

NN31085.89-06

g e

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

rwzi  
2000

R09-06

## **HET DROGEN VAN ZUIVERINGSSLIB MET HET CARVER-GREENFIELD PROCES**

# **DBW/RIZA**

rijkswaterstaat  
dienst binnenwateren/riza

postbus 17, 8200 AA lelystad 03200-70411



stichting toegepast onderzoek  
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-512710

lie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

at: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70467



BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOD

## HET DROGEN VAN ZUIVERINGSSLIB MET HET CARVER-GREENFIELD PROCES

auteur(s):

Witteveen & Bos:

ir. F.W.A.M. Rijnart

ir. J.R.A.G. Schepman

TNO-MT:

ing. F. van Voorneburg

RWZI 2000 89-06

17 SEP. 1997

Dagboek

INHOUDSOPGAVE

	BLZ.
VOORWOORD	5
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	11
2 PROCESBESCHRIJVING	13
2.1 Principe	13
2.2 Uitvoeringsvormen	14
2.2.1 Meertrapsindamping <u>zonder</u> damprecompressie	14
2.2.2 Meertrapsindamping <u>met</u> damprecompressie	16
2.2.3 Type dragervloeistof	18
2.3 Het C-G-proces voor slibdroging	19
2.4 Procescondities	20
3 STATUS VAN HET CARVER-GREENFIELD-PROCES VOOR HET DROGEN VAN SLIB	23
4 UITGANGSPUNTEN	27
4.1 De rioolwaterzuiveringsinrichting	27
4.2 Slibverwerkingscapaciteit	29
4.3 Slibsamenstelling	29
4.4 Ontwerpeisen	30
4.5 Systeemgrenzen voor Foster-Wheeler	30
4.6 Het bestudeerde C-G-proces	31
5 MASSA- EN ENERGIEBALANS	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Massabalans	34
5.3 Energiebalans	36
5.4 Bespreking van de resultaten	37
5.4.1 Energiebehoefte (thermisch)	37
5.4.2 Energiebehoefte (elektrisch)	38
5.4.3 Energiebenutting door gebruik van slibolie	39

6	INPASSING IN EEN BESTAANDE RWZI	41
6.1	Algemeen	41
6.2	Ontvangst	41
6.3	Condensaatzuivering	43
6.4	Afvoer	43
7	KOSTENBEREKENING EN GEVOELIGHEIDSANALYSE	45
7.1	Inleiding	45
7.2	Uitgangspunten	45
7.3	Investerings	47
7.4	De jaarkosten	48
7.5	Gevoeligheidsanalyse	49
7.5.1	Capaciteit van het Carver-Greenfield-systeem	49
7.5.2	Bedrijfstijd	50
7.5.3	Drogestofgehalte van het slib	52
7.5.4	Het gebruik van stookolie in plaats van slibolie	53
8	MILIEU-ASPECTEN	55
8.1	Afgassen	55
8.1.1	Normen voor afgasemissies	55
8.1.2	Afgasemissies van de Carver-Greenfield-droger	56
8.1.3	Toetsing van de emissies	57
8.2	Gedroogd slib	58
8.2.1	Zware metalen	58
8.2.2	Organische microverontreinigingen	58
8.2.3	Stofbezwaar tijdens transport en stort	60
8.3	Het condensaat	60
8.4	Aspecten geluidhinder	61
9	DIVERSE ASPECTEN	63
9.1	Schaalgrootte	63
9.2	Constructiemateriaal	63
9.3	Aangroei op de wanden (scaling)	64
9.4	Veiligheidsaspecten	64
9.5	Vergunningen	65
9.6	Bouwtijd	65
9.7	Rechten, vergoedingen, realisatie	66

10	DE ZWARE-OLIE-VARIANT VAN HET C- G-PROCES	67
10.1	Consequenties voor het proces	67
10.2	De bestemming van het gedroogde slib	68
10.3	Kostenaspecten	69
10.3.1	Investeringsen	70
10.3.2	De jaarkosten	71
11	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	73
12	LITERATUUR	77



## VOORWOORD

In kader van het onderzoekprogramma RWZI-2000 wordt een aantal slibverwerkings-technieken geëvalueerd. Deze evaluaties vinden plaats aan de hand van oriënterend laboratoriumonderzoek of door middel van studies naar de kostentechnische haalbaarheid en inpasbaarheid in Nederland van slibverwerkingstechnieken, die in het buitenland ontwikkeld zijn.

Het voorliggend rapport geeft de resultaten van een haalbaarheidsstudie naar het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfield proces. De studie is uitgevoerd door TNO-MT en Witteveen en Bos op basis van beschikbare gegevens uit de literatuur en met medewerking van patenthouder respectievelijk -nemer Dehydro-Tech en Foster-Wheeler USA. De uitvoerders bedanken deze bedrijven voor het beschikbaar stellen van de informatie ten behoeve van de studie en in het bijzonder de heer C.J. Crumm van Foster-Wheeler voor de plezierige samenwerking. De begeleidingscommissie bestond uit ir. K.F. de Korte (voorzitter), ir. H.L. Dorussen, ing. R. van Dalen, ir. P.J. Tessel, ir. W.G. Werumeus Buning, ir. T.W.M. Wouda, ir. P.C. Stamperius, ing. G.B.J. Rijs en ir. W. van Starckenburg.

Op basis van de onderzoeksresultaten wordt aanbevolen, eventueel na afweging met andere slibdrogingsprocessen, vervolgonderzoek overeenkomstig de aanbevelingen te initiëren. De afweging met andere slibdrogingsprocessen zal op korte termijn in een aparte studie worden geëvalueerd. Afhankelijk van de uitkomsten zal tot vervolgonderzoek besloten kunnen worden.

Lelystad, december 1989

Voor de Stuurgroep RWZI-2000

dr. J. de Jong  
(voorzitter)





## SAMENVATTING

Als onderdeel van het onderzoeksprogramma RWZI-2000 is een studie uitgevoerd naar het drogen van slib met het Carver-Greenfield(C-G)-proces. Dit proces is betrekkelijk nieuw als het gaat om de toepassing als slibdroger. Doel van de studie was het proces nader te analyseren om vast te kunnen stellen of dit systeem voor het drogen van zuiverings-slib in Nederland interessant is. De studie is uitgevoerd op basis van literatuur en met medewerking van patenthouder c.q. -nemer Dehydro-Tech en Foster-Wheeler U.S.A.

Het C-G-proces berust op het principe van "energiezuinige" meertraps-indamping, een principe dat op zich reeds lang bekend is en veelvuldig in de industrie wordt toegepast. Het bijzondere van het C-G-proces is dat een hoogkokende, niet in water oplosbare dragervloeistof (meestal olie) aan het te drogen slib wordt toegevoegd, waardoor de slibmassa tijdens het indampen vloeibaar blijft. Nadat het water is verdampt, wordt de dragervloeistof van het gedroogde slib gescheiden, waarna de vloeistof opnieuw wordt gebruikt.

Het C-G-proces kent zowel een lichte- als een zware-olie-variant. Beide kunnen voor het drogen van slib worden gebruikt. Bij de lichte-olie-variant bevat het gedroogde slib een gering percentage (< 1%) van een biologisch goed afbreekbare olie, terwijl vet- en oliehoudende bestanddelen uit het te drogen slib als "slibolie" worden afgescheiden. Deze slibolie kan als energiebron worden gebruikt. Bij de zware-olie-variant bevat het gedroogde slib een hoog percentage olie (tot circa 35%) en wordt geen slibolie geproduceerd. Het gedroogde slib kan worden gebruikt als afvalbrandstof. De zware-olie-variant heeft als voordeel dat de installatie eenvoudiger en dus goedkoper wordt. De keuze lichte- of zware-olie-variant wordt primair bepaald door de afzetmogelijkheid van het gedroogde slib.

In de studie lag het accent op de lichte-olie-variant; de zware-olie-variant is meer oriënterend beschouwd.

Verondersteld is, dat de C-G-installatie op een bestaande rioolwater-zuiveringsinrichting (rwzi) van 200.000 i.e. is geplaatst. Voorontwa-terd slib (20% d.s.) afkomstig van 500.000 i.e. (8200 ton d.s. per jaar) wordt in 5 dagen (24 uur/dag) met de lichte-olie-variant van het

C-G-proces gedroogd. De slibverwerkingscapaciteit wordt opgevuld met ontwaterd slib van andere rwzi's. Het gedroogde slib wordt gestort. Het afvalwater van de C-G-installatie (verontreinigd procescondensaat) gaat terug naar de rwzi. Ontwatering en transport van slib vallen buiten de studie.

In de studie is uitvoerig aandacht besteed aan het principe en de uitvoering van het C-G-proces, de status van het proces voor het drogen van zuiveringsslib, de energieaspecten en de inpassing van een C-G-installatie op een bestaande rwzi. Daarnaast is een analyse van de verwerkingskosten gemaakt, waarbij de invloed is nagegaan van de verwerkingscapaciteit, van het drogestofgehalte van het ingaande slib, van de bedrijfstijd en van het gebruik van stookolie in plaats van slibolie. Tevens is gekeken naar de milieuaspecten van de C-G-slibdrooginstallatie en naar de consequenties als de lichte-olie-variant wordt vervangen door de zware. Tenslotte zijn enkele aspecten in beschouwing genomen die direct verband houden met het ontwerp en de bouw van een C-G-installatie. Hierbij moet worden gedacht aan schaalgrootte, veiligheid, vergunningen, bouwtijd, rechten e.d.

De studie heeft geleid tot een aantal inzichten, resultaten en conclusies, waarvan de belangrijkste in deze samenvatting zijn opgenomen. Het C-G-proces is een gecompliceerd proces, bedrijfsvreemd en ingewikkelder dan andere slibverwerkingstechnieken. Het proces vraagt om een vol-continue bedrijfsvoering en een grote verwerkingscapaciteit (liefst  $\geq 30$  ton d.s. per dag). Procesoperators zijn nodig voor de bediening van de installatie. Bepalend voor de proceskeuze (lichte of zware olie) is de afzet van het gedroogde slib, hergebruik als organische meststof/storten of gebruik als afvalbrandstof. Voordelen van dit systeem boven een conventioneel slibdroogstelsel zijn een lager energieverbruik en een kleinere afgasstroom. Hiertegenover staan hogere investeringskosten.

Hoewel het C-G-proces industrieel op betrekkelijk grote schaal wereldwijd wordt toegepast, is de ervaring met de lichte-olie-variant voor slibdroging nog beperkt. De indruk bestaat dat deze variant voor het drogen van slib nog niet als een bewezen techniek kan worden aangemerkt. Dit ligt anders voor de zware-olie-variant, die in Japan al meerdere jaren op enkele rwzi's wordt toegepast.

De vrijkomende slibolie levert bij de lichte-olie-variant een belangrijke bijdrage aan de energievoorziening. Als het gehalte olie- en vetbestanddelen in het slib hoog is (10% of meer op d.s.-basis) dan kan de installatie onder de gekozen procescondities mogelijk zelfs autotherm werken.

De jaarkosten voor het drogen van voorontwaterd slib met een lichte-olie C-G-installatie (capaciteit 8200 ton d.s. per jaar) komen op *f* 690 per ton droge stof. In deze kosten zijn wel de stortkosten, maar niet de transportkosten van de slibaanvoer verdisconteerd. De kapitaallasten zijn in belangrijke mate bepalend voor de jaarkosten. Verhoging van de verwerkingscapaciteit heeft derhalve een grote invloed op de kosten. Bij een capaciteit van 30.000 ton d.s. per jaar (1.800.000 i.e.) nemen de jaarkosten af tot *f* 435 per ton d.s. Variatie in begin-drogestofgehalte, bedrijfstijd en gebruik van stookolie, hebben een kleinere invloed op de verwerkingskosten.

De C-G-installatie kan in principe goed worden ingepast in een bestaande rwzi van voldoende capaciteit. Het condensaat is niet sterk verontreinigd en kan zonder voorzuivering op de rwzi worden geloosd. In het onderhavige geval werd een CZV- en N-Kj-vracht op de rwzi van respectievelijk 1 en 6% berekend.

Op dit moment is niet duidelijk aan welke emissienorm de C-G-installatie moet voldoen. Bij toetsing aan de Richtlijn verbranden 1989 wordt niet aan de eis van NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en stof voldaan. Extra technische maatregelen zijn nodig. De extra kosten hiervoor worden geraamd op circa *f* 20,- per ton droge stof. Veel "harde" cijfers ontbreken op dit gebied. De installatie stelt hoge eisen aan de veiligheid.

De engineering en de bouw van dit Amerikaanse proces kan in Nederland worden gedaan. Een "proces design package" is te koop, royalties zijn niet verschuldigd.

Voor het drogen van slib bij grote capaciteiten komt het C-G-proces in principe in aanmerking. Het verdient daarbij aanbeveling om grondig kennis te nemen van de Amerikaanse en Japanse ervaringen en een vooronderzoek op pilot-plant schaal uit te voeren onder Nederlandse omstandigheden.



## 1 INLEIDING

In het kader van de verwerking van zuiveringsslib hebben zich recentelijk enkele nieuwe ontwikkelingen aangediend. Eén daarvan is het Carver-Greenfield droogproces dat gebaseerd is op meertrapsverdamping en gebruik maakt van dragerolie. Deze olie zorgt ervoor dat het te drogen slib in de installatie verpompbaar blijft.

Bij de uitvoering van de studie aan dit systeem is gebruik gemaakt van literatuur die via een computerrecherche werd verkregen, alsmede van openbare informatie, verstrekt door de patenthouder (Dehydro-Tech) en leverancier van het proces (Foster-Wheeler USA). De laatste is zowel mondeling als schriftelijk benaderd.

De studie is uitgevoerd voor het actiefslibstelsysteem in combinatie met een slibgisting. Het zuiveringsslib uit de slibgisting wordt na mechanische ontwatering tot 20% droge stof in de Carver-Greenfield-installatie gedroogd. Het gedroogde slib wordt gestort of als brandstof gebruikt.

De slibverwerkingscapaciteit is uit oogpunt van bedrijfskosten vastgesteld op 500.000 i.e. Hierbij is verondersteld dat de Carver-Greenfield-installatie op een bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) wordt geplaatst en dat de slibverwerkingscapaciteit wordt opgevuld met slib van andere rwzi's. De Carver-Greenfield-installatie is gedurende 5 dagen per week vol-continu (24 uur per dag) in bedrijf. In de capaciteit is een reservestelling van circa 30% opgenomen.

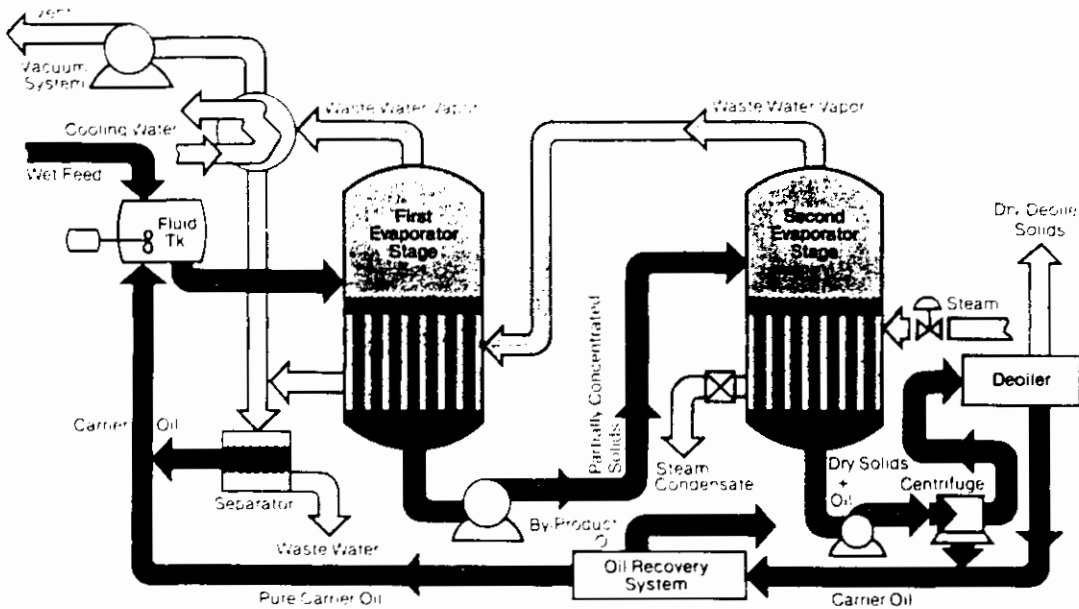
Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het Carver-Greenfield-proces. In hoofdstuk 3 wordt de stand van zaken met betrekking tot het Carver-Greenfieldproces beschreven, waarbij met name is gekeken naar de toepassing als slibdroogstelsysteem. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de uitgangspunten die bij de studie zijn gebruikt en die tot de vraagstelling aan de leverancier hebben geleid. Tevens wordt een procesbeschrijving gegeven van de op basis van de in dit hoofdstuk geformuleerde uitgangspunten "aangeboden" installatie. De voor het Carver-Greenfield-proces opgestelde massa- en energiebalansen komen in hoofdstuk 5 aan de orde. Hierna wordt in hoofdstuk 6 ingegaan op de inpas-

sing van de installatie op een bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting. In de hoofdstukken 7 en 8 worden respectievelijk de kosten en de milieu-aspecten besproken. Veiligheidsaspecten, vergunningen en diverse andere aspecten die direct met de bouw van een Carver-Greenfield-installatie te maken hebben, zijn in hoofdstuk 9 beschreven. In hoofdstuk 10 wordt een korte beschouwing van een andere Carver-Greenfield procesvariant gegeven. Het rapport wordt afgesloten met een bespreking van de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 11).

2 PROCESBESCHRIJVING

2.1 Principe

Het Carver-Greenfield-proces berust op het principe van meertrapsverdamping. Meerdere enkelvoudige verdampers worden op een zodanige wijze aan elkaar gekoppeld dat de hete damp uit de ene verdampertrap kan worden gebruikt om de vereiste energie voor de volgende verdampertrap te leveren. Als twee verdampers (tweetraps, zie figuur 1 [1]) met elkaar worden verbonden, verloopt het verdampingsproces als volgt.



