

NN31085.91-02

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

R 91-02

DEEP SHAFT - SYSTEMEN

een inventarisatie

RIZA

rijkswaterstaat
rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling

postbus 17, 8200 AA IJlstad 03200-70411

stora

stichting toegepast onderzoek
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-3512710



BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

DEEP SHAFT - SYSTEMEN

Een inventarisatie

auteur(s):

DHV:

ir. E. Eggers

ir. A. Schellinkhout

ing. F.J. van der Schot

RWZI 2000 91-02

17 SEP. 1997

Van 9-1-1997

	INHOUD	BLZ
	VOORWOORD	3
	SAMENVATTING	4
1	INLEIDING	7
2	BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM	9
2.1	Principe en ontwerp	9
2.2	Bouwtechnieken	11
3	HISTORIE	13
3.1	Algemeen	13
3.2	Huidige stand van zaken	13
4	CLAIMS, REFERENTIES EN ERVARINGEN	15
4.1	Geclaimde voordelen	15
4.2	Zuivere zuurstof	17
4.3	BZV-verwijdering	18
4.4	Nitrificatie	18
5	TOEPASBAARHEID VAN HET DEEP SHAFT SYSTEEM VOOR DE BEHANDELING VAN STEDELIJK AFVALWATER IN NEDERLAND	21
5.1	Algemeen	21
5.2	Effluentkwaliteit	21
5.3	Energieverbruik	22
5.4	Slibproduktie en ontwaterbaarheid	23
5.5	Ruimtegebruik	23
5.6	Evaluatie	23
6	KOSTENVOORBEELD	25
6.1	Inleiding	25
6.2	Uitgangspunten en ontwerpgrondslagen	25
6.3	Kostenraming	27
7	EVALUATIE	29
8	CONCLUSIES	31
9	REFERENTIES	33

10

BIJLAGEN

1	Referentielijst Deep Shaft installaties	35
2	Nadere gegevens van enkele praktijkinstallaties	37
	a. Tilbury (Engeland)	37
	b. Leer (Duitsland)	41
	c. Tokyo, Osaka (Japan)	43
3	Deep Shaft - Budgetraming	48
4	Laagbelast actief-slib-Carrousel - Budgetraming	50

VOORWOORD

In het kader van het onderzoeksprogramma RWZI-2000 wordt een aantal nieuwe zuiveringstechnologieën geëvalueerd. Bij technologieën die in het buitenland zijn ontwikkeld, wordt doorgaans allereerst gekeken naar de inpasbaarheid in Nederland.

Het voorliggende rapport geeft de resultaten van een dergelijke evaluatie naar de mogelijkheid om het Deep Shaft systeem voor de behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland te introduceren. De evaluatie is uitgevoerd met de informatie uit literatuur en rapportages en aan de hand van informatie verkregen uit bezoeken aan Deep Shaft installaties in Tilbury (Engeland), Leer (Duitsland) en Tokyo, Osaka (Japan). Daarnaast is, voor de Nederlandse omstandigheden, een globale kostenraming gemaakt van de bouwkosten van het Deep Shaft systeem. In Japan zijn vanwege het grote ruimtegebrek en het belang van waterhergebruik vele Deep Shaft installaties in gebruik.

Door onvoldoende beschikbare informatie van een aantal aspecten, zoals energieverbruik, kosten, slibproductie, slibstabilisatie en ontwaterbaarheid, is een volledige evaluatie niet mogelijk gebleken. Uit het rapport is als conclusie te destilleren dat mede vanwege de strengere N-lozingseisen de toepassing van het Deep Shaft systeem in Nederland slechts in zeer specifieke gevallen aantrekkelijk zal zijn. Hierbij wordt gedacht aan de (voor)behandeling van relatief hoog geconcentreerd afvalwater dat gemakkelijk biologisch afbreekbaar is. Daarnaast kan het voorschakelen van een Deep Shaft installatie bij een uitbreiding van een bestaande zuiveringsinrichting een goede en economisch haalbare oplossing bieden, indien deze overbelast is of scherpere N-lozingseisen krijgt opgelegd.

Het onderzoek is uitgevoerd door DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (ir. E. Eggers, ir. A. Schellinkhout, ing F.J. van der Schot) en begeleid door ir. P.C. Stamperius (STORA), ir. A.H. Dirkzwager, ing. G.B.J. Rijs en ir. W. van Starckenburg (RIZA). Daarnaast wordt de heer M.C. Olivier van ICI Nederland bedankt voor de prettige samenwerking.

Lelystad, februari 1991

Voor de stuurgroep RWZI-2000

dr. J. de Jong
(voorzitter)

SAMENVATTING

Het Deep Shaft systeem is een uitvoeringsvorm van het actiefslibproces voor de aërobe biologische behandeling van afvalwater. Het systeem is ontwikkeld door Imperial Chemical Industries Ltd (ICI).

De Deep Shaft reactor bestaat uit een verticale schacht van 30 tot 150 meter diepte en een diameter van 0,4 tot 6 meter. Op basis van praktijkervaringen wordt een schacht met een diepte van 60 meter als globaal optimum beschouwd.

In de schacht bevinden zich twee kanalen waardoor het actiefslibmengsel circuleert, de "downcomer" (het kanaal met de neerwaartse stroming), en de "riser" (het kanaal met de opwaartse stroming). De interne circulatie wordt in stand gehouden door de "airlift" werking van de lucht, die in de "downcomer" wordt gebracht. De lucht is tevens noodzakelijk voor de zuurstofvoorziening van het actiefslib.

Voor de scheiding water-slib-lucht is een aantal methoden ontwikkeld, te weten vacuümontgassing gevolgd door bezinking, flotatie, en een tweetrapsproces met een gecombineerd systeem van actief slib/beluchte ontgasser gevolgd door bezinking.

Voor de keuze van een bepaalde uitvoeringsvorm wordt rekening gehouden met specifieke omstandigheden zoals beschikbare ruimte, slibgehalte en eisen ten aanzien van zwevendestofgehalten in het effluent.

Over de wereld verspreid is inmiddels een vijftigtal zuiveringsinrichtingen uitgevoerd volgens het "Deep Shaft" principe waarvan 40 in Japan, 1 in de Verenigde Staten van Amerika, 4 in Engeland, 3 in Canada en 2 in Duitsland.

Van deze installaties zijn er 14 bestemd voor de behandeling van stedelijk afvalwater, 4 voor de behandeling van stedelijk afvalwater gemengd met industrieel afvalwater en 32 voor de behandeling van industrieel afvalwater.

Opvallend is dat in Japan circa vier maal zoveel installaties gebouwd zijn volgens het Deep Shaft systeem als totaal in de rest van de wereld. Daarbij speelt het grote ruimtegebrek in Japan een belangrijke rol.

Door ICI worden voor het Deep Shaft systeem de volgende voordelen geclaimd:

- minder oppervlak (ca 50% van conventioneel systeem)
- geen afzonderlijke slibstabilisatie nodig
- goede ontwaterbaarheid van het slib
- besparing op de kapitaalslasten voor grote zuiveringsinrichtingen voor afvalwater met een BZV boven 400 g/m³
- geen milieubezwaren als geluid- en stankemissie
- lage slibvolume-index.

Gesteld mag worden dat door vermindering van het aantal procesonderdelen en door het geringe oppervlak dat de kolom inneemt, een besparing op het ruimtebeslag van een afvalwaterzuiveringsinrichting tot de mogelijkheden behoort. Dit geldt alleen, indien uitsluitend naar de BZV-eisen wordt gekeken en geen rekening wordt gehouden met de toekomstige eisen voor stikstof en fosfaat.

Een volledige evaluatie van de voordelen is niet mogelijk omdat van een aantal aspecten (slibproductie, slibstabilisatie, slibbontwaterbaarheid, slibindex, kosten) onvoldoende gegevens beschikbaar zijn.

Uit de referentielijst van ICI van de Deep Shaft installaties waar stedelijk afvalwater wordt behandeld, blijkt dat van de betreffende installaties het gemiddelde BZV in het influent circa 490 mg/l bedraagt (60 - 1580 mg/l). Het BZV in het effluent bedraagt circa 33 mg/l (3 - 170 mg/l) terwijl de BZV-verwijdering circa 90% bedraagt (60 - 97%).

Het ontwerp van een Deep Shaft systeem is meestal zodanig dat de slibleeftijd 1 tot 2 dagen is. Een dergelijke slibleeftijd is te kort om in gematigde klimaatzones nitrificatie te laten optreden.

In de literatuur worden twee oplossingen beschreven om, in combinatie met het Deep Shaft systeem, nitrificatie te bewerkstelligen:

- een nitrificerend oxydatiebed na het Deep Shaft systeem
- een nitrificatietank voor uitbreiding van het volume van het actiefslibstelsel, waardoor de slibleeftijd toeneemt en nitrificatie kan optreden.

Van beide systemen wordt gesteld dat het voorschakelen van een Deep Shaft een goede en economisch haalbare oplossing biedt voor uitbreiding van een bestaande zuiveringsinrichting als deze overbelast is of als oplossing voor de aanvullende N en P eisen.

In principe is de Deep Shaft niet ontworpen voor de verwijdering van stikstofverbindingen. Door een speciale uitvoeringsvorm zoals die in Leer in Duitsland is gerealiseerd, waarbij de functies beluchting en stroming/voortstuwing door het toepassen van een vijzel zijn gescheiden, kan een zekere mate van denitrificatie worden bereikt.

In het kader van de inventarisatie is een globale kostenraming gemaakt van de bouwkosten van een Deep Shaft systeem (met een vijzel volgens de variant "Leer") voor de verwerking van het afvalwater van 50.000 i.e.. Deze bouwkosten zijn vergeleken met de bouwkosten van een conventioneel laagbelast actiefslibstelsel voor de verwerking van dezelfde hoeveelheid afvalwater, waarbij ervan uit is gegaan dat de effluentkwaliteit van beide systemen overeenkomt (BZV < 20 mg/l). De bouwkosten van het Deep Shaft systeem blijken één miljoen gulden hoger te zijn dan van het laagbelaste actiefslibstelsel.

Bij de toepasbaarheid van het Deep Shaft systeem voor de behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland is een aantal aspecten van belang zoals effluentkwaliteit, kosten, slibproductie, ontwaterbaarheid en ruimtegebruik.

Mede vanwege de verscherping van de lozingseisen is te verwachten dat de toepassing van het Deep Shaft systeem in Nederland voor de behandeling van stedelijk afvalwater slechts in zeer specifieke gevallen aantrekkelijk zal zijn.

Het Deep Shaft systeem kan mogelijk zeer goed functioneren bij de (voor)behandeling van relatief hoog geconcentreerd industrieel afvalwater dat gemakkelijk biologisch afbreekbaar is.

Het toepassingsgebied lijkt niet zo groot, dat intensief onderzoek naar verdere verbetering van het Deep Shaft systeem voor de behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland gerechtvaardigd is.

INLEIDING

In het kader van het project RWZI-2000 is een inventarisatie uitgevoerd naar de mogelijkheden van de toepassing van het Deep Shaft systeem in Nederland voor de behandeling van stedelijk afvalwater.

In het voorliggende rapport wordt voornamelijk aandacht besteed aan de toepassing van het Deep Shaft systeem voor de behandeling van stedelijk afvalwater. Ervaringen met industrieel afvalwater zijn in dit kader minder relevant en worden alleen ter ondersteuning gebruikt.

Het rapport is opgesteld met informatie uit literatuur en rapportages en aan de hand van informatie verkregen uit bezoeken aan de Deep Shaft installaties in Tilbury (UK), Leer (Duitsland), Tokio en Osaka (Japan).

Het systeem is ontwikkeld door Imperial Chemical Industries Ltd (ICI). Daarom is ook overlegd met ICI Nederland en met ICI Engeland.

2 BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM

2.1 Principe en ontwerp

Het Deep Shaft systeem is een uitvoeringsvorm van het actiefslibproces voor de aërobe biologische behandeling van afvalwater.

De Deep Shaft reactor bestaat uit een verticale schacht van 30 tot 150 meter diepte en een diameter van 0,4 tot 6 meter. Schachten met grotere diameters (tot 9 meter) verkeren in het ontwerpstadium. Uit praktijkervaringen wordt een schacht met een diepte van 60 meter als globaal optimum beschouwd.

In de schacht bevinden zich twee kanalen waardoor het actiefslibmengsel circuleert, de "downcomer" (het kanaal met de neerwaartse stroming), en de "riser" (het kanaal met de opwaartse stroming). De interne circulatie wordt in stand gehouden door de "airlift" werking van de lucht, die in de "downcomer" wordt gebracht (figuur 1). De lucht is tevens noodzakelijk voor de zuurstofvoorziening van het actiefslib.

