

Handboek slibontwatering



98

38

Handboek slibontwatering

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079 - 361 11 88
fax 079 - 361 39 27
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.047.2

98 38

Ten geleide

In de slibverwerkingsketen neemt de slibontwatering een belangrijke plaats in, onder meer vanwege het sterke effect van het bereikte drogestofgehalte op de slibafzetkosten. Door de toenemende afzetproblematiek valt de aandacht dan ook in toenemende mate op de slibontwatering, waarbij de conditionering van het slib een zeer belangrijke rol speelt: immers zonder goede conditionering, geen goede slibontwatering.

Er zijn diverse methoden voor slibconditionering en slibontwatering, waarbij bij iedere methode aanpassingen in de bedrijfsvoering verbeteringen in de ontwateringsresultaten kunnen geven. In de praktijk is, zeer verspreid, veel bekend van het verkrijgen van optimale resultaten bij de slibontwatering, zowel naar milieubelasting als naar jaarlijkse kosten.

In het thans voorliggend STOWA-rapport worden de in vele verschillende bronnen neergelegde ervaringen en beschikbare kennis gecompileerd tot één "up to date" compendium, waarmee de toegankelijkheid tot de relevante achtergrondinformatie over dit onderdeel van het zuiveringsproces voor de dagelijkse rwzi-praktijk wordt vergroot. De uitgebreide literatuur en doorverwijzingen maken het mogelijk om ook specifieke praktijkproblemen aan te pakken.

De werkzaamheden werden door het bestuur van de STOWA opgedragen aan Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs b.v. te Deventer (projectteam bestaande uit ir. P. de Jong, ir. M.R. Eekhof en ir. J.R.A.G. Schepman). Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. A.W.A. de Man (voorzitter), ing. F.D. Beukema, ing. G.A.P. van Geest, ing. A.W.J. van Noorden, ir. P.T.F. Schyns en ir. P.C. Stamperius.

Utrecht, oktober 1998

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

Ten geleide

SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	3
2 ALGEMENE ASPECTEN VAN ZUIVERINGSSLIB	4
2.1 Herkomst en eigenschappen van zuiveringsslib	4
2.2 De slib-waterbinding	7
2.3 De slibverwerkingsketen	9
3 SLIBCONDITIONERING	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Anorganische conditionering	14
3.2.1 Werking	14
3.2.2 Chemicaliën	15
3.3 Organische conditionering	18
3.3.1 Werking	18
3.3.2 Types poly-elektroliet	20
3.3.3 Productvormen van poly-elektroliet	21
3.3.4 Opslag van poly-elektroliet	22
3.3.5 Stappen in de aanmaak en dosering van poly-elektroliet	23
3.3.6 Initiële bevochtiging/menging en rijping	23
3.3.7 Verdunning en dosering	24
3.3.8 Aanmaakinstallatie	25
3.3.9 Voorconditionering	27
3.3.10 Keuze van productvorm en aanmaakinstallatie	27
4 THEORIE EN METING VAN DE WATERAFSCHEIDING	29
4.1 Theorie	29
4.1.1 Filtratietheorie	29
4.1.2 Centrifugetheorie	30
4.2 Bepaling van de waterafscheiding	31
4.2.1 Capillary Suction Time test	31
4.2.2 De Modified Filtration Test	32
4.2.3 De Filtratie-Expressiecel	33
4.2.4 De Compressie-Permeabiliteitcel	35
4.2.5 Evaluatie en vergelijking van de testen	35
5 ONTWATERINGSSYSTEMEN	37
5.1 Inleiding	37
5.2 Systeemopzet	38
5.3 De zeefbandpers	41
5.3.1 Werking	41
5.3.2 Dimensionering	44
5.3.3 Instelbare parameters	44
5.3.4 Elektro-akoestisch ontwateren	45
5.4 De filterpers	45
5.4.1 Werking	45
5.4.2 Dimensionering	48
5.4.3 Ombouw van anorganische naar organische conditionering	48
5.4.4 Instelbare parameters	48
5.5 De ontwateringscentrifuge	49
5.5.1 Werking	49
5.5.2 Dimensionering	51
5.5.3 Instelbare parameters	51

5.6 Indikers	52
5.6.1 De gravitatie-indikker	53
5.6.2 De bandindikker	54
5.6.3 De indikcentrifuge	56
5.6.4 De trommelindikker	56
6 METING EN REGELING	58
6.1 Inleiding	58
6.2 Meetpunten	58
6.3 Meting en regeling van de indik- en ontwateringsapparatuur	58
6.4 Meting en regeling in de processtromen	60
7 OPTIMALISATIE VAN DE BEDRIJFSVOERING	63
7.1 Inleiding	63
7.2 Kostenbepalende parameters	63
7.3 Randvoorwaarden	64
7.4 Optimalisatie	65
7.4.1 De sliblijn vóór ontwatering	65
7.4.2 De conditionering	66
7.4.3 De apparatuur	68
7.4.4 De meting en regeling	69
7.4.5 De inzet van slibkarakteriseringsmethoden	69
8 TRANSPORT EN OPSLAG VAN ONTWATERD SLIB	70
8.1 Inleiding	70
8.2 Eigenschappen van ontwaterd slib	70
8.3 Aspecten van de verschillende systemen	71
9 ARBEIDSSOMSTANDIGHEDEN EN MILIEU	73
9.1 Inleiding	73
9.2 Stank	73
9.3 Overige aspecten	74
10 SYSTEEMKEUZE	76
11 LITERATUUR	79
BIJLAGE 1: Dimensionering van de zeefbandpers	84
BIJLAGE 2: Dimensionering van de centrifuge	85
BIJLAGE 3: Praktijkgegevens van zeefbandpersen	87
BIJLAGE 4: Praktijkgegevens van filterpersen	88
BIJLAGE 5: Praktijkgegevens van centrifuges	89
BIJLAGE 6: Relatie tussen kosten van poly-elektroliet en slibafzet	90
BIJLAGE 7: Voorbeelden van slibkarakteriseringsonderzoek	91

SAMENVATTING

Het handboek slibontwatering is onderdeel van het STOWA-onderzoeksprogramma "slibontwatering 1994-1998" voor zuiveringsslib van RWZI's. Het handboek geeft de huidige stand van de slibontwatering en dient als vraagbaak bij de systeemkeuze, het ontwerp en het verbeteren van de bedrijfsvoering.

De slibverwerkingsketen is het traject van onttrekking van slib uit de RWZI tot en met de afzet ervan. Op RWZI's komen verschillende slibsoorten met verschillende ontwateringseigenschappen vrij. Het slib wordt ingedikt, ontwaterd en vervolgens verder verwerkt of direct gestort. Storten van ontwaterd slib behoort steeds minder tot de mogelijkheden. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de eigenschappen van de verschillende soorten slib en de slibverwerkingsketen.

Voor de ontwatering is conditionering van het slib nodig om de ontwateringseigenschappen te verbeteren. Bij chemische conditionering wordt onderscheid gemaakt in conditionering met ijzer en kalk (anorganische conditionering) en conditionering met poly-elektrolieten (organische conditionering).

Anorganische conditionering wordt met name bij filterpersen toegepast. Het ontwaterd slib is goed stortbaar. Een nadeel van deze conditionering is dat de slibproductie toeneemt.

Poly-elektrolieten kunnen bij alle ontwateringssystemen worden toegepast. De aanmaak van poly-elektroliet kan op veel manieren worden uitgevoerd. Belangrijke aandachtspunten hierbij zijn de rijpingstijd en de uitvoering van de aanmaakeenheid.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de werking van de conditionering, de voor- en nadelen van de verschillende conditioneringsmiddelen, en de richtlijnen voor de dimensionering van de aanmaaksystemen.

De waterbinding en het verloop van het ontwateringsproces zijn in diverse theorieën en modellen beschreven. In de afgelopen tientallen jaren zijn verschillende methoden voor slibkarakterisering ontwikkeld. De parameters die met slibkarakterisering worden bepaald, zoals de specifieke filtratieweerstand, geven inzicht in de ontwaterbaarheid van het slib. Slibkarakterisering kan op laboratoriumschaal de benodigde poly-elektrolietdosering bepalen en knelpunten in de slibontwatering helpen opsporen.

Hoofdstuk 4 beschrijft de theorie van de waterafscheiding en de verschillende methoden voor slibkarakterisering.

Voor de slibontwatering zijn filterpersen, zeefbandpersen en centrifuges beschikbaar. Voorafgaand aan de ontwatering wordt het slib ingedikt met gravitatie-indikkers, centrifuges, bandindikkers of trommelindikkers. De indik- en ontwateringssystemen zijn vaak voorzien van meet- en regelapparatuur, die de optimale condities in stand moet houden.

In hoofdstuk 5 zijn de verschillende ontwateringssystemen beschreven, waarbij het einddrogestofgehalte, de conditionering, de capaciteit, het onderhoud en de bedrijfsvoering aan de orde komen. De meet- en regelsystemen zijn beschreven in hoofdstuk 6.

Bij veel slibontwateringsinstallaties zijn besparingen mogelijk door optimalisatie van de bedrijfsvoering. Optimalisatie moet vooral gericht zijn op het verhogen van het einddrogestofgehalte, omdat de afzetkosten meestal doorslaggevend zijn in de totale kosten. Aanpassing van de conditionering speelt hierbij een belangrijke rol. Slibkarakterisering is een goed hulpmiddel om snel en eenvoudig de mogelijkheden voor optimalisatie na te gaan. Hoofdstuk 7 beschrijft de mogelijkheden en de aanpak van optimalisatie.

Na ontwatering wordt het ontwaterd slib naar de slibopslag getransporteerd. De verschillende methoden voor transport en opslag zijn in hoofdstuk 8 beschreven.

De slibontwatering moet voldoen aan milieu- en veiligheidseisen. Aspecten als stank- en geluidhinder en omgang met chemicaliën komen in hoofdstuk 9 aan de orde.

Om een keuze voor de meest geschikte indik- en ontwateringsapparatuur in een bepaalde situatie te kunnen maken, moet een afweging worden gemaakt van de kwalitatieve aspecten en kosten. Kwalitatieve aspecten zijn onder meer bedrijfsvoering, milieu en veiligheid, onderhoud en capaciteit. In de kosten moeten de kosten van de apparatuur, de kosten van de bedrijfsvoering en de kosten van de afzet worden betrokken. Bepalend voor de keuze is onder meer de stevigheid van het ontwaterde materiaal (bij storten) en de wijze van bedrijfsvoering (continu/automatisch of met toezicht van personeel).

In hoofdstuk 10 is een vergelijking van de verschillende systemen opgenomen en zijn de aspecten die in de systeemkeuze een rol spelen aangegeven.

Het handboek wordt in hoofdstuk 11 afgesloten met een literatuurlijst.

1 INLEIDING

Zuiveringsslib is een afvalstof waarop het afvalstoffenbeleid van toepassing is. Dit beleid kent de prioriteiten:

- preventie,
- hergebruik,
- maximale volumereductie (verbranding),
- storten.

Preventie van slib is nauwelijks aan de orde. De invoering van defosfatering op RWZI's heeft juist tot een toename van de slibproductie geleid. Hergebruik en nuttige inzet van slib in de landbouw is nauwelijks nog mogelijk, als gevolg van de strenge kwaliteitseisen die aan slib worden gesteld. Storten van ontwaterd slib is over enige tijd niet meer mogelijk.

Er moet worden gestreefd naar een maximale volumereductie van het slib. Dit kan worden bereikt door verbranden van gedroogd of ontwaterd slib. De as wordt gestort of nuttig ingezet in bijvoorbeeld de (wegen)bouw.

De beperking van de afzetmogelijkheden en de stijgende kosten voor de afzet van slib hebben tot een grotere aandacht voor de slibontwatering geleid. In het traject van productie tot en met eindafzet, de slibverwerkingsketen, zijn indikking en ontwatering de eerste en tweede stap in de volumereductie.

De kosten van de slibontwatering zijn veel hoger dan die van de indikking. Bovendien werkt het einddrogestofgehalte van de ontwatering direct door op de mogelijkheden en kosten van de verdere verwerking. De ontwatering krijgt daarom meer aandacht dan de indikking.

Slibontwatering is een complex proces, waarvan de resultaten bepaald worden door een samenspel van slibeigenschappen, proces- en apparaatparameters. Kleine variaties hierin kunnen grote gevolgen hebben voor de werking van de ontwateringsinstallatie. Voor een goede slibontwatering is een goede conditionering van het slib essentieel.

Dit handboek biedt een bundeling van de beschikbare kennis van indikking en ontwatering op RWZI's, waarbij de nadruk wordt gelegd op de slibontwatering. Het handboek is gebaseerd op binnen- en buitenlandse literatuur en Nederlandse praktijkgegevens. Er wordt ingegaan op de systeemkeuze en het ontwerp van de verschillende systemen voor indikking, ontwatering en conditionering. Daarnaast neemt de optimalisatie van de bedrijfsvoering van de slibontwatering een belangrijke plaats in.

2 ALGEMENE ASPECTEN VAN ZUIVERINGSSLIB

2.1 Herkomst en eigenschappen van zuiveringsslib

Zuiveringsslib is een verzamelnaam voor de bezinkbare stoffen die als reststof overblijven bij het zuiveren van afvalwater. Het slib bestaat uit drogestofdeeltjes en water met daarin opgeloste stoffen. Het drogestofgehalte bedraagt vóór ontwatering ongeveer 1-5%. De drogestofdeeltjes zijn anorganisch en organisch van aard, en kunnen tot grotere eenheden aggregeren (slibvlokken).

In een RWZI komen afhankelijk van de onderdelen en de bedrijfsvoering verschillende slibsoorten vrij. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. De volgende slibsoorten kunnen worden onderscheiden:

- primair slib,
- secundair slib,
- tertiair slib,
- uitgestort slib,
- slib van deelstroombehandeling,
- chemisch slib.

Primair slib

De vaste delen in het influent bezinken in de voorbezinktank. Het bezinksel wordt het primair slib genoemd^[54]. Het bestaat voornamelijk uit zand- en kleideeltjes (anorganisch materiaal), cellulosevezels en andere organische reststoffen. Tevens bevat het slib micro-organismen die via het rioolstelsel worden aangevoerd (levend organisch materiaal). Een rooster en een zandvangster in de water- of sliblijn verminderen de hoeveelheid grof materiaal en zand in het slib. In het primair slib kan chemisch slib aanwezig zijn door voorprecipitatie.

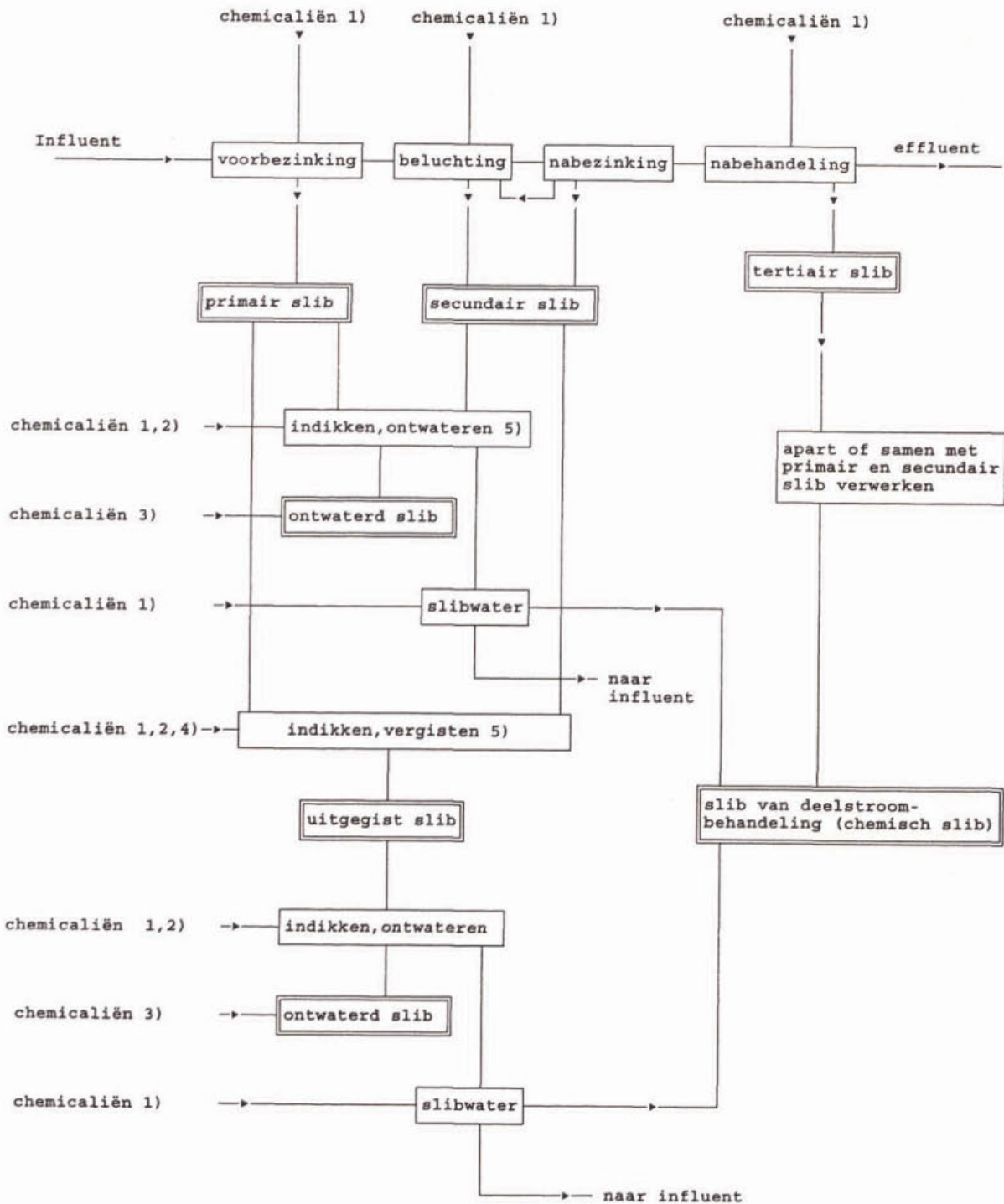
Het primair slib dat aan de voorbezinktank wordt onttrokken heeft een drogestofgehalte van 0,2-4%. Het organisch-stofgehalte (bepaald als gloeiverlies) daarin is in Nederland 60-75%^[49]. Primair slib is rotbaar (ontstaan van H_2S) en bevat veel pathogene micro-organismen, zodat het moet worden gestabiliseerd (bijvoorbeeld door gisting). Het slib heeft relatief goede ontwateringseigenschappen. Industrieel afvalwater kan de eigenschappen van het primair slib nadelig beïnvloeden. Zo kan afvalwater van vezelverwerkende industrieën tot lichte en volumineuze slibvlokken leiden^[2].

Secundair slib

Het afvalwater bevat voedingsstoffen zoals BZV, stikstof en fosfaat, die in de beluchtingstank door micro-organismen worden opgenomen. De micro-organismen zijn voornamelijk bacteriën, wormen en protozoa en vormen de basis van het secundair slib. Daarnaast bevat het slib zand- en kleideeltjes en vezels. De hoeveelheid hiervan is afhankelijk van de aanwezigheid van een rooster, zandvangster en voorbezinktank. Het secundair slib kan chemisch slib bevatten door simultane precipitatie.

In de nabezinktank wordt het slib van het gezuiverde water gescheiden. Het merendeel van het slib wordt naar de beluchting teruggevoerd (retourslib). Een klein gedeelte van het slib wordt aan het systeem onttrokken (spuislib). Het drogestofgehalte van het slib in de beluchting is 0,3-0,5% en in de aftap van de nabezinktank 0,4-1%. Het organisch-stofgehalte daarin bedraagt in Nederland 45-75%, afhankelijk van simultane precipitatie.

Sommige bacteriën in het slib produceren exocellulair materiaal dat bruggen tussen de bacteriën vormt^[34]. De bacteriën zijn bolvormig of draadvormend. Samen met hogere organismen en dood materiaal vormen ze vlokken. Bij een overmaat aan draadvormende bacteriën ontstaan volumineuze slibvlokken die relatief moeilijk zijn te ontwateren^[2].



- 1) Chemicaliëndosering voor de precipitatie van fosfaat.
- 2) Chemicaliëndosering voor de conditionering van slib.
- 3) Chemicaliëndosering voor het verbeteren van de stortbaarheid van het ontwaterd slib.
- 4) Chemicaliëndosering voor de binding van H_2S .
- 5) Gezamenlijke of gescheiden behandeling van primair en secundair slib.

Figuur 1: Mogelijke slibstromen bij RWZI's.

De samenstelling van het secundair slib is afhankelijk van de influentsamenstelling, de bedrijfsvoering van het zuiveringsproces en het jaargetijde (watertemperatuur)^[2]. Een lage concentratie aan makkelijk opneembare voedingsstoffen en/of een lage zuurstofconcentratie in de beluchting bevorderen het ontstaan van draadvormende bacteriën. Indien slib te lang onder endogene (zeer voedselarme) omstandigheden verblijft, wordt extracellulair materiaal afgebroken, waardoor de slibvlokken desintegreren. Bij een lage slibbelasting is het slib gemineraliseerd (hoog asgehalte). Slib van een hoogbelaste RWZI heeft een grote organische fractie en moet worden gestabiliseerd (vergist). In de zomer is het secundair slib door de hogere temperatuur vaak verder gemineraliseerd (hoger asgehalte) dan in de winter. Een hoog asgehalte heeft vaak een gunstig effect op de ontwaterbaarheid van slib^[79].

Het stikstofgehalte in slib bedraagt 4-6% van de drogestof. Het fosfaatgehalte in biologisch slib bedraagt zonder biologische defosfatering 1-2%. Bij biologische defosfatering wordt door fosfaataccumulerende bacteriën extra fosfaat opgeslagen, waardoor het fosfaatgehalte tot 3-5% toeneemt. In de slibverwerking kunnen stikstof en fosfaat uit het slib vrijkomen, waardoor stikstof- en fosfaatrijke interne stromen ontstaan^[50,52,53]. Met deze stromen moet in de capaciteit van het zuiveringsproces rekening gehouden worden.

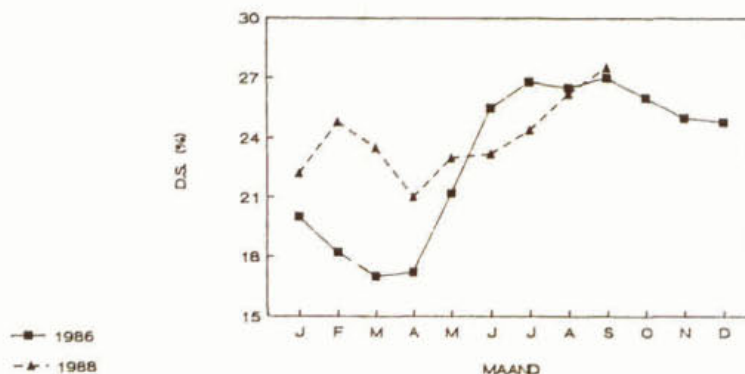
Secundair slib is over het algemeen minder goed ontwaterbaar dan primair en uitgegist slib^[2].

Tertiair slib

Het effluent kan voor een verdere verwijdering van zwevende stof, nutriënten en microverontreinigingen in een tertiaire stap worden nabehandeld (bijvoorbeeld in zandfilters). Het slib dat hierbij ontstaat wordt meestal met andere slibben gemengd en verwerkt. In het tertiair slib kan chemisch slib aanwezig zijn als gevolg van precipitatie in de nabehandeling.

Uitgegist slib

In de gisting wordt 20-50% van de organische stof in het slib afgebroken^[55,56]. In het uitgegist slib kan chemisch slib aanwezig zijn, afkomstig van voor-precipitatie, simultane precipitatie, na-precipitatie of chemicaliëndosering in de gisting. Het uitgegist slib heeft een drogestofgehalte van 3-5%. Het organisch-stofgehalte daarin bedraagt 30-60%. Over het algemeen is uitgegist slib relatief goed ontwaterbaar. Een hoog gehalte aan primair slib in de slibgisting is gunstig voor de ontwatering van het uitgegist slib^[2]. In de loop van de tijd kunnen de ontwateringsresultaten veranderen. Figuur 2 geeft een voorbeeld van het verloop in de tijd van het drogestofgehalte na ontwatering^[64].



Figuur 2: Voorbeeld van het verloop van het einddrogestofgehalte van uitgegist slib (maandgemiddelden).

Slib van deelstroombehandeling

Het slib dat bij precipitatie van slibwater van de indikking of ontwatering ontstaat, is voornamelijk chemisch slib. Daarnaast bevat het slib drogestofdeeltjes die in het slibwater aanwezig zijn en door de chemicaliën worden ingevangen. Het slib wordt meestal met andere slibben gemengd en verwerkt.

Chemisch slib

Bij chemicaliëndosering ontstaat chemisch slib. Het chemisch slib is in één of meerdere van de hierboven genoemde slibben aanwezig.

Voor chemicaliëndosering zijn verschillende soorten chemicaliën in gebruik, zoals ijzerchloride, calciumhydroxide en aluminiumsulfaat. Dit resulteert in verschillende soorten chemisch slib met verschillende ontwateringseigenschappen. IJzerhoudend en kalkhoudend slib zijn makkelijker te ontwateren dan aluminiumhoudend slib^[48,87].

2.2 De slib-waterbinding

Een slibvlok bestaat uit drogestofdeeltjes en water. Het water in een slibvlok kan worden onderscheiden in vrij water, colloïdaal gebonden water, capillair gebonden water en cellulair water. In figuur 3 is dit schematisch weergegeven.

Vrij water

Water dat geen binding heeft met de vaste stof is vrij water. Het vult de ruimten tussen de drogestofdeeltjes. De verwijdering van vrij water kost relatief weinig kracht en energie. Een gedeelte van het vrije water kan door zwaartekracht worden afgescheiden.

Colloïdaal gebonden water

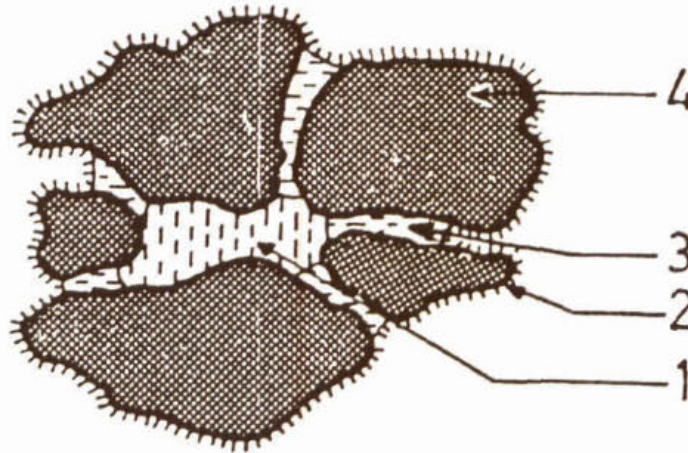
Zuiveringsslib bevat grote hoeveelheden gesuspendeerde stoffen en colloïden. Deze deeltjes hebben vanwege hun relatief grote oppervlak en lading een groot waterbindend vermogen. De afscheiding van colloïdaal gebonden water vereist een grote mechanische kracht.

Capillair gebonden water

Het capillair gebonden water bevindt zich tussen de drogestofdeeltjes. Hoe kleiner de deeltjes des te groter de capillaire krachten. Op moleculaire schaal houden deeltjes bovendien een laag adsorptiewater vast, maar dit is geen belangrijke hoeveelheid. Voor de afscheiding van capillair gebonden water zijn grote mechanische krachten vereist. Het adsorptiewater kan alleen thermisch worden afgescheiden.

Cellulair gebonden water

De drogestofdeeltjes bestaan uit organisch en anorganisch materiaal. Het cellulair water is het water in de cellen van de organismen. Dit water kan niet door mechanische kracht worden afgescheiden. Hiertoe is een verstoring van de celwand nodig, bijvoorbeeld door verhitting.



Figuur 3: Water in slib.

- 1: vrij water;
- 2: colloïdaal gebonden en geadsorbeerd water;
- 3: capillair gebonden water;
- 4: cellulair gebonden water;

De binding van water in het slib kan experimenteel worden bepaald aan de hand van droogcurven^[13,18,60]. In het begin van het droogproces wordt vrij water verdampt en daarna vindt verdamping van gebonden water plaats. De overgang van vrij naar gebonden water ligt ongeveer bij 66% drogestof en is onafhankelijk van de slibsoort en de dosering van conditioneringsmiddel.

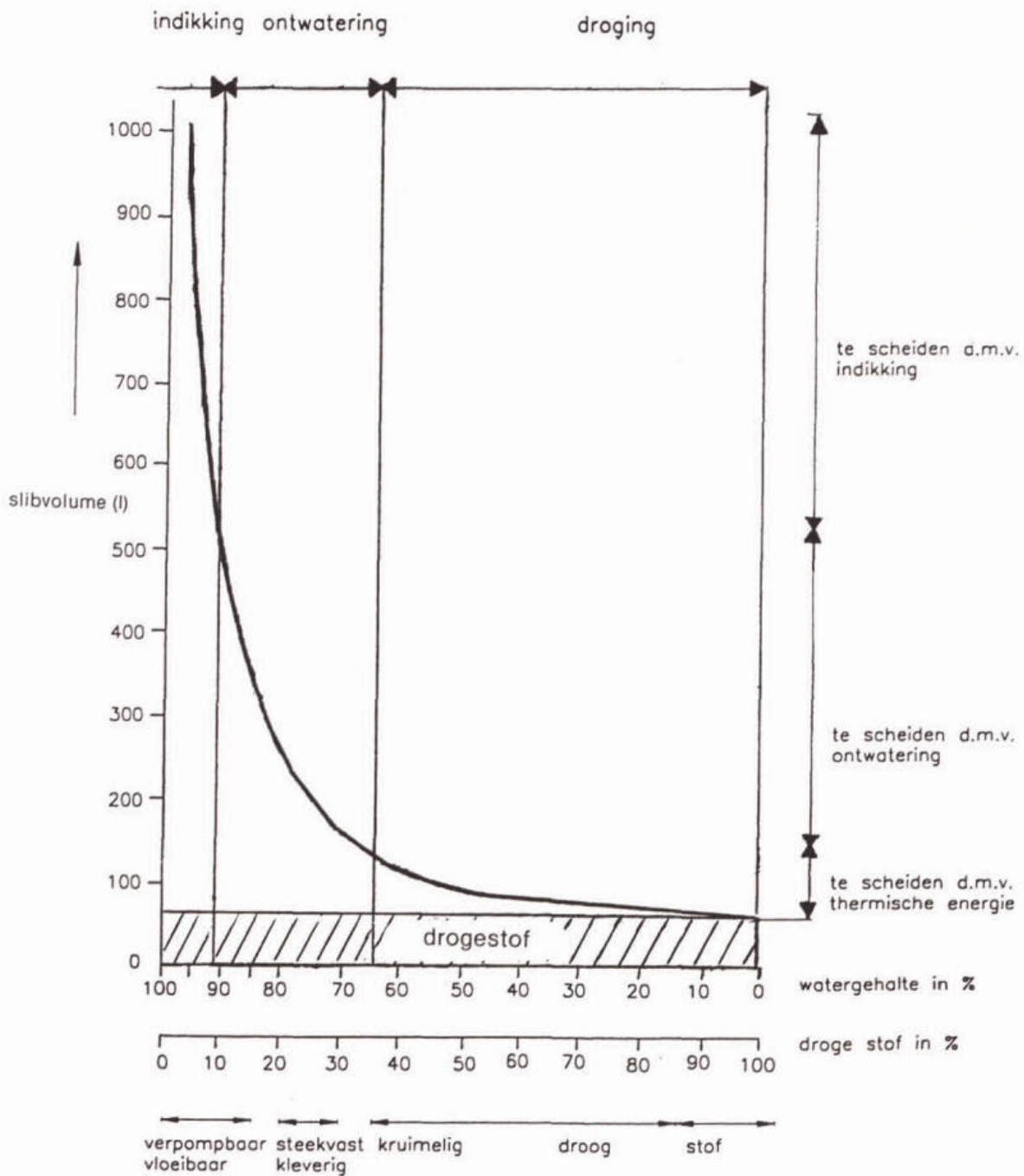
In een mechanisch ontwateringsproces is al het vrije water in principe te verwijderen. Het theoretisch te bereiken drogestofgehalte bedraagt dus 66%. In de praktijk worden met mechanische ontwateringsapparatuur echter drogestofgehalten bereikt van 20 tot 35%. Een deel van het vrije water wordt blijkbaar niet verwijderd. Dit is toe te schrijven aan verdichting van het slib (koekvorming), waardoor een deel van het water wordt ingesloten en moeilijk te verwijderen is.

Figuur 4 geeft schematisch de waterafscheiding weer die met indikking, ontwatering en thermische behandeling kan worden verkregen.

De energie die wordt verbruikt voor de afscheiding van water bedraagt als volgt^[23]:

- bij indikken 0,05-0,075 MJ/m³ water;
- bij mechanisch ontwateren 10-20 MJ/m³ water;
- bij thermische behandeling 4.500-5.000 MJ/m³ water.

Energetisch gezien is de gunstigste volgorde derhalve indikken, mechanische ontwatering en thermische behandeling (drogen, verbranden).



Figuur 4: Waterafscheiding bij indikking, mechanische ontwatering en thermische behandeling.

2.3 De slibverwerkingsketen

Zuiveringsslib moet worden bewerkt voor een vermindering van het volume, een beperking van de geur en een betere hygiëne. In figuur 5 zijn de bewerkingstechnieken en de mogelijkheden voor de afzet van zuiveringsslib weergegeven^[28,59,65,72,82]. De technieken zijn gebaseerd op de verwijdering van water en/of organische stof.

Stabilisatie

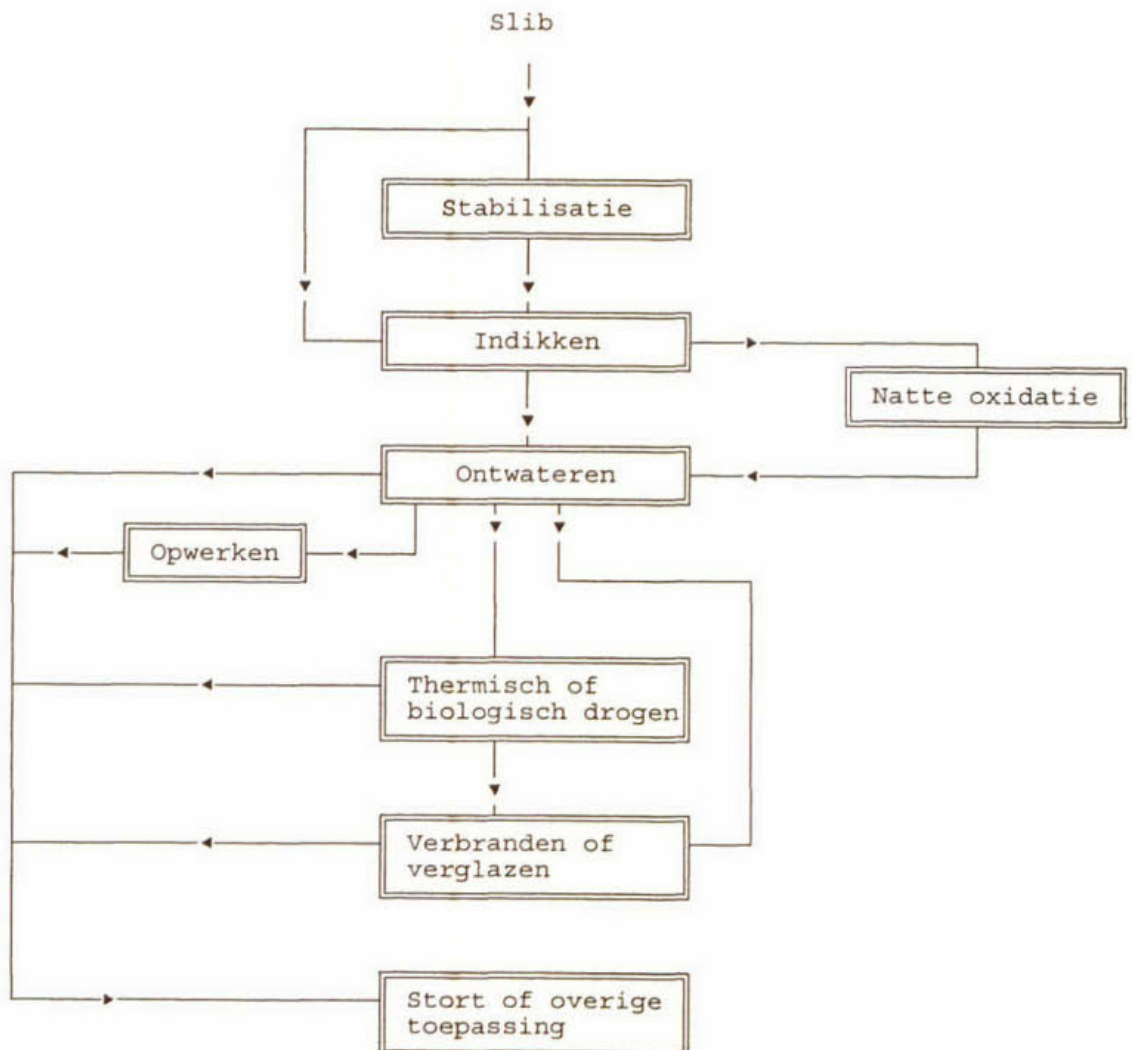
Stabilisatie heeft tot doel stank bij de verdere verwerking van het slib te beperken en ziekteverwekkende organismen te doden. Stabilisatie kan aëroob of anaëroob plaatsvinden. In het stabilisatieproces wordt organische stof afgebroken, zodat de rotbaarheid van het slib vermindert. Bij anaëroobe stabilisatie (gisting) wordt hierbij methaangas geproduceerd dat kan worden gebruikt als energiebron. Aëroobe stabilisatie in aparte beluchte bakken wordt in Nederland beperkt toegepast.