Figuur 1: Tweetraps Carver-Greenfield indamper

Aan de buitenzijde van de pijpenbundel van de warmtewisselaar van de tweede verdamper wordt verse stoom gezet. De stoom verwarmt de in te dampen vloeistof binnen in de pijpen. De hieruit vrijkomende damp gaat vervolgens naar de warmtewisselaar van de gelijksoortige eerste verdamper. De hete damp uit de tweede verdamper heeft dezelfde functie in de eerste verdamper als de verse stoom in de tweede verdamper. De damp uit de eerste verdamper wordt in een condensor gecondenseerd. Voor het handhaven van een temperatuurgradiënt over de diverse verdampertrappen



vindt de verdamping onder vacuüm plaats. Hiermee wordt bereikt dat de kooktemperatuur wordt verlaagd.

Het grootste probleem bij meertrapsverdamping ontstaat als het drogestofgehalte van de in te dampen vloeistof een waarde bereikt, waarbij de ingedikte vloeistof niet meer verpompbaar is. Dan ontstaat er een transport- en warmteoverdrachtsprobleem. Om dit probleem te ondervangen, wordt bij het Carver-Greenfield-proces (verder te noemen C-G-proces) een hoogkokende, niet in water oplosbare dragervloeistof toegevoegd. Deze vloeistof zorgt ervoor dat tijdens het indampproces de in te dampen vloeistof, ondanks de continue toename van het drogestofgehalte tot circa 100%, verpompbaar blijft.

## 2.2 Uitvoeringsvormen

Het C-G-proces kent een aantal uitvoeringsvormen op grond van verschillen in:

- type verdamper: omloop- of valstroomverdamer;
- verdamperconfiguratie: het aantal verdampertrappen al dan niet in combinatie met damprecompressie;
- type dragervloeistof, waarbij onderscheid wordt gemaakt in zware- en lichte olie.

Een aantal varianten zal in deze paragraaf worden besproken. Uitgangspunt hierbij is de toepassing voor het drogen van zuiverings-slib.

### 2.2.1 Meertrapsindamping zonder damprecompressie

-----

In figuur 1 is het proces schematisch voorgesteld voor een tweetrapsinstallatie. De beschrijving hiervan is als volgt.

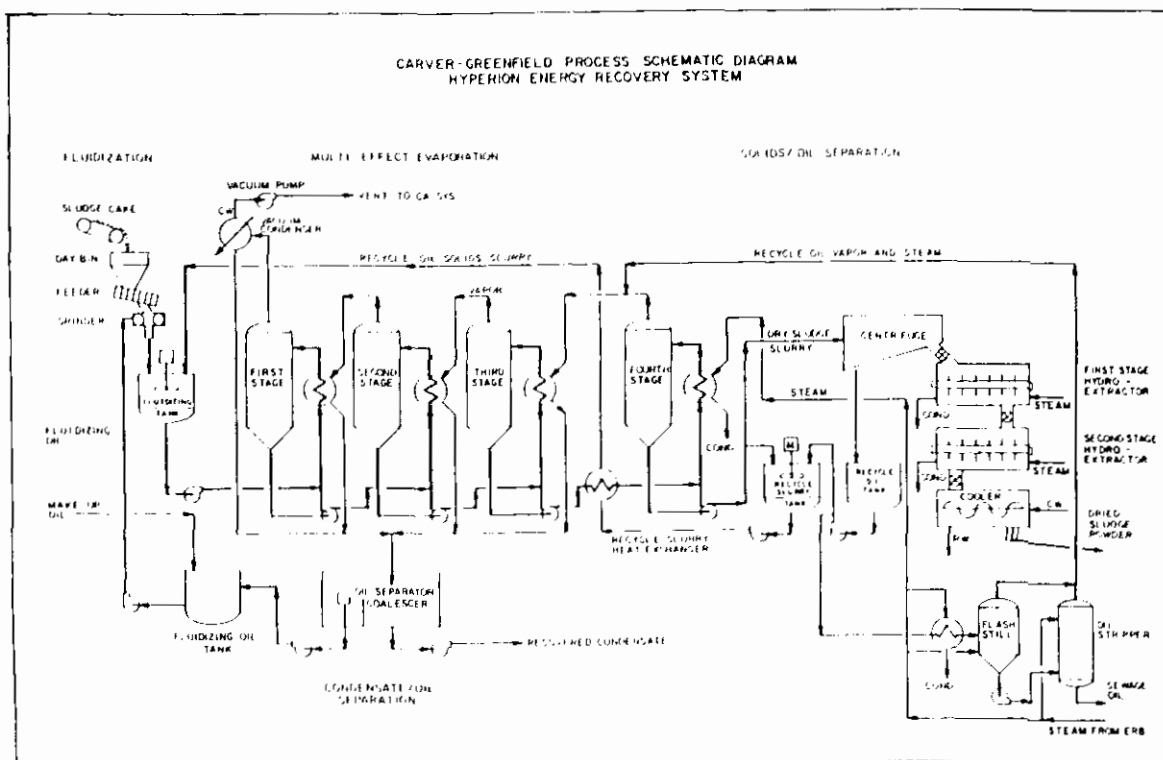
Het slib wordt naar een tank getransporteerd voor de menging met de dragerolie. Het mengsel wordt vervolgens gevoed aan de eerste verdampertrap, waar het wordt verwarmd met damp uit de tweede trap. De druk in de verdamper wordt gereduceerd met een vacuümpomp om ervoor te zorgen dat de verdamping bij een lagere temperatuur plaatsvindt. De damp uit de eerste trap wordt gecondenseerd in een condensor, die zich vóór de vacuümpomp bevindt. Het condensaat met de mee verdampte olie wordt

naar de olie-waterscheider afgevoerd. De damp uit de tweede trap, die condenseert in de eerste trap, wordt eveneens naar de olie-waterscheider gevoerd. Nadat olie en water zijn gescheiden, wordt de olie teruggevoerd naar de mengtank. Voor een verdere verlaging van het oliegehalte kan het afgescheiden water door een coalescer worden gepompt, alvorens te worden gezuiverd. Vanuit de eerste verdampertrap wordt het mengsel van dragerolie, resterend water en droge stof naar de tweede trap getransporteerd, waar weer een deel van het water verdampt. Meestal worden de verdampers zodanig ontworpen, dat in elke trap evenveel water verdampt. In het onderhavige tweetrapssysteem wordt de verse stoom aan de tweede trap toegevoegd. Bij meer dan twee verdampertrappen gebeurt dit in de laatste trap. Daarin wordt zoveel stoom toegevoerd dat al het resterende water in het slib verdampt. Uit de laatste trap komt dan een mengsel van droge stof en dragerolie. Dit mengsel gaat naar een centrifuge, waarin droge stof en dragerolie van elkaar worden gescheiden. Na een eventuele extra oliescheidings- en opwerkingsstap (zie paragraaf 2.2.3), wordt de olie voor hergebruik teruggevoerd naar de mengtank.

Uit de beschrijving blijkt dat de slib- en de dampstroom zich in tegenovergestelde richting bewegen.

In dit voorbeeld is uitgegaan van een tweetrapsinstallatie. In de praktijk worden vaak meer dan twee trappen toegepast. Het aantal trappen kan niet onbeperkt worden uitgebreid: de beschikbare temperatuurgradiënt per verdampertrap wordt dan te klein en dus het verwarmend oppervlak van de warmtewisselaar te groot en de energiebesparing door een lager stoomverbruik bij toepassing van nog meer trappen weegt niet meer op tegen de hogere kapitaalskosten.

Voor het drogen van zuiveringsslib volgens het C-G-proces worden veelal drie- of viertrapsinstallaties toegepast. Figuur 2 [2] geeft een schematische voorstelling van een viertrapsinstallatie. Het principe hiervan komt overeen met het hier besproken tweetrapssysteem.



Figuur 2: HERS Carver-Greenfield plant

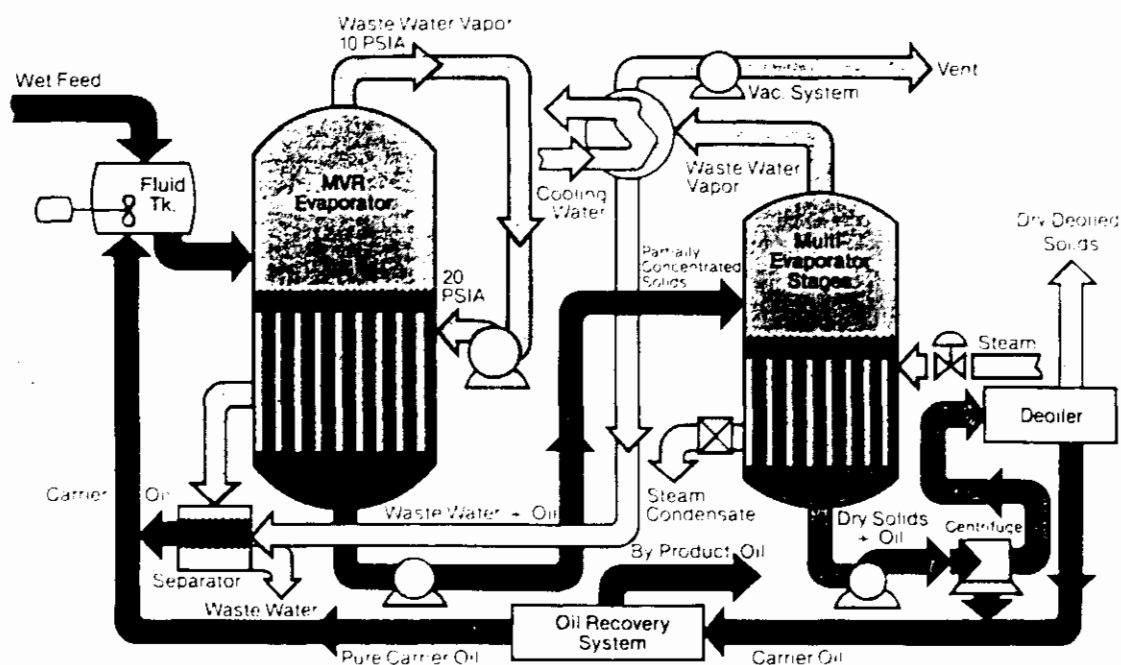
### 2.2.2 Meertrapsindamping met damprecompressie

Bij damprecompressie wordt de uit de indamper komende damp in druk verhoogd en opnieuw gebruikt om een andere trap te verwarmen, of om zichzelf "aan te drijven". Door de dampdruk te verhogen neemt de energie-inhoud van de waterdamp toe. De gecomprimeerde waterdamp (lage-drukstoom) wordt aan de buitenzijde van de pijpenbundel van de warmtewisselaar van de verdamper toegevoerd. De gecomprimeerde damp levert voldoende energie om een deel van het water uit het slib te verdampen. Naar de wijze van dampdrukverhoging onderscheidt men thermische compressie en mechanische compressie, waarbij een compressor wordt toegepast. Het C-G-proces maakt voor zover bekend uitsluitend gebruik van de mechanische damprecompressie (in het Engels MVR = mechanical vapour recompression), waarbij elektrische energie aan de compressor wordt toegevoerd voor het leveren van de benodigde compressie-arbeid.

Of damprecompressie zinvol kan worden toegepast, is onder andere afhankelijk van het drogestofgehalte in de verdamper. Bij een toenemend drogestofgehalte neemt de waterverdampingscapaciteit af, omdat enerzijds de viscositeit toeneemt en anderzijds de temperatuurgradiënt door kookpuntsverhoging afneemt. Om het verlies aan verdampingscapaciteit te compenseren, moet de energie-inhoud van de damp verder worden verhoogd. Dit betekent een verdere verhoging van de dampdruk, waardoor meer vermogen aan de compressor moet worden toegevoerd om de noodzakelijke drukverhoging te kunnen realiseren. Dit resulteert in een hoger elektriciteitsverbruik. Bij een bepaald drogestofgehalte (circa 35%) kan damprecompressie om economische redenen nadelig worden vanwege de hoge elektriciteitskosten. De MVR-trap wordt steeds gevolgd door één of meer verdampertrappen. In figuur 3 [1] wordt de MVR-trap gevolgd door één verdamper.

In dit geval wordt de damp uit de tweede trap in de condensor vóór de vacuümpomp gecondenseerd. De procesbeschrijving is verder analoog aan de in paragraaf 2.2.1 gegeven beschrijving.

In de onderhavige studie wordt een systeem beschouwd, bestaande uit de MVR-trap gevolgd door twee verdampertrappen (beschrijving paragraaf 4.6).



Figuur 3: MVR meertraps Carver-Greenfield-indamper

### 2.2.3 Type dragervloeistof

-----

Het C-G-proces voor slibdroging kent een zware- en een lichte-olie-variant. De keuze hiervan wordt primair bepaald door de bestemming van het gedroogde eindprodukt. Wordt dit produkt na droging verbrand ten behoeve van energiewinning, dan kan in principe de zware-olie-variant worden toegepast. Een hoeveelheid dragerolie in het eindprodukt is geen probleem, omdat dit ten goede komt aan de energieproductie. Er worden dan geen hoge eisen gesteld aan de olieterugwinning; centrifugeren, eventueel in combinatie met een schroefpers, is reeds voldoende (zie hoofdstuk 10).

Wanneer het gedroogde produkt wordt gebruikt als meststof of moet worden gestort, is een hoog gehalte aan een niet, of moeilijk afbreekbare, olie ongewenst. Dan wordt lichte olie toegepast, die zeer vergaand uit het gedroogde slib wordt verwijderd. Gezien de prijs van deze olie en het gewenste lage oliegehalte in het eindprodukt, worden er aanmerkelijk hogere eisen aan de olie-afscheiding en terugwinning gesteld. Op grond van het uitgangspunt dat het gedroogde slib wordt gestort of eventueel nuttig wordt gebruikt, is gekozen voor de lichte-olie-variant. In een centrifuge vindt de scheiding tussen droge stof en dragerolie plaats. De droge stof bevat nog restanten dragerolie die in een zogenaamde hydro-extractor (ook wel "devolatiser" genoemd) uit de droge stof worden afgescheiden. Hierbij wordt de centrifugekoek onder vacuüm met stoom verhit, waardoor de dragerolie van de koek wordt afgedampt. De vrijkomende olie- en waterdamp worden teruggevoerd in het verdampingsproces en daar gecondenseerd.

Bij het C-G-proces worden in het slib aanwezige olie en vet (slibolie) met de lichte dragerolie geëxtraheerd. Om schuimvorming en warmteoverdrachtsproblemen door toenemende slibolieconcentraties te voorkomen, wordt een deel van de dragerolie naar een scheidingskolom gestuurd. De dragerolie wordt hierin onder vacuüm verwarmd en met stoom gestript. Olie-damp en stoom worden teruggevoerd in het verdampingsproces, terwijl de slibolie uit het C-G-proces wordt afgevoerd. Deze olie kan als brandstof worden gebruikt.

### 2.3 Het C-G-proces voor slibdroging

In figuur 2 is het gehele slibdroogproces schematisch voorgesteld, waarbij drie procesgedeelten kunnen worden onderscheiden:

- slibvoorbewerking;
- meertrapsindamping;
- droge stof/olie-scheiding.

- Slibvoorbewerking, bestaande uit een maalapparaat en een mengtank. Afhankelijk van de aard van het slib kan het nodig zijn het slib vooraf te vermalen om verstopping in het systeem te voorkomen. Dit geldt zeker voor primair slib. Voor gemengd slib zal dit per geval moeten worden bezien. De aanwezigheid van zand in het slib kan tot verhoogde slijtage leiden. Verwijdering vooraf kan gewenst zijn. In het processchema is te zien dat een deel van de droge stof en de dragerolie wordt gerecirculeerd over de mengtank om het drogestofgehalte in de voeding op het gewenste niveau te brengen.

- Meertrapsindamping, in dit geval bestaande uit vier trappen. De meertrapsindamper is opgebouwd uit verdamperlichamen met dampkamers voor de scheiding vloeistof/damp, circulatiepompen, een condensor, een vacuümpomp, een olie-waterscheider, een coalescer en een olie-recirculatietank. De in serie geschakelde verdampers vormen het hart van de C-G-installatie. Hoewel hiervoor in principe valstroomverdampers kunnen worden gebruikt, worden bij het drogen van slib veelal omloopverdampers (Engels: forced circulation evaporators) toegepast. De reden hiervan is dat in dit verdampertype een betere warmte-overdracht kan worden bereikt.

De scheiding tussen dragerolie en procescondensaat wordt in een eenvoudige gravitatie-afscheider zonder lamellen uitgevoerd. Na deze afscheider is een coalescer geplaatst - een rechtopstaande, cilindrische kolom voorzien van draadvormig vulmateriaal ("pannenspons") - om eventueel nog aanwezige oliedruppeltjes uit het condensaat af te scheiden.

- Droge stof/olie-scheiding, bestaande uit een centrifuge, een hydro-extractor, een stripper en een (produkt)koeler. Naast de verdampersectie vormt de olie-afscheiding een belangrijk

procesonderdeel. Voor de scheiding droge stof/dragerolie wordt een gasdichte decanteercentrifuge (Engels: horizontal solid bowl centrifuge) gebruikt. De verdere verwijdering van de lichte olie vindt plaats in de hydro-extractor. Dit apparaat is een indirecte stoomdroger: een dubbelwandige, horizontale goot voorzien van een dubbele, holle schroef. Stoom wordt toegevoerd op de schroef en op de buitenmantel van het apparaat. De lichte-olie-separator, waarin slibolie en dragerolie met behulp van stoominjectie van elkaar worden gescheiden, bestaat in principe uit een verticaal opgestelde pijpenwarmtewisselaar. Aan de buitenzijde van de pijpen wordt stoom voor verwarming toegevoerd, terwijl onder in het apparaat de "stripstoom" wordt ingeblazen. Het gedroogde slib dat uit de hydro-extractor komt, wordt gekoeld alvorens het uit de installatie wordt afgevoerd.

