige onkruidzaden.

Uit het oogpunt van milieubeheer is compostering aantrekkelijk omdat de afvalstoffen (in dit geval slib) in een natuurlijke kringloop worden teruggebracht.

### 1.8.2 Pocestechniek en eindproduct

#### *procestechniek*

In principe is het organische bestanddeel van het slib geschikt voor exotherme biologische afbraak. Daar het slib in natte of gedeeltelijk ontwaterde toestand niet voldoet aan de voor compostering vereiste optimale voorwaarden, wordt het slib niet als zodanig gecomposteerd. In de praktijk wordt het meestal na ontwatering gemengd met ander organisch rul materiaal (bijvoorbeeld huisvuil of zaagsel). Hierdoor ontstaat een losse structuur, waardoor de vereiste toevoer van lucht kan plaatsvinden, terwijl tevens de C/N-verhouding en het vochtgehalte op de gewenste waarden worden gebracht. De C/N-verhouding van het te composteren mengsel moet 15 - 30 bedragen. Bij een vochtgehalte kleiner dan 30% komt het composteringsproces tot stilstand, terwijl bij een vochtgehalte groter dan 60% het proces van aëroob naar anaëroob omslaat. Een optimaal vochtgehalte van ongeveer 50% betekent dat het slib vergaand moet worden ontwaterd. Bij een drogestofgehalte van 20 - 30% kunnen ongeveer equivalente hoeveelheden slib en huisvuil gezamenlijk worden gecomposteerd.

Door natuurlijke of biologische zelfverhitting loopt de temperatuur tijdens het composteringsproces op tot circa 70°C. Indien geen machinale voorfermentatie plaatsvindt bedraagt bij het gezamenlijk composteren van slib en huisvuil de composteringstijd 6 tot 8 maanden. In de hoofdstukken over literatuur- en leveranciersinformatie worden een aantal typen composteringsapparaten (bioreactoren) behandeld, waarmee de benodigde tijd voor compostering aanzienlijk wordt teruggebracht. Na een verblijftijd in de reactor van enkele dagen tot twee weken, afhankelijk van de apparatuur en de gevolgde werkwijze, volgt een rijpingstijd in hopen van minimaal 6 weken. De rijpingstijd kan uiteraard verkort worden door de verblijftijd in de reactor te laten toenemen.

Voor de procesregeling vindt controle en bijsturen van het zuurstof- en watergehalte plaats. Naast de toevoeging van compos-

teerbaar materiaal worden in sommige gevallen andere hulpstoffen aan het slib toegevoegd. Het doel is dan, of om de compostering efficiënter te laten verlopen, of om de bemestingswaarde van het eindproduct te verhogen.

#### *eindproduct*

Een typische samenstelling van het product na de bioreactor wordt weergegeven door de volgende waarden:

|  |           |                                     |
|--|-----------|-------------------------------------|
| C/N  | 17 - 18   | gewichtsverhouding                  |
| Kjeldahl stikstof                                    | 1 - 1,5   | gewichtsprocenten                   |
| fosfaat (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )         | + 0,8     | gewichtsprocenten                   |
| kalium (als K <sub>2</sub> O)                        | 0,1 - 0,3 | gewichtsprocenten                   |
| drogestofgehalte                                     | 40 - 60   | gewichtsprocenten                   |
| organisch materiaal                                  | 50 - 55   | gewichtsprocenten van de droge stof |
| pH   | + 6,5     |                                     |
| compost/toegevoerd materiaal (slib + koolstofdrager) | + 0,5     | volumeverhouding                    |

Na beëindiging van de rijpingsfase zijn alle gemakkelijk af te breken stoffen verdwenen. Het drogestofgehalte bedraagt dan 50 - 60%, waarvan minimaal 30% organische stof. Dit percentage varieert uiteraard met de samenstelling van het uitgangsmateriaal.

### 1.8.3 Kosten

Door leveranciers worden voor de Nederlandse situatie jaarlijkse bedrijfskosten van ongeveer f 140,- per ton droge stof vermeld (uitgaande van voorontwaterd slib met 20% droge stof). Deze kosten dienen uiteraard te worden verhoogd met de kosten van voorontwatering, die tot f 100,- per ton droge stof kunnen oplopen. Door verkoop van de compost kunnen de totale kosten van de slibcompostering duidelijk worden teruggebracht. Voor Duitsland wordt bijvoorbeeld een verkoopprijs van 15 DM per m<sup>3</sup> (stortgewicht 750 kg/m<sup>3</sup>) vermeld. Voor uitgebreidere informatie over de kosten wordt verwezen naar de hoofdstukken over literatuur- en leveranciersinformatie.

Vooralsnog moet compostering van slib in Nederland tot de mogelijke nieuwe ontwikkelingen worden gerekend.

### 1.8.4 Milieuaspecten

Mogelijke stankproblemen zijn afhankelijk van het type slib dat gecomposteerd wordt, de uitvoeringswijze van het proces en de mineralisatiegraad van de compost. Technisch gezien is de stankoverlast te ondervangen door de bioreactoren gesloten uit te voeren en de afgassen te reinigen. Dit laatste kan op twee manieren geschieden, of wel door de afgassen door een adsorptiefilter (biofilter) te leiden, dan wel door de afgassen te wassen. Het vulmateriaal van het

biofilter bestaat uit gereed eindproduct in casu compost. Bij het wassen van de afgassen kunnen deze in de aëratieruimte van de biologische zuiveringsinstallatie onder het vloeistofniveau worden afgevoerd.

#### 1.8.5 Ervaring

In het buitenland zijn tientallen bioreactoren van diverse fabrieken in gebruik. Over het algemeen levert het principe van compostering door middel van mechanische voorfermentatie gevolgd door narijping geen bijzondere problemen op. In de loop van de jaren is de aandacht op technische verbeteringen gericht geweest bijvoorbeeld ten aanzien van de procesregeling, mengen van slib en andere stoffen, toe- en afvoer van het te composteren mengsel respectievelijk de compost en de ontwikkeling van gesloten reactoren. Composteren van slib blijkt mogelijkheden te bieden, wanneer enerzijds voldoende koolstofdrager beschikbaar is en anderzijds de compost inderdaad verkocht kan worden.

In Nederland is thans nog geen ervaring aanwezig op het gebied van de slibcompostering in reactoren (bijvoorbeeld de Bioreactor of de Biozellenreactor), hoewel er veel belangstelling bestaat voor deze wijze van slibverwerking.

## 1.9 NIEUWE ONTWIKKELINGEN

De nieuwe ontwikkelingen op het gebied van slibverwerking betreffen veelal technische verbeteringen aan bestaande typen apparatuur zoals zeefbandpersen en centrifuges. In veel mindere mate zijn wezenlijk nieuwe principes te signaleren.

Op praktijkschaal zijn reeds experimenten uitgevoerd volgens het principe van mechanisch-elektrische slibontwatering, dat recentelijk door Hubert is ontwikkeld. Met deze modificatie van het zeefbandpersprincipe zijn drogestofgehalten van 30 - 42% gerealiseerd <sup>145</sup>.

Afgezien van de hiervoor besproken bioreactoren, die mogelijk voor Nederland een nieuwe ontwikkeling zullen betekenen, wordt in het buitenland op bescheiden schaal aandacht besteed aan het pyrolyseren van slib. Wanneer organisch materiaal (bijvoorbeeld slib) bij temperaturen van 600 - 1100°C wordt verhit in afwezigheid of bij zeer lage concentraties van zuurstof wordt gesproken van pyrolyse. Hierbij ontstaat een gasvormige en vaste koolstof-fase. De gasfractie levert na condensatie teer en gas. Een groot deel van de verbrandingswarmte van het uitgangsmateriaal kan worden teruggewonnen uit de verbrandingswarmte van de producten, kool, olie en gas. Uitgaande van slib met 40% as ontstaat actieve kool met een adsorptie-oppervlak van 30 - 50 m<sup>2</sup>/g verkoold slib. Dit product kan worden toegepast bij de stankbestrijding van de ventilatielucht van de slibindickers, het zuiveren van afvalwater en de verwerking van het slib.

Eventuele praktische toepassingen op grote schaal zijn voorlopig niet te verwachten. In Nederland worden door de TH-Twente <sup>144</sup> en TNO studies op dit gebied verricht.



## 1.10 CONCLUSIES

In het buitenland heeft men veel ervaring met slibverwerking. Sinds het begin van deze eeuw wordt reeds mechanische ontwatering door filterpersen en andere apparatuur toegepast; slibverbranding sinds ongeveer 1930. Ook composteringinstallaties zijn reeds lange tijd in gebruik. In Nederland is al deze ervaring veel geringer. Enerzijds wordt dit veroorzaakt door de langzame stijging van het percentage gezuiverd afvalwater. Anderzijds nemen vooral bij de kleinere inrichtingen droogbedden nog steeds een zeer belangrijke plaats in. Van de ruim 400 in 1975 in Nederland aanwezige rioolwaterzuiveringsinrichtingen zijn er immers slechts ongeveer 85 voorzien van een of andere vorm van mechanische ontwatering, droging en/of verbranding (RIZA-gegevens).

Op de Nederlandse markt is een groot aanbod van slibverwerkingsapparatuur en/of methoden. Van elk type apparaat, bijvoorbeeld filterpersen of centrifuges, zijn meerdere fabrikaten leverbaar, waarvan de praktische toepasbaarheid reeds jaren is bewezen. Een volledige slibverwerkingslijn bestaande uit op zich betrouwbare en goed functionerende componenten, is dus mogelijk. De problemen die zich in de praktijk manifesteren betreffen meestal niet technische onvolkomenheden van de apparatuur. Onzekerheid over de slibeigenschappen bij nieuwe rioolwaterzuiveringsinrichtingen, onvermijdelijke schommelingen in slibkwaliteit en slibkwantiteit en de invloed van industriële lozingen op de slibverwerkingsmogelijkheden, spelen een grote rol. De bedrijfszekerheid van de slibverwerkingsmethoden ten aanzien van deze factoren en de mogelijkheden voor efficiënte procescontrole en bijsturingmogelijkheden zijn uiterst belangrijk. Voor grote installaties zijn technisch gecompliceerde methoden als slibverbranding, die vrij ongevoelig zijn voor de eigenschappen van het slib, toepasbaar.

In Nederland is, volgens gegevens van het Indicatief Meerjaren Programma, in 1980 de volgende verdeling in grootte en aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen te verwachten:

| rioolwaterzuiveringsinrichtingen |        |
|----------------------------------|--------|
| grootte                          | aantal |
| < 5.000 i.e.                     | 153    |
| 5 - 25.000 i.e.                  | 126    |
| 25 - 100.000 i.e.                | 99     |
| < 100.000 i.e.                   | 55     |

De verwachting bestaat dat evenals nu, ook in de toekomst in Nederland vele slibverwerkingsmethoden toegepast zullen worden, variërend van indikken (afzet in de landbouw) tot slibverbranding. Er is een tendens (ook internationaal) om zoveel mogelijk de nuttige bestemmingen van het slib te bevorderen en slechts in uiterste noodzaak processen als slibverbranding toe te passen.

## 1.11 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Bij het uitvoeren van dit project zijn een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek naar voren gekomen. De voornaamste punten zijn hier samengevat.

- Fundamenteel onderzoek naar de waterbinding in het slib dient hoge prioriteit te krijgen. Niet alleen is dit noodzakelijk voor het ontwikkelen van nieuwe slibverwerkingsapparatuur en methoden, maar het bevordert tevens het meer efficiënt gebruiken van de bestaande methoden.
- Voor de diverse slibverwerkingsmethoden moet de invloed van de defosfatering op de slibkwaliteit worden bestudeerd, eventueel in combinatie met denitrificatie.
- De relatie tussen slibeigenschappen en bedrijfsresultaten van slibverwerkingsapparatuur dient te worden onderzocht. De uitvoering van gestandaardiseerde slibkarakteriseringsbepalingen is noodzakelijk voor het optimaliseren van de conditionering van het slib en de daarmee verbonden prestatie van de slibverwerkingsapparatuur. Een uitgebreid onderzoek dient te worden uitgevoerd naar bovengenoemde punten omvattend de voornaamste slibtypen, die in Nederland worden geproduceerd en gericht op de beschikbare slibverwerkingsapparatuur.
- Bij persfiltratie dienen de procestechnische en economische facetten, die verbonden zijn aan de lage- en de hogedrukssystemen (7, respectievelijk 15 ato.), nader te worden onderzocht.
- Meer inzicht is vereist in de mogelijke nuttige bestemmingen van het slib. Wat zal de maximale opnamecapaciteit van de landbouw zijn in de gebieden waar nu en in de toekomst slib geproduceerd wordt? Deze mogelijkheid en andere bestemmingen moeten uitvoerig worden beschouwd.

## 2. Slibconditionering

## Inhoud

|       |   |         |
|-------|---|---------|
| 2.1   | INLEIDING   | 36      |
| 2.2   | CHEMISCHE CONDITIONERING                            | 37 - 38 |
| 2.2.1 | Algemeen  | 37      |
| 2.2.2 | Organische conditioneringsmiddelen                  | 37      |
| 2.2.3 | Anorganische conditioneringsmiddelen                | 37 - 38 |
| 2.2.4 | Keuze en gebruik van conditioneringsmiddelen        | 38      |
| 2.3   | THERMISCHE CONDITIONERING                           | 39 - 43 |
| 2.3.1 | Algemeen  | 39      |
| 2.3.2 | Thermische conditionering boven 100°C               | 39 - 43 |
|       | <i>procestechniek</i>                               | 39 - 41 |
|       | <i>thermische conditionering en slibontwatering</i> | 41      |
|       | <i>filtraatbehandeling</i>                          | 41 - 43 |
| 2.3.3 | Thermische conditionering beneden 100°C             | 43      |
| 2.3.4 | Thermische conditionering beneden 0°C               | 43      |
| 2.4   | FYSISCHE CONDITIONERING                             | 44 - 45 |
| 2.4.1 | Algemeen  | 44      |
| 2.4.2 | Conditioneringsmiddelen                             | 44 - 45 |
|       | <i>gedroogd slib</i>                                | 44      |
|       | <i>verkoold slib</i>                                | 44      |
|       | <i>verast slib</i>                                  | 44 - 45 |
|       | <i>vliegass en andere stoffen</i>                   | 45      |
| 2.4.3 | Fysische conditionering en slibontwatering          | 45      |

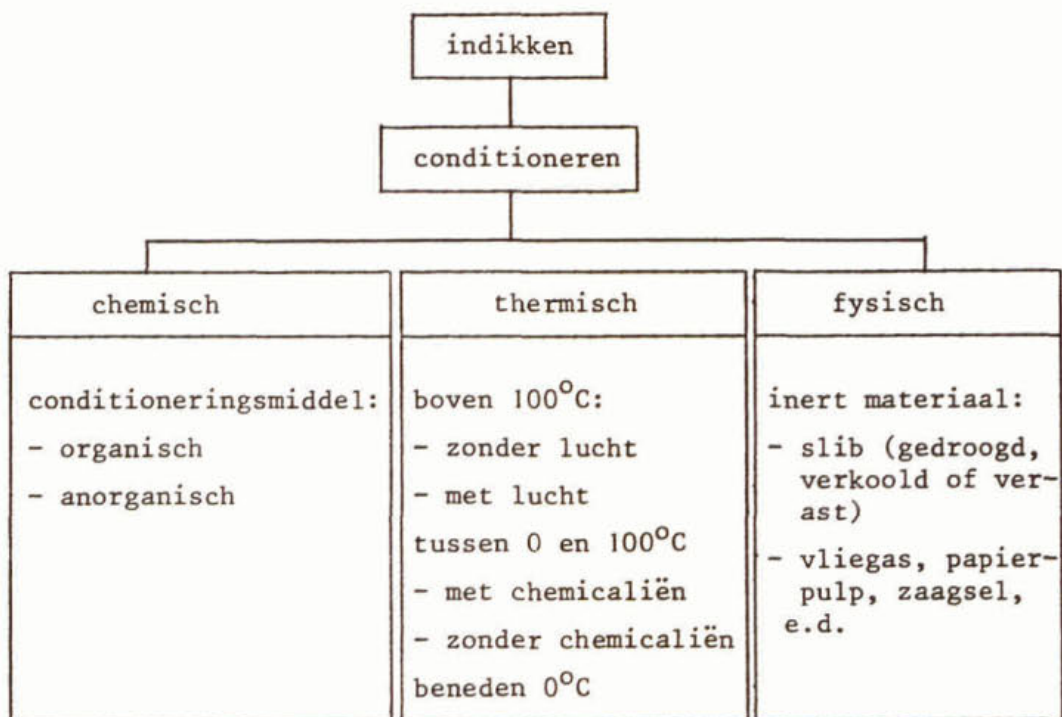
Om zuiveringsslib langs mechanische weg te ontwateren moet dit vrijwel steeds een voorbehandeling (conditionering) ondergaan.

Deze voorbehandeling heeft een zeer grote invloed op het bereikbare drogestofgehalte in het eindproduct en het rendement van de ontwateringsapparatuur.

Daarom werd dit hoofdstuk geheel aan recente literatuur- en praktijkinformatie over slibconditionering gewijd. De nadruk is daarbij vooral gelegd op conditioneringsmethoden die worden toegepast in combinatie met ontwateringsapparatuur waarmee een drogestofgehalte boven de 40% kan worden bereikt.

Dit hoofdstuk dient dan ook gelezen te worden in samenhang met de delen 3, 4 en 5, waarin processen worden beschreven waarmee een dergelijk gehalte kan worden gerealiseerd.

De conditioneringsmethoden kunnen in drie categorieën worden onderverdeeld, hetgeen in onderstaand schema is weergegeven. De indeling is gebaseerd op de chemische, thermische en fysische (toevoeging van inert materiaal) behandeling die het slib voor ontwatering moet ondergaan.



De biologische slibstabilisatie door anaerobe slibgisting, waarbij de ontwaterbaarheid van het slib aanzienlijk verbetert, is in dit rapport niet opgenomen.

De aerobe biologische mineralisatie door compostering is in de hoofdstukken 3.5 en 4.5 behandeld (pp. 105-113, respectievelijk pp. 143-150).

## 2.2 CHEMISCHE CONDITIONERING

### 2.2.1 Algemeen

Verskillende chemicaliën worden toegepast om slib chemisch te conditioneren. De meest gangbare middelen met hun toepassingsmogelijkheden en voor- en nadelen zullen hier worden besproken.

Een belangrijk aspect, waaraan vaak te weinig aandacht wordt besteed, is de sterkte van chemisch geconditioneerde slibvlokken. Deze moet voldoende zijn om de afschuifkrachten op te vangen die bij de mechanische ontwateringsstappen (pompen, transporteren, filtreren, enzovoorts) optreden. Webb<sup>13</sup> behandelt dit onderwerp uitvoerig; Cupery<sup>15</sup> toont aan, dat de mechanische sterkte onder meer afhankelijk is van het type flocculant. Uit deze informatie is echter geen algemene richtlijn voor de praktijk af te leiden.

### 2.2.2 Organische conditioneringsmiddelen

Niet-ionogene, kation- of anionactieve polymere verbindingen worden toegepast. Hun werking berust op beïnvloeding van de elektrische lading van de colloïdale slibstructuur, waardoor destabilisatie en coagulatie optreedt en grotere vlokagglomeraten worden gevormd.

Door deze conditioneringswijze (dosering 2-5 g polymeren/kg droge stof) wordt de hoeveelheid slib, noch de pH van het water en evenmin de pH van het slib beïnvloed. Ook worden geen elektrolyten aan het slib toegevoegd, die bij eventuele latere slibverbranding corrosieproblemen kunnen oproepen. Een nadeel is dat de geconditioneerde vlok erg kwetsbaar is voor mechanische invloeden.

De toepassing vindt voornamelijk plaats bij apparatuur die voor de meeste slibsoorten een vrij laag drogestofgehalte oplevert zoals vacuümfilters, zeefbandpersen en centrifuges. In enkele gevallen worden hiermee evenwel hogere drogestofgehalten verkregen, bijvoorbeeld 35 - 40% bij uitgegist slib van oxydatiebedden (Willmes Continupak - slibontwateringspers (hoofdstuk 4.3 pp. 131-137)). Toepassing van een filterpers, waarbij circa 30% droge stof werd bereikt, wordt vermeld in <sup>67</sup>.

Bij de rioolwaterzuiveringsinrichting van Schaffhausen wordt het ingedikte slib geconditioneerd met polyelektrolyet en kalk. Na ontwatering met een decanteercentrifuge bedraagt het drogestofgehalte van het slib 30 à 35% <sup>141</sup>.

Recente informatie over het ontwateringsmechanisme bij toepassing van polyelektrolyten en de invloed van het molecuulgewicht wordt gegeven door Novak & O'Brien <sup>91</sup> en Robert & Olsson <sup>92</sup>.

### 2.2.3 Anorganische conditioneringsmiddelen

De gewenste adsorptie- en coagulatie-eigenschappen van de colloïdale slibvlokken kunnen met gehydrolyseerde ijzer- en aluminiumzouten worden ingesteld. FeCl<sub>3</sub> wordt veelal toegepast (5 - 15% FeCl<sub>3</sub> - als 4% oplossing - per kg droge stof). Om na de condi-

tionering efficiënt te kunnen filtreren is bijna altijd een toevoeging 15-30%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  per kg droge stof vereist. De pH loopt daardoor op tot 11 à 12; na ontwatering met de filterpers ontstaat een chemisch stabiele, goed ontwaterde filterkoek met 40% droge stof.

In Engeland wordt een combinatie van  $\text{FeSO}_4$  (copperash) en kalk of aluminiumchlorhydraat ook wel als conditioneringsmiddel gebruikt 17, 18.

Dotson 16 vermeldt dat de pathogene micro-organismen in het slib vernietigd worden als de pH gedurende twee of meer uur boven 11 blijft, zodat tevens desinfectie optreedt.

Ook uit onderzoeken van Kampelmacher 42 is gebleken dat bij conditionering met ferrichloride of ferrosulfaat en kalk een aanzienlijke reductie van ziektekiemen plaatsvindt.

Tussen de conditionering en de filtratie wordt soms een indikking toegepast. Bij verbrandingsinstallaties voor slibkoeken kiest men soms een combinatie van fysische en chemische conditionering ter vergroting van de filterbelasting en reductie van de vereiste hoeveelheid chemicaliën. De as wordt hiertoe bij het slib gevoegd.

Nadelen van deze conditioneringswijze zijn de toename van de hoeveelheid inerte drogestof en de afname van de calorische waarde voor verbranding. Hierdoor moet de capaciteit van filterpers en eventuele verdere apparatuur (bijvoorbeeld drogers of verbrandingsovens) worden vergroot.

Na anorganische conditionering zijn de filterkoeken van de kammerfilterpers drukvast; zij nemen ook bij regen geen water meer op 14. Het is wel aan te bevelen om in elk specifiek geval na te gaan of de ontwatering inderdaad irreversibel is.

#### 2.2.4 Keuze en gebruik van conditioneringsmiddelen

Voor het bereiken van een drogestofgehalte van ongeveer 40% zullen in het algemeen anorganische conditioneringsmiddelen worden gekozen.

Bij deze keuze zullen behalve de kostenaspecten ook procestechnische factoren, met name de mechanische sterkte van de geconditioneerde slibvlokken, moeten worden beschouwd.

Voor een efficiënt gebruik van de chemicaliën moet de conditionering met frequente laboratoriumtesten worden gevolgd. Hiertoe leent zich onder meer de snelle "capillary suction test", die in Engeland werd ontwikkeld 17, 18.

De hoeveelheid chemicaliën is vooral afhankelijk van het gloei-verlies en de alkaliteit van het te conditioneren slib.

Een goede controle van het conditioneringsproces levert niet alleen een besparing aan chemicaliën, maar is van beslissende invloed op de volgende ontwateringsstap.

## 2.3 THERMISCHE CONDITIONERING

### 2.3.1 Algemeen

De thermische conditionering van slib is naar procestemperatuur te onderscheiden in drie categorieën: boven  $100^{\circ}\text{C}$ , beneden  $100^{\circ}\text{C}$  en onder  $0^{\circ}\text{C}$ .

De meeste aandacht is hier geschonken aan de conditionering boven  $100^{\circ}\text{C}$  die, gezien de literatuur-, leveranciers- en praktijkinformatie, de meeste perspectieven biedt.

### 2.3.2 Thermische conditionering boven $100^{\circ}\text{C}$

#### *procestechniek*

Het inzicht in de chemische en fysische reacties, die bij de thermische behandeling van het slib optreden, is betrekkelijk gering. Dit staat een bedrijfszekere toepassing van de methode echter niet in de weg.

Vermoedelijk wordt door coagulatie van de eiwitachtige colloïden de gelstructuur van het slib verstoord. Als gevolg van de hoge temperatuur en druk vindt ontleding van de celinhoud plaats. De macromoleculaire celinhoud, polymere koolwaterstoffen en eiwitten gaan voor een groot deel over in oplosbare monomeren. Met deze omzetting gaat een verandering van de fysische structuur gepaard. Een deel van het water dat in de cel aanwezig is of colloïdaal is gebonden, komt bij de hittebehandeling vrij. Het asgehalte van de overblijvende droge stof neemt toe, waardoor de verwerkbaarheid van het slib sterk verbetert <sup>19</sup>.

De thermische behandeling kan worden uitgevoerd, in aanwezigheid of afwezigheid van lucht en met of zonder chemicaliën. In 1936 werd het Porteous proces ontwikkeld. Hierbij wordt het slib gedurende 30-45 minuten verhit tot  $170 - 220^{\circ}\text{C}$ , respectievelijk 18 - 24 ato (zie figuur 1 ).

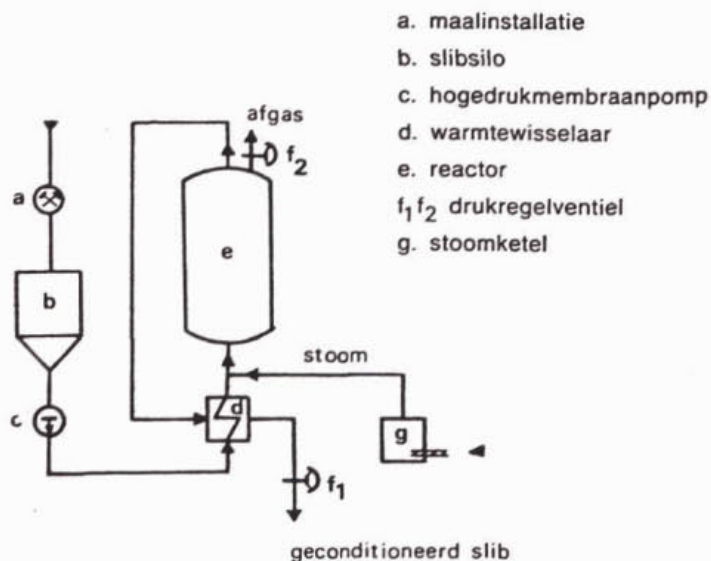


Fig. 1. Schema van het Porteous proces



Er zijn veel uitvoeringsvormen bekend, die gebruik maken van het Porteous principe, bijvoorbeeld Dorr-Oliver-Farrer <sup>72</sup> von Roll, Technifa <sup>19</sup> en Vereinigte Kesselwerke <sup>69</sup>.

Wordt de thermische conditionering uitgevoerd in aanwezigheid van lucht, dan wordt gesproken van het natte oxydatie- of Zimmermann proces (zie figuur 2). Door sturing van de procesomstandigheden (temperatuur, verblijftijd, lucht/slibverhouding) kan de oxydatiegraad van het slib (dat is het verschil in CZV van het slib voor- en na thermische behandeling) worden beïnvloed.

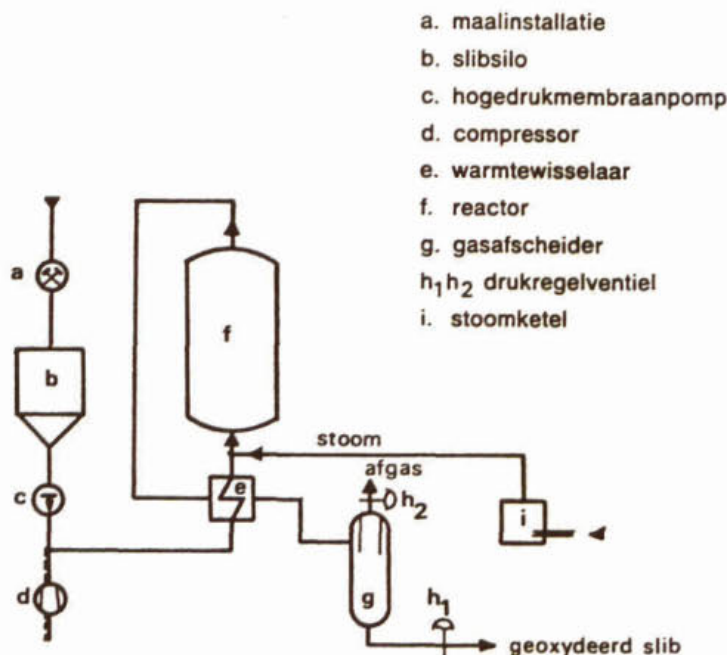


Fig. 2. Schema van het Zimmermann proces

De ontwateringseigenschappen (bijvoorbeeld de filtratieweerstand) blijken reeds bij 5-15% CZV-reductie dermate te verbeteren dat mechanische ontwatering goed uitvoerbaar is <sup>20</sup>.

Bedrijfsvoering bij een oxydatiegraad niet hoger dan nodig voor een goede ontwatering van het slib, wordt tegenwoordig geprefereerd <sup>21</sup>.

Typische procescondities zijn: temperatuur 185°C, druk 21 ato., verblijftijd in de reactor 20 minuten <sup>21</sup>. Voor modelstudies aangaande het Zimmermann proces wordt verwezen naar Ploos van Amstel <sup>23</sup> en Everett <sup>35</sup>.

Recente onderzoeken wijzen uit, dat de pH bij de thermische behandeling een grote invloed kan hebben op de uiteindelijke ontwaterbaarheid van het slib <sup>25, 27</sup>.

Corrosie- en aankorstingsproblemen treden vaak op; regelmatige wassingen met zuren zijn vereist voor een efficiënte warmteoverdracht in de warmtewisselaars.

Zowel de gassen uit de reactor als het geconditioneerde slib (bij hoge temperatuur) veroorzaken luchtverontreinigingsproblemen (stank). Katalytische verbranding van de reactorgassen blijkt soms een minder effectieve bestrijdingsmethode dan thermische verbranding.

Het Zimmermann proces blijkt eveneens goed toepasbaar voor het mengsel van biologisch en chemisch slib, dat gevormd wordt bij defosfatering<sup>76</sup>.

Bij thermische conditionering treedt "scaling" op; de invloed van fosfaathoudend slib op dit verschijnsel moet worden nagegaan.

#### *thermische conditionering en slibontwatering*

In talrijke publicaties wordt ingegaan op de samenhang tussen procesomstandigheden (temperatuur, druk en verblijftijd) en ontwaterbaarheid<sup>19, 26, 27</sup> (zie figuur 3 en 4, p. 42).

Na de thermische conditionering volgt, meestal voorafgegaan door tussenindikking, de mechanische ontwatering. Bij indikken tot 10 à 15% droge stof kan zonder toevoeging van hulpmiddelen met filterpersen, vacuümfilters of centrifuges 40 - 60% droge stof worden bereikt<sup>19</sup>.

De thermische conditionering blijkt goed toepasbaar voor uiteenlopende slibsoorten; een gunstig nevenaspect bij hoge temperatuur is de sterilisatie van het slib<sup>28</sup>. Bij de procesvoering moet echter worden opgelet, dat het steriele eindproduct niet wordt besmet; hoge kiemgetallen werden verrassenderwijs gevonden<sup>29</sup> in filterkoecken van thermische conditioneringsinstallaties (procesomstandigheden: 200°C, 17 ato., 30-45 minuten).

Voor de toepassing van droogbedden voor thermisch geconditioneerd slib wordt verwezen naar Mc Donald, Page & Belliss<sup>71</sup>. Stankproblemen treden op, wanneer het slib vrij warm (circa 45°C) op de droogbedden wordt gebracht.

#### *filtraatbehandeling*

Bij thermische conditionering ontstaat een filtraat of supernatant, dat een zeer hoge BZV of CZV waarde (enige duizenden mg/l) kan hebben.

Voor wat betreft de filtraatbehandeling in samenhang met de totale economie van het slibverwerken wordt verwezen naar Kalbskopff<sup>27</sup>; hier zijn enkele mogelijkheden behandeld aan de hand van onderstaand schema.

| filtraatbehandeling      |                       |                |
|--------------------------|-----------------------|----------------|
| biochemisch              | fysisch-chemisch      | direct gebruik |
| - aerob in de zuivering  | - indampen/verbranden | - meststof     |
| - aerob in apart systeem | - actieve kool        |                |
| - anaerobe gisting       |                       |                |

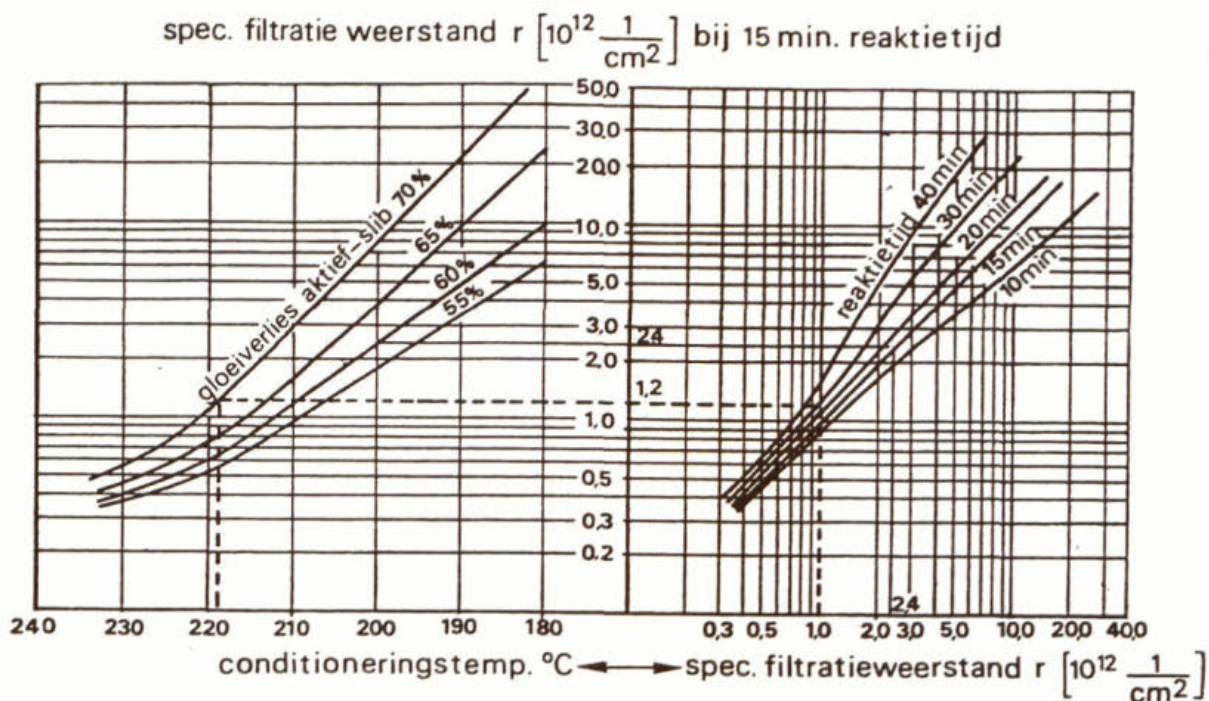


Fig. 3. Temperatuur, gloeiverlies, verblijftijd en specifieke filtratieweerstand <sup>19</sup>

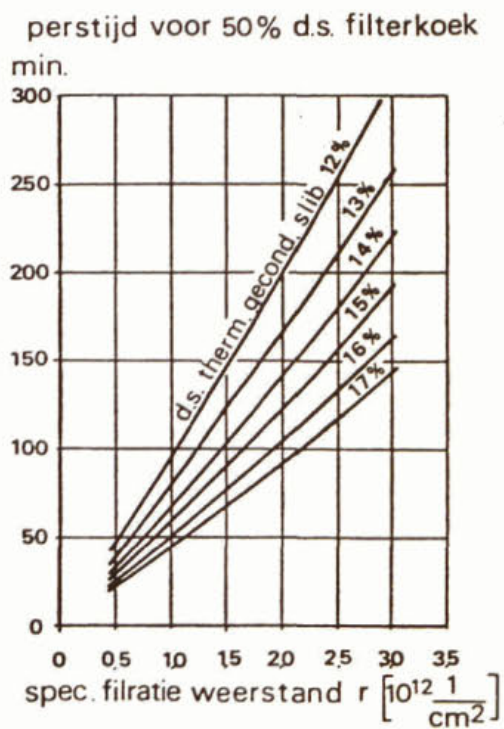


Fig. 4. Perstijd en specifieke filtratieweerstand <sup>19</sup>

De verwerking van het filtraat of decantaat kan geschieden door biochemische afbraak onder aerobe of anaerobe condities.

Bij terugvoer naar de beluchtingsruimte, waarin de zuivering van het afvalwater plaats vindt, moet rekening gehouden worden <sup>74, 89</sup> met een aanzienlijke toename in de vereiste zuurstoftoevoer (circa 10% - 20%).

Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de dagelijkse variatie in de afvalwateraanvoer. Wanneer de toevoer van het filtraat hierop wordt afgestemd kan de geïnstalleerde beluchtingscapaciteit meer gelijkmatig worden benut <sup>30</sup>. Beluchting in een separate ruimte, eventueel gevolgd door een behandeling met een actieve kool, wordt ook voorgesteld <sup>31</sup>.

Als gevolg van de hoge concentratie aan CZV of BZV blijkt anaerobe vergisting niet alleen praktisch, maar ook economisch erg aantrekkelijk <sup>27, 32</sup>. De vloeistof, die na de anaerobe gisting en de afscheiding van het slib overblijft, bevat nog veel CZV of BZV en kan teruggevoerd worden naar de beluchtingsruimte waar de zuivering van het afvalwater plaats vindt. Er is geconstateerd, dat hierdoor de kwaliteit of samenstelling van het actief-slib wordt beïnvloed en met name de vorming van licht slib kan worden veroorzaakt <sup>33</sup>.

Ook fysisch-chemische methoden kunnen worden toegepast, zoals multiple-effect verdampers gevolgd door bijvoorbeeld verbranding van de geconcentreerde vloeistof <sup>34, 35</sup>.

Het bij de ontwatering van thermisch geconditioneerd slib vrijkomende water biedt eveneens interessante toepassingsmogelijkheden als meststof, indien de te bemesten gronden zich in de directe omgeving van de rioolwaterzuiveringsinrichting bevinden. Het blijkt namelijk, dat de zware metalen als Zn, Cu, Ni, Cr en Pb voor het grootste deel in de vaste fase (slib) achterblijven, zodat een hoogwaardige stikstofrijke vloeistof overblijft <sup>36</sup>. Bij terugvoer naar de zuivering geeft dit uiteraard een extra N-belasting.

### 2.3.3 Thermische conditionering beneden 100°C

Thermische conditionering van slib bij circa 180°C levert nagenoeg altijd goede resultaten voor de ontwaterbaarheid van het slib. Bij thermische behandeling beneden 100°C, al of niet in combinatie met chemicaliën, zijn de resultaten niet eenduidig.

Afhankelijk van de soort slib werd in een aantal gevallen een verbetering van de ontwaterbaarheid geconstateerd <sup>37, 38, 39</sup>. De behandeling boven 150°C (bij voorkeur boven 180°C) blijkt over het algemeen echter meer bedrijfszeker.

### 2.3.4 Thermische conditionering beneden 0°C

Door bevriezing wordt de structuur van het slib zodanig verstoord, dat na ontdooing de ontwatering sterk verbetert.

Het geconditioneerde slib is erg fragiel, hoge drogestofgehalten zijn bij mechanische ontwatering moeilijk te realiseren en de proceskosten zijn erg hoog.

In het kader van dit onderzoek wordt deze methode daarom niet beschouwd. Literatuurinformatie over dit onderwerp wordt gegeven door Zimmer <sup>37</sup>.

## 2.4 FYSISCHE CONDITIONERING

### 2.4.1 Algemeen

In tegenstelling tot de thermische conditionering, waarbij het slib zelf een duidelijke structuurverbetering ondergaat, wordt bij fysische conditionering een inert materiaal toegevoegd om de ontwaterbaarheid te verbeteren.

Dit materiaal kan afkomstig zijn van een volgende verwerkingstrap (bijvoorbeeld gedroogd, verkoold of verast slib), maar ook stoffen als vlieg-as, zaagsel en dergelijke materialen zijn bruikbaar.

Het doel van fysische conditionering is niet alleen verbetering van de ontwaterbaarheid, maar ook het verbeteren van de verwerkbaarheid (zoals transport) van het eindproduct.

### 2.4.2 Conditioneringsmiddelen

#### *gedroogd slib*

Bij het Seiler-Koppers systeem<sup>57</sup> en de Van den Broek-droger<sup>58</sup> wordt ingedikd slib met reeds gedroogd slib gemengd. Hierdoor ontstaat een korrelig product met circa 30% droge stof dat in de droogtrommel wordt gestort.

#### *verkoold slib*

Slib kan onder bepaalde procesomstandigheden worden verkoold (zie: hoofdstuk 3.4 p. 104).

Dit verkoolde slib is adsorberend en kan als zodanig worden gebruikt bij de waterzuivering, hetzij als simultaanproces, hetzij als tertiaire trap.

Toepassing als conditioneringsmiddel bij de mechanische ontwatering is mogelijk, maar vindt zelden plaats, vermoedelijk omdat slibverbranding veelal goedkoper is dan -verkoling.

#### *verast slib*

Verast slib wordt bij veel slibontwateringssystemen toegepast. Daardoor kan bovendien een aanzienlijke besparing worden bereikt op de chemicaliën die veelal voor de ontwatering extra worden toegevoegd.

De as kan als precoat op de filterdoeken van een filterpers worden aangebracht of worden gemengd met het slib na de chemische conditionering<sup>59</sup>.

In de praktijk worden 1 tot 5 (vaak circa 2) gewichtsdelens as per gewichtsdeel slib (als droge stof) gebruikt bij vacuum- of persfiltratie.

Een belangrijke factor in de effectiviteit van as als filtratiehulpmiddel is de deeltjesgrootte, die bij voorkeur kleiner moet zijn dan 0,1 mm<sup>61</sup>.

Als voordeel van verast slib wordt een "betere" filtraatkwaliteit vermeld die voornamelijk het gevolg is van een lager drogestofge-

halte in het filtraat <sup>60</sup>. Hier staat tegenover, dat het gehalte aan opgeloste anorganische zouten toeneemt. Aangezien zware metalen vrij gemakkelijk uit verast slib op kunnen lossen zal voor elk geval, mede met het oog op de afzet van het eindproduct, moeten worden nagegaan of dit problemen veroorzaakt <sup>62</sup>.

Een ander nadeel van as is de toename van het vochtgehalte van het geconditioneerde slib, betrokken op de oorspronkelijke hoeveelheid.

De verbrandingswaarde van het aldus geconditioneerde slib neemt daardoor duidelijk af, mede als gevolg van de hoeveelheid toegevoegd inert materiaal.

De fysische en chemische eigenschappen van verast slib hangen af van de samenstelling van het slib (asgehalte, chemische hulpmiddelen), de verbrandingstemperatuur en het type verbrandingsoven. Door combinatie van verast slib en extra chemicaliën, kunnen variaties in de eigenschappen van de as ten behoeve van de ontwatering worden opgevangen <sup>63</sup>.

#### *vliegias en andere stoffen*

Vliegias van huisvuil- en slibverbrandingsinstallaties wordt veelvuldig toegepast als filtratiehulpmiddel.

Wanneer vliegias met slib wordt gemengd, worden de slibdeeltjes gebonden aan het oppervlak van de vliegiasdeeltjes door chemische en/of elektrostatische interacties. Soms moeten extra chemicaliën worden toegevoegd om deze reacties te versnellen. Er ontstaat een driedimensionale roosterstructuur, waarvan de sterkte afhangt van zowel de slib- als de vliegias-eigenschappen. Deze poreuze structuur verbetert de ontwaterbaarheid van het slib aanzienlijk <sup>65</sup>.

Voor de invloed van de vliegias-toevoeging op de verbrandingswaarde van de filterkoek wordt verwezen naar Bond & Straub <sup>64</sup>. De fysische en chemische eigenschappen van vliegias bepalen de werking als conditioneringsmiddel; zij zijn voornamelijk afhankelijk van het uitgangsmateriaal.

Andere stoffen, die als filtratiehulpmiddel worden vermeld zijn, onder andere papierpulp, zaagsel <sup>66</sup>, kieselgoer en calciumcarbonaat <sup>8</sup>.

#### 2.4.3 Fysische conditionering en slibontwatering

De ontwaterbaarheid van het slib kan worden verbeterd door toevoeging van droog, meestal inert, materiaal. Als gevolg hiervan neemt het drogestofgehalte van de ontwaterde filterkoek toe.

Filterpersen en centrifuges <sup>66</sup> kunnen gebruikt worden om tot meer dan 40% droge stof in het eindproduct te komen.

De verhoging van het drogestofgehalte is veelal niet slechts een gevolg van beïnvloeding van de ontwateringseigenschappen van het slib, doch veel meer van de vermenging van nat slib met de toegevoegde droge stof. Betrokken op het uitgangsslib wordt de ontwatering derhalve meestal *niet* verbeterd. Het mengsel van slib en inert materiaal is echter wel goed hanteerbaar en is bij 40% drogestofgehalte zonder meer goed verwerkbaar op stortplaatsen.

### 3. Literatuurinformatie

## Inhoud

|         |  |         |
|---------|--|---------|
| 3.1     | MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP | 51 - 72 |
| 3.1.1   | Inleiding                                      | 51      |
| 3.1.2   | De filterpers                                  | 51 - 70 |
| 3.1.2.1 | <i>algemeen</i>                                | 51      |
| 3.1.2.2 | <i>procesomstandigheden</i>                    | 51 - 58 |
|         | <i>het uitgangsmateriaal</i>                   | 51 - 57 |
|         | <i>de filterbelasting</i>                      | 57      |
|         | <i>de filtratiedruk</i>                        | 57      |
|         | <i>de perstijd</i>                             | 57 - 58 |
|         | <i>de koekdikte</i>                            | 58      |
| 3.1.2.3 | <i>procesvoering</i>                           | 58 - 59 |
|         | <i>procesbeheersing</i>                        | 58 - 59 |
|         | <i>automatisering</i>                          | 59      |
| 3.1.2.4 | <i>bedrijfsresultaten</i>                      | 59 - 62 |
|         | <i>het drogestofgehalte van de filterkoek</i>  | 59 - 61 |
|         | <i>het energie- en waterverbruik</i>           | 62      |
| 3.1.2.5 | <i>apparatuur en filterdoek</i>                | 62 - 65 |
|         | <i>apparatuur</i>                              | 62 - 63 |
|         | <i>filterdoek</i>                              | 63 - 65 |
| 3.1.2.6 | <i>kosten</i>                                  | 65 - 69 |
| 3.1.2.7 | <i>milieuaspecten</i>                          | 69 - 70 |
| 3.1.2.8 | <i>discussie</i>                               | 70      |
| 3.1.2.9 | <i>nieuwe ontwikkelingen</i>                   | 70      |
| 3.1.3   | Andere mechanische ontwateringsapparatuur      | 70 - 72 |
| 3.1.3.1 | <i>algemeen</i>                                | 70 - 71 |
| 3.1.3.2 | <i>kosten</i>                                  | 71 - 72 |
| 3.2     | DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP                 | 73 - 81 |
| 3.2.1   | Inleiding                                      | 73      |
| 3.2.2   | Procesomstandigheden                           | 73 - 76 |
|         | <i>algemeen</i>                                | 73      |
|         | <i>uitgangsmateriaal</i>                       | 73 - 74 |
|         | <i>temperatuur</i>                             | 74 - 76 |
|         | <i>droogtijd</i>                               | 76      |
| 3.2.3   | Bedrijfsresultaten                             | 76      |
|         | <i>drogestofgehalte van het eindproduct</i>    | 76      |
|         | <i>energieverbruik</i>                         | 76      |
| 3.2.4   | Apparatuur                                     | 76 - 78 |
| 3.2.5   | Kosten   | 78 - 80 |
| 3.2.6   | Milieuaspecten                                 | 81      |



|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 3.3   | VERBRANDING ALS LAATSTE PROCESSTAP             | 82 - 103  |
| 3.3.1 | Inleiding                                      | 82        |
| 3.3.2 | Procesomstandigheden                           | 82 - 88   |
|       | <i>het uitgangsmateriaal</i>                   | 82 - 85   |
|       | <i>de belading</i>                             | 85        |
|       | <i>de luchtvermaat</i>                         | 85 - 86   |
|       | <i>de temperatuur</i>                          | 86 - 87   |
|       | <i>de verblijftijd</i>                         | 88        |
| 3.3.3 | Controle en ontwerpcriteria                    | 88        |
|       | <i>controle</i>                                | 88        |
|       | <i>ontwerpcriteria</i>                         | 88        |
| 3.3.4 | Bedrijfsresultaten                             | 88 - 93   |
|       | <i>algemeen</i>                                | 88 - 89   |
|       | <i>energieverbruik</i>                         | 89 - 93   |
| 3.3.5 | Apparatuur                                     | 93 - 94   |
|       | <i>algemeen</i>                                | 93        |
|       | <i>etageoven</i>                               | 93        |
|       | <i>wervelbedoven</i>                           | 93 - 94   |
| 3.3.6 | Kosten   | 94 - 97   |
| 3.3.7 | Milieuaspecten                                 | 98 - 102  |
|       | <i>stof en gasvormige verontreinigingen</i>    | 98 - 101  |
|       | <i>afzet van de as</i>                         | 101 - 102 |
|       | <i>geluidshinder</i>                           | 102       |
| 3.3.8 | Slib/huisvuilverbranding                       | 102 - 103 |
| 3.4   | PYROLYSE ALS LAATSTE PROCESSTAP                | 104       |
| 3.5   | COMPOSTERING ALS LAATSTE PROCESSTAP            | 105 - 113 |
| 3.5.1 | Inleiding                                      | 105       |
| 3.5.2 | Procesomstandigheden                           | 105 - 108 |
|       | <i>algemeen</i>                                | 105       |
|       | <i>uitgangsmateriaal</i>                       | 105 - 108 |
|       | <i>composteringstemperatuur</i>                | 108       |
|       | <i>procestijd</i>                              | 108       |
|       | <i>zuurstof en/of kooldioxyde concentratie</i> | 108       |
| 3.5.3 | Bedrijfsresultaten                             | 108 - 109 |
|       | <i>energie</i>                                 | 108 - 109 |
|       | <i>hulpstoffen</i>                             | 109       |
|       | <i>eindproduct</i>                             | 109       |
| 3.5.4 | Apparatuur                                     | 109 - 111 |
| 3.5.5 | Kosten   | 111 - 113 |
| 3.5.6 | Milieuaspecten                                 | 113       |
| 3.5.7 | Voor- en nadelen                               | 113       |

### 3.1 MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

#### 3.1.1 Inleiding

Voor de mechanische ontwatering van zuiveringsslib tot een eindproduct met meer dan 40% droge stof worden meestal kamerfilterpersen gebruikt. Dit, omdat deze persen van alle mechanische ontwateringsapparatuur relatief het minst gevoelig zijn voor verschillen in aard en samenstelling van het uitgangsmateriaal.

Daarom ligt in dit hoofdstuk het accent op slibontwatering met filterpersen; andere apparatuur die, volgens de literatuur, een eindproduct met meer dan 40% droge stof levert, wordt in 3.1.3 (pp. 70-72) besproken.

Op de slibconditionering, die aan de mechanische ontwatering voorafgaat, wordt hier niet ingegaan; deze is behandeld in deel 2.

#### 3.1.2 De filterpers

##### 3.1.2.1 *algemeen*

In 1881 werd zuiveringsslib voor het eerst met een filterpers ontwaterd<sup>42</sup>. Dit gebeurde in Engeland, waar thans op ongeveer 130 plaatsen dergelijke installaties worden gebruikt<sup>67</sup>.

Sedert 1881 is voornamelijk de kwaliteit van het filterdoek<sup>4</sup> verbeterd en de procesvoering geautomatiseerd, aspecten die direct verband houden met de bedrijfskosten.

Onlangs is daar de ontwikkeling van nieuwe constructiematerialen - zoals polypropyleen voor filterplaten - bijgekomen. Het principe van de filterpers is sedert 1881 echter niet gewijzigd.

De meest relevante literatuurinformatie over perstijden, filterbelastingen, drogestofgehalten van filterkoeken en dergelijke is in tabel 4 (pp. 52 - 56) samengevat. Hieruit blijkt het gebrek aan kennis; de informatie is zelden volledig. In tabel 4 is - voor zover mogelijk - tevens de slibsoort, de wijze van conditioneren, de filtratiedruk en de koekdikte vermeld. Indien nodig is in de kolom "opmerkingen" verwezen naar aanvullende tabellen en figuren, elders in de tekst.

##### 3.1.2.2 *procesomstandigheden*

Het resultaat van persfilterontwatering wordt bepaald door de volgende grootheden, zowel afzonderlijk als in combinatie:

- het uitgangsmateriaal;
- de filterbelasting ;
- de filtratiedruk ;
- de perstijd \* ;
- de koekdikte .

De optimale omstandigheden moeten experimenteel worden bepaald<sup>6</sup>.

