

NN31050.81-6

1981-06

stora

Slibontwatering

2. Slibeigenschappen en resultaten van slibverwerkingsapparatuur (literatuur)

Bibliotheek STOWA

stowa

alleen ter inzage, niet voor uitlening
nagebruik RETOUR s.v.p.

serie: thema Zuiveringstechniek
Slibontwatering en slibbehandeling

92/440 (81-6)



postbus 80200, 2508 GE den haag ☎ 070-512710 stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater
voor van riddersdrievetlaan 5

BIBLIOTHEEK DE BAFF
Droevendaelstraat 10
Postbus 741
6700 AE Wageningen



2 DEC 2003

1707735

Slibontwatering

2. Slibeigenschappen en resultaten van slibverwerkingsapparatuur (literatuur)

<p>STOWA Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 8090 3503 RB Utrecht tel. 030-321199 fax 030-321766</p>	<p>Publicaties en het publicatieoverzicht kunt u uitsluitend bestellen bij: Hageman Verpakkers BV Postbus 281 2700 AC Zoetermeer tel. 079-611188 fax 079-613927 o.v.v. ISBN- of bestelnummer en een duidelijk afleveradres.</p>
--	---

	Inhoud	I
	Ten geleide	
1	SAMENVATTING	1 - 2
2	INLEIDING	3 - 4
3	ALGEMENE BESCHOUWING	5 - 6
4	SLIBEIGENSCHAPPEN	7 - 14
4.1	Ontwateringskenmerken	7 - 10
4.2	Relatie tussen ontwateringskenmerken	10 - 14
5	MECHANISCHE ONTWATERINGSMETHODEN	15 - 30
5.1	Ontwatering met centrifuge	15 - 19
5.2	Ontwatering met zeefbandpersen	19 - 22
5.3	Ontwatering met vacuümfilters	23 - 26
5.4	Ontwatering met persfilters	26 - 29
6	SLIBEIGENSCHAPPEN EN BEDRIJFSRESULTATEN VAN ONTWATERINGS- APPARATUUR	30 - 39
6.1	Invloed van het aanvangsdrogestofgehalte	30
6.2	Invloed van slibeigenschappen	30 - 39
7	ONTWATERINGSAPPARATUUR IN NEDERLAND	40 - 43
	LITERATUUR	44 - 46

Ten geleide

Bij de ontwatering van zuiveringsslib is steeds sprake van een compromis tussen de kwaliteit van het uitgangsmateriaal, het drogestofgehalte van het eindprodukt en de kosten, dit als functie van ontwateringsapparatuur, conditioneringsmiddelen, transportafstand en afzetmogelijkheden.

In technische zin gaat het bij dit compromis om kennis van het verband tussen slibeigenschappen, ontwateringskenmerken en prestaties van de ontwateringsapparatuur.

Met het project "Slibontwatering" beoogt het algemeen bestuur van de STORA deze kennis te bundelen, uit te diepen en aan te vullen.

Het onderzoek werd op advies van de Onderzoekadviescommissie* van de STORA door dit bestuur opgedragen aan het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO te Delft en uitgevoerd in vier fasen: literatuuronderzoek naar de aard van de waterbinding in zuiveringsslib (fase 1), inventarisatie van het verband tussen slibeigenschappen en de resultaten van slibverwerkingsapparatuur (fase 2), optimalisering van slibontwatering met polyelectrolyt en zeefbandpersen, zowel voor aëroob (fase 3) als anaëroob gestabiliseerd slib (fase 4).

Om de resultaten van het onderzoek voor de praktijk van alle dag te ontsluiten, wordt het project afgesloten met een handleiding die zal worden samengesteld op basis van de rapporten van de laatste twee fasen.

Het hier voorliggende rapport vormt de afsluiting van de tweede fase en gaat in op het verband tussen slibeigenschappen en resultaten van slibverwerkingsapparatuur.

Bij de uitvoering van deze fase werd TNO namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit: ir. R. Karper (voorzitter), ir. H.M.M. Koppers, ir. O. Kwasnička, ir. H.M.J. Scheltinga en ing. D. Wouda.

Rijswijk, oktober 1981.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

* De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S. Kuyper, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. M. Tiessens, drs. A.A. Wismeijer (leden).

SAMENVATTING

De eigenschappen van zuiveringsslib worden bepaald door veel factoren, waaronder de samenstelling van het afvalwater en het type rioolwaterzuiveringsinrichting. De eigenschappen van slib dat uit bezinkingstanks wordt onttrokken, veranderen veelal in nadelige zin als gevolg van de lange verblijftijd onder anaërobe condities in de naïndikker. Ook bij de conditionering - chemisch of thermisch - al of niet vooraf gegaan door slibgisting worden de eigenschappen van het slib beïnvloed.

Dit onderzoek behandelt ontwateringskenmerken van het slib na conditionering en de prestaties van ontwateringsapparatuur. Voor het vergelijken van slibsoorten en resultaten van slibontwateringsapparatuur moet slib worden gekarakteriseerd. Er zijn meetmethoden die een indruk geven over de ontwaterbaarheid van slib, o.a. specifieke filtratieweerstand, CST, afzuigtijd en centrifugeerbaarheid. Ook de onderlinge relaties van deze ontwateringskenmerken zijn van belang.

Het resultaat van de mechanische ontwatering is behalve van de eigenschappen en het drogestofgehalte van het te ontwateren, geconditioneerde, slib ook afhankelijk van het type ontwateringsapparaat (centrifuge, zeefbandpers, vacuümfilter, persfilter) en de instelling van het apparaat (procescondities, bediening en onderhoud). Bij het zoeken naar relaties tussen ontwateringskenmerken van slib en prestaties van ontwateringsapparatuur wordt de invloed van proces- en machinevariabelen op de ontwateringsresultaten nagegaan.

Daartoe is beschikbare informatie over de slibeigenschappen, het aanvangsdrogestofgehalte en de bedrijfsresultaten van centrifuges, zeefbandpersen, vacuümfilters en persfilters geanalyseerd.

Uit de literatuurstudie blijkt het volgende:

- Het bepalen van ontwateringskenmerken, zoals specifieke weerstand, afzuigtijd, CST, centrifugeerbaarheid, kan noodzakelijk zijn bij het optimaliseren van de slibontwatering.
- Een aantal ontwateringskenmerken staat in onderlinge relatie, zodat voor controle van conditionering en ontwatering een keus kan worden gedaan op basis van eenvoud en snelheid. Goede perspectieven als kenmerk van ontwaterbaarheid bieden ondermeer de CST, de afzuigtijd en een recent door TNO ontwikkelde test op basis van specifieke weerstand.
- Een kwalitatieve indruk van de sterkte (weerstand tegen mechanische afschuifkrachten) van slibvlokken kan worden verkregen bij de geroerde CST-bepaling.
- De machinevariabelen spelen een belangrijke rol bij de ontwatering van slib. Het aantal instelbare variabelen is echter beperkt, terwijl een uitspraak over hun invloed meestal alleen in kwalitatieve zin mogelijk is.
- De slibsoorten bepalen in hoge mate de resultaten van slibverwerkingsapparatuur. Primair en uitgegist slib laten zich in het algemeen beter ontwateren dan secundair slib. Deze bevindingen gelden voor de meeste typen apparatuur, hoewel de bedrijfsresultaten met één slibsoort bij verschillende rioolwaterzuiveringsinrichtingen grote spreidingen laten zien.
- In een beperkt aantal gevallen is er een relatie vermeld tussen een ontwateringskenmerk of slibeigenschap en een resultaat van een

slibontwateringsapparaat o.a. specifieke weerstand bij filtratie en asgehalte bij centrifugatie. Er zijn geen relaties gevonden tussen ontwateringskenmerken en prestaties van zeefbandpersen.

- De beschikbare informatie is vrij onvolledig. Van de gevonden relaties, met name die opgesteld zijn voor vacuüm- en persfiltraties, is de invloed van de slibsoort onvoldoende bekend. Daarnaast is de invloed van proces- en machinevariabelen op de relaties onvoldoende nagegaan.
- Op basis van RIZA-gegevens is vastgesteld dat per 31 december 1976 het volgende aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen voorzien was van mechanische ontwateringsapparatuur: centrifuges - 6, persfilter - 13, zeefbandpersen - 45 en vacuümfilters - 5.

Het ontwateren van slib geeft dikwijls aanleiding tot de vragen waarom ontwaterd slib van een bepaalde rioolwaterzuiveringsinrichting nu eens goed en dan weer slecht of waarom ontwatert het slib van de ene rioolwaterzuiveringsinrichting beter dan het slib van de andere rioolwaterzuiveringsinrichting. Deze vragen zijn meestal niet of nauwelijks te beantwoorden omdat een duidelijk inzicht in de slibeigenschappen en/of ontwateringskenmerken ontbreekt. Evenmin is bekend of, en zo ja welke, relatie er bestaat tussen een ontwateringskenmerk en de prestaties van de ontwateringsapparatuur in termen van capaciteit, einddrogestofgehalte en scheidingsrendement. Vragen die hier nauw mee in verband staan zijn: welke eigenschappen of kenmerken zijn relevant voor een bepaalde ontwateringsmethode, zijn er onderlinge relaties tussen ontwateringskenmerken aan te geven en zijn er praktisch bruikbare snelle en betrouwbare methoden beschikbaar voor de bepaling van een ontwateringskenmerk.

Als men erin slaagt antwoord te geven op voornoemde vragen, dan is het ook mogelijk om door meting van één (of meer) ontwateringskenmerk (en) de slibconditionering zodanig bij te sturen dat de slibontwatering efficiënt werkt (verbetering van de procescontrole). Tevens kan dan worden aangegeven in hoeverre procestechnologische optimalisatie (efficiëntere werking) ook economisch verantwoord is.

Door middel van dit literatuuronderzoek naar slibeigenschappen en ontwateringskenmerken (slibkarakterisering) in relatie tot bedrijfsresultaten van ontwateringsapparatuur is getracht inzicht in de hier aangegeven problematiek te verkrijgen.

Nagegaan is welke eigenschappen, respectievelijk kenmerken, reeds zijn onderkend en in verband zijn gebracht met prestaties van ontwateringsapparatuur. Door de vele factoren die van invloed zijn op de eigenschappen van het te verwerken uitgangsslib, is het vrijwel onmogelijk de eigenschappen van dit slib direct te relateren aan het uiteindelijke resultaat van de slibverwerking (zie fig. 1). Vandaar dat als eerste benadering de eigenschappen van het slib vlak voor de ontwatering (dus na conditionering) zullen worden beschouwd en zo mogelijk in verband met de prestaties van de ontwateringsapparatuur zullen worden gebracht. De onderlinge relatie van de ontwateringskenmerken van het geconditioneerde slib en de relatie tussen ontwateringskenmerk van het geconditioneerde slib en de ontwateringsresultaten worden daarbij onderzocht.

