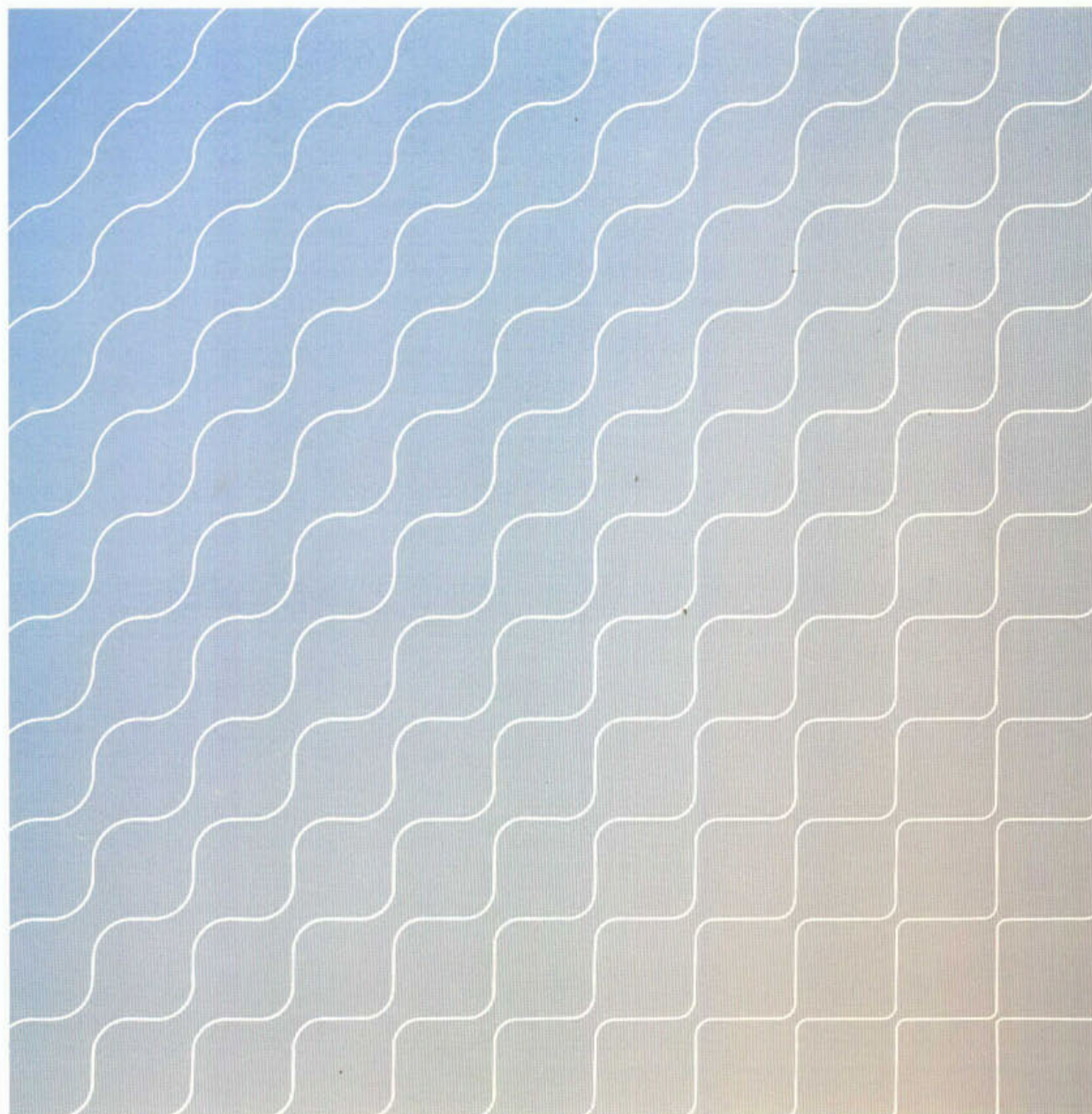




ALTERNATIEVEN VOOR DE SLIBRETENTIE BIJ HOOGGESUSPENDEERDE WATERZUIVERINGS- SYSTEMEN





Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer
en Afvalwaterbehandeling

Postbus 17, 8200 AA Lelystad



Stichting Toegepast Onderzoek
Waterbeheer

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht



ALTERNATIEVEN VOOR DE SLIBRETENTIE BIJ HOOG- GESUSPENDEERDE WATERZUIVERINGSSYSTEMEN

auteur:

DHV water BV:

ir.drs. E. van der Vorm-Gouman

RWZI 2000 94-04

INHOUD	BLAD
VOORWOORD	5
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	11
2 KARAKTERISERING VAN SLIB	13
3 SELECTIE VAN MOGELIJKE SLIBRETENTIESYSTEMEN	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Mogelijke slibretentiesystemen	17
3.3 Sterkte-zwakte-analyse	19
3.3.1 <i>Inleiding</i>	19
3.3.2 <i>Beoordelingsaspecten</i>	19
3.3.3 <i>Weegfactoren</i>	20
3.3.4 <i>Waardering van slibretentietechnieken</i>	21
3.3.5 <i>Vergelijking van slibretentietechnieken</i>	21
3.4 Knelpuntenanalyse	24
3.5 Keuze van slibretentiesystemen	24
4 BESCHRIJVING VAN DE GESELECTEERDE TECHNIEKEN	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Decanter	25
4.3 Bandfilter	25
4.4 Bezinktank	25
5 DIMENSIONERING VAN DE GESELECTEERDE SYSTEMEN	27
5.1 Inleiding	27
5.2 Decanter/bandfilter-systeem	27
5.2.1 <i>Inleiding</i>	27
5.2.2 <i>Dimensionering</i>	28
5.3 Bezinktank/bezinktank-systeem	29
5.3.1 <i>Inleiding</i>	29
5.3.2 <i>Dimensionering</i>	30
5.4 Bezinktank/bandfilter-systeem	32
5.4.1 <i>Inleiding</i>	32
5.4.2 <i>Dimensionering</i>	32
5.5 Micro/ultrafiltratie-systeem	33
6 KOSTENRAMING VAN DE GESELECTEERDE SYSTEMEN	35

7	CONCLUSIES	41
8	LITERATUUR	43
Bijlage:		
1	Toelichting op de weegfactoren en op de waardering van de slibretentietechnieken	45

VOORWOORD

In een voorgaand projekt binnen het RWZI 2000 onderzoekprogramma (projektnummer 3244/1 en 3244/4) - het fundamentele onderzoek naar een verminderde slibproductie bij de zuivering van rioolwater - is het mogelijk gebleken in hooggesuspendeerde systemen een vergaande mineralisatie van organische stof en volledige nitrificatie te realiseren onder vorming van een zeer geringe hoeveelheid biomassa. Hierbij werd een stabiele biomassaconcentratie van 40 kg d.s./ m³ in de aëratietank verkregen door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro/ultrafiltratie). De beperkte flux en de hiermee samenhangende hoge exploitatiekosten staan een praktische toepassing van slibretentie met behulp van membranen in de weg.

De thans voorliggende studie beoogde het vaststellen van de technische en economische haalbaarheid van alternatieve slib/waterscheidingssystemen. Hierbij is gekeken naar bestaande technieken of combinaties van technieken die een slib/water-mengsel met 40 kg d.s./m³ zodanig scheiden, dat een effluent met een drogestofconcentratie ≤ 20 g/m³ wordt verkregen.

De exploitatiekosten van de in beschouwing genomen slibretentiesystemen blijken enkele malen hoger te zijn dan de totale kosten van conventionele biologische zuivering, inclusief de slib/waterscheiding en de slibverwerking. Bij het verwachte polyelectroliet(PE)-verbruik zijn deze kosten zelfs hoger dan bij micro/ultrafiltratie. Bij de alternatieve slibretentiesystemen bepaalt het (hoge) PE-verbruik in belangrijke mate de exploitatiekosten. Eventuele nadelige gevolgen voor het oppervlaktewater, de risico's voor het bedienend personeel en het biologische zuiveringsproces komen in deze technisch/economische evaluatie niet aan de orde.

De studie is uitgevoerd door DHV Water BV (projektteam bestaande uit ir.dr.s. E. van der Vorm-Gouman en ir. R.J. van der Kuij) in samenwerking met TNO-IMET (ing. F. van Voorneburg) en begeleid door een commissie bestaande uit ir. C. Kerstens (Zuiveringsbeheer Provincie Groningen), ir. D.H. Eikelboom (TNO-MW), dr.ing. M.H.V. Mulder (TU-Twente), ir. J. Rienks (RIZA) en ir. P.C. Stamperius (STOWA).

Lelystad, september 1994

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

prof.dr. J. de Jong

SAMENVATTING

In het kader van het programma RWZI 2000 is op pilot-schaal onderzoek uitgevoerd naar de biologische zuivering van voorbezonken huishoudelijk afvalwater met een hoog-gesuspendeerd systeem. In de aërietank zijn stabiele biomassaconcentraties gehandhaafd van 40 à 45 kg d.s./m³ door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro/ultrafiltratie). Bij lage slibbelasting wordt vrijwel geen slib geproduceerd bij vergaande CZV verwijdering en een volledige nitrificatie.

Een hooggesuspendeerd waterzuiveringssysteem is interessant, omdat vrijwel geen surplus-slib hoeft te worden verwerkt en omdat door het kleine beluchtingsvolume de emissies eenvoudig kunnen worden beperkt. De hoge exploitatiekosten van het micro/ultrafiltratiesysteem staan een praktische toepassing in de weg. Het doel van deze studie is het vaststellen van de technische en economische haalbaarheid van alternatieve slib/waterscheidingssystemen. Als referentie voor de haalbaarheid zijn micro/ultrafiltratie en bezinktanks in de vergelijking betrokken.

Het slib in een hoog-gesuspendeerd systeem, waarbij de slibretentie wordt verzorgd door micro/ultrafiltratie, verschilt sterk van het slib in een conventioneel actiefslibstelsysteem. Opvallend hierbij is het ontbreken van een vlokstructuur. De biomassa is als aparte cellen of fragmenten van vlokken aanwezig. Niet duidelijk is echter of het ontbreken van een vlokstructuur moet worden toegeschreven aan de hoge concentratie biomassa in de reactor, aan de zeer lage slibbelasting, of alleen aan de hoge mechanische krachten in het micro/ultrafiltratiesysteem. Wanneer dit laatste het geval is zal bij gebruik van gravitatietechnieken als slibretentiesysteem de vlokstructuur weer aanwezig kunnen zijn en is bezinking en indikking van het slib in principe mogelijk.

Bij de opsomming en beoordeling van mogelijke slibretentietechnieken is aangenomen dat bezinking en indikking van slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem mogelijk is bij toevoeging van polyelektrolyet (PE). Op deze aanname is de technologische haalbaarheid van de slibretentietechnieken gebaseerd. Dit aspect is in deze studie niet onderzocht. Vanwege het hoge drogestofconcentratie in de hooggesuspendeerde bioreactor (40 kg/m³, dus vergelijkbaar met de slibafvoer uit een indikker) is het niet mogelijk zonder toevoeging van PE het slib te laten bezinken of verder in te dikken.

Technieken die niet toepasbaar zijn voor actief slib (hydrocycloon), of die zodanig sterk ontwateren dat het slib niet zonder problemen kan worden teruggevoerd in de reactor (zeefbandpers, filterpers) zijn niet opgenomen. Ook de technieken die alleen voor polishing van het effluent kunnen worden toegepast (zeven, high gradient magnetic separation, zandfiltratie) zijn niet opgenomen, omdat deze alleen in een kostbaar drietrapsysteem een plaats kunnen krijgen.

De slibretentietechnieken die uit de sterkte-zwakte-analyse naar voren komen als alternatieven voor micro/ultrafiltratie zijn weergegeven in tabel 1.

Bij de selectie van mogelijke slibretentiesystemen is rekening gehouden met de invloed van de verschillende technieken op de structuur van het slib. De technieken waarbij grote krachten op het slib worden uitgeoefend zullen de structuur van het slib zodanig afbreken dat sedimentatie of flotatie niet goed meer mogelijk is. Deze technieken zijn daarom niet gecombineerd met gravitatietechnieken.

Tabel 1 Slibretentietechnieken die uit de sterkte-zwakte-analyse naar voren komen

eentraps	tweetraps	
	eerste trap	tweede trap
- micro/ultrafiltratie	- decanter - decanter (PE) - bezinktank (PE)	- bezinktank (PE) - lamellenafscheider (PE) - floteren (PE) - bandfilter (fijn doek, PE)

Met dit uitgangspunt en de resultaten van de sterkte-zwakte-analyse zijn de volgende drie slibretentiesystemen uitgewerkt als technologisch alternatief voor micro/ultrafiltratie:

- 1 decanters (PE) als eerste trap met bandfilters (fijn doek, PE) als tweede trap; de decanters mogen het slib slechts gedeeltelijk indikken, zodat het teruggevoerde slib goed kan worden gemengd met het overige slib in de hoog-gesuspendeerde bioreactor;
- 2 tweetraps bezinking voor de bezinktank eerste trap is uitgegaan van het indikkerprincipe, de bezinktank tweede trap is te vergelijken met een nabezinktank;
- 3 bezinktank (PE) als eerste trap met bandfilters (fijn doek, PE) als tweede trap.

Een lamellenafscheider en een flotatietank berusten op een vergelijkbaar principe als een bezinktank en zijn daarom niet apart uitgewerkt. Het micro/ultrafiltratiesysteem is globaal uitgewerkt voor een vergelijking met de geselecteerde slibretentiesystemen.

Bij de dimensionering en kostenraming van de verschillende slibretentiesystemen is uitgegaan van een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem voor 100.000 i.e. met een RWA-debiet van 3000 m³/h en een DWA-debiet van 1000 m³/h. Als drogestofconcentratie van het water/slib-mengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor is 40.10³ g/m³ aangehouden. Voor het effluent is uitgegaan van 20 g d.s./m³. In tabel 2 zijn de kenmerkende resultaten van de dimensionering weergegeven.

