

IN31085.89-07

i g e

g e n e r a l 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

R89-07

NATTE OXYDATIE VAN ZUIVERINGSSLIB MET HET VERTECH-SYSTEEM

DBW/RIZA

rijkswaterstaat
dienst binnenwateren/riza

postbus 17, 8200 AA IJlstad 03200-70411



stichting toegepast onderzoek
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-512710

NW31003, 89-07

ieratie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

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



**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**NATTE OXYDATIE VAN ZUIVERINGSSLIB MET
HET VERTECH-SYSTEEM**

auteur(s):

TNO-MT:

dr. ir. A. Rinzema
prof. dr. ir. W.H. Rulkens

Witteveen & Bos:

ir. J.R.A.G. Schepman
ir. F.W.A.M. Rijnart

RWZI 2000 89-07

17 SEP. 1997

[Handwritten signature]

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	4
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	11
2 HET VERTECH NATTE-OXYDATIEPROCES	13
2.1 Principe	13
2.2 Procesonderdelen	15
2.2.1 Voorbehandeling	15
2.2.2 De natte-oxydatiereactor (VerTech Reactor Vessel)	16
2.2.3 Nabehandeling van de afgassen	21
2.2.4 Asafscheiding en -ontwatering	21
2.2.5 Decantaatzuivering	22
2.2.6 Energievoorziening en -terugwinning	23
2.2.7 Zuurstofvoorziening	24
2.3 Procescondities in de natte-oxydatiereactor	24
2.3.1 Temperatuur	24
2.3.2 Influentconcentratie	25
2.3.3 Druk	30
2.3.4 Verblijftijd	30
2.3.5 Stromingsregime	30
2.4 Capaciteit van de natte-oxydatiereactor	30
3 STATUS VAN HET VERTECH-SYSTEEM	33
3.1 Inleiding	33
3.2 De onderzoeksinstallaties in Lowry en Longmont	33
3.2.1 Lowry	33
3.2.2 Longmont	34
3.3 Voorbereidingen voor gegunde projecten	37
3.3.1 Apeldoorn, Nederland	37
3.3.2 Windsor, Canada	38

4	UITGANGSPUNTEN	41
4.1	De rioolwaterzuiveringsinrichting	41
4.2	Slibverwerkingscapaciteit	42
4.3	Slibsamenstelling	43
4.4	Ontwerpeisen	43
4.5	Systeemgrenzen voor VerTech	44
4.6	Het bestudeerde VerTech-systeem	45
5	MASSA- EN ENERGIEBALANS	47
5.1	Inleiding	47
5.2	Massabalansen	50
5.3	Energiebalans	52
5.4	Discussie energiebalans	52
6	INPASSING IN EEN BESTAANDE RWZI	55
6.1	Algemeen	55
6.2	Ontvangst	55
6.3	Decantaatzuivering	56
6.4	Afvoer	60
7	KOSTENBEREKENING EN GEVOELIGHEIDSANALYSE	61
7.1	Uitgangspunten	61
7.2	Investeringen	63
7.3	De jaarkosten	63
7.4	Gevoeligheidsanalyse	64
7.4.1	Capaciteit van het VerTech-systeem	65
7.4.2	De bedrijfstijd en de personeelsbezetting	67
7.4.3	Het droge-stofgehalte van het ingaande slib	68
7.4.4	De prijs van vloeibare zuurstof en het aantal werknemers	68
8	MILIEUASPECTEN	69
8.1	Zware metalen in de ontwaterde as	69
8.2	Organische microverontreinigingen in de ontwaterde as	70
8.3	Afgassen	71
8.4	Het decantaat	74
8.5	Aspecten geluidshinder	75

9	DIVERSE ASPECTEN	77
9.1	Constructiemateriaal	77
9.2	Anorganische wandvervuiling	78
9.3	Organische wandvervuiling	80
9.4	Veiligheidsaspecten	80
9.5	Vergunningen	80
9.6	Bouwtijd	81
9.7	Ruimtebeslag	81
9.8	Rechten en vergoedingen	82
10	CONCLUSIES	83
11	LITERATUUR	87
BIJLAGE 1.	Uitgangspunten balansberekeningen VerTech natte oxydatie	91
BIJLAGE 2.	Massa- en energiebalans VerTech natte oxydatie	93

VOORWOORD

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

Het voorliggend rapport geeft de resultaten van een haalbaarheidsstudie naar de natte oxydatie van zuiveringsslib met het VerTech-systeem.

De studie is uitgevoerd door TNO-MT en Witteveen en Bos op basis van beschikbare gegevens uit de literatuur en informatie verstrekt door VerTech Treatment Systems b.v. De uitvoerders bedanken de heren K.M. Heerema en H.W. Peterscheck van VerTech Treatment Systems b.v. en P.H.A.M.J. de Bekker van Grontmij voor de prettige 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.

Voor de Slibverwerking Veluwe b.v. is een VerTech-installatie voor de verwerking van zuiveringsslib gepland te Apeldoorn. Bij eventueel nieuw te initiëren vervolgonderzoek zal aansluiting gezocht te worden bij het begeleidend onderzoek bij deze praktijkinstallatie.

Lelystad, december 1989

Voor de Stuurgroep RWZI-2000

dr. J. de Jong
(voorzitter)

SAMENVATTING

Als onderdeel van het onderzoekproject "Verwerkingsmethoden voor zuiveringsslib" is een studie uitgevoerd naar natte oxydatie van vergist slib met het VerTech-systeem. Doel van de studie was het proces zowel technisch als economisch te evalueren voor toepassing op Nederlandse rioolwaterzuiveringsinrichtingen. De studie is uitgevoerd op basis van openbare literatuur en met medewerking van de leverancier, VerTech Treatment Systems te Houten.

Verwerking van zuiveringsslib met behulp van het VerTech-proces berust op natte oxydatie, dat wil zeggen de oxydatie van organische componenten - tot hoofdzakelijk kooldioxide en water - in de waterfase met behulp van zuurstof, bij hoge temperatuur en hoge druk. Bij het VerTech-systeem wordt de reactie uitgevoerd in een lange ondergrondse pijpreactor, de zogenaamde VerTech Reactor Vessel of VRV. Onderin deze pijp wordt de benodigde druk bereikt door het gewicht van het bovenstaande gas/vloeistofmengsel. Door de toevoer en afvoer van de pijpreactor uit te voeren als een systeem met twee concentrische buizen, wordt tevens een efficiënte terugwinning van de reactiewarmte mogelijk.

De studie is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De VerTech-installatie is geplaatst op een bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) met een capaciteit van 200.000 i.e.¹ Naast het vergiste slib van deze rwzi, verwerkt de VerTech-installatie slib van andere installaties; de totale capaciteit komt hiermee op 500.000 i.e. (8.200 ton d.s. per jaar, asrest 45%).²
- De installatie is 5 dagen/week gedurende 24 uur/dag in bedrijf; per week is 24 uur nodig voor de herstart en onderhoudswerkzaamheden en is 96 uur beschikbaar voor oxydatie.
- De droge stof die na natte oxydatie resteert (as) wordt mechanisch ontwaterd en gestort.

¹ 1 i.e. = 54 g BZV per dag

² Het VerTech-systeem is ook geschikt voor de verwerking van vers slib en aëroob gestabiliseerd slib

- Door middel van een gevoeligheidsanalyse wordt vastgesteld wat de invloed van schaalvergroting en van verlenging van de bedrijfstijd is.

De belangrijkste conclusies van de studie zijn:

- Het VerTech-proces is qua complexiteit vergelijkbaar met de Zimpro slibconditioneringsinstallaties die op de rioolwaterzuiveringsinrichtingen in Apeldoorn en Breda in bedrijf zijn en vereist goed-gepaste proces-operatoren.
- De ervaring met het VerTech-proces is beperkt. VerTech heeft ervaring opgedaan met een full-scale demonstratie-systeem in Longmont; op dit moment is geen VerTech-systeem in bedrijf.
- VerTech verwacht bij de natte oxydatie van vergist zuiveringsslib een CZV-reductie van 70-75% en 90% afbraak van organisch gesuspendeerd materiaal. De onderzoekers achten deze verwachting reëel. Vergeleken met conventionele mechanische ontwatering met een filterpers worden het stortvolume en -gewicht met een factor 3 à 4 gereduceerd.
- Het bestudeerde VerTech-systeem is energetisch niet volledig geoptimaliseerd.
- Het decantaat (asvrije effluent) uit het VerTech-systeem kan niet direct op het oppervlaktewater of op de bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting worden geloosd. Een aparte zuiveringsinstallatie is dus vereist. In dit rapport is uitgegaan van een laagbelast aëroob actief-slibstelsel met voor-denitrificatie. Dit systeem levert een effluent op dat nog nazuivering in de bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting behoeft, waarbij rekening moet worden gehouden met een aanzienlijke nitraatvracht.
- De kosten zijn berekend voor een aantal situaties (alle kosten inclusief 18,5% BTW, exclusief voorbereiding van het slib, transportkosten voor slib en as; de kosten zijn gebaseerd op 75% CZV-reductie van uitgestort slib met een gloeirest van 45% t.o.v. de droge stof):

capaciteit (ton ds/jaar)	bedrijfstijd (uur/week)	zuurstofprijs (f/kg O ₂)	kosten (f/ton ds)
8.200	5 x 24	0,20	930,=
30.000	5 x 24	0,20	520,=
8.200	7 x 24	0,20	860,=
8.200	5 x 24	0,30	995,=

- Over de milieu-aspecten kunnen, op basis van de huidige inzichten en gegevens (september 1989), de volgende uitspraken worden gedaan:
 - Indien de bestaande rwzi is uitgerust met een denitrificatie-zone, zal de nazuivering van het effluent uit de zuiveringsinstallatie van het VerTech-systeem naar verwachting geen problemen opleveren.
 - Op basis van de door VerTech Treatment Systems verstrekte gegevens, wordt verwacht dat de afgasemissies uit de natteoxydatiereactor na katalytische naverbranding zullen voldoen aan de eisen voor NO_x, NH₃, SO₂ en CO. De geuremissie uit verschillende onderdelen van het VerTech-proces is niet bekend.
 - De concentraties zware metalen en organische microverontreinigingen in de ontwaterde as blijven onder de grenswaarden van de Wet Chemische Afvalstoffen.
 - Het VerTech-systeem kan voldoen aan de eisen gesteld in de Wet Geluidhinder, mits geluidbeperkende maatregelen worden getroffen.
- De veiligheidsrisico's van het VerTech-systeem zijn gemeten naar industriële maatstaven niet uitzonderlijk hoog. Het werken met hoge temperaturen en drukken (ondergronds) is echter nieuw voor een rioolwaterzuiveringsinrichting.

Dit rapport geeft een beschrijving van het VerTech-systeem, op basis van de gegevens die in september 1989 beschikbaar waren. Bij de beoordeling van dit systeem dient aanvullende informatie die later beschikbaar is gekomen te worden meegewogen. In dit verband moet bijvoorbeeld worden gewezen op de MER voor de geplande installatie te Apeldoorn, die eind 1989 wordt afgerond. Deze MER zal met name voor een aantal milieu-aspecten aanvullende informatie verstrekken.

1 INLEIDING

Recentelijk hebben zich op het gebied van de verwerking van slib afkomstig van rioolwaterzuiveringsinrichtingen een aantal nieuwe ontwikkelingen voorgedaan. Een daarvan is het zogenaamde VerTech natte-oxydatieproces, een proces waarbij het organische materiaal in het slib bij hoge temperatuur en druk in een ondergrondse pijpreactor wordt geoxydeerd tot kooldioxyde en water.

Dit rapport beschrijft de resultaten van een bureaustudie naar de toepassingsmogelijkheden van het VerTech-proces onder Nederlandse omstandigheden. Bij de uitvoering van deze studie is gebruik gemaakt van literatuur die via een computerrecherche werd verkregen en van informatie die werd verstrekt door VerTech Treatment Systems b.v. te Houten.

De studie is uitgevoerd voor een rioolwaterzuiveringsinrichting met een capaciteit van 200.000 i.e., bestaande uit een voorbezinking, een actief-slibinstallatie en slibgistingstanks. Het uitgegiste slib uit deze inrichting wordt na indikking tot ca. 5% droge stof in de VerTech-reactor geoxydeerd. Om de economische haalbaarheid van de natte oxydatie te verbeteren, wordt naast het ter plaatse geproduceerde slib ook slib van andere rwzi's verwerkt; de totale capaciteit van de toeleverende rwzi's komt hiermee op 500.000 i.e. Het vaste residu dat na de natte oxydatie overblijft, wordt ontwaterd en gestort. Dit uitgangspunt is gekozen op basis van twee overwegingen: (1) de studie dient relevant te zijn voor meerdere rwzi's in Nederland en (2) de hoeveelheid slib dient groot genoeg te zijn voor de VerTech-installatie. Het VerTech-systeem is kapitaalintensief en toepassing op grote schaal verdient daarom de voorkeur.

De VerTech-installatie is gedurende 5 dagen per week 24 uur per dag in bedrijf; de opstartperiode, de voor onderhoud benodigde tijd en de tijd die nodig is om storingen op te vangen zijn bij deze bedrijfstijd inbegrepen. Op verreweg de meeste rwzi's in Nederland is slechts gedurende 5 dagen per week en 8-16 uren per dag bedieningspersoneel aanwezig. In verband met het kapitaalintensieve karakter van het VerTech-

systeem is continu-bedrijf gedurende tenminste 120 uren per week echter vereist (de voor onderhoud benodigde tijd is hierbij inbegrepen).

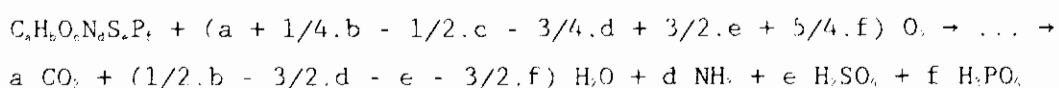
In hoofdstuk 2 wordt een algemene beschrijving van het VerTech natte-oxydatieproces gegeven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de stand van zaken met betrekking tot de ontwikkeling en toepassing van het proces. In hoofdstuk 4 worden de uitgangspunten van de studie beschreven; de rioolwaterzuiveringsinrichting wordt beschreven en er wordt ingegaan op de kwantiteit en kwaliteit van het te verwerken slib en op de specificaties van het geëvalueerde VerTech-systeem. De massa- en energiebalans voor het VerTech-systeem komen in hoofdstuk 5 aan de orde. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de inpassing van het VerTech-systeem in de bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting; hierbij ligt de nadruk op de zuivering van het effluent uit de natte-oxydatiereactor. In de hoofdstukken 7 en 8 worden respectievelijk de milieuaspecten en de kosten van het systeem besproken. Door middel van een gevoeligheidsanalyse wordt in deze studie vastgesteld wat de invloed van verdere schaalvergroting en van verlenging van de bedrijfstijd tot 168 uren per week is. De keuze van constructiematerialen, veiligheidsaspecten, vergunningen en diverse andere aspecten worden in hoofdstuk 9 beschreven. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 10).

Dit rapport geeft een beschrijving van het VerTech-systeem, op basis van de gegevens die in september 1989 beschikbaar waren. Bij de beoordeling van dit systeem dient aanvullende informatie die later beschikbaar is gekomen te worden meegewogen. In dit verband moet bijvoorbeeld worden gewezen op de MER voor de geplande installatie te Apeldoorn, die eind 1989 wordt afgerond. Deze MER zal met name voor een aantal milieuaspecten aanvullende informatie verstrekken.

2 HET VERTECH NATTE-OXYDATIEPROCES

2.1 Principe

Verwerking van zuiveringsslib met behulp van het VerTech-proces berust op natte oxydatie, dat wil zeggen de oxydatie van organische componenten in de waterfase met behulp van zuurstof. Deze chemische reactie kan sterk vereenvoudigd worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



De oxydatie van organisch gebonden koolstof en waterstof levert de onschadelijke eindprodukten kooldioxyde en water op. Organisch gebonden stikstof wordt omgezet in ammoniak; ammoniak wordt niet geoxydeerd. Organisch gebonden zwavel en gereduceerde anorganische zwavelcomponenten worden geoxydeerd tot sulfaten. Organisch gebonden fosfor komt vrij als fosfaten. In bovenstaande vergelijking is de afbraak van gehalogeneerde koolwaterstoffen niet weergegeven, omdat bij natte oxydatie normaliter slechts bepaalde gehalogeneerde koolwaterstoffen kunnen worden afgebroken tot kooldioxyde, water en de sterke minerale zuren (bijvoorbeeld zoutzuur).¹

In principe is volledige oxydatie van organisch gebonden koolstof en waterstof tot kooldioxyde en water mogelijk, maar in de praktijk wordt dit niet bereikt. De oxydatiegraad wordt bepaald door de procestemperatuur, de reactietijd en de aard van de te oxyderen verbindingen. Tijdens het natte-oxydatieproces worden diverse organische tussenprodukten gevormd als gevolg van oxydatie-, hydrolyse- en pyrolyse-acties. Met name deze tussenprodukten worden niet altijd volledig geoxydeerd. In de praktijk bevat het effluent van een natte-oxydatiereactor dan ook vluchtige vetzuren en relatief kleine hoeveelheden alcoholen, aldehyden en ketonen.

¹ Met name voor aromatische gehalogeneerde koolwaterstoffen zijn zeer hoge temperaturen of het gebruik van katalysatoren vereist.

Voor natte oxydatie van rioolwaterzuiveringsslib is een temperatuur van minimaal 175 °C vereist. Het proces moet daarom onder hoge druk worden uitgevoerd. Bij conventionele, bovengrondse natte-oxydatieprocessen betekent dit dat een grote hoeveelheid energie nodig is om het slib en de zuurstofhoudende gasstroom in de oxydatiereactor te pompen. Bij het VerTech-systeem wordt dit probleem ondervangen door de reactie uit te voeren in een 1200-1500 meter lange ondergrondse pijpreactor, de zogenaamde VerTech Reactor Vessel (VRV). Onderin deze pijp wordt een druk van ca. 100 bar bereikt door het gewicht van het bovenstaande gas/vloeistofmengsel. Door de toevoer en afvoer van de pijpreactor uit te voeren via een systeem van twee concentrische buizen, wordt tevens een efficiënte terugwinning van de reactiewarmte mogelijk.

2.2 Procesonderdelen

Het door VerTech Treatment Systems op de markt gebrachte oxydatiesysteem omvat een aantal onderdelen, die in figuur 1 schematisch zijn weergegeven:

- de voorbehandeling van het slib;
- de natte-oxydatiereactor (VerTech Reactor Vessel, of VRV);
- de nabehandeling van de afgassen;
- de afscheiding van het resterende gesuspendeerde materiaal (de as) uit het effluent;
- de verwijdering van stikstofverbindingen en zuurstofvragend organisch materiaal uit het effluent;
- de ontwatering van de as;
- de energievoorziening en -terugwinning;
- de zuurstofvoorziening.

In de volgende paragrafen zal elk onderdeel beknopt worden besproken.

2.2.1 Voorbehandeling

Het slib wordt vanuit een buffer naar een mengtank gepompt, waar het drogestofgehalte indien nodig omlaag wordt gebracht tot 5%. Voor de verdunning wordt effluent uit de oxydatiereactor gebruikt, waaruit de

zwevende stof is verwijderd. Het verdunde slib wordt in een tweede buffer opgeslagen. Vanuit deze buffer wordt het slib via een versnijder en een cycloon (zandafscheiding) naar de VRV gepompt. Vóór de VRV wordt nog natronloog aan het slib toegevoegd, om de vorming van neerslagen op de reactorwand te beperken.

2.2.2 De natte-oxydatiereactor (VerTech Reactor Vessel)

In 1984 en 1985 heeft VerTech in Longmont (Colorado, V.S.) de natte oxydatie van uitgegist zuiveringsslib onderzocht in een installatie op industriële schaal. Op basis van de ervaringen die tijdens dit onderzoek zijn opgedaan, is de vormgeving van de VRV sterk aangepast. Naast de vormgeving van de VRV, zijn de diepte van de VRV en de keuze van de zuurstofbron van cruciaal belang voor het VerTech-proces.