##### *het uitgangsmateriaal*

Voorafgaand aan het ontwateringsproces wordt het slib chemisch, thermisch of fysisch geconditioneerd (zie deel 2 pp. 36-45). Hierdoor worden verschillen in slibeigenschappen opgevangen en bepaalde ontwateringskenmerken - zoals de specifieke filtratieweerstand (r) of de "capillary

\* niet te verwarren met de cyclustijd (perstijd + lostijd)

| lit. ref. | slib                                |          | slibconditionering<br>chemisch   | procesomstandigheden |  |              | filterkoek         |          | opmerkingen   |
|-----------|-------------------------------------|----------|--|----------------------|--|--------------|--------------------|----------|---|
|           | soort                               | d.o. (%) |  | proceesdruk (ato)    | filterbelasting (kg d.o./m <sup>2</sup> .h)                    | peretijd (h) | dikte (mm)         | d.o. (%) |   |
| 6         |                                     |          |  | 5 - 25               | 5 - 15   |              | 10 - 50            |          | $\text{filterbelasting: } L_f = \frac{Gk \cdot f \cdot 60}{(1+n) \cdot 100 \cdot f \cdot T} \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{h)}$ <p>Gk = gew. natte koek (kg); f = d.o. koek (%);<br/> n = toegevoegde stof (% d.o. slib);<br/> f = benut filteropp. (m<sup>2</sup>); T = cyclustijd (min.)</p>   |
| 41        | primair + humus<br>primair + actief |          |  | 7                    |  | 4 - 7        | 38 - 42<br>30 - 35 |          | bedrijfsgegevens<br>''  |
| 8         |                                     |          |  |                      | 2 - 10 <sup>x</sup>  | 1,5 - 6      | 15 - 30<br>35 - 55 |          | $\text{theor. peretijd: } t = \frac{3 \cdot u \cdot e^2 \cdot m \cdot r}{p} \left( \frac{p}{0,5} \right)^{\frac{h}{m}} \cdot (m - 1) \text{ (min.)}$ <p>u = viscositeit filtraat (cP); e = koekdikte (cm);<br/> m = d.o. slib (g/l); r = spec. weerstand (cm/g);<br/> p = verschildruk (bar); h = vochtgehalte koek (%);<br/> s = compressibiliteit.</p> <sup>x</sup> berekend op de cyclustijd |
| 7         |                                     |          |  | 6 - 15               |  | 1 - 3        | 25 - 50            |          |   |
| 4         | uitgegiet<br><br>uitgegiet          | 3-6      | FeCl <sub>3</sub> .100% : 2,5-3,5 gew.% op d.o.<br>Ca(OH) <sub>2</sub> : 10-15 gew.% op d.o.<br>d.o. slib (ingedikt en geconditioneerd) : 10 - 15% | 12                   | 4 - 12<br><br>2 - 5 <sup>xx</sup><br><br>4 - 4,5 <sup>xx</sup> |              | 25<br><br>45       |          | bedrijfsgegevens<br><br>praktijkproef<br><sup>xx</sup> berekend op de pers(filtratie)tijd.<br><br>technische schaal   |

Tabel 4. Procesomstandigheden en bedrijfsresultaten van persfilterontwatering

| lit. ref. | slib                             |          | slibconditionering   |                  | procesomstandigheden                        |                                  |            | filterkoek                    |  | opmerkingen |
|-----------|----------------------------------|----------|--|------------------|---|----------------------------------|------------|-------------------------------|--|-------------|
|           | soort                            | d.e. (%) | chemisch   | procesdruk (ato) | filterbelasting (kg d.e./m <sup>2</sup> .h) | persetijd (h)                    | dikte (mm) | d.e. (%)                      |  |             |
| 44        | uitgegot                         | 5        | FeCl <sub>3</sub> 100g/kg d.e. slib<br>Ce(OH) <sub>2</sub> 250g/kg d.e. slib<br>Merofloc 829,3 l<br>2,5 g/kg d.e. slib<br>Preetol 444 K l<br>2,5 g/kg d.e. slib<br>3,5 - 4g/kg d.e. slib | 12               |   |                                  | 30         | 40                            | praktijkproef ruzi Utrecht<br>vergelijk het eind-drogestofgehalte van een:<br>vacuumfilter = 18 - 21%;<br>decentrifuge = 20 - 23%;<br>zeefbandpers = 25 - 28%.   |             |
| 17        |                                  |          |  | 6,5              |   | 1,5 - 4 <sup>m</sup>             |            | 33 - 35<br>20 - 26<br>58 - 74 | gemiddelde waarden } bedrijfsgegevens ruzi<br>laagste " } Blackburn Meadows<br>hoogste " }<br><sup>m</sup> berekend op de pers(filtratie)tijd  |             |
| 45        | primair + humus<br>60/40 op d.e. | 4-5,5    | FeSO <sub>4</sub> .10% (normaal 10-15%)<br>kalk 21% (normaal 15-20%)   |                  | 1,5 <sup>m</sup>                            | 5 <sup>m</sup><br>6 <sup>m</sup> | 25         |                               | bedrijfsgegevens<br>filterpersent plaatmetingen=1200 x 1200 mm <sup>2</sup><br>aantal kamers = 85.<br>filtraat : B.O.D. tot 1800 mg/l; N(NH <sub>4</sub> )=200 -<br>300 mg/l (kan zonde; maar door de<br>aeroteruimte worden verwerkt).<br><sup>m</sup> pers(filtratie)tijd<br><sup>m</sup> cyclustijd |             |
| 47        | veze                             | 5-6      | Ijzer 4% op d.e.<br>kalk 30% op d.e.   |                  |   |                                  |            | 35 - 40                       | bedrijfsgegevens<br>vergelijk maximum d.e. gehalte thermisch ge-<br>conditioneerd slib bedraagt na pers-<br>filtratie maximaal 60%.  |             |
| 38        |                                  |          |  |                  | 4 - 10                                      |                                  |            | 30 - 50                       | bedrijfsgegevens<br>vergelijk de belasting van een:<br>vacuumfilter = 10 - 30 kg d.e./m <sup>2</sup> .h;<br>centrifuge = 200 - 1500 kg d.e./h(5-20 m <sup>3</sup> /h);<br>zeefbandpers = 100 - 200 kg d.e./m.h.  |             |
| 49        |                                  |          |  |                  | tot - 80 <sub>2</sub><br>N.B. (l/m.h)       |                                  |            | 45                            | bedrijfsgegevens<br>vergelijk de belasting van een vacuumfilter:<br>250 l/m.h (chemisch geconditioneerd slib).   |             |

Tabel 4. Procesomstandigheden en bedrijfsresultaten van persfilterontwatering (vervolg)

| lit. ref. | slib       |          | slibconditionering  | procesomstandigheden |   |              | filterkoek               |  | opmerkingen |
|-----------|------------|----------|---|----------------------|---|--------------|--------------------------|--|-------------|
|           | soort      | d.s. (%) |   | procesdruk (ato)     | filterbelasting (kg d.s./m <sup>2</sup> .h) | peretijd (h) | filterkoekdikte (mm)     | d.s. (%)   |             |
| 4         | uitgegiest | 8        | thermisch<br>t=180-190°C; $\theta=30-35$ min. koelen tot 60°C; 15 uur indikken tot 20% d.s. |                      |   |              | 40                       | bedrijfsgegevens tuzi Geneve-Aire (CH)<br>therm. conditionering: cap. 3x10 m <sup>3</sup> /h; energieverbruik 70-120 kg stoom of 5,5-9,0 kg olie/m <sup>3</sup> slib.<br>filterpersen: 6 stuks; inhoud = 2,8 m <sup>3</sup> /atuk. |             |
| 52        | uitgegiest |          | t=188°C; $\theta=70$ min.   |                      |   | 3 - 4        | 50                       | bedrijfsgegevens.<br>te de conditioneringstemperatuur lager dan wordt:<br>- de peretijd langer<br>- het droge-toefgehalte van de filterkoek lager (bijvoorbeeld 40%).  |             |
| 68        | uitgegiest |          | t=180°C; $\theta=30$ min.; afkoelen tot 40°C; indikken tot 12% d.s. (Dorr-Oliver)           |                      |   | 2,5          | 55                       | bedrijfsgegevens tuzi Binholz-Luzern (280.000 i.e.)  |             |
| 70        | vers       | 4 - 5    | t=195°C; $\theta=30$ min.; indikken tot 10-20% d.s. (Dorr-Oliver)                           | 6                    |   | 2,5          | 50                       | bedrijfsgegevens tuzi Woerden.<br>maximum capaciteit: 8 m <sup>3</sup> /h.   |             |
| 53        |            |          | Porteous<br>Von Roll<br>Farrar  |                      |   |              | 50<br>50 - 60<br>40 - 50 | zie ook verdere literatuur 37, 42, 47.   |             |
| 69        |            |          | t=200°C; $\theta=45$ min.; p=15-25 ato.<br>(Vereinigde Kesselswerke)                        |                      |   |              | 40 - 60                  |  |             |

Tabel 4. Procesomstandigheden en bedrijfsresultaten van persfilterontwatering (vervolg)

| lit. ref. | eliber<br>soort                                       | eliberconditionering<br>fysiech<br>eliber-afproeue  | proceesomstandigheden     |  |                      | filterkoek    |             | opmerkingen  |
|-----------|---|---|---------------------------|--|----------------------|---------------|-------------|--|
|           |   |   | procees-<br>druk<br>(ato) | filter-<br>belasting<br>(kg d.e./m <sup>2</sup> .h)  | pers-<br>tijd<br>(h) | dikte<br>(mm) | d.e.<br>(%) |  |
| 55        | aeroob gestabi-<br>liseerd primair                    | as/d.e. eliber = 2,06<br>ae/d.e. eliber = 2,50  |                           | 2,2 <sup>M</sup><br>6,6 <sup>M</sup>                 |                      | 20<br>30      | 55          | praktijkproef ruzi Duseeldorf-Vent<br>(zie ook tabel 5 en figuur 6).<br>ongunstigete resultaat<br>gunstigete resultaat<br>De as is gebruikte als precoat en als filtratie-<br>hulpmiddel.<br><sup>M</sup> berekend op de pers(filtratie)tijd   |
| 37/53     |   | as/d.e. eliber = 0,75-1,5   | 15                        |  | 1                    |               | 35 - 50     | as en/of zaagsel als precoat (enkele tienden %).<br>energieverbruik eliberontwatering : 3 - 4 kWh/m <sup>3</sup><br>(volgens Passavant)  |
| 48        |   | as/d.e. eliber = 0,35   |                           |  | 0,65                 |               |             | bedrijfsgegevens ruzi Böblingen-Sindelfingen   |
| 54        | uitgegiest primair<br><br>uitgegiest humus<br>(40/60) | (<br>as/d.e. eliber = 1,5 - 2<br>)<br><br>0,3 kg droge as/m <sup>2</sup> filter-<br>opp. (as als precoat) | 15<br>11<br>11            | 6 <sup>M</sup><br>4 <sup>MX</sup><br>2 <sup>XX</sup> | XXX                  | 20<br>20/30   | 60 - 65     | praktijkproef<br>vers eliber geeft verstopping van het filterdoek;<br>uitgegiest en uitgegiest + actief-eliber (humus of<br>oxydatiesloot-eliber) niet.<br>filtrateer houder: 8-0-D <sub>5</sub> <1000 mg/l;<br>pH >      pH eliber (alkalische stoffen in de as!).<br><sup>M</sup> berekend op de pers (filtratie)tijd<br><sup>MX</sup> berekend op de cyclustijd<br><sup>XX</sup> einde filtratie als de filterbelasting<br>80 ml/m <sup>2</sup> .min. (4,8 l/m <sup>2</sup> .h) ja. |

Tabel 4. Procesomstandigheden en bedrijfsresultaten van persfilterontwatering (vervolg)

| lit. ref. | slib                     |           | slibconditionering  | procesomstandigheden |   |              | filterkoek |   | opmerkingen |
|-----------|--------------------------|-----------|---|----------------------|---|--------------|------------|---|-------------|
|           | soort                    | d.e. (%)  |   | procesdruk (ato)     | filterbelasting (kg d.e./m <sup>2</sup> .h) | peretijd (h) | dikte (mm) | d.e. (%)  |             |
| 4         |                          |           | ijzer + kalk <sup>m</sup><br>daarna aedoezing<br>ee/d.e. slib = 0,5-0,8   | mx                   |   |              |            | bedrijfsgegevens<br>chemische verbruik : 40 - 70% leger<br>mx filterbelasting : 50 - 80% hoger  |             |
| 4         | verse<br>primair + humus | 5 - 6     | FeCl <sub>3</sub> (40-42%)<br>2 - 2,2 kg/m <sup>3</sup><br>daarna aedoezing<br>ee/d.e. slib = 1,45 - 2  | 15                   | mx  | 30           |            | bedrijfsgegevens ruzi Böblingen Sindelfingen.<br>de ee is afkomstig van de slibverbredingsinstallatie Stuttgart - Mühlhausen; de aa wordt ook als precoat gebruikt.<br>filtraat: helder; B.O.D. <sub>5</sub> verlaert van 700-800 mg/l<br>mx de filtratietijd wordt met 40-50% gereduceerd.   |             |
| 4         | uitgeplet                | 4,5<br>kk | ijzer + kalk<br>FeCl <sub>3</sub> 40%; 3,7 kg/m <sup>3</sup> slib<br>kalkmelk (10%); 12 kg/m <sup>3</sup><br>slib<br>6 - 8 uur indikken tot d.e.<br>10 - 11%<br>aa wordt als precoat gebruikt | 12                   | 4 (zonder ee)                               | 40           | 45         | bedrijfsresultaten ruzi Düsseldorf-Nord<br>1 filterpers: cep. = 750 m <sup>3</sup> slib/dag (35 t/d.s.dag);<br>afmetingen platen = 1500 x 1500 mm; aantal kamers = 125; filteropp. = 500 m <sup>2</sup> ; aantal bedrijfsfauren = 16/stmaal.<br>filtraat : kleur, heldergeel; pH = 12-13;<br>B.O.D. <sub>5</sub> = 500 - 800 mg/l (ken gemakkelijk biologisch worden verwerkt).<br>ee : afkomstig van electrofilter van de plaatselijke energicentrale. |             |

Tabel 4. Procesomstandigheden en bedrijfsresultaten van persfilterontwatering (vervolg)

suction time" (CST<sup>18</sup>) - zodanig beïnvloed dat de filtratie goed verloopt. Veelvuldig wordt als richtgetal voor de specifieke filtratieweerstand van chemisch geconditioneerd slib  $1,5 \times 10^{12}$  m/kg (bij  $49 \text{ kN/m}^2 \approx 0,5$  atm.) aangegeven <sup>17, 18, 51</sup>.

Deze waarde garandeert niet altijd optimale prestaties <sup>17</sup>.

Wegens de compressibiliteit van de slibkoek is het moeilijk een limietwaarde voor  $r$  aan te geven. De compressibiliteit  $s$  wordt afgeleid uit de volgende relatie

$$r = r_0 P^s$$

waarin  $r_0$  een constante en  $P$  de druk voorstelt. Door  $\log r$  tegen de bijbehorende  $\log P$  uit te zetten kan  $s$  worden bepaald.

Elders <sup>8</sup> wordt vermeld dat slib goed ontwaterbaar is, als wordt voldaan aan de voorwaarden:

- $10^{12} < r_7 < 10^{13}$  m/kg
- $s < 0,8$

Hierin is  $r_7$  de specifieke filtratieweerstand bij 7 atm.

Chemische conditionering van slib met polymeren is tot dusver niet erg succesvol gebleken.

Het bereikte drogestofgehalte in het eindproduct is lager, het lossen van de koek is moeilijker en de doekvervuiling is over het algemeen groter dan bij gebruik van ijzerchloride en kalk <sup>7, 44</sup>.

#### *de filterbelasting*

Afhankelijk van de slibkwaliteit, het aanvangs-drogestofgehalte en dergelijke, bedraagt de filterbelasting 2 - 6 kg d.s./m<sup>2</sup>h, betrokken op de zuivere perstijd. Deze waarde wordt uiteraard lager wanneer zij betrokken wordt op de cyclustijd (zie tabel 4, pp. 52-56).

#### *de filtratiedruk*

Veel toegepaste drukken zijn 6 - 8 ato en 12 - 15 ato.

Over de beste filtratiedruk bestaat verschil van mening; in Engeland wordt algemeen 7 ato, in Duitsland 15 ato aangehouden.

Filtratie bij hogere druk geeft een hoger drogestofgehalte en vergroot de filtercapaciteit; het is twijfelachtig of deze voordelen opwegen tegen de meerdere investerings- en bedrijfskosten <sup>41, 42</sup>.

Na het vullen van de pers moet de druk geleidelijk worden opgevoerd. Het voordeel hiervan is dat het filterdoek minder vervuult. In de literatuur wordt een drietrapsdrukregeling met de volgende drukstappen 0,5 ato tijdens het vullen, 2,5 ato tijdens het voorspersen en 7-15 ato tijdens het filtreren geadviseerd. Een duidelijke uitspraak via praktijkonderzoek is zeer gewenst.

#### *de perstijd*

De perstijd is afhankelijk van de specifieke filtratieweerstand van het geconditioneerde slib, het drogestofgehalte van het slib, de filtratiedruk en koekdikte.

Volgens Gale <sup>18</sup> is de perstijd recht evenredig met de specifieke filtratieweerstand. Figuur 5 (blz. 58) geeft de empirische correlaties tussen de perstijd en de specifieke filtratieweerstand voor een gemengd



vers slib bij twee drogestofgehalten van het uitgangproduct.

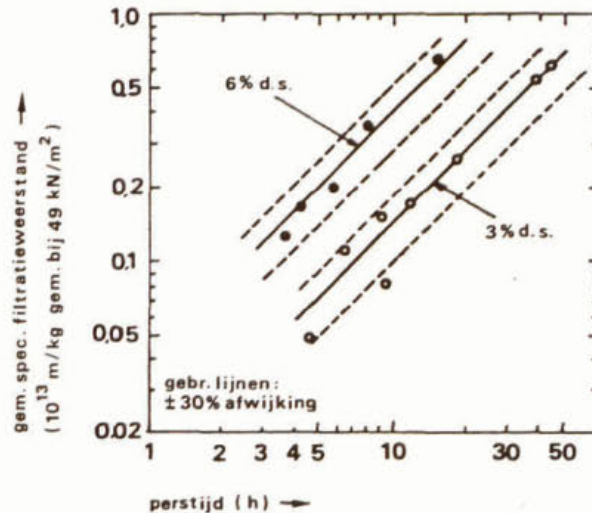


Fig. 5. Perstijd en specifieke filtratieweerstand

koekdikte : 32 mm  
 drukopbouw tot 7 ato in : 30 min.  
 drogestofgehalte filterkoek : 38%

De perstijd is eveneens afhankelijk van het drogestofgehalte in het uitgangsmateriaal; wordt dit van 3% naar 6% opgevoerd, dan daalt de perstijd *globaal* met een factor 3<sup>18</sup>, 51.

De perstijd is bovendien <sup>45</sup> ongeveer evenredig met de koekdikte in het kwadraat; zij duurt bij 30 mm dikte ongeveer 3 à 9 maal zo lang als bij 10 mm.

In de literatuur worden perstijden van 1 tot 6 uur aangegeven (zie tabel 4, pp. 52-56). Een relatie tussen - bijvoorbeeld - de persdruk en de perstijd kan uit de gegevens in deze tabel niet worden afgeleid. Een belangrijke oorzaak hiervan lijkt het ontbreken van informatie over essentiële ontwateringskenmerken zoals de specifieke filtratieweerstand en de compressibiliteit van het slib.

#### de koekdikte

In de praktijk wordt met koekdikten van 10 - 50 mm gewerkt; de gebruikelijke waarden zijn 20 - 40 mm.

#### 3.1.2.3 procesvoering

##### procesbeheersing

De chemische conditionering beïnvloedt direct het filtratieproces en daarmee het eind-drogestofgehalte en de perstijd. Beheersing van de conditionering is vooral van belang bij de geautomatiseerde persfilterinstallatie waar de perstijd vooraf wordt ingesteld. In die tijd moet zich immers een sterke, goed "lossende" koek hebben gevormd <sup>17</sup>, 51.

Essentieel voor een goede filtratie is de snelheid waarmee de filterpers wordt gevuld. Soms wordt hiertoe een bufferreservoir tussen pers-

pomp en filterpers geplaatst, waardoor een ogenblikkelijke vulling van de filterpers bij aanvang van de filtratie plaatsvindt.

Bij veel filterpersinstallaties wordt de filtratie gestopt op het moment dat het filterdebiet een bepaalde waarde heeft bereikt (signaal van de vlotter in de filtraatafvoerleiding).

De controle van de ontwateringseigenschappen van het slib kan in principe worden uitgevoerd door de bepaling van de specifieke filtratieweerstand, die echter tijdrovend is. Aanmerkelijk sneller verloopt de bepaling van de CST 187, die voornamelijk in Engeland wordt gebruikt (richtgetal voor de CST van chemisch geconditioneerd slib  $\leq 20$  sec.).

Naast de controle op het optimaal gebruik van de conditioneringsschemicaliën maakt deze bepaling het mogelijk om snel een indruk te krijgen van de (mechanische) sterkte van de geconditioneerde slibvlok 17, 18, 50, 51. Het effect van de conditionering kan door mechanische afbraak tijdens het transport naar de filterpers teniet worden gedaan. Daarom is het raadzaam om de controle van het slib *direct* voor de filterpers uit te voeren; immers de filtratie-eigenschappen, die het slib daar ter plaatse heeft, zijn bepalend voor de prestaties van de filterpers<sup>51</sup>.

#### *automatisering*

De filtratie met de filterpers verloopt discontinu. De totale perscyclus kan volledig worden geautomatiseerd. In dit geval beperkt de bedrijfsvoering zich tot het noodzakelijke toezicht bij het automatisch (elektromechanisch platentransport) lossen van de filterkoek. Automatische bedrijfsvoering is eerst mogelijk als men het conditionering- en filtratieproces volledig beheerst, zodat na de - vooraf ingestelde - perstijd droge, goed "lossende" filterkoeken zijn gevormd.

### 3.1.2.4

#### *bedrijfsresultaten*

##### *het drogestofgehalte van de filterkoek*

Het drogestofgehalte van de filterkoek is een functie van de perstijd en het drogestofgehalte van het te filtreren slib.

Het drogestofgehalte van de filterkoek is bij ontwatering met filterpersen doorgaans 10% hoger dan bij ontwatering met een vacuümfilter 18. Het drogestofgehalte van het met een filterpers ontwaterde slib ligt over het algemeen tussen de 35% en 60%.

Dit drogestofgehalte is bij chemische conditionering doorgaans lager (35 - 45%) dan bij fysische conditionering (40 - 55%, zie tabel 5, blz. 61)<sup>55</sup>.

Het gewicht en/of volume van de filterkoek per gewichtseenheid droge stof hangt af van het drogestofgehalte van de filterkoek 6, 18. Dit is weergegeven in tabel 6, blz. 61 18.

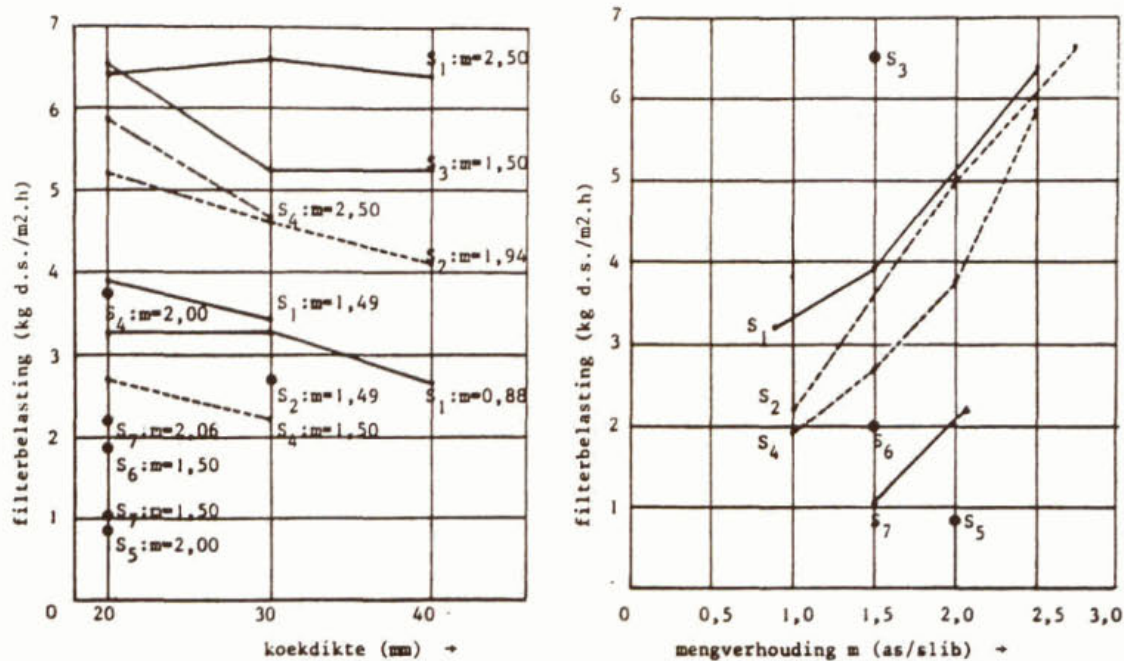


Fig. 6. Filterbelasting, koekdikte en mengverhouding  
(experimenten op de rwzi Düsseldorf-West, Lörick)<sup>55</sup>

| ref. | slibsoort   |
|------|---|
| 1    | primaair slib uit de voorindikker   |
| 2    | primaair slib (6 volumedelen) uit de voorindikker + actief-slib (1 volumedeel) uit de proefinstallatie (zie: 5).  |
| 3    | gegist primaair slib uit de eerste trapsgistingstank (V = 3000 m <sup>3</sup> ) met voorverwarming en menging<br>gistingstemperatuur : 33 °C<br>gistingstijd : 12 dagen   |
| 4    | gegist slib (als sub 2) uit een proefgistingstank (V = 500 l) met voorverwarming en menging<br>gistingstemperatuur : 33 °C<br>gistingstijd : 12 dagen   |
| 5    | actief-slib uit actief-slibinstallatie (proefopstelling na voorbezinktank)<br>volumen beluchttingsruimte : 5,5 m <sup>3</sup><br>theor. verblijftijd : 2 h<br>zuurstofgehalte : 1 - 2 mg/l<br>beluchting met TNO-rotoren<br>volumen nabezinktank : 5,5 m <sup>3</sup><br>opp. nabezinktank : 2,8 m <sup>2</sup> |
| 6    | slib uit proefactief-slibinrichting (met ruw afvalwater gevoed)<br>volumen beluchttingsruimte : 6,9 m <sup>3</sup><br>theor. verblijftijd : 6 h<br>zuurstofgehalte : 1 - 2 mg/l<br>beluchting met TNO-rotoren   |
| 7    | slib uit proefinstallatie voor gescheiden aerobe slibstabilisatie, die wordt gevoed met slib sub 2.<br>volumen beluchttingsruimte : 1,0 m <sup>3</sup><br>theor. verblijftijd : 10 d<br>zuurstofgehalte : 2 - 3 mg/l<br>perslucht beluchting (middelgrote bellen)   |

| slib |      | mengverh.<br>as <sup>*</sup> -slib | filterkoek |      | filterbelasting <sup>**</sup> |                        |
|------|------|------------------------------------|------------|------|-------------------------------|------------------------|
| type | d.s. |                                    | dikte      | d.s. | nat slib                      | d.s.                   |
|      | ‰    |                                    | mm         | ‰    | kg/(m <sup>2</sup> .h)        | kg/(m <sup>2</sup> .h) |
| 1    | 4,30 | 2,50                               | 20         | 57,5 | 149,0                         | 6,41                   |
| 1    | 4,30 | 2,50                               | 20         | 56,4 | 147,5                         | 6,34                   |
| 1    | 4,30 | 2,50                               | 30         | 55,9 | 154,5                         | 6,64                   |
| 1    | 4,30 | 2,50                               | 40         | 59,5 | 149,0                         | 6,41                   |
| 1    | 4,89 | 0,88                               | 20         | 53,7 | 66,6                          | 3,26                   |
| 1    | 4,89 | 0,88                               | 30         | 56,1 | 67,4                          | 3,30                   |
| 1    | 4,89 | 0,88                               | 40         | 47,2 | 54,5                          | 2,67                   |
| 1    | 5,03 | 1,49                               | 20         | 57,6 | 78,1                          | 3,93                   |
| 1    | 5,03 | 1,49                               | 30         | 56,6 | 67,9                          | 3,42                   |
| 2    | 5,46 | 2,74                               | 20         | 58,5 | 121,5                         | 6,63                   |
| 2    | 5,45 | 2,01                               | 20         | 57,2 | 91,5                          | 4,99                   |
| 2    | 5,45 | 2,01                               | 20         | 55,9 | 91,0                          | 4,96                   |
| 2    | 5,45 | 2,01                               | 20         | 55,9 | 91,6                          | 4,99                   |
| 2    | 5,58 | 1,48                               | 20         | 56,0 | 64,8                          | 3,62                   |
| 2    | 5,58 | 1,48                               | 20         | 56,1 | 64,6                          | 3,61                   |
| 2    | 5,58 | 1,48                               | 20         | 55,9 | 64,3                          | 3,59                   |
| 2    | 5,51 | 1,00                               | 20         | 53,4 | 39,1                          | 2,16                   |
| 2    | 5,51 | 1,00                               | 20         | 54,8 | 39,9                          | 2,20                   |
| 2    | 5,51 | 1,00                               | 20         | 53,9 | 39,7                          | 2,19                   |
| 2    | 6,08 | 1,94                               | 20         | 57,3 | 86,0                          | 5,23                   |
| 2    | 6,08 | 1,94                               | 30         | 56,4 | 76,2                          | 4,63                   |
| 2    | 6,08 | 1,94                               | 30         | 55,3 | 75,5                          | 4,59                   |
| 2    | 6,08 | 1,94                               | 40         | 56,3 | 67,4                          | 4,10                   |
| 2    | 6,08 | 1,94                               | 40         | 55,0 | 67,8                          | 4,12                   |
| 2    | 6,02 | 1,46                               | 30         | 54,3 | 42,8                          | 2,58                   |
| 2    | 6,02 | 1,46                               | 30         | 54,8 | 44,5                          | 2,68                   |
| 3    | 9,20 | 1,49                               | 20         | 57,0 | 71,3                          | 6,56                   |
| 3    | 9,20 | 1,50                               | 30         | 57,0 | 56,9                          | 5,23                   |
| 3    | 9,20 | 1,50                               | 40         | 55,9 | 57,1                          | 5,25                   |
| 4    | 7,20 | 2,00                               | 20         | 55,6 | 52,2                          | 3,76                   |
| 4    | 7,20 | 2,00                               | 20         | 57,3 | 52,0                          | 3,74                   |
| 4    | 7,20 | 1,00                               | 20         | 51,8 | 26,9                          | 1,94                   |
| 4    | 7,20 | 1,00                               | 20         | 52,5 | 27,2                          | 1,96                   |
| 4    | 6,90 | 1,50                               | 20         | 54,5 | 39,5                          | 2,72                   |
| 4    | 6,90 | 1,50                               | 30         | 58,0 | 32,3                          | 2,23                   |
| 4    | 6,90 | 2,50                               | 20         | 59,2 | 85,0                          | 5,86                   |
| 4    | 6,90 | 2,50                               | 30         | 58,6 | 67,6                          | 4,66                   |
| 5    | 2,71 | 2,00                               | 20         | 53,4 | 30,8                          | 0,83                   |
| 6    | 7,73 | 1,50                               | 20         | 47,5 | 27,2                          | 2,10                   |
| 6    | 7,73 | 1,50                               | 20         | 51,7 | 24,3                          | 1,88                   |
| 7    | 3,80 | 2,06                               | 20         | 56,3 | 56,1                          | 2,13                   |
| 7    | 3,80 | 2,06                               | 20         | 55,8 | 60,6                          | 2,30                   |
| 7    | 3,80 | 1,50                               | 20         | 54,8 | 27,9                          | 1,06                   |
| 7    | 3,80 | 1,50                               | 20         | 55,1 | 27,7                          | 1,05                   |

Tabel 5. Persfilterontwatering op de rwzi Düsseldorf-West (Lörick) 55

- \* as afkomstig van het slib-asproces (Passavant)  
 \*\* zonder de as; proefpersfilter, Rittershaus & Blecher 300

| filterkoek   |                        |                                    |
|--------------|------------------------|------------------------------------|
| d.s. gehalte | gewicht (ton)/ton d.s. | volume (m <sup>3</sup> )/ton d.s.* |
| 10           | 10                     | 9,7                                |
| 15           | 6,7                    | 6,4                                |
| 20           | 5,0                    | 4,7                                |
| 25           | 4,0                    | 3,7                                |
| 30           | 3,3                    | 3,0                                |
| 35           | 2,9                    | 2,6                                |
| 40           | 2,5                    | 2,2                                |

Tabel 6. Gewicht en volume van filterkoeken 18

- \* aanname: soortelijk gewicht droge stof 1400 kg/m<sup>3</sup>  
 " " vloeistof 1000 kg/m<sup>3</sup>

### het energie- en waterverbruik

Het energieverbruik van mechanische slibontwateringsapparatuur ligt over het algemeen tussen de 1 en 10 kWh/m<sup>3</sup> nat slib (drogestofgehalte 3 - 5%).

Bij persfilterontwatering is dit verbruik afhankelijk van de filtratiedruk, bij 1 ato 0,027 kWh/m<sup>3</sup> filtraat en 0,54 kWh/m<sup>3</sup> filtraat bij 20 ato.

In de praktijk blijkt het energieverbruik van kamerfilterpersen laag te zijn in vergelijking met ander mechanische ontwateringsapparatuur. Dit is in onderstaande tabel weergegeven.

| apparatuur                 | energieverbruik (kWh/m <sup>3</sup> slib) |
|----------------------------|---|
| filterpersen 4, 12, 37, 40 | 1 - 2                                     |
| centrifuges 37, 40         | 3 - 4                                     |
| vacuümfilters 37, 40       | 6 - 12                                    |

In figuur 7 is het specifieke energieverbruik (W/m<sup>2</sup>) van filterpersen als functie van het filtrerend oppervlak weergegeven <sup>6</sup>.

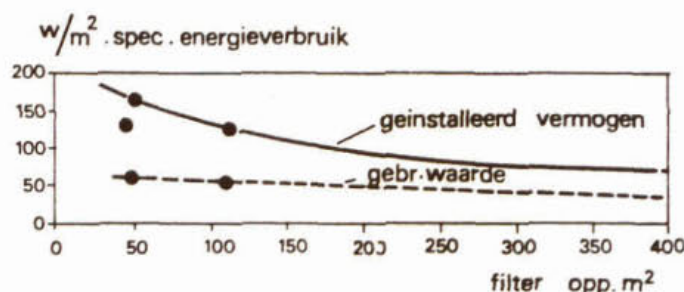


Fig. 7. Specifiek energieverbruik van filterpersen <sup>6</sup>

Het (spoel)waterverbruik van een kamerfilterpers bedraagt volgens Lohmann 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h; dit verbruik is lager dan bij een vacuümfiler of een bandpers waarvoor Lohmann <sup>12</sup> respectievelijk 0,5 en 0,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h opgeeft.

#### 3.1.2.5 *apparatuur en filterdoek apparatuur*

De voor de slibontwatering toegepaste filterpersen behoren tot het type kamerfilterpersen. De persen zijn voorzien van + 150 platen (kamers); de afmetingen van de platen zijn doorgaans 1,3 à 1,5 m, soms tot 2 m in verband met een zo gunstig mogelijke verhouding filteroppervlak/vloeroppervlak <sup>41</sup>. Volgens Amos en Thomas <sup>42</sup> is de meest praktische en economische afmeting voor gietijzeren platen 1,3 m.

De gebruikte constructiematerialen zijn nodulair en grijs gietijzer, hard rubber versterkt met staal, polypropyleen en polyester. De materialen moeten mechanisch sterk zijn, om ongelijke drukverdelingen, bijvoorbeeld veroorzaakt door gedeeltelijke verstopping<sup>4</sup>, te kunnen opvangen. Bij een te geringe sterkte bestaat dan gevaar voor plaatvorming en/of plaatbreuk. Daarom bestaan er twijfels aan het gebruik van polypropyleen als constructiemateriaal<sup>42</sup>.

Voor het transport van het slib naar de filterpers wordt veelal gebruik gemaakt van mono- of membraanpompen. In sommige gevallen wordt het slib vanuit een drukvat (perslucht) naar de filterpers gevoerd. Deze laatste wijze van transport zou wel eens aanbeveling kunnen verdienen in verband met de geringere kans op mechanische afbraak van het slib (beschadiging van de slibvlokken).

#### filterdoek

De keuze van het filterdoek is in verband met de bedrijfsvoering (goede koeklossing, geringe vervuiling) en de bedrijfskosten (levensduur, doekreiniging) bijzonder belangrijk. De keuze van het filterdoek is afhankelijk van de slibsoort; zij dient *bij voorkeur experimenteel* te worden bepaald. In tabel 7 zijn een aantal eigenschappen van de verschillende op de zuiveringsinstallatie Emscherfluss beproefde filterdoeken samengevat<sup>38</sup>.

| firma                            | Porrits & Spencer<br>Salzgitter |                 |                 | Markert<br>Hamburg |   |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---|
|                                  | Curlain                         | Neotex<br>2212  | Neotex<br>11885 | DJT<br>636         | Marsyntex<br>NKD 2392                         |
| type                             |                                 |                 |                 |                    |   |
| materiaal                        | polyethyleen                    | polyamide       | polyamide       | polyester          | polyamide<br>gekalendeerd<br>thermo-gefixeerd |
| type draad                       | "monofil"                       | "stapelfaser"   | "stapelfaser"   | "multifil"         | "monofil"                                     |
| luchtdebiet (l/min)              | 1170                            | 280             | 18              |                    | 800   |
| randversterking                  | ja                              | nee             | nee             | ja                 | ja  |
| maximum aantal charges           | 1994                            | 2000            | 1886            | 300                | > 4000  |
| loslaten van de koek             | goed                            | goed tot slecht | slecht          | slecht             | zeer goed                                     |
| aantal charges tussen wasbeurten | 50                              | 50              | 50              | 50                 | 120   |

Tabel 7. Eigenschappen van filterdoeken<sup>38</sup>

De verschillende gegevens betreffende filterdoekmaterialen, levensduur, onderhoud en dergelijke zijn met vermelding van de literatuurreferentie samengevat in tabel 8 (p. 64). Ook hier geldt dat de verstrekte informatie meestal *erg onvolledig* is. In de rubriek onderhoud zijn de gegevens over het reinigen en het wassen van het doek opgenomen.

Het onderhoud beperkt zich niet altijd uitsluitend tot het filterdoek<sup>4</sup>. Bij de chemische conditionering met kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) wordt met  $\text{CO}_2$  afkomstig van bijvoorbeeld uitgegist slib, calciumcarbonaat gevormd. Dit

| lit. ref. | doekmateriaal                  | leveneduur  | onderhoud<br>doekreiniging en<br>doekwassing  | rioolwaterzuiv-<br>veringseinrichting | opmerkingen  |
|-----------|--------------------------------|---|---|---------------------------------------|--|
| 8         |                                | > 500 charges   | na 10 uur schoonepuiten/<br>van tijd tot tijd wassen  |                                       |  |
| 7         |                                | 1800-2000 charges   | na 80-100 charges<br>(100 bedrijfsuren)   |                                       |  |
| 4         | Marsyntex                      | 700 charges   | eerst na 100 charges<br>later na 50 charges   |                                       |  |
| 4         | synth. 'multifiler' draad      | > 4000 charges  | na 200 charges, ( 0-2000 charges)<br>na 150 charges, (2000-3000 charges)<br>na 100 charges, (3000-4000 charges) |                                       | doek zonder randversterking<br>as als precoat                  |
| 4         | synth. 'monofiler' draad       |   |   |                                       | doek met randversterking<br>as als precoat niet noodzakelijk   |
| 55        | synthetisch                    | 2000-2500 bedrijfsuren  |   |                                       | ervaring bij slib-beproces                                     |
| 51        | 'aatin weave, monofilament'    |   |   |                                       | geeft de beste koeklossing                                     |
| 17        | 'open weave, PVD monofilament' | 500-600 charges   | na 140 charges  | Sheffield                             | doekreiniging met hogedrukwaterpuit                            |
| 45        |                                |   | eike 2 a 3 weken<br>eike 2 maanden wassen (in weema-<br>chine)  |                                       |  |
| 48        |                                | 1 Jaar: 1500-1800 charges;<br>(130-150 charges/mnd, 3d/<br>wk, 10h/d) | 1 x per week<br>1 x per maand wassen met verdund<br>zoutzuur  | Ludwigshafen                          | geen precoat;<br>uitpoelen doek noodzakelijk                   |
| 38        | Marsyntex MKD 2392             | 4000 charges  | na 120-150 charges  |                                       |  |
| 48        |                                | 9 maanden   | na 60 charges   | Sindelfingen                          | 70 platen schoonepuiten met water bij 100 atoi<br>circa 8 uren |
| 48        | Perlon                         | 40 dagen<br>(garantie 120 dagen)                                      | na 90 charges   | Stuttgart-Mühlhausen                  | doekreiniging: 2 min/plaat,<br>(voor 100 platen 3 a 4 uur)     |

Tabel 8. Filterdoekgegevens

carbonaat zet zich op de pijpwand(en) af en moet om de 3 à 4 maanden met zoutzuur of water (hogedrukspuitinrichting) worden verwijderd.

De invloed van de mechanische afbraak van chemisch geconditioneerde slibvlokken (conditionering met polyelektrolyt) op de doekvervuiling wordt op praktijkschaal onderzocht 67.

### 3.1.2.6 *kosten*

De investeringskosten van een filterpers zijn exclusief randapparatuur in vergelijking relatief laag. De kosten zijn lager naarmate het filterend oppervlak toeneemt, zoals blijkt uit figuur 8.

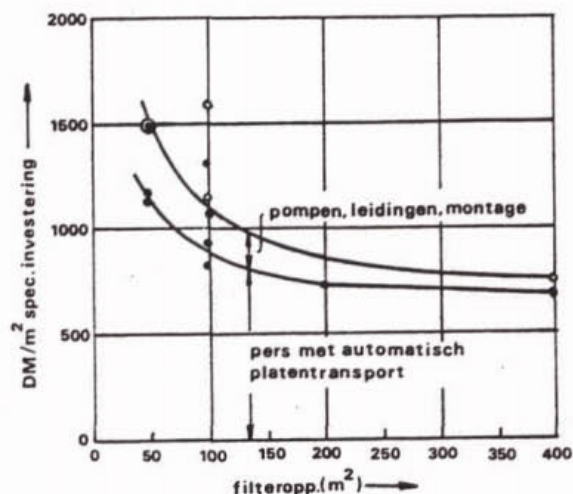


Fig. 8. Investeringskosten en filteroppervlak 6

In figuur 9 zijn de investeringskosten (prijspeil 1973) van een filterpers, vacuümfilter, centrifuge en een zeefbandpers weergegeven als functie van de capaciteit 12.

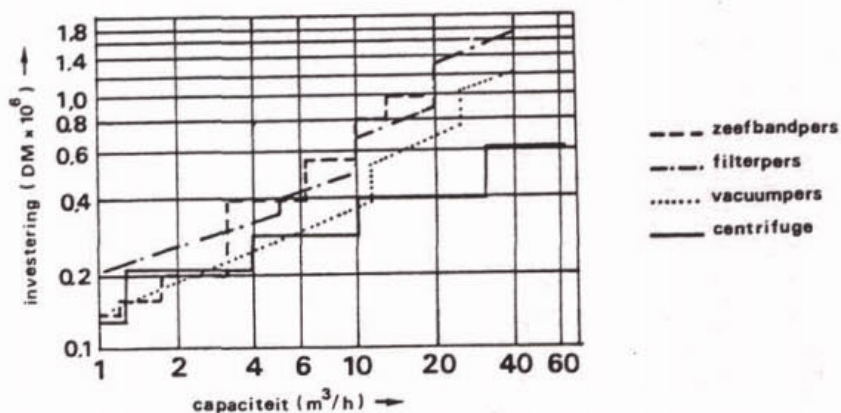


Fig. 9. Investeringskosten en capaciteit 12

Mac Michael 46 geeft de investeringskosten als functie van het volume van de filterpers voor een tweetal koekdikten (1 en 1,25 inch) weer (figuur 10 en figuur 11, p. 66).



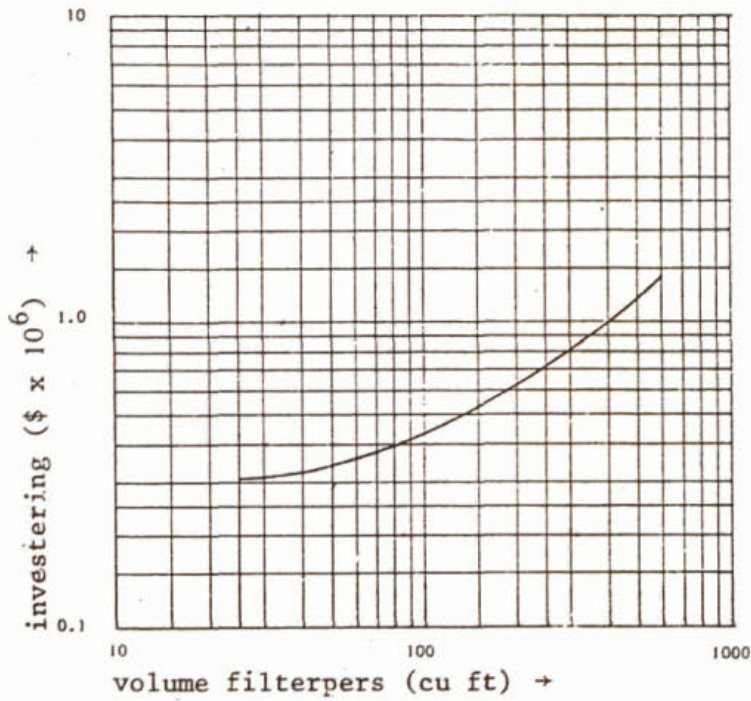


Fig.10. Investeringskosten en volume (koekdikte 1 inch)\*<sup>46</sup>

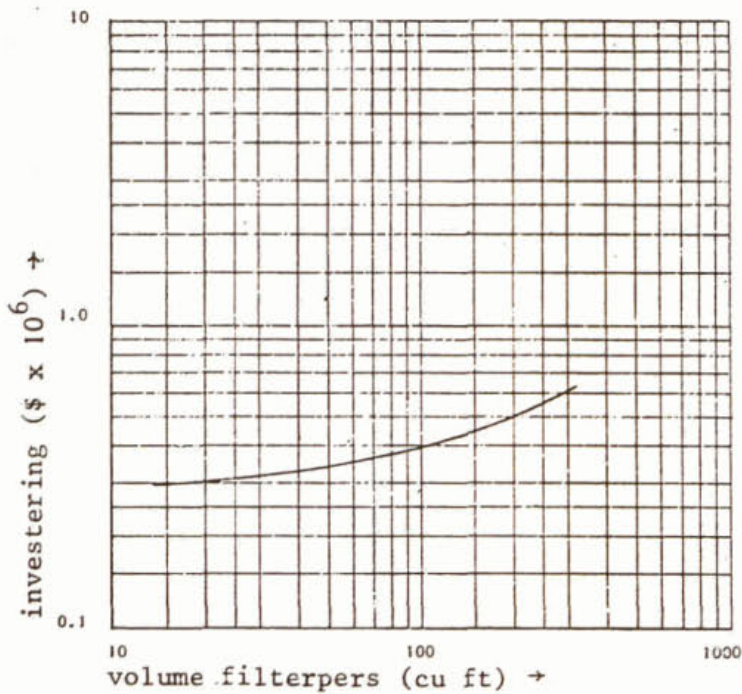


Fig. 11. Investeringskosten en volume (koekdikte 1,25 inch)\*<sup>46</sup>

\* 1 inch =  $2,54 \times 10^{-2} \text{ m}$   
 1 cu ft =  $28,32 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Deze gegevens zijn voor Nederland niet zonder meer overdraagbaar. Zij beogen slechts het aangeven van bepaalde trends en het onderling vergelijken van bepaalde ontwateringsmethoden. Dit geldt niet alleen voor de investeringskosten maar in nog sterkere mate voor de bedrijfskosten, dat wil zeggen de vaste (rente en afschrijving apparatuur en gebouwen) en de variabele kosten (energie, arbeid, onderhoud, chemicaliën en dergelijke).

Tegen deze achtergrond is aan de hand van de verzamelde literatuurgegevens voor de persfilterontwatering een vergelijkend kostenoverzicht (tabel 9) gemaakt. De vaste- en variabele kosten zijn uitgedrukt in percentages van de totale kosten.

Voor zover mogelijk zijn de variabele kosten verder uitgesplitst (eveneens uitgedrukt in percentages van de totale kosten). Uit tabel blijkt dat voor de ontwatering van chemisch geconditioneerd slib met behulp van een filterpers de variabele kosten 45 - 80% van de totale kosten uitmaken.

| lit. ref. | prijspeil | vaste kosten (%) | variabele kosten |                    |                                |             |                           | opmerkingen         |
|-----------|-----------|------------------|------------------|--------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------|
|           |           |                  | totaal (%)       | conditionering (%) | onderhoud incl. filterdoek (%) | energie (%) | bediening en diversen (%) |                     |
| 4         | 1971      |                  |                  | 28                 |                                |             |                           |                     |
| 4         | 1970/1971 | 29               | 71               |                    |                                |             |                           | incl. afzet         |
| 50        | 1969/1970 | 36               | 64               |                    |                                |             |                           |                     |
| 52*       | ?         | 54               | 46               |                    |                                |             |                           | incl. afzet         |
| 44        | 1972      | 18               | 82               | 71                 | 9,4                            | 1,6         |                           | bedrijf van 24 uren |
|           |           | 21               | 79               | 63,5               | 14,1                           | 1,4         |                           | bedrijf van 16 uren |
| 17        | 1970/1971 | 33               | 67               | 28,5               | 12,7                           | 5           | 20,8                      | rwzi Sheffield      |
| 45        | 1973      | 57               | 43               | 10                 |                                |             |                           | incl. afzet         |

Tabel 9. Overzicht kosten persfilterontwatering en chemische conditionering

\* thermisch geconditioneerd slib.

Volgens Mac Michael <sup>46</sup> is de verhouding vaste/variabele kosten sterk afhankelijk van de capaciteit en de slibsoort. Dit wordt in onderstaande tabel weergegeven.

| capaciteit<br>(mega gal./dag)<br>1 mega gal. = 3 785 m <sup>3</sup> | vaste kosten<br>percentage van de totale kosten |                      |
|---|---|----------------------|
|   | uitgegist primair<br>+ actief slib              | vers<br>primair slib |
| 1   | 71  | 67                   |
| 10  | 54  | 52                   |
| 100   | 38  | 26                   |

Voor Nederland zijn de publicaties van Pepping <sup>47</sup> en Ebbenhorst <sup>44</sup> van belang.

Pepping vermeldt de jaarlijkse kosten (prijspeil mei 1973) voor persfilterontwatering als functie van de zuiveringscapaciteit (zie figuur 12). De kostencalculatie is gemaakt voor (uitgegist) chemisch en thermisch geconditioneerd slib bij slibproducties van respectievelijk 40 en 70 gram droge stof per inwoner per etmaal. Niet bekend is op hoeveel bedrijfsuren de kostenberekening is gebaseerd.

m<sup>3</sup> slib (5% d.s.)

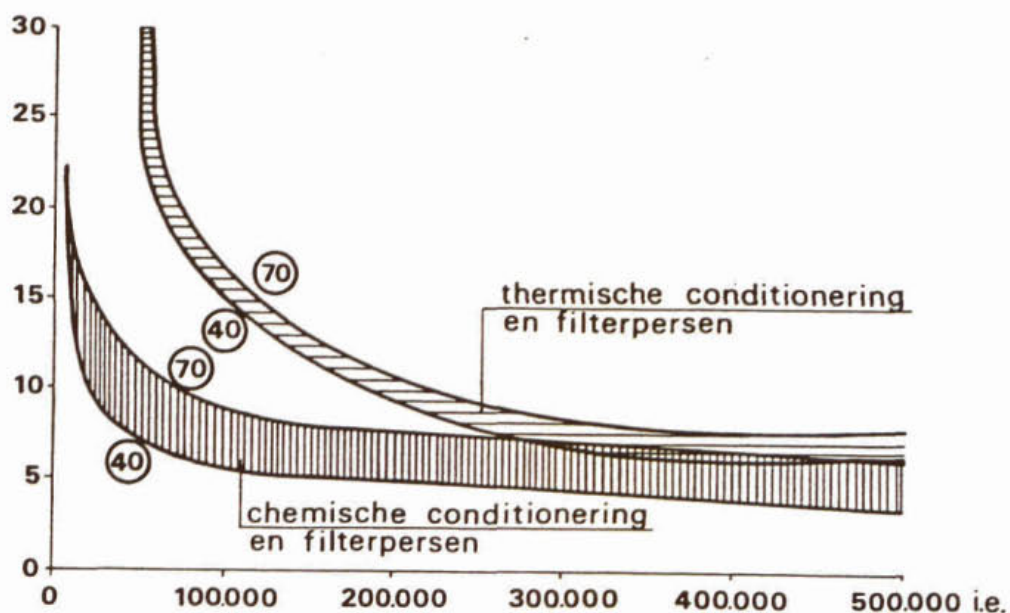


Fig.12. Jaarkosten van persfilterontwatering <sup>47</sup>

Uit figuur 12 blijkt dat thermische conditionering en persfilterontwatering duurder is dan chemische conditionering en persfilterontwatering. Dit wordt bevestigd door Meredith <sup>52</sup>. Echter het eind-drogestofgehalte is in het eerste geval hoger.

Ebbenhorst <sup>44</sup> geeft een kostenspecificatie voor de ontwatering van 80.000 m<sup>3</sup> uitgegist slib (drogestofgehalte 5%) per jaar. De totale bedrijfskosten bedragen voor een 24- en 16\* uurbedrijf respectievelijk f 88,17/ton droge stof en f 98,49/ton droge stof (exclusief bedieningskosten, prijspeil eind 1972). Voor een vergelijking met de bedrijfskosten van een vacuümbandfilter, een decanteercentrifuge en een zeefbandpers wordt verwezen naar tabel 11 subparagraaf 3.1.3.2, p. 72

Hieruit blijkt persfilterontwatering het duurst te zijn. Dit wordt veroorzaakt door de hoge chemicaliënkosten, die ruim tweemaal zo hoog zijn als voor de andere apparatuur.

Met een persfilter kan echter meestal een hoger eind-drogestofgehalte gerealiseerd worden, zodat de kosten niet zonder meer met elkaar kunnen worden vergeleken.

De totale kosten van thermische conditionering (volgens het Porteous proces) en persfilterontwatering (inclusief de kosten voor twee filtraat-behandelingsmethoden), worden weergegeven in figuur 13.

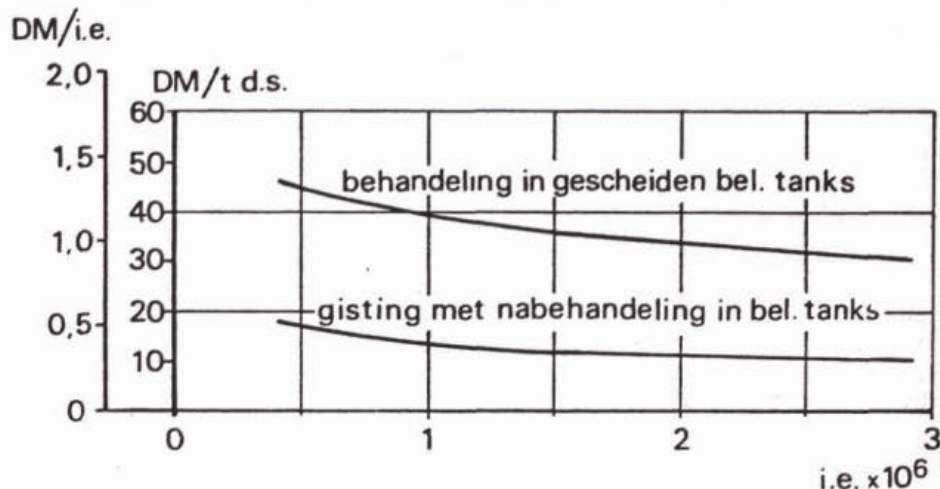


Fig. 13. Kosten persfilterontwatering en thermische conditionering <sup>27</sup>.

### 3.1.2.7 milieuaspecten

De milieuaspecten bij persfilterontwatering (en andere mechanische ontwateringsmethoden) betreffen de voorbehandeling of de verdere slibverwerking. Met name bij de thermische conditionering speelt het voorkomen van luchtverontreiniging een belangrijke rol, zoals is aangegeven in deel 2.

Voor het storten van de slibkoek ("landfill") geldt dat hoe droger (meer dan 40% droge stof) de filterkoek des te (mechanisch) stabiel het gestorte materiaal is <sup>51</sup>. Na anorganische conditionering en persfilterontwatering ontstane filterkoeken zijn drukvast en nemen ook bij regen geen water op. Opslag tot 50.000 m<sup>3</sup> is hierdoor voor het uitein-

\*een 16 uursbedrijf vereist meer persen, hetgeen resulteert in hogere kapitaalslasten.

delijk storten mogelijk <sup>14</sup>. Het verdient aanbeveling om in elk specifiek geval na te gaan of de ontwatering inderdaad irreversibel heeft plaatsgevonden en of uitloging van zware metalen uit verast slib of mengsels van verast en nat slib is opgetreden. Het vermijden van grondwaterverontreiniging zal grote aandacht moeten krijgen.

### 3.1.2.8 *discussie*

Rogers <sup>41</sup> geeft een aantal voor- en nadelen van de persfilterontwatering. Enkele voordelen zijn:

- een hoog drogestofgehalte van de filterkoek waardoor deze geschikt is voor "landfilling";
- een groot filtrerend oppervlak per m<sup>2</sup> vloer;
- een laag energieverbruik;
- lage onderhoudskosten;
- zeer hoog scheidingsrendement (helder filtraat).

Enkele nadelen zijn:

- veelvuldige vervanging van het filterdoek;
- soms arbeidsintensieve reiniging van het filterdoek;
- verstoppingsneigingen in de voedingsopeningen (vooral bij slib met grove delen);
- beschadiging van de slibvlok door transport van chemisch geconditioneerd slib. (Hiertegen wordt een overdosering aan chemicaliën toegepast, hetgeen kostenverhogend werkt);
- voor kleine eenheden waarbij geen automatisering plaatsvindt is persfilterontwatering arbeidsintensief;
- "batch"proces; omdat het niet mogelijk is de dosering tijdens het persen te wijzigen ontstaat bij niet optimale conditionering een "natte" filterkoek.

### 3.1.2.9 *nieuwe ontwikkelingen*

De belangrijkste ontwikkelingen op het gebied van persfilterontwatering zijn:

- de afmetingen en het filtrerend oppervlak van de filterplaten;
- nieuwe constructiematerialen en verdergaande automatisering van de filtratiecyclus <sup>42</sup> (o.a. filterdoek in de vorm van een beweegbare band).