De lucht wordt ingebracht op enige diepte in de "downcomer". Doordat de neerwaartse snelheid van het water groter is dan de stijgsnelheid van de luchtbellen, worden de bellen meegesleept naar beneden. Door de toenemende hydrostatische druk gaat de zuurstof veel sneller in oplossing dan onder atmosferische druk en komt er meer zuurstof beschikbaar voor de bacteriën.

In de "riser" expandeert de aanwezige lucht. Er ontstaat een verschil in dichtheid tussen de gasvrije waterkolom in de "downcomer" ten opzichte van het punt waar lucht wordt geïnjecteerd en de kolom van het lucht-water mengsel in het overeenkomstige deel van de "riser" (zie figuur 2). Daardoor wordt de stroming onderhouden.

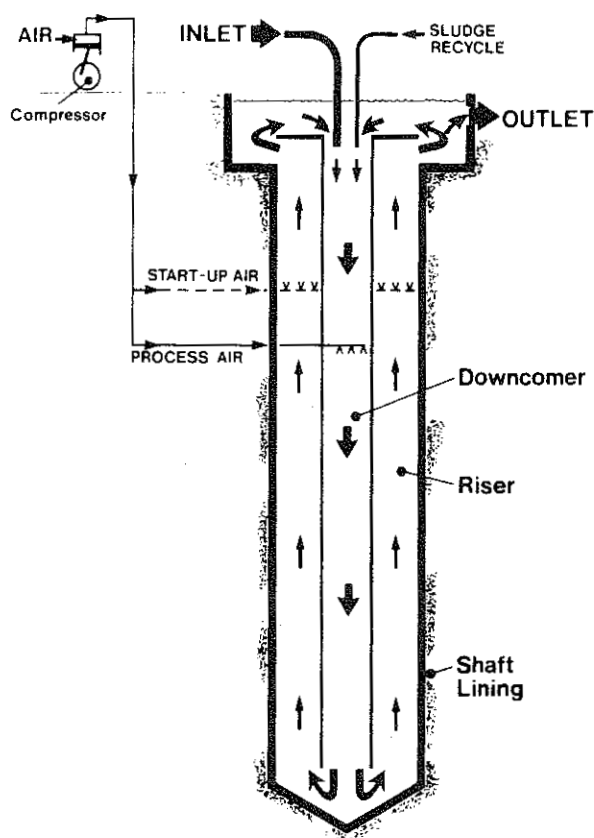
Omdat de circulatie niet zelfstartend is, moet voor het starten eerst lucht in de "riser" worden geïnjecteerd.

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

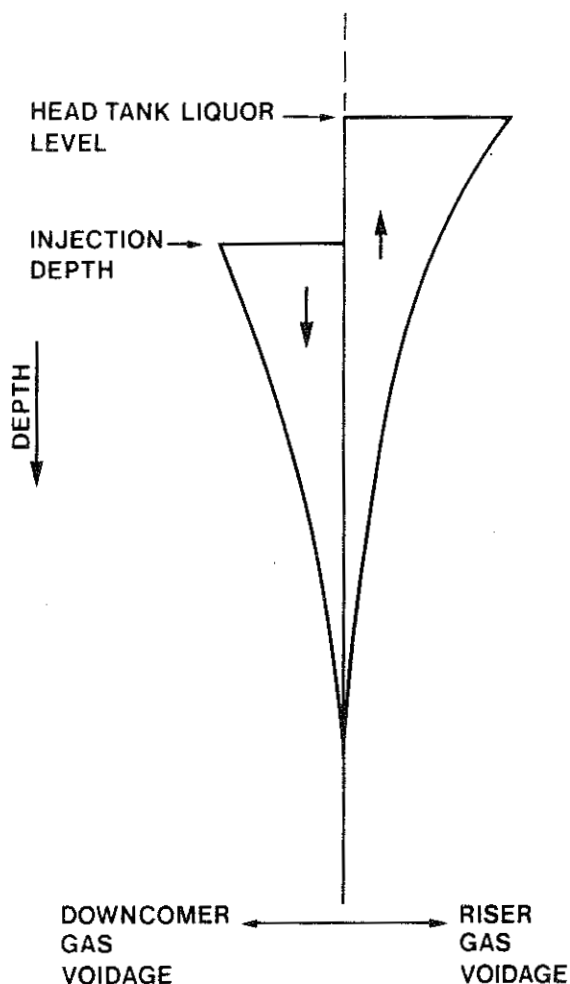
- vacuümontgassing en bezinking
- flotatie
- tweetraps proces met gecombineerd systeem actiefslib/beluchte ontgasser en bezinking.

Deze drie uitvoeringsvormen zijn weergegeven in figuur 3.

Uit informatie van ICI blijkt dat voor de keuze van een bepaalde uitvoeringsvorm in de gehanteerde ontwerpgrondslagen rekening wordt gehouden met de specifieke omstandigheden. Flotatie wordt bijvoorbeeld toegepast in situaties waarbij een traditionele bezinktank in verband met ruimtegebrek niet mogelijk is en in situaties waarbij gewerkt wordt met een hoog slibgehalte (10 tot 15 gram per liter).



Figuur 1 Schema Deep Shaft



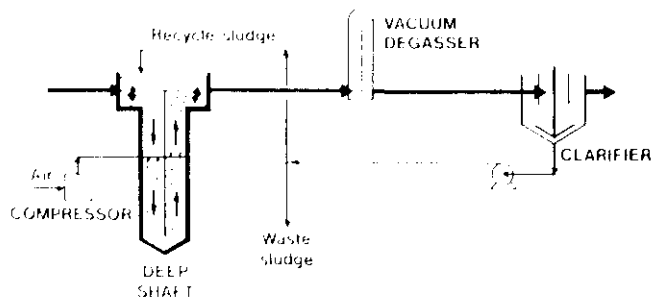
Figuur 2 Diagram voor de vergelijking van het volume gas in de "downcomer" en in de "riser" over de hoogte van de reactor

Bij zwevendestofgehalten van circa 20 mg/l in het effluent wordt geen flotatie toegepast, tenzij met een proefinstallatie op semi-technische schaal aangetoond is dat de effluenteisen bereikt kunnen worden.

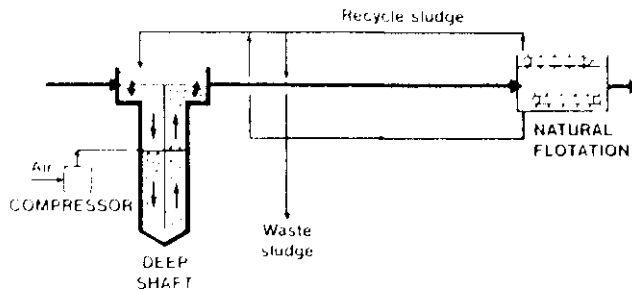
Naast de voor aërobe zuiveringsinrichtingen gebruikelijke parameters als slibbelasting en zuurstofinbreng worden volgens de brochure van Paterson Candy International (PCI) de volgende ontwerpparameters gehanteerd [7]:

- | | |
|---------------------------|---|
| - watersnelheid downcomer | 1 m/s |
| - stijgsnelheid bellen | 0,3 m/s |
| - luchtinjectie | op 1/3 tot 1/2 van de hoogte
vanaf de bovenkant in de
downcomer |

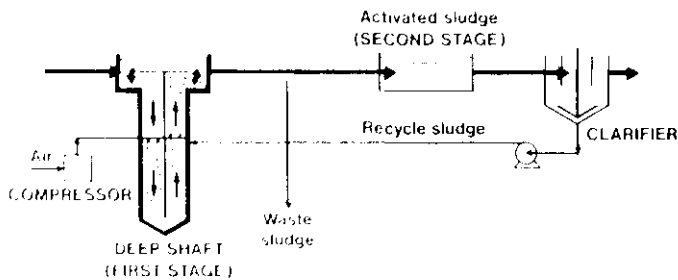
a SEDIMENTATION



b FLOTATION



c 2-STAGE PROCESS



Figuur 3 Drie uitvoeringsvormen van het Deep Shaft systeem

2.2

Bouwtechnieken

Het Deep Shaft systeem heeft een schacht nodig van 30 tot 150 meter diep. Deze schachten kunnen alleen worden gebouwd door gespecialiseerde bedrijven. Om deze schacht te bouwen staan vier technieken te beschikking [16]:

- boren
- heien
- graven
- caissonbouw.

Boren

Deze methode is ontwikkeld voor de oliewinning en kan worden toegepast tot een diameter van circa 2 meter, in zachte bodems tot 3 meter. De bereikbare diepte is vele honderden meters. Er wordt een boortoren gebruikt waarin de gehele installatie is opgehangen.

Heien

Deze methode is bruikbaar in zachte bodems tot een diameter van 3 meter, de maximale diepte is circa 50 meter.

Graven

Deze methode kan worden toegepast bij diameters groter dan 2 meter. Tussen 2 en 3 meter diameter is de methode traag omdat er weinig werkruimte beschikbaar is. Deze methode is vooral geschikt voor harde bodems zoals rotsbodems. In zachte bodems storten de wanden van het gat gemakkelijk in. Om instorten te voorkomen dient te worden gestut.

Caissonbouw

Deze methode, ook wel "shaft sinking" genoemd, kan worden toegepast vanaf een diameter van iets minder dan 2 meter. De maximaal bereikbare diepte in zachte bodems (alluvium) is circa 50 meter. In Japan heeft men met deze methode in zandbodems een diepte van 100 meter bereikt. Het onderste element van de schacht heeft aan de onderkant een stalen rand. Door verwijdering van bodemmateriaal uit het midden van de schacht zakt het element op eigen gewicht naar beneden. Naarmate de schacht zakt, worden er nieuwe elementen opgeplaatst. In het algemeen is voor toepassing in watervoerende bodempakketten de caissonmethode de goedkoopste [16].

Men zou verwachten dat het bouwen van een diepe schacht een grondige kennis van de ondergrond vereist. Het blijkt tot nu toe echter dat de bodemgesteldheid vrijwel nooit beperkingen oplegt aan de bouw van de schacht.

Zelfs in Japan, waar aardbevingen voorkomen, zijn nog geen problemen aan de schachten gerapporteerd.

3 HISTORIE

3.1 Algemeen

Het Deep Shaft systeem voor de behandeling van afvalwater is door ICI in de zeventiger jaren ontwikkeld uit een fermentatieproces voor de produktie van microbieel eiwit. ICI meende, door besparingen op ruimtebeslag en investeringen, een veelbelovend systeem te hebben ontwikkeld en heeft het beluchtingssysteem geëlectrooieerd.

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

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

In 1978 werd PCI licentiehouders voor het Verenigd Koninkrijk. PCI verbeterde het concept. In Engeland werden drie proefinstallaties gebouwd voor de behandeling van stedelijk afvalwater, al dan niet gemengd met industrieel afvalwater, in Aylesbury, Billingham en Tilbury (bijlage 2).

Elders in de wereld werd het Deep Shaft systeem vooral gebruikt voor de behandeling van middel- en hooggeconcentreerd (>250 mg BZV/l), voornamelijk industrieel afvalwater.

3.2 Huidige stand van zaken

Er is inmiddels een aantal zuiveringsinrichtingen uitgevoerd volgens het principe "Deep Shaft" (zie bijlage 1) waarvan:

- 40 in Japan
 - 1 in de Verenigde Staten van Amerika
 - 4 in Engeland
 - 3 in Canada
 - 2 in West Duitsland.

Van de bovengenoemde installaties zijn er 14 bestemd voor de behandeling van stedelijk afvalwater, 4 voor de behandeling van stedelijk afvalwater gemengd met industrieel afvalwater en 32 voor de behandeling van industrieel afvalwater.

Opvallend is dat in Japan circa vier maal zoveel installaties gebouwd zijn volgens het Deep Shaft systeem als totaal in de rest van de wereld. Daarbij speelt het grote ruimtegebrek in Japan een belangrijke rol.

In Japan wordt het systeem ook gebruikt voor de behandeling van zogenaamd "keukenafvalwater", dat wil zeggen alle huishoudelijk afvalwater uitgezonderd het afvalwater afkomstig van toiletten. Na behandeling van dit afvalwater in de Deep Shaft installatie wordt het effluent gebruikt als spoelwater voor toiletten.

Binnen het kader van de inventarisatie is de aandacht vooral gericht op de zuivering van stedelijk afvalwater.