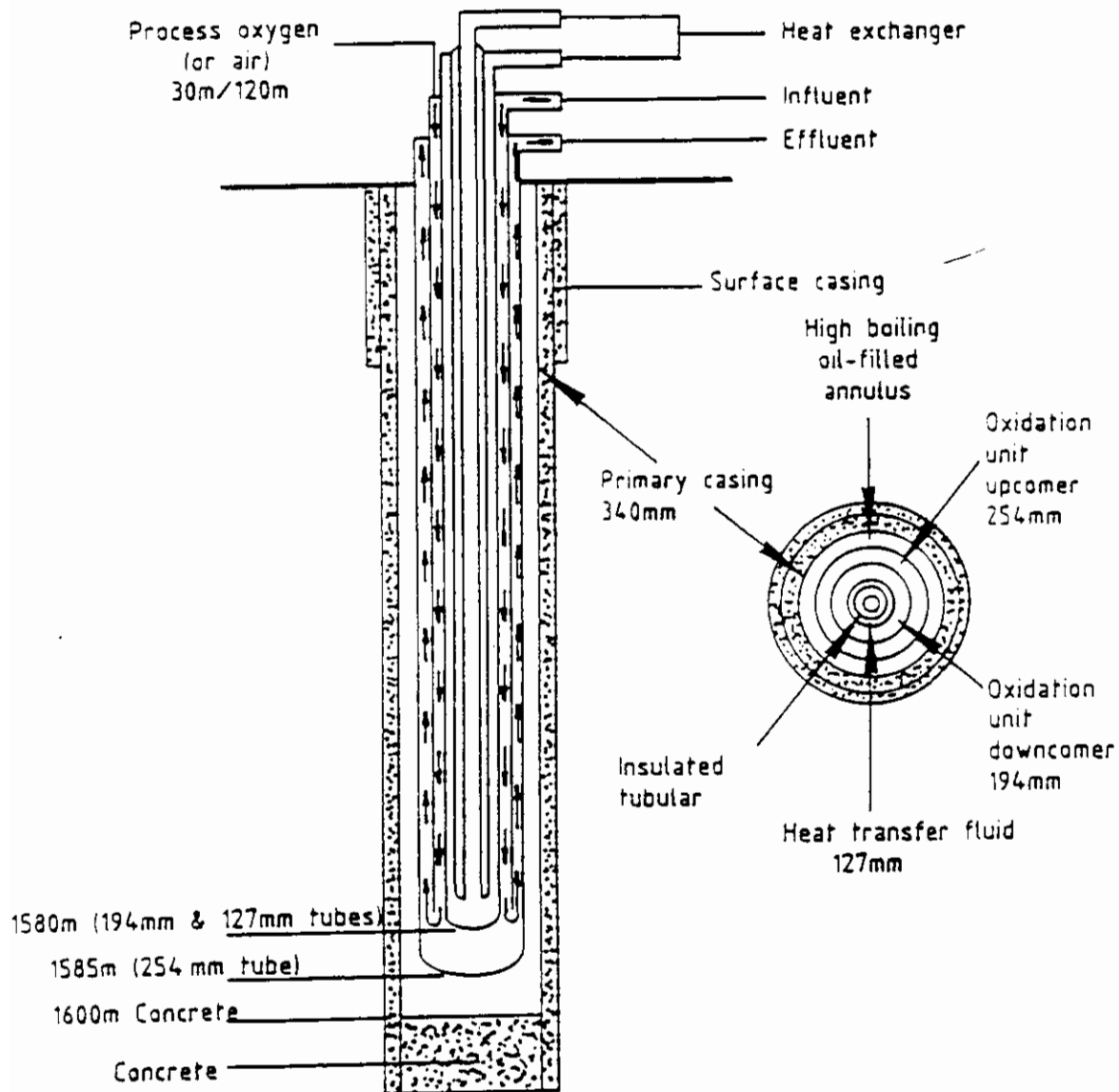
Vormgeving van de VRV

Figuur 2 geeft een schematisch beeld van de VRV die is gebouwd in Longmont [5]. Deze reactor is opgebouwd uit een viertal concentrische buizen: van binnen naar buiten zijn dit:

- . de geïsoleerde afvoer van de warmtewisselaar (bij normaal bedrijf),
- . de toevoer van de warmtewisselaar,
- . de toevoer van slib en lucht (de zogenaamde downcomer), en
- . de afvoer van slib en afgassen (de zogenaamde riser).

De reactor is opgehangen in een met cement beklede boorput. De ruimte tussen de reactor en de putwand is gevuld met een hoogkokende olie, zodat de buitenste reactorbuis vrijwel alleen zijn eigen gewicht hoeft te dragen en niet het gewicht van de reactorinhoud.

Bij normaal bedrijf neemt de temperatuur van boven naar beneden in de reactor toe tot 260-300 °C, tengevolge van de reactiewarmte die bij de oxydatie vrijkomt (figuur 3). Het verse slib (influent) wordt in de downcomer opgewarmd door het geoxydeerde slib (effluent) in de riser. Op een diepte van 700-800 meter wordt een temperatuur van 175 °C bereikt, waardoor de oxydatiereacties op gang komen [5,11]. Sterke waterverdamping

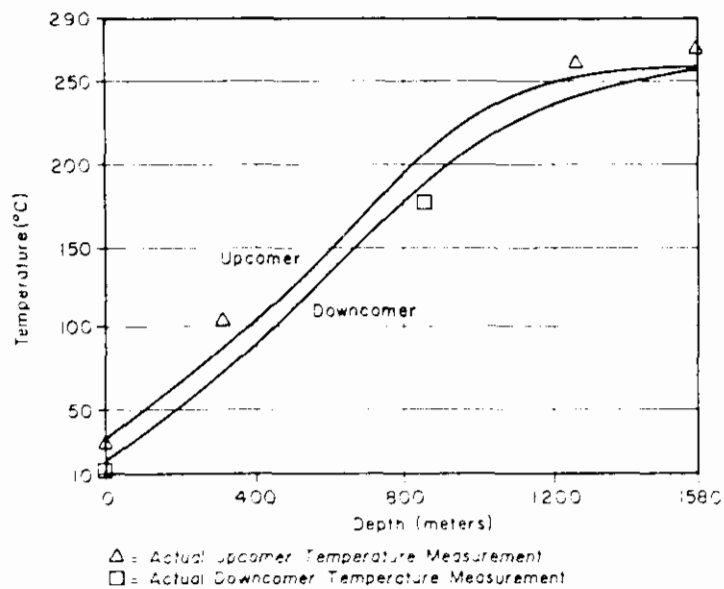


U.S. Patent No. 4,272,383

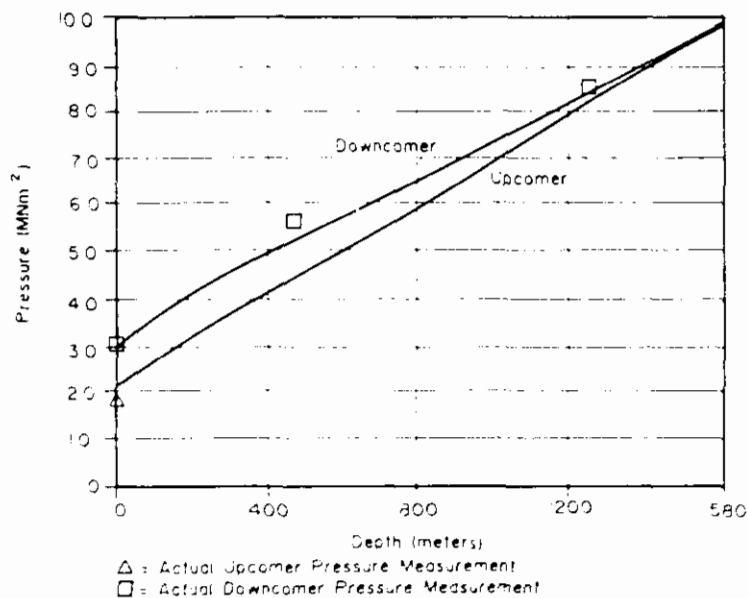
Figuur 2. Schema van de in Longmont gebouwde pijpreactor [1]

wordt voorkomen doordat de druk van boven naar beneden voldoende toeneemt, tengevolge van het gewicht van het bovenstaande gas/vloeistofmengsel (figuur 4).

Het in Longmont onderzochte systeem had een aantal nadelen, die zijn ondervangen door aanpassingen in de vormgeving van de VRV. Figuur 5 geeft een schematisch beeld van de aangepaste VRV [27]. In de aangepaste VRV zijn nog steeds de concentrische downcomer en riser opgenomen, die zorg dragen voor een efficiënte warmteoverdracht tussen influent en effluent. De met hoogkokende olie gevulde annulaire ruimte tussen de riser en de betonnen putwand is in dit ontwerp vervallen. De warmte-



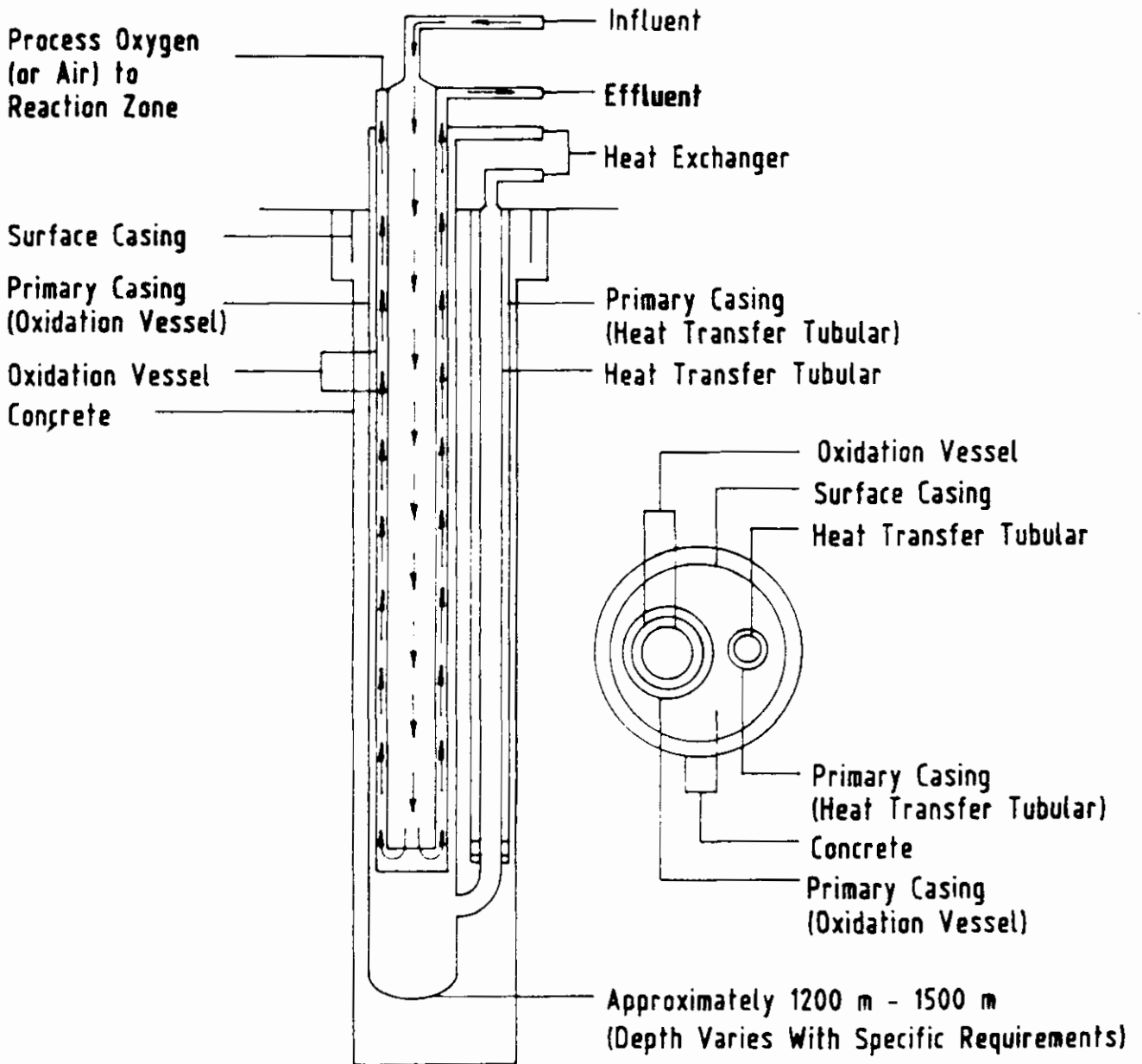
Figuur 3. Temperatuurverloop over de hoogte van de reactor [2]



Figuur 4. Drukverloop over de hoogte van de reactor [2]

wisselaar is niet meer centraal in de downcomer geplaatst, maar omhult de riser. De warmtetransport-vloeistof wordt afgevoerd via een aparte, naast de reactor geplaatste buis. De nieuwe constructie heeft een tweetal voordelen ten opzichte van de Longmont-reactor:

Center Tube Downcomer Vessel (CTD) Cross-Sectional Schematic



Figuur 5. Schema van de aangepaste pijpreactor [7]

- in geval van mechanische defecten kan de reactorbuis eenvoudiger uit de put worden gehaald;
- de diameter van de riser en downcomer is afgenomen, waardoor de investeringskosten afnemen in die gevallen waar een duur, corrosiebestendig metaal vereist is.

In de aangepaste reactor wordt water als warmtetransport-vloeistof gebruikt in plaats van Dowtherm-A [14], omdat hiermee een efficiëntere warmteoverdracht mogelijk is.

Diepte van de VRV

De Longmont-reactor is 1.525 m diep. Momenteel ontwerpt VerTech Treatment Systems echter reactoren met een diepte van 1.200 m, omdat dit een aanzienlijke verlaging van de investeringskosten oplevert. Modelberekeningen en onderzoek in een continu gevoede bovengrondse pijpreactor geven volgens VerTech aan dat in een 1.200 m diepe VRV een voldoende lange verblijftijd in de reactiezone (temperatuur > 175 °C) mogelijk is. VerTech verwacht zonder problemen dezelfde CZV-reductie te kunnen bereiken als in de 1.525 m diepe reactor.

Keuze van de zuurstofbron

Tijdens het onderzoek in Longmont is het gebruik van lucht, met zuurstof verrijkte lucht en zuivere zuurstof onderzocht [5]. De oxydatiecapaciteit van de VRV bleek bij gebruik van zuivere zuurstof aanzienlijk hoger te liggen dan bij gebruik van lucht:

. bij gebruik van lucht	3.400 kg CZV/dag
. bij gebruik van zuurstof	22.500 kg CZV/dag

Bij gebruik van zuivere zuurstof kan met een hogere influentconcentratie worden gewerkt, waardoor de oxydatie-capaciteit toeneemt. Bij gebruik van lucht moet de influentconcentratie om twee redenen beneden een bepaalde grens blijven:

- de gas-holdup in de downcomer en riser neemt bij verhoging van de lucht/slibverhouding zodanig toe dat de druk onderin de VRV daalt en de temperatuur onderin de reactor moet worden verlaagd om koken van de vloeistof te vermijden;
- bij verhoging van de luchttoevoersnelheid neemt de gassnelheid in de reactor zodanig toe, dat het systeem in een ongunstiger stromingsregime terecht komt.

VerTech ontwerpt momenteel alleen nog systemen voor oxydatie met zuivere zuurstof. De kosten van de zuurstof worden ruimschoots gecompenseerd door de lagere investeringskosten.

2.2.3 Nabehandeling van de afgassen

Het uit de VRV tredende mengsel wordt gescheiden in een gas- en een vloeistofstroom, door middel van twee in serie geplaatste gas/vloeistof-scheiders (twee drukniveaus).

Het afgas bevat voornamelijk kooldioxyde, zuurstof, stikstof, waterdamp, koolmonoxyde en ammoniak, naast sporen vluchtige organische componenten (zie hoofdstuk 8). VerTech installeert een katalytische naverbrander met warmtewisselaar voor de behandeling van de afgassen uit de VRV [2]. De temperatuur in de naverbrander is 490 °C. De benodigde warmte wordt geleverd door de oxydatie van de koolmonoxyde. Het afgas uit de VRV wordt gebruikt als primaire zuurstofbron voor de branders; indien het afgas uit de VRV onvoldoende zuurstof bevat, wordt lucht toegevoegd.

2.2.4 Asafscheiding en -ontwatering

Het ontgaste effluent uit de VRV wordt naar een lamellenafscheider gepompt, waar een scheiding plaatsvindt in een bovenloop met een drogestofgehalte van 200-300 mg/l en een onderloop met een drogestofgehalte van 50 kg/m³. Om de afscheiding van de zeer kleine deeltjes te bevorderen wordt vóór de lamellenafscheider een polyelectrolytoplossing aan het effluent toegevoegd.

De onderloop uit de lamellenafscheider stroomt naar een decanteercentrifuge, waar de as wordt ontwaterd. Voor de centrifuge wordt nogmaals een polyelectrolytoplossing gedoseerd. VerTech heeft tijdens het onderzoek in Longmont drogestofgehaltes variërend tussen 45 en 75% bereikt met dit type centrifuge. Bij deze tests werd geen voorconcentrerings in een lamellenafscheider toegepast, en werd de polyelectrolytdosering niet geoptimaliseerd [5]. VerTech gaat er van uit dat in de praktijk een drogestofgehalte van 50% zal worden bereikt [2].

Het decantaat van de centrifuge wordt teruggevoerd naar de lamellenafscheider. De bovenloop van de lamellenafscheider gaat naar het waterzuiveringssysteem.

2.2.5 Decantaatzuivering

In diverse publicaties schetst VerTech een decantaatzuiveringssysteem, bestaande uit een anaërobe biologische voorzuivering, een ammoniakstripper en een aërobe biologische nazuivering [3,9]. Bij de geplande slibverwerkingsinstallatie in Apeldoorn zal echter een aëroob actief-slibproces met voor-denitrificatie worden gebouwd. Voor de keuze van dit systeem is een aantal redenen aan te geven: (1) de haalbaarheid van anaërobe voorzuivering is onzeker, in verband met het hoge ammoniakgehalte van het decantaat en de mogelijke vorming van giftige organische tussenprodukten in de natte-oxydatiereactor; (2) strippen van ammoniak is economisch niet aantrekkelijk, vanwege het hoge loogverbruik en de onzekerheden over de afzet van de geproduceerde ammoniak-oplossing. De anaërobe voorzuivering van het effluent uit de VRV kan volgens recente literatuur problemen opleveren, indien de temperatuur in de reactor boven 230 °C komt [7]. Volgens VerTech wordt de vorming van giftige tussenprodukten niet veroorzaakt door de reactietemperatuur, maar door zuurstof-limitatie [15]. VerTech verwacht dat anaërobe voorzuivering op langere termijn wel mogelijk is. Tezamen met Air-Products onderzoekt VerTech voor de geplande installatie in Windsor (Canada) de toepassing van een anaëroob fluide bed.

2.2.6 Energievoorziening en -terugwinning

De reactiewarmte wordt op een drietal manieren uit de reactor afgevoerd:

- de reactor geeft warmte af aan de bodem;
- er wordt warmte aan de reactor onttrokken door middel van de ingebouwde warmtewisselaar;
- er gaat warmte verloren met het effluent en de afgassen (de zogenaamde "flush out losses").

De verhouding tussen de drie warmtestromen wordt bepaald door het CZV van het slib, het oxydatierendement, de stromingscondities in de riser en downcomer, de isolatie van de reactor en de warmtegeleidingscoëfficiënt van de omringende bodem.

De energieverliezen naar de bodem tijdens de experimenten in Longmont bedroegen 3.380-5.040 MJ/uur [5,11]. VerTech schat dat de verliezen voor het nieuwe ontwerp van de VRV zullen liggen tussen 1.750 en 3.000 MJ/uur, afhankelijk van de bodemgesteldheid en de oppervlakte/volume-verhouding van de reactor [15].

De door middel van de ingebouwde warmtewisselaar onttrokken reactiewarmte komt vrij op een temperatuurniveau van 200-240 °C. De stoom uit de warmtewisselaar kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor de aandrijving van blowers voor de bellenbeluchting van de aërobe decantaatzuivering. De warmte kan eventueel ook worden gebruikt om lage-drukstoom (2 bar) te produceren, die benut kan worden in een ammoniak-stripper [3]. Indien nodig, wordt verdere afkoeling van de warmtetransport-vloeistof die door de reactor circuleert, bereikt met een luchtgekoelde warmtewisselaar.

In Longmont ging 25-30% van de reactiewarmte verloren met het effluent en de afgassen; de effluent-temperatuur bedroeg hier ca. 40 °C [5,11]. Voor het nieuwe ontwerp van de VRV gaat VerTech voorlopig uit van een effluent-temperatuur van 70 °C [3,15]. Dit betekent dat een groter deel van de reactiewarmte verloren gaat. VerTech streeft er echter naar om in toekomstige installaties de effluent-temperatuur te verlagen tot 30 °C, door verdere optimalisatie van de warmteterugwinning [16].

Bij het opstarten van de VRV en tijdens weekend-stops wordt de warmtewisselaar in omgekeerde richting doorstroomd met hete vloeistof. Hiervoor is een gasgestookt fornuis aanwezig.

2.2.7 Zuurstofvoorziening

Vloeibare zuurstof wordt verdampt en op een druk van 70 bar in de reactor gebracht. Het invoerpunt ligt op een diepte van 300 meter [15].

2.3 Procescondities in de natte-oxydatiereactor

Belangrijke variabelen bij het natte-oxydatieproces zijn:

- de temperatuur in de reactor,
- de druk in de reactor,
- de verblijftijd in de reactor,
- de stromingscondities in de reactor,
- de concentratie oxydeerbaar materiaal in de voedingsstroom, en
- de zuurstofconcentratie in het toegevoerde gas.

2.3.1 Temperatuur

De belangrijkste procesvariabele is de temperatuur onder in de reactor (de bodemtemperatuur), aangezien hierdoor de reactiesnelheden grotendeels worden bepaald. Globaal kan de natte oxydatie van zuiverings-slib worden bedreven bij temperaturen tussen 175 en 340 °C. Bij een bepaalde verblijftijd wordt de vereiste temperatuur bepaald door het gewenste rendement van de afbraak van organische gesuspendeerde stof en de CZV-reductie. Tijdens het onderzoek in Longmont heeft VerTech het effect van bodemtemperaturen tussen 230 en 280 °C op de oxydatie van uitgestist slib onderzocht, bij een min of meer constante verblijftijd [5]. Over dit temperatuurgebied nam zowel de CZV-reductie, als het rendement van de afbraak van organische (gesuspendeerde) stof slechts licht toe met

toenemende temperatuur (figuur 6-8).¹ VerTech gaat bij het ontwerp van installaties voor de behandeling van uitgestist slib uit van een bodemtemperatuur boven 260 °C [2].