Indikken

Een gedeelte van het water in het slib heeft geen binding met de slibdeeltjes (vrij water). Slibindikking heeft tot doel dit water zoveel mogelijk te verwijderen. De methoden voor indikking zijn:

- gravitatie-indikking;
- mechanische indikking met een bandindikker, centrifuge of zeftrommel;
- flotatie-indikking onder invloed van aan de slibvlok gehechte gedispergeerde gasbellen.

Met gravitatie-indikking wordt primair slib tot 4-7% en secundair slib tot 2-4% ingedikt. Met mechanische indikking worden primair en secundair slib tot 5-8% ingedikt. Het bereikte drogestofgehalte bij flotatie-indikking bedraagt 2,5-7%, mede afhankelijk van de dosering van poly-elektroliet.



Figuur 5: Slibbewerkingstechnieken en afzetkanalen.

Ontwateren

Slibontwatering wordt toegepast voor volumereductie en de verdere verwerking van het slib. Slibontwatering wordt meestal voorafgegaan door stabilisatie en/of indikking. Er wordt onderscheid gemaakt in natuurlijke en mechanische ontwatering.

Bij de natuurlijke ontwatering wordt gebruik gemaakt van droogbedden of lagunes. Dit wordt vrijwel niet meer toegepast vanwege milieuhygiënische bezwaren (stank), het ruimtebeslag, de beperkte beheersbaarheid van het proces en de verontreiniging van het slib met zand en plantenresten.

Bij mechanische ontwatering vindt de ontwatering met zeefbandpersen, centrifuges, filterpersen of vacuümfilters plaats. Vóór ontwatering wordt het slib geconditioneerd, waarvoor vaak poly-elektrolieten worden gebruikt. Bij de ontwatering wordt een drogestofgehalte verkregen van 20-35%. Drogestofgehalten groter dan 35% kunnen alleen met filterpersen worden bereikt in combinatie met anorganische conditioneringsmiddelen (ijzer, kalk) of thermische conditionering. Bij anorganische conditionering neemt de slibproductie toe door de vorming van chemisch slib.

Na ontwatering wordt het slib naar de stortplaats afgevoerd of verder verwerkt.

Drogen

Voor het drogen van ontwaterd slib zijn thermische en biologische technieken beschikbaar. Bij thermisch drogen wordt het slib gedroogd door direct of indirect contact met een warm medium, bijvoorbeeld hete lucht (direct) of thermische olie (indirect). De temperatuur van de warmtebron is 100-500 °C. Het gedroogde slib heeft een drogestofgehalte van 70-95%.

Bij biologisch drogen zoals composteren wordt organisch materiaal afgebroken door thermofiele aërobe micro-organismen. Bij dit proces ontstaat warmte die tot een temperatuurverhoging leidt, waardoor water verdampt. Voor een goed verlopend proces is een temperatuur van 55-70 °C nodig. Het gedroogde slib heeft een drogestofgehalte van 60-70%. Afhankelijk van het droogstelsel worden toeslagstoffen gebruikt, die gedeeltelijk in het eindproduct terechtkomen.

Verbranden en verglazen

Verbranden van slib is het verdampen van water en oxideren van de organische fractie. De as resteert. Er kan onderscheid worden gemaakt in etage-ovens en wervelbedovens. Bij etage-ovens kan ontwaterd slib worden ingevoerd, waarbij de droging in de oven plaatsvindt. Bij een wervelbedoven is de invoer gedroogd slib of gedeeltelijk gedroogd slib.

De verbranding verloopt in verschillende fasen. Bij temperaturen tot ongeveer 150 °C verdampt het water. Deze fase is bij invoer van gedroogd slib niet nodig. Bij toenemende temperatuur (100 tot 700 °C) treedt vergassing op, waarbij vluchtige vergassingsproducten vrijkomen en de as overblijft. De vergassingsproducten worden bij een temperatuur van 750 tot 900 °C verbrand tot CO₂ en waterdamp. In een wervelbedoven verlopen deze processen zo snel, dat geen scheiding tussen de processen waarneembaar is.

Als de verbranding van slib voldoende warmte levert voor de verdamping van het slibwater en de warmteverliezen van de installatie is sprake van autotherme verbranding. Voor autotherme verbranding moet het drogestofgehalte van het slib minimaal 25-35% bedragen, afhankelijk van de verbrandingswaarde van de slibdrogestof en de warmteterugwinning in het toegepaste verbrandingssysteem^[57]. Uitgegist slib heeft over het algemeen een lagere verbrandingswaarde dan primair en secundair slib.

Verglazen is het verbranden van slib bij zeer hoge temperatuur (1200-1600 °C), waarbij de asresten worden gesmolten. Bij deze hoge temperaturen verdampen de vluchtige metalen en ontstaat een slak waarin de overblijvende metalen zijn geïmmobiliseerd.

Natte oxidatie

Natte oxidatie is het oxideren van de organische fractie van slib in de waterfase. Het proces wordt onder hoge druk (4-12 MPa) en hoge temperatuur (250 °C) uitgevoerd. De resterende as moet worden ontwaterd. De oxidatie is in de praktijk nooit volledig, zodat het afgescheiden water stikstof en organische verbindingen bevat en moet worden gezuiverd.

Eindafzet

De afzet van slib van RWZI's in de landbouw vindt vanwege BOOM (Besluit gebruik Overige Organische Meststoffen) vrijwel niet meer plaats in Nederland. Industrieel zuiverings-slib wordt soms nog in de landbouw afgezet.

In geval van storten wordt voor ontwaterd slib vaak uitgegaan van een drogestofgehalte van minimaal 35-40%^[35,44]. Het drogestofgehalte op zich is niet altijd maatgevend voor de acceptatie op de stortplaats. Soms kan het slib bij een drogestofgehalte van 20% al zo stevig van structuur zijn, dat toelating op een stort mogelijk is^[31]. De stortbaarheid van ontwaterd slib kan worden verbeterd door toeslagstoffen zoals kalk. In het Ontwerp-besluit Stortverbod Afvalstoffen is een stortverbod afgekondigd voor zuiverings-slib, waarin wordt gesteld dat het vanaf het jaar 2000 verboden wordt slib onverwerkt op een stortplaats te brengen. Ook residuen van slibverwerkingsinstallaties met een organisch-stofgehalte hoger dan 10% *mogen niet op een stortplaats komen*. Voor bestaande slibverwerkingsinstallaties (composteren, thermisch drogen) is een overgangperiode van maximaal 5 jaar opgenomen^[26,28]. Bij een algemene maatregel van bestuur kan vrijstelling worden verleend van het verbod^[10].

Slib kan worden gecomposteerd of worden opgewerkt voor gebruik als zwarte grond. Compost en zwarte grond moeten voldoen aan de BOOM-norm. Slib kan worden meege-stookt in cement- of energiecentrales. Slibresiduen (slakken) kunnen worden toegepast in de wegenbouw.

3 SLIBCONDITIONERING

3.1 Inleiding

Voor de mechanische indikking en ontwatering moet het slib worden geconditioneerd^[3,5,22,25,46,48,59,61,81]. Door conditionering verbeteren de ontwateringseigenschappen van het slib. Er zijn fysische en chemische conditioneringsmethoden.

Fysische conditionering

Bij fysische conditionering wordt onderscheid gemaakt in thermische conditionering en conditionering met toeslagmaterialen.

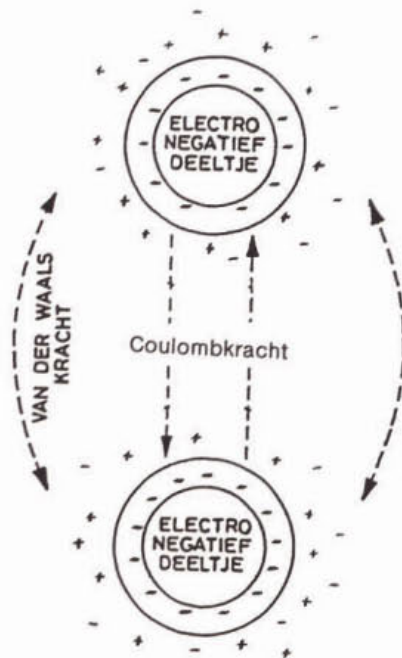
Bij thermische conditionering worden de cellen van de organismen in het slib door verhitting of bevriezing vernietigd, waardoor het intracellulaire water kan worden verwijderd. Dit leidt tot sterk verontreinigd slibwater (CZV, N, P), dat bij terugvoer in het zuiveringsproces voor een extra belasting zorgt.

Toeslagmaterialen vormen in het slib een drukbestendige structuur, waardoor de ontwatering verbetert. Voorbeelden van toeslagmaterialen zijn as en kiezelgranulaat.

De fysische conditionering wordt in Nederland beperkt toegepast. Deze methode zal niet verder worden uitgewerkt.

Chemische conditionering

De deeltjes in slib hebben meestal een negatieve elektrische lading. Deze oppervlaktelading veroorzaakt een ladingsverdeling om het deeltje. Op de deeltjes werkt een afstotende elektrostatische kracht (Coulombkracht) en een aantrekkende massakracht (Van der Waals kracht). De afstotende kracht is vaak groter dan de aantrekkende kracht. In figuur 6 is dit weergegeven.



Figuur 6: Twee slibdeeltjes en de bijbehorende krachten.

Bij chemische conditionering worden anorganische en/of organische chemicaliën aan het slib toegevoegd, die de lading van de slibdeeltjes verminderen. Hierdoor klonteren de slibdeeltjes samen (Van der Waals-krachten), waardoor het slib minder water kan vasthouden. Bij negatief geladen deeltjes moeten de toegevoegde chemicaliën een positieve lading hebben.

De chemische conditionering kan met anorganische en organische chemicaliën worden uitgevoerd. In paragraaf 3.2 wordt de anorganische conditionering uitgewerkt. De conditionering met organische chemicaliën (poly-elektrolyten) komt in paragraaf 3.3 aan de orde.

3.2 Anorganische conditionering

Anorganische conditionering vindt voornamelijk plaats bij filterpersen, waarbij een combinatie van verbindingen van ijzer en calcium wordt toegepast. Bij filterpersen met poly-elektrolytdosering heeft ijzer een gunstig effect op de koeklossing. Soms wordt ijzer bij andere ontwateringsapparatuur als voorconditionering toegepast (§ 3.3.9).

Door anorganische conditionering met ijzer en calcium neemt de drogestofproductie toe, hetgeen de kosten voor de afzet van slib verhoogd. Om extra slibproductie te voorkomen wordt steeds vaker overgegaan op organische conditionering (§ 5.4.3).

3.2.1 Werking

De conditionering met verbindingen van ijzer en calcium berust op coagulatie en flocculatie. In figuur 7 is dit schematisch weergegeven, waarbij is uitgegaan van FeCl_3 en Ca(OH)_2 . Het proces verloopt als volgt.

Coagulatie

Coagulatie is de destabilisatie (neutralisatie) van de geladen slibdeeltjes, die door toevoeging van ijzer kan worden gerealiseerd.

Slib heeft een pH van ongeveer 7. Na dosering van FeCl_3 daalt de pH. Bij een pH van 3-5 ontstaan twee- en driewaardige ijzerhydroxidecomplexen, die verbindingen met de negatief geladen slibdeeltjes aangaan. De slibdeeltjes worden geneutraliseerd. Er ontstaan slibvlokken met een zeer ijle structuur. Voor verdere afscheiding van deze slibvlokken is flocculatie nodig.

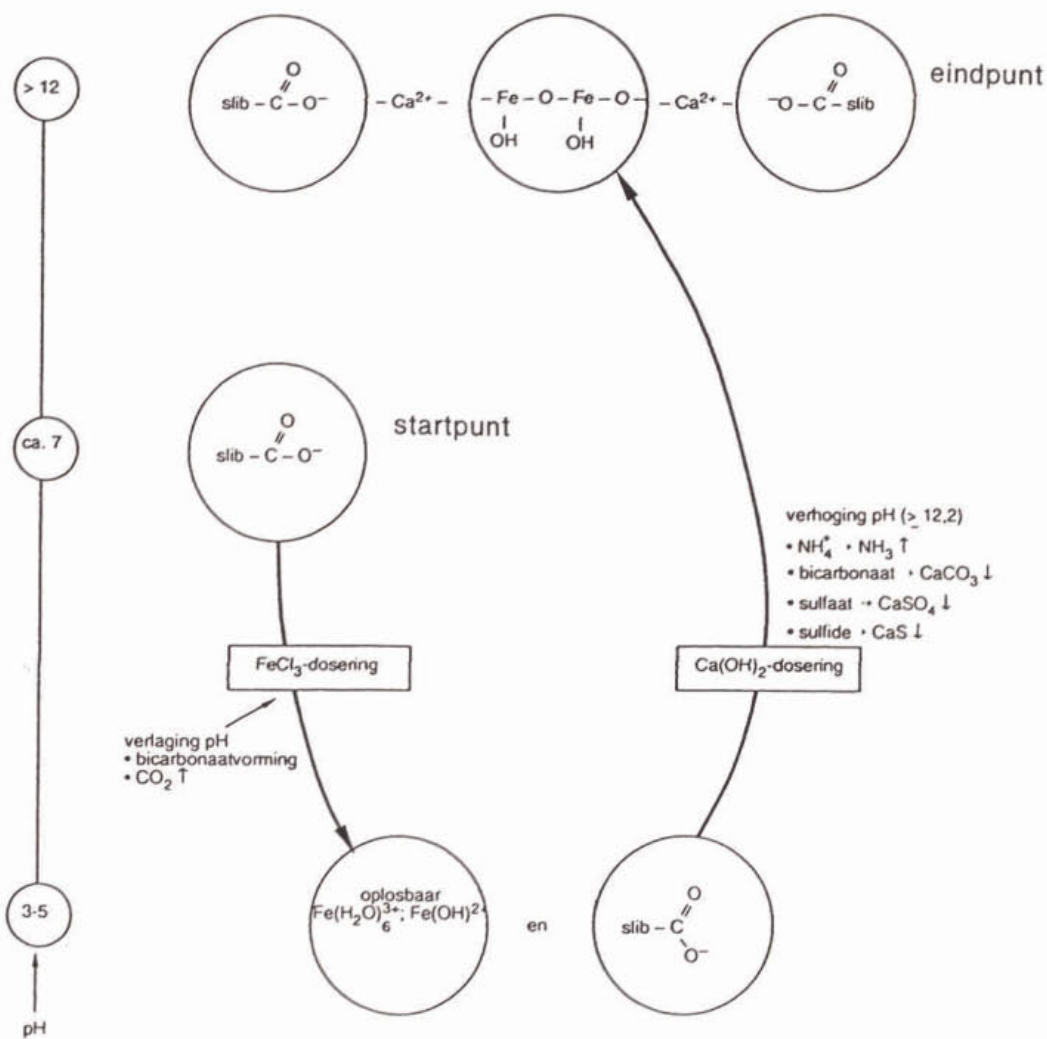
Flocculatie

Flocculatie is de vorming van stevige en grote slibvlokken, die door toevoeging van calcium wordt gerealiseerd.

Dosering van calcium verhoogt de pH. Bij een pH van 12 of hoger splitsen de ijzerhydroxidecomplexen water af en worden negatief geladen. Door absorptie van Ca^{2+} aan het ijzerhydroxidecomplex en de negatief geladen slibdeeltjes ontstaat een stevige slibvlok. Voor een goede vlokvorming is menging van het slib nodig. De pH-verhoging heeft tot gevolg dat calciumneerslagen in de slibkoek achterblijven en ammoniak ontwijkt. Een neerslag van Ca(OH)_2 heeft een gunstig effect op de structuur van de slibkoek. De slibkoek wordt minder samendrukbaar, hetgeen de ontwaterbaarheid bevordert. Neerslagen van CaCO_3 en CaSO_4 hebben een negatieve invloed op de ontwateringseigenschappen van het slib.

Bij een pH kleiner dan 11,5 worden kwetsbare slibvlokken gevormd die slecht bestand zijn tegen mechanische krachten.

De doseerverhouding bedraagt 30-60 g FeCl_3 /kg ds en 200-400 g Ca(OH)_2 /kg ds^[59]. De slibproductie als drogestof kan met ongeveer 40-80% toenemen.



Figuur 7: Conditionering met ijzer(III)chloride en calciumhydroxide.

3.2.2 Chemicaliën

IJzerzouten

Voor de coagulatie kunnen verschillende ijzerhoudende chemicaliën worden gebruikt. Ook het ijzer in ijzerhoudend drinkwaterslib kan na opwerking worden gebruikt^[29,95]. De belangrijkste handelsproducten van ijzer zijn de volgende.

IJzer(III)chloride (FeCl_3):

- aanvoer in vloeibare vorm (33 of 41 gewichtsprocenten) per tankauto;
- pH van de oplossing < 1; vriespunt $-12\text{ }^\circ\text{C}$.

IJzer(II)chloride (FeCl_2):

- aanvoer in vloeibare vorm (23 gew.%) per tankauto;
- pH van de oplossing < 1; vriespunt $-10\text{ }^\circ\text{C}$.

IJzerchloridesulfaat (FeClSO_4):

- aanvoer in vloeibare vorm (41 gew.%) per tankauto;
- pH van de oplossing < 1; vriespunt $-50\text{ }^\circ\text{C}$.

IJzer(II)sulfaat (FeSO_4):

- aanvoer in vaste vorm in bulk;
- bereiden van een oplossing in een oplosbunker; pH van de verzadigde oplossing ongeveer 2; vriespunt van de oplossing $-2\text{ }^\circ\text{C}$.

IJzer(III)sulfaat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

- aanvoer in vloeibare vorm (42 gew.%) per tankauto;
- pH van de oplossing 1,5; vriespunt $-15\text{ }^\circ\text{C}$.

Bij lage temperaturen kunnen ijzer(II)sulfaat en ijzerchloride uitkristalliseren. Dit kan worden tegengegaan door de chemicaliën te verdunnen of de opslagtanks en de leidingen te verwarmen. Voor de aanmaak van de ijzer(II)sulfaatoplossing is een oplosbunker nodig. Driewaardig ijzer is effectiever dan tweewaardig ijzer.

In de praktijk wordt voor de coagulatie voornamelijk gebruik gemaakt van ijzer(III)chloride^[63,48,85]. Bij conditionering met poly-elektrolyet wordt ijzerchloride gebruikt om de koeklossing te verbeteren. De dosering vindt plaats in een vat met een menger of direct in de slibleiding. Vóór dosering vindt vaak verdunning plaats, om de menging van de oplossing met slib te verbeteren. Bij dosering vóór de slibvoedingspomp kan extra menging van poly-elektrolyet met slib in de pomp plaatsvinden. Daarnaast bestaat echter het risico van vlokbeschading in de pomp. Bij ijzerdosering moet rekening worden gehouden met aantasting van de leidingen en de ontwateringsapparatuur.

Calciumhydroxide

De voor de flocculatie benodigde pH-verhoging zou met andere chemicaliën dan calciumhydroxide kunnen worden bewerkstelligd, bijvoorbeeld met natronloog. Andere chemicaliën dan calciumhydroxide worden echter niet toegepast, omdat calcium zowel een pH-verhoging als brugvorming tussen de slibdeeltjes tot gevolg heeft. Calciumhydroxide wordt in de vorm van kalkmelk aan het slib gedoseerd.

De volgende leveringsvormen worden onderscheiden^[51].

Ongebluste kalk (CaO):

- aanvoer in vaste vorm per tankauto;
- bereiden van kalkmelk in een blusinstallatie.

Gebliste kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$):

- aanvoer in vaste vorm per tankauto;
- bereiden van kalkmelk door verdunning.

Kalkmelk:

- oplossing/suspensie van 15-40% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in water;
- aanvoer per tankauto.

Ongebluste kalk kan tot één jaar en gebliste kalk tot maximaal 6 maanden worden bewaard. Contact met water en kooldioxide heeft een negatieve invloed op de kwaliteit van de ongebluste en gebliste kalk^[48,45]. Bij langdurig contact met CO_2 (lucht) wordt calciumcarbonaat gevormd dat slecht in water oplost.

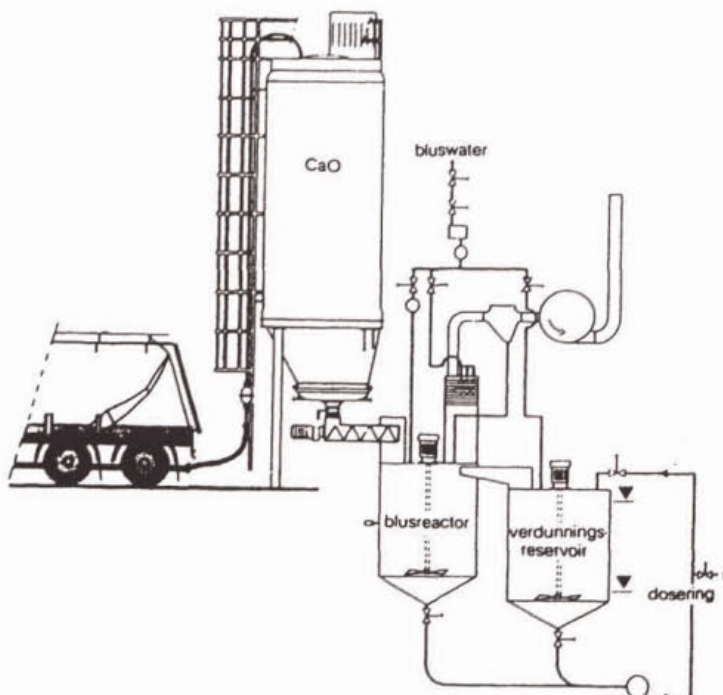
Bij kalkmelk kan bezinking optreden, zodat de kalkmelk in suspensie moet worden gehouden.

Ongebluste kalk wordt in een blusinrichting opgelost tot kalkmelk. In figuur 8 is de blusinrichting weergegeven. De blusreactie duurt ongeveer 40 minuten^[45]. Een lange blustijd vergroot de kans op vorming van CaCO_3 door inslaan van CO_2 tijdens menging. Bij het blussen komen aerosolen en dampen vrij die de ontstane producten (Ca(OH)_2) meevoeren. De blusinrichting is gesloten en voorzien van afzuiging en een filter voor de reiniging van de dampen.

Voor het verkrijgen van kalkmelk uit vaste gebluste kalk is een oplosinstallatie nodig. De gemiddelde verblijftijd in het oplosvat is ongeveer 13 minuten^[45]. Bij een grote verblijftijd is er kans op afzetting van kalk in de pompen en leidingen^[27]. Er zijn geen voorzieningen nodig tegen hoge temperaturen zoals die bij het blussen van ongebluste kalk optreden.

De kalkmelk wordt, eventueel na verdunning, in een vat met slib gemengd of direct in de sibleiding gedoseerd. Het doseerpunt voor kalkmelk bevindt zich benedenstrooms van het doseerpunt voor ijzer. Ook bij dosering van kalkmelk kan in de slibvoedingspomp extra menging of juist vlokbeschadiging optreden.

Per eenheid calcium heeft ongebluste kalk de laagste inkoopprijs. Er moet wel geïnvesteerd worden in blusapparatuur. Als richtlijn kan worden aangehouden dat bij een verbruik van 100 à 200 ton product per jaar de directe inkoop van kalkmelk voordeliger is. Bij een verbruik van 200 à 500 ton per jaar is gebluste kalk voordeliger. Bij een verbruik van meer dan 500 ton per jaar is het meestal lonend om blusapparatuur te installeren^[51].



Figuur 8: Blusinrichting voor de aanmaak van kalkmelk.

3.3 Organische conditionering

Organische conditionering is de conditionering met organische poly-elektrolieten. Dit zijn macromoleculen van poly-aminen of poly-acrylamiden. De macromoleculen zijn opgebouwd uit lange ketens monomeren met actieve groepen. De ketens kunnen tot 100.000 monomeren bevatten^[86,94]. In figuur 9 zijn voorbeelden van poly-elektrolieten gegeven^[1].

Door variaties in de soort en lengte van de monomeren en de ladingsgroepen ontstaan verschillende typen poly-elektrolieten. Poly-elektrolieten kunnen bij alle indik- en ontwateringssystemen worden toegepast.



Figuur 9: Voorbeelden van poly-elektrolieten.

3.3.1 Werking

Bij de werking van poly-elektrolieten worden twee processen onderscheiden, namelijk coagulatie en flocculatie^[48,86]. Het proces verloopt als volgt.

Coagulatie

Coagulatie is de destabilisatie van de geladen slibdeeltjes, die wordt veroorzaakt door adsorptie van poly-elektroliet aan de slibdeeltjes. In figuur 10 is dit proces geschematiseerd, waarbij is uitgegaan van negatieve slibdeeltjes.

Tussen de geladen groepen van het poly-elektroliet en de geladen slibdeeltjes ontstaan verbindingen. De verbindingen zorgen voor de vorming van stevige micro-vlokken. Poly-elektrolieten met een laag molecuulgewicht zijn relatief goed geschikt voor coagulatie.

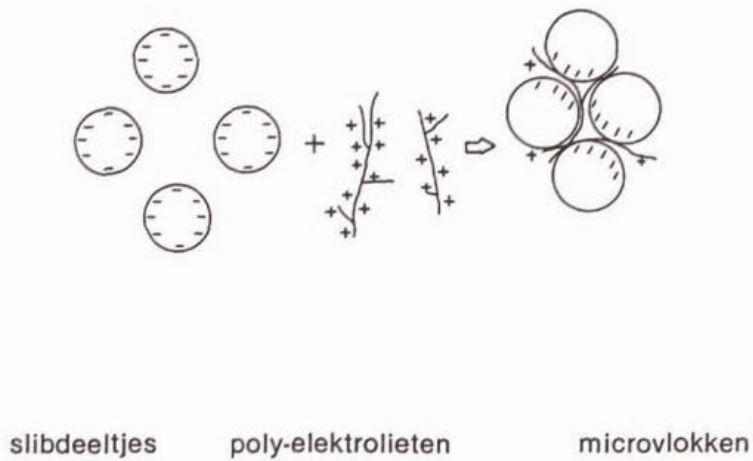
Flocculatie

Flocculatie is de samenklontering van de gedestabiliseerde slibdeeltjes met poly-elektroliet tot grotere vlokken. In figuur 11 is dit proces schematisch weergegeven.

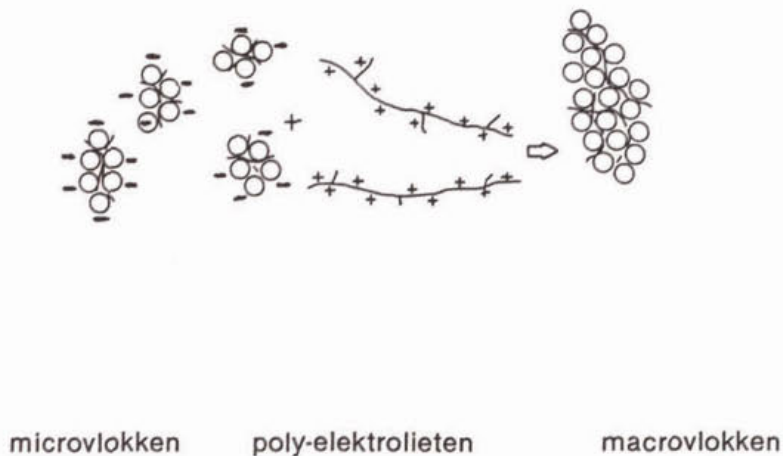
De gedestabiliseerde deeltjes worden met elkaar in contact gebracht (menging), waardoor macrovlokken ontstaan. De poly-elektrolieten zorgen hierbij voor brugvorming. Flocculatie treedt vooral op bij poly-elektrolieten met een hoog molecuulgewicht.

De grootte van de vlokken is afhankelijk van de aard van de deeltjes, de temperatuur, de pH en het zoutgehalte^[86,94].

Bij dosering van één poly-elektroliet zullen zowel coagulatie als flocculatie optreden. De mate waarin deze processen optreden, wordt bepaald door het type poly-elektroliet.



Figuur 10: Coagulatie of destabilisatie van slibdeeltjes.

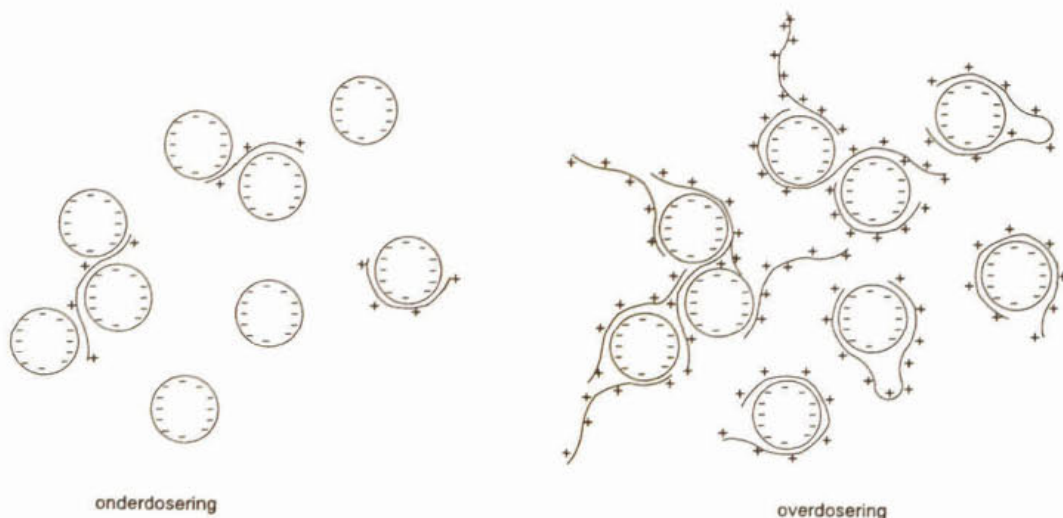


Figuur 11: Flocculatie of vlokvorming van gedestabiliseerde slibdeeltjes.

Onder- en overdosering

In figuur 12 zijn de mechanismen van onder- en overdosering schematisch weergegeven. In geval van onderdosering zijn alle ladingsgroepen van het poly-elektroliet bezet. De vrije negatieve slibdeeltjes kunnen niet allemaal worden ingevangen.

Bij een overdosering van poly-elektroliet ontstaan slibvlokken met teveel poly-elektroliet. Een aantal positieve ladingsgroepen van het poly-elektroliet wordt niet ingenomen door negatief geladen slibdeeltjes, omdat alle slibdeeltjes zijn gebonden. Hierdoor krijgen de slibvlokken een positieve lading en stoten elkaar af.



Figuur 12: Mechanismen van onder- en overdosering van poly-elektrolyet.

Onder- en overdosering van poly-elektrolyet hebben een negatief effect op het einddrogestofgehalte. Bij een bepaalde dosering wordt het hoogste drogestofgehalte gehaald. Er is echter een range van de doseerverhouding waarbinnen ook nog relatief goede resultaten worden behaald. Dit is afhankelijk van de slibsoort, het ontwateringsapparaat en het type poly-elektrolyet.

3.3.2 Types poly-elektrolyet

Poly-elektrolyeten worden over het algemeen getypeerd aan de hand van de lading, het molecuulgewicht en de ladingsdichtheid.

Lading

De poly-elektrolyeten worden als volgt ingedeeld:

- kationische poly-elektrolyeten: de ketens bevatten positieve groepen;
- anionische poly-elektrolyeten: de ketens bevatten negatieve groepen;
- non-ionogene poly-elektrolyeten: de ketens bevatten nauwelijks geladen groepen. De poly-elektrolyeten zijn licht negatief geladen.

De meeste surplusslibsoorten hebben een negatieve lading, zodat het poly-elektrolyet kationisch moet zijn. Toepassing van anionische poly-elektrolyeten vindt vooral plaats bij de conditionering van primair slib of slib met hoge concentraties ijzer of kalk^[48]. Deze slibben bevatten veel positief geladen deeltjes. Er zijn geen toepassingen van non-ionogene poly-elektrolyeten bij RWZI's bekend.

Voorconditionering met ijzer of een tweede poly-elektrolyet beïnvloedt de lading van de slibdeeltjes. Hierdoor kan de werking van de hoofdconditionering worden verbeterd (§ 3.3.9).

Molecuulgewicht

Het molecuulgewicht is een indicatie voor de lengte van het poly-elektroliet. De lengte beïnvloedt de oplosbaarheid en de viscositeit. Over het algemeen neemt bij een lager molecuulgewicht de oplosbaarheid in water toe en de viscositeit af.

Poly-elektrolieten met een laag molecuulgewicht hebben een specifiek werkgebied, waarbij de hoogte van de dosering en de samenstelling van het slib zeer nauw samenhangen^[46]. In de praktijk wordt daarom vaak voor poly-elektrolieten met gemiddelde tot hoge molecuulgewichten gekozen. De werking van het poly-elektroliet berust dan voornamelijk op flocculatie. In tegenstelling tot poly-elektroliet met een laag molecuulgewicht kunnen deze poly-elektrolieten bij variaties in de slibsamenstelling een goede werking waarborgen. Vanwege de slechtere oplosbaarheid en hogere viscositeit vraagt het aanmaakproces voor hoogmoleculaire poly-elektrolieten meer aandacht. Ook is meer verdunningswater nodig in vergelijking met poly-elektroliet met een laag molecuulgewicht^[48].

Ladingsdichtheid

De ladingsdichtheid is een maat voor de hoeveelheid ladingsgroepen op het poly-elektroliet. Hoe hoger de ladingsdichtheid, des te sterker de lading van het poly-elektroliet. De dichtheid is vaak in de omschrijving van het poly-elektroliet opgenomen. Zo wordt bijvoorbeeld een kationisch poly-elektroliet met een hoge dichtheid een hoog kationisch poly-elektroliet genoemd.

3.3.3 Productvormen van poly-elektroliet

Poly-elektroliet is in vloeibare en vaste vorm verkrijgbaar. In tabel 1 zijn de productvormen weergegeven.

Vast poly-elektroliet

Vast poly-elektroliet wordt geleverd als korrels, granulaat of poeder. Het product bevat ongeveer 95% actief poly-elektroliet. Het resterende deel bestaat uit inert materiaal of water. Bij oplossen van het poly-elektroliet in water krijgen de actieve groepen een lading. Het poly-elektroliet wikkelt zich af door de afstotende werking van de ladingsgroepen.

Vloeibaar poly-elektroliet

De vloeibare producten kunnen worden onderscheiden in emulsies en oplossingen.

- Emulsies:

Bij een emulsie (een mengsel van olie en water) is het poly-elektroliet in de oliefase aanwezig (minerale olie, paraffine-koolwaterstof of petroleumdistillaat^[1]). Emulsies zijn doorzichtig of melkachtig van kleur. De hoeveelheid actief poly-elektroliet bedraagt 25-50%.

Het poly-elektroliet in de emulsie wikkelt zich bij oplossen in water af.