Tabel 3 geeft een overzicht van de resultaten van de kostenraming van de geselecteerde slibretentiesystemen in vergelijking tot het micro/ultrafiltratiesysteem. Uit tabel 3 blijkt dat de exploitatiekosten van de geselecteerde systemen iets hoger liggen dan die van het micro/ultrafiltratiesysteem. Het verschil ligt echter binnen de nauwkeurigheid van de raming, rekening houdend met de invloed van slibstructuur en PE-verbruik.

De indikking van het slib in de bezinktanks is afhankelijk van de structuur van het slib. De kosten van de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap zijn dus gevoelig voor de slibstructuur in het systeem. Indikking met decanters wordt nauwelijks beïnvloed door de structuur van het slib, zodat ook de kosten van dit slibretentiesysteem nauwelijks gevoelig zijn voor de slibstructuur.

De exploitatiekosten van de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap bestaan voor 85 à 90% uit kosten voor PE. Een lager of hoger PE verbruik heeft daardoor een grote invloed op de exploitatiekosten. Het micro/ultrafiltratiesysteem heeft geen PE nodig, zodat de exploitatiekosten hiervan niet afhankelijk zijn van het PE-verbruik. Een variatie in PE-verbruik van 50% tot 200% van de in de dimensionering en kostenraming aangenomen waarden is niet onwaarschijnlijk. De exploitatiekosten van de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap worden bij een PE verbruik van 80 à 90% van de verwachte waarden vergelijkbaar met die van het micro/ultrafiltratiesysteem.

Tabel 2 Kenmerkende resultaten van de dimensionering van de slibretentiesystemen

aspecten dimensioneering	decanter/bandfilter-systeem		bezinktank/bezinktank-systeem		bezinktank/bandfilter-systeem		micro/ultrafiltratie-systeem
	decanter eerste trap	decanter tweede trap	bezinktank eerste trap	bezinktank tweede trap	bezinktank eerste trap	bandfilter tweede trap	
indikking tot (g d.s./m ³)	60.10 ³	40.10 ³	60.10 ³	1000	60.10 ³	40.10 ³	45.10 ³
droge stof in afvoer (g d.s./m ³)	200	20	200	20	200	20	20
debiet bij RWA (m ³ /h)	9000	3000	11.000	3700	9000	3000	27.000
benodigd aantal	40	20	9	1	7	20	bij flux 0,04 m ³ /(m ² .h) 75.000 m ² membraan
capaciteit per stuk (m ³ /h)	225	150	1220	3700	1290	150	
aanvoerpompen							
- aantal	40	20	45	-	35	20	
- capaciteit (m ³ /h)	225	150	250	-	250	150	
slibretourpompen							
- aantal	40	20	63	2	49	20	
- capaciteit (m ³ /h)	150	1	120	350	125	1	
PE-verbruik (kg/h)	721	5	1758	6	1442	5	-
aantal PE-aanmaaktanks van 10 m ³	14	-	36	-	30	-	-
oppervlak slibretentiesysteem(m ²)	7650		7350		6395		3300
extra	pompput						

Tabel 3 Kosten van de slibretentiesystemen in guldens per i.e. (prijspeil 1994)

	decanter/bandfilter-systeem	bezinktank/bezinktank-systeem	bezinktank/bandfilter-systeem	micro/ultrafiltratie-systeem
stichtingskosten	2300	400	550	950
kapitaalslasten	350	50	100	150
bedrijfsvoeringskosten	450	650	550	500
exploitatiekosten	800	700	650	650

De exploitatiekosten van de slibretentiesystemen van hoog-gesuspendeerde waterzuiveringssystemen variëren van *f* 400,- tot *f* 1400,- per i.e. per jaar afhankelijk van type systeem en het PE-verbruik. Dit is hoog in vergelijking met een conventionele zuivering waar de totale exploitatiekosten van biologische zuivering, slib/waterscheiding en slibverwerking nog geen *f* 100,- per i.e. per jaar bedragen.

1 INLEIDING

In het kader van het programma RWZI 2000 is op pilot-schaal onderzoek uitgevoerd naar de biologische zuivering van voorbezonken huishoudelijk afvalwater met een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem [1]. In de aërietank zijn stabiele biomassaconcentraties gehandhaafd van 40 à 45 kg d.s./m³ door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro/ultrafiltratie). In dit hoog-gesuspendeerde systeem is het CZV vergaand verwijderd en was de nitrificatie volledig. Bij een slibbelasting kleiner dan 0,03 kg CZV/(kg d.s. d) wordt in het hoog-gesuspendeerde waterzuiveringssysteem vrijwel geen surpluslib geproduceerd.

Een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem is interessant, omdat vrijwel geen surpluslib hoeft te worden verwerkt en omdat door het kleine beluchtingsvolume de emissies eenvoudig kunnen worden beperkt. De slibretentie met micro- en ultrafiltratie verloopt goed, maar de beperkte flux (0,04 m³/(m².h)) en de daarmee samenhangende hoge exploitatiekosten staan praktische toepassing in de weg.

Het doel van deze studie is het vaststellen van de technische en economische haalbaarheid van alternatieve slib/waterscheidingssystemen voor toepassing in hoog-gesuspendeerde actief-slibsystemen voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. Met name dient de aandacht uit te gaan naar bestaande technieken of combinaties van technieken die een water/slibmengsel met 40 kg d.s./m³ zodanig scheiden, dat een effluent ontstaat met een drogestofconcentratie ≤ 20 g/m³. Als referentie voor de haalbaarheid van de alternatieve slibretentiesystemen zijn micro/ultrafiltratie en bezinktanks in de vergelijking betrokken.

De studie is een bureaustudie die uitgaat van literatuurgegevens en van de gegevens verkregen uit genoemd onderzoek met een hoog-gesuspendeerd systeem. Daarnaast is gebruik gemaakt van de ervaring op het gebied van slibindikking, slibontwatering en membranen van de onderzoekers en de leden van de begeleidingscommissie.

De ervaring met slib uit hoog-gesuspendeerde systemen is steeds gebaseerd op slibretentie met membranen. Niet bekend is hoe de structuur van het slib zal zijn als gebruik wordt gemaakt van sedimentatie- of flotatietechnieken. De verwachting is dat dit slib overeenkomsten zal vertonen met slib uit een conventioneel actief-slibstelsel. Dit aspect is in deze studie niet onderzocht. Een karakterisering van slib uit een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem met membranen als slibretentie is vergeleken met de karakterisering van slib uit een conventioneel actief-slibstelsel (hoofdstuk 2).

Uit de min of meer bekende slibretentietechnieken zijn die technieken geselecteerd die relevant zijn voor toepassing bij hoog-gesuspendeerde waterzuiveringssystemen, waarbij is aangegeven of de techniek als eentrapssysteem of als deel van een meertrapssysteem kan worden toegepast. Alle technieken zijn op relevante aspecten beoordeeld. Op basis van deze beoordeling zijn drie slibretentiesystemen geselecteerd als alternatief voor slibretentie met membranen (hoofdstuk 3).

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de geselecteerde slibretentietechnieken en in hoofdstuk 5 is de dimensionering uitgewerkt van de slibretentiesystemen. Een kostenraming voor de geselecteerde systemen is gegeven in hoofdstuk 6 en vergeleken met de kosten van slibretentie met micro/ultrafiltratie. Tot slot volgen in hoofdstuk 7 de conclusies.

2 KARAKTERISERING VAN SLIB

Het slib in een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem, waarbij de slibretentie wordt verzorgd door micro/ultrafiltratie, verschilt sterk van het slib in een conventioneel actief-slibstelsysteem. In tabel 4 is een overzicht gegeven van een aantal kenmerken van slib uit deze twee typen systemen.

Voor de invulling van tabel 4 is een literatuuronderzoek uitgevoerd met het Aqualine databestand. Dit literatuuronderzoek leverde weinig referenties op met relevante informatie. De gegevens van slib uit hoog-gesuspendeerde systemen zijn gebaseerd op de ervaringen met de proefinstallatie bij TNO, waarbij membranen zijn gebruikt voor de slibretentie [1]. Het is niet zeker of bij gebruik van andere slibretentietechnieken het teruggehouden slib dezelfde eigenschappen zal bezitten. De in tabel 4 genoemde gegevens van slib uit een conventioneel actief-slibstelsysteem zijn hoofdzakelijk gebaseerd op ervaring.

In tabel 4 is met het drogestofgehalte de niet-opgeloste (gesuspendeerde) stof bedoeld. Het drogestofgehalte in een hoog-gesuspendeerd systeem bedraagt 30 - 40 kg/m³, wat vergelijkbaar is met ingedikt slib van een conventioneel actief-slibstelsysteem. Het asgehalte, berekend als percentage van de droge stof, is bij een hoog-gesuspendeerd systeem vergelijkbaar met dat van een conventioneel actief-slibstelsysteem. Ook bij eventuele verschillen wordt niet verwacht dat dit een significant effect op de slib/waterscheiding zal hebben.

Het slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem bestaat uit cellen en fragmenten in plaats van uit compacte vlokken. Hierdoor heeft dit slib een aanzienlijk fijnere structuur dan het slib uit een actief-slibstelsysteem. De verwachting is dat deze fijnere structuur een negatief effect zal hebben op de conditioneerbaarheid van het slib en op de slib/waterscheiding (lager scheidingsrendement, lager drogestofgehalte, grotere verstoppingskans bij filters).

De concentratie stikstof van hoog-gesuspendeerd slib is ongeveer gelijk aan die van slib uit een conventioneel actief-slibstelsysteem. De chemische samenstelling is waarschijnlijk niet relevant voor de slib/waterscheiding. De alfa-factor is bij een hoog-gesuspendeerd systeem veel lager dan bij een conventioneel actief-slibstelsysteem. Dit is essentieel voor de beluchting van het systeem en is indirect ook van belang voor de slib/waterscheiding. Bij een lage zuurstofconcentratie zullen slibvlokken desintegreren. Als voor het intensiveren van de beluchting gebruik wordt gemaakt van mechanische technieken heeft dit eveneens desintegratie van de vlokstructuur tot gevolg.

De nitrificatie- en denitrificatieactiviteit van de twee slibsoorten zijn vergelijkbaar. Overigens heeft dit aspect geen directe relatie met de slib/waterscheiding.

De viscositeit van slib uit hoog-gesuspendeerde systemen is niet gemeten. Op grond van visuele waarneming is echter duidelijk dat de viscositeit van dit slib aanmerkelijk hoger is dan die van slib uit een conventioneel actief-slibstelsysteem. Door deze hoge viscositeit zal bij beluchting coalescentie van de luchtbelletjes optreden. Dit is een belangrijke oorzaak voor de lage alfa-factor.

Tabel 4 Kenmerken van slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem (micro/ultrafiltratie als slibretentie) in vergelijking met die van slib uit een conventioneel actief-slibstelsysteem

Kenmerk	Eenheid	Conventioneel	Hoog-gesuspendeerd
drogestofgehalte	kg/m ³	3 à 4	30 à 40
asgehalte (op d.s.)	%	23 - 30	23
deeltjesgrootte	µm	100 - 1000	< 50
morfologie			
- vlokstructuur		compact	cellen/fragmenten
- protozoa/metazoa		aanwezig	afwezig
chemische samenstelling	% N % P	6 à 7 1,5 à 2,5	6,8 2,0
alfa-factor (20 °C)	-	≈ 0,8	0,2
aktiviteit			
- nitrificatie	mg N/(g MLVSS.h)	1,7	2,0
- denitrificatie	mg N/(g MLVSS.h)	1,3	1,2
viscositeit		laag	hoog
bezinkbaarheid		goed	uitgesloten ?
conditioneerbaarheid (benodigd PE)	g/kg d.s.	≥ 3,5	>> 3,5 ?
waterbinding		veel	zeer veel ?
specifieke filtratieweerstand (r _{0,5}) geconditioneerd	m/kg	5.10 ¹²	> 5.10 ¹² ?
compressibiliteitscoëfficiënt	-	1,4	< 1,4 ?
capillary suction time (CST)	s	8	> 8 ?
? geen exacte gegevens bekend, verwachte tendens aangegeven			

Een ander gevolg van een hogere viscositeit is een groter drukverlies bij stroming, waardoor het energieverbruik toeneemt. Bij filtratie neemt de filtratiesnelheid af met een toename van de viscositeit. Ook het menggedrag van slib wordt negatief beïnvloed door een toename van de viscositeit.

Door het hoge drogestofgehalte, de fijne structuur van het slib en de hoge viscositeit lijkt het uitgesloten dat het slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem kan bezinken. De fijne structuur van het slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem heeft verder tot gevolg dat waarschijnlijk meer polyelectrolyet nodig is om het slib te conditioneren. Ook zal het slib om deze reden waarschijnlijk meer water vasthouden [2].

De specifieke filtratieweerstand (r) is gedefinieerd als de weerstand tegen filtratie van een hoeveelheid slib die 1 kg d.s. bevat en met 1 m² filteroppervlak wordt gefiltreerd. Deze weerstand neemt toe bij verdergaande filtratie. Voor vergelijking van verschillende soorten slib wordt normaliter de specifieke weerstand gebruikt bij een druk van 49 kPa (0,5 bar), de r_{0,5} waarde.