Wu et al [13] onderzochten het effect van de temperatuur op de oxydatie van uitgestist slib in batchexperimenten (figuur 9 en 10). Ook uit hun resultaten blijkt dat de oxydatiegraad boven 230 °C nauwelijks meer toeneemt.

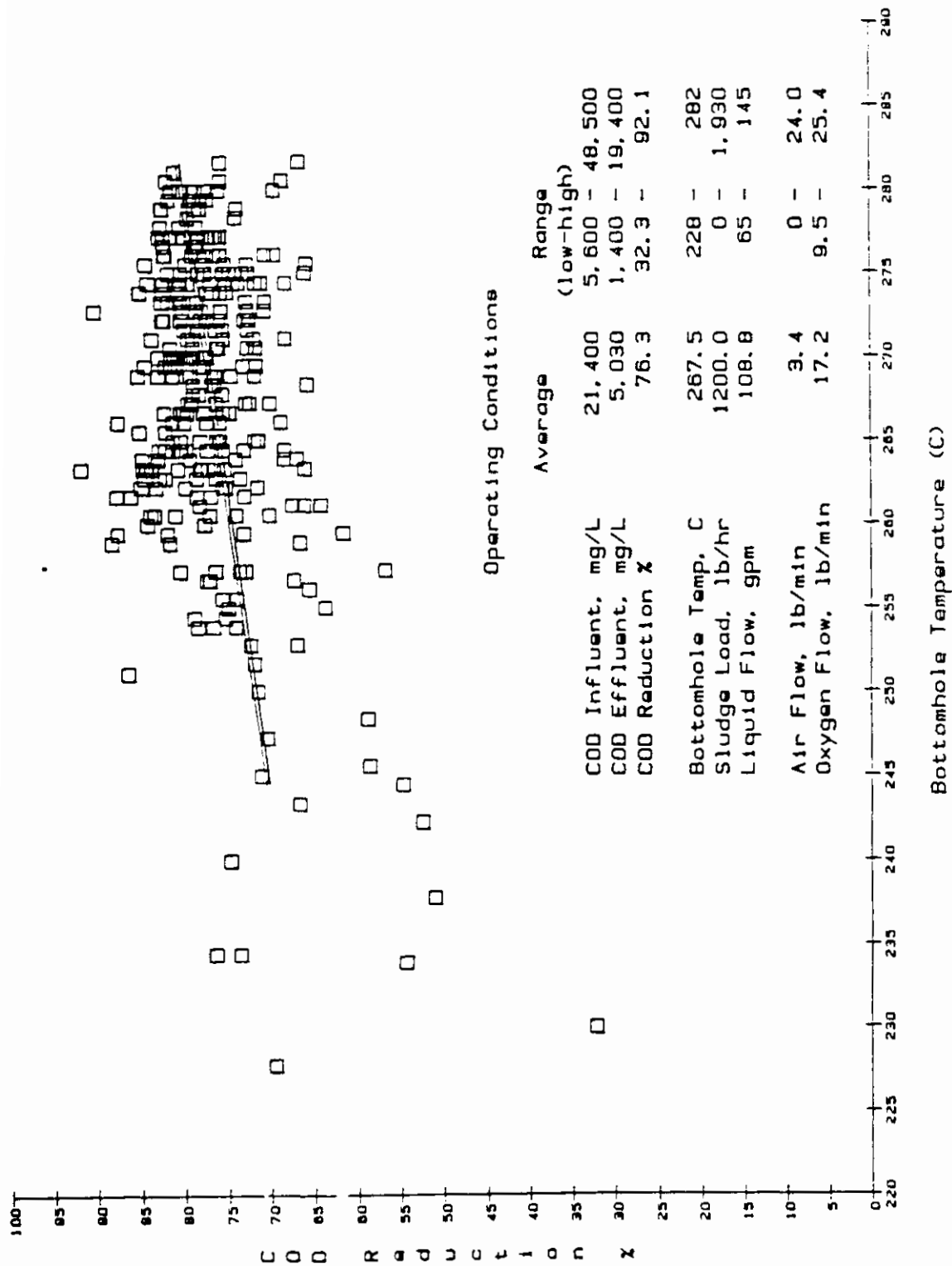
De bereikbare bodemtemperatuur hangt af van een aantal factoren:

- de hoeveelheid geoxydeerd materiaal per m³ influent.
- de druk onder in de reactor,
- de temperatuur van het influent en de toegevoerde zuurstof,
- de warmteoverdracht tussen riser en downcomer,
- de warmteverliezen naar de bodem,
- de warmteafvoer via de ingebouwde warmtewisselaar.

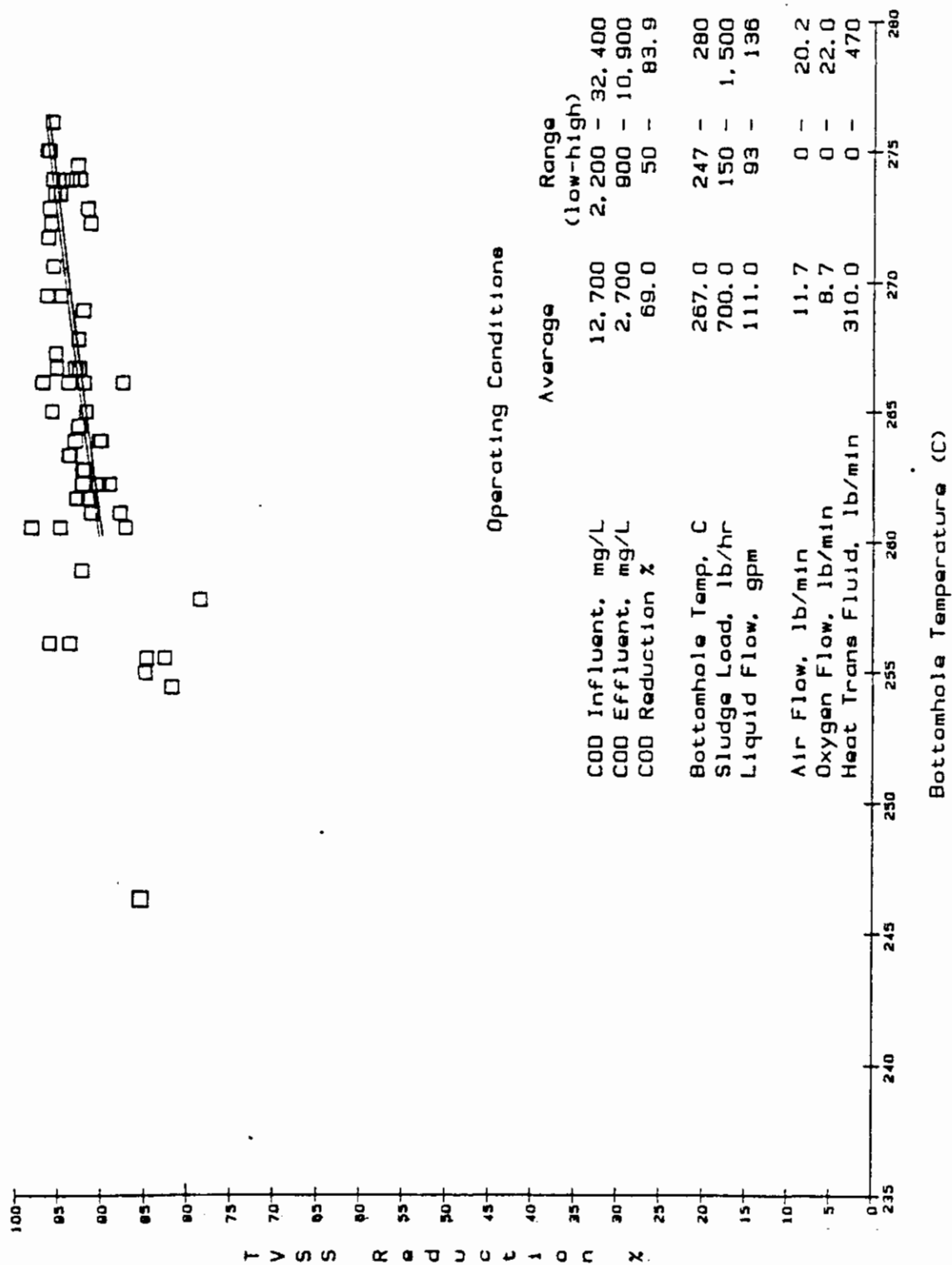
2.3.2 Influentconcentratie

Een optimale bedrijfsvoering kan worden bereikt door met de maximaal toelaatbare influentconcentratie te werken. Een lagere invoerconcentratie leidt tot een lagere netto energie-opbrengst. Bij een hogere invoerconcentratie moet per m³ slib te veel zuurstof worden toegevoegd. De hogere zuurstof-holdup leidt tot een daling van de hydrostatische druk in de reactor, waardoor meer water verdampt en de temperatuur in de reactor daalt. VerTech ontwerpt de slibverwerkingssystemen op een invoerconcentratie van 5% droge stof. Dit komt overeen met 40-50 kg CZV/m³, waarvan 70-75% wordt geoxydeerd.

¹ Gemiddeld werd over dit temperatuurgebied een CZV-reductie van 76,3% bereikt. Tengevolge van (beperkte) variaties in vloeistof- en gasdebiet, influentconcentratie en temperatuurprofiel trad echter een aanzienlijke spreiding in de CZV-reductie op [1].

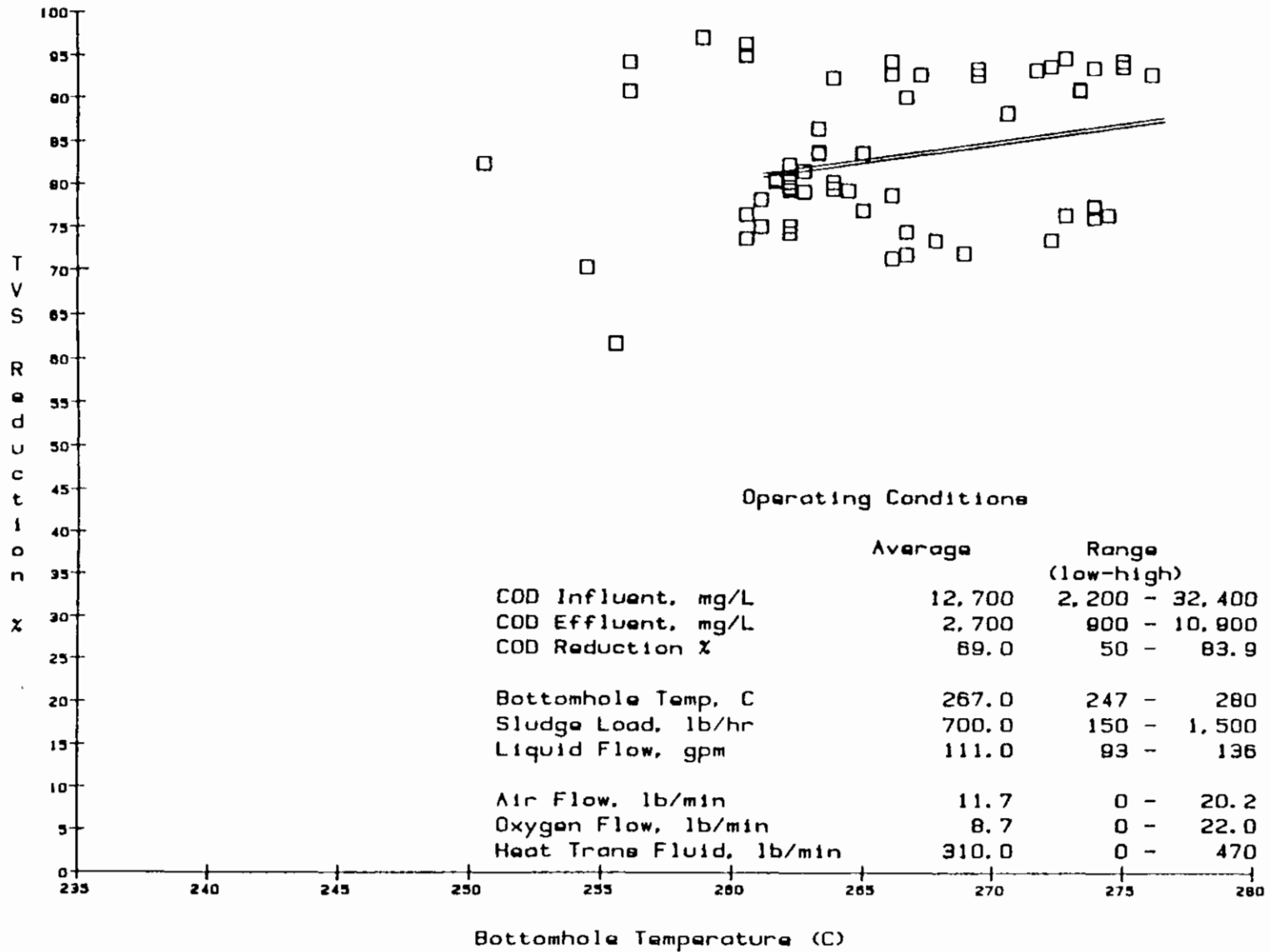


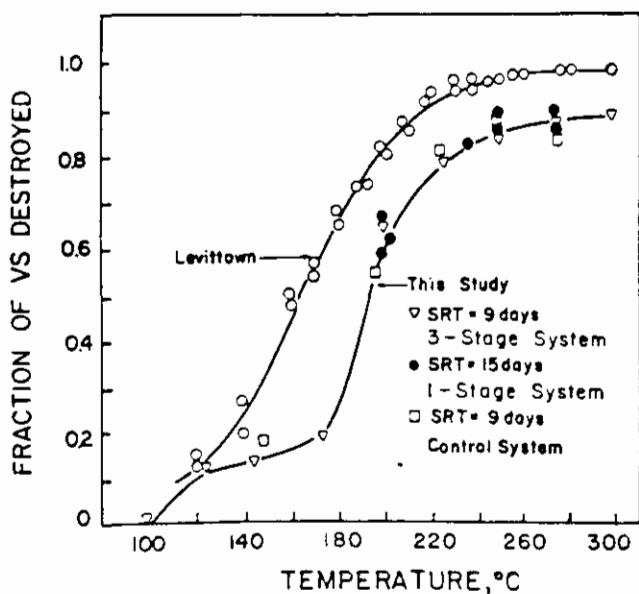
Figuur 6. CZV-reductie als functie van de bodemtemperatuur [1]



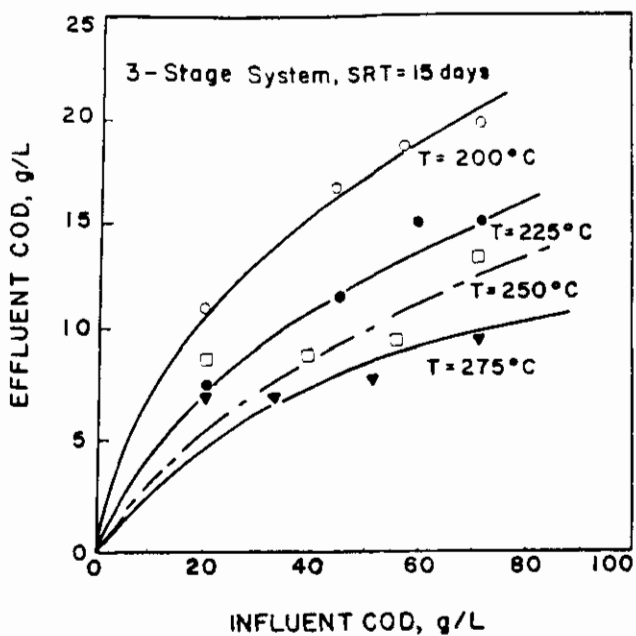
Figuur 7. Afbraakrendement van gesuspendeerde organische stof als functie van de bodemtemperatuur [1]

Figuur 8. Afbraakrendement van organische stof als functie van de bodemtemperatuur [1]





Figuur 9. Afbraakrendement van organische stof als functie van de temperatuur in batchexperimenten [6]



Figuur 10. Influent- en effluent-CZV voor verschillende temperaturen, bij natte oxydatie in een batchreactor [6]

2.3.3 Druk

De druk onderin de VRV wordt bepaald door de lengte van de pijpreactor en de gas-holdup in de downcomer en de riser. In de praktijk kiest VerTech een pijplengte van 1.200 meter. Dit betekent dat de druk alleen nog te sturen is via de gas-holdup. Deze is afhankelijk van de hoeveelheid zuurstof die per m³ slib wordt toegevoegd en dus van de influent-concentratie. De gas-holdup wordt daarnaast beïnvloed door de waterverdamping, die weer afhankelijk is van de temperatuur.

Het zal duidelijk zijn dat sprake is van een aantal procesvariabelen die op een complexe wijze samenhangen. Voor het ontwerp en de bedrijfsvoering van een VRV maakt VerTech dan ook gebruik van computermodellen die tijdens het onderzoek in Longmont zijn getest [5.11].

2.3.4 Verblijftijd

De Longmont-installatie is ontworpen op een superficiële slibverblijftijd, het quotiënt van het lege reactorvolume en het slibdebiet, van 2 uur [5]. De werkelijke slibverblijftijd bedroeg ca. 1 uur, omdat gemiddeld over de diepte ca. 50% van de reactor is gevuld met gas. De verblijftijd in de reactie-zone, dat deel van de VRV waar de temperatuur hoger is dan 175 °C, bedroeg 25-35 minuten. Deze waarden worden door VerTech gehanteerd bij het ontwerp [3.2].

2.3.5 Stromingsregime

De gas- en vloeistofsnelheden in de downcomer en de riser worden zodanig gekozen, dat het mengsel in "slug-flow" (afwisselend "proppen" vloeistof en gas) door de buizen stroomt [11]. Onder deze stromingscondities wordt optimale stof- en warmteoverdracht bereikt. Dit betekent tevens dat slib en gas zich vrijwel in ideale propstroming door de reactor bewegen.

2.4 Capaciteit van de natte-oxydatiereactor

Bij gegeven slibkarakteristieken en nagestreefd oxydatierendement, wordt de maximale capaciteit van een VRV voornamelijk bepaald door de diameter

van de pijpreactor. De wijziging van de vormgeving van de VRV die in paragraaf 2.2.2 is beschreven, heeft tot gevolg dat eenzelfde capaciteit wordt bereikt met een kleinere diameter van de riser en de downcomer. VerTech geeft echter voor systemen met de nieuwe vormgeving niet de werkelijke diameter van de riser op, maar de riserdiameter van een reactor van het Longmont-type met dezelfde capaciteit (de zogenaamde equivalente diameter).

Het leveringsprogramma van VerTech omvat drie standaard-installaties, met equivalente diameters van 10, 13 en 16 inch. Uitgaande van 120 bedrijfsuren per week, waarvan 80% beschikbaar is voor oxydatie, is de capaciteit van deze drie reactoren vermeld in tabel 1.

Tabel 1. Capaciteit van de reactoren in het leveringsprogramma van VerTech, bij oxydatie gedurende 96 uur/week [2]

riserdiameter (inch)	d.s.-doorzet (ton d.s./jaar)	oxydatiecapaciteit ¹ (ton CZV/jaar)	(kg CZV/uur)
10	5.000-6.000	2.800-3.360	560-670
13	11.000	6.160	1.234
16	16.000	8.960	1.795

Een VRV met gegeven fysieke afmetingen kan beneden een bepaalde doorzet niet meer autotherm functioneren, omdat de warmteverliezen naar de bodem, het effluent en het afgas gelijk worden aan de reactiewarmte. De minimaal vereiste doorzet voor autotherm bedrijf hangt dus af van de karakteristieken van de bodem en de gekozen bedrijfscondities.

Voor de 13 inch VRV geeft VerTech een minimale doorzet van 680 kg d.s./uur op; dit komt overeen met 30% van de maximale capaciteit [2]. Een

¹ Berekend uit de doorzet, uitgaande van 0.8 kg CZV/kg droge stof en een oxydatierendement van 70%.

kleinere VRV zal relatief meer warmte aan de bodem verliezen, en een grote VRV relatief minder. Voor de reactoren in het leveringsprogramma van VerTech wordt de geschatte minimaal vereiste doorzet gegeven in tabel 2.

Tabel 2. Minimaal voor autotherm bedrijf vereiste doorzet voor de reactoren in het leveringsprogramma van VerTech, bij oxydatie gedurende 96 uur/week [2]

riserdiameter (inch)	minimaal vereiste doorzet	
	(ton d.s./jaar)	(% van maximale doorzet)
10	ca. 2.300	ca. 42
13	3.400	30
16	3.900	25

3 STATUS VAN HET VERTECH-SYSTEEM

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de bedrijfservaring die door VerTech is opgedaan met natte-oxydatie van rioolwaterzuiveringsslib. Op dit moment is nergens ter wereld een VerTech-installatie in bedrijf. Dit hoofdstuk behandelt dan ook voornamelijk de proef- en demonstratie-installaties die door VerTech zijn gebouwd in Lowry en Longmont. Op basis van de resultaten van deze installaties is VerTech op verschillende plaatsen bezig met de voorbereiding van offertes en gegunde projecten. De belangrijkste projecten die momenteel in voorbereiding zijn worden beknopt beschreven.