## 3.1.3 Andere mechanische ontwateringsapparatuur

### 3.1.3.1 *algemeen*

In tabel 10, p. 71 is een kort overzicht gegeven van andere mechanische ontwateringsapparatuur, waarmee volgens de geraadpleegde literatuur slib tot een drogestofgehalte van om en nabij de 40% kan worden ontwaterd. Het is duidelijk dat dit resultaat niet uitsluitend is terug te voeren tot de gebruikte ontwateringsapparatuur, doch veelal eerder tot de slibsoort en de toegepaste conditioneringswijze.

| lit. ref. | slibsoort                    | conditionering   | apparatuur  | d.s. (X)           | opmerkingen  |
|-----------|------------------------------|--|---|--------------------|--|
| 53        |                              | "Carbofloc Verfahren"<br>kalk en CO <sub>2</sub> (Lurgi)         | centrifuga  | 40 - 50            | bedrijfsresultaten rvzi<br>Pannestiel (CH)   |
| 43        | diverse                      | org. synth. kationactieve<br>vlokmiddelen: 1,5 - 5 kg/<br>t d.s. | "Bellmer Winkel"<br>pers                                      | 28 - 40<br>gem. 37 | experimenten op 8 rvzi's<br>cap.: 4-17 m <sup>3</sup> /(m.h.)<br>250-1450 kg d.s./m.h.)<br>(zie fig. 32, deel 4).                        |
| 43        | vers en uitgegist            | polymeren: 75 - 200 mg/l   | "Unimat" trommel-<br>filterpers                               | 35<br>soms > 40    | experimenten op 1 rvzi   |
| 93        | uitgegist                    |  | "Unimat" trommel-<br>filterpers                               | 40                 | bedrijfsresultaten rvzi<br>Neukirchen (BRD), 65.000 i.e.<br>bedrijfskosten: DM 2,70 per<br>m <sup>3</sup> uitgegist slib (1969)          |
| 37        |                              |  | kaarsendrukfilter<br>"Kölsch FölzerWerke<br>AG", Siegen (BRD) | 40 - 50            | kosten hoger dan bij vacuüm-<br>filtratie  |
| 22        | vers primair en<br>secundair | Zimmermann proces<br>175°C < t < 185°C;<br>p=21 ato; θ=20 min.   | vacuümfilter (later<br>ook een filterpers)                    | 45 - 50            | bedrijfsresultaten rvzi<br>Apeldoorn<br>cap.: 30 kg d.s./m <sup>2</sup> .h.)<br>recente gegevens zie deel 5<br>(5.2.4 en 5.2.7 - 5.2.11) |
| 73        | vers primair en<br>secundair | Zimmermann proces<br>t = 177°C                                   | vacuümfilter  | 45                 | bedrijfsresultaten<br>rvzi Kalamazoo-Hichigan (USA)<br>cap.: 35 kg d.s./m <sup>2</sup> .h.)  |
|           | vers primair en<br>secundair | chemisch   | vacuümfilter  | 23                 | cap. 13 kg d.s./m <sup>2</sup> .h.)  |

Tabel 10. Overzicht andere mechanische ontwateringsapparatuur

### 3.1.3.2

#### *kosten*

Een vergelijkend onderzoek naar verschillende mechanische slibontwateringsmethoden is verricht in 1971/1972 voor de rioolwaterzuiveringsinrichting te Utrecht <sup>44</sup> (zie ook 3.1.2.5, p. 69).

In tabel 11 zijn de kostenopgaven hiervan samengevat. Voor de volledigheid is ook de filterpers opgenomen (zie p. 72).

Zoals reeds in subparagraaf 3.1.2.5, p. 69 is gesteld, kunnen deze kosten niet zonder meer worden vergeleken, omdat het te bereiken einddrogestofgehalte voor ieder apparaat verschillend is. Bovendien zijn niet alleen de genoemde bedragen ondertussen gestegen, maar ook de onderlinge kostenverhoudingen zijn inmiddels gewijzigd. Meer recente informatie over kosten wordt gegeven in de delen 4 en 5.

| apparatuur               | kosten                 |             |                 |                        |             |                 |
|--------------------------|------------------------|-------------|-----------------|------------------------|-------------|-----------------|
|                          | bedrijf van 24 uren    |             |                 | bedrijf van 16 uren    |             |                 |
|                          | totaal<br>(f/ton d.s.) | vast<br>(%) | variabel<br>(%) | totaal<br>(f/ton d.s.) | vast<br>(%) | variabel<br>(%) |
| filterpers               | 88,17                  | 18          | 82              | 98,49                  | 21          | 79              |
| vacuümfilter             | 71,95                  | 33          | 67              | 78,81                  | 36          | 64              |
| decanteer-<br>centrifuge | 45,48                  | 20          | 80              | 49,21                  | 26          | 74              |
| zeefbandpers             | 44,12                  | 20          | 80              | 53,52                  | 27          | 73              |

Tabel 11. Jaarkosten van mechanische ontwateringsapparatuur \*\* 44

\* totale kosten = 100%

\*\* maximale slibhoeveelheid 80.000 m<sup>3</sup> per jaar (5% d.s.)  
prijsspeil eind 1972.

## 3.2 DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 3.2.1 Inleiding

Het doel van slibdroging is niet in de eerste plaats, zoals bij mechanisch ontwateren, de slibvolumereductie maar het verkrijgen van een hoogwaardig, verkoopbaar eindproduct (mest).

De droogkosten, voornamelijk energiekosten, zijn echter zo hoog, dat de kans op een goed verkoopbaar product niet groot is. Volgens Weber<sup>85</sup> is het drogen van slib alleen economisch verantwoord als het gedroogde slib tegen een prijs van \$ 15 per ton wordt verkocht (USA, 1972).

Volgens de Haan<sup>77</sup> en anderen kan het motief om een thermisch slibverwerkingsproces (drogen, verbranden) te kiezen soms wel de verlangde volumereductie zijn. Door haar "technische eenvoud" kan de procescombinatie zeefbandpers en trommeldroger de voorkeur verdienen boven de combinatie thermische conditionering, persfiltratie en verbranding.

In dit hoofdstuk zijn voornamelijk praktische gegevens verwerkt. Voor theoretische beschouwingen over het drogen van slib wordt verwezen naar de literatuur<sup>6, 8, 78</sup> en voor een gedetailleerde beschrijving van diverse slibdrooginstallaties naar de literatuurreferenties vermeld in paragraaf 3.2.4 (pp. 76-78).

De in dit hoofdstuk behandelde onderwerpen zijn: procesomstandigheden, bedrijfsresultaten, apparatuur, kosten en milieuaspecten.

### 3.2.2 Procesomstandigheden

#### *algemeen*

De voornaamste procesomstandigheden bij het drogen zijn:

- het drogestofgehalte van het uitgangsmateriaal;
- de benodigde hoeveelheid drooglucht;
- de temperatuur (zowel van de drooglucht als van de afgassen);
- de droogtijd.

Buitenlandse praktijkinformatie over deze grootheden is samengesteld in tabel 12 (p. 75).

#### *uitgangsmateriaal*

Het drogestofgehalte van het slib moet vóór het droogproces tot minimaal 30% worden opgevoerd<sup>79, 86</sup>. Bij drogestofgehalten kleiner dan 30% bestaat namelijk gevaar voor aankleven op de wanden van de droger.

In verband met het hoge energieverbruik en de daaraan verbonden kosten is het bovendien ook wenselijk het drogestofgehalte van het slib, betrokken op het uitgangsmateriaal zonder toevoeging van inert materiaal, voor intrede in de droger, zo hoog mogelijk op te voeren.

In de praktijk wordt de mechanische voorontwatering, meestal gevolgd door menging met inert materiaal zoals reeds gedroogd slib, zaagsel, turfmoel, as en dergelijke (bijvoorbeeld het Seiler-Kopperssysteem).

Dit heeft tevens het voordeel dat het droegoppervlak (uitwisselingsoppervlak) wordt vergroot.



Styers<sup>87</sup> beschrijft een slibdroogproces met een "rotary drum flash dryer", waarbij de voorontwatering van het slib plaatsvindt op een droogbed.

Aan de menging van het voorontwaterde slib met gedroogd slib wordt in de literatuur over slibdroging *geen aandacht besteed*. Uit de praktijk is bekend dat dit een essentiële processtap is.

In figuur 14 is de vereiste hoeveelheid gedroogd slib en de hoeveelheid te verdampen water weergegeven als functie van het drogestofgehalte van het voorontwaterde slib.

Er is hierbij uitgegaan van een eind-drogestofgehalte van 95% en een drogestofgehalte in de droger van 50%.

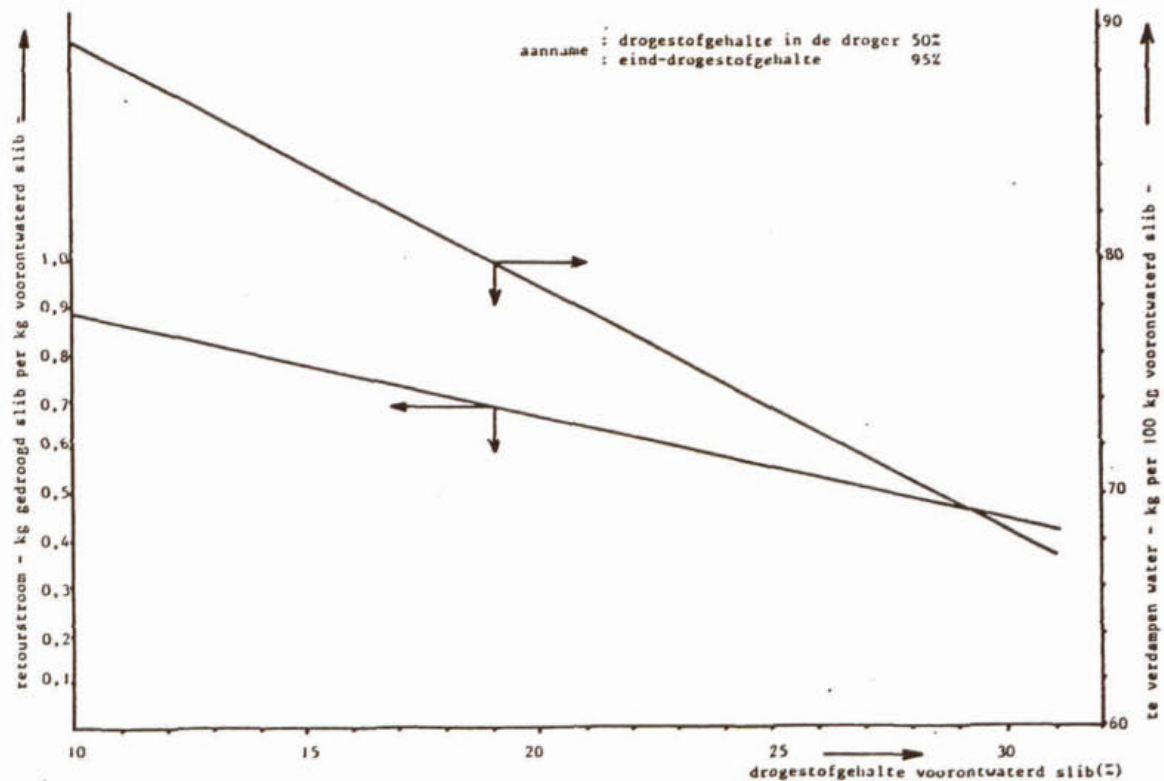


Fig. 14. Retourstroom en waterhoeveelheid als functie van het drogestofgehalte van de invoer.

#### *drooglucht*

De benodigde hoeveelheid drooglucht bedraagt 4.000 - 5.000 Nm<sup>3</sup> (0°C, 0,76 m Hg) per m<sup>3</sup> te verdampen water.

#### *temperatuur*

Droging vindt in de praktijk plaats bij een droogluchttemperatuur van 600° - 700°C (max. 900°C bijvoorbeeld bij de Van den Broek droger).

De temperatuur van de afgassen is veelal 80 - 90°C. Bij pneumatische

| lit. ref. | rwzi                                | slibsoort | voorbehandeling   | type droger                                       | capaciteit (ton waterdamp/h) | temp. drooglucht (°C) | temp. afgewerkte gassen (°C) | benodigde lucht (m <sup>3</sup> /h) | d.s. (%) | energie (kwh per kg waterdamp) | opmerkingen   |
|-----------|-------------------------------------|-----------|---|---|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------|--------------------------------|---|
| 79        | Neersen (Niersverband) 600.000 i.e. | uitgegist | Ca(OH) <sub>2</sub> : 25 kg/m <sup>3</sup><br>Al : 20 kg/m <sup>3</sup><br>daarna vac. filtratie<br>10,2 kg d.s./m <sup>2</sup> .h tot<br>30% d.s.  | pneumatische droger ("Hazemeg Selectiv Trockner") | 1,3                          | 650                   | 165                          |                                     | 50-55    | 2,14                           | gedeelte slib (ca. 700 m <sup>3</sup> /h) wordt gedroogd en verkocht aan wijngaardeniers voor DM 170/t (1971) resultaat beneden verwachting   |
| 86        | St. Gallen (CH)                     | vers      | indikken tot 10% d.s.; daarna mengen met gedr. slib en/of zaagsel tot 30% d.s.  | trommeldroger (Seiler-Koppers <sup>93</sup> )     | 1,0                          | 600                   | 75                           | 4200                                | 85-95    | 0,84                           | zaagseldosering 2,4 kg/ton waterdamp (?); lichtsnelheid 22 m/s  |
| 50        | Dartford (GB) 800.000 i.e.          | uitgegist | indikken tot 9% d.s.; daarna dosering Al <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> : 1,5% d.s.; daarna vac. filtratie: 17 kg d.s./m <sup>2</sup> .h tot 30% d.s. | trommeldroger "Puell Combustion" Birmingham       | 3,0                          | 650                   | 175                          |                                     | 45       |                                | afzet slib als meststof niet mogelijk dus wordt het gestort (daarom d.s. niet meer dan 45%)   |
| 82/<br>83 | Norrköping (Zw.) 120.000 i.e.       | uitgegist | geen<br>d.s. nat slib: 1-20%  |   |                              | 60-150                |                              |                                     |          |                                | installaties leverbaar van 0,125 tot 10 ton/h; hydr. bel.: 0,1 l/m <sup>2</sup> droog opp.; droogtijd (instelbaar): 1-60 min.; 1m <sup>3</sup> productdrager = 200 m <sup>2</sup> droog opp.; therm.rendement: 70-90% |

Tabel 12. Buitenlandse bedrijfsgegevens over slibdroging

drogers zal deze temperatuur doorgaans hoger zijn (bijvoorbeeld 165°C). Afhankelijk van het drogertype en de verdere procesomstandigheden kan het slib in de droger een temperatuur van 100°C bereiken.

#### *droogtijd*

De droogtijd is onder andere afhankelijk van het type drooginstallatie en varieert van enkele seconden (bijvoorbeeld voor een Raymond Flashdroger<sup>53</sup>) tot 40 à 60 minuten (bijvoorbeeld voor het drogen van filterkoeken in een trommeldroger).

### 3.2.3 Bedrijfsresultaten

#### *drogestofgehalte van het eindproduct*

De schaarse informatie over bedrijfsresultaten is in tabel 12, p. 75 opgenomen. Het meest opvallend hierbij is het betrekkelijk lage drogestofgehalte van het gedroogde eindproduct. In een aantal gevallen blijkt dit deels een gevolg te zijn van het feit dat het slib niet als meststof kan worden afgezet en derhalve moet worden gestort. In een dergelijke situatie is het uiteraard niet verantwoord de droging verder door te zetten.

Pepping<sup>47</sup> geeft een drogestofgehalte van 90 à 95% op. Volgens Degremont<sup>8</sup> is het vrijwel onmogelijk een drogestofpercentage groter dan 92% te bereiken.

#### *energieverbruik*

In tabel 13, p. 77 zijn de uit de literatuur verzamelde gegevens over het energieverbruik bij slibdroging samengevat.

Uit deze tabel blijkt dat het verbruik aan thermische energie circa 900 kcal/kg verdampt water bedraagt. Volgens informatie is het energieverbruik voor een Seiler-Koppers droogtrommelinstallatie circa 720 kcal/kg verdampt water. Hieruit volgt een thermisch rendement  $\frac{640^*}{720} \cdot 100\% = 89\%$ .

Van Melick<sup>53</sup> geeft een warmterendement van 80 à 85% op. Deze gunstige waarde wordt toegeschreven aan de bijzondere constructie (3 concentrische ringen met zaagtandvorm) van de droogtrommel.

Opvallend in de tabel is het hoge energieverbruik, en/of het lage thermische rendement van de pneumatische droger. Een plausibele verklaring hiervoor ontbreekt.

Het verbruik aan elektrische energie bedraagt 15 - 20 kWh/m<sup>3</sup> slib. Uit tabel 13, p. 77 blijkt dat dit verbruik afhankelijk is van het type droger. De band- en etagedroger zijn energetisch - althans elektrisch - aantrekkelijker dan de trommel- en de pneumatische droger.

### 3.2.4 Apparatuur

De in de procesindustrie toegepaste drogers worden volgens de literatuur 6, 7, 8, 10, 53, 58, 85 ook voor het drogen van slib gebruikt. Deze drogers zijn:

\*warmte-inhoud van 1 kg waterdamp bij 100°C ten opzichte van 1 kg water bij 0°C, bedraagt 640 kcal.

| lit. ref. | type droger                                       | capaciteit<br>(ton waterdamp/h) | energieverbruik   |                           |   |  |
|-----------|---|---------------------------------|-------------------|---------------------------|---|--|
|           |   |                                 | elektrisch        |                           | brandstof   |  |
|           |   |                                 | (kW)              | (kWh/m <sup>3</sup> slib) | (kWh/m <sup>3</sup> slib)   | (kWh/kg waterdamp)                       |
| 38        |   |                                 |                   |                           | ≈ 1000 (slibwater)  | 1,00                                     |
| 47        |   |                                 |                   |                           | 120 Nm <sup>3</sup> aardgas** (of 90 l olie) per m <sup>3</sup> verdampt water    | 1,06                                     |
| 6         | trommeldroger                                     | 3*                              | 70                | ≈ 23                      |   |  |
|           | banddroger  | 3                               | 40                | ≈ 13                      |   |  |
|           | pneumatische droger                               | 3                               | 70                | ≈ 23                      |   |  |
|           | etage droger                                      | 3                               | 40                | ≈ 13                      |   | 1,05 - 1,11 (in de praktijk 1,22 - 1,28) |
| 86        | trommeldroger (Seiler-Koppers)                    | 1                               |                   |                           |   | 0,84                                     |
| 80        | trommeldroger (Seiler-Koppers)                    |                                 | 10 - 15 (6% d.s.) |                           | 790 = 82 Nm <sup>3</sup> aardgas (of 68 l olie) per m <sup>3</sup> slib (6% d.s.) | 0,84                                     |
| 58        | trommeldroger (Van den Broek)                     |                                 | 22 (20% d.s.)     |                           | 90 Nm <sup>3</sup> gas per m <sup>3</sup> slib (20% d.s.)                         | 0,99                                     |
| 79        | pneumatische droger ("Hazemeg Selektiv Trockner") | 1,3                             |                   |                           | 400 m <sup>3</sup> gistingsgas*** per uur   | 2,14 (?)                                 |

Tabel 13. Overzicht energieverbruik bij slibdroging

\* geïnstalleerd vermogen

\*\* calorische waarde 7560 kcal/m<sup>3</sup> ≈ 32000 kJ/m<sup>3</sup>

\*\*\* calorische waarde 88 25.000 kJ/m<sup>3</sup> ≈ 5970 kcal/m<sup>3</sup>

- trommeldrogers (bijvoorbeeld Seiler-Koppers, standaard capaciteiten 1, 3, 6 en 9 m<sup>3</sup> slib/h; Van den Broek, leverbare capaciteit 2 tot 15 m<sup>3</sup>/h);
- pneumatische drogers (bijvoorbeeld Pennswalt ring en flashdroger; Raymond flashdrogers meestal gebruikt in combinatie met een verbrandingsoven, Hazemeg "selektiv Trockner");
- banddrogers;
- etagedrogers;
- sproeidrogers.

Voor een goede beschrijving van de diverse typen drogers wordt verwezen naar de literatuur <sup>10</sup>.

Zowel over de toegepaste constructiematerialen en de bedrijfszekerheid van de drogers, als over de voorkeur voor een bepaald drogertype, wordt in de literatuur *geen informatie* verstrekt. De informatie is bovendien dermate onvolledig dat een keuze *op grond van de literatuurgegevens* niet mogelijk is.

Een betrekkelijk nieuwe ontwikkeling op het gebied van de slibdroging is de ontwikkeling van de Natekodroger <sup>82, 83</sup>. Deze uit Zweden afkomstige droger werd oorspronkelijk in de voedingsmiddelenindustrie gebruikt. Sinds 1971 wordt deze droger ook toegepast voor het drogen van zuiverings-slib afkomstig van de rioolwaterzuivering te Norrköping.

Het slib (drogestofgehalte 1 - 20%) wordt in bovengenoemde droger op een grote hoeveelheid inert dragermateriaal, bestaande uit kleine kunststofkogeltjes, gebracht <sup>69</sup>. Deze kogeltjes circuleren in een hete luchtstroom. De belangrijkste technische gegevens zijn reeds vermeld in tabel 12, p. 75.

Een dergelijke droger is ook door Calmic Engineering & Co. (Crewe, Cheshire Engeland) ontwikkeld <sup>84</sup>.

### 3.2.5 Kosten

Een recent overzicht van de vaste- en variabele kosten is niet beschikbaar. Uit minder recente publicaties is getracht een inzicht te verkrijgen in de verdeling van de kosten <sup>53, 80</sup>. Op basis van de in de genoemde publicaties gegeven informatie is tabel 14 opgesteld.

| lit. ref. | type droger                     | type slib                        | kosten      |               |                  |                |    |                 | prijspeil |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------|------------------|----------------|----|-----------------|-----------|
|           |                                 |                                  | vast<br>(%) | variabel      |                  |                |    | diversen<br>(%) |           |
|           |                                 |                                  |             | totaal<br>(%) | bediening<br>(%) | energie        |    |                 |           |
|           |                                 |                                  |             |               | gas<br>(%)       | elektra<br>(%) |    |                 |           |
| 80        | trommeldroger<br>Seiler-Koppers | actief-slib<br>(42.000 i.e.)     | 30          | 70            | 7                | 50             | 10 | 3               | 1962      |
| 53        | trommeldroger<br>Seiler-Koppers | vers slib<br>(300.000 i.e.)      | 48          | 52            | 9                | 31             | 9  | 3               | 1970      |
|           |                                 | uitgelist slib<br>(300.000 i.e.) | 66          | 34            | 12               | 10             | 9  | 3               | 1970      |

Tabel 14. Verdeling vaste- en variabele kosten bij slibdroging op basis van totale kosten (100%)

In tabel 14 is te zien dat de energiekosten een zeer belangrijk deel van de totale kosten (volgens deze gegevens 40 - 60%) uitmaken. Indien goedkope energiebronnen beschikbaar zijn (bijvoorbeeld methaangas van de slibgisting) kunnen de energiekosten aanzienlijk worden teruggebracht (zie tabel 14). Dit kan doorslaggevend zijn bij de keuze voor slibdroging.

Pepping<sup>47</sup> geeft voor mechanische ontwatering en droging het verband weer tussen de jaarkosten per inwoner (prijspeil mei 1973) en de installatiegrootte (i.e.). Deze kosten zijn vergeleken met de kosten voor mechanische ontwatering (centrifuge of bandpersen) en de kosten voor mechanische ontwatering en verbranding (zie figuur 15). Hierbij is uitgegaan van een slibproductie van 40 tot 70 gram per inwoner per etmaal (zie ook 3.1.2.5, p. 68).

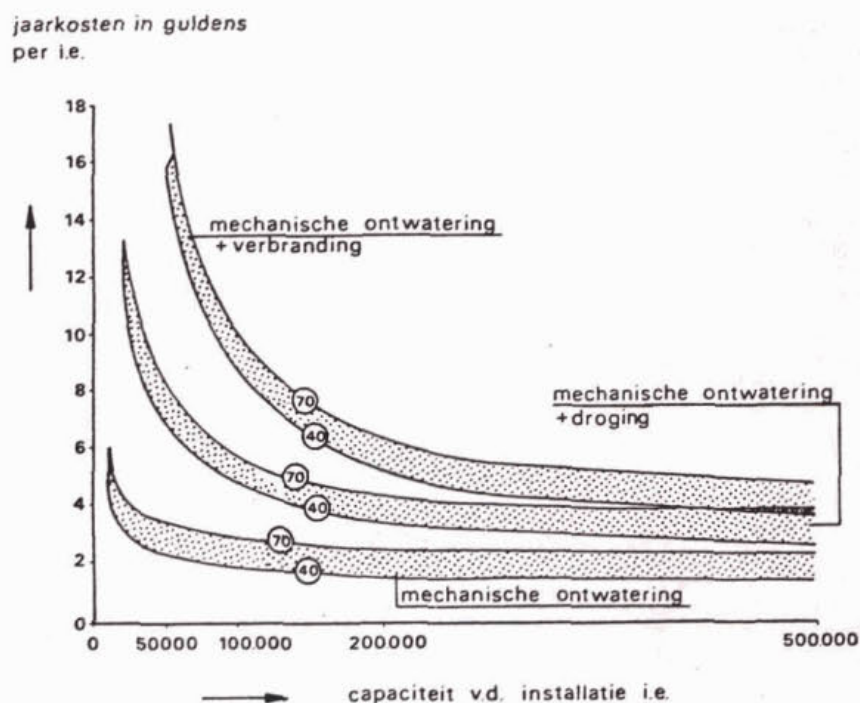


Fig. 15. Jaarkosten slibverwerking door middel van mechanische ontwatering, droging en verbranding<sup>47</sup>.

Meer recente informatie over kosten van slibdroging wordt gegeven door Heyn<sup>11</sup>, die de totale kosten geeft van anaerobe of aerobe slibstabilisatie, ontwatering met de zeefbandpersen en slibdroging. De in dit verband meest relevante gegevens zijn in tabel 15, p. 80 weergegeven.

Hoewel op een enkele uitzondering na (oxydatiesloot bij 30.000 i.e.) niet duidelijk is welk deel van de totale investering aan de slibdroging moet worden toegeschreven, is volledigheidshalve toch de tabel over investeringskosten overgenomen. Deze tabel (tabel 16, p. 80) is op dezelfde wijze aangepast als tabel 15, p. 80.

Voor een oxydatiesloot met een ontwerp-grootte van 30.000 i.e. volgt uit de tabel dat de slibdroger een investering van f 842.000,-- vraagt.

| Methode van slibverwerking                                 | Continuifilter   |         | Aeratiebassin  |           | Oxydatiesloot         |                                |         |           |
|--|--|---------|--|-----------|-----------------------|--------------------------------|---------|-----------|
|  | met slibgisting<br>verblijftijd (20d)<br>+ zeefbandpers en<br>slibdroger |         | met slibgisting<br>verblijftijd (20d)<br>+ zeefbandpers en<br>slibdroger |           | met zeefband-<br>pers | met zeefbandpers en slibdroger |         |           |
| Ontwerpgrootte in inwonerekwivalenten                      | 30.000   | 70.000  | 70.000   | 200.000   | 30.000                | 30.000                         | 70.000  | 200.000   |
| Maximale pompcapaciteit in m <sup>3</sup> /h               | 1.000  | 2.000   | 2.000  | 6.000     | 1.000                 | 1.000                          | 2.000   | 6.000     |
| <i>Mechanische reiniging</i>                               |  |         |  |           |                       |                                |         |           |
| in f   | 199.000  | 305.000 | 315.000  | 622.000   | 128.000               | 128.000                        | 213.000 | 365.000   |
| Idem per i.e. in f   | 6,64   | 4,35    | 4,50   | 3,11      | 4,26                  | 4,26                           | 3,04    | 1,82      |
| Idem in % v/d invest. v/d tot. rwzi                        | 3,68   | 3,37    | 3,10   | 2,90      | 3,30                  | 2,72                           | 2,52    | 1,88      |
| <i>Biologische reiniging</i>                               |  |         |  |           |                       |                                |         |           |
| in f   | 182.000  | 350.000 | 392.000  | 880.000   | 279.000               | 279.000                        | 457.000 | 1.100.000 |
| Idem per i.e. in f   | 6,06   | 5,00    | 5,60   | 4,40      | 9,30                  | 9,30                           | 6,52    | 5,50      |
| Idem in % v/d invest. v/d tot. rwzi                        | 4,13   | 3,89    | 3,86   | 4,21      | 7,20                  | 5,93                           | 5,33    | 5,70      |
| <i>Slibverwerkingsdeel</i>                                 |  |         |  |           |                       |                                |         |           |
| in f   | 485.000  | 785.000 | 1.000.000  | 2.128.000 | 327.000               | 487.000                        | 847.500 | 1.878.000 |
| Idem per i.e. in f   | 16,16  | 11,20   | 14,20  | 10,40     | 10,90                 | 16,20                          | 12,00   | 9,39      |
| Per m <sup>3</sup> af te voeren slib in f                  | 807,00   | 565,00  | 600,00   | 438,00    | 91,50                 | 819,00                         | 592,00  | 465,00    |
| Per ton droge stof in f                                    | 896,00   | 627,00  | 666,00   | 486,00    | 610,00                | 910,00                         | 656,00  | 516,00    |
| Jaarlijkse kosten in % van de invest.<br>v/d totale R.W.Z. | 9,10   | 8,70    | 9,90   | 10,20     | 8,44                  | 10,35                          | 10,00   | 9,70      |
| Totaal jaarlijkse kosten per i.e. in f                     | 28,86  | 20,55   | 24,30  | 17,91     | 24,46                 | 29,76                          | 21,56   | 16,71     |
| Totaal jaarl. kosten in % v/d tot. rwzi                    | 16,91  | 15,96   | 16,86  | 17,31     | 18,94                 | 19,00                          | 17,85   | 17,28     |

Tabel 15. Jaarlijkse kosten van mechanische en biologische zuivering en slibverwerking <sup>11</sup>

| Methode van slibverwerking                   | Continuifilter   |           | Aeratiebassin  |            | Oxydatiesloot         |                                |           |           |
|--|--|-----------|--|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
|  | met slibgisting<br>verblijftijd (20d)<br>+ zeefbandpers en<br>slibdroger |           | met slibgisting<br>verblijftijd (20d)<br>+ zeefbandpers en<br>slibdroger |            | met zeefband-<br>pers | met zeefbandpers en slibdroger |           |           |
| Ontwerpgrootte in inwonerekwivalenten        | 30.000   | 70.000    | 70.000   | 200.000    | 30.000                | 30.000                         | 70.000    | 200.000   |
| Maximale pompcapaciteit in m <sup>3</sup> /h | 1.000  | 2.000     | 2.000  | 6.000      | 1.000                 | 1.000                          | 2.000     | 6.000     |
| <i>Mechanische reiniging</i>                 |  |           |  |            |                       |                                |           |           |
| in f   | 1.472.000  | 2.270.000 | 2.200.000  | 4.600.000  | 930.000               | 930.000                        | 1.500.000 | 2.600.000 |
| Idem per i.e. in f                           | 49,10  | 32,30     | 31,40  | 23,00      | 31,00                 | 31,00                          | 21,40     | 13,00     |
| Idem in % v/d invest. v/d tot. rwzi          | 27,7   | 25,1      | 21,7   | 22,1       | 24,0                  | 19,7                           | 17,8      | 13,4      |
| <i>Biologische reiniging</i>                 |  |           |  |            |                       |                                |           |           |
| in f   | 1.219.000  | 2.515.000 | 2.557.000  | 6.100.000  | 1.095.000             | 1.095.000                      | 2.994.000 | 8.000.000 |
| Idem per i.e. in f                           | 40,60  | 35,90     | 36,50  | 30,50      | 36,50                 | 36,50                          | 42,70     | 40,00     |
| Idem in % v/d invest. v/d tot. rwzi          | 23,0   | 27,9      | 25,1   | 29,2       | 27,3                  | 23,4                           | 35,6      | 41,2      |
| <i>Slibverwerkingsdeel</i>                   |  |           |  |            |                       |                                |           |           |
| in f   | 2.615.000  | 4.238.000 | 5.400.000  | 10.170.000 | 1.858.000             | 2.700.000                      | 3.926.000 | 8.800.000 |
| Idem per i.e. in f                           | 87,20  | 60,50     | 77,30  | 50,80      | 61,90                 | 90,00                          | 56,00     | 44,00     |
| Idem in % v/d invest. v/d tot. rwzi          | 49,3   | 47,0      | 53,2   | 48,7       | 48,6                  | 57,4                           | 46,6      | 45,4      |
| Totale invest.kosten rwzi per i.e. in f      | 176,90   | 128,70    | 145,20   | 104,30     | 129,40                | 157,50                         | 120,10    | 97,00     |

Tabel 16. Investeringskosten van mechanische en biologische zuivering en slibverwerking <sup>11</sup>

### 3.2.6 Milieuaspecten

Slibdroging gaat gepaard met luchtverontreiniging door stof- of gasvormige emissies (stank). Zoals min of meer werd verwacht is de literatuur op dit gebied betrekkelijk vaag. De informatie beperkt zich in hoofdzaak tot enkele kwalitatieve gegevens.

Het in de afgassen aanwezige stof kan met behulp van cyclonen of natte elektrofilters worden afgevangen. Volgens de ervaring van Wüsten en Zimpler <sup>79</sup> is het resultaat van de stofvangst met cyclonen onvoldoende omdat bij het ontwerp geen rekening was gehouden met het feit dat het gedroogde materiaal niet homogeen in korrelgrootte en vochtgehalte is. Hierdoor wordt het fijne stof uit de cycloon geblazen. Karper en Verhaagen <sup>86</sup> merken op dat het afgas na passage van een nat elektrofilter nog 50 mg stof per Nm<sup>3</sup> vochtige lucht bevat (toegestaan maximaal 150 mg/Nm<sup>3</sup>).

Voor het bestrijden van de gasvormige componenten komt de natte gasreiniging in aanmerking. In het artikel van Karper en Verhaagen <sup>86</sup> wordt het wassen van de afgassen met alkalihoudend water gevolgd door wassing met zwavelzuur bevattend water genoemd. De ontwijkende gassen zouden nog een zwakke geur verspreiden. Volgens Koot <sup>7</sup> moet voor een doelmatige bestrijding ook natriumhypochloriet, chloor en zwavelzuur (30% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) aan het waswater worden toegevoegd. Andere stankbestrijdingsmethoden zoals directe naverbranding tot + 750°C katalytische naverbranding komen niet in aanmerking; de eerste methode niet vanwege de hoge energiekosten (het temperatuurniveau van de afgassen is laag), de tweede methode niet vanwege de vergiftiging van de katalysator door meegesleurde stofdeeltjes.

Volgens Vesilind <sup>10</sup> moet voor wat betreft de veiligheid bij slibdroging vooral aan de vorming van ontvlambare stoffen aandacht worden besteed.\*

---

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



### 3.3 VERBRANDING ALS LAATSTE PROCESSTAP

#### 3.3.1 Inleiding

In Engeland en Noord-Amerika worden etageovens sinds de dertiger jaren voor slibverbranding gebruikt. De ontwikkeling en toepassing van wervelbedovens in deze landen dateert uit de zestiger jaren.

Behalve met de gezamenlijke verbranding van slib en huisvuil bij de rioolwaterzuiveringsinrichting te Dordrecht en de slibverbranding in een wervelbedoven te Oss (onlangs in bedrijf gesteld), heeft men in Nederland geen ervaring met het verbranden van slib van stedelijke rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Slibverbranding is een vrij dure vorm van slibverwerking (2 à 3 maal zo duur als slibgisting met de daarbij behorende afzet <sup>112</sup>). Verbranding zal daarom slechts dan worden toegepast als geen andere mogelijkheid overblijft. Behalve het voordeel van de grote volumereductie en het gebruik van de as als conditionerings- en filtratiehulpmiddel (zie deel 2, pp. 44-45) roept slibverbranding, meer dan andere slibverwerkingsmethoden, milieuproblemen op. Deze kunnen zich voordoen bij de afvoer van de rookgassen (luchtverontreiniging) en de afzet van de as (bodemverontreiniging).

Aan deze milieuaspecten wordt in paragraaf 3.3.7 (pp. 98-102) ruime aandacht besteed.

Het gebruik maken van de warmte, die bij de verbranding van huisvuil vrijkomt, maakt gecombineerde slibverbranding in economisch opzicht aantrekkelijker (bijvoorbeeld Dordrecht). In paragraaf 3.3.8 (pp. 102-103) wordt in het kort op de gecombineerde slib/huisvuilverbranding ingegaan.

Mede door de gecompliceerde procesvoering biedt slibverwerking door middel van verbranding uitsluitend mogelijkheden voor zeer grote zuiveringsinrichtingen ( $\geq 300.000$  i.e. <sup>113</sup>).

#### 3.3.2 Procesomstandigheden

De belangrijkste procesomstandigheden bij het verbranden van slib zijn:

- het uitgangsmateriaal;
- de belading;
- de luchtvermaat;
- de temperatuur;
- de verblijftijd.

*het uitgangsmateriaal*

Belangrijk bij slibverbranding zijn:

- het watergehalte;
- het gehalte aan brandbare stof en/of organische stof;
- de calorische waarde van het slib en van de daarin aanwezige brandbare organische stof.

In tabel 17, p. 83 is de calorische waarde van een aantal slibsoorten, waaronder ook die van "grease and scum" (vet en schuim) en huisvuil opgenomen.

| literatuur referentie | slibsoort                   | calorische waarde (kJ/kg) | opgave betrokken op    |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| 77                    | diverse                     | 6300 - 14700              | droge stof             |
| 114                   | vet en schuim               | 37220                     | " "                    |
|                       | primair                     | 23280                     | " "                    |
|                       | uitgegist                   | 12800                     | " "                    |
| 34                    | humus                       | 15000                     | " "                    |
|                       | primair                     | 22000                     | " "                    |
| 12                    | secundair                   | 23000 - 25100             | org. stof              |
| 41                    | geen opgave (asgehalte 40%) | 20000                     | droge stof             |
| 115                   | geen opgave                 | 23300                     | org. stof              |
| 116                   | slib (?) met 44% vet        | 39400                     | droge stof             |
|                       | vet en schuim               | 44000                     | brandb. stof           |
| 117                   | vers slib                   | 16750 - 19700             | " "                    |
|                       | primair slib                | 18300 - 20900             | " "                    |
|                       | actief slib                 | 14700 - 18800             | " "                    |
|                       | uitgegist slib              | 12600 - 16750             | " "                    |
| 118                   | huisvuil                    | 7950 - 8400               | uitgangs-<br>materiaal |
|                       |                             | 21000                     | org. stof              |

Tabel 17. Calorische waarden van diverse slibsoorten

De opgenomen waarden zijn op het eerste gezicht nogal verschillend; betrokken op de organische stof zijn de verschillen in calorische waarde echter geringer. Volgens tabel 18, p. 84 blijkt de calorische waarde van het slib, betrokken op de droge brandbare stof bij één installatie, bovendien tamelijk constant te zijn 116.

Figuur 16, p. 84 tenslotte geeft de invloed van het watergehalte op de calorische waarde van het natte slib voor een aantal calorische waarden van de slib droge stof weer 77.

Meer informatie over de calorische waarde van slib geeft de literatuur 118, 119.

In verband met transport, dosering, verkleining en homogenisering van het slib ten behoeve van het verbrandingsproces, is het watergehalte (wegens de invloed hiervan op de structuur van het slib) eveneens van belang. Vater <sup>94</sup> wijst op de mogelijke transport- en doseerproblemen bij de invoer van de wervelbedoven (aankleven in de vulopening, brugvorming).

Camp 120, Rasch 121 en Liao <sup>119</sup> vestigen de aandacht op het belang van een goede "korrel" grootte verdeling van het slib in de oven. Bij hoge watergehaltes vertoont het slib neiging tot samenklonten ("klumpenbil-

| slibsoort               | brandbare stof<br>(percentage droge stof) | calorische waarde (kJ) |                             |
|-------------------------|---|------------------------|-----------------------------|
|                         |   | per kg droge stof      | per kg droge brandbare stof |
| zandvanger              | 58,9                                      | 15.500                 | 26.300                      |
| vers                    |   |                        |                             |
| - eerste bezinkingstank | 78,8                                      | 20.700                 | 26.300                      |
| - tweede "              | 78,4                                      | 20.400                 | 26.000                      |
| - derde "               | 77,6                                      | 20.500                 | 26.400                      |
| actief                  | 82,2                                      | 21.400                 | 26.000                      |
| humus                   | 70,5                                      | 18.800                 | 26.600                      |
| primair (uitgelist)     | 68,3                                      | 17.500                 | 25.600                      |
| secundair (uitgelist)   | 69,0                                      | 17.800                 | 25.800                      |

Tabel. 18. Calorische waarden van verschillende slibsoorten van één rwzi 116

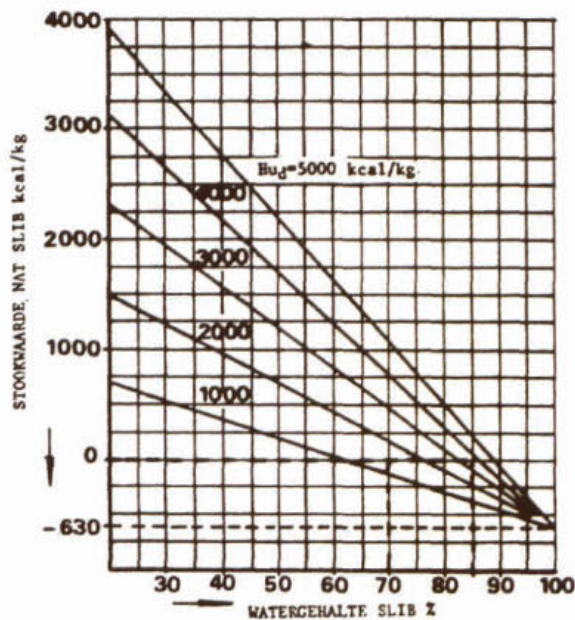


Fig. 16. Stookwaarde van de droge stof ( $H_{ud}$ ) en van nat slib <sup>77</sup>

dung"). Hierdoor kan in een wervelbedoven de fluïdisatie worden verstoord. Bovendien zal de verbranding onvolledig zijn, doordat bij de verbranding van de slibklonten een warmte-isolerende korst ontstaat. Dit beïnvloedt volgens Rasch tevens de sterilisatie van het slib ongunstig. Camp beveelt een "korrel" grootte van circa 10 mm aan. Door de sterke onderlinge wrijving van de slib- en de zanddeeltjes in het wervelbed is de kans op samenklonting van slib in een wervelbedoven aanzienlijk geringer dan in een etageoven.

In de literatuur <sup>116, 122</sup> wordt voorts aandacht besteed aan het effect van hulpstoffen (bijvoorbeeld conditioneringsmiddelen  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ , polyelektrolyten en dergelijke) op de verbranding. Hulpstoffen verhogen niet alleen de asproductie (verhoging van de kosten voor de afzet), maar kunnen bovendien bij de verbranding laag smeltende slakken vormen, welke schadelijk voor de bemetseling van de oven zijn.

Volgens Thomas <sup>122</sup> hebben ijzer en kalk geen nadelige invloed op de samenstelling van de as. Het effect van polyelektrolyt op de slak daarentegen is niet bekend.

Voorts wordt gewezen op de in warmte-economisch opzicht ongunstige effecten van verbindingen als  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Ca(OH)}_2$ . Voor de ontleding van deze laatste verbinding en voor het opwarmen van de ontstane reactieproducten is volgens Gale <sup>116</sup> 1920 kJ/kg (460 kcal/kg)  $\text{Ca(OH)}_2$  nodig; 900 kJ voor de ontleding en 1020 kJ voor het opwarmen van de reactieproducten.

Daarnaast bestaat er gevaar voor corrosie (bijvoorbeeld door HCl).

#### *de belading*

De literatuur <sup>5</sup> geeft voor de belading van een etageoven voor slibverbranding waarden van 7 - 12 lb d.s./ft<sup>2</sup>.h (34 - 59 kg d.s./m<sup>2</sup>.h) aan. Voor de belading van een wervelbedoven vermeldt Liao <sup>129</sup> de waarde 11,5 lb d.s./ft<sup>2</sup>.h (56 kg/m<sup>2</sup>.h). Liao merkt op dat de slibbelading afhankelijk is van het watergehalte van het slib <sup>119</sup>. Bij slib met een watergehalte van 47%, 70% en 90% bedraagt de belading van de wervelbedoven respectievelijk 195, 73 en 24 kg ds/m<sup>2</sup>.h. Het verband tussen bovengenoemde grootheden kan weergegeven worden door de volgende formule:  $S = 10 \uparrow (2,7 - 0,022 M)$ .

S = slibbelading (lb/ft<sup>2</sup>.h)\*

M = watergehalte (gewichtsprocenten).

Uit de literatuur is niet duidelijk gebleken op welke doorsnee ("grit" dan wel "freeboard") de belading betrekking heeft.

#### *de luchtvermaat*

In verband met de beperking van het warmteverlies en de belasting van de gasreinigingsapparatuur moet in het algemeen de luchtvermaat bij verbranding zo klein mogelijk zijn. Bij een geringere luchtvermaat zal deze apparatuur kleiner worden. Anderzijds moet de luchtvermaat voldoende zijn, zodat ondanks wisselende calorische waarden steeds volledige verbranding optreedt.

In tabel 19, p. 86 zijn een aantal literatuurgegevens over de in de praktijk toegepaste luchtvermaat samengebracht.

\*  $1 \text{ lb/ft}^2 = 4,88 \text{ kg/m}^2$ .

De wervelbedoven werkt over het algemeen met een geringere luchtvermaat dan de etageoven. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de betere warmte- en stofoverdracht die in het wervelbed plaatsvindt.

| lit. ref. | lucht-overmaat | oventype      | opmerkingen  |
|-----------|----------------|---------------|--|
| 123       | 50 - 100%      | etageoven     | voor een bedrijfstemperatuur van 760°C - 870°C   |
| 119       | 20%            | wervelbedoven | genoeg voor volledige verbranding; 4% O <sub>2</sub> in rookgas voldoende  |
| 128       | 20 - 40%       | wervelbedoven |  |
| 120       | > 40%          |               | rwzi Sheffield, etageoven: 50 - 60%  |
| 8         |                |               | luchtverbruik (zonder overmaat) 6,5 Nm <sup>3</sup> /kg org. materiaal in slib (vergelijk: 10,5 Nm <sup>3</sup> /kg stookolie) |
| 126       | 70 - 80%       | wervelbedoven | $t_n^* - t_z^{**} = 100^\circ$   |
|           | 30 - 40%       |               |  |
|           | 15 - 20%       | wervelbedoven | $t_n - t_z > 100^\circ$  |
| 8         | 50%            | etageoven     |  |

Tabel 19. Luchtvermaat bij verbranding

- \*  $t_n$  = temperatuur in de na-verbrandingsruimte  
 \*\*  $t_z$  = temperatuur in het zandbed.

#### de temperatuur

De keuze van de verbrandingstemperatuur wordt bepaald door de volgende factoren:

- de stankdrempel; een temperatuur hoger dan 750°C is vereist voor een volledige na-verbranding van vrijkomende gassen die stank veroorzaken<sup>117</sup>;
- het verwekingspunt van de as uit het slib (1000° - 1100°C)<sup>117</sup>;
- de warmte-economie van het verbrandingsproces;
- de eisen aan de constructiematerialen.

Zoals uit tabel 20, p.87 blijkt, ligt de verbrandingstemperatuur in het algemeen tussen de 700 - 900°C.

De temperatuur in het zandbed van een wervelbedoven is vrij constant, bijvoorbeeld 750°C; de temperatuur boven het bed (de naverbrandingsruimte) is aanmerkelijk hoger. Dit temperatuursverschil is afhankelijk van de ingestelde luchtvermaat.

| lit. ref. | temperatuur (°C) | oventype              | opmerkingen   |
|-----------|------------------|-----------------------|---|
| 126       | 700 - 750        | wervelbedoven         | stankvrije verbranding  |
| 119       | 646 - 760        |                       | volledige verbranding   |
| 124       | 800 - 850        |                       |   |
| 117       | 750 - 1050       |                       | stankdrempel : 705 °C<br>smeltpunt as : 1050 °C<br>verwekingspunt : 1000 - 1100 °C<br>as uit slib |
| 112       | 800 - 900        | wervelbedoven         | temp. zandbed : 750 °C  |
| 73        | 650              | etageoven             | verbranding filterkoek op de rwzi Kalamezoo, Michigan, USA.                                       |
| 128       | 650 - 700        | wervelbedoven         |   |
| 8         | 760 - 270        | etageoven             | temp. in de verbrandingszône  |
|           | 900 - 1000       | roterende trommeloven |   |
|           | 900 - 950        | wervelbedoven         | fabrikaat Cherchar<br>temp. zandbed : 700 - 800 °C  |
| 5         | 760 - 820        | wervelbedoven         |   |
|           | 425 - 650        | etageoven             | droogzône   |
|           | 760 - 925        | "                     | verbrandingszône  |
|           | 200 - 425        | "                     | koelzône  |
| 120       | 800 - 850        |                       | stankvrije verbranding boven<br>680 °C  |
| 6         | 700 - 900        |                       |   |
| 7         | 800 - 1000       |                       | temp. > 1000 °C : sintering<br>temp. < 800 °C : stank   |

Tabel 20. Verbrandingstemperatuur (diverse literatuuropgaven)

In figuur 17 is een voorbeeld van het temperatuurverloop van slib en rookgas voor een uit 10 etages bestaande etageoven gegeven 122.

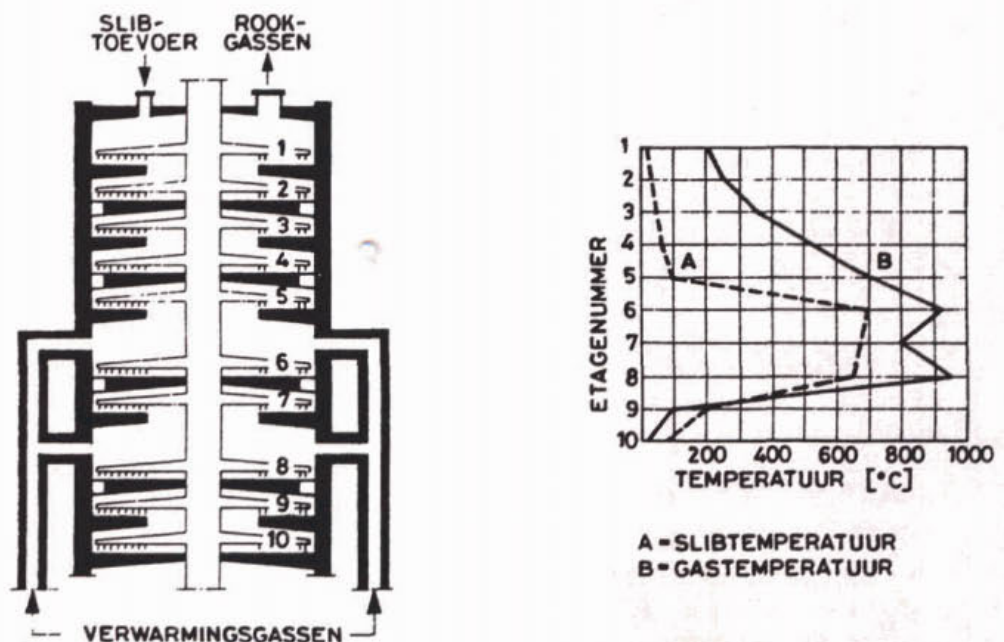


Fig. 17. Temperatuurverloop van slib en rookgas in een etageoven 122

### *de verblijftijd*

In de wervelbedoven zijn de slibdeeltjes in de gasfase gesuspenderd. De verblijftijd is derhalve afhankelijk van de gasverblijftijd die als regel erg kort is (2,5 sec. tot 2 min. <sup>120, 124</sup>). Afhankelijk van de deeltjesgrootteverdeling van het slib zal er evenwel een spreiding in de verblijftijd optreden.

Bij de etageoven en de roterende trommeloven wordt het slib in lagen verbrand; het verbrandingsmechanisme is essentieel anders, het contact slib/rookgas is aanzienlijk minder intensief. De verblijftijd in dergelijke ovens zal derhalve aanmerkelijk langer zijn. Een opgave van de verblijftijd in etage- en roterende trommelovens werd in de geraadpleegde literatuur niet aangetroffen.

Voor een volledige verbranding is de combinatie temperatuur en verblijftijd belangrijk. Naarmate de temperatuur hoger is kan de verblijftijd korter zijn en omgekeerd <sup>119</sup>.

### 3.3.3 Controle en ontwerpcriteria

#### *controle*

Voor de controle en de regeling van het verbrandingsproces worden in het algemeen de temperatuur, de druk, alsmede het O<sub>2</sub>-, CO- en CO<sub>2</sub>-gehalte van de rookgassen en de vuurhaardtemperatuur gemeten.

Regeling van de vuurhaardtemperatuur kan gebeuren door:

- regeling van de luchtvermaat <sup>50, 126</sup> (zie ook tabel 19, p. 86);
- inspuiting van water of afvalemulsies dan wel toevoeging van extra brandstof, stookolie, afgewerkte olie enzovoorts <sup>112</sup>.

Beoordeling van de volledigheid van de verbranding vindt plaats aan de hand van het percentage onverbrand materiaal in de as <sup>130</sup>.

Voor zover bekend, wordt er geen snelle analyse en controle op de calorische waarde van het slib en de emissie van stankcomponenten uitgevoerd.

#### *ontwerpcriteria*

In een aantal publicaties <sup>115, 119, 123, 131</sup> wordt uitvoerig ingegaan op de berekeningsgrondslagen van etageovens en wervelbedovens. Liao <sup>119</sup> beschrijft zeer systematisch de werkwijze voor het dimensioneren van een wervelbedoven voor slibverbranding. Aan zijn werk is tabel 21 ontleend, waarin de belangrijkste ontwerpcriteria voor een wervelbedoven zijn ontworpen.

### 3.3.4 Bedrijfsresultaten

#### *algemeen*

In de recente literatuur over slibverbranding zijn een aantal verbrandingsinstallaties beschreven. Tabel 22, p. 90 geeft hiervan een overzicht, waarin naast een omschrijving van de totale verwerkingsmethode een aantal kenmerken en/of bijzonderheden van de desbetreffende installatie zijn opgenomen. Voor meer informatie wordt verwezen naar de aangegeven literatuurbron.

In de literatuur <sup>115, 123</sup> zijn de bedrijfsresultaten van 13 slibverbrandingsinstallaties (etageovens) in Noord-Amerika opgenomen. Ducar <sup>131</sup> geeft een overzicht van 18 slibverbrandingsinstallaties met een wervelbed-

| parameter   | waarde      | eenheid                 |
|---|-------------|-------------------------|
| slibbelading (d.s.) <sup>*</sup>                        | 24 - 195    | kg/(m <sup>2</sup> .h.) |
| thermische capaciteit                                   | tot 945     | kW/m <sup>2</sup>       |
| warmteafgifte   | tot 520     | kW/m <sup>3</sup>       |
| verhouding lucht/d.s. slib                              | 6 - 50      | kg/kg                   |
| verhouding toe te voeren energie/d.s. slib <sup>*</sup> | 0 - 19,4    | kWh/kg                  |
| verbrandingstemperatuur                                 | 650 - 760   | °C                      |
| verblijftijd  | > 5         | s                       |
| drukverlies   | 12,5 - 25   | kPa                     |
| verhouding hoogte/diameter                              | 4:1 - 6:1   | -                       |
| fluidisatie snelheid                                    | ≈ 90        | m/s                     |
| stroomsnelheid in de naverbrandingsruimte ("freeboard") | 1,5 - 3     | m/s                     |
| stroomsnelheid van de verbrandingsgassen                | 6,1 - 15,25 | m/s                     |
| verhouding diameter "freeboard"/diameter rooster        | 1,5         | -                       |
| verhouding zand/slib                                    | 3 - 8       | kg/(kg.h.)              |

Tabel 21. Ontwerpcriteria voor een wervelbedoven 119

<sup>\*</sup>slibbelading en de benodigde hoeveelheid lucht en brandstof hangen af van het drogestofgehalte van het slib en de verhouding lucht/slib.

oven in Noord-Amerika. Dit overzicht bevat naast de belangrijkste gegevens van de installaties een uitvoerige opsomming van de bedrijfsresultaten.