#### 2.4 Procescondities

Bij het C-G-proces zijn de belangrijkste procescondities de temperatuur en de druk in de verschillende verdampertrappen, waarbij de verdamping wordt uitgevoerd. Het temperatuur- en drukverloop is in sterke mate afhankelijk van de gekozen verdamperconfiguratie (aantal trappen, wel of geen damprecompressie) en van het aangelegde vacuüm. Het temperatuur- en drukverloop in een viertrapsverdamer kan er als volgt uitzien [3]:

- vierde trap, 1e effect (stoomtoevoer)       $t = 82 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,51 \text{ bar}$
- derde trap       $t = 71 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,27 \text{ bar}$
- tweede trap       $t = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,19 \text{ bar}$
- eerste trap, 4e effect (aan vacuümpomp)       $t = 49 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,10 \text{ bar}$

Daarnaast is de aard van de vloeistof of suspensie van belang in verband met de kookpuntsverhoging.

Andere belangrijke condities voor het goed functioneren van het proces zijn de verhouding dragerolie : droge stof (meestal 5 à 10 : 1) en de verhouding droge stof : water + droge stof (= drogestofgehalte) in de verschillende verdampertrappen. Deze laatste verhouding moet tussen bepaalde waarden worden gehouden, aangezien anders door emulsievorming de viscositeit plotseling sterk toeneemt en kans bestaat op verstopping van de verdamperpijpen. Deze kritieke kleeffase, die de "gummy

phase" wordt genoemd, is onder andere afhankelijk van de aard van het slib. Het drogestofgehalte waarbij de "gummy phase" optreedt, dient experimenteel te worden vastgesteld. Het is een belangrijk gegeven voor het procesontwerp.





3 STATUS VAN HET CARVER-GREENFIELD-PROCES VOOR HET DROGEN VAN SLIB

Het Carver-Greenfield-proces is een gepatenteerde techniek voor de verwijdering van water door middel van meertrapsverdamming, waarbij olie als hulpstof wordt gebruikt. Het proces is eigendom van Dehydro-Tech Corporation, East Hanover, New Jersey, en wordt thans door Foster-Wheeler Corporation, Livingstone, New Jersey, op de markt gebracht.

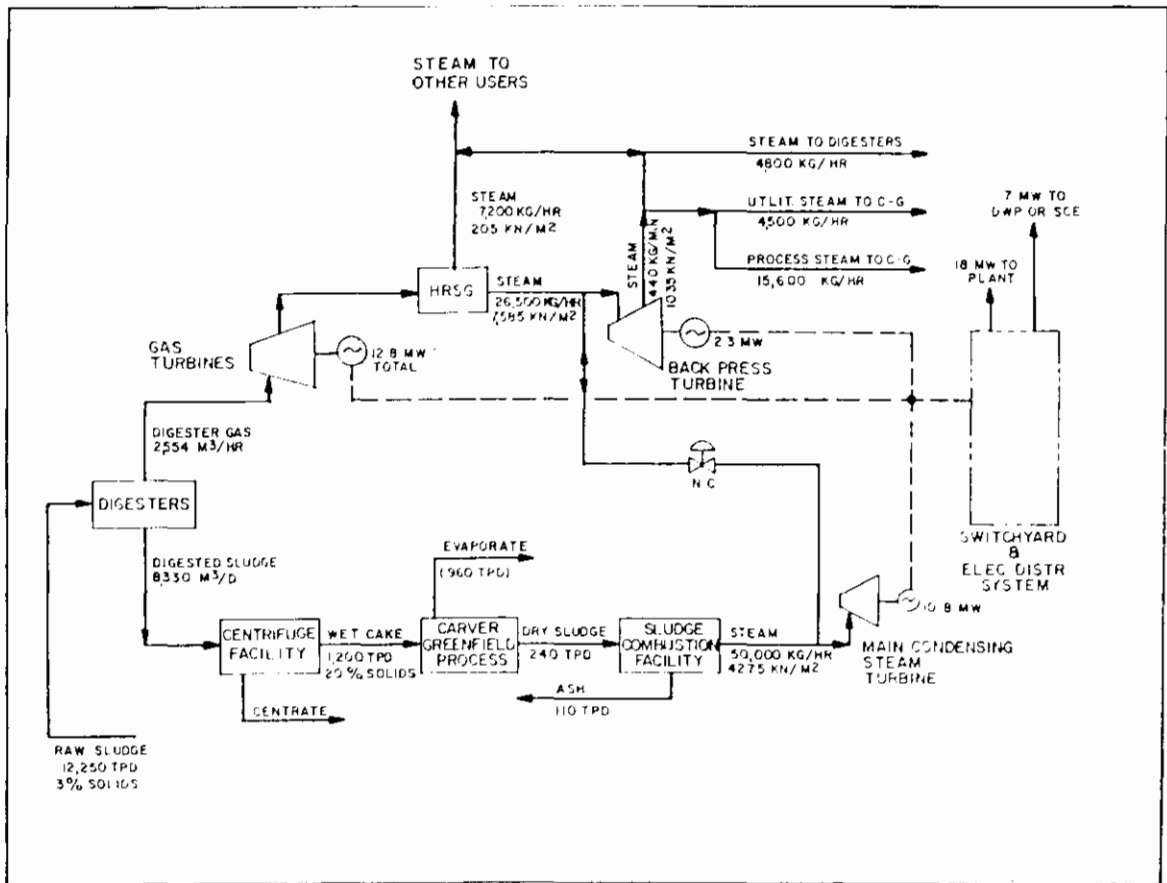
Sinds de uitvinding zijn er wereldwijd 65 à 70 installaties gebouwd [4], de eerste in 1961. C-G-installaties zijn onder andere in gebruik voor het drogen van produkten en afvalstoffen uit de voedingsmiddelen-industrie, de farmaceutische industrie, de chemische industrie, de alcoholbereiding, bierbrouwerijen en destructiebedrijven. De meeste C-G-installaties (circa 53) zijn geplaatst in de laatstgenoemde sector, onder andere ook in Nederland.

De eerste C-G-installaties voor het drogen van zuiveringsslib zijn in de zeventiger jaren in Japan gebouwd. In 1975 kwam, onder licentie van Ebara-Infilco Engineering in Hiroshima, de eerste praktijkinstallatie voor het drogen van "night soil" tot stand. De indampinstallatie, die uit vier trappen bestaat, heeft een verwerkingscapaciteit van 900 kg droge stof per uur; de waterverdamingscapaciteit bedraagt 45,3 ton per uur [5]; het gedroogde materiaal wordt verbrand.

In 1976 is in Fukuchiyama een tweede C-G-installatie [5, 6] voor zuiveringsslib in bedrijf genomen. In de drietrapsinstallatie wordt een mengsel van primair slib en surplusactiefslib met een drogestofgehalte van 5 à 6% gedroogd. De installatie verwerkt circa 6,4 ton nat slib per uur. Het gedroogde materiaal wordt verbrand. Met de beschikbaar gekomen warmte wordt stoom opgewekt, die op de zuiveringsinrichting wordt gebruikt. Deze C-G-installatie heeft als prototype gediend voor een vijftal grootschalige installaties. Een installatie voor Tokyo bevindt zich thans in de aanbiedingsfase. De installatie zal bestaan uit vier trappen. De ontwerpcapaciteit bedraagt 50 ton droge stof per dag. Omdat een niet-vluchtige (zware) olie wordt gebruikt, zullen er schroefpersen worden toegepast om zoveel mogelijk dragervloeistof uit de centrifugekoek van het gedroogde slib te verwijderen.

Het is in dit verband belangrijk op te merken dat de hiervoor genoemde C-G-installaties met een soort huisbrandolie (medium grade fuel oil) als dragervloeistof werken. Sinds 1981 is Dehydro-Tech overgegaan op de bouw van installaties volgens het Carver-Greenfield Light Oil Process. Dit proces wordt nu ook voor het drogen van zuiverings-slib aanbevolen en toegepast.

In Amerika dateren de eerste concrete plannen voor de bouw van een C-G-installatie voor het drogen van zuiverings-slib van een rioolwater-zuiveringsinrichting volgens de lichte-olie-variant uit maart 1980. In 1981 werd besloten tot de bouw van een C-G-slibdrooginstallatie voor de City of Los Angeles/Orange County Metropolitan Area (LA/OMA-project). Deze staat bekend onder de naam HERS (Hyperion Energy Recovery System), een project dat in belangrijke mate gericht is op energiewinning en -benutting. Dit is vermoedelijk ook de reden van de vele energiekoppelingen (zie figuur 4 [7]), die het slibverwerkingsstelsel kent en de gecompliceerde proceskeuze.



Figuur 4: HERS proces- en energiestroomschema

De installatie is gebouwd voor een verwerkingscapaciteit van 240 ton droge stof per dag en bestaat uit drie parallelle viertraps C-G-installaties, elk met een capaciteit van 120 ton droge stof per dag: twee in bedrijf, één "standby". Het slib, een mengsel van primair en secundair slib, heeft na vergisting en ontwatering met centrifuges een drogestofgehalte van 20% (18% d.s., 2% slibolie en 80% water). Na droging ontstaat hieruit 221 ton gedroogd slib per dag, resulterend in 110 ton as en circa 19 ton slibolie. Gistingsgas, slibolie en gedroogd slib worden gebruikt voor de opwekking van stoom en elektriciteit. De verwachte produktie aan elektriciteit bedraagt 25 MW. Na aftrek van 8 MW voor de HERS-slibverwerkingsinstallatie en 10 MW voor de rioolwaterzuiveringsinrichting resteert een netto-produktie van 7 MW. De diverse processtappen zijn schematisch voorgesteld in figuur 5 [7].

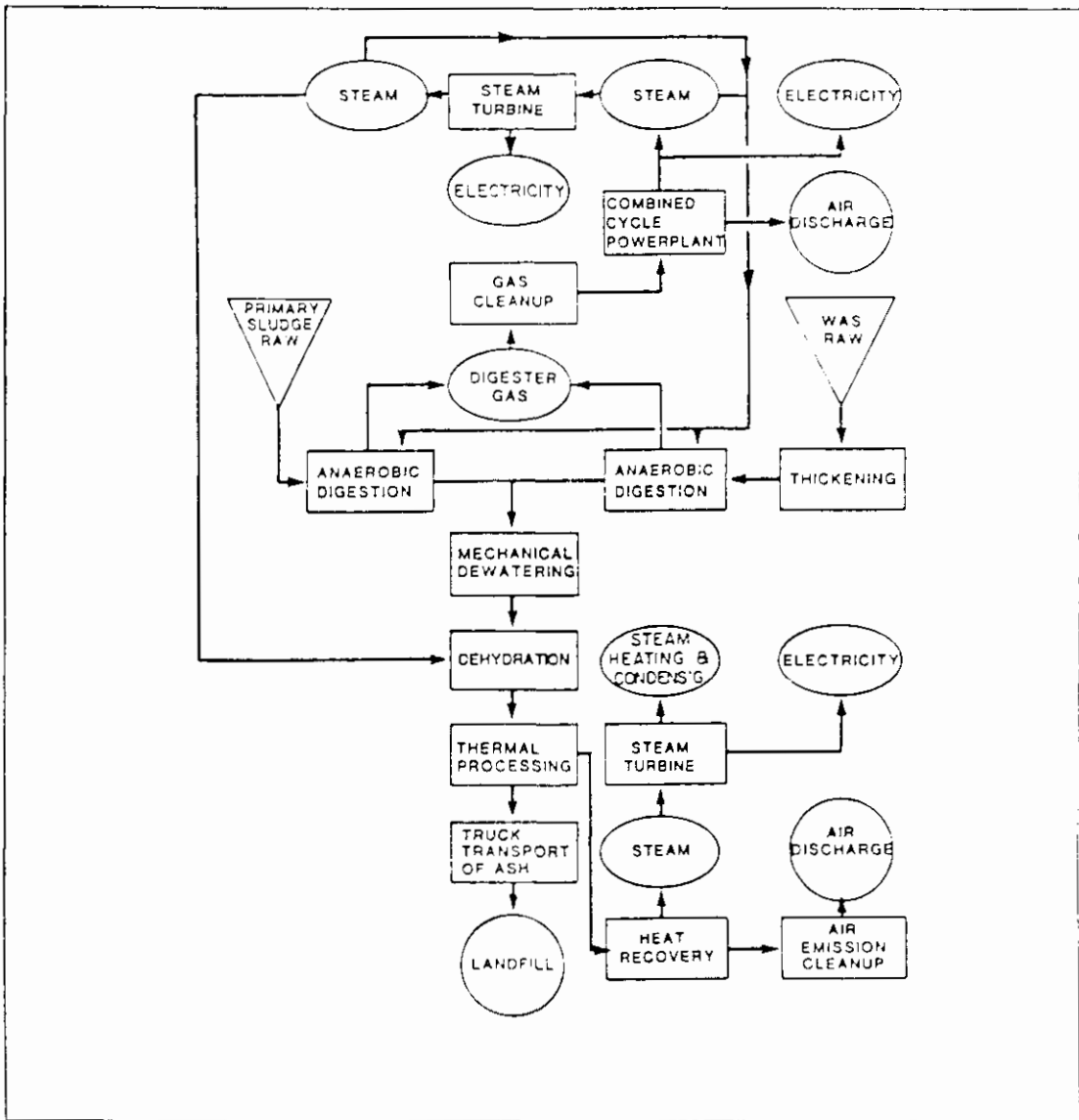
Met de bouw van de hier genoemde installatie is in 1983 begonnen. In 1986 is de installatie nagenoeg gereed gekomen. De verwachting dat de installatie begin 1987 operationeel zou zijn, is tot op heden (maart 1989) niet bewaarheid [18].

Volgens literatuur [5] bevinden er zich nog enkele lichte-olie C-G-installaties voor zuiveringsslib in de aanbiedings-/engineeringfase:

- County of Los Angeles, Los Angeles, CA (capaciteit 220 ton d.s./dag; gedroogd slib voor elektriciteitsopwekking),
- City of Trenton, Trenton NJ (capaciteit 106 ton d.s./dag; gedroogd slib als meststof),
- Ocean County Utility Authority, NJ (capaciteit 45 ton d.s./dag; gedroogd slib als meststof).

Verwacht wordt dat de bouw van deze installaties niet vóór 1990 gereed zal zijn.

Opgemerkt wordt dat alle hier genoemde installaties bestaan uit drie- of viertrapsindampinstallaties zonder damprecompressie.



Figuur 5: Schematische voorstelling van het HERS-project

#### 4 UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk zijn de uitgangspunten voor de studie van het C-G slibdroogproces beschreven.

##### 4.1 De rioolwaterzuiveringsinrichting

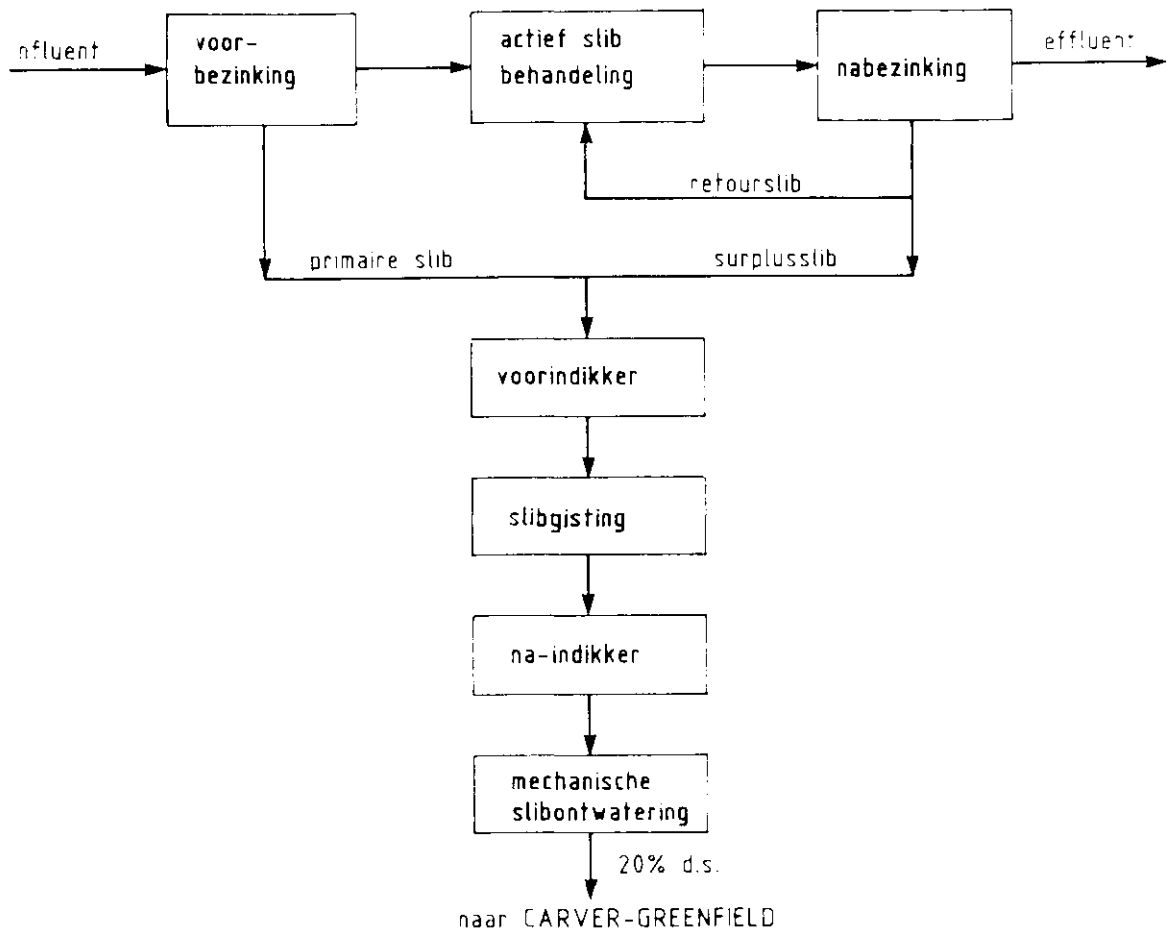
In deze evaluatie is de Carver-Greenfield-installatie gesitueerd op een bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi).

In tabel 1 is het aantal en de gesommeerde belasting van de Nederlandse rwzi's als functie van de installatiegrootte weergegeven.