3.2 De onderzoeksinstallaties in Lowry en Longmont

3.2.1 Lowry

Van 1977 tot 1981 heeft VerTech op Lowry Air Force Base bij Denver (V.S.) de mogelijkheden van natte-luchtoxydatie van zuiveringsslib in een ondergrondse verticale pijpreactor onderzocht. Het project werd gesubsidieerd door de Environmental Protection Agency (EPA) [28]. Het onderzochte systeem had een diepte van 460 m en een riserdiameter van 0,05 m. De reactor werd continu verhit met stoom; de maximale bodemtemperatuur was 260 °C. Door gebruik te maken van een hoge druk-pomp en verhoging van de stoomtoevoer kon de bodemtemperatuur worden verhoogd tot 300 °C, zodat de werking van een reactor met een diepte van 900-1100 m kon worden nagebootst. De ontwerpcapaciteit van de Lowry-reactor was 0,03 m³/uur bij een maximale influent-CZV van 2.000 mg/l.

In een testperiode van 25 maanden is de reactor 150 dagen in bedrijf geweest; de langste continue bedrijfsperiode bedroeg 40 dagen. Tijdens het onderzoek zijn voortdurend wijzigingen in de proefinstallatie aangebracht.

Pas tegen het eind van het onderzoek konden de gewenste bedrijfscondities worden bereikt: gedurende een vierdaagse periode is bij een verblijftijd in de reactiezone van 28 minuten en een bodemtemperatuur van 266 °C een CZV-reductie van $43 \pm 10\%$ gehaald. Het influent-CZV varieerde in deze periode tussen 900 en 2.500 mg/l.

3.2.2 Longmont

Op basis van de resultaten van het Lowry-onderzoek heeft VerTech het ontwerp van de reactor verbeterd. Een diepere full-scale reactor volgens dit verbeterde ontwerp is op de rioolwaterzuiveringsinrichting van Longmont (Colorado, V.S.) gebouwd. Van 1983 tot en met 1985 heeft VerTech met deze installatie de natte oxydatie van zuiveringsslib met zowel lucht als zuivere zuurstof onderzocht. Dit project werd eveneens door de EPA gesubsidieerd [5].

Tussen juni 1984 en september 1985 is de reactor 295 dagen in bedrijf geweest en is in totaal 1.160 ton droge stof verwerkt. Tijdens de maanden juli-september 1984 en januari-april 1985 is de installatie vrijwel continu in bedrijf geweest. Tabellen 3 en 4 geven een overzicht van de bedrijfstijd en de behaalde resultaten.

Door de grotere diepte en diameter, en een aantal andere verbeteringen in het ontwerp ten opzichte van de Lowry-reactor, verwachtte VerTech autotherm bedrijf te kunnen bereiken bij een bodemtemperatuur van 300 °C. De ontwerpcapaciteit bij oxydatie met lucht was ruim 5.500 kg CZV/dag (influentdebiet 25,4 m³/uur bij een influent-CZV van 9.300 mg/l).

Bij gebruik van lucht als oxydatiemiddel bleek geen autotherm bedrijf mogelijk, omdat de warmteverliezen naar de bodem veel hoger waren dan bij het ontwerp was aangenomen. Pas bij verwerking van meer dan 10.000 kg d.s./dag kon autotherm bedrijf worden gerealiseerd. Hiervoor was het gebruik van zuivere zuurstof vereist. Bij gebruik van zuivere zuurstof, kon in Longmont een maximale doorzet van 30.000 kg CZV in 24 uur worden bereikt, bij een gemiddelde CZV-reductie van 75%.

De installatie is stopgezet, omdat de rwzi Longmont onvoldoende slib produceert om autotherme operatie van de VerTech-reactor mogelijk te maken. Het in Longmont onderzochte systeem heeft een aantal nadelen, die zijn ondervangen door aanpassingen in de vormgeving van de VRV. Deze aanpassingen zijn beschreven in hoofdstuk 2.

Tabel 3. Bedrijfstijd installatie Longmont [5]

jaar	maand	dagen in bedrijf	hoeveelheid slib verwerkt (ton d.s.)
1984	juni	15	40
	juli	29	109
	augustus	22	75
	september	28	58
	oktober	14	32
	november	25	146
	december	17	81
	1985	januari	26
februari		25	88
maart		23	173
april		30	216
mei		15	41
juni		1	2
juli		8	30
augustus		15	111
september		2	0
totaal		295	1.283

Noten bij tabel 4 (pagina 36):

- a Slib plus verdunningswater.
- b Zuivere zuurstof.
- c Warmtetoevoer tijdens niet-autotherme operatie, warmteafvoer tijdens autotherme operatie.
- d Gelet op de toegevoerde hoeveelheid droge stof, is de zuurstoftoevoer veel te laag. De opgave van VerTech [5] is waarschijnlijk een factor 60 te laag.
- e De vermogens corresponderen niet geheel met de debieten, influentconcentraties en CZV-reducties. Voor niet-autotherme bedrijfsvoering zijn typische waarden vermeld (195 kg droge stof/uur, 70% afbraak van droge stof, totaal debiet 25.197 kg/uur, influenttemperatuur 15,5 °C, effluenttemperatuur 65,5 °C). Voor autotherme bedrijfsvoering zijn waarden vermeld voor de minimaal vereiste doorzet (549 kg droge stof/uur, 70% afbraak van droge stof, totaal debiet 28.784 kg/uur, influenttemperatuur 15,5 °C, effluenttemperatuur 32,2 °C) en de maximaal haalbare doorzet (684 kg droge stof/uur, 70% afbraak van droge stof, totaal debiet, influenttemperatuur en effluenttemperatuur vergelijkbaar met minimaal vereiste doorzet). De maximaal haalbare doorzet wordt bepaald door het stromingsgedrag van het gas/vloeistofmengsel en door de maximale capaciteit van de ingebouwde warmtewisselaar.
- f Ten gevolge van intermitterende bedrijfsvoering is het warmteverlies naar de bodem hier groter dan bij de autotherme bedrijfsvoering.

Tabel 4. Bedrijfsresultaten in Longmont

	NIET-AUTOTHERME BEDRIJFSVOERING		AUTOTHERME BEDRIJFSVOERING	
	gemiddelde	minimum-maximum	gemiddelde	minimum-maximum
influent-CZV (mg/l)	7.700	1.600 - 20.900	23.000	12.500 - 48.500
effluent-CZV (mg/l)	2.400	640 - 8.420	4.950	1.400 - 10.130
CZV-reductie (%)	67,7	51,0- 86,1	78,2	65,8- 88,5
droge-stof-debiet (kg/uur)	236	41 - 658	604	322 - 876
droge-stof-concentratie (%)	6,7	2,4- 10,5	4,7	1,9- 7,2
slib-debiet (kg/uur)	3.862	1.136 - 11.358	13.175	3.407 - 18.173
totaal-debiet (kg/uur) ^a	26.805	22.716 - 40.889	24.760	15.447 - 30.439
lucht-debiet (kg/uur) ^d	7,6	1,9- 12,3	0,3	0,0- 3,4
zuurstof-debiet (kg/uur) ^{b,d}	1,6	0,0- 10,2	9,9	5,2- 13,8
warmtransport-olie (kg/uur) ^c	11.277	7.900 - 12.803	1.199	0 - 8.172
bodemtemperatuur (°C)	266	261 - 276	272	251 - 282
aantal monsters		498		158
warmtebalans (in kW) ^e :				
· oxidatiewarmte	530			1.500 - 1.870
· toevoer via warmtewisselaar	2.340			0 - 370
· afvoer met effluent en afgas	1.470			560 - 560
· verlies naar bodem	1.400			940 - 940

3.3 Voorbereidingen voor gegunde projecten

VerTech is op diverse plaatsen bezig met de voorbereidingen voor offertes en gegunde projecten. Hieronder worden alleen twee gegunde projecten besproken.

3.3.1 Apeldoorn, Nederland

Het Zuiveringsschap Veluwe heeft in september 1988 besloten het zuiveringsslib van een aantal onder zijn beheer vallende rwzi's te laten verwerken door Slibverwerking Veluwe B.V. i.o., een samenwerkingsverband van VerTech Treatment Systems en Grontmij. Vanwege de beperkte praktijkervaring die tot nu toe met het VerTech-systeem is opgedaan, wordt de slibverwerking volledig geprivatiseerd. Het Zuiveringsschap Veluwe zal per jaar tenminste 17.000 ton droge stof ter verwerking aanbieden, tegen een vaste prijs van f 435 per ton d.s. (exclusief BTW, inclusief subsidie op de bouwkosten ter waarde van f 40-50 per ton d.s.) [23]. Slibverwerking Veluwe garandeert de afname en verwerking van dit slib. Bij calamiteiten wordt het aangevoerde slib mechanisch ontwaterd en gemengd met kalk.

Slibverwerking Veluwe is van plan in Apeldoorn een systeem te bouwen met de volgende kenmerken:

- één VerTech Reactor Vessel met een riserdiameter van 0,343 m (equivalente diameter 16"), een diepte van 1.220 m en een maximale doorzet van 22.800 ton droge stof/jaar bij een bedrijfstijd van 6.968 uur/jaar (= 80% beschikbaarheid bij volcontinu bedrijf). De maximale oxydatiecapaciteit van het systeem bedraagt 13.400 ton CZV/jaar, bij een maximale doorzet van 19.150 ton CZV/jaar (oxydatierendement 70%) [23]. De reactor wordt gebouwd van hoogwaardig duplex roestvast staal (VS-25 of SM-25CR).
- asverwijdering door middel van een lamellenafscheider en asontwatering door middel van decanteercentrifuges.
- katalytische naverbranding van de afgassen.
- nazuivering van het asvrije effluent door middel van een aërobe actief-slibinstallatie met voor-denitrificatie. Na deze zuivering zal

het effluent voldoen aan de volgende lozingseisen: BZV. 20 mg/l, N_{kj} 20 mg/l, NO_x 50 mg/l, P 20 mg/l, d.s. 20 mg/l; het effluent zal op de bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting worden geloosd.

De door Slibverwerking Veluwe geraamde investering voor dit systeem is weergegeven in tabel 5. De investeringen voor de decantaatzuivering zijn bij deze opgave inbegrepen.

De inspraakprocedure voor het opstellen van een Milieu-effectrapport voor de geplande installatie is begin november 1988 gestart. De in bedrijfstelling van het systeem is gepland in 1992.

3.3.2 Windsor, Canada

De gemeente Windsor heeft medio 1988 besloten het zuiveringsslib van twee rwzi's te laten verwerken door VerTech. Ook hier wordt de slibverwerking volledig geprivatiseerd. Windsor zal per jaar tenminste 8.000 ton droge stof ter verwerking aanbieden, tegen een prijs van Can.\$ 618 (= f 990) per ton droge stof [25]. VerTech garandeert de afname en verwerking van dit slib, indien nodig via een alternatief proces. Het geplande systeem heeft enige overcapaciteit. Indien deze wordt benut, kunnen de verwerkingskosten per ton droge stof dalen.

Over de opbouw van het systeem zijn geen details bekend. De totale investering is geschat op Can.\$ 18 miljoen (ca. f 30 miljoen).

Tabel 5. Geraamde investeringskosten voor de geplande slibverwerkingsinstallatie in Apeldoorn (excl. BTW) [29]

• slibontvangst en -opslag	kf 1.090,=
• VerTech-installatie bovengronds	kf 6.730,=
- voorbehandeling slib	
- scheiding gas/water/as	
- laadsysteem as	
- reserve-onderdelen	
• VerTech-installatie ondergronds	
- schacht	kf 7.410,= ¹
- reactor	kf 10.330,=
- voorzieningen ter plaatse om de reactor te trekken en te plaatsen	kf 440,=
• decantaatzuivering en back-up-voorzieningen	kf 6.150,=
• terreinwerken	kf 1.100,=
• bedrijfsgebouwen	kf 1.660,=
• engineering, pilot-tests, aanloopkosten, projectmanagement, vergunningen, verzekeringen	kf 4.790,=
	<hr/>
• subtotaal	kf 39.700,=
• renteverlies tijdens de bouw	kf 2.300,=
• subsidie ²	- kf 8.000,=
	<hr/>
• totaal	kf 34.000,=

¹ de investering kan kf 810,= lager uitvallen, indien een minder diepe veiligheidsbekleding vereist blijkt te zijn; de veiligheidsbekleding is een extra laag beton rondom het bovenste deel van de schacht, ter bescherming van het grondwater

² regeling Milieuvriendelijke Technologie

4 TECHNOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk worden de in deze studie gehanteerde technologische uitgangspunten besproken. Op basis hiervan heeft de leverancier, VerTech Treatment Systems (VTS), een natte-oxydatie-systeem "aangeboden". Het hoofdstuk wordt afgesloten met een procesbeschrijving van dit systeem.

4.1 De rioolwaterzuiveringsinrichting

In deze studie is het VerTech-systeem gesitueerd op een bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting (RWZI). In tabel 6 is het aantal en de gesommeerde belasting in inwonerequivalenten (1 i.e. = 54 g BZV) van de Nederlandse RWZI's als functie van de installatiegrootte weergegeven.

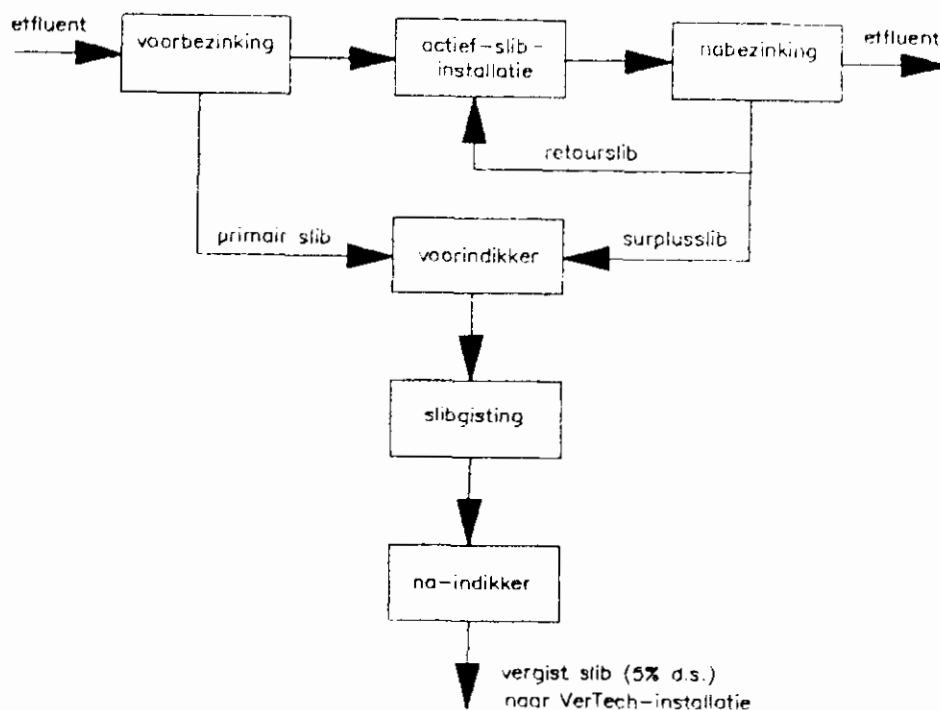
Tabel 6. Het aantal Nederlandse RWZI's en hun gesommeerde belasting als functie van de installatiegrootte [17]

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 studie gekozen installatiegrootte van de RWZI dient enerzijds voldoende te zijn in relatie tot de capaciteit van het VerTech-systeem. Anderzijds dient er in Nederland een redelijk aantal RWZI's met de gekozen installatiegrootte voor te komen. Daarom wordt in deze studie

uitgegaan van een RWZI van 200.000 i.e. Naast het slib van deze RWZI wordt ook slib van nabijgelegen RWZI's verwerkt.

In figuur 11 is de RWZI schematisch weergegeven.



Figuur 11. Schematische weergave RWZI.

Het slib wordt gevormd in de voorbezinking en in het actief-slibproces. 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.

4.2 Slibverwerkingscapaciteit

De studie wordt uitgevoerd voor een VerTech-systeem met een capaciteit voor 500.000 i.e.. De eigen slibproductie van de RWZI is afkomstig van 200.000 i.e. en 300.000 i.e. dient van elders te worden aangevoerd. De keuze voor deze gecentraliseerde slibverwerkingscapaciteit wordt verklaard

doordat VTS een systeem met een kleinere capaciteit economisch niet haalbaar acht. Eén i.e. levert ongeveer 45 g d.s./dag aan uitgestort slib zodat in totaal $500.000 * 45 \cdot 10^{-3} = 22.500$ kg d.s./dag aan slib 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 VerTech-systeem heeft tijdens het in bedrijf zijn toezicht nodig. VTS acht een bedrijfstijd van 7 dagen per week en 24 uur per dag optimaal; een bedrijfstijd van 5 dagen per week en 24 uur per dag is echter mogelijk. In deze studie wordt uitgegaan van een vierploegendienst met twee personen per ploeg. De ontwaterde as wordt afgevoerd naar de stort.

4.3 Slibsamenstelling

Uitgegaan wordt van de volgende slibsamenstelling:

- droogrest : 5 % (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/m³
- calcium : 0,85 kg/m³

Het slib van elders wordt aangevoerd met een drogestofgehalte van 5 %.

4.4 Ontwerpeisen

De gemiddelde slibaanvoer naar de installatie (gedurende de 5 bedrijfsdagen) bedraagt $22.500 * (7/5)/24 = 1313$ kg d.s./uur. Het drogestofgehalte van het ingaande slib is 5 gew.%. Het gemiddelde volumedebiet naar de installatie is dus 26.3 m³/uur.

Voor de behandeling van piekaanvoeren (max. 25%) en voor het behandelen van de extra produktie als gevolg van storingen en opstartperioden wordt

een overcapaciteit van 30% aangehouden. De ontwerpcapaciteit van het systeem komt op 1.750 kg d.s./uur (35 m³/uur).

In eerste instantie is de minimale CZV en organische zwevende stof omzetting gesteld op 80% respectievelijk 98%. Volgens VTS is dit alleen haalbaar bij vers slib; bij uitgegist slib wordt een CZV en organische zwevende stof omzetting van 70 a 75 % respectievelijk 90 % als maximaal haalbaar beschouwd. In de berekeningen die in deze studie worden uitgevoerd is uitgegaan van 75% CZV-reductie en 90% reductie van organische zwevende stof.

4.5 Systeemgrenzen voor VTS

Ten behoeve van de systeemkeuze en dimensionering door VTS van het natte-oxydatie-systeem worden in deze paragraaf systeemgrenzen voor VTS geformuleerd. De systeemgrenzen zijn in overleg bepaald. Alle procesapparatuur binnen de grenzen, inclusief de grenzen, behoort tot de aanbieder van VTS.

Het natte-oxydatie-systeem wordt begrensd door:

- De pomp waarmee het slib uit de slibbuffer (paragraaf 6.2) naar de installatie wordt gepompt.
- De pomp waarmee het decantaat naar de nazuivering wordt gepompt (de nazuivering van het decantaat is dus niet inbegrepen in het systeem).
- De transporteur waarmee de ontwaterde as 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 VerTech systeem).

Ten aanzien van de investerings- en exploitatiekosten is aan VTS gevraagd deze exclusief

- elektriciteitsvoorziening (VTS hoeft alleen aan te geven wat benodigd is) en

- gebouwen (VTS hoeft alleen aan te geven wat aan gebouwen en funderingen benodigd is),

doch inclusief stoomproductie en demineralisatie van ketelvoedingswater op te geven.

4.6 Het bestudeerde VerTech-systeem

Op basis van de geformuleerde uitgangspunten heeft VerTech Treatment Systems onderstaand systeem "aangeboden" [2]:

- één VerTech Reactor Vessel met de in figuur 5 weergegeven opbouw en de volgende ontwerpkenmerken:
 - . equivalente diameter 13",
 - . diepte 1.220 m,
 - . hydraulische verblijftijd 30-60 minuten (totale reactor),
 - . verblijftijd in de reactiezone 20 minuten,
 - . bodemtemperatuur ≥ 260 °C, bodemdruk 100 bar,
 - . effluent-temperatuur 70 °C,
 - . oxydatie met zuivere zuurstof,
 - . invoerconcentratie 5% d.s.,
 - . maximale doorzet 11.000 ton d.s./jaar (bedrijfstijd 120 uur/week, oxidatie 96 uur/week, onderhoud 24 uur/week),
 - . maximale oxydatiecapaciteit 6.160 ton CZV/jaar.

De reactor wordt gebouwd van hoogwaardig duplex roestvast staal (VS-25 of SM-25CR), bovengrondse apparatuur van RVS 304 en RVS 316.