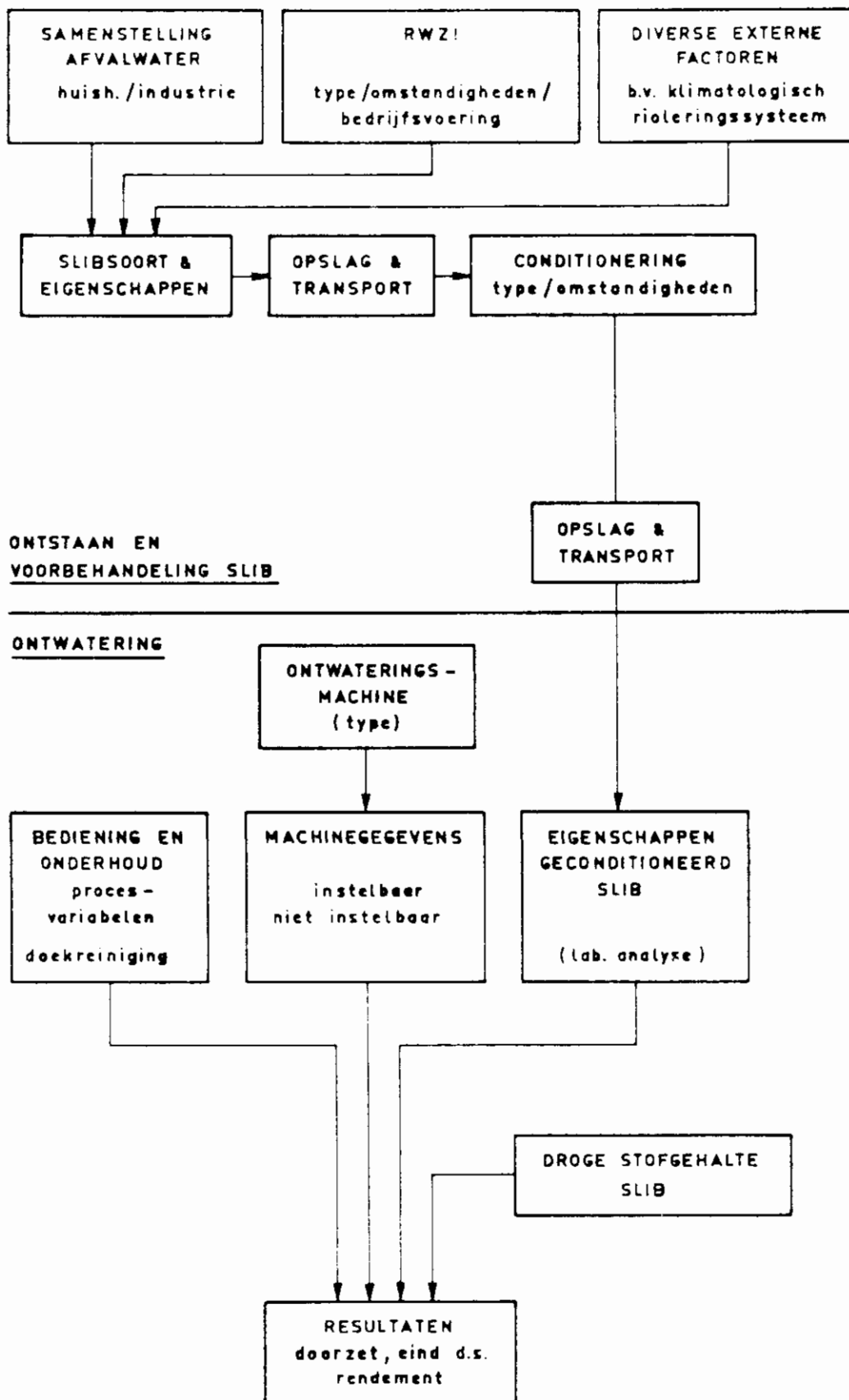


Fig. 1. Ontstaan, voorbehandeling en ontwatering van slib

In figuur 1 is schematisch aangegeven welke factoren van invloed zijn op de eigenschappen van het slib bij het ontstaan tot het moment van ontwatering. De eigenschappen van het uitgangsslib, het ongeconditioneerde slib, zijn met name afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater, de rioolwaterzuiveringsinrichting (type, procesomstandigheden en bedrijfsvoering) en van een aantal externe factoren zoals seizoensinvloeden, type rioolstelsel en de staat waarin dit stelsel verkeert.

De samenstelling van het afvalwater (huishoudelijk/industrieel) is mede bepalend voor de verhouding primair/secundair slib. Het is bekend dat naarmate slib meer secundair (= biologisch gevormd slib) bevat de ontwatering slechter wordt⁴⁷. Bovendien kunnen industriële verontreinigingen in het afvalwater de slibeigenschappen nadelig beïnvloeden¹¹.

Een mengsel van vers primair en surplus actiefslib ontwatert slechter dan een mengstel van vers primair- en humusslib en slib van de koude gisting ontwatert slechter dan slib van de warme gisting²⁰. De slibleeftijd kan van positieve invloed zijn op de slibeigenschappen. Hiermee zal men rekening dienen te houden als men, bij een stagnerende afvoer van slib het drogestofgehalte in de beluchtingsruimte van de rioolwaterzuiveringsinrichting laat oplopen (toename van de slibleeftijd). De weersgesteldheid heeft eveneens invloed op de eigenschappen van het slib. Onder zomerse omstandigheden kan het slib verder worden gemineraliseerd (hoger asgehalte) dan bij lage temperaturen in de winter. Hevige regenval kan bij gecombineerde rioolstelsels de riolen doorspoelen waardoor in zeer korte tijd veel oud, aangerot slib in de rioolwaterzuiveringsinrichting komt. Dit heeft tot gevolg dat de ontwatering van slib ongunstig wordt beïnvloed.

Uit het voorgaande is duidelijk dat de eigenschappen van het uitgangsslib niet constant zijn. Zij verschillen per rioolwaterzuiveringsinrichting en in de tijd. Door chemische of thermische conditionering kunnen de in het slib optredende veranderingen worden "afgevlakt", waarbij de eigenschappen van het oorspronkelijke slib in de procescondities van de conditionering, chemicaliënverbruik e.d., kunnen doorwerken. Volgens de literatuur¹⁷ neemt de benodigde hoeveelheid conditioneringsmiddel toe naarmate het slib meer actiefslib bevat. Uitgegist slib bevat door de chemische veranderingen van het gistingsproces veel kleine deeltjes, waardoor relatief meer polyelektrolyt nodig is. Volgens Novak e.a.³⁴ is de pH en het drogestofgehalte van het slib eveneens van invloed op het polymeerverbruik. Hennerkes²⁵ onderzocht bij thermische conditionering actiefslib met verschillende percentages aan organische (vluchtige) stof de invloed van de procesvariabelen temperatuur en druk. Naarmate het percentage organische stof in het slib stijgt, zal bij gelijkblijvende temperatuur de reactietijd langer moeten worden om hetzelfde resultaat, dat wil zeggen, dezelfde specifieke weerstand van het slib te verkrijgen.

Vóór, en in een aantal gevallen, ook na de conditionering (bijvoorbeeld bij persfilterontwatering) wordt het slib tijdelijk opgeslagen om verder in te dikken. Ook hierbij kan het slib als gevolg van veroudering en mechanische beschadiging (krachtig roeren) veranderingen ondergaan, die de slibverwerking ongunstig beïnvloeden. Volgens de literatuur¹² wordt het verbruik aan conditioneringsmiddelen hoger naar-

mede de opslag van het slib langer duurt. Voor vers primair en vers gemengd slib, ongeconditioneerd en chemisch geconditioneerd slib neemt de CST*-waarde toe in de tijd²². Zij schreven dit toe aan het uiteenvallen van de slibvlok als gevolg van de veroudering. White e.a.^{4,7} kwamen tot dezelfde conclusie door van diverse slibben de specifieke weerstand (een ontwateringskenmerk) als functie van de tijd te meten. Hoog belast actiefslib gaf een snelle toename van de specifieke weerstand in de tijd te zien, waardoor dit slib in principe snel moet worden verwerkt. Laag belast slib en oxydatieslootslib is in dit opzicht stabiel. Niemitz en Fuss³² constateerden een verslechtering van de specifieke filtratieweerstand als gevolg van roeren. De specifieke weerstand van chemisch geconditioneerd slib wordt nadelig beïnvloed door de roersnelheid en de roertijd. Dit effect is vooral duidelijk bij een lage dosering aan conditioneringsmiddelen. Tijdens een filtratiecyclus, waarbij het geconditioneerde slib uit een geroerde tank wordt aangevoerd, kunnen de ontwateringseigenschappen dus verslechteren¹².

Behalve opslag van slib vindt ook transport van slib plaats. Hiervoor worden vrijwel altijd pompen gebruikt. Tengevolge van mechanische afschuifkrachten kan het slib worden beschadigd waarbij afbraak van de slibvlok plaatsvindt en verslechtering van de ontwateringseigenschappen optreedt. In dit verband is ongeconditioneerdslib minder kwetsbaar dan geconditioneerd slib. Van slib, dat met polyelektrolyt geconditioneerd is, is bekend dat de slibvlok zeer fragiel is². Dit betekent dat de kans op verslechtering van ontwateringseigenschappen door mechanische vlokafbraak ten gevolge van roeren en/of transport groot is.

In het voorgaande zijn vele factoren genoemd die van invloed zijn op de ontwateringseigenschappen van het slib, vanaf het ontstaan tot aan de invoer van de ontwateringsapparatuur. Het resultaat van de slibontwatering wordt evenwel niet uitsluitend bepaald door de eigenschappen o.g. ontwateringskenmerken van het geconditioneerde slib. Zoals in figuur 1 schematisch is weergegeven, is het resultaat van de ontwatering, vertaald in termen van capaciteit, einddrogestofgehalte en scheidingsrendement, mede afhankelijk van een aantal andere factoren. Deze factoren zijn:

- type en instelling van ontwateringsmachine (bedrijfsomstandigheden: toerental, bandsnelheid, druk e.d.);
- bediening en onderhoud van de machine (doekreiniging);
- het drogestofgehalte van het te ontwateren slib.

Bij het bestuderen van relaties tussen ontwateringseigenschappen van (geconditioneerd) slib en bedrijfsresultaten moet met deze factoren rekening worden gehouden. Het doel van deze studie is ook na te gaan, wat bekend is over de invloed van een regelbare machinevariabele (bijvoorbeeld toerental) o.g. procesvariabele (bijvoorbeeld druk) op de prestaties van de ontwateringsapparatuur.

Zeer veel factoren zijn van invloed op de eigenschappen van het slib. Daar een duidelijk inzicht in het effect van elk van deze factoren op de ontwateringseigenschappen veelal ontbreekt, is het niet zinvol de eigenschappen van het slib rechtstreeks te correleren aan de resultaten van de bedrijfsapparatuur. Vandaar dat in eerste instantie zal worden gezocht naar ontwateringskenmerken en mogelijke relaties met bedrijfsresultaten van ontwateringsapparatuur voor geconditioneerd slib vlak vóór de invoer van ontwateringsapparatuur.

*CST = Capillary Suction Time - 6 -

Slibeigenschappen zijn niet constant. Voor het vergelijken van slibsoorten en resultaten van slibontwateringsapparatuur is het derhalve noodzakelijk dat de eigenschappen van het slib worden vastgelegd, dit wil zeggen op een of andere wijze worden gekarakteriseerd. Dit kan gebeuren²¹ op basis van het onderscheid naar herkomst, het vastleggen van algemene kenmerken (kleur, geur, microscopische waarnemingen, voorkomen van draden, e.d.), het uitvoeren van chemische en biologische analyses en de bepaling van een aantal ontwateringskenmerken. In de volgende paragraaf zal met name op het laatstgenoemde aspect verder worden ingegaan.