- Oplossingen:

In een oplossing is het poly-elektroliet in een zoutoplossing aanwezig. Vroeger waren alleen poly-elektrolieten met een laag molecuulgewicht als oplossing verkrijgbaar. Sinds enkele jaren zijn ook hoogmoleculaire poly-elektrolieten beschikbaar, die beter geschikt zijn voor de ontwatering van zuiveringsslib. De hoeveelheid actief poly-elektroliet bedraagt 10-50%. Het poly-elektroliet in oplossingen is in gestrekte vorm aanwezig en hoeft zich niet af te wikkelen.

Oplossingen worden in Nederland nog weinig voor de slibontwatering toegepast. De toepassing ligt momenteel vooral in de bestrijding van licht slib. Er zijn geen onderzoeken op praktisch schaal uitgevoerd om de werking van oplossingen met andere poly-elektrolieten te vergelijken.

Fabricage van poly-elektroliet

Bij de fabricage van poly-elektroliet is een groot aantal factoren van belang voor de kwaliteit van het poly-elektroliet, zoals de kwaliteit van de grondstof en het verloop van het productieproces. De fabricage vindt batchgewijs plaats, waardoor elke batch binnen bepaalde grenzen een iets andere kwaliteit kan hebben^[86].

De leveranciers van poly-elektroliet specificeren hun product vaak aan de hand van de volgende kenmerken:

- lading;
- molecuulgewicht;
- ladingsdichtheid;
- vertakkingsgraad;
- leveringsvorm (vast, vloeibaar);
- kleur;
- soortelijk gewicht;
- activiteit;
- chemische samenstelling, pH;
- viscositeit van het geleverde product (bij emulsies en oplossingen);
- viscositeit van de stam- en gebruikoplossing;
- vriespunt;
- toxiciteit;
- ARBO-aanwijzingen.

Tabel 1: Productvormen en samenstelling van poly-elektrolieten^[86].

Productvormen		Kationisch	Anionisch	Non-ionogeen	Bestanddelen
vast poly-elektroliet	granulaat, poeder	ja	ja	ja	poly-elektroliet: 90-95% water: 5-10%
vloeibaar poly-elektroliet	emulsie	ja	ja	ja	poly-elektroliet: 25-50% olie (paraffine): 25-50% emulgatoren: 1-10% water: 2-30%
	oplossing ¹	ja	nee	nee	poly-elektroliet: 10-50% water: 50-90%

1) Met oplossingen zijn in de slibontwatering nog weinig ervaringen opgedaan.

3.3.4 Opslag van poly-elektroliet

Vast poly-elektroliet

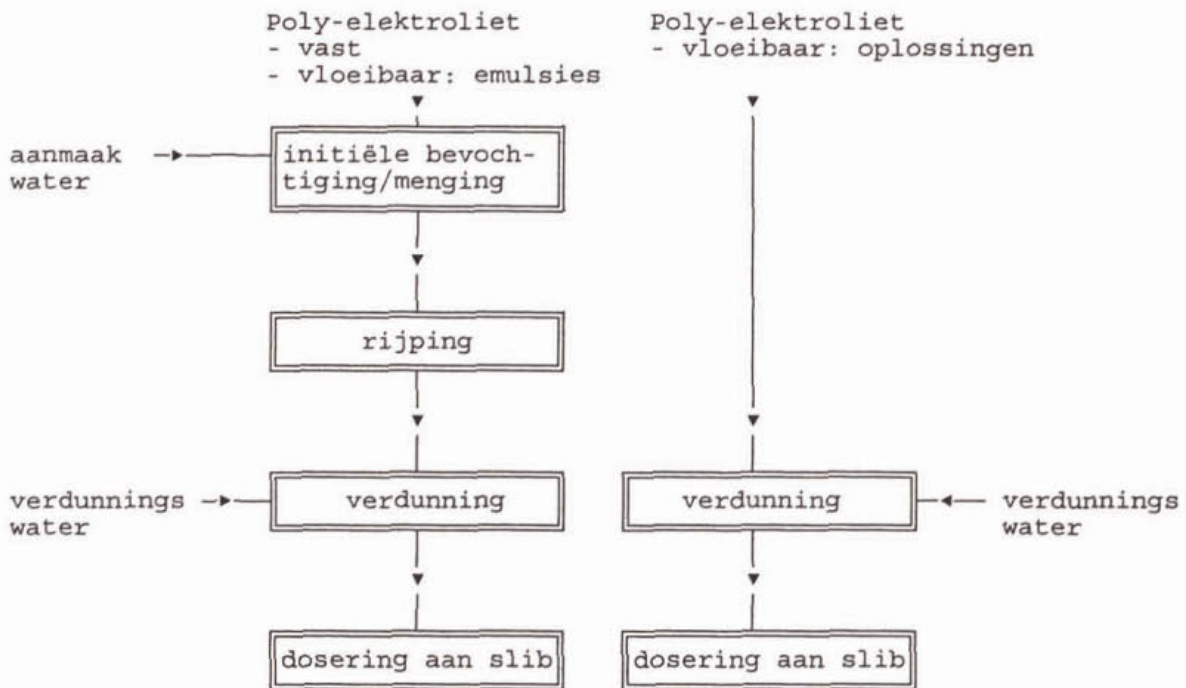
Poly-elektroliet in vaste vorm wordt in zakken (25-50 kg) of in "big bags" (800-1.000 kg) aangeleverd. Bij de opslag moet condensvorming worden vermeden om samenklontering van het poly-elektroliet te voorkomen. Bij lucht- en lichtdichte verpakking kan poly-elektroliet maximaal twee jaar worden bewaard^[84]. De bewaartijd is afhankelijk van het type poly-elektroliet.

Vloeibaar poly-elektroliet

Vloeibaar poly-elektroliet wordt aangevoerd in bulk of in mobiele containers (multibox 0,5-1 m³). Bij langdurige opslag (enkele maanden) moet het poly-elektroliet worden gehomogeniseerd door rondpompen. Volgens leveranciers is de bewaartemperatuur voor emulsies en oplossingen 0-40°C, en kan het poly-elektroliet bij regelmatig mengen 0,5-1 jaar worden bewaard. Bij het wisselen van het type poly-elektroliet moet de opslag goed worden schoongemaakt.

3.3.5 Stappen in de aanmaak en dosering van poly-elektroliet

In figuur 13 zijn de mogelijke stappen in de aanmaak en dosering van poly-elektroliet weergegeven. Bij vast poly-elektroliet en emulsies zijn respectievelijk initiële bevochtiging en initiële menging nodig. Daarnaast is vaak rijping van het poly-elektroliet nodig. Deze processen vinden in een aanmaakinstallatie plaats. Bij oplossingen is alleen verdunning nodig.



Figuur 13: Aanmaak en dosering van poly-elektroliet.

3.3.6 Initiële bevochtiging/menging en rijping

Als poly-elektroliet in aanraking komt met water treedt een zeer sterke neiging op tot samenklonteren. Bij vloeibaar poly-elektroliet (emulsies) moet bovendien de olielaag rond het poly-elektroliet worden doorbroken, zodat het poly-elektroliet met water in contact kan komen. Door tijdens het contact met water sterke afschuifkrachten op het poly-elektroliet uit te oefenen, kan samenklonteren worden beperkt en wordt bij emulsies de olielaag doorbroken. Bij vast poly-elektroliet en emulsies wordt dit respectievelijk initiële bevochtiging en initiële menging genoemd. Beide processen vinden plaats in een mengkamer en verlopen binnen enkele seconden.

Na initiële bevochtiging/menging kan tijdens rijpen van de poly-elektrolietoplossing een verdere strekking van het poly-elektroliet plaatsvinden. Het rijpingsproces vindt in een gemengd vat plaats. Het strekken van de poly-elektrolieten leidt tot een verhoging van de viscositeit van de oplossing. De poly-elektrolieten in vaste vorm hebben relatief veel tijd nodig om zich te strekken. Naarmate de ladingsdichtheid hoger is strekt het poly-elektroliet zich sneller. Bij een hoger molecuulgewicht zijn meer mengtijd en mengenergie nodig voor de strekking.

In de buurt van de roerder van het mengvat is de mengintensiteit hoog, waardoor de gestrekte ketens kunnen worden stukgeslagen. De activiteit van het poly-elektroliet neemt

dan af. Aan de rand van het rijpingsvat is de mengintensiteit lager. Bij grote rijpingsvaten is het moeilijk de energie gelijkmatig in te brengen. Hierbij verdient de menging extra aandacht. Kleine tanks hebben daarom een lichte voorkeur. Om kleine tanks te krijgen moet de concentratie poly-elektroliet hierin zo hoog mogelijk zijn. De concentratie bedraagt meestal 0,5-1 gew.% actief poly-elektroliet. Een hoge concentratie gaat bovendien microbiële afbraak tegen door het agressieve milieu voor micro-organismen. Bij sommige vloeibare poly-elektrolieten kan bij een hoge aanmaakconcentratie de viscositeit in de tank te hoog worden.

De benodigde rijpingstijd verschilt per poly-elektroliet en bedraagt 15-45 minuten. Vast poly-elektroliet heeft in het algemeen een grotere rijpingstijd nodig dan vloeibaar poly-elektroliet. Sommige leveranciers van poly-elektroliet geven aan dat bij een goede bevochtiging van hun product geen rijping meer nodig is.

Een minder goed verlopende initiële bevochtiging/menging kan soms gecompenseerd worden door een grotere verblijftijd in de rijpingstanks. Tijdens de rijping kan een deel van het slecht bevochtigde of gemengde poly-elektroliet alsnog tot volledige ontwikkeling komen.

De houdbaarheid van aangemaakt poly-elektroliet is beperkt (enkele uren tot enkele dagen).

Aanmaakwater

Voor het aanmaakwater zijn het zwevende-stofgehalte, de pH, de hardheid en de temperatuur van belang.

Bij voorkeur is het aanmaakwater vrij van zwevende stof en de pH tussen 6 en 8. Zouten schermen de ladingsgroepen van een poly-elektroliet af. De gevoeligheid voor zouten verschilt per poly-elektroliet. Een hoge hardheid vermindert de oplosbaarheid van vloeibaar poly-elektroliet (emulsies)^[46]. Een hoge temperatuur versnelt de aanmaak.

In de praktijk wordt vaak drinkwater voor de aanmaak gebruikt^[60,94]. Overwogen kan worden goed gefiltreerd effluent te gebruiken.

3.3.7 Verdunning en dosering

De dosering van poly-elektroliet bedraagt in de praktijk 1-20 g actief poly-elektroliet per kg drogestof (g actief PE/kg ds). Dit is afhankelijk van de slibsoort en het type indik- en ontwateringsapparaat.

Doseerconcentratie

Bij de dosering van poly-elektroliet aan slib moeten alle poly-elektrolietdeeltjes met de slibdeeltjes in contact komen. Om het poly-elektroliet goed met slib te kunnen mengen is een verdere verdunning van het aangemaakte poly-elektroliet nodig. De doseerconcentratie bedraagt in de praktijk 0,1-0,2%^[64,71,70]. Een hoge doseerconcentratie leidt tot een hogere viscositeit, waardoor de menging van poly-elektroliet met slib minder goed kan verlopen. Soms heeft het aangemaakte poly-elektroliet reeds de doseerconcentratie. Het verdunningswater wordt in een statische menger met het aangemaakte poly-elektroliet gemengd. Naast de doseerconcentratie is de slibconcentratie (aantal slibdeeltjes) van belang voor de menging van poly-elektroliet met slib.

Verdunningswater

Als verdunningswater wordt vaak bedrijfswater gebruikt (gefiltreerd effluent). De zwevende deeltjes hierin zullen direct tot vlokvorming leiden. Dit levert geen problemen als de doseeroplossing direct met het slib wordt gemengd^[94].

Voor oplossingen zijn geen gegevens over de benodigde kwaliteit van het verdunningswater bekend. Er is geen reden om aan te nemen dat een betere kwaliteit nodig is.

Bij een aanmaak- en doseerconcentratie van bijvoorbeeld respectievelijk 0,5 en 0,1% bedraagt de verhouding van de hoeveelheid aanmaak- en verdunningswater 1:4.

Doseerpunt

Het poly-elektroliet wordt door middel van een tangentiaal injectiepunt of statische menger in de slibleiding geïnjecteerd of in een vat met slib gemengd. Bij centrifuges kan het poly-elektroliet ook in de centrifuge worden geïnjecteerd. Bij dosering vóór de slibvoedingspomp kan een extra menging van poly-elektroliet met slib in de pomp plaatsvinden. De slibvlok kan echter ook door de pomp worden stukgeslagen.

3.3.8 Aanmaakinstallatie

De aanmaakinstallaties voor vast poly-elektroliet en emulsies zijn in verschillende uitvoeringen verkrijgbaar. Voor oplossingen is geen aanmaakinstallatie nodig.

Veel aanmaakinstallaties bestaan uit een eenheid voor initiële bevochtiging of initiële menging en een rijpingstank/doseertank. Er zijn installaties die alleen bestaan uit een eenheid voor initiële bevochtiging of menging en een kleine doseertank. Volgens de leveranciers van deze installaties is door de optimale uitvoering van de initiële bevochtiging of menging geen rijping van poly-elektroliet meer nodig (de poly-elektrolieten zijn na bevochtiging reeds gestrekt).

Aanvoer van poly-elektroliet

Aanmaakinstallaties worden uitgevoerd voor vast poly-elektroliet, vloeibaar poly-elektroliet (emulsies) of voor beide productvormen.

Vast poly-elektroliet wordt meestal met een vacuümpomp uit de opslag gezogen en in een voorraadtrechter van de aanmaakinstallatie gestort. Het poly-elektroliet wordt vanuit de trechter met een transportschroef of een vacuümpomp naar de initiële bevochtiging geleid. Door de sterk hygroscopische werking van poly-elektroliet bestaat bij condensvorming de kans op klontering, hechting aan de wanden en verstopping van de transportschroef of vacuümpomp. Deze onderdelen worden soms verwarmd om de condensvorming te bestrijden.

Vloeibaar poly-elektroliet (emulsie) wordt vanuit de opslag via een aanzuigleiding naar de initiële menging gepompt. Vaak wordt een filter geplaatst voor het afvangen van onopgeloste deeltjes uit de emulsie.

Initiële bevochtiging/menging van poly-elektroliet

Bij vast poly-elektroliet kan de initiële bevochtiging op de volgende manieren plaatsvinden.

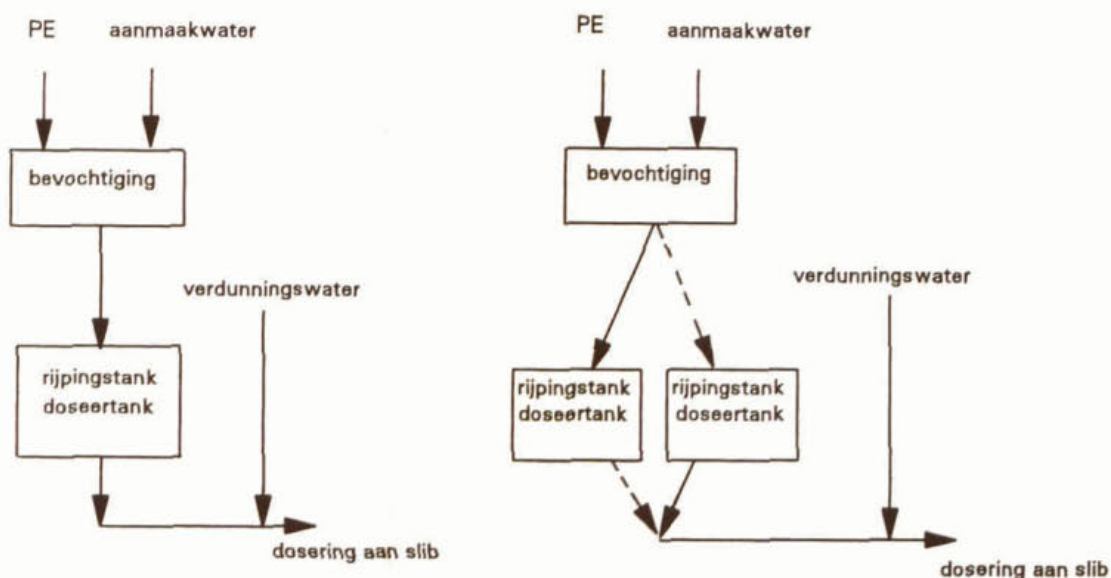
- In de aanzuigopening van een waaier wordt het poly-elektroliet in contact gebracht met water. Op en direct na de waaier treden hoge afschuifkrachten op, die een intensieve initiële bevochtiging bewerkstelligen.
- Het poly-elektroliet wordt verstoven en valt door een watergordijn.
- Het poly-elektroliet wordt verstoven boven een woelstroom (vortex). Deze woelstroom kan worden opgewekt door een roerder onder het wateroppervlak of door een tangentiële instroming van een trechtvormige mengkamer.
- Het poly-elektroliet wordt verstoven in een waterstroom.
- Het persen van poly-elektroliet door een nauwe opening.

Bij vloeibaar poly-elektroliet kan de initiële menging plaatsvinden door middel van:

- een venturi-systeem met vernauwingen voor snelheids- en drukvariaties;
- een verticale cilinder met mixer;
- een krachtige waterstraal.

Batchgewijze en continue aanmaak

Bij installaties met initiële bevochtiging/menging en een rijpingstank kan onderscheid worden gemaakt in een batchgewijze en een continue aanmaak. In figuur 14 is dit weergegeven.



Figuur 14: Continue en batchgewijze aanmaak.

Bij continue aanmaak vinden de aanvoer van poly-elektrolyet naar de tank, de rijping in de tank en de afvoer vanuit de tank tegelijkertijd plaats. Er treedt een bepaalde verblijftijdspreiding op. Dit wordt versterkt door het optreden van kortsluitstromen. Hierdoor is het mogelijk dat onvoldoende gerijpt poly-elektrolyet wordt gedoseerd. Compartimentering van de tank vermindert het effect van de verblijftijdspreiding.

Bij batchgewijze aanmaak fungeert de tank afwisselend als rijpingstank en doseertank. De tank wordt eerst gevuld met bevochtigd/gemengd poly-elektrolyet en in korte tijd met water afgevuld. Vervolgens vindt geen aanvoer van poly-elektrolyet in deze tank meer plaats en wordt de inhoud van de tank gerijpt. Na rijping is de oplossing gereed voor dosering. De andere tank ondergaat dezelfde procedure wanneer de toevoer van aangemaakt poly-elektrolyet naar deze tank wordt overgeschakeld. De batchgewijze aanmaak kan ook bestaan uit een aparte rijpingstank en doseertank, waarbij het gerijpte poly-elektrolyet in korte tijd vanuit de rijpingstank in de doseertank wordt gebracht. Bij batchgewijze aanmaak is de verblijftijd en daardoor de rijpingstijd constant. Alle poly-elektrolyetdeeltjes ondervinden dezelfde rijpingstijd.

De processen in de installaties zijn geheel geautomatiseerd zoals de toevoer van poly-elektrolyet, de toevoer van aanmaakwater en verdunningswater en de omschakeling van de tanks bij batch-gewijze aanmaak.

De grootte van de tanks wordt bepaald door de hoeveelheid poly-elektrolyet, de gehanteerde rijpingstijd, de aanmaakconcentratie en bij batchgewijze aanmaak ook de vulsnelheid van de

tanks. Een lange rijpingstijd resulteert in een grote rijpingstank. Een hoge aanmaakconcentratie reduceert het volume van de tanks. Een grotere vulsnelheid leidt bij batchgewijze aanmaak tot kleinere tanks. Door de procesvoering van batchgewijze aanmaak is de installatie relatief groot (eerst vullen van de tanks, dan rijpen).

Bij geringe hoeveelheden poly-elektrolyet kan soms direct tot de doseerconcentratie worden aangemaakt, zonder dat zeer grote tanks worden verkregen. Kleine doseerhoeveelheden doen zich voornamelijk voor bij mechanische indikking van slib (lage doseerverhouding). Er zijn rijpingstanks verkrijgbaar van 250 l tot ongeveer 4 m³.

3.3.9 Voorconditionering

Bij moeilijk te ontwateren slibben kan gebruik worden gemaakt van twee poly-elektrolyeten^[48] of een combinatie van ijzer- en poly-elektrolyetdosering (voorconditionering).

Bij dosering van twee poly-elektrolyeten is de één gericht op coagulatie en de ander op flocculatie. Bij vast poly-elektrolyet en emulsies is een extra aanmaakinstallatie nodig. Bij oplossingen kan het poly-elektrolyet na verdunning in de sibleiding worden gedoseerd. In Nederland zijn over de dosering van twee poly-elektrolyeten geen gegevens bekend.

Bij een combinatie van ijzer- en poly-elektrolyetdosering kan de vlokvorming door de ijzerdosering worden bevorderd. Er kan met een lagere poly-elektrolyetdosering worden volstaan^[20]. Ook is een betere centraatkwaliteit mogelijk^[4]. Bij ijzerdosering moet rekening gehouden worden met ijzerafzetting in de ontwateringsapparatuur.

3.3.10 Keuze van productvorm en aanmaakinstallatie

Bij de keuze voor de productvorm en/of de aanmaakinstallatie zijn de volgende aspecten van belang.

- Vloeibaar poly-elektrolyet is vaak iets duurder dan vast poly-elektrolyet (per kg actief PE). Vast poly-elektrolyet heeft een groter actief bestanddeel dan vloeibaar poly-elektrolyet, waardoor bij vast poly-elektrolyet kan worden bespaard op de transportkosten.
- Niet alle typen poly-elektrolyet (moleculgewicht, lading) zijn in zowel vaste als vloeibare vorm verkrijgbaar. Veel typen poly-elektrolyet zijn nog niet als oplossing verkrijgbaar. Het assortiment wordt echter steeds groter. Met oplossingen zijn nog weinig ervaringen opgedaan.
- De benodigde rijpingstijd varieert voor de verschillende typen en productvormen van poly-elektrolyet.
- Sommige installaties zijn uitgerust met alleen initiële bevochtiging of initiële menging. Rijping is volgens de leveranciers niet nodig. Waarschijnlijk zijn niet alle poly-elektrolyeten hiervoor geschikt.
- Bij batchgewijze aanmaak is in tegenstelling tot continue aanmaak de rijpingstijd beter gegarandeerd. Bij continue aanmaak zijn de tanks meestal gecompartmenteerd, waardoor het effect van verblijftijdspreiding sterk wordt verminderd. Batchgewijze aanmaak resulteert in grotere tanks.
- Voor oplossingen is alleen verdunning nodig. Oplossingen kunnen in principe in aanmaakinstallaties worden toegepast.
- Bij kleine hoeveelheden poly-elektrolyet kan soms direct tot de doseerconcentratie worden aangemaakt, waardoor kleinere tanks kunnen worden toegepast. De hoeveelheid aanmaakwater is dan relatief groot.

- Indien een installatie is ontworpen op basis van een lange rijpingstijd en geschikt is voor zowel vast als vloeibaar poly-elektroliet, kunnen vrijwel alle poly-elektrolieten worden toegepast.
- Bij de keuze voor de productvorm moet rekening worden gehouden met milieu- en veiligheid (hoofdstuk 9).
- Bij een bestaande RWZI die wordt voorzien van een ontwatering en/of een aanmaakin-
stallatie kan door proeven met het slib uit de RWZI een inschatting worden gemaakt van
een geschikt poly-elektroliet. Dit kan de keuze voor de productvorm en de installatie
ondersteunen.
- Bij nieuw te bouwen RWZI's is meer onzekerheid over het toe te passen type poly-elektro-
liet. In het ontwerp van de installatie kan hiermee rekening worden gehouden, bijvoorbeeld
door de installatie geschikt te maken voor vast en vloeibaar poly-elektroliet en een lange
rijpingstijd toe te passen.

4 THEORIE EN METING VAN DE WATERAFSCHEIDING

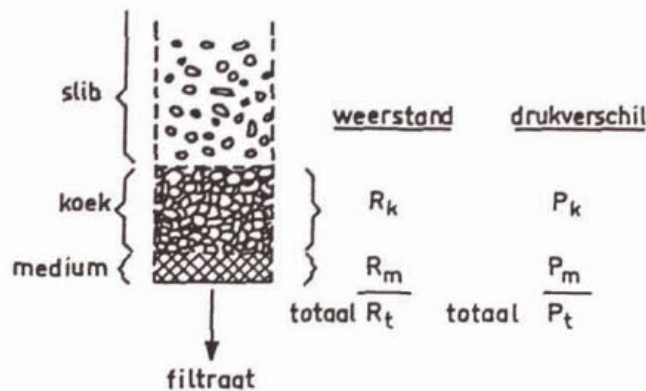
4.1 Theorie

Mechanische ontwateringsprocessen zijn gebaseerd op filtratie (zeefbandpersen, filterpersen) of centrifugatie (centrifuges). Er zijn veel onderzoeken naar de waterafscheiding uitgevoerd^[11,12,13,14,15,17,18,47]. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op respectievelijk de filtratietheorie en de centrifugetheorie.

4.1.1 Filtratietheorie

Bij filtratieprocessen wordt slib via een filtermedium gescheiden in een waterfractie (filtraat) en een drogestoff fractie. Hierbij wordt een drijvende kracht aangelegd, meestal een drukverschil^[14,23]. In figuur 15 is de filtratie van slib schematisch weergegeven.

Bij de start van de ontwatering wordt een filterkoek opgebouwd vanaf het filtermedium. De fase waarin de hoogte van de koek toeneemt in de tijd is de filtratiefase. In de navolgende expressiefase wordt de gevormde slibkoek uitgeperst. De koekdikte neemt tijdens de expressiefase af. Aan het einde van de expressiefase is het vloeistofdebiet door de slibkoek gelijk aan nul.



Figuur 15: Filtratie van slib.

De filtratie kan worden beschreven met de algemene filtratietheorie, die is gebaseerd op de wet van Darcy. Deze wet beschrijft de laminaire vloeistofstroming door een poreus medium bij toename van de dikte. De volgende formule is van toepassing.

$$(1) \quad \frac{dV}{dt} = \frac{P_t}{\mu} \cdot \frac{A}{R_t}$$

Hierin is:

V	=	filtraatvolume (m ³)
A	=	filtrerend oppervlak (m ²)
dV/dt	=	volumedebiet (m ³ /s)
R _t	=	totale filtratieweerstand (/m)
P _t	=	drukverschil (N/m ²)
μ	=	viscositeit van de vloeistof (Ns/m ²)

De weerstand bij de filtratie is de weerstand van de koek en de weerstand van het filtratiemedium ($R_t = R_k + R_m$). De koekweerstand R_k neemt toe naarmate de koekdikte toeneemt. In plaats van de toename van de koekdikte als maat voor de toenemende koekweerstand kan de toename in gewicht van de drogestof in de filterkoek (w) worden gebruikt:

$$(2) \quad R_k = r \cdot w = (r \cdot c \cdot V) / A$$

Hierin is

r	=	de gemiddelde specifieke weerstand van de koek (m/kg)
w	=	de hoeveelheid drogestof per m ² filteroppervlak (kg/m ²)
c	=	beginconcentratie drogestof (kg ds/m ³)

Bij filtratie van geconditioneerd slib is de weerstand van het filtermedium R_m ten opzichte van de weerstand van de koek R_k te verwaarlozen. Als het slib niet is geconditioneerd kan verstopping van het filtermedium optreden en mag R_m niet verwaarloosd worden (verstoppingsfiltratie).

Substitutie van vergelijking 2 in vergelijking 1 levert een differentiaalvergelijking op. De oplossing van deze differentiaalvergelijking luidt:

$$(3) \quad t = \frac{\mu \cdot r \cdot c \cdot V^2}{2 \cdot A^2 \cdot P}$$

Hieruit kan het volgende worden afgeleid:

- t neemt af als de druk P stijgt;
- t neemt af als de specifieke weerstand r daalt;
- t neemt toe als de concentratie c (kg/m³) toeneemt.

De filtratie-eigenschappen van slib worden door een groot aantal factoren bepaald zoals de structuur en de porositeit van de slibdeeltjes en de slibkoek. De specifieke filtratieweerstand geeft als resultante van deze factoren een indruk van de filtratie-eigenschappen (ontwaterbaarheid).

4.1.2 Centrifugetheorie

Bij centrifugeren worden water en slib van elkaar gescheiden door de centrifugale kracht, die door rotatie in de centrifuge wordt opgewekt^[59]. Deze kracht is vele malen groter dan de zwaartekracht. Op dit proces is de wet van Stokes van toepassing:

$$(4) \quad v_s = \frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot r}{18 \cdot \mu}$$

Hierin is:

v_s	=	sedimentatiesnelheid van de drogestof (m/s)
ρ_s	=	soortelijke massa van de drogestof (kg/m ³)
ρ_l	=	soortelijke massa van de vloeistof (kg/m ³)
d	=	diameter van deeltjes (m)
n	=	toerental van de centrifuge (rpm)
r	=	afstand tot aan het middelpunt van rotatie (m)
μ	=	viscositeit van de vloeistof (Pa.s)

Uit de formule blijkt dat de sedimentatiesnelheid van de drogestof toeneemt als:

- het verschil in soortelijke massa tussen drogestof en vloeistof toeneemt;
- de deeltjesdiameter van de drogestof toeneemt;
- het toerental van de centrifuge toeneemt;
- de afstand tot het middelpunt van rotatie toeneemt;
- de viscositeit van de vloeistof afneemt.

4.2 Bepaling van de waterafscheiding

Om inzicht te krijgen in de mate waarin water uit slib kan worden verwijderd zijn verschillende methoden ontwikkeld, zoals de Capillary Suction Time Test (CST-test), de Modified Filtration Test (MFT), de Filtratie-Expressie cel (FE-cel) en de Compressie-Permeabiliteitscel (CP-cel). Deze methoden zijn gebaseerd op ontwatering van slib door filtratie.

4.2.1 Capillary Suction Time test

In figuur 16 is de opstelling voor de CST-test schematisch weergegeven^[14]. Een perspex cilinder die op een filtreerpapier rust, wordt met slib gevuld tot een hoogte van ongeveer 6 cm. Er vindt ontwatering plaats waarbij de capillaire zuigkracht van het filtreerpapier als drijvende kracht optreedt. Er wordt geen drukverschil aangelegd.

In het filtreerpapier ontstaat een vloeistoffront dat zich in radiale richting verplaatst. Op het papier zijn twee elektroden aangebracht die zijn aangesloten op een tijdmeter. Wanneer het vloeistoffront de eerste elektrode bereikt start de tijdmeting. De tijdmeting stopt als het front bij de tweede elektrode is aangekomen. De gemeten tijd, de CST, is een maat voor de ontwaterbaarheid van het slib. Hoe kleiner de CST-waarde, hoe hoger de ontwaterbaarheid.

Het resultaat van de CST-test is afhankelijk van de eigenschappen van het filtreerpapier, de temperatuur en het drogestofgehalte van het slib. Het drogestofgehalte is veruit de belangrijkste invloedsfactor. Bij de opgave van een CST-waarde moet het drogestofgehalte worden vermeld.

De CST-test is niet goed toepasbaar voor slibmonsters met grote, ijle slibvlokken. Deze ontstaan vaak bij slibben die zijn geconditioneerd met poly-elektrolyet. Er is dan nauwelijks sprake van koekvorming in de cilinder. De snelheid van ontwateren wordt teveel bepaald door de snelheid waarmee het water in het papier trekt, waardoor een onjuist beeld van de ontwaterbaarheid wordt verkregen. Bij slib dat is geconditioneerd met FeCl_3 vindt meestal wel koekvorming plaats. De reproduceerbaarheid van de metingen met geconditioneerd slib (FeCl_3) is goed.

De CST-test wordt gebruikt voor het selecteren van een geschikt conditioneringsmiddel en het bepalen van de doseerverhouding.

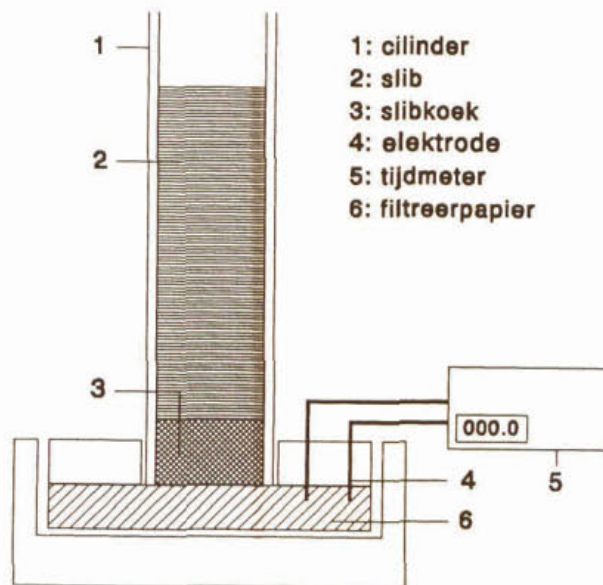
De gemodificeerde CST-test

De CST-test is in diverse onderzoeken verder ontwikkeld, hetgeen heeft geleid tot de gemodificeerde CST-test^[15]. Deze onderscheidt zich van de conventionele CST-test op de volgende punten:

- Het filtermateriaal is een keramische plaat. De reproduceerbaarheid van de metingen wordt hierdoor verbeterd.
- Het vloeistoffront wordt continu geregistreerd. De keramische plaat is ingeklemd tussen twee koperen, cirkelvormige platen die als elektroden dienen. Met behulp van deze elektroden wordt de elektrische weerstand van het keramiek gemeten tijdens de beweging van het vloeistoffront in radiale richting. De elektrische weerstand als functie van de tijd kan worden omgerekend naar de positie van het vloeistoffront als functie van de tijd.

- Voor het ontwateringsproces in de CST-test is een fysisch-mathematisch model ontwikkeld. Door toepassing van het model op de experimentele waarden kan de specifieke filtratieweerstand van de slibkoek worden bepaald. Met de conventionele CST-test is dit niet mogelijk.

Met de gemodificeerde CST-test is nog weinig ervaring opgedaan.



Figuur 16: De opstelling voor de Capillary Suction Time test.

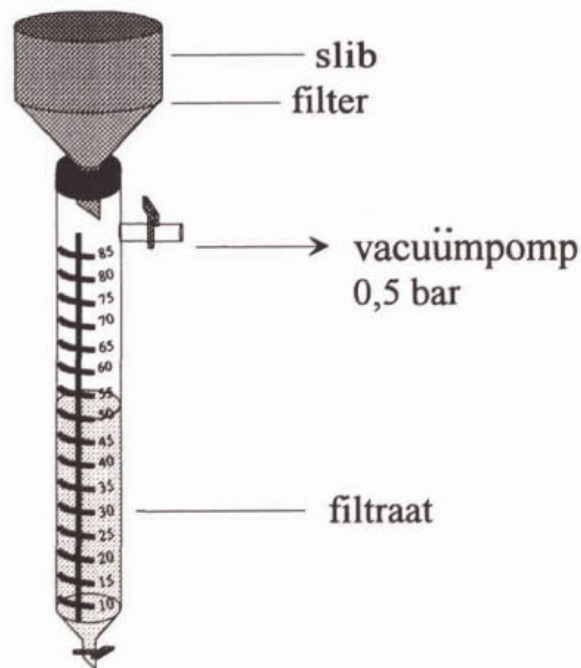
4.2.2 De Modified Filtration Test

Met de MFT kunnen de filtratiesnelheid (filtratie-fase) en het bereikte drogestofgehalte na persen (expressiefase) worden bepaald^[14]. In figuur 17 is de meetopstelling schematisch weergegeven. Een slibmonster wordt in een büchnertrechter met een filter gebracht en vervolgens gefiltreerd met een onderdruk van 0,5 bar. Het filtraat stroomt naar de filtraatbuis waarop een schaalverdeling is aangebracht. Nadat er een enigszins droge koek is ontstaan, wordt een stuk plasticfolie over de slibkoek gespannen. Op het folie wordt een waterlaag gebracht waardoor de slibkoek wordt aangedrukt (expressiefase). Het experiment wordt na tien minuten beëindigd. De koek wordt na afloop van het experiment gedroogd bij 105 °C. Het bereik van de werkdruk is ongeveer 0,1 tot 1 bar onderdruk.

De volgende parameters worden met de MFT bepaald:

- AZT60; dit is de (afzuig-)tijd die nodig is om 60 ml filtraat op te vangen. De afzuigtijd is een maat voor de filtratiesnelheid. Hoe kleiner de afzuigtijd, hoe hoger de gemiddelde filtratiesnelheid.
- MFTds; dit is het drogestofgehalte van de koek na 10 minuten persen.