- asverwijdering door middel van een lamellenafscheider en asontwatering door middel van decanteercentrifuges; zowel voor de lamellenafscheider, als voor de centrifuge wordt polyelectrolyt gedoseerd.
- katalytische naverbranding van de afgassen.
- het systeem is voorzien van een gasgestookte stoomketel, voor verwarming van de reactor tijdens de weekend-stops en na onderhoudswerkzaamheden. VerTech heeft opgegeven dat in eigen beheer geen electriciteit wordt opgewekt; dit is te duur vanwege de relatief kleine schaal van de installatie [15].

Informatie over het verbruik van hulpstoffen is vermeld in hoofdstuk 5.

5 MASSA- EN ENERGIEBALANS

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een massa- en een energiebalans gepresenteerd voor het VerTech natte-oxydatieproces met nabehandeling van het afgas, asafscheiding en asontwatering, en energievoorziening en energierterugwinning. Voor het opstellen van de balansen is gebruik gemaakt van door VerTech beschikbaar gestelde informatie en van een aantal rapporten over het VerTech-systeem [2,3,5,11,15,16]. Waar nodig is deze informatie aangevuld met schattingen van bepaalde massa- en energiestromen. De herkomst van de gepresenteerde getallen wordt in de tekst beknopt toegelicht.

Het systeem wordt voor het opstellen van de balansen opgedeeld in vier onderdelen:

1. de reactor (VRV) met de gas/vloeistofscheider;
2. de asindikking, een combinatie van lamellenafscheider en decanteercentrifuge;
3. de katalytische afgas-naverbrander;
4. de stoomketels voor normaal bedrijf, verwarming tijdens weekends en de herstart na onderhoudswerkzaamheden.

De belangrijkste uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de massa- en energiebalansen worden in tabel 7 kort samengevat, een volledig overzicht van de uitgangspunten wordt gegeven in bijlage 1. De verbruikscijfers zijn grotendeels door VerTech verstrekt [2]. Waar nodig is de opgave van VerTech aangevuld met door de auteurs gemaakte schattingen.

Tabel 8 geeft een samenvatting van de massabalans voor elk van de vier procesonderdelen; tabel 9 geeft een overzicht van de energiebalans over het gehele systeem. Een volledig overzicht van beide balansen wordt gegeven in bijlage 2. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste aannames en berekeningsmethoden toegelicht.

Tabel 7. Uitgangspunten balansberekeningen VerTech natte oxydatie

CAPACITEIT

slibaanbod	450 m ³ /d =	164.250 m ³ /j
aanbod droge stof		8.213 ton ds/j

bedrijfstijd:

uren voor oxydatie		4.992 u/j
uren voor opstart en onderhoud		1.248 u/j
stilstand in weekenden		2.496 u/j

JAARVERBRUIK HULPMIDDELEN

zuurstofverbruik		5.560 ton/j
polyelectrolytverbruik		2.500 kg/j
salpeterzuurverbruik (67% HNO ₃ =150 kg N/ton)		200 ton/j
electriciteitsverbruik (externe produktie)		79 kW
aardgasverbruik		535.600 Nm ³ /j
stoomverbruik (externe produktie)		0 ton/j
leidingwaterverbruik		0 ton/j

SAMENSTELLING DEELSTROMEN

uitgangsslib:

droge-stofgehalte		50 kg ds/m ³
asrest in droge stof		45 %
Chemisch Zuurstof Verbruik		40 kg O ₂ /m ³
Kjeldahl-stikstof		2,5 kg N/m ³

geoxydeerd slib:

droge-stofgehalte		25 kg ds/m ³
asrest in droge stof		91 %
Chemisch Zuurstof Verbruik		10 kg O ₂ /m ³
Chemisch Zuurstof Verbruik opgelost		9 kg O ₂ /m ³
Kjeldahl-stikstof		2,5 kg N/m ³
pH-waarde		7,2

decantaat:

droge-stofgehalte		0,25 kg ds/m ³
-------------------	--	---------------------------

ontwaterde as:

droge-stofgehalte		500 kg ds/m ³
-------------------	--	--------------------------

ENERGIEVOORZIENING EN -VERLIEZEN

warmteverliezen naar bodem

tijdens oxidatie		1.750 MJ/uur
verliezen tijdens weekend		130.000 MJ/weekend

Tabel 8. Massabalans VerTech natte oxydatie (massastromen in ton/week)

	stroom nr	totaal debiet	water	CZV	Nkj	ds	os	as	PE	HNO3	O2	CH4	N2	CO2	CO	temp (°C)
.....(ton/week).....																
REACTOR																
invoer	1,2,3	3269	3002	120	7,5	158	87	71		3	107			0	0	15
produktie		0	45	-90	0	-80	-80	0		0	-90			121	3	
afgas reactor	4	168	27		0,2						17			121	3	70
effluent reactor	5	3101	3021	30	7,3	78	7	71		3	0			0	0	70
ASINDIKKING																
invoer	5,7	3149	3069	30	7,3	78	7	71	0	3	0	0	0	0	0	70
ingedikte as	8	154	77	3	0,2	77	7	70	0	0						70
decantaat	9	2996	2992	27	7,1	1	0	1	0	3						70
NAVERBRANDER																
invoer	4,10,11	168	27		0						17	0	0	121	3	70
produktie		0	0		0						-2	0	0	5	-3	
uitvoer	12	168	27		0						15	0	0	127	0	196
STOOMKETEL																
invoer	13,14	180	0								38	7	136	0	0	15
produktie		0	15								-26	-7	0	18	0	
uitvoer	15	180	15								12	0	136	18	0	15

-67-

VERKLARING STROOMNUMMERS:

- | | | | |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 onbehandeld slib | 5 effluent reactor | 9 decantaat | 13 aardgas stoomketel |
| 2 vloeibare zuurstof | 6 warmtewisselaar reactor | 10 aardgas naverbrander | 14 lucht stoomketel |
| 3 salpeterzuur | 7 polyelectrolytoplossing | 11 lucht naverbrander | 15 afgas stoomketel |
| 4 afgas reactor | 8 ingedikte as | 12 afgas naverbrander | 16 stoomproduktie |

VERKLARING COMPONENTEN

- | | | |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| CZV chemisch zuurstofverbruik | PE polyelectrolyt | CO2 kooldioxide |
| Nkj Kjeldahl-stikstof | HNO3 salpeterzuur | CO koolmonoxide |
| ds droge stof | O2 zuurstof | |
| os organische stof | CH4 methaan | |
| as anorganische stof | N2 stikstof | |

Tabel 9. Energiebalans VerTech natte-oxvdatie (MJ/week)

reactiewarmte	1.215.300	→	verlies effluent/afgas	781.800	64 %
			verlies bodem	175.000	14 %
			overschot	258.500	21 %
aardgas	326.000	→	katalytische naverbrander	0	0 %
			stoomproduktie	257.400	79 %
			verlies afgas stoomketel	68.600	21 %
stoomproduktie	257.400	→	herstart reactor	130.000	51 %
			overige doeleinden	127.400	49 %
electriciteit	28.400	→	ingekocht	28.400	100 %

5.2 Massabalansen

Reactor

- De CZV-reductie is berekend uit de in tabel 7 vermelde influent- en effluentconcentraties.
- De afbraak van droge stof en organische stof is berekend uit het door VerTech opgegeven asgehalte van de droge stof in het effluent, waarbij is aangenomen dat gemiddeld over de tijd geen neerslagen in de reactor achterblijven.
- Het zuurstofverbruik is gelijk aan de CZV-reductie; het effluent bevat geen opgeloste zuurstof.
- De CO₂-produktie is geschat op 0,98 kmol per kmol O₂-verbruik; de CO₂-produktie op 0,04 kmol per kmol O₂-verbruik. Er blijft geen CO₂ of CO achter in het effluent.
- De waterproduktie wordt gelijk gesteld aan het verschil tussen de hoeveelheid afgebroken droge stof en de CO₂- en CO-produktie. Aangenomen is dat het afgas bij de aangegeven temperatuur verzadigd is met water; de druk in de gas/vloeistofscheider is 1 bar.
- Alle Kjeldahl-stikstof wordt omgezet in ammoniak; ammoniak wordt niet geoxydeerd en ammoniumzouten slaan niet neer. Met betrekking tot ammoniak is aangenomen dat het afgas bij de aangegeven temperatuur in evenwicht is met de vloeistof. Bij de berekening van de even-

wichtsconcentratie zijn de volgende parameterwaarden gebruikt:
 $K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]/[\text{NH}_3] = 1,98 \cdot 10^{-9} \text{ kmol} \cdot \text{m}^3$, $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,84 \cdot 10^{-14} \text{ kmol}^2 \cdot \text{m}^6$, Henry-coëfficiënt $7,40 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ [18-20].

- Het salpeterzuurverbruik is gemiddeld over de tijd; aangenomen is dat het afvalzuur wordt afgevoerd met het effluent. Dit levert een gemiddelde nitraatconcentratie in het effluent op van 188 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$. De werkelijke concentraties die bij de periodieke spoeling vrijkomen, zijn vele malen hoger. Het afvalzuur wordt opgevangen in een buffer-tank, zodat het geleidelijk op de biologische nazuivering kan worden geloosd.
- De temperatuur van het effluent is opgegeven door VerTech [3,15].

Asindikking

- De verdeling van water, droge stof en organische stof over effluent en as is berekend uit de droge-stofbalans en de door VerTech opgegeven concentraties (tabel 7).
- Al het niet opgeloste CZV blijft achter in de as.
- Alle polyelectrolyt blijft in de koek achter.

Naverbrander

- De naverbrander kan op temperatuur worden gehouden zonder aardgas, aangezien de verbranding van het koolmonoxyde in het afgas voldoende warmte oplevert.
- Toevoer van extra lucht is overbodig, aangezien het afgas ruim voldoende zuurstof bevat voor volledige verbranding van het koolmonoxyde.
- Ammoniak wordt omgezet in stikstofgas (reducerende verbranding).

Stoomketel

- Het gezamenlijke aardgasverbruik voor de stoomketel en het opstartfornuis is gelijk aan het door VerTech opgegeven totale jaarverbruik.
- Het luchtverbruik is gesteld op 130% van de stoechiometrische behoefte.

5.3 Energiebalans

Reactor

- De energieverliezen naar de bodem tijdens de oxydatie, zijn geschat uit de minimaal vereiste doorzet voor autotherme operatie (3.400 ton droge stof per jaar [2]). Met behulp van een computermodel is berekend dat het verlies naar de bodem ongeveer 1.750 MJ/uur bedraagt. De berekening is gebaseerd op een temperatuur van 70 °C voor het effluent en afgas.
- De warmte die met het effluent en het afgas wordt afgevoerd uit het systeem ("flush out loss") is berekend op basis van de soortelijke warmte en temperatuur van beide stromen en de verdampte hoeveelheid water.
- De verliezen tijdens het weekend bedragen 130.000 MJ/week [15,16].

Naverbrander

- De naverbrander kan op temperatuur worden gehouden zonder aardgas, mits tenminste 55% van de verbrandingswarmte uit het afgas wordt teruggewonnen. In dit geval levert de verbranding van het koolmonoxyde in het afgas van de reactor voldoende warmte op.

Stoomketel

- Het aardgasverbruik voor de stoomketel is gelijk aan het opgegeven totaalverbruik. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen het verbruik voor verwarming van de reactor tijdens een weekend-stop en het verbruik voor stoomproductie tijdens normaal bedrijf.

5.4 Discussie energiebalans

Uit tabel 9 blijkt, dat de reactiewarmte grotendeels (64%) verloren gaat met het effluent en het afgas. Dit is een gevolg van de tamelijk hoge effluent-temperatuur van 70 °C. VerTech streeft ernaar om in toekomstige installaties de effluent-temperatuur te verlagen tot 30 °C, door verdere optimalisatie van de warmteterugwinning [15,16].

De geschatte energieverliezen naar de bodem tijdens het oxydatieproces zijn aanzienlijk lager dan de verliezen die tijdens de experimenten in Longmont optraden. In Longmont bedroeg het verlies 3.380-5.040 MJ/uur [5,11]. VerTech schat dat de verliezen voor het nieuwe reactortype zullen liggen tussen 1.750 en 3.000 MJ/uur, afhankelijk van de bodemgesteldheid [15,16]. Een verlies van 3.000 MJ/uur i.p.v. 1.750 MJ/uur zou de netto-opbrengst aan reactiewarmte bij de gekozen uitgangspunten halveren.

Tabel 9 geeft aan dat de energiebalans van het VerTech-systeem een groot overschot aan thermische energie vertoont, namelijk 2.585 MJ/uur reactiewarmte. Volgens VerTech kan de reactiewarmte gedeeltelijk worden benut voor de aandrijving van de lucht-compressoren voor de aërobe waterzuivering [15].

Met aardgas wordt stoom opgewekt, waarvan 50% nodig is om de reactor in het weekend op temperatuur te houden. Het is onduidelijk waarvoor de resterende stoomproduktie (1.274 MJ/uur) wordt gebruikt. VerTech heeft opgegeven dat in eigen beheer geen electriciteit wordt opgewekt; dit is te duur vanwege de relatief kleine schaal van de installatie.

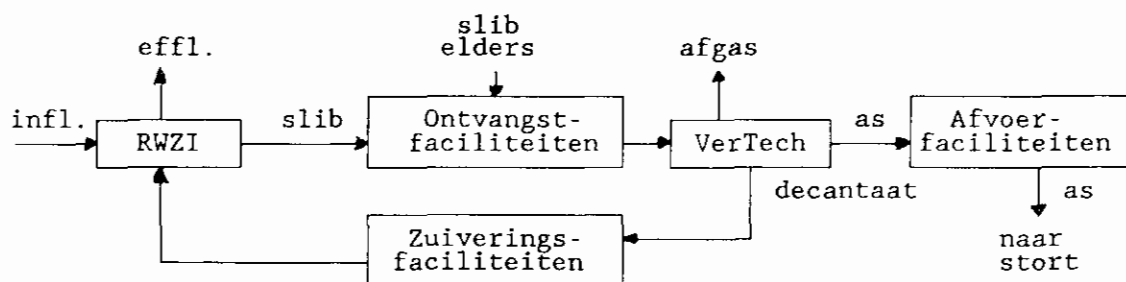
6 INPASSING IN EEN BESTAANDE RWZI

6.1 Algemeen

Het VerTech-systeem wordt gesitueerd op het terrein van een bestaande RWZI. In het VerTech-systeem wordt het op deze RWZI geproduceerde slib samen met slib van elders verwerkt. Na de slibverwerking resteren afgas, decantaat en ontwaterde as. Het decantaat uit de natte-oxydatie-reactor is van een dusdanige kwaliteit dat het niet direct op het oppervlaktewater geloosd kan worden en dient te worden teruggevoerd naar de RWZI. De ontwaterde as wordt afgevoerd naar een stortplaats, terwijl het afgas na reiniging wordt geëmitteerd in de atmosfeer. Inpassing van het VerTech-systeem in de RWZI vraagt extra faciliteiten voor de:

- . ontvangst van het slib;
- . zuivering van het decantaat;
- . afvoer van de ontwaterde as.

In dit hoofdstuk zullen deze voorzieningen nader worden uitgewerkt. In figuur 12 is de RWZI met het VerTech-systeem schematisch weergegeven.



Figuur 12. Schematische weergave van de RWZI met het VerTech-systeem.

6.2 Ontvangst

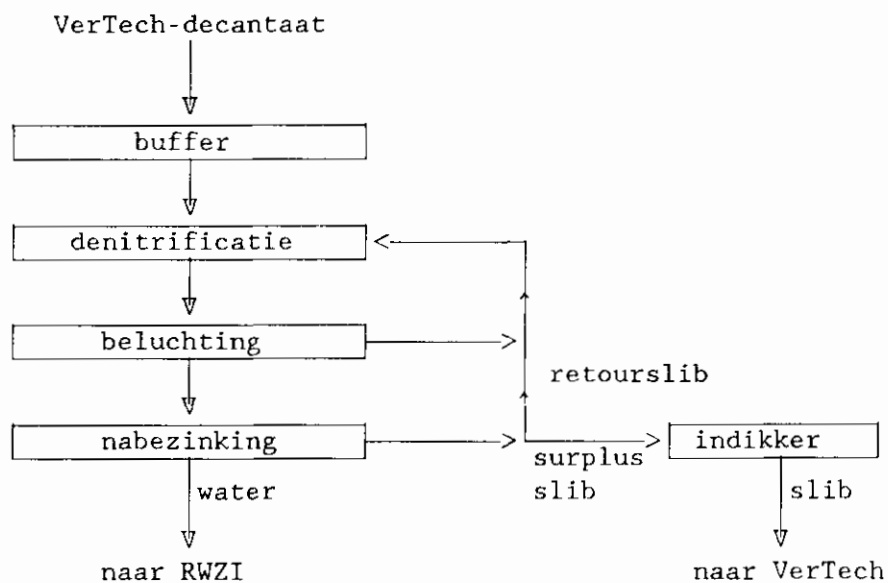
Het van elders aangevoerde slib en het op de RWZI geproduceerde slib worden in een buffer geleid en van hieruit naar het natte-oxydatiesysteem gepompt. In de buffer is een roerwerk aangebracht waarmee het slib in suspensie wordt gehouden. De dimensies en overige gegevens van de slibbuffer zijn als volgt:

. slib RWZI		
. slibaanvoer	: 65	ton d.s./week
. droge-stofgehalte	: 5	%
. dichtheid	: 1.000	kg/m ³
. aanvoertijd	: 168	uur/week
. gemiddeld volumedebiet aanvoer	: 7,5	m ³ /uur
. slib van elders		
. slibaanvoer	: 100	ton d.s./week
. droge-stofgehalte	: 5	%
. dichtheid	: 1.000	kg/m ³
. aanvoertijd	: 40	uur/week
. gemiddeld volumedebiet aanvoer	: 48	m ³ /uur
. piekbelasting	: 125	% van de gemiddelde aanvoer
. volume slibbuffer		
. t.b.v produktie van RWZI in weekend	: 450	m ³
. t.b.v. aanvoer van elders die 's nachts wordt verwerkt	: 290	m ³
. t.b.v. piekbelasting in produktie RWZI (maximaal 5 dagen)	: 225	m ³
. t.b.v. opvangen van storingen in VerTech-systeem (max. 2 dagen) excl. reeds aanwezige opslag t.b.v. de verwerking 's nachts	: 840	m ³
. totaal	: 1.800	m ³
. specifiek mengvermogen	: 5	W/m ³
. gemiddeld opgenomen vermogen	: 9	kW

6.3 De decantaatzuivering

Het decantaat uit het natte-oxydatiesysteem heeft een temperatuur van 25 à 40 graden C. Uit de massabalansen kan worden afgeleid dat het decantaat een vracht van 27.000 kg CZV, 7.400 kg N-Kj en 560 kg NO₃-N per week levert. De RWZI waarnaar het decantaat 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 [1]. Wanneer het VerTech-decantaat ongezuiverd zou worden teruggevoerd naar de RWZI, levert dit

een extra belasting van 20 % CZV en 45 % N-Kj, hetgeen capaciteitsproblemen veroorzaakt. Daarom wordt het decantaat voorgezuiverd in een laagbelast actief-slibstelsysteem met vóórdenitrificatie, alvorens het wordt teruggevoerd. In figuur 13 is het proces schematisch weergegeven.



Figuur 13. Schematische weergave decantaatzuivering

De werking van een biologische reiniging wordt positief beïnvloed door een constante belasting met afvalwater. Daarom wordt het ongezuiverde decantaat uit het natte-oxydatiesysteem naar een buffer geleid, zodat de decantaatzuivering ook in het weekend kan worden bedreven. De buffer wordt afgedekt en geventileerd om stankproblemen te voorkomen. De afgezogen lucht wordt gereinigd met een compostfilter.

Het decantaat wordt uit de buffer naar de biologische reiniging gevoerd.

Hierin treedt nitrificatie op waarbij nitraat wordt gevormd; gestreefd wordt naar een verregaande denitrificatie. Hiertoe wordt nitraatrijk water gerecirculeerd naar een (anoxische) denitrificatietank. De circulatiefactor wordt hoger gekozen dan voor denitrificatie noodzakelijk is om stankproblemen in de anoxische denitrificatietank te voorkomen en om binnenkomend decantaat te verdunnen.

Vanuit de beluchting wordt het slib/watermengsel naar de nabezinking gevoerd waar het slib wordt afgescheiden van het water. Het water wordt afgevoerd naar de RWZI. Een gedeelte van het slib wordt teruggevoerd

naar de denitrificatie, een ander gedeelte wordt afgevoerd naar een indikker. In de indikker wordt het slib geconcentreerd tot 5 % droge stof, waarna het wordt teruggevoerd naar de slibbuffer.