4.1 Ontwateringskenmerken

Ten behoeve van onderzoek naar de conditionering en de ontwatering van zuiveringsslib worden veelal één of meer ontwateringskenmerken bepaald. Het doel hiervan is vrijwel steeds het optimaliseren van de chemische conditionering in casu het minimaliseren van de hoeveelheid conditioneringsschemicaliën. Een enkele maal wordt een ontwateringskenmerk in verband gebracht met de praktijkresultaten van de mechanische slibontwateringsapparatuur en worden op grond van ontwateringskenmerken voorspellingen gedaan ten aanzien van de ontwatering met bijvoorbeeld vacuüm- en persfilters. Veel gebruikte ontwateringskenmerken zijn de specifieke filtratieweerstand, de compressibiliteit en de CST- (= Capillary Suction Time) waarde, zowel geroerd als niet geroerd uitgevoerd.

Voor de bepaling van de specifieke weerstand van onbehandeld en geconditioneerd slib wordt een filtratieëxperiment op laboratoriumschaal uitgevoerd. Deze filtratie kan zowel onder vacuüm (Büchner filtertest, $\Delta p \approx 0,5$ bar) als onder druk (drukfilter, druk bijvoorbeeld 1, 3, 7 of 15 bar) worden uitgevoerd.

Uit het filtratieverloop (filtraatvolume als functie van de filtratietijd) kan met behulp van een theoretische filtratievergelijking de specifieke weerstand (r) worden berekend. Het begrip specifieke weerstand werd door Carman⁴ voor de filtratie van industriële slibben ontwikkeld. Deze methode is ook bruikbaar voor slib, afkomstig van de zuivering van stedelijk afvalwater⁵.

Verschillende onderzoekers hebben aandacht besteed aan de waarde van een specifieke weerstandsbeplating en hebben de diverse factoren die van invloed zijn op het resultaat onderzocht. Niemitz en Fuss³² plaatsen een aantal kritische kanttekeningen bij de filtratiedruk, het effectieve filteroppervlak, de slibconcentratie en de viscositeit van het filtraat. Zo moet ondermeer de waarde van de viscositeit van het filtraat worden gecorrigeerd voor de temperatuur. Daarnaast geven zij een aantal praktische aanwijzingen met betrekking tot de uitvoering van de bepaling. Gale^{13, 16} gaat uitvoerig in op de betekenis van de slibconcentratie in de filtratieformule waaruit de specifieke weerstand wordt berekend. Afhankelijk of het drogestofgehalte van het uitgangsslib, dan wel die van de slibkoek wordt ingevuld, maakt Gale onderscheid tussen de schijnbare en de werkelijke specifieke weerstand.

Notebaert e.a.³³ gaan verder in op de betekenis van de weerstand van het filtermedium die in veel gevallen wordt verwaarloosd. Zij pleiten voor een "andere" specifieke weerstand, gebaseerd op een empirische filtratievergelijking, welke het filtratieproces beter beschrijft dan de theoretische vergelijking, gebaseerd op de wet van Darcy.

De compressibiliteit (s) geeft een indruk van de mate van samendrukbaarheid (niet samendrukbaar $s = 0$, sterk samendrukbaar $s = 1$), van slib.

Door bij een aantal filtratiedrukken de specifieke weerstand (r) te bepalen kan, uit het door Carman² aangetoonde verband $r = r_0 P^s$ (P = de filtratiedruk), de waarde van s worden berekend. Voor zuiverings-slib liggen de waarden van s in het algemeen^{3,4} tussen 0,6 en 1,0^{2,4}. Door meting van de CST-waarde kan zeer snel een indruk worden verkregen van de ontwaterbaarheid van slib. In de literatuur¹ worden daarnaast enkele andere toepassingen van de CST-bepaling genoemd, zoals: onderzoek op de rioolwaterzuiveringsinrichting naar de efficiëntie van de menging van conditioneringsmiddel met grote hoeveelheden slib, het vergelijken van roercondities op laboratorium- en praktijkschaal, en het beoordelen van het effect van veranderingen in de roercondities op de efficiëntie van een gegeven dosering aan conditioneringsmiddel. Het principe van de meting berust op de capillaire werking van een vochtabsorberend filtreerpapier. De snelheid waarmee het vloeistoffront zich door het papier verplaatst is een maat voor de ontwateringssnelheid. De tijd waarin het vloeistoffront zich over een bepaalde afstand heeft verplaatst wordt gemeten. De bepaling van de CST-waarde en de factoren die deze waarde beïnvloeden is in de literatuur ondermeer beschreven door Gale^{1,5}. Van factoren zoals de eigenschappen van het filtreerpapier, oppervlaktespanning, temperatuur en drogestofgehalte (als zwevende stof = suspended solids) is de laatste hierbij ongetwijfeld de belangrijkste. Dit impliceert dat bij de opgave van de CST-waarde steeds het drogestofgehalte moet worden vermeld, of dat de bepaling moet worden uitgevoerd bij een gestandaardiseerd drogestofgehalte. In figuur 2 is het verband tussen de CST-waarde en het drogestofgehalte voor een snel en een langzaam filtrerend, vers slib weergegeven¹. Tussen de CST-waarde en het drogestofgehalte voor onbehandeld en thermisch geconditioneerd slib wordt een exponentieel, respectievelijk een proportioneel verband gevonden^{2,4}.

Bij de bepaling van de "geroerde" CST-waarde wordt het slib al dan niet geconditioneerd, voorafgaande aan de bepaling van de CST-waarde enige tijd (10, 40 en 100 s) geroerd met een standaardroerder bij 1400 rpm. Op deze manier kan een kwalitatieve indruk worden verkregen over de sterkte van de slibvlok. In verband met het transport van het slib van conditionering naar ontwatering is het van belang dat het slib voldoende sterk is, daar anders door mechanische beschadiging de ontwateringseigenschappen verslechteren en het effect van de conditionering deels weer teniet wordt gedaan.

De hier genoemde ontwateringskenmerken worden vrij algemeen toegepast. Daarnaast heeft TNO bij haar onderzoekactiviteiten op het gebied van de slibverwerking de afzuigtijd, de centrifugeerbaarheid en het bedrag op het drogbed als ontwateringskenmerken bepaald^{6,7}, terwijl tevens een test ontwikkeld is, waarbij niet alleen de snelheid van ontwatering, maar ook het bereikbare drogestofgehalte kan worden onderzocht.

Bij een kwalitatieve bepaling van een Büchnertrichterkan op dezelfde wijze als bij de bepaling van de specifieke weerstand de afzuigtijd worden bepaald. De afzuigtijd is gedefinieerd als de tijd waarin 75 ml filtraat wordt verkregen, uitgaande van 125 ml slibaanspenning bij een onderdruk van 0,5 atm. De afzuigtijd is evenals de

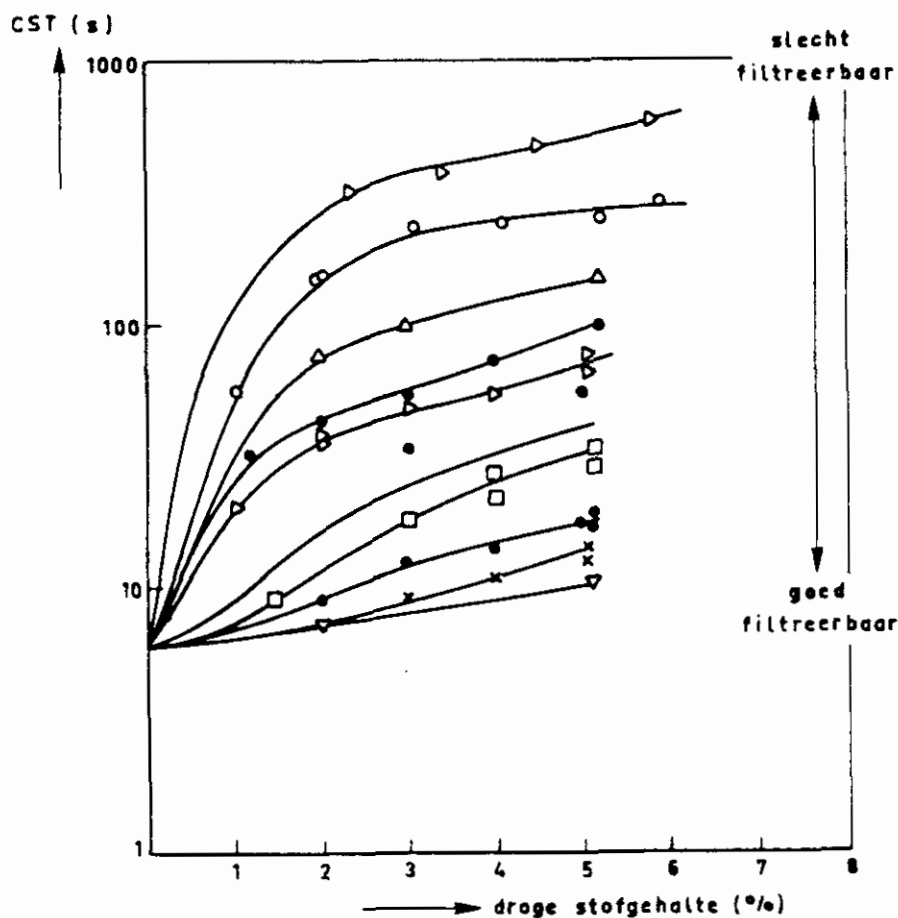


Fig. 2. Verandering van de CST-waarde met het drogestofgehalte van vers slib

CST-waarde afhankelijk van het drogestofgehalte. Het verdient dan ook aanbeveling het drogestofgehalte bij de slibkarakterisering te standaardiseren (bijvoorbeeld op 1,5% d.s.). Blijkens de literatuur^{7, 42} is de bepaling van de afzuigtijd in het verleden ook door andere onderzoekers uitgevoerd.

De centrifugeerbaarheid is als ontwateringskenmerk bepaald met het oog op de ontwatering van slib in (decanteer)centrifuges. De bepaling van het drogestofgehalte wordt uitgevoerd, na centrifugeren, in een laboratoriumbuizencentrifuge bij een g-waarde van 6000. Vesilind^{4, 5} bepaalt de bezinking van slib in een centrifugaal veld en leidt hieruit de zogenaamde "Settling coëfficiënt" af. Deze waarde is volgens Vesilind karakteristiek voor een bepaald slib. De "stevigheid" van het ontwaterde slib, belangrijk in verband met de lossing door middel van de transportschroef in de decanteercentrifuge, wordt gemeten met een penetrometer. Vesilind gebruikt deze slibkarakteristiek niet in verband met prestaties van centrifuges, doch uitsluitend om specificaties op te geven aan leveranciers van de machines in verband met het afgeven van garanties.

Bij het gedrag op het droogbed (overdekt) wordt de laagdikte van het slib als functie van de tijd gemeten. Hieruit verkrijgt men een indruk van de ontwateringssnelheid (= drainagesnelheid-meetperiode 24h).

Naast de hier genoemde kenmerken wordt er gesproken van een zogenaamde "filter-leaf test"¹⁴. Omdat de test goed vertaalbaar is voor de slibfiltratie met behulp van roterende vacuümfilters wordt zij incidenteel bij vacuümfiltratie toegepast.

Hoewel de pH-waarde van het slib eigenlijk geen ontwateringskenmerk is, is het toch gewenst de pH-waarde bij het karakteriseren van slib te meten. Uit onderzoek²¹ is bekend, dat de pH-waarde na conditionering met ijzerchloride en kalk voor een goede ontwatering op een persfilter bij voorkeur ≥ 11 moet zijn.