Geconditioneerd slib heeft door de grote vlokstructuur een veel lagere specifieke filtratieweerstand dan niet geconditioneerd slib [4]. Bij een $r_{0,5}$ waarde van $1 \cdot 10^{11}$ tot $5 \cdot 10^{11}$ m/kg is het slib goed filtreerbaar en zijn geen hulpstoffen nodig. Verwacht wordt dat de specifieke filtratieweerstand van slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem door de fijne structuur hoger zal zijn dan die van slib uit een conventioneel actief-slibstelsysteem. Daarnaast is, ondanks de concentratie-onafhankelijke definitie van de specifieke filtratieweerstand, aangetoond [3] dat bij toename van de drogestofconcentratie de specifieke filtratieweerstand toeneemt. Ook op grond hiervan kan dus een hogere specifieke filtratieweerstand voor slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem worden verwacht.

De compressibiliteitscoëfficiënt (s) is een maat voor de samendrukbaarheid van de filterkoek bij drukfiltratie. Als $s < 1$ neemt de filtratiesnelheid toe met een toenemende druk. Bij $s > 1$ neemt de filtratiesnelheid af met toenemende druk. Bij $s = 0$ is de filterkoek niet samendrukbaar. Het slib in een conventioneel actief-slibstelsysteem heeft een compacte vlokstructuur en is daardoor sterk samendrukbaar met een compressibiliteitscoëfficiënt > 1 . In een hoog-gesuspendeerd systeem heeft het slib een fijne structuur zonder vlokken. Verwacht wordt dat dit slib veel minder samendrukbaar is, dus dat de compressibiliteitscoëfficiënt lager zal zijn.

De capillary suction time (CST) is een maat voor de snelheid van ontwatering. De CST is de tijd die een voortschrijdend waterfront in filtreerpapier nodig heeft om een bepaalde afstand te overbruggen. De CST kan snel worden bepaald en geeft een indicatie voor de ontwaterbaarheid. Geconditioneerd slib heeft door de grotere vlokstructuur een lagere CST dan niet geconditioneerd slib [4, 5]. Verwacht wordt dat de CST van slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem, doordat meer water wordt gebonden en de structuur fijner is, hoger zal zijn dan de CST van slib uit een conventioneel systeem.

3 SELECTIE VAN MOGELIJKE SLIBRETENTIESYSTEMEN

3.1 Inleiding

Uitgaande van een opsomming van mogelijke slibretentietechnieken met de technologische grenzen en prestaties is nagegaan welke slibretentiesystemen kunnen worden toegepast bij hoog-gesuspendeerde waterzuiveringstechnieken (paragraaf 3.2). De hiervoor relevante slibretentietechnieken zijn beoordeeld op een aantal aspecten. Deze sterkte-zwakte-analyse leidt tot een totale waardering van technieken (paragraaf 3.3). Tevens zijn de knelpunten aangegeven die een rol spelen bij de waardering (paragraaf 3.4). Op basis van de totale waardering van de slibretentietechnieken (paragraaf 3.3) en de mogelijke slibretentiesystemen (paragraaf 3.2) zijn drie slibretentiesystemen geselecteerd (paragraaf 3.5).

3.2 Mogelijke slibretentiesystemen

Bij de opsomming van mogelijke slibretentiesystemen voor hoog-gesuspendeerde systemen moet rekening worden gehouden met de volgende randvoorwaarden:

- de aanvoer bevat $30 \cdot 10^3$ tot $40 \cdot 10^3$ g d.s./m³;
- de afvoer mag maximaal 10 tot 20 g d.s./m³ bevatten;
- de slibrijke stroom wordt volledig teruggevoerd naar het hoog-gesuspendeerde systeem.

Een slibretentiesysteem kan uit meerdere slibretentietechnieken bestaan.

In tabel 5 is een opsomming gegeven van slibretentietechnieken met de technologische grenzen en prestaties. Tevens is in tabel 5 aangegeven welke plaats de betreffende techniek kan innemen in het slibretentiesysteem, of dat de techniek eventueel als totaalsysteem kan worden toegepast. Technieken die niet toepasbaar zijn voor actief slib (hydrocycloon), of die zodanig sterk ontwateren dat het slib niet zonder problemen kan worden teruggevoerd in de reactor (zeefbandpers, filterpers) zijn niet opgenomen. Ook de technieken die alleen voor polishing van het effluent kunnen worden toegepast (zeven, high gradient magnetic separation, zandfiltratie) zijn niet opgenomen, omdat deze alleen in een kostbaar drietrapssysteem een plaats kunnen krijgen.

De in tabel 5 genoemde waarden zijn schattingen, uitgaande van een "gemiddeld" actief slib. In specifieke gevallen zijn sterke afwijkingen van de genoemde waarden mogelijk. Bovendien kan de structuur van het slib worden beïnvloed door het gebruikte slibretentiesysteem, waardoor eveneens sterke afwijkingen van de genoemde waarden mogelijk zijn.

Op basis van de informatie uit tabel 5 is in tabel 6 een opsomming gegeven van mogelijke slibretentiesystemen. Hierbij zijn uitsluitend de eentrap- en de tweetrapssystemen weergegeven. Slibretentiesystemen samengesteld uit meer dan twee trappen zullen altijd duurder zijn dan tweetrapssystemen en om deze reden afvallen. Daarnaast is bij de opsomming van tweetrapstechnieken rekening gehouden met de invloed van de verschillende technieken op de structuur van het slib. De technieken waarbij grote krachten op het slib worden uitgeoefend zullen de structuur van het slib zodanig afbreken, dat sedimentatie of flotatie waarschijnlijk niet meer mogelijk is. Deze technieken zijn daarom niet gecombineerd met gravitatietechnieken. Tabel 6 geeft daarmee alle technologisch haalbare slibretentiesystemen.

Tabel 5 Slibretentietechnieken met hun verwachte technologische grenzen en prestaties

retentietechnieken	drogestofconcentratie (g/m ³)			benodigde hulpstof	inzetbaarheid techniek			opmerkingen
	aanvoer	terugvoer	afvoer		eerste stap	tussen stap	laatste stap	
sedimenteren								
- bezinktank	200 4.10 ³ 10.10 ³	1000 8-10.10 ³ 15-20.10 ³	10-20 10-20 < 50 10-20 < 1000 500-2000 10-20 100-200	PE PE PE PE		x x x	x x x	de prestaties van bezinking zijn, met name als geen PE wordt toegevoegd, sterk afhankelijk van de eigenschappen van het slib
- lamellenafscheider	5.10 ³	8-10.10 ³	< 50 10-20	PE		x	x	het functioneren van een lamellenafscheider is sterk afhankelijk van de eigenschappen van het slib
floteren (dissolved air)	20.10 ³ 20.10 ³ 50-1500	40.10 ³ 50-60.10 ³ 40.10 ³	500-2000 250-1000 10-20	PE PE		x x	x	
centrifugeren								verandering structuur slib door hoge krachten
- decanter	40.10 ³	60-80.10 ³ 60-120.10 ³	250-2000 50-500	PE	x x			verpompbaarheid en mengbaarheid ingedikte slib kan problemen geven
- separator	500-1000	1000-2000	< 10	PE			x	
filtreren								
- bandfilter	40.10 ³ 50-250	60-120.10 ³ 40-60.10 ³	50-250 10-20	PE PE	x		x	verpompbaarheid ingedikte slib kan problemen geven; fijn doek voor bandfilter als laatste stap
- zeeftrommel	40.10 ³	60-80.10 ³	250-1500	PE	x			verpompbaarheid ingedikte slib kan problemen geven
- micro/ultrafiltratie	40.10 ³	41-45.10 ³	0-20		x		x	als compleet slibretentiesysteem te gebruiken; beïnvloeding structuur slib door hoge krachten
- vacuümfiltratie	40.10 ³	60-80.10 ³	500-1000	PE	x			kost veel energie

Tabel 6 Technologisch haalbare eentraps- en tweetraps-slibretentiesystemen

eentraps	tweetraps	
	eerste trap	tweede trap
- micro/ultrafiltratie	- decanter - decanter (PE)	- separator (PE) - micro/ultrafiltratie - bandfilter (fijn doek, PE)
	- bandfilter (PE) - zeeftrammel (PE) - bezinktank (PE) - vakuümfILTER (PE)	- bezinktank (PE) - lamellenafscheider (PE) - floteren (PE) - separator (PE) - bandfilter (fijn doek, PE) - micro/ultrafiltratie

Uit tabel 6 is te zien dat micro/ultrafiltratie functioneert zonder toevoeging van polyelectrolyet (PE). Van de overige technieken kan alleen de decanter zonder PE worden bedreven. De drogestofconcentratie van de afvoer is zonder toevoeging van PE echter beduidend hoger dan met toevoeging van PE (tabel 4).

3.3 Sterkte-zwakte-analyse

3.3.1 Inleiding

De in tabel 5 opgesomde slibretentietechnieken zijn beoordeeld op een aantal relevante aspecten. Deze aspecten hebben afhankelijk van de plaats van de techniek in het slibretentiesysteem een weegfactor gekregen van 1 tot 10 (niet belangrijk tot zeer belangrijk). Deze weegfactor is voor een aantal aspecten verschillend bij een eentraps-systeem en de plaats in een tweetraps-systeem. De beoordeling van de technieken kent een waardering van 1 tot 5 per aspect (zeer slecht tot zeer goed). Door vermenigvuldiging met de weegfactor ontstaat de waardering van de slibretentietechniek afhankelijk van het type slibretentiesysteem. De totale score geeft een volgorde van geschiktheid van de verschillende slibretentietechnieken voor toepassing bij hoog-gesuspendeerde systemen (de geschiktheid neemt toe met de score).

3.3.2 Beoordelingsaspecten

De verschillende slibretentietechnieken zijn beoordeeld op de volgende aspecten:

- invloed op het zuiveringsproces;
- mate van indikking;
- drogestof in de afvoer;
- benodigde toeslagstoffen;
- energieverbruik;
- ruimtebeslag;
- ervaring met het systeem;
- benodigde menskracht;
- onderhoud;
- bedrijfszekerheid/flexibiliteit;
- investeringskosten.

Bij de invloed op het zuiveringsproces wordt met name gekeken naar het gebruik van PE. Door het volledig terughouden van het slib zou het PE zich kunnen ophopen in de reactor met onvoorspelbare invloed op het slib. Ook zal PE in het effluent aanwezig zijn met daardoor een verhoging van het BZV. Daarnaast wordt bij de invloed op het zuiveringsproces in beschouwing genomen of de structuur van het slib door de slibretentietechniek wordt afgebroken.

De bedrijfszekerheid en de flexibiliteit zijn in technologisch opzicht beoordeeld. Hierbij speelt een rol in welke mate de slibretentietechniek afhankelijk is van de slibstructuur. Ook de mate waarin de techniek in staat is afwijkende hydraulische belastingen en afwijkende concentraties droge stof te verwerken, is hierbij van belang.

3.3.3 Weegfactoren

De weegfactoren voor de verschillende beoordelingsaspecten zijn weergegeven in tabel 7. Voor een eentrapssysteem is steeds de hoogste waarde aangehouden voor de weegfactoren van de eerste en tweede trap van een tweetrapssysteem.

Tabel 7 Weegfactoren voor slibretentiesystemen

beoordelingsaspecten	weegfactoren		
	eentrapssysteem	tweetrapssysteem	
		eerste trap	tweede trap
invloed op het zuiveringsproces	6	6	4
mate van indikking	10	10	3
drogestof in de afvoer	10	1	10
benodigde toelagstoffen	3	3	2
energieverbruik	3	3	3
ruimtebeslag	6	6	6
ervaring met het systeem	3	3	3
benodigde menskracht	3	3	3
onderhoud	3	3	3
bedrijfszekerheid/flexibiliteit	6	6	6
investeringskosten	10	10	10

Bij het toekennen van weegfactoren is steeds rekening gehouden met het doel van hoog-gesuspenderde waterzuiveringssystemen: het afvalwater zuiveren tot een goed effluent met normale tot lage kosten waarbij de emissies worden beperkt. Het beperken van emissies wordt bereikt door een compacte uitvoering en een betere geschiktheid voor afdekking. Een toelichting bij de keuze van de weegfactoren is opgenomen in bijlage 1.

3.3.4 Waardering van slibretentietechnieken

In de tabellen 8, 9 en 10 is de waardering aangegeven van de verschillende slibretentietechnieken. Deze waardering is gebaseerd op een globale inschatting van de technieken op de verschillende aspecten. Voor een toelichting bij de waardering van de slibretentietechnieken wordt verwezen naar bijlage 1.

3.3.5 Vergelijking van slibretentietechnieken

Uit de tabellen 8, 9 en 10 blijkt dat de beoordeling van micro/ultrafiltratie als totaalstelsel (163 punten) duidelijk lager ligt dan de beste opties voor een eerste of tweede trap van een tweetrapstelsel.

Voor de eerste trap van een tweetrapstelsel blijken de decanter zonder toevoeging van PE (190 punten) en de bezinktank (194 punten) in gelijke mate als beste optie naar voren te komen (tabel 9), gevolgd door de decanter met toevoeging van PE (178 punten). Als tweede trap van een tweetrapstelsel hebben de bezinktank (206 punten), de lamellenafscheider (199 punten), de flotatietank (203 punten) en het bandfilter met fijn doek (202 punten) een ongeveer gelijkwaardige hoge score.