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

Tabel 1 Deep Shaft installaties waar stedelijk afvalwater wordt behandeld.

plaats	BZV				
	capaciteit [i.e. à 54g]	aanvoer [kg/d]	influent [g/m ³]	effluent [g/m ³]	rendement [%]
Toyonaka	13.000	700	300	20	93
Tilbury	130.000	7.050	800	30	96
Portage	105.000	5.670	500	30	94
Matsushima	1.500	80	60	20	67
Virden	5.000	270	200	30	85
Leer	230.000	12.480	830	80	90
Osaka	2.600	140	620	20	97
Osaka	6.100	329	500	20	96
Osaka	1.300	68	68	5	93
Tokyo	4.600	250	616	20	97
Tilbury	407.000	22.000	600	60	90
Mie	10.600	570	1.580 ¹⁾	170	89
Tokyo	2.500	136	135	8	94
Tokyo	3.100	170	444	20	95
Kanagawa	1.400	75	75	3	60
Homar	12.000	450	160	30	81
Osaka	2.200	117	390	10	97
Osaka	1.500	79	600	20	97

1) nightsoil, dit is het zogenaamde "zwart water"

Het gemiddelde BZV van het influent bedraagt ca 490 mg/l (60 - 1580 mg/l) en van het effluent ca 33 mg/l (3 - 170 mg/l). De BZV verwijdering is ca 90% (60 - 97%).

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

4 CLAIMS, REFERENTIES EN ERVARINGEN

4.1 Geclaimde voordelen

De houder van het patent, ICI, en de licentiehouders voor het Verenigd Koninkrijk, PCI, stellen dat het Deep Shaft systeem de volgende voordelen biedt [7]:

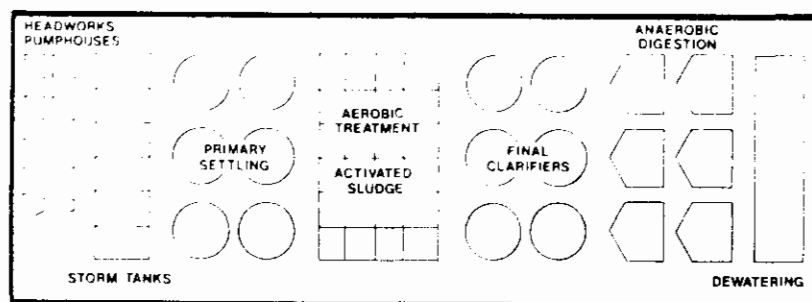
- geringer ruimtebeslag (ca 50% van conventioneel systeem);
- geen afzonderlijke slibstabilisatie nodig;
- goede ontwaterbaarheid van het slib;
- besparing op de kapitaalslasten voor grote zuiveringsinrichtingen voor afvalwater met een BZV boven 400 g/m^3 ;
- geen milieubezwaren als geluid- en stankemissie;
- lage slibvolume-index.

Deze voordelen worden hieronder toegelicht en waar mogelijk van commentaar voorzien.

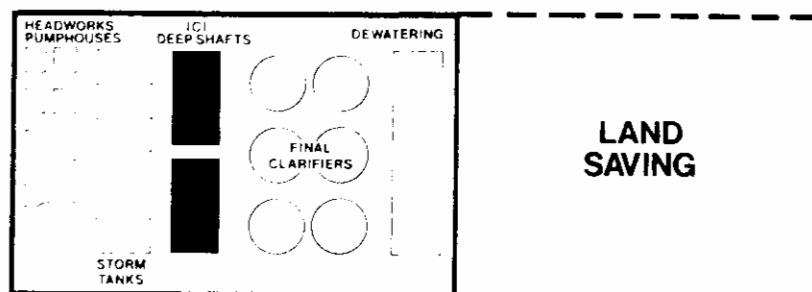
Ruimtebeslag

Het Deep Shaft systeem zou 50% minder oppervlak nodig hebben in vergelijking met een conventioneel actiefslibstelsysteem (zie figuur 4).

Conventional



ICI Deep Shaft



Figuur 4 Geclaimde ruimtebesparing door toepassing van het Deep Shaft systeem

De geclaimde ruimtebesparing komt voort uit:

- geen voorzuivering nodig;
- kleinere oppervlakte van de aëratietank;
- geen slibstabilisatie nodig.

Uit de literatuur is een vergelijking bekend van een Deep Shaft systeem met een oxydatiesloot (Pasveer-condities). De ruimtebesparing was 85%. Het gaat hier om de behandeling van afvalwater met een BZV van circa 2500 g/m³ [12]. De besparing op ruimtegebruik in vergelijking met andere aërobe systemen neemt toe naarmate het afvalwater meer geconcentreerd is.

Voor toepassing van het Deep Shaft systeem bij de behandeling van stedelijk afvalwater zijn geen praktijkvoorbeelden van vergelijkingen met andere systemen op het punt van ruimtegebruik in de literatuur aangetroffen.

In Tilbury, waar de opdrachtgever weinig prioriteit aan ruimtegebruik gaf, is gekozen voor ontgassing door bellenbeluchting waardoor slechts geringe besparing op ruimtegebruik werd gerealiseerd.

In Leer werd wel besparing op grondgebruik gerealiseerd [17].

Concluderend mag worden gesteld dat, ondanks de vermindering van het aantal procesonderdelen en het geringe oppervlak dat de kolom inneemt, slechts een kleine besparing in het ruimtebeslag van een rioolwaterzuiveringsinrichting tot de mogelijkheden behoort omdat er aanvullende onderdelen geïnstalleerd moeten worden. Dit geldt alleen, indien uitsluitend naar de BZV-eisen gekeken wordt en geen rekening gehouden wordt met de toekomstige eisen voor stikstof en fosfaat.

Slibstabilisatie

In de meeste gevallen wordt door de licentiehouder geen slibstabilisatie voorgeschreven.

Het achterwege blijven van een slibstabilisatie werkt kosten- en ruimtebesparend. Bovendien wordt de zuiveringsinrichting eenvoudiger in bediening en onderhoud.

Bij een ontwerp-slibleeftijd van 1 à 2 dagen is het, ondanks de grotere omzetsnelheden door hogere zuurstofspanning en turbulentie, niet aannemelijk dat de slibstabilisatie voldoende zal zijn.

Ontwaterbaarheid

Er zijn geen gegevens gevonden over de ontwaterbaarheid van het surplus-slib. Uit de F/M (food/mass) ratio valt af te leiden dat het slib niet gestabiliseerd is. In het algemeen is ongestabiliseerd slib moeilijk ontwaterbaar. Dunlop [18] geeft aan dat de CST (capillary suction time) van slib van de Deep Shaft installaties in Billingham en Emlichheim 50 - 100 seconden bedraagt. Na het toevoegen van metaalionen verbeterde de ontwaterbaarheid van het slib, uitgedrukt als CST, tot beneden 20 seconden. Ter vergelijking, de CST van slib van een oxydatiesloot is vastgesteld op 100 - 150 seconden, uitgestikt slib 250 - 300 seconden [19].

Het wordt niet uitgesloten geacht dat het slib van een Deep Shaft installatie beter ontwaterbaar is.

Besparing op investeringen

ICI stelt dat in 30% van de gevallen, waarin in Japan gekozen wordt voor het Deep Shaft systeem, dit gedaan is op basis van de hoogte van de investeringen. In de overige 70% is dit gedaan vanwege het ruimtegebruik.

In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over vergelijkingen van de investeringen voor het Deep Shaft systeem en andere systemen voor de behandeling van stedelijk afvalwater.

Milieubezwaren

Doordat de reactor ondergronds is opgesteld en de bovengrondse delen klein zijn, met name bij het gebruik van vacuümontgassing en slibwaterscheiding door middel van flotatie, wordt gesteld dat de emissies van stank en geluid vrijwel nihil zijn.

Bij toepassing van bellenbeluchting als ontgassingsmethode zijn echter bovengronds grote open tanks aanwezig. De geuremissie van die tanks is zeker niet verwaarloosbaar. In de ontgassingstank bevindt zich echter reeds gezuiverd afvalwater, zodat verwacht kan worden dat deze emissie minder is dan van de meeste traditionele systemen.

In de literatuur zijn geen vermeldingen aangetroffen over de opslag van slib dat niet onmiddellijk kan worden ontwaterd.

Bij de opslag van het niet-gestabiliseerde surplusslib is stankontwikkeling voorstelbaar.

Slibvolume-index

De lage slibvolume-index ($SVI \leq 100$ g/ml) wordt toegeschreven aan de afwezigheid van draadvormende bacteriën. Er wordt gesteld dat draadvorming wordt onderdrukt door:

- de mechanische stress als gevolg van de hoge turbulentiegraad in de reactor;
- de sterk wisselende zuurstofgehalten in het systeem.

Er wordt gesteld dat in een Deep Shaft systeem zelden licht slib kan optreden, ongeacht het type afvalwater dat wordt behandeld.

4.2

Zuivere zuurstof

Brignal [8] geeft drie redenen waarom extra zuurstoftoevoer, door toepassing van zuivere zuurstof of zuurstofverrijkte lucht, weinig zinvol is:

- aan de bacteriële zuurstofbehoefte kan met gecomprimeerde lucht goed worden voldaan;
- de fractie stikstof in de lucht is nodig om de airlift in stand te houden, de hoeveelheid koolzuur die ontstaat uit de biologische activiteit is onvoldoende om de volumevermindering door zuurstofconsumptie te compenseren;
- de extra investeringen voor zuurstofverrijking of voor opslag van zuurstof moeten worden afgewogen tegen de besparing op compressoren.

Wellicht kan extra zuurstof een oplossing bieden bij het verwerken van stootbelastingen [8].

4.3

BZV-verwijdering

Uit de referentielijst (bijlage 1) blijkt dat de BZV-verwijdering overeenkomt met die van andere hoogbelaste actiefslibsystemen (1 - 3 kg BZV/kg slib droge stof per dag).

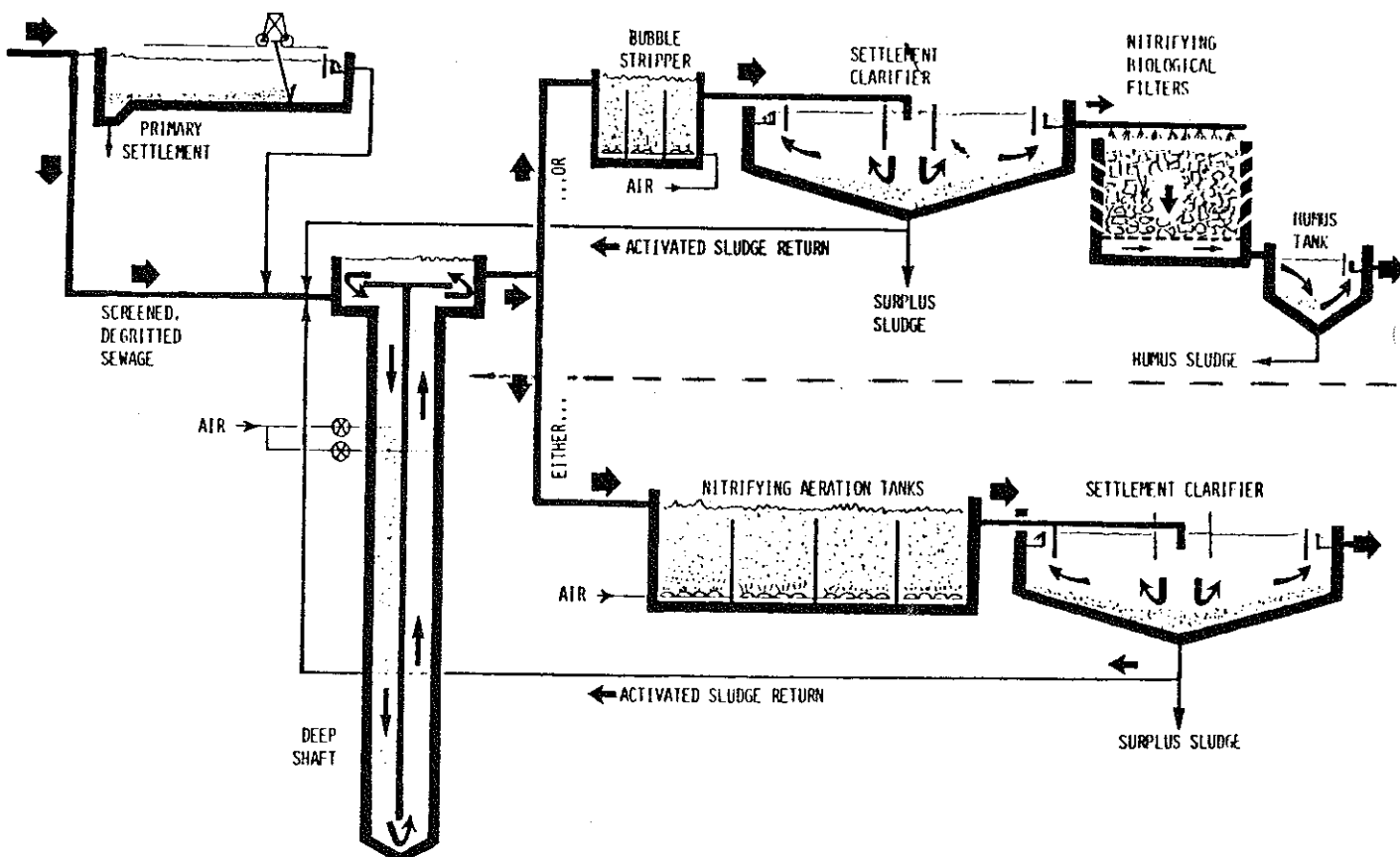
4.4

Nitrificatie

Het ontwerp van een Deep Shaft systeem is meestal zodanig dat de slibleeftijd 1 tot 2 dagen is. Een dergelijke slibleeftijd is te kort om in gematigde klimaatzones nitrificatie te laten optreden [8].