Een enkele keer wordt ook de slibvolumeindex als ontwateringskenmerk gebruikt. Uit een door TNO uitgevoerd slibontwateringsonderzoek²¹ is gebleken dat de bruikbaarheid van de slibindex als een algemeen kenmerk van de ontwaterbaarheid van het slib nihil is. Vesilind²² daarentegen heeft de slibindex in verband gebracht met de centrifugeerbaarheid van actiefslib. Als slib slecht bezinkt zal het in principe ook slecht centrifugeren.

Getuige het Eurocop-Cost Project 68 wordt er op internationaal niveau gewerkt aan het standaardiseren van meetvoorschriften voor ontwateringskenmerken. Uit eigen land is bekend dat recentelijk een begin is gemaakt met het opstellen van een NEN conceptvoorschrift voor de bepaling van de specifieke weerstand, de compressibiliteit, de afzuigtijd en de CST-waarde.

Relaties tussen ontwateringskenmerken

In deze paragraaf wordt het verband nagegaan van de in 4.1 besproken ontwateringskenmerken. Indien voor een bepaald slib een ondubbelzinnig verband bestaat tussen bijvoorbeeld de specifieke weerstand en de CST-waarde, kan worden volstaan met het meten van de CST-waarde van het slib.

De tijdrovende bepaling van de specifieke weerstand kan dan worden vervangen door de snelle CST-bepaling. Deze bepaling leent zich bovendien in principe beter voor automatisering (bijvoorbeeld voor regeling van de chemicaliëndosering op basis van CST-metingen) dan de bepaling van de specifieke weerstand. Afgezien van automatisering zou men dan in staat zijn om eenvoudig en snel de kwaliteit van het slib, zowel onbehandeld als geconditioneerd, te volgen.

Bij de bepaling van de specifieke weerstand met behulp van Büchnerfilterapparatuur en bij de bepaling van de CST-waarde zijn vergelijkbare mechanismen werkzaam. In beide gevallen wordt door middel van onderzoek water uit slib door een filter gezogen. Als zuigkracht is bij de Büchnerfiltertest de kunstmatig opgewekte onderdruk werkzaam, terwijl dit bij de CST-bepaling de capillaire zuigkracht van het filterpapier is. Op grond van het feit dat beide methoden in principe vergelijkbaar zijn, ligt een verband tussen de uitkomsten van beide bepalingmethoden (r-waarde en CST-waarde) enigszins in de lijn der verwachtingen. Verschillende onderzoekers hebben een verband tussen de specifieke weerstand en de CST gevonden^{1,3,16}. In figuur 3 wordt dit verband voor vers slib weergegeven.

Loll²³ voerde specifieke weerstandsmetingen en CST-bepalingen uit aan uitgegist slib, aëroob gestabiliseerd slib en aëroob thermofiel gestabiliseerd slib. Het resultaat van meer dan 500 metingen is grafisch weergegeven in figuur 4.

specifieke weerstand bij $\Delta p = 500 \text{ g/cm}^2$

(s^2/g)

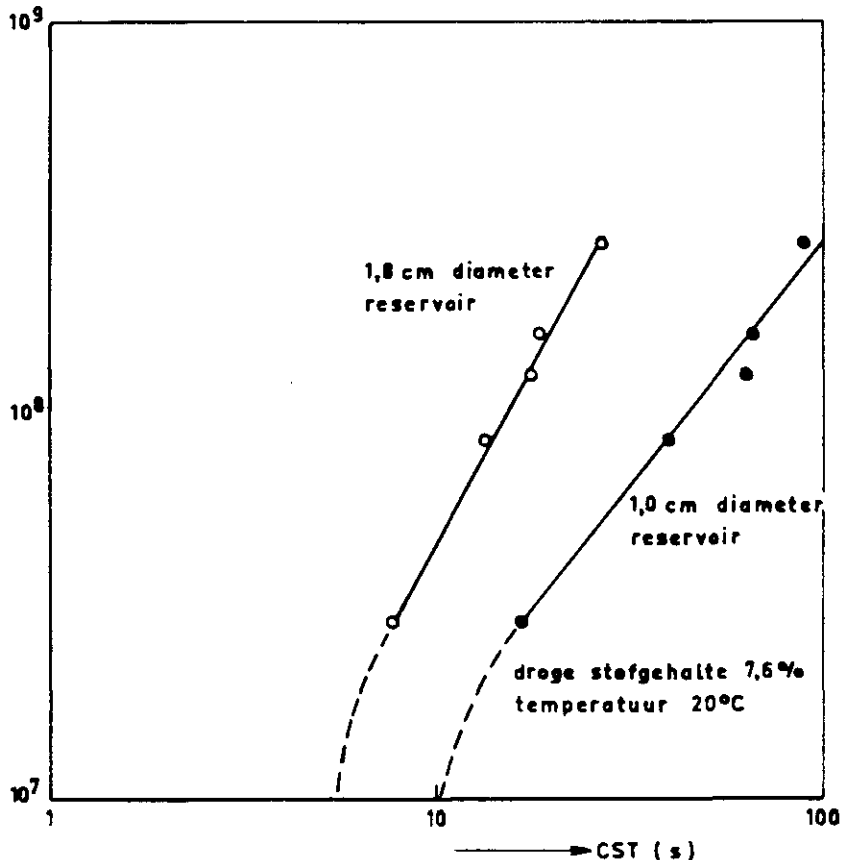


Fig. 3. Verandering van de CST-waarde (voor 1,0 en 1,8 cm reservoirs) met de specifieke weerstand voor snel filtrerende verse slibben

$r (10^{12} \text{ m/kg})$

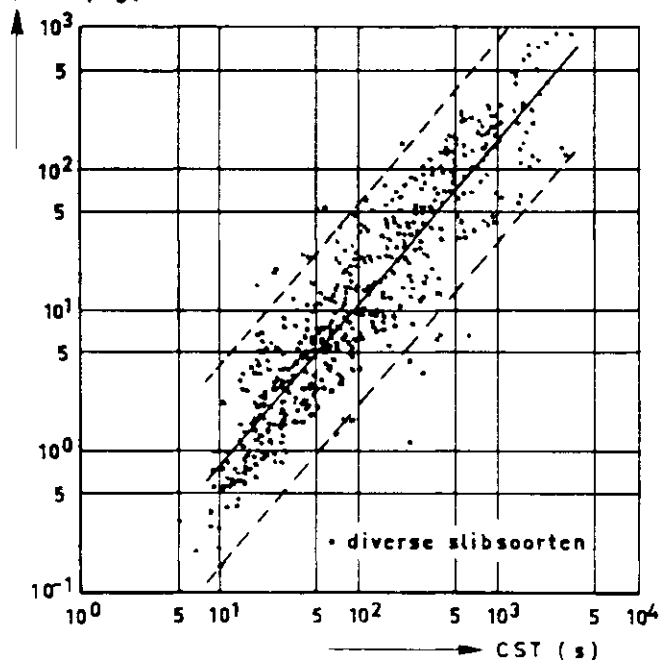


Fig. 4. Verband tussen specifieke weerstand en CST-waarde

Uit de figuur blijkt dat er tussen de beide ontwateringskenmerken (log-log uitgezet), een rechtlijnig verband bestaat. Voor het verband tussen de specifieke weerstand en de CST-waarde voor onbehandeld en thermisch geconditioneerd slib worden goede correlaties gevonden²⁵.

Anderen⁹ zijn van mening dat niet CST maar CST/% d.s. in verband met de specifieke weerstand moet worden gebracht. Figuur 2 geeft aan dat de CST-waarde afhankelijk is van het drogestofgehalte. Figuur 5 laat zien dat er een lineair verband bestaat tussen log CST/% d.s. en log r volgens de vergelijking:

$$\log \frac{\text{CST}}{\% \text{ d.s.}} = A \log r - B \quad (1)$$

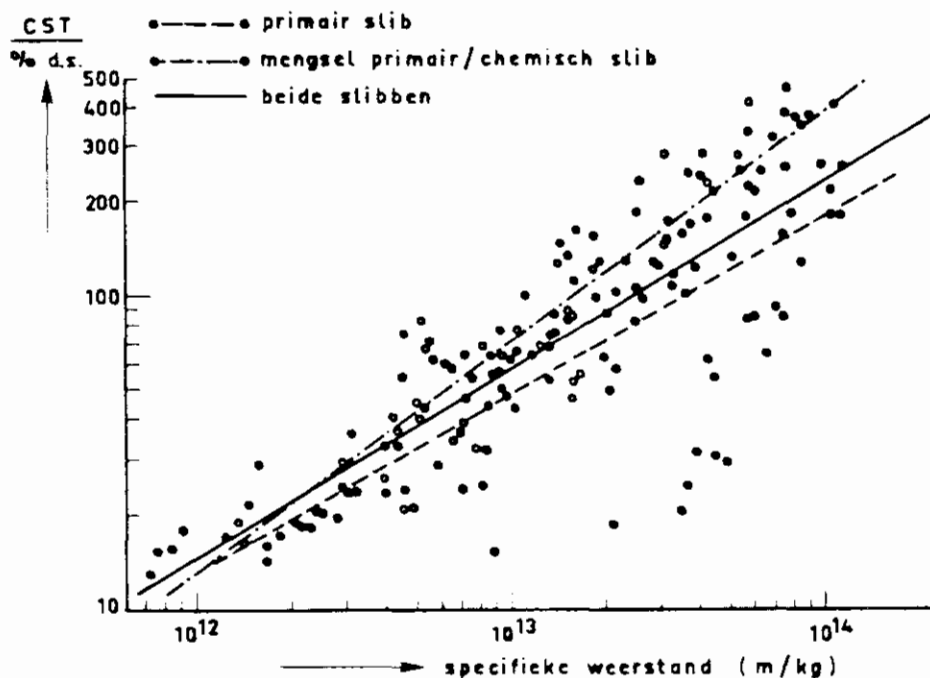


Fig. 5. CST/% d.s. vs specifieke filtratieweerstand

Figuur 6 geeft het product van de specifieke weerstand en drogestofgehalte (r.c.), gecorreleerd aan de waarde van de CST¹⁵.

De hiervoor aangegeven relaties hebben steeds betrekking op CST en r. Bij het TNO-onderzoek²¹ zijn correlaties gevonden tussen afzuigtijd en specifieke weerstand, alsmede tussen afzuigtijd en CST zowel voor onbehandeld als chemisch en thermisch geconditioneerd slib (zie figuur 7, 8 en 9). Het onderzochte slib was afkomstig uit de oxydatiesloot en de continue oxydatie-denitrificatie-zuiveringsinrichting met simultane defosfatering met kalk²² van het TNO Zuidpoldercomplex te Delft.

Behalve deze informatie zijn er met betrekking tot andere slibsoorten in Nederland vrijwel geen gegevens op dit gebied bekend.

specifieke weerstand \times d.s.
 (10^{13} m/kg. % d.s.)