De reproduceerbaarheid van de metingen is redelijk met poly-elektrolyten tot goed met FeCl_3 . Met de MFT worden over het algemeen conditioneringsmiddelen geselecteerd en doseerverhoudingen vastgesteld^[17]. In een onderzoek naar de toepassing van de MFT correleerden de MFTds en de met zeefbandpersen en filterpersen behaalde drogestofgehalten. De MFTds was 5-10% lager dan het praktijkdrogestofgehalte^[14].



Figuur 17: De opstelling voor de Modified Filtration Test.

4.2.3 De Filtratie-Expressiecel

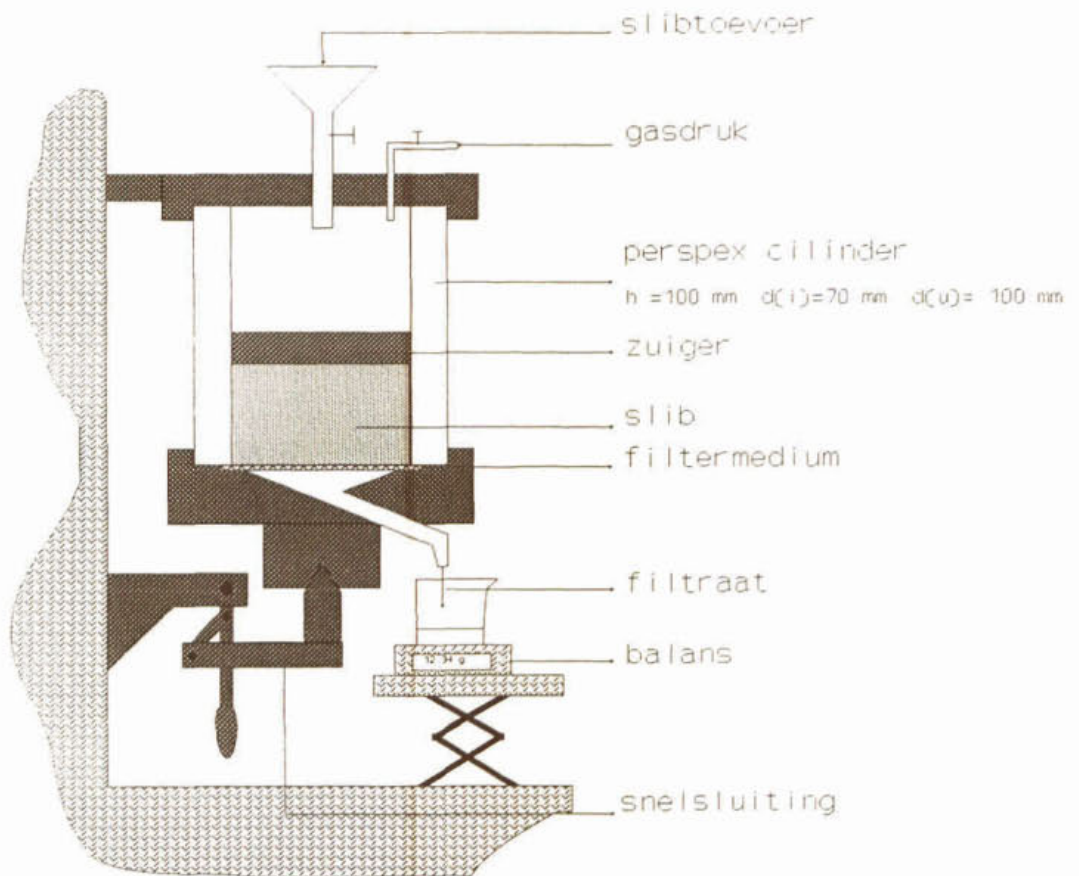
De Filtratie-Expressiecel (FE-cel) is een geautomatiseerde meetopstelling waarmee de ontwaterbaarheid in de filtratie- en expressiefase kan worden bepaald^[4,14,17,18]. In figuur 18 is de FE-cel weergegeven. Een slibmonster wordt in een cilindervormige houder gebracht. Op de bodem van de cilinder bevindt zich een filtermedium dat uit een poreuze plaat en een filtreerpapier bestaat. Het ontwateringsproces wordt gestart door een gasdruk aan te brengen op de zuiger. De zuiger beweegt naar beneden waardoor een druk wordt uitgeoefend op het slib. Het filtraat wordt opgevangen in een bekglas dat rust op een elektronische weegschaal die is gekoppeld aan een computer. De massa van het filtraat wordt continu als functie van de tijd geregistreerd.

Met behulp van een rekenprogramma worden uit de meetresultaten de volgende ontwateringsparameters bepaald:

- de gemiddelde specifieke filtratieweerstand;
- het drogestofgehalte van de slibkoek tijdens en aan het einde van het experiment.

In de FE-cel kan naast de aard en de dosering van conditioneringsmiddel de invloed van verschillende persdrukken en perstijden op de ontwaterbaarheid worden onderzocht. Er zijn persdrukken mogelijk van 0,1 tot 15 bar.

De FE-cel vergt gespecialiseerde apparatuur en software die niet standaard in de handel verkrijgbaar zijn. De metingen worden voornamelijk uitgevoerd door een gespecialiseerd bedrijf.



Figuur 18: De Filtratie-Expressiecel.

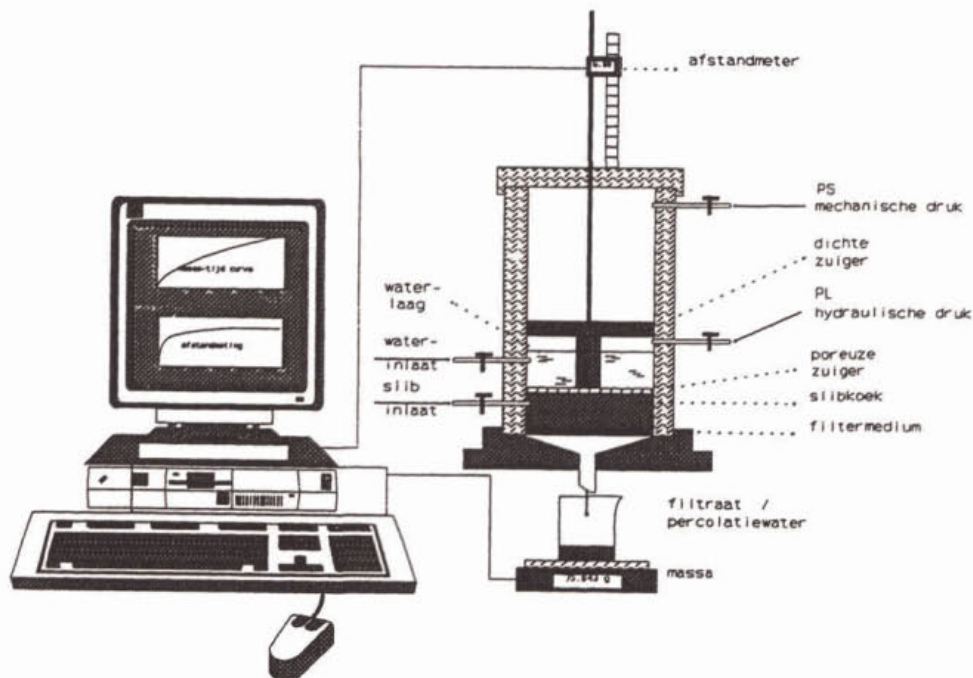
In een recent Stowa-onderzoek is de praktische toepasbaarheid van de FE-cel onderzocht^[4]. Uit het onderzoek bleek dat de trends van de resultaten van de FE-cel metingen vaak overeenkomen met die van de ontwateringsresultaten in de praktijk. Een lagere specifieke filtratieweerstand en een hoger drogestofgehalte in de FE-cel geven ook vaak een betere ontwatering en hogere drogestofgehalten bij zeefbandpersen, filterpersen en centrifuges te zien. De drogestofgehalten in de FE-cel kunnen hoger of lager zijn dan de praktijkdrogestofgehalten.

4.2.4 De Compressie-Permeabiliteitcel

De compressie-permeabiliteitcel (CP-cel) is een geautomatiseerde opstelling, waarmee inzicht kan worden verkregen in de structuur van het ontwaterd slib^[4,14]. De CP-cel is een variant op de FE-cel. In figuur 19 is de CP-cel weergegeven. Onderin de CP-cel bevindt zich het filtermedium dat bestaat uit een poreuze plaat in combinatie met een filtreerpapier. De onderste poreuze en waterdoorlaatbare zuiger is verbonden met de bovenste gesloten zuiger. De bovenste zuiger is verbonden met een verplaatsingsopnemer, die is aangesloten op een PC. Op deze manier kan de koekdikte als functie van de tijd worden bepaald. Door het aanleggen van een instelbare gasdruk in de ruimte tussen de twee zuigers wordt water door de slibkoek geperst. De massa van het doorgesijpelde water wordt als functie van de tijd gemeten met een balans die is aangesloten op een computer.

Uit de verkregen gegevens kunnen verschillende parameters worden bepaald, zoals de permeabiliteit en de porositeit van de slibkoek.

Met de CP-cel kan de invloed van verschillende ontwateringscondities, zoals de aard en de dosering van conditioneringsmiddel, op de structuur van de slibkoek worden bepaald. De metingen met de CP-cel vergen enkele uren, waardoor de CP-cel voor de praktijk wat minder geschikt is dan de FE-cel.



Figuur 19: De Compressie-Permeabiliteitcel.

4.2.5 Evaluatie en vergelijking van de testen

De methoden voor bepaling van de ontwaterbaarheid zijn gebaseerd op filtratie. Dit betekent dat bij vertaling van de resultaten naar ontwatering met centrifuges rekening gehouden moet worden met de hoge centrifugale krachten die tot vlokvernietiging kunnen leiden. Een

geselecteerd conditioneringsmiddel hoeft niet altijd in centrifuges tot goede resultaten te leiden. Bij vertaling van de resultaten naar centrifuges is altijd een extra validatie nodig. Ook bij de andere ontwateringsapparatuur moet bij de vertaling naar de praktijk rekening gehouden worden met de aanwezigheid van appendages in de sliblijn, die de slibvlok kunnen veranderen.

In tabel 2 zijn de CST-test, de MFT, de FE-cel en de CP-cel met elkaar vergeleken.

Tabel 2: Vergelijking van de testen.

	CST-test		MFT	FE-cel	CP-cel
	conventioneel	gemodificeerd			
Informatie over ontwaterbaarheid					
- filtratiesnelheid	ja	ja	ja	ja	nee
- drogestofgehalte slibkoek	nee	nee	ja	ja	nee
- specifieke filtratieweerstand	nee	ja	nee	ja	nee
- structuur van de slibkoek	nee	nee	nee	nee	ja
Geschiktheid voor onderzoek naar					
- conditionering met poly-elektrolyet ¹⁾	matig	matig	ja	ja	ja
- anorganische conditionering ¹⁾ (FeCl ₃)	ja	ja	ja	ja	ja
- druk en perstijd	nee	nee	matig	ja	ja
Veel ervaring	ja	nee	ja	ja	nee
Snelle metingen	ja	ja	ja	ja	nee
Automatisering gegevensverwerking	nee	ja	nee	ja	ja
In eigen beheer uitvoerbaar	ja	nee	ja	nee ²⁾	nee ²⁾

1) Bij vertaling naar de praktijk onder meer rekening houden met vlokbeschadiging.

2) Geen standaard apparatuur, voorsnog uitgevoerd door specialisten.

5 ONTWATERINGSSYSTEMEN

5.1 Inleiding

Voor de slibontwatering zijn de volgende systemen beschikbaar:

- filterpersen,
- zeefbandpersen,
- vacuümfilters,
- centrifuges.

De invoer van de ontwateringsapparaten is meestal ingedikt slib. Er zijn uitvoeringsvormen waarin ook niet-ingedikt slib kan worden ontwaterd.

Slib wordt ingedikt in gravitatie-indikers of mechanische indiksystemen. Voor mechanische indikking zijn beschikbaar:

- bandindikers,
- zeeftrommels,
- centrifuges,
- flotatie-indikers.

Vacuümfilters en flotatie-indikers vinden nauwelijks toepassing op RWZI's in Nederland. Deze systemen worden niet verder uitgewerkt.

De ontwateringsprestaties zijn het ontwateringsresultaat en het poly-elektrolyetverbruik. Het ontwateringsresultaat is het behaalde einddrogestofgehalte (ingedikt of ontwaterd slib) en het afscheidingsrendement.

Een hoger einddrogestofgehalte verkleint de stroom ingedikt of ontwaterd slib, waardoor in het verdere traject minder slib verwerkt hoeft te worden.

Het afscheidingsrendement is de verhouding tussen de drogestofvracht in het ontwaterd slib en de drogestofvracht in het in te dikken of te ontwateren slib. Bij een laag rendement worden veel slibdeeltjes met het filtraat of centraat naar de zuivering teruggevoerd.

Het conditioneringsmiddel is van invloed op zowel het drogestofgehalte als het afscheidingsrendement. Bij gravitatie-indikers worden meestal geen conditioneringsmiddelen toegevoegd.

Tabel 3 geeft voor de verschillende ontwateringsapparatuur de drogestofgehalten van het ontwaterd slib in Nederland. Met filterpersen wordt het hoogste drogestofgehalte gehaald, gevolgd centrifuges en zeefbandpersen. Opgemerkt wordt dat voor specifieke ontwaterings-situaties een ander beeld kan worden verkregen.

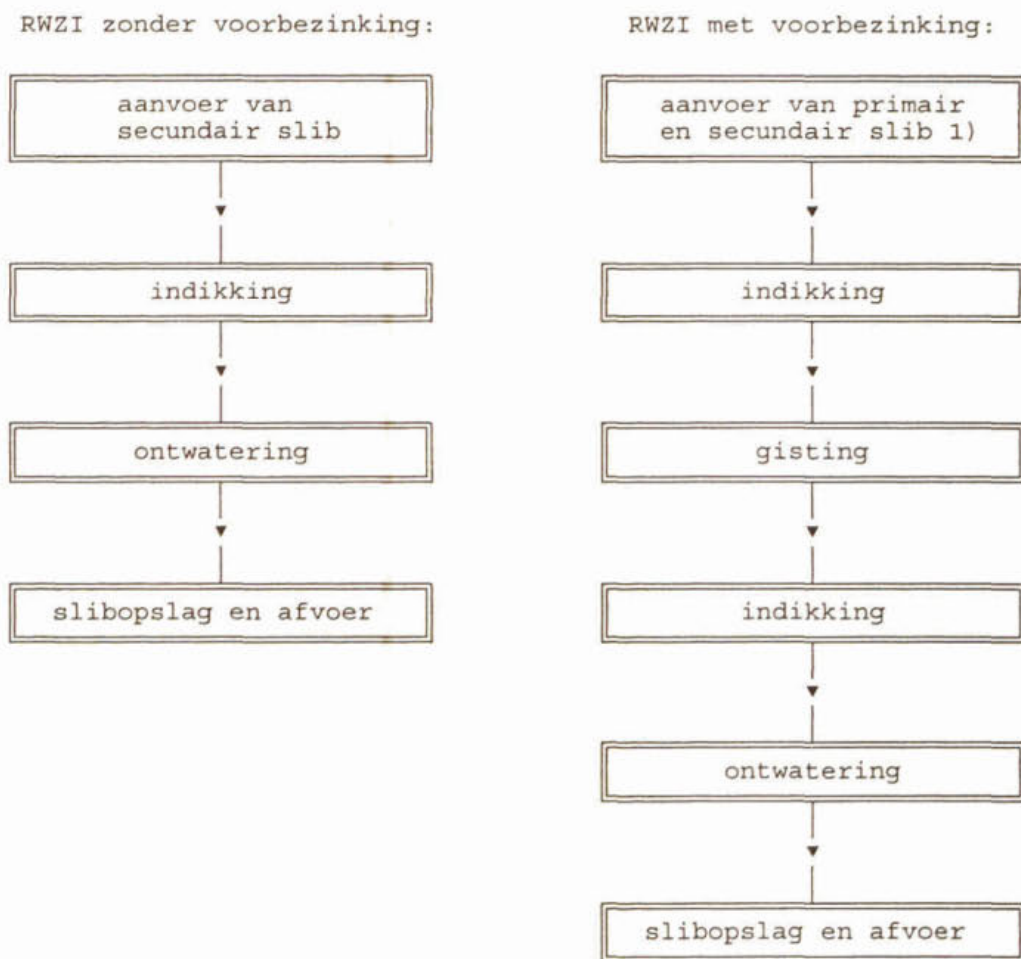
Tabel 3: Gemiddelde drogestofgehalten in Nederland volgens CBS (1995)⁽¹⁹⁾.

Ontwateringsapparaat	Hoeveelheid verwerkte drogestof (ton ds)	Gemiddeld drogestofgehalte van het ontwaterd slib (%)
Zeefbandpers	109.600	20,1
Filterpers	104.000	31,7 ¹⁾
Centrifuge	77.200	23,6

1) Het hoge drogestofgehalte wordt gedeeltelijk veroorzaakt door anorganische conditioneringsmiddelen

5.2 Systeemopzet

In hoofdstuk 2 zijn in figuur 1 de mogelijke slibstromen in een RWZI weergegeven. Figuur 20 geeft de processtappen die bij de indikking en ontwatering van primair en secundair slib kunnen voorkomen.



1) Gescheiden of gezamenlijke verwerking.

Figuur 20: De mogelijke processtappen bij de indikking en ontwatering van primair en secundair slib.

Aanvoer van secundair slib

Het secundair slib kan aan de beluchting of uit het retourslib worden onttrokken. Hierbij spelen de volgende overwegingen een rol.

- Drogestofgehalte.

Retourslib heeft een hoger drogestofgehalte dan slib uit de beluchting, waardoor bij de verwerking van retourslib met een relatief kleine hydraulische capaciteit van de mechanische indikking en/of ontwatering kan worden volstaan.

- Variaties in het drogestofgehalte.

Het slibgehalte in de beluchtingstank is relatief constant. Dit komt in principe de werking van de indik- en ontwateringsapparatuur ten goede. Afhankelijk van het aanvoerpatroon en de sturingsmogelijkheden van het retourslibdebiet kan de retourslibconcentratie sterk variëren. Er zijn regelingen voor de indik- en ontwateringsapparatuur die de wisselingen in drogestofgehalte gedeeltelijk of geheel kunnen opvangen (hoofdstuk 6).

- Fosfaatafgifte van biologisch defosfaterend slib.

Bij biologische defosfatering wordt fosfaat in het secundair slib opgeslagen, dat onder anaërobe condities weer uit het slib kan vrijkomen. Onttrekken van het slib uit de beluchting heeft ten opzichte van onttrekken uit het retourslib als voordeel dat het slib zo kort mogelijk onbelucht is, zodat het risico van fosfaatafgifte in de indikking en ontwatering zo klein mogelijk is.

Soms wordt gekozen voor het dimensioneren van de apparatuur op basis van het onttrekken van retourslib, waarbij ook de mogelijkheid wordt gerealiseerd om slib uit de beluchting te kunnen verwerken. Hierdoor kan (tijdelijk) worden overgeschakeld op het onttrekken van slib uit de beluchting, bijvoorbeeld in geval van schommelingen in drogestofgehalte van het retourslib (RWA). De ontwerpbedrijfstijd en de ontwerpcapaciteit van de apparatuur moet dan zo gekozen zijn, dat door een verhoging van de bedrijfstijd en/of de capaciteit de benodigde hoeveelheid drogestof uit de beluchting kan worden verwerkt.

Slibbuffering en slibhomogenisatie

Bij filterpersen vindt in verband met de batchgewijze bedrijfsvoering voor de ontwatering een beperkte slibbuffering plaats. Ook bij andere apparatuur moet kunnen worden gebufferd als de indikking of ontwatering uit bedrijf zijn (weekend, onderhoud).

Gravitatie-indikkers hebben vaak enige buffercapaciteit. Ook is een beperkte buffering van secundair slib in de beluchting mogelijk. Het drogestofgehalte in de beluchting mag echter niet te hoog worden in verband met uitspoeling van drogestof uit de nabezinktank.

De benodigde buffercapaciteit is afhankelijk van de reservestelling van de indik- en ontwateringsapparatuur.

Menging of homogenisatie van één of meerdere slibben vindt plaats om voor de indikking en/of ontwatering een homogene samenstelling te krijgen. Een homogene slibsamenstelling komt de bedrijfsvoering en het ontwateringsresultaat ten goede. Voor het meeverwerken van slib van andere RWZI's of tertiair slib is altijd homogenisatie nodig.

Buffering en homogenisatie vinden vaak in dezelfde proceseenheid plaats. Bij buffering en/of homogenisatie van biologisch defosfaterend slib moet rekening gehouden worden met fosfaatafgifte als het slib anaëroob wordt. Tevens kan sprake zijn van stankontwikkeling en/of H₂S-vorming (hoofdstuk 9).

Indikking

Voor de indikking kan worden uitgegaan van gravitatie-indikking of mechanische indikking. Hierbij zijn de volgende aspecten van belang.

- Drogestofgehalte van het ingedikt slib.

Bij mechanische indikking is het drogestofgehalte van het ingedikt slib hoger dan bij gravitatie-indikking. Hierdoor is het gemiddelde debiet van mechanisch ingedikt slib relatief laag, waardoor bij slibgisting het benodigd volume bij mechanische indikking kleiner is. Bij de ontwatering van mechanisch ingedikt slib kan door het hogere drogestofgehalte met een relatief kleine hydraulische capaciteit van de ontwateringsapparatuur worden volstaan.

- Fosfaatafgifte van biologisch defosfaterend slib.

Door de anaërobe condities in een gravitatie-indikker kan fosfaatafgifte van biologisch defosfaterend slib optreden^[6,53,88,90]. Gezamenlijke gravitatie-indikking van primair en secundair slib bevordert de fosfaatafgifte van secundair slib. Uit recent onderzoek is gebleken dat de fosfaatafgifte beperkt kan zijn en soms beter met chemicaliën dan met directe ontwatering kan worden ondervangen^[6,53].

De verschillende indiksystemen zijn in paragraaf 5.6 uitgewerkt.

Gisting

In de gisting wordt organische stof afgebroken, waardoor de hoeveelheid te verwerken slib na gisting vermindert. Uitgegist slib heeft vaak goede ontwateringseigenschappen. Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib kan een verbetering, maar ook een verslechtering van de ontwateringseigenschappen tot gevolg hebben. Bij vergisting van biologisch defosfaterend slib moet rekening gehouden worden met fosfaatafgifte. Uit recent onderzoek is echter gebleken dat de fosfaatafgifte in de gisting beperkt kan zijn en soms met een beperkte chemicaliëndosering kan worden ondervangen^[6,53]. Om het in de gisting gevormde H₂S te binden wordt ijzer gedoseerd.

Ontwatering en menging van slibben

Bij de keuze van het ontwateringsapparaat moet rekening gehouden worden met de eindverwerking van het ontwaterd slib.

Bij menging van slibben voor gezamenlijke verwerking moet rekening gehouden worden met verandering van de ontwateringseigenschappen. De ontwaterbaarheid van slib kan soms worden verbeterd door menging met relatief goed ontwaterbaar slib.

De verschillende ontwateringssystemen zijn in de paragrafen 5.3-5.5 uitgewerkt.

Opslag en afvoer van ontwaterd slib

Bij de opslagcapaciteit van ontwaterd slib is de bedrijfstijd van de ontwatering en het afvoerregiem van het ontwaterd slib bepalend. Indien een bepaalde periode de ontwatering in bedrijf is en geen afvoer van slib plaatsvindt, zal gedurende deze periode voor opslagcapaciteit gezorgd moeten worden.

Tijdens opslag kunnen stankontwikkeling en H₂S-vorming optreden (zie hoofdstuk 9).

Ontwerpbedrijfstijd, ontwerpbelasting en reservestelling

Veel mechanische indik- en ontwateringsapparatuur kan zonder continu toezicht in bedrijf zijn, waardoor lange bedrijfstijden mogelijk zijn. Een frequent toezicht kan de bedrijfsresultaten verbeteren.

Voor onderhoud zal de apparatuur regelmatig buiten bedrijf gesteld moeten worden. In het ontwerp van de apparatuur moet de bedrijfstijd zo worden gekozen, dat er voldoende mogelijkheden voor onderhoud en reparatie zijn. Voor de ontwerpbedrijfstijd van mechanische indikkers, ontwateringscentrifuges en zeefbandpersen wordt vaak uitgegaan van maximaal 100 uur per week^[59]. Voor filterpersen is de ontwerpbedrijfstijd in verband met de grotere aandacht bij de bedrijfsvoering vaak maximaal 50 uur per week.

De ontwerpbelasting van de apparatuur wordt meestal lager gekozen dan de maximale capaciteit. Bij belastingen hoger dan 60-80% van de maximale capaciteit nemen de prestaties vaak af^[49].

In veel ontwerpsituaties wordt gekozen voor twee of meer apparaten voor de verwerking van de totale slibstroom. Het uitvallen van één apparaat kan geheel of gedeeltelijk worden opgevangen door de bedrijfstijd van het overblijvende apparaat te verhogen (tot maximaal 168 uur per week) en/of gebruik te maken van de maximale capaciteit van dit apparaat.

Bij toepassing van de maximale capaciteit van de apparatuur moet rekening gehouden worden met slechtere prestaties.

Bij filterpersen is toezicht nodig voor het lossen van de koeken, waardoor een verhoging van de bedrijfstijd tot problemen in de bedrijfsvoering kan leiden.

Een verlenging van de bedrijfstijd heeft consequenties voor de bedrijfsvoering van de overige onderdelen van de sliblijn (bijvoorbeeld slibopslag en afvoer).

Voor de reservestelling kan ook worden uitgegaan van capaciteit op andere installaties.

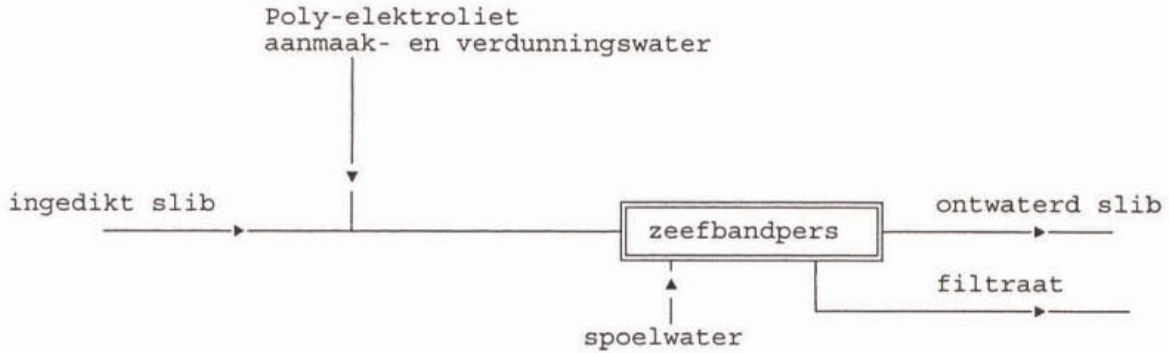
Door de beschreven mogelijkheden bij het uitvallen van apparatuur kan buffering van slib beperkt blijven.

Gravitatie-indikkers vragen weinig onderhoud, zijn niet storingsgevoelig en kunnen continu in bedrijf zijn.

5.3 De zeefbandpers

5.3.1 Werking

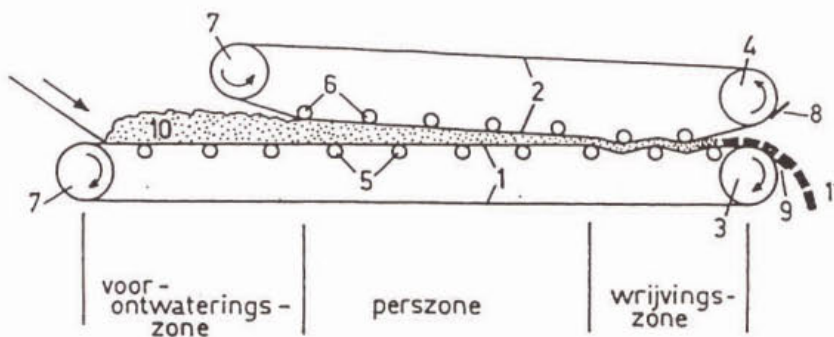
In figuur 21 zijn de in- en uitgaande stromen in een zeefbandpers weergegeven.



Figuur 21: Stroomschema van de zeefbandpers.

De eerste zeefbandpers was een relatief eenvoudig apparaat. In figuur 22 is deze zeefbandpers weergegeven. Aan de hand hiervan kan een goed beeld van de werking worden verkregen.

Er zijn twee boven elkaar geplaatste transportbanden die worden aangedreven met twee aandrijfrollen met tegengestelde draairichting. De tussenrollen dienen voor de onderste band als steunrollen en voor de bovenste band als drukrollen. Het spannen van de banden geschiedt door twee spanrollen. De bovenste band is uitgevoerd als een gesloten persband, die door middel van de drukrollen op de zeefband wordt gedrukt. De drukrollen zijn zowel in horizontale als verticale richting instelbaar, zodat de persdruk kan worden aangepast. Om de slibkoek te verwijderen zijn ter plaatse van de aandrijfrollen schrapers aangebracht.



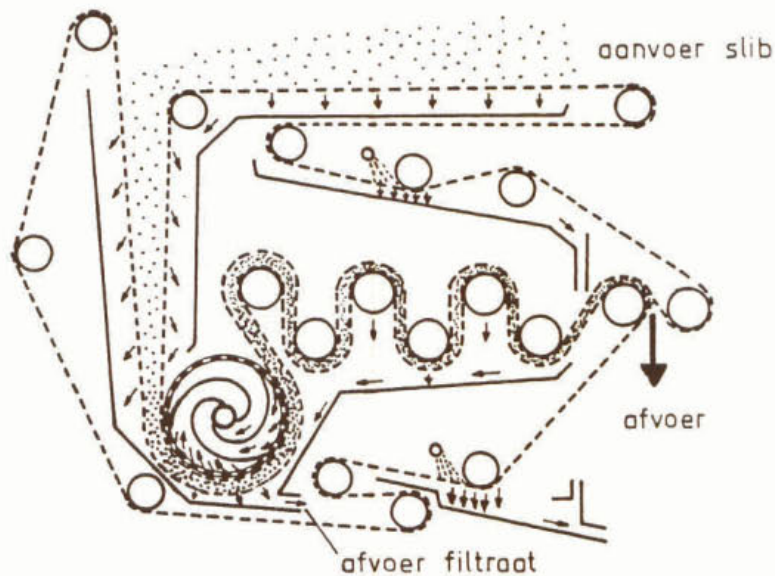
Figuur 22: Eenvoudige zeefbandpers.

- 1, 2: transportbanden;
- 3, 4: aandrijfrollen;
- 5: tussenrollen zeefband;
- 6: tussenrollen persband;
- 7: spanrollen;
- 8, 9: schrapers;
- 10: aangevoerd slib;
- 11: slibkoek.

In het ontwateringsproces worden drie stappen onderscheiden.

1. Het slib wordt geconditioneerd en op de zeefband in de voor-ontwateringszone gebracht, waar een groot gedeelte van het water wordt afgescheiden.
2. Het voor-ontwaterde slib heeft een drogestofgehalte van ongeveer 10% en wordt in de perszone onder toenemende druk verder uitgeperst. Een verdere verhoging van de persdruk alléén heeft weinig effect meer.
3. In de wrijvingszone worden ook horizontale schuifspanningen op de slibkoek uitgeoefend. Hierdoor wordt de structuur van het slib verstoord en is verdere afscheiding van water mogelijk.

In figuur 23 is een afbeelding van een moderne zeefbandpers weergegeven. De ontwatering verloopt als volgt.



Figuur 23: Moderne zeefbandpers.

- Het geconditioneerde slib wordt in de horizontale voorontwateringszone gebracht en gelijkmatig over de band verdeeld. Soms wordt door ploegjes de ontwatering in deze zone bevorderd.
- Het slib wordt in een wigvormige schacht gebracht. Hier wordt tegenover de bovenband een tweede zeefband ingevoerd, waardoor ontwatering van het slib aan beide zijden plaatsvindt. Door de statische druk en de geleidelijk afnemende afstand tussen de banden wordt een snelle volumereductie van het slib bereikt. De vorm van de wig is instelbaar. Aan beide zijden van de schacht bevinden zich flexibele afdichtingen om te voorkomen dat de inhoud zijdelings wegvloeit.
- Het slib komt in de perszone, waar het tussen beide banden rond een geperforeerde wals wordt geleid. Het water dat hier ontwijkt wordt via inwendige kanalen in de wals naar buiten afgevoerd.

- De twee zeefbanden volgen een S-vormige weg over verscheidene walsen. Tijdens deze omloop wordt op de slibkoek druk uitgeoefend als gevolg van de bandspanning. Door het telkens in tegengestelde richting buigen van de slibkoek kan ook het ingesloten water ontwijken. Bovendien ontstaan in de slibkoek schuifkrachten als gevolg van de relatieve snelheidsverschillen van de banden tijdens de omloop van de persrollen, waardoor het vrijkomen van het ingesloten water wordt bevorderd.
- Aan het einde gaan beide zeefbanden uiteen en komt de uitgeperste slibkoek vrij. Door schrapers die tegen de banden rusten wordt de filterkoek afgenomen.

In de diverse zones komt filtraat vrij dat wordt opgevangen en teruggevoerd naar het zuiveringsproces.

Voor slibsoorten die tegen hoge druk bestand zijn, kunnen één of meer contactdrukwalsen worden aangebracht. Met deze walsen worden beide banden tegen de onderzijde van de andere walsen aangedrukt, waardoor plaatselijk hoge drukken ontstaan.

De banden worden in het teruglopende deel door afsputten gereinigd. Hiervoor wordt vaak gefiltreerd effluent gebruikt. De reiniging is ingekapseld, zodat geen waternevel naar buiten kan treden. Het gebruikte bandspoelwater wordt teruggevoerd naar het zuiveringsproces.

Het verlopen van de banden uit de middenstelling wordt automatisch door een hydraulische regeling gecorrigeerd. De spanning van de zeefbanden wordt door middel van hydraulische cilinders (op de spanwalsen) constant gehouden.

De zeefbanden bestaan meestal uit poly-esterdoek. Zeefbanden met grote poriën leiden tot een grote ontwateringsnelheid (capaciteit), maar het afscheidingsrendement wordt vaak slechter.

De zeefbandpers kan automatisch en zonder toezicht in bedrijf zijn. Onderhoud aan zeefbandpersen kan voor een belangrijk deel in eigen beheer worden uitgevoerd. De levensduur van de zeefbanden bedraagt enkele jaren.

De zeefbandpers is een open apparaat, waardoor veiligheids- en milieumaatregelen nodig zijn (hoofdstuk 9).

Resultaten van zeefbandpersen

Het einddrogestofgehalte van zeefbandpersen bedraagt in Nederland 17-32% (gemiddeld 20,1%^[19]). Het poly-elektrolietverbruik ligt tussen 3 en 8 g actief PE/kg ds. Het afscheidingsrendement is vaak groter dan 95%^[41].

In bijlage 3 zijn praktijkervaringen met zeefbandpersen weergegeven.

Cascade van bandindikker en zeefbandpers

Bij de cascade wordt het te ontwateren slib in een bandindikker ingedikt en vervolgens onder vrijval op de zeefbandpers gebracht. In figuur 24 is een stroomschema weergegeven. De bandindikker is boven de zeefbandpers geplaatst. Een cascade kan ten opzichte van de zeefbandpers een groter debiet verwerken.

De poly-elektrolietdosering vindt in de indikstap plaats. De hoeveelheid moet voldoende zijn voor de indikking én de ontwatering, omdat bij de zeefbandpers niet opnieuw poly-elektroliet wordt gedoseerd. De cascade heeft ten opzichte van een zeefbandpers met aparte voorafgaande mechanische indikker de volgende voordelen:

- De poly-elektrolietdosering vindt één keer plaats (lagere kosten, minder storingen).
- Er is geen pomp tussen indikker en zeefbandpers (lagere kosten, minder storingen).
- Mogelijke lagere PE-dosering voor de indik- en ontwateringsstap (geen vlokbeschadiging door verpompen van slib).

Het filtraat van de bandindikker, dat een betere kwaliteit heeft dan dat van de zeefbandpers, wordt soms als spoelwater toegepast. Indien het spoelwater van de zeefbandpers naar de bandindikker worden teruggevoerd is een relatief hoog afscheidingsrendement van de cascade mogelijk. Bij de capaciteit van de bandindikker moet hiermee dan rekening worden gehouden.