Tabel 1: Het aantal en de gesommeerde belasting van de rwzi's als functie van de installatiegrootte (bron: Jaarverslagen Waterkwaliteitsbeheerders 1985)

Grootte installatie [i.e. belast]	Aantal [-]	Gesommeerde belasting [i.e.]	
< 50.000	428	5.249.100	(31%)
50.000 - 100.000	46	3.275.800	(20%)
100.000 - 200.000	22	3.098.400	(19%)
200.000 - 300.000	7	1.801.000	(11%)
300.000 - 400.000	3	1.006.700	(6%)
≥ 400.000	4	2.182.700	(13%)
	510	16.613.700	(100%)

De voor deze evaluatie gekozen installatiegrootte van de rwzi dient enerzijds voldoende te zijn in relatie tot de capaciteit van de Carver-Greenfield-installatie. Anderzijds dient er in Nederland een redelijk aantal rwzi's met gekozen installatiegrootte voor te komen. Daarom wordt in deze evaluatie uitgegaan van een rwzi van 200.000 i.e. In figuur 6 is de rwzi schematisch weergegeven.



Figuur 6: Schematische weergave rwzi

Het slib wordt gevormd in de voorbezinking en in het actief-slib-proces. Het surplusslib wordt samen met het primaire slib afgevoerd naar de voorindikker en vervolgens naar de slibgisting. Daar wordt de organische fractie van het slib onder anaërobe condities gedeeltelijk afgebroken, waarbij het slib wordt gestabiliseerd en methaangas wordt geproduceerd. Na de slibgisting wordt het gestabiliseerde slib in een na-indikker verder ingedikt tot 5% droge stof. Hierna wordt het slib,

na chemische conditionering met polymeren, mechanisch verder ontwaterd met een centrifuge of zeefbandpers.

#### 4.2 Slibverwerkingscapaciteit

De evaluatie wordt uitgevoerd voor een Carver-Greenfield-systeem met een capaciteit van 500.000 i.e. De eigen slibproductie van de rwzi is 200.000 i.e. en slib van 300.000 i.e. wordt van elders aangevoerd. De reden voor de keuze van deze gecentraliseerde slibverwerking is dat Foster-Wheeler een systeem met een kleinere capaciteit economisch niet haalbaar acht. Een i.e. levert ongeveer 45 g d.s./dag aan uitgestist slib, zodat  $500.000 * 45 \cdot 10^{-3} = 22.500$  kg d.s./dag (8200 ton d.s. op jaarbasis) wordt geproduceerd.

Het slib van elders wordt aangevoerd gedurende 8 uur per dag en 5 dagen in de week. Het slib van de eigen rwzi wordt aangevoerd gedurende 24 uur per dag en 7 dagen in de week.

Het Carver-Greenfield-systeem heeft tijdens het in bedrijf zijn toezicht nodig. Foster-Wheeler acht een bedrijfstijd van 5 dagen per week en 24 uur per dag noodzakelijk. In deze evaluatie wordt uitgegaan van een vierploegendienst van twee bedieningsmensen per ploeg.

Het gedroogde slib wordt afgevoerd naar de stort.

#### 4.3 Slibsamenstelling

Uitgegaan wordt van de volgende slibsamenstelling:

- droogrest : 20% (55% organisch, 45% as);
- olie en vetten: 5-10% van de droogrest;
- CZV : 0,8 kg/kg d.s.;
- N-totaal : 50 g/kg d.s.;
- chloriden : 0,1 - 0,3 kg/m<sup>3</sup>;
- calcium : 0,85 kg/m<sup>3</sup>.

Het slib, ook het slib dat van elders wordt aangevoerd, is geconditioneerd met poly-elektrolieten en vervolgens met centrifuges of zeefbandpersen ontwaterd.



#### 4.4 Ontwerpeisen

De gemiddelde slibaanvoer naar de installatie is  $(22.500 * 7/5)/24 = 1.313$  kg d.s./uur. Het drogestofgehalte van het ingaande slib is 20 gew.%. Het gemiddelde volumedebiet naar de installatie is  $6,2$  m<sup>3</sup>/uur. Voor de behandeling van piekaanvoeren (max. 25%) en voor het behandelen van de extra produktie als gevolg van storingen en opstartperiodes, wordt een overcapaciteit van 30% aangehouden. De ontwerpcapaciteit van het systeem komt op  $1.750$  kg d.s./uur ( $8,3$  m<sup>3</sup>/uur).

Het minimale drogestofgehalte van het gedroogde slib is gesteld op 95%.

#### 4.5 Systeemgrenzen voor Foster Wheeler

Zoals reeds eerder is vermeld, zijn de systeemkeuze en de dimensionering van de Carver-Greenfield-installatie verzorgd door Foster-Wheeler. In overleg zijn de systeemgrenzen bepaald. Alle procesapparatuur binnen de afgesproken grenzen evenals de grenzen zelf behoren tot de aanbieding van Foster-Wheeler.

De Carver-Greenfield-installatie wordt begrensd door:

- de transporteur, waarmee het slib uit de slibbuffer aan de Carver-Greenfield-installatie wordt toegevoerd;
- de pomp, waarmee het condensaat naar de nazuivering wordt afgevoerd (de nazuivering van het condensaat is dus niet inbegrepen in het systeem);
- de transporteur, waarmee het gedroogde slib wordt afgevoerd naar een opslagruimte;
- de schoorsteen waardoor het gereinigde afgas geëmitteerd wordt in de atmosfeer (de reiniging van het afgas is inbegrepen in het Carver-Greenfield-systeem).

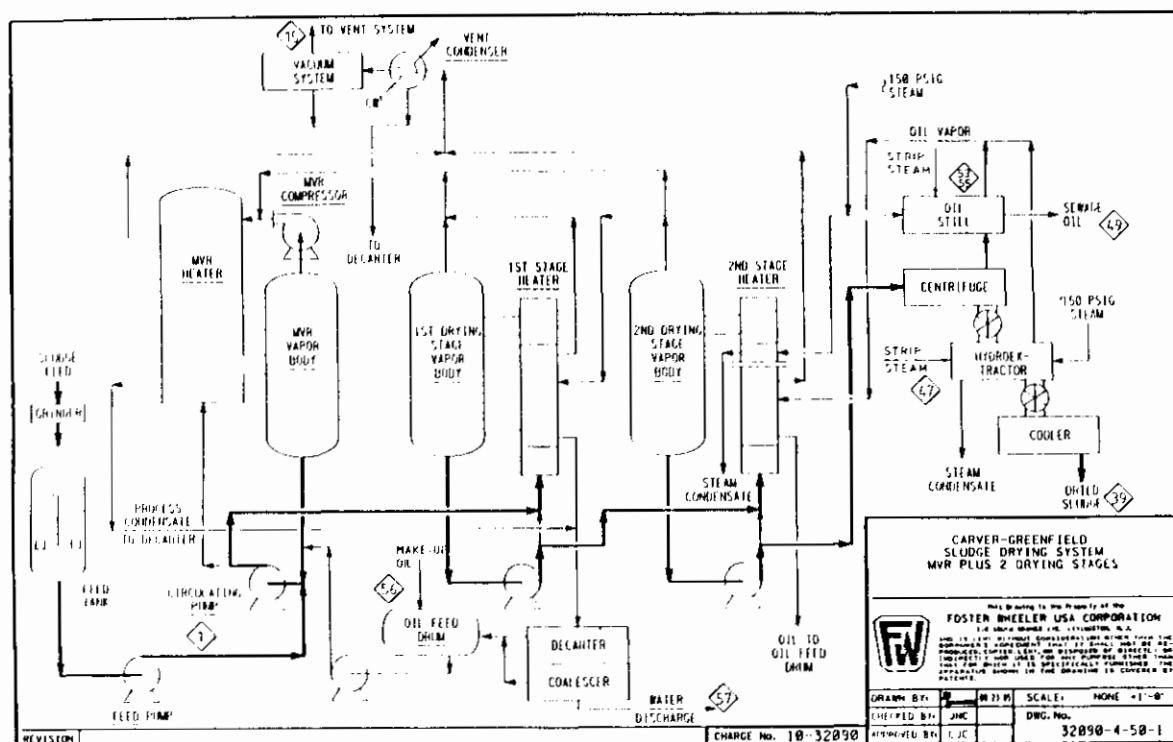
Ten aanzien van de investeringskosten is aan Foster-Wheeler gevraagd deze exclusief

- elektriciteitsvoorziening (Foster-Wheeler hoeft alleen aan te geven wat benodigd is),
- gebouwen (Foster-Wheeler hoeft alleen aan te geven wat aan gebouwen

en funderingen benodigd is),  
 maar inclusief demineralisatie van ketelvoedingwater en stoomproductie  
 op te geven.

4.6 Het bestudeerde C-G-proces

Op basis van de geformuleerde uitgangspunten en rekeninghoudend met de  
 systeemaafbakening, heeft Foster-Wheeler een C-G-installatie "aangebo-  
 den". Een principeschema van deze installatie is in figuur 7 weerge-  
 geven.



Figuur 7: Flowschema

De installatie bestaat uit een MVR-trap, aangevuld met twee verdamper-  
 trappen, die door Foster-Wheeler "drying stages" worden genoemd. Ten  
 opzichte van het hiervoor besprokene bevat het proces, met uitzonde-  
 ring van de aanzuring, nauwelijks nieuwe elementen. Een eventuele aan-  
 zuring tot pH 5,5 à 6 is bedoeld om de mogelijke schuimvorming door

aanwezige zepen tegen te gaan. Daarnaast is een niet eerder genoemd detail dat de tweede verdampertrap ten dele met drageroliedamp wordt verwarmd.

Een uitvoeriger toelichting op het gekozen proces heeft Foster-Wheeler gegeven in de vorm van een viertal procesflowschema's, die onder andere zijn gebruikt bij de opstelling van de massa- en energiebalans (zie hoofdstuk 5). Deze uitgebreide schema's zijn niet in het rapport opgenomen.

Foster-Wheeler heeft niet zoals voorheen gekozen voor een viertraps-indampinstallatie, maar voor een installatie met een MVR-trap. Foster-Wheeler is thans van mening dat laatstgenoemde installatie eenvoudiger en gemakkelijker te bedienen is en dat het energieverbruik bij deze configuratie het laagst is. Een ander opmerkelijk feit is dat de installatie niet met een mengtank en de terugvoer van gedroogd materiaal (zie figuur 2) werkt. Dit zou ook één van de voordelen van de MVR-trap zijn; het te drogen slib kan direct in deze trap worden ingevoerd.

Uit de processchema's is te zien dat het indampproces onder de volgende condities plaatsvindt:

- MVR-trap (vacuümkant)             $t = 71 \text{ } ^\circ\text{C}$      $p = 0,27 \text{ bar}$
- eerste verdampertrap             $t = 86 \text{ } ^\circ\text{C}$      $p = 0,43 \text{ bar}$
- tweede verdampertrap             $t = 122 \text{ } ^\circ\text{C}$     $p = 0,96 \text{ bar}$

De vloeistofverblijftijd in het systeem bedraagt ongeveer 30 minuten; de vastestofverblijftijd in de hydro-extractor is voldoende lang om een steriel eindprodukt op te leveren.

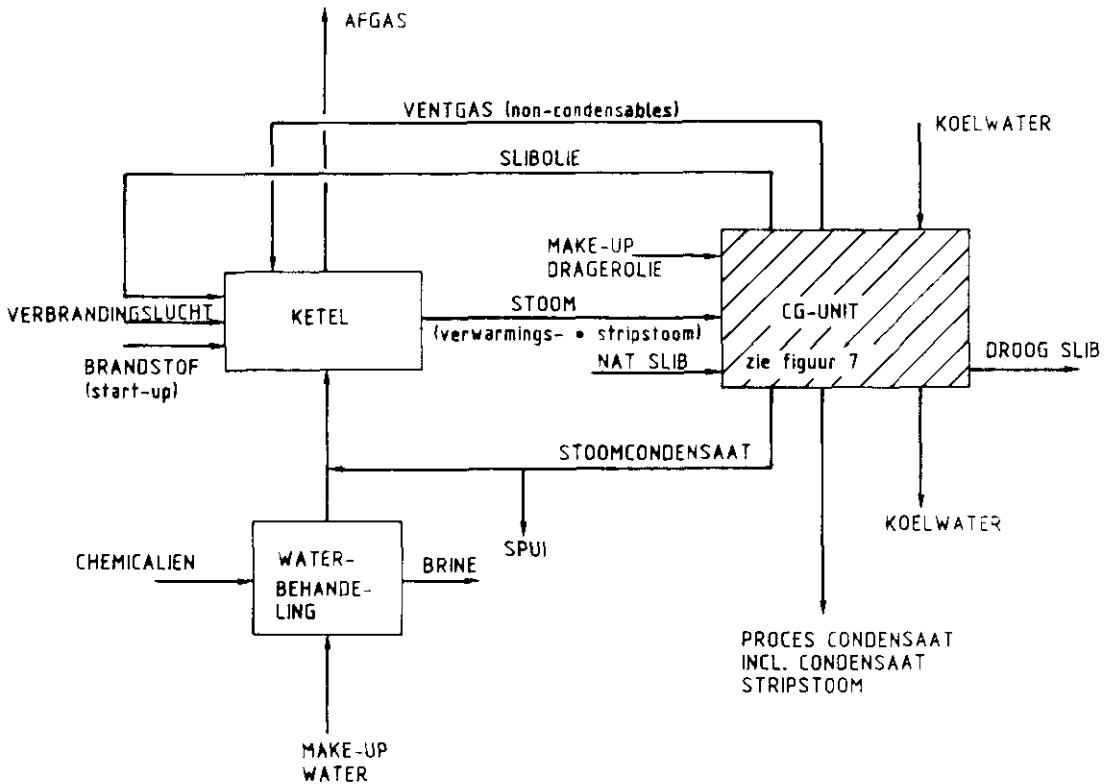
De verhouding droge stof : olie varieert tussen de 1 : 6 en 1 : 8. Foster-Wheeler verwacht dat het "gummy phase"-punt (verkleevingspunt) bij 35-45% droge stof betrokken op water ligt. In de MVR-stap moet deze kritische concentratie worden overschreden.

In het proces worden de volgende hulpstoffen gebruikt: dragerolie, eventueel verdund zwavelzuur (deze optie is voorlopig globaal in de chemicaliënkosten meegenomen), koelwater, chemicaliën voor de bereiding van ketelvoedingwater en stikstofgas. Over het gebruik van oppervlakte-actieve stoffen ter vermindering van de "gummy-phase", is door Foster-Wheeler niets meegedeeld. Het gebruik van een dergelijke hulpstof is in de verrekening van de kosten niet meegenomen.

5 MASSA- EN ENERGIEBALANS

5.1 Inleiding

Het blokschema van figuur 8 geeft het kader aan waarvoor de massa-, energie- en warmtebalans zijn opgesteld.



Figuur 8: Blokschema ten behoeve van de massa- en energiebalans

De C-G-installatie bestaat uit de eigenlijke C-G-indampunit, aangevuld met een stoomketel en behandeling van ketelvoedingwater. Het stoomcondensaat wordt gedeeltelijk in kringloop gehouden en gedeeltelijk gespuid; deze spui, alsmede de optredende verliezen in het stoomcircuit worden aangevuld. Foster-Wheeler verwacht een verbruik aan leidingwater van circa 3.7 m<sup>3</sup> per dag.

In de gekozen opzet wordt de stoomketel gestookt met slibolie, terwijl het afgas uit de C-G-installatie eveneens in de ketel wordt verbrand.

Bij een tekort aan slibolie wordt huisbrandolie of gasolie gebruikt. Het is in principe mogelijk om met de beschikbare slibolie elektriciteit op te wekken; er is in dit geval van deze optie afgezien.

De hierna te bespreken massa- en energiebalans hebben betrekking op de eigenlijke C-G-installatie zoals deze is weergegeven op de procesflow-schema's, waarin echter de stoomketel en de afgasverbranding niet zijn opgenomen. De berekening heeft dus uitsluitend betrekking op het gearceerde gedeelte van figuur 8.

## 5.2 Massabalans

Op grond van de in hoofdstuk 4 beschreven uitgangspunten en de door Foster-Wheeler verstrekte informatie [16], is een massabalans gemaakt. Bij het opstellen van de massa- en energiebalans is gebruik gemaakt van procesgegevens uit de flowschema's voor wat betreft procescondities, produktsamenstellingen en scheidingspercentages. De massabalans is uitgewerkt in tabel 2 (zie figuur 7, waarin de diverse processtromen zijn aangegeven). De balans is opgezet onder de aanname dat het natte slib (drogestofgehalte 20%) een gehalte aan slibolie van 10% op de droge stof heeft en dat van deze olie 88% kan worden teruggewonnen. Voor de hoeveelheid dragerolie, die met het gedroogde slib verloren gaat, is een percentage van 1% op de vetvrije droge stof aangenomen. Verder is verondersteld dat het procescondensaat uit de C-G-installatie 50 ppm dragerolie bevat. De hoeveelheid dragerolie in het condensaat is afhankelijk van het type olie en de temperatuur van het condensaat. Het percentage opgeloste olie bedraagt volgens Foster-Wheeler 25-50 ppm. De hoeveelheid vrije olie in het condensaat kan bij een goed procesontwerp op 10-15 ppm worden gehouden. Op grond van deze informatie verwacht Foster-Wheeler bij een condensaattemperatuur van 40 °C een maximale dragerolie-concentratie van 60 ppm. Volgens de balans bedraagt het totale verlies aan dragerolie 15 kg/h of 360 kg/dag. Volgens opgave van Foster-Wheeler zou het verlies aan dragerolie 420 kg/dag kunnen bedragen.

Bij de berekening van de operationele kosten zullen de gegevens van de massabalans verder worden gebruikt.