Tabel 8 Beoordeling van het eentrapstelsel micro/ultrafiltratie

beoordelingsaspecten	weegfactor	eentrapstelsel	
		micro/ultrafiltratie	
		waardering	totaal
invloed op zuiveringsproces	6	3	18
mate van indikking	10	1	10
drogestof in afvoer	10	5	50
benodigde toeslagstoffen	3	4	12
energieverbruik	3	1	3
ruimtebeslag	6	2	12
ervaring met stelsel	3	3	9
benodigde menskracht	3	4	12
onderhoud	3	1	3
bedrijfszekerheid/flexibiliteit	6	4	24
investeringskosten	10	1	10
beoordeling			163

Tabel 9 Beoordeling van de eerste trap van tweetrapssystemen

beoordelingsaspecten	weegfactor	eerste trap tweetrapssysteem											
		decanter		decanter (PE)		bandfilter (PE)		zeefrommel (PE)		bezinktank (PE)		vakuümfiter (PE)	
		waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal
invloed op zuiveringsproces	6	3	18	2	12	2	12	2	12	2	12	2	12
mate van indikking	10	4	40	4	40	4	40	4	40	4	40	4	40
drogestof in afvoer	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
benodigde toelagstoffen	3	4	12	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
energieverbruik	3	1	3	1	3	3	9	3	9	5	15	3	9
ruimtebeslag	6	5	30	5	30	3	18	2	12	1	6	3	18
ervaring met systeem	3	4	12	4	12	4	12	4	12	5	15	4	12
benodigde menskracht	3	5	15	5	15	1	3	1	3	5	15	1	3
onderhoud	3	3	9	3	9	3	9	4	12	5	15	3	9
bedrijfszekerheid/flexibiliteit	6	5	30	5	30	5	30	5	30	3	18	5	30
investeringskosten	10	2	20	2	20	3	30	3	30	5	50	3	30
beoordeling			190		178		171		167		194		170

Tabel 10 Beoordeling van de tweede trap van tweetrapssystemen

beoordelingsaspecten	weegfactor	tweede trap tweetrapstelsysteem											
		bezinktank (PE)		lamellenafscheider (PE)		floteren (PE)		separator (PE)		bandfilter (fijn doek, PE)		micro/ultrafiltratie	
		waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal	waarde-ring	totaal
invloed op zuiveringsproces	4	4	16	4	16	4	16	3	12	4	16	3	12
mate van indikking	3	4	12	4	12	4	12	4	12	5	15	1	3
drogestof in afvoer	10	4	40	4	40	4	40	5	50	4	40	5	50
benodigde toelagstoffen	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	4	8
energieverbruik	3	5	15	5	15	5	15	1	3	3	9	1	3
ruimtebeslag	6	1	6	2	12	1	6	5	30	4	24	2	12
ervaring met systeem	3	5	15	4	12	4	12	4	12	4	12	3	9
benodigde menskracht	3	5	15	5	15	5	15	5	15	1	3	4	12
onderhoud	3	5	15	5	15	5	15	3	9	3	9	1	3
bedrijfszekerheid/flexibiliteit	6	3	18	3	18	3	18	4	24	5	30	4	24
investeringskosten	10	5	50	4	40	5	50	2	20	4	40	1	10
beoordeling			206		199		203		191		202		146

3.4 Knelpuntenanalyse

Het is moeilijk te voorspellen welke eigenschappen het slib zal bezitten bij de verschillende slibretentiesystemen. Verwacht wordt dat bij de retentietechnieken waarbij grote krachten op het slib worden uitgeoefend het slib in grote lijnen overeen zal komen met het slib zoals dat in de proefinstallatie van TNO is ontstaan (geen vlokken, hoog visceus). Bij de retentietechnieken op basis van gravitatie wordt verwacht dat het slib overeen zal komen met dat uit een indikker van een rwzi (vlokstructuur, visceus). De in tabel 5 weergegeven technologische grenzen en prestaties van de verschillende slibretentietechnieken zijn gebaseerd op deze verwachtingen. Alleen met onderzoek kan worden vastgesteld wat de werkelijke technologische grenzen en prestaties zijn in de verschillende situaties. Dit onderzoek valt buiten het kader van deze studie.

3.5 Keuze van slibretentiesystemen

De slibretentietechnieken die uit de sterkte-zwakte-analyse naar voren komen zijn weergegeven in tabel 11.

Tabel 11 Slibretentietechnieken die uit de sterkte-zwakte-analyse naar voren komen

eentrap	tweetrap	
	eerste trap	tweede trap
- micro/ultrafiltratie	- decanter - decanter (PE) - bezinktank (PE)	- bezinktank (PE) - lamellenafscheider (PE) - floteren (PE) - bandfilter (fijn doek, PE)

Met de slibretentietechnieken uit tabel 11 kunnen volgens tabel 6 de volgende slibretentiesystemen worden samengesteld:

- 1 eentrapssysteem : micro/ultrafiltratie;
- 2 tweetrapssysteem : decanter (PE) + bandfilter (fijn doek, PE);
(de decanter moet met PE worden bedreven om de voor het bandfilter noodzakelijke ingangconcentratie droge stof te bereiken);
- 3 tweetrapssysteem : bezinktank (PE) + bezinktank (PE);
(een lamellenafscheider en een flotatietank berusten op een vergelijkbaar principe als de bezinktank en worden daarom niet verder uitgewerkt);
- 4 tweetrapssysteem : bezinktank (PE) + bandfilter (fijn doek, PE).

Het eentrapssysteem micro/ultrafiltratie is in deze studie globaal uitgewerkt in een vergelijking van dit systeem met de geselecteerde systemen. Als leidraad voor de raming van de kosten van micro/ultrafiltratie wordt de studie aangehouden die is uitgevoerd door de universiteit van Groningen [6].

4 BESCHRIJVING VAN DE GESELECTEERDE TECHNIEKEN

4.1 Inleiding

De geselecteerde slibretentiesystemen bestaan uit een combinatie van drie verschillende technieken:

- decanter;
- bandfilter;
- bezinktank.

In de volgende paragrafen worden deze technieken globaal beschreven uit het oogpunt van toepassing als slibretentiesysteem in een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem.

4.2 Decanter

Een decanter is een horizontaal geplaatste centrifuge die een water/slib mengsel continu indikt of ontwaterd onder invloed van centrifugale krachten. De mate van indikking of ontwatering wordt beïnvloed door de toevoeging van PE, de centrifugale kracht (trommeldiameter en toerental van de decanter) en de hydraulische belasting. Voor het indikken van een water/slib mengsel is toevoeging van PE niet noodzakelijk. Bij toevoeging van PE kunnen onder overigens gelijke omstandigheden wel lagere drogestofconcentraties in het effluent worden bereikt.

Bij toepassing van decaners in een slibretentiesysteem voor hoog-gesuspendeerde waterzuiveringssystemen wordt de slibstroom teruggevoerd naar de reactor. Vanwege de mengbaarheid van deze slibstroom met het water/slibmengsel in de reactor is het noodzakelijk dat de slibstroom vloeibaar blijft. Het afgevoerde slib mag daarom niet tot hoge drogestofconcentraties worden ontwaterd. Dit kan worden bereikt door hoge hydraulische belastingen toe te passen en geen of slechts weinig PE toe te voegen.

4.3 Bandfilter

Een bandfilter bestaat uit een eindeloze band waarop het water/slibmengsel wordt gebracht. Het water zakt onder invloed van de zwaartekracht door de band, het slib blijft op de band liggen en wordt hiervan afgeschraapt. Na verwijdering van het slib wordt de band schoongespoeld. Het spoelwater wordt hergebruikt, zodat de terugvoer van spoelwater naar de reactor verwaarloosbaar is.

De scheiding van water en slib met een bandfilter is een snel, continu proces, dat vraagt om een snelle flocculatie van het slib. Het toevoegen van PE is daarom noodzakelijk. Bij toepassing van bandfilters in een slibretentiesysteem voor hoog-gesuspendeerde waterzuiveringssystemen wordt de slibstroom teruggevoerd naar de reactor.

4.4 Bezinktank

In een bezinktank wordt een zodanige lage stroomsnelheid aangehouden dat het slib de gelegenheid krijgt onder invloed van de zwaartekracht naar de bodem van de tank te zakken. Bekend zijn de slibindickers en de nabezinktanks bij rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Bij afvalwater zal het slib in de bezinktank flocculeren, zodat het bezinkingsproces niet alleen afhankelijk is van de hydraulische belasting, maar ook van de verblijftijd. Bovendien ontstaan stromingen door dichtheidsverschillen, met name bij hoge drogestofconcentraties. Door deze neveneffecten is het bezinkproces niet wiskundig te berekenen, maar moet worden gebaseerd op ervaringscijfers. Het toevoegen van PE versterkt en versnelt de flocculatie aanzienlijk. Hierdoor neemt de drogestofconcentratie in de slibafvoer toe en wordt de bezinktijd verkort. Met de hoeveelheid PE kunnen de mate van indikking en de bezinktijd binnen zekere grenzen worden ingesteld.

5 DIMENSIONERING VAN DE GESELECTEERDE SYSTEMEN

5.1 Inleiding

Voor de dimensionering van de slibretentiesystemen zijn onderstaande uitgangspunten en aannamen gehanteerd:

- het te behandelen water/slibmengsel komt van een hoog-gesuspendeerde bioreactor voor 100.000 i.e. met een RWA-debiet van 3000 m³/h en een DWA-debiet van 1000 m³/h;
- het te behandelen water/slibmengsel heeft een drogestofconcentratie van 40.10³ g/m³;
- het slib behoudt een vlokstructuur bij slibretentie met gravitatietechnieken;
- bij slibretentie met hoge afschuifkrachten (decanter, micro/ultrafiltratie) wordt de vlokstructuur afgebroken;
- de afvoer van het slibretentiesysteem mag maximaal 20 g d.s./m³ bevatten.

De aanname betreffende het behoud van vlokstructuur bij slibretentie met gravitatietechnieken berust op een verwachting. Tot nu toe zijn geen praktijkervaringen beschikbaar voor deze situatie. De aanname is echter wel essentieel voor de technologische haalbaarheid van de gravitatietechnieken en behoeft dus nader onderzoek.

Voor de PE-dosering wordt uitgegaan van een poedervormig PE (100 % actief PE). Voordat dit kan worden gedoseerd moet het worden aangemaakt en rijpen. Voor de aanmaak- en rijpingstijd is 1 uur aangehouden. In de aanmaak- en rijpingstank wordt een 1 % PE-oplossing gemaakt met drinkwater. Deze oplossing wordt met bedrijfswater in een statische menger in de doseerleiding verdund tot 0,1%. De aanmaak- en rijpingstanks worden in duplo uitgevoerd. In de ene tank kan de PE-oplossing worden aangemaakt en rijpen en uit de andere tank kan de gerijpte PE-oplossing worden gedoseerd. Voor de dimensionering van de installaties voor PE-dosering is uitgegaan van het RWA-debiet. Het PE-verbruik is eveneens gegeven uitgaande van het RWA-debiet. Gezien de aangehouden verhouding tussen RWA- en DWA-debiet zal het PE-verbruik bij DWA dalen tot een derde van het verbruik bij RWA.

Bij de gebouwdimensionering is in deze vergelijkende studie geen rekening gehouden met extra voorzieningen ter beperking van de geluid- en geuremissie.

De dimensionering van de drie geselecteerde slibretentiesystemen is weergegeven in de paragrafen 5.2, 5.3 en 5.4. Ter vergelijking van deze drie geselecteerde systemen met micro/ultrafiltratie is eveneens een globale dimensionering van slibretentie met micro/ultrafiltratie gegeven (paragraaf 5.5).

5.2 Decanter/bandfilter-systeem

5.2.1 Inleiding

Het bandfilter met fijn doek kan onder toevoeging van PE een drogestofconcentratie van 50-250 g/m³ terugbrengen naar 10-20 g/m³ (tabel 4). Hogere aanvoerconcentraties zijn niet mogelijk, omdat daarmee ook de effluentconcentratie hoger zal worden. Dit betekent dat de afvoerconcentratie van de decanter 50-250 g/m³ moet bedragen. Om deze afvoerconcentratie te bereiken moet PE worden toegevoerd aan het water/slibmengsel (tabel 4).

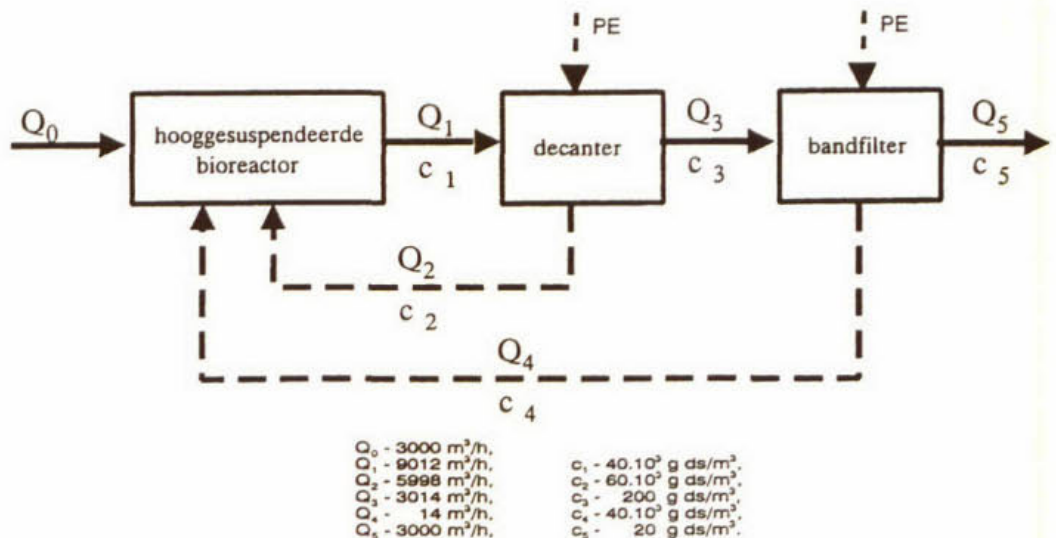
Het water/slib-mengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor wordt met pompen naar de decaners verpompt. Het ingedikte slib wordt teruggepompt naar de bioreactor, de waterafvoer loopt onder vrijverval naar een pompput. Van daaruit wordt het water naar de bandfilters verpompt. Voor de slibafvoer van de bandfilters zijn eveneens pompen noodzakelijk.