Er worden twee oplossingen beschreven om nitrificatie te bewerkstelligen (zie figuur 5):

- een nitrificerend oxydatiebed na het Deep Shaft systeem;
- een nitrificatietank voor uitbreiding van het volume van het actiefslibstelsysteem, waardoor de slibleeftijd toeneemt en nitrificatie kan optreden.



Figuur 5 Uitbreiding van een bestaand Deep Shaft systeem nitrificatie.

Van beide systemen wordt gesteld dat het voorschakelen van een Deep Shaft een goede en economisch haalbare oplossing biedt voor uitbreiding van een bestaande zuiveringsinrichting [8].

De bedrijfsvoering van de Deep Shaft installatie in Leer (zie bijlage 2) is zodanig dat er goede nitrificatie optreedt in de ontgassings-tanks en dat de kolom 's-nachts gebruikt wordt als voordennitrificatieruimte [17].

5 TOEPASBAARHEID VAN HET DEEP SHAFT SYSTEEM VOOR DE BEHANDELING VAN STEDELIJK AFVALWATER IN NEDERLAND

5.1 Algemeen

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

- effluentkwaliteit (BZV, zwevende stof, P, N_{Kj} , NO_3^-);
- energieverbruik;
- slibproductie en ontwaterbaarheid;
- ruimtegebruik.

5.2 Effluentkwaliteit

De BZV-verwijdering is vooral afhankelijk van de slibbelasting. De gemiddelde BZV-verwijdering van de installaties voor de behandeling van stedelijk afvalwater bedraagt circa 90% . Als de slibbelasting juist wordt gekozen, kan een laag BZV (20 - 25 mg/l) in het effluent worden gehaald.

Uit de literatuur kan worden afgeleid dat het gehalte aan zwevende stof in het effluent van de Deep Shaft installaties niet afwijkt van het gehalte in andere typen installaties. In Japan is het zwevende-stofgehalte lager dan 20 mg/l (incidentele waarnemingen). Voor Nederlandse condities, waarbij een tweede biologische behandelingstrap noodzakelijk lijkt, zal het zwevendestofgehalte in het effluent voor- namelijk worden bepaald door de tweede trap.

De fosfaatconcentratie in het effluent wordt bij de bestaande Deep Shaft installaties niet systematisch gemeten. Gelet op het aërobe zuiveringsproces kan er van uitgegaan worden dat fosfaatverwijdering plaatsvindt door afvang en biologische inbouw van fosfaat in het surplusslib.

Onder de huidige condities in Nederland kan dan ook een verwijdering van circa 35% worden verwacht.

In het kader van het nieuwe eutrofiëringsbestrijdingsbeleid zullen aan de stikstofverwijdering hogere eisen worden gesteld dan tot nu toe. Per 1 januari 1995 moet per beheersgebied tenminste 75% van de influentstikstofvracht worden verwijderd op de rioolwaterzuiveringsinrichtingen (ten opzichte van de vracht in 1985). Voor nieuwe inrichtingen groter dan 20.000 i.e. zal mogelijk bovendien een concentratie-eis van 10 mg N_{tot} /l als jaargemiddelde gaan gelden.

Aan deze N-verwijderingseisen zal het Deep Shaft systeem in het algemeen niet kunnen voldoen vanwege de relatief lage slibleeftijd. Ook denitrificatie is in principe niet mogelijk behalve in een twee-fasen installatie, zoals bij de zogenaamde "Leer" variant.

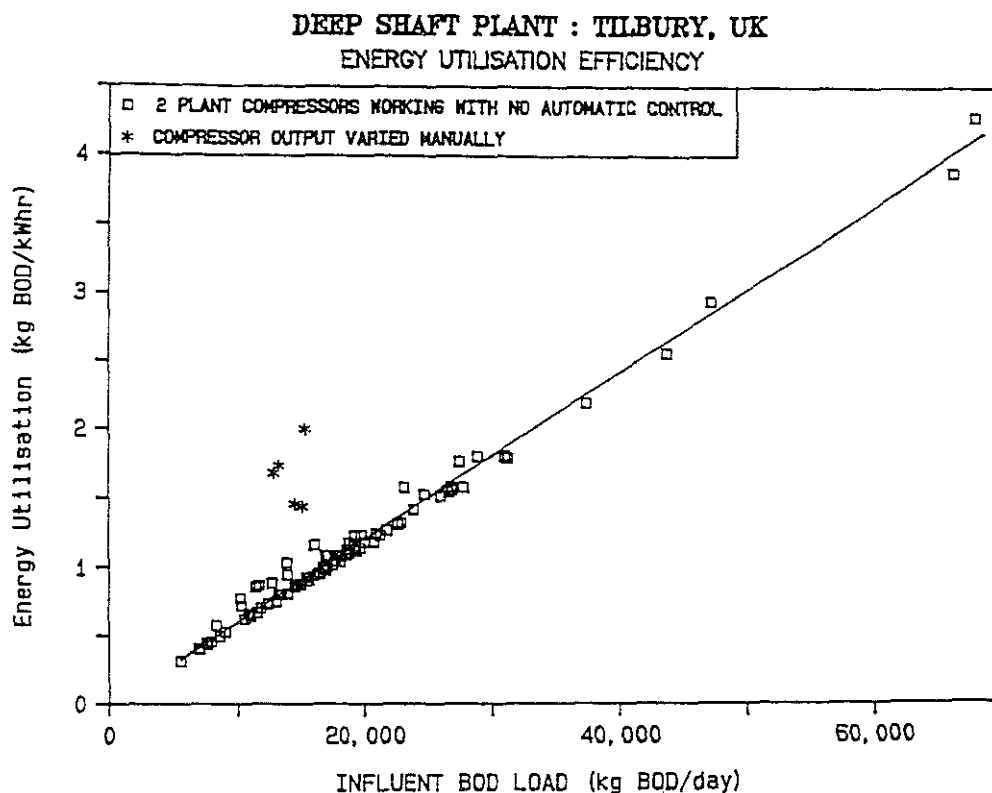
5.3

Energieverbruik

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

Uit figuur 6 blijkt :

- het energetisch rendement neemt toe bij hogere belastingen omdat dan een betere benutting van de energie voor het rondpompen en de beluchting plaatsvindt;
- bij lagere belasting neemt het energetisch rendement sterk af omdat het systeem bedreven wordt bij maximale luchtinbreng. Er is dan sprake van een ongeregeld beluchtingssysteem. Dat wil zeggen dat in principe, bij een geregelde beluchting, bij normale belasting en bij een daarop afgestelde beluchting een rendement van 3 kg BZV/kWh realiseerbaar lijkt. Wellicht is het noodzakelijk bij die belasting het systeem "beluchten en rondpompen" te scheiden (systeem Leer).



Figuur 6. - BZV-omzettingsefficiency van de installatie Tilbury.

5.4 Slibproductie en ontwaterbaarheid

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

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

Over de ontwaterbaarheid van het surplusslib zijn slechts gegevens gevonden die betrekking hebben op CST (zie § 4.2) van twee Deep Shaft installaties. Uit vergelijking met surplusslib van een oxydatiesloot wordt het niet uitgesloten geacht dat het surplusslib van een Deep Shaft installatie beter ontwaterbaar is.

5.5 Ruimtegebruik

De oorspronkelijke uitvoeringsvorm van het Deep Shaft systeem kan een besparing geven van het ruimtegebruik. Door de aangekondigde scherpe eisen van stikstof- en fosfaatverwijdering zijn aanvullende procesonderdelen nodig die kunnen worden voor- of nageschakeld. Daarmee gaan de relatieve voordelen van het ruimtegebruik en kosten deels verloren.

Twee procesroutes, die uit het oogpunt van kosten nog interessant zouden kunnen zijn, zijn weergegeven in figuur 5 (§ 4.5).

5.6 Evaluatie

Hoewel enkele belangrijke aspecten nog niet volledig kunnen worden geëvalueerd (energieverbruik, slibproductie, slibstabilisatie en bedrijfskosten) is het perspectief op de toepasbaarheid onder Nederlandse condities als volgt.

De toepasbaarheid lijkt in die gevallen gunstig waarin evenwicht bestaat tussen een hoge specifieke zuurstofvraag door het biologisch proces enerzijds en de hoge energie-inbreng door het beluchtings- en voortstuwingsproces anderzijds.

Hoewel een exacte concentratiegrens niet kan worden aangegeven, lijkt dit evenwicht bij hogere BZV-concentraties in het aangevoerde afvalwater te liggen. Indicatief moet hierbij gedacht worden aan gehalten ruim boven de gemiddelde waarde onder Nederlandse condities van 200 - 250 mg/l.

6 KOSTENVOORBEELD

6.1 Inleiding

In het kader van de inventarisatie van het Deep Shaft systeem en de toepasbaarheid hiervan in Nederland voor de behandeling van stedelijk afvalwater is een kostenraming gemaakt van de bouwkosten van een Deep Shaft systeem voor de behandeling van het afvalwater van 50.000 i.e. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de bouwkosten van het Deep Shaft systeem en een conventioneel zuiveringssysteem is ook een kostenraming gemaakt van een laagbelast actiefslibstelsysteem voor een zelfde verwerkingscapaciteit.

6.2 Uitgangspunten en ontwerpgrondslagen

Bij de vergelijking van de systemen Deep Shaft en actiefslib systeem is er van uitgegaan dat bij beide systemen eenzelfde effluentkwaliteit verkregen wordt (BZV < 20 mg/l).

Voor de raming van de bouwkosten zijn de volgende uitgangspunten en ontwerpgrondslagen gehanteerd.

6.2.1 Deep Shaft

Uitgangspunten:

type afvalwater	:	stedelijk
vervuiling	:	50.000 i.e. à 54 g BZV
DWA	:	150 liter/dag (excl. lekwater)
		10 liter/uur
RWA	:	3 x DWA

Ontwerpgrondslagen:

wateraanvoer:	- DWA	:	7500 m ³ /dag
			500 m ³ /uur
	- RWA	:	1500 m ³ /uur
vervuiling		:	2700 kg BZV per dag
aanvoerput		:	inhoud 50 m ³
rooster		:	staafrooster
aanvoergemaal		:	capaciteit 1500 m ³ /h
zandvanger			
	- type	:	Dorr
	- opp.belasting	:	30 m ³ /m ² .h
Deep Shaft:			
	- slibbelasting	:	0,5 kg BZV/kg slib d.s. per dag
	- slibgehalte	:	5 kg/m ³
	- volume	:	700 m ³
	- diepte	:	70 m
	- diameter	:	3,60 m
	- rendement	:	90% BZV verwijdering
Head tank		:	volume 390 m ³
beluchtings/ontgassingstank			
	- BZV-belasting	:	270 kg BZV/dag
	- slibbelasting	:	0,05 kg BZV/kg slib d.s. per dag
	- slibgehalte	:	5 kg/m ³
	- volume	:	1080 m ³

nabezinktank

- opp.belasting : $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
- oppervlakte : 1500 m^2
- kantdiepte : 2 m

6.2.2 Laagbelast actiefslibstelsysteem

Voor het ontwerp van een laagbelast actiefslibstelsysteem zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor het Deep Shaft systeem.

De onderdelen "Deep Shaft" en "headtank" zijn echter vervangen door een beluchtingstank (type Carrousel).