Tabel 2: Massabalans voor het C-G-slibdroogproces

Omschrijving	stroom <sup>1)</sup> nr	totaal (kg/h)	water (kg/h)	vetvrije ds (kg/h)	slibolie <sup>2)</sup> (kg/h)	totaal ds (kg/h)	drager- olie (kg/h)	niet conden- seerbaar (kg/h)
<b>INVOER</b>								
nat slib	1	6572.6	5257.6	1183.0	131.4	1314.4		
zwavelzuur 3)		0.0						
stripstoom 4)	47,53,55	17.1						
dragerolie (make-up)	56	15.0					15.0	
niet condenseerbaar		14.8						14.8
Totaal in		6618.8	5274.7	1183.0	131.4	1314.4	15.0	14.8
gedroogd slib	39	1247.6	37.1	1183.0	15.8	1198.7	11.8	
slibolie 5)	49	116.9			115.7	115.7	1.3	
ventgas	15	17.3	0.9				1.6	14.8
condensaat 6)	57	5237.0	5236.7				0.3	
Totaal uit		6618.8	5274.7	1183.0	131.4	1314.4	15.0	14.8
waterverdamping	(kg/h)	5220.5						
stoomverbruik	(kg/h)	1689.0						
stoom enthalpie	(kJ/h)	2790.0						
warmte nodig	(MJ/kg)	4712.0						
slibolie	(kg/h)	116.9						
cal. waarde	(MJ/kg)	41.8						
ketelrendement	(%)	75.0						
warmteproductie	(MJ/h)	3665.7						
warmtetekort	(MJ/h)	1046.0						

TOELICHTING

- 1) nummer komt overeen met procesflowschema volgens figuur 7
- 2) er is gerekend met 10% slibolie op de droge stof
- 3) de aanzuuroptie is niet in de balans meegenomen
- 4) de hoeveelheid is berekend naar rato van de droge stof
- 5) er is gerekend met 88% terugwinning; dragerolie naar rato
- 6) dragerolie in condensaat is berekend op basis van 50 ppm

5.3 Energiebalans

De warmtebalans is weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Warmtebalans voor het C-G-slibdroogproces (basis 0 °C)

Omschrijving	massa- debiet  (kg/h)	temp.  (°C)	soorte- lijke warmte  (kJ/kg.°C)	enthalpie  (kJ/kg)	warmte- stroom  (MJ/h)
INGAANDE WARMTE					
stoom	1689.0	198.0		2790.00	4712.0
nat slib	6572.0	15.0	3.971	59.57	391.5
koelwater	92000.0	15.0	4.187	62.81	5778.1
waterinjectie in MVR <sup>1)</sup>	0.0	74.4	4.187	311.51	0.0
dragerolie (make-up)	15.0	15.0	2.050	30.75	0.5
niet condenseerbaar	14.8	15.0	1.005	15.08	0.2
Totaal in					10882.3
UITGAANDE WARMTE					
gedroogd slib	1247.6	65.5	2.093	137.09	171.0
slibolie	116.9	165.5	2.303	381.15	44.6
koelwater	92000.0	23.0	4.187	96.30	8859.7
condensaat	2) 5237.0	46.1	4.187	193.02	1010.8
stoomcondensaat	3) 1165.9			679.00	791.6
ventgas	17.3			200.05	3.5
warmteverliezen					verwaarloosd
Totaal uit					10881.2

TOELICHTING

- 1) om de oververhitte stoom na de MVR-compressor te verzadigen
- 2) inclusief het condensaat dat afkomstig is van de stripstoom
- 3) enthalpie berekend als gewogen gemiddelde

Voor het stoomverbruik is uitgegaan van een door Foster-Wheeler opgegeven vuistregel dat het uurverbruik in kg kan worden berekend door de produktie aan droge stof, uitgedrukt in tonnen per dag, te vermenigvuldigen met 53,5.

Het door Foster-Wheeler opgegeven koelwaterverbruik bedraagt  $92 \text{ m}^3/\text{h}$ , waarbij gerekend is met een temperatuurstijging van  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

In de balansen is geen rekening gehouden met waterinjectie in de MVR-trap. Deze watertoevoeging is bedoeld om de oververhitte damp uit de compressor af te koelen en te verzadigen, ten einde de warmte-overdracht te verbeteren. Foster-Wheeler verwacht niet dat waterinjectie bij gebruik van een centrifugaalcompressor noodzakelijk is.

Voor de berekening van de kosten is zowel de stoomtoevoer als de hoeveelheid koelwater van belang, waarbij het kostenaandeel van het koelwater gering is ten opzichte van dat van de stoom.

#### 5.4 Bespreking van de resultaten

##### 5.4.1 Energiebehoefte (thermisch)

-----

De hoeveelheid energie die met de stoom in de C-G-installatie wordt gebracht bedraagt  $4.712 \text{ MJ/h}$  (zie tabel 3). In totaal wordt  $5.220 \text{ kg}$  water per uur in de installatie verdampt, waaruit een specifiek stoomverbruik van  $0,32 \text{ kg}$  per  $\text{kg}$  verdampt water of  $903 \text{ kJ/kg}$  verdampt water volgt. Dit cijfer betreft uitsluitend het thermisch energierendement. De werkelijke energiebehoefte voor verdamping ligt hoger. De installatie bevat immers een MVR-trap, waaraan elektrische energie wordt toegevoerd ten behoeve van de waterverdamping. Wat betreft het specifieke stoomverbruik kan de installatie derhalve niet rechtstreeks worden vergeleken met bijvoorbeeld een viertrapsindampinstallatie. Bij een dergelijke installatie ligt het energieverbruik volgens de literatuur [4, 5, 7, 8, 11] tussen  $930$  en  $1.180 \text{ kJ/kg}$  verdampt water, wat ongeveer neerkomt op  $0,35$  à  $0,45 \text{ kg}$  stoom per  $\text{kg}$  verdampt water. Dit energieverbruik is overigens laag ten opzichte van dat van conventionele drogers, waarvoor afhankelijk van het type een verbruik van  $4.650$ - $7.000 \text{ kJ/kg}$  verdampt water geldt [1].

In een publicatie van Foster-Wheeler [13] is de waarde van de term



(stoomverbruik maal aantal verdampetrappen/verwerkingscapaciteit in ton d.s. per dag) als functie van het drogestofgehalte in een bereik van 5 tot 50% opgegeven voor meertrapsverdamping zonder MVR. Hieruit kan het specifieke stoomverbruik worden berekend. Voor een viertrapsinstallatie zonder MVR zou in het onderhavige geval aldus berekend 1.929 kg/h stoom benodigd zijn, wat overeenkomt met 0,37 kg stoom per kg verdampt water. Geconstateerd wordt dat het thermisch energieverbruik met MVR deze waarde dicht benadert!

#### 5.4.2 Energiebehoefte (elektrisch)

-----

Volgens Foster-Wheeler bedraagt het totale verbruik aan elektrische energie 280 kW per massadebiet droog produkt (ton/h). Van deze hoeveelheid wordt 130 kW gebruikt door het MVR-compressorsysteem. Uit het flowschema kan worden afgeleid dat het slib in de MVR-trap tot 41% droge stof wordt ingedampt en vervolgens tot 57,5% in de eerste en tot 95% in de tweede droogstap. Hieruit kan worden berekend dat in de MVR-stap 3.366 kg/h water van de in totaal 5.220 kg/h wordt verdampt. Aangezien de energietoevoer  $130 * 1,314^{1)} = 171$  kW bedraagt, kan hieruit voor de MVR-trap een specifiek energieverbruik van 183 kJ/kg verdampt water worden berekend. Dit is in overeenstemming met de informatie volgens literatuur [12] waar wordt vermeld dat het energieverbruik voor een MVR-trap  $< 466$  kJ/kg kan zijn.

Literatuur [13] geeft informatie over het elektriciteitsverbruik voor een meertrapsinstallatie zonder MVR. De waarden in kW per ton d.s. per dag zijn voor een aantal drogestofgehalten vermeld. Op grond van deze gegevens zou het elektrisch vermogen voor meertrapsverdamping zonder MVR 155 kW zijn en dus belangrijk lager dan de opgegeven waarden van een systeem met MVR.

---

1) d.s. invoer in ton/h

### 5.4.3 Energiebenutting door gebruik van slibolie

-----

Vrijkomende slibolie kan worden gebruikt voor de opwekking van stoom. Volgens de literatuur [4, 7, 9] heeft de slibolie een calorische waarde tussen 34,9 en 43,5 MJ/kg. In tabel 2 is te zien, dat de vrijkomende slibolie de behoefte aan thermische energie in belangrijke mate kan dekken. Een dergelijke situatie geldt voor een oliegehalte in het slib van 10% op de droge stof, een hoog terugwinningspercentage van 88%, een calorische waarde van 41,8 MJ/kg en een ketelrendement van 75%.

In het onderhavige geval bedraagt het warmtetekort 1046 MJ/h, wat betekent dat circa 30 kg olie per uur moet worden bijgestookt. In de kostenberekening is dit aspect meegenomen.



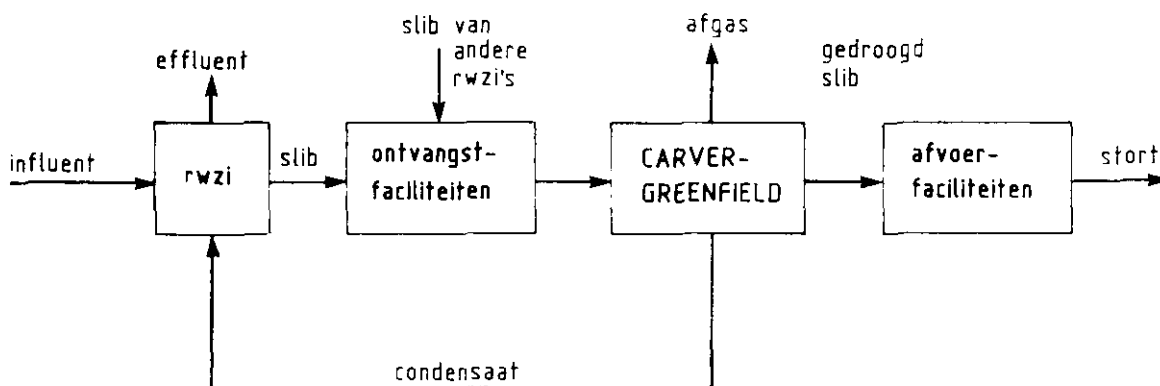
## 6 INPASSING IN EEN BESTAANDE RWZI

### 6.1 Algemeen

Het Carver-Greenfield-systeem is gesitueerd op een bestaande rwzi. In het systeem wordt het op deze rwzi geproduceerde slib samen met slib van elders verwerkt. Na de slibverwerking resteren afgas, condensaat en gedroogd slib. Het condensaat uit de droger is van een dusdanige kwaliteit dat het niet direct op het oppervlaktewater geloosd kan worden en dient te worden teruggevoerd naar de rwzi. Het gedroogde slib wordt afgevoerd naar een stortplaats, terwijl het afgas na reiniging geloosd wordt in de atmosfeer. Inpassing van het Carver-Greenfield-systeem in de rwzi vraagt extra faciliteiten voor de:

- ontvangst van het slib;
- zuivering van het condensaat;
- afvoer van het gedroogde slib.

In dit hoofdstuk zullen deze voorzieningen nader worden uitgewerkt. In figuur 9 is de rwzi met het Carver-Greenfield-systeem schematisch weergegeven.



Figuur 9 : Schematische weergave van de rwzi met het Carver-Greenfield-systeem

### 6.2 Ontvangst

De tot 20% droge stof ontwaterde slibkoek van andere rwzi's wordt per as aangevoerd en in een slibbuffer gebracht. Het op de rwzi geprodu-

ceerde slib wordt ontwaterd tot 20% droge stof en eveneens in de slib-buffer gebracht. In de bodem van de buffer is een aantal schroeftransporteurs aangebracht, waarmee het slib uit de buffer naar de C-G-installatie wordt getransporteerd. Tevens is een noodgrijper aanwezig, waarmee het slib uit de buffer kan worden verwijderd. De dimensies en overige gegevens van de ontvangstfaciliteiten zijn als volgt:

- slib rwzi	
* gemiddelde slibaanvoer	: 65 ton d.s./week
* drogestofgehalte	: 20%
* dichtheid	: 1.060 kg/m <sup>3</sup>
* aanvoertijd	: 168 uur/week
* gemiddeld volumedebiet aanvoer	: 1,8 m <sup>3</sup> /uur
- slib van andere rwzi's	
* gemiddelde slibaanvoer	: 100 ton d.s./week
* drogestofgehalte	: 20%
* dichtheid	: 1.060 kg/m <sup>3</sup>
* aanvoertijd	: 40 uur/week
* gemiddeld volumedebiet aanvoer	: 11,8 m <sup>3</sup> /uur
- piekbelasting	: 1,25
- buffervolume:	
* produktie van rwzi in weekend	: 100 m <sup>3</sup>
* aanvoer van elders die 's nachts wordt verwerkt:	70 m <sup>3</sup>
* piekbelasting in produktie rwzi (max. 5 dagen)	: 55 m <sup>3</sup>
* opvangen van storingen in Carver-Greenfield- systeem (max. 2 dagen) exclusief reeds aanwe- zige opslag ten behoeve van de verwerking 's nachts	: 200 m <sup>3</sup>
	<hr/>
totaal	425 m <sup>3</sup>
- overdekt	
- spirac schroeftransporteurs in bodem van buffer	
- noodgrijper	

### 6.3 Condensaatzuivering

Het condensaat uit de Carver-Greenfield-droger heeft een temperatuur van ongeveer 45 °C. Uit de massabalans en uit gegevens verstrekt door Foster-Wheeler [16] kan worden berekend dat het condensaat uit de droger een vracht van 1.200 kg CZV en 1.000 kg N-Kj per week levert. Het CZV bestaat voornamelijk uit biologisch gemakkelijk afbreekbare vluchtige componenten. De N-Kj bestaat voornamelijk uit ammoniakstikstof. De rwzi waarnaar het condensaat wordt teruggevoerd, heeft een belasting van 200.000 i.e. hetgeen overeenkomt met een vracht van 139.000 kg CZV en 15.400 kg N-Kj per week [15]. Wanneer het condensaat ongezuiverd wordt teruggevoerd naar de rwzi levert dit een extra belasting van minder dan 1% CZV en 6% N-Kj; dit kan doorgaans zonder problemen worden verwerkt. Bovendien bevat het condensaat onvoldoende nutriënten (P) en zouten. Om bovenstaande redenen wordt het condensaat zonder voorzuivering teruggevoerd naar de rwzi.

### 6.4 Afvoer

Het gedroogde slib wordt getransporteerd naar een silo. Vanuit deze silo wordt het afgevoerd naar een gecontroleerde stortplaats. Voor de silo gelden de volgende dimensies en gegevens:

- aantal	1 stuk
- gemiddelde gedroogd slib aanvoer	1250 kg/h
- drogestofgehalte	95%
- stortdichtheid	475 - 500 kg/m <sup>3</sup>
- gemiddeld volumedebiet gedroogd slib	60 m <sup>3</sup> /werkdag
- voorraad	2 à 3 dagen
- volume	150 m <sup>3</sup>



## 7 KOSTENBEREKENING EN GEVOELIGHEIDSANALYSE

### 7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de kosten gegeven voor de verwerking van zuiveringsslib door middel van droging in een Carver-Greenfield-systeem bij een capaciteit van 500.000 i.e. en een drogestofgehalte van het te verwerken slib van 20%. Verder wordt middels een gevoeligheidsanalyse de invloed van:

- de capaciteit van het Carver-Greenfield-systeem;
- de bedrijfstijd;
- het drogestofgehalte van het te verwerken slib;
- het gebruik van stookolie in plaats van "slibolie" op de verwerkingskosten nagegaan.

### 7.2 Uitgangspunten

#### Definities

-----

In dit verband kunnen de volgende definities worden gegeven:

- investeringen : eenmalige kosten voor aanschaf of aanleg;
- civiele kosten : de kosten van alle bijbehorende voorzieningen (bijvoorbeeld bouwplaatsinrichting, verhardingen, gebouwen, leidingen in terrein, fundering);
- mechanische kosten: de kosten van alle mechanische onderdelen, compleet gemonteerd en aangesloten (bijvoorbeeld pompen inclusief bijbehorende elektromotor en leidingwerk, aggregaten, reactoren, verdampers);
- elektrische kosten: de kosten van schakel-, meet- en regelapparatuur inclusief kabels, compleet gemonteerd en aangesloten;
- kapitaallasten : de jaarlijkse kosten die voortvloeien uit afschrijving van en rente over de investeringen voor de duur van de afschrijvingstermijn;
- bedrijfskosten : de kosten ten gevolge van de jaarlijkse bedrijfsvoering voor personeel, onderhoud van civiele en elektromechanische voorzieningen, energie en che-



- micaliën;
- transportkosten : de kosten die voortvloeien uit het vervoer van nat slib of gedroogd slib. Deze kosten zijn in de studie buiten beschouwing gelaten;
- stortkosten : de vergoeding die betaald moet worden voor definitieve gecontroleerde opslag van het gedroogde slib, gesteld op f 50,- per ton;
- zuiveringskosten : de extra bedrijfskosten op de rwzi die voortvloeien uit de zuivering van het Carver-Greenfield condensaat, gesteld op f 10,- per vervuilingseenheid;
- jaarkosten : de som van kapitaallasten, bedrijfskosten, stortkosten en zuiveringskosten.

Hieronder worden enkele van deze definities nader uitgewerkt.

De investeringen zijn opgebouwd uit:

- aanneemsom, voor het civiele en elektromechanische gedeelte;
- toeslagen : 18,5% BTW;  
5% renteverlies tijdens de bouw;  
15% advieskosten;  
30% onvoorzien.

De bedrijfskosten (inclusief BTW) bestaan uit:

- onderhoud : jaarlijks 0,5% van de civiele aanneemsom en 3,0% van de elektromechanische aanneemsom;
- personeel : f 90.000,- per manjaar (inclusief onregelmatigheidstoelagen);
- aardgas : f 0,35 per Nm<sup>3</sup>;
- stookolie : f 0,65 per kg;
- elektriciteit : f 0,15 per kW;
- koelwater : f 0,05 per m<sup>3</sup>;
- dragerolie : f 1.000,- per m<sup>3</sup>;
- leidingwater : f 0,75 per m<sup>3</sup>;
- vloeibare N<sub>2</sub> : f 0,65 per kg  
(inclusief huur opslagtank).

De volgende afschrijvingstermijnen en financiële kengetallen worden gehanteerd:

- civiele voorzieningen : 30 jaar
- elektromechanische voorzieningen: 15 jaar
- nominaal rentepercentage : 7%

Voor de berekening van de kapitaallasten is gebruik gemaakt van de annuïteitenmethode. Daarbij wordt de annuïteit berekend op basis van de jaarlijkse nominale rente en de afschrijvingstermijn.