5.2.2 Dimensionering

Bij de dimensionering van het decanter/bandfilter-systeem zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de decanter dikt het water/slib-mengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor in van $40 \cdot 10^3$ g d.s./m³ tot $60 \cdot 10^3$ g d.s./m³ (hoger is niet wenselijk vanwege de mengbaarheid bij terugvoer naar het hoog-gesuspendeerde systeem);
- de waterafvoer van de decanter bevat 200 g d.s./m³;
- de pompput heeft een capaciteit die overeenkomt met een kwartier verblijftijd;
- de slibafvoer van het bandfilter heeft een drogestofconcentratie van $40 \cdot 10^3$ g/m³;
- de waterafvoer van het bandfilter bevat 20 g d.s./m³.

Op basis van deze uitgangspunten en de algemene uitgangspunten (paragraaf 5.1) zijn de debieten bepaald van de verschillende hoofd- en retourstromen (figuur 1).



Figuur 1 Debieten en drogestofconcentraties in het decanter/bandfilter-systeem

Het ontwerp van decaners bij de hiervoor genoemde aan- en afvoerconcentraties is gebaseerd op een hydraulische verwerkingscapaciteit. De afvoerconcentratie wordt geregeld met de toevoeging van PE. De hydraulische verwerkingscapaciteit van grote decaners bedraagt 225 m³/h. Uit figuur 1 is af te lezen dat de decaners een debiet van 9012 m³/h moeten verwerken. Dit betekent dat 40 decaners nodig zijn.

Een decanter heeft een ruimtebeslag van 8×14 m, dus 112 m² inclusief het ruimtebeslag voor demontage, leidingen, besturing en loopruimte. De aan- en afvoerpompen worden onder de decanter opgesteld.

Hierdoor is geen extra oppervlak nodig voor de pompen, maar wordt de gebouwhoogte 8 m. Bij het ontwerp van een gebouw voor de decaners moet rekening worden gehouden met een extra ruimte van naar schatting 10% voor algemene voorzieningen. Hiermee krijgt het gebouw voor de decaners een oppervlak van 4930 m².

Verwacht wordt dat een dosering van 2 g actief PE per kg d.s. voldoende zal zijn voor het bereiken van de gewenste indikking. De hoeveelheid kan laag blijven doordat het PE met het retourslib terugkomt in de decaners. Het debiet van 9012 m³/h met een drogestofconcentratie van 40.10³ g/m³ betekent een drogestofdebiet van 360.480 kg/h. De hiervoor benodigde hoeveelheid actief PE bedraagt 721 kg/h. Uitgaande van een totale aanmaak- en rijpingstijd van 1 uur is voor een 1% PE-oplossing een aanmaak- en rijpingsvolume nodig van 72 m³. Een reële grootte voor een aanmaak- en rijpingstank is 10 m³, zodat vanwege de dubbele uitvoering twee keer 7 tanks van 10 m³ nodig zijn voor de PE-dosering bij de decaners.

Een aanmaak- en rijpingstank voor PE inclusief de bijbehorende doseerpompen, besturing en loopruimte heeft een ruimtebeslag van 33 m² bij een gebouwhoogte van 4 m. Voor de benodigde veertien tanks betekent dit een totaal oppervlak van 462 m². Rekening houdend met 10% hiervan voor de algemene ruimten wordt het gebouw voor de PE-dosering 510 m².

De waterafvoer van de decaners bedraagt 3014 m³/h, zodat de pompput bij een verblijftijd van een kwartier een inhoud moet hebben van 754 m³.

De hydraulische verwerkingscapaciteit van bandfilters is afhankelijk van de drogestofconcentratie in de aanvoer en de gewenste drogestofconcentratie in de afvoer. In deze situatie met een lage drogestofconcentratie in de aanvoer wordt de verwachte verwerkingscapaciteit 150 m³/h bij een bandbreedte van 3,5 m. Het door de bandfilters te verwerken debiet bedraagt 3014 m³/h, zodat 20 bandfilters nodig zijn.

Bij een aanvoerconcentratie droge stof van 200 g/m³ zal naar verwachting 8 g actief PE nodig zijn per kg d.s. voor het bereiken van de gewenste effluentkwaliteit. Bij een debiet van 3014 m³/h en een drogestofconcentratie van 200 g/m³ wordt het drogestofdebiet 603 kg/h. De hiervoor benodigde hoeveelheid actief PE bedraagt 5 kg/h. Deze hoeveelheid is klein ten opzichte van de hoeveelheid die nodig is voor de eerste trap en kan worden betrokken uit de aanmaak- en rijpingstanks van de eerste trap.

Het ruimtebeslag van een bandfilter bedraagt 8 x 11 m, dus 88 m² inclusief de ruimte die nodig is voor de vervanging van de zeefbanden en het ruimtebeslag van aan- en afvoerpompen, loopruimte en de besturing. Het totale ruimtebeslag wordt 1760 m² bij een gebouwhoogte van 4 m. Rekening houdend met 10% extra ruimte voor algemene voorzieningen beslaat het gebouw voor de bandfilters een oppervlak van 1940 m².

5.3 Bezinktank/bezinktank-systeem

5.3.1 Inleiding

De zeer hoge concentratie droge stof zoals deze uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor komt zal waarschijnlijk niet vanzelf indikken. De concentratie is vergelijkbaar met die van slib uit een indikker. Dit slib kan door toevoeging van PE goed worden bezonken. Verwacht wordt daarom dat een bezinktank het water/slibmengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor kan indikken als PE wordt toegevoegd.

Naar verwachting zal de waterafvoer van deze eerste trap van de tweetraps bezinking 100-200 g d.s./m³ bevatten. De in de afvoer aanwezige droge stof zal het fijnste en slechtst bezinkbare deel zijn. Vanwege deze lage concentratie, de verwachte eigenschappen van het slib en de gewenste indikkingsgraad zal het noodzakelijk zijn ook in de tweede trap PE toe te voegen.

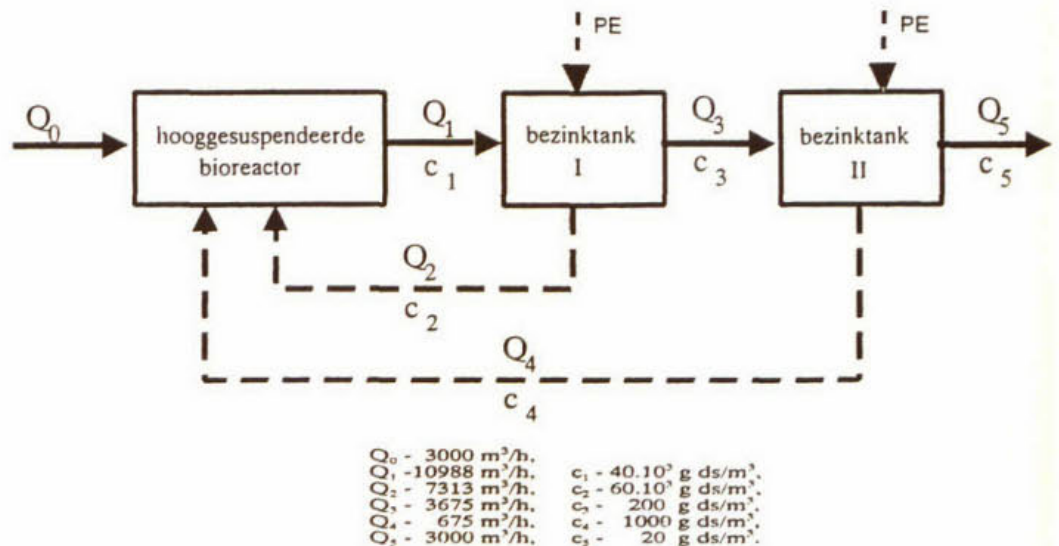
Het water/slibmengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor is visceus, waardoor stroming onder vrij verval naar de eerste trap van de tweetraps bezinking alleen mogelijk is bij een groot verval. Dit wordt niet reëel geacht, zodat is gekozen voor het verpompen van het water/slibmengsel. Het transport van de eerste trap van de tweetraps bezinking naar de tweede trap verloopt zonder tussenstap via vrij verval. Het retourslib van de eerste trap en van de tweede trap wordt teruggepompt naar de hoog-gesuspendeerde bioreactor. Door het verpompen van het slib wordt de vlokstructuur van het slib verbroken. Ervaring met het verpompen van actief-slib laat zien dat de vlokstructuur zich na verloop van tijd weer herstelt. Door toevoeging van PE verloopt de vlokvorming na verpompen zeer snel.

5.3.2 Dimensionering

Bij de dimensionering van het bezinktank/bezinktank-systeem zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de eerste trap van de tweetraps bezinking dikt het water/slibmengsel in van $40 \cdot 10^3$ g d.s./m³ tot $60 \cdot 10^3$ g d.s./m³;
- de waterafvoer van de eerste trap bevat 200 g d.s./m³;
- de tweede trap van de tweetraps bezinking heeft een drogestofconcentratie in de terugvoer van 1000 g/m³;
- de waterafvoer van de tweede trap mag maximaal 20 g d.s./m³ bevatten.

Op basis van deze uitgangspunten en de algemene uitgangspunten (paragraaf 5.1) zijn de debieten berekend van de verschillende hoofd- en retourstromen (figuur 2).



Figuur 2 Debieten en drogestofconcentraties in het bezinktank/bezinktank-systeem

Uit figuur 2 blijkt dat het retourslibdebiet hoog is ten opzichte van het afvoerdebiet. Bij de constructie van de bezinktank moeten daarom maatregelen worden genomen ter voorkoming van kortsluitstromen.

Het ontwerp van de bezinktanks is gebaseerd op een verwachte noodzakelijke verblijftijd. Voor de eerste trap wordt verwacht dat met de toevoeging van PE een verblijftijd van een half uur in de bezinkzone voldoende zal zijn om de hiervoor aangegeven mate van indikking en gewenste afvoer kwaliteit te bereiken. Uit figuur 2 blijkt dat de eerste trap van de tweetraps bezinking een debiet van $10.988 \text{ m}^3/\text{h}$ moet verwerken. Bij een verblijftijd van een half uur betekent dit een bezinkvolume voor de eerste trap van 5500 m^3 . Uitgaande van een bezinkzone van 2 m diep is in totaal voor de eerste trap een bezinkoppervlak nodig van 2750 m^2 . Deze oppervlakte kan worden gerealiseerd met negen bezinktanks met een diameter van 20 m. Voor deze bezinktanks is uitgegaan van het indikkerprincipe met langzaam roeren in de compressiezone. Verwacht wordt dat een extra kantdiepte van 1 meter voor de compressiezone voldoende zal zijn. De tanks van de eerste trap van de tweetraps bezinking krijgen daarmee een totale kantdiepte van 3 meter.

Bij de eerste trap van de tweetraps bezinking bedraagt de aanvoer per bezinktank $1220 \text{ m}^3/\text{h}$ en de slibafvoer per bezinktank $813 \text{ m}^3/\text{h}$. De aanvoer van één bezinktank kan met vijf centrifugaalpomp van $250 \text{ m}^3/\text{h}$ worden verpompt, voor de slibafvoer zijn per bezinktank zeven monpompen nodig met een capaciteit van $120 \text{ m}^3/\text{h}$. Het ruimtebeslag per pomp inclusief leidingen, besturing en loopruimte bedraagt 12 m^2 , zodat bij negen bezinktanks met ieder twaalf pompen het totale ruimtebeslag voor de pompen 1296 m^2 bedraagt.

Het drogestofdebiet over de eerste trap van de tweetraps-bezinking bedraagt $439.520 \text{ kg}/\text{h}$. Op basis van ervaring met slib uit indikkers wordt verwacht dat de toevoeging van 4 g actief PE per kg d.s. voldoende zal zijn om de gewenste indikking en effluentkwaliteit te verkrijgen bij een half uur verblijftijd. Dit betekent dat in totaal 1758 kg PE per uur nodig is. Analoog aan de berekening in paragraaf 5.2 is voor deze hoeveelheid PE een aanmaak- en rijpingsvolume nodig van 176 m^3 , waarvoor vanwege de dubbele uitvoering twee maal achttien tanks van 10 m^3 nodig zijn. Het hiervoor benodigde gebouw beslaat een oppervlak van 1310 m^2 en heeft een hoogte van 4 m.

Voor het ontwerp van de tweede trap van de tweetraps-bezinking is uitgegaan van een verwachte noodzakelijke verblijftijd van één uur. De tweede trap moet een debiet verwerken van $3675 \text{ m}^3/\text{h}$ (figuur 2). Hiervoor is een bezinkvolume nodig van 3675 m^3 . Bij een kantdiepte van 2 m is in totaal voor de tweede trap een bezinkoppervlak nodig van 1838 m^2 . Deze oppervlakte kan worden gerealiseerd met een bezinktank met een diameter van 48,5 m. De uitvoering van deze bezinktank is conform een nabezinktank, zodat de kegel voldoende wordt geacht voor de compressie van het slib.

De slibretourstroom van de tweede trap is $675 \text{ m}^3/\text{h}$ met $1000 \text{ g d.s.}/\text{m}^3$. Deze slibretourstroom kan worden verpompt met twee pompen met een capaciteit van $350 \text{ m}^3/\text{h}$. Het ruimtebeslag van deze pompen bedraagt 10 m^2 per stuk inclusief loopruimte en ruimte voor de besturing. Samen met de pompen voor de eerste trap en rekening houdend met 10% extra ruimte voor algemene voorzieningen beslaat het pompgebouw een oppervlak van 1450 m^2 . De gebouwhoogte kan beperkt blijven tot 3 m.

De PE-dosering in de tweede trap van de tweetraps-bezinking komt naar verwachting overeen met die van een bandfilter als tweede trap en bedraagt dus 8 gram actief PE per kg d.s.

Uit figuur 2 blijkt dat het drogestofdebiet over de tweede trap van de tweetraps-bezinking 735 kg/h bedraagt. De hiervoor benodigde hoeveelheid actief PE bedraagt 6 kg/h. Deze hoeveelheid is klein ten opzichte van de hoeveelheid die nodig is voor de eerste trap en kan worden betrokken uit de aanmaak- en rijpingstanks van de eerste trap.