De dimensies en overige gegevens van de hoofdonderdelen van de zuivering zijn als volgt:

. Buffer

. Afdekking en afzuiging van de lucht (zie luchtbehandeling)

. Volume	:	1.000	m ³
. Diepte	:	4	m
. Oppervlakte	:	250	m ²

. Luchtbehandeling

. Compostfilter;

. Luchtdebiet	:	2.500	m ³ /uur
. Oppervlaktebelasting compostbed	:	100	m ³ /m ² uur
. Oppervlak compostbed	:	25	m ²

. Decantaatgegevens

. Aanvoertijd	:	168	uur/week
. Gemiddeld debiet	:	429	m ³ /dag
. CZV-vracht	:	3.850	kg/dag
. CZV/BZV	:	1,4	-
. BZV-vracht	:	2.750	kg/dag
. N-Kj-vracht	:	1.025	kg/dag
. NO ₃ -N-vracht	:	80	kg/dag

. Aëratieruimte

. Aëratieruimte bestaande uit denitrificatie- en nitrificatietank;
. Eerste tank denitrificatie, onbelucht en voorzien van roerwerken;
. Bellenbeluchting;

. Volledig gemengd;

. Temperatuur	:	20	graden C
. Slibgehalte	:	5	kg d.s./m ³
. N-Kj slibbelasting	:	0,04	kg N-Kj/kg d.s. dag
. Totaal volume	:	5.125	m ³
. BZV-slibbelasting	:	0,11	kg BZV/kg d.s. dag

. Slibproductie	:	0,8	kg d.s./kg BZV verw
. Slibleeftijd	:	12	dagen
. Stikstofbalans			
- Volume denitrificatie	:	2.300	m ³ (45 %)
- NO ₃ -N omzetting	:	600	kg NO ₃ -N/dag
- N-opname spuislib	:	96	kg N/dag
- Recirculatiefactor	:	3	-
. Zuurstofvoorziening			
- BZV-reductie (0,5*2750)	:	1.375	kg O ₂ /dag
- Endogene ademhaling (0,11*25625)	:	2.819	kg O ₂ /dag
- Nitrificatie (4,57*1025)	:	4.684	kg O ₂ /dag
- Denitrificatie (-2.86*600)	:	-1.716	kg O ₂ /dag
- Totaal	:	7.162	kg O ₂ /dag
- Piekfactor	:	1,2	-
- Deficietfactor	:	1,3	-
- α OC	:	466	kg O ₂ /uur
- O ₂ -inbrengrendement	:	2,5	kg O ₂ /kWh
- Maximaal opgenomen vermogen:	:	190	kW
. Slibindex	:	150	ml/g
. Nabezinking			
. Ronde nabezinkingstank;			
. Halve ruimer;			
. Oppervlaktebelasting	:	0,55	m ³ /m ² uur
. Benodigd oppervlak	:	33	m ²
. Diameter	:	6,5	m
. Maximaal retourslibdebiet	:	429	m ³ /dag
. Indikker			
. Ronde indikker;			
. Oppervlaktebelasting	:	25	kg d.s./m ² dag
. Benodigd oppervlak	:	85	m ²
. Diameter	:	10	m
. Effluent			
. Gemiddeld debiet	:	429	m ³ /dag
. BZV	:	50	mg/l

. N-Kj concentratie	:	50	mg/l
. NO ₃ -N concentratie	:	950	mg/l

Opmerkingen

- . Na de biologische reiniging zijn BZV en N-Kj sterk gereduceerd. BZV en N-Kj zijn echter nog steeds te hoog voor lozing op het oppervlaktewater. Bovendien levert het effluent een aanzienlijke NO₃-N-vracht. Dit wordt veroorzaakt, doordat de BZV/N-Kj-verhouding in het VerTech-decantaat laag is, waardoor niet voldoende koolstof aanwezig is voor een verregaande denitrificatie. De denitrificatie kan verbeterd worden door dosering van extra BZV (bijvoorbeeld methanol) aan het decantaat. Wanneer de RWZI is ontworpen op denitrificatie heeft de extra NO₃-N-vracht een positief effect (NO₃-N is dan een extra zuurstofbron).
- . Ten gevolge van de nitrificatie kan de pH dusdanig dalen dat problemen ontstaan. Indien nodig, kan de pH worden verhoogd door middel van kalkdosering.
- . Het is denkbaar dat ook de denitrificatietank in verband met stankbezwaar dient te worden afgedekt.
- . De hydraulische verblijftijd in de beluchting en de slibleeftijd zijn ongeveer gelijk. Dit houdt in dat in principe geen slib vanuit de nabezinking naar de beluchting hoeft te worden teruggevoerd. Er dienen echter wel retourslibvoorzieningen aanwezig te zijn (voor opstarten).

6.4 Afvoerfaciliteiten ontwaterde as

De ontwaterde as wordt afgevoerd naar een silo. Vanuit deze silo wordt het afgevoerd naar een gecontroleerde stortplaats. De gegevens van de silo zijn:

. aantal	:	1	stuk
. gemiddelde asaanvoer	:	770	kg d.s./uur
. droge-stofgehalte as	:	50	%
. stortdichtheid	:	600 - 700	kg/m ³
. gemiddeld volumedebiet as	:	60	m ³ /werkdag
. voorraad	:	2 à 3	dagen
. volume	:	150	m ³

7 KOSTENBEREKENING EN GEVOELIGHEIDSANALYSE

In dit hoofdstuk worden de kosten gegeven voor de verwerking van zuiveringsslib door middel van natte-oxydatie in een VerTech-systeem bij een capaciteit van 500.000 i.e. een droge-stofgehalte van het slib van 5 % en een bedrijfstijd van 5 dagen in de week en 24 uur per dag. De kostenberekening is gebaseerd op gegevens verstrekt door VTS [2], waar nodig aangevuld met schattingen van de auteurs. Deze schattingen zijn gebaseerd op gegevens en ervaringen verkregen in soortgelijke projecten.

Verder wordt door middel van een gevoeligheidsanalyse de invloed van:

- . de capaciteit van het VerTech-systeem;
 - . de bedrijfstijd;
 - . het droge-stofgehalte van het te verwerken slib;
 - . de prijs van vloeibare zuurstof;
 - . de personeelsbezetting;
- op de verwerkingskosten nagegaan.

7.1 Uitgangspunten

Definities

In dit verband worden de volgende definities gegeven:

- | | | |
|--------------------|---|--|
| investeringskosten | : | 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 tengevolge van de jaarlijkse bedrijfsvoering voor personeel, onderhoud van civiele en elektro-mechanische voorzieningen, energie en chemicaliën.
transportkosten	:	de kosten die voortvloeien uit het vervoer van nat slib of ontwaterde as. Deze kosten worden in deze studie buiten beschouwing gelaten.
stortkosten	:	de vergoeding die betaald moet worden voor definitieve gecontroleerde opslag van de asresten, gesteld op f 50,- per ton.
jaarkosten	:	de som van kapitaallasten, bedrijfskosten en stortkosten.

Hieronder worden enkele van deze definities nader uitgewerkt.

De investeringen zijn opgebouwd uit:

. aanneemsom, voor het civiele en elektromechanische gedeelte	
. toeslagen	18,5 % B.T.W.
	5 % renteverlies tijdens de bouw
	15 % engineering
	30 % onvoorzien

De bedrijfskosten (inclusief BTW) bestaan uit:

. onderhoud	jaarlijks 0,5 % van de civiele aanneemsom. jaarlijks 3,0 % van de elektromechanische aanneemsom.
. personeel	f 90.000,- per manjaar (inclusief onregelmatigheidstoelagen).
. aardgas	f 0,35 per Nm ³ .
. elektriciteit	f 0,15 per kWh.
. vloeibare O ₂	f 0,20 per kg (inclusief huur opslagtank).
. salpeterzuur	f 0,32 per kg.

. poly-elektrolyt f 12,-- per kg.

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, voor de elektromechanische voorzieningen 0,11.

De kapitaallasten worden verkregen door vermenigvuldiging van annuïteit en investeringen.

7.2 Investeringen

In tabel 10 is de aanneemsom gegeven. Volgens VTS bevat de opgegeven aanneemsom 4 Mfl aan engineeringskosten, 1 Mfl ten behoeve van toekomstig onderhoud aan de reactor en 15 % onvoorzien. In de kostenberekening zijn deze posten van de opgegeven aanneemsom afgetrokken.

De investeringen (1,86 * aanneemsom) zijn:

civiel : 15,72 Mfl

elektromechanisch : 27,66 Mfl

7.3 De jaarkosten

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

De jaarkosten bij deze capaciteit zijn 7,60 Mfl, hetgeen overeenkomt met circa 930 gulden per ton droge stof. De jaarkosten bestaan voor 57 % uit kapitaallasten, 38 % uit bedrijfskosten en 5 % uit stortkosten. De kapitaallasten bestaan voor een groot deel uit lasten voor het natte-oxydatiesysteem. De bedrijfskosten bestaan voor een groot deel uit de kosten voor vloeibare zuurstof en personeel.

Tabel 10. De aanneemsom in Mfl.

Onderdeel	Civiel	Elektromechanisch
Natte-oxydatiesysteem (opgave VTS)		
. ondergronds	3,86	8,18
. bovengronds	0,783	4,43
Bijkomende voorzieningen		
. ontvangstfaciliteiten	0,53	0,04
. trafo (500 kVA)	0,02	0,06
. bedrijfsgebouw (16*13*8)	0,73	0,18
. decantaatzuivering		
- decantaatbuffer	0,4	0,05
- beluchting	1,75	1,25
- nabezinking	0,11	0,055
- indikker	0,19	0,11
- luchtbehandeling	0,03	0,01
. ontwaterd-assilo	0,05	0,5
	—— +	—— +
totaal	8,45	14,87

7.4 Gevoeligheidsanalyse

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

- . de capaciteit van het VerTech-systeem;
- . de bedrijfstijd en de personeelsbezetting;
- . het droge-stofgehalte van het te verwerken slib;
- . de prijs van vloeibare zuurstof.

Tabel 11. De opbouw van de jaarkosten

	Mfl/jaar	f/ton d.s.	% van de jaarkosten
kapitaallasten	4,32	526	57
bedrijfskosten			
. onderhoud	0,488	60	6
. personeel	0,72	88	10
. aardgas	0,187	23	3
. elektriciteit	0,285	35	4
. zuurstof	1,112	135	15
. salpeterzuur	0,064	8	<1
. poly-elektrolyt	0,03	4	<1
stortkosten	0,40	49	5
	— +	— +	— +
jaarkosten	7,60	927	100

7.4.1 Capaciteit van het VerTech-systeem

De in deze studie gehanteerde verwerkingscapaciteit van het VerTech-systeem is 8.200 ton droge stof per jaar (overeenkomend met 500.000 i.e.). Het hoge aandeel van de kapitaallasten geeft aan, dat een capaciteit boven die welke voor deze studie is gekozen, uit economische overwegingen de voorkeur verdient.

In deze paragraaf worden de kapitaallasten en de bedrijfs-, stort- en jaarkosten bij verschillende capaciteiten gegeven.

Voor de berekening van de invloed van de capaciteit op de aanneemsom is gebruik gemaakt van een 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	[Mfl]
a_1	:	de aanneemsom bij capaciteit c_1	[Mfl]
c_2	:	capaciteit 2	[ton d.s./j]

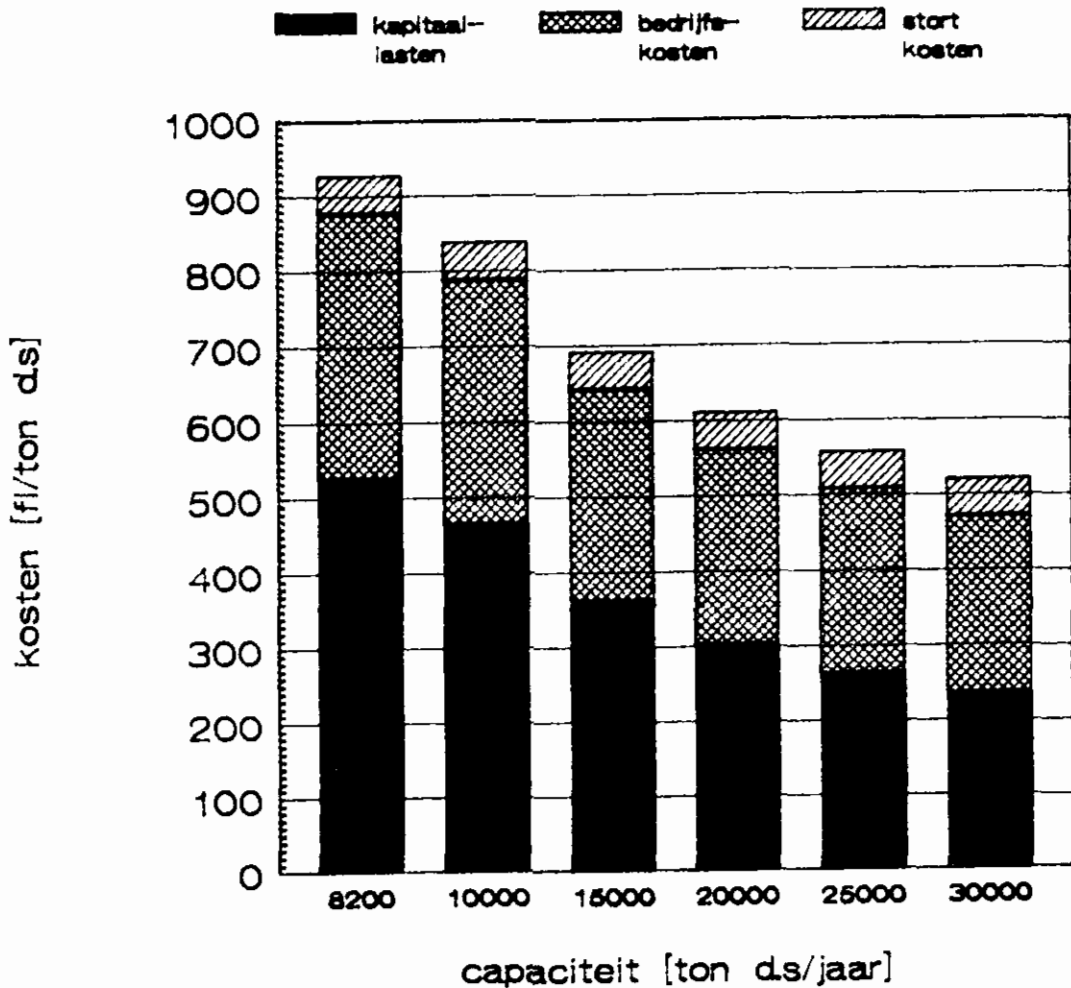
c_1 : capaciteit 1 [ton d.s./j]
 n : capaciteit-verhoudingsexponent [-]

De capaciteit-verhoudingsexponent n is afhankelijk van het type installatie. Uit een publikatie van VTS [9] kan voor een VerTech-systeem een waarde van 0,38 voor n worden afgeleid.

Bij de berekening van de bedrijfskosten is ervan uitgegaan dat de verbruikte hoeveelheden energie en hulpstoffen recht evenredig zijn met de capaciteit; eventuele rendementsveranderingen ten gevolge van de capaciteitsverandering zijn verwaarloosd.

Ook bij de berekening van de stortkosten is ervan uitgegaan dat de te storten hoeveelheden recht evenredig met de capaciteit zijn.

De resultaten van de berekeningen zijn in figuur 14 weergegeven.



Figuur 14. De kapitaallasten en de bedrijfs-, stort- en jaarkosten als functie van de capaciteit.

De capaciteit blijkt van grote invloed te zijn. Toename van de capaciteit leidt tot een daling van de kapitaallasten, bedrijfs- en jaarkosten per ton droge stof. Bij capaciteitsvergroting van 8.200 tot bijvoorbeeld 30.000 ton d.s./jaar nemen de jaarkosten af van ongeveer 930 tot 520 gulden per ton d.s.

7.4.2 De bedrijfstijd en de personeelsbezetting

Op basis van een bedrijfstijd van vijf dagen per week en 24 uur per dag, een beschikbaarheid van 80 procent en een slibproductie van 8.200 ton droge stof per jaar heeft VTS gekozen voor een 13 inch installatie. Verhoging van de bedrijfstijd naar zeven dagen per week en 24 uur per dag heeft, ervan uitgaande dat de dezelfde slibhoeveelheid dient te worden verwerkt, volgens VTS tot gevolg dat met een 10 inch installatie kan worden volstaan.

De civiele en elektromechanische aanneemsom van de 10 inch installatie is respectievelijk 3,66 en 10,28 Mfl [10].

De slibbuffer en de decantaatbuffer worden bij verhoging van de bedrijfstijd eveneens iets kleiner.

Verhoging van de bedrijfstijd leidt tot een afname van de kapitaallasten van circa 525 tot 445 gulden per ton droge stof.

Verder heeft een verhoging van de bedrijfstijd een personeelsuitbreiding van twee personen en een daling van de onderhoudskosten tot gevolg, waardoor de bedrijfskosten met ongeveer 10 gulden per ton droge stof toenemen tot 365 gulden per ton droge stof. Ook de kosten voor aardgas zullen waarschijnlijk iets afnemen, maar dit aspect is hier niet meegenomen.

Verhoging van de bedrijfstijd tot zeven dagen per week en 24 uur per dag heeft, uitgaande van een slibverwerkingscapaciteit van 8.200 ton droge stof per jaar, een afname van de jaarkosten van ongeveer 930 tot 860 gulden per ton droge stof tot gevolg.

Volgens VTS zijn zes personen voldoende voor het bedienen van de Ver-Tech-installatie. In dat geval nemen de jaarkosten met ongeveer 20 gulden af tot 905 gulden per ton droge stof.

7.4.3 Het droge-stofgehalte van het ingaande slib

In deze studie is uitgegaan van een droge-stofgehalte van het ingaande slib van 5 %. In deze paragraaf wordt de invloed van de verandering van het droge-stofgehalte naar 4 % of 6% op de verwerkingskosten besproken.

Volgens VTS [2] veranderen de investeringen voor het natte-oxydatie-systeem niet, wanneer het droge-stofgehalte van het slib 4 % of 6 % wordt.

Verandering van het droge-stofgehalte van het ingaande slib heeft wel invloed op de grootte van de slib- en decantaatbuffer. De civiele en elektromechanische aanneemsom van de slibbuffer zijn 0,6 Mfl en 0,05 Mfl bij 4 % droge stof en 0,475 Mfl en 0,03 Mfl bij 6 % droge stof. Voor de decantaatbuffer zijn deze 0,46 Mfl en 0,06 Mfl bij 4 % droge stof en 0,36 Mfl en 0,045 Mfl bij 6 % droge stof.

Verder is ervan uitgegaan dat verandering van droge-stofgehalte geen effect heeft op de vuilvracht van het decantaat, zodat de beluchting van de decantaatzuivering gelijk blijft. De verandering van de indiker- en nabezinkingaanneemsom ten gevolge van het veranderende droge-stofgehalte van het slib zijn verwaarloosd. Bovendien is ook aangenomen dat de bedrijfskosten, met uitzondering van de onderhoudskosten, en de stortkosten niet wijzigen met veranderend droge-stofgehalte.

De jaarkosten zijn vrijwel onafhankelijk van het droge-stofgehalte van het ingaande slib. Verhoging van het droge-stofgehalte van 4 % tot 6 % leidt tot een verwaarloosbare afname van de jaarkosten met enkele gulden per ton droge stof.

7.4.4 De prijs van vloeibare zuurstof en het aantal werknemers

Uit de kostenberekening blijkt dat de jaarkosten voor 15 % bestaan uit kosten voor vloeibare zuurstof. Hierbij is uitgegaan van een zuurstofprijs van f 0,20 per kg. Toename van de zuurstofprijs tot f 0,30 per kilo leidt tot een stijging van de jaarkosten van ongeveer 930 tot 995 gulden per ton droge stof. Afname van de zuurstofprijs tot f 0,15 per kilo heeft een daling van de jaarkosten tot ongeveer 895 gulden per ton droge stof tot gevolg.

De zuurstofprijs heeft dus een belangrijke invloed op de jaarkosten.

8 MILIEU-ASPECTEN

Het Zuiveringsschap Veluwe heeft gekozen voor slibverwerking in een VerTech-installatie. Naar aanleiding hiervan wordt een Milieu-Effectrapport (MER) opgesteld dat naar verwachting eind 1989 gereed zal zijn. In dit MER zullen onder andere de volgende aspecten aan de orde komen:

- . bodem en water
- . lucht
- . geluid
- . flora en fauna
- . externe veiligheid
- . overige milieu-effecten.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de milieu-aspecten wordt verwezen naar dit MER.

In dit hoofdstuk wordt, op basis van de huidige inzichten en gegevens (juli 1989), zeer globaal ingegaan op enkele milieu-aspecten. Tot heden is weinig praktijkervaring met het VerTech-systeem opgedaan en zijn weinig gegevens beschikbaar. De beschrijving van de milieu-aspecten is dan ook voor een groot deel gebaseerd op schattingen en aannames, is niet volledig en dient als indicatief te worden opgevat.

8.1 Zware metalen in de ontwaterde as

In tabel 12 zijn de gehalten van enige zware metalen in zuiveringsslib en de grenswaarden uit de Wet Chemisch Afval vermeld.

De zware metalen worden tijdens het natte-oxydatieproces omgezet in grotendeels onoplosbare metaaloxiden en zullen naar verwachting voor het grootste deel in de ontwaterde as terechtkomen. Uit de door VTS verstrekte gegevens [2] kan worden opgemaakt dat de hoeveelheid droge stof met een factor 2 wordt gereduceerd. Ervan uitgaande dat de totale hoeveelheid zware metalen in de ontwaterde as terechtkomt, zullen de concentraties zware metalen hierin, uitgedrukt in mg metaal per kg droge stof, met een factor 2 toenemen ten opzichte van het uitgangsslib.