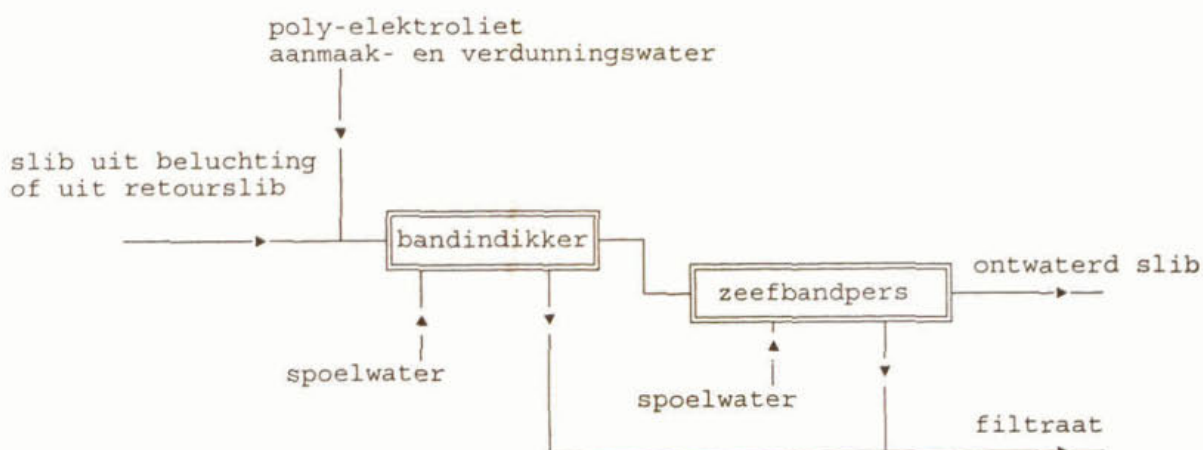
5.3.2 Dimensionering

Bij zeefbandpersen is het ingevoerde slib over het algemeen ingedikt slib. Hierbij is het ontwerp gebaseerd op de specifieke drogestofbelasting, dat wil zeggen de hoeveelheid droge stof die per meter bandbreedte per uur kan worden verwerkt. Daarnaast moet in geval van een cascade rekening gehouden worden met de hydraulische capaciteit van de bandindikker (zie § 5.6.2).

Voor uitgelist slib zijn drogestofbelastingen van 300-400 kg ds/m.h haalbaar. Voor laagbelast actiefslib is dit 150-300 kg ds/m.h^[59].

De bandbreedte van zeefbandpersen varieert tussen 0,4 en 3 meter. De effectieve bandbreedte is de feitelijke bandbreedte die beschikbaar is voor de ontwatering. Deze is 0,1 tot 0,3 meter kleiner dan de breedte van de zeefband.

In bijlage 1 is een methode voor de berekening van de toelaatbare specifieke drogestofbelasting weergegeven.



Figuur 24: Stroomschema van de cascade.

5.3.3 Instelbare parameters

De *conditionering*, het slibvoedingsdebiet, de bandsnelheid en de persdruk zijn van invloed op het ontwateringsresultaat^[7,37,38,60,66,76]. Deze parameters kunnen door de bedrijfsvoerder worden ingesteld.

Conditionering

Het type poly-elektroliet en de doseerverhouding moeten proefondervindelijk worden vastgesteld. Teveel of te weinig poly-elektroliet heeft een negatief effect op het einddrogestofgehalte. Bij een te hoge dosering kan bandversmering optreden. Er zijn regelingen waarmee de *conditionering op de slibaanvoer wordt afgestemd* (hoofdstuk 6).

Apparaatinstellingen

- Drogestofaanvoer en bandsnelheid.

De drogestofaanvoer en de bandsnelheid zijn onderling afhankelijk. Als de aanvoer wordt verhoogd neemt de koekdikte toe. De bandsnelheid moet worden verhoogd om zijdelings uittreden van het slib in de perszone te voorkomen.

Een toename van de aanvoer en de bandsnelheid leidt in de meeste gevallen tot een afname van het drogestofgehalte van het ontwaterd slib. Er zijn regelingen waarbij de bandsnelheid automatisch wordt aangepast (hoofdstuk 6).

- De persdruk.

Bij slibsoorten die goed tegen druk bestand zijn, zoals uitgegist slib, leidt een hogere persdruk vaak tot een hoger drogestofgehalte van het ontwaterd slib. Voor minder drukstabele slibsoorten, zoals actief-slib, heeft een verhoging van de persdruk meestal geen verhoging van het drogestofgehalte van het ontwaterd slib tot gevolg.

Bij hogere persdruk neemt de capaciteit van de zeefbandpers af als gevolg van het eerder zijdelings uittreden van het slib. De persdruk kan worden beïnvloed door de bandspanning. Een hoge persdruk veroorzaakt meer slijtage van de banden.

5.3.4 Elektro-akoestisch ontwateren

De slibontwatering wordt verbeterd door het toepassen van een elektrisch veld in combinatie met ultrasonore energie (elektro-akoestisch ontwateren)^[9,33,67]. Bij het aanbrengen van een elektrische spanning over het slib vindt transport van water naar de kathode plaats, terwijl de vaste deeltjes worden afgestoten. Hoogfrequente geluidsgolven bevorderen het vrijkomen van het water en het agglomereren van de slibdeeltjes. Deze techniek is goed in zeefbandpersen in te passen.

In Amerika werd door akoestisch ontwateren een 20-30% (absoluut) hoger drogestofgehalte behaald (vers slib en uitgegist slib). In Nederland zijn experimenten uitgevoerd met aëroob en anaëroob gestabiliseerd slib. De belangrijkste conclusies waren als volgt:

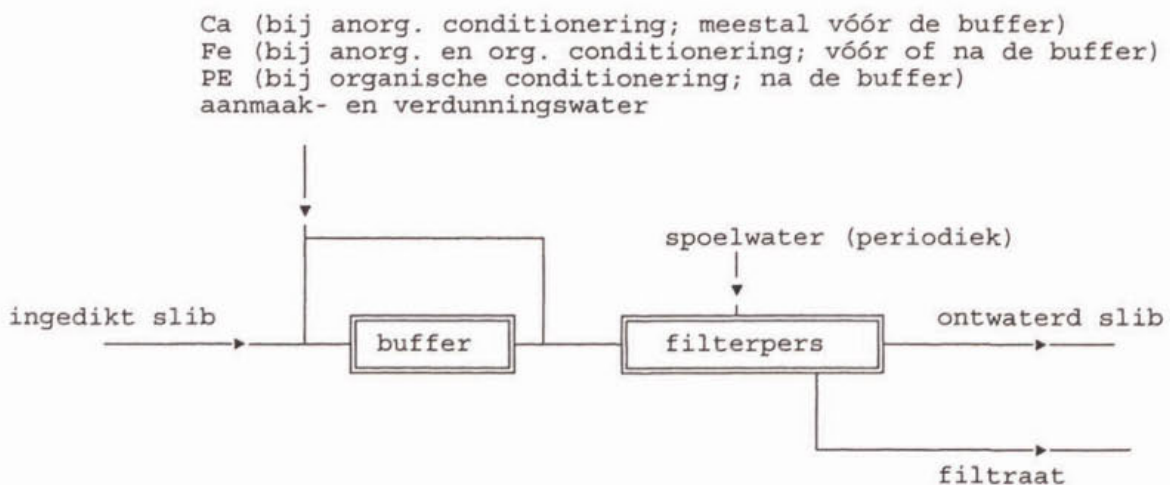
- Ontwatering tot 48% drogestof is mogelijk.
- Bij ontwatering tot 30% drogestof is de extra energie voor elektro-akoestisch ontwateren geringer dan de energie die nodig is voor droging.
- De toepassing van ultrasonore energie in combinatie met elektrische energie is economischer dan het toepassen van elektrische energie alleen.

Er zijn geen praktijkinstallaties met elektro-akoestisch ontwateren in bedrijf.

5.4 De filterpers

5.4.1 Werking

In figuur 25 zijn de in- en uitgaande stromen in een filterpers weergegeven.



Figuur 25: Stroomschema van de filterpers.

De eerste uitvoering van de filterpers was de kamerfilterpers. In figuur 26 is de filterpers schematisch weergegeven. De filterpers bestaat uit filterkamers die gevormd worden door het tegen elkaar schuiven van twee platen. Over de platen zijn filterdoeken aangebracht. Het sluiten van de kamer gebeurt hydraulisch met een druk van 200-400 atmosfeer. De kamerbreedte bedraagt 20-50 mm. De platen zijn tot circa 2 m groot.

Via een centrale opening wordt geconditioneerd slib in de kamer gepompt. Het slib wordt hierbij uit een slibbuffer onttrokken, waarvan het volume minimaal de inhoud van de filterpers is. Bij conditionering met anorganische conditioneringsmiddelen worden deze vaak vóór de slibbuffer aan het slib toegevoegd. Poly-elektrolyet wordt vaak na de buffer aan het slib gedoseerd.

De kamers worden bij betrekkelijk lage druk en hoog debiet gevuld. Vervolgens begint de filtratie met een druk van 5 tot 15 atmosfeer, die door de pomp wordt onderhouden. Het slibwater gaat door het filterdoek heen en verlaat via kanalen in de kamer de pers (filtraat). Er is een steeds hogere druk nodig om de kamers te vullen. De doorzet daalt uiteindelijk tot vrijwel nul. De perstijden liggen tussen één en enkele uren.

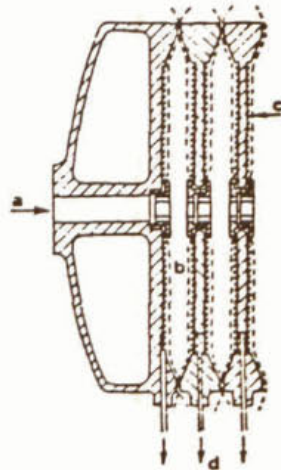
Om de filterpers te legen worden de platen één voor één getransporteerd, waardoor de kamers worden geopend. Bij een goed verlopend proces vallen de koeken van de doeken. De koeken worden via het transportsysteem in de trog onder de pers afgevoerd. Als de doeken vervuild zijn moet de slibkoek worden afgestoken en/of moeten de doeken worden schoongespoten.

Het sluiten en openen van de pers en het schoonspuiten gebeurt meestal automatisch.

De filterdoeken bestaan vaak uit polypropyleen. Toepassing van doeken met grote poriën resulteert soms in een verhoging van de ontwateringssnelheid, maar kan ook leiden tot een sterk verminderde filtraatkwaliteit en kleven van de koeken aan de doeken.

Onderhoud aan de filterpers kan voor een groot deel in eigen beheer worden uitgevoerd.

De filterpers is een open apparaat, waardoor veiligheids- en milieumaatregelen nodig zijn. Bij anorganische conditionering komt ammoniak vrij (zie hoofdstuk 9).



- | | | | |
|---|-------------|---|-----------------|
| a | slibaanvoer | c | filterdoek |
| b | filterkamer | d | afvoer filtraat |

Figuur 26: Kamers in de filterpers.

Membraanfilterpers

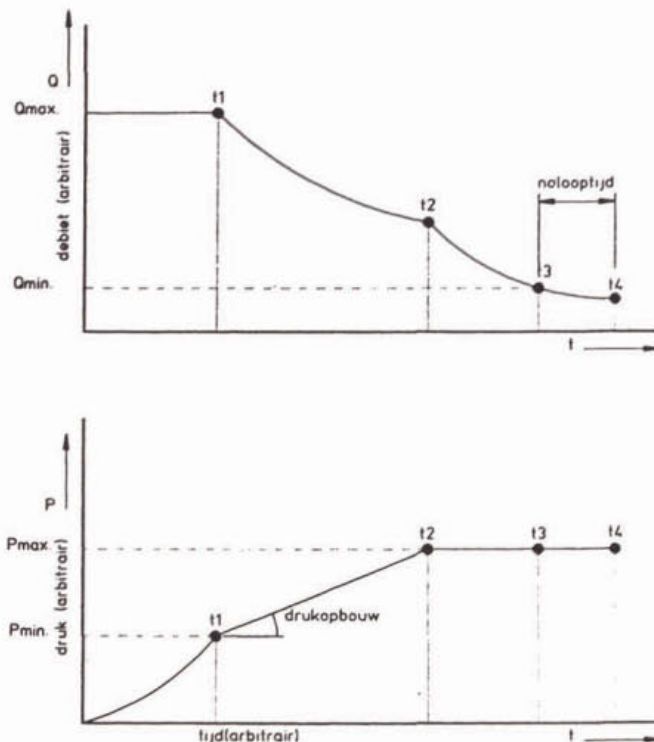
Bij de membraanfilterpers is in de filterkamer een membraan aangebracht, dat door het inpompen van een vloeistof (water) of lucht druk kan uitoefenen op het slib in de kamer. Bij de ontwatering met deze filterpers worden de volgende twee fasen onderscheiden.

- Ontwatering tijdens het inpompen van geconditioneerd slib.
- Verdere ontwatering door het op druk brengen van de membranen, waardoor de filterkoecken in elkaar worden geperst.

Een perscyclus bij een membraanfilterpers duurt korter dan bij een kamerfilterpers (1-1,5 uur versus enkele uren).

In figuur 27 is een voorbeeld van een ontwateringscyclus bij een membraanfilterpers weergegeven^[69]. De ontwateringscyclus start met het vullen van de persen. Aan de perszijde van de vulpomp worden de druk en het debiet gemeten. Bij een bepaalde ingestelde vuldruk wordt het debiet van de vulpomp teruggeregeld. Op het moment dat het vuldebiet is gedaald tot onder een ingestelde waarde, wordt het vullen beëindigd en wordt de slibkoek door het op druk brengen van membranen verder ontwaterd (nalooptijd).

Er zijn membraanfilterpersen waarbij volgens de leveranciers geen toezicht tijdens de koeklossing nodig is^[32,92]. De filterdoeken worden tijdens het lossen om geleidingsrollen naar beneden getrokken. Door het ombuigen van het doek via de rollen wordt voorkomen dat er delen van de slibkoek op het doek achterblijven. Met deze filterpersen zijn in de industrie goede ervaringen opgedaan.



Figuur 27: Voorbeeld van het verloop van het vuldebiet en de vuldruk in de tijd.

Resultaten van filterpersen

Het einddrogestofgehalte van filterpersen in Nederland bedraagt bij anorganische en organische conditionering respectievelijk 35-50% en 20-35% (gemiddeld 31,7% volgens CBS, zonder onderscheid naar conditioneringsmethode^[19]). Bij anorganische conditionering bedraagt de dosering 30-60 g FeCl₃/kg ds en 200-400 g Ca(OH)₂/kg ds. Bij organische conditionering ligt de poly-elektrolietdosering tussen 3 en 6 g actief PE/kg ds. Hierbij is voor een goede koeklossing een Fe-dosering nodig van 25-30 g Fe/kg ds^[74]. Het afscheidingsrendement van filterpersen is vaak groter dan 99%^[41]. In bijlage 4 zijn praktijkervaringen met filterpersen weergegeven.

Nieuwe ontwikkelingen

Sinds enige tijd is de "Wring Alternating Press" (W.A.P) op de markt. Deze pers bestaat uit één perskamer, waarin zich meerdere verticale doeken bevinden. Tijdens het persen wordt het slib in dunne laagjes tussen de doeken uitgeperst. De drainagedoeken zijn voorzien van drains die het filtraat afvoeren.

In praktijkproeven met deze pers zijn goede resultaten behaald. Bij ontwatering met ijzerchloride en poly-elektroliet werd een drogestofgehalte groter dan 40% verkregen^[8]. Er zijn nog weinig ervaringen met deze pers.

5.4.2 Dimensionering

In filterpersen wordt meestal ingedikt slib ontwaterd. De dimensionering is gebaseerd op praktijkervaringen. De ontwerpgrondslag is de toelaatbare specifieke drogestofbelasting (kg ds/m².h), waaruit het benodigde filteroppervlak bepaald kan worden. Gangbare dimensioneringswaarden zijn 1,5-3 kg ds/m².h^[59].

Een filterpers vereist toezicht bij het lossen van de koeken. Een volledig automatisch bedrijf van een filterpers zonder toezicht is niet mogelijk. Er zijn filterpersen met filteroppervlakken tot 750 m².

5.4.3 Ombouw van anorganische naar organische conditionering

In veel gevallen is overgestapt van anorganische conditionering op organische conditionering (poly-elektrolieten)^[62,64,74,84]. Hierdoor verminderen de kosten voor de slibafzet en wordt ammoniakemissie bij de opslag voorkomen. In geval van storten is anorganische conditionering vaak nog steeds noodzakelijk.

Bij bestaande filterpersen moet voor de toepassing van poly-elektrolieten in plaats van anorganische conditionering vaak een aantal aanpassingen worden verricht. Belangrijke aandachtspunten bij de ombouw zijn de afvoer van filtraat, de sturing van de conditionering en de koeklossing. Ontwatering met poly-elektroliet wordt gekenmerkt door een hogere initiële ontwateringssnelheid. Hierdoor wordt het momentane filtraatdebiet hoger en is wellicht vergroting van de filtraatafvoer vanuit de filterkamers en van de capaciteit van de filtraatpompen nodig. Een geringe over- of onderdosering van poly-elektroliet kan tot een aanzienlijke verslechtering van het ontwateringsresultaat leiden, zodat een goede sturing nodig is^[69]. Bij dosering van alleen poly-elektroliet verloopt het lossen van de koeken uit de filterpersen moeilijk. Door dosering van ijzerchloride vindt de koeklossing beter en sneller plaats^[74].

5.4.4 Instelbare parameters

De conditionering, het vulregiem en het napersregiem zijn van invloed op het ontwateringsresultaat^[39,40,60,77]. Deze parameters kunnen door de bedrijfsvoerder worden ingesteld.

Conditionering

Het type poly-elektroliet (organische conditionering) en de doseerverhouding moeten proefondervindelijk worden bepaald. Teveel of te weinig conditioneringsmiddel leidt tot een

lager drogestofgehalte. Bij een te lage ijzerdosering kunnen bovendien problemen met de koeklossing optreden. Er zijn regelingen waarmee de conditionering op de slibaanvoer wordt afgestemd (hoofdstuk 6).

Apparaatinstellingen

- Vulregiem.

Vooraf bij slib dat is geconditioneerd met poly-elektroliet is het toegepaste vulregiem van invloed op het ontwateringsresultaat. Hierbij geldt dat de vuldruk langzaam en gelijkmatig moet worden opgebouwd. Meestal is een sturing van het debiet op basis van de gemeten vuldruk nodig. Een te hoog initieel vuldebiet leidt tot een slechte opbouw van de koeken en daarmee tot verminderde ontwateringsresultaten. Een hogere maximale vuldruk of een langere vultijd leidt bij kamerfilterpersen vaak tot een hoger einddrogestofgehalte. Bij membraanfilterpersen is de invloed van de vuldruk en vultijd op het einddrogestofgehalte minder groot.

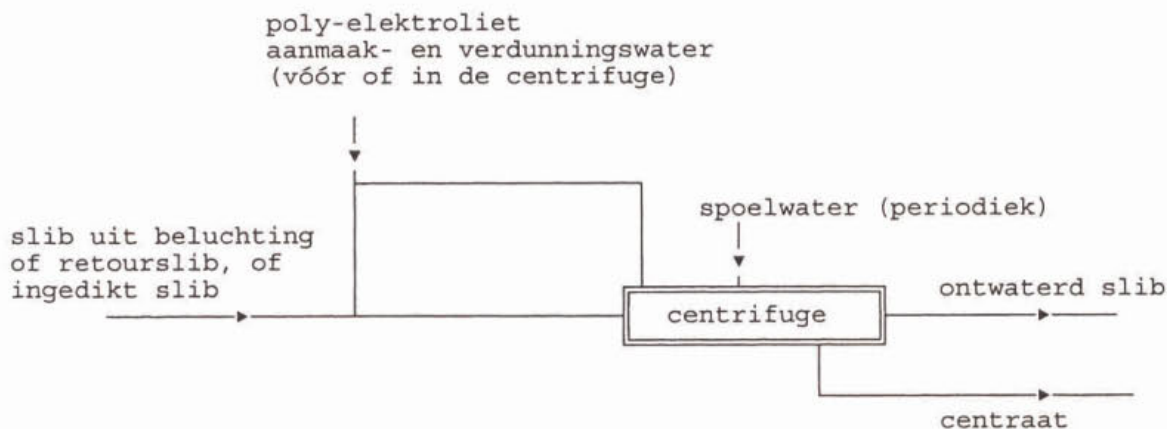
- Napersregiem.

Napersen vindt alleen bij membraanfilterpersen plaats. Voor de ontwatering van met poly-elektroliet geconditioneerd slib geldt dat de napersdruk langzaam moet worden opgebouwd. Een te snelle opbouw van de druk leidt tot "dichtslaan" van de filterdoeken en de filterkoeken. Dit resulteert in een filterkoek met een droge buitenkant en een natte binnenkant. Een verhoging van de napersdruk of een verlenging van de naperstijd kan tot een hoger einddrogestofgehalte leiden.

5.5 De ontwateringscentrifuge

5.5.1 Werking

In figuur 28 zijn de in- en uitgaande stromen in een centrifuge weergegeven.



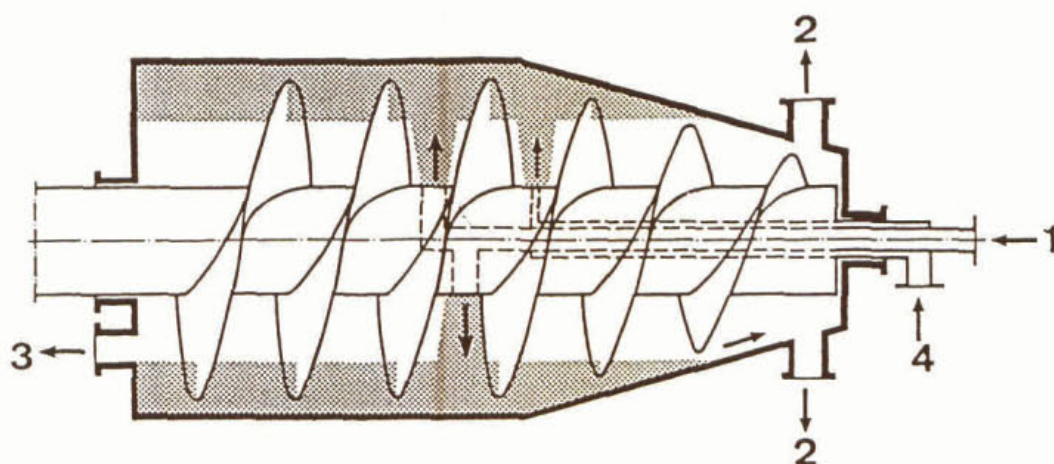
Figuur 28: Stroomschema van de centrifuge.

Bij centrifugeren worden water en slib door de centrifugale kracht gescheiden, die door rotatie in de centrifuge wordt opgewekt. De centrifugale kracht is vele malen groter dan de zwaartekracht.

Voor de ontwatering van zuiveringsslib worden alleen decanteercentrifuges toegepast. In figuur 29 is de decanteercentrifuge weergegeven. Een decanteercentrifuge bestaat uit een roterende mantel (buitenwand) en een roterende transportschroef^[24,59,60]. De centrifugemantel

bestaat uit een cilindrisch en een conisch deel. De mantel en de schroef draaien beide in dezelfde richting, waarbij de schroef iets langzamer draait dan de mantel. Het toerental van de mantel varieert van 1.500-4.000 omwentelingen per minuut (rpm). Het verschil in toerental tussen mantel en schroef is 1-15 rpm.

Het slib wordt centraal in de centrifuge gebracht en aan de centrifugale kracht onderworpen. De slibdelen worden tegen de mantel afgezet. De afgescheiden slibdelen worden door de transportschroef, tegen de helling van het conische gedeelte op, naar de uitwerpopening getransporteerd. Het centraat verlaat de centrifuge via een instelbare overlooprand.



Figuur 29: De decanteercentrifuge (tegenstroom).

- 1: slibaanvoer,
- 2: afvoer ontwaterd slib,
- 3: afvoer centraat (overlooprand),
- 4: aanvoer poly-elektroliet

Belangrijke vaste machineparameters zijn:

- de lengte/diameterverhouding van het cilindrisch gedeelte van de trommel;
- de hoek en de lengte van de conus;
- de spoed van de schroef.

De lengte/diameterverhouding (L/D) varieert meestal tussen 2,5 en 4. Bij toename van deze verhouding wordt de afscheiding van de slibdeeltjes beter, doordat bij een grotere mantellengte de verblijftijd wordt verlengd. Bij een toename van de lengte wordt de capaciteit groter.

Het conisch gedeelte beïnvloedt de mate waarin transport van afgescheiden slibdeeltjes naar de uitwerpopening mogelijk is. De hellingshoek van de conus bedraagt 8-12°. Een grotere hellingshoek geeft in principe een hoger drogestofgehalte. De ontwatering van slib met een losse structuur en een hoog watergehalte vereist echter een niet al te grote hellingshoek om het doorslippen van fijne slibdelen onder de transportschroef te voorkomen.

De spoed van de schroef is mede bepalend voor de drogestofcapaciteit van de centrifuge. Het poly-elektrolyet wordt in de centrifuge geïnjecteerd of vóór de centrifuge met slib gemengd. Bij zwakke slibvlokken kan de slibvlok in een vroeg stadium door de centrifugale kracht worden stukgeslagen. Injectie in de centrifuge heeft dan de voorkeur. Bij zwakke slibvlokken kan voorconditionering worden toegepast (FeCl_3).

Na de ontwatering en bij stilstand moet de centrifuge worden schoongespoeld om aankoeven van slib in de centrifuge te voorkomen.

De centrifuge kan automatisch en zonder toezicht in bedrijf zijn^[80]. Voor onderhoud en storingsen wordt vaak een onderhoudscontract afgesloten met de leverancier.

De centrifuge is een gesloten apparaat, waardoor veiligheids- en milieumaatregelen beperkt kunnen zijn (hoofdstuk 9).

Mee- en tegenstroomcentrifuges

De meeste centrifuges werken volgens het tegenstroomprincipe. Bij deze centrifuges wordt het slib centraal in de centrifuge gevoerd. Het slib wordt naar het einde van de conus getransporteerd, terwijl de vloeistof tegen de slibstroom in naar de centraatoverloop stroomt.

Bij het meestroomprincipe wordt het slib aan het begin van het cilindrisch gedeelte ingevoerd. Bij meestroomcentrifuges vindt de sedimentatie langs een langere route met minder hydraulische turbulentie plaats. Hierdoor is de centrifuge beter toepasbaar voor slecht ontwaterbare slibsoorten. Nadelen zijn een geringere hydraulische capaciteit en een lager drogestofgehalte. De voordelen van tegenstroomcentrifuges zijn een wat hoger drogestofgehalte en een hogere hydraulische capaciteit; een nadeel is hun lagere afscheidingsrendement als gevolg van een grotere turbulentie.

Voor beide typen centrifuges geldt dat een extra verhoging van het drogestofgehalte wordt verkregen door de persende werking van de schroef in de conus.

Resultaten van centrifuges

Het einddrogestofgehalte van centrifuges bedraagt in Nederland 17-32% (gemiddeld 23,6%^[19]). Het poly-elektrolyetverbruik ligt tussen 5 en 15 g actief PE/kg ds. Het afscheidingsrendement is vaak groter dan 95% of 98%, respectievelijk bij ontwatering van retourslib en ontwatering van ingedikt slib^[41].

In bijlage 5 zijn praktijkervaringen met centrifuges weergegeven.

5.5.2 Dimensionering

Centrifuges worden toegepast voor ontwatering van slib uit de beluchting, retourslib of ingedikt slib.

Bij ontwatering van slib met een laag drogestofgehalte, zoals retourslib, wordt de verwerkingscapaciteit beperkt door de hydraulische capaciteit. Bij ontwatering van ingedikt slib kan de drogestofcapaciteit beperkend worden. Er zijn centrifuges met capaciteiten tot 100 m³/h en 1.500 kg ds/h.

Bij opschaling en onderlinge vergelijking van centrifuges kan gebruik worden gemaakt van het zogenaamde Σ -concept en β -concept. Deze formules en een rekenvoorbeeld zijn in bijlage 2 weergegeven.

5.5.3 Instelbare parameters

De conditionering, het toerental van de mantel, het verschiltoerental, de vijverdiepte en het slibdebiet zijn van invloed op het ontwateringsresultaat^[60,75]. Deze parameters kunnen door de bedrijfsvoerder worden ingesteld.

Conditionering

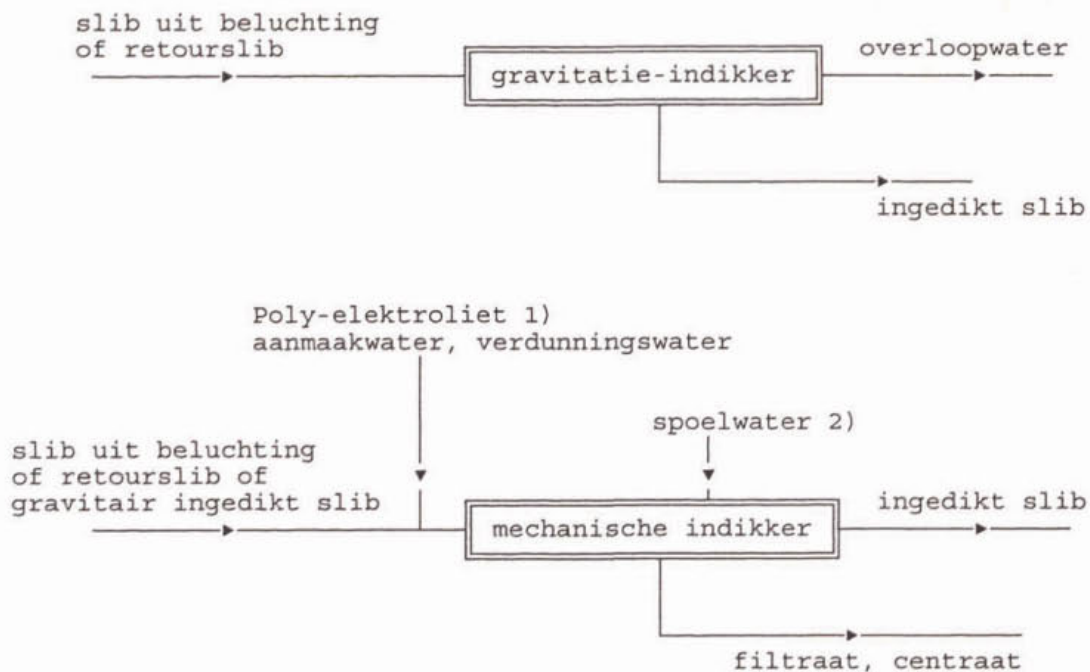
Het type poly-elektroliet, de doseerverhouding en het injectiepunt moeten proefondervindelijk worden vastgesteld. Een onder- of overdosering van conditioneringsmiddel leidt tot een lager drogestofgehalte en/of een slechter afscheidingsrendement. Er zijn regelingen waarmee de conditionering op de aanvoer van slib wordt afgestemd (hoofdstuk 6).

Apparaatinstellingen

- Toerental van de mantel.
Een verhoging van het toerental leidt tot betere ontwateringsprestaties. Bij een te hoog toerental is sprake van daling van de ontwateringsresultaten door vlokbeschadiging en turbulentie.
- Verschiltoerental.
Door het verschil in toerental tussen de mantel en de transportschroef worden de afgescheiden slibdelen uit de centrifuge verwijderd. Een toename van het verschiltoerental (via het toerental van de schroef) leidt tot een afname van de verblijftijd van de slibdeeltjes. Hierdoor wordt het drogestofgehalte van het ontwaterd slib lager. De centraatkwaliteit wordt bij een hoog verschiltoerental beter, als gevolg van een groter bezinkvolume/diepte in de centrifuge.
Een te hoog verschiltoerental heeft extra turbulentie tot gevolg, hetgeen tot een afname van de centraatkwaliteit leidt.
Bij een te klein verschiltoerental wordt de afvoer van slib uit de centrifuge te klein, waardoor het afscheidingsrendement afneemt en/of verstopping optreedt (vastlopen schroef).
- Vijverdiepte.
De vijverdiepte is de hoogte van de centraatoverloop in de centrifuge. Een toename van de vijverdiepte leidt tot een toename van de hydraulische verblijftijd en een reductie van turbulenties in de vloeistof. Daarnaast is de droogzone op de conus relatief klein, waardoor relatief weinig kleine deeltjes onder de transportschroef kunnen doorglippen. De kleine deeltjes worden beter verwijderd. Het afscheidingsrendement neemt dus toe bij een vergroting van de vijverdiepte.
Bij een zeer kleine vijverdiepte ontstaan hoge lineaire vloeistofsnelheden aan het grensvlak tussen vaste stof en vloeistof. Hierdoor kunnen afgescheiden fijne deeltjes opnieuw in het centraat belanden, waardoor het afscheidingsrendement verslechtert.
- Slibdebiet.
Een verhoging van het debiet heeft, zolang het afscheidingsrendement groot blijft, meestal een afname van het drogestofgehalte van het ontwaterd slib tot gevolg. De verblijftijd van het slib wordt namelijk korter.
Bij een bepaald debiet wordt de hydraulische verblijftijd zo kort dat de fijne deeltjes de centrifuge via het centraat verlaten (daling rendement). Hierdoor worden relatief meer grove deeltjes tegen de wand afgezet, waardoor het drogestofgehalte van het ontwaterd slib toeneemt.
Een verandering van de drogestofvracht moet gepaard gaan met een verandering van verschiltoerental om het risico van ophoping van vaste stof in de centrifuge tegen te gaan.

5.6 Indikkers

In figuur 30 zijn de in- en uitgaande stromen van gravitatie-indikking en mechanische indikking weergegeven. Gravitair ingedikt slib wordt soms mechanisch ingedikt om de indikgraad verder te verhogen. Het ingedikt slib wordt met een pomp naar de gisting of naar de slibontwatering (zeefbandpers, filterpers, centrifuge) gebracht.



- 1) Bij indikcentrifuges kan ook dosering in de centrifuge plaatsvinden.
 2) Bij bandindikkers en trommelindikkers continu; bij indikcentrifuges incidenteel.

Figuur 30: Stroomschema van een gravitatie-indikker en mechanische indikker.

5.6.1 De gravitatie-indikker

In een gravitatie-indikker wordt het slib in een ronde tank onder invloed van de zwaartekracht ingedikt. Secundair en primair slib kunnen gezamenlijk of gescheiden worden ingedikt^[16,89]. In figuur 31 is de gravitatie-indikker schematisch weergegeven.

Het slib wordt via de inlooptrommel centraal in de indikker gebracht. Het slib dikt in door bezinking van de slibdeeltjes. Het ingedikte slib wordt aan de onderzijde van de indikker met slibschrapers geruimd en vervolgens afgevoerd.

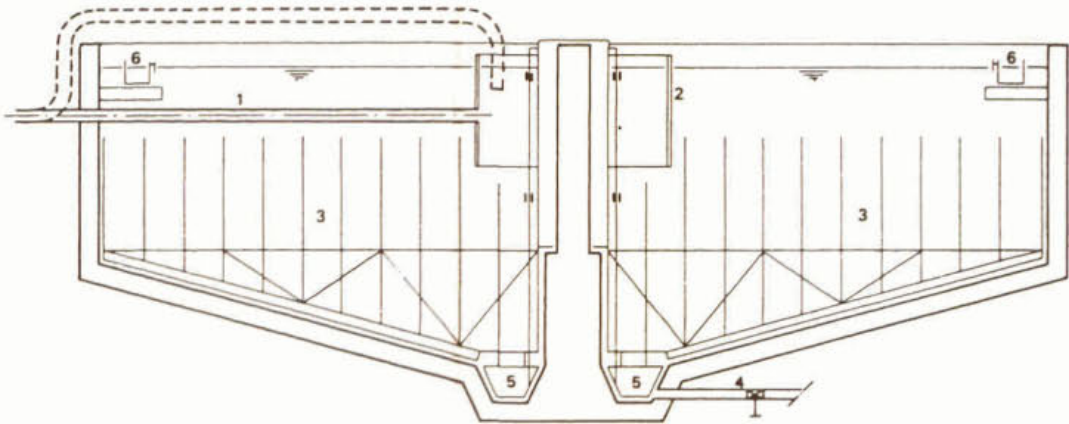
De indikking vindt plaats onder voortdurend langzaam roeren. Het roerwerk is aan de ruimerinstallatie bevestigd. Het roeren heeft een positieve invloed op de vlokvorming, het ontwijken van het vrije water, het vrijmaken van gasbellen en het homogeniseren van het slib.