5.4 Bezinktank/bandfilter-systeem

5.4.1 Inleiding

Bij toevoeging van PE aan het water/slibmengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor wordt verwacht dat in de waterafvoer van de bezinktank nog 100-200 g d.s./m³ aanwezig zal zijn (zie ook paragraaf 5.3). Dit is een goede drogestofconcentratie als invoer van het bandfilter met fijn doek als tweede trap.

Conform de uitgangspunten in paragraaf 5.2.1 is uitgegaan van het verpompen van het water/slibmengsel uit de hooggesuspendeerde bioreactor naar de bezinktanks. De waterafvoer van de bezinktanks stroomt in een pompput en wordt van daaruit naar de bandfilters gepompt. Het ingedikte slib van de eerste en van de tweede trap wordt teruggepompt naar de hoog-gesuspendeerde bioreactor. Zoals al is gemeld bij het bezinktank/bezinktank-systeem wordt door het verpompen van het slib de vlokstructuur van het slib verbroken. Bij toevoeging van PE zal de vlokstructuur zich echter snel herstellen.

5.4.2 Dimensionering

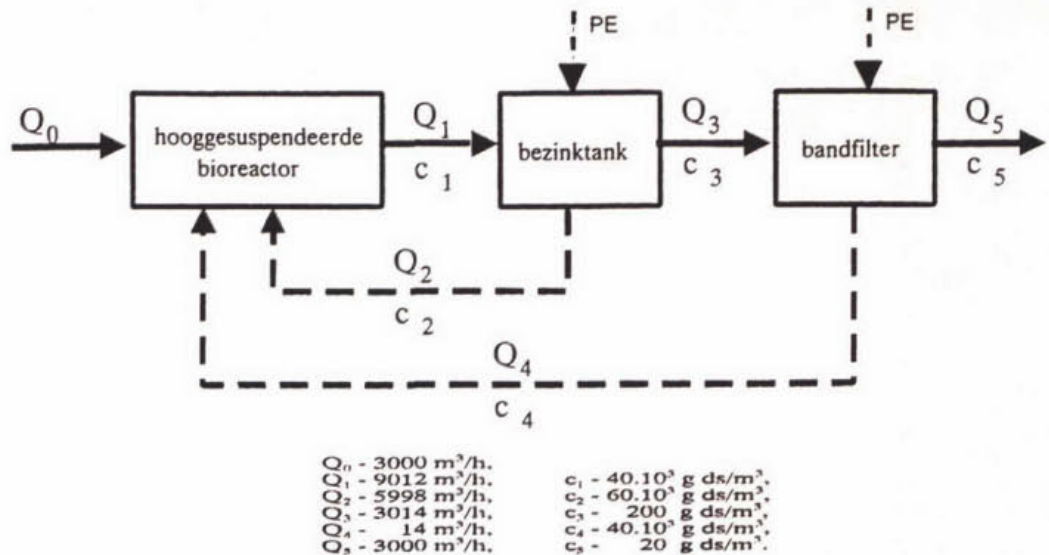
Bij de dimensionering van het bezinktank/bandfilter-systeem zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de bezinktank dikt het water/slib-mengsel in van $40 \cdot 10^3$ g d.s./m³ tot $60 \cdot 10^3$ g d.s./m³;
- de waterafvoer van de bezinktank bevat 200 g d.s./m³;
- de slibafvoer van het bandfilter heeft een drogestofconcentratie van $40 \cdot 10^3$ g/m³;
- de waterafvoer van het bandfilter mag maximaal 20 g d.s./m³ bevatten.

Op basis van deze uitgangspunten en de algemene uitgangspunten (paragraaf 5.1) zijn de debieten berekend van de verschillende hoofd- en retourstromen (figuur 3).

Het ontwerp van de bezinktank (eerste trap) is evenals bij het bezinktank/bezinktank-systeem gebaseerd op een verblijftijd van een half uur. Uit figuur 3 blijkt dat de bezinktank een debiet van 9012 m³/h moet verwerken, zodat een bezinkvolume van 4506 m³ nodig is. Uitgaande van een bezinkzone van 2 m diep, is in totaal voor de eerste trap een bezinkoppervlak nodig van 2253 m². Dit oppervlak kan worden gerealiseerd met zeven bezinktanks met een diameter van 20 m. Conform het bezinktank/bezinktank-systeem wordt uitgegaan van het indikkerprincipe met langzaam roeren in de compressiezone, waarbij een totale kantdiepte van 3 m voldoende wordt geacht.

Per bezinktank bedragen de aanvoer 1290 m³/h en de slibafvoer 857 m³/h. De aanvoer van één bezinktank kan met vijf centrifugaalpompen van 250 m³/h worden verpompt, voor de slibafvoer zijn per bezinktank zeven monopompen nodig met een capaciteit van 125 m³/h. Het ruimtebeslag per pomp inclusief leidingen, besturing en loopruimte bedraagt 12 m², zodat bij zeven bezinktanks met ieder twaalf pompen het totale ruimtebeslag voor de pompen 1008 m² bedraagt. Rekening houdend met 10% extra ruimte voor algemene voorzieningen wordt het pompegebouw 1110 m² bij een hoogte van drie meter.



Figuur 3 Debieten en drogestofconcentraties in het bezinktank/bandfilter-systeem

Het drogestofdebiet over de bezinktanks bedraagt 360.480 kg/h. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.3 wordt verwacht dat de toevoeging van 4 g actief PE per kg d.s. voldoende zal zijn om de gewenste indikking en effluentkwaliteit te verkrijgen bij een half uur verblijftijd. Dit betekent dat in totaal 1442 kg PE per uur nodig is. Het benodigde aanmaak- en rijpingsvolume bedraagt 145 m³ uitgaande van een 1% PE-oplossing, zodat vanwege de dubbele uitvoering twee keer 15 tanks van 10 m³ nodig zijn voor de PE-dosering bij de bezinking in de eerste trap. Conform de berekening in paragraaf 5.2 zal het gebouw voor de PE-aanmaak een oppervlak krijgen van 1090 m² bij een hoogte van 4 m.

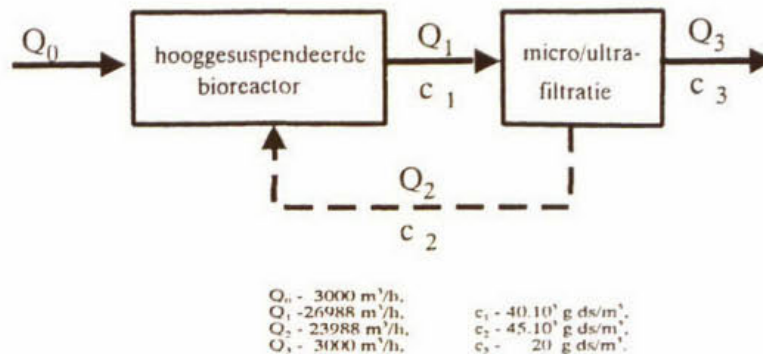
De dimensionering van het bandfilter is gelijk aan die van het decanter/bandfilter-systeem (paragraaf 5.2). Voor het te verwerken debiet van 3014 m³/h zijn 20 bandfilters nodig met een capaciteit van 150 m³/h. Ook het drogestofdebiet en de benodigde hoeveelheid PE zijn gelijk aan die bij het decanter/bandfilter-systeem, zodat ook in het bezinker/bandfilter-systeem de benodigde 5 kg PE/h voor de tweede trap kan worden betrokken uit de aanmaak- en rijpingstanks van de eerste trap. Het gebouw voor de bandfilters heeft een totaal oppervlak van 1940 m² (paragraaf 5.2).

5.5 Micro/ultrafiltratie-systeem

Bij de dimensionering van het micro/ultrafiltratiesysteem zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het micro/ultrafiltratiesysteem dikt het water/slib-mengsel uit de hoog-gesuspendeerde bioreactor in van 40.10³ g d.s./m³ tot 45.10³ g d.s./m³;
- het filtraat mag maximaal 20 g d.s./m³ bevatten.

Op basis van deze uitgangspunten en de algemene uitgangspunten (paragraaf 5.1) zijn de debieten bepaald van de hoofd- en retourstroom (figuur 4). Uit figuur 4 blijkt dat het micro/ultrafiltratiesysteem een debiet moet verwerken van 24.000 m³/h. Het membraanoppervlak wordt bepaald door het effluentdebiet dat volgens de aannamen tijdens RWA 3000 m³/h bedraagt.



Figuur 4 Debieten en drogestofconcentraties in het micro/ultrafiltratiesysteem

Bij een verwachte flux van 0,04 m³/(m².h) is 75.000 m² membraanoppervlak nodig voor het verwerken van dit debiet. Uitgaande van ongeveer 25 m² filteroppervlak per m² bebouwd oppervlak (inclusief pompen en randapparatuur) is voor het micro/ultrafiltratie-systeem 3000 m² vloeroppervlak nodig bij een gebouwhoogte van vier meter. Rekening houdend met 10% extra ruimte voor algemene voorzieningen beslaat het gebouw voor het micro/ultrafiltratie-systeem een oppervlak van 3300 m².

6 KOSTENRAMING VAN DE GESELECTEERDE SYSTEMEN

De kostenraming heeft betrekking op de drie geselecteerde slibretentiesystemen zoals beschreven en gedimensioneerd in de hoofdstukken 4 en 5. De kostenraming is per systeem uitgewerkt en weergegeven in de tabellen 12, 13 en 14. Uitgangspunt voor de raming zijn de hoofdonderdelen van de slibretentiesystemen, zodat de ramingen alleen indicatief en vergelijkend kunnen worden gebruikt. In de kostenvergelijking is rekening gehouden met 10% onvoorzien en 20% advieskosten, analoog aan de kostenstudie van micro/ultrafiltratie van de Rijksuniversiteit in Groningen [6].

De geraamde kosten voor decanters, pompen en dergelijke zijn inclusief het direct benodigde leidingwerk en inclusief de installatie. De energiekosten zijn geschat op basis van de vermogens van de verschillende onderdelen van het systeem. Bij de raming van de kosten is geen rekening gehouden met eventuele aanvullende eisen voor reductie van geluid- en geuremissie.

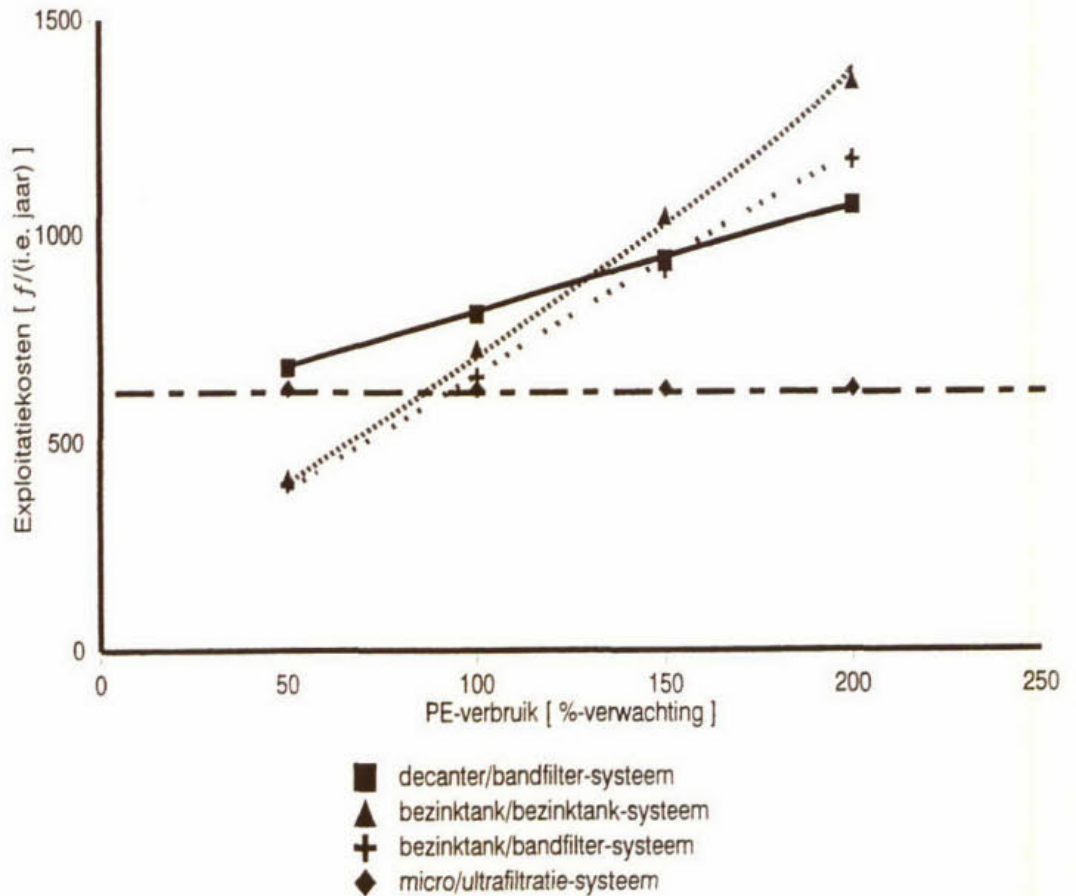
Ter vergelijking is op basis van de globale dimensionering (paragraaf 5.5) en het onderzoek door de Rijksuniversiteit te Groningen een schatting gemaakt van de kosten van micro/ultrafiltratie als slibretentiesysteem (tabel 15).

Uit de tabellen 12, 13, 14 en 15 blijkt dat de exploitatiekosten van de geselecteerde slibretentiesystemen iets hoger liggen dan die van het micro/ultrafiltratie-systeem. Dit verschil ligt echter binnen de nauwkeurigheid van de raming, als daarin worden betrokken de onzekerheden over de slibstructuur en het PE verbruik.