Op basis van het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de gehalten aan zware metalen in de ontwaterde as onder de grenswaarden uit de Wet

Chemisch Afval zullen blijven. De ontwaterde as voldoet dus aan de kwaliteitseisen voor storten.

Tabel 12. Gehaltes van enige zware metalen in zuiveringsslib en de grenswaarden WCA.

metaal	gemiddelde concentratie [mg/kg d.s.]	bron	maximum- concentratie [mg/kg d.s.]	bron	grens- waarde WCA
arseen	7	(c)	15	(c)	50
cadmium	5	(a)	10	(a)	50
kwik	2	(c)	5	(a)	50
chroom ¹	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

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

8.2 Organische microverontreinigingen in de ontwaterde as

Naast zware metalen bevat zuiveringsslib ook organische micro-verontreinigingen, zoals PAK's, PCB's en gechloreerde koolwaterstoffen.

Ten gevolge van het natte-oxydatieproces wordt een gedeelte van de aanwezige organische microverontreinigingen omgezet. De omzettingsgraad van deze verontreinigingen bij de door VTS opgegeven procescondities is echter onbekend.

Om toch een globale indruk te verkrijgen, wordt ervan uitgegaan dat de organische microverontreinigingen niet worden omgezet en dat de totale hoeveelheid in de ontwaterde as terecht komt ('worst case'-benadering).

¹ Het chroom in zuiveringsslib is als driewaardig chroom aanwezig. Op basis van gegevens uit de slibverbranding [4] kan worden geconcludeerd dat het chroom in de ontwaterde as voor meer dan 99 % voorkomt als driewaardig chroom. Daarom is uitgegaan van de grenswaarden voor driewaardig chroom.

In tabel 13 zijn de gehalten van enkele organische microverontreinigingen in zuiveringsslib en de grenswaarden volgens de Wet Chemisch Afval weergegeven.

Tabel 13. Gehaltes van enige organische microverontreinigingen in zuiveringsslib en hun grenswaarden uit de Wet Chemisch Afval.

verontreiniging	gemiddelde concentratie bron [mg/kg d.s.]		maximum- concentratie bron [mg/kg d.s.]		grenswaarde WCA [mg/kg d.s.]
org.gebonden Cl	25	(a)	100	(a)	5.000
org. gebonden F	10	(a)	25	(a)	5.000
P.A.K.'s	7	(b)	20	(b)	50
P.C.B.'s	$25 \cdot 10^{-3}$	(b)	1	(b)	50

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

Op basis van een droge-stofreductie met een factor twee kan geconcludeerd worden dat de gehalten organische microverontreinigingen in de ontwaterde as onder de grenswaarden uit de Wet Chemisch Afval blijven.

8.3 Afgassen

De samenstelling van de afgassen varieert met de reductiegraad van de organische stof in de reactor, de samenstelling van het ingaande slib en de kwaliteit van de toegevoerde zuurstof.

In tabel 14 wordt de samenstelling van de onbehandelde afgassen gegeven, zoals deze zijn bepaald tijdens experimenten in Longmont [3,5]. Het betreft hier alleen hoofdcomponenten. Het ontbreken van waterdamp wordt veroorzaakt, doordat de afgassen voor analyse zijn gedroogd; in werkelijkheid zijn de afgassen verzadigd met waterdamp.

Door de E.P.A. zijn onderzoeken uitgevoerd naar het voorkomen van organische microverontreinigingen in de onbehandelde afgassen van de installatie te Longmont. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 15.

Tabel 14. Hoofdcomponenten in de afgassen van Longmont.

component	concentratie [kg/Nm ³]	concentratie [vol. %]
O ₂	0,041	2,9
CO ₂	1,77	90,2
CO	0,050	4,0
NO _x	0,0001	0,004
N ₂	0,036	2,9

Tabel 15. De concentraties van organische microverontreinigingen in het afgas van de Longmont installatie [3].

Longmont Off-gas Analysis
Total System Discharge, no Thermal or Catalytic Treatment

<u>Compound</u>	TVL/PEL ¹ (ppm)	01/25/85		01/29/85		02/04/85	
		(ppm)	8 hr. exp. ²	(ppm)	8 hr. exp.	(ppm)	8 hr. exp.
Acetone	750	2.02	23.8	4.26	16.42	7.9	33.80
2-Butanone	200	.68	8.03	1.98	7.63	2.1	9.00
Acetaldehyde	100	0	0.00	0.079	0.30	0	0.00
Pentanal	50	0.04	0.47	0.18	0.69	0.1	0.43
2-Pentanone	200	0.1	1.18	0.44	1.70	0.33	1.41
2-Hexanone	5	0.011	0.13	0.043	0.17	0.06	0.26
2-Heptanone	50	0.007	0.08	0	0.00	0	0.00
2-Octonone	200	0.004	0.05	0.011	0.04	0.05	0.21
Furan	50	0.15	1.77	0.61	2.35	0.65	2.78
Methyl furan	100	0.009	0.11	0.052	0.20	0.03	0.13
Toluene&Heptane	100	0.02	0.24	0.04	0.15	0.15	0.64
Butenes	400	0.05	0.59	0.096	0.37	0.5	2.14
Cyclopentene	50	0.06	0.71	0.22	0.85	0.37	1.58
Pentene	200	0.043	0.51	0.073	0.28	0.18	0.77
Methyl pentene	100	0.06	0.71	0.2	0.77	0	0.00
Hexadiene	100	0.18	2.12	0.48	1.85	0.16	0.69
1-Hexene	100	0.13	1.54	0.32	1.23	0.43	1.84
1-Heptene	400	0.077	0.91	0.36	1.39	0.25	1.20
1-Octene	100	0.02	0.24	0.017	0.06	0	0.00
Pentane	600	0	0.00	0	0.00	0.07	0.3
Hexane	50	0.006	0.07	0.03	0.12	0.04	0.17

¹ TLV = Threshold Limit Value, 8 hr. time weighted average conc., American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
PEL = Permissible Exposure Level, 8 hr. time weighted average conc., Occupational Safety & Health Admin. (OSHA).

² 8 hr. exposure, time weighted average values corrected to standard pressure.

De afgassen worden vóór emissie in de atmosfeer behandeld. VTS heeft hiervoor een katalytische naverbrander² geïnstalleerd. Het afgas van het natte-oxydatiesysteem wordt benut als primaire zuurstofbron en energiebron (CO) voor de branders. Indien het afgas onvoldoende zuurstof bevat, wordt lucht toegevoegd.

De samenstelling van het afgas na katalytische naverbranding is gegeven in tabel 16 [2].

Tabel 16. De samenstelling van het afgas na katalytische naverbranding.

component	concentratie [vol. %]
CO ₂	97 - 99
CO	sporen
O ₂	1 - 3
NH ₃	0
NO _x	0
SO _x	0
HCl	0
vluchtige organische componenten	0
water	verzadigd bij 20-30 gr C.

Er zijn geen landelijke normen voor de procesemissies van installaties, zoals het VerTech-systeem. De betrokken vergunningverleners bekijken per geval, aan welke emissienormen de installatie moet voldoen. Op basis van de in tabel 16 gegeven waarden worden echter geen problemen verwacht.

De geurvracht van de afgassen is niet bekend. De mogelijkheid bestaat dat geurbestrijdingsmaatregelen moeten worden genomen bij de ontvangstfaciliteiten van het slib. Ook bij de decantaatzuivering kan stankbezwaaar ontstaan. Hierop is in hoofdstuk 6 ingegaan.

² Bij de thermische slibconditionering (lage druk ZIMPRO) zijn slechte ervaringen opgedaan met katalytische naverbranders. De naverbranders zijn daar vervangen door een combinatie van gaswassers en compostfilters.

Een andere bron van emissies is het gasgestookte ketel waarmee de bij opstart- en herstartperioden benodigde energie wordt opgewekt. Hierover heeft VTS geen gegevens verstrekt. Een goed ontworpen en bedreven gasgestookte ketel kan in het algemeen voldoen aan de hiervoor geldende emissienormen, zodat geen problemen worden verwacht.

8.4 Het decantaat

De samenstelling van het decantaat is afhankelijk van de samenstelling van het te behandelen slib en van de procescondities. In tabel 17 is een typisch voorbeeld gegeven van de te verwachten decantaatsamenstelling vóór asafscheiding bij de in deze studie gehanteerde uitgangspunten [2].

Tabel 17. Typische voorbeeld van een te verwachten decantaatsamenstelling.

BZV	7.400	mg/l
CZV totaal	10.460	mg/l
CZV opgelost	9.300	mg/l
droogrest	25.000	mg/l
oxydeerbare zwevende stof	2.240	mg/l
NH ₃ -N	2.300	mg/l
Kj-N	2.430	mg/l
pH	7,2	-

Het effluent wordt nabehandeld met een lamellenafscheider. Hier vindt een scheiding plaats in een bovenloop met een droge-stofgehalte van 200 à 300 mg/l en een onderloop met een droge-stofgehalte van circa 50.000 mg/l. De onderloop wordt met behulp van een decanteercentrifuge verder ontwaterd. De bovenloop uit de lamellenafscheider en het centrifugedecantaat moeten een voorbehandeling ondergaan, zoals aangegeven in hoofdstuk 6, alvorens te worden teruggevoerd naar de RWZI.

8.5 Aspecten geluidhinder

Het geluidsniveau van de installatie zal kunnen voldoen aan de eisen die eraan gesteld worden in de Wet Geluidhinder. Ten aanzien van geluidbeperkende maatregelen kunnen de volgende aspecten worden genoemd:

- . Aanvoer van slib en hulpstoffen en afvoer van ontwaterd as zal in principe alleen tussen 9.00 en 18.00 uur tijdens werkdagen geschieden;
- . Lawaaiproducerende apparatuur, zoals bijvoorbeeld hogedrukpompen, versnijders, ketels en centrifuges zullen in een gebouw worden geplaatst.
- . De compressoren van de beluchting zullen worden omkast.

9 DIVERSE ASPECTEN

In dit hoofdstuk worden diverse aspecten beschreven die verband houden met de bouw en bedrijfsvoering van een VerTech-systeem voor natte oxydatie van zuiveringsslib. De beschrijving is gebaseerd op openbare literatuur en op de informatie die VerTech en VerTech Treatment Systems in het kader van de huidige studie hebben verstrekt.

9.1 Constructiemateriaal

De materiaalkeuze voor de reactor heeft grote invloed op de investeringskosten voor het VerTech-systeem. Volgens VerTech kan voor rioolwaterzuiveringsslib met een chlorideconcentratie beneden 800 mg/l zogenaamd duplex roestvast staal worden gebruikt. Bij hogere chloridegehalten moeten legeringen met een zeer hoog nikkelgehalte (Inconel, Hastelloy) of titanium worden gebruikt [21]. Voor de bovengrondse apparatuur, die niet bij hoge temperatuur wordt blootgesteld aan rioolwaterzuiveringsslib, kan zonder problemen RVS 304 of 316 worden gebruikt [3].

De reactor in Longmont was vervaardigd uit duplex roestvast staal; de exacte samenstelling van dit materiaal is niet bekend. Het slib bevatte gemiddeld 100 mg chloride per liter, de maximale concentratie was 300 mg/l [5,21]. Na afloop van het onderzoek in Longmont zijn de reactor en de warmtewisselaar uit de put gehaald en gecontroleerd op corrosieverschijnselen. Uit visueel onderzoek bleek dat in de reactor geen put-, spleet-, of spanningscorrosie, of erosie was opgetreden. De ingebouwde warmtewisselaar vertoonde alleen spanningscorrosie op slechte lasverbindingen. De wanddikte van de downcomer is op verschillende dieptes bepaald. Volgens VerTech kan uit de gemeten wanddiktes worden afgeleid, dat een reactor van duplex roestvast staal een technische levensduur heeft van 20 jaar bij natte oxydatie van slib met 100-300 mg chloride/l. Deze verwachting berust op een extrapolatie van de na het onderzoek in Longmont geconstateerde afname van de wanddikte. Hierbij is aangenomen dat ook na langdurige bedrijfsvoering geen lokale corrosieverschijnselen zullen optreden. Rekening houdend met het feit dat de reactor in Longmont 295 dagen heeft gedraaid vóór de inspectie op corrosie, is deze

extrapolatie enigszins aan de optimistische kant: de gevonden afname van de wanddikte zou ook na 16 jaar kunnen optreden.

Uit bepalingen van zware-metaalgehalten in het effluent van de reactor blijkt volgens VerTech dat tijdens de oxydatie van slib geen meetbare corrosie optreedt. Tijdens het spoelen met verdund salpeterzuur (descaling) werden wel aanwijzingen gevonden voor corrosie van de reactorwand.

In een publicatie uit 1976 beschrijven Oettinger en Fontana [22], medewerkers van Zimpro, een uitgebreid onderzoek naar corrosie bij thermische conditionering (temperaturen tot 200 °C) en natte oxydatie (temperaturen tot 290 °C) van rioolwaterzuiveringsslib. Uit deze publicatie blijkt dat RVS 316 kan worden gebruikt voor de reactor en warmtewisselaar van natte-oxydatiesystemen die blootstaan aan hoge temperatuur en druk (232-288 °C, 34-120 bar), mits het chloridegehalte beneden 350 mg/l blijft. Zimpro heeft meerdere oxydatiesystemen gebouwd van RVS 316 - en zelfs RVS 304 - die in 1976 gedurende 3 tot 13 jaar probleemloos functioneerden. Bij chloridegehalten boven 400 mg/l trad al bij temperaturen beneden 200 °C ernstige spannings- en putcorrosie op in RVS 304 en RVS 316. Volgens Oettinger en Fontana is bij chlorideconcentraties tussen 400 en 1000 mg/l een nikkellegering vereist.

9.2 Anorganische wandvervuiling (scaling)

Vooraf in de onderste helft van de VerTech-reactor treedt bij de oxydatie van rioolwaterzuiveringsslib sterke neerslagvorming (scaling) op de reactorwand op [21]. Metalen zoals calcium, magnesium en aluminium slaan neer als sulfaten, fosfaten, silicaten; calciumsulfaat is de hoofdcomponent in het neerslag. Op den duur gaat door deze neerslagen de efficiëntie van de warmteterugwinning uit de riser achteruit en neemt de drukval over de reactor toe. Het onderzoek in Longmont heeft uitgewezen dat deze neerslagen goed kunnen worden verwijderd door de reactor periodiek te spoelen met verdund salpeterzuur. De noodzakelijke frequentie van deze spoelingen hangt af van de concentratie van met name

¹ Er slaan nauwelijks carbonaten neer ten gevolge van de lage pH in de reactiezone [21].

calcium, magnesium en aluminium in het slib. In Longmont werd slib met 800 mg calcium per liter en een relatief hoge aluminiumconcentratie¹ behandeld [21]; neerslagverwijdering (descaling) was gemiddeld eenmaal per 3 weken noodzakelijk [24].

De frequentie van de spoeling, de concentratie van het salpeterzuur en de temperatuur in de reactor tijdens de spoeling zijn essentieel met het oog op de benodigde tijd, de benodigde hoeveelheid zuur en de aantasting van de reactorwand. Tijdens het onderzoek in Longmont heeft VerTech de spoelprocedure geoptimaliseerd; er worden geen details over de gevolgde procedure vermeld [5]. Voor slib uit Longmont schat VerTech de kosten voor salpeterzuur op US\$ 19,40 per ton droge stof; hierbij is aangenomen dat de aluminiumconcentratie in het slib belangrijk is verlaagd door gebruik van andere vlokkingsmiddelen [5].

Volgens het voorstel aan het Zuiveringsschap Veluwe [3] zal de reactor eenmaal per 10 bedrijfsdagen gedurende 8 uur worden gespoeld met salpeterzuur. In het kader van de huidige studie heeft VerTech aangegeven dat tweemaal per maand zal worden gespoeld en dat de totale procedure 24 uur duurt, inclusief afkoeling en herstart van de reactor [2]. De wisselende opgaven van de spoelfrequentie geven aan dat hierover nog geen volledige duidelijkheid bestaat. De voornaamste reden hiervoor is dat de neerslagvorming sterk afhangt van de samenstelling van het slib.

In het Veluwe-voorstel zijn de kosten voor salpeterzuur aanzienlijk lager begroot dan in het rapport over Longmont: voor salpeterzuur, inhibitoren en polyelectrolyt wordt tezamen een bedrag van f 20 per ton droge stof opgevoerd [3]. In het kader van de huidige studie heeft VerTech een verbruik van 12-38 kg salpeterzuur (67% HNO₃) per ton droge stof opgegeven, afhankelijk van de mogelijkheden voor hergebruik van de spoelvloeistof. Dit komt neer op f 4-12 per ton droge stof.

In het Veluwe-voorstel wordt ook aangegeven dat tijdens de oxydatie natronloog aan het slib wordt toegevoegd om de neerslagvorming te beperken. De benodigde hoeveelheid loog wordt niet vermeld [3].

¹ Bij de slibindikking werd alumiensulfaat gebruikt, concentraties zijn niet vermeld.

9.3 Organische wandvervuiling (fouling)

In het bovenste gedeelte van de downcomer werd tijdens het onderzoek in Longmont afzetting van haren, draden en vet waargenomen [21]. Op den duur gaat ook hierdoor de efficiëntie van de warmteterugwinning uit de riser achteruit en neemt de drukval over de reactor toe. De afzetting van organische materiaal kan effectief worden bestreden door periodieke omkering van de stromingsrichting tijdens de oxydatie.

9.4 Veiligheidsaspecten

Volgens VerTech zijn bij de natte oxydatie van zuiverings-slib in een ondergrondse reactor geen bijzondere veiligheidsmaatregelen vereist, afgezien van de normale procedures en voorzieningen die zijn voorgeschreven bij het gebruik van vloeibare zuurstof, salpeterzuur en stoom [2].

In principe is het denkbaar dat de reactorinhoud gaat koken of dat een lek in de reactor ontstaat. Vanwege de vele interacties tussen procesvariabelen is moeilijk te beoordelen of storingen in de procesapparatuur of ongewenste veranderingen in de concentratie van het toegevoerde slib aanleiding kunnen geven tot calamiteiten. VerTech claimt dat de reactor zodanig wordt ontworpen dat de risico's verbonden aan de hoge temperatuur en druk vrijwel zijn weggenomen. In Longmont heeft men ervaring opgedaan met situaties waarin de slibtoevoer stagneerde, terwijl de zuurstoftoevoer doorging. De hieruit voortvloeiende sterke stijging van de gas-holdup leidde niet tot koken van de reactorinhoud [15].

9.5 Vergunningen

Voor de bouw van een VerTech-systeem zijn vergunningen nodig in het kader van de Afvalstoffenwet en de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater. De stoomketels en (hoge-druk-)gas-vloeistofscheiders vallen onder de Stoomwet. Voor de bouw van de installatie is een Milieu-effectrapportage vereist.

9.6 Bouwtijd

Voordat de benodigde vergunningen kunnen worden aangevraagd, moet een Milieu-effectrapportage worden opgesteld. Voor het verkrijgen van de vergunningen is een periode van 7 maanden vastgelegd.

In het kader van deze studie heeft VerTech [2] aangegeven dat het ontwerp en de bouw van de installatie binnen 12 maanden kunnen worden voltooid, gerekend vanaf het moment dat de vergunningen zijn verleend en de opdracht voor de bouw is verstrekt. Hierbij gaat men uit van onderstaand schema:

. opstellen principeplan en uitvoeren	
laboratoriumonderzoek	maand 1-4
. engineering	maand 2-7
. levering apparatuur	maand 3-9
. voorbereiding bouwterrein,	
boren van de put, bouw reactor	maand 4-7
. bouw van oppervlaktevoorzieningen	maand 8-12

Hierbij moet worden aangetekend dat voor de installatie in Windsor (Canada) een levertijd van 12 maanden voor de reactor-pijp is opgegeven [25].

Opgemerkt moet worden, dat VerTech Treatment Systems in zijn voorstel aan het Zuiveringsschap Veluwe [3] uitgaat van een langere lever- en bouwtijd, namelijk 20 maanden. In dit voorstel loopt het ontwerp en de levering parallel aan de vergunningprocedure (exclusief de MER).

9.7 Ruimtebeslag

VerTech geeft voor het natte-oxydatiesysteem een ruimtebeslag tussen 2.500 en 5.000 m³ op, afhankelijk van de randvoorzieningen [2,3]. Bij deze opgave is het ruimtebeslag van de slibbuffer en de aërobe decantaat-zuivering niet inbegrepen; inclusief deze onderdelen is een grondoppervlak van 10.000 m² nodig. Dit oppervlak is in principe ook groot genoeg voor het boren van de put en voor de installatie van de reactor.

9.8 Rechten en vergoedingen

Het VerTech-systeem wordt ontworpen door VerTech Treatment Systems. VerTech Treatment Systems ontwerpt in samenwerking met onderaannemers de overige bovengrondse apparatuur, leidingen, e.d. VerTech Treatment Systems voert het beheer over de bouw van de installatie. De opstart van het systeem vindt plaats onder begeleiding van de leverancier [2.3].

Voor het VerTech-systeem hoeven geen royalties betaald te worden. De kosten voor engineering, beheer en opstart-begeleiding zijn bij de opgegeven investeringskosten inbegrepen. Men is bereid om de know-how in licentie te geven aan derden [26].