Voor de civiele voorzieningen bedraagt de annuïteit 0,081 en voor de elektromechanische voorzieningen 0,11. De kapitaallasten worden verkregen door vermenigvuldiging van annuïteit en investeringen.

### 7.3 Investeringsen

De aanneemsom wordt berekend uit gegevens, verstrekt door Foster-Wheeler [16], waar nodig aangevuld met schattingen van de auteurs. Deze schattingen zijn gebaseerd op gegevens en ervaringen verkregen in soortgelijke projecten.

Tabel 4: De aanneemsom (in Mf)

onderdeel	civiel	elektromechanisch
Carver-Greenfield-droger (opgave Foster-Wheeler)	4,333	10,861
Bijkomende voorzieningen:		
- ontvangstfaciliteiten	0,7	0,78
- trafo (500 kVa)	0,02	0,06
- bedrijfsgebouw (10*10*5)	0,22	0,055
- overkapping installatie	0,675	0,075
- gedroogd slib silo	0,05	0,5
	_____ +	_____ +
totaal	6,00	12,33

De investeringen (1,86 \* aanneemsom) zijn:

civiel : 11,16 Mf

elektromechanisch: 22,94 Mf

#### 7.4 De jaarkosten

In tabel 5 zijn de kapitaallasten en de bedrijfs-, stort-, zuiverings- en jaarkosten weergegeven.

Tabel 5: De opbouw van de jaarkosten

	Mf/j	f/ton d.s.	% van de jaarkosten
Kapitaallasten	3,43	418	61
Bedrijfskosten:			
- onderhoud	0,4	49	7
- personeel	0,72	88	13
- stookolie	0,131	16	2
- elektriciteit	0,331	40	6
- stikstof	0,01	1	< 1
- dragerolie	0,113	14	2
- koelwater	0,028	3	< 1
- leidingwater	0,001	< 1	< 1
- overige	0,041	5	< 1
Stortkosten	0,375	46	7
Zuiveringskosten	0,06	7	1
Jaarkosten	5,63	687	100

De jaarkosten bij deze capaciteit zijn 5,63 Mf, hetgeen overeenkomt met circa 690 gulden per ton d.s. De jaarkosten bestaan voor 61% uit kapitaallasten, 31% uit bedrijfskosten en 8% uit stort- en zuiveringskosten.

## 7.5 Gevoeligheidsanalyse

In de gevoeligheidsanalyse wordt globaal ingegaan op de financiële consequenties van de wijziging van belangrijke randvoorwaarden en uitgangspunten. De volgende punten zullen worden beschouwd:

- de capaciteit van het Carver-Greenfield-systeem;
- de bedrijfstijd;
- het drogestofgehalte van het te verwerken slib;
- het gebruik van stookolie in plaats van "slibolie".

### 7.5.1 Capaciteit van het Carver-Greenfield-systeem

-----

De in deze evaluatie gehanteerde verwerkingscapaciteit van het Carver-Greenfield-systeem is 8.200 ton drogestof per jaar. Het hoge aandeel van de kapitaallasten geeft aan dat het Carver-Greenfield-systeem kostentechnisch beter tot zijn recht komt bij een capaciteit boven de in deze evaluatie gehanteerde.

In deze paragraaf worden de kapitaallasten en de bedrijfs-, stort-, zuiverings- en jaarkosten bij verschillende capaciteiten gegeven. Voor de berekening van de invloed van de capaciteit op de aanneemsom is gebruik gemaakt van een in de procesindustrie veel toegepaste exponentiële methode. In formulevorm luidt deze methode:

$$a_2 = a_1 * \left( \frac{c_2}{c_1} \right)^n$$

waarin:

$a_2$  : de aanneemsom bij capaciteit  $c_2$  [Mf]

$a_1$  : de aanneemsom bij capaciteit  $c_1$  [Mf]

$c_2$  : capaciteit 2 [ton d.s./jaar]

$c_1$  : capaciteit 1 [ton d.s./jaar]

n : capaciteitverhoudingsexponent [-]

De capaciteitverhoudingsexponent n is afhankelijk van het type installatie. Volgens Foster-Wheeler [16] is n gelijk aan 0,6 voor een Carver-Greenfield-systeem.

Bij de berekening van de aanneemsom is verder aangenomen dat geen nieuwe procesonderdelen (bijvoorbeeld een condensaatzuivering) gerealiseerd behoeven te worden of procesonderdelen verdwijnen als de capaciteit verandert.

Bij de berekening van de bedrijfskosten is ervan uitgegaan dat de verbruikte hoeveelheden energie en hulpstoffen rechtevenredig zijn met de capaciteit, eventuele rendementsveranderingen ten gevolge van de veranderde capaciteit zijn verwaarloosd.

Ook bij de berekening van stort- en zuiveringskosten is ervan uitgegaan dat de te storten en te zuiveren hoeveelheden rechtevenredig met de capaciteit zijn.

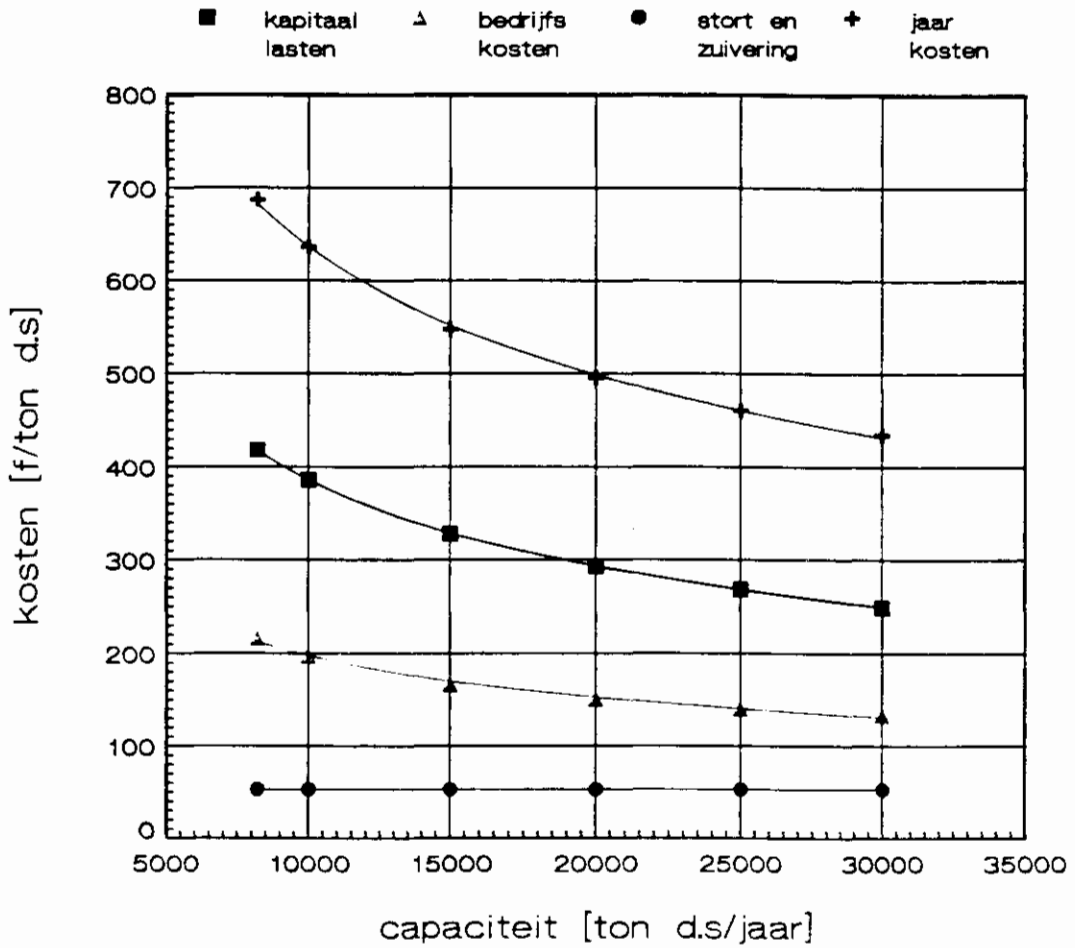
De resultaten van de berekeningen zijn in figuur 10 weergegeven.

De capaciteit blijkt van grote invloed te zijn. Toename van de capaciteit leidt tot een daling van de kapitaallasten, bedrijfs- en derhalve jaarkosten per ton droge stof. Bij capaciteitsvergroting tot bijvoorbeeld 30.000 ton d.s./jaar nemen de jaarkosten af van circa 690 gulden per ton droge stof tot ongeveer 435 gulden per ton droge stof.

#### 7.5.2 Bedrijfstijd

-----

In deze paragraaf wordt de invloed van een verhoging van de bedrijfstijd tot zeven dagen per week en 24 uur per dag beschreven. Verhoging van de bedrijfstijd heeft, ervan uitgaand dat dezelfde slibhoeveelheid wordt verwerkt, tot gevolg dat met een kleinere Carver-Greenfield-droger kan worden volstaan. Ook de ontvangstfaciliteiten en de overkapping van de Carver-Greenfield-droger kunnen iets kleiner worden uitgevoerd. Hierdoor nemen de kapitaallasten af met circa 75 gulden per ton droge stof. Ook de onderhoudskosten nemen met circa 10 gulden per ton droge stof af. Verder heeft een verhoging van de bedrijfstijd een personeelsuitbreiding met twee personen tot gevolg, waardoor de personeelskosten met ongeveer 20 gulden per ton droge stof toenemen.



Figuur 10: De kapitaallasten en de bedrijfs-, stort-, zuiverings- en jaarkosten als functie van de capaciteit

Verhoging van de bedrijfstijd tot zeven dagen per week en 24 uur per dag heeft, uitgaande van een verwerkingscapaciteit van 8.200 ton droge stof per jaar, een afname van de jaarkosten van circa 690 tot 630 gulden per ton droge stof tot gevolg.

### 7.5.3 Drogestofgehalte van het slib

-----

In deze evaluatie wordt uitgegaan van een drogestofgehalte van het ingaande slib van 20%. In deze paragraaf worden de kosten gegeven wanneer wordt uitgegaan van een drogestofgehalte van 10% respectievelijk 30%.

Verandering van het drogestofgehalte heeft invloed op de afmetingen en het energieverbruik van het Carver-Greenfield-systeem alsmede op de te zuiveren hoeveelheid condensaat.

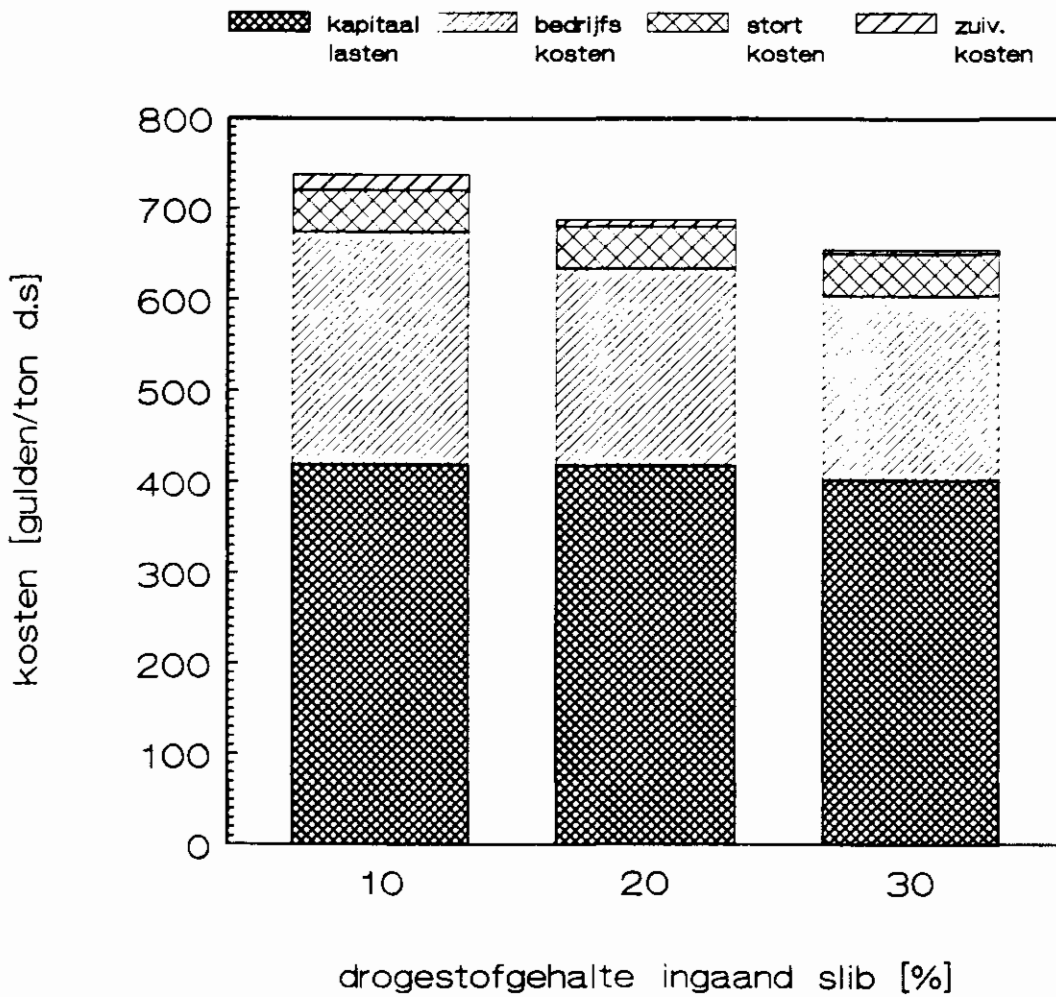
Volgens Foster-Wheeler [16] heeft een verandering van het drogestofgehalte van het ingaande slib van 20% naar 10% of 30% alleen effect op de grootte van de MVR, de andere onderdelen van de Carver-Greenfield-droger blijven hetzelfde. Door de droger te voeden met slib met een drogestofgehalte van 10% wordt de MVR-aanneemsom met ongeveer 1 Mf verhoogd. Bij voeding met 30% drogestof wordt de MVR-aanneemsom met circa 0,35 Mf verlaagd. Het drogestofgehalte van het ingaande slib heeft ook invloed op de grootte en uitvoeringswijze van de slibbuffer. Bij 10% drogestof zijn de civiele en elektromechanische aanneemsom van de slibbuffer respectievelijk 0,4 Mf en 0,03 Mf. Bij 30% drogestof is dit 0,55 Mf en 0,61 Mf.

Verandering van het drogestofgehalte van het ingaande slib heeft een verandering van de hoeveelheid te verdampen water en dus een verandering van het energieverbruik tot gevolg. Bij de berekening van het energieverbruik bij 10 en 30% droge stof is ervan uitgegaan dat het slib in de MVR wordt ingedampt tot 41% droge stof en vervolgens tot 57,5% in de eerste en tot 95% in de tweede droogstap. Dit houdt in dat bij veranderende drogestofgehaltenes alleen het energieverbruik van de MVR verandert. Uit de massa- en energiebalans kan worden afgeleid dat het specifieke elektriciteitsverbruik van de MVR gelijk is aan 51 kWh per ton verdampt water.

Bij de berekening van de zuiveringskosten is ervan uitgegaan dat de vuilvracht rechtevenredig is met de verdampte hoeveelheid water.

De resultaten van de berekeningen zijn in figuur 11 weergegeven.

De kosten blijken afhankelijk te zijn van het drogestofgehalte van het ingaande slib. Verhoging van het drogestofgehalte van 10% naar 30% heeft een verlaging van de jaarkosten van circa 740 tot 650 gulden per ton drogestof tot gevolg. Gezien de beperkte stijging van de jaarkosten met afnemend drogestofgehalte is het wellicht economisch aantrek-



Figuur 11: Cumulatieve weergave van de kapitaallasten en de bedrijfs-, stort-, zuiveringskosten als functie van het drogestofgehalte van het ingaande slib (%)

kelijk om de Carver-Greenfield-installatie te voeden met slib met een drogestofgehalte lager dan de waarde die in deze studie is gehanteerd.

#### 7.5.4 Het gebruik van stookolie in plaats van slibolie

-----  
In de kostenberekening is ervan uitgegaan dat de thermische energiebehoefte grotendeels wordt gedekt door benutting van "slibolie". In



deze paragraaf worden de kosten gegeven wanneer de totale thermische energiebehoefte gedekt wordt door het verstoken van stookolie. De kosten zijn berekend voor een thermische energiebehoefte zoals gebruikt in de kostenberekening. Er is uitgegaan van een ketelrendement van 75%. De verstookte hoeveelheid olie bedraagt dan 900 ton per jaar. Hierdoor nemen de specifieke jaarkosten toe van circa 690 tot 740 gulden per ton droge stof.

## 8 MILIEU-ASPECTEN

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op enkele milieu-aspecten van de Carver-Greenfield-installatie. Daar tot op heden (augustus 1989) slechts weinig praktijkgegevens beschikbaar zijn, is de beschouwing over de milieu-aspecten deels gebaseerd op schattingen, aannames en verwachtingen van de werking in de praktijk en dient derhalve als indicatief te worden opgevat.

### 8.1 Afgassen

De Carver-Greenfield-droogeenheid is een gesloten systeem. De niet-condenseerbare dampen die vrijkomen tijdens het droogproces worden afgevoerd naar de stoomketel en daar naverbrand. De stoomketel wordt gestookt met olie die uit het zuiveringsslib wordt teruggewonnen. De afgassen van de stoomketel kunnen als verontreiniging bevatten:

- zure gassen,
- zware metalen,
- onverbrande organische verbindingen en geurstoffen,
- stof.

In de volgende paragrafen worden de normen voor emissies en de verwachte concentraties in de afgassen nader toegelicht.