#### *energieverbruik*

Bij het energieverbruik spelen de in paragraaf 3.3.2 (pp. 82-88) genoemde factoren, zoals de calorische waarde en het watergehalte van het slib, een belangrijke rol. Naarmate het slib minder water bevat is de hoeveelheid toe te voegen brandstof geringer. Bij een bepaald water- en/of drogestofgehalte treedt autothermische verbranding op. De hier bijbehorende drogestofgehalten van het slib variëren voor slib met een organische stofgehalte van 70% van 30 tot 50%. De spreiding in de opgaven is niet vreemd, aangezien zowel de calorische waarde van de brandbare stof voor de diverse slibsoorten als de verbrandingstemperatuur kan verschillen. Een en ander is geïllustreerd in tabel 23, p. 91 en fig. 18, p. 91 <sup>121</sup>.



| lit. ref. | r.w.z.i.  | omschrijving   | opmerkingen  |
|-----------|---|--|--|
| 112       | Bochum/Olbachtal  | slibverwarming tot 60 à 70 °C door rookgasinjectie<br><br>aanzuring en gedeeltelijke uitvlokking door CO <sub>2</sub> uit rookgas.<br><br>chemische conditionering<br>centrifuge of zeefbandpers<br>verbranding in verwelbedoven   | gezamenlijke verbranding van slib, materiaal uit zandvang, afgewerkte olie en olie-emulsies.<br><br><br><br><br>transport naar oven met "Troglkettenförderer"  |
| 50        | Huddersfield<br><br>Blackburn<br><br>Sheffield          | thermisch geconditioneerd humusslib wordt na persfiltratie verbrand in een "Lucas" oven<br><br>verbranding van de filterkoek<br><br>na verkleining verbranding in een etageoven  | roterende siliciumcarbide vuurhaard, stilstaande schrapers (vergelijk: etage-oven, stilstaande vuurhaard, roterende schrapers).<br><br>capaciteit: 2 ton filterkoek per uur.<br><br>Meadows Sewage Works<br>gegevens oven: hoogte 11,6 m<br>diameter 6,8 m, 9 etages |
| 132       | New Haven (East Street)                                 | verbranding van ontwaterd slib en schuim in een etageoven  | gegevens oven: diameter 6,7 m<br>9 etages, capaciteit 10,9 ton/h (slib d.s.: 25%, vluchtige stof 70%)  |
| 73        | Kalamazoo   | thermische conditionering (Zimpro), vacuümfiltratie en verbranding in een etageoven  | verbrandingswarmte benut voor de thermische conditionering<br>bedrijfskosten (100%):<br>conditionering 57,8 %<br>ontwatering 10,8 %<br>verbranding 31,4 %  |
| 41        | Chickenhall<br><br>Roundhill<br><br>Borden (proefinst.) | na zeefbandpers verbranding in de "Lucas Rotary Hearth Cyclonic" oven<br><br>indikking, thermische conditionering (Farrer), verdamping van de vloeistoffase, verbranding van vaste stof en concentratievloeistoffase in de "Farrer/Lucas Cyclonic Mono Rotating Hearth" oven<br><br>verbranding van chemisch slib in een etageoven<br><br>slibdroging en verbranding | nog geen bedrijfsresultaten<br><br>volledig thermische aanpak<br>nog geen bedrijfsresultaten.<br><br>aluminium-, ijzer-, en kalkhoudend slib ontstaan bij fosfaatverwijdering<br><br>trommeldroger + etageoven (pneumatische droger + "Staub-Brennsystem").          |
| 126       | Grimopont (proefinst.)                                  | slibverbranding in een verwelbedoven   | Cherchar-procédé.  |

Tabel 22. Overzicht verbrandingsinstallaties

| luchtvermaat<br>(%) | temperatuur<br>van de<br>verbrandings-<br>gassen (°C) | samenstelling<br>brandbaar<br>materiaal * | bruto calorische waarde<br>kJ/kg brandbaar materiaal |      |       |      |       |      |
|---------------------|---|---|--|------|-------|------|-------|------|
|                     |   |   | 17400  |      | 23250 |      | 29100 |      |
|                     |   |   | brandbaar materiaal<br>(% van de droge stof)         |      |       |      |       |      |
|                     |   |   | 60   | 75   | 60    | 75   | 60    | 75   |
| 0                   | 430   | A   | 36,2   | 31,3 | 26,1  | 22,0 | 20,4  | 17,0 |
|                     |   | B   | 31,0   | 26,4 | 23,2  | 19,5 | 18,6  | 15,5 |
| 0                   | 850   | A   | 62,5   | 57,1 | 40,7  | 35,5 | 29,9  | 25,8 |
|                     |   | B   | 44,6   | 39,4 | 32,4  | 27,7 | 25,5  | 21,4 |
| 50                  | 430   | A   | 41,8   | 36,6 | 28,9  | 24,6 | 22,1  | 18,5 |
|                     |   | B   | 33,6   | 28,8 | 24,7  | 20,8 | 19,5  | 16,3 |
| 50                  | 850   | A   | -  | -    | 54,6  | 49,0 | 37,2  | 32,2 |
|                     |   | B   | 55,3   | 49,8 | 37,6  | 32,5 | 28,5  | 24,2 |

| element | C  | H | O  | N |
|---------|----|---|----|---|
| A (%)   | 60 | 9 | 25 | 6 |
| B (%)   | 45 | 8 | 40 | 7 |

Tabel 23. Drogestofgehalten waarbij autothermische verbranding optreedt 18

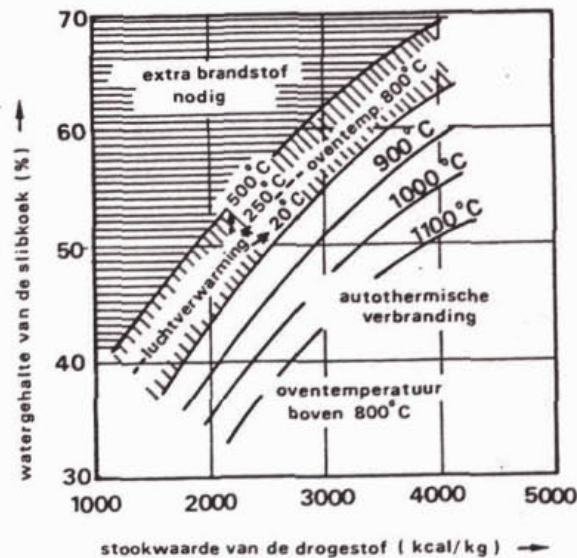


Fig. 18. Stookwaarde van de drogestof en watergehalte van slib in een wervelbedoven

Het energieverbruik bij slibverbranding wordt niet uitsluitend bepaald door de calorische waarde van het slib. Naast de calorische waarde zijn van belang de warmteverliezen van de oven (stralingsverlies 5 tot 20% van de warmtetoevoer) en van de rookgassen, die uit de oven worden afgevoerd. De mate van warmterugwinning uit de rookgassen - bijvoorbeeld door koeling van de rookgassen met de aangevoerde verbrandingslucht - speelt ook een belangrijke rol. Een kwantitatief inzicht hierover wordt verkregen door het opstellen van warmte- en energiebalansen 94, 115, 116, 123. Een voorbeeld van een dergelijke balans is opgenomen in tabel 24, p. 92 94.

|     |   |                           |       |       |       |       |       |       |
|-----|---|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.  | watergehalte  | (%)                       | 95    | 90    | 80    | 70    | 60    | 50    |
| 2.  | drogestofgehalte                                      | (%)                       | 5     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    |
| 3.  | slibhoeveelheid                                       | (t)                       | 10,00 | 5,00  | 2,50  | 1,67  | 1,25  | 1,0   |
| 4.  | slibwater   | (t)                       | 9,50  | 4,50  | 2,00  | 1,17  | 0,75  | 0,50  |
| 5.  | droge stof  | (t)                       | 0,50  | 0,50  | 0,50  | 0,50  | 0,50  | 0,50  |
| 6.  | as  | (t)                       | 0,25  | 0,25  | 0,25  | 0,25  | 0,25  | 0,25  |
| 7.  | netto warmteverbruik                                  | (kcal x 10 <sup>6</sup> ) | 7,337 | 3,477 | 1,552 | 0,911 | 0,589 | 0,397 |
| 8.  | stralingsverlies (10%)                                | (kcal x 10 <sup>6</sup> ) | 0,734 | 0,348 | 0,155 | 0,091 | 0,059 | 0,40  |
| 9.  | netto warmteverbruik<br>+<br>stralingsverlies (7 + 8) | (kcal x 10 <sup>6</sup> ) | 8,071 | 3,825 | 1,707 | 1,002 | 0,648 | 0,437 |
| 10. | thermisch rendement                                   | (%)                       | 44,5  | 44,5  | 44,5  | 44,5  | 44,5  | 44,5  |
| 11. | bruto warmteverbruik                                  | (kcal x 10 <sup>6</sup> ) | 18,20 | 8,60  | 3,83  | 2,25  | 1,46  | 0,98  |
| 12. | warmteinhoud van de droge stof                        | (kcal x 10 <sup>6</sup> ) | 1,25  | 1,25  | 1,25  | 1,25  | 1,25  | 1,25  |
| 13. | toe te voeren warmte (11-12)                          | (kcal x 10 <sup>6</sup> ) | 16,95 | 7,35  | 2,58  | 1,00  | 0,21  | -     |
| 14. | olieverbruik totaal                                   | (kg)                      | 1695  | 735   | 258   | 100   | 21    | -     |
| 15. | olieverbruik / ton slib<br>betrokken op:              |                           |       |       |       |       |       |       |
|     | - slib na voorontwatering (regel 2)                   | (kg/t)                    | 170   | 147   | 103   | 60    | 17    | -     |
|     | - uitgangsmateriaal (5% d.s.)                         | (kg/t)                    | 170   | 74    | 26    | 10    | 2     | -     |
| 16. | brandstofkosten totaal                                | (DM)                      | 203,- | 88,-  | 31,-  | 12,-  | 2,50  | -     |
| 17. | brandstofkosten / ton slib<br>betrokken op:           |                           |       |       |       |       |       |       |
|     | - slib na voorontwatering (regel 2)                   | (DM/t)                    | 20,30 | 17,60 | 12,40 | 7,20  | 2,-   | -     |
|     | - uitgangsmateriaal (5% d.s.)                         | (DM/t)                    | 20,30 | 8,80  | 3,10  | 1,20  | 0,25  | -     |
| 18. | brandstofkosten / ton droge stof                      | (DM/t)                    | 406,- | 176,- | 62,-  | 24,-  | 5,-   | -     |

Tabel 24. Massa- en energiebalans voor slibverbranding\* 94

Uit de schaarse literatuurgegevens blijkt, dat het niet mogelijk is voor slibverbranding het energieverbruik op te geven, omdat dit verbruik per geval verschillend zal zijn. Er worden waarden van 850 - 1250 kJ/kg water <sup>47, 50</sup> en 7500 - 10.000 kJ/kg water <sup>120</sup> genoemd.

In warmte-economisch opzicht is de verbranding van slib in een etage-oven en een wervelbedoven gunstiger dan in een roterende trommeloven. Laatstgenoemde oven heeft een hoog stralings- en afgasverlies <sup>124</sup>. De etageoven heeft daarentegen een hoog thermisch rendement, omdat directe warmteuitwisseling tussen het slib en rookgas plaatsvindt <sup>2, 7, 12, 124, 125</sup>. Een nadeel is de kans op produktie van gassen, die stank veroorzaken. De wervelbedoven heeft door de geringe luchtvermaat waarmee de verbranding wordt uitgevoerd een hoog thermisch rendement <sup>126</sup>.

Het koelen van de rookgassen ten behoeve van warmte-terugwinning kan zowel direct (mengen met lucht of slib) als indirect (warmtewisselaars) gebeuren. Indien hierbij de rookgastemperatuur beneden de 200°C (het dauwpunt van de zure componenten van het gas) daalt, treedt corrosie op <sup>8, 97, 127</sup>.

Volgens Camp <sup>120</sup> verkrijgt men het maximale thermische rendement bij continu bedrijf, daar bij discontinu bedrijf de oven na afkoeling weer

\* 1 kcal = 4,19 kJ

op temperatuur moet worden gebracht.

Aangeraden wordt bij bedrijfsonderbreking de etageoven op 600°C te houden.

Bovendien zal herhaald afkoelen van de oven, zeker wanneer dit snel gebeurt, de levensduur van de oven verkorten.

Continu bedrijf is daarom uit het oogpunt van bedrijfszekerheid aan te bevelen.

### 3.3.5 Apparatuur

#### *algemeen*

Het meest toegepast bij de verbranding van slib zijn: etageovens, wervelbedovens en in veel mindere mate roterende trommelovens en verstuivingsovens. De diverse oventypen zijn in de literatuur<sup>9, 94, 125</sup> uitvoerig beschreven.

#### *etageoven*

De vanaf 1930 veelvuldig toegepaste etageoven kenmerkt zich door zijn robuuste, bedrijfszekere uitvoering. Van onder naar boven gerekend bestaat de oven uit de volgende drie zones:

- een koelzone,
- een verbrandingszone,
- een droogzone.

In de droogzone vindt directe warmte- en stofuitwisseling tussen nat slib en rookgassen plaats. Dit kan stank veroorzaken.

De oven heeft een gunstig thermisch rendement.

De oven bestaat meestal uit 6 tot 12 etages. Veel voorkomende afmetingen zijn<sup>115</sup>: 6 etages: buitendiameter 1,83 m, totaal effectief ovenoppervlak 7,9 m<sup>2</sup>; 12 etages: buitendiameter 6,78 m, totaal effectief oppervlak 288 m<sup>2</sup>.

#### *wervelbedoven*

De wervelbedoven wordt gekenmerkt door de in het (zand)bed aanwezig ideale condities voor stof- en warmteoverdracht. De temperatuurverdeling in het bed is zeer gelijkmatig. De bedrijfszekerheid is in hoge mate afhankelijk van het handhaven van de overmaat fluidisatielucht<sup>128</sup>.

De oven heeft de volgende twee zones:

- de verbrandingszone (dit is het eigenlijke zandbed waarin pyrolyse, vergassing en verbranding plaatsvindt);
- de naverbrandingsruimte (het zogenaamde "freeboard").

De diameter van het wervelbed varieert van 0,5 tot 6 m, de bedhoogte van 0,5 tot 0,8 m. Volgens Degremont<sup>8</sup> komt dit overeen met een verwerkingscapaciteit van 30.000 - 500.000 inwonerequivalenten.

De wervelbedoven heeft evenals de etageoven een gunstig thermisch rendement.

Literatuurgegevens over constructiematerialen, bedrijfszekerheid, onderhoud, levensduur en dergelijke zijn uiterst spaarzaam. Volgens

Henkel <sup>124</sup> is het onderhoud van een wervelbedoven geringer dan dat van andere ovens, omdat deze oven geen bewegende delen heeft. Ondanks het "zandstraaleffect" dat in wervelbedovens optreedt, zou de bemetseling een levensduur van 3 tot 5 jaar hebben.

### 3.3.6 Kosten

Ter vergelijking zijn in figuur 19 de investeringskosten van een etageoven, een wervelbedoven en een roterende trommeloven in afhankelijkheid van de verwerkingscapaciteit aangegeven <sup>135</sup>.

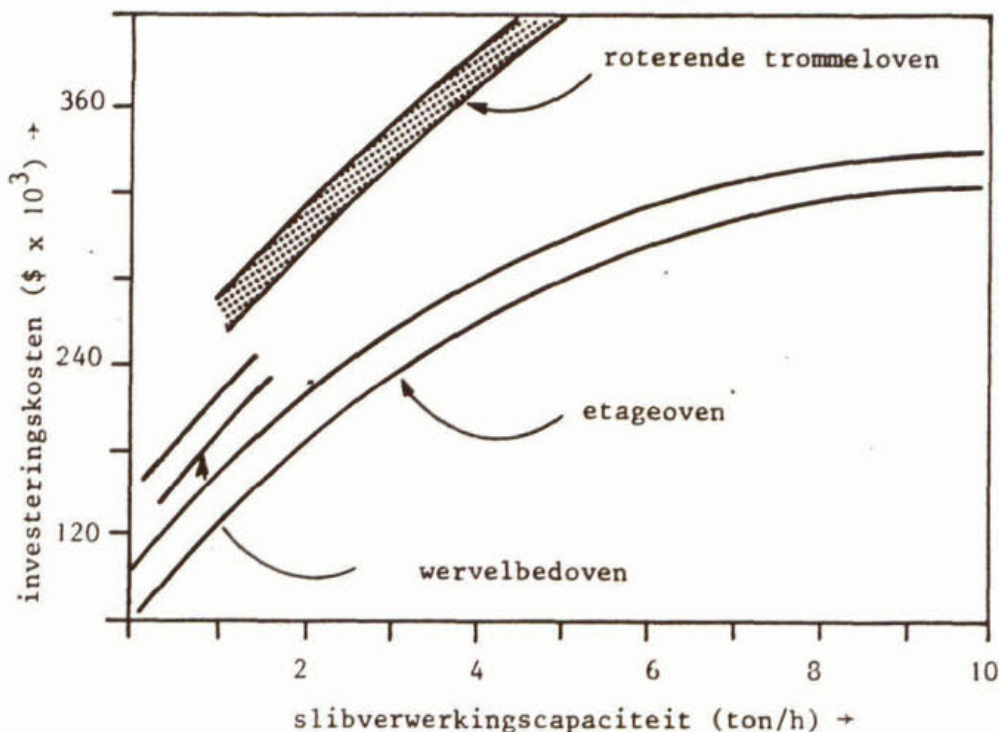


Fig. 19. Investeringskosten en capaciteit bij slibverbranding <sup>135</sup>

Uit figuur 19 blijkt, dat de investeringskosten van een wervelbedoven hoger zijn dan die van een etageoven. Volgens Henkel <sup>124</sup> echter, zijn de investeringskosten van een wervelbedoven lager dan die van andere oventypen.

Imhoff <sup>112</sup> geeft in figuur 20, p. 95 de jaarlijkse bedrijfskosten van de slibverbranding als functie van de installatiegrootte weer (prijspeil 1971). Ter vergelijking zijn in dezelfde figuur tevens de jaarlijkse kosten van "economische" slibverwerking (indikking, slibgisting en afzet) opgenomen. Uit deze figuur blijken laatstgenoemde kosten ongeveer twee maal zo laag te zijn als die van slibverbranding. Dit komt overeen met de gegevens van Pepping <sup>47</sup> (zie ook figuur 15, 3.2.5, p. 79).

Lohman <sup>12</sup> geeft de invloed van het vlokmiddelengebruik op de sliverwerkingskosten voor mechanische ontwatering, gevolgd door verbranding. In figuur 21, p. 95 is het verband tussen de verwerkingskosten per ton slib en vlokmiddelengebruik per kilogram slib weergegeven. De slibverwerking bestaat achtereenvolgens uit mechanische ontwatering door een centrifuge, verbranding door een wervelbedoven (capaciteit: 3 ton d.s./dag) en afzet.

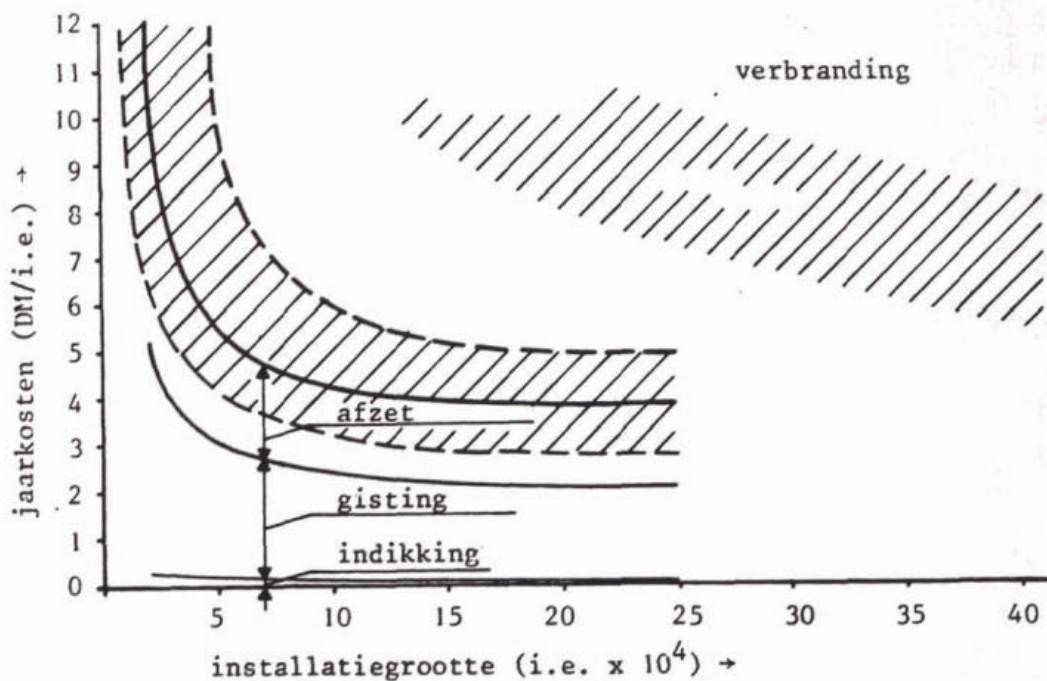


Fig. 20. Bedrijfskosten van slibverwerking en installatiegrootte <sup>112</sup>

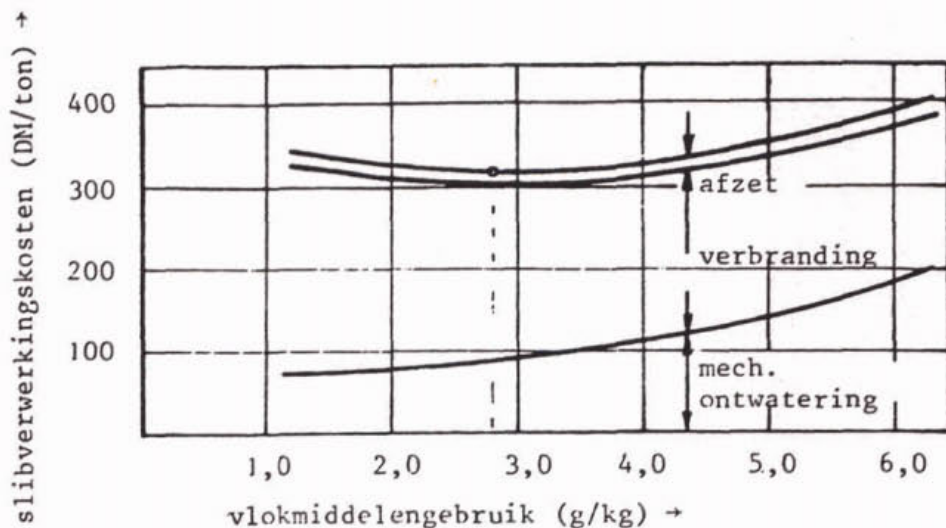


Fig. 21. Vlokmiddelengebruik en slibverwerkingskosten <sup>12</sup>

In figuur 22, p. 96 is eveneens het verband tussen de verwerkingskosten per ton slib en het vlokmiddelengebruik ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) per kilogram slib weergegeven, maar nu geschiedt de mechanische ontwatering door een vacuümfilter. De verbranding vindt echter op dezelfde wijze plaats als in figuur 21, p. 95 (wervelbedoven met een capaciteit van 3 ton d.s./dag).

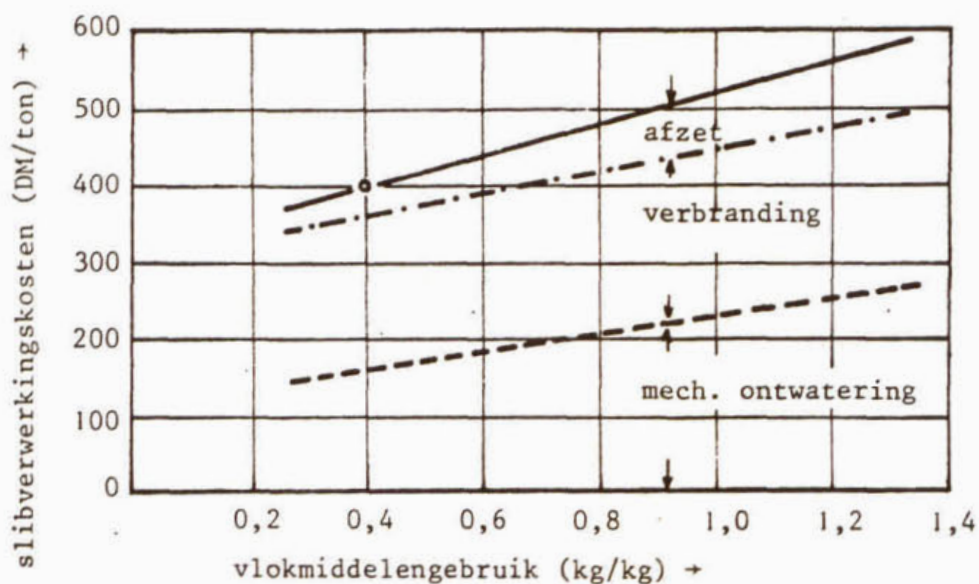


Fig. 22. Vlokmiddelengebruik en slibverwerkingskosten <sup>12</sup>

De invloed van de olieprijs en het drogestofgehalte vóór verbranding op de slibverwerkingskosten wordt geïllustreerd door figuur 23.

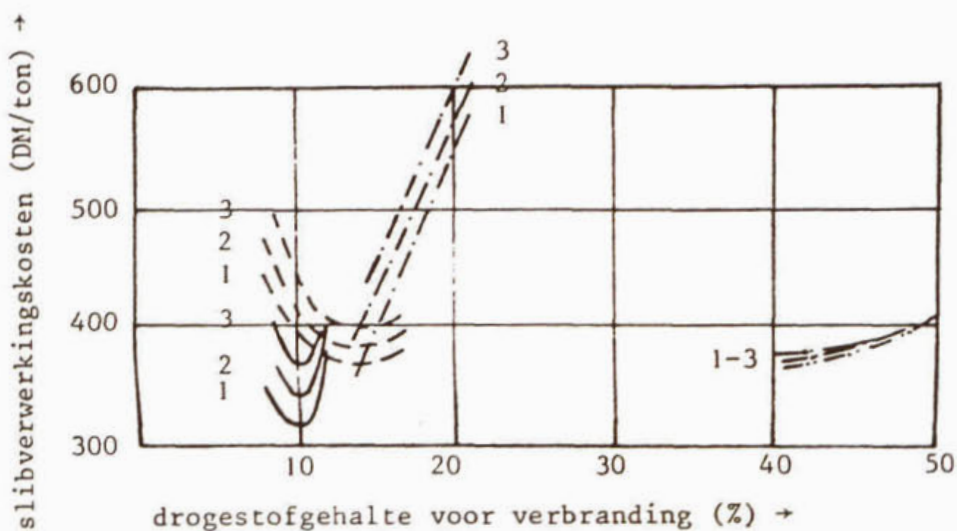


Fig. 23. Olieprijs, drogestofgehalte en slibverwerkingskosten <sup>12</sup>

- |             |              |                         |
|-------------|--------------|-------------------------|
| —           | centrifuge   | 1. olieprijs 120 DM/ton |
| - - - -     | zeefbandpers | 2. " 150 DM/ton         |
| - . - . - . | vacuümfilter | 3. " 180 DM/ton         |
| - . . . . - | filterpers   |                         |

Het uitgangsmateriaal is spuislib met een gloeiverlies van 70%. De mechanische voorontwatering vindt op verschillende manieren plaats. De verbranding geschiedt eveneens door een wervelbedoven met een capaciteit van 3 ton d.s./dag.

Andere capaciteiten en procescombinaties (bijvoorbeeld een combinatie waarin een oven met een slechter thermisch rendement is opgenomen) kunnen een geheel ander beeld geven. Terecht merkt Lohman dan ook op dat voor de keuze van een procescombinatie niet alleen de kosten, maar ook factoren als bedrijfszekerheid bepalend zijn. Volgens Thomas <sup>125</sup> zijn niet zozeer de afzonderlijke processtappen, indikking, ontwatering en verbranding van belang, maar moet de totale procescombinatie economisch optimaal zijn.

Camp <sup>120</sup> merkt bijvoorbeeld op dat het gebruik van extra chemicaliën om een hoger drogestofgehalte te bereiken duurder is dan de extra brandstof nodig voor het verbranden van slib met een lager drogestofgehalte.

| lit. ref. | r.w.z.i.             | capaciteit                     |                       | prijspeil | vaste kosten (%) | variabele kosten |               |           |      |           |               |
|-----------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------|------------------|------------------|---------------|-----------|------|-----------|---------------|
|           |                      | m <sup>3</sup> /d (afvalwater) | i.e. x10 <sup>3</sup> |           |                  | tot.             | energie       |           | loon | onderhoud | hulpstoffen   |
|           |                      |                                |                       |           |                  |                  | elektriciteit | brandstof |      |           |               |
| 128       | City of Durban       | 86,4 x 10 <sup>3</sup>         |                       | ?         | 57               | 43               | 6             | 11        | 11,5 | 13,5      | 1 (water)     |
| 120       | Esher Urban District |                                | 70                    | 1973      | 74,5             | 25,5             | 4,4           | 7,7       | 5,3  | 5,5       | 2,6 (conditi- |
|           |                      |                                | 120                   | 1973      | 66,2             | 33,8             | 6,3           | 11,3      | 7,3  | 4,9       | 4,0 onerings- |
|           |                      |                                | 140                   | 1973      | 63,2             | 36,4             | 7,0           | 12,0      | 8,2  | 4,8       | 4,4 middel en |
|           |                      |                                | 200                   | 1973      | 55,8             | 44,2             | 9,1           | 14,0      | 10,9 | 4,6       | 5,6 zand)     |

Tabel 25. Vaste- en variabele kosten voor mechanische slibontwatering en verbranding met een wervelbedoven.

Camp <sup>120</sup> en Gaillard <sup>128</sup> geven een specificatie van de bedrijfskosten van slibontwatering en verbranding (wervelbedoven). Deze kosten zijn onder andere afhankelijk van de installatiegrootte en het aantal bedrijfsuren per dag van de oven. Door berekening, waarbij de totale bedrijfskosten op 100% zijn gesteld, is een indruk verkregen van de verdeling van de vaste- en variabele kosten (zie tabel 25).

Uit de genoemde uitspraken van Lohman en Thomas en de eerder in dit rapport aangegeven restricties blijkt, dat kostengegevens slechts indicatief bruikbaar zijn.



### 3.3.7 Milieuaspecten

Zoals reeds in de inleiding (p. 82) is vermeld, hebben de milieuaspecten bij slibverbranding voornamelijk betrekking op de emissie van stof en gasvormige verontreinigingen en op de afzet van as.

#### *stof en gasvormige verontreinigingen*

Voor het bestrijden van stof- en gasvormige emissies, wordt meestal, na koeling van de rookgassen, conventionele apparatuur gebruikt. Deze bestaat doorgaans uit een droge (multi) cycloon en een gaswasser (gevoelig voor corrosie) <sup>122, 125</sup>. Als wasvloeistof kan behalve effluent ook nat slib worden gebruikt. Een enkele maal wordt een elektrostatisch stoffilter (maximum werkt temperatuur 350°C) toegepast. Mits goed gedimensioneerd en bedreven kan met deze apparatuur de emissie van bijvoorbeeld stof, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en dergelijke drastisch worden gereduceerd en in vele gevallen onder de norm (zie tabel 26) worden gehouden.

| lit. ref. | omschrijving  | stof mg/m <sup>3</sup> | zwavelverb. SO <sub>2</sub>      | chloorverb. HCl                | fluorverb. F                       | opmerkingen   |
|-----------|---|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|
| 112       | Techn. Anleitung zur Reinhaltung, der Luft, 8 sept. '64 (BRD)<br>totale emissie | 150                    | 350 mg/m <sup>3</sup><br>18 kg/h | 75 mg/m <sup>3</sup><br>4 kg/h | 2,5 mg/m <sup>3</sup><br>0,14 kg/h | t = 800 °C<br>m <sup>3</sup> (0°C, 1 atm. 7% CO <sub>2</sub> )  |
| 136       | EPA Stationary Source Regulations U.S.A. 8 maart 1974                           | 340                    | 300 ppm                          |                                |                                    | m <sup>3</sup> (0°C, 1 atm. 7% CO <sub>2</sub> )  |
| 137       | Federal Register 11 juni 1973, U.S.A.   | 0,6 kg ton d.s.        |                                  |                                |                                    | m <sup>3</sup> (0°C, 1 atm. 7% CO <sub>2</sub> )<br>stoompluim met doorschijnendheidsfactor 20 („opacity”). |

Tabel 26. Normen voor stof- en gasemissies

Voor het meten van stof- en gasemissies wordt verwezen naar de literatuur <sup>137</sup>. Voor kleine installaties (capaciteit tot 20 ton/dag) is een stofemissie van 200 mg per Nm<sup>3</sup> (7% CO<sub>2</sub>) rookgas toegestaan.

In de tabellen 27 t/m 31, pp. 99 - 100 zijn enkele emissiegegevens weergegeven. Tabel 31 <sup>129</sup> en tabel 30 <sup>5</sup> bevatten gegevens over de samenstelling van het effluent van de gaswasser (scrubber).

| emissie                 | berekend | gemeten   |               |
|-------------------------|----------|-----------|---------------|
|                         |          | gemiddeld | spreiding     |
| deeltjes (mg/l)         | 5,78     | 5,01      | 2,15 - 7,85   |
| vaste stof (kg/kg slib) | 0,14*    | 0,11      | 0,043 - 0,171 |
| CO <sub>2</sub> (%)     | 8,35     | 7,90      | 6,40 - 9,40   |
| SO <sub>2</sub> (mg/l)  | 98       | 25        | 18,30 - 30,50 |
| H <sub>2</sub> O (%)    | 20,6     | 15,5      | 12,60 - 18,40 |

Tabel 27. Luchtverontreiniging door een wervelbedoven 129

\* Recente metingen wijzen op een gemiddelde gewichtsverhouding as/slib van ongeveer 0,1

| slibbelading (d.s.)<br>van de oven |                        | emissie             |        |        |                              |                        |                           |                           |                                |
|------------------------------------|------------------------|---------------------|--------|--------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                                    |                        | deeltjes vaste stof |        |        | gasvormige verontreinigingen |                        |                           |                           |                                |
| kg/h                               | kg/(m <sup>2</sup> .h) | (mg/l)*             | (kg/h) | (kg/t) | CO<br>(mg/l)                 | CO <sub>2</sub><br>(%) | SO <sub>2</sub><br>(mg/l) | NO <sub>x</sub><br>(mg/l) | H <sub>2</sub> O<br>(volume %) |
| 45,36                              | 32,21                  | 2,700               | 4,241  | 84,84  | 0                            | 3,0                    | 27,1                      | 7,0                       | 10,3                           |
| 60,78                              | 43,14                  | 0,389               | 0,649  | 9,66   | 0                            | 14,2                   | 11,2                      | 30,6                      | 12,5                           |
| 78,02                              | 55,44                  | 7,848               | 13,393 | 155,13 | 0                            | 6,4                    | 18,3                      | 0,0                       | 12,6                           |
| 79,38                              | 56,27                  | 2,142               | 3,419  | 38,92  | 10                           | 9,4                    | 30,5                      | 2,0                       | 18,4                           |
| 81,19                              | 57,58                  | 1,675               | 2,756  | 30,75  | 0                            | 7,0                    | 29,2                      | 4,0                       | 17,7                           |
| 83,01                              | 59,05                  | 1,270               | 2,320  | 25,22  | 5                            | 7,4                    | 22,5                      | 0,0                       | 15,3                           |
| 85,73                              | 60,80                  | 1,020               | 1,993  | 21,05  | 0                            | 8,7                    | 24,7                      | 8,0                       | 17,8                           |
| 96,62                              | 68,81                  | 0,533               | 0,885  | 8,32   | 0                            | 12,6                   | 33,4                      | 6,0                       | 17,7                           |
| 107,05                             | 75,64                  | 2,020               | 3,537  | 29,94  | 0                            | 11,6                   | 24,3                      | 21,6                      | 20,3                           |
| 127,01                             | 90,04                  | 1,837               | 3,505  | 25,04  | 10                           | 4,5                    | 35,7                      | 26,6                      | 19,9                           |

Tabel 28. Luchtverontreiniging door een wervelbedoven 129

Opmerkingen

- Het vochtgehalte en het gehalte aan vluchtig materiaal van het slib varieert van 73,5 tot 78,3, respectievelijk van 85,7 tot 87,5%.
- De verbrandingstemperatuur varieert van 700 tot 750 °C.
- De stroom verbrandingsgassen varieert van 26 tot 32 m<sup>3</sup>/min.

\* betrokken op 12% CO<sub>2</sub>.

| parameter                    | eenheid                 | wervelbedoven<br>Barstow, Californië (VS) | etageoven<br>Barstow, Californië (VS) |
|------------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|
| stroom<br>verbrandingsgassen | (m <sup>3</sup> /min.)  | 33  | 91                                    |
| luchtvermaat                 | (%)                     | 38,7                                      | 469,2                                 |
| SO <sub>2</sub> -emissie     | (mg/l)                  | 10,7                                      | 2,2                                   |
| NO <sub>x</sub> -emissie     | (mg/l)                  | 161,6                                     | 35,4                                  |
| vastestofdeeltjes            | (g/(m <sup>3</sup> .d)) | 0,15                                      | 0,08                                  |
| gaswasser type               |                         | geperforeerde plaat                       | geperforeerde plaat                   |

Tabel 29. Gas- en stofemissies van slibverbrandingsinstallaties 5

| parameter          | eenheid | spreiding <sup>x</sup> | gemiddelde <sup>x</sup><br>waarde | WTC<br>studie |
|--------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|---------------|
| pH                 |         | 8,3 - 11,8             | 8,8                               | ≈ 7           |
| zwevende stof      | (mg/l)  | 600 - 7690             | 1760                              | ≈ 200         |
| CZV                | "       | 110 - 2600             | 520                               | -             |
| BZV <sub>5</sub>   | "       | 30 - 80                | -                                 | -             |
| TOC                | "       | -                      | -                                 | 17            |
| NH <sub>3</sub> -N | "       | 29 - 244               | 92                                | 7             |
| Cd                 | "       | niet meetbaar tot 42   | 4                                 | -             |
| Cr                 | "       | " " " 250              | 24                                | -             |
| Cu                 | "       | " " " 57               | 7                                 | 0,06          |
| Ni                 | "       | " " " 23               | 5                                 | -             |
| Zn                 | "       | " " " 159              | 29                                | 0,14          |

Tabel 30. Samenstelling van het effluent van een gaswasser <sup>5</sup>

<sup>x</sup> waarden afkomstig van Tench e.a.

| verbrandingsinstallaties<br>in de V.S. | concentraties luchtverontreinigende stoffen                |              |                        |                           |                           |                                 |                       |
|--|--|--------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|
|  | vastestof-<br>deeltjes <sup>z</sup><br>(mg/l) <sup>z</sup> | CO<br>(mg/l) | CO <sub>2</sub><br>(%) | SO <sub>2</sub><br>(mg/l) | NO <sub>x</sub><br>(mg/l) | koolwater-<br>stoffen<br>(mg/l) | water-<br>damp<br>(%) |
| Lynwood, Wash.                         | 0,220  | -            | 13,5                   | 28                        | 4,7                       | -                               | 21,0                  |
| Edmonds, Wash.                         | 0,025  | 0            | 7,3                    | 22                        | 7,0                       | -                               | 13,5                  |
| East-Cliff Capitola,<br>Calif.         | 0,089  | 0            | 9,8                    | 186                       | 7,0                       | 0                               | -                     |
| Lynwood, Wash.                         | 0,114  | 0            | 15,5                   | 0                         | 0                         | 0                               | -                     |
| Foster City, Calif.                    | 0,135  | 0            | 14,3                   | 200                       | 0                         | 0                               | 11,25                 |
| Edmonds, Wash.                         | 0,133  | 0            | 14,9                   | 0                         | 0                         | 0                               | 25,6                  |
| Barstow, Calif.                        | 0,057  | 0            | 14,8                   | 0                         | 0                         | 0                               | 2,9                   |
| Douglas County, Nev.                   | 0,126  | 0            | 15,1                   | 0                         | 0                         | 0                               | 11,9                  |
| Port Washington                        | 0,057  | 0            | 15,5                   | 0                         | 0                         | 0                               | 12,0                  |
| gemiddelde waarde                      | 0,105  | 0            | 13,4                   | 48,2                      | 2,1                       | 0                               | 11,46                 |
| emissienormen <sup>xx</sup>            | 0,458 <sup>xxx</sup>                                       | -            | -                      | 2000                      | -                         | -                               | -                     |
|  | 0,229  |              |                        |                           |                           |                                 |                       |

Tabel 31. Samenstelling van het effluent van een gaswasser voor  
een wervelbedoven <sup>129</sup>

<sup>x</sup> betrokken op 12% CO<sub>2</sub>

<sup>xx</sup> gesteld door de "Puget Sound Air Pollution Control Agency", Staat Washington, 13 maart 1968.

<sup>xxx</sup> norm voor verbrandingsinstallaties vóór 13 maart 1968; 0,229 (mg/l) voor installaties, na deze datum geplaatst.

Voor 29 slibsoorten vond Camp <sup>120</sup> onder normale bedrijfsomstandigheden voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> gemiddelde emissiewaarden van respectievelijk 175 ppm en 13 ppm.

Voor het ontwerpen van ontstoffingsapparatuur moet de stofbelading bekend zijn. Deze bedraagt voor de trommeloven en de etageoven 15 respectievelijk 5 - 10 g/Nm<sup>3</sup> <sup>122, 125</sup>. Het stof bestaat voor meer dan 85% uit deeltjes van 30µ en groter; de dichtheid van het stof is circa 1,5 g/cm<sup>3</sup> <sup>129</sup>. In de rookgassen van een wervelbedoven bevindt zich 95 - 100% van de totale as als vlieggas. Voor een roterende trommeloven en een etageoven is dit percentage 20 - 40% respectievelijk 5 - 10%.

De oorzaak van stank bij slibverbranding is volgens de literatuur <sup>129, 138</sup> de aanwezigheid van aminen (door reductie van proteïnen) en laagmoleculaire vetzuren (azijnzuur, propionzuur, boterzuur, capronzuur en dergelijke). Een volledige analyse van de stankcomponenten is overigens niet bekend. De stank kan efficiënt worden bestreden door verbranding bij voldoende hoge temperatuur (620 - 770°C). Door fluctuaties in de slibsamenstelling kan men volgens Camp <sup>120</sup> in de praktijk beter een temperatuur van 800 - 850°C aanhouden. Door de goede temperatuurbeheersing in een wervelbedoven (homogene temperatuurverdeling) is de kans op stankhinder bij dit oventype kleiner <sup>128</sup> dan bij de etageoven, waarbij de relatief lage temperatuur in de droogzone door het direct contact slib/rookgassen de oorzaak kan zijn van stank. Dit geldt eveneens voor de roterende trommeloven. Volgens de literatuur <sup>125, 136, 138</sup> is in dergelijke gevallen de plaatsing van een naverbrandingsinstallatie afdoende voor de bestrijding van stank. "Schwimmschlamm", olie, vet en onaangenaam ruikende afvalstoffen moeten in verband met de mogelijke stankverspreiding direct in de vuurhaard (brandzone) worden gebracht <sup>6</sup>.

De emissie van zware metalen, pesticiden, polychloorbifenylen (PCB) is in Noord-Amerika uitvoerig onderzocht <sup>139</sup>. De concentraties van zware metalen zijn, met uitzondering van kwik, gering, hoewel zij door Camp <sup>120</sup> wel meetbaar worden genoemd. De uit de rookgassen afgescheiden stof bevatte een meetbare hoeveelheid lood; in verhouding tot het uitgangsslib waren in de verbrandingsas gewoonlijk hogere concentraties aan zware metalen aanwezig <sup>139</sup>.

Pesticiden en PCB's (niet biologisch afbreekbaar) worden bij het verbrandingsproces volledig vernietigd <sup>120, 136, 139</sup>.

#### *afzet van de as*

Een vochtgehalte van 30% is volgens Thomas <sup>122</sup> voldoende om geen "stuifproblemen" bij transport en storten te hebben. Bevochtiging van de as geschiedt bijvoorbeeld door menging met natte as uit de gaswasser. Deze natte as wordt door bezinking uit de wasvloeistof afgescheiden. De steriele, pesticide vrije as bevat nog fosfaat en sporten stikstof en kalium. Zij zou volgens Sebastian <sup>136</sup> geschikt zijn voor "landfill". Volgens Thomas <sup>122</sup> kan uitloging optreden van de in de as aanwezige sulfaten, chloriden, chromaten, metaalzouten en dergelijke en bestaat de kans op grondwaterverontreiniging. Daartegenover stelt Diosady <sup>62</sup> dat de in de as aanwezige stoffen (voornamelijk metaaloxiden) chemisch in hoge mate resistent zijn en daardoor niet gemakkelijk in oplossing gaan.

Thomas merkt ook op dat as vocht uit de lucht bindt en dan een "ondoorlaatbare" laag vormt. Door vergroting van de deeltjes wordt het uitwisselend oppervlak bovendien verkleind en het uitlogen enigszins tegengegaan.

Diosady <sup>62</sup> concludeert, naar aanleiding van zijn onderzoek naar mogelijke terugwinning van waardevolle componenten uit verbrandingsas, dat alleen de terugwinning van fosfor in de vorm van fosforzuur mogelijkheden biedt.

#### *geluidshinder*

Geluidshinder komt in de literatuur over slibverwerking nagenoeg niet ter sprake. K.R. Imhoff <sup>112</sup> vermeldt de volgende toelaatbare waarden voor woningen gelegen op circa 80 m van een slibverbrandingsinstallatie: overdag 60 dB (A), 's-nachts 45 dB (A). Door het nemen van maatregelen moet het geluidsdruk niveau in de buurt van de installatie onder de 85 dB (A) worden gehouden.

### 3.3.8 Slib/huisvuilverbranding

Omdat de bij de verbranding van vast afval (huisvuil) vrijkomende warmte kan worden benut voor het drogen van het slib lijkt de toepassing van slib/huisvuilverbranding aantrekkelijk. De hoeveelheid slib die met huisvuil gezamenlijk kan worden verbrand is onder andere afhankelijk van het vochtgehalte en de calorische waarde van het slib en het huisvuil <sup>118</sup> (zie figuur 24, p. 103).

Volgens Teeuwen <sup>97</sup> bedraagt de mengverhouding van ontwaterd slib (drogestofgehalte 25%) met huisvuil in het meest gunstige geval 1 : 5, wat bij benadering overeenkomt met per inwoner geproduceerde hoeveelheden.

Behalve op de calorische waarde heeft het vochtgehalte van het slib ook effect op de consistentie van het slib. Teeuwen wijst op de moeilijke hanteerbaarheid (mengen met huisvuil; een goede homogenisering is een essentiële voorwaarde), de slechte luchtdoorlaatbaarheid en de lange verblijftijd in vergelijking met die bij verbranding van vaste afvalstoffen.

Slib/huisvuilverbranding kan op de volgende manieren plaatsvinden:

- de verbranding van *nat slib* gemengd met verkleind huisvuil;
- de verbranding van *nat slib* en verkleind huisvuil (ongemengd); slib en verkleind huisvuil worden apart en op verschillende plaatsen aan de oven (meestal etageoven) toegevoerd;
- de verbranding van *nat slib* met huisvuil door verstuiving van slib in rookgassen (capaciteit gering  $\pm$  0,5 ton slib, 5% droge stof per ton afval);
- de verbranding van *nat slib* met huisvuil, na droging door middel van indirecte warmteuitwisseling, waarbij de warmte uit het rookgas op het slib wordt overgedragen (het zogenaamde Dünnsichtverfahren);
- de verbranding van *mechanisch ontwaterd slib* met huisvuil, hetzij vooraf met huisvuil gemengd, dan wel apart toegevoegd, in een vuilverbrandingsoven;
- de verbranding van *mechanisch ontwaterd slib* met huisvuil in aparte ovens, waarbij de rookgassen van de vuilverbrandingsoven voor de

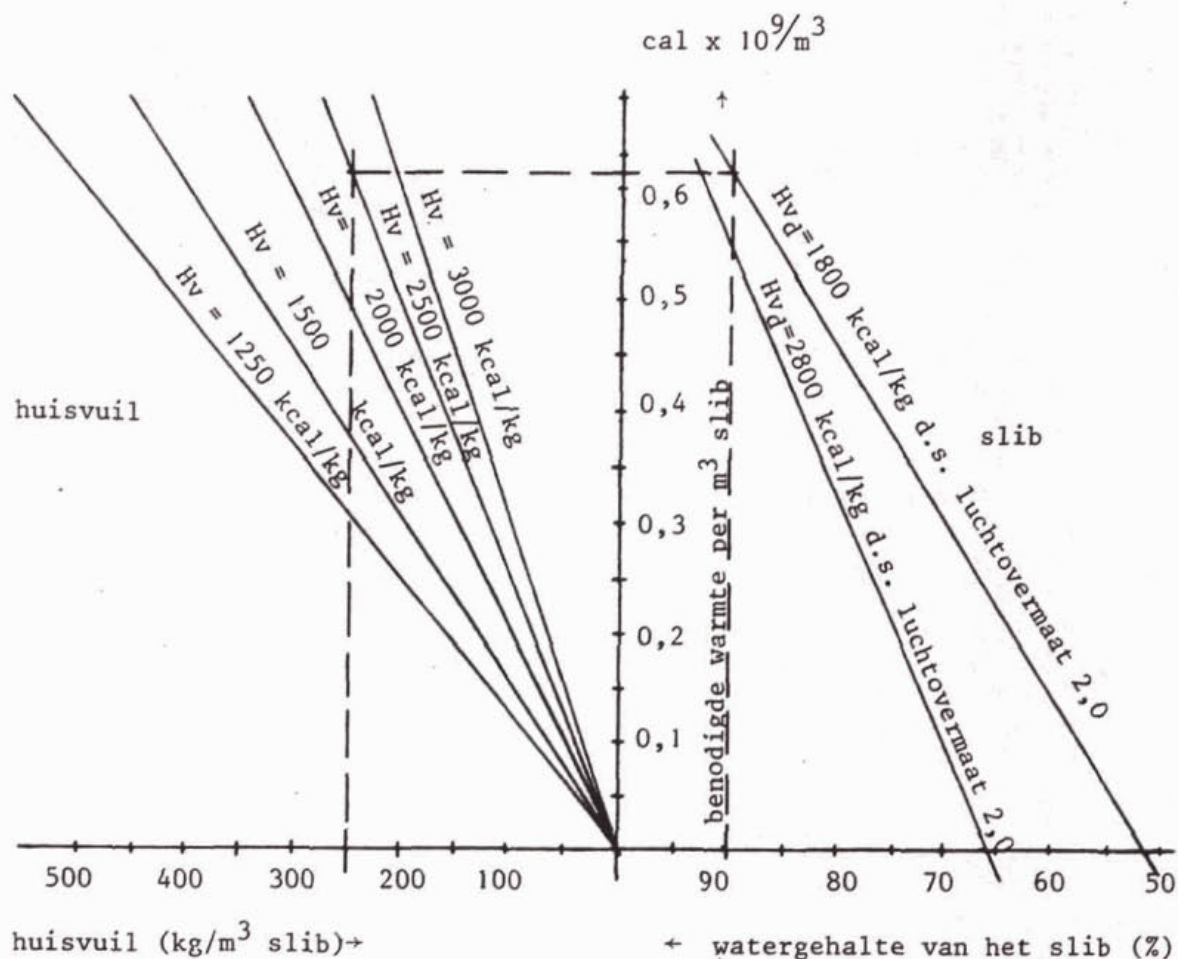


Fig.24. Mengverhouding slib/huisvuil, slibwatergehalte en calorische waarden van slib en huisvuil 118

droging van het slib in de sliboven worden gebruikt. Volgens dit principe werkt de gecombineerde slib/huisvuilverbrandingsinstallatie te Dordrecht 140.

Al deze mogelijkheden met hun voor- en nadelen zijn in de literatuur 77, 97, 116 zeer uitvoerig besproken. Volgens Teeuwen biedt de laatstgenoemde methode een aantal belangrijke voordelen. Indien de genoemde alternatieven elkaar in financieel-economisch opzicht niet veel ontlopen, verdient deze laatste methode de voorkeur.

Aan de gecombineerde verbranding van slib en huisvuil zijn, evenals bij de slibverbranding, milieuproblemen en corrosieproblemen verbonden. Over het algemeen zullen deze problemen bij de gecombineerde verbranding groter zijn. Voor meer bijzonderheden over de aard van deze problemen wordt verwezen naar de eerder genoemde literatuur (3.3.7, pp. 98-102).

### 3.4 PYROLYSE ALS LAATSTE PROCESSTAP

Wanneer organisch materiaal (bijvoorbeeld slib) bij temperaturen van 600 - 1100°C zonder zuurstof of bij zeer lage concentraties hiervan wordt verhit, spreekt men van pyrolyse ("destructieve destillatie"). Hierbij ontstaat een gasvormige en vaste fase. De gasfractie levert na condensatie olie (teer) en gas. Een groot deel van de verbrandingswarmte van het uitgangsmateriaal kan worden teruggewonnen uit de verbrandingswarmte van de producten, koolstof, olie en gas <sup>106</sup>.

De koolfractie heeft adsorptieve eigenschappen en kan worden gebruikt bij het zuiveren van afvalwater en de verwerking van het slib. Toepassing van deze principes op grote schaal, zal plaatsvinden in Minneapolis/St. Paul (USA), waar pyrolyse van vast afval en slib zal worden uitgevoerd. De bouwfase zal in 1977 worden afgesloten <sup>107</sup>.

In Zweden wordt eveneens de productie van actieve kool uit slib bestudeerd en getest (Alpha-Laval <sup>108, 109</sup>). Na mechanische ontwatering met centrifuges en droging tot 50 - 70% droge stof wordt pyrolyse toegepast bij gecontroleerde oxydatie. Uitgaande van slib met 40% as ontstaat actieve kool met een adsorptie-oppervlak van 30 - 50 m<sup>2</sup>/g verkoold slib. Dit product wordt toegepast bij de stankbestrijding van de ventilatielucht van de slibindikers. Tevens zijn testen uitgevoerd met het ontkleuren en zuiveren van industrieel afvalwater. Hoewel voor dit doel tweemaal zoveel kool nodig was dan bij toepassing van "normale" actieve kool, lijkt het gebruik van verkoold slib toch economisch interessant <sup>108</sup>.

Recente informatie van Alpha-Laval wijst uit, dat dit onderzoek sinds 1973 niet helemaal aan de verwachtingen heeft beantwoord.

Samenvattend moet dan ook worden geconcludeerd dat de toepassing van pyrolyse van slib thans nog niet duidelijk is aangetoond.

Dit geldt nog meer voor andere onderzoeken, zoals blijkt uit talloze octrooiaanvragen <sup>110</sup>.

### 3.5 COMPOSTERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

#### 3.5.1 Inleiding

Er zijn talrijke mogelijkheden om het slib, dat bij de zuivering van stedelijk afvalwater ontstaat, te gebruiken als meststof mits het gehalte aan zware metalen laag is. Ingedikt, mechanisch ontwaterd en gecomposteerd slib worden toegepast in de landbouw.

Volgens Teensma <sup>95</sup> is compostering een biologisch zelfverhittingsproces, waarbij langzame oxydatie plaatsvindt. Als eindproduct ontstaat een waardevolle organische meststof, die goed strooibaar is.

Hoewel het organisch bestanddeel van het slib in principe geschikt is voor exotherme biologische afbraak, voldoet het slib in natte of gedeeltelijk ontwaterde toestand niet aan de optimale, voor de compostering vereiste voorwaarden. Daarom wordt het vrijwel altijd met ander organisch, goed composteerbaar materiaal (bijvoorbeeld huisvuil) gemengd (zie paragraaf 3.3.8, pp. 102 - 103).

Uit het oogpunt van milieubeheer is compostering aantrekkelijk omdat het eindproduct in een natuurlijke kringloop wordt teruggebracht. Aan de vraag in hoeverre compostering een bijdrage vormt tot de oplossing van het slibprobleem wordt hier voorbijgegaan. Teeuwen <sup>97</sup> verwacht dat de gezamenlijke verwerking van slib en huisvuil geen toekomst heeft.