10 CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies van de studie zijn:

- Het VerTech-proces is gecompliceerder dan de op de gemiddelde rioolwaterzuiveringsinrichting aanwezige unit-operations. Het proces is qua uitvoering vergelijkbaar met de bestaande thermische slibconditionering in Apeldoorn en Breda (Zimpro), maar de procesregeling is ingewikkelder (samenhang tussen procesparameters). Het proces vereist goedgeschoolde proces-operators.
- De ervaring met het VerTech-proces is zeer beperkt. In feite heeft VerTech alleen ervaring opgedaan met het demonstratie-systeem in Longmont; op dit moment is geen VerTech-systeem in bedrijf. Wijzigingen in het proces die op basis van de ervaringen met de Longmont-installatie zijn aangebracht, zijn nog niet in de praktijk getest. VerTech ondervangt de beperkte ervaring door de slibverwerking in eigen beheer uit te voeren tegen gegarandeerde prijzen en met garanties voor een alternatieve verwerkingsroute. Op dit moment (september 1989) zijn de voorbereidingen voor de bouw van een VerTech-installatie in Apeldoorn in een vergevorderd stadium.
- VerTech verwacht bij de natte oxydatie van vergist zuiveringsslib een CZV-reductie van 70-75% en 90% afbraak van organisch gesuspendeerd materiaal. De onderzoekers achten deze verwachting reëel. Uitgaande van slib met 5% d.s. wordt de hoeveelheid te storten materiaal met ruim 95% gereduceerd op volume- en gewichtsbasis. Vergeleken met conventionele mechanische ontwatering met een filterpers worden het stortvolume en -gewicht met een factor 3 à 4 gereduceerd.
- Het bestudeerde VerTech-systeem is energetisch niet volledig geoptimaliseerd; VerTech is van plan om in toekomstige installaties meer warmte uit het geoxydeerde slib terug te winnen, dan in deze studie is aangenomen. Een onzekere post in de energiebalans is het warmteverlies naar de bodem; dit verlies hangt af van de bodemgesteldheid. Hierbij moet worden opgemerkt dat de energiekosten

(aardgas en electriciteit) slechts een relatief klein deel van de totale verwerkingskosten uitmaken; verdere optimalisatie zal dus geen sterke kostenverlaging geven.

- Het decantaat (asvrije effluent) uit het VerTech-systeem kan niet direct op het oppervlaktewater worden geloosd. Ook lozing op de bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting is niet zonder meer mogelijk; de CZV-belasting zou hierbij met 20% toenemen en de N_{kj} -belasting zelfs met 45%. Een aparte zuiveringsinstallatie is dus vereist.

Gelet op het hoge CZV van het decantaat, zou anaëroobe biologische voorzuivering aantrekkelijk zijn, maar de haalbaarheid hiervan is nog niet bewezen. In dit rapport is dan ook uitgegaan van een laagbelast aëroob actief-slibstelsysteem met vóór-denitrificatie. Dit systeem levert een effluent op dat nog nazuivering in de bestaande rioolwaterzuiveringsinrichting behoeft. Daarbij moet rekening worden gehouden met een aanzienlijke nitraatvracht.

- Ten aanzien van de kosten kunnen de volgende conclusies worden getrokken (alle kosten inclusief 18,5% BTW, exclusief voorbewerking van het slib, transportkosten voor slib en as: de kosten zijn gebaseerd op 75% CZV-reductie van uitgestort slib met een gloeirest van 45% t.o.v. de droge stof):

- Bij een capaciteit van 500.000 i.e. (8.200 ton d.s. per jaar) bedragen de verwerkingskosten *f* 930 per ton d.s., exclusief de transportkosten van het slib en de ontwaterde as. De verwerkingskosten zijn opgebouwd uit 57% kapitaallasten, 39% bedrijfskosten en 4% storkosten voor de ontwaterde as. De voornaamste bedrijfskosten zijn onderhoud (7% van verwerkingskosten), personeel (10%) en zuurstof (15%).
- Capaciteitsverhoging leidt tot een sterke daling van de verwerkingskosten. Bij verhoging van de capaciteit van 500.000 i.e. tot 1.800.000 i.e. (30.000 ton d.s./jaar) dalen de verwerkingskosten van *f* 930 tot *f* 520 per ton d.s.
- Bij verhoging van de bedrijfstijd van 120 uren/week tot 168 uren/week (in beide gevallen 80% beschikbaarheid voor oxydatie) dalen de investeringen, omdat een kleinere natte-oxydatie-

reactor kan worden geïnstalleerd voor de verwerking van 8.200 ton d.s./jaar (500.000 i.e.). De verwerkingskosten dalen hierdoor van f 930 tot f 860 per ton d.s.

- Variatie van het drogestofgehalte van het verwerkte slib tussen 4 en 6% d.s. heeft praktisch geen invloed op de verwerkingskosten.
 - De prijs van vloeibare zuurstof heeft een belangrijke invloed op de verwerkingskosten. Indien de zuurstofprijs f 0,30 per kg is, i.p.v. f 0,20 per kg, stijgen de verwerkingskosten tot f 995 per ton d.s. Een prijs van f 0,15 per kg, resulteert in verwerkingskosten van f 895 per ton d.s.
- Over de milieuaspecten kunnen, op basis van de huidige inzichten en gegevens (september 1989), de volgende uitspraken worden gedaan:
- Indien de bestaande rwzi is uitgerust met een denitrificatiezone, zal de nazuivering van het effluent uit de VerTech-installatie naar verwachting geen problemen opleveren; in andere gevallen moet rekening worden gehouden met problemen door de hoge nitraatconcentratie.
 - Op basis van de door VerTech Treatment Systems verstrekte gegevens, wordt verwacht dat de afgasemissies uit de natteoxydatiereactor na katalytische naverbranding zullen voldoen aan de eisen voor NO_x, NH₃, SO₂ en CO. De geuremissie uit verschillende onderdelen van het VerTech-proces is niet bekend.
 - De concentraties zware metalen en organische microverontreinigingen in de ontwaterde as blijven onder de grenswaarden van de Wet Chemische Afvalstoffen.
 - Het VerTech-systeem kan voldoen aan de eisen gesteld in de Wet Geluidhinder, mits geluidbeperkende maatregelen worden getroffen.
- De veiligheidsrisico's van het VerTech-systeem zijn gemeten naar industriële maatstaven niet uitzonderlijk hoog. Het werken met hoge temperaturen en drukken (ondergronds) is echter nieuw voor een rioolwaterzuiveringsinrichting.

Dit rapport geeft een beschrijving van het VerTech-systeem, op basis van de gegevens die in september 1989 beschikbaar waren. Bij de beoordeling van dit systeem dient aanvullende informatie die later beschikbaar is gekomen te worden meegewogen. In dit verband moet bijvoorbeeld worden gewezen op de MER voor de geplande installatie te Apeldoorn, die eind 1989 wordt afgerond. Deze MER zal met name voor een aantal milieuaspecten aanvullende informatie verstrekken.

LITERATUUR

1. Stora, Het inwonerequivalent getoetst, 1987.
2. VerTech Treatment Systems, brieven aan TNO t.a.v. dr. ir. A. Rinze-
ma, kenmerk KMH/tv/88.187 (d.d. 19-12-1988) en KMH/tv/89-058 (d.d. 28-
02-1989).
3. VerTech Treatment Systems, Zuiveringschap Veluwe, Apeldoorn, Voor-
stel slibverwerking met VerTech natte oxidatie, Utrecht, maart 1988.
4. GTD Oost-Brabant, Gezamenlijke slibverbranding Oostbrabantse Water-
schappen, 1986.
5. Water Engineering Research Laboratory, Office of Research and Deve-
lopment, U.S. Environmental Protection Agency, The City of Longmont,
Aqueous-Phase Oxidation of Sludge Using the Vertical Reaction Vessel
System, Cincinnati, Ohio 45286, U.S.A., contract no. CS-809337-01,
1987.
6. Kiers, A., Snellink, G., Thermische naverbranding van afvalgassen,
Verwarming en Ventilatie, no.7, juli 1975.
7. Friedman, A.A., Smith, J.E., DeSantis, J., Ptak, T, Ganley, R.C.,
Characteristics of Residues From Thermally Treated Anaerobic Slud-
ges, Syracuse University.
8. Kothari, D.J., Predenitrification and Anaerobic Assay Studies of
Wastewater From VerTech Oxidation Systems, Dorr Oliver Biological
Systems.
9. VerTech Treatment Systems, Slibverwerking met het VerTech natte oxi-
datie: Algemeen model, Utrecht, juli 1988.
10. VerTech Treatment Systems, telefax aan Witteveen en Bos, t.a.v. ir.
J.R.A.G. Schepman d.d. 27 juni 1989.
11. Kaufmann, L.A., Peterscheck, H., Modeling Vertech's Mile Long
Multiphase Reaction Vessel, Chem. Eng. Sci. 41 (4), 685-692, 1986.
12. McGrew, J.L., *et al*, Wet Oxidation of Municipal Sludge by the
Vertical Tube Reactor, Water Engineering Research Laboratory, Office
of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency,
Cincinnati, Ohio 45268, U.S.A., contract no. 68-03-2812, N.T.I.S.
publication no. PB86-183936, April 1986.
13. Wu, Y.C., *et al*, Wet Air Oxidation of Anaerobically Digested Sludge
J. Water Poll. Control Fed. 59 (1), 39-46. 1987.

14. Rulkens, W.H., *et al.* Feasibility Study of Wet Oxidation Processes for Treatment of Six Selected Waste Streams. TNO-rapport 88-398. 1988.
15. Peterscheck, H.W., VerTech Treatment Systems b.v., Houten, mondelinge mededeling.
16. VerTech Treatment Systems, brief aan de Landbouwniversiteit Wageningen t.a.v. dr.ir. A. Rinzema d.d. 3 juli 1989, kenmerk HPW/do/89-01
17. Nederlandse Waterkwaliteitsbeheerders, Jaarverslag 1985.
18. Weast, R.C., CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, West Palm Beach, Florida, USA, 1978.
19. Perry, R.H., Chilton, C.H., Chemical Engineers Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo
20. Tans, A.M.P., Liedekerken, A.J., Tabellenboek procestechniek, 3^e druk, Stam Technische Boeken b.v., Educaboek b.v., Culemborg, 1977.
21. Rappe, G.C., Schwoyer, W.L., Depsey, P.E., Operating and Materials Performance Characteristics of a Below-Ground Waste Destruction System for Municipal and Industrial Wastes, Paper presented at the 58th Annual Meeting of the New York Water Pollution Control Association, New York City, New York, USA, Januari 13, 1986.
22. Oettinger, T.P., Fontana, M.G., Austenitic Stainless Steels and Titanium for Wet Air Oxidation of Sewage Sludge, Materials Performance, Nov. 1976, 29-35
23. Heerema, K.M., VerTech Treatment Systems b.v., Houten, mondelinge mededeling.
24. Rappe, G.C., New Sludge Destruction Process, *Environ. Progress* 4 (1), 56-60, 1985.
25. Zuiveringsschap Veluwe, Beknopt verslag van bezoek aan Amerika in kader VerTech natte oxidatie van slib, februari/maart 1989, Apeldoorn.
26. VerTech Treatment Systems, telefax aan de Landbouwniversiteit Wageningen t.a.v. dr.ir. A. Rinzema d.d. 30 augustus 1989.
27. VerTech Treatment Systems, documentatiemap verstrekt op het seminar "Het VerTech natte-oxidatieproces", Dordrecht, 24 oktober 1989.
28. De Bekker, P.H.A.M.J., Van den Berg, J.J., Heerema, K.M., Het VerTech slibverwerkingsproces, *H₂O* 21 (4), 94-99, 1988.

29. Zuiveringsschap Veluwe, Notitie gericht aan de commissies waterkwaliteit en financiën, onderwerp: overeenkomst slibverwerking via natte oxydatie, opgemaakt door H. Dijkema, Apeldoorn, 21 april 1989.

BIJLAGE 1. Uitgangspunten balansberekeningen VerTech natte oxydatie
(vervolg)

CONDITIES KATALYTISCHE NAVERBRANDING AFGASSEN

vereiste verbrandingstemperatuur	490,0 °C
werkelijke verbrandingstemperatuur	553,8 °C
vereist rendement warmtewisselaar	54,8 %
werkelijk rendement warmtewisselaar	70,0 %
luchttoevoer : aardgastoevoer	0,0 kg/kg

ENERGIEVOORZIENING EN -VERLIEZEN

VerTech Reactor Vessel:

temperatuur influent, salp.zuur, PE-opl.	15,0 °C
temperatuur zuurstof	15,0 °C
temperatuur aardgas	15,0 °C
temperatuur verbrandingslucht	15,0 °C
temperatuur effluent en afgang	70,0 °C
warmteverliezen naar bodem tijdens oxidatie	1750,0 MJ/uur
verliezen tijdens weekend	130.000,0 MJ/week

stoomketel:

luchttoevoer : aardgastoevoer	20,0 kg/kg
afgastemperatuur	180,0 °C

THERMODYNAMISCHE GEGEVENS

soortelijke warmte (Cp):

water	4,187 kJ/kg.°C
droge stof	3,150 kJ/kg.°C
aardgas	1,950 kJ/kg.°C
lucht	1,007 kJ/kg.°C
kooldioxyde	0,846 kJ/kg.°C
koolmonoxyde	1,000 kJ/kg.°C
zuurstof	0,913 kJ/kg.°C
stikstof	1,040 kJ/kg.°C
waterdamp	2,330 kJ/kg.°C
verdampingswarmte water	2400,0 kJ/kg
verbrandingsenthalpie aardgas	37995,0 kJ/kg
verbrandingsenthalpie koolmonoxyde	10128,6 kJ/kg
reactieenthalpie natte oxydatie	13500,0 kJ/kg CZV

BIJLAGE 2. Massa- en energiebalans VerTech natte oxydatie

	stroom nr	totaal debiet (kg/h)	water (kg/h)	CZV (kg/h)	Nkj (kg/h)	TSS (kg/h)	VSS (kg/h)	ISS (kg/h)	PE (kg/h)	HN03 (kg/h)	O2 (kg/h)	CH4 (kg/h)	N2 (kg/h)	CO2 (kg/h)	CO (kg/h)	temp (°C)	enthalpie ^{**} stroom (MJ/h)
TOTAALOVERZICHT																	
REACTOR VESSEL																	
invoer	1,2,3	32694,2	30019,9	1200,3	75,0	1579,3	868,6	710,7		25,8	1069,2			0,0	0,0		1976,3
produktie		0,0	453,4	-900,2	0,0	-798,3	-798,3	0,0		0,0	-900,2			1210,9	34,2		12152,9
afgas reactor	4	1682,4	266,7		1,6						169,0			1210,9	34,2	70	768,5
effluent reactor	5	31011,8	30206,6	300,1	73,4	781,0	70,3	710,7		25,8	0,0			0,0	0,0	70	9025,5
verliezen bodem bij oxydatie																	1750,0
verliezen bodem in weekend																	1300,0
verwarming in weekend	6																1300,0
overschot reactiewarmte	6																2585,3
ASINDIKKING																	
invoer	5,7	31493,0	30687,4	300,1	73,4	781,0	70,3	710,7	0,5	25,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		9055,7
ingedikte as	8	1535,9	767,9	30,2	1,9	767,9	69,1	698,8	0,5	0,7						70	394,4
decantaat	9	29957,2	29919,5	269,9	71,6	13,1	1,2	11,9	0,0	25,1						70	8661,3
NAVERBRANDER																	
invoer	4,10,11	1682,4	266,7		1,6						169,0	0,0	0,0	1210,9	34,2		768,5
produktie		0,0	0,0		-1,6						-19,6	0,0	1,6	53,8	-34,2		346,9
uitvoer	12	1682,4	266,7		0,0						149,4	0,0	1,6	1264,7	0,0		1115,4
STOOMKETEL																	
invoer	13,14	1801,8	0,0								377,5	65,2	1357,3	1,7	0,0		28,4
produktie		0,0	146,7								-260,8	-65,2	0,0	179,3	0,0		3259,9
uitvoer	15	1801,8	146,7								116,7	0,0	1357,3	181,0	0,0		714,5
verwarming in weekend	6																1300,0
overige stoomproduktie	16																1273,9

VERKLARING STROOMNUMMERS:

1 onbehandeld slib	9 decantaat
2 vloeibare zuurstof	10 aardgas naverbrander
3 salpeterzuur	11 lucht naverbrander
4 afgas reactor	12 afgas naverbrander
5 effluent reactor	13 aardgas stoomketel
6 warmtewisselaar reactor	14 lucht stoomketel
7 polyelectrolytoplossing	15 afgas stoomketel
8 ingedikte as	16 stoomproduktie

FOOT:

* enthalpie t.o.v. 0 °C.
 ** omgerekend naar het aantal uren waarin oxydatie plaatsvindt.

BIJLAGE 2 (Vervolg)

stroom nr	totaal debiet (kg/h)	water (kg/h)	CZV (kg/h)	Mkj (kg/h)	TSS (kg/h)	VSS (kg/h)	ISS (kg/h)	PE (kg/h)	HNO3 (kg/h)	O2 (kg/h)	CH4 (kg/h)	N2 (kg/h)	CO2 (kg/h)	CO (kg/h)	temp (°C)	enthalpie stroom (MJ/h)	
REACTOR VESSEL																	
INVOER																	
1	31586,5	30007,2	1200,3	75,0	1579,3	868,6	710,7									15	1959,2
2	1069,2								1069,2							15	14,6
3	38,5	12,7							25,8						15	2,4	
6	0,0	453,4	-900,2	0,0	-798,3	-798,3	0,0			-900,2			1210,9	34,2		1300,0	
													1210,9	34,2		12152,9	
Totaal invoer + produktie	32694,2	30473,3	300,1	75,0	781,0	70,3	710,7		25,8	169,0			1210,9	34,2		15429,2	
UITVOER																	
4	1682,4	266,7		1,6						169,0			1210,9	34,2	70	768,5	
5	31011,8	30206,6	300,1	73,4	781,0	70,3	710,7		25,8	0,0			0,0	0,0	70	9025,5	
6																1750,0	
																1300,0	
																2585,3	
Totaal uitvoer	32694,2	30473,3	300,1	75,0	781,0	70,3	710,7		25,8	169,0			1210,9	34,2		15429,2	
ASINDIKKING																	
INVOER																	
5	31011,8	30206,6	300,1	73,4	781,0	70,3	710,7	0,0	25,8						70	9025,5	
7	481,3	480,8						0,5							15	30,2	
Totaal invoer	31493,0	30687,4	300,1	73,4	781,0	70,3	710,7	0,5	25,8							9055,7	
UITVOER																	
8	1535,9	767,9	30,2	1,9	767,9	69,1	698,8	0,5	0,7						70	394,4	
9	29957,2	29919,5	269,9	71,6	13,1	1,2	11,9	0,0	25,1						70	8661,3	
Totaal uitvoer	31493,0	30687,4	300,1	73,4	781,0	70,3	710,7	0,5	25,8							9055,7	

FOOT:

** enthalpie t.o.v. 0 °C.

** omgerekend naar het aantal uren waarin oxydatie plaatsvindt.

BIJLAGE 2 (Vervolg)

	stroom nr	totaal debiet (kg/h)	water (kg/h)	CZV (kg/h)	Nkj (kg/h)	TSS (kg/h)	VSS (kg/h)	ISS (kg/h)	PE (kg/h)	HNO3 (kg/h)	O2 (kg/h)	CH4 (kg/h)	N2 (kg/h)	CO2 (kg/h)	CO (kg/h)	temp (°C)	enthalpie* stroom (MJ/h)
NAVERBRANDER																	
INVOER																	
afgas reactor	4	1682,4	266,7		1,6						169,0			1210,9	34,2	70	768,5
aardgas naverbrander	10	0,0										0,0	0,0	0,0		15	0,0
lucht naverbrander	11	0,0									0,0		0,0			15	0,0
produktie		0,0	0,0		-1,6						-19,6	0,0	1,6	53,8	-34,2		346,9
Totaal invoer + produktie		1682,4	266,7		0,0						149,4	0,0	1,6	1264,7	0,0		1115,4
UITVOER																	
afgas naverbrander	12	1682,4	266,7		0,0						149,4	0,0	1,6	1264,7	0,0	196	1115,4
Totaal uitvoer		1682,4	266,7		0,0						149,4	0,0	1,6	1264,7	0,0		1115,4
STOOMKETEL																	
INVOER																	
aardgas stoomketel	13	85,8										65,2	18,9	1,7		15	2,5
lucht stoomketel	14	1716,0									377,5		1338,5			15	25,9
produktie		0,0	146,7								-260,8	-65,2		179,3			3259,9
Totaal invoer + produktie		1801,8	146,7								116,7	0,0	1357,3	181,0			3288,4
UITVOER																	
afgas stoomketel	15	1801,8	146,7								116,7	0,0	1357,3	181,0		180	714,5
verwarming in weekend	6																1300,0
overige stoomproduktie	16																1273,9
Totaal uitvoer		1801,8	146,7								116,7	0,0	1357,3	181,0			3288,4

VOOT:

* enthalpie t.o.v. 0 °C.

** omgerekend naar het aantal uren waarin oxydatie plaatsvindt.