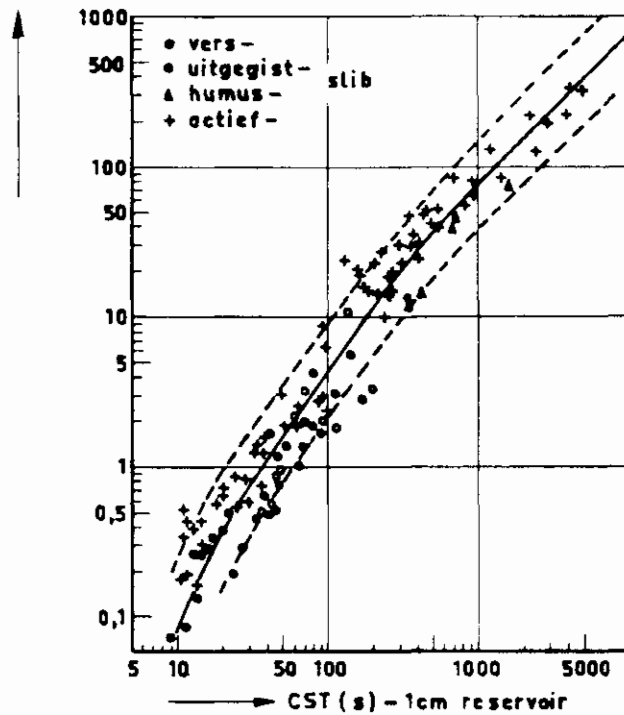


Fig. 6. Correlatie van de CST-waarde met het product van de specifieke weerstand (r) en drogestofgehalte (delen per 100 delen vloeistof)

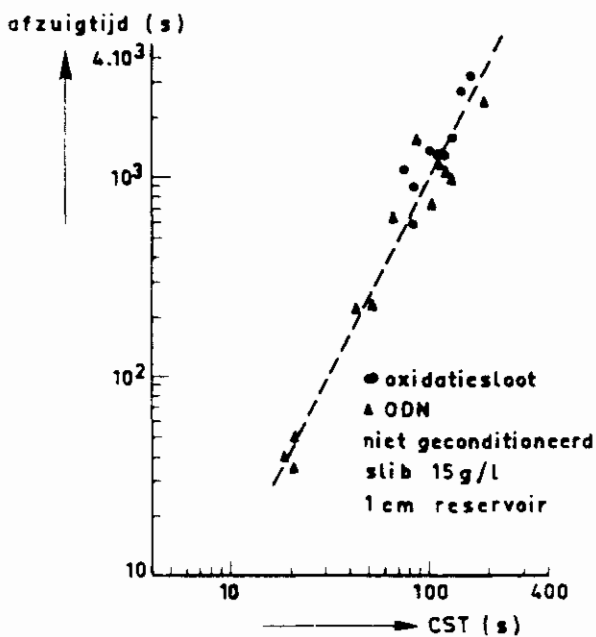


Fig. 7. Verband tussen afzuigtijd en CST

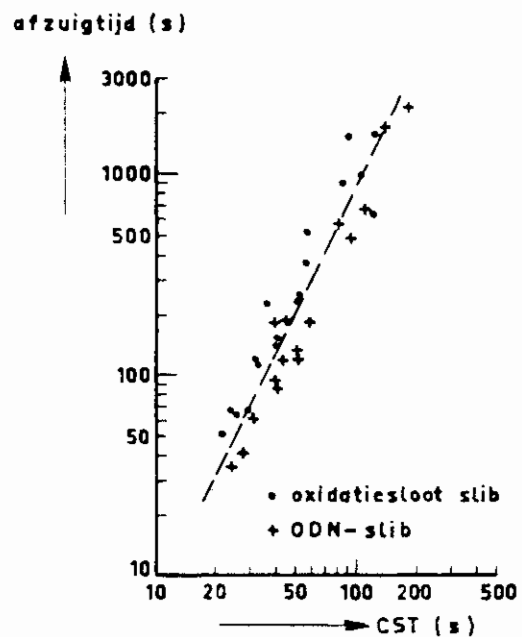


Fig. 8. Afzuigtijd en CST bij conditionering met ijzerchloride en kalk

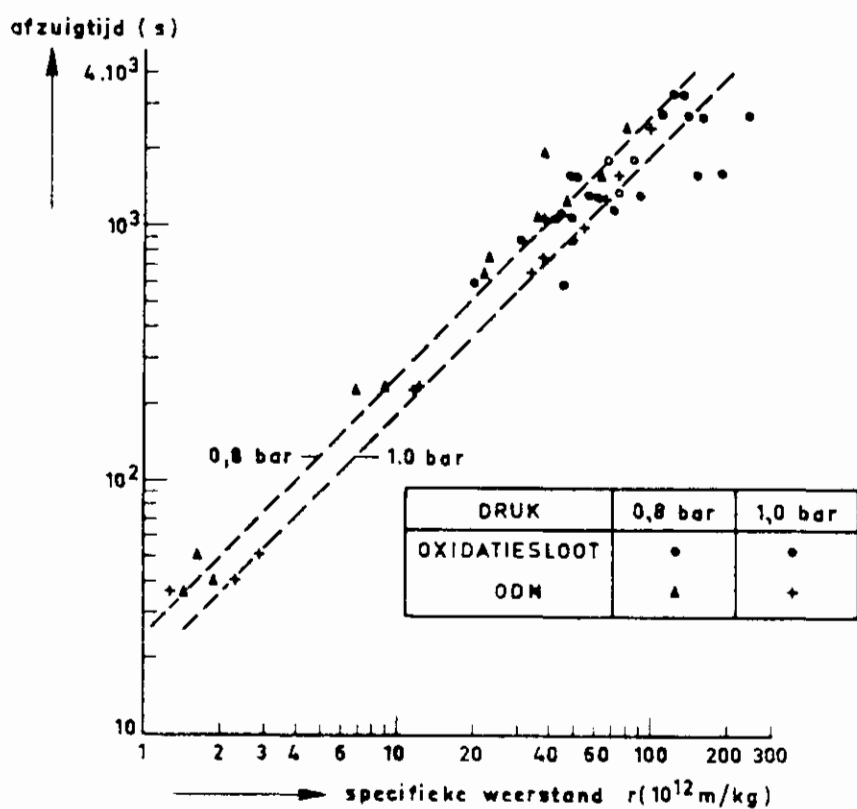


Fig. 9. Verband tussen afzuigtijd en specifieke weerstand bij vacuümfiltratie (0,8 bar) en drukfiltratie (1 bar) voor slib met een drogestofgehalte van 15 g/l

Het resultaat van de mechanische ontwatering is behalve van de eigenschappen en het drogestofgehalte van het slib ook afhankelijk van type (centrifuge, zeeffandpers, vacuümfilter, persfilter), instelling (procescondities, bediening) en onderhoud van de ontwateringsmachine. Bij het zoeken naar relaties tussen ontwateringskenmerken van slib en prestaties van ontwateringsapparatuur moet derhalve ook de invloed van proces- (o.a. de druk) en machine variabelen (toerental, bandsnelheid, e.d.) op de ontwateringsresultaten worden nagegaan. Wanneer kleine veranderingen in een proces- of machinevariabele de ontwateringsresultaten veel sterker beïnvloeden dan grote veranderingen in ontwateringskenmerken, is het zoeken naar relaties tussen deze kenmerken en prestaties van ontwateringsapparatuur weinig zinvol. In dit hoofdstuk wordt voor de diverse typen ontwateringsapparatuur voornamelijk aandacht besteed aan deze relaties. Daarnaast zal worden aangegeven welke resultaten, afhankelijk van de slibsoort, doorgaans met de betreffende ontwateringsapparatuur worden behaald.

5.1 Ontwatering met centrifuges

Voor de ontwatering van slib worden veelal decanteercentrifuges (zie figuur 10) gebruikt. Door de centrale invoerpijp wordt het slib met het conditioneringsmiddel toegevoerd. In de roterende trommel wordt het slib in rotatie gebracht, waarbij door de centrifugale kracht scheiding tussen vaste en vloeibare fase optreedt. Het afgescheiden (= ontwaterde) slib wordt door de transportschroef, die met een iets hoger toerental dan de trommel draait, getransporteerd naar de "droogzone" en gelost. Het centrifugaat wordt via een keer- annex overloop-schijf, ter hoogte van de slibinvoer afgevoerd.

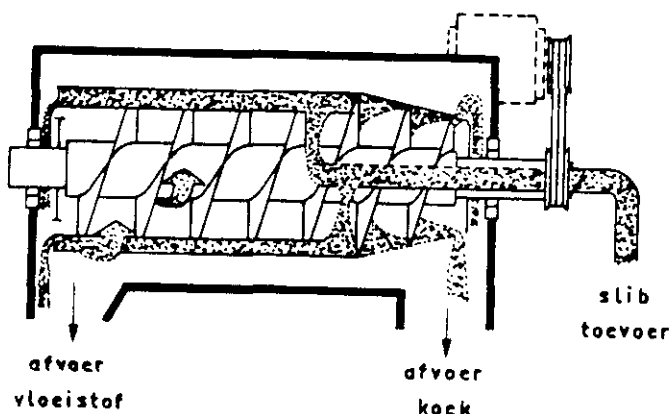


Fig. 10. Decanteercentrifuge¹⁶

Een theoretische beschouwing over het scheidingsproces in een centrifuge, gebaseerd op de wet van Stokes,

$$v = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_w) \omega^2 r}{18 \eta} \quad (2)$$

waarin: v	= snelheid (slib)deeltje	(m/s)
r	= straal centrifuge	(m)
ω	= hoeksnelheid ($\omega = 2\pi n$)	(rad/s)
ρ_s	= soortelijke massa (slib)deeltje	(kg/m ³)
ρ_w	= soortelijke massa water	(kg/m ³)
d	= diameter (slibdeeltje)	(m)
η	= viscositeit	(kg/m.s.)

is onder andere gegeven door Records³⁹. Op basis van deze theorie heeft Records ook een schaalvergrotingsregel ($Z = L.D.g_c^* g = G$ -getal) voor centrifuges opgesteld. Ook Vesilind³⁵ geeft een uitvoerige theoretische beschrijving van het gebeuren dat zich in de decanteercentrifuge afspeelt.

De werking van centrifuges kan met behulp van de zogenaamde scheidingsdiameter (d_t), dit is de diameter van het deeltje dat nog juist wordt afgescheiden, worden gekarakteriseerd³⁹:

$$d_t = \frac{3}{r_h} \sqrt{\frac{\Delta \rho}{2 \omega^2 \eta \cdot L}} \quad (3)$$

waarin: d_t	= deeltjes diameter	(m)
ψ	= debiet	(m ³ /s)
r_h	= diameter overloop	(m)
η	= dynamische viscositeit	(kg/m.s.)
$\Delta \rho$	= verschil in dichtheid tussen vaste stof en vloeistof	(kg/m ³)
ω	= hoeksnelheid	(rad/s)
L	= de lengte van de trommel	(m).

De formule laat zien op welke wijze het scheidingsrendement in een centrifuge (in casu de ontwatering van slib) kan worden verbeterd door verkleining van de scheidingsdiameter.

Bij het ontwateren van slib met behulp van decanteercentrifuges kunnen als voornaamste machinevariabelen worden onderscheiden: het toerental van de trommel (n), het vloeistofniveau in de centrifuge (h) en het verschil in toerental (Δn) tussen trommel en schroef. De invloed van deze instelbare machinevariabelen is in tabel 1 kort samengevat.