#### 8.1.1 Normen voor afgangemissies

-----

Het drogen van zuiveringsslib met behulp van een Carver-Greenfield-installatie is een betrekkelijk nieuwe ontwikkeling. Dit heeft tot gevolg dat de huidige milieuwetgeving, met name de daarin opgenomen emissienormen, niet concreet van toepassing kan worden verklaard op deze installatie. Om toch een indicatie te geven van de huidige normen in relatie tot de Carver-Greenfield-installatie, wordt in deze studie de Carver-Greenfield-installatie getoetst aan normen, gesteld in het "Besluit emissie-eisen stookinstallaties van de Wet inzake de Luchtverontreiniging", d.d. 10 april 1987, en de "Richtlijn Verbranden 1989" van het Ministerie van VROM.

In tabel 6 zijn deze emissienormen vermeld.

Tabel 6: Emissienormen voor afgassen

verontreiniging	wet LUVO <sup>1)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )	richtlijn Verbranden <sup>2)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Totaal stof	-	5
Zoutzuur	-	10
Fluoriden	-	1
CO	-	50
Organische verbindingen (als C)	-	10
SO <sub>x</sub>	1700	40
NO <sub>x</sub>	300	70
Zware metalen:		
Sb+Pb+Cr+Cu+Mn+V+Sn+As+Co+Ni+Se+Te	-	1,0
Cd	-	0,05
Hg	-	0,05
PCDD's en PCDF's	-	0,1 nanogram TEQ/Nm <sup>3</sup>

1)Betrokken op droge lucht, bij 3 vol.% O<sub>2</sub>.

2)Betrokken op droge lucht, bij 11 vol.% O<sub>2</sub>.

#### 8.1.2 Afgasemissies van de Carver-Greenfield-droger

De te verwachten emissievrachten zijn weergegeven in tabel 7.

Om de emissies te kunnen toetsen aan de normen, dienen de emissievrachten te worden omgerekend in concentraties. Hiervoor dient het afgasdebiet bekend te zijn. Bij de verbranding van een kilogram olie komt ongeveer 15 Nm<sup>3</sup> gas vrij [17]. Uit de massa- en energiebalans kan worden afgeleid dat 150 kg olie per uur wordt verbrand, hetgeen een afgasdebiet van ongeveer 54\*10<sup>3</sup> Nm<sup>3</sup> per werkdag oplevert<sup>3)</sup>. Het afgas bevat circa 6 vol.% O<sub>2</sub> en circa 10 vol.% waterdamp [1/]. De emissies zijn vermeld in tabel 7.

3)Ten opzichte van een conventionele directe droger is het afgasdebiet van de Carver-Greenfield-installatie gering.

Tabel 7: De te verwachten emissievrachten en emissies [16]

verontreiniging	vracht (kg/werkdag)	emissie <sup>1)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )	emissie <sup>2)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
totaal stof	2,2	54	30
SO <sub>2</sub>	22,97	570	315
SO <sub>3</sub>	2,12	52	29
NO <sub>x</sub>	65,92	1625	905
CO	3,53	87	48

1) Betrokken op droge lucht, bij 3 vol.% O<sub>2</sub>.

2) Betrokken op droge lucht, bij 11 vol.% O<sub>2</sub>.

### 8.1.3 Toetsing van de emissies

-----

Het "Besluit emissie-eisen stookinstallaties van de Wet inzake de Luchtverontreiniging" stelt alleen eisen aan de SO<sub>x</sub>- en NO<sub>x</sub>-concentraties in het afgas. Volgens deze prognose blijft de SO<sub>x</sub>-concentratie in het afgas onder de norm. De NO<sub>x</sub>-concentratie overschrijdt de norm aanzienlijk. Door aanpassing van de verbrandingscondities kan naar verwachting aan de NO<sub>x</sub>-norm worden voldaan. Dit heeft te verwaarlozen kostenconsequenties.

Toetsing van de emissies van de Carver-Greenfield-instalaltie aan de normen gesteld in de "Richtlijn Verbranden 1989" geeft het volgende beeld. De SO<sub>x</sub>-, NO<sub>x</sub>- en stofconcentratie in het afgas overschrijden volgens deze prognose de norm aanzienlijk. De CO-concentratie in het afgas blijft net onder de norm. Fluor en chloor bevattende verbindingen komen in het zuiveringsslib in zo geringe mate voor dat voor zoutzuur en fluoriden in de afgassen geen problemen worden verwacht. Dit laatste geldt eveneens voor de zware metalen. Voor zover deze aanwezig zijn, worden ze verondersteld in het gedroogde slib te blijven.

De slibolie bevat een deel van de in het slib voorkomende organische microverontreinigingen. Gegevens betreffende de emissies van deze stoffen ten gevolge van het verbranden van de slibolie zijn echter niet voorhanden.

Volgens Foster-Wheeler is het mogelijk door middel van ammoniakinjectie ( $\text{NO}_x$ -reductie), een droge "scrubber" gevolgd door een doekenfilter ( $\text{SO}_x$ - en stofreductie) en het plaatsen van een geavanceerder verbrandingssysteem de emissies dusdanig te reduceren dat wordt voldaan aan de normen gesteld in de "Richtlijn Verbranden 1989".

De elektromechanische aanneemsom voor de Carver-Greenfield-installatie zal voor deze maatregelen toenemen met circa 0,6 Mf tot 12,9 Mf [16]. De jaarkosten stijgen hierdoor van circa 690 tot 710 gulden per ton d.s.

## 8.2 Gedroogd slib

### 8.2.1 Zware metalen

-----

Uit de door Foster-Wheeler verstrekte gegevens [2] kan worden opgemaakt dat de zware metalen na het droogproces grotendeels kunnen worden teruggevonden in het gedroogde produkt en dat de hoeveelheid droge stof tijdens het droogproces slechts in geringe mate afneemt.

In tabel 8 worden de gehalten van enkele zware metalen in zuiverings-slib vermeld en vergeleken met hun grenswaarden uit de Wet Chemisch Afval. Op basis van het praktisch gelijkblijven van de hoeveelheid droge stof, kan worden geconcludeerd dat de gehalten aan zware metalen in het gedroogde slib onder de WCA-grenswaarden blijven.

### 8.2.2 Organische microverontreinigingen

-----

Als gevolg van het Carver-Greenfield droogproces komen de van nature in het zuiveringsslib voorkomende oliën en vetten deels in een afzonderlijke stroom vrij. In deze stroom bevindt zich een gedeelte van de in vet oplosbare organische microverontreinigingen. De concentraties van deze verontreinigingen in het gedroogde slib zijn dus afgenomen. In tabel 9 zijn de gehalten van enkele organische microverontreinigingen in zuiveringsslib weergegeven en hun grenswaarden volgens de Wet Chemisch Afval. De waarden blijven onder de WCA-grenzen.

Tabel 8: Gehaltes van enkele zware metalen in zuiveringslib en de WCA-grenswaarden (in mg/kg d.s.)

metaal	gemiddelde concentratie	bron	maximum concentratie	bron	grenswaarde WCA
arseen	7	(c)	15	(c)	50
cadmium	5	(a)	10	(a)	50
kwik	2	(c)	5	(a)	50
chroom*	130	(c)	600	(b)	5.000
koper	500	(c)	800	(c)	5.000
lood	360	(c)	600	(c)	5.000
nikkel	50	(c)	100	(b)	5.000
zink	1.500	(c)	2.500	(b)	20.000

\* Vrijwel al het chroom is als chroom(III) aanwezig, daarom is uitgegaan van de WCA grenswaarde voor chroom(III).

- Bronnen: (a) Onderzoek slibverbranding Zuid-Holland  
 (b) Uitvoeringsbesluit organische meststoffen (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987)  
 (c) Nota RIZA 87.060, c.q. CBS-gegevens

Tabel 9: Gehaltes van enkele organische microverontreinigingen in zuiveringslib en hun WCA-grenswaarden (mg/kg d.s.)

verontreiniging	gemiddelde concentratie	bron	maximum concentratie	bron	grenswaarde WCA
Org. gebonden Cl	25	(a)	100	(a)	5.000
Org. gebonden F	10	(a)	25	(a)	5.000
PAK's	7	(b)	20	(b)	50
PCB's	$25 \cdot 10^{-3}$	(b)	1	(b)	50

- Bronnen: (a) Onderzoek slibverbranding Zuid-Holland  
 (b) Nota RIZA 87.060, c.q. CBS-gegevens

### 8.2.3 Stofbezwaar tijdens transport en stort

-----

Het gedroogde slib is een zeer fijn poedervormig materiaal. Hierdoor moeten extra voorzieningen worden getroffen om de verspreiding van stof tijdens transport en stort zoveel mogelijk te voorkomen. Hierbij kan onder andere gedacht worden aan het bevochtigen van het gedroogde produkt. Een andere oplossing is het produkt te pelleteren alvorens het wordt getransporteerd naar de stortplaats. Toepassing van stofbezwaar beperkende maatregelen leidt tot een toename van de stortkosten met circa 10%.

### 8.3 Het condensaat

De samenstelling van het condensaat is afhankelijk van de samenstelling van het te drogen slib. In het verleden is gebleken dat het CZV, BZV, ammoniak-stikstofgehalte en de pH van het condensaat afhankelijk zijn van de ouderdom van het slib en van de slibherkomst. Naarmate het slib langer is opgeslagen, wordt er meer organische stof afgebroken tot lagere koolwaterstoffen. Deze lagere koolwaterstoffen worden tijdens het droogproces gedeeltelijk uit het slib gestript en komen in het condensaat terecht. Vers slib dat bijvoorbeeld twee dagen is opgeslagen, levert daarom een aanzienlijk lager CZV en BZV in het condensaat dan slib dat een week oud is.

De aanwezigheid van zwevend stof in het condensaat wordt veroorzaakt door "carry-over" van vaste stof in de verdampers. De concentraties van zwevend stof kunnen door een goed ontwerp van de verdampers zeer laag worden gehouden. Het is in principe mogelijk, eventueel door toepassing van extra filters, om het gehalte zwevend stof in het condensaat tot nul te laten naderen.

Het oliegehalte van het condensaat is afhankelijk van het gebruikte type olie en van de condensaattemperatuur. Bij de in dit systeem gekozen procescondities zal het oliegehalte in het condensaat maximaal 60 ppm bedragen. Het condensaat wordt teruggevoerd naar de rwzi, waar de verontreinigingen biologisch worden afgebroken.

#### 8.4 Aspecten geluidhinder

Het geluidniveau van de Carver-Greenfield-installatie zal kunnen voldoen aan de eisen die gesteld worden in de Wet Geluidhinder. De MVR-compressor is het enige mechanische onderdeel van de installatie dat speciale geluidbeperkende maatregelen behoeft. De MVR-compressor wordt omkast. Daarnaast zal de aanvoer van nat slib en de afvoer van gedroogd slib in principe alleen tussen 9.00 en 18.00 uur tijdens werkdagen geschieden.





## 9 DIVERSE ASPECTEN

In dit hoofdstuk wordt een aantal aspecten besproken dat direct verband houdt met de bouw van een Carver-Greenfield-installatie voor slibdroging.

### 9.1 Schaalgrootte

Er zijn C-G-installaties gebouwd die in capaciteit variëren van circa 1 ton tot 240 ton droge stof per dag, uitgevoerd in meerdere, parallelle verwerkingslijnen. Technisch gezien is het C-G-systeem derhalve vrijwel niet gelimiteerd. Vanzelfsprekend is er een punt waarbij de installatie te klein wordt om nog continu te kunnen werken. Er is ook een maximum aan de omvang van de verdampingsapparatuur. Foster-Wheeler acht het niet verantwoord om dampafscheiders te bouwen waarvan de diameter groter is dan 7 meter. De capaciteit is dan evenwel zo groot dat deze situatie in Nederland nagenoeg niet voor zal komen. De grootste, tot dusver gebouwde C-G-verdampingslijn, heeft een capaciteit van 140 ton droge stof per dag.

Uit kostentechnische overwegingen kent het systeem wel zijn begrenzing. Gezien de complexiteit van het systeem en de noodzaak volcontinu te werken, waarvoor tenminste twee man per ploeg nodig zijn, stelt Foster-Wheeler dat de slibverwerkingscapaciteit onder Amerikaanse omstandigheden minimaal 30 ton droge stof per dag moet zijn. Een en ander hangt mede af van de kosten van alternatieve slibverwerkingsmogelijkheden op een bepaalde locatie.

### 9.2 Constructiemateriaal

Recente ervaring opgedaan met het C-G-proces voor slibdroging, leert dat koolstofstaal kan worden gebruikt voor een groot deel van het MVR-systeem en het hydro-extractor-dragerolieverwijderingssysteem. De reden hiervan is dat de toegevoegde dragerolie een beschermende laag op de wanden van de diverse apparaten vormt. Toch adviseert Foster-Wheeler roestvast-staal te gebruiken voor de pijpen van MVR-warmtewis-

selaars, de droogstappen volgend op de MVR-stap, de olie/drogestof-centrifuge en het dragerolie/sliboliescheidingssysteem.

Uit het apparatuuroverzicht [5] blijkt dat de verdamperlichamen in roestvast-staal (304L of 316L) zijn uitgevoerd, terwijl voor de constructie van de mantel gewoon koolstofstaal is gebruikt.

### 9.3 Aangroei op de wanden (scaling)

Scaling van procesapparatuur, in het bijzonder van warmtewisselende oppervlakken en vloeistof/dampafscheiders, is Foster-Wheeler tot dusver niet tegengekomen in goed ontworpen en bedreven Carver-Greenfield-installaties. Ook hier is de reden de beschermende werking van de oliefilm op het metaaloppervlak. Foster-Wheeler verwacht derhalve dat de scaling ook onder Nederlandse omstandigheden niet op zal treden. Dit betekent: geen salpeterzuurverbruik en geen onderbreking van het proces voor het reinigen van wanden.

### 9.4 Veiligheidsaspecten

Het Carver-Greenfield-proces kent een tweetal kenmerkende risico's. Het eerste risico houdt verband met het gebruik van een vluchtige olie bij of boven zijn vlammpunt. De risico's verbonden aan het werken met een vluchtige olie kunnen echter afdoende ondervangen worden door een goed ontwerp van het systeem en aftapmogelijkheden. De installatie dient aan een speciale elektrische classificatie te voldoen om het ontstaan van elektrische vonken zoveel mogelijk uit te sluiten. Voor de Nederlandse situatie valt de installatie onder de zogenaamde zone 2 indeling [14]. De meet- en regelkamer en de motorbesturingsruimte (MCC = motor control center) worden uit veiligheidsoverwegingen buiten het eigenlijke werkgebied van de C-G-installatie gesitueerd. De staalconstructie is op grondniveau brandvrij uitgevoerd, terwijl bepaalde procesonderdelen zijn beschermd door middel van een Sprinkler-systeem. De installatie is voorzien van een goede aarding.

Verder houdt het gedroogde zuiveringsslib een potentieel stofexplosiegevaar in als het niet op de juiste wijze wordt behandeld. Veel zorg

moet besteed worden aan de transportsystemen binnen de installatie om het gedroogde slib van de ene naar de andere plaats te transporteren. Stikstof moet worden gebruikt voor het "afdekken" van bepaalde procesonderdelen (bijvoorbeeld de hydro-extractor), het spoelen van asafdichtingen en voor pneumatisch transport van het gedroogde slibpoeder. Foster-Wheeler wijst erop dat gedroogd slib goed moet worden afgekoeld alvorens het aan de lucht wordt geëxposeerd; te heet organisch materiaal dat uit de hydro-extractor komt, kan tot zelfontbranding komen.

#### 9.5 Vergunningen

De Carver-Greenfield-installatie zal, gezien het proces dat daarin plaatsvindt, onder het regiem van de Afvalstoffenwet kunnen worden gebracht. Een inrichting die een vergunning op grond van de Afvalstoffenwet nodig heeft, hoeft daarnaast geen vergunning op grond van de Hinderwet, de Wet Luchtverontreiniging en de Wet Geluidhinder aan te vragen. Deze aspecten zullen worden meegenomen in de Afvalstoffenwetvergunning. Daarnaast is een bouwvergunning vereist en is de Carver-Greenfield-installatie, op grond van het Besluit Milieu-effectrapportage d.d. 20 mei 1987 (nr. 18.2c) mer-plichtig.

#### 9.6 Bouwtijd

De tijd nodig vanaf de beslissing om de installatie te bouwen tot aan de oplevering, bedraagt maximaal 24 maanden. Deze tijd kan worden bekort als de levertijd van de procesapparatuur korter dan 6 maanden is en de aannemers over voldoende mankracht kunnen beschikken. Dit laatste heeft zowel betrekking op de constructie van de procesapparatuur als op het installeren van deze apparatuur. De tijd nodig voor de engineering kan eveneens worden bekort, omdat Foster-Wheeler reeds een slibdrooginstallatie van de beschouwde omvang heeft ontworpen.

9.7 Rechten, vergoedingen, realisatie

Hoewel het Carver-Greenfield-proces in vele landen gepatenteerd is, is dit niet in Nederland het geval. Om die reden worden er in Nederland geen vergoedingen (royalties) in rekening gebracht. Omdat er evenwel veel procestechnologische kennis beschikbaar is bij de patenthouder van het Carver-Greenfield-proces, vraagt deze een vergoeding voor het beschikbaar stellen van deze kennis. De kennisleveranciers zijn in dit geval Dehydro-Tech en Foster-Wheeler USA. Deze firma's willen hun kennis en expertise verkopen in de vorm van een "design package", waarmee andere firma's aan de slag kunnen. Dit pakket bevat alle informatie om apparatuur te kunnen bestellen en de noodzakelijke detailengineering te kunnen doen. Deze engineering zou door Nederlandse ingenieursbureaus kunnen worden gedaan die zowel vertrouwd zijn met petrochemische processen als met rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Het pakket bevat tevens een zekere hoeveelheid detailengineering voor leidingaanleg en instrumentatiesystemen. De hieraan verbonden extra kosten zijn in de kostenbeschouwing onder het aspect "engineering" opgenomen.

## 10 DE ZWARE-OLIE-VARIANT VAN HET C-G-PROCES

Zoals in paragraaf 2.2.3 is vermeld kent het C-G proces ook het gebruik van zware olie als dragervloeistof, in plaats van lichte olie. Verschil hierbij is dat geen slibolie wordt "gewonnen", terwijl de hoeveelheid dragerolie die met het gedroogde produkt verloren gaat aanzienlijk hoger is.

In het kader van deze studie is ook verkennend naar deze procesvariant gekeken.