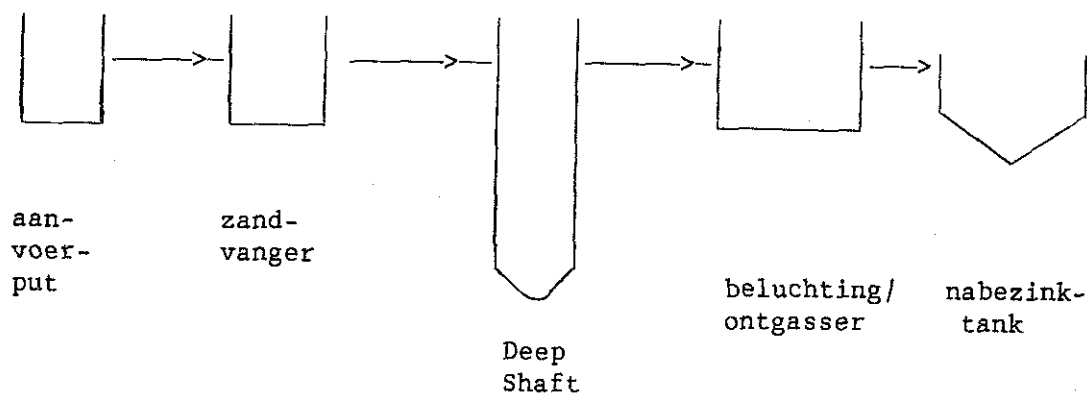
beluchtingstank:

- BZV-belasting : 2700 kg BZV/d
- slibbelasting : $0,05 \text{ kg BZV/kg slib d.s. per dag}$
- slibgehalte : 4 kg/m^3
- inhoud : 13500 m^3

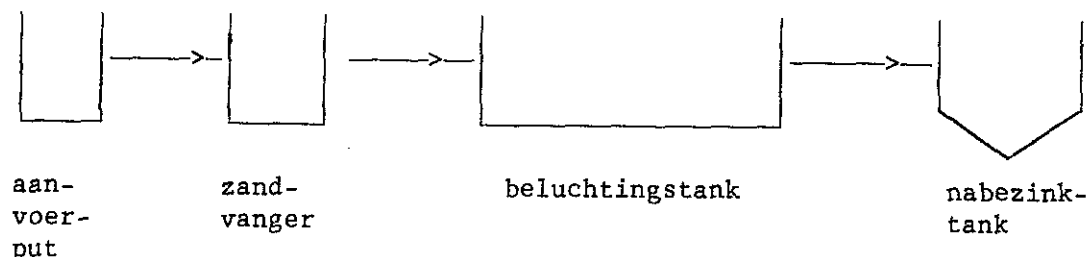
6.2.3 Schema

Onderstaand zijn in figuur 7 schematisch de twee alternatieve zuiveringssystemen weergegeven.

Bij het ontwerp van het Deep Shaft systeem is uitgegaan van een afzonderlijk voortstuwingssysteem in de vorm van een vijzel om nitrificatie en denitrificatie te kunnen bereiken.



Schema Deep Shaft systeem



Figuur 7 - Schema laagbelast actiefslib systeem

6.3 Kostenraming

De bouwkosten voor de twee verschillende systemen zijn weergegeven in de bijlagen 3 en 4. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen mechanische werken, elektrische installatie en civiele werken. Het resultaat van de optelling van de verschillende posten is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 - Bouwkosten van Deep Shaft- en Actiefslibsysteem

	<u>Deep Shaft</u>	<u>Laagbel.actiefslib</u>
civiele werken	f 4.350.000 ¹⁾	f 3.500.000
mechanische werken	f 1.950.000	f 1.800.000
electrotech.werken	f 1.050.000 -----	f 1.050.000 -----
totaal	f 7.350.000	f 6.350.000

1) waarvan bouwkosten Deep Shaft f 1.100.000

De nauwkeurigheid van de genoemde bedragen is circa 30%. Het verschil van 1 miljoen gulden tussen de berekende bedragen valt binnen deze marge.

EVALUATIE

Het Deep Shaft systeem werd in 1975 aangekondigd onder de kop:
"ICI breakthrough in sewage treatment; cash, land and energy saved".

De genoemde voordelen hebben een grote belangstelling voor het systeem veroorzaakt. Deze belangstelling heeft echter niet geleid tot een grootschalige toepassing.

Uit de in dit rapport beschreven studie blijkt dat een aantal aspecten, zoals energieverbruik, slibproductie, slibstabilisatie en bedrijfskosten, nog niet volledig kunnen worden geëvalueerd. Vooral nog moet ervan worden uitgegaan dat de slibproductie en de slibstabilisatie niet significant zal afwijken van die in conventionele systemen. Het energieverbruik is potentiëel wellicht iets lager, maar dit blijkt in de praktijk niet zonder meer te kunnen worden gerealiseerd. Evenwicht tussen een hoge specifieke zuurstofvraag van het biologisch proces enerzijds en de hoge energie-inbreng door het beluchtungs- en voortstuwingsproces anderzijds is daarvoor een voorwaarde. Aan deze voorwaarde lijkt alleen te worden voldaan bij een relatief hoge BZV-waarde in het aangevoerde afvalwater. Deze waarde is aanzienlijk hoger dan de gemiddelde BZV-waarde van het stedelijk afvalwater in Nederland.

De bouwkosten wijken niet aanzienlijk af van die van een conventioneel actiefslib systeem.

De voordelen van het Deep Shaft systeem moeten dus vooral worden gezocht in ruimtebesparing. Dit voordeel zal in specifieke situaties een belangrijke rol kunnen spelen, maar kan in het algemeen in Nederland voor de behandeling van stedelijk afvalwater niet in grote mate worden gerealiseerd.

Aan de in dit rapport beschreven studie kunnen geen extra argumenten worden ontleend om de nadere bestudering van het Deep Shaft systeem te intensiveren.

CONCLUSIES

- Een volledige evaluatie van het Deep Shaft systeem is niet mogelijk omdat van een aantal aspecten (energieverbruik, slibproductie, slibstabilisatie, kosten, investeringen) onvoldoende bekend is.
- Mede vanwege de verscherping van de lozingseisen (N en P) is te verwachten dat de toepassing van het Deep Shaft systeem in Nederland voor de behandeling van stedelijk afvalwater slechts in zeer specifieke gevallen aantrekkelijk zal zijn.
- Uit bedrijfsgegevens van Deep Shaft installaties blijkt dat de gemiddelde BZV-verwijdering bij de behandeling van stedelijk afvalwater circa 90% bedraagt, waarbij eindconcentraties in het effluent van gemiddeld 33 mg/l bereikt worden (3 - 170 mg/l).
- Het ontwerp van de Deep Shaft installatie is over het algemeen zodanig dat de slibleeftijd 1 à 2 dagen is. Een dergelijke slibleeftijd is te kort om in gematigde klimaatzones nitrificatie te laten optreden.
Door uitbreiding van het Deep Shaft systeem met een nageschakelde beluchtingstank en door aanpassing van het conventionele Deep Shaft ontwerp (toevoeging van een vijzel volgens het systeem "Leer") kan in principe nitrificatie en denitrificatie worden bewerkstelligd.
- Uit een raming van de bouwkosten voor een rioolwaterzuiveringsinrichting van 50.000 i.e. blijkt dat de bouwkosten van een Deep Shaft installatie niet significant verschillen van die van een laagbelast actiefslib systeem.
- De beheersbaarheid van het Deep Shaft systeem kan worden vergroot door de hydraulische stabiliteit te verbeteren. Dit kan worden bereikt door een afzonderlijke voortstuwer (vijzel) te installeren zoals bijvoorbeeld bij de Deep Shaft installatie in Leer (Duitsland) is gedaan. Daarmee kan ook een betere zuurstofhuishouding worden verkregen en kunnen omstandigheden gecreëerd worden waarbij denitrificatie op kan treden. Het is bij de gebruiker niet bekend welke invloed deze modificatie heeft op het totale energieverbruik.
- Op grond van de beschikbare gegevens kan de slibproductie van het Deep Shaft systeem niet goed worden geëvalueerd. Op basis van een theoretische benadering van het proces hoeft niet te worden aangenomen dat de slibproductie sterk zal afwijken van die van een laagbelast actiefslib systeem.
- De opmerkelijke belangstelling in Japan voor de toepassing van het Deep Shaft systeem kan onder andere worden verklaard uit de specifieke Japanse omstandigheden zoals de lokale behoefte aan hergebruik van water.
Daarnaast spelen de zeer hoge kosten en de beschikbaarheid van de grond in de grote stedelijke gebieden een belangrijke rol. Deze omstandigheden zijn niet vergelijkbaar met de Nederlandse situatie.

- Door diverse gebruikers van het oorspronkelijke ICI-systeem zijn modificaties aan het Deep Shaft systeem aangebracht die de praktische toepasbaarheid hebben vergroot, zoals
 - a) beluchtingstank in plaats van vacuümontgasser
 - b) afzonderlijke voortstuwing
 - c) beluchtingssysteem, inclusief meet- en regelsysteem
 - d) constructieve aanpassingen.
- Voor de (voor)behandeling van relatief hooggeconcentreerd en gemakkelijk biologisch afbreekbaar afvalwater kan het Deep Shaft systeem een aantrekkelijk systeem zijn. Hierbij wordt voornamelijk gedacht aan de behandeling van industrieel afvalwater. Het toepassingsgebied lijkt niet zo groot, dat intensief onderzoek naar verdere verbetering van het Deep Shaft systeem voor de behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland gerechtvaardigd is.

REFERENTIES

- 1 Anon. (1979) The ICI Deep Shaft Effluent Treatment Process. ICI Produktinformatie.
- 2 Anon. (1983) Deep Shaft II., World Water, Sept. 1983, p. 50.
- 3 Anon. (1987) Het ICI-Deepshaft Systeem en de Multireactor, Onderzoeksplan DHV Raadgevend Ingenieursbureau.
- 4 Anon. (1987) Deep Shaft "Knife Edge" Technology in Tilbury., Surveyor, vol. 168, no. 4953, 16 July 1987, pp. 12, 13.
- 5 Anon. (1987) World's largest deep shaft. Water Services, Vol. 91, no. 1098, p. 347.
- 6 Anon. (1987) Deep shaft reaches new heights. WQI No. 3, 1987, pp. 18, 19.
- 7 Anon. (1988) Deep Shaft Activated SLudge Process for treatment of sewage and industrial wastewater. Produktinformatie PCI 1201 Process.
- 8 Brignal. W.J. (1982) Latest Developments in the Deep Shaft Wastewater Treatment Process., Public Health Engineer, Vol. 10, No. 3, 159 - 163.
- 9 Cox, G.C. et al. (1980) Use of the Deen-Shaft Process in Upgrading and Extending Existing Sewage-Treatment Work.
- 10 Daly, P.G. and Shen, C.C. (1988) The Deep Shaft Biological Treatment Process., 43rd Annual Purdue Industrial Waste Conference, May 1988.
- 11 Fields, P.R. (1988) Sewage Treatment by Deep Shaft in the UK: a Major New Development. Annual Conf. Japan Sew. Works Assoc., Tokyo, May 1988.
- 12 Fields, P.R., Daly, P., Kobayashi, O and Hashimoto, S. (1989) Industrial Wastewater Treatment with Deep Shaft., Preprint Japan Sewage Works Association Conference, May 1989.
- 13 Hemming, M.L. (1979) General Biological Aspects of Waste-Water Treatment Including the Deep-Shaft Process. Wat. Poll. Control 78, pp. 312-325.
- 14 Hines, D.A., Bailey, M., Ousby, J.C. and Roesler, F.C. (1975) The ICI Deep Shaft Aeration Process for Effluent Treatment., Paper presented at the Conference of the Institution of Chemical Engineers, York, England, April 1975.
- 15 Robinson, A.B. and Cowen, R. (1985) Design and Construction Features of the Second Generation Tilbury Deep-Shaft Plant. Water Poll. Control. Vol. 84, nr. 4 p. 515.
- 16 Anon. J.C.J. Deep Shaft Design Manual - Chapter 12 "Shaft construction".
- 17 Bulte, AWZI Leer - modelinge informatie 1989.
- 18 Dunlop E.H., Characteristics of sludge produced by the Deep Shaft, Society of Chemical Industry, Conference, 1977
- 19 STORA, Slibontwatering, delen 2 en 3, Optimalisering van slibontwatering met polyelectroliet, 1981/82.
- 20 Persoonlijke waarnemingen - Tilbury, 1989.