De indikking van het slib in de bezinktanks is mede afhankelijk van de structuur van het slib. Zoals in eerdere hoofdstukken al is opgemerkt, is de structuur van slib uit een hoog-gesuspendeerd systeem met gravitatietechnieken als slibretentiesysteem niet bekend. Dit betekent dat de indikking in de bezinktanks als eerste trap van een slibretentiesysteem in de praktijk mogelijk lager kan liggen dan waarvan in deze studie is uitgegaan. Dit heeft direct tot gevolg dat daarmee de kosten omhoog zullen gaan. De kosten van de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap zijn dus gevoelig voor de slibstructuur in het systeem. Indikking met decanters wordt nauwelijks beïnvloed door de structuur van het slib, zodat ook de kosten van dit slibretentiesysteem nauwelijks gevoelig zijn voor de slibstructuur.

Een belangrijk aandeel in de exploitatiekosten van de geselecteerde systemen wordt gevormd door de kosten voor PE; bij de systemen met bezinktanks als eerste trap is dit aandeel 85 à 90%. Hierbij is uitgegaan van RWA-verbruik gedurende 10% van de tijd en DWA-verbruik (een derde van het RWA-verbruik) gedurende 90% van de tijd. Een lager of hoger PE-verbruik heeft daardoor een grote invloed op de exploitatiekosten. Uit praktijkervaring met slibverwerking blijkt dat het werkelijke PE-verbruik ligt tussen 50% en 200% van het ingeschatte verbruik. In figuur 5 is aangegeven hoe de exploitatiekosten variëren met het PE-verbruik. Het micro/ultrafiltratiesysteem gebruikt geen PE, zodat de exploitatiekosten niet afhankelijk zijn van het PE-verbruik.

Uit figuur 5 blijkt dat de exploitatiekosten van het decanter/bandfilter-systeem in het verwachte gebied van PE-verbruik hoger liggen dan van het micro/ultrafiltratiesysteem. Tevens blijkt dat bij een groter PE verbruik dan verwacht het decanter/bandfilter-systeem goedkoper wordt dan de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap.



Figuur 5 Exploitatiekosten van de slibretentietechnieken als functie van het PE-verbruik

Verder is af te lezen uit figuur 5 dat bij lager PE-verbruik dan verwacht de exploitatiekosten van de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap lager worden dan die van het micro/ultrafiltratie-systeem.

De exploitatiekosten van slibretentiesystemen voor hooggesuspendeerde waterzuiveringssystemen variëren van f 400,- tot f 1400,- per i.e. per jaar afhankelijk van type systeem en het werkelijke PE-verbruik. Dit betekent dat de exploitatiekosten van deze waterzuiveringssystemen veel hoger liggen dan die van een conventionele zuivering waar de totale exploitatiekosten van biologische zuivering, sli/waterscheiding en slibverwerking nog geen f 100,- per i.e. per jaar bedragen.

Tabel 12 Indicatieve kostenraming van slibretentie met het decanter/bandfilter-systeem

voorbeeld-rwzi: * 100.000 i.e. * RWA-debiet 3000 m ³ /h * DWA-debiet 1000 m ³ /h	kosten per eenheid <i>f</i>	aantal eenheden	kosten voorbeeld-rwzi <i>f</i>	opmerkingen
a. bouwkosten civiel				
- gebouw decanters	3200,-	4930 m ²	15.776.000,-	8 meter hoog
- pompput	800,-	754 m ²	605.000,-	
- gebouw bandfilters	2000,-	1940 m ²	3.880.000,-	4 meter hoog
- gebouw PE-aanmaak	2000,-	510 m ²	1.020.000,-	4 meter hoog
b. bouwkosten mechanisch				
- decanters	2.300.000,-	40 st.	92.000.000,-	40 x 280 kW
- aanvoerpompen decanters	130.000,-	40 st.	5.200.000,-	40 x 45 kW
- slibretourpompen decanters	150.000,-	40 st.	6.000.000,-	40 x 60 kW
- PE-doseerpompen en statische mengers decanters	45.000,-	40 st.	1.800.000,-	40 x 6 kW
- PE-aanmaak- en rijpingstanks met roerders	90.000,-	14 st.	1.260.000,-	14 x 6 kW
- bandfilters	500.000,-	20 st.	10.000.000,-	20 x 6 kW
- aanvoerpompen bandfilters	100.000,-	20 st.	2.000.000,-	20 x 20 kW
- slibretourpompen bandfilters	30.000,-	20 st.	600.000,-	20 x 3 kW
- PE-doseerpompen en statische mengers bandfilters	25.000,-	20 st.	500.000,-	20 x 1,5 kW
c. bouwkosten elektrisch, meet- en regeltechniek			30.000.000,-	
d. onvoorzien			17.064.000,-	10% over a, b en c
e. advieskosten			37.541.000,-	20% over a t/m d
Stichtingskosten (exclusief BTW, grondkosten, bouwrijp maken, aanleg wegen, bijkomende kosten)			225.246.000,-	
Kapitaalslasten (exclusief BTW, etc.)			34.329.000,-/jaar	annuïteiten, afschrijving 10 jaar, rente 8,5%
f. onderhoudskosten civiel			107.000,-/jaar	0,5% over a
g. onderhoudskosten mechanisch			5.968.000,-/jaar	5% over b (inclusief vervanging lining en zeebanden)
h. onderhoudskosten elektrisch, meet- en regeltechniek			600.000,-/jaar	2% over c
i. kosten PE	10,-/kg	2.544.000 kg/jaar	25.440.000,-/jaar	10% tijd RWA 90% tijd DWA DWA-verbruik = 1/3 RWA-verbruik op basis van geïnstalleerd vermogen met factor 0,7
k. energiekosten	0,12/kWh	100.160.000 kWh/jaar	12.019.000,-/jaar	per decanter 0,25 formatieplaats in dagdienst per bandfilter 0,25 formatieplaats in volcontinuïedienst; 4 ploegen → 1 formatieplaats per bandfilter
l. personeelskosten				
- decanters	80.000,-/form.plaats jaar	10 formatieplaatsen	800.000,-/jaar	
- bandfilters	90.000,-/form.plaats jaar	20 formatieplaatsen	1.800.000,-/jaar	
Bedrijfsvoeringskosten (exclusief BTW etc.)			46.734.000,-/jaar	
Exploitatiekosten (exclusief BTW etc.)			81.063.000,-/jaar 811,-/i.e. jaar	kapitaalslasten + bedrijfsvoeringskosten

Tabel 13 Indikatieve kostenraming van slibretentie met het bezinktank/bezinktank-systeem

voorbeeld-rwzi: * 100.000 i.e. * RWA-debiet 3000 m ³ /h * DWA-debiet 1000 m ³ /h	kosten per eenheid <i>f</i>	aantal eenheden	kosten voorbeeld-rwzi <i>f</i>	opmerkingen
a. bouwkosten civiel				
- bezinktanks eerste trap	240.000,-	9 st.	2.160.000,-	
- bezinktank tweede trap	1.200.000,-	1 st.	1.200.000,-	
- pompgebouw	1.650,-	2050 m ²	3.385.000,-	3 meter hoog
- gebouw PE-aanmaak	2000,-	1310 m ²	2.620.000,-	4 meter hoog
b. bouwkosten mechanisch				
- roerwerk eerste trap	160.000,-	9 st.	1.440.000,-	9 x 1 kW
- aanvoerpompen eerste trap	130.000,-	45 st.	5.850.000,-	45 x 45 kW
- slibretourpompen eerste trap	130.000,-	63 st.	8.190.000,-	63 x 45 kW
- PE-doseerpompen en statische mengers eerste trap	30.000,-	9 st.	180.000,-	9 x 11 kW
- PE-aanmaak- en rijpingstanks met roerders	90.000,-	36 st.	3.240.000,-	36 x 6 kW
- slibretourpompen tweede trap	100.000,-	2 st.	200.000,-	2 x 15 kW
- PE-doseerpomp en statische menger tweede trap	25.000,-	1 st.	25.000,-	3 kW
c. bouwkosten elektrisch, meet- en regeltechniek			4.000.000,-	
d. onvoorzien			3.105.000,-	10% over a, b en c
e. advieskosten			6.831.000,-	20% over a t/m d
Stichtingskosten (exclusief BTW, exclusief grondkosten, bouwrijp maken, aanleg wegen, bijkomende kosten)			40.986.000,-	
Kapitaalslasten (exclusief BTW, etc.)			6.247.000,-/jaar	annuïteiten, afschrijving 10 jaar, rente 8,5%
f. onderhoudskosten civiel			47.000,-/jaar	0,5% over a
g. onderhoudskosten mechanisch			476.000,-/jaar	2% over b
h. onderhoudskosten elektrisch, meet en regeltechniek			80.000,-/jaar	2% over c
i. kosten PE	10,-/kg	6.181.056 kg/jaar	61.810.000,-/jaar	10% tijd RWA 90% tijd PWA DWA-verbruik = 1/3 RWA-verbruik
k. energiekosten	0,12/kWh	31.991.000 kWh/jaar	3.839.000,-/jaar	gebaseerd op geïnstalleerd vermogen met factor 0,7
l. personeelskosten	80.000,-/form.-plaats jaar	4 formatieplaatsen	320.000,-/jaar	dagdienst
Bedrijfsvoeringskosten (exclusief BTW, etc.)			66.572.000,-/jaar	
Exploitatiekosten (exclusief BTW, etc.)			72.819.000,-/jaar 728,-/ i.e. jaar	kapitaalslasten + bedrijfsvoeringskosten

Tabel 14 Indikatieve kostenraming van slibretentie met het bezinktank/bandfilter-systeem

voorbeeld-rwzi: * 100.000 i.e. * RWA-debiet 3000 m ³ /h * DWA-debiet 1000 m ³ /h	kosten per eenheid <i>f</i>	aantal eenheden	kosten voorbeeld-rwzi <i>f</i>	opmerkingen
a. bouwkosten civiel				
- bezinktanks eerste trap	240.000,-	7 st.	1.680.00,-	
- pompgebouw	1650,-	1575 m ²	2.600.000,-	3 meter hoog
- bandfiltergebouw	2000,-	1940 m ²	3.880.000,-	4 meter hoog
- gebouw PE-aanmaak	2000,-	1090 m ²	2.180.000,-	4 meter hoog
- pompput	800,-	754 m ³	650.000,-	
b. bouwkosten mechanisch				
1. eerste trap				
- roerwerk eerste trap	160.000,-	7 st.	1.120.000,-	7 x 1 kW
- aanvoerpompen bezinktanks	130.000,-	35 st.	4.550.000,-	35 x 45 kW
- slibretourpompen bezinktanks	140.000,-	49 st.	6.860.000,-	49 x 48 kW
- PE-doseerpompen en statische mengers bezinktanks	35.000,-	7 st.	245.000,-	7 x 11 kW
- PE-aanmaak- en rijpingstanks met roerders	90.000,-	30 st.	2.700.000,-	28 x 6 kW
2. tweede trap				
- bandfilter	500.000,-	20 st.	10.000.000,-	20 x 6 kW
- aanvoerpompen bandfilters	100.000,-	20 st.	2.000.000,-	20 x 20 kW
- slibretourpompen bandfilters	30.000,-	20 st.	600.000,-	20 x 3 kW
- PE-doseerpompen en statische mengers bandfilters	20.000,-	20 st.	400.000,-	20 x 1,5 kW
c. bouwkosten elektrisch, meet- en regeltechniek			3.000.000,-	
d. onvoorzien			4.239.000,-	10% over a, b en c
e. advieskosten			9.325.000,-	20% over a t/m d
Stichtingskosten (exclusief BTW, exclusief grondkosten, bouwrijp maken, aanleg wegen, bijkomende kosten)			55.949.000,-	
Kapitaalslasten (exclusief BTW, etc.)			8.527.000,-/jaar	annuïteiten, afschrijving 10 jaar, rente 8,5%
f. onderhoudskosten civiel			55.000,-/jaar	0,5% over a
g. onderhoudskosten mechanisch			306.000,-/jaar 655.000,-/jaar	2% over b1 5% over b2 (inclusief vervanging zeefbanden)
h. onderhoudskosten elektrisch, meet- en regeltechniek			60.000,-/jaar	2% over c
i. kosten PE	10,-/kg	5.070.000 kg/jaar	50.700.000,-/jaar	10% tijd RWA 90% tijd DWA DWA-verbruik = 1/3 RWA-verbruik gebaseerd op geïnstal- leerd vermogen met factor 0,7
k. energiekosten	0,12/kWh	29.366.000 kWh/jaar	3.524.000,-/jaar	
l. personeelskosten				
- bezinktanks	80.000,-/ form.plaats jaar	3 formatieplaatsen	240.000,-/jaar	
- bandfilters	90.000,-/ form.plaats jaar	20 formatieplaat- sen	1.800.000,-/jaar	per bandfilter 0,25 formatieplaats in vol- continuidienst 4 dagen → 1 formatieplaats per bandfilter
Bedrijfsvoeringskosten (exclusief BTW, etc.)			57.340.000,-/jaar	
Exploitatiekosten (exclusief BTW, etc.)			65.867.000,-/jaar 659,-/ i.e. jaar	kapitaalslasten + bedrijfsvoeringskosten