Het bereikte (eind)drogestofgehalte van het ontwaterde slib neemt toe naarmate het toerental van de trommel (of het G-getal) van de centrifuge groter wordt. Om praktische redenen, o.a. verhoogde

*Het produkt Z van lengte (L), diameter (D) en centrifugale versneling (g) moet bij schaalvergroting constant blijven.

slijtage van de machine²⁸ wordt het toerental in de praktijk binnen betrekkelijk nauwe grenzen (1500 - 2500 omw/min) gevarieerd. De verbetering van het scheidingsrendement bij toename van n volgt direct uit de formule voor de scheidingsdiameter. Bij vergroting van n () zal de scheidingsdiameter d_t kleiner en daarmee de scheiding scherper worden. Over eventuele verslechtering van het scheidingsrendement door vlokbeschadiging bij verhoging van het toerental geeft de geraadpleegde literatuur geen informatie.

invloed van	op	effect	literatuur
toerental trommel resp. G-gehalte (n)	eind d.s. scheidingsrendement (η)	$n > \rightarrow$ eind d.s. $n > \rightarrow \eta >$	37
vloeistofniveau in trommel (h)	eind d.s. scheidingsrendement (η)	$h < \rightarrow$ eind d.s. $h < \rightarrow \eta <$	37, 48, 10, 8
verschil in toerental tussen trommel en schroef (Δn)	eind d.s. scheidingsrendement (η)	$\Delta n \leftrightarrow$ eind d.s. $\Delta n \leftrightarrow \eta >$	10, 46
capaciteit (ϕ) (procesvariabele)	eind d.s. scheidingsrendement (η)	$\phi > \rightarrow$ eind d.s. of $> ?$ $\phi > \rightarrow \eta <$	46 36

Tabel 1. Invloed van instelbare machine variabelen (decanteercentrifuge)

De invloed van de dikte van de vloeistoffilm op het rendement en de indikking (eind drogestofgehalte) is te zien in tabel 2³⁵.

toevoer		filmdikte in mm	indikking in % d.s.	rendement in %
m ³ /uur	kg d.s./uur			
5,0	125	57	25,5	28
5,0	127	57	20,5	25
5,0	130	57	21,0	26
5,0	130	74	14,6	35
5,0	163	74	14,8	32,5
5,0	170	74	14,4	27
5,0	187	74	15,8	34

Tabel 2. Invloed van de dikte van de vloeistoffilm op het rendement en de indikking

Door verstelling van de keerschijf kan de grootte van de droog- en vloeistofzone worden ingesteld. Een grote diameter van de keerschijf resulteert in een relatief grote droogzone en een ondiepe vloeistofzone ($h <$). Hierdoor wordt de verblijftijd van de vloeistof in de centrifuge korter, waardoor het scheidingsrendement afneemt. Het drogestofgehalte van het ontwaterde slib neemt dan evenwel toe.

Bij een klein verschil in toerental (Δn) tussen schroef en trommel neemt de koekinhoud in de droogzone en daardoor de verblijftijd van de vaste stof toe. Dit heeft tot gevolg dat de indikking of wel het einddrogestofgehalte toeneemt (zie figuur 11)³⁵.

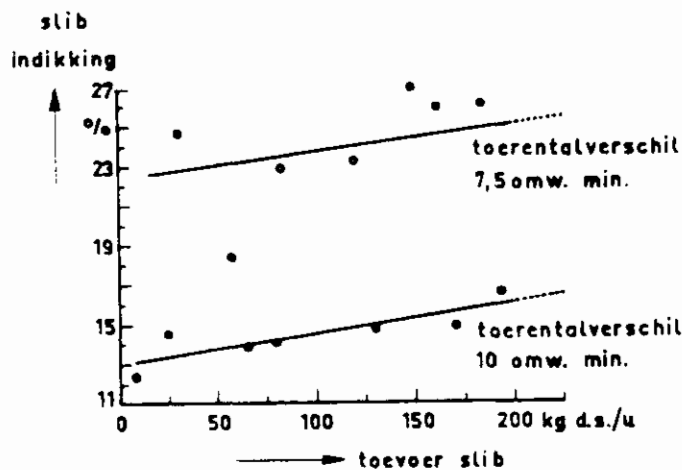


Fig. 11. Invloed van het toerentalverschil tussen mantel en schroef op de indikingsgraad

Een verlaging van Δn gaat in principe gepaard met een toename van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en een verhoging van het scheidingsrendement. Bij een te kleine Δn echter, kan de slibafvoer uit de droogzone te gering worden, waardoor het scheidingsrendement afneemt en/of verstopping optreedt. In dit verband wordt opgemerkt dat de capaciteit van de machine voornamelijk wordt bepaald door de snelheid c.q. de capaciteit van de transportschroef³.

De tot dusver besproken machine-variabelen zijn alle instelbare variabelen. Daarnaast zijn er machine-"variabelen" die sterk apparaatuur (type, fabrikaat) gebonden zijn en die tijdens de ontwatering niet kunnen worden versteld, b.v. de lengte-diameter (L/D)-verhouding van de trommel, de hoek en de lengte van de conus en de spoed van de schroef³. Bekend is dat het scheidingsrendement van een centrifuge toeneemt naarmate de L/D-verhouding (meestal 3) groter wordt, terwijl¹⁹ een grote centrifuge een beter scheidingsrendement heeft dan een kleine centrifuge. De spoed van de schroef houdt uiteraard verband met de (droge stof) capaciteit van de machine. Naarmate de capaciteit toeneemt zal zowel het scheidingsrendement als het bereikbare einddrogestofgehalte lager worden^{3, 6, 38}.

De ontwateringsresultaten met decanteercentrifuges zijn in tabel 3 voor een aantal slibsoorten vermeld. Hierin is de capaciteit als resultaat niet opgenomen omdat deze voornamelijk door de grootte van de ontwateringsapparatuur wordt bepaald. Omrekening van de capaciteit in een "machine-onafhankelijke" grootte is bij centrifuges niet mogelijk.

slibsoort	ontwaterd slib (% d.s.)	polymeer verbruik (kg/t d.s.)	scheidings- rendement (%)	lit.
primair slib	gem. 23,7			11
"	25-30	ca. 2		8
"	28-35		> 95	46
" (uitgegist)	25-35		> 95	46
primair + actiefslib	20	ca. 3		8
" " " "	18-24		> 95	46
" " " " (uitgegist)	18-24		> 95	46
primair + humusslib	20-25	ca. 3		8
actiefslib	12-16	5-6		8
	6-10			
	gem. 15,1			11
humusslib	15-20	ca. 4		8
gemineraliseerd slib	12-18	4-5		8
uitgegist slib	gem. 25,1			11

Tabel 3. Overzicht van ontwateringsresultaten (decanteercentrifuge)

Duidelijk is te zien dat primair slib verder kan worden ontwaterd dan actiefslib, humus en gemineraliseerd slib.

Ontwatering met zeefbandpersen

In figuur 12²⁷ is het principe van de werking van een zeefbandpers schematisch weergegeven.

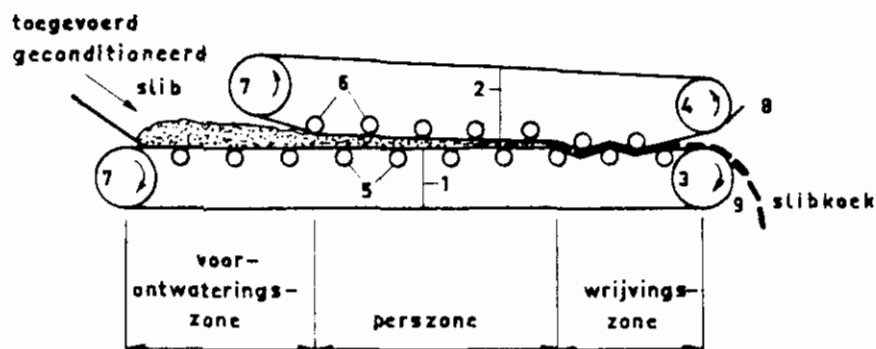


Fig. 12. Schematische voorstelling van een zeefbandpers

- | | | | |
|-------|-----------------|-------|--------------|
| 1 - 2 | transportbanden | 5 - 6 | tussenrollen |
| 3 - 4 | aandrijfrollen | 7 | spanrollen |
| | | 8 - 9 | schrapers |

Het te ontwateren slib wordt in een doseer- annex menginrichting (meestal een roterende trommel) geconditioneerd en van daaruit op de zeefband gebracht. Het geconditioneerde slib passeert achter-eenvolgens een (voor)ontwateringszone, een perszone en een wrijvingszone. Aan het eind van de pers wordt het ontwaterde slib met behulp van schrapers van de band gelost. Theoretische beschouwingen over het ontwateringsmechanisme in de diverse zones zijn in de literatuur nauwelijks aanwezig.

Als voornaamste instelbare machinevariabelen kunnen worden genoemd de bandsnelheid en de druk op de banden.

In tabel 4 is de invloed van deze variabelen op het ontwateringsresultaat in het kort samengevat.

invloed van	op	effect	lit.
bandsnelheid (v)	capaciteit (ϕ)	$v > \rightarrow \phi >$	20, 48, 31
	eind d.s.	$v > \rightarrow \text{eind d.s.} >$	
	scheidingsrendement (η)	$v > \rightarrow \eta <$	
druk op de banden (p)	capaciteit (ϕ)	$p > \rightarrow \phi <$	20, 31
	eind d.s.	$p > \rightarrow \text{eind d.s.} >$	

Tabel 4. Invloed van instelbare machine variabelen (zeefbandpers)

De capaciteit van de zeefbandpers neemt toe naarmate de bandsnelheid wordt verhoogd. Het bereikte einddrogestofgehalte wordt echter lager bij toename van de bandsnelheid^{2,7} (zie figuur 13).

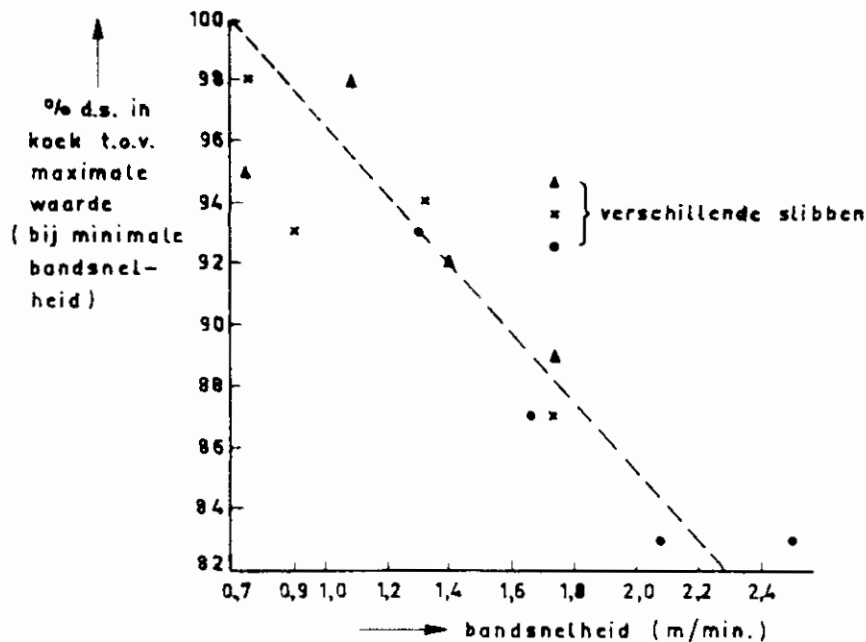


Fig. 13. Verband tussen de bandsnelheid en het drogestofgehalte van de filterkoek.

Dit is ook enigszins te zien aan de in tabel 5 vermelde resultaten, ontleend aan literatuur³¹, waar het drogestofgehalte van het ontwaterde slib van de rioolwaterzuiveringsinrichtingen Scherpenzeel en Oosterwolde als functie van de bandsnelheid is vermeld.