Het afgescheiden water stort over via een overstortrand langs de gehele omtrek van de indikker en wordt teruggevoerd naar de RWZI.

De kantdiepte van indikkers is 2-4 m. Er zijn indikkers met diameters van enkele meters tot 30 m.

Belangrijke dimensioneringsgrondslagen zijn de drogestofbelasting en de hydraulische belasting. De drogestofbelasting bepaalt het indikresultaat. De hydraulische belasting is bepalend voor het afscheidingsrendement. In tabel 4 zijn de drogestofbelasting en het indikresultaat voor verschillende slibsoorten weergegeven. Voor een goed afscheidingsrendement (96-98%) moet de hydraulische belasting maximaal $0,6-1,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ bedragen^[16]. Meestal wordt bij de gekozen drogestofbelasting aan deze eis voldaan.

Gravitatie-indikkers zijn niet storingsgevoelig en kunnen continu in bedrijf zijn. Indikkers hebben vaak enige buffercapaciteit, doordat de hoeveelheid slib in de indikker binnen bepaalde grenzen kan worden gevarieerd. In de loop van de dag kan het drogestofgehalte in de indikker veranderen. Bij indikking van biologisch defosfaterend slib kan door de lange verblijftijd in de indikker fosfaatafgifte optreden^[6,53]. Tevens kan stank vrijkomen.



Figuur 31: De gravitatie-indikker.

- 1: slibaanvoer;
- 2: inlooptrommel;
- 3: roerwerk;
- 4: slibafvoer;
- 5: slibschuivers;
- 6: overstortgoten.

Tabel 4: Drogestofbelasting en drogestofgehalten^[16,60].

Slibsoort	Drogestofbelasting (kg/m ² .d)	Haalbaar drogestofgehalte (%)
Primair slib	80-120	7-8
Primair en secundair slib	20-40	4-8
Secundair slib	20-40	2-4
Uitgegist slib	100-200	5-9

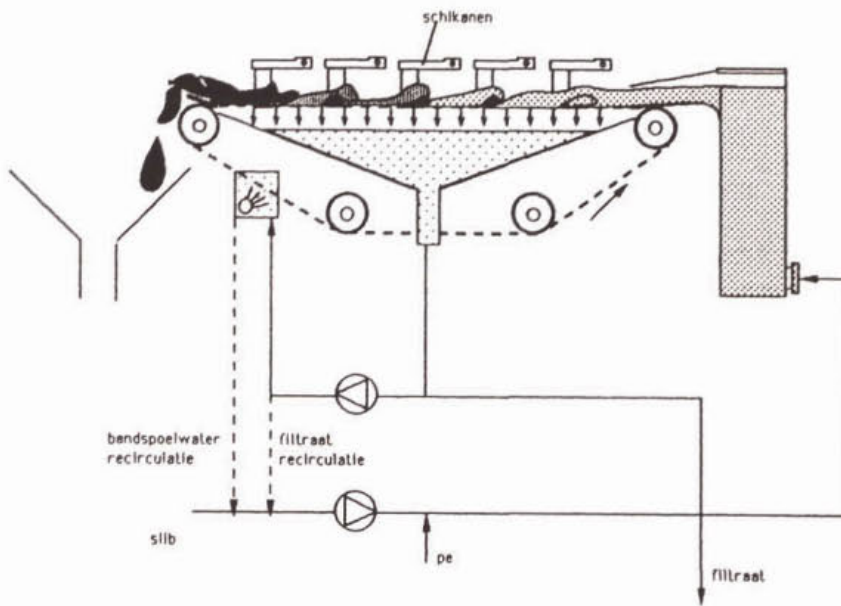
5.6.2 De bandindikker

In een bandindikker worden de slibdeeltjes onder invloed van de zwaartekracht via een filterdoek van het water gescheiden. In figuur 32 is een afbeelding van de bandindikker weergegeven^[30]. De bandindikker bestaat uit een transportband die wordt aangedreven door twee gekoppelde aandrijfrollen. Het met poly-elektrolyet geconditioneerde slib wordt op de draaiende band gebracht. Het water zakt door de band en wordt afgevoerd naar de terreinriolering. Aan het eind van de band valt het slib eraf. Vaak wordt het slib op de band omgeploegd (shikanen) om de indikresultaten te verbeteren.

Soms wordt een deel van het filtraat naar de invoer van de indikker gerecirculeerd. Dit kan tot een vermindering van het poly-elektrolyetverbruik leiden, doordat in het filtraat vaak nog een restant werkzaam poly-elektrolyet aanwezig is.

Voor het schoonspoelen van de band wordt het filtraat of bedrijfswater (gefiltreerd effluent) gebruikt. Het gebruikte bandspoelwater bevat veel slibdeeltjes. Voor afscheiding van deze deeltjes kunnen voorzieningen voor recirculatie van het spoelwater worden getroffen (verhoging afscheidingsrendement).

Onderhoud aan de bandindikker kan voor een belangrijk deel in eigen beheer worden uitgevoerd. De bandindikker is een open apparaat, waardoor veiligheids- en milieumaatregelen nodig zijn (hoofdstuk 9).



Figuur 32: De bandindikker.

Het ingaande drogestofgehalte bedraagt 0,3-2%. Het ingedikte slib heeft een drogestofgehalte van 5-7%. De poly-elektrolietdosering bedraagt 2-5 g actief PE/kg ds. Het afscheidingsrendement is 90-98%. Bij installaties met bandspoelwaterrecirculatie is het rendement vaak hoger dan 96%.

De conditionering, het slibvoedingsdebiet en de bandsnelheid kunnen worden ingesteld. De conditionering moet op het slibdebiet worden afgesteld. Hiervoor is meet- en regelapparatuur beschikbaar (hoofdstuk 6). Een verhoging van de drogestofvracht (slibdebiet) moet ook tot een verhoging van de bandsnelheid leiden om een te dikke sliblaag te vermijden. Een dikke sliblaag op de band vermindert de ontwatering van het slib. De bandsnelheid wordt in de regel handmatig aangepast.

Het ontwerp van de bandindikker is gebaseerd op de hydraulische belasting. De drogestofdoorzet heeft binnen ruime grenzen geen belangrijke invloed op het indikresultaat.

Er zijn bandindikkers met capaciteiten tot 150 m³/h. Een bandindikker kan continu en zonder toezicht in bedrijf zijn.

5.6.3 De indikcentrifuge

In een indikcentrifuge worden slibdeeltjes en water door de centrifugale kracht gescheiden. De indikcentrifuge is een decanteercentrifuge, waarvan de werking in paragraaf 5.5.1 is weergegeven. De hellingshoek van de conus van indikcentrifuges is kleiner dan die van ontwateringscentrifuges. Hierdoor wordt het slib minder samengeperst.

In indikcentrifuges wordt het slib meestal ingedikt tot 5-7%^[42,73]. Hogere drogestofgehalten zijn mogelijk, maar dit gaat ten koste van het afscheidingsrendement^[73].

De indikking vindt zowel met als zonder poly-elektrolietdosering plaats. Bij poly-elektrolietdosering bedraagt de doseerverhouding 1-2 g actief PE/kg ds. Het rendement is dan 90-98%. Zonder poly-elektrolietdosering moet rekening gehouden worden met een slechter afscheidingsrendement.

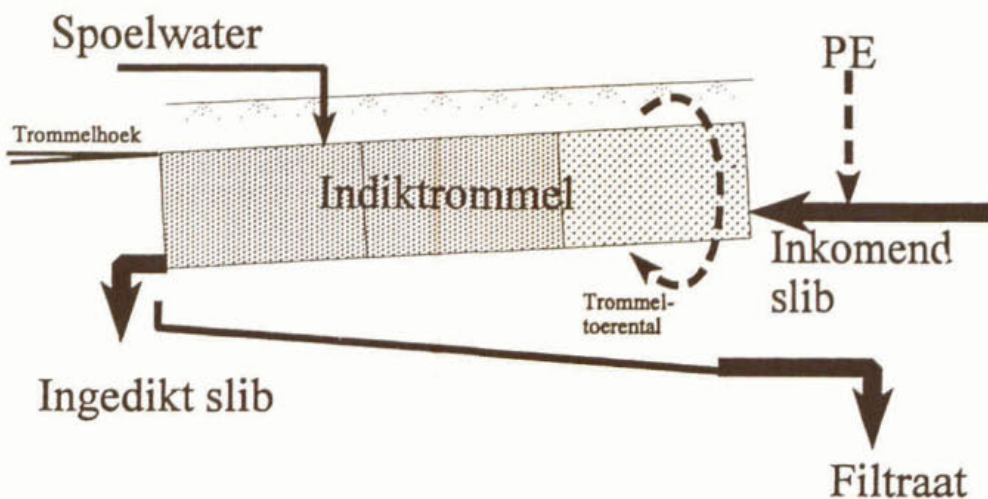
In de centrifuges kan vlokbeschadiging optreden, waardoor de ontwaterbaarheid van het slib kan verslechteren.

In verband met de afvoer van ingedikt slib moet er bij de bedrijfsvoering voor gezorgd worden dat het drogestofgehalte van het ingedikt slib niet te hoog wordt.

De instelbare parameters zijn dezelfde als beschreven in 5.5.4.

5.6.4 De trommelindikker

In een trommelindikker wordt het slib in een ronddraaiende trommel gebracht, waarvan de wand uit een filter bestaat. In figuur 33 is de trommelindikker schematisch weergegeven. De trommel heeft een toerental van 5-15 rpm en staat onder een hoek opgesteld. Het in te dikken slib wordt bovenin de trommel gebracht, en door de zwaartekracht en de draaiende werking naar het uiteinde getransporteerd. Gaandeweg dikt het slib in, doordat het water door het filter zakt.



Figuur 33: De trommelindikker.

Bij de vroegere indikkers diende de geperforeerde trommel als filter. Bij de nieuwe generatie indikkers is de trommel bekleed met een filterdoek. Het filtermedium wordt van buiten naar binnen met spoelwater gereinigd. Het spoelwater wordt samen met het slibwater via het filterdoek afgevoerd. Er wordt door spoeling extra water in de trommelindikker gebracht, hetgeen het indikproces enigszins negatief kan beïnvloeden.

Voor het spoelen wordt gebruik gemaakt van leidingwater of bedrijfswater (gefiltreerd effluent). Bij gebruik van filtraat als spoelwater bestaat de kans op verstopping van de sproei-nozzles.

De trommelindikker kan zonder toezicht continu in bedrijf zijn. Onderhoud kan voor het grootste deel in eigen beheer worden uitgevoerd.

De trommelindikker is een gesloten apparaat, waardoor milieumaatregelen beperkt kunnen zijn.

Trommelindikkers zijn in de loop van de jaren uit beeld geraakt door de introductie van de bandindikkers met grotere capaciteiten en betere prestaties dan trommelindikkers. De nieuwe generatie trommelindikkers heeft grotere capaciteiten dan de oude en is aangepast om betere prestaties te kunnen leveren (toepassen filterdoek).

Instelbare parameters zijn de conditionering, de slibaanvoer, het trommeltoerental en de trommelhoek.

De conditionering moet op het slibdebiet worden afgestemd. Hiervoor is meet- en regelapparatuur beschikbaar. Een grotere slibaanvoer (debiet) heeft een kortere verblijftijd in de indikker tot gevolg, waardoor de indikgraad afneemt. De indikgraad neemt toe bij een hoger toerental en bereikt bij een toerental van 5-10 rpm een maximum. Bij een verder oplopend toerental vermindert het indikresultaat. De trommelhoek is van invloed op de verblijftijd van het slib. Een grotere hoek levert een minder vergaand ingedikt slib.

Met de nieuwe trommelindikkers zijn nog weinig ervaringen opgedaan. In testen werden drogestofgehalten van 6-7% gehaald. Het poly-elektrolyetverbruik lag tussen 2 en 3 g actief PE/kg ds en het afscheidingsrendement was meestal groter dan 95%^[58].

De dimensionering vindt plaats op basis van de hydraulische belasting van de indikker. Er zijn trommelindikkers met capaciteiten tot 100 m³/h.

6 METING EN REGELING

6.1 Inleiding

Voor de meting en regeling van de mechanische indikking en ontwatering is diverse apparatuur beschikbaar. De apparatuur is een hulpmiddel voor het zo veel mogelijk in stand houden van de door de bedrijfsvoerder gekozen procesinstellingen. Deze instellingen worden proefondervindelijk en met behulp van laboratoriumanalyses vastgesteld.

In een recent Stowa-onderzoek is de meet- en regelapparatuur bij de slibontwatering geïnventariseerd^[41].

6.2 Meetpunten

In figuur 34 zijn de mogelijke meetpunten in de mechanische indikking en ontwatering weergegeven. Deze meetpunten zijn:

- de ingaande slibstroom;
- het toegevoegde conditioneringsmiddel;
- het geconditioneerde slib;
- het indik- of ontwateringsapparaat;
- het filtraat of centraat;
- het ingedikt of ontwaterd slib.

Het uitgangssignaal van een meter kan worden gebruikt als ingang voor het (automatisch) aanpassen van de ingestelde procesparameters. Daarnaast kan een meting voor signalering/alarmering worden gebruikt.

6.3 Meting en regeling van de indik- en ontwateringsapparatuur

De indik- of ontwateringscentrifuge

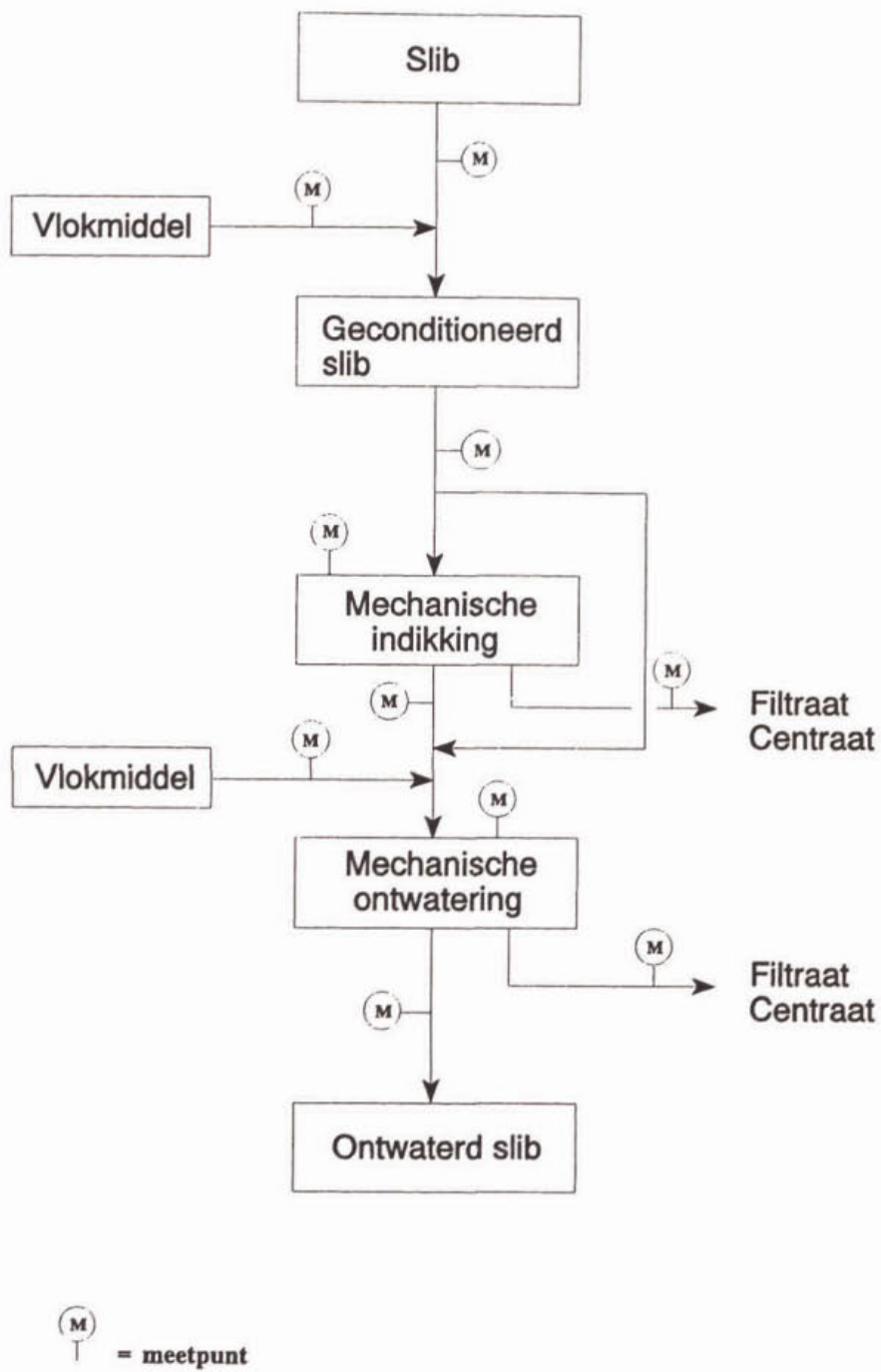
Bij een centrifuge is de druk die de schroef op het slib uitoefent afhankelijk van de kwaliteit van het slib en de doorzet. Moderne centrifuges zijn vaak voorzien van een automatische toerentalverschilregeling die de schroefdruk op een bepaalde waarde houdt. De volgende metingen kunnen worden toegepast:

- het toerental;
- het verschiltoerental;
- de op de schroef uitgeoefende druk.

De bandindikker of de zeefbandpers

Bij een bandindikker of zeefbandpers wordt de hoogte van de sliblaag op de band bepaald door de drogestofbelasting en de mate waarin indikking/ontwatering plaatsvindt. Een verandering van de slibhoogte op de (voor)indikingszone kan wijzen op een verandering in de toegevoerde slibstroom, de conditionering of een verstopping van de zeefband. Ook is de hoeveelheid vocht die op de band blijft staan een maat voor de indikking of ontwatering van het slib. De volgende metingen kunnen worden toegepast:

- de slibhoogte op de (voor)indikingszone (weerkaatsing IR-licht);
- de vochthoeveelheid op de (voor)indikingszone (weerkaatsing IR-licht);
- de bandsnelheid;
- de banddruk (zeefbandpers).



Figuur 34: Mogelijke meetpunten bij de mechanische indikking en ontwatering.

Er zijn regelingen waarbij de bandsnelheid automatisch wordt aangepast als de gemeten slibhoogte afwijkt van de gewenste (zeefbandpers). Het nut van deze regelingen is beperkt, omdat de drogestofbelasting vaak redelijk constant wordt gehouden.

De kamer- of membraanfilterpers

Bij een filterpers is het verloop in de toename van de vuldruk en de persdruk maatgevend voor de werking. Een ongelijkmatige opbouw van de slibkoek of verstopping van het filterdoek kan hiermee worden waargenomen. Er bestaat software waarin volgens vooraf vastgelegde curves het vulregiem kan worden geregeld op basis van het slibdebiet, het drogestofgehalte en de gemeten druk. De volgende metingen kunnen worden toegepast:

- de toename van de vuldruk en/of persdruk (gerelateerd aan het debiet en de drogestofvracht);
- de persdruk tijdens napersen;
- het filtraatdebiet.

De trommelindikker

Voor de trommelindikker bestaat geen specifieke meet- en regelapparatuur. Mogelijk kunnen optische meters worden toegepast, zoals een vochtgehaltemeter (conform bandindikker en zeefbandpers).

De volgende parameters kunnen worden gemeten:

- het toerental;
- de slibhoogte;
- de slibvochtigheid.

Aansluiting van indikking en ontwatering

Tussen de mechanische indikking en de ontwatering is, behalve bij de bandindikker en zeefbandpers in cascadeopstelling, een buffertje aanwezig. Deze buffer moet zijn voorzien van metingen voor hoog en laag niveau.

6.4 Meting en regeling in de processtromen

De meetprincipes van de metingen in de processtromen zijn verstrooiing, absorptie, doorlating of weerkaatsing van IR-licht, geluidsgolven (ultra-sonore meting) of microgolven.

Daarnaast zijn er metingen die de elektrostatische lading (zèta-potentiaal), de reologische eigenschappen (viscositeit) of de frequentie van een in trilling gebrachte meetbuis bepalen.

Het ingaande slib

Het ingaande slib is afkomstig uit de beluchtingstank, het retourslib, de gistingstank, de gravitatie-indikker, de mechanische indikker of de buffer/homogenisatietank. De samenstelling (het drogestofgehalte) van dit slib kan variëren, bijvoorbeeld door RWA of het ontstaan van lagen met dunner of dikker slib. Voor het bepalen van de (verandering in) samenstelling zijn verschillende in-line meters beschikbaar, namelijk drogestofmeters (met microgolven of absorptie, weerkaatsing of verstrooiing van IR-licht) en dichtheidsmeters (ultrasonoor en vibratiefrequentie).

Conditioneringsmiddel

De kwaliteit van het conditioneringsmiddel kan wisselen (bijvoorbeeld de concentratie). Dit kan worden veroorzaakt door:

- de overgang naar een nieuwe batch (poly-elektrolyet, Fe, Ca) met een andere samenstelling;
- wijzigingen in de kwaliteit van het aanmaak- of verdunningswater;
- veranderingen in de toevoer van aanmaak- of verdunningswater;
- verstoppingen in de aanmaakinstallatie.

Voor het bepalen van de (verandering in) kwaliteit van poly-elektrolyet kan een dichtheidsmeter (vibratie-frequentie) worden toegepast.

Geconditioneerd slib

Het slib wordt na conditionering in de indikking of ontwatering gevoerd. De kwaliteit van de conditionering zal veranderen als gevolg van veranderingen in de samenstelling van het slib of conditioneringsmiddel. Voor bepaling van de (verandering in) samenstelling van het geconditioneerd slib kunnen verschillende in-line meters worden toegepast, zoals de reologische-eigenschappenmeter, de zêta-potentiaalmeter, de vlok groottemeter en de vlokstructuurmeter.

Het filtraat of centraat

Een afname van de kwaliteit van het filtraat of centraat (afscheidingsrendement) is vaak een indicatie van een verstoring van het indik- of ontwateringsproces. Bovendien zijn bij een overmatige dosering van conditioneringsmiddel vaak restanten hiervan in het filtraat/centraat aanwezig. Voor het bepalen van de (verandering in) kwaliteit kunnen de troebelheids- en drogestofmeter (verstrooiing van IR-licht) worden toegepast. Voor het bepalen van de (verandering van) hoeveelheid poly-elektrolyet in het filtraat/centraat kan de in-line zêta-potentiaalmeter worden toegepast.

Ontwaterd slib

Bij een meer of minder vergaande ontwatering zal de consistentie van het eindproduct veranderen. Uit het onderzoek is geen apparatuur naar voren gekomen die specifiek metingen kan verrichten in het ontwaterd slib^[41].

Randvoorwaarden medium

De meeste apparatuur kan niet goed functioneren indien zich lucht- of gasbellen in het medium bevinden. Dit betekent dat deze apparatuur niet of minder geschikt is voor metingen in bijvoorbeeld uitgegist slib of denitrificerend actiefslib. Uitzonderingen hierop zijn de zêta-potentiaalmeter, de vlok grootte/vlokstructuurmeter, de infraroodreflectiemeter en de batchgewijze dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven.

Ervaringen

Uit het genoemde Stowa-onderzoek is naar voren gekomen dat er weinig praktijkervaringen zijn met de verschillende meters. Bij de meeste beschikbare referenties is de apparatuur niet of slechts eenvoudig ingebouwd in een regelcircuit en kan daardoor alleen indicatief worden gebruikt. Leveranciers geven aan dat de apparatuur meestal naar tevredenheid werkt, maar de werking kan vaak niet met testresultaten worden onderbouwd.

Een aantal metingen kan op basis van de referenties als relatief positief worden beoordeeld:

- de drogestofmeting met IR-lichtverstrooiing (ingående slibstroom), met absorptie van IR-licht (ingående slibstroom, centraat), met micro-golven (ingående slibstroom);
- de zêta-potentiaalmeting in de centraatstroom.

Voorbeelden van regeling

Door drogestof- en debietmeting in de ingaande slibstroom kan de poly-elektrolyetdosering automatisch op de drogestofvracht worden afgestemd. Een verandering in drogestofvracht gaat hierbij gepaard met een verandering in dosering van conditioneringsmiddel om de ingestelde doseerverhouding constant te houden.

Drogestofmeting in het centraat geeft informatie over het afscheidingsrendement (aantal slibdeeltjes in centraat). Op basis van deze meting kan automatisch de conditionering worden aangepast ten behoeve van een goed afscheidingsrendement^[68].

Bij de zêta-potentiaalmeting in het centraat geeft een hoge zêta-potentiaal een (te) hoge dosering van poly-elektroliet aan. Op basis van deze meting kan de poly-elektrolietdosering worden aangepast.

Opgemerkt wordt dat de betreffende metingen in het centraat ook in het filtraat zullen functioneren.

7 OPTIMALISATIE VAN DE BEDRIJFSVOERING

7.1 Inleiding

In de slibontwatering wordt gestreefd naar lage exploitatiekosten. Dit kan worden bereikt door optimalisatie van de bedrijfsvoering van de slibontwatering. Optimalisatie wordt gedefinieerd als het minimaliseren van de totale kosten voor een bestaande slibverwerking, waarbij aan bepaalde randvoorwaarden moet worden voldaan.

In de optimalisatie worden de volgende stappen onderscheiden:

- het vaststellen van de kostenbepalende parameters;
- het vaststellen van de randvoorwaarden;
- de optimalisatie van de bedrijfsvoering.

7.2 Kostenbepalende parameters

De exploitatiekosten van de slibverwerking na de indikking bestaan uit de volgende kostenposten:

- vaste kosten (kapitaallasten);
- variabele kosten;
 - . eventueel transport van ingedikt slib naar een centrale slibontwatering;
 - . onderhoud;
 - . energie;
 - . bediening;
 - . drinkwatergebruik;
 - . conditioneringsmiddelen;
 - . afzet van ontwaterd slib.

Tabel 5 geeft een indruk van de grootte van de verschillende posten.

Tabel 5: Kostenposten van de slibverwerking na de indikking^[49,78,91].

kostenpost	Specifieke kosten (f/ton ds) ¹⁾
vaste kosten	200-400
variabele kosten	
. transport ingedikt slib (vanaf indikker)	0-140
. onderhoud	30-50
. energie	10-40
. bediening	10-50
. drinkwatergebruik	0-25
. conditioneringsmiddelen	80-150
. afzet van ontwaterd slib	500-800

1) Bereiken worden bepaald door diverse aspecten zoals het type apparaat, reservestelling, bedrijfstijden, automatisering, afzetkosten per ton.

In een bestaande slibontwatering zijn de vaste kosten het resultaat van de investeringen in het verleden en daardoor nauwelijks te beïnvloeden. Indien nog ontwateringscapaciteit beschikbaar is voor ontwatering van slib van derden, kunnen de vaste kosten worden verlaagd.

De onderhouds- en energiekosten zijn gekoppeld aan het type ontwateringssysteem en de bedrijfstijden. De mogelijke besparingen op de kosten voor onderhoud en energie zijn beperkt.

De personeelskosten worden bepaald door de mate van automatisering. Bij centrifuges en zeefbandpersen is een vergaande automatisering mogelijk. Bij filterpersen moet in veel gevallen continu personeel aanwezig zijn voor de koeklossing.

Een grotere aandacht voor de bedrijfsvoering kan het einddrogestofgehalte verhogen en daardoor de afzetkosten verlagen.

Bij een centrale slibverwerking wordt slib van andere RWZI's aangevoerd. De kosten voor het slibtransport kunnen een significant deel van de totale slibverwerkingskosten uitmaken. Een hoger drogestofgehalte van het ingedikt slib vermindert het aantal transportbewegingen. De mogelijke kostenbesparingen zijn sterk afhankelijk van de specifieke situatie, zoals de transportafstand.

De kosten voor conditionering en afzet zijn in de variabele kosten vaak de grootste kostenposten. Er zijn besparingen van enkele tien- tot honderduizenden guldens per jaar mogelijk^[4,96]. In paragraaf 7.4 worden de mogelijkheden voor optimalisatie verder uitgewerkt.

Invloed van de indikking

Bij mechanische indikkers is in de variabele kosten het PE-verbruik vaak de grootste kostenpost. Deze is echter aanzienlijk lager dan bij ontwatering, in verband met de lagere doseerverhoudingen. Bij indikking kan een verhoging van het drogestofgehalte van het ingedikt slib de hydraulische belasting van de ontwateringsapparatuur verlagen. Met name bij ontwatering met centrifuges kan dit tot een kortere bedrijfstijd leiden, en daardoor tot een lager energieverbruik en minder slijtage (onderhoud).

De indikking wordt in dit hoofdstuk niet verder behandeld.

Notatie van de kosten

Het verdient aanbeveling om de verschillende kostenposten voor een bepaalde installatie over een periode van enkele jaren uit te rekenen (logboek). Op deze wijze wordt een goed inzicht in de grootte en de trends van de kosten verkregen. Daarnaast verdient het aanbeveling de kosten óók uit te drukken in kosten per ton drogestof ($f/ton ds$). Dit maakt het mogelijk de kosten van slibverwerkingsinstallaties onderling en met die van andere waterkwaliteitsbeheerders te vergelijken.

7.3 Randvoorwaarden

Voordat met optimalisatie wordt gestart moet inzicht worden verkregen in de randvoorwaarden voor de optimalisatie. Deze zijn de volgende.

Minimaal drogestofgehalte van het ontwaterd slib

Afhankelijk van de eindverwerking worden eisen gesteld aan het drogestofgehalte van het ontwaterd slib. In geval van storten is vaak een minimaal drogestofgehalte van het te storten slib vereist.

Minimaal afscheidingsrendement

Soms kan een hoger drogestofgehalte van het ontwaterd slib worden verkregen als concessies worden gedaan aan het afscheidingsrendement. Bij een daling van het afscheidingsrendement moet een groter deel van het slib nogmaals het ontwateringsapparaat passeren, waardoor de verwerkingscapaciteit afneemt en zelfs ontoereikend kan worden. Bovendien leidt een terugvoer van veel kleine deeltjes met het filtraat of centraat tot een verslechtering van de slibkwaliteit in de beluchtingstank en mogelijk tot uitspoeling van drogestof.

Minimale verwerkingscapaciteit

Als de belasting van een ontwateringsapparaat wordt teruggebracht, kan soms een hoger drogestofgehalte van het ontwaterd slib worden verkregen. Om het slib binnen bepaalde bedrijfstijden te kunnen verwerken kan de belasting echter beperkt worden beïnvloed.

Veiligheid en milieu

Er moet altijd worden voldaan aan de veiligheids- en milieu-eisen, bijvoorbeeld eisen aan geur en geluid. Zo kan een andere mengverhouding van slibben tot een hoger drogestofgehalte leiden. Dit kan echter een grotere stankproductie tot gevolg hebben (H_2S).

Voor het verlagen van de belasting van de apparatuur kan het nodig zijn de bedrijfstijd te verlengen naar de nacht. Geluidseisen kunnen dit echter onmogelijk maken.

7.4 Optimalisatie

De optimalisatie dient vooral gericht te zijn op vermindering van de kosten voor chemicaliën en slibafzet (einddrogestofgehalte). In deze paragraaf worden de belangrijkste mogelijkheden voor optimalisatie aangegeven, waarbij de volgende indeling wordt gehanteerd:

- De sliblijn vóór de eigenlijke ontwatering;
 - . slibbeschadiging door appendages;
 - . menging van slibben;
 - . meevergisten van secundair slib.
- De conditionering;
 - . de aanmaak en menging met slib;
 - . de toegepaste doseerverhouding;
 - . het type poly-elektrolyet.
- De apparatuur;
 - . de instellingen van de apparatuur;
 - . de aanpassingen van de apparatuur.
- De meting en regeling.

Als bij de optimalisatie aanpassingen van de sliblijn nodig zijn, moet altijd worden nagegaan of de kosten hiervan lager zijn dan de (beoogde) besparingen.

7.4.1 De sliblijn vóór ontwatering

Voorkómen van slibbeschadiging

Vanaf de surplusslibaftap tot aan het ontwateringsapparaat passeert het slib leidingen, mengkleppen en pompen. Door deze appendages in de sliblijn kan de slibvlok worden beschadigd, waardoor de ontwateringseigenschappen van het slib verslechteren (lager einddrogestofgehalte). Of slibbeschadiging optreedt, is in praktijk vaak moeilijk vast te stellen: het vervangen van een pomp is bewerkelijk, duur en komt pas in beeld wanneer de vlokbeschadiging is aangetoond. Door middel van slibkarakterisering kan dit worden onderzocht (§ 7.4.5).

Menging van slibben

De eigenschappen van slib verschillen sterk. Met het ene slib kan bij gelijke procesinstellingen een hoger drogestofgehalte worden bereikt dan met een ander. De eigenschappen van een slib zijn meestal een gegeven en dus niet beïnvloedbaar.

Er is echter wel beïnvloeding mogelijk wanneer slibben van verschillende RWZI's worden verwerkt. Hierbij speelt het feit dat menging van verschillende slibben niet tot het gemiddelde van de eigenschappen van de slibben hoeft te leiden. Met ander woorden: als slib A

ontwatert tot 21% en slib B tot 25%, heeft een 50%/50%-mengsel van beide slibben niet noodzakelijkerwijs te ontwateren tot 23%. Soms wordt bij een dergelijke menging van slibben een lager drogestofgehalte waargenomen. In dat geval leidt een separate ontwatering van beide slibben tot een verlaging van de slibafzetkosten. Of dit ook werkelijk leidt tot een totale kostenbesparing is situatieafhankelijk. Voor een separate behandeling van verschillende slibben kan het noodzakelijk zijn te voorzien in extra bufferbakken voor slib.

Meevergisten van secundair slib

Indien voldoende gistingcapaciteit beschikbaar is, kan worden overwogen (een gedeelte van) het secundair slib te vergisten. Door vergisting van secundair slib kunnen de ontwateringseigenschappen verbeteren, maar ook verslechteren.

7.4.2 De conditionering

Aanmaak van conditioneringsmiddel en de menging met slib

Het conditioneringsmiddel ondergaat vanaf de opslag tot dosering een groot aantal bewerkingen, zoals rijping (poly-elektroliet), verdunning en menging met slib. Deze processen moeten goed verlopen om een goede werking te verkrijgen. Verbetering van de aanmaak en menging kan tot een lager verbruik aan conditioneringsmiddel leiden door een beter gebruik van het beschikbare conditioneringsmiddel (grotere efficiëntie). Daarnaast kan dit tot een hoger einddrogestofgehalte leiden (grotere effectiviteit).

Relatie tussen de doseerverhouding en de slibafzet

Bij de conditionering moeten onder- en overdosering worden voorkomen, omdat dan een sterke daling van het einddrogestofgehalte en/of het afscheidingsrendement optreedt. Er is echter een overgangsgebied waarbij een wijziging van de doseerverhouding een relatief geringe verandering van het drogestofgehalte tot gevolg heeft. Er bestaat binnen dit gebied een bepaalde doseerverhouding waarbij de totale kosten voor de slibafzet en poly-elektrolieten het laagst zijn.

Figuur 35 geeft een voorbeeld van de kosten voor afzet, poly-elektroliet en de totale kosten als functie van de doseerverhouding. In bijlage 6 zijn de bijbehorende waarden gegeven. Er is uitgegaan van een rwzi van 100.000 ie, een doseerverhouding van 8-11 g/kg ds en een drogestofgehalte van 20-22%. In de figuur is te zien dat het ongewenst is besparing op de poly-elektrolietkosten na te streven, zonder rekening te houden met de slibafzetkosten. In het voorbeeld zijn de totale kosten bij 10 g actief PE/kg ds het laagst. Dit kan worden beschouwd als de optimale doseerverhouding.