### 10.1 Consequenties voor het proces

Het gebruik van zware olie (gedacht wordt aan een "medium cut" gasolie met een kooktraject van 225 tot 330 °C; een mengsel van lichte gasolie en kerosine) heeft tot gevolg dat de waterverdampingsapparatuur kleiner wordt door de eliminatie van de lichte olie damp in het systeem. Dit maakt het mogelijk om de afmetingen van de dampvloeistof-afscheider en het verbindende leidingwerk kleiner te maken. Ook de warmtewisselaar kan kleiner worden, omdat de te condenseren damp hoofdzakelijk uit waterdamp bestaat, die een hogere warmteoverdrachtscoëfficiënt heeft dan een 40/60 olie/water dampmengsel. De afmetingen van MVR-compressor blijven nagenoeg gelijk. De vermindering van het oliedampvolume wordt gecompenseerd door het grotere waterdampvolume.

De op de MVR volgende droogstappen zullen ook van de eliminatie van de lichte-oliedamp "profiteren", zij het in mindere mate.

Het centrifugesysteem blijft ongewijzigd. De twee belangrijkste wijzigingen hebben betrekking op de apparatuur die volgt op de centrifuge. In de eerste plaats ontbreekt het slibolieverwijderingssysteem, waarin bij de lichte-olie-variant de slibolie uit de dragerolie in het centraat van de centrifuge wordt afgescheiden. In de tweede plaats kan het hydro-extractor-systeem worden vervangen door een eenvoudiger pers-systeem.

Als de centrifuge de laatste olieverwijderingsstap vormt, zal het verlies aan dragerolie circa 35% op droge stof basis bedragen. Dit percentage is inclusief de in het slib aanwezige slibolie, die niet meer separaat wordt afgescheiden. Bij toepassing van een schroefpers of een ander type hoge drukpers kan het olieverlies in het gedroogde slib wor-

den beperkt tot 15 à 18%. Dit vraagt uiteraard om een hogere investering.

Eén en ander heeft tot gevolg dat de zware-olie CG-installatie goedkoper wordt, maar dat zowel het energieverbruik (geen slibolie beschikbaar) als het verbruik aan dragerolie toeneemt. Deze aspecten worden in paragraaf 10.3 uitgewerkt.

Omdat de dragerolie aanzienlijk minder vluchtig is, zal het gevaar voor brand en explosie kleiner zijn.

## 10.2 De bestemming van het gedroogde slib

Bij de beschouwing van de lichte-olie-variant is er van uitgegaan dat het gedroogde slib wordt gestort. Gezien het hoge gehalte aan dragerolie is dit bij het zware-olie C-G-proces om milieuhygiënische redenen niet mogelijk. Een belangrijke voorwaarde voor de uitvoering van de zware-olie-variant is dan ook dat het gedroogde, oliehoudende slib als brandstof kan worden gebruikt. Het gedroogde "produkt" heeft globaal de volgende samenstelling: water 2%, organische stof 40%, as 33%, slibolie 8% en dragerolie 17%. De calorische waarde wordt geschat op 15 à 20 MJ/kg.

Het ligt voor de hand om dit slib in eigen beheer te verbranden om daarmee de energie behoefte van het C-G-proces volledig te dekken en de resterende energie op de rwzi te gebruiken dan wel bijvoorbeeld in de vorm van elektriciteit te verkopen. Fluid-bed verbranding is in principe de beste methode om de energie uit het slib in de vorm van stoom te winnen. De reden hiervan is de lage verwekingstemperatuur van de as. In een fluid-bed oven kan de verbrandingstemperatuur het beste worden beheerst en onder de verwekingstemperatuur van 900 °C worden gehouden.

Hoewel het dus in principe mogelijk is om uit het gedroogde slib in eigen beheer energie in de vorm van stoom en elektriciteit op te wekken, wordt de gekozen verwerkingscapaciteit (8.200 ton d.s./jaar) te gering geacht om dit economisch verantwoord te kunnen doen. Foster-Wheeler taxeert dat het energieopwekkingssysteem (fluid-bed oven, ketel en turbine/generator) bij deze capaciteit ongeveer evenveel kost als de Carver-Greenfield-installatie. Bij een driemaal grotere capaciteit

daalt deze factor tot circa 70% van de Carver-Greenfield kosten.

In het onderhavige geval moet derhalve een alternatief worden gevonden voor de afzet van het slib als brandstof.

Sedert jaren wordt het gedroogde slib in Japan verbrand om stoom op te wekken voor het centrale stedelijke stoomnet. In dit systeem wordt de resterende dragerolie in het droge slib geregeld naar gelang de stoombehoefte.

Een andere succesvolle toepassing is het gebruik als brandstof in de cementindustrie. De slibas komt in het eindprodukt terecht; zware metalen worden geïmmobiliseerd doordat ze met de kalk in de cement reageren. Het afvangen van stof uit het rookgas gebeurt in de bestaande stofvangapparatuur.

Foster-Wheeler wijst tevens op de mogelijkheid van droge vergassing, waarvoor minder lucht nodig is, waardoor de gaszuivering (bijvoorbeeld zwavelverwijdering) gunstiger wordt.

In Nederland kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het gebruik als afvalbrandstof bij de huisvuil- of grootschalige slibverbranding. In het laatste geval kan de verbranding van nat slib door de toevoeging van het oliehoudende droge slib autothermisch worden gemaakt.

Welke kosten of baten met de diverse afzetmogelijkheden gepaard gaan, is niet bekend. Een nadere analyse van afzetmogelijkheden en kosten/baten valt buiten het kader van deze studie. Belangrijk is de constatering dat de zware-olie variant alleen met succes kan worden toegepast als de afzet van het gedroogde slib als brandstof op termijn gewaarborgd is.

### 10.3 Kostenaspecten

In deze paragraaf worden de kosten gegeven voor het drogen van zuiverings-slib middels de zware-olie-variant van het Carver-Greenfield-proces. Bij de kostenberekening is gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 4 en in paragraaf 7.2 beschreven uitgangspunten en definities. De kosten of baten voor het afzetten van het gedroogde slib zijn in deze kostenberekening buiten beschouwing gelaten.

Verder is uitgegaan van een olieverlies (inclusief slibolie) van 35%



van de vetvrije droge stof, stoomopwekking middels een aardgasgestookte ketel met een rendement van 75% en een elektriciteitsverbruik gelijk aan dat van de lichte-olie variant van het Carver-Greenfield-proces. De prijs per kilogram dragerolie is gelijk gesteld aan de prijs per kilogram gestookte olie.

### 10.3.1 Investeringsen

-----

De aanneemsom wordt berekend uit gegevens verstrekt door Foster-Wheeler [16], waar nodig aangevuld met schattingen van de auteurs. Deze schattingen zijn gebaseerd op gegevens en ervaringen verkregen in soortgelijke projecten.

Tabel 10: De aanneemsom in Mf

Onderdeel	Civiel	Elektromechanisch
Carver-Greenfield droger (opgave Foster-Wheeler)	3,250	8,074
Bijkomende voorzieningen:		
- ontvangstfaciliteiten	0,7	0,78
- trafo (500 kVA)	0,02	0,06
- bedrijfsgebouw (10*10*5)	0,22	0,055
- overkapping installatie	0,57	0,06
- gedroogd-slib-silo	0,05	0,5
	_____ +	_____ +
totaal	4,81	9,529

De investeringen (1,86 \* aanneemsom) zijn:

- civiel : 8,95 Mf
- elektromechanisch: 17,73 Mf

Ten opzichte van de lichte-olie-variant zijn de civiele investeringen met 2,21 Mf en de elektromechanische investeringen met 5,2 Mf afgenomen.

### 10.3.2 De jaarkosten

-----

In tabel 11 zijn de kapitaallasten en de bedrijfs-, zuiverings- en jaarkosten weergegeven.

Tabel 11: De opbouw van de jaarkosten

	Mf/j	f/ton d.s.	% van de jaarkosten
Kapitaallasten	2,67	326	48
Bedrijfskosten:			
- onderhoud	0,310	38	6
- personeel	0,72	88	13
- aardgas	0,412	50	7
- elektriciteit	0,331	40	6
- stikstof	0,01	1	< 1
- dragerolie	1,08	132	19
- koelwater	0,028	3	< 1
- leidingwater	0,001	< 1	< 1
- overige	0,041	5	< 1
Zuiveringskosten	0,06	7	1
Jaarkosten	5,67	691	100

De jaarkosten bij deze capaciteit zijn 5,67 Mf, hetgeen overeenkomt met circa 690 gulden per ton d.s. De jaarkosten bestaan voor 48% uit kapitaallasten, 51% uit bedrijfskosten en 1% uit zuiveringskosten.

De jaarkosten voor de zware- en lichte-olie-variant zijn ongeveer ge-

lijk. Hierbij moet echter wel bedacht worden dat de voor de zware-olie-variant berekende jaarkosten exclusief kosten of baten voor het afzetten van het gedroogde oliehoudende produkt zijn. Per tien gulden kosten of baten per ton gedroogd produkt veranderen de jaarkosten met ongeveer 12 gulden per ton d.s.

## 11 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De belangrijkste conclusies van de studie zijn:

- Het Carver-Greenfield-proces is een gecompliceerd proces. Het proces is bedrijfsvreemd en qua uitvoering ingewikkelder dan verbranding of thermische conditionering. Voor de bediening van de installatie zijn goedgeschoolde proces-operators nodig. De aard van het proces vraagt bij voorkeur om een vol-continue bedrijfsvoering en een verwerkingscapaciteit  $\geq 30$  ton droge stof per dag.
- Het Carver-Greenfield-proces wordt uitgevoerd in een lichte- en een zware-olie-variant, die in principe beide voor het drogen van zuiveringsslib kunnen worden gebruikt. De keuze hieruit hangt in sterke mate af van de afzetmogelijkheid van het gedroogde slib. Voor depone of gebruik als organische meststof heeft de lichte-olie-variant de voorkeur; voor het gebruik van het gedroogde slib als afvalbrandstof valt de keus op de zware-olie-variant.
- Hoewel het proces industrieel op betrekkelijk grote schaal wordt toegepast, is het aantal Carver-Greenfield-installaties voor het drogen van zuiveringsslib met de lichte-olie-variant nog beperkt. De installatie van de City of Los Angeles met een capaciteit van 240 ton d.s./dag, gekoppeld aan een vergaand energierterugwinningssysteem, had tot begin dit jaar met opstartproblemen te kampen. Onduidelijk is welke technische aspecten aan deze problemen ten grondslag liggen.  
Met de zware-olie-variant is in Japan ervaring opgedaan. Daar is een aantal Carver-Greenfield-installaties op rioolwaterzuiveringsinrichtingen in bedrijf.
- Bij toepassing van de lichte-olie-variant levert de vrijkomende slibolie een belangrijke bijdrage aan de energievoorziening van de installatie. Bij de zware-olie-variant blijft de slibolie in het slib, zodat brandstof voor de stoomopwekking moet worden toegevoerd.
- Bij een verwerkingscapaciteit van 8200 ton d.s. per jaar zijn de jaarkosten van de lichte- en de zware-olie-variant circa f 690 per

ton d.s. Deze kosten zijn exclusief de ontwaterings- en transportkosten van het slib. Voor de lichte-olie-variant is met de stortkosten van het gedroogde slib gerekend; bij de zware-olie-variant zijn de kosten of baten van de afvoer van gedroogd slib buiten beschouwing gelaten. Bij de lichte-olie-variant zijn de kapitaallasten in belangrijke mate bepalend voor de jaarkosten. Schaalvergroting heeft derhalve grote invloed op de kosten. Bij een capaciteit van 30.000 ton d.s. per jaar (1.800.000 i.e.) nemen de jaarkosten af van f 690 tot ongeveer f 435 per ton d.s..

Verandering van het drogestofgehalte en aankoop van stookolie in plaats van gebruik van slibolie hebben geringe consequenties voor de kosten. Verlaging van het drogestofgehalte van het ingaande slib van 20% naar 10% leidt tot verhoging van de jaarkosten van f 690 tot f 740 per ton d.s.; verhoging van het drogestofgehalte tot 30% leidt tot een daling van de jaarkosten tot ongeveer f 650 per ton d.s. Hierbij moet worden bedacht dat de slibontwateringskosten naar rato lager c.q. hoger zijn, waardoor de totale slibverwerkingskosten minder verschillen.

De aankoop van stookolie resulteert in een stijging van de totale kosten tot circa f 740 per ton d.s.

- Het condensaat van een Carver-Greenfield-installatie voor het drogen van zuiveringsslib kan niet direct op oppervlaktewater worden geloosd. Het condensaat kan wel zonder voorzuivering naar de rwzi worden teruggevoerd. Dit leidt tot een geringe toename van de CZV- en N-Kj-vracht. Voor de gekozen situatie is de toename respectievelijk 1 en 6%.

- Op dit moment is niet duidelijk aan welke eisen voor emissie naar de lucht de Carver-Greenfield-installatie moet voldoen. Toetsing aan de normen gesteld in het "Besluit emissie-eisen stookinstallaties van de Wet inzake de Luchtverontreiniging" d.d. 10 april 1987, laat zien dat de norm voor  $\text{NO}_x$  niet wordt gehaald. Door wijziging van de verbrandingscondities kan hieraan naar verwachting wel worden voldaan. De kostenconsequenties zijn te verwaarlozen.

Bij toetsing aan de eisen uit de "Richtlijn Verbranden 1989" blijkt dat  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  en stof deze aanzienlijk overschrijden. Volgens Foster-Wheeler kan door het nemen van geschikte maatregelen aan de gestelde

norm worden voldaan. De hieraan verbonden extra kosten bedragen ongeveer f 20 per ton d.s.

De hoeveelheid te behandelen afgas is geringer dan bij een directe conventionele droger die met warme lucht werkt. Bij het transport en het storten van het gedroogde (poedervormige) produkt zullen stofproblemen ontstaan. Bevochtigen of pelleteren biedt een mogelijke oplossing voor dit probleem.

Een Carver-Greenfield-installatie gebaseerd op de lichte-olie-variant stelt betrekkelijk hoge eisen aan de veiligheid.

- Het ontwerp en de bouw van een Carver-Greenfield-installatie kan in Nederland worden gedaan. Tegen vergoeding leveren Dehydro-Tech en Foster-Wheeler een "proces design package". Royalties zijn in Nederland niet verschuldigd.

Alvorens het drogen van zuiveringslib met het Carver-Greenfield-proces in het kader van grootschalige, gecentraliseerde slibverwerking uit te gaan voeren, verdient het aanbeveling om:

- grondig kennis te nemen van de Amerikaanse en Japanse ervaringen met het Carver-Greenfield proces voor slibdroging;
- het systeem bij voorkeur op pilot-plant schaal te beproeven met Nederlands zuiveringslib ten behoeve van een optimale proceskeuze en procesontwerp.



12 LITERATUUR

- [1] S. Walters,  
Benefits from biowaste  
Mechanical Engineering, April 1985, 70-75.
  
- [2] Folder van Foster-Wheeler nr. SP 83-7,  
Power from sludge.
  
- [3] D.C. Tillman,  
Los Angeles to meet sludge processor regs with energy-miser,  
Water & Sewage Works, November 1980, 30-32.
  
- [4] H.C. Hyde,  
Technology assessment of Carver-Greenfield,  
municipal sludge drying process,  
EPA-600/2-84-200, PB 85-138634, December 1984.
  
- [5] C. Brindley,  
The Carver-Greenfield process for waste treatment,  
Water Sewage & Effluent 1984, No. 18, 35-39.
  
- [6] Kazuo Ohmiya, Sadaharu Takashashi,  
Engineering evaluation of new sludge treatment facilities,  
Journal WPCF, Vol. 52, No. 5, 943-949.
  
- [7] A.S. Rashidi, R.S. Horil, C. Greenfield, D.L. Smith  
The Hyperion Carver-Greenfield facility: Innovative technology  
for municipal sludge dehydration,  
59th Annual WPCF Conference, October 1986, Los Angeles,  
California.
  
- [8] R.T. Hang, S.K. Raksit, W.H. Davis,  
Thermal processing of wet organic sludges,  
American Chemical Society Division of Environmental Chemistry,  
1978, 18, No. 1, 363-364.
  
- [9] Anonymus



Sludge burning to benefit environment, L.A. Taxpayers,  
American City & County/ September 1983, 51-52.

- [10] D.F. Bress, C. Greenfield,  
Carver-Greenfield process, drying of pulp with activated sludge  
for energy recovery in a hot fuel boiler,  
Proc. Ind. Waste Conf. (80), 600-605, vol. 34, 1979.
- [11] R.T. Haug, S.K. Raksit, W.H. Davis,  
Dehydration and energy recovery from sludge  
National Conference on Environ. Eng. Proc. of the ASCE Spec.  
Conf., San Francisco, California, July 9-11, 1979,  
Publ. by ASCE, New York NY 1979, 587-591.
- [12] C.J. Crumm, K.A. Pluenneke,  
Development of an efficient biomass drying process and its  
commercial use for energy recovery  
Symposium on "Energy from biomass and wastes VIII",  
Orlando, Florida, February 1, 1984, 1-29.
- [13] Anonymus,  
The Carver-Greenfield-process for dehydration of municipal and  
industrial sludges,  
Foster-Wheeler publicatie FWIC 86-24.
- [14] Leidraad voor gevarenezone-indeling met betrekking tot gasontplof-  
fingsgevaar en elektrische installaties en materiaal.  
R no. 2, eerste druk 1979,  
Uitg. Rapport van het Directoraat-Generaal voor de Arbeid.
- [15] Het inwonerequivalent getoetst, STORA 1987.
- [16] Brieven van Foster-Wheeler aan TNO, t.a.v. F. van Voorneburg  
d.d. 10-1-1989, 2-2-1989, 9-2-1989, 31-5-1989 en 24-10-1989.
- [17] Emissieregistratie voor vuurhaarden, TNO-MT, 1987.

[18] M. Gonzalez, F.Y.W. Liao, K.A. Pluenneke, G. Rowe, M.J. Siecke  
Start-up and operation of chemical process technologies in the  
municipal sector.

The Carver-Greenfield-process for sludge drying

US Environmental Protection Agency

EPA Contract No. 68-03-3470/0-14