REFERENTIELIJST DEEP SHAFT INSTALLATIES

In Action
Worldwide

EXAMPLES OF EXISTING PLANTS

**DEEP
SHAFT**

FULL-SCALE DEEP SHAFT PLANTS			SHAFT SIZE		BOD		TYPE OF WASTE	FLOW (m ³ /day)	BOD IN	(mg/l) OUT
YEAR	LOCATION		Depth (m)	Diam (m)	LOAD (kg/day)					
DOMESTIC PLANTS										
1	1977	Toyonaka, Japan	100	1.0	700	Domestic		2,400	290	20
2	1978	Tilbury, UK	130	1.9	7,050	Domestic/Industrial		8,800	800	30
3	1980	Portage, Canada	150	1.4	5,500	Domestic/Industrial		13,600	400	30
4	1980	Matsushima, Japan	100	0.7	80	Domestic		500	160	20
5	1980	Virden, Canada	150	0.8	540	Domestic		2,300	235	30
6	1981	Leer, Germany	80	2.6	12,480	Domestic/Industrial		15,000	830	80
7	1985	Osaka, Japan	40	1.2	334	Domestic		530	630	20
8	1985	Osaka, Japan	40	1.6	250	Domestic		500	500	20
9	1986	Osaka, Japan	40	1.0	68	Domestic		272	250	5
10	1986	Tokyo, Japan	50	1.2	255	Food and Domestic		411	620	20
11	1987	Tilbury, UK	60	5.8	22,000	Domestic/Industrial		30,000	600	60
12	1987	Mie, Japan	130	0.8	570	Nightsoil		375	1,520	170
13	1988	Tokyo, Japan	60	1.0	136	Domestic Recycle		400	340	8
14	1988	Tokyo, Japan	50	1.2	170	Domestic		401	425	20
15	1988	Kanagawa, Japan	42	1.0	90	Domestic Recycle		150	600	3
16	1988	Homer, Alaska	150	0.8	450	Domestic		2,800	160	30
17	1988	Osaka, Japan	40	1.2	117	Domestic Recycle		300	390	10
18	1991	Osaka, Japan	40	1.0	79	Domestic Recycle		136	600	20
INDUSTRIAL PLANTS - FOOD										
19	1975	Emlichheim, Germany	100	1.1	2,110	Potato Processing		1,400	2,000	200
20	1980	Barrie, Canada	150	1.4	5,230	Brewery		2,100	2,500	250
21	1979	Chiba, Japan	100	2.8	16,500	Corn Starch		8,880	1,860	100
22	1979	Nagoya, Japan	125	0.9	1,600	Fish Processing		800	2,000	100
23	1979	Osaka, Japan	100	0.8	200	Food Processing		200	1,000	100
24	1982	Yokkaichi, Japan	100	2.4	3,000	Bread Production		4,000	750	50
25	1983	Niigata, Japan	50	0.9	300	Fish Processing		200	1,500	300
26	1984	Numazu, Japan	50	2.8	10,440	Fish Processing		600	17,400	120
27	1988	Niigata, Japan	65	1.1	620	Fish Processing		200	3,100	300
28	1988	Tokyo, Japan	75	1.6	800	Food		1,600	800	300
29	1988	Kobe, Japan	90	3.0	2,880	Food		1,920	1,500	20
30	1988	Chiba, Japan	100	1.7	1,285	Dairy Products		1,440	890	8
31	1989	Yamato, Japan	40	1.5	472	Cattle Food		230	2,050	300
32	1990	Tochigi, Japan	33	2.9	980	Food		1,400	1,000	300
INDUSTRIAL PLANTS - PULP & PAPER										
33	1978	Prudhoe, UK	30	6.0	21,600	Pulp/Waste Paper		72,000	300	30
34	1980	Ohtsu, Japan	100	2.8	3,200	Cardboard Production		20,000	160	10
35	1983	Tokyo, Japan	75	1.3	740	Printing Plant		2,000	370	30
36	1984	Ehime, Japan	52	3.5	2,450	Pulp/Waste Paper		7,000	350	20
37	1984	Tokyo, Japan	100	3.4	7,290	Pulp/Waste Paper		15,000	490	20
38	1987	Tokyo, Japan	100	3.4	4,500	Pulp/Waste Paper		15,600	290	15
39	1988	Shikoku, Japan	50	3.6	8,640	Pulp/Waste Paper		45,000	190	20
INDUSTRIAL PLANTS - GENERAL										
40	1979	Iwate, Japan	30	0.8	250	Sodium Alginate		500	500	120
41	1980	Fuji, Japan	80	2.0	3,000	Pesticide Production		1,500	2,000	120
42	1981	Wilton, UK	100	2.0	8,590	Terephthalic Acid		2,560	3,350	300
43	1982	Tokyo, Japan	100	0.7	400	Incinerator Scrubbing		1,000	400	30
44	1983	Kashima, Japan	100	2.0	3,380	Phenol Production		1,656	2,040	300
45	1983	Yokohama, Japan	130	1.3	400	Steel Production		6,720	60	30
46	1984	Nagoya, Japan	54	1.5	180	Plastics Production		120	1,500	75
47	1988	Chiba, Japan	75	2.4	1,061	Contract Waste		810	1,310	30
48	1990	Nagoya, Japan	50	1.5	133	Chemicals Production		38	3,500	20
INDUSTRIAL PLANTS - FERMENTATION										
49	1986	Hokkaido, Japan	50	1.6	300	Enzyme		350	860	20
50	1986	Kanagawa, Japan	70	2.5	2,500	Alcohol/Pharms		1,000	2,500	20

NADERE GEGEVENS VAN ENKELE PRAKTIJKINSTALLATIES

1 Tilbury, Engeland

1.1 Geschiedenis

 In 1978 is in Tilbury een proefinstallatie gebouwd; de verantwoordelijke instantie was Anglian Water Authority (AW); PCI is sterk bij de bedrijfsvoering betrokken geweest. De installatie onderscheidde zich van de andere proefinstallaties in Engeland (Aylesbury en Billingham) in:

- diepte 130 m tegen 60 m in Aylesbury
- in Aylesbury was het bereiken van nitrificatie een doelstelling
- in Aylesbury en Billingham wordt uitsluitend stedelijk afvalwater behandeld, in Tilbury is het afvalwater voor een groot deel van industriële oorsprong.

Op basis van de ervaringen met de proefinstallatie heeft PCI verschillende modificaties in het ontwerp aangebracht. Met de bouw van de praktijkinstallatie volgens gemodificeerd ontwerp werd in 1985 begonnen. In maart 1987 is de installatie in gebruik genomen.

De installatie te Tilbury wordt als de eerste installatie van de tweede generatie beschouwd [2][7]. De installatie is met een ontwerp-capaciteit 325.000 i.e. de grootste Deep Shaft ter wereld [7].

1.2 Proefinstallatie

 De ervaringen met de proefinstallatie die hebben geleid tot modificaties in het ontwerp van de praktijkinstallatie worden hieronder samengevat [15]:

Stroomsnelheid

 Het bleek moeilijk de stroomsnelheid in de reactor onder controle te houden, het gebeurde soms dat de stroomrichting omkeerde. Op de nieuwe installatie is een regeling aangebracht.

Schuim.

 Er trad vaak hardnekkige schuimvorming op. In de nieuwe installatie werd ook voor schuim gevreesd, omdat het binnenkomende water veel detergents bevatte afkomstig van de industrie. In de praktijkinstallatie bleek echter geen hinderlijke schuimvorming op te treden.

Drijfslaag en omhoogkomende slibdeken in nabezinktank.

 De oorzaak wordt toegeschreven aan de lozing van warm water op het aanvoerstelsel. Nadat deze lozing beëindigd werd, trad het probleem minder op. Een andere oorzaak was de moeilijke stuurbaarheid van de slibhoeveelheid tijdens RWA-omstandigheden. Men heeft geprobeerd dit probleem in de praktijkinstallatie te ondervangen met een automatische sturing van de slibspui.

Verstopningen.

 Er traden in de proefinstallatie verstoppingen op door ophoping van grof materiaal. Dit grove materiaal kon de reactor bereiken doordat geen roostergoedverwijdering plaatsvond. De verstoppingen traden uitsluitend op in de ontgassingsruimte en in het leidingwerk. In de nieuwe installatie is de vacuümontgasser vervangen door een aëratietank met bellenbeluchting. De verstopping die in andere onderdelen van de proefreactor optraden, zijn in de nieuwe ondervangen door het ruimer uitvoeren van leidingwerk.

Er wordt geen melding gemaakt van pogingen om alternatieven te vinden ter voorkoming van de verstoppingen, zoals het plaatsen van een fijnrooster vóór de reactor.

1.3

Ontwerp van de praktijkinstallatie

 De keuze voor een reactordiepte van 60 m in het ontwerp van de praktijkinstallatie in Tilbury wordt als volgt beargumenteerd:

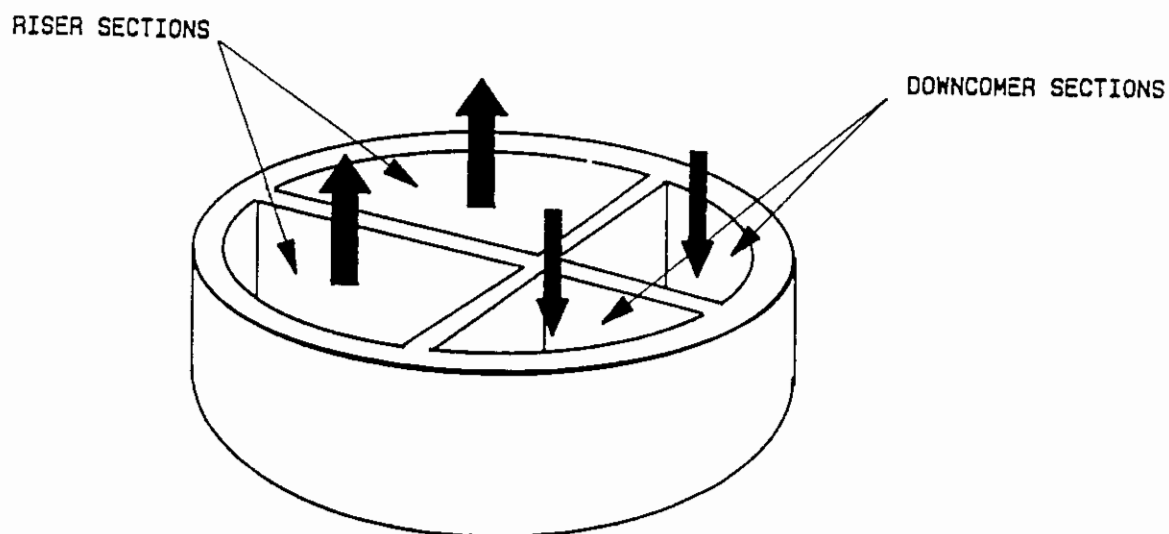
- beneden een diepte van 60 m vindt geen verdere verbetering van de zuurstofoverdracht plaats [15];
- betere processtabiliteit bij een minder diepe reactor.

De bouw van de schacht wordt in de literatuur uitgebreid beschreven [15]. Om te besparen op de investeringen is ervoor gekozen één dikke kolom te bouwen in plaats van twee kleinere. De kolom is in vier segmenten verdeeld, twee risers en twee downcomers. De vier segmenten worden twee aan twee parallel bedreven (zie figuur 8). Deze onderverdeling in vier in plaats van in twee segmenten verhoogt de flexibiliteit in verwerkingscapaciteit.

Over de apparatuur is veel gepubliceerd [15]:

- de vacuumontgassing van de proefinstallatie is vervangen door ontgassing in een beluchtingstank;
- er is geen rooster op de aanvoerleiding geïnstalleerd;
- voor de luchtvoorziening van de reactor zijn drie centrifugaalcompressoren van elk 50% van de benodigde capaciteit geïnstalleerd;
- voor de luchtvoorziening van de beluchtingstank zijn drie blowers met elk een capaciteit van 50% geïnstalleerd;
- de luchtinblaasbuizen (spargers) van de reactor zijn in hoogte verstelbaar om de inblaasdiepte te kunnen bijstellen, en verwijderbaar om eventuele spinsels gemakkelijk te kunnen verwijderen;
- er is apparatuur geplaatst voor de controle van stroomsnelheid en stroomrichting; een apparaat volgens het Doppler-principe voor meting van de snelheid en een voeler voor controle van de richting. De snelheid wordt automatisch gestuurd door wijziging van de luchtinblazing in de downcomer. Indien nodig kan aanvullend lucht gedoseerd worden op riser;
- de sturing van slibspui vindt automatisch plaats.

Section of Tilbury Split Shaft



Figuur 8 Verdeling in sectoren van de reactorschacht

1.4 Werking praktijkinstallatie

Omtrent de werking van de installatie is het volgende bekend:

- de stroomsnelheidsregeling, zoals beschreven in paragraaf 1.3 is recent in gebruik genomen (september 1990);
 - er treden geen problemen op met schuimvorming [15];
 - de slibspuuregeling (MLSS-control) werkt nog niet goed, desondanks treedt geen uitspoeling van slib op doordat SVI en bezinkbaarheid van het slib zeer goed zijn [11].
- Tijdens het werkbezoek werd echter een forse slibuitspoeling waargenomen. PCI wees erop dat de slibuitspoeling werd veroorzaakt doordat zowel debiet als vracht het dubbele van de ontwerpcapaciteit zijn;
- er is een gemiddeld specifiek energieverbruik van 1- 1,5 kg/kWh bereikt; door het knijpen van de beluchting is incidenteel 2 kg/kWh bereikt, terwijl bij een piekaanvoer van 3,5 maal de gemiddelde aanvoer incidenteel 4 kg BZV/kWh is bereikt.