In Nederland werd alleen in het composteringsbedrijf te Mierlo ontwaterd slib afkomstig van de rioolwaterzuivering Eindhoven met onverkleind huisvuil gecomposteerd. In 1970 werd door dit bedrijf + 38.000 ton composteerbaar huisvuil en 17.000 ton slib (20% droge stof) gezamenlijk verwerkt <sup>97</sup>.

#### 3.5.2 Procesomstandigheden

##### *algemeen*

Naast de eigenschappen van het uitgangsmateriaal (de C/N-verhouding, het vochtgehalte, de luchttoetreding en dergelijke) zijn de belangrijkste procesomstandigheden, de gistingstemperatuur en de gistingstijd.

##### *uitgangsmateriaal*

Zoals in de inleiding (3.5.1, p. 105) is aangegeven wordt het slib om een aantal redenen (C/N-verhouding, vochtgehalte, structuur) met ander organisch materiaal (huisvuil, turf, stro, zaagsel, etc.) gemengd. De diverse, in de literatuur vermelde, mengverhoudingen zijn voor een aantal materialen in tabel 32, p. 106 samengevat.

Over de toevoeging van andere dan de in de tabel 32, p. 106 genoemde hulpstoffen is in de literatuur <sup>104</sup> uitvoerig gerapporteerd.

Over de slibsoort wordt bij de informatie over de mengverhouding meestal geen opgave gedaan. Volgens Braun <sup>96</sup> is vers slib door een hoger gehalte aan gemakkelijk afbreekbare organische stoffen en voedingsstoffen beter te composteren dan uitgestist slib.



| lit. ref. | slibeigenschappen                       | compostering met  | verhouding mengmateriaal/slib                          | opmerkingen  |
|-----------|---|---|--|--|
| 95        | steekvast<br>..<br>..<br>..<br>..<br>.. | sadsvuilcompost<br>verkleind vers stadsvuil<br>verkleind vers stadsvuil<br>onverkleind stadsvuil<br>onverkleind stadsvuil<br>tuinturf | 1 : 1 **<br>1 : 1 **<br>1 : 2 *<br>1 : 1 *<br>4 : 1 ** | alle mengverhoudingen tussen 1 : 1 en 1 : 2 zijn mogelijk.<br><br>tuinturf niet geschikt voor menging met steekvast slib bij het „Brikollare Verfahren“. |
|           | steekvast, onuitgerot                   | verkleind vers stadsvuil  | 3 à 4 : 1 *  |  |
| 7         | steekvast, onuitgerot (20-30% d.s.)     | stadsvuil   | 1 : 1 **   | weinig slib:<br>mengsel arm aan energierijk materiaal<br>meer slib:<br>mengsel te nat en te compact waardoor onvoldoende luchttoetreding.                |
| 98        | steekvast (20% d.s.)                    | huisvuil (70% d.s.)   | 2 : 3 *  | zie figuur 24.   |
| 99        | steekvast                               | organische koolstofdrager zoals turf, stro, bruinkool, zaagsel  | 1 : 1  | bij de B.A.V. - bioreactor.  |
| 100       | vers slib<br>uitgegist slib             | stro<br>stro  | 4 : 5 **<br>2 : 3 **                                   | bij het biomistproces.   |

Tabel 32. Mengverhouding van slib met andere organische stoffen

- \* Gewichtsverhoudingen  
\*\* Volumeverhoudingen.

Het gemengde materiaal moet aan de volgende voorwaarden voldoen voor een optimaal verlopen van het composteringsproces <sup>95</sup>:

- de C/N-verhouding van het te composteren materiaal moet bij voorkeur 15 - 30 bedragen.

Volgens Teensma <sup>95</sup> ligt de optimale C/N-verhouding tussen 15 en 20; volgens Pallasch <sup>6</sup> tussen 25 en 30. Volgens deze laatste auteur bedraagt de C/N-verhouding voor vers slib 15, voor actief slib 5 - 8 en voor uitgegist slib 13.

Vaak wordt het slib met huisvuil gemengd. Volgens Pallasch <sup>6</sup> kan de door de hoge C/N-verhouding (80) veroorzaakte lange composteringstijd van huisvuil worden bekort door de toevoeging van slib. Tevens wordt hierdoor een betere compostkwaliteit verkregen.

Is de C/N-verhouding na het composteringsproces groter dan 20 dan is de compost nog niet rijp. Bij gebruik kan er door het onttrekken van stikstof aan de bodem stikstofgebrek bij het gewas optreden. Is de C/N-verhouding daarentegen kleiner dan 15, dan is de compost te ver verteerd en bevat derhalve te weinig organische stof;

- het materiaal moet voldoende energierijk zijn daar er anders te weinig warmte wordt geproduceerd. Dan blijft de temperatuur te laag, waardoor ziektekiemen in onvoldoende mate worden gedood. Volgens Gaul en anderen <sup>104</sup> zijn voor het verkrijgen van "hygiënisch" betrouw-

bare compost uit uitgegist slib hulpstoffen zoals "Biorott" of batterijmest van leghennen nodig;

- het materiaal moet gemakkelijk biologisch aantastbaar zijn (moeilijk aantastbare materialen zijn bijvoorbeeld hout, veen, eikenblad en dennennaalden);
- het materiaal moet goed toegankelijk zijn voor lucht. Anaerobe condities zijn ongewenst, omdat de afbraaktijd langer is, er meer stank vrijkomt en de temperatuur lager is dan onder aerobe omstandigheden <sup>96</sup>. Volgens Teensma <sup>95</sup> verloopt het composteringsproces bij zuurstofgehalten tot minimaal 4%;
- het materiaal moet voldoende water bevatten omdat de micro-organismen de aanwezige voedingsstoffen alleen in vloeibare vorm opnemen. Volgens Teensma <sup>95</sup> moet het vochtgehalte van het te composteren materiaal 50 - 55% bedragen; volgens Pallasch <sup>6</sup> is het optimale vochtgehalte 45 - 50% (maximaal 60%).

Hierbij ontstaat een dermate compacte structuur, dat bij compostering onvoldoende lucht kan toetreden. Een betere structuur kan worden verkregen met ander composteerbaar materiaal (bijvoorbeeld huisvuil) te mengen. In combinatie met huisvuil wordt tevens de C/N-verhouding gecorrigeerd. Het vochtgehalte van het slib is bepalend voor de hoeveelheid slib, die te zamen met het materiaal kan worden verwerkt. Naarmate het uitgangsslib minder water bevat kan meer slib worden toegevoegd, waarbij echter wel het mengprobleem toeneemt <sup>97</sup>. Bij een drogestofgehalte van 20 - 30% kunnen equivalente hoeveelheden slib en huisvuil gezamenlijk worden gecomposteerd.

Voor de combinatie slib/huisvuil is een grafiek (figuur 25) opgenomen waarin de mengverhouding in afhankelijkheid van het watergehalte van het slib is weergegeven voor verschillende watergehalten van het huisvuil <sup>98</sup>.

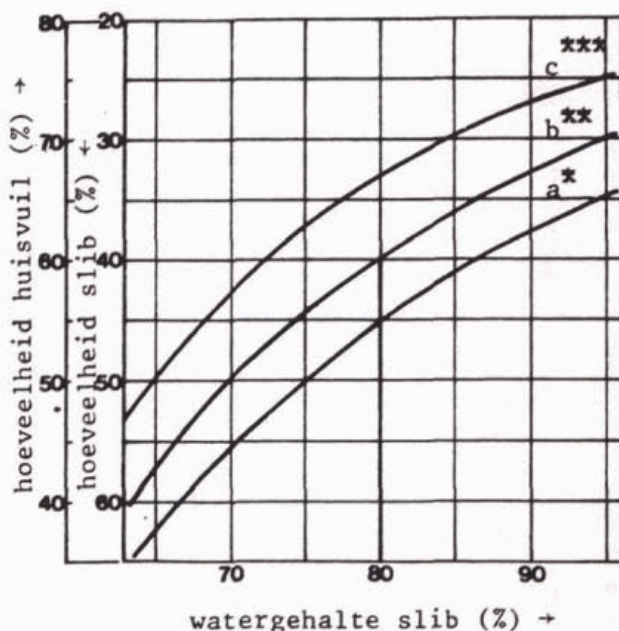


Fig. 25. Mengverhouding slib/huisvuil en het slibwatergehalte <sup>98</sup>

- \* a = watergehalte huisvuil, 25%
- \*\* b = watergehalte huisvuil, 30%
- \*\*\* c = watergehalte huisvuil, 35%.

Bij een vochtgehalte kleiner dan 30% komt het composteringsproces tot stilstand, terwijl bij een vochtgehalte groter dan 60% het proces van aerob naar anaerob omslaat <sup>96</sup>;

- ten aanzien van het gehalte aan zware metalen in het te composteren mengsel gelden dezelfde beperkingen, die gesteld worden aan de directe toepassing van het slib in de landbouw.

#### *composteringstemperatuur*

Door (natuurlijke) of biologische zelfverhitting loopt de temperatuur tijdens het composteringsproces op tot 50 - 70°C <sup>95, 98, 101</sup>. In het materiaal kunnen tijdens het composteren plaatselijk hogere temperaturen (75 - 80°C) optreden <sup>99</sup>. Temperaturen van 50 - 70°C gedurende een bepaalde tijd (volgens Teensma <sup>95</sup> 7 dagen) zijn gewenst in verband met het doden van pathogene ziektekiemen en kiemkrachtige onkruidzaden.

Indien geen machinale voorfermentatie plaatsvindt zoals bij het systeem van Maanen en Dano <sup>97</sup> bedraagt bij het gezamenlijk composteren van slib en huisvuil de composteringstijd 6 tot 8 maanden.

#### *procestijd*

De procestijd is onder andere afhankelijk van de wijze waarop de compostering wordt uitgevoerd. Bij de bioreactor van Kneer vindt een voorfermentatie plaats. De verblijftijd in de reactor bedraagt 3 tot 10 dagen. Daarna moet het materiaal gedurende 4 tot 8 weken narijpen <sup>99, 102</sup>. In de installatie te Flensburg wordt in een roterende trommel (Dano) slib en huisvuil voorgefermenteerd. De verblijftijd in de trommel is 24 uur. Daarna vindt gedurende 90 dagen narijping op hopen plaats. Deze narijptijd kan worden verkort door het materiaal veelvuil dig om te zetten <sup>98</sup>. In Bad Homburg wordt slib en stro in een meststrooier gemengd en daarna op hopen gecomposteerd. De rijpingstijd bedraagt minstens 6 weken. <sup>103</sup>. Bij het zogenaamde "Brikollare Verfahren", waarbij verkleind huisvuil en slib tot briketten worden samengeperst en vervolgens na bevochtiging worden gecomposteerd, bedraagt de voorfermentatietijd 2 à 3 weken <sup>95, 101</sup>.

#### *zuurstof en/of kooldioxyde concentratie*

Bij de bioreactor van Kneer vindt controle en regeling van O<sub>2</sub> of CO<sub>2</sub>-concentratie plaats (zie figuur 27, p. 110).

### 3.5.3 Bedrijfsresultaten

#### *energie*

Ook wanneer geen geforceerde luchttoevoer plaatsvindt, is voor het composteren mechanische energie vereist. Het energieverbruik hangt af van het type apparaat waarmee de compostering wordt uitgevoerd. Wordt de gecombineerde huisvuilslibcompostering, zoals bij de installatie te Flensburg in een roterende trommel uitgevoerd, dan bedraagt het energieverbruik 25 - 35 kWh/t. Dit is gering in vergelijking tot het energie-

verbruik bij de verbranding van huisvuil. Dit verbruik is namelijk 60 - 100 kWh/ton <sup>98</sup>.

#### *hulpstoffen*

Naast de toevoeging van composteerbaar materiaal worden in sommige gevallen andere hulpstoffen aan het slib toegevoegd; bijvoorbeeld kalk om de pH te verhogen en kaliumverbindingen om de bemestingswaarde van de compost te verhogen. Bij het composteren van vers slib treedt een sterke stankontwikkeling op die, door toevoeging van veel kalk kan worden bestreden <sup>6</sup>.

Voor het vastleggen (immobiliseren) van de zware metalen in het slib wordt in incidentele gevallen bentoniet toegevoegd. Kleimineralen bezitten namelijk de eigenschap om zware metalen vast te houden en slechts zeer langzaam en daardoor in onschadelijke concentraties weer af te geven <sup>103</sup>. Per m<sup>3</sup> slib wordt circa 10 kg bentoniet toegevoegd <sup>99</sup>.

#### *eindproduct*

Door de biologische zelfverhitting en de antibiotisch werkende stofwisselingsproductie van de micro-organismen ontstaat een hygiënisch (min of meer) betrouwbaar product dat geschikt is als meststof en als grondverbeteraar. Door de zelfverhitting verdampt tevens een deel van het aanwezige water waardoor het drogestofgehalte tot circa 65% kan oplopen.

#### 3.5.4 Apparatuur

Bij de compostering kan onderscheid worden gemaakt in de natuurlijke aerobe fermentatie en de machinale voorfermentatie. In het eerste geval wordt het te composteren materiaal op hopen (hoogte maximaal 1,5 m, breedte maximaal 2,5 m, <sup>100</sup>) gebracht. Procestechnische apparatuur wordt hierbij niet gebruikt. Een voorbeeld hiervan is het Biomist proces <sup>100</sup> waarbij slib en stro na menging op hopen worden gezet.

Bij de machinale voorfermentatie worden afhankelijk van het systeem diverse apparaten toegepast; bij het Dano-systeem <sup>101</sup> bestaat de apparatuur uit een roterende trommel. Bij het door Kneer ontwikkelde proces wordt de compostering uitgevoerd in een cilindrische toren (de zogenaamde bioreactor), waardoor in tegenstroom te composteren materiaal en lucht worden geleid.

In de figuren 26 en 27 p. 110 zijn eenvoudige schema's van dit proces weergegeven.

Meer informatie over het proces is samengebracht in tabel 33 p.111

Een ander proces is het door Caspari ontwikkelde "Brikollare Verfahren". Hierbij worden slib en verkleind huisvuil in briketvorm gecomposteerd. Het proces is uitvoerig beschreven door Meyer <sup>96</sup>. Afgezien van de persen nodig voor het briketeren wordt hierbij geen speciale procesapparatuur gebruikt. De briketten worden opgestapeld en na bevochtiging gecomposteerd.

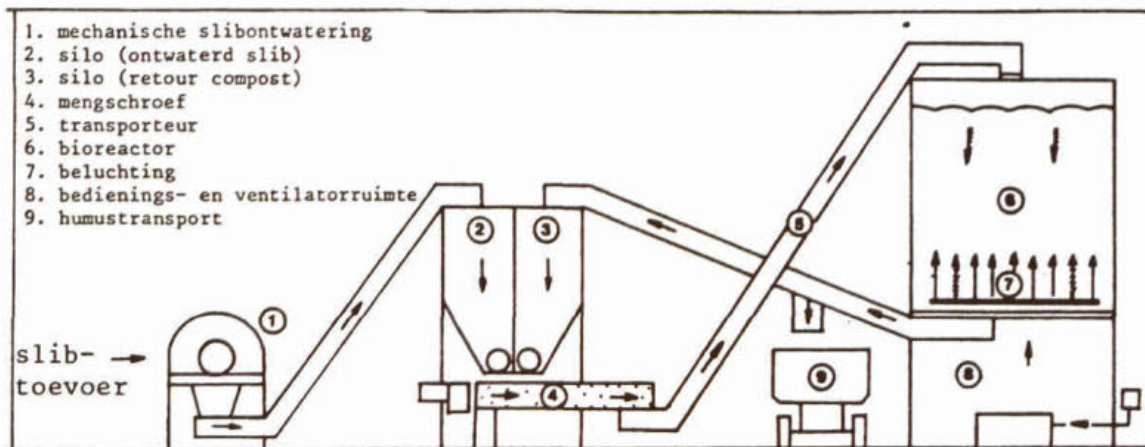


Fig. 26 . Processchema van de B.A.V. bioreactor 99

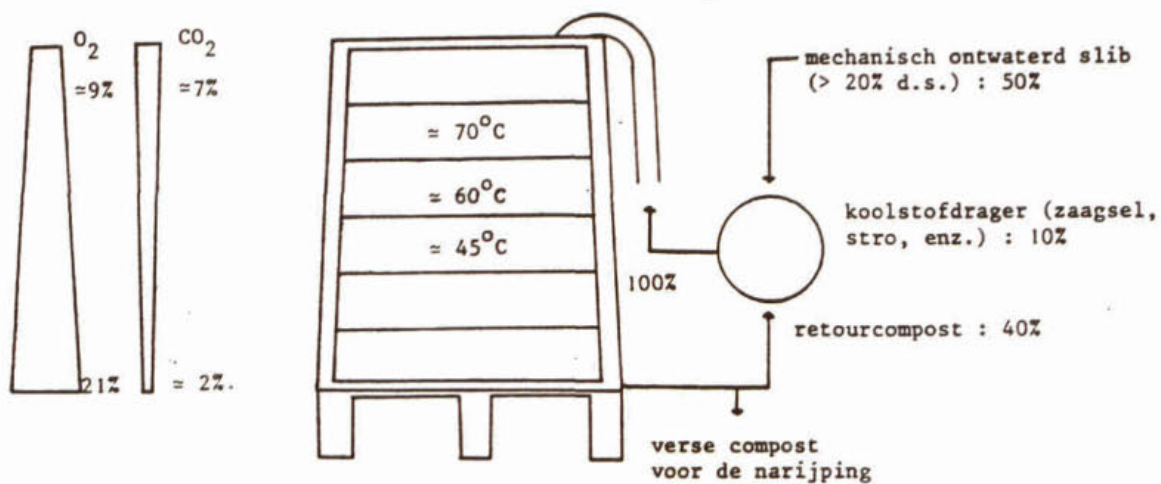


Fig. 27 . Procesomstandigheden in de B.A.V. bioreactor 105

| omschrijving   | informatie  |
|--|---|
| principe   | voorontwaterd slib met koolstofdrager in tegenstroom met lucht  |
| volumeverhouding, slib/koolstofdrager  | 1 : 1   |
| samenstelling:<br>voorontwaterd slib (min. d.s. 20%)<br>koolstofdrager (zaagsel, stro, e.d.)<br>retourcompost  | 50 volumepercenten<br>10 volumepercenten<br>40 volumepercenten  |
| werkwijze  | continu   |
| verblijftijd   | 7 - 10 dagen <sup>102</sup><br>3 dagen <sup>99</sup>  |
| narijptijd buiten de reactor   | 4 - 8 weken   |
| zuurstofgehalte in de reactor  | 21% (onder)<br>9% (boven)   |
| koolzuurgehalte in de reactor  | 2% (onder)<br>7% (boven)  |
| energieverbruik (per m <sup>3</sup> te composteren materiaal)  | 7 kWh/m <sup>3</sup><br>(zie tabel 34)  |
| procescontrole:<br>temperatuurmeting<br>meting koolzuurgehalte   | op 6 plaatsen<br>op 2 plaatsen  |
| reactorvolume (leverbare eenheden)   | 50, 100, 200 m <sup>3</sup><br>300, 400, 500 m <sup>3</sup><br>(50m <sup>3</sup> = 7.000 i.e.)                  |
| investeringen (prijspeil 1972) <sup>102</sup><br>installatiegrootte 10.000 i.e.<br>50.000 i.e.<br>600.000 i.e. | 200.000 DM<br>5.000.000 DM<br>12.000.000 DM   |
| variabele kosten (incl. onderhoud) <sup>102</sup>  | 16 - 20 DM/ton afval per jaar<br>(4 - 5 DM/i.e.)  |
| ervaring; installaties in bedrijf  | Lamsheim, Deidesheim, Winterberg, varkensfokkerij te Sagonya (Japan), Abwasserverband Schaichtal, Weilheim/Teck |

Tabel33. Gegevens over de B.A.V. bioreactor van Kneer <sup>99, 102, 105</sup>

### 3.5.5 Kosten

Over de kosten van de slibcompostering worden in de literatuur weinig gegevens verstrekt. De beschikbare informatie over kosten hebben betrekking op de B.A.V. bioreactor van Kneer. In tabel 34, p.112 is reeds een aantal gegevens over kosten vermeld.

In figuur 28 zijn de investeringskosten als functie van de grootte van de bioreactor gegeven <sup>105</sup>.

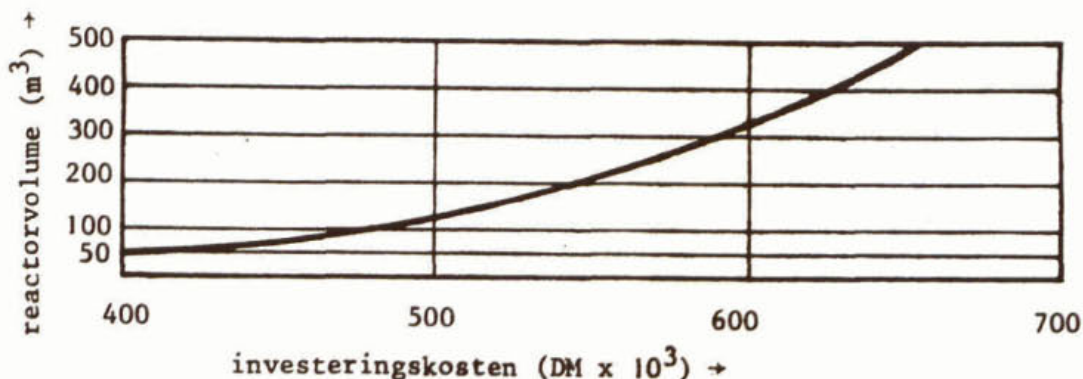


Fig. 28. Investeringskosten en de grootte van de B.A.V. bioreactor <sup>105</sup>

Aan dezelfde bron zijn tevens de bedrijfskosten voor de slibcompostering met de bioreactor te Lamsheim ontleend. De informatie is samengevat in tabel 34.

|  |  |
|--|--|
| <u>uitgangsmateriaal</u>                       |  |
| voorontwaterd slib                             | 9 m <sup>3</sup> /d (50 volume procenten)                              |
| retourcompost                                  | 7,2 m <sup>3</sup> /d (40 volume procenten)                            |
| koolstofdrager                                 | 1,8 m <sup>3</sup> /d (10 volume procenten)                            |
|  | <u>18,0 m<sup>3</sup>/d (100 volume procenten)</u>                     |
| <u>energie</u> (0,156 DM/kWh)                  |  |
| transport uitgangsmateriaal                    | 2,5 (h/d) x 28,5 (kW) x 0,156 (DM/kWh) = 11,12 DM/d                    |
| transport eindproduct                          | 1,75 (h/d) x 5,5 (kW) x 0,156 (DM/kWh) = 1,50 DM/d                     |
| beluchting                                     | 7/5 x 24,0 (h/d) x 2,4 (kW) x 0,156 (DM/kWh) = 12,58 DM/d              |
| stroomkosten per werkdag (vijfdaagse werkweek) | <u>= 25,20 DM/d</u>  |
| <u>hulpstoffen</u>                             |  |
| koolstofdrager (3,70 DM/m <sup>3</sup> )       | 1,8 (m <sup>3</sup> /d) x 3,70 (DM/m <sup>3</sup> ) = <u>6,66 DM/d</u> |
| bediening                                      | 1,5 (h/d) x 15,00 (DM/h) = <u>22,50 DM/d</u>                           |
|  | <u>bedrijfskosten totaal</u> <u>54,36 DM/d</u>                         |
|  | <u>betrokken op voorontwaterd slib</u> <u>6,04 DM/m<sup>3</sup></u>    |

Tabel 34. Bedrijfskosten van de B.A.V. bioreactor <sup>105</sup>

Volgens Klausning en anderen <sup>103</sup> die de compostering van slib met stro (Biomist) beschrijven, is de economie van het proces afhankelijk van de transportkosten voor stro, slib en gereed eindproduct alsmede van de prijs van stro. In dit verband is het interessant op te merken dat de firma B.A.V. (Kneer bioreactor) over een organisatie beschikt die de met de bioreactor vervaardigde compost kosteloos ophaalt en de verkoop van deze compost overneemt <sup>99</sup>.

Volgens Pallasch tenslotte<sup>6</sup> is de gecombineerde compostering slib/huisvuil in biologisch, technisch en economisch opzicht het gunstigst, mits rioolwaterzuivering en vuilverwerking bij elkaar liggen en de overheid geen beperkende maatregelen ten aanzien van de reststoffen oplegt.

#### 3.5.6 Milieuaspecten

Uit het oogpunt van milieubeheer is de compostering van slib aantrekkelijk omdat het slib in een natuurlijke kringloop wordt teruggebracht. De compostering verloopt echter niet stankvrij. Pallasch<sup>6</sup> beschrijft de toepassing van een zogenaamd "Erdfilter" ter bestrijding van de stank. Dit is uiteraard alleen mogelijk indien met geforceerde lucht wordt gewerkt. In geval vers slib wordt gecomposteerd kan door toevoeging van kalk de stank worden bestreden (zie ook 3.5.3, p. 109). De combinatie slib/huisvuil gaat met minder stank gepaard.

#### 3.5.7 Voor- en nadelen

Een voordeel van de compostering van vers slib is, dat de dure slibgisting kan vervallen, dan blijft echter ook de methaangasproductie achterwege. Een belangrijk nadeel van de compostering is volgens Gaul en anderen<sup>104</sup> dat de compostering in Duitsland en derhalve waarschijnlijk ook in Nederland slechts gedurende een bepaalde periode van het jaar (april - oktober) kan worden uitgevoerd.



## 4. Leveranciersinformatie

## Inhoud

|       |   |           |
|-------|---|-----------|
| 4.1   | INLEIDING   | 119 - 121 |
| 4.1.1 | Leveranciers  | 119       |
| 4.1.2 | Vraagstelling enquête                                 | 119 - 121 |
| 4.1.3 | Respons   | 121       |
| 4.2   | THERMISCHE CONDITIONERING                             | 122 - 130 |
| 4.2.1 | Procesomstandigheden                                  | 122       |
|       | <i>uitgangsmateriaal</i>                              | 122       |
|       | <i>temperatuur, druk en reactietijd</i>               | 122       |
| 4.2.2 | Bedrijfsresultaten                                    | 122 - 124 |
|       | <i>energie, water en hulpstoffen</i>                  | 122 - 123 |
|       | <i>eindproduct</i>                                    | 123 - 124 |
| 4.2.3 | Apparatuur  | 124 - 125 |
|       | <i>constructiematerialen</i>                          | 124       |
|       | <i>onderhoud</i>                                      | 124       |
|       | <i>flexibiliteit</i>                                  | 124 - 125 |
|       | <i>levensduur</i>                                     | 125       |
| 4.2.4 | Kosten  | 125 - 129 |
|       | <i>Porteous proces gevolgd door mechanische slib-</i> |           |
|       | <i>ontwatering</i>                                    | 125 - 127 |
|       | <i>Zimmermann proces gevolgd door mechanische</i>     |           |
|       | <i>slibontwatering</i>                                | 128 - 129 |
| 4.2.5 | Milieuaspecten  | 130       |
| 4.2.6 | Ervaring in Nederland                                 | 130       |
| 4.2.7 | Literatuur  | 130       |
| 4.3   | MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP        | 131 - 137 |
| 4.3.1 | Inleiding   | 131       |
| 4.3.2 | Procesomstandigheden                                  | 131       |
|       | <i>uitgangsmateriaal</i>                              | 131       |
| 4.3.3 | Bedrijfsresultaten                                    | 131 - 133 |
|       | <i>energie, water en hulpstoffen</i>                  | 131 - 133 |
|       | <i>eindproduct</i>                                    | 133       |
| 4.3.4 | Apparatuur  | 133 - 134 |
|       | <i>capaciteit</i>                                     | 133 - 134 |
|       | <i>sturing</i>  | 134       |
|       | <i>constructiematerialen</i>                          | 134       |
|       | <i>onderhoud</i>                                      | 134       |
|       | <i>levensduur</i>                                     | 134       |
| 4.3.5 | Kosten  | 134 - 137 |
|       | <i>zeebandpersen</i>                                  | 134 - 136 |
|       | <i>decanteercentrifuges</i>                           | 136 - 137 |
| 4.3.6 | Milieuaspecten  | 136       |

|       |                                      |           |
|-------|--------------------------------------|-----------|
| 4.4   | DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP       | 138 - 142 |
| 4.4.1 | Procesomstandigheden                 | 138 - 139 |
|       | <i>uitgangsmateriaal</i>             | 138       |
|       | <i>temperatuur</i>                   | 138 - 139 |
| 4.4.2 | Bedrijfsresultaten                   | 139       |
|       | <i>energie, water en hulpstoffen</i> | 139       |
|       | <i>eindproduct</i>                   | 139       |
| 4.4.3 | Apparatuur                           | 140       |
| 4.4.4 | Kosten                               | 140 - 142 |
| 4.4.5 | Milieuaspecten                       | 142       |
|       | <i>stof</i>                          | 142       |
|       | <i>stank</i>                         | 142       |
|       | <i>geluid</i>                        | 142       |
| 4.4.6 | Ervaring in Nederland                | 142       |
| 4.5   | COMPOSTERING ALS LAATSTE PROCESSTAP  | 143 - 150 |
| 4.5.1 | Procesomstandigheden                 | 143 - 145 |
|       | <i>algemeen</i>                      | 143       |
|       | <i>uitgangsmateriaal</i>             | 143       |
|       | <i>temperatuur</i>                   | 143       |
|       | <i>procestijd</i>                    | 145       |
|       | <i>luchtverbruik</i>                 | 145       |
| 4.5.2 | Bedrijfsresultaten                   | 145 - 146 |
|       | <i>energie, water en hulpstoffen</i> | 145 - 146 |
|       | <i>eindproduct</i>                   | 146       |
| 4.5.3 | Apparatuur                           | 146 - 148 |
|       | <i>capaciteit</i>                    | 146 - 147 |
|       | <i>onderhoud</i>                     | 147       |
|       | <i>flexibiliteit</i>                 | 147 - 148 |
| 4.5.4 | Kosten                               | 148 - 149 |
| 4.5.5 | Milieuaspecten                       | 149       |
| 4.5.6 | Ervaring in Nederland                | 150       |
| 4.5.7 | Literatuur                           | 150       |

#### 4.1 INLEIDING

In deel 3 "Literatuurinformatie" is de binnenlandse en buitenlandse vakliteratuur in het kader van dit onderzoek geëvalueerd. Naar aanleiding hiervan leek het wenselijk de uitkomsten van de literatuurstudie te vergelijken met de opgaven van leveranciers van apparatuur die in staat is slib te ontwateren tot een drogestofgehalte van 40% of meer. Daartoe is in november 1975 een enquête gehouden onder 82 leveranciers van deze apparatuur in Nederland. De informatie uit deze enquête is in dit deel samengevat.

##### 4.1.1 Leveranciers

De leveranciers zijn gekozen uit de catalogi van Machevo-Milieu 1975 en Aquatech-1974 en nog uit andere bronnen (bijvoorbeeld TNO-archieven).

In tabel 35 (p. 120 ) zijn de namen en adressen van de leveranciers vermeld, die binnen de gestelde tijd hebben gereageerd. Vanwege tijdgebrek, werd afgezien van hernieuwde benadering van degenen die in eerste termijn niet reageerden.

##### 4.1.2 Vraagstelling enquête

De leveranciers is informatie gevraagd over apparatuur uit hun leveringsprogramma, die resulteert in een eind-drogestofgehalte van 40% of meer.

Deze apparatuur moest 100 tot 1000 m<sup>3</sup> ingedikt zuiveringsslib (drogestofgehalte 2 tot 4%) per dag kunnen verwerken.

De volgende informatie werd gevraagd:

*omschrijving en kenmerken van het proces of de combinatie van processen (principe-procesomstandigheden - procesvoering)*

*eisen aan uitgangsmateriaal (soort slib: drogestofgehalte, asgehalte, enz.)*

*flexibiliteit van het proces (gevoeligheid voor variatie in slibeigenschappen en slibdebiet)*

*constructiematerialen*

*levensduur*

*onderhoud (frequentie en duur van het onderhoud)*

*eindproducten (drogestofgehalte slib - hoedanigheid - eventuele afzetmogelijkheden behandeling van de waterfase; bijvoorbeeld bij thermische conditionering)*

*hulpstoffen (aard, hoeveelheid, concentratie)*

*energie- en waterverbruik (elektriciteit, stoom, brandstof, koelwater, enz.)*

*kosten (vaste- en variabele kosten bij voorkeur zowel gespecificeerd en als func-*

| leveranciers  | adres                          |                          |
|---|--------------------------------|--------------------------|
| 1. Aardse Haarlem B.V.  | Postbus 269                    | Haarlem                  |
| 2. Alb. Klein B.V.  | Postbus 9174                   | Utrecht                  |
| 3. Alfa-Laval N.V.  | Postbus 341                    | Amstelveen               |
| 4. Ama B.V.   | Postbus 396                    | Alkmaar                  |
| 5. Baai-von Roll  | Ondernemingsweg 1              | Alphen a/d Rijn          |
| 6. Degrémont Holland B.V.                                     | Joh. Postlaan 6                | Zeist                    |
| 7. Dorr-Oliver N.V.   | Postbus 9090                   | Amsterdam                |
| 8. Ebbens B.V.  | Elburgerweg 3                  | Epe (Gld)                |
| 9. Figeo en Groeneveldt N.V.                                  | N. Stationsweg 8               | Haarlem                  |
| 10. Flygt pompen b.v.   | Stadionweg 371                 | Rotterdam                |
| 11. Handelsvereniging "Holland" B.V.                          | Postbus 3508                   | Amsterdam                |
| 12. Hoechst Holland B.V.                                      | Sara Burgerhardt-<br>straat 25 | Amsterdam                |
| 13. Hubert Sneek  | Postbus 135                    | Sneek                    |
| 14. Hydrochemie B.V.  | Postbus 97                     | Berkel en Roden-<br>rijs |
| 15. Inuhama N.V.  | Huygenslaan 58                 | Arnhem                   |
| 16. Louis Reyners B.V.<br>Afd. Milieutechniek                 | Meeuwenlaan 90-100             | Amsterdam                |
| 17. N.V. Ingenieursbureau<br>v/h J.M.C. van Borselen<br>& Co. | Postbus 1096                   | Rijswijk                 |
| 18. P.D. Processengineering<br>p/a P.D. Seprind               | Merwedestraat 10               | Sliedrecht               |
| 19. Philips Nederland B.V.<br>Groep Milieuhygiëne             | Boschdijk 525                  | Eindhoven                |
| 20. Pielkenrood-Vinitex B.V.                                  | Postbus 24                     | Krommenie                |
| 21. Pollutex Milieutechniek B.V.                              | Postbus 90                     | Rijswijk                 |
| 22. Promotex B.V.   | Postbus 225                    | Amersfoort               |
| 23. Serpi B.V.<br>p/a Gebouw Oceana Cammi B.V.                | Industrieterrein<br>De Beitel  | Heerlen                  |
| 24. Straba B.V.   | Postbus 273                    | Breda                    |
| 25. Technisch Bureau Knol                                     | Frans Halslaan 1               | Doorn                    |
| 26. Technisch Bureau<br>Milieubeheer B.V.                     | Postbus 12                     | Bussum                   |
| 27. Van den Broek<br>Machinefabriek B.V.                      | Postbus 125                    | Driebergen               |
| 28. Verenigde Bedrijven<br>Tankfabriek Kooiman N.V.           | Postbus 8                      | Geertruidenberg          |
| 29. Zimpro  | Catharijningsingel 114         | Utrecht                  |

Tabel. 35 Leveranciers, die reageerden op de enquête.

De in de tekst van dit deel gebruikte cursieve cijfercodering heeft betrekking op de naam van de leverancier zoals is aangegeven in bovenstaande tabel.

tie van de slibverwerkingscapaciteit. Opgave kosten per eenheid slib, bijvoorbeeld in guldens per ton droge stof na de indikker.

*milieuaspecten*

(zoals geluidshinder, luchtverontreiniging; stof, stank, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.).

*ervaring*

(aantal installaties in bedrijf en waar).

*nieuwe ontwikkelingen of modificaties van bestaande processen*

(bijvoorbeeld processen waarvan nog geen praktische (wel semi-technische) informatie ter beschikking staat.

*literatuurreferenties*

4.1.3

Respons

Reacties op de vraagstelling varieerden sterk als volgt:

- a. in het leveringsprogramma was geen apparatuur voorhanden, die een drogestofgehalte van 40% droge stof of meer opleverde. In enkele gevallen was dan nevenapparatuur vermeld;
- b. in principe kon aan de gestelde eisen worden voldaan. Men vond de vraagstelling te algemeen, maar was bereid om nadere informatie te verstrekken. Deze reacties waren vrij oppervlakkig;
- c. op de vraagstelling wordt nauwkeurig gespecificeerd ingegaan; deze reacties zijn uitermate nuttig geweest voor de studie.

De onder c bedoelde reacties zijn samengevat in de hoofdstukken 4.2 t/m 4.5.

In hoofdstuk 4.3 "Mechanische ontwatering als laatste processtap" wordt de apparatuur besproken die alleen in bijzondere gevallen (zoals bij thermisch geconditioneerd slib of bij sommige slibben van industriële herkomst) een drogestofgehalte van meer dan 40% kan bereiken.

Er wordt op gewezen dat de door de leveranciers verstrekte informatie inhoudelijk ongewijzigd is opgenomen; in incidentele gevallen worden slibverwerkingskosten omgerekend op standaardcondities, bijvoorbeeld in guldens per ton droge stof. Waar en hoe dit werd uitgevoerd is in de tekst aangegeven.

## 4.2 THERMISCHE CONDITIONERING

### 4.2.1 Procesomstandigheden

#### *uitgangsmateriaal*

Alle bij afvalwaterzuivering geproduceerde slibsoorten, zoals primair, actief, uitgegist en gemengd slib, kunnen thermisch worden geconditioneerd. In verband met slijtage van de installatie moet het slib zo weinig mogelijk zand bevatten; grove delen in het slib dienen te worden verkleind (slibversnijders in de installatie).

Volgens Dorr-Oliver is het maximale drogestofgehalte van het slib circa 7%. Boven deze waarde wordt de warmte-overdrachtscoëfficiënt van het slib te laag voor voldoende warmteoverdracht. Een laag drogestofgehalte brengt een grote capaciteit met zich mee. Het optimum ligt bij een drogestofgehalte van 5 à 6%.

Zimpro geeft voor het drogestofgehalte van het slib 2 tot 10% als grenzen op. De bovenste grens is niet exact te stellen. Het slib moet in elk geval goed verpompaar zijn. De grens zal in het algemeen tussen 8 en 10% liggen. Een organisch stofgehalte van minimaal 30% is gewenst. Dit is bij stedelijk zuiveringslib altijd het geval.

#### *temperatuur, druk en reactietijd*

Bij het Porteous proces (Dorr-Oliver) bedraagt de temperatuur 190 - 205°C, de druk (bij 205°C) 17 ato en de reactietijd 20-30 minuten. De reactie vindt plaats zonder toetreding van zuurstof. Voor iedere slibsoort is de optimale reactietemperatuur verschillend. Deze wordt in de praktijk bepaald. Installaties worden op de maximale reactietemperatuur ontworpen (?).

Het Zimmermann proces geschiedt in aanwezigheid van zuurstof uit de lucht. De temperatuur bedraagt 180 - 190°C, de druk 20 à 25 ato en de reactietijd maximaal 30 minuten.

### 4.2.2 Bedrijfsresultaten

#### *energie, water en hulpstoffen*

Het brandstofverbruik van de stoomketel van een Zimpro-installatie bedraagt 28.000 tot 32.000 kcal/m<sup>3</sup> slib (4% d.s.). Dit verbruik moet nog worden vermeerderd met circa 5000 kcal/m<sup>3</sup> slib voor de naverbranding van de afgassen. Het elektriciteitsverbruik bedraagt volgens opgave 5,0 - 5,6 kWh/m<sup>3</sup> slib.

Voor de nakoeling van het geconditioneerde slib en voor de koeling van de luchtcompressor (29), alsmede voor sperwater op slibversnijders en pompen wordt effluent gebruikt. Voor het wassen van de filterdoeken van de vacuüm- of persfilters wordt gebruik gemaakt van gechloreerd effluent.

Naast effluent wordt proceswater in de vorm van ketelvoedingwater gebruikt. De hoeveelheid is gering. Uit de opgave van Zimpro laat zich globaal een verbruik van 0,044 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> slib berekenen.

Voorts is voor de thermische conditionering lucht voor het proces (Zimpro) en lucht voor de pneumatische besturing van de installatie nodig. Proceslucht bij de Zimpro-installatie betekent compressiearbeid.

De hiervoor benodigde energie is verdisconteerd in het hiervoor opgegeven elektriciteitsverbruik.

Behalve voornoemde hulpmiddelen wordt bij de thermische conditionering met een Zimproinstallatie verdund salpeterzuur voor het reinigen van de installatie gebruikt. Het verbruik is echter gering; voor een installatie met een verwerkingscapaciteit ter grootte van 300.000 i.e. circa 4 ton/jaar.

#### *eindproduct*

Thermisch geconditioneerd slib kan zonder toevoeging van chemicaliën goed ingedikt (volgens Zimpro: 12 - 18 d.s.) en mechanisch ontwaterd worden. Het eindproduct na mechanische ontwatering is volledig steriel en biologisch stabiel. Het kan zonder bezwaar worden gestort en indien het gehalte aan zware metalen gering is, in de landbouw worden afgezet. Het drogestofgehalte na mechanische ontwatering varieert van 45 tot 55% bij het Zimmermann proces (29).

Bij het Porteous proces (?) van 30 tot 60% (bij ontwatering met: persfilters van 45 - 60% - meestal van 50 - 55% -; vacuümfilters van 35 tot 45%; centrifuges van 30 - 40%).

Voor grotere installaties kan het aantrekkelijk zijn om de slibkoek te verbranden en de hierbij vrijkomende warmte te gebruiken, zowel voor de thermische slibconditionering, als voor het produceren van stoom voor turbines.

De combinatie thermische slibbehandeling/slibverbranding is in elk geval thermisch "self-supporting" en geeft bij toepassing van persfilters een thermisch rendement, dat uiteraard afhankelijk is van de calorische waarde van het slib (?).

Gunstige eigenschappen van de filterkoek in vergelijking met die van chemisch geconditioneerde filterkoeken zijn:

- het volume is geringer (29);
- het eindproduct bevat geen chemicaliën.

Het decantaat van de na-indikker en het filtraat van de mechanische ontwatering van thermisch behandeld slib heeft een hoge BZV; van 4000 tot 9000 mg/l. Dit is een gevolg van het feit dat een deel van de in het slib aanwezige organische stof in oplossing gaat. De BZV-waarde van dit slibwater hangt sterk af van de voedingsconcentratie, het percentage organische stof, het aandeel actief, vers of uitgegist slib, de procestemperatuur enz. (?). Uitgegist slib bijvoorbeeld (met een drogestofgehalte van 5%) geeft slibwater met een BZV van 5500 mg BZV/l (29).

De waterfase kan zowel aerob als anaerob worden behandeld; de stoffen met een hoge BZV zijn biologisch goed afbreekbaar. Bij aerobe zuivering is de extra hydraulische belasting van de zuiveringsinrichting ten gevolge van het terugvoeren van decantaat en filtraat (volgens Zimpro minder dan 0,5% van de droogweeraanvoer) te verwaarlozen. Wel moet het zuurstoftoevoervermogen van de beluchtingsruimte voldoende reserve hebben. De extra BZV-belasting van deze ruimte kan namelijk 15 - 20% bedragen bij verwerking van vers slib en 10 - 15% bij uitgegist slib (29). De percentages liggen circa één derde lager wanneer ook de voorzuivering bij de berekening wordt betrokken (?). Overwogen kan worden de extra BZV-belasting gedurende de nacht aan de aeratie-



ruimte toe te voegen. Het is dan niet noodzakelijk dat de beluchtingscapaciteit wordt vergroot. Wel is een buffertank noodzakelijk om decantaat en filtraat gedurende de dag op te slaan. Aangeraden wordt het slibwater aan het begin van de installatie toe te voegen, zodat voor de beluchting reeds enige uitvloeking kan plaatsvinden (?).

#### 4.2.3 Apparatuur

##### *constructiematerialen*

De Dorr-Oliver installatie is met uitzondering van sommige meet- en regelinstrumenten en de slibafplaatklep (Wolframcarbide) vervaardigd van normaal staal.

De Zimpro-installatie is vanaf het punt waar slib en lucht aanwezig zijn (het hoge druk gedeelte) in roestvrijstaal uitgevoerd. Onderdelen van de installatie, die alleen met slib in aanraking komen, zijn in afdoende mate geconserveerd.

##### *onderhoud*

Pompen, versnijders en dergelijke vallen voor wat betreft de smeermiddelen, het wisselen van versleten onderdelen (pakkingen en dergelijke) onder een normaal onderhoudsprogramma. Een en ander gebeurt volgens voorschrift van de leverancier. De reactor zelf wordt jaarlijks afgelaten en van binnen gereinigd (29).

Voorts moet de installatie af en toe worden gespoeld met een zuuroplossing om kalkaanslag op de pijpen van de warmtewisselaar te verwijderen. Deze aanslag beïnvloedt de warmteoverdrachtscoëfficiënt nadelig. De frequentie van dit spoelen wordt enerzijds bepaald door de hieraan verbonden kosten en anderzijds door de hogere exploitatiekosten ten gevolge van een hoger brandstofverbruik door slechtere warmteoverdracht. De frequentie ligt, afhankelijk van de hardheid van het afvalwater, in de praktijk tussen eenmaal per drie en tien maanden (?). Bij de Zimpro-installatie worden de warmtewisselaars normaliter om de 4 tot 6 weken met een salpeterzuuroplossing (5%) gespoeld. In het algemeen is enkele uren circuleren voldoende.

##### *flexibiliteit*

De door Dorr-Oliver ontworpen installaties zijn voorzien van motoren voor de hoge druk slibvoedingspompen, die traploos regelbaar zijn tussen nul en de maximale capaciteit.

Een Zimpro-installatie kan bij continu bedrijf slibhoeveelheden tussen de 0,75 en 1,1 maal de ontwerpcapaciteit verwerken. Een korte onder- of overschrijding van deze grenswaarden is toegestaan.

Volgens Dorr-Oliver is de flexibiliteit van het drogestofgehalte van het slib (uiteraard binnen de op p. 122 aangegeven grenzen) erg groot. Als gevolg van het indirecte-warmte overdracht systeem (slib/water/slib), waarbij het slib zich alleen in de binnenbuis van de warmtewisselaar bevindt, hebben wijzigingen in het drogestofgehalte geen invloed op de betrouwbaarheid van het systeem.

De thermische conditionering wordt nauwelijks beïnvloed door het asgehalte (?).

Bij een Zimpro-installatie mag het drogestofgehalte van het slib binnen het gestelde gebied variëren tussen de 0,5 en 1,5 maal het drogestofgehalte waarop de installatie is gedimensioneerd dus bij een drogestofgehalte van 5%, bedraagt de toelaatbare spreiding 2,5% - 7,5%. Een installatie, die voor een bepaald organisch stofgehalte van het slib is ontworpen, kan ook slib met meer of minder organische stof verwerken. Als minimum geldt een gehalte van 30%.

Zowel de Dorr-Oliver- als de Zimpro-installatie is bijzonder flexibel met betrekking tot de te verwerken slibsoort. Alle procestemperaturen tussen kamertemperatuur en de maximale reactietemperatuur zijn instelbaar en worden daarna automatisch gehandhaafd. Hierdoor kan de installatie voor elke slibsoort bij de optimale procestemperatuur worden bedreven (7).

Wanneer van de ontwerprichties van aanzien van slibsoort, capaciteit, druk en temperatuur (29) wordt afgeweken, wordt de rentabiliteit van de installatie ongunstig beïnvloed.

Bij discontinu bedrijf is het van belang dat de opstarttijd kort is. Bij Zimpro wordt de installatie volgens een bepaalde procedure uitgeschakeld en kan verder bedrijfs gereed worden gehouden. De opstarttijd van een "koude" installatie bedraagt circa twee uur; die van een "warme" installatie circa 30 minuten.

#### *Levensduur*

Hoewel de oudste, door Dorr-Oliver gebouwde installatie circa 6 jaar in bedrijf is, bestaan er vergelijkbare installaties die al ongeveer 15 jaar in bedrijf zijn.

Zimpro-installaties worden vanaf 1961 gebouwd. Deze installaties zijn nog steeds in bedrijf. Zimpro stelt de levensduur van de installatie op 25 jaar.

#### 4.2.4

#### Kosten

##### *Porteous proces gevolgd door mechanische slibontwatering*

De kosten voor thermische slibbehandeling voor dit systeem zijn voor een drietal installatiegroottes opgegeven.

Dit is samengevat in onderstaande tabel

| installatie<br>grootte<br>(i.e.) | capaciteit<br>in<br>(m <sup>3</sup> /h) | kosten<br>per<br>m <sup>3</sup> slib<br>(f) | kosten<br>per<br>ton d.s.<br>(f) |
|----------------------------------|---|---|----------------------------------|
| 30.000                           | 4,5                                     | 9,82  | 245                              |
| 100.000                          | 14                                      | 6,10  | 152,40                           |
| 300.000                          | 42                                      | 4,67  | 116,67                           |

De voor de kostenberekening gebruikte uitgangspunten zijn in tabel 36 p. 126 weergegeven.

| onderdeel   | uitgangspunt   | opmerkingen  |
|---|--|--|
| uitgangsmateriaal:<br>hoedanigheid<br>hoeveelheid<br>drogestofgehalte | vers primair en secundair slib<br>90 g/(i.e./dag)<br><br>4%  | inclusief extra slibproductie door terugvoeren filtraat en decantaat   |
| bedrijfsvoering<br>conditionering en<br>vacuümfilter                  | 24 uur per dag<br>5 dagen per week   | opstarten en afzetten duurt samen 5 uur, daarom bedraagt de effectieve tijd voor de conditionering 115 uur per week. |
| onderhoud   | 2 maal per jaar<br>spoelen met zuur  | in de praktijk om de drie à tien maanden; hangt af van de hardheid van het afvalwater                                |
| personeel   | 1 manjaar:<br>f 60.000   |  |
| waterverbruik   | geen   | omdat heetwatercirculatie wordt toegepast i.p.v. stoominjectie   |
| elektriciteit   | f 0,10/kWh   |  |
| gas   | f 0,10 m <sup>3</sup>  |  |
| apparatuur  |  | zie processchema figuur 29 p. 127  |
| apparatuur in<br>duplo  | slibversnijders,<br>hogedruk-voedingspompen, heetwatercirculatiepompen, ketelvoedingwaterpompen, modulerende aflatklep, filtervoedingspompen | de installatie kan hierdoor 's-nachts onbemand door-draaien  |
| bouwkundige voorzieningen   | geen   | buiten beschouwing gelaten   |
| prijspeil   | december 1975  |  |
| afschrijvingstermijn  | 15 jaren   |  |
| rentevoet   | 9%   |  |

Tabel 36 . Uitgangspunten voor kostenberekening Porteous proces en mechanische ontwatering (7)

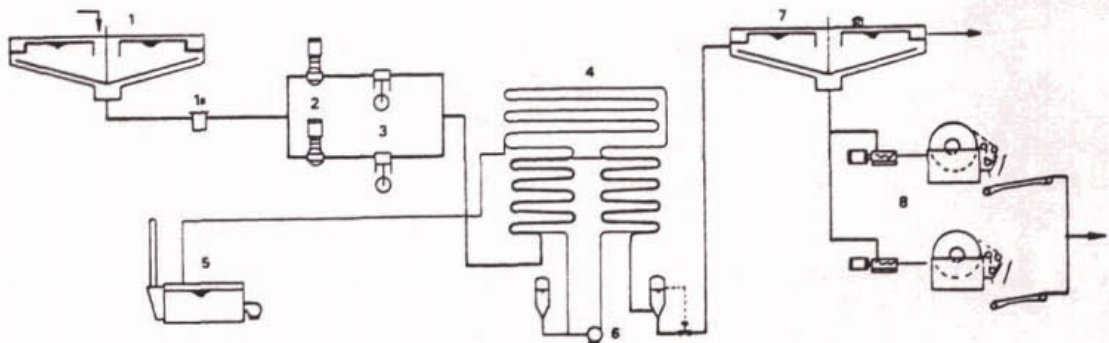


Fig. 29. Schema Porteousproces en vacuümfiltratie (7)

- |    |   |   |                                       |
|----|---|---|---------------------------------------|
| 1  | voor-indikker   | 5 | stoomketel                            |
| 1a | steenvanger   | 6 | niveautank met modulerende afloatklep |
| 2  | slibversnijder  | 7 | na-indikker                           |
| 3  | hogedruk-slibvoedingspompen   | 8 | ontwatering: vacuümfilters.           |
| 4  | warmtewisselaar/reactor met stoominjecteur, expansievat en water-omwalspomp |   |                                       |

In figuur 30 zijn deze kosten in afhankelijkheid van de verwerkingscapaciteit per jaar weergegeven.

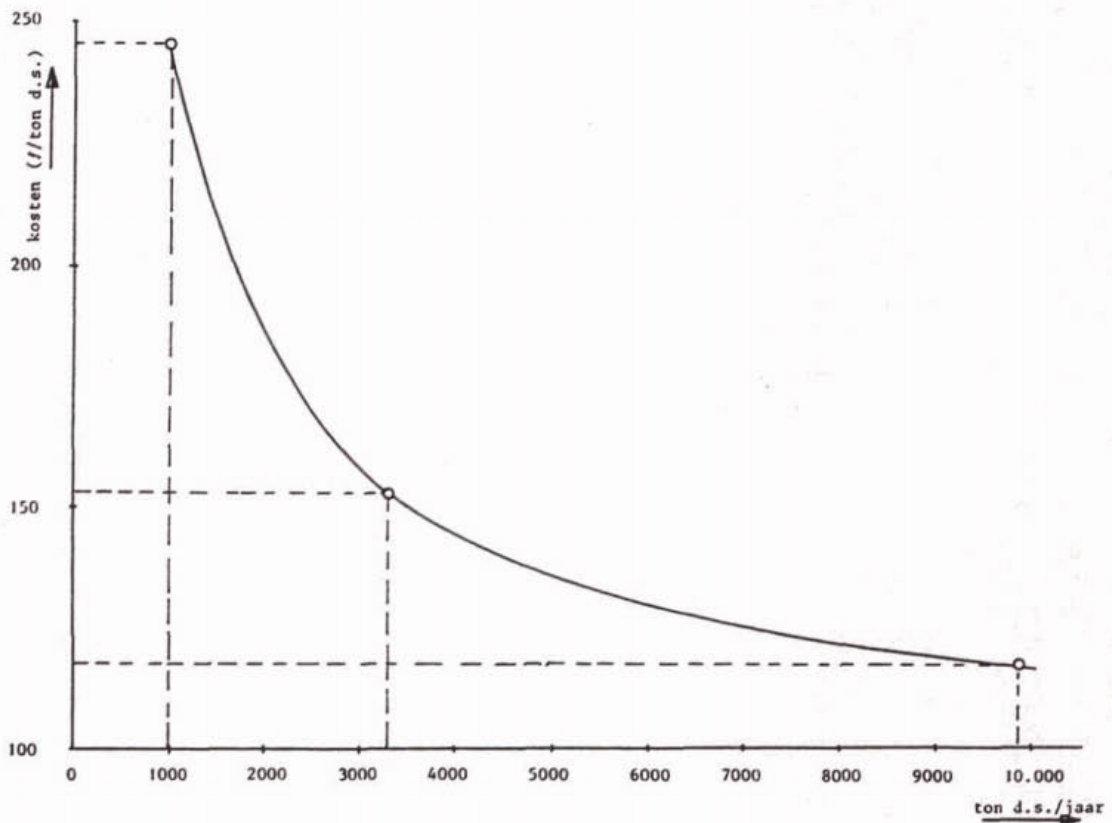


Fig. 30. Bedrijfskosten van het Porteousproces en mechanische ontwatering (7)

*Zimmermann proces gevolgd door mechanische slibontwatering*

In figuur 31, p. 129 geeft het (aangegeven) gebied tussen de onderbroken lijnen de investering van een Zimpro thermische slibconditioneringsinstallatie als functie van de verwerkingscapaciteit in tonnen droge stof per jaar weer. De opgegeven prijzen zijn richtprijzen; een exacte prijs kan eerst dan worden bepaald wanneer de aard en het aantal reserveonderdelen en reserveapparatuur bekend is.