<u>Scherpenzeel</u>				
bandsnelheid in cm/min.				
	75	100	125	150
percentage droge stof bij relatief hoge druk				
	15,5	16,3	15,8	14,5
	16,2	16,1	15,3	15,6
	14,8	15,3	15,5	14,9
	17,4	15,0	15,2	16,0
<hr/>				
<u>Oosterwolde</u>				
percentage droge stof bij relatief hoge druk				
	12,9	13,5	13,4	12,3
	12,4	13,5	12,3	12,6
percentage droge stof bij relatief lage druk				
	16,0	15,3	11,4	14,0
	12,1	11,7	11,0	11,9

Tabel 5. Invloed van de bandsnelheid op het droge stofgehalte van het ontwaterde slib bij de zuiveringsinstallaties te Scherpenzeel en Oosterwolde

De invloed van de persdruk, die meestal niet kan worden gemeten, kan worden afgeleid uit figuur 14. In deze figuur is de invloed van de bandsnelheid op de capaciteit voor twee drukniveaus grafisch weergegeven.

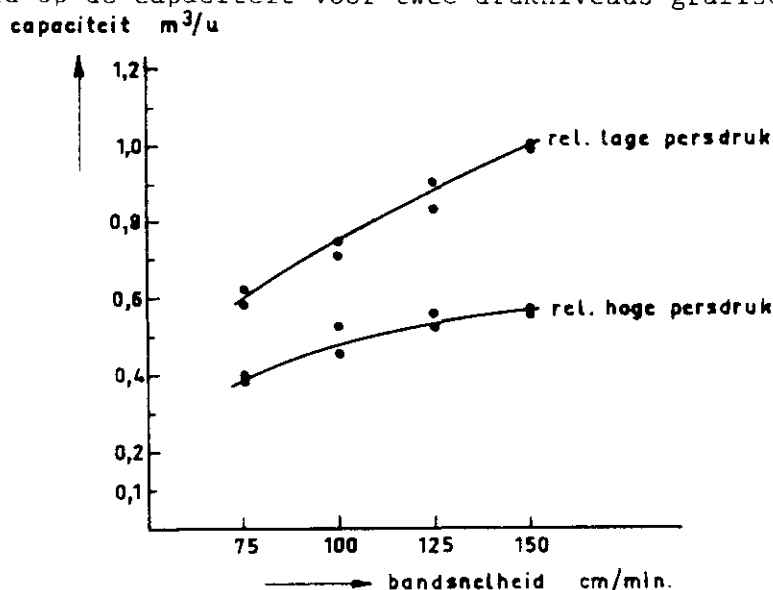


Fig. 14. Invloed van de bandsnelheid op de capaciteit van de zeefbandpers bij de ontwatering van slib uit Scherpenzeel

Hieruit blijkt duidelijk de capaciteitsvermindering bij toenemende persdruk. Over de invloed van de persdruk op het einddrogestofgehalte zijn uit de literatuur geen kwantitatieve gegevens bekend.

In vergelijking tot decanteercentrifuges vertonen de diverse typen zeefbandpersen onderling grote verschillen. Behalve verschillen in bandbreedte, bandlengte en bandmateriaal is bij een aantal vooral de vorm van de band sterk verschillend. Zo onderscheidt men naast de vlakke zeefbandpersen ook systemen met min of meer zigzagvormige banden. Over de invloed van deze verschillen - in paragraaf 5.1 niet instelbare machinevariabelen genoemd - op de eindresultaten is uit de literatuur weinig bekend. Bij persen met zigzagvormige banden blijkt dat het bereikbare drogestofgehalte doorgaans iets hoger is. Bij onderzoek naar slibeigenschappen in relatie tot bedrijfsresultaten zal derhalve bij de ontwatering met zeefbandpersen duidelijk onderscheid naar type moeten worden gemaakt.

Met betrekking tot de ontwateringsresultaten in de vorm van het bereikbare einddrogestofgehalte geeft literatuur enige informatie. Met behulp van zeefbandpersen kan primair, uitgegist en actiefslib tot gemiddeld 25,5%, 28,6% en 12,0% worden ontwaterd; voor persen met zigzagvormige banden (in het Duits Walkpressen) zijn deze percentages 30,6%, 31,7% en 24,5% (zie tabel 6).

omschrijving		centrifuges	zeefbandpersen (vlakke band)	zeefbandpersen (zig-zag- vormige band)
 totaal resultaat 				
installaties/landen/leveranciers		274/16/7	105/9/5	89/3/4
aantal gegevens		312	116	100
d.s. nat slib	gew.%	5,0	5,0	5,2
d.s. koek en spreiding	gew.%	22,9 ± 6,8	25,3 ± 7,8	29,5 ± 8,3
flocculantdosering	g/kg d.s.	3,9	3,3	3,7
 primair slib 				
aantal gegevens		80	13	11
d.s. nat slib	gew.%	5,4	6,3	5,1
d.s. koek en spreiding	gew.%	23,7 ± 5,7	25,5 ± 8,6	30,6 ± 6,7
flocculantdosering	g/kg d.s.	3,2	2,8	3,2
 uitgegist slib 				
aantal gegevens		171	72	57
d.s. nat slib	gew.%	5,0	5,4	6,1
d.s. koek en spreiding	gew.%	25,1 ± 5,8	28,6 ± 6,6	31,7 ± 6,7
flocculantdosering	g/kg d.s.	3,5	3,1	3,6
 actiefslib + aerobisch ge- stabiliiseerd slib 				
aantal gegevens		61	31	32
d.s. nat slib	gew.%	2,5	3,6	4,5
d.s. koek en spreiding	gew.%	19,4 ± 5,1	18,0 ± 4,9	24,3 ± 3,0
flocculantdosering	g/kg d.s.	5,0	3,65	4,5

Tabel 6. Overzicht van ontwateringsresultaten met centrifuges en zeefbandpersen

3. Ontwatering met vacuümfilters

Bij de ontwatering met vacuümfilters wordt het water onder onderdruk (+ 0,6 bar) uit het slib gezogen. Dit gebeurt via een langzaam draaiende, met filterdoek bespannen trommel, die het slib vanuit een filtertrog aanzuigt. Het filtraat wordt via een verdeelkop weggepompt. Het ontwaterde slib wordt na passage van een droogzuigsectie van het doek losgemaakt en afgevoerd. Een en ander is schematisch weergegeven in figuur 15.

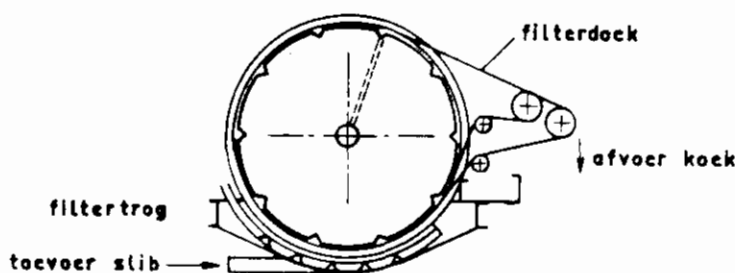


Fig. 15. Roterend vacuümfilter

De theorie van de vacuümfiltratie is ondermeer beschreven door Peters³⁸. Uitgaande van de wet van Darcy komt hij tot de volgende betrekking voor de capaciteit ϕ (in kg d.s./m².h) van een roterend vacuümfilter:

$$\phi = \sqrt{\frac{\psi \cdot w \cdot P}{180 \eta \cdot r \cdot \theta}} \quad (4)$$

Hierin is: w = het drogestofgehalte van het te filtreren slib

P = de filtratiedruk

ψ = de indompeldiepte van de filtertrommel

η = de viscositeit

r = de specifieke weerstand van het slib

θ = de omwentelingstijd

Daarnaast zijn formules afgeleid waarin correcties zijn aangebracht voor de invloed van de druk op de specifieke weerstand en het drogestofgehalte waarop de specifieke weerstand betrekking heeft^{26, 14}.

Voor de capaciteit (= Yield) van een roterend vacuümfilter werd afgeleid¹⁴:

$$Y = \left[\frac{2 P c_1 F_f}{\eta \bar{r} \theta_r} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{(1 - w_s)}{1 - (w_s/\bar{w}_c)} \quad (5)$$

Hierin is: c_1 = de hoeveelheid drogestof van het uitgangsslib per volume-eenheid water (g/cm^3)
 F_f = het gedeelte van de trommel dat voor de vorming van de slibkoek wordt gebruikt (-)
 \bar{r} = de schijnbare specifieke weerstand betrokken op c_1 (sec^2/g)
 θ_r = omwentelingstijd (sec)
 w_r en w_c = het drogestofgehalte van respectievelijk slib en filterkoek (g/g).

Tot een enigszins afwijkende betrekking voor de filtercapaciteit komen Notebaert e.a.³³. Op basis van een empirische filtratievergelijking volgens Zingler⁴⁹ komen zij op de vergelijking:

$$Y = 36.000 \frac{c}{T'} \left[\frac{(2+x) P T'}{r_0 P^s c} \right]^{1/(2+x)} \quad (6)$$

Hierin is T' de echte filtratietijd (sec) en $(2+x)$ de exponent uit de filtratievergelijking volgens Zingler $T = \text{constante} \cdot v^n$

Voorts : Y = opbrengst in kg drogestof per m^2 filteroppervlak per uur
 c = drogestofgehalte van de koek (g/cm^3)
 P = drukverschil ($dyne/cm^2$)
 η = dynamische viscositeit ($g/cm \cdot s$)
 r_0 = specifieke weerstand bij $P = 1 \text{ dyne/cm}^2$ (cm/g)

Opgemerkt wordt dat bij theoretisch afgeleide vergelijkingen de weerstand van het filtermedium steeds wordt verwaarloosd (geen doekvervuiling). Bij roterende vacuümfilters zijn het toerental van de trommel (n) en de indompeldiepte (h) de instelbare machinevariabelen. De filtratiedruk is hier de "instelbare" procesvariabele. De invloed van deze variabelen is in tabel 7 weergegeven en volgt uit de vergelijkingen (5) en (6) voor de filtercapaciteit.