De gegevens betreffende de efficiëntie van de BZV-verwijdering zijn vermeld in tabel 2.

Tabel 2 BZV-belasting en BZV-verwijdering Deep Shaft Tilbury

BZV-influent	gemiddeld	g/m ³	600
	maximaal	g/m ³	1600
BZV-effluent	ontwerp	g/m ³	60
	gemiddeld	g/m ³	40
	80-perc.	g/m ³	60

1.5

Kosten

Proefinstallatie

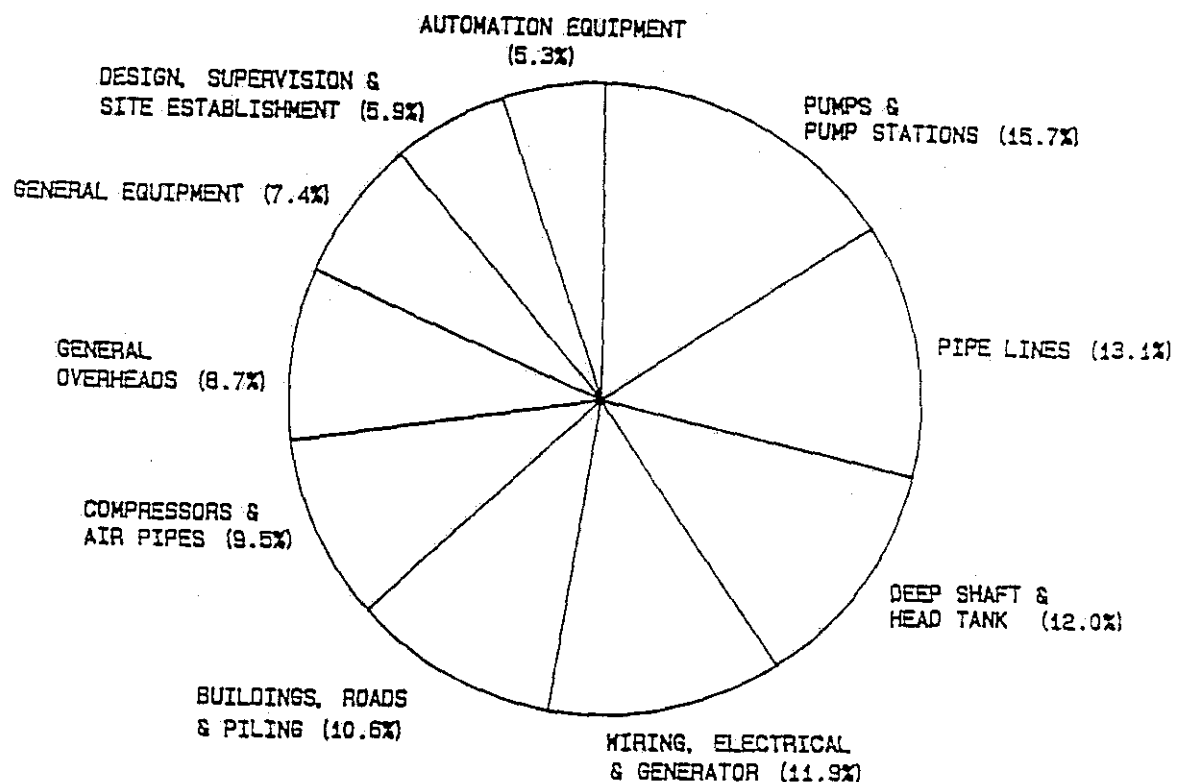
 Uit de discussie in het artikel van Robinson [15] blijkt dat de kosten van de proefinstallatie in Tilbury niet hoger uitvielen dan de oorspronkelijke schattingen. Hoe hoog deze kosten waren wordt echter niet vermeld.

Praktijkinstallatie

 De bouwkosten bedroegen £ 23 per i.e. (ca. f 83,-/i.e.) [7]. Het is niet duidelijk welke kostenfactoren wel en welke niet meegenomen zijn.

In de "Surveyor" wordt vermeld dat de installatie f 8 miljoen (ca. f 29 milj.) kostte, hetgeen overeenkomt met het voorgaande. Tevens wordt vermeld dat dit bedrag verschillende miljoenen lager was dan het conventionele alternatief van extended aeration [4].

De verdeling van de investeringskosten van f 8 miljoen is weergegeven in figuur 9.



Figuur 9 Verdeling van de kosten van de installatie in Tilbury

2

Leer, Duitsland

In 1977 zijn plannen uitgewerkt voor de uitbreiding van de mechanische zuiveringsinrichting van de stad Leer.

Gekozen is voor een twee-traps systeem met als eerste trap het Deep Shaft systeem in verband met het geringe ruimtebeslag en een eenvoudiger afgasbehandelingssysteem.

De ontwerpgrondslagen zijn:

-	DWA	1350 m ³ /h
-	RWA	3600 m ³ /h
-	dagaanvoer	22.500 m ³
-	vervuiling	
	. stedelijk afvalwater	2400 kg BZV/d
	. industrieel afvalwater	2400 kg BZV/d
	. zuivelafvalwater	2400 kg BZV/d

2.1

Onderdelen

De zuiveringsinrichting bestaat uit drie straten met de volgende onderdelen:

- roostergoedverwijdering met behulp van rotostrainer;
- beluchte zandvanger.

1e trap

- 3 Deep Shafts met head tanks, waarvan 2 in bedrijf
 - . diepte 81 m
 - . diameter riser 2,61 m; diameter downcomer 1,65 m
 - . volume Deep Shaft 1296 m³
 - . volume head tank 801 m
 - . slibgehalte 5 kg/m³
 - . volumebelasting 3,43 kg BZV/m³.d
 - . slibbelasting 0,69 kg BZV/kg slib.d
 - . BZV verwijdering 90%.

2e trap

- 3 Rotoflow installaties
 - . volume 990 m³
 - . slibgehalte 5 kg/m³
 - . volumebelasting 0,24 kg BZV/m³.d
 - . slibbelasting 0,05 kg BZV/kg slib.d
- 3 nabezinktanks
 - . diameter 42 m.

De slibleeftijd (in eerste + tweede trap) is circa 8 dagen, waardoor nitrificatie mogelijk is. Uit de bedrijfsgegevens blijkt dat inderdaad nitrificatie optreedt.

Een belangrijke aanpassing in het systeem is de installatie van een vijzel op de Deep Shaft met een capaciteit van 800 m³/h waardoor een afzonderlijke voortstuwing van het water wordt verkregen (figuur 10). Hierdoor is de beheersbaarheid van het systeem vergroot. Onafhankelijk van de luchtinbreng in de downcomer, kan door deze aanpassing de vloeistofcirculatie in het systeem gehandhaafd blijven.

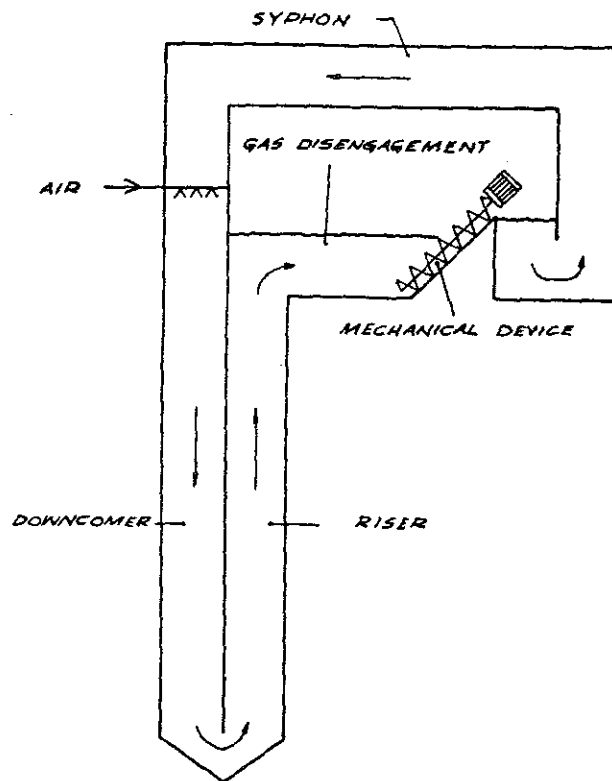
De voordelen van deze aanpassing zijn een betere hydraulische stabili-

liteit en de mogelijkheid om omstandigheden te creëren waarbij denitrificatie kan worden verkregen.

Periodiek treedt er schuimvorming op. Als oorzaak hiervoor wordt de lozing van vetten genoemd.

Volgens informatie van de bedrijfsvoerder is de bezinkbaarheid van het slib goed. Stootbelastingen worden goed opgevangen.

Het surplusslib wordt ontwaterd met behulp van centrifuges.



Figuur 10 Schema mechanische voortstuwer

3 Tokyo en Osaka, Japan

In Japan is inmiddels een groot aantal Deep Shaft installaties gebouwd (40). Het merendeel is bedoeld voor de behandeling van industrieel afvalwater, en industrieel afvalwater gemengd met huishoudelijk afvalwater.

Een klein aantal (12) is bedoeld voor de behandeling van uitsluitend huishoudelijk afvalwater. Van deze 12 installaties zijn er 8 in gebruik voor de behandeling van het afvalwater van grote gebouwen (kantoren). De helft hiervan heeft een recyclingsysteem voor de behandeling van het zogenaamde keukenafvalwater dat na behandeling in de Deep Shaft installatie wordt gebruikt als spoelwater in de toiletten. De reden voor de behandeling van het keukenafvalwater en het hergebruik zijn de hoge kosten van de drinkwatervoorziening.

Er zijn geen bedrijfsgegevens verkregen over het energieverbruik en de slibproductie van het Deep Shaft systeem.

In Japan zoekt men naar alternatieve afzetmogelijkheden voor het slib en niet direct naar zuiveringssystemen met een lagere slibproductie.

In Tokyo wordt circa 85% van het surplusslib van de zes bestaande actiefslibinstallaties verbrand.

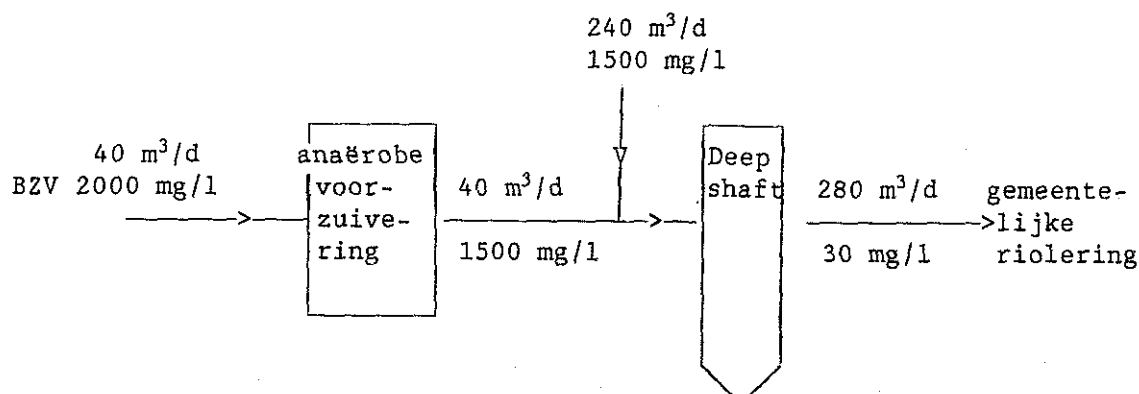
4.1 Deep Shaft installatie Keiyo Kogyo - Tokyo (figuur 11)

De Deep Shaft installatie is in april 1990 opgestart en is bedoeld voor de verwerking van industrieel afvalwater. Naast de Deep Shaft is ook een anaërobe zuivering aanwezig voor de verwerking van zeer hoog geconcentreerd afvalwater.

Verwerkt worden nu afgekeurde partijen van bierbrouwerij, soft drinks, zuivelfabriek, vetvanger van restaurant, slib.

Enkele gegevens van de Deep Shaft:

- diepte 75 m
- diameter 2,4 m
- volume 339 m³
- headtank 100 m³
- luchttoevoer 25 Nm³/min (3 compressoren 2 x 9 m³/min en 1x 6 m³/min)
- snelheid 0,4 m/sec
- energie 1,527 kg O₂/kWh
- ontwerpbelasting anaërobe voorzuivering: 400 m³/dag;
BZV 20.000 mg/l
- ontwerpbelasting Deep Shaft: 910 m³/d; BZV 1.500 m.