Op grond van de door Zimpro verstrekte informatie kan een globale schatting van de jaarlijkse kosten (vaste en variabele) worden gemaakt. De uitgangspunten voor de kostencalculatie zijn in tabel 37, p. 128 vermeld. De kosten per ton droge stof zijn eveneens in figuur 31, p. 129 weergegeven.

Tabel 38, p. 129 tenslotte geeft een overzicht van de verdeling van de vaste en de variabele kosten (totale kosten 100%). Bouwkundige voorzieningen zijn uitgesloten.

| onderdeel  | eenheid             | installatie       |                   |                   |
|--|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  |                     | A                 | B                 | C                 |
| capaciteit   | m <sup>3</sup> /h   | 6                 | 12                | 35                |
| volume ontwaterd slib                                      | m <sup>3</sup> /d   | 9,3               | 18,6              | 56                |
| drogestofproductie   | ton/d               | 4                 | 8                 | 24                |
| filtraat   | m <sup>3</sup> /d   | 144               | 290               | 868               |
| bedrijfsvoering  | h/d                 | 24                | 24                | 24                |
| Zimpro-installatie   | d/wk                | 7                 | 7                 | 7                 |
| bedrijfsvoering  | h/d                 | 16                | 16                | 16                |
| filterpersen   | d/wk                | 5                 | 5                 | 5                 |
| onderhoud  | f/d                 | 70                | 80                | 110               |
| personeel<br>(1 manjaar = f 60.000)                        | man/<br>ploeg       | 1/3               | 1/3               | 1/2               |
| effluentwater (compressoren nakoeler)                      | m <sup>3</sup> /d   | 175               | 350               | 110               |
| elektriciteit<br>(f 0,10/kWh)                              | kWh/m <sup>3</sup>  | 5,55              | 5,3               | 5,02              |
| brandstof:<br>stoomketel (gas f 0,10/kcal/m <sup>3</sup> ) | kcal/m <sup>3</sup> | 28.000 - 32.000   |                   |                   |
| naverbrander   | kcal/m <sup>3</sup> | 5.000             | 5.000             | 5.000             |
| voedingswater stoomketel                                   | m <sup>3</sup> /d   | 6,3               | 12                | 37                |
| salpeterzuur (53% opl., Baumé 36°, circa f 270/ton)        | kg/d                | 2,6               | 5,2               | 15,5              |
| geïnstalleerd vermogen                                     | kW                  | 71                | 95                | 260               |
| gebouwoppervlakte  | m <sup>2</sup>      | 140               | 200               | 400               |
| aantal Zimpro-installaties                                 |                     | 1                 | 1                 | 2                 |
| filterpersen:<br>aantal                                    |                     | 1                 | 1                 | 2                 |
| afmetingen<br>kameraantal                                  | mm <sup>2</sup>     | 1000 x 1000<br>50 | 1000 x 1000<br>80 | 1000 x 1000<br>80 |
| afschrijvingstermijn                                       | jaren               | 25                | 25                | 25                |
| rentevoet  | %                   | 9                 | 9                 | 9                 |
| annuïteit  | %                   | 10,2              | 10,2              | 10,2              |

Tabel 37. Uitgangspunten voor kostenberekening Zimpro-installatie en mechanische ontwatering (29).

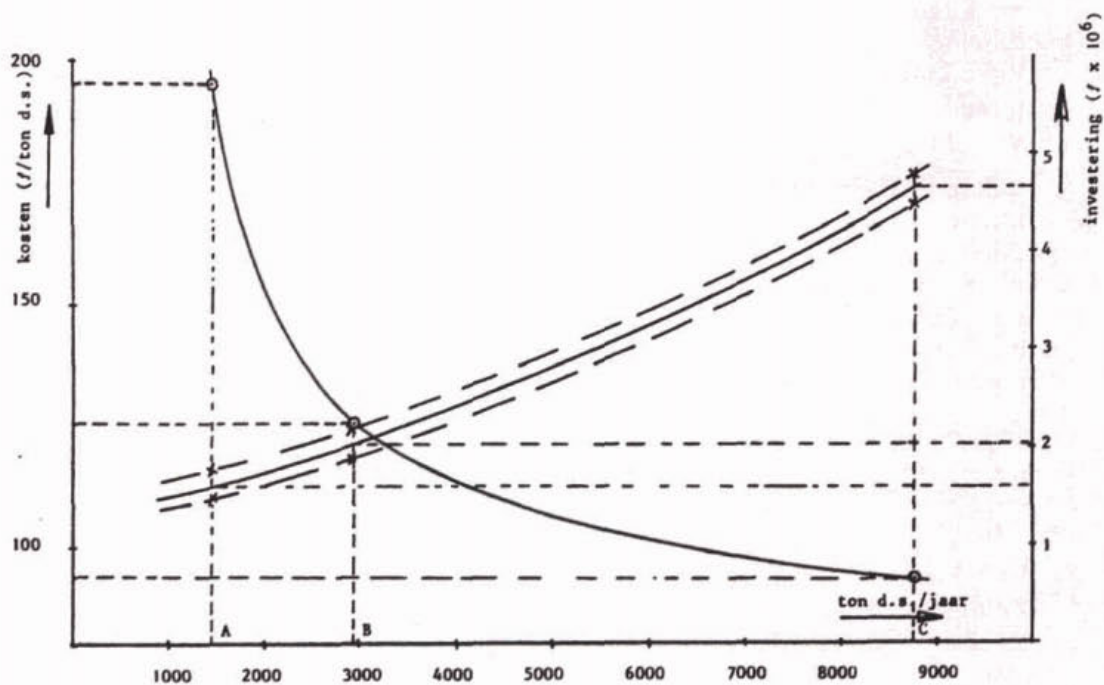


Fig. 31. Investerings en kosten per ton d.s. van het Zimmermann proces gevolgd door mechanische ontwatering (29)

| cap. in tonnen d.s./jaar | vaste kosten (%) | variabele kosten |               |               |                   |               |                 |
|--------------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-----------------|
|                          |                  | totaal (%)       | bediening (%) | energie       |                   | onderhoud (%) | hulpstoffen (%) |
|                          |                  |                  |               | brandstof (%) | elektriciteit (%) |               |                 |
| 1460                     | 59               | 41               | 21            | 6             | 7                 | 6             | 1               |
| 2920                     | 57               | 43               | 16            | 9             | 11                | 6             | 1               |
| 8760                     | 58               | 42               | 11            | 12            | 14                | 4             | 1               |

Tabel 38. Kostenverdeling van het Zimmermann proces gevolgd door mechanische ontwatering (29)

#### 4.2.5 Milieuaspecten

Bij het Porteous proces komen door het onder overdruk houden van de installatie slechts geringe hoeveelheden stankgassen vrij. Deze gas-  
sen hebben echter wel een penetrante geur. Daarom wordt de na-indik-  
tank overdekt uitgevoerd, met een stankbehandelingsinstallatie op het  
dak. Deze installatie is gevuld met een synthetisch produkt met zeer  
goede absorberende eigenschappen, waardoor het stankprobleem hier  
volledig is opgelost.

Ook bij de mechanische ontwatering kan stank optreden. Centrifuges  
kunnen in gesloten uitvoering worden gemaakt. Vacuümfilters kunnen  
worden afgedekt en afgezogen, waarna de afgassen naar de ketels of  
naar de stankbehandelingsinstallatie kunnen worden geleid. In geval  
van filterpersen kan voor een gesloten afvoer respectievelijk  
zuivering van de lucht via afzuigkappen worden gekozen. Alle hier ge-  
noemde oplossingen zijn met succes toegepast (7).

Het geluidsniveau van de Porteous-installatie ligt lager dan het ge-  
luidsniveau van een rioolwaterzuiveringsinrichting met oppervlakte-  
beluchters. Alle geluidproducerende apparatuur zoals pompen, slib-  
versnijders, ketels, enzovoorts, zijn in een gebouw opgesteld (7).

Een Zimpro-installatie voldoet aan alle hinderwet- en milieutechni-  
sche specificaties. In de Verenigde Staten dienen de installaties te  
voldoen aan de door de L.A. County opgestelde zeer zware eisen (29).

#### 4.2.6 Ervaring in Nederland

Dorr-Oliver-installaties zijn in Nederland gebouwd te Tilburg (1970),  
Woerden (1973) en Huizen (1974). Zimpro-installaties te Apeldoorn  
(1969 en 1974) en Breda (1973).

#### 4.2.7 Literatuur

In deel 6 "Literatuur" zijn een aantal door Dorr-Oliver en Zimpro ge-  
noemde literatuurreferenties weergegeven 146, 147, 152-154, 156, 160,  
166, 167.

#### 4.3 MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

##### 4.3.1 Inleiding

Bij gebrek aan detailinformatie wordt in dit hoofdstuk de persfilterontwatering niet behandeld. Wel komen zeefbandpersen en centrifuges aan de orde, omdat deze laatste apparatuur afhankelijk van de slibsoort, incidenteel slib ontwatert, tot ongeveer 40% droge stof zoals bij het centrifugeren van thermisch geconditioneerd slib (1, 3) en van primair slib (1) alsmede bij het ontwateren van uitgist (oxydatiebed)slib met een zeefbandpers (2, 12).

##### 4.3.2 Procesomstandigheden

###### *uitgangsmateriaal*

Bij de ontwatering met zeefbandpersen moet het slib vlokbaar zijn; de binding van de vlokken dient zodanig te zijn, dat bij drukverhoging het materiaal niet door de zeefbanden wordt geperst. Voor het uitvlokken van het slib worden in het algemeen polyelektrolyten gebruikt.

Toename van de slibconcentratie verhoogt de verwerkingscapaciteit van de zeefbandpers en vermindert het gebruik aan polyelektrolyt (zie figuur 32, p. 132).

Het begin-drogestofgehalte kan door toepassing van de reactietrommel zelfs lager dan 1% zijn; het eind-drogestofgehalte in de slibkoek is in dit geval uiteraard lager dan bij een begin-drogestofgehalte van bijvoorbeeld 6 à 7 %.

Het asgehalte in het slib is de belangrijkste factor voor het drogestofgehalte zowel in de toevoer als in de koek. Op het proces als zodanig heeft het asgehalte geen invloed (2).

##### 4.3.3 Bedrijfsresultaten

###### *energie, water en hulpstoffen*

Het geïnstalleerde vermogen voor ontwatering met de "Willmes Continupak" pers (capaciteit 10 m<sup>3</sup>/h) is als volgt verdeeld over de diverse onderdelen:

|                    |        |
|--------------------|--------|
| zeefbandpers       | 3 kW   |
| slibvoedingspomp   | 2,2 kW |
| transportband      | 2,2 kW |
| polyelektrolytpomp | 0,4 kW |
|                    | <hr/>  |
| totaal             | 7,8 kW |

Voor de doekreiniging wordt filtraat gebruikt (discontinue sproeiërs). Het filtraat kan worden teruggevoerd naar de beluchtingsruimte (16).

De verschillende geïnstalleerde vermogens voor de S-persinstallatie zijn in onderstaande tabel weergegeven (2)

| <u>capaciteit (m<sup>3</sup>/h)</u> | <u>vermogen (kW)</u> |
|-------------------------------------|----------------------|
| 2 - 4                               | 9                    |
| 4 - 7                               | 11                   |
| 7 - 12                              | 13                   |



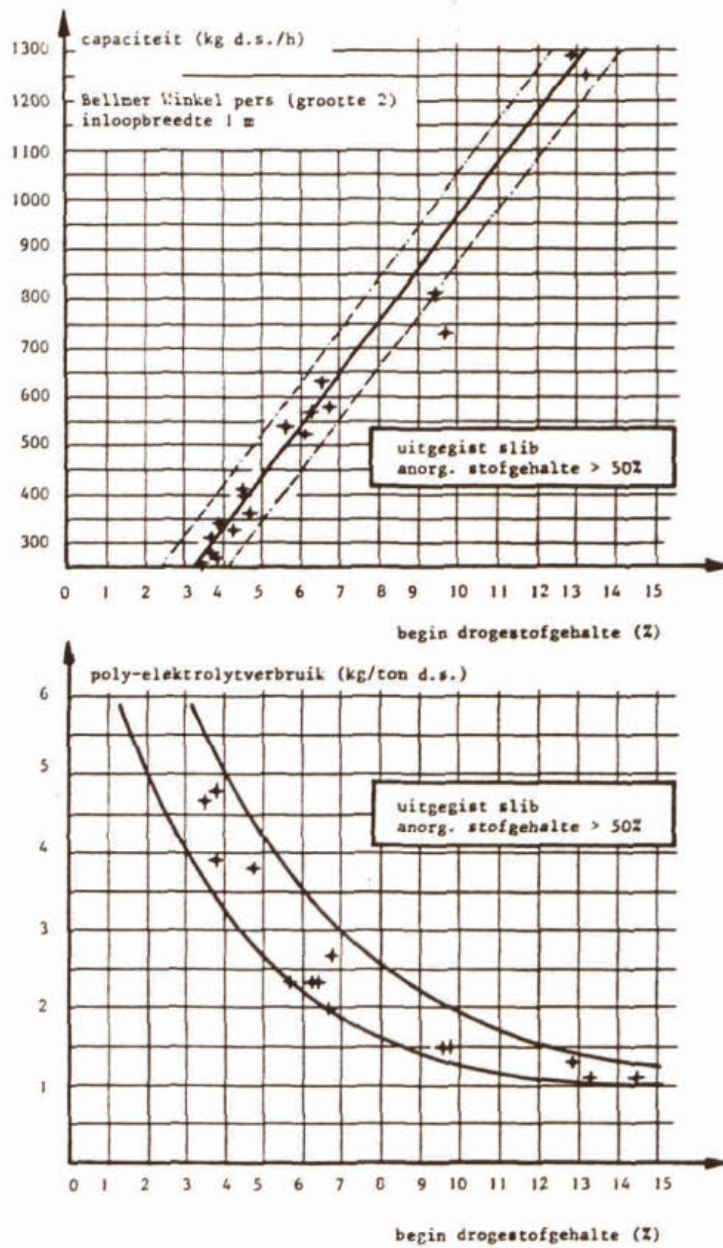


Fig. 32. Begin-drogestofgehalte, capaciteit en polyelektrolytgebruik van de "Bellmer Winkel" pers

In de praktijk ligt het opgenomen vermogen op circa 0,5 kW per m<sup>3</sup> nat slib.

Bij de S-pers kan het filtraat en het spoelwater (effluent) naar de reactietrommel worden teruggevoerd, waarna het in de meeste gevallen kan worden gebruikt als spoelwater voor de zeefbanden; het overige filtraat wordt teruggevoerd naar de beluchtingsruimte of naar de voorbezinking (2).

Als conditioneringsmiddel worden polyelektrolyten toegevoegd. Bij installaties op technische schaal is het chemicaliënverbruik als regel minder dan bij experimenten op laboratoriumschaal. Mogelijke oorzaken zijn:

- de mogelijkheid van het vroegtijdig injecteren van het polyelektrolyt in de slibleiding;
- de aanwezigheid van een meer uitgebreide menginrichting bij de technische installatie.

Praktische waarden voor het polyelektrolytverbruik liggen tussen de 1,5 en 4 g per kg droge stof. De toegepaste concentraties van de polyelektrolytoplossing liggen tussen de 0,1 en 0,2 gewichtsprocenten (16).

#### *eindproduct*

Bij de slibontwatering met de "Willmes Continupak" pers zijn de bereikbare drogestofgehalten van het ontwaterde slib voor de diverse slibsoorten als volgt:

- uitgegist oxydatiebedslib circa 40%;
- uitgegist actief slib circa 25-30%;
- oxydatieslootslib circa 20% (12).

Met de S-persinstallatie kunnen met aerob gestabiliseerd slib en uitgegist slib drogestofgehalten van 20-25% respectievelijk circa 40% worden behaald (2).

Proefresultaten van de ontwatering met de "Bellmer Winkel" pers wijzen uit dat in een aantal gevallen drogestofgehalten van meer dan 40% worden bereikt. Het uitgangsmateriaal was uitgegist slib en thermisch geconditioneerd slib van de rioolwaterzuiveringsinrichting van Breda. Het eindproduct heeft meestal een kruimelige structuur, geschikt voor afzet bij compostbedrijven (16).

#### 4.3.4 Apparatuur

##### *capaciteit*

De "Willmes Continupak" pers is leverbaar in twee typen met capaciteiten van respectievelijk 4-5 en 6-10 m<sup>3</sup> nat slib per uur. De capaciteit is traploos regelbaar.

De "Bellmer Winkel" pers wordt geleverd in capaciteiten tot 20-23 m<sup>3</sup>/h. De machine is volkomen instelbaar wat betreft de bandsnelheid, de inloopbreedte, de verticale schacht, de hydraulische bandspanningswalzen en de slib- en chemicaliëntoevoer. Voor capaciteitsverhoging kunnen bovendien in het horizontale voorontwateringstraject schoepjes wor-

den geplaatst of vacuümbakken worden aangebracht. Voor daartoe geschikte slibsoorten kunnen extra hydraulisch aangedrukte lijndrukwalen worden gemonteerd.

#### *sturing*

De S-pers is volledig te sturen, dat wil zeggen dat alle aandrijvingen van doseerpompen, mengtrommel, reactietrommel, pers en dergelijke traploos regelbaar zijn om voor iedere slibsoort een specifieke instelling (ook tijdens het proces) te kunnen vinden.

#### *constructiematerialen*

Alle delen die bij de "Willmes Continupak" pers met afvalwater in contact komen zijn evenals de transportleidingen uitgevoerd in roestvrijstaal. Het filterdoek is gemaakt van "Trevira Hochfest".

Bij de "Bellmer Winkel" pers zijn de walsen gemaakt van staal, bekleed met rilsan, de aandrijfwalen bekleed met rubber, terwijl de zeefafzets en zeven zijn uitgevoerd in kunststof.

De S-pers is in staal of roestvrijstaal en gedeeltelijk in kunststof (slibreactor, mengtrommel en zeefbanden) uitgevoerd.

#### *onderhoud*

Tot de dagelijkse uit te voeren onderhoudswerkzaamheden aan de "Willmes Continupak" pers behoort het smeren van 34 smeerpunten door middel van een centrale smerinrichting (12) en het schoonmaken van de installatie (circa 30 minuten per dag). Bij de "Bellmer Winkel" pers moet de installatie gemiddeld eenmaal per 2000 uur worden doorgesmeerd.

#### *levensduur*

De levensduur van beide zeefbandinstallaties wordt geschat op circa 15 jaar. Bij de "Willmes Continupak" pers wordt de levensduur van het doek op 2 jaar gesteld, terwijl de levensduur van de zeefbanden bij de "Bellmer Winkel" pers afhankelijk van de gebruiksduur van de ontwateringsapparatuur (24 of 8 uur per dag) op 1 tot 3 jaar wordt geschat.

Bij de S-pers zullen de zeefbanden gemiddeld eenmaal per jaar vervangen moeten worden. De levensduur van de zeefbanden is uiteraard afhankelijk van het aantal draaiuren en de aard van het te verwerken slib.

### 4.3.5

#### Kosten

##### *zeefbandpersen*

Een specificatie van de totale kosten (vaste en variabele, exclusief bouwkundige voorzieningen) van "Willmes Continupak" pers, is in tabel 39, p. 135 weergegeven.

Tabel 40 geeft de verdeling van de kosten weer voor twee typen van de "Bellmer Winkel" pers.

De kosten per ton droge stof variëren van DM 60,30 tot DM 81,50 (prijspeil december 1974).

| "Willmes Continupak" 5/2; investering f 210.000 *        |                   |  |
|--|-------------------|--|
| onderdeel  | kosten            |  |
|  | per jaar          | per ton d.s. 2000 bedrijfs-<br>uren per jaar; 10 m <sup>3</sup> slib<br>per uur, 4% d.s. |
| lineaire afschrijving over 15<br>jaar                    | f 14.000,-        | f 17,50  |
| rente 10% (gemiddelde waarde)                            | " 11.000,-        | " 13,75  |
| elektriciteit<br>(7,8 kW; f 0,10 per kWh)                | " 1.560,-         | " 1,95   |
| polyelektrolyt<br>(dosering 2,5 kg/ton d.s.;<br>f 16/kg) | " 32.000,-        | " 40,--  |
| personeel (1 uur/dag à f 30/<br>uur)                     | " 7.520,-         | " 9,40   |
| <b>totaal</b>  | <b>f 66.080,-</b> | <b>f 82,60</b>   |

Tabel 39. Jaarkosten "Willmes Continupak" pers (16)

\* prijspeil december 1975.

| "Bellmer Winkel" pers, bedrijfs gereed met toebehoren geïnstalleerd (bedrijfsvoering 8 uur per dag, 5 dagen per week) |               |                |
|---|---------------|----------------|
| grootte (nr.)   | 1             | 4              |
| uitgangsmateriaal (m <sup>3</sup> slib/jaar 6% d.s.)  | 12.000        | 40.000         |
| capaciteit (m <sup>3</sup> slib/h; voor max. eind d.s.)   | 6 - 8         | 20 - 23        |
| geïnstalleerd vermogen (kW)   | 16            | 30             |
| <hr/>   |               |                |
| investering (DM)  | 210.000       | 395.000        |
| jaarkosten (DM)   |               |                |
| lineaire afschrijving over 20 jaar  | 10.500        | 19.750         |
| rente, gemiddelde waarde 6,5%<br>van 50% van de investering   | 6.850         | 12.900         |
| personeel (5 uur/wk; DM 20/h)   | 5.200         | 5.200          |
| onderhoud en reparatie (3% van de machi-<br>nekosten)   | 5.850         | 11.000         |
| elektriciteit (70% van de geïnstalleerde<br>waarde; DM 0,10/kWh)  | 3.200         | 6.000          |
| vlokmiddelen (f 15/kg; dosering: 0,15 kg/<br>m <sup>3</sup> slib)   | 27.000        | 90.000         |
| <b>totaal (DM)</b>  | <b>58.800</b> | <b>144.850</b> |
| kosten per m <sup>3</sup> slib (DM)   | 4,90          | 3,62           |
| kosten per ton droge stof (DM)  | 81,50         | 80,30          |

Tabel 40. Kosten "Bellmer Winkel" pers (prijspeil december 1974) (16).

Voor de S-pers bedragen de kosten f 75/ton droge stof. Hierbij is gerekend met een vlokmiddelenprijs van f 15/kg en voor wat betreft het onderhoud met een jaarlijkse vernieuwing van de zeefband. Het natte slib heeft een drogestofgehalte van 4%.

#### *decanteercentrifuges*

In tabel 41 is een exploitatieopzet gegeven van Alfa-Laval centrifuges. De totale jaarlijkse kosten variëren van f 3 tot f 6 per m<sup>3</sup> nat slib (prijspeil juni 1975). Dit komt overeen met f 80 tot f 50 per ton droge stof.

De kosten voor Flottweg centrifuges zijn in tabel 42, p. 137 weergegeven. De variabele kosten (dus exclusief kapitaallasten) variëren van DM 2,45 tot DM 2,80 per m<sup>3</sup> nat slib (prijspeil juni 1975).

| <i>installatie (type)</i>                                       | AVNX 309 | AVNX 314 | AVNX 418 | AVNX 325 | AVNX 229 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| aantal uren bedrijf/jaar  | 3.500    | 3.500    | 3.500    | 3.500    | 3.500    |
| gem. slibvoeding (m <sup>3</sup> /j)                            | 7.000    | 17.500   | 35.000   | 70.000   | 105.000  |
| energieverbruik (kW)<br>(gemiddeld 1-1,5 kW/m <sup>3</sup> )    | 8.750    | 21.875   | 43.750   | 87.500   | 131.250  |
| polymerenverbr. (kg/jaar)<br>(gemiddeld 120 gr/m <sup>3</sup> ) | 840      | 2.100    | 4.200    | 8.400    | 12.600   |
| <i>investering (f)</i>  | 95.000   | 160.000  | 205.000  | 285.000  | 310.000  |
| <i>jaarlijkse kosten (f)</i>                                    |          |          |          |          |          |
| rente + afschrijving 11.33%                                     | 10.700   | 18.130   | 23.230   | 32.290   | 35.125   |
| energieverbruik (f 0,08/kW)                                     | 700      | 1.750    | 3.500    | 8.750    | 10.500   |
| polymeren (f 20,-/kg)   | 16.800   | 42.000   | 84.000   | 168.000  | 252.000  |
| onderhoud 2%  | 1.900    | 3.200    | 4.100    | 5.700    | 6.200    |
| bediening + lopend onderhoud<br>(1 man/jaar)                    | 10.000   | 10.000   | 10.000   | 10.000   | 10.000   |
| opknappen schroef per jaar<br>(1 x per 4 jaar)                  | 1.500    | 2.000    | 3.000    | 4.000    | 4.000    |
| <i>totaal</i>   | 41.660   | 77.080   | 127.830  | 228.740  | 317.825  |
| <i>kosten per m<sup>3</sup> nat slib</i>                        | 5,95     | 4,40     | 3,65     | 3,27     | 3,03     |

Tabel 41. Kosten Alfa-Laval centrifuges (3).

#### 4.3.6 Milieuaspecten

Mogelijke bronnen voor geluidsoverlast bij de "Bellmer Winkel" pers zijn de electromotoren en de bandspoeling. Het optreden van stank is uiteraard afhankelijk van de slibsoort. Indien gewenst kan de machine in verband met afzuiging van de stanklucht worden ingekapseld (16).

Bij de S-pers ontstaat geen extra geluidshinder en luchtverontreiniging (stof, stank) (2).

|   |        |         |        |         |         |         |
|---|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
| grootte van de installatie(s)<br>(i.e. x 10 <sup>3</sup> )        | 30     | 60      | 70     | 90      | 140     | 210     |
| centrifuge<br>type  | Z34    | Z34     | Z53    | Z34     | Z53     | Z53     |
| aantal  | 1      | 2       | 1      | 3       | 2       | 3       |
| cap. (m <sup>3</sup> /h)  | 5-6    | 5-6     | 12-14  | 5-6     | 12-14   | 12-14   |
| slibaanbod totale installatie <sup>1</sup><br>(m <sup>3</sup> /h) | 5-6    | 10-12   | 12-14  | 15-18   | 24-28   | 36-42   |
| (m <sup>3</sup> /d)   | 44     | 88      | 104    | 132     | 208     | 312     |
| (m <sup>3</sup> /wk)  | 220    | 440     | 520    | 660     | 1040    | 1560    |
| (m <sup>3</sup> /jaar)  | 11440  | 22880   | 27040  | 34320   | 54080   | 81120   |
| inhoud bedrijfsruimte (m <sup>3</sup> )                           | 100    | 180     | 200    | 260     | 360     | 520     |
| <i>investeringen<sup>2</sup> (DM x 10<sup>3</sup>)</i>            |        |         |        |         |         |         |
| machines  | 140    | 235     | 230    | 330     | 400     | 570     |
| gebouw <sup>3</sup>   | 15     | 27      | 30     | 39      | 54      | 78      |
| <i>totaal<sup>4</sup> (DM x 10<sup>3</sup>)</i>                   | 155    | 262     | 260    | 369     | 454     | 648     |
| <i>spec. invest. (DM/i.e.)</i>                                    | 5,20   | 4,40    | 3,70   | 4,10    | 3,20    | 3,10    |
| <i>variabele kosten (DM/j)</i>                                    |        |         |        |         |         |         |
| personeel <sup>5</sup> (manuren/dag)<br>(DM x 10 <sup>3</sup> )   | 2<br>6 | 4<br>12 | 3<br>9 | 5<br>15 | 6<br>18 | 8<br>24 |
| elektriciteit <sup>6</sup> (DM x 10 <sup>3</sup> )                | 2,1    | 4,1     | 4,9    | 6,2     | 9,7     | 14,6    |
| vlokmiddelen <sup>7</sup> (DM x 10 <sup>3</sup> )                 | 20,8   | 41,6    | 49,2   | 62,5    | 98,4    | 147,6   |
| onderhoud <sup>8</sup>  | 3,1    | 6,2     | 4,2    | 9,3     | 8,3     | 12,5    |
| <i>totaal</i>   | 32     | 63,9    | 67,3   | 93      | 134,4   | 198,7   |
| <i>spec. var. kosten (DM/m<sup>3</sup>)</i>                       | 2,8    | 2,8     | 2,5    | 2,7     | 2,5     | 2,45    |

Tabel 42. Kosten Flottweg centrifuges (1)

<sup>1</sup> 54 g droge stof per i.e. per dag wordt verwerkt, 5 dagen per week, acht uur per dag drogestofgehalte uitgangsmateriaal 5%.

<sup>2</sup> complete installatie met centrifuge, slib- en doseerpompen, meetapparatuur, automatische vlokmiddelbereiding, slibkoektransporteur, schakelkast, leidingen, montage (prijspeil juni 1975)

<sup>3</sup> DM 150/m<sup>3</sup> bedrijfsruimte

<sup>4</sup> exclusief BTW

<sup>5</sup> 1 manjaar: DM 24.000

<sup>6</sup> 1,8 kWh/m<sup>3</sup> slib, DM 0,10/kWh

<sup>7</sup> 130 g/m<sup>3</sup>, DM 14/kg

<sup>8</sup> Z34: DM 1,50/bedrijfsuur

Z53: DM 2,00/bedrijfsuur

In dit hoofdstuk worden procesomstandigheden, bedrijfsresultaten, apparatuurgegevens, kosten- en milieuaspecten van de volgende drooginstallaties besproken:

- Van den Broek droger (27)
- Centritor droger (3)
- Nateko droger (10)
- Von Roll drogers (voor nat en voorontwaterd slib) (5)

Door gebrek aan informatie wordt de Seiler-Koppers droger, die in ons land op een aantal plaatsen wordt toegepast, niet in dit deel behandeld; echter wel in deel 5 "Nederlandse Praktijkinformatie" (5.3.3, pp. 171-173).

## 4.4.1

Procesomstandigheden*uitgangsmateriaal*

Aan de thermische droging gaat meestal een behandeling met centrifuges, zeefbandpersen of persfilters vooraf. Mechanische voorontwatering is met de Van den Broek drooginstallatie evenwel niet strikt noodzakelijk. Slibeigenschappen spelen bij het droogproces in het algemeen evenmin een belangrijke rol (27).

Bij de Nateko droger is een essentiële voorwaarde voor de toepassing hiervan het kleefvermogen van het slib aan het dragermateriaal (balletjes van glas, aluminium of kunststof). Dit moet vooraf worden onderzocht. Slib van huishoudelijke oorsprong levert in dit opzicht echter meestal geen problemen op. Het drogestofgehalte van het ingaande slib moet tussen 0 en 25% liggen. De hoogste waarde wordt bepaald door de "verpompbaarheid" van het slib.

Bij de Centritor droger van Alfa-Laval moet het drogestofgehalte voor maximale efficiëntie 60 - 65% zijn (3). Dit drogestofgehalte wordt bereikt door voorontwaterd slib (drogestofgehalte 15 - 35%) te mengen met reeds gedroogd slib.

Bij de zogenaamde "Mahlrockner" (systeem von Roll) wordt voorontwaterd slib (drogestofgehalte 15 - 30%) in direct contact met bijvoorbeeld hete rookgassen gedroogd. In deze droger wordt het materiaal tevens verkleind (hoge warmteoverdrachtscoëfficiënt) (5).

Bij de zogenaamde "Dünnschichtrockner" (systeem von Roll) wordt nat slib gedroogd. Bij deze droger wordt warmte door middel van een platenwarmtewisselaar aan het slib overgedragen. De verwarming gebeurt met stoom. Slib en stoom komen hierbij niet met elkaar in aanraking. Teneinde de overdracht van warmte zo groot mogelijk te maken, wordt slib in een dunne laag langs de warmte-overdrachtvlakken gevoerd. (5).

*temperatuur*

Het luchtdebiet en de temperatuur van de binnenkomende lucht hangen onder andere af van de benodigde droogcapaciteit. Bij de Van den Broek droger bedraagt deze temperatuur circa 750°C (maximaal 900°C) en de temperatuur van uittredende lucht circa 110°C.

Bij de Nateko droger wordt de luchttemperatuur onder andere mede bepaald door de materiaalkeuze van het dragermateriaal. De Nateko droger werkt met een betrekkelijk lage droogluchttemperatuur van 140 à 150°C; de temperatuur van de uittredende lucht bedraagt 40 à 50°C.

De droogluchttemperatuur bij de Centritor droger bedraagt 450 - 550°C, terwijl de uitgaande lucht een temperatuur van 80 à 100°C heeft.

#### 4.4.2

##### Bedrijfsresultaten

###### *energie, water en hulpstoffen*

Bij de Van den Broek droger komt het brandstofverbruik overeen met 625 kcal per liter slib met een drogestofgehalte van 20% ( $\approx 675$  kcal/kg verdampt water, hieruit volgt een thermisch rendement van  $\frac{640}{675} \times 100\% \approx 95\%$ ; zie ook 3.2.3, p. 76).

Voor het drogen van slib met een drogestofgehalte van 5% wordt voor de Nateko droger een energieverbruik van 770 Mcal per m<sup>3</sup> slib ( $\approx 810$  kcal/kg verdampt water) opgegeven. Naarmate het drogestofgehalte van het uitgangsmateriaal toeneemt, wordt het energieverbruik minder. Uitgaande van slib met een drogestofgehalte van 20% bedraagt het verbruik 650 Mcal per m<sup>3</sup> slib ( $\approx 700$  kcal/kg verdampt water).

Het electriciteitsverbruik bedraagt bij de Van den Broek droger (exclusief de voorontwateringsinstallatie) circa 30 kWh/m<sup>3</sup> slib met een drogestofgehalte van 20%; voor de Nateko droger is dit verbruik eveneens 30 kWh zij het dat de opgave betrekking heeft op slib met een drogestofgehalte van 4%.

Bij de Centritor droger is voor het verdampen van 12 kg water 1 kg olie nodig, wat overeenkomt met een energieverbruik van circa 830 kcal/kg verdampt water. Het is niet duidelijk op welk drogestofgehalte van het slib de opgave betrekking heeft.

Het drogen van nat slib vraagt relatief veel energie. Indien goedkope energie beschikbaar is (warmte, die vrij komt bij methaangas en/of vuilverbranding) kan het drogen van nat slib worden overwogen (5).

Het waterverbruik bij de Van den Broek droger wordt gesteld op 22 m<sup>3</sup> slib met een drogestofgehalte van 20%. Dit water wordt gebruikt als koel- en als waswater in de gaswasinstallatie.

Van den Broek wijst op het gebruik van ureum als hulpstof om een hoger stikstofgehalte te verkrijgen. Het ureum wordt aan het natte slib toegevoegd, gemengd en daarna gedroogd. De verrijking van het slib zou de afzet als meststof aanmerkelijk verbeteren.

###### *eindproduct*

Bij de Van den Broek droger bestaat het eindproduct uit korrelig slib (diameter korrels 3 à 4 mm) en het drogestofgehalte hiervan bedraagt circa 90%.

Dit slib kan onder andere worden afgenomen door tuincentra, mestverwerkings- en composteringsbedrijven (27).

Bij het drogen van nat slib kan maximaal een drogestofgehalte van 55 - 65% worden bereikt (5). Bij het drogen van voorontwaterd slib is het drogestofgehalte van het eindproduct 85 - 95%. (5).



#### 4.4.3 Apparatuur

De Van den Broek droger is in diverse capaciteiten leverbaar. De apparatuur is hoofdzakelijk uitgevoerd in constructiestaal (treksterkte  $360 \text{ N/mm}^2$ ) en roestvrijstaal. De levensduur van de installatie wordt gesteld op 20 jaar. Behoudens de wekelijkse onderhoudsbeurten zoals smering, schoonmaken enzovoorts, moet worden gerekend op éénmaal groot onderhoud per jaar voor uitwisseling van sterk aan slijtage onderhevige onderdelen. De installatie bezit een grote mate van flexibiliteit; de droger verwerkt slibdebieten, die zich verhouden als 1 : 4. De doseerschroeven van nat en droog slib worden aangedreven door middel van variatoren, waardoor de materiaalstromen traploos regelbaar zijn.

De Nateko droger is tot dusver uitsluitend in lage capaciteiten leverbaar, hoewel er plannen zijn om grotere drogers te ontwikkelen. Alle delen van de apparatuur, die met slib in aanraking komen, zijn uitgevoerd in roestvrij staal (SIS 2343); alle overige delen bestaan uit gewoon constructiestaal (treksterkte  $360 \text{ N/mm}^2$ ). De levensduur van de installatie wordt beperkt door de slijtage van transportschroef, ventilatoren, pompen enzovoorts. Zij wordt gesteld op 10-15 jaar. Het onderhoud aan de installatie beperkt zich tot het periodiek onderhouden van technische onderdelen en betreft smering van lagers, controle van het oliepeil in reductiekasten, vervanging van V-snaren enzovoorts. De installatie is flexibel in die zin dat door een goede regeling variaties in het drogestofgehalte binnen de gestelde grenzen kunnen worden opgevangen.

De Centritor droger is leverbaar in capaciteiten van 100 - 3000 kg/h waterverdamping (3).

Natslibdrogers, respectievelijk drogers van voorontwaterd slib zijn leverbaar in capaciteiten van 0,2 tot 2  $\text{m}^3/\text{h}$  en 0,25 tot 5  $\text{m}^3/\text{h}$ . (5).

#### 4.4.4 Kosten

In figuur 33, p. 141 (kromme A) zijn voor de Van den Broek droger de investeringskosten als functie van de verwerkingscapaciteit in tonnen droge stof per jaar gegeven. De investeringskosten van een complete Nateko droger met een capaciteit van 1  $\text{m}^3$  nat slib/h bedragen circa f 600.000,-- (prijspeil december 1975).

In dezelfde figuur is het verband weergegeven tussen de bedrijfskosten voor de droging van voorontwaterd slib (drogestofgehalte 25%) en de verwerkingscapaciteit (kromme B). De kosten (exclusief gebouw) zijn opgegeven in guldens per ton droge stof. Zij zijn berekend op basis van de volgende uitgangspunten: afschrijvingstermijn 20 jaar; rente 10%; aantal bedrijfsuren 2000 per jaar; 1 manjaar f 25.000,--; gas f 0,10/ $\text{m}^3$ ; electriciteit f 0,10/kWh.

Bij de omrekening naar inwonerequivalenten is uitgegaan van een slibproductie van 40 gram per inwoner per dag.

Door verdubbeling van het aantal draaiuren (lagere investeringskosten) zullen de bedrijfskosten per ton droog product volgens Van den Broek met ongeveer één derde verminderen.

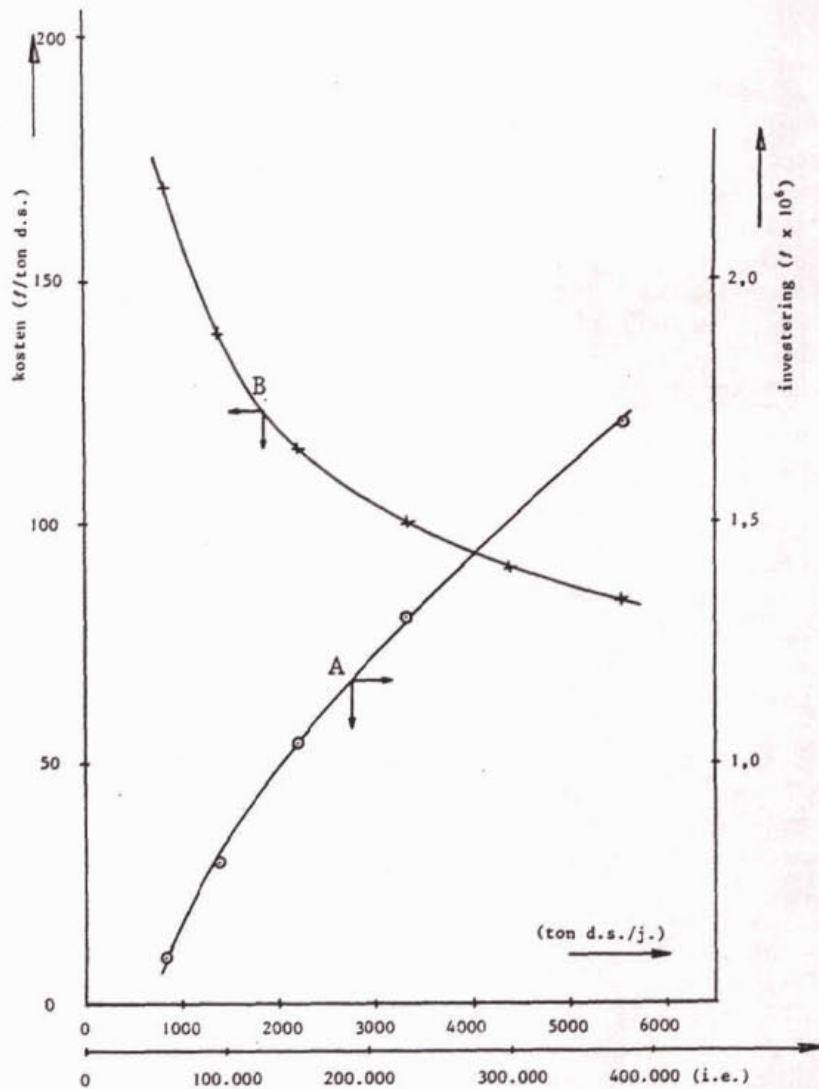


Fig. 33. Investerings- en bedrijfskosten van de Van den Broek droger (27)

Een verdeling van de vaste (rente, afschrijving) en de variabele kosten (bediening, energie, onderhoud) van de droging van voorontwaterd slib met de Van den Broek droger is voor een aantal verwerkingscapaciteiten weergegeven in tabel 43 (vaste en variabele kosten zijn samen 100%). Dezelfde uitgangspunten als voor figuur 33 zijn op deze tabel van toepassing.

| cap.<br>(ton d.s.) | vaste<br>kosten<br>(%) | variabele kosten |                  |            |                |                  |
|--------------------|------------------------|------------------|------------------|------------|----------------|------------------|
|                    |                        | tot.<br>(%)      | bediening<br>(%) | energie    |                | onderhoud<br>(%) |
|                    |                        |                  |                  | gas<br>(%) | elektra<br>(%) |                  |
| 830                | 43                     | 57               | 18               | 16         | 6              | 17               |
| 1380               | 42                     | 58               | 13               | 19         | 9              | 17               |
| 2210               | 42                     | 58               | 10               | 23         | 9              | 16               |
| 3320               | 40                     | 60               | 8                | 27         | 10             | 15               |
| 5540               | 38                     | 62               | 5                | 32         | 10             | 15               |

Tabel 43. Verdeling vaste en variabele kosten bij de Van den Broek droger(27)

Om een indruk te krijgen van de totale slibverwerkingskosten dienen de droogkosten te worden vermeerderd met de kosten van de voorontwatering. Hiervoor wordt verwezen naar de tabellen 39, 40 en 41, pp. 135 en 136.

De slibbehandelingskosten moeten worden verminderd met de (mogelijke) opbrengst van het slib.

Volgens Van den Broek worden voor het gedroogde slib prijzen van f 140,-- tot f 150,-- per ton gemaakt. (27).

#### 4.4.5 Milieuaspecten

De milieuaspecten bij slibdroging betreffen de emissie van stof en stank en de geluidshinder.

##### *stof*

De stofemissie bij de Van den Broek droger is volgens opgave 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Bij de Nateko droger vormt de stofemissie bij continu bedrijf evenmin een probleem (lage luchtsnelheid, wassing van de lucht in de bovenste natte laag).

##### *stank*

De bij de droging gevormde stank kan door toevoeging van chemicaliën (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en NaOH) aan het waswater worden geëlimineerd (27). Afhankelijk van de soort slib en de gekozen droogtemperatuur kan een aparte wasser noodzakelijk zijn. Dit moet per geval worden onderzocht. De Nateko droger op de rioolwaterzuiveringsinrichting van Capelle aan de IJssel werkt zonder ontstoffings- en stankbestrijdingsapparatuur. Volgens opgave van de leverancier treedt geen stankoverlast op (10).

##### *geluid*

Voor de Van den Broek droger bedraagt het geluidsniveau op 100 m afstand van het gebouw circa 45 dBA. Indien nodig kan deze waarde nog verder worden verlaagd. (27).

Door het plaatsen van geluiddempers en dergelijke is het geluid van de ventilator (de belangrijkste geluidsbron) tot elk willekeurig niveau terug te brengen. Zo kan men in de praktijk voldoen aan alle eventuele geluidseisen.

#### 4.4.6 Ervaring in Nederland

Van den Broek drooginstallaties zijn in bedrijf op de rioolwaterzuiveringsinrichtingen te Zeist, Meppel, Ridderkerk, Hoogezand, Leek en in Gouda bij de zuiveringsinrichting van Unilever-Emery.

Een Nateko droger is geplaatst op de rioolwaterzuiveringsinrichting Capelle aan de IJssel. De installatie is sinds augustus 1975 in bedrijf.

Een aantal van de bovengenoemde installaties worden uitvoerig besproken in deel 5 "Nederlandse praktijkinformatie".

## 4.5 COMPOSTERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

In dit hoofdstuk worden de volgende twee composteringsreactoren behandeld:

- de bioreactor (systeem Kneer)
- de "Bio-Zellen" reactor (systeem Schnorr).

### 4.5.1 Procesomstandigheden

#### *algemeen*

Belangrijke procesomstandigheden zijn de hoedanigheid van het uitgangsmateriaal, de temperatuur, de procestijd en het luchtverbruik.

#### *uitgangsmateriaal*

In principe kunnen alle soorten slib zoals vers, gemineraliseerd en uitgegist slib, chemisch slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen met simultane defosfatering (Zweden) alsmede mengsels van uitgegist slib en varkensmest (Japan) worden gecomposteerd.

Het slib moet voor menging met een koolstofdrager minimaal tot een drogestofgehalte van minstens 20% worden ontwaterd.

Bij de bio-reactor (systeem Kneer, zie processchema, figuur 34, p.144) moet het mengsel bestaan uit 90 volume procenten slib (drogestofgehalte 20%) en 10 volume procenten koolstofdrager (drogestofgehalte 50%). Bij het opstarten van de reactor moet de verhouding slib/koolstofdrager 60/40 zijn. Hierbij kan een deel van de koolstofdrager bestaan uit reeds gecomposteerd materiaal. Bij gemineraliseerd slib kan de hoeveelheid koolstofdrager wat minder zijn, omdat dit slib een lager N-gehalte heeft. Bij uitgegist slib moet de hoeveelheid koolstofdrager daarentegen wat meer zijn, omdat tijdens de gisting een deel van de in het slib aanwezige koolstof als methaangas ontwijkt. De koolstof/stikstof verhouding van het mengsel moet tussen 20 en 30 (gemiddelde waarde circa 24) liggen. Bij het oplopen van de C/N verhouding tot een waarde van circa 60 wordt de reactie niet gestoord. (13).

Voor de verwerking van slib in de "Bio-Zellen" reactor (systeem Schnorr, zie processchema figuur 35, p. 144) moet het drogestofgehalte van het slib (vóór de menging met de koolstofdrager) 15 à 25% bedragen. Uitgegist slib wordt alleen samen met primair of actief-slib of met huisvuil in verkleinde vorm verwerkt (14,21).

Aan het ontwaterde slib (drogestofgehalte circa 25%) wordt een koolstofdrager in de volumeverhouding 1 : 1 toegevoegd. Ter besparing van koolstofdrager en voor het versnellen van het biologische afbraakproces kan gecomposteerd materiaal, tot maximaal 80 volume procent van de hoeveelheid koolstofdrager worden teruggevoerd (14,21).

#### *temperatuur*

Door biologische zelfverhitting wordt de temperatuur in beide typen reactoren 70 - 80°C. Het temperatuurprofiel in de bioreactor is als volgt: bovenin circa 60°C; op 3/4 van de hoogte circa 75°C en onderin circa 40°C.

Het bereiken van een temperatuur van 40°C onder in de reactor waar omgevingslucht wordt ingeblazen is mogelijk door warmteuitwisseling tus-

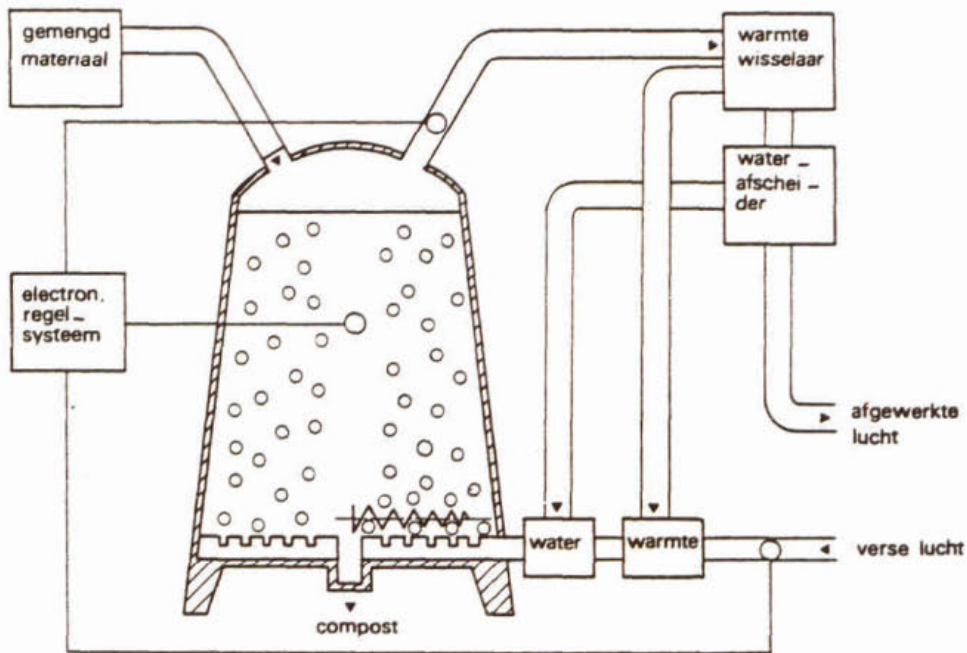


Fig. 34. Processchema bioreactor (systeem Kneer)

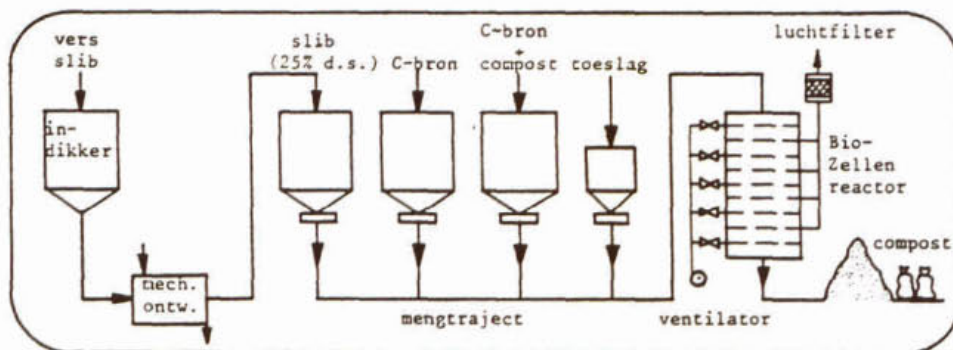


Fig. 35. Processchema "Bio Zellen" reactor (systeem Schnorr)

sen afgas (60°C) en inlaatlucht.

#### *procestijd*

Bij de bioreactor is de verblijftijd van het mengsel in de reactor 10 - 14 dagen. Gedurende kortere tijd is een verblijftijd van 7 dagen toelaatbaar. Daarna volgt een narijptijd van 6 tot 8 weken (13). Dit heeft tot gevolg dat de zuiveringsinstallatie over voldoende opslagcapaciteit moet beschikken. Het effect van wintercondities op de narijptijd is niet bekend.

Na een verblijftijd van 30 dagen in de "Bio-Zellen" reactor is het materiaal zover in humus omgezet dat geen narijptijd meer nodig is. Bij kortere verblijftijd (bijvoorbeeld 14 dagen) is evenals bij de bioreactor een narijptijd van 6 tot 8 weken (of nog langer, afhankelijk van de weersgesteldheid) noodzakelijk (14, 21).

#### *Luchtverbruik*

De onder in de bioreactor toe te voeren luchthoeveelheid (21% O<sub>2</sub>) moet tweemaal de reactorinhoud per uur zijn (13).

Chrometzka geeft in de brochure over de "Bio-Zellen" reactor een zuurstofbehoefte van minimaal 200 m<sup>3</sup> per gram en per uur op. Dit geldt vooral voor de eerste drie weken van het proces (14, 21).

### 4.5.2 Bedrijfsresultaten

#### *energie, water en hulpstoffen*

Er is elektrische energie nodig voor de aandrijving van compressoren, aan- en afvoervijzels en dergelijke. Het verbruik is nog niet exact bekend. De onzekerheid zit met name in de opvoerhoogte van de benodigde compressoren. Volgens opgave (13) bedraagt de druk waarmee de lucht in de reactor moet worden gebracht (2 - 5 x 10<sup>3</sup> N/m<sup>2</sup>). De compressor wordt echter op een druk van 4 x 10<sup>4</sup> N/m<sup>2</sup> gedimensioneerd.

De boven in de reactor af te zuigen luchthoeveelheid moet door een compressor met een zuigdruk van circa 2 x 10<sup>4</sup> N/m<sup>2</sup> en een capaciteit gelijk aan die van de drukcompressor worden afgezogen.

Bij de bioreactor van Kneer vindt recirculatie van water plaats. De in de afgezogen lucht aanwezige waterdamp wordt afgescheiden (waterafscheider) en met de voorverwarmde inlaatlucht opnieuw aan de reactor toegevoerd. Voor zover bekend wordt geen extra water gesuppleerd (zie processchema, figuur 34, p. 144).

Als hulpstof moet een koolstofdrager worden toegevoegd. Als koolstofdragers kunnen worden gebruikt zaagsel, turf, papier (zowel pulp: 50% d.s. als snippers) stro (gehakseld), bruinkool, hout, enz. (13) alsmede verkleind huisvuil, en boomschors (14, 21). Een indicatie van de benodigde hoeveelheid volgt uit de hiervoor besproken mengverhouding.

In de "Bio-Zellen" reactor kan bentonit (Ca-Montmorilloniet-Ton) tot 10 kg per m<sup>3</sup> uitgangsmateriaal als extra hulpstof worden toegevoegd (14, 21). Bentonit veroorzaakt:

- een versnelling van de afbraak, waardoor de rijptijd met 6 - 10 dagen kan worden verkort;
- een dichtere bezetting door microorganismen;
- een verhoging van de adsorptiecapaciteit van de gerijpte compost;
- een buffering van de pH waarde.

Hubert Sneek daarentegen stelt dat de toevoeging van dergelijke hulpstoffen zoveel mogelijk moet worden vermeden (13).

#### *eindproduct*

Een typische samenstelling van het eindproduct van de bioreactor wordt weergegeven door de volgende waarden:

|   |           |                                     |
|---|-----------|-------------------------------------|
| C/N   | 17 - 18   | gewichtsverhouding                  |
| Kjeldahl stikstof                                     | 1 - 1,5   | gewichtsprocenten                   |
| fosfaat (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )          | + 0,8     | gewichtsprocenten                   |
| kalium (als K <sub>2</sub> O)                         | 0,1 - 0,3 | gewichtsprocenten                   |
| drogestofgehalte                                      | 40 - 60   | gewichtsprocenten                   |
| organisch materiaal                                   | 50 - 55   | gewichtsprocenten van de droge stof |
| pH  | + 6,5     |                                     |
| compost/toegevoerd materiaal (slib + koolstofdrager). | + 0,5     | volumeverhouding                    |

De sterke volumereductie is een gevolg van biologische afbraak en watervdamping.

en 100.000 - 150.000 i.e. De reactor is vervaardigd van normaal constructiestaal en voorzien van isolatiesteen om warmteverliezen te beperken. De reactor is gesloten uitgevoerd.