Tabel 15 Indikatieve kostenraming van slibretentie met het micro/ultrafiltratie-systeem

voorbeeld-rwzi: * 100.000 i.e. * RWA-debiet 3000 m ³ /h * DWA-debiet 1000 m ³ /h	kosten per eenheid <i>f</i>	aantal eenheden	kosten voorbeeld-rwzi <i>f</i>	opmerkingen
a. bouwkosten civiel - gebouw membranen	2000,-	3.300 m ²	6.600.000,-	4 meter hoog
b. bouwkosten mechanisch 1. micro/ultrafiltratiemodules en pomp	390,-	75.000 m ² membraan	29.250.000,-	met factor 0,7 opgeschaald [6]
2. membranen	300,-	75.000 m ²	22.500.000,-	[6]
c. bouwkosten elektrisch, meet en regeltechniek			13.000.000,-	verhouding mechanisch - elektrisch gelijk gesteld aan decanter/bandfilter systeem
d. onvoorzien			7.135.000,-	10% over a, b en c
e. advieskosten			15.697.000,-	20% over a t/m d
Stichtingskosten (exclusief BTW, exclusief grondkosten, bouwrijp maken, aanleg wegen, bijkomende kosten)			94.182.000,-	
Kapitaalslasten (exclusief BTW, etc.)			14.354.000,-/jaar	annuïteiten, afschrijving 10 jaar, rente 8,5%
f. onderhoudskosten civiel			33.000,-/jaar	0,5% over a
g. onderhoudskosten mechanisch - micro/ultrafiltratie modules en pomp - membranen			585.000,-/jaar 7.500.000,-/jaar	2% over b1 iedere 3 jaar vervanging
h. onderhoudskosten elektrisch, meet- en regeltechniek			260.000,-/jaar	2% over c
i. energiekosten	0,12/kWh	329.000.000 kWh/jaar	39.420.000,-/jaar	0,5 kWh/m ² = 4.380 kWh/m ² jaar [6]
k. personeelskosten	80.000,-/form.-plaats jaar	10 formatieplaatsen	800.000,-/jaar	gelijk gesteld aan decanters
Bedrijfsvoeringskosten (exclusief BTW, etc.)			48.598.000,-/jaar	
Exploitatiekosten (exclusief BTW, etc.)			62.952.000,-/jaar 630,-/i.e. jaar	kapitaalslasten + bedrijfsvoeringskosten

7 CONCLUSIES

- * Het slib in een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem waarbij de slibretentie wordt verzorgd door micro/ultrafiltratie verschilt sterk van het slib in een conventioneel actiefslibstelsysteem. Opvallend hierbij is het ontbreken van een vlokstructuur. De biomassa is als cellen of fragmenten van vlokken aanwezig. Niet duidelijk is echter of het ontbreken van een vlokstructuur moet worden toegeschreven aan de hoge concentratie biomassa in de reactor, of aan de hoge mechanische krachten in het micro/ultrafiltratiesysteem. Wanneer dit laatste het geval is zal bij gebruik van gravitatie technieken als slibretentiesysteem de vlokstructuur weer aanwezig zijn.
- * Met de technologische prestaties van de huidige slibretentietechnieken blijkt het alleen met micro/ultrafiltratie mogelijk te zijn in één stap het water en slib te scheiden tot de vereiste effluentkwaliteit.
- * Op basis van een sterkte-zwakte-analyse van mogelijke slibretentiesystemen voor hoog-gesuspendeerde systemen kunnen de volgende drie slibretentiesystemen worden gezien als een technologisch alternatief voor het micro/ultrafiltratie-systeem:
 - decanters als eerste trap met bandfilters als tweede trap;
 - tweetraps-bezinking;
 - bezinktanks als eerste trap met bandfilters als tweede trap.
- * Bij het verwachte PE-verbruik voor de geselecteerde slibretentiesystemen hebben alle alternatieve systemen hogere exploitatiekosten dan het micro/ultrafiltratie-systeem.
- * De exploitatiekosten van de geselecteerde slibretentiesystemen zijn sterk afhankelijk van de benodigde hoeveelheid PE. Bij een lager PE-verbruik dan verwacht, worden de exploitatiekosten van de slibretentiesystemen met bezinktanks als eerste trap lager dan de exploitatiekosten van het micro/ultrafiltratie-systeem.
- * De exploitatiekosten van de slibretentiesystemen van hoog-gesuspendeerde waterzuiveringssystemen variëren van f 400,- tot f 1400,- per i.e. per jaar afhankelijk van type systeem en het werkelijke PE-verbruik. Dit is hoog in vergelijking met een conventionele zuivering waar de totale exploitatiekosten van biologische zuivering, slib/waterscheiding en slibverwerking nog geen f 100,- per i.e. per jaar bedragen.

8 LITERATUUR

- [1] **High performance bioreactor: A physiological approach to wastewater treatment with zero sludge production by complete sludge retention**
D.J. Eikelboom, A.H. Stouthamer, H.B. van Verseveld, E.B. Muller
IMW-P 93/051, 24 August 1993
Paper presented at the Japan-Netherlands Workshop on integrated water management (October 1993)

- [2] **Karakterisering van de slib-waterbinding met behulp van thermische analyse-technieken en sorptie-isothermen**
A. van der Zande
Technische Universiteit Eindhoven Projektgroep Slibontwatering
mei 1993

- [3] **Dewaterability of municipal sludges 2: Sludge characterization and behaviour in terms of SRT and CST parameters**
M. Smollen
Water SA Vol. 12 No. 3 July 1986 133-138

- [4] **Characterization and dewatering of activated sludge from the pulp and paper industry**
J. Pere, R. Alen, L. Viikari en L. Eriksson
Water Science and Technology vol. 28 No. 1 1993 193 - 212

- [5] **Characterization of activated sludge and conditioning with cationic polyelectrolytes**
L. Eriksson en B. Alm
Water Science and Technology vol. 28 No. 1 1993 193 - 212

- [6] **Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in municipal waste water treatment plants**
J. Dolfing, B. Witholt
RWZI 2000 91-03
Lelystad, juni 1991

- [7] **Slib/waterscheiding**
Verkenning van alternatieven voor nabezinking
STORA rapport 87-03
Rijswijk, februari 1987

- [8] **Slibindikking**
1. Literatuuronderzoek
STORA rapport
Rijswijk, augustus 1977

- [9] **Continue volautomatische membraanfilter lost koek zonder operator**
L. Wöstman
i²-Procestechologie 409-1988

- [10] **High rate aerobic purification of waste water with no surplus sludge production**
J.J. Heijnen, C.P. Venema

- [11] **Verwijdering van zwevende stof uit effluent**
2. Snelfiltratie en microzeving (praktijkproeven)
STORA rapport
Rijswijk, maart 1983

BIJLAGE 1

Toelichting op de weegfactoren en op de waardering van de slibretentietechnieken

Toelichting op de weegfactoren

De invloed op het zuiveringsproces door wijzigingen in de retourstroom (PE, slibstructuur) geeft een onzekerheid bij het ontwerp van een hoog-gesuspendeerd waterzuiveringssysteem. Bij de eerste trap van een tweetraps-slibretentiesysteem is de retourstroom groot en wordt dit behoorlijk meegewogen (weegfactor 6). Bij de tweede trap is de retourstroom veel kleiner, waardoor ook de invloed op het zuiveringsproces kleiner zal zijn (weegfactor 4).

Voor de eerste trap van een tweetraps-slibretentiesysteem wordt de mate van indikking van groot belang geacht (weegfactor 10), omdat dit bepalend is voor de recirculatieverhouding. De recirculatieverhouding bepaalt de grootte van het slibretentiesysteem en daarmee de kosten. Bij de tweede trap betreft het veel kleinere retourstromen, zodat dit aspect minder belangrijk is (weegfactor 3).

De hoeveelheid droge stof in de afvoer is bepalend voor de effluentkwaliteit en daarom van groot belang voor de tweede trap van een tweetraps-slibretentiesysteem (weegfactor 10). Voor de eerste trap is dit aspect niet van belang (weegfactor 1).

De hoeveelheid toeslagstoffen die nodig zijn voor het functioneren van een slibretentietechniek (PE) heeft direct invloed op de bedrijfsvoeringskosten. Dit aspect vormt echter slechts een onderdeel van de bedrijfsvoeringskosten, zodat de weegfactor laag is gehouden. Door de grotere hoeveelheden slib die in de eerste trap van een slibretentiesysteem moeten worden verwerkt, heeft dit aspect hierbij meer invloed dan bij de tweede trap (weegfactor 3 respectievelijk 2).

De overige aspecten die invloed hebben op de bedrijfsvoeringskosten zijn alle met een weegfactor 3 gehonoreerd (energieverbruik, benodigde menskracht en onderhoud).

Het ruimtebeslag van het slibretentiesysteem heeft direct invloed op de mogelijkheid emissies te beperken. Aan dit aspect is daarom een weegfactor 6 toegekend.

De mate waarin ervaring is opgedaan met een slibretentiesysteem geeft een indicatie van mogelijke problemen in de opstartfase van zo'n systeem. Dit aspect wordt van een zelfde belang geacht als de aspecten die invloed hebben op de bedrijfsvoeringskosten (weegfactor 3).

De bedrijfszekerheid en flexibiliteit van een systeem wordt van redelijk groot belang geacht vergelijkbaar met de invloed op het zuiveringsproces (weegfactor 6).

De investeringskosten zijn van groot belang voor de uiteindelijke zuiveringskosten, zodat hieraan een weegfactor 10 is toegekend.

Toelichting op de waardering van de slibretentietechnieken

Invloed op het zuiveringsproces

- 2 ophoping van PE (PE-gebruik in eerste trap)
- 3 structuur slib kapot
- 4 PE in effluent (PE-gebruik in tweede trap)
- 5 geen invloed

Mate van indikking (zie tabel 2)

- 1 < 10% indikking
- 4 150 - 200% indikking
- 5 > 200% indikking

Droge stof in de afvoer (zie tabel 2)

- 1 > 500 mg/l
- 2 100 - 500 mg/l
- 3 20 - 100 mg/l
- 4 10 - 20 mg/l
- 5 < 10 mg/l

Benodigde toeslagstoffen (zie tabel 2)

- 2 PE nodig
- 4 geen PE nodig

Energieverbruik

- 1 veel
- 3 matig
- 5 weinig

Ruimtebeslag (benodigde oppervlak)

- 1 zeer groot
- 2 groot
- 3 matig
- 4 klein
- 5 erg klein

Ervaring met systeem

- 1 nauwelijks
- 2 weinig
- 3 matig
- 4 veel
- 5 zeer veel

Benodigde menskracht

- 1 volcontinudienst
- 4 dagdienst met veel toezicht
- 5 dagdienst met weinig toezicht

Onderhoud

- 1 zeer veel
- 2 veel
- 3 matig
- 4 weinig
- 5 zeer weinig

Bedrijfszekerheid/flexibiliteit (technologisch)

- 1 sterk afhankelijk van slibstructuur/niet flexibel
- 2 redelijk afhankelijk van slibstructuur/weinig flexibel
- 3 nauwelijks afhankelijk van slibstructuur/redelijk flexibel
- 4 niet afhankelijk van slibstructuur/flexibel
- 5 niet afhankelijk van slibstructuur/grote flexibiliteit

Investeringskosten

- 1 zeer hoog
- 2 hoog
- 3 matig
- 4 laag
- 5 zeer laag

**PUBLIKATIREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000" ¹**

- 1 "Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst"
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
Juli 1986
- 2 "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000"
Onderzoekplan
RIZA, STORA
Januari 1988
- 3 "Jaarverslag 1988"
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 zuiverings-slib door elektrolyse"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-04
Oktober 1989

¹ Te bestellen bij:
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
tel. 030-321199

- 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"
RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989
- 12 "Jaarverslag 1989"
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"
Adviebureau 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
- 21 "Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in municipal waste water treatment plants"
A feasibility study
RU-Groningen
RWZI 2000 91-03
Juni 1991
- 22 "Jaarverslag 1991"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 92-01
Maart 1992
- 23 "Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele slibgisting"
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-02
Maart 1992
- 24 "First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water;
8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.
RIZA, STOWA, TU-Delft
RWZI 2000 92-03
Maart 1992

- 25 "Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor"
LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-04
Augustus 1992
- 26 "Anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland"
Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991
LU-Wageningen, Haskoning B.V.
RWZI 2000 92-05
Mei 1992
- 27 "Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste aktiefslibinstallatie"
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij N.V.
RWZI 2000 92-06
Oktober 1992
- 28 "Ontwikkeling van een slib-op-drager systeem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater"
Fase II: Onderzoek naar de processtabiliteit en optimalisatie van het zuiveringsrendement.
TNO-IMW
RWZI 2000 92-07
Oktober 1992
- 29 "Behandeling van stedelijk afvalwater met het schachtreactorsysteem"
V & P Waste Water Management B.V.
RWZI 2000 92-08
Juli 1994
- 30 "Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's"
DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-09
December 1992
- 31 "Jaarverslag 1992"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 93-01
April 1993
- 32 "Onderzoek demonstratie-installaties magnetische defosfatering"
Envimag B.V.
RWZI 2000 93-02
April 1993

- 33 "Modelvorming en optimalisatie van biologische defosfatering van afvalwater:
Microbiële aspecten"
LU-Wageningen, vakgroep Microbiologie
RWZI 2000 93-03
November 1993
- 34 "Jaarverslag 1993"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 94-01
Juli 1994
- 35 "Fundamentele aspecten van slibontwatering"
Deel 1: Samenvattend verslag
Deel 2: Flocculatiemechanismen
Deel 3: Filtratie-expressie modellering
Deel 4: Filtratie expressie experimenten
Deel 5: Slib-water binding
Deel 6: Karakterisering van slibben
Deel 7: Ontwikkeling nieuw CST-apparaat
Deel 8: Congresbijdragen
TU-Eindhoven, Laboratorium voor Scheidingstechnologie
RWZI 2000 94-02
Juli 1994
- 36 "Fundamenteel onderzoek vermindering slibproductie"
VU, werkgroepen Theoretische Biologie en Microbiologie
RWZI 2000 94-03
September 1994
- 37 "Alternatieven voor de slibretentie bij hooggesuspendeerde waterzuiveringssystemen"
DHV Water BV
RWZI 2000 94-04
September 1994