Figuur 11 Schema Deep Shaft installatie Keiyo Kogyo

Bij het bezoek aan de installatie zijn de volgende bedrijfsgegevens verkregen.

<u>Influent</u>		max	min	gemiddeld
d.s.	[mg/l]	794	52	693
BZV _{5(tot)}	[mg/l]	1660	277	1075
BZV _{5(opgel)}	[mg/l]	1660	274	1058
CZV _{cr(tot)}	[mg/l]	1779	311	1200
CZV _(opgel)	[mg/l]	1357	263	895

<u>Effluent</u>				
pH	[-]	6,5	5,8	6,1
d.s.	[mg/l]	36	5	15
BZV _{5(tot)}	[mg/l]	10	5	8
BZV _{5(opgel)}	[mg/l]	5	3	4
CZV _{cr(tot)}	[mg/l]	86	46	63
CZV _(opgel)	[mg/l]	78	30	52

<u>Inhoud Deep Shaft</u>				
pH	[-]	6,3	5,6	5,8
O ₂	[mg/l]	13,6	7,5	11,1
d.s.	[mg/l]	6600	4650	5420
org.stof	[mg/l]	4240	2750	3480
SV ₃₀	[%]	62	29	35
SVI	[ml/g]	109	47	66
Temp.	[°C]	36	35	35

d.s.	= droge stof
CZV _{Cr}	= CZV bepaald door oxydatie met kaliumbichromaat
SV	= slibvolume in %
SVI	= slibvolume index in g/ml

Tegenover de Deep Shaft installatie ligt één van de zes zuiveringsinrichtingen (actiefslib) van Tokyo, inclusief de slibverbranding. Het effluent van de Deep Shaft wordt geloosd op de gemeentelijke riolering. Het slib van de Deep Shaft wordt afgevoerd naar de verbrandingsinstallatie.

4.2 Deep Shaft Umeda Centre, Osaka (figuur 12)

De Deep Shaft van het Umeda Centre behandelt keukenafvalwater dat daarna gebruikt wordt als spoelwater voor de toiletten, waarna het afvalwater geloosd wordt op de gemeentelijke riolering.

Ontwerpgrondslagen

-	wateraanvoer	272 m ³ /d		
		<u>influent</u>	<u>effluent</u>	
-	pH	[-]	5-9	5-9
-	BZV	[mg/l]	249	10
-	CZV _{Mn 1)}	[mg/l]	200	20
-	d.s.	[mg/l]	249	5
-	vet/olie	[mg/l]	75	5

Deep Shaft:

-	diepte	[m]	40
-	diameter	[m]	7,11
-	slibbelasting	[kg BZV/kg slib.d]	0,5
-	BZV-verwijdering	[kg/d]	62,5

1) CZV_{Mn} - CZV bepaald door oxydatie met kaliumpermanganaat

Enkele resultaten (gemiddelde waarden november 1988)

Influent

wateraanvoer	[m ³ /d]	77
pH	[-]	6,9
temperatuur	[°C]	27,3
BZV	[mg/l]	280
CZV	[mg/l]	88
d.s.	[mg/l]	74
vet/olie	[mg/l]	73

Deep Shaft

pH	[-]	6,9
temperatuur	[°C]	28
O ₂	[mg/l]	0,3
d.s.	[mg/l]	6800
SV ₃₀	[%]	55

Ontgasser

pH	[-]	7,0
temperatuur	[°C]	28
O ₂	[mg/l]	6,2
SV ₃₀	[%]	66,5

Effluent nabezinktank

pH	[-]	7,0
temperatuur	[°C]	28
d.s.	[mg/l]	17,9
vet/olie	[mg/l]	1,3

Effluent zandfilter

pH	[-]	7,3
temperatuur	[°C]	26,8
BZV	[mg/l]	4
CZV	[mg/l]	11,5
d.s.	[mg/l]	9
vet/olie	[mg/l]	1

Retourslib

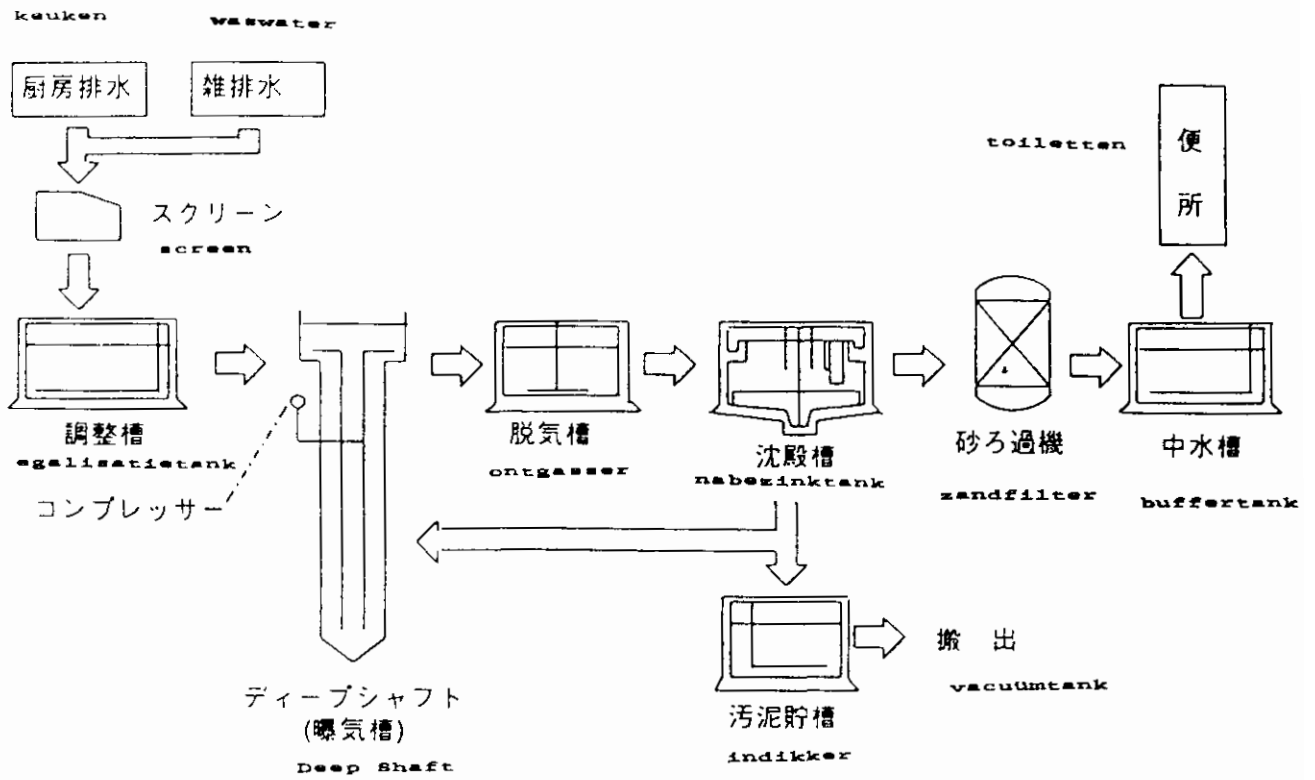
pH	[-]	7,0
temperatuur	[°C]	27,6
d.s.	[mg/l]	11800
SV ₃₀	[%]	94

Bij de beoordeling van de CZV-analyses dient rekening gehouden te worden met het feit dat in Japan het CZV in het algemeen wordt bepaald door oxydatie met permanganaat. Dat wil zeggen dat lagere waarden worden gevonden dan met de in Nederland gebruikelijke methode van oxydatie met kaliumbichromaat.

Opvallend is het relatief lage zuurstofgehalte in de Deep Shaft (0,3 mg/l).

Bij het bezoek aan de installatie bleek dat de bezinkeigenschappen van het slib zeer goed waren. De nabezinktank heeft volgens opgave, de gebruikelijke oppervlaktebelasting van 1 m³/m².h.

Het surplusslib van de installatie wordt met behulp van vacuüm-trucks afgevoerd naar de regionale afvalwaterzuiveringsinrichting.



Figuur 12 Schema Deep Shaft installatie Umeda centre

Deep Shaft

Budgetraming Mechanisch/Electrische installatie

Mechanische installatie

1.	Grofvuilrooster	140.000
	Roostergoedpers	50.000
2.	Influentpompen (3) incl. leidingwerk en appendages	250.000
3.	Ruimer zandvanger, instelvanen Zandwasser	100.000 60.000
4.	Vijzels in headtank (2)	310.000
5.	Compressoren (2), incl. leidingwerk en beluchters	170.000
6.	Ruimer nabezinktank, 2/3 D, incl. aandrijving	200.000
7.	Slibretourpompen (3) (leidingwerk civiel)	250.000
8.	Afzuigventilatoren (2) Afzuigkanalen Biofilter	50.000
9.	Diversen	
	pompjes	30.000
	ventilatie bedrijfsruimten	10.000
	verwarming bedrijfsruimten	20.000
	aansluiting nutsbedrijven	PM
	drinkwater installatie	20.000
	bedrijfswater installatie	40.000
	diversen en onvolledigheid	100.000
		1.950.000 + PM

Electro

10. Voedingen (geen beeldscherm besturingstechniek)	1.050.000
--	-----------

Totale bouwkosten (excl. BTW, onvoorzien en engineering)	3.000.000 + PM
--	----------------

=====

Bouwkundige werken

- influentgemaal	300.000
- zandvanger en compressorruimte	310.000
- "head" tank	440.000
- deep shaft	1.100.000
- bellen beluchtingstank	880.000
- nabezinktank	980.000
- retourslib gemaal	120.000
- meetgoot	4.000
- transportleidingen	107.000
- weg- en terreinverharding	85.000
- compostfilter	24.000

4.350.000

=====

Laagbelast actief-slib-Carrousel
boekingsnummer B0315-01-004

Budgetraming Mechanisch/Electrische installatie

Mechanische installatie

1.	Grofvuilrooster	140.000
	Roostergoedpers	50.000
2.	Influentpompen (3)	250.000
	incl. leidingwerk en appendages	
3.	Ruimer zandvanger, instelvanen	100.000
	Zandwasser	60.000
4.	Beluchters (3) 100 Kw - diam. 3,75 m	375.000
5.	Idem	
6.	Ruimer nabezinktank, 2/3 D, incl. aandrijving	200.000
7.	Slibretourpompen (3)	250.000
	(leidingwerk civiel)	
8.	Afzuigventilatoren (2)	50.000
	Afzuigkanalen	
	Biofilter	
9.	Diversen	
	pompjes	30.000
	ventilatie bedrijfsruimten	10.000
	verwarming bedrijfsruimten	20.000
	aansluiting nutsbedrijven	PM
	drinkwater installatie	20.000
	bedrijfswater installatie	40.000
	diversen en onvolledigheid	100.000
		1.795.000 + PM

Electro

10. Voedingen
(geen beeldscherm besturingstechniek)

1.050.000

Totale bouwkosten (excl. BTW, onvoorzien en
engineering

2.845.000 + PM

=====

Raming civiele werken - Carrousel
bouwkundige werken

Nr.	Code	Bouwdeel	Kosten
15	10	Influentgemaal aanvoerpomp	f 301.000,--
20	16	Zandvanger (Dorr) zandvanger	f 129.000,--
25	27	Carrousel circuit beluchtingstank	f 1780.000,--
30	36	Ketourslibgemaal slibretourpomp	f 120.000,--
35	35	Bezinktank rond nabezinktank	f 981.000,--
40	V	Meetgoot meetgoot	f 4.000,--
45	5	Transportleidingen transportleidingen	f 106.000,--
50	7	Wegverhardingswerk weg- en terrein- verharding	f 86.000,--
55	70	Biofilter compostfilter	f 23.900,--
Subtotaal			f 3531.200,-- =====
RAMING TOTAAL			f 3531.200,--

**PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000"**

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

- 9 "Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces".
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-06
December 1989
- 10 "Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem".
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-07
December 1989
- 11 "Symposium "RWZI 2000"; d.d. 5 oktober 1989".
DBW/RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989
- 12 "Jaarverslag 1989"
DBW/RIZA, STORA
RWZI 2000 90-01
Maart 1990
- 13 "AB-Systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-02
September 1990
- 14 "Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib".
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-03
Augustus 1990
- 15 "Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's".
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-04
December 1990
- 16 "Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks".
Adviesbureau BKH
RWZI 2000 90-05
September 1990

- 17 "Verkenning Bio-Denitro/Bio-Denipho".
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 90-06
Juni 1990
- 18 "Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater".
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 90-07
Oktober 1990
- 19 "Jaarverslag 1990".
RIZA, STORA
RWZI 2000 91-01
Maart 1991
- 20 "Deep Shaft-systemen; een inventarisatie".
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 91-02
Maart 1991