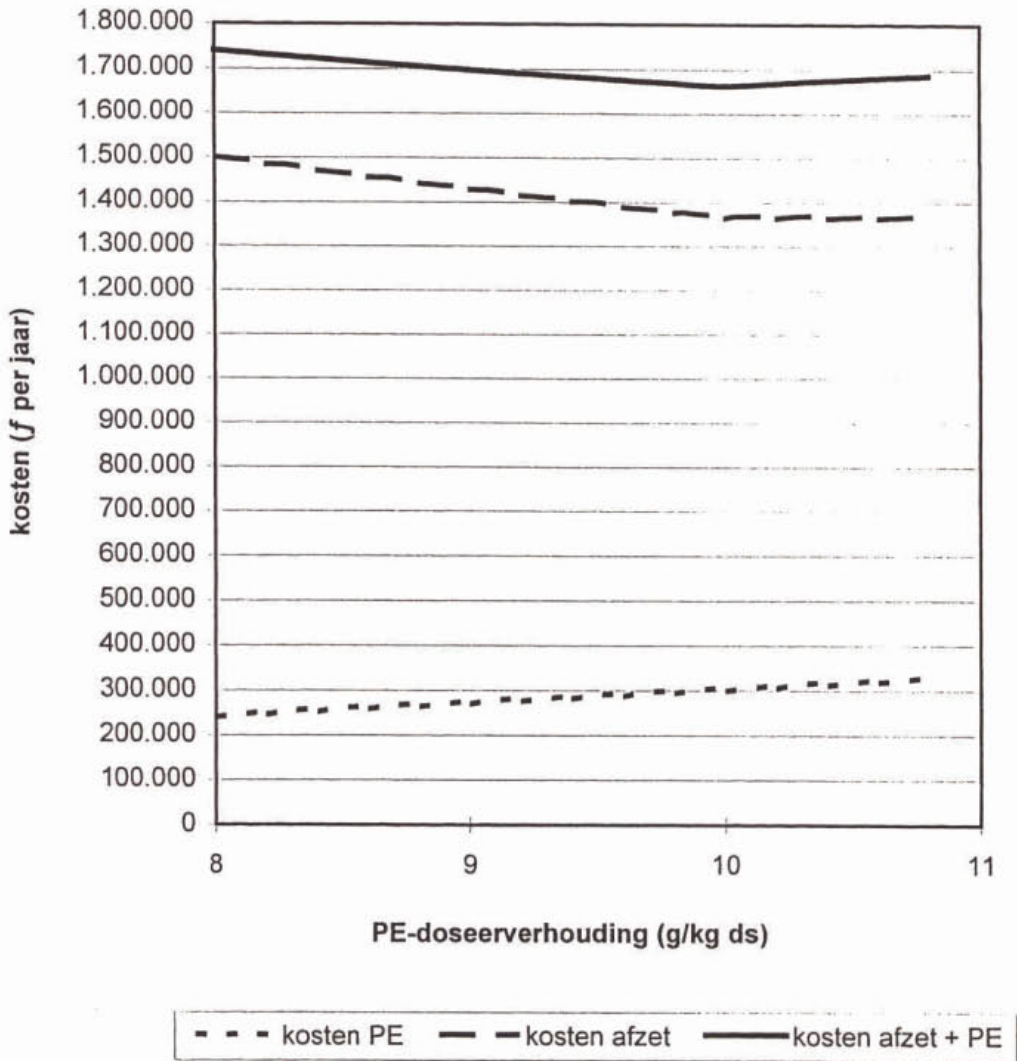
In de praktijk worden vaak alleen de kosten voor poly-elektrolietdosering beschouwd. De oorzaak hiervan is dat de bedrijfsvoerder van een ontwateringsinstallatie meestal alleen inzicht heeft in het poly-elektrolietverbruik, maar niet in de afzetkosten. Het is belangrijk zich te realiseren dat de poly-elektrolietkosten globaal slechts 10-25% uitmaken van het totaal van poly-elektrolietkosten en slibafzetkosten.

De effecten van een wijziging van de dosering van chemicaliën zijn goed in praktijk na te gaan.

Toepassing van een ander poly-elektroliet

Er zijn veel poly-elektrolietleveranciers die verschillende poly-elektrolieten in hun leveringspakket hebben. De keuzemogelijkheden zijn groot. Er bestaat een reële kans dat een alternatief poly-elektroliet leidt tot een hoger drogestofgehalte van het ontwaterd slib. Ook is het mogelijk dat bij een alternatief poly-elektroliet minder hoeft te worden gedoseerd om hetzelfde drogestofgehalte te bereiken.

Bij de selectie van een poly-elektroliet spelen vele aspecten een rol. Een aantal hiervan wordt nader uitgewerkt.



Figuur 35: Voorbeeld van de kosten voor poly-elektroliet en slibafzet als functie van de doseerverhouding.

Bij de selectie van het type poly-elektroliet is het aanwezige type poly-elektrolietaanmaakinstallatie vaak een uitgangspunt. Als dit een aanmaakinstallatie voor poedervormig poly-elektroliet is, dan zal bij een onderzoek naar alternatieven vaak eveneens gezocht worden binnen de groep van poedervormige poly-elektrolieten. Vanzelfsprekend heeft

toepassing van een poedervormig poly-elektroliet in dat geval de voorkeur, omdat dan geen investeringen behoeven te worden gedaan voor een aanmaakinstallatie voor vloeibaar poly-elektroliet. Het is belangrijk hierbij te beseffen dat een geringe verhoging van het drogestofgehalte door toepassing van een vloeibaar poly-elektroliet, de investering voor een nieuwe poly-elektrolietaanmaakinstallatie kan rechtvaardigen. Indien een optimalisatie wordt nagestreefd is het niet gewenst om bij voorbaat een beperking op te leggen voor poedervormig of juist vloeibaar poly-elektroliet.

Sommige poly-elektrolieten kunnen een hoog drogestofgehalte realiseren, maar hebben als nadeel dat de dosering moet worden gestuurd binnen een smalle bandbreedte. Een geringe over- of onderdosering resulteert dan in een scherpe daling van het drogestofgehalte. Toepassing van dergelijke poly-elektrolieten vergt een zeer nauwkeurige processturing en vaak veel toezicht van de bedrijfsvoerder. Indien toezicht en/of processturing niet kunnen worden gegarandeerd moet toepassing van dergelijke poly-elektrolieten worden afgeraden.

Voor iedere combinatie van een bepaald slib en een poly-elektroliet gelden een optimale mengtijd en hoeveelheid mengenergie. Bij een keuze voor een alternatief poly-elektroliet is het gewenst de huidige toegepaste mengtijd en mengenergie niet als vaststaand te beschouwen, maar ook deze aan een nader onderzoek te onderwerpen. Met name bij enkele nieuwere typen poly-elektroliet blijkt dat een maximale effectiviteit wordt verkregen wanneer meer mengenergie wordt ingebracht. De invloed van de menging kan door middel van slibkarakterisering worden onderzocht (§ 7.4.5).

Bij ontwatering van verschillende slibsoorten op één ontwateringsinstallatie kan het gewenst zijn bepaalde slibsoorten separaat te behandelen. Daarnaast kan het gewenst zijn om voor verschillende slibsoorten verschillende poly-elektrolieten te gebruiken. Vanzelfsprekend spelen hierbij logistieke aspecten een rol. De meerwaarde van aparte poly-elektrolieten moet duidelijk worden aangetoond, voordat tot een dergelijke bedrijfsvoering wordt overgegaan.

De ontwaterbaarheid van slib kan per seizoen verschillen, waardoor ook het juiste poly-elektroliet per seizoen kan wisselen.

Indien een alternatief poly-elektroliet wordt overwogen, is het aantal variabelen groot: het soort poly-elektroliet, de doseerverhouding, de mengtijd en de in te brengen mengenergie. Het overstappen op een ander poly-elektroliet kan dus complex zijn. Het is mogelijk deze testen in praktijk uit te voeren, maar dit kunnen langdurige en dure testen worden. Er moeten steeds vrij grote hoeveelheden poly-elektroliet worden ingekocht en bovendien bestaat een reële kans op matige ontwateringsresultaten. Een alternatief hiervoor zijn slibkarakteriseringsmethoden (§ 7.4.5).

7.4.3 De apparatuur

Het einddrogestofgehalte wordt beïnvloed door de instellingen van de apparatuur. Deze instellingen zijn:

- zeefbandpers: drogestofaanvoer, bandsnelheid en persdruk (§ 5.3.3);
- filterpers: vulregiem en napersregiem (§ 5.4.4);
- centrifuge: toerental, verschiltoerental, vijverdiepte, slibdebiet (§ 5.5.3).

Daarnaast kan door relatief eenvoudige aanpassingen van de apparatuur het drogestofgehalte worden verhoogd. Zo kan bij zeefbandpersen en filterpersen toepassing van andere doeken tot een hoger einddrogestofgehalte leiden. Bij centrifuges kunnen openingen in de schroef langs de as worden aangebracht^[93]. Het centraat wordt dan sneller afgevoerd. Hierdoor kunnen de ontwateringsresultaten worden verbeterd.

7.4.4 De meting en regeling

Meting en regeling van de slibontwatering is een hulpmiddel voor het constant houden van de instellingen. Er kan onderscheid worden gemaakt in metingen voor de apparatuur en metingen in de processtromen (respectievelijk § 6.3 en 6.4).

Zonder meet- en regelapparatuur wordt door de bedrijfsvoerder soms voor een "veilige" instelling gekozen, om storingen als gevolg van bijvoorbeeld schommelingen in het droge-stofgehalte te voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld resulteren in een hogere poly-elektrolyetdoserings dan nodig en/of een lager einddrogestofgehalte dan mogelijk.

7.4.5 De inzet van slibkarakteriseringsmethoden

In de loop van de tijd zijn verschillende methoden voor de slibkarakterisering op lab-schaal ontwikkeld, waarmee het effect van diverse parameters op de ontwatering kan worden nagegaan (hoofdstuk 4).

Met de Filtratie-Expressiecel (§ 4.2.3) kan de invloed van een groot aantal parameters op de ontwatering worden onderzocht en de bedrijfsvoering van de ontwatering worden ingesteld^[4]:

- de invloed van appendages in de sliblijn;
- de mengverhoudingen van slibben;
- de doseerverhouding van het conditioneringsmiddel;
- de invloed van voorconditionering;
- het type poly-elektrolyet (PE);
- de menging van conditioneringsmiddel met slib;
- de uitgeoefende druk op het slib;
- de aanmaak- en doseerconcentratie;
- de temperatuur van het slib of het poly-elektrolyet.

In bijlage 7 zijn voorbeelden van slibkarakterisering weergegeven.

8 TRANSPORT EN OPSLAG VAN ONTWATERD SLIB

8.1 Inleiding

Na de slibontwatering wordt het ontwaterd slib naar de slibopslag getransporteerd. Voor het transport van ontwaterd slib zijn de volgende systemen beschikbaar:

- schroeven;
- pompen (mohnopomp, plunjerpomp);
- transportbanden;
- kettingtransporteurs.

De opslag van ontwaterd slib vindt plaats in:

- silo's;
- containers.

Er zijn veel combinaties van ontwaterings-, transport- en opslagsystemen mogelijk. Bij de keuze voor het transport- en opslagsysteem zijn onder meer de eigenschappen van het ontwaterd slib, het ruimtebeslag en het onderhoud van belang.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de verschillende aspecten die bij het transport en de opslag van ontwaterd slib een rol spelen.

8.2 Eigenschappen van ontwaterd slib

De eigenschappen van ontwaterd slib worden bepaald door:

- de eigenschappen van het slib vóór de ontwatering,
- de toegepaste ontwateringsapparatuur.

De eigenschappen van het te ontwateren slib zijn van invloed op het einddrogestofgehalte en het vrijkomen van stank en explosieve gassen (CH_4) uit het ontwaterd slib. De ontwateringsmethode is van invloed op het einddrogestofgehalte, de manier waarop het slib vrijkomt en het vrijkomen van NH_3 uit het ontwaterd slib. In tabel 6 is dit weergegeven.

Tabel 6: Eigenschappen van ontwaterd slib in relatie tot de ontwateringsapparatuur.

Apparaat	Eigenschappen van ontwaterd slib
Zeefbandpers	<ul style="list-style-type: none">- Het slib komt tijdens het ontwateringsbedrijf continu vrij.- Het slib wordt over een lengte van 0,5 tot 3 m afgeworpen (afwerplijn slib = bandbreedte zeefbandpers).- Het drogestofgehalte bedraagt 17-32%.- Er kunnen waterige slibstromen vrijkomen door slechte conditionering.
Filterpers	<ul style="list-style-type: none">- Het slib komt tijdens het ontwateringsbedrijf discontinu vrij.- Het slib wordt over een lengte van 3 tot 10 m afgeworpen (afwerplijn = lengte filterpers).- Bij conditionering met ijzer en kalk is het drogestofgehalte 35-50%. Hierbij komt ammoniak uit het slib vrij. Bij conditionering met poly-elektrolieten is het drogestofgehalte 20-35%.- Er kunnen waterige slibstromen vrijkomen door slechte conditionering.
Centrifuge	<ul style="list-style-type: none">- Het slib komt tijdens het ontwateringsbedrijf continu vrij.- Het afwerppunt uit de centrifuge bedraagt maximaal 0,5 x 0,5 m.- Het drogestofgehalte bedraagt 17-32%.- Bij de opstart van de centrifuge en door slechte conditionering kunnen waterige slibstromen vrijkomen.

8.3 Aspecten van de verschillende systemen

Transportsystemen

Tabel 7 geeft een aantal belangrijke kenmerken van de transportsystemen.

Tabel 7: Kenmerken van de transportsystemen.

	Schroef	Pomp		Transportband	Kettingtransporteur
		Mohnopomp	Zuigerpomp		
Continu of discontinu gebruik	beide	beide	beide	beide	beide
Lijn- of puntvormige slibontvangst	lijn en punt	punt	punt	lijn en punt	lijn en punt
Beperkingen aan ds-gehalte en transportafstand	nee ¹⁾	bij hoge ds-gehalten en/of grote afstand is een hoge druk nodig → veel slijtage	ja	nee ¹⁾	nee
Mogelijk problemen bij transport van natte slibstromen ²⁾	ja	nee	nee	ja	ja
Gesloten systeem	ja	ja	ja	nee, omkasting mogelijk (zie hoofdstuk 9)	nee, omkasting mogelijk (zie hoofdstuk 9)
Hellingshoek van het slibtransport	onbeperkt	onbeperkt	onbeperkt	bepert (vaak max. 20°)	bepert (vaak max. 45°)
Verdichting van het slib door transport ³⁾	ja	ja	ja	nee	nee
Onderhoud	relatief eenvoudig	grotendeels in eigen beheer	gedeelte van onderhoud is specialistisch	relatief eenvoudig	relatief eenvoudig

1) Er zijn meerdere schroeven of banden nodig om een grote afstand te overbruggen.

2) Natte slibstromen worden vaak via de terreinriolering afgevoerd.

3) Verdichting van het ontwaterd slib kan de compostering negatief beïnvloeden.

Opslagsystemen

Tabel 8 geeft een aantal belangrijke kenmerken van de opslagsystemen.

Tabel 8: Kenmerken van de opslagsystemen.

Opslagsysteem	Kenmerken
Container	<ul style="list-style-type: none"> - De inhoud per container is 10-35 m³. - De opstelling van meerdere containers is in carrousselvorm of zij aan zij. - Bij meerdere containers is sprake van een groot ruimtebeslag. - Bij open containers bestaat de kans op geurproblemen (hoofdstuk 9). - Bij gesloten containers is er kans op het ontstaan van explosieve gassen (hoofdstuk 9). - Bij meerdere containers is het slibtransportsysteem relatief complex.
Silo	<ul style="list-style-type: none"> - De inhoud per silo is 50-400 m³. - Gering ruimtebeslag bij grote opslagcapaciteit. - Grote bouwhoogte. - Mogelijk geurproblemen bij het lossen van de silo (hoofdstuk 9). - Mogelijk ontstaan van explosieve gassen (hoofdstuk 9). - Weinig storingsgevoelig en gering onderhoud. - Bij toepassing van pompen voor het slibtransport is het mogelijk het slib onderin de silo in te brengen.

Combinaties van ontwatering, transport en opslag

Er kunnen verschillende combinaties van transportsystemen worden toegepast. Bij toepassing van twee of meer ontwateringsapparaten kan het ontwaterd slib bijvoorbeeld met banden of schroeven naar één punt worden gebracht, waaruit het slib wordt verpompt.

Bij filterpersen komt het slib over een grote lengte vrij. De (eerste) transportstap bestaat hierbij meestal uit banden, schroeven of kettingtransporteurs (lijnvormige slibontvangst). Bij zeefbandpersen is de afwerplengte kleiner. Hierbij kan het slib door middel van een aanvoertrechter direct in een pomp worden gevoerd.

Bij banden is bij een grote opvoerhoogte een grote bandlengte nodig vanwege de meestal toegepaste kleine hellingshoek voor het slibtransport. Toepassing van banden in combinatie met slibopslag in silo's is hierdoor niet altijd goed mogelijk.

Bij hoge drogestofgehalten en/of grote transportafstanden zijn mohnopompen minder geschikt vanwege de grote benodigde druk (veel slijtage).

Plunjerpompen zijn relatief duur. Deze worden voornamelijk toegepast als andere transportmogelijkheden niet geschikt zijn, bijvoorbeeld bij opslag in silo's met een grote transporthoek.

Bij enkele RWZI's is de centrifuge op de silo gebouwd, waarbij het ontwaterd slib zonder transport in de silo valt (bijvoorbeeld Mierlo, RWZI Tilburg).

9 ARBEIDSSOMSTANDIGHEDEN EN MILIEU

9.1 Inleiding

In het ontwerp en de bedrijfsvoering van de slibverwerking moet rekening worden gehouden met veiligheid en milieu^[36]. Er zijn hiertoe diverse wetten van toepassing, zoals de Arbeidsomstandighedenwet en de Wet milieubeheer.

Goede arbeidsomstandigheden zijn een zaak van werkgever én werknemer. In de ARBO-wet is daarom opgenomen dat hierover regelmatig overleg tussen werkgever en werknemer moet plaatsvinden. Veiligheid kan vaak met relatief eenvoudige maatregelen worden bereikt. Zo kan het risico van uitglijden worden verminderd door middel van antislipvloeren en het dragen van schoeisel met een ruw profiel.

Om aan de veiligheids- en milieueisen te voldoen, zijn soms vergaande maatregelen nodig. Maatregelen die zijn gericht op het verbeteren van de arbeidsomstandigheden verminderen ook vaak de belasting van het milieu. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op een aantal kenmerkende veiligheids- en milieuaspecten van de apparatuur voor indikking, ontwatering, transport en opslag.

9.2 Stank

Stank wordt veroorzaakt door H₂S, NH₃ en organische stankstoffen. H₂S is bij hoge concentraties toxisch. Uit de volgende onderdelen in de slibverwerking kan stank vrijkomen:

- buffers, gravitatie-indikkers;
- mechanische indikkers;
- ontwateringsapparatuur;
- transport- en opslagsysteem voor ontwaterd slib.

De mate waarin stankstoffen vrijkomen, wordt bepaald door de aard van het slib en de verblijftijd in buffers en gravitatie-indikkers (rotting). Er zijn slibben die nauwelijks stank produceren (vergaand gestabiliseerd slib). Ammoniak komt vrij bij de conditionering met calciumhydroxide (filterpers).

Buffering, indikking, ontwatering

Slibbuffers en gravitatie-indikkers zijn open en kunnen worden afgedekt en afgezogen.

De bandindikker, de zeefbandpers en de filterpers zijn open apparaten. Bandindikkers en zeefbandpersen moeten worden omkast en afgezogen. Bij filterpersen is een omkastiging minder eenvoudig en wordt meestal een gerichte afzuiging toegepast. Bij alle apparatuur moet de opstellingsruimte worden geventileerd. De beschreven maatregelen gaan tevens de verspreiding van aërosolen tegen. Aërosolen komen bij het schoonspuiten van de banden en doeken vrij en kunnen pathogene organismen bevatten.

Voor onderhoud en inspectie van de bandindikker en de zeefbandpers zal de omkastiging geopend moeten worden, waardoor overlast (geur, aërosolen) voor het bedienend personeel kan optreden. Bij filterpersen kan het afsteken van de koeken tot overlast voor het personeel leiden^[84].

Centrifuges en trommelindikkers zijn gesloten. Eventuele stankstoffen worden via de ventilatie van het gebouw afgevoerd.

De afgezogen lucht van de verschillende onderdelen moet worden behandeld in biofilters of lavafilters om overlast voor de omgeving te voorkomen. Indien de lucht ammoniak bevat wordt deze eerst door een gaswasser geleid. De afgezogen lucht van het slibverwerkingsgebouw is vaak relatief schoon en wordt niet altijd behandeld.

Transport en opslag

Transportbanden en kettingtransporteurs zijn open systemen. Verspreiding van stank kan worden tegengegaan door omkasting en luchtbehandeling.

Bij silo's kan afzuiging en behandeling van de lucht nodig zijn om stankoverlast bij de belading van de silo en/of explosiegevaar (CH₄) tegen te gaan.

Ook bij de belading van afvoercontainers met slib uit de silo kan stankoverlast optreden. Hiervoor zijn de volgende maatregelen mogelijk:

- Toepassen van een losslurf (beladingsbalg) of een overkapping.
Een losslurf wordt tijdens het lossen van de silo aangesloten op de speciaal hiervoor geconstrueerde containers op de vrachtauto. De lucht in de losslurf wordt afgezogen. Stankemissie kan hierdoor sterk worden beperkt. Deze methode wordt toegepast bij het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen (bijvoorbeeld RWZI Beemster).
Een andere mogelijkheid is een overkapping onderaan de silo, waaronder de container wordt geplaatst. De overkapping omsluit de bovenkant van de container. De container wordt onder de overkapping geopend en gesloten. Een gerichte afzuiging van de kap kan geuremissie beperken.
- Inpandig lossen.
Het lossen van de silo vindt hierbij in een gebouw plaats. Tijdens het lossen worden de deuren van het gebouw gesloten en de lucht in het gebouw afgezogen. Verspreiding van stank naar de buitenlucht kan hierdoor worden beperkt (bijvoorbeeld slibverwerking Sluisjesdijk in Rotterdam). Binnen de afgesloten ruimte moet gezonde lucht aanwezig zijn als zich personen in de ruimte begeven (bijvoorbeeld chauffeurs).

Bij containeropslag kan stank worden tegengegaan door het toepassen van gesloten containers of door opstelling van containers in een gebouw dat wordt afgezogen. Bij gesloten containers kan afzuiging en luchtbehandeling nodig zijn om explosiegevaar tegen te gaan.

Voor een goede verdeling van het slib in de container wordt het slib op verschillende plaatsen in de containers gestort. Als gesloten containers zijn voorzien van een interne verdeelinrichting, kunnen deze tijdens het vullen gesloten blijven (bijvoorbeeld containers met schroeftransport op de RWZI Tollebeek).

9.3 Overige aspecten

Geluid

Centrifuges produceren relatief veel geluid. Centrifuges kunnen worden omkast om geluidsoverlast tegen te gaan. Omkasting heeft de voorkeur boven het dragen van gehoorbescherming.

Bij slibopslag in containers wordt bij het op- en afladen op de vrachtauto's geluid geproduceerd door het schuiven van de containers over de grond. Tevens zijn bij een grote slibproductie veel containers nodig, hetgeen tot veel transportbewegingen leidt (geluidsoverlast).

In de nachtelijke uren gelden strengere geluidsnormen dan overdag. Afhankelijk van de locatie kunnen laad- en loswerkzaamheden in de avond- en nachturen niet zijn toegestaan.

Chemicaliën

Bij de indik- en ontwateringsapparatuur is, behalve bij gravitatie-indikking, conditionering nodig (anorganisch of organisch).

Poly-elektrolyet in vloeibare vorm bevat stoffen die irriterend zijn voor huid en ogen. Bij poedervormig poly-elektrolyet kan stofvorming optreden, die tot irritatie van de luchtwegen kan leiden. De stof acrylamide, die in sommige poly-elektrolyeten voorkomt, is opgenomen in de lijst van kankerverwekkende stoffen^[1].

IJzerchloride en kalkproducten (kalkmelk, CaO) hebben een zuur respectievelijk basisch karakter. Bij de aanmaak van kalkmelk uit ongebluste kalk komt in korte tijd veel warmte vrij (exotherme reactie).

Met de conditioneringsmiddelen moet voorzichtig worden omgegaan: handschoenen, veiligheidsbril en mondkapje (poedervormig PE) bij het verwisselen van de voorraden.

Poly-elektrolyeten zijn mogelijk milieubezwaarlijk door de slechte afbreekbaarheid en de mogelijke toxiciteit voor het aquatisch milieu^[21,86].

Bewegende delen

Bij de bandindikker en vooral bij de zeefbandpers en filterpers is een goede afscherming voor het bedienend personeel nodig (beveiliging met lichtcellen en noodstoppen). Bij filterpersen is een trog onder de pers aanwezig die een extra risicofactor vormt. Bij bandindikers en zeefbandpersen is meestal een omkasting aanwezig (afscherming).

Visuele hinder

Bij silo's moet rekening worden gehouden met een maximale bouwhoogte. In het kader van de milieuvergunning moet het aspect visuele hinder worden meegenomen in de beoordeling.

10 SYSTEEMKEUZE

De tabellen 9 en 10 geven een aantal belangrijke aspecten van de ontwaterings- en indikaparaatuur en hun beoordeling in onderlinge vergelijking.

Tabel 9: Beoordeling van de ontwateringsapparatuur.

	zeefbandpers	centrifuge	filterpers	
			met PE	met Ca
hoog drogestofgehalte product	+	+	+	+++ ¹⁾
laag poly-elektrolietverbruik	++	+	++	+++ ²⁾
laag energieverbruik (totale systeem)	+++	+	++	++
weinig aandacht bedrijfsvoering	++	++	+	+
weinig geluid	+++	+	++	++
weinig geur/aërosolen	+	+++	++	+
geringe onderhoudsbehoefte	+	+++ ³⁾	+	+
veel ervaring	++	++	+	++
weinig ruimtebeslag	++	+++	+	+
veel mogelijkheden voor ds-gehalte ingaand slib	+	+++ ⁴⁾	+	+

+ = relatieve vergelijking binnen het aspect; met meer "+" = gunstiger

- 1) Het hoge drogestofgehalte wordt gedeeltelijk veroorzaakt door anorganische conditioneringsmiddelen.
- 2) Geen PE-dosering.
- 3) Bij centrifuges is minder onderhoud nodig dan bij zeefbandpersen en filterpersen. Het onderhoud is bij centrifuges echter ingrijpender. Zo moet ongeveer één maal per jaar de schroef worden getrokken voor inspectie, waardoor de centrifuge enige tijd uit bedrijf is. Bij zeefbandpersen en filterpersen is vaker onderhoud nodig door het grotere aantal kleine delen.
- 4) Bij centrifuges is indikking en ontwatering in één apparaat mogelijk.

Tabel 10: Beoordeling van de indikapparatuur.

	gravitatie-indikker	mechanische indikker		
		centrifuge	bandindikker	trommel-indikker
hoog drogestofgehalte ingedikt slib	+	++	++	+ of ++ ²⁾
laag poly-elektrolietverbruik	++++ ¹⁾	+++	++	+ of ++ ²⁾
laag energieverbruik (totale systeem)	+++	+	++	++
weinig aandacht bedrijfsvoering	++	+	+	+
weinig geluid	+++	+	++	++
weinig geur/aërosolen	+	+++	++	+++
geringe onderhoudsbehoefte	++	+	+	+
gunstige relatie met biol. defosfatering	+ ³⁾	++	++	++
veel ervaring	++	++	++	+
weinig ruimtebeslag	+	++	++	++

+ = relatieve vergelijking binnen het aspect; met meer "+" = gunstiger

1) Geen PE-dosering.

2) Nog relatief weinig praktijkgegevens.

3) In de gravitatie-indikker kan fosfaatafgifte optreden. Met chemicaliëndosering in de water- of sliblijn kan dit fosfaat worden gebonden.

Kwalitatieve aspecten

Op basis van kwalitatieve aspecten van afzet en bedrijfsvoering kan voor een bepaalde situatie direct een aantal ontwateringssystemen worden uitgesloten.

Als voor de afzet van ontwaterd slib wordt uitgegaan van storten en hierbij een einddrogestofgehalte groter dan 35-40% gewenst is, komen alleen systemen met kalkdosering in aanmerking (filterpersen met kalk). Door toepassen van kalkdosering worden andere afzetkanalen minder aantrekkelijk, als gevolg van vergroting van de slibproductie en vermindering van de energiewaarde van het slib (verbranden). Het storten van slib wordt aan strengere wetgeving gebonden, waardoor filterpersen met kalkdosering steeds meer uit beeld raken. Filterpersen met kalkdosering kunnen worden omgebouwd naar filterpersen met poly-elektrolietdosering, zodat andere afzetkanalen dan storten mogelijk worden.

Opgemerkt wordt dat het ontwaterd slib van zeefbandpersen en centrifuges met kalk kan worden gemengd om het slib geschikt te maken voor de stort.

Bij filterpersen zal altijd veel toezicht nodig zijn in verband met de koeklossing. De werkelijk benodigde aandacht bij de bedrijfsvoering wordt bepaald door het losgedrag van de koeken.

Naast bovengenoemde aspecten spelen geur, geluid, onderhoud en ruimtebeslag een rol (zie tabellen 9 en 10). De geurproductie wordt behalve door het type apparatuur bepaald door de slibsoort.

Bij de combinatie van de indik- en ontwateringsapparatuur verdienen daarnaast de volgende aspecten aandacht:

- De hydraulische belasting van de ontwateringsapparatuur wordt bepaald door het drogestofgehalte van het ingedikt slib. Mechanische indikkers halen een hoger einddrogestofgehalte dan gravitatie-indikkers. In een bestaande ontwateringsinstallatie is bij de keuze van de indikapparatuur het drogestofgehalte van het ingedikt slib een belangrijk criterium.

- Indik- en ontwateringsapparatuur met vergelijkbare ontwateringsprincipes, bijvoorbeeld indikcentrifuge + ontwateringscentrifuge, vereenvoudigen de bediening van het ontwateringsbedrijf.
- Bij indikking en ontwatering in één stap, in plaats van twee aparte stappen, is het systeem relatief eenvoudig en het ruimtebeslag gering.

Kosten

De systemen moeten worden beoordeeld op basis van exploitatiekosten. De verschillende kostenposten zijn in § 7.2 gegeven.

Bij de kosten moet met het volgende rekening gehouden worden.

- De exploitatiekosten (zonder afzet) zijn voor filterpersen globaal f 100-150 per ton ds hoger dan voor zeefbandpersen en centrifuges^[72]. Dit wordt veroorzaakt door de hogere investeringskosten en hogere kosten voor bediening (koeklossing).
- Filterpersen met kalkdosering kunnen worden omgebouwd naar poly-elektrolietdosering. Voor een RWZI met een slibproductie van 2.500 ton ds/jaar (circa 120.000 ie) was aanpassing van de filterpers naar PE-dosering financieel aantrekkelijker dan een nieuwe centrifuge-installatie^[60].
- Biologische defosfatering kan tot fosfaatafgifte in de gravitatie-indikker leiden. Afhankelijk van de fosfaataanvoer kan fosfaatafgifte voordeliger met chemicaliëndosering worden tegengegaan dan met directe ontwatering^[6,53].
- Bij een bestaande RWZI kunnen ontwateringsproeven met het slib uit de RWZI worden uitgevoerd. Hiermee wordt inzicht verkregen in het haalbare einddrogestofgehalte (afzetkosten) en het PE-verbruik (PE-kosten) van de verschillende systemen. Ook kan inzicht worden verkregen in het losgedrag van filterpersen (kosten bediening).
- De verschillende apparatuur voor de indikking en ontwatering is aan sterke marktwerking onderhevig. De prijzen kunnen per jaar verschillen. Bovendien is de apparatuur in verschillende kwaliteiten verkrijgbaar.
- RWZI's met dezelfde of vergelijkbare ontwateringsapparatuur kunnen onderling reserveonderdelen uitwisselen.

Bij een nieuw te bouwen RWZI, met als mogelijkheid vergisting van secundair slib, moet het volgende worden overwogen:

- Door vergisting van secundair slib kan een gedeelte van de drogestof worden afgebroken, zodat minder slib hoeft te worden ontwaterd en afgezet.
- Bij biologische defosfatering kan vergisting van secundair slib tot fosfaatafgifte leiden. De fosfaatafgifte kan echter beperkt zijn en met chemicaliëndosering worden tegengegaan^[6,53].
- Door slibgisting kunnen de ontwateringseigenschappen verbeteren, maar ook verslechteren.

In de systeemkeuze moet de ontwateringsapparatuur worden beoordeeld op basis van kwalitatieve aspecten en kosten. De keuze wordt hierbij in sterke mate bepaald door de specifieke lokale omstandigheden, zoals de methode en kosten van de slibafzet en het toegepaste zuiveringssysteem.

11 LITERATUUR

- 1 STOWA. Onderzoek milieubezwaarlijkheid van poly-elektrolieten in RWZI's. 1995 (95-17).
- 2 DBW/RIZA en STORA. Slibontwatering: een voorstudie. 1989.
- 3 Ettlich, W.F., Hinrichs, D.J., Lineck, T.S. Operations manual: sludge handling and conditioning. 1978.
- 4 STOWA. Ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib: de mogelijkheden van de FE-cel en de CP-cel. 1996 (96-19).
- 5 Gutcho, S. Waste treatment with polyelectrolytes and other flocculants. 1977.
- 6 Eekhof, M.R., de Jong, P. Slibverwerking bij biologische defosfatering. Is directe ontwatering de beste oplossing? H₂O, 1997, nr. 24.
- 7 Heide, B.A., Kampf, R., Visser, M.A. Manual for the selection and use of polyelectrolytes in dewatering sludge with belt presses. 1982.
- 8 Colsen, J.G.M. Een nieuwe ontwateringstechniek voor zuiveringsslib. De Klaarmeester, 1997, nr.4.
- 9 DBW/RIZA en STORA. Symposium RWZI 2000. 1989.
- 10 Nederlands Studie Centrum. Seminar verwerking en afzet van industrieel zuiveringsslib. 1994.
- 11 RWZI 2000. Fundamentele aspecten van slibontwatering: deel 3: filtratie-expressie modellering. 1994.
- 12 RWZI 2000. Fundamentele aspecten van slibontwatering: deel 4: filtratie-expressie experimenten. 1994.
- 13 RWZI 2000. Fundamentele aspecten van slibontwatering: deel 5: slib-water binding. 1994.
- 14 RWZI 2000. Fundamentele aspecten van slibontwatering: deel 6: karakterisering van slibben. 1994.
- 15 RWZI 2000. Fundamentele aspecten van slibontwatering: deel 7: ontwikkeling nieuw CST-apparaat. 1994.
- 16 STORA. Slibindikking 1 (literatuuronderzoek). 1977.
- 17 RWZI 2000. Het uittesten van de filtratie-expressiecel in de praktijk. 1994.
- 18 Herwijn, A.J.M. Fundamental aspects of sludge characterization. 1994.
- 19 CBS Milieustatistieken. Waterkwaliteitsbeheer: deel b: zuivering van afvalwater 1995. 1997.
- 20 Mondelinge mededeling Vogelzang (Nalco). 1997.
- 21 Breedveld, L.W., van Loon, W.M.G.M. Watergedragen polymeren: een probleem voor het aquatisch milieu ? H₂O, 1997, nr. 21.

- 22 Kohler, G.K. et al. Fachseminar chemische Fällung und Lockung mit Metallsalzen und Entwässerung organisch konditionierter kommunaler Abwasserschlämme. Technische Universität München, 1997.
- 23 Koot, A.J.C. Collegedictaat slibverwerking. Technische Hogeschool Delft, Afdeling der Civiele Techniek, Vakgroep Gezondheidstechniek, 1985.
- 24 Koot, A.J.C. Collegedictaat Industrieel afvalwater en kunstmatige slibverwerking. Technische Hogeschool Delft, Afdeling der Civiele Techniek, Vakgroep Gezondheidstechniek, 1984.
- 25 Lockyear, C.F., Jackson, Warden. Polyelectrolyte users manual. 1993.
- 26 Ontwerp-Besluit stortverbod afvalstoffen. 1994.
- 27 Racz, I.G., Groot Wassink, J., Zondervan, J. Aankorstring in pompen en leidingen van een kalkdoseerinstallatie. Een praktijkstudie. Procestechneek nr. 8, 1996.
- 28 Nederlandse Vereniging voor Afvalwaterbehandeling en waterkwaliteitsbeheer, slibcommissie (NVA). Slibwijzer. 1994.
- 29 STOWA. Toepassing van drinkwaterslib op RWZI's. 1994 (94-12).
- 30 Roest, H.F. van der, Vondervoort, M.J.L. van de, Rozema, H., Edeling, A.H.J. Mechanische slibindikking met een zeefband-indikker. H₂O, 1990, nr. 14.
- 31 Bouwman, J.G.M.A. Stap voor stap naar de ideale slibbehandeling. Milieu Markt, april 1993.
- 32 Wöstmann, L. Continue volautomatische membraanfilter lost koek zonder operator. I² Procestechnologie, 1988, nr. 9.
- 33 STORA. Elektro-akoustisch ontwateren van zuiveringsslib en varkensdrijfmest; de haalbaarheid van het Batelle EAD/proces. 1989.
- 34 STORA. Slibontwatering 1: aard van de waterbinding in slib (literatuur). 1981.
- 35 Wolf, P. Fuhrmann, Schmidt, C.M. Versuche zur kombinierten Polymer-Kalk-Konditionierung vor der Faulschlammwässerung mit Kammerfilterpressen. Korrespondenz Abwasser, 1991, nr. 6.
- 36 STOWA. Arbeidsomstandigheden op RWZI's. 1994 (94-14).
- 37 STORA. Slibontwatering 3: optimalisering van slibontwatering met polyelektrolyt (zeefbandpers - uitgegist slib). 1981.
- 38 STORA. Slibontwatering 4: Zeefbandpersen - slibkarakterisering keuze en optimaal gebruik van polyelektrolyt (handleiding). 1982.
- 39 STORA. Slibontwatering 5. Filterpersen - slibkarakterisering en optimaal gebruik van anorganische chemicaliën (onderzoek). 1983.
- 40 STORA. Slibontwatering 6. Filterpersen - slibkarakterisering en optimaal gebruik van anorganische chemicaliën (handleiding). 1983.
- 41 STOWA. Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering. 1997 (97-13).
- 42 Wijk, J. van, Bol, H. Slibindikking met behulp van een centrifuge in Genemuiden. De Klaarmeester, 1995, nr. 3.