De "Bio-Zellen" reactor heeft 10 etages; de maximale laagdikte per etage is 1 m. De daarbij behorende drukval is gering (10 N/m<sup>2</sup>). Per etage bedraagt de verblijftijd van het materiaal drie dagen. De installatie is gesloten uitgevoerd. Een indruk van de installatiegrootten geeft tabel 44, p. 147. De gegevens hierin zijn gebaseerd op een verblijftijd van 14 dagen (10 werkdagen). Bij een verblijftijd van 28 dagen moet het aantal reactoren worden verdubbeld.

| type         | tot. inhoud (m <sup>3</sup> ) | nuttige inhoud (m <sup>3</sup> ) | uitwendige maten (m) l/b/h | slibaanbod per werkdag (m <sup>3</sup> ) (25% d.s.) | capaciteit (i.e.) |
|--------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|-------------------|
| gr. 1/2,5/10 | 30                            | 24                               | 2,5/1/11,5                 | 1,7   | 3.000             |
| gr. 1/2,5/10 | 50                            | 40                               | 2,5/2/11,5                 | 2,9   | 5.000             |
| gr. 2/5 /10  | 100                           | 80                               | 5 /2/11,5                  | 5,8   | 10.000            |
| gr. 4/5 /10  | 200                           | 160                              | 5 /4/11,5                  | 11,6  | 20.000            |
| gr. 4/7,5/10 | 300                           | 240                              | 7,5/4/11,5                 | 17,2  | 30.000            |
| gr. 4/10 /10 | 400                           | 320                              | 10 /4/11,5                 | 23,0  | 40.000            |
| gr. 4/15 /10 | 600                           | 480                              | 15 /4/11,5                 | 34,0  | 60.000            |

Tabel 44. Gegevens "Bio-Zellen" reactor (14,21)

#### *onderhoud*

Het onderhoud aan de bioreactor beperkt zich tot de gebruikelijke onderhoudswerkzaamheden. Uit de door de leverancier verstrekte brochure blijkt dat voor de uitvoering van de noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden in totaal twee weken per jaar is uitgetrokken.

#### *flexibiliteit*

Over bedrijfsvoering en flexibiliteit van de slibcompostering kan het volgende worden opgemerkt. De reactor kan zowel continu als discontinu worden gevoed. De opstarttijd wordt geschat op circa drie weken. Bij volledige ontregeling van het proces kan de reactor weer snel worden opgestart, door deze te vullen met het eindproduct (compost). Dit is een voordeel ten opzichte van bijvoorbeeld de slibgisting.

De capaciteit is over een groot gebied regelbaar; de transportapparatuur (aan- en afvoer vijzels) heeft een regelbereik van 1 : 5. Bovendien is de mogelijkheid ingebouwd om het eindproduct naar de reactor terug te voeren. Voor de procesvoering is een goede procesregeling uitermate belangrijk. Belangrijke parameters bij de procesvoering zijn:



- de temperatuur in de reactor op verschillende hoogten;
- de vochtigheidsgraad in de reactor op verschillende hoogten;
- de samenstelling van het boven in de reactor te zuigen gas. Hierin moet aanwezig zijn 3,5 - 7,5% koolzuur en ongeveer 14% zuurstof. Zwavelwaterstof en ammoniak komen vrij wanneer het proces anaeroob wordt (dit is uiteraard niet de bedoeling).

De besturing van de reactor vindt plaats door de luchttoevoer te regelen. De sturing van de hoeveelheid lucht gebeurt door regeling van de compressoren, die op hun beurt worden gestuurd door de CO<sub>2</sub>-meter in het afgaskanaal. Controle van de biochemische reactie kan geschieden door meting van de temperatuur in de reactor op verschillende hoogten.

Kort samengevat kan men stellen dat het proces goed zal functioneren als:

- de aan- en afvoer van het materiaal in orde is;
- voldoende regelmogelijkheden aanwezig zijn.

#### 4.5.4

#### Kosten

De kostenopgave van de bioreactor (systeem Kneer) is in onderstaande tabel weergegeven.

| Bioreactor (Kneer)                                     |                             |
|--|-----------------------------|
| inhoud   | 500 m <sup>3</sup>          |
| capaciteit inwonerequivalenten                         | 100.000 - 150.000 i.e.      |
| slibhoeveelheid (20% d.s.)                             | 11.250 m <sup>3</sup> /jaar |
| koolstofdrager   | 1.250 m <sup>3</sup> /jaar  |
| totale materiaal hoeveelheid                           | 12.500 m <sup>3</sup> /jaar |
| investering  | 2.100.000                   |
| specifieke kosten per m <sup>3</sup> uitgangsmateriaal | 27                          |
| per m <sup>3</sup> slib (20% d.s.)                     | 30                          |
| per ton d.s. (slib)                                    | 140                         |
| kostenverdeling  |                             |
| vaste kosten   | 65%                         |
| variabele kosten                                       | 35%                         |
| (koolstofdrager)                                       | ( 9% )                      |

Tabel 45. Kosten bioreactor (systeem Kneer) (13)

Door de verkoop van de compost kunnen de totale kosten van de slibcompostering worden teruggebracht (bij een verkoopprijs van 15 DM per m<sup>3</sup> compost, tot ongeveer f 100,-- per ton droge stof (exclusief de opslag- en verwerkingskosten ten behoeve van de noodzakelijke narijping). Deze kosten dienen ook nog te worden verhoogd met de voorontwateringskosten (f 80 à f 90,-- per ton d.s.), aangezien is uitgegaan van slib met een drogestofgehalte van 20%.

De vaste- en variabele jaarlijkse kosten (exclusief voorontwatering) van een "Bio-Zellen" reactor zijn in onderstaande grafiek weergegeven in relatie tot de capaciteit

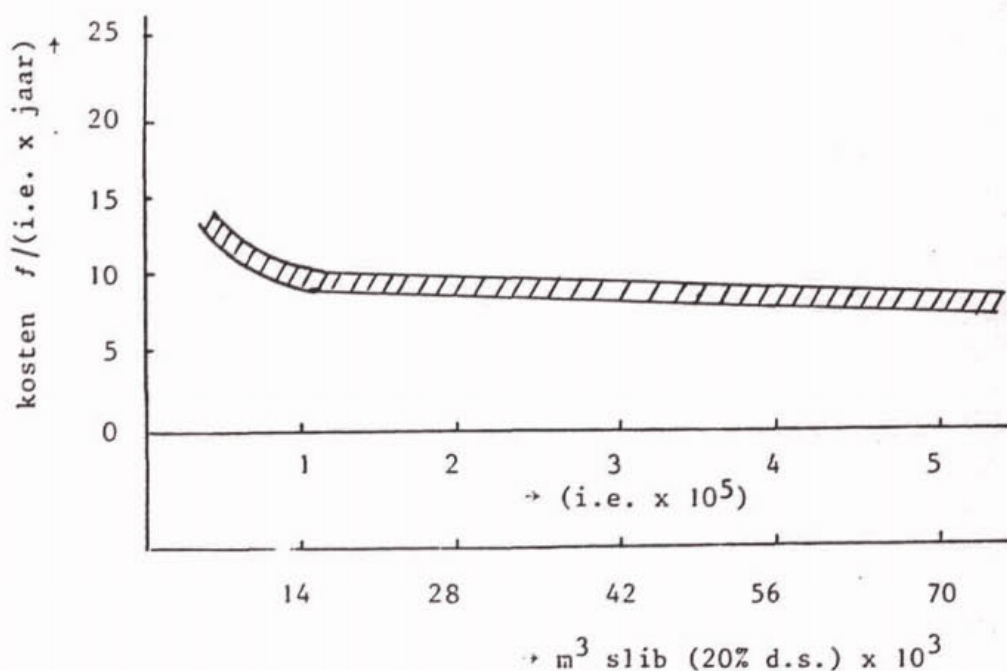


Fig. 36. Kosten "Bio-Zellen" reactor (14, 21)

De kosten zijn berekend op basis van een annuïteit van 8 - 10%. De kostenopgaven zijn gebaseerd op voorlopige richtprijzen en zijn derhalve globaal. Meer betrouwbare opgaven over de bedrijfskosten mogen te zijner tijd van de leveranciers worden verwacht.

#### 4.5.5 Milieuaspecten

Stankoverlast door slibcompostering met een bioreactor is gering. Dit komt omdat de reactor gesloten uitgevoerd is en daardoor kunnen de afgassen afdoend worden gereinigd. Dit laatste kan op twee manieren gebeuren, ofwel door de afgassen door een adsorptiefilter (biofilter) te leiden, dan wel door de afgassen te wassen. Het vulmateriaal van het biofilter bestaat in dit geval uit compost. Na het wassen kunnen de afgassen in de aeratieruimte van de rioolwaterzuiveringsinrichting worden geleid.

#### 4.5.6 Ervaring in Nederland

In Nederland is nog geen ervaring aanwezig op het gebied van de slibcompostering in reactoren (bioreactor of "Bio-Zellen" reactor). Volgens de informatie van de leverancier bestaat er binnen Nederland wel veel belangstelling voor de bioreactor.

#### 4.5.7 Literatuur

De door leveranciers gegeven literatuurverwijzingen zijn opgenomen in deel 6. Literatuur 148-151, 157-159, 161-165.

Door de verkoop van de compost kunnen de totale kosten van de slibcompostering worden teruggebracht (bij een verkoopprijs van 15 DM per m<sup>3</sup> compost, tot ongeveer f 100,-- per ton droge stof (exclusief de opslag- en verwerkingskosten ten behoeve van de noodzakelijke narijping). Deze kosten dienen ook nog te worden verhoogd met de voorontwateringskosten (f 80 à f 90,-- per ton d.s.), aangezien is uitgegaan van slib met een drogestofgehalte van 20%.

De vaste- en variabele jaarlijkse kosten (exclusief voorontwatering) van een "Bio-Zellen" reactor zijn in onderstaande grafiek weergegeven in relatie tot de capaciteit

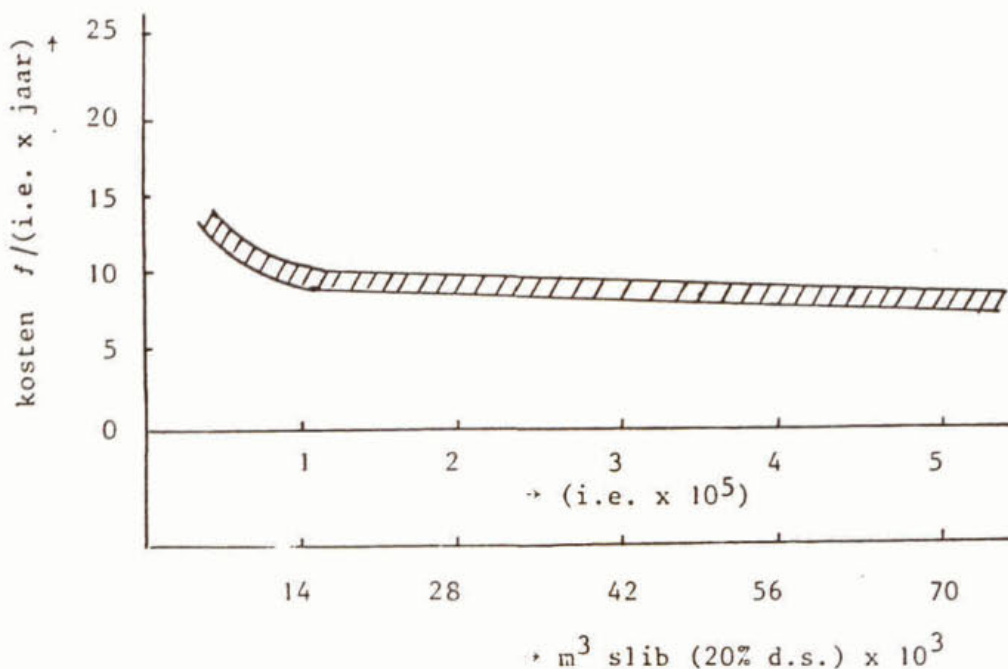


Fig. 36. Kosten "Bio-Zellen" reactor (14, 21)

De kosten zijn berekend op basis van een annuïteit van 8 - 10%. De kostenopgaven zijn gebaseerd op voorlopige richtprijzen en zijn derhalve globaal. Meer betrouwbare opgaven over de bedrijfskosten mogen te zijner tijd van de leveranciers worden verwacht.

#### 4.5.5 Milieuaspecten

Stankoverlast door slibcompostering met een bioreactor is gering. Dit komt omdat de reactor gesloten uitgevoerd is en daardoor kunnen de afgassen afdoend worden gereinigd. Dit laatste kan op twee manieren gebeuren, ofwel door de afgassen door een adsorptiefilter (biofilter) te leiden, dan wel door de afgassen te wassen. Het vulmateriaal van het biofilter bestaat in dit geval uit compost. Na het wassen kunnen de afgassen in de aeratieruimte van de rioolwaterzuiveringsinrichting worden geleid.

5. Nederlandse  
praktijk informatie

## Inhoud

|        |   |           |
|--------|---|-----------|
| 5.1    | INLEIDING   | 155 - 157 |
| 5.2    | MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP  | 158 - 168 |
| 5.2.1  | Algemeen  | 158       |
|        | <i>rwzi Helmond (chemische conditionering en filterpersen)</i>                        | 158       |
|        | <i>rwzi Apeldoorn (thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfILTER)</i> | 158       |
|        | <i>rwzi Tilburg-Noord</i>   | 158       |
| 5.2.2  | Uitgangsmateriaal   | 158       |
| 5.2.3  | Chemische conditionering  | 159       |
| 5.2.4  | Thermische conditionering (volgens het Zimmermann proces)                             | 160 - 161 |
|        | <i>procestechniek</i>   | 160       |
|        | <i>eindproduct</i>  | 160 - 161 |
|        | <i>energieverbruik</i>  | 161       |
|        | <i>onderhoud</i>  | 161       |
|        | <i>literatuur</i>   | 161       |
| 5.2.5  | Thermische conditionering (volgens het Farrer proces)                                 | 162 - 163 |
|        | <i>procestechniek</i>   | 162       |
|        | <i>eindproduct</i>  | 162       |
|        | <i>energieverbruik</i>  | 162       |
|        | <i>onderhoud</i>  | 163       |
| 5.2.6  | Persfiltratie na chemische conditionering   | 163 - 164 |
|        | <i>procestechniek</i>   | 163       |
|        | <i>eindproduct</i>  | 163       |
|        | <i>energieverbruik</i>  | 164       |
|        | <i>onderhoud</i>  | 164       |
| 5.2.7  | Persfiltratie na thermische conditionering (Zimpro)                                   | 164 - 165 |
|        | <i>procestechniek</i>   | 164       |
|        | <i>eindproduct</i>  | 164 - 165 |
|        | <i>energieverbruik</i>  | 165       |
|        | <i>onderhoud</i>  | 165       |
| 5.2.8  | Vacuümfiltratie na thermische conditionering  | 165       |
|        | <i>na het Zimmermann proces</i>   | 165       |
|        | <i>na het Farrer proces</i>   | 165       |
| 5.2.9  | Bedrijfsvoering   | 165 - 166 |
|        | <i>chemische conditionering en filterpersen</i>                                       | 165       |
|        | <i>thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfILTER</i>                  | 165       |
|        | <i>thermische conditionering (Farrer) en vacuümfilters</i>                            | 165 - 166 |
| 5.2.10 | Kosten  | 166 - 167 |
|        | <i>chemische conditionering en filterpersen (Helmond)</i>                             | 166       |
|        | <i>thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfILTER (Apeldoorn)</i>      | 166 - 167 |
|        | <i>thermische conditionering (Farrer) en vacuümfilters (Tilburg-Noord)</i>            | 167       |
| 5.2.11 | Milieuaspecten  | 167 - 168 |
|        | <i>chemische conditionering en filterpersen (Helmond)</i>                             | 167       |
|        | <i>thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfILTER (Apeldoorn)</i>      | 168       |
|        | <i>thermische conditionering (Farrer) en vacuümfilters (Tilburg-Noord)</i>            | 168       |

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 5.3   | DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP   | 169 - 174 |
| 5.3.1 | Inleiding  | 169       |
| 5.3.2 | Droging met de van den Broek droger (voorontwatering met zeefbandpersen)         | 169 - 171 |
|       | <i>algemeen</i>  | 169       |
|       | <i>procestechniek</i>  | 169       |
|       | <i>eindproduct</i>   | 169       |
|       | <i>energieverbruik</i>   | 170       |
|       | <i>onderhoud</i>   | 170       |
|       | <i>bedrijfsvoering</i>   | 170       |
|       | <i>kosten</i>  | 170       |
|       | <i>milieuaspecten</i>  | 170 - 171 |
| 5.3.3 | Droging met de Seiler-Koppers droger (voorontwatering met zeefbandpersen)        | 171 - 173 |
|       | <i>algemeen</i>  | 171       |
|       | <i>procestechniek</i>  | 171       |
|       | <i>eindproduct</i>   | 172       |
|       | <i>energieverbruik</i>   | 172       |
|       | <i>onderhoud</i>   | 172       |
|       | <i>bedrijfsvoering</i>   | 172       |
|       | <i>kosten</i>  | 172 - 173 |
|       | <i>milieuaspecten</i>  | 173       |
| 5.3.4 | Droging met de Nateko droger (zonder voorontwatering)                            | 173 - 174 |
|       | <i>algemeen</i>  | 173       |
|       | <i>procestechniek</i>  | 173 - 174 |
|       | <i>eindproduct</i>   | 174       |
|       | <i>energieverbruik</i>   | 174       |
|       | <i>onderhoud</i>   | 174       |
|       | <i>bedrijfsvoering</i>   | 174       |
|       | <i>kosten</i>  | 174       |
|       | <i>milieuaspecten</i>  | 174       |
| 5.4   | VERBRANDING ALS LAATSTE PROCESSTAP   | 175 - 179 |
| 5.4.1 | Inleiding  | 175       |
| 5.4.2 | Verbranding in een Lurgi-etageoven na voorontwatering met decanteercentrifuges   | 175 - 177 |
|       | <i>algemeen</i>  | 175       |
|       | <i>procestechniek</i>  | 176       |
|       | <i>eindproduct</i>   | 176       |
|       | <i>energieverbruik</i>   | 176       |
|       | <i>onderhoud</i>   | 176 - 177 |
|       | <i>bedrijfsvoering</i>   | 177       |
|       | <i>kosten</i>  | 177       |
|       | <i>milieuaspecten</i>  | 177       |
| 5.4.3 | Verbranding in een Bisschoff-wervelbedoven na voorontwatering met zeefbandpersen | 177 - 179 |
|       | <i>algemeen</i>  | 177 - 178 |
|       | <i>procestechniek</i>  | 178 - 179 |
|       | <i>eindproduct</i>   | 179       |
|       | <i>bedrijfsvoering</i>   | 179       |
|       | <i>kosten</i>  | 179       |
|       | <i>milieuaspecten</i>  | 179       |

In dit deel wordt een indruk gegeven van nederlandse praktijkervaring met slibontwatering tot meer dan 40% droge stof. Op basis van RIZA-gegevens zijn de tabellen 46 en 47 opgesteld.

In tabel 46 wordt een overzicht gegeven van de rioolwaterzuiveringsinrichtingen in Nederland waar met behulp van mechanische ontwatering in principe een einddrogestofgehalte van meer dan 40% kan worden bereikt en in tabel 47 waar slibdroging of verbranding wordt toegepast.

Om door middel van enkele bezoeken zoveel mogelijk relevante praktijkgegevens te verkrijgen zijn een aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen geselecteerd.

De selectiecriteria waren:

- de rioolwaterzuiveringsinrichting moet stedelijk afvalwater verwerken;
- de slibontwatering en/of verwerking moet bij voorkeur geruime tijd in bedrijf zijn;
- verschillende typen slibverwerking dienen zoveel mogelijk binnen het beheersgebied van één zuiverende instantie te liggen.

| gemeente                | inwoner-equivalenten | thermische conditionering | zeefband  | persfilter              | vacuümfilter             | opmerkingen                                    |
|-------------------------|----------------------|---------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|--|
| Ede (Enke) <sup>*</sup> | 20.000               |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Naarden <sup>*</sup>    | 60.000               |                           |           | Edward & Jones          |                          |  |
| Groningen               | 300.000              |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Eindhoven               | 750.000              |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Arnhem-Noord            | 31.000               |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Hilversum-Oost          | 80.000               |                           | Passavant |                         |                          |  |
| Katwijk                 | 160.000              |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Venlo                   | 200.000              |                           |           | Passavant               |                          | in aanbouw                                     |
| Helmond                 | 250.000              |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Arnhem-Nieuwgraaf       | 330.000              |                           |           | Passavant               |                          |  |
| Renkum-Wageningen       | 120.000              |                           |           | Kittershaus/<br>Blecher |                          | in aanbouw                                     |
| Apeldoorn               | 260.000              | Zimpro                    |           | Schule                  | EIMCO                    |  |
| Breda                   | 650.000              | Zimpro                    |           | Progress                |                          |  |
| Tilburg-Noord           | 230.000              | Farrer                    |           |                         | Dorr-Oliver              | slibverwerkings-<br>capaciteit<br>450.000 i.e. |
| Huizen                  | 60.000               | Farrer                    |           |                         | Dorr-Oliver-<br>Webstrol | pas in bedrijf                                 |
| Woerden                 | 45.000               | Farrer                    |           | Progress                |                          |  |

Tabel 46. Mechanische ontwatering tot circa 40% droge stof in Nederland (RIZA)

\* industrieel afvalwater.



| gemeente                      | capaciteit<br>(i.e.)<br>circa | voor-<br>ontwatering     | type installatie<br><i>droging</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Hoogezand-Sappemeer           | 50.000                        | zeefband<br>(Klein)      | Van den Broek                      |
| Gouda-Unilever<br>(industrie) | 125.000                       | zeefband<br>(Klein)      | Van den Broek                      |
| Hoensbroek                    | 200.000                       | zeefband<br>(Klein)      | Van den Broek                      |
| Meppel-Staphorst              | 70.000                        | zeefband<br>(Klein)      | Van den Broek                      |
| Zeist                         | 70.000                        | zeefband<br>(Klein)      | Van den Broek                      |
| Leek                          | 34.000                        |                          | Van den Broek                      |
| Ridderkerk                    | 80.000                        |                          | Van den Broek                      |
| Bunnik                        | 32.000                        | zeefband<br>(Klein)      | Seiler Koppers                     |
| Bunschoten                    | 30.000                        | zeefband<br>(Klein)      | Seiler Koppers                     |
| Barneveld                     | 55.000                        | zeefband<br>(Klein)      | Seiler Koppers                     |
| Epe                           | 42.000                        | centrifuge<br>(Sharples) | Seiler Koppers                     |
| Capelle a/d IJssel            | 25.000                        |                          | Nateko                             |
|                               |                               |                          | <i>verbranding</i>                 |
| Dordrecht                     |                               | centrifuge<br>(Flottweg) | etage-oven<br>(Lurgi)              |
| Oss                           |                               | zeefband<br>(Unimat)     | wervelbed-oven<br>(Bisschoff)      |

Tabel 47. Rioolwaterzuiveringsinrichtingen in Nederland met slibdroging en verbranding (RIZA)

De volgende acht rioolwaterzuiveringsinrichtingen zijn bezocht:

| rwzi               | slibverwerkingsapparatuur                                    |
|--------------------|--|
| Helmond            | chemische conditioneringen + filterpersen                    |
| Apeldoorn          | thermische conditionering (Zimpro) + vacuümfilter/filterpers |
| Tilburg-Noord      | thermische conditionering (Farrer) + vacuümfilters           |
| Zeist              | zeefbandpersen + Seiler Koppers droger                       |
| Bunnik             | zeefbandpersen + Seiler Koppers droger                       |
| Capelle a/d IJssel | Nateko droger  |
| Dordrecht          | centrifuges + etageoven                                      |
| Oss                | zeefbandpersen + wervelbed-oven                              |

Van de kant van de beheerders werd zeer veel medewerking ondervonden waardoor de bezoeken efficiënt konden worden afgewikkeld.

De opbouw van de gesprekken vond plaats aan de hand van de vraagstelling aan de leveranciers (zie deel 4, pp. 119, 120).

Een aantal opvallende punten uit de gesprekken zijn:

- de gegevens zijn vaak plaatsgebonden ten aanzien van samenstelling influent, procesvoering, eigenschappen van het slib, normen bij geluidshinder, enzovoorts;
- de grote invloed van het aantal bedrijfsuren (bijvoorbeeld 8 of 16 uur per dag);
- de kostenfactoren, waarmee wordt gewerkt bij de verschillende rioolwaterzuiveringsinrichtingen, zijn niet alle gelijk.

Het is niet eenvoudig om algemene uitspreken te doen over lokaal gebonden slibverwerkingsmethoden. Toch is uit de diverse bezoeken een goed beeld verkregen van nederlandse ervaring met slibontwatering tot meer dan 40% droge stof.

## 5.2 MECHANISCHE ONTWATERING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 5.2.1 Algemeen

Op de volgende drie in maart en april 1976 bezochte rioolwaterzuiveringsinrichtingen wordt mechanische slibontwatering als laatste processtap toegepast.

*rwzi Helmond (chemische conditionering en filterpersen)*

In Helmond heeft het feit, dat het slib door de aanwezigheid van zware metalen en harsen niet vergistbaar is, tot de keuze van mechanische slibontwatering geleid.

*rwzi Apeldoorn (thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfilter)*

Bij het zuiveringsschap Veluwe hebben bij de keuze van thermische conditionering (Zimmermann proces) en ontwatering met een filterpers en een vacuümfilter de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- het systeem is weinig gevoelig ten aanzien van de slibsamenstelling;
- het verse slib is niet vergistbaar vanwege het hoge gehalte aan kleimineralen (papierindustrie). Hierdoor is afzet van nat slib in de landbouw onmogelijk;
- de kleimineralen veroorzaken een hoog gehalte aan anorganisch materiaal, waardoor de oxydatiegraad van het slib vermindert. Dit is gunstig voor het Zimmermann proces;
- het eindproduct heeft een hoog drogestofgehalte, is hygiënisch betrouwbaar en opent de mogelijkheid tot hergebruik;
- economische overwegingen.

*rwzi Tilburg-Noord*

Ook in Tilburg heeft het grote aandeel, dat de industrie (textiel, papierindustrie, leerlooierijen) aan totale afvalwaterstroom levert (circa 50%), ertoe geleid voor thermische conditionering en verregaande slibontwatering te kiezen.

Het slib is moeilijk vergistbaar en bevat relatief veel zware metalen. Afzet in de landbouw is daarom niet mogelijk en er bleef slechts de mogelijkheid tot storten over. Hiervoor is een hoog drogestofgehalte vereist.

### 5.2.2 Uitgangsmateriaal

De gegevens over het verse slib van de drie actief-slibinstallaties zijn in de tabel op blz. 159 samengevat.

### 5.2.3 Chemische conditionering

In Helmond wordt het slib chemisch geconditioneerd met ijzer en kalk. Uit de bedrijfsgegevens over 1975 blijkt dat gemiddeld 86 liter ferri-chloride en 325 kg kalk per ton slib droge stof wordt toegevoegd. Het conditioneringsproces wordt gecontroleerd en zo nodig bijgesteld op basis van de pH- en CST-waarde van het geconditioneerde slib.

Bij pH <10 wordt extra kalk toegevoegd. Men heeft de ervaring dat bij pH 11 het slib voldoende geconditioneerd is. De CST is dan optimaal. Verdere kalkdosering verhoogt slechts het drogestofgehalte.

| rwzi<br>actief-slibinstallatie  | ingedikt slib           |                           |                 |             |                                |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------|
|                                 | productie               |                           |                 | d.s.<br>(%) | verh.<br>primair/<br>secundair |
|                                 | (m <sup>3</sup> /jaar)* | (m <sup>3</sup> /werkdag) | (ton d.s./jaar) |             |                                |
| Helmond<br>(250.000 i.e.)       | 130.000                 | 520                       | 5500            | 4,1         | 1 - 2                          |
| Apeldoorn<br>(260.000 i.e.)     | 105.000                 | 420                       | 5250            | 5           | -                              |
| Tilburg-Noord<br>(430.000 i.e.) | 135.000                 | 360 - 720                 | 5400            | 3 - 6       | -                              |

\*1 jaar heeft 250 werkdagen.

Voor goed geconditioneerd slib bedraagt de CST-waarde 25 à 30 sec. bij een slib-drogestofgehalte van 4 à 4,5 %.

Voorts is men van mening dat:

- de verhouding primair/secundair slib van invloed is op het conditionerings- en ontwateringsproces.  
Deze verhouding wordt zelf weer bepaald door de verhouding huishoudelijk/industrieel afvalwater. Naarmate het slibmengsel meer secundair slib bevat verloopt de ontwatering bij de gebruikelijke chemicaliëndosering slechter. Bijsturing met chemicaliën is uiteraard mogelijk;
- de ontwateringseigenschappen van het geconditioneerde slib verslechteren bij langdurige opslag hiervan.  
Het slib moet na conditionering daarom zo snel mogelijk worden verwerkt;
- vergroting van het drogestofgehalte waarschijnlijk ook met goedkopere hulpstoffen (bijvoorbeeld ongebluste of onzuivere kalk) kan worden bereikt.  
Het waterschap de Dommel gaat dit onderzoeken. Bovendien wordt gedacht aan de toevoeging van as uit de slibverbrandingsinstallatie te Oss;
- voor de conditionering wellicht ook goedkopere afvalbeitszuren kunnen worden gebruikt.  
Met FeCl<sub>2</sub> worden op semi-technische schaal betere resultaten verkregen dan met FeSO<sub>4</sub>.

#### 5.2.4 Thermische conditionering (volgens het Zimmermann proces)

In Apeldoorn wordt het slib thermisch geconditioneerd in twee afzonderlijke Zimpro-installaties (Zimpro I en Zimpro II, sinds 1970 respectievelijk 1973 in bedrijf).

##### *procestechniek*

De installaties verwerken slib met een drogestofgehalte van 5 à 6%. In het verleden is ook slib met een drogestofgehalte van 8 à 9% zonder problemen verwerkt. De installaties zijn derhalve ongevoelig voor verandering in het drogestofgehalte en zijn evenmin gevoelig voor veranderingen in de verhouding primair-secundair slib ten gevolge van zich wijzigende industriële afvalwaterlozingen (invoering sanering).

Enkele belangrijke procesgegevens staan in onderstaande tabel vermeld:

| procesgegevens                               | Zimpro I | Zimpro II |
|--|----------|-----------|
| temperatuur (°C)                             | 185      | 185       |
| procesdruk (ato)                             | 20       | 20        |
| verblijftijd (min.)                          | 15 à 20  | 15 à 20   |
| lucht/slib (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 31/1     | 24/1      |
| oxydatiegraad:<br>reductie CZV (%)           | 5 - 15   | 5 - 15    |

De installaties worden geregeld op volumedebiet. Bij een lager drogestofgehalte van het slib wordt meer slib toegevoerd. De hoeveelheid toe te voeren slib is echter gelimiteerd tot circa 9 m<sup>3</sup>/h, daar bij hogere debieten de temperatuur in de reactor te sterk daalt. Bovendien zal de verblijftijd afnemen.

##### *eindproduct*

Na afkoeling (met effluent) tot circa 50°C en indikking heeft het geoxydeerde slib (asgehalte thans 40%, vroeger 55%) een drogestofgehalte van maximaal 18%. Het slib uit de indikker moet snel worden verwerkt daar het anders te ver indikt, waardoor transportproblemen (slibpomp) ontstaan.

Het slib heeft een specifieke filtratieweerstand van  $1 \cdot 10^{12}$  à  $2 \cdot 10^{12}$  m/kg bij 0,5 ato. Men heeft experimenteel bepaald dat bij lagere conditioneringstemperaturen (in de buurt van de 160°C) de filtreerbaarheid sterk afneemt.

Bij het thermisch conditioneren met lucht gaat circa 35% van de droge stof in oplossing en/of in gasvorm over. Decantaat en filtraat (CZV:

9000 mg/l; BZV<sub>5</sub><sup>20</sup> : 4000 mg/l) zijn biologisch goed afbreekbaar. Zij worden, verdeeld over de dag, vóór het aanvoergemaal aan het inkomende afvalwater toegevoegd, zodat een goede menging optreedt. Het effluent krijgt hierdoor een enigszins bruine tint.

#### *energieverbruik*

Het verbruik aan elektrische energie bedraagt voor beide installaties samen 10 kWh/m<sup>3</sup> en het gasverbruik 10 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> slib voor de thermische conditionering en 2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> slib voor de naverbranding van de hierbij vrijkomende gassen.

Bij de thermische conditionering met zuurstof (uit de lucht) komt reactiewarmte vrij. De hoeveelheid vrijkomende energie is evenwel gering ten opzichte van de totaal benodigde energie.

Doordat aan het slib lucht wordt toegevoerd (de hoge turbulentie geeft een goede warmteoverdracht en een geringe kans op verstopping) kan de warmte in één trap (zowel koelen als verwarmen door het binnenkomende, respectievelijk uitgaande slib) worden overgedragen.

Een hoger aanvangs-drogestofgehalte beïnvloedt het energieverbruik gunstig.

#### *onderhoud*

De installaties zijn met uitzondering van de na-indikker in rvs 304 uitgevoerd; de indikker is bekleed. Het geoxydeerde slib is corrosief, op enkele plaatsen (bijvoorbeeld in de warmtewisselaars) vertonen de installaties slijtage. Daarnaast treedt sterke scalevorming (teruglopen warmteoverdracht, gevaar voor blokkering van de veiligheden) op, waardoor één installatie (Zimpro II) om de drie weken moet worden gespoeld. De oude installatie (Zimpro I) hoeft minder frequent te worden gespoeld. Een juiste verklaring hiervoor kan nog niet worden gegeven.

Het spoelen gebeurt met salpeterzuur (8%, voorheen 5%) bij een temperatuur van 80 - 85°C (voorheen circa 55°C). Aan het salpeterzuur wordt mangaandioxyde als katalysator toegevoegd. Na het spoelen wordt met loog geneutraliseerd. Per spoeling wordt circa 300 liter salpeterzuur en 100 liter natronloog (33%) gebruikt.

Voor het bereiken van een zo groot mogelijk effect is het noodzakelijk dat alle transportleidingen voor geoxydeerd slib in het spoelcircuit worden opgenomen.

Als gevolg van de spoeling is de installatie circa 8 uur buiten bedrijf. Hieraan voorafgaand wordt gedurende  $\frac{1}{2}$  tot  $\frac{3}{4}$  uur water op de installatie gezet om te voorkomen dat zich tijdens stilstand slib in de apparatuur afzet.

Behalve het spoelen met zuur worden de warmtewisselaars éénmaal per week ('s-zondags) met water en lucht "doorgeblazen" om zand en vezels (het slib bevat veel vezelig materiaal) te verwijderen.

#### *literatuur*

Voor een samenvatting van een technologische studie en bedrijfsgegevens van Zimpro-installaties in Nederland wordt verwezen naar de literatuur III, 170.

### 5.2.5 Thermische conditionering (volgens het Farrer proces)

In Tilburg wordt het slib thermisch geconditioneerd volgens het Farrer proces.

De installatie is ontworpen voor 450.000 i.e. en is sinds 1972 in bedrijf. Hoewel de actief-slibinstallatie slechts 230.000 i.e. levert, werkt de installatie toch in de buurt van de ontwerpcapaciteit, omdat ook het slib van de rioolwaterzuivering Tilburg-Oost (200.000 i.e.) hier wordt verwerkt.

#### *procestechniek*

Het drogestofgehalte van het slib, dat vanuit de indikker via een versnijder naar de thermische slibconditionering wordt gepompt, varieert tussen 3 en 6%. De installatie blijkt vrij ongevoelig voor deze verandering in drogestofgehalte te zijn. Wel zal bij stijging van het drogestofgehalte de viscositeit van het slib toenemen, waardoor in principe de warmteoverdracht nadelig wordt beïnvloed.

Het slib dat veel vezelachtig materiaal bevat (wolindustrie) veroorzaakte aanvankelijk ernstige verstoppingen in de eentrapswarmtewisselaar (waarbij het verse- en het geconditioneerde slib warmte uitwisselen).

Vervanging van de eentrap- door een tweetrapswarmtewisselaar (waarbij naast slib ook water wordt gebruikt) leidde tot een bedrijfszekerder uitvoering (geen verstopping). Qua warmteoverdracht is het tweetrap-systeem evenwel ongunstiger dan het eentrap-systeem.

Enkele andere procesgegevens zijn:

- maximum capaciteit : 32 m<sup>3</sup>/uur (6% d.s.)
- reactie temperatuur : 190 - 195°C
- procesdruk : 20 ato
- verblijftijd : 30-40 min.

#### *eindproduct*

Na indikking heeft het geconditioneerde slib een drogestofgehalte van 10 à 12%. De verblijftijd in de slibindikker bedraagt maximaal 2 dagen. Het slib heeft een specifieke filtratieweerstand (bepaald bij 0,5 ato) van  $2 \cdot 10^{11}$  -  $4 \cdot 10^{11}$  m/kg (vóór de conditionering:  $1,2 \cdot 10^{15}$  -  $1,5 \cdot 10^{15}$  m/kg). Een weerstand van meer dan  $5 \times 10^{11}$  m/kg (na conditionering beneden 190°C) beïnvloedt de werking van het filter nadelig.

Tijdens het conditioneringsproces daalt het drogestofgehalte gemiddeld 0,9%. Dit percentage is afhankelijk van het drogestofgehalte, het organischestofgehalte en de conditioneringstemperatuur.

Decantaat en filtraat worden naar de rioolwaterzuiveringsinrichting teruggevoerd. Dit geeft een extra BZV<sub>5</sub>-belasting van de beluchtingsruimte van 25%. Men denkt erover het decantaat en filtraat naar vloeivelden te voeren of ze anaeroob te behandelen. Het filtraat bevat relatief veel stikstof (250 mg N/l) en weinig zware metalen (deze blijven bij conditionering hoofdzakelijk in het slib achter).

#### *energieverbruik*

Het energieverbruik van de totale slibverwerkingsinstallatie bedraagt 6,8 kWh/m<sup>3</sup> slib ( $\approx$  170 kW/ton droge stof op basis van een drogestofgehalte van 4%). Aan gas wordt 6,1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> slib verbruikt ( $\approx$  152,5 m<sup>3</sup>/ton droge stof).

### *onderhoud*

De installatie is uitgevoerd in normaal constructiestaal. Corrosieproblemen doen zich niet voor (geen oxyderend milieu); wel treedt scalevorming op (ongunstig in verband met warmteoverdracht). Hierdoor moet de installatie 2 maal per jaar met natronloog (90°C) en geïnhibiteerd zoutzuur (70°C) worden gereinigd. Dit betekent een bedrijfsstop van 5 dagen.

### 5.2.6 Persfiltratie na chemische conditionering

In Helmond zijn twee filterpersen sinds 1975 in bedrijf.

#### *procestechniek*

Technische- en bedrijfsgegevens over de filterpers zijn in onderstaande tabel samengevat.

| gegevens filterpers rwzi Helmond |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| merk                             | Passavant 1500/125 Ka       |
| aantal kamers                    | 125                         |
| plaatafmetingen                  | 1500 x 1500 mm <sup>2</sup> |
| plaatmateriaal                   | gietijzer                   |
| koekdikte                        | 30 mm                       |
| koekinhoud                       | 7,5 m <sup>3</sup>          |
| filteroppervlak                  | 500 m <sup>2</sup>          |
| procesdruk                       | 15 ato                      |
| perstijd                         | circa 2,5 uur               |
| lostijd                          | circa 10 minuten            |

De druk wordt langzaam opgebouwd; na 40 à 50 minuten is de einddruk bereikt. In de oorspronkelijke uitvoering werd de filtratie bij een bepaald filtraatvolume automatisch (vlotterschakeling in filtraat-afvoerleiding) gestopt. Op grond van ervaring wordt het filtratieproces thans na een bepaalde tijd (bijvoorbeeld 2,5 uur) beëindigd (handbediening).

De verwerkingscapaciteit in de praktijk blijkt lager te zijn dan in het ontwerp (de perstijd is dus langer).

Daar evenwel het slibaanbod geringer is dan was verwacht, is de capaciteit op dit moment nog toereikend.

#### *eindproduct*

Bij de persfilterontwatering wordt een gemiddeld drogestofgehalte van circa 35% bereikt. Meer dan 40% is mogelijk, zij het ten koste van grote extra hoeveelheden kalk (namelijk circa 600 kg in plaats van 325 kg kalk per ton droge stof). Het ontwaterde slib wordt op een *eigen* stortplaats gedeponeerd.

De jaarlijkse productie aan droge stof bedraagt 7200 à 7300 ton (gewicht koek ≈ 20.000 ton), waarvan 1700 à 1800 ton kalk en 5500 ton droge stof van het slib.



### *energieverbruik*

Het verbruik aan elektrische energie bedraagt voor de slibverwerking, dat wil zeggen conditionering en ontwatering, 43 kWh/ton droge stof.

### *onderhoud*

De persfilters behoeven weinig onderhoud. De door Passavant geleverde filterdoeken (de keuze van het doek moet experimenteel worden bepaald) moeten na elke honderd charges (gemiddeld: 2 x per maand) worden gereinigd.

Voor de doekreiniging wordt effluent gebruikt; de reiniging duurt circa 4 uur per pers. Bij de slibverwerkingsinstallatie in Eindhoven moeten de doeken veel frequenter worden gereinigd. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de aard van het slib. De doeken zijn inmiddels 2 jaar oud en nog nooit met zuur gewassen.

## 5.2.7 Persfiltratie na thermische conditionering (Zimpro)

In Apeldoorn wordt het thermisch geconditioneerde slib ontwaterd, zowel door een vacuümfilter als door een filterpers.

### *procestechniek*

Technische gegevens en bedrijfsresultaten van de filterpers zijn in onderstaande tabel samengevat:

| gegevens filterpers rwzi Apeldoorn |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| merk                               | Schule                      |
| aantal kamers                      | 70                          |
| plaatafmetingen                    | 1200 x 1200 mm <sup>2</sup> |
| plaatmateriaal                     | polypropyleen (pp H2250)    |
| koekdikte                          | 50 mm                       |
| koekinhoud                         | 4,7 m <sup>3</sup>          |
| filteroppervlak                    | 144 m <sup>2</sup>          |
| filterdoek                         | polyamide NKD 2392          |
| procesdruk                         | 15 ato                      |
| perstijd                           | 100 - 140 min.              |
| lostijd                            | 20 min.                     |

### *eindproduct*

Het met de filterpers ontwaterde slib heeft een drogestofgehalte van 50 à 55%.

Het ontwaterde slib, waarvan het volume nog slechts 10 à 12% (met het vacuümfilter 15%) van het oorspronkelijke volume bedraagt, wordt naar een stortplaats afgevoerd.

Aangezien de in het slib aanwezige stikstof bij de conditionering voor een belangrijk deel in oplossing gaat (fosfaat uit het slib daarentegen gaat niet in oplossing), heeft het geoxydeerde slib vrijwel

geen direkte bemestingswaarde. Wel zou het slib voor grondverbetering (humusvormer) kunnen worden gebruikt.

#### *energieverbruik*

Het energieverbruik van de filterpers bedraagt 1 kWh/m<sup>3</sup> slib.

#### *onderhoud*

De filterdoeken moeten éénmaal per veertien dagen worden schoongespoten.

### 5.2.8 Vacuümfiltratie na thermische conditionering

#### *na het Zimmermann proces*

Het vacuümfILTER in Apeldoorn bereikt bij een filterbelasting van 15 tot 20 kg/m<sup>2</sup>.h een drogestofgehalte van 40 - 45% (vergelijk: 25 tot 30% na chemische conditionering). Het filter wordt tegenwoordig alleen gebruikt bij uitvallen van het persfilter en wanneer het slibaanbod erg hoog is (zie ook 5.2.11 p. 168).

#### *na het Farrer proces*

Bij optimale condities bedraagt de filterbelasting in Tilburg 30 kg d.s./m<sup>2</sup> uur en wordt een drogestofgehalte van 35% bereikt (koekdikte 15 - 20 mm). De koek wordt in containers naar de gemeentelijke vuilstort afgevoerd. Het lossen van de containers kan in de winter problemen (vastvriezen) geven. Per week wordt 250 - 300 m<sup>3</sup> filterkoek geproduceerd.

### 5.2.9 Bedrijfsvoering

#### *chemische conditionering en filterpersen*

In Helmond is de slibverwerking gedurende vijf dagen per week 16 uur per dag in bedrijf.

De installatie wordt door één man bediend. Een tweede man is belast met de afvoer van de filterkoeken. Deze man kan tevens, indien nodig, de bedieningsman assisteren.

#### *thermische conditionering (Zimpro) en een filterpers/vacuümfILTER*

De Zimpro installatie in Apeldoorn is gedurende 24 uur per dag in bedrijf (6 dagen per week) en wordt in principe door één operator per dienst bediend. De filterpers is gedurende acht uur per dag in bedrijf, het vacuümfILTER fungeert als "stand-by unit" en wordt slechts incidenteel gebruikt.

Naast de bediening van de apparatuur (conditionering + ontwatering) is de operator belast met het verhelpen van kleine storingen. Overdag is er doorgaans een tweede bedieningsman aanwezig ten behoeve van de filtratie.

#### *thermische conditionering (Farrer) en vacuümfILTERs*

De conditionering geschiedt in Tilburg 24 uur per dag (in drie ploegen) gedurende 5 dagen per week, waarbij de ontwatering dikwijls 's nachts (40 à 45 uur per week) wordt uitgevoerd. Het opstarten van de instal-

latie duurt 5 à 6 uur. Voor de bediening en de uitvoering van de kleine onderhoudswerkzaamheden aan de installatie zijn in totaal (dus verdeeld over 3 ploegen) 5 man ingezet.

5.2.10

Kosten

*chemische conditionering en filterpersen (Helmond)*

De totale jaarlijkse exploitatiekosten bedragen circa f 300,-- per ton droge stof. Hiervan zijn 60% vaste kosten (rente + afschrijving apparatuur en gebouw).

De verdeling van de variabele kosten is globaal als volgt:

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| elektriciteit              | 5%  |
| conditioneringschemicaliën | 68% |
| personeel                  | 16% |
| onderhoud                  | 11% |

*thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfilter (Apeldoorn)*

De jaarlijkse exploitatiekosten van de slibverwerking (thermische conditionering, ontwatering en afvoer) zijn voor 1972 en 1976 in onderstaande tabel vermeld.

| onderdeel                | jaarlijkse kosten   |            |               |            |
|--------------------------|---|------------|---------------|------------|
|                          | 1972  |            | 1976          |            |
|                          | f/ton<br>d.s.   | %          | f/ton<br>d.s. | %          |
| - afschrijving en rente  |   |            |               |            |
| mech./elektrisch         | 97,--   | 51,53      | 97,--         | 39,10      |
| gebouwen                 | 18,--   | 9,56       | 18,--         | 7,26       |
| - onderhoud              | 7,--  | 3,72       | 20,5-         | 8,06       |
| - bediening              | 24,--   | 12,75      | 40,--         | 16,24      |
| - elektrische energie    |   |            |               |            |
| Zimpro                   | 10 kWh/m <sup>3</sup> slib  |            |               |            |
| filterpers               | 1 kWh/m <sup>3</sup> slib   |            |               |            |
|                          | 11,--   | 5,84       | 19,80         | 7,98       |
| - gas                    |   |            |               |            |
| Zimpro                   | 10 m <sup>3</sup> gas/m <sup>3</sup> slib                               |            |               |            |
| thermische naverbranding | 2 m <sup>3</sup> gas/m <sup>3</sup> slib<br>(34 m <sup>3</sup> gas/uur) |            |               |            |
|                          | 19,20   | 10,20      | 33,60         | 13,54      |
| - water                  | 0,50 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> slib                                | 2,50       | 4,20          | 1,69       |
| - verzekering            | 1,--  | 0,53       | 1,30          | 0,52       |
| - transport + storten    | 7,55  | 4,01       | 12,90         | 5,20       |
| - chemicaliën            | 1,--  | 0,53       | 1,--          | 0,41       |
| <i>totaal</i>            | <i>188,25</i>   | <i>100</i> | <i>248,10</i> | <i>100</i> |
| <i>totaal per i.e.</i>   | <i>5,07</i>   |            | <i>6,70</i>   |            |

Tabel 48. Jaarkosten slibverwerking van de rwzi Apeldoorn

Uit de tabel blijkt dat, vooral als gevolg van de sterke stijging van de energieprijzen en lonen, de verhouding vaste lasten/variabele lasten sinds 1972 tot 1976 is gewijzigd van 61/39 in 46/54. De energiekosten (gas en elektriciteit) vormden in 1972 16% van de totale exploitatiekosten, thans 21,5%.

Gebleken is dat de prijs van elektriciteit sinds 1972 met 82% is gestegen en de prijs van gas met 125%.

Mogelijkheden tot kostenbesparing zijn te vinden in:

- automatisering (besparing op arbeidsloon). Dit is, gezien de lage stortingsfrequentie, het overwegen waard; er zijn reeds ervaringen opgedaan in Zwitserland;
- het beperken van het energieverbruik door:
  - a. het slib zo ver mogelijk in te dikken;
  - b. scaling van de warmtewisselaars door frequent spoelen met salpeterzuur te voorkomen;
  - c. optimalisering en warmteterugwinning bij de afgasbehandeling in de thermische naverbrander.

*thermische conditionering (Farrer) en vacuümfilters (Tilburg-Noord)*

De investering van de slibverwerkingsinstallatie, conditionering en ontwatering (ontworpen voor 450.000 i.e.) bedroeg in 1971/1972 2,6 miljoen gulden (exclusief gebouwen). In onderstaande tabel is een specificatie van de bedrijfskosten (uitsluitend variabele kosten) van de slibverwerkingsinstallatie gegeven in 1975:

| onderdeel  | jaarlijkse bedrijfskosten |               |
|--|---------------------------|---------------|
|  | f totaal                  | f/ton d.s.    |
| onderhoud  | 77.320,--                 | 14,30         |
| bediening  | 200.000,--                | 37,--         |
| elektrische energie 6,8 kWh/m <sup>3</sup> slib                            | 76.680,--                 | 14,20         |
| gas 152,5 m <sup>3</sup> /ton d.s.=6,1 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> slib | 115.020,--                | 21,30         |
| zuurspoelen  | 21.600,--                 | 4,--          |
| transport slibkoek (f 4,40/m <sup>3</sup> slibkoek)                        | 74.140,--                 | 13,70         |
| huisvesting (onderhoud gebouwen en terreinen)                              | 8.100,--                  | 1,50          |
| diversen (water, telefoon, enz.)   | 11.340,--                 | 2,10          |
| <i>totaal</i>  | <i>584.200,--</i>         | <i>108,10</i> |

Tabel 49 . Jaarlijkse bedrijfskosten slibverwerking rwzi Tilburg-Noord

#### 5.2.11 Milieuaspecten

*chemische conditionering en filterpersen (Helmond)*

De milieuaspecten betreffen hier uitsluitend de geluidshinder. De geluidsproductie is in het gebouw plaatselijk hoog. De voornaamste geluidsbronnen zijn de slibvoedingspomp, de afvoerband van de slibdoek en de koekbreker bij de slibbunker.

*thermische conditionering (Zimpro) en filterpers/vacuümfilter (Apeldoorn)*

De droge stof wordt als filterkoek afgevoerd en gestort. Waarnemingen met behulp van de in de omgeving van de stortplaats aangebrachte peilbuizen, wijzen niet in de richting van verontrustende verontreiniging van het percolatiewater.

De bij de thermische conditionering vrijkomende gassen worden naverbrand. Dit gebeurde voorheen met behulp van een katalytische naverbrander (temperatuur 400 - 450°C). Daar dit systeem geen geurvrij afgas opleverde, is men op directe naverbranding (temperatuur 850° - 950°C) overgegaan. Dit systeem functioneert aanmerkelijk beter zij het dat het gasverbruik toen nog aan de hoge kant was (34 m<sup>3</sup> aardgas/h voor + 600 m<sup>3</sup> afgas/h. Door het treffen van een aantal technische voorzieningen (plaatsing van een condensafscheider, wijziging branderconstructie en dergelijke) hoopte men het gasverbruik te kunnen reduceren. Controlemetingen hebben aangetoond dat aan de eisen zoals: aldehyden en ketonen (gemeten als aceton) < 100 ppm en zwavel vrijwel afwezig, wordt voldaan. Desondanks kan er in de directe omgeving van de installatie een typisch "Zimpro luchtje" worden waargenomen.

Het vacuümfilter is grotendeels buiten bedrijf vanwege stankoverlast en wordt alleen in noodgevallen gebruikt.

Het toelaatbare geluidsniveau binnen is 80 dBA.

De geluidsproductie ligt binnen het gebouw juist op deze grens.

*thermische conditionering (Farrer) en vacuümfilters (Tilburg-Noord)*

De afgassen van de thermische slibconditionering worden niet gereinigd. Dit betekent, dat binnen (bij roterende vacuümfilters) en buiten het slibverwerkingsgebouw stankhinder optreedt. Er zijn nooit emissiemetingen van stankcomponenten uitgevoerd. Behoudens bij het spoelen met zuur van de installaties zijn er geen klachten van omwonenden gekomen. De bebouwing bevindt zich op grote afstand van de rioolwaterzuiveringsinrichting.

## 5.3 DROGING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 5.3.1 Inleiding

In maart/april 1976 zijn drie rioolwaterzuiveringsinrichtingen bezocht, waar slibdroging als laatste processtap wordt toegepast.

Deze inrichtingen zijn:

- de rioolwaterzuiveringsinrichting Zeist (zeefbandpersen en een van den Broek droger)
- de rioolwaterzuiveringsinrichting Bunnik (zeefbandpersen en een Seiler-Koppers installatie)
- de rioolwaterzuiveringsinrichting Capelle a/d IJssel (een Nateko droger zonder voorontwatering)

### 5.3.2 Droging met de van den Broek droger (voorontwatering met zeefbandpersen)

#### *algemeen*

Op de rioolwaterzuiveringsinrichting van Zeist wordt het uitgegiste slib van een hoog belaste actiefslibinstallatie (capaciteit 70.000 i.e., waarvan ruim 80% afkomstig is van huishoudelijk afvalwater) sinds 1973 met zeefbandpersen voorontwaterd en vervolgens in een Van den Broek droger gedroogd. In 1975 werd circa 17.000 m<sup>3</sup> nat slib (drogestofgehalte 3 à 4%) verwerkt. Keuzemotief voor deze slibverwerking was de te kleine capaciteit van de slibdroogvelden als gevolg van de slechte ontwateringseigenschappen van het slib.

#### *procestechniek*

Na ontwatering van het slib op een zeefbandpers heeft het slib een drogestofgehalte van 18-20% (meestal 18%). Door menging met gedroogd slib wordt dit drogestofgehalte opgevoerd tot circa 50%. Het gemengde materiaal wordt daarna in de droger gebracht. Evenals bij de slibdroging in Bunnik (zie pp. 171-173) is deze menging bijzonder kritisch. Onvoldoende toevoeging van gedroogd produkt (drogestofgehalte kleiner dan 50%) geeft aanleiding tot klontvorming. Als gevolg hiervan kan de breker de materiaalstroom niet goed verwerken en wordt te weinig droog materiaal teruggevoerd. De regeling van de materiaalstroom gebeurt op het oog. Is het slib uit de droger te nat, dan wordt de stroom voorontwaterd slib verminderd of de retourstroom vergroot.

De droger is ontworpen voor een maximale waterverdampingscapaciteit van 2000 kg/uur. Een berekening op grond van de verstrekte bedrijfsgegevens leert dat de werkelijke verdampingscapaciteit ongeveer 1400 kg/uur is. De droogluchttemperatuur bedraagt 600°C, de afgastemperatuur 90°C.

#### *eindproduct*

Het gedroogde slib heeft een drogestofgehalte van 93 - 95%.

Door het gehalte aan zware metalen in het slib (vanwege het op de installatie geloosde industriële afvalwater), is het gedroogde slib zonder bijmenging met ander materiaal (bijvoorbeeld compost) als meststof onverkooptbaar.

De prijs voor het gedroogde slib is derhalve laag (f 10/m<sup>3</sup> of 1 à 1,5 cent/kg).

Het stortgewicht bedraagt 0,6 kg/l.

### *energieverbruik*

Voor de verwerking van 17.000 m<sup>3</sup> nat slib werd in 1975 220.334 m<sup>3</sup> aardgas verbruikt ( $\approx 13 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^3 \text{ nat slib}$ , 3 à 4% d.s.). Voor het verhogen van het drogestofgehalte van 18% tot 94% is berekend dat per m<sup>3</sup> aangevoerd nat slib 0,157 m<sup>3</sup> of te wel 157 kg water bij het droogproces moet worden verdampt. Hieruit volgt een gasverbruik van circa 80 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> verdampt water, overeenkomend met circa 640 kcal/kg verdampt water.

Het verbruik aan elektrische energie bedraagt op basis van de bedrijfsgegevens over 1975 6,9 kWh/m<sup>3</sup> nat slib (d.s. 3-4%). Dit komt overeen met ongeveer 44 kWh/m<sup>3</sup> verdampt water.