- 43 Werumeus Buning, W.G. New techniques of sludge management in the Netherlands. European water pollution control, 1992, nr. 2.
- 44 Trommels, R. Nadrom, oplossing slibprobleem RWZI Rijen. De Klaarmeester, 1985, nr. 2.
- 45 KIWA. Kalk, kwaliteit, kwaliteitscontrole en kalkmelkaanmaak. 1992
- 46 Water Pollution Control Federation (WPCF). Sludge conditioning. 1988.
- 47 Tiller, F.M., Hsyung, N.B. Unifying the theory of thickening, filtration and centrifugation. Water Science and Technology, 1993, nr. 1.
- 48 Water Pollution Control Federation (WPCF). Operation and maintenance of sludge dewatering systems. 1987.
- 49 Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs. Diverse slibontwateringsonderzoeken.
- 50 STOWA. Handboek stikstofverwijdering. 1993 (93-07).
- 51 STOWA. Handboek chemische fosfaatverwijdering. 1993 (93-16).
- 52 STOWA. Behandeling stikstofrijke retourstromen. Evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken 1995 (95-08).
- 53 STOWA. Slibverwerking bij biologische defosfatering. 1995 (95-18).
- 54 Starckenburg, W. van., Rijs, G.B.J. Ontwikkelingen in slib staan niet stil. Land + water, 1991, nr. 3.
- 55 STORA. Optimalisatie van de gistingsgasproductie. 1984.
- 56 DBW/RIZA en STORA. RWZI 2000. Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib. 1990.
- 57 STORA. Compendium Slibverbranding. 1988.
- 58 DHV. Slibindikkingsonderzoek op de RWZI Rhenen met een trommelindikker. 1996.
- 59 Stichting Postacademisch Onderwijs Gezondheidstechniek en Milieutechnologie Delft. Cursus Behandeling van industrieel afvalwater, onderdeel slibverwerking. 1996.
- 60 Stichting Postacademisch Onderwijs Gezondheidstechniek en Milieutechnologie Delft. Cursus Slibverwerking. 1997.
- 61 ATV/BDE/VKS-Fachausschuß 3.2. Maschinelle Schlammmentwässerung. Arbeitsbericht des ATV/BDE/VKS-Fachausschusses 3.2 "Stabilisation, Entseuchung, Eindickung, Entwässerung und Konditionierung von Schlämmen". Korrespondenz Abwasser, 1995, nr. 2.
- 62 Bakker, K. Conditioneren op een membraanfilterpers met polymeren in plaats van ijzerchloride en kalk. De Klaarmeester, 1994, nr. 4.
- 63 Bolier, D. Enquête: pers en centrifuge. Land + water - milieutechniek, 1991, nr. 3.
- 64 Both, G., Koedood, J. Ervaringen met polymeerconditionering bij slibontwatering met kamerfilterpersen op RWZI Amsterdam-Oost. H₂O, 1989, nr. 7.
- 65 Brand, H., Tuijn, J. van. 14 slibverwerkingstechnieken. Milieu Markt, 1994, nr. 11.

- 66 Clarke, W.N., Hodges, E., Ooten, R.J. Cost-effective dewatering of municipal treatment plant sludges using belt presses. Water Science and Technology, 1990, nr. 12.
- 67 Smith, I.H. Elektro-akoestisch ontwateren. Symposium "RWZI 2000". 1989.
- 68 Schrank, G., Murren, C. Automation and optimisation of centrifuge sludge dewatering. Water Science and Technology, 1989, nr. 10-11.
- 69 Schepman, J.R.A.G., Ellenbroek, H.J., Visser, R. Toepassing van poly-electrolyt in membraanfilterpersen; een perspectiefvol alternatief. H₂O, 1995, nr. 24.
- 70 Schepman, J.R.A.G., Haarhuis, H.J.M., Wessels, J., Vingerhoeds, R.A.W. Directe ontwatering van surplusslib met een Turbodrain en zeefbandpers in cascade-opstelling. H₂O, 1994, nr. 13.
- 71 Dorsthorst, J. te. Slibontwatering RWZI Nieuwgraaf. De Klaarmeester, 1996, nr. 4.
- 72 Eekhof, M.R., Schepman, J.R.A.G. Mechanische slibontwatering van zuiveringsslib. Bulk, 1997, nr. 2.
- 73 Roest, H.F. van der, Gaastra, S.B. De toepassing van een decanteercentrifuge voor de indikking van surplusslib. H₂O, 1990, nr. 7.
- 74 Eden, B. van., Reith, H. Ontwatering zuiveringsslib in membraanfilterpersen met behulp van polymeren bij het waterschap Regge en Dinkel. De Klaarmeester, 1995, nr. 2.
- 75 Flemke, E. Verbesserung der Trockenstoffanreicherung von Dekantierzentrifugen bei der Klärschlammwässerung. Wasser Abwasser Praxis, 1993, nr. 6.
- 76 Hashimoto, M., Hiraoka, M. Characteristics of sewage sludge affecting dewatering by belt pressfilter. Water Science and Technology, 1990, nr. 12.
- 77 Heide, B.A., Kampf, R., Visser, M.A. Slibkarakterisering en gebruik van chemicaliën bij ontwatering van slib met filterpersen. H₂O, 1984, nr. 6.
- 78 IJssink, M.W., Beukema, F.D. Nieuwe mogelijkheden voor ontwatering van zuiveringsslib met behulp van decanteercentrifuges. De Klaarmeester, 1991, nr. 1.
- 79 Roest, H.F. van der. Onderzoek leidt tot nieuwe generatie centrifuges. Land + water, 1993, nr. 4.
- 80 Roest, H.F. van der., Salome, A.A., Koorneef, E. Slibontwatering met een nieuwe generatie zeefbandpersen en decanteercentrifuges. H₂O, 1991, nr. 12.
- 81 Stichting Postæadernisch Onderwijs Gezondheidstechniek en Milieutechnologie Delft. Cursus slibverwerking. 1992.
- 82 Koppers, H.M.M., Rolan, A.T., Vandermeijden, C., McTigue, N.E., Henke, H.A., Martin, H., Nieuwenhuize, R.F. van. Advanced treatment technologies. 1990.
- 83 Kramer, J.F., Schepman, J.R.A.G., Belt, H.J., Leeuwen, A.J.C. van. Directe ontwatering van surplusslib door decanteercentrifuges. Ontwatering van surplusslib bij zuiverings-systemen met biologische defosfatering in de hoofdstroom. H₂O, 1993, nr. 14.
- 84 Kruize, R.R., Smits, P., Schrijver, J. Gebruik van polymeren in filterpersen op de RWZI Amsterdam-Oost. H₂O, 1986, nr. 1.
- 85 Meijer, H. Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit von Kammerfilterpressen. Korrespondenz Abwasser, 1988, nr. 10.

- 86 Melsa, A.K. Was ist beim Einsatz organischer Flockungshilfsmittel bei der Klärschlamm-entwässerung zu beachten. Wasser Abwasser Praxis, 1993, nr. 5.
- 87 Mininni, G. Sludge dewatering in a conventional plant with phosphorus removal. Water Research, 1985, nr. 2.
- 88 Molenaar, T. Centrifuges zorgen voor directe ontwatering zuiveringsslib: grootste aera-tietank komt in Etten. Land + water, 1992, nr. 5.
- 89 Mosch, E. De centrale slibverwerking van Amsterdam. De Klaarmeester, 1994, nr. 2.
- 90 Nijboer, W.J.M., Schyns, P.F.T. Directe slibontwatering kan fosfaatafgifte van slib voorkomen. H₂O, 1992, nr. 13.
- 91 Nijboer, W.J.M., Schyns, P.F.T. Slibontwatering op de RWZI Etten. H₂O, 1994, nr. 24.
- 92 Janssen, J.G. Lasta-filterpers: geavanceerde slibontwatering met hoog ds-gehalte. Land + water-milieutechniek, 1987, nr. 1/2.
- 93 Walraven, R. van. Windows bij centrifuges. De Klaarmeester, 1995, nr. 4.
- 94 ATV / BDE / VKS-Fachaussschuß 3.2. Auswahl und Einsatz von organischen Flockungs-hilfsmitteln Polyelektrolyten- bei der Klärschlamm-entwässerung. Arbeitsbericht des ATV/BDE/VKS-Fachaussschusses 3.2 "Stabilisation, Entseuchung, Eindickung, Entwässe-rung und Konditionierung van Schlämmen". Korrespondenz Abwasser, 1992, nr. 4.
- 95 Oostelbos, P.G.J.M., Bouma, S., Dijk, H., Heijman, S.G.J. Toepassen van ijzerhoudend drinkwaterslib voor conditionering rioolwaterzuiveringsslib is aantrekkelijk. H₂O, 1993, nr. 10.
- 96 Herwijn, A.J.M., Kiers, A., Eekhof, M.R. Slibontwatering. Chemisch Magazine, september 1998.

BIJLAGE 1: Dimensionering van de zeefbandpers

Met de volgende formule kan de specifieke drogestofbelasting van een zeefbandpers worden berekend:

$$(5) \quad Q_{ds} = 0,06 * v * d * C_k * \rho_k$$

waarin:

- Q_{ds} : de specifieke drogestofbelasting van de zeefbandpers (kg ds/m_{bandbreedte}/h)
 v : de bandsnelheid (m/min)
 d : dikte van de ontwaterd-slibkoek (mm)
 C_k : drogestofgehalte van de ontwaterd-slibkoek (kg ds/kg)
 ρ_k : soortelijke massa van de ontwaterd-slibkoek (kg/m³)

De bandsnelheid, de koekdikte en het drogestofgehalte van de koek zijn meestal gebaseerd op praktijkervaringen met het type zeefbandpers en het type slib.

Rekenvoorbeeld van de specifieke drogestofbelasting:

Berekening van de specifieke drogestofbelasting (Q_{ds})

Uitgangspunten

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| - bandsnelheid | 2 m/min |
| - koekdikte | 10 mm |
| - drogestofgehalte van de slibkoek | 0,23 kg ds/kg |
| - soortelijke massa van de slibkoek | 1.050 kg/m ³ |

$$Q_{ds} = 290 \text{ kg ds/m}_{\text{bandbreedte}}/\text{h}$$

BIJLAGE 2: Dimensionering van de centrifuge

Het Σ -concept is gebaseerd op de wet van Stokes en kan gebruikt worden om de hydraulische capaciteit van een centrifuge te berekenen op basis van de resultaten van een kleinere gelijksoortige centrifuge. De Σ -factor wordt als volgt berekend:

$$(6) \quad \Sigma = \frac{\pi * L * (R_2^2 - R_1^2) * (\frac{n * \pi}{30})^2}{g * \ln(\frac{R_2}{R_1})}$$

waarin:

- L : lengte van het cilindrisch deel van de mantel (m)
- R_2 : straal van de centrifugemantel (m)
- R_1 : straal van de vloeistofhoogte in de centrifuge (m)
- n : centrifuge toerental (rpm)
- g : zwaartekrachtversnelling = 9,81 m/s²

De hydraulische capaciteit van centrifuge 2, Q_2 , kan worden berekend door middel van:

$$(7) \quad Q_2 = Q_1 * \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$$

Met het β -concept kan de drogestofcapaciteit van een centrifuge worden berekend op basis van de resultaten van een kleinere gelijksoortige centrifuge. De β -factor wordt als volgt berekend:

$$(8) \quad \beta = \Delta n * S * N * \pi * 2 * R_2 * (R_2 - R_1)$$

waarin:

- Δn : het verschiltoerental tussen mantel en schroef (rpm)
- S : spoed van de schroef (m)
- N : aantal gangen van de schroef (-)
- R_2 : straal van de mantel (m)
- R_1 : straal van de vloeistofhoogte (m)

De drogestofcapaciteit van centrifuge 2, Q_{s2} , kan berekend worden met:

$$(9) \quad Q_{s2} = Q_{s1} * \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

Bij de afleiding van het Σ -concept en het β -concept is een aantal vereenvoudigende aannames gemaakt voor de processen die zich in een centrifuge afspelen. De resultaten van de opschaling met beide concepten dienen daarom te worden beschouwd als richtinggevend.

Rekenvoorbeeld van de opschaling van een centrifuge

Parameter	centrifuge 1	centrifuge 2	eenheid
lengte van cilindrisch deel	0,3	0,72	m
straal van de mantel	0,1	0,2	m
straal van de vloeistofhoogte	0,08	0,16	m
toerental	4.000	3.200	rpm
verschiltoerental	5	5	rpm
spoed van de schroef	0,04	0,08	m
gangen van de schroef	1	1	-
hydraulische capaciteit	0,5	te berekenen	m ³ /h
drogestofcapaciteit	60	te berekenen	kg ds/h

Berekening van de hydraulische capaciteit			
De sigma-factor van centrifuge 1 is: 272 m^2 (formule 6)			
De sigma-factor van centrifuge 2 is $\Sigma_2 = 1670 \text{ m}^2$.			
De hydraulische capaciteit van centrifuge 2 is $(1670/272) \cdot 0,5 = 3,1 \text{ m}^3/\text{h}$.			
Berekening van de drogestofcapaciteit			
De β -factor van centrifuge 1 is $\beta_1 = 0,0025$ (formule 8)			
De β -factor van centrifuge 2 is $\beta_2 = 0,02$.			
De drogestofcapaciteit van centrifuge 2 is dus $(0,02/0,0025) \cdot 60 = 480 \text{ kg ds/h}$			

BIJLAGE 3: Praktijkgegevens van zeefbandpersen

ingand slib	configuratie	belasting (kg ds/m.h)	doseerverhou- ding PE (g actief PE/kg ds)	ds ontwaterd slib (%)	rendement (%)	opmerkingen en referentie
resultaten met dezelfde cascade (ingand slib is invoer bandindikker):						
secundair slib; 0,3%	cascade	125-170	3-8	19-21		duurtest; [90]
secundair slib; 0,7%	cascade	110-250	5-7	17-20		duurtest; [90]
secundair slib; 0,5%	cascade	235	7-8	21,5-22,5	80-95 ¹ 97-99 ²	duurtest; [70]

1) Betrokken op de bandindikker en de zeefbandpers; zonder recirculatie van bandspoolwater

2) Betrokken op de bandindikker en de zeefbandpers; met recirculatie van bandspoolwater naar de indikker.

Praktijkgegevens: gemiddelde van een dertigtal RWZI's^[80].

	Secundair slib (laagbelaste RWZI)	Uitgegist slib
gemiddeld drogestofgehalte (%)	18,0	20,5
maximum drogestofgehalte (%)	20,6	22,1
minimum drogestofgehalte (%)	16,0	18,0
gemiddeld PE-verbruik (g/kg ds)	4,4	4,1
minimum PE-verbruik (g/kg ds)	2,4	2,7
maximum PE-verbruik (g/kg ds)	7,6	7,3

BIJLAGE 4: Praktijkgegevens van filterpersen

type	ingaaand slib	configuratie	capaciteit	doseerverhouding (g/kg ds)	ds ontwa-terd slib (%)	opmerkin-gen en referentie
kamerfilterpers	uitgegist slib (2,5 %)	na-indikker slibbuffer filterpers	540 m ²	4,5 g actief PE/kg ds; 20 g Fe/kg ds (FeCl ₃)	23-26	praktijk [64] ¹⁾
membraanfilterpers	uitgegist slib (3 %)	na-indikker slibbuffer filterpers	met Fe en Ca: 1,4 kg ds/m ² .h		circa 30	praktijk [62]
			met PE: 1,75 kg ds/m ² .h	4,5-6,3 g actief PE/kg ds; 2 l Fe-Cl ₃ /m ³ slib	28	praktijk [62]
membraanfilterpers	mengsel van uitgegist en secundair slib (4 %)	slibbuffer filterpers	met PE: 1,7-2,9 kg ds/m ² .h	4,5 g actief PE/kg ds; FeCl ₃	25-35	duurtest [69]

1) Experimenten met een membraanfilterpers met dit slib gaven geen hoger drogestofgehalte te zien.

Praktijkgegevens^[60]

slibsoort	minimum	maximum	aantal locaties
aëroob	24	31,2	3
aëroob/uitgegist	20	27	2
uitgegist	23,5	32,5	6
aëroob/primair	23	36	6

Praktijkgegevens^[60]

Locatie	slibsoort	drogestofgehalte
Terneuzen	aëroob	24
Terneuzen	aëroob/uitgegist	27
Terneuzen	uitgegist	29
Amsterdam	uitgegist	25

BIJLAGE 5: Praktijkgegevens van centrifuges

ingaaand slib centrifuge	configuratie	1. capaciteit 2. doorzet (m ³ /h)	doseerverhouding (g Fe of actief PE/kg ds)	ds ontwa- terd slib (%)	rende- ment (%)	opmerkin- gen en referentie
mengsel van uitgegist primair en secundair slib (4-4,5%)	na-indikker centrifuge	2. 20	10 (PE)	29,5	98,5	[71]
resultaten met dezelfde centrifuge:						
uitgegist slib (4 %)	na-indikker centrifuge	1. 35 2. 18-25	7-8 (PE)	28-32	98-99	praktijk [78]
uitgegist slib (4,1 %)		1. 35 2. 12,5	7,9 (PE) 19,7 (Fe)	28,2	98	duurtest [78]
uitgegist slib (5,7 %)		1. 35 2. 12,5	6,3 (PE) 14 (Fe)	29	99	duurtest [78]
secundair slib (3,1 %)		1. 35 2. 20	8 (PE)	25	98	duurtest [78]
secundair slib (0,3-0,6 %)	direct uit beluchting of retourslib	1. 15 of 25 2. 60% van de capaciteit ¹⁾	9-10 (PE)	21-24	92-99	duurtest, 2 centrifuges [83]
resultaten met dezelfde centrifuge ²⁾ :						
secundair slib (0,3 %)	direct uit beluchting	2. 10-15	7-13 (PE)	19-23		duurtest [90]
secundair slib (0,7 %)	direct uit retourslib	2. 5-15	5-14 (PE)	18-24		duurtest [90]
secundair slib (\pm 6 %)	bandindikker + centrifuge	2. 2-6	10-14 (PE) (incl. indikker)	19-24		duurtest [90]

1) Bij deze belasting wordt bij variërende drogestofgehalten van de ingaande slibstroom de gemiddelde ontwateringsgraad gehandhaafd.

2) Vergelijkend onderzoek tussen centrifuge en zeefbandpers (zie ook de eerste tabel in bijlage 3). De centrifuge behaalde een 2-4 % hoger drogestofgehalte dan de zeefbandpers. Het poly-elektrolietverbruik was bij de centrifuge 5-7 g actief PE/kg ds hoger.

Praktijkgegevens^[60]

Locatie	slibsoort	drogestofgehalte
Terneuzen	aëroob	23
Terneuzen	aëroob/uitgegist	25
Terneuzen	uitgegist	27
Amsterdam	uitgegist	25

BIJLAGE 6: Relatie tussen kosten van poly-elektroliet en slibafzet

Uitgangspunten:

- slibproductie: 2.000 ton ds/jaar (100.000 ie, 54 g ds/ie)
- kosten van poly-elektroliet: f 15/kg actief PE
- kosten van transport + afzet: f 150/ton slib

Berekening van de PE-dosering:

$$\text{Jaarlijkse kostenPE (f/jr)} = \text{slibproductie(ton ds/jr)} * \text{doseerverhouding(g/kgds)} * \text{kostenPE (f/kg)}$$

Berekening van de afzetkosten:

$$\text{Jaarlijkse kosten (f/jr)} = \frac{\text{slibproductie(ton ds/jr)}}{\text{ds-gehalte ontwaterd slib (\%)}} * \text{tarieven transport en afzet (f/ton)}$$

Waarden behorende bij figuur 35:

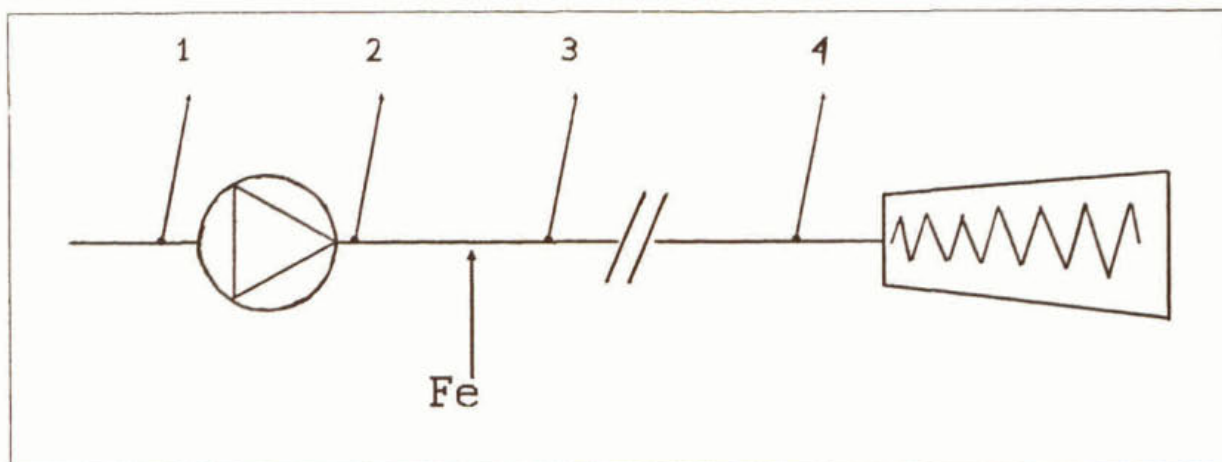
PE-dosering (g actief PE/kg ds)	einddrogestof- gehalte (%)	Kosten (kf)		
		PE	afzet	PE + afzet
8	20	240	1.500	1.740
8,2	20,2	246	1.485	1.731
8,4	20,4	252	1.470	1.722
8,6	20,6	258	1.456	1.714
8,8	20,8	264	1.442	1.706
9	21	270	1.428	1.698
9,2	21,2	276	1.415	1.691
9,4	21,4	282	1.401	1.683
9,6	21,6	288	1.388	1.676
9,8	21,8	294	1.376	1.670
10	22	300	1.363	1.663
10,2	22	306	1.363	1.669
10,4	22	312	1.363	1.675
10,6	22	318	1.363	1.681
10,8	22	324	1.363	1.687
11	22	330	1.363	1.693

BIJLAGE 7: Voorbeelden van slibkarakteriseringsonderzoek

De invloed van de sliblijn

De FE-cel kan worden ingezet voor het opsporen en verhelpen van knelpunten in slibontwateringsinstallaties^[4,96].

Op een RWZI zijn op vier verschillende aftappunten in de sliblijn monsters genomen en doorgemeten met de FE-cel om eventuele invloeden van appendages of pompen op de slibontwateringseigenschappen te onderzoeken (zie figuur 36). De monsters bestaande uit een mengsel van Zwolle-, Vollenhoven- en Steenwijk-slib zijn op laboratoriumschaal geflocculeerd. Bij de monsters genomen op de aftappunten 1 en 2 is Fe^{3+} voorgedoseerd in een concentratie gelijk aan de praktijkdosering.



Figuur 36: De sliblijn voor de centrifuge

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de metingen gegeven. Voor alle metingen is een monstermassa van 110 g genomen. De absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel is voor elk monster 3,7 g.

Resultaten van het doormeten van de sliblijn:

monster	FE-drogestofgehalte (gew.%)	specifieke filtratieweerstand (* 10^{11} m/kg)
zuigleiding 1	20,8	7,9
persleiding 2	19,1	9,9
na Fe^{3+} dosering 3	20,3	10,2
voor centrifuge 4	20,9	9,5

Uit de tabel blijkt dat het FE-drogestofgehalte na de pomp lager is dan voor de pomp. Verder in het systeem neemt het FE-drogestofgehalte weer toe. Het lijkt erop dat de pomp een negatieve invloed heeft op het slib, de slibvlok wordt waarschijnlijk stukgeslagen. Naarmate we verder in het systeem komen, herstelt de slibvlok zich weer. Het lijkt erop dat er een reversibele vlokafbraak optreedt in de pomp.

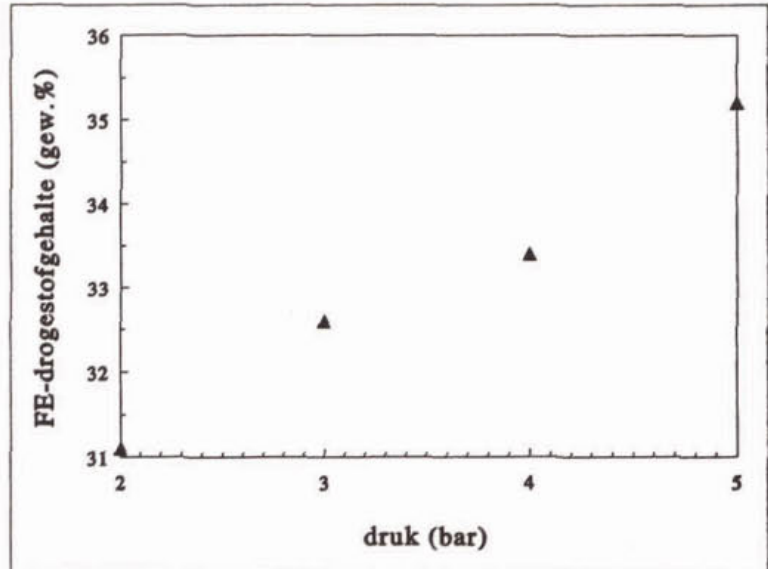
Ook op andere RWZI's is de FE-cel voor het opsporen van knelpunten ingezet. Uit metingen met de FE-cel aan een filterpersinstallatie bleek de slibvoedingspomp de ontwateringseigenschappen negatief te beïnvloeden. Aanpassen van de pomp leidde tot een verbetering van het ontwateringsresultaat^[96].

De instellingen van het ontwateringsapparaat

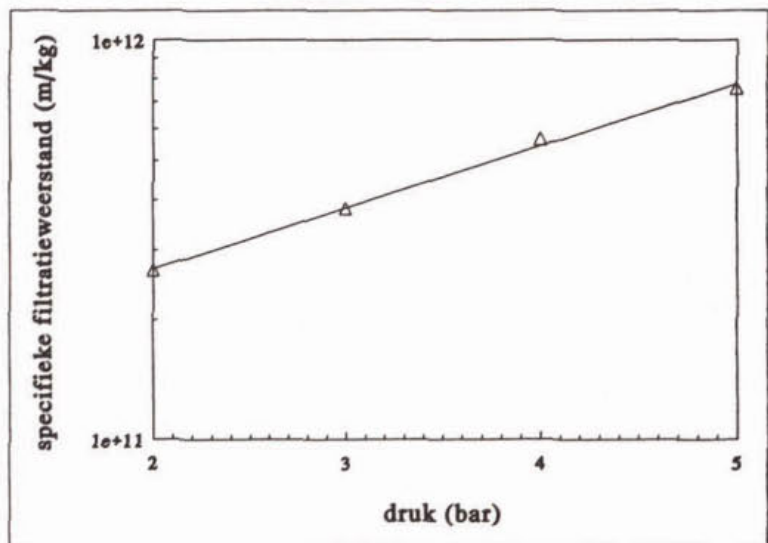
De FE-cel kan worden ingezet voor het bepalen van de instellingen van het ontwateringsapparaat^[4].

Een zeefbandpersinstallatie haalt een ds-gehalte van 23%. In de figuren 37 en 38 zijn respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand van vier identieke slibmonsters als functie van de druk uitgezet. De perstijd bedroeg 1800 seconden. In figuur 39 zijn de FE-drogestofgehalten van de slibmonsters weergegeven als functie van de perstijd.

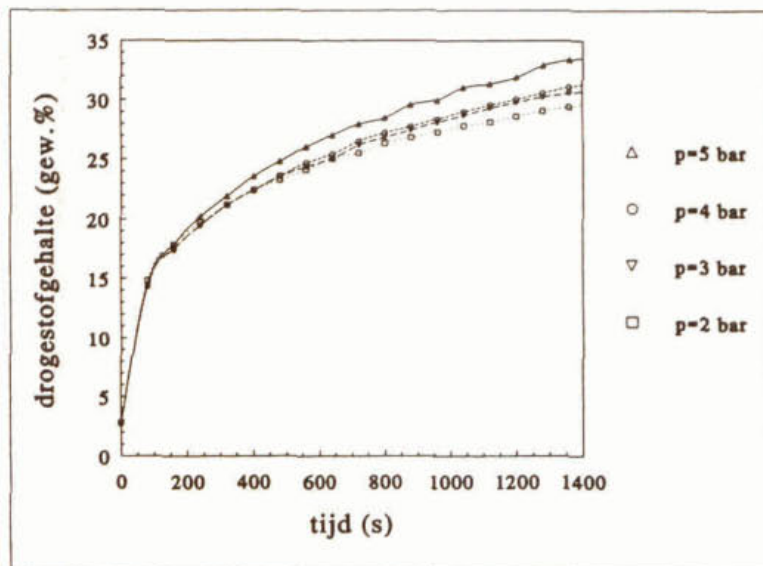
Figuur 37.
FE-drogestofgehalte als functie van de druk voor uitgegist slib geflocculeerd met 6,2 g/kg ds.



Figuur 38.
Specifieke filtratieweerstand als functie van de druk voor uitgegist slib geflocculeerd met 6,2 g/kg ds.



Figuur 39.
Drogestofgehalte als functie van de tijd bij verschillende persdrukken voor slib geflocculeerd met 6,2 g/kg ds.



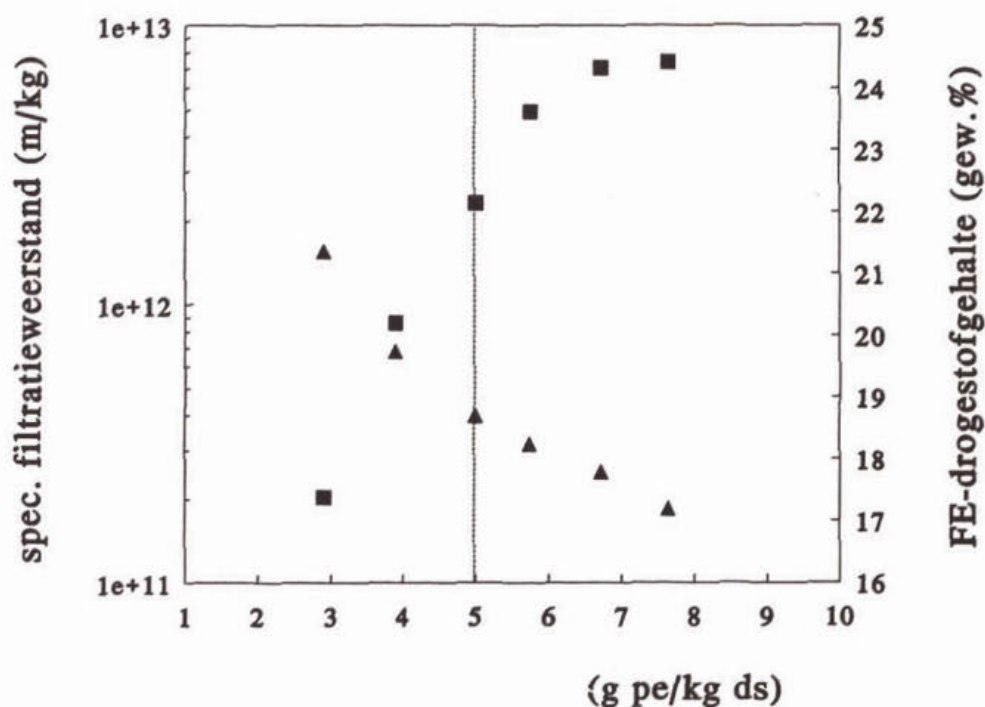
Een verhoging van de aangelegde mechanische druk in de FE-cel leidt tot een verhoging van het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand. Figuur 39 geeft de mogelijkheid de combinatie van perstijd en persdruk te bepalen waarbij het FE-drogestofgehalte gelijk is aan dat van de praktijk, te weten 23 gew.% ds. Bij een druk van 2, 3 en 4 bar komt het FE-drogestofgehalte na ca. 450 seconden perstijd overeen met het praktijkdrogestofgehalte. Bij een druk van 5 bar is dit al na 375 seconden het geval. Verder neemt het drogestofgehalte van de koek nog steeds sterk toe in de tijd. Verdubbeling van de perstijd levert bij drukken in de FE-cel van 3, 4 en 5 bar een winst in FE-drogestofgehalte op van ca. 5 gew.%, terwijl dit bij een verdrievoudiging van de perstijd zelfs 8 gew.% bedraagt. Verlenging van de perstijd zal in de praktijk bij dit slib aanzienlijke winsten in drogestofgehalte kunnen opleveren. Bij zeefbandpersen kan dit worden gerealiseerd door de bandsnelheid te verlagen. Indien de opgebrachte hoeveelheid slib per bandlengte gelijk moet blijven, moet wel het slibdebiet worden verlaagd. Dit gaat echter ten koste van de verwerkingscapaciteit. Indien een lagere capaciteit acceptabel is, is verlenging van de perstijd te overwegen.

Een hogere persdruk resulteert in een toename van het FE-drogestofgehalte. Uitgaande van een druk van 3 bar en een perstijd van 450 seconden (het FE-drogestofgehalte is bij deze combinatie van persdruk en perstijd gelijk aan het in de praktijk behaalde einddrogestofgehalte) is de winst behaald in de FE-cel echter slechts gering. Drukverhoging van 3 naar 4 bar levert geen winst op en van 3 naar 5 bar levert een winst op in FE-drogestofgehalte van ca. 1 gew.%. Een verhoging van de gemiddelde persdruk zal in de praktijk slechts een geringe winst in drogestofgehalte op leveren.

De invloed van de dosering van poly-elektroliet

De FE-cel kan worden ingezet voor de bepaling van de doseerverhouding poly-elektroliet. Een RWZI met een ontwerpcapaciteit van 70.000 i.e ontwaterd slib met een zeefbandpers^[96]. Met de FE-cel zijn metingen uitgevoerd om de doseerverhouding te bepalen. De resultaten van de experimenten zijn in figuur 40 weergegeven. Bij een poly-elektrolietdosering van 7 à 8 g PE/kg ds wordt een maximaal FE-drogestofgehalte en een minimale specifieke filtratieweerstand behaald.

In de praktijk wordt echter een dosering toegepast van 5 g PE/kg ds. Op basis van de metingen is overgeschakeld naar een hogere dosering. Het resultaat was een verhoging van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib op de zeefbandpers van 21,5 naar 23,5 gew.%. Op deze wijze werd een besparing in slibafzetkosten gerealiseerd van f 90.000,- per jaar. De extra kosten voor poly-elektroliet bedragen circa f 10.000,- per jaar. De netto besparing is dus f 80.000,- per jaar.



Figuur 40: Specifieke filtratieweerstand (▲) en FE-drogestofgehalte (■) na 15 minuten persen bij een mechanische druk van 3 bar als functie van de polymeerdosering. De stippellijn geeft de praktijkdosering aan.