### *onderhoud*

Als gevolg van ernstige slijtage vraagt de menger vrij veel onderhoud. Regelmatig moeten nieuwe mengorganen (peddels) worden opgelast. Teneinde de sterke slijtage van de transportschroeven voor het gemengde materiaal tegen te gaan zijn de schroeven met wolframcarbide bespoten. Het resultaat wordt bevredigend genoemd.

Gedurende één dag per maand wordt de installatie doorgesmeerd. Voor een jaarlijkse grote onderhoudsbeurt ligt de installatie circa 4 weken (20 werkdagen) stil.

### *bedrijfsvoering*

De slibverwerking gebeurt in dagdienst. De bezetting voor de totale slibverwerking, dus ontwatering en droging, bestaat uit 1 man (100% bezet). Voor het uitvoeren van de noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden wordt extra personeel ingezet.

### *kosten*

In onderstaande tabel zijn de bedrijfskosten van de slibverwerkingsinstallatie in 1975 weergegeven.

| onderdeel   | jaarlijkse bedrijfskosten |                |
|---|---------------------------|----------------|
|   | f totaal                  | f per ton d.s. |
| onderhoud en bediening  | 87465                     | 147            |
| chemicaliën (3,7 kg polymeren/kg d.s. à f 15/kg)                                    | 33320                     | 56             |
| elektrische energie (6,9 kWh/m <sup>3</sup> slib, 3,5% d.s. à f 0,128/kWh)          | 11900                     | 20             |
| gas (13 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> slib, 3,5% d.s. à f 0,15/m <sup>3</sup> gas) | 22015                     | 37             |
| totaal  | 154700                    | 260            |

Bij de berekening van deze kosten is uitgegaan van een jaarproductie van 17.000 m<sup>3</sup> slib met een drogestofgehalte van 3,5% (595 ton d.s./jaar).

### *milieuaspecten*

De afgassen van de droger worden in een venturiwasser met effluent gewassen. Het waswater wordt via de terreinriolering naar de zuiverings-

installatie teruggevoerd. Na behandeling zijn de afgassen nog niet stankvrij (schroeilucht). Bovendien is een stoompluim zichtbaar. Door een extra condensor in te bouwen kan de pluim waarschijnlijk worden weggenomen.

Aan het eind van de werkdag laat men het materiaal zo lang circuleren totdat de temperatuur van het gedroogde slib beneden 60°C is gedaald. Dit is noodzakelijk omdat anders broei in de voorraadsilo's kan optreden, waardoor brand kan ontstaan. Dit is in het verleden wel eens gebeurd. In verband met mogelijke stofexplosie is in de drooginstallatie een explosieluik aangebracht.

### 5.3.3 Droging met de Seiler-Koppers droger (voorontwatering met zeefbandpersen)

#### *algemeen*

Op de rioolwaterzuiveringsinrichting van Bunnik (een laagbelast actief-slibstelsysteem met een slibbelasting van 0,06 - 0,07 kg BOD/kg d.s., ontworpen voor 32.000 i.e.) werd in 1975 5000 m<sup>3</sup> slib (circa 50% van de totale slibproductie) met een drogestofgehalte van gemiddeld 3,2%, met zeefbandpersen voorontwaterd en vervolgens in een Seiler-Koppers installatie gedroogd. Deze installatie is sinds 1972 in bedrijf. Het overige slib werd na ontwatering met zeefbandpersen in de landbouw afgezet. Voor meer informatie over de slibverwerking op de rioolwaterzuivering van Bunnik wordt verwezen naar de literatuur 168, 169.

#### *procestechniek*

Het slib is slecht ontwaterbaar, omdat het door overbelasting van de zuivering onvoldoende gestabiliseerd is (drogestofgehalte na de zeefbandpers circa 11%). Ten behoeve van het vereiste drogestofgehalte voor invoer in de droger moet daarom meer gedroogd slib worden bijgemengd. Door verhoging van de retourstroom neemt de slijtage (vooral in bochten) toe, terwijl tevens meer lawaai wordt geproduceerd.

Uit ervaring is gebleken dat het drogestofgehalte van het mengsel voorontwaterd slib/gedroogd slib 50 à 60% moet zijn. Bij drogestofgehalten lager dan 50% treedt namelijk sterke korrelaangroei op, waardoor de droging onvoldoende tot in de kern doordringt en het eindproduct niet meer hygiënisch betrouwbaar is. Daarnaast ontstaan er problemen bij de terugvoer van gedroogd materiaal doordat, tengevolge van de sterke korrelaangroei, te weinig fijn materiaal voor bijmenging met ontwaterd slib beschikbaar is. Dit probleem heeft men opgelost door een breker in het drogercircuit op te nemen, die als regel 1 à 2 uur per dag in bedrijf is. Bij een goede mineralisatie van het slib (circa 35% gloeirest) is de breker niet nodig.

Al met al blijkt de menging van voorontwaterd slib en gedroogd slib de meest kritische fase in het droogproces te zijn. De procesregeling zelf, met name de temperatuurregeling, is eenvoudig (regeling van de brander op de afgastemperatuur).

De droger heeft een waterverdampingscapaciteit van 1000 kg/h (ontwerpcapaciteit). Uit de bedrijfsgegevens over 1975 blijkt dat de werkelijke capaciteit circa 700 kg/h is. De droogluchttemperatuur is circa 600°C. De temperatuur van de afgassen ligt boven de pasteurisatietemperatuur van slib en bedraagt meestal 85 - 90°C.



### *eindproduct*

Het gedroogde slib heeft een drogestofgehalte van + 95%. Het gehalte aan zware metalen in het gedroogde slib is erg laag, waardoor het als meststof kan worden gebruikt. Ter verhoging van de bemestingswaarde wordt een kaliumzout toegevoegd. Voor 1976 is met de afnemer van het gedroogde slib een verkoopprijs van f 150,-- per ton overeengekomen. De kosten voor het afzakken, verpakkingsmateriaal en het transport komen op rekening van de afnemer.

### *energieverbruik*

Het brandstofverbruik (aardgas) bedraagt 100 - 125 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> verdampt water. Dit komt ongeveer overeen met 765 - 945 kcal/kg verdampt water. Uit de bedrijfsgegevens van 1975 volgt een gemiddelde waarde van 750 - 800 kcal/kg verdampt water.

Het verbruik aan elektrische energie bedraagt voor de hele slibverwerkingsinstallatie 33 kWh per uur. Dit komt ongeveer overeen met 12 - 15 kWh per m<sup>3</sup> nat slib (3,2% droge stof). Van deze waarde kan circa 9 kWh/m<sup>3</sup> aan de droging worden toegeschreven.

### *onderhoud*

Aan de installatie, die in normaal constructiestaal is uitgevoerd, worden de gebruikelijke onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd. Daarnaast wordt voor het uitvoeren van een algemene onderhoudsbeurt de installatie 1 à 2 x per jaar stilgelegd. Een dergelijke beurt duurt gewoonlijk 3 tot 4 dagen.

### *bedrijfsvoering*

De verwerking van het slib gebeurt in dagdienst (maximaal 9 uur per dag). Voor bediening en onderhoud van de slibverwerkingsinstallatie is één geschoolde arbeider gedurende 75% van zijn tijd ingezet.

### *kosten*

De bedrijfskosten voor de totale slibverwerking (dus ontwatering en droging) zijn becijferd op + f 570,-- per ton droge stof exclusief verkoop gedroogd slib, respectievelijk f 440,-- inclusief verkoop gedroogd slib (prijspeil 1975). In deze kosten zijn niet begrepen de vaste kosten zoals rente en afschrijving van apparatuur en gebouwen. In onderstaande tabel is de verdeling van de bedrijfskosten over de verschillende componenten weergegeven.

| onderdeel                                | jaarlijkse bedrijfskosten |            |
|--|---------------------------|------------|
|  | f per ton d.s.            | (%)        |
| onderhoud mechanisch/elektrisch gedeelte | 51                        | 9          |
| onderhoud bouwkundig gedeelte            | 18                        | 3          |
| bediening                                | 210                       | 37         |
| hulpstoffen                              | 85                        | 13         |
| elektrische energie                      | 40                        | 7          |
| gas                                      | 140                       | 25         |
| verzekering                              | 18                        | 3          |
| diversen                                 | 18                        | 3          |
| <i>totaal</i>                            | <i>570</i>                | <i>100</i> |

De kosten voor de mechanische slibontwatering en afvoer naar de landbouw zijn f 226,-- per ton droge stof, inclusief transportkosten. De ontwateringskosten met de zeefbandpers bedragen f 105,-- per ton droge stof.

#### *milieuaspecten*

De afgassen van de droger worden in een tweetal, in serie geschakelde gaswassers met effluent gewassen. Het waswater dat niet stinkt en slechts weinig vaste stof bevat, wordt naar de zuivering teruggevoerd. De gaswassing resulteert niet in reukloze afgassen; ernstige stankoverlast in de omgeving treedt echter niet op. Er zijn tot dusverre geen emissiemetingen verricht.

De drooginstallatie is niet beveiligd tegen stofexplosies. Wel wordt de uiterste zorg besteed aan het stofvrij houden van het gebouw waarin de droger is opgesteld.

### 5.3.4

#### Droging met de Nateko droger (zonder voorontwatering)

##### *algemeen*

In Capelle wordt het uitgegiste slib (clarigester en oxydatiebed, capaciteit 22000 - 25000 i.e.) *zonder* voorafgaande ontwatering gedroogd in een Nateko slibdroger. Per jaar moet circa 1200 m<sup>3</sup> slib worden gedroogd. De drooginstallatie is in juni 1975 in bedrijf genomen.

Voorheen werd het slib op droogbedden ontwaterd. Daar de natuurlijke droging, vooral in natte tijden, zeer langzaam verloopt, kunnen de droogbedden veelal niet tijdig genoeg worden leeggeruimd om het slib uit de beide clarigesters te kunnen bergen. Dit heeft tot gevolg dat de gistingsruimten overvol raken wat een goed verloop van het gistingsproces in deze ruimten nadelig beïnvloedt.

Keuzemotief voor de kunstmatige slibverwerking was de eis dat het te storten slibvolume in verband met gebrek aan stortplaatsen en de geringe capaciteit van de beschikbare stortplaatsen minimaal moest zijn. Slibontwatering in twee trappen (mechanische voorontwatering en droging zoals bijvoorbeeld het Seiler-Koppers systeem) is overwogen. Om praktische en economische redenen (de gecompliceerde apparatuur geeft arbeidsintensieve bediening, kwetsbare bedrijfsvoering en meer onderhoud) is hier echter vanaf gezien en is gekozen voor slibdroging *zonder* mechanische voorontwatering.

##### *procestechniek*

Doordat bij het gekozen systeem de mechanische voorontwatering ontbreekt behoeft het slib *niet* te worden geconditioneerd. Het uitgegiste slib wordt rechtstreeks van de clarigester naar de droger getransporteerd.

Bij een verwerkingscapaciteit van  $\pm 1 \text{ m}^3$  nat slib (6 à 7% d.s.) per uur heeft de droger een waterverdampingscapaciteit van circa 930 kg/uur (berekend). De temperatuur van de drooglucht bedraagt 150°C. De uit de cycloon tredende gassen hebben een temperatuur van 80°C; deze gassen worden gerecirculeerd waarbij eventueel meegenomen stofdeeltjes door het inkomende natte slib worden meegenomen. De afgastemperatuur bedraagt 40 - 50°C.

In serie met de droger is een pasteurisatiekamer geschakeld. De verblijftijd varieert van 3 tot 5 uur en de temperatuur bedraagt 90°C.

Het luchtdebiet van de ventilatoren en het drukverlies over de installatie is onder bedrijfscondities niet bekend.

De dragerkogels zijn gemaakt van Makrolon; een kunststof met een hoge slijtvastheid. Het gezamenlijk oppervlak van 1 m<sup>3</sup> kogels bedraagt 200 m<sup>2</sup>. De levensduur van de kogels wordt geschat op circa 5 jaar.

#### *eindproduct*

Het drogestofgehalte van het gedroogde materiaal bedraagt 90%. Tuinders- en compostbedrijven in Naaldwijk hebben belangstelling voor het gedroogde slib.

#### *energieverbruik*

Het gasverbruik (aardgas) bedraagt 67 m<sup>3</sup>/uur. (Aanname bij kostenraming 100 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> nat slib). Bij een debiet van 1 m<sup>3</sup> nat slib per uur komt dit verbruik overeen met circa 550 kcal/kg verdampt water, wat onwaarschijnlijk laag is. Vermoedelijk zal het debiet bij het gemeten gasverbruik kleiner dan 1 m<sup>3</sup>/uur zijn geweest.

Overigens moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de warme cycloonlucht via de ventilator naar de droogkamer wordt teruggevoerd (benutting "afvalwarmte").

#### *onderhoud*

De installatie is uitgevoerd in roestvrij staal en geschikt voor opstelling in de buitenlucht. Hierdoor kunnen bouwkundige voorzieningen tot een minimum beperkt blijven. De installatie bevat weinig draaiende delen op grond waarvan mag worden verwacht dat het onderhoud aan de installatie gering zal zijn.

#### *bedrijfsvoering*

De slibverwerking gebeurt in dagdienst (maximaal 6½ uur). Met de bediening is één man gedurende 50% van zijn tijd belast.

#### *kosten*

De investeringskosten van de Nateko droger zijn f 550.000,--. Daar de installatie op het moment van het bezoek slechts kort (500 bedrijfsuren) in bedrijf was, zijn er nog geen betrouwbare cijfers met betrekking tot de bedrijfskosten beschikbaar. Op grond van een voorlopige kostenraming, opgezet voor een totale verwerkingscapaciteit van 2000 m<sup>3</sup> slib per jaar, overeenkomend met circa 200 ton droge stof per jaar, bedragen de jaarlijkse kosten (vaste- en variabele kosten) circa f 500,-- per ton droge stof. Hiervan zijn circa 60% vaste kosten (rente en afschrijving van de installatie). Bij de huidige verwerkingscapaciteit (1200 m<sup>3</sup>/jaar drogestofgehalte 6 à 7%) zullen de jaarlijkse kosten ruim het dubbele bedragen.

#### *milieuaspecten*

De Nateko droger bevat geen aparte installatie voor het reinigen van de afgassen. Toch bleken de afgassen nauwelijks stank te verspreiden. De installatie is bovendien geluidsarm.

## 5.4 VERBRANDING ALS LAATSTE PROCESSTAP

### 5.4.1 Inleiding

In maart 1976 zijn de volgende twee rioolwaterzuiveringsinrichtingen bezocht waar verbranding als laatste processtap wordt toegepast:

- de rioolwaterzuiveringsinrichting van Dordrecht;  
(decanteercentrifuges en een etageoven)
- de rioolwaterzuiveringsinrichting van Oss  
(zeefbandpersen en een wervelbedoven).

### 5.4.2 Verbranding in een Lurgi-etageoven na voorontwatering met decanteercentrifuges

#### *algemeen*

In Dordrecht wordt het slib uit de actiefslibinstallatie (ontwerpcapaciteit 200.000 i.e.) sinds 1973 na conditionering met polyelektrolyt en ontwatering met decanteercentrifuges verbrand in een etageoven.

Bij de keuze van de mechanische ontwateringsapparatuur werd uiteindelijk aan langzaamdraaiende centrifuges (1500 - 1800 omw./min.) de voorkeur gegeven vanwege de volgende voordelen:

- geringere investeringen vanwege de grotere capaciteit;
- het eindproduct is verpompaar (drogestofgehalte circa 20%);
- minder geluidshinder;
- geringer ruimtebeslag;
- geen filterdoeken nodig, waardoor een schonere bedrijfsvoering mogelijk is en weinig onderhoud nodig is.

De bij de huisvuilverbranding vrijkomende warmte wordt benut voor de slibverbranding. Beide verbrandingsprocessen vinden in aparte ovens plaats, omdat de installatie procestechnisch eenvoudig moest zijn. Men heeft hiertoe vermenging van functies zoveel mogelijk vermeden.

De keuze tussen een etageoven en een wervelbedoven was destijds niet relevant omdat op het moment dat de beslissing werd genomen (1965) de wervelbedoven voor de verbranding van slib nog niet of nauwelijks werd toegepast.

Gecombineerde huisvuil/slibverbranding biedt als geïntegreerd afvalverwerkingssysteem de volgende mogelijkheden:

- benutting van afvalwarmte en afvalwater (ten behoeve van koeling);
- besparing op de personeelskosten;
- mogelijkheid tot vernietiging van alle bij de zuivering van afvalwater geproduceerde afvalproducten, zoals roostervuil, materiaal uit de zandvang, drijfslag van bezinktanks en dergelijke.

Men heeft de levensduur van de etageoven geschat op 30 jaar.

Voor meer informatie over de gecombineerde slib/huisvuilverwerking te Dordrecht wordt verwezen naar de literatuur 140.

### *procestechniek*

Na conditionering met polyelektrolyt ( $47 \text{ g/m}^3$  slib) wordt het slib eerst mechanisch ontwaterd door vier (waarvan één reserve) Flottweg-decanteercentrifuges, type Z3L (capaciteit  $8 \text{ m}^3/\text{uur}$ ), tot een drogestofgehalte van 18-20%. De centrifuges bestaan uit een draaiende buitentrommel (toerental 1750 omw./min.) en een binnenliggende losschroef, die per minuut 15 omwentelingen meer maakt dan de buitentrommel).

Aan het te verbranden slib worden geen hoge eisen gesteld. Het drogestofgehalte van het ontwaterde slib is in verband met de verpompbaarheid gelimiteerd (drogestofgehalte kleiner dan 20%), terwijl het zandgehalte in verband met slijtage zo laag mogelijk moet zijn. Om deze reden is bewust een zandvanger in de rioolwaterzuiveringsinrichting opgenomen.

De oven heeft een ontwerpcapaciteit van  $20 \text{ m}^3$  slib/uur (drogestofgehalte 6%).

De verbrandingstemperatuur ligt tussen de  $900^\circ\text{C}$  en  $1000^\circ\text{C}$ .

Om er voor te zorgen dat de verbranding altijd op de juiste etage kan plaatsvinden, zijn meerdere slibinvoeren (op de derde en vijfde etage van bovenaf) aangebracht. Bij lage belastingen is namelijk gebleken dat soms al verbranding ontstaat op de vierde etage van bovenaf in plaats van op de geplande negende en tiende etage van bovenaf.

### *eindproduct*

De verbrandingsas wordt in de onderste etages van de oven afgekoeld en vervolgens pneumatisch naar de ontslakker van de huisvuilverbrandingsinstallatie getransporteerd. Hierdoor wordt voorkomen dat bij het storten stuifproblemen optreden, daar de as in de ontslakkers bevochtigd wordt.

De rookgassen van de huisvuil- en slibverbranding worden in radiaalstroomwassers met effluent gewassen. Het waswater wordt na de wassers met calciumcarbonaathoudend spoelwater van het waterleidingbedrijf Baanhoek geneutraliseerd om aantasting van de betonnen vliegassins te voorkomen. Het waswater wordt naar de rioolwaterzuivering teruggevoerd, waardoor opwarming van het inkomende rioolwater (circa  $6^\circ\text{C}$ ) plaatsvindt.

### *energieverbruik*

Daar de bij de verbranding van huisvuil vrijkomende warmte voor de gecombineerde droging en verbranding van het slib in de etageoven wordt gebruikt, heeft geen extra energie in de vorm van brandstof te worden toegevoerd.

Het energieverbruik bestaat derhalve vrijwel uitsluitend uit elektrische energie. Dit verbruik bedraagt  $13 \text{ kWh/m}^3$  slib (drogestofgehalte 6% na indikking), ten behoeve van centrifuges, wormschroeven, etageoven vulpomp, aandrijving etageoven, ventilatoren en ontassing.

### *onderhoud*

Het onderhoud van de oven is bijzonder gering. Slechts eenmaal per jaar wordt de oven geïnspecteerd. Tot dusverre werden geen grote onderhoudswerkzaamheden aan de oven uitgevoerd.

Aanmerkelijk meer onderhoud vraagt de monopomp, die voor het transport van het ontwaterde slib naar de oven wordt gebruikt. Door sterke slijtage van de rotor/stator loopt de opvoerhoogte (circa 14 m) terug. Regelmatige controle (na elke 1000 draaiuren) is noodzakelijk.

#### *bedrijfsvoering*

De slibverbrandingsoven is 72 uur (3 etmalen) per week in bedrijf; de opwarmtijd bedraagt 4 à 8 uur. Voor de bediening van de hele installatie (vuilverbranding rioolwaterzuivering en slibverwerking) zijn in totaal 5 man per wacht ingeschakeld. Hiervan kan 0,85 man worden toegerekend aan de rioolwaterzuivering en de slibverwerking.

#### *kosten*

Met de investering van de slibverwerkingsinstallatie is een bedrag van f 8.100.000,-- (prijsspeil 1972) gemoeid. De jaarlijkse exploitatiekosten voor de slibverwerking (vaste- en variabele kosten, prijspeil 1972) bedragen f 460,-- per ton droge stof. 60% hiervan wordt gevormd door kapitaalslasten.

#### *milieuaspecten*

De resultaten van de gaswassing zijn goed; de commissies aan HF, HCl, SO<sub>2</sub> en vliegias worden regelmatig gecontroleerd. Zij blijven beneden de gestelde eisen. Deze eisen zijn voor: HCl < 60 kg/uur; SO<sub>2</sub> < 15 kg/uur; vliegias < 150 mg/Nm<sup>3</sup>.

Men heeft de indruk dat bij verlaging van de verbrandingstemperatuur tot bijvoorbeeld 700°C geen stankoverlast optreedt; echter het percentage onverbrand materiaal neemt dan wel toe.

Tijdens het drogen van het slib in de bovenste etages komt de temperatuur van het slib nauwelijks boven 100°C. De bij deze temperatuur vrijkomende stankcomponenten verbranden bij de heersende temperatuur van 700°C waarschijnlijk vrij gemakkelijk.

Klachten over de uit de schoorsteen ontwijkende nevel zijn binnengekomen. De schoorsteen is daarom met 25 meter verlengd, waarna de klachten zijn opgehouden (hoogte van de schoorsteen bedraagt nu 55 meter).

De installatie veroorzaakt evenmin geluidsoverlast. De voor het industriegebied geldende geluidsnorm (50 dB(A)) wordt niet overschreden.

### 5.4.3 Verbranding in een Bisschoff-wervelbedoven na voorontwatering met zeefbandpersen

#### *algemeen*

In Oss wordt het slib uit een oxydatiesloot, type carousel, met aparte voorbezinking (ontwerpcapaciteit 300.000 i.e.) na chemische conditionering met polyelektrolyt en ontwatering met een zeefbandpers in een wervelbedoven verbrand.

De keuze van de slibverbranding is gemaakt op grond van de volgende overwegingen:

- door de aanwezigheid van zware metalen kan het slib niet worden uitgegist;
- afzet van het slib in de landbouw is niet mogelijk;
- ontwatering van het (oxydatiesloot) slib tot een hoog drogestofge-

halte (> 40%), vereist voor storten, is praktisch niet haalbaar. Het bereikbare drogestofgehalte ligt voor oxydatieslootlib op circa 30%;

- bij droging kan stankoverlast optreden. Bovendien wordt de calorische waarde van het slib niet benut.

Als verbrandingsoven is een wervelbedoven gekozen, omdat dit oventype in vergelijking tot de etageoven de volgende voordelen biedt:

- de oven werkt over het algemeen "stankvrij"; bij de etageoven zijn veelal uitgebreide maatregelen ter bestrijding van stank (bijvoorbeeld naverbranding) nodig;
- de oven is bedrijfstechnisch gezien gunstiger, omdat hij geen draaiende delen bezit;
- de oven is beter geschikt bij discontinue bedrijfsvoering: hij kan eenvoudig worden in- en uitgeschakeld (grote flexibiliteit);
- de investeringskosten zijn lager dan die van een etageoven.

Verwacht wordt dat de wervelbedoven energetisch ongunstiger is dan de etageoven.

De oven is opgezet voor de verbranding van slib met een drogestofgehalte van 23 - 25%. Bij dit drogestofgehalte volgt uit de energiebalans dat de verbranding zichzelf nagenoeg onderhoudt (calorische waarde slib 5200 kcal/kg slib droge stof).

Voor het bereiken van dit drogestofgehalte heeft men voor een zeefbandpers gekozen omdat hiermee, in vergelijking tot een centrifuge, een hoger drogestofgehalte bij een lager polymeerverbruik werd bereikt (20% in plaats van 14 à 15%).

Begin 1976, toen de installatie net in gebruik genomen was, werd met de zeefbandpers een drogestofgehalte van 14 - 16% verkregen, wat aanmerkelijk lager is dan de vereiste 23 - 25%. Dit had tot gevolg dat de oven toen niet optimaal werkte.

#### *procestechniek*

De oven heeft een verwerkingscapaciteit van 1,5 ton droge stof per uur ( $\approx 6 \text{ m}^3$  slib per uur, drogestofgehalte 20 - 25%).

De diameter van bodem en van het cilindrisch gedeelte van de oven bedraagt 3, respectievelijk 5 à 6 meter. De hoogte is circa 10 meter.

De maximale oventemperatuur bedraagt, in verband met de toegepaste constructiematerialen, 900°C. Vanaf een temperatuur van 700°C kan slib in de oven worden gebracht. Als de oven niet wordt gevoed ('s-nachts) daalt de temperatuur tot circa 700°C, zodat 's-morgens direct slib kan worden ingebracht. Na een weekend is de oventemperatuur gedaald tot circa 500°C, zodat 's-maandags de oven met een opstartbrander op temperatuur moet worden gebracht.

Regeling van de temperatuur tijdens bedrijf vindt plaats door toevoeging van brandstof (bij warmtetekort) of inspuiting van water (bij warmteoverschot).

De fluidisatie wordt gecontroleerd op drukverschilmetingen onder en boven het wervelbed.

Toen de installatie net in bedrijf was, hebben zich enkele technische problemen voorgedaan, die inmiddels zijn opgelost.

Deze problemen betreffen:

- de slibvoedingspomp (transport van het voorontwaterde slib);
- de doseerlans (verstopping van de slibinvoer in de oven);
- de bemetseling (kortsluitstroming tussen isolatiewand en staalwand).

De oven is uitgevoerd in normaal constructiestaal voorzien van een vuurvaste- en een isolatiebemetseling. De wandtemperatuur is maximaal 120°C. Aan de buitenzijde is de oven geïsoleerd met glaswol en aluminium. De levensduur van de bemetselingen wordt geschat op 10 - 15 jaar; de levensduur van de oven zelf zal waarschijnlijk langer zijn. Opge-merkt wordt dat bepaalde zware metalen invloed op de verweking van de bemetseling kunnen hebben. Men verwacht niet dat het fluidisatiemedium (speciaal zand met een bepaalde korrelgrootte (0,1 - 1 mm) en rondheid) de bemetseling nadelig zal beïnvloeden.

#### *eindproduct*

De as uit de verbrandingsinstallatie wordt in een droog elektrostatisch filter afgescheiden en vervolgens met water bevochtigd (vochtgehalte circa 5%). Via een gesloten afvoersysteem (kettingtransporteurs) wordt de as in containers opgevangen en vervolgens naar een stortplaats afgevoerd. Hier wordt de as afgedekt. De as is hygroscopisch (kans op afzetting in transportapparatuur).

De afgassen van de verbrandingsoven passeren achtereenvolgens een lucht-voorverwarmer, een nakoeler (koeling met effluent tot onder 350°C) en een droog elektrostatisch stoffilter.

#### *bedrijfsvoering*

De slibverwerking is ontworpen voor een 16-urige werkdag (2 ploegen) gedurende 5 dagen per week. Een ploeg bestaat uit 2 man bedienend personeel.

#### *kosten*

Met de totale slibverwerkingsinstallatie, slibontwatering en -verbranding, inclusief gebouw, is een bedrag van 4,4 miljoen gulden gemoeid. De investeringskosten van de verbrandingsinstallatie bedragen circa 2,4 miljoen gulden. Daar er nog geen betrouwbare praktijkgegevens beschikbaar zijn, kunnen de jaarlijkse exploitatiekosten in dit stadium niet worden vermeld. Op grond van een voorcalculatie verwacht men dat deze kosten f 200,-- à f 300,-- per ton droge stof zullen bedragen.

#### *milieuaspecten*

De gassen, die *niet* worden gewassen, zijn geheel stankvrij. De stofuitworp is laag (eis Hinderwetvergunning minder dan 75 mg/Nm<sup>3</sup> bij 8% CO<sub>2</sub>).

Bij het verlenen van de Hinderwetvergunning is bepaald dat het te verbranden slib regelmatig op zware metalen moet worden geanalyseerd. Dit houdt verband met de kans op uitloging van deze metalen (bodem- en grondwater verontreiniging) bij het storten van de as.

Met betrekking tot geluidshinder zijn bijzonder zware eisen opgelegd. Gesteld is een geluidsniveau van minder dan 36 dBA aan de grens van het terrein.



## 6. Literatuur

SLIBCONDITIONERING EN LITERATUURINFORMATIE

- 1 Mechalas, B.J. & Paine, I.J. & Delfick, F.P. - Biological methods of sludge dewatering, EPA report PB 207480.
- 2 Slibverwerking, tweede vakantiecursus in behandeling van afvalwater, 1967, Technische Hogeschool Delft.
- 3 Cursus Slibverwerking, Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek, Delft, 1973-1974.
- 4 Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen, TH. Aachen, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, 6 (1971).
- 5 Sludge handling and disposal seminar, Environmental Protection Service Canada, 1974.
- 6 Pallasch, O. - Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik deel 3, Berlin, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1969.
- 7 Koot, A.C.J. - Behandeling van afvalwater, 1e dr., Delft, Waltman, 1974.
- 8 Dégrement - Water Treatment Handbook, Folkstone, Kent England, Baily Bros & Swinfen Ltd., 1973.
- 9 Sludge dewatering, Water Pollution Control Federation, Manual of Practice no. 20, Washington, 1969.
- 10 Aarne Vesilind, P. - Treatment and disposal of waste water sludge, Ann. Arbor Science, Michigan USA, 1974.
- 11 Heyn, J.P. - Kosten van zuiveringstechnische werken,  $H_2O$ , 7 (1974) 24: 534 - 535.
- 12 Lohmann, J. - Über die Wirtschaftlichkeit verschiedener Verfahren zur Entwässerung von biologischen Klärschlamm, Chemie-Ing.-Techn., 46 (1974) 20 : 852 - 856.
- 13 Webb, L.J. - A study of conditioning sewage sludges with lime, Water Pollution Control, 73 (1974) : 192 - 206.
- 14 Busse, O. - Chemische und Kombiniert Mechanisch-Chemische Konditionierung, Ber. Abwassertechn. Ver., 26 (1972) : 537 - 545.
- 15 Cupery, T.R. - Some filtration characteristics of sewage sludges, Filtration and Separation, (1973) 1 : 42 e.v.
- 16 Dotson, G.K. - Some constraints of spreading sewage sludge on cropland, Compost Science, (1973) 6 : 12 - 15.
- 17 Swanwick, K.H. - Control of filter pressing at Sheffield, Water Pollution Control, 72 (1973) : 78 - 86.
- 18 Gale, R.S. - Recent research on sludge dewatering, Filtration and Separation, (1971) 5 : 531 - 538, 610.
- 19 Hennerkes, J. - Über die thermische Konditionierung von Emscher-Belebtschlamm, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, 9 (1972).
- 20 Hurwitz, E. & Teletzki, G.H. & Gitchel W.B. - Wet air oxidation of sewage sludges, Water and Sewage Works (1965) : 298 - 304.
- 21 Bloot, F. - Bezoek aan Zimpro Rothschild (USA), 1975, (intern TNO-verslag).
- 22 Van Zelle, J. & Wouda, D. - De Zimpro installatie in Apeldoorn,  $H_2O$  5 (1972) 7 : 131 - 137.
- 23 Ploos van Amstel, J.J.A. - Slibverwerking door oxydatie bij hoge temperatuur en druk, De Ingenieur, nov. 1972 : G 31 - 36.
- 24 Ploos van Amstel, J.J.A. & Rietema, K. - Wet air oxidation of sewage sludge, Chemie-Ing.-Techn., 45 (1973) 20 : 1205 - 1211.
- 25 Everett, J.G. - The effect of pH on the heat treatment of sewage sludges, Water Research, 8 (1974) : 889 - 906.
- 26 Everett, J.G. - Dewatering of waste water sludge by heat treatment, JWPCF, 44 (1972) 1 : 92 - 100.

- 27 Kalbskopf, K.H. - Thermische Schlammkonditionierung und Filtratwasserbehandlung, Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, 24 (1973) : 106 - 121.
- 28 Strauch, D. - Hygienische Gesichtspunkte der Klärschlammbehandlung, Städtehygiene 24 (1973) 1 : 3 - 8.
- 29 Fhofer, E. & Botzenhart, K. - Über die thermische Schlammkonditionierung, Städtehygiene, 24 (1973) 9 : 208 - 209.
- 30 Simpson, J.R. - What I should like to know of waste treatment, Water Pollution Control, 70 (1971) 4 : 439 - 453.
- 31 Everett, J.G. - Recent developments in heat treatment, Water Pollution Control 72 (1973) 4 : 428 - 435.
- 32 Schlegel, S. - Die anaerobe Behandlung von Filtratwässern thermisch konditionierter Schlämme, GWF (Wasser - Abwasser) 116 (1975) 1 : 29 - 35.
- 33 Pipes, W.O., Bulking of activated sludge, Advances in Applied Microbiology, 9 (1967) : 185 - 234.
- 34 Ainsworth, G. - Sludge treatment: the current trends, Process Biochemistry 8 (1973) 1 : 11 - 14.
- 35 Malina, J.F. & Difilippo, J. - Treatment of supernatants and liquids associated with sludge treatment, Water and Sewage Works, (1971) : R 30 -38.
- 36 Everett, J.G. - The effect of heat treatment on the solubilization of heavy metals, solids and organic matter from digested sludge, Water Pollution Control 73 (1974) : 207 - 209.
- 37 Zimmer, E. - Zur Theorie und Praxis der Schlammwässerung, Chemiker Zeitung 95 (1971) 5 : 224 - 236.
- 38 Möller, U. - Schlammbehandlungs- und beseitigungsanlagen, Technische Mitteilungen 65 (1972) 9 : 421 - 439.
- 39 Rösler, N. - Vorgänge, Wirkung und Verfahrenstechnik bei der Konditionierung von Kommunalschlämmen unter chemischer Einwirkung in Verbindung mit mässiger Erhitzung, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, 6 (1969) : 159 - 177.
- 40 Thomas, G. - Entwässerung von Klärschlamm, Chemie-Ing.Techn., 46 (1974) 11 : 471 - 476.
- 41 Rogers, J.L. - Sludge dewatering - Annual review, Water and Waste Treatment, 17 (1974) 9 : 10 - 37.
- 42 Amos, K.L. & Thomas, C.H. - Sludge dewatering by filter presses. A modern process technology, Filtration and Separation (1975) 1 : 39 - 50.
- 43 Reuter, J. & Von Beckezath, H. - Schlammwässerung mit kontinuierlichen Pressfiltern, Aufbereitungs-technik, (1974) 5 : 253 - 259.
- 44 Ebbenhorst, J. - Vergelijking van verschillende mechanische slibontwateringsmethoden op de rioolwaterzuiveringsinstallatie te Utrecht, H<sub>2</sub>O, 6 (1973) 16 : 406 - 409.
- 45 Simpson, J.R. & Gilbert, J. - Dewatering of sewage sludge : design and operating experiences, Water Pollution Control, (1973) : 308 - 319.
- 46 Mc Michael, W.F. - Costs of filter pressing domestic sewage sludges, EPA-USA, National Technical Information Service PB 226130, 1973.
- 47 Pepping, R. - Gecentraliseerde slibverwerking, H<sub>2</sub>O, 6 (1973) 25 : 687 - 693.
- 48 Karper, R. & Koster, E.L.C. & Verhaagen, J. - Kunstmatige slibverwerkingsinstallaties, H<sub>2</sub>O 2 (1969) 9 : 210 - 215.

- 49 Vater, W. - Verfahren und Geräte für die Entwässerung von Klärschlamm, bron onbekend.
- 50 Karper, R. & Scheltinga, H.M.J. & Verhaagen, J. - Kunstmatige slibverwerking,  $H_2O$ , 4 (1971) 17 : 388 - 391.
- 51 Gale, R.S. - Control of sludge filteroperation, Filtration and Separation, (1975) 1 : 75 - 80.
- 52 Meredith, W.H. - Dewatering of sludge, Water Research, 6 (1972): 527 - 529.
- 53 Van Melick, L. - Waarheen met het slib?, Water, 54 (1970) 1 : 9 - 14.
- 54 Van Loohuizen, C.J. - Onderzoekingen met het "Schlamm-Asche Verfahren" te Ede, Water, 50 (1966) 24 : 377 - 380.
- 55 Schürholz, R. - Über das Entwässerungsverhalten häuslicher und industrieller Abwasserschlämme, Instituut für Siedlungswasserwirtschaft, T.H. Hannover, (1969) 30.
- 56 Randal, C.W. & Ali Kahn, M.Z. & Thomas Stephens, N. - Waste activated sludge conditioning by direct slurry freezing, Water Research, 9 (1975) : 917 - 925.
- 57 Möller, U. - Überlegungen zur Wahl und Kombination verschiedener Verfahren bei der Schlammbehandlung; Hinweise zum Stand der Verfahrenstechnik bei der Schlamm-trocknung, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser 6 (1971) : 325 - 360.
- 58 Anonymus - Installatie voor het drogen van rioolslib, Polytechnisch tijdschrift (Procestechneik), 15 (1972) 3 : 204.
- 59 Busse, O. - Vorgänge, Wirkung und Verfahrenstechnik bei der Konditionierung von Schlämmen mit anorganischen Fällungsmitteln, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, 6 (1971) 123 - 131.
- 60 Smith, J.E. & Hathaway, S.W. & Farrell, J.B., e.a. - Sludge conditioning with incinerator ash. In Proc. of the 27th Ind. Waste Conf. Purdue Univ., Lafayette, Indiana (USA), 1972.
- 61 Busse, O. - Sewage disposal involving filtration of the sewage, US-Patent 3, 279, 603, 1966.
- 62 Diosady, L.L. - Recycling of incinerator ash, Project no. 73-5-5, Environmental Protection Service Canada, 1975.
- 63 Gerlich, J.W. - Pressure filtration of waste water sludge with ash filter aid, Environmental Protection Agency USA, 1973.
- 64 Bond, R.G. & Straub, C.P. - Handbook of environmental control, deel 4: Waste water treatment and disposal : 302, Cleveland USA, CRC Press, 1974.
- 65 Parkhurst, J.D. & Rodrique, R.F. & Miele, R.P., e.a. - Pilot plant studies on dewatering primary digested sludge, EPA 670/2-73-043, 1973.
- 66 Sontheimer, H. - Erfahrungen bei der Entwässerung von Klärschlamm, Müncher Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Fluss biologie, 13 (1966) : 93 - 112.
- 67 White, M.J.D. & Baskerville, R.C. - Fullscale trials of polyelectrolytes for conditioning of sewage sludges for filter pressing, Water Pollution Control, 73 (1974) : 487 - 504.
- 68 Streuli, L.J. - Die thermische Schlammkonditionierungs- und Entwässerungsanlage. "Buholz" in Luzern, Gesundheitstechnik (1974) 6 : 162 - 164.
- 69 Franke - Thermal conditioning of sludge, Chemical and Proces Engineering, 55 (1972) febr.

- 70 Anonymus, - Dorr-Oliver levert thermische slibbehandeling voor Woerden, MPC Milieutechniek, juni 1975.
- 71 Mc Donald, J.R. & Page, V.W. & Belliss, R.H. - Wet air oxydation of sludge at Hockford Sewage Works, Effluent and Water Treatment Jour., (1974) jan. : 13 - 21.
- 72 Smeets, C.J.C. - Continue thermische slibbehandeling volgens het Dorr-Oliver Farrer systeem, Water 54 (1970) 1 : 17 - 24.
- 73 Swets, D.H. & Pratt, L. & Metcalf, C.C. - Thermal sludge conditioning in Kalamazoo Michigan, JWPCF 46 (1974) 3 : 575 - 581.
- 74 Sherwood, R. & Philips, J., Heat treatment process improves economics of sludge handling and disposal, Water and Wastes Engineering, 7 (1970) 11.
- 75 Seto, P. & Smith, D.K. - Evaluation of the Barber-Colman-Wetox process for sewage sludge disposal, Environmental Protection Service Canada, 1975.
- 76 Hudgins, R.R. & Silveston, P.L., Wet air oxidation of chemical sludges, Environmental Protection Service Canada, 1973.
- 77 De Haan, S. & Karper, R. & Scheltinga, H.M.J., e.a. - Methoden van slibverwerking, H<sub>2</sub>O 6 (1973) 14 : 356 - 365.
- 78 Wuhrmann, K.A. - Energiebilanzen bei der Klärschlamm-trocknung mit Abfallenergie, Aufbereitungstechnik (1974) 3 : 121 - 124.
- 79 Wüsten, Th. & Zingler, E., Practical experiences of thermal sludge drying on the central plant of Neersen, Water Research, 6 (1972) : 533 - 537.
- 80 Van Melick, L. - Toepassingsmogelijkheden en kosten van thermische slibdroging in Seiler-Koppers-installaties, H<sub>2</sub>O, 1 (1968) 17 : 372 - 374.
- 81 Perry, H. & Chilton, C.H. - Chemical engineers handbook, hoofdstuk 25, New York, Mc Graw Hill, 1973.
- 82 Rosen, C. - Neues Trocknungsverfahren für Schlamm aller Arten, Gas-Wasser und Abwasser, 53 (1973) 6 : 212.
- 83 Nillson, L. - Industry and community in cooperation, JWPCF, 47 (1975) 4 : 760 - 763.
- 84 Anonymus - New slurry dryer spawns cost and space savings, Chem. Eng. 80 (1973) 7 : 78.
- 85 Weber, W.J. - Physicochemical processes for water quality control, hoofdstuk 12, New York, Wiley-Interscience, 1972.
- 86 Karper, R. & Verhaagen, J. - Slibdrooginstallaties volgens het Seiler-Kopperssysteem in Zwitserland, H<sub>2</sub>O 1 (1968) 17 : 370 - 372.
- 87 Styers, E. - It's not sludge; it 's fertilizer, The American City, (1971) febr. : 48 - 50.
- 88 Imhoff, K. & Müller W.J. & Thistlethwayte, D.K.B. - Disposal of sewage, London, Butterworks, 1971.
- 89 Boyle, J.D. & Gruenwald, D.D., JWPCF, 47 (1975) 10 : 2482 - 2489.
- 90 Bischofsberger, W. - 3. Europäisches Abwasser- und Abfallsymposium, E.A.S. '75, GWF (Wasser-Abwasser) 116 (1975) 10 : 468 - 471.
- 91 Novak, J.R. & O'Brien, J.H. - Polymer conditioning of chemical sludges, JWPCF, 47 (1975) 10 - 2397 - 2410.
- 92 Robert, K. & Olsson, O. - Influence of colloidal particles on dewatering of activated sludge with polyelectrolyte, Environmental Science & Technology, 9 (1975) 10 : 945 - 948.

- 93 Claus, H.- Klärschlamm-trocknung, Müll und Abfall, (1975) 2 : 47 - 49.
- 94 Müll- und Abfallbeseitigung, deel 2, Kennzahl 3000-4000, Abwasser Technische Vereinigung, Berlin, Erich Schmidt-Verlag, 1973.
- 95 Teensma, B. - Het drogen van slib door biologische zelfverhitting (composteren), H<sub>2</sub>O, 1 (1968) 10 : 220 - 225.
- 96 Müncher Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, 13 (1966), (diverse artikelen).
- 97 Teeuwen, T. - Jaarverslag Stichting Verwijdering Afvalstoffen (SVA), 1973 : 59 - 76.
- 98 Droscha, H. - Vollmechanische Müll- und Klärschlamm - Kompostierungsanlage, Technica (1973) 19 : 1778 - 1781.
- 99 Wolf, H.W. - Klärschlammprobleme jetzt gelöst?, Kosmos (1973) : 365 - 369.
- 100 Noltze, H. - Die gemeinsame Kompostierung von Abfallstroh und Klärschlamm, Wasser und Boden (1975) 5 : 110 - 112.
- 101 Anonymus - Verfahren und Ausrüstungen für das Kompostieren von Müll und Klärschlamm, Wasser, Luft und Betrieb 19 (1975) 10 : 588 - 591.
- 102 Heiner, H. - Kompostierter Müll und Schlamm, Gesundheitstechnik, (1974) 8 : 208.
- 103 Klausung, O. & Kuipping, H. & Noltze, H. - "Bio-Mist" aus Schlamm und Stroh, Umwelt, 5 (1974) : 29 - 30.
- 104 Gaul, D. & Strauch, D. e.a., - Versuche zur Herstellung von hygienisch einwandfreien Kompost aus luftgetrockneten Faulschlamm unter Verwendung verschiedener Zusätze.
- 105 Anonymus - Klärschlammverrottung - BAV, Korrespondenz Abwasser 22 (1975) 9 : advertentie.
- 106 Folks, N.E. & Addis Lockwood, R., e.a. - Pyrolysis as a mean of sewages sludge disposal, Jour. of the Env. Eng., Div., augustus 1975, EE4 : 607 - 621.
- 107 Storck, W.J. - Sludge is beautiful in Twin Cities, Water & Wastes Engineering, juli 1974 : 43 - 46.
- 108 Bonjer, G. - Sludge dewatering; thermal activated carbon treatment, Water & Waste Treatment, augustus 1973 : 23 -25.
- 109 Hicks, P. - Alfa-Laval take on the sludge problem, Water & Waste treatment, (1973) juni : 10 - 11.
- 110 Dick, R.I., Sludge treatment, utilization and disposal (annual review), JWPCF, 47 (1975) 6 : 1306 - 1323.
- 111 Koster, E.L.C. & Van der Graaff, J.H.J.M. & Ten Wolde, I.G., - Bedrijfservaringen met de Zimpro-installatie te Breda, H<sub>2</sub>O 9 (1976) 3 : 46 - 51.
- 112 Imhoff, K.R. - Erfahrungen des Ruhrverbandes bei der Klärschlammbehandlung, GWF (Wasser-Abwasser) 116 (1975) 5 : 216 - 221.
- 113 Möller, U. - 3. Europäische Abwasser- und Abfallsymposium, Entwicklungstendenzen in der Klärschlammbehandlung (Abstract), GWF (Wasser-Abwasser) 116 (1975) 10 : 469.
- 114 Barlow, J.H. - Sludge Handling and Disposal, Jour Amer. Water Works Assn. (1973) : 395 - 399.
- 115 Unterberg, W. & Sherwood, R.J. & Schneider, G.R. - Computerized predesign and costing of multiple-hearth furnace sewage sludge incinerators, Chem.Eng.Symp.Ser., 129 (1972) vol. 69, Water : 135 - 152.

- 116 Gale, R.S. - Europäische Abwassersymposium München, mechanical dewatering and incineration of sewage sludges, ATV Berichte, (1969) 23 : 191 - 207.
- 117 Thomas, J. - Sludge incineration, new aspects of multiple hearth furnace and fluidized bed incinerator. In: 7th Intl. Conf. on Water Poll.Res., Paris, 1974.
- 118 Schotmann, W. - Klärschlamm, seine Behandlung und Beseitigung speziell durch gemeinsame Müll-Klärschlamm-Verbrennung, Het Ingenieursblad 42 (1973) 10 : 304 - 312.
- 119 Liao, P.B. - Fluidized-bed sludge incinerator design, JWPCF, 46 (1974) 8 : 1895 - 1913.
- 120 Camp, J.C. - Examples of sewage sludge incineration in the U.K. Proc. of the Inst. Civil Eng. 56 (1974) 1 : 49 - 63.
- 121 Rasch, R. - Zur Problematik der Klärschlamm-Verbrennung, Aufbereitungstechnik, (1973) 9 : 571 - 575.
- 122 Thomas, G. - Frisch- und Faulschlammverbrennung, Müncher Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, 24 (1973) : 122 - 145.
- 123 Unterberg, W. & Sherwood, R.J. & Schneider, G.Z. - Computerized design and cost estimation for multiple hearth sludge incinerators, EPA, 17070 EBP 07171, 1971.
- 124 Henkel, J. - Klärschlammverbrennung im Wirbelschichtofen, Vordracht op symposium van Hoechst, Utrecht, 10 okt. 1975.
- 125 Thomas, G. - Die Verbrennung von Klärschlamm, ein aktuelles Problem, Chem. Ing. Techn. 45 (1973) 10a : 716 - 723.
- 126 Estrade, B. & Foch, P. & Marcellini, R. - Verbranding van zuiveringslib in een gefluidiseerd bed, Proces techniek (1970) : 551 - 555.
- 127 Taylor, R. - Combined incineration of refuse and sludge, Envir. Pollut. Management (1973) : 89 - 94.
- 128 Gaillard, J.R. - Fluidized bed incineration of sewage sludge, Water Pollution Control 72 (1973) 2 : 190 - 194.
- 129 Liao, P.B. & Pilat, H.J. - Air pollutant emissions from fluidized bed sewage sludge incinerators, Water & Sewage Works (1972) februari : 68 - 74.
- 130 Stribling, J.B. - The cyclone furnace for waste incineration, Process Biochemistry, (1973) januari: 29 - 34.
- 131 Ducar, G.J. & Levin, P. - Mathematical model of sewage sludge fluidized bed incinerator capacities and costs, EPA-PB 189295, 1969.
- 132 Lyon, S.L. - Incineration of raw sludges and greases, Water Poll. Control Fed., Deeds & Data (1973) april : 1 - 5.
- 133 Vogeno, W. - Problemlose Klärschlammbehandlung durch ein neues thermisches Zweistufen-Verfahren, Chemische Anlagen und Verfahren, (1973) : 81 - 85.
- 134 Vogeno, W. - Neues thermisches Zweistufen-Verfahren, DHF (1974) : 7/74-46-47.
- 135 Burgess, J.V. - Comparison of sludge incineration processes, Process Biochemistry (1968) juli : 27 - 30.
- 136 Sebastian, F.P. & Allen, T.D. & Laughlin, W.C. - Sludge handling, think thermal, Water and Wastes Eng. (1974) sept. : 47 - 50.
- 137 Gerstle, R.W. - Get ready for another inspector, Water and Wastes Eng., (1974), dec. : 43 - 44.

- 138 Zang, R.B. - Sludge incineration and afterburning, Water Pollut. Control Fed., Deeds & Data, (1974) april : 2 - 10.
- 139 Anonymus - Sewage sludge incineration, EPA PB 211323, 1972.
- 140 H<sub>2</sub>O, 6 (1973) 12 : 296 - 319.
- van der Burg, L. - De installaties voor vuilverbranding en rioolwaterzuivering te Dordrecht: 296 - 301.
- van der Maale G.P. - Rioolwaterzuivering en verbranding van huisvuil en nat rioolslib te Dordrecht: 302 - 307.
- Schippers, J.C. - De technologie van de vuilverbrandings- en rioolwaterzuiveringsinstallatie te Dordrecht: 308 - 311.
- Wesselink, E. - De mechanische installaties van de geïntegreerde vuilverbranding en rioolwaterzuivering te Dordrecht: 312 - 317.
- Romein, A. - De elektrische meet- en regeltechnische inrichting van de vuilverbranding/slibverwerking te Dordrecht: 318 - 319.
- 141 Hopmans, J.J. - Enige mededelingen over afvalwaterzuivering in Zwitserland, H<sub>2</sub>O, 6 (1973) 24 : 657 - 662.
- 142 Kampelmacher, E.H. & Van Noorle Jansen, L.M. - Onderzoekingen in slib over de bacteriële reductie, voornamelijk van Salmonella in slibverwerkingsinstallaties te Apeldoorn, Maastricht en Mierlo, H<sub>2</sub>O, 3 (1970) 23 : 604 - 606.
- 143 9e Essener Tagung over slibverwerking, Gewässer-Wasser-Abwasser, 1976.
- 144 Bosch, H. & Kleerrebezem, G.J. & Mars, P. - JWPCF 48 (1976) 3 : 551 - 561.
- 145 Bouman, C.J. - Presentatie op de 9e Essener Tagung van Hubert-Sneek, Gewässer-Wasser-Abwasser, 1976.

#### LEVERANCIERSINFORMATIE

- 146 Brooks, R.B. - Heat treatment of sewage sludge, Water Pollution Control, 69 (1970) : 92.
- 147 Brooks, R.B. - Heat treatment of sewage sludge, Water Pollution Control, 67 (1968) : 592.
- 148 Chrometzka, P. & Kneer, F. & Spohn, E. - Beiträge zur Kenntnis der Actinomyceten - und Schimmelpilzflora in nach dem Atmungsverfahren hergestellten Komposten, ISWA Bulletin (1971) 5 : 47.
- 149 Chrometzka, P. - Der Einfluss von Aktiv-Bentonit Tixoton auf die Trocknung von Klärschlamm sowie auf das Wachstum ausgewählter Versuchspflanzen, voordracht voor de firma Preussag A.G., 1974.
- 150 Chrometzka, F. & Kneer, F. - Untersuchungen zur Destrukturierung verschiedener Kunststoffe bei der gesteuerten aeroben Kompostierung, Forum Umwelt-Hygiene (1975) 8.
- 151 Chrometzka, P. - Qualitätsmerkmale bei Müll- und Klärschlammkomposten, Wasser und Boden, (1975) 5 : 108.
- 152 Erikson, A.H. & Knopp, P.V. - Biological treatment of thermally conditioned sludge liquors. In: 5th Intl. Water Poll. Res. Conf., juli - augustus 1970.
- 153 Everett, J.G. & Brooks, R.B. - Dewatering of sewage sludges by heat treatment, Water Pollution Control 70 (1971) : 453.



- 154 Everett, J.G. & Nagai, I. - Effect of concentration of sewage sludge solids and ash in heat treatment, *Effluent & Water Treatment Journal*, 11 (1971) 10 : 542.
- 155 Filip, Z. - Über die Beëinflussung der Bodenmikroorganismen, der Huminstoffbildung und der Krümelung von Bodenproben durch Betonit, *Landbauforschung Völkenrode*, (1970) 20 : 91 - 96.
- 156 Heat treatment of sewage sludge (discussion), *Water Pollution Control*, 69 (1970) : 656.
- 157 Kneer, F. - Unterschiede zwischen Tennessee-Wiggler und Mistwurm (*Eisenia Foetida*), *Organischer Landbau* (1970) 1.
- 158 Kneer, F. - Kompostanwendung als Einstreu in der Hühneraufzucht, *Geflügelindustrie* (1972) 10.
- 159 Kneer, F. - Klärschlammverwertung durch kontrollierte aerobe Kompostierung erstmals möglich, *Garten organisch* (1973) 4.
- 160 Metcalf, C. - Unusual collection/treatment system benefits Kalamazoo, *Water & Wastes Eng.*, 1971.
- 161 Pauli, F. - *Soil Fertility*, London, Adam Hilger Ltd., 1967.
- 162 Spohn, E. & Kneer, F. - Über die Atmung von Kompost, *Organischer Landbau* (1968) 4.
- 163 Spohn, E. & Kneer, F. - Kompost für Ferkel, *Organischer Landbau* (1969) 4.
- 164 Spohn, E. & Kneer, F. - Gibt es giftige Schimmelpilze im Kompost?, *Stadthygiene* (1970) 8.
- 165 Spohn, E. & Kneer, F. - Die Wirkungen von Klärschlammzusätzen bei der Müllkompostierung, *Stadthygiene* (1971) 12.
- 166 Swannick, J.D. & Fisher, W.J. - High temperature treatment of sewage sludge, *JWPCF*, 70 (1971) : 355.
- 167 Teletzke, G.H. & Gitchel, W.B. & Diddams D.G., e.a. - Components of sludge and its wet air oxydation products, *JWPCF*, 39 (1967) 6 : 994 - 1005.

#### NEDERLANDSE PRAKTIJKINFORMATIE

- 168 Adriaanse, P.L. - De rioolwaterzuivering te Bunnik, *De Klaarmees-ter*, 7 (1972) 2.
- 169 Adriaanse, P.L. - Praktijkervaringen met de rioolwaterzuivering en de Seiler-Koppers drooginstallatie te Bunnik, *De Klaarmees-ter*, 8 (1973) 4 : 2 - 10.
- 170 Ottengraf, S.P.P. & Lotens, J.P. - De thermisch- oxydatieve behan-deling van afvalwaterslib,  $H_2O$ , 9 (1976) 13 : 236 - 252.