Invloed van	op	effect	literatuur
toerental van de trommel	(n) capaciteit (ϕ) eind d.s.	$n > \rightarrow \phi >$	46
		$n < \rightarrow$ eind d.s. $>$	31
indompeldiepte van de trommel	(h) capaciteit (ϕ) eind d.s.	$h > \rightarrow \phi >$	38
		$h < \rightarrow$ eind d.s. $>$	5
filtratiedruk	(p) capaciteit (ϕ) eind d.s.	$p > \rightarrow \phi >$	46
		$p > \rightarrow$ eind d.s. $>$	5

Tabel 7. Invloed van instelbare machine-, c.q. procesvariabelen (vacuümfilter)

Uit figuur 16 is het effect van het toerental eveneens af te leiden; bij een hoger toerental is de omwentelingstijd korter en neemt volgens de figuur de filtercapaciteit toe. Uit de helling van de lijn ($= -0,5$) blijkt dat de waarde in overeenstemming is met de eerdergenoemde theoretische vergelijking (5):

$$Y + \theta^{-\frac{1}{2}}$$

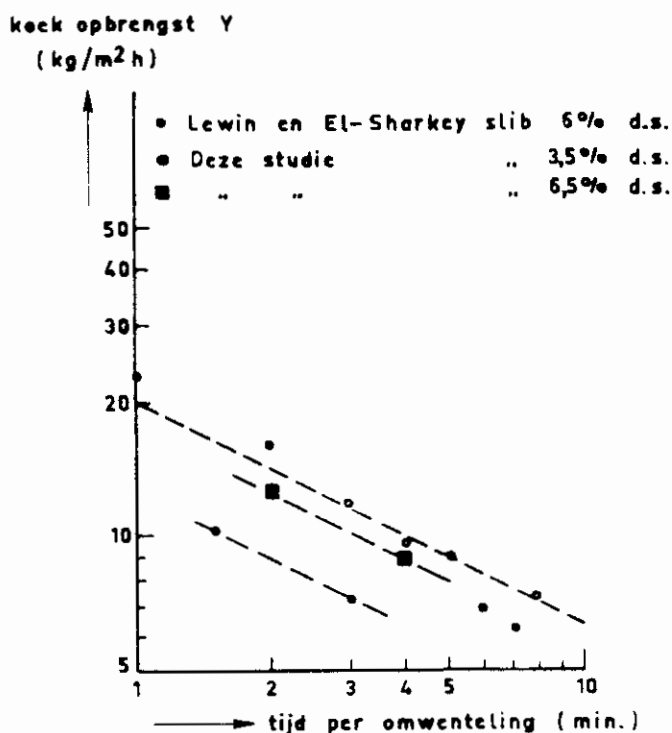


Fig. 16. Effect van de trommelsnelheid op de gemeten capaciteit van een praktisch trommelfilter¹⁴

Over de invloed van het toerental, de indompeldiepte en de procesdruk op het einddrogestofgehalte zijn geen kwantitatieve gegevens beschikbaar.

De onderlinge verschillen tussen de diverse roterende vacuümfilters hebben veelal betrekking op de wijze van koeklossing (met messen, walsen of snaren). Daarnaast zijn er uiteraard verschillen in trommelafmetingen en filterdockkwaliteiten. Het is niet te verwachten dat deze verschillen grote invloed op de resultaten zullen hebben.

Resultaten van de slibontwatering van diverse soorten slib met vacuümfilters worden in tabel 8 gegeven¹⁴.

slibsoort	chemicaliën kosten (\$/ton)	capaciteit (kg d.s./m ² .h)	d.s.gehalte koek (%)
vers primair	1 - 2	39 - 49	25 - 38
uitgegist primair	2 - 5	34 - 39	25 - 32
primair + humus	3 - 6	20 - 29	20 - 30
primair + actief (lucht)	5 - 12	20 - 24	16 - 25
primair + actief (zuurstof)	5 - 10	20 - 29	20 - 28
anaëroob uitgegist primair + actief (lucht)	6 - 15	17 - 29	14 - 22

Tabel 8. Resultaten van vacuümfilterontwatering met geconditioneerd (polyelektrolyet) slib

3.4 Ontwatering met persfilters

In fig. 17 is een schematische voorstelling van een eenvoudige handbediende filterpers weergegeven. Deze figuur laat het principe van de filterpers zien.

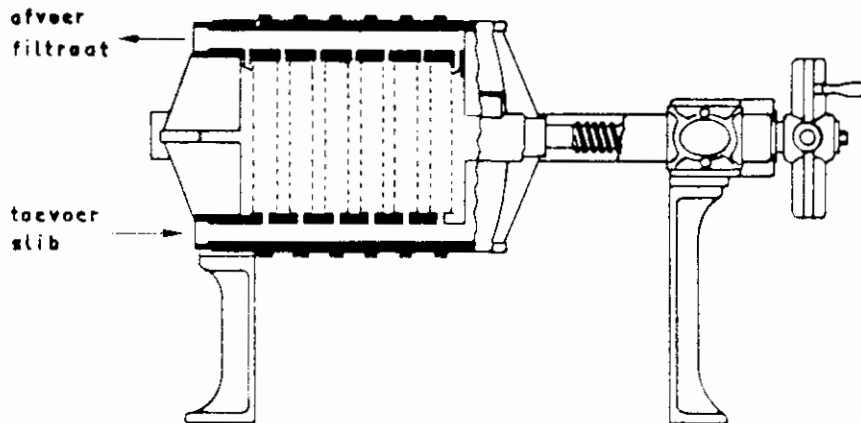


Fig. 17. Horizontale doorsnede over filterpers (schematisch)

Het (geconditioneerde) slib wordt centraal ingevoerd. De vaste slibdeeltjes worden in de filterkamers, die aan twee zijden van filterdoek zijn voorzien, afgezet. Het afgescheiden water wordt door het filterdoek via het geribde oppervlak van de filterplaten afgevoerd. Als de filterkamers gevuld zijn met ontwaterd slib, wordt de filterpers geopend en de slibkoek gelost.

Voor de perstijd T en daarmee indirect voor de capaciteit van een filterpers (immers $Q \div T^{-1}$) zijn verschillende betrekkingen afgeleid^{4,3,26,18}. Volgens de formule van Jones²⁶ geldt voor de perstijd:

$$T = \left[\frac{0,321 R \eta d^2 (c_i - c_f)}{P c_i (1 - c_i)} \right]$$

Hierin is η = de viscositeit (cP)

d = de koekdikte (inch)

P = de filtratiedruk (lb/inch²)

c_i
 c_f } = het drogestofgehalte van slib en slibkoek

R = de specifieke weerstand x 10^7 s²/g bij de werkdruk van de pers

0,321 = dimensie constante

De in de praktijk verkregen waarden voor de perstijd zijn gemiddeld een factor 2,35 (uiterste waarden 1,8 en 3,7) hoger dan de op basis van de Jones' formule voorspelde waarden².

De filterpers heeft geen instelbare machinevariabelen, wel een instelbare procesvariabele: filtratiedruk. Bovendien kan de drukopbouw (toename van de filtratiedruk in de tijd) als een variabele worden beschouwd.

invloed van	op	effect	literatuur
druk (P)	perstijd (T)	$P > \rightarrow T <$	24, 19
	capaciteit (Q)	$P > \rightarrow Q >$	
	eind d.s.	$P > \rightarrow \text{eind d.s.} >$	24
drukopbouw (dP/dt)	perstijd	niet bekend	
	eind d.s.	niet bekend	

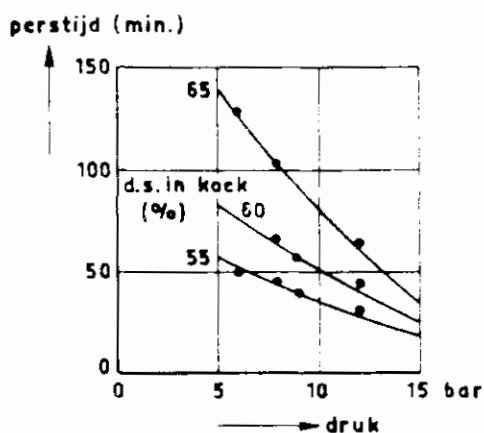
Tabel 9. Invloed van procesvariabelen (persfilter)

Bij studie²⁴ naar de invloed van de druk bij slibontwatering met persfilters is duidelijk gevonden dat voor het bereiken van eenzelfde einddrogestofgehalte bij lage druk een langere perstijd nodig is dan bij hoge druk. Tevens dat bij gelijke perstijden het drogestofgehalte van de filterkoek bij lage druk lager is dan bij hoge druk.

In figuur 18 is de invloed van de druk op de perstijd voor primair slib bij een aantal drogestofgehalten van de filterkoek weergegeven.

Wat betreft de onderlinge verschillen tussen persfilters kunnen de afmetingen van de filterplaten, het aantal filterplaten en de dikte van de filterkamer (= koekdikte) worden genoemd. Deze geometrische verschillen houden direct verband met het beschikbare filteroppervlak en de koekinhoud van de pers en daarmee met de capaciteit van de pers. Evenals bij vacuümfilters kan door omrekening de capaciteit per eenheid van filtrerend oppervlak (kg d.s./m²h) worden uitgedrukt. De dikte van de filterkamer, ofwel de koekdikte is direct van invloed op de perstijd (en daarmee op de capaciteit). Naarmate de koekdikte toeneemt zal de perstijd langer worden.

Plaatafmeting 300 x 300 mm
 Koekdikte 28 mm



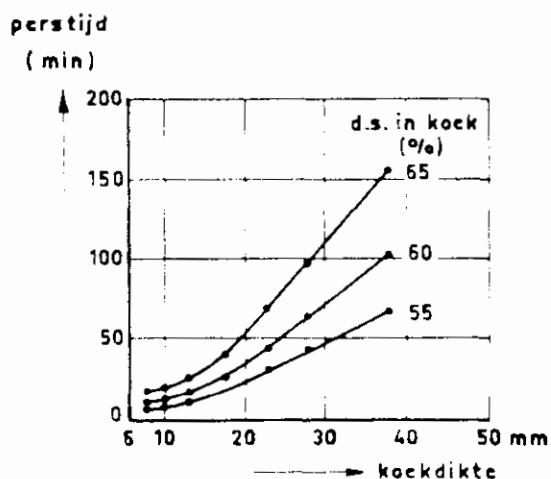
Primair slib van de
 rwzi Emscher

Fig. 18. Invloed van de druk op de ontwateringstijd¹³

In figuur 19 is te zien dat het verband tussen koekdikte en perstijd exponentieel verloopt. Dit betekent dat de perstijd bij 30 mm koekdikte ≈ 3 maal de perstijd bij 10 mm koekdikte is.

De perstijd is evenredig met de koekdikte tot de macht n, waarbij n ligt tussen 1 en $2^{1,19}$.

Plaatafmeting 300 x 300 mm
 Druk 8 bar



Primair slib van de
 rwzi Emscher

Fig. 19. Invloed van de koekdikte op de ontwateringstijd¹³

In tabel 10 zijn voor een aantal slibsoorten de resultaten van de ontwatering met persfilters vermeld¹⁰.

De ontwateringsresultaten worden ook beïnvloed door bediening en onderhoud. Als voorbeeld moge dienen de frequentie waarmee bij persfilterontwatering de filterdoeken worden gereinigd. Bij vuile doeken zal de blanco doekweerstand groot zijn waardoor bij filtratie de perstijd ongunstig kan worden beïnvloed. Het is evenwel duidelijk dat aspecten van bediening en onderhoud zich moeilijk laten kwantificeren en moeilijk in onderzoek naar relaties tussen ontwateringskenmerken en ontwateringsresultaten zijn onder te brengen.

slibsoort	zwevende stof (%)	conditionering op droge stof (%)	d.s. koek (%)	cyclustijd (h)
vers primair	5 - 10	as 100	50	1,5
		FeCl ₃ 5		
		Kalk 10	45	2,0
vers primair met minder dan 50% surplus-slib	3 - 6	As 150	50	2,0
		FeCl ₃ 5		
		Kalk 10	45	2,5
vers primair met meer dan 50% surplus-slib	1 - 4	As 200	50	2,0
		FeCl ₃ 6		
		Kalk 12	45	2,5
uitgegist en uitgegist met minder dan 50% surplus-slib	6 - 10	As 100	50	1,5
		FeCl ₃ 5		
		Kalk 10	45	2,0
uitgegist met meer dan 50% surplus-slib	2 - 6	As 200	50	1,5
		FeCl ₃ 7,5		
		Kalk 15	45	2,5
surplusslib	tot 5	As 250	50	2,0
		FeCl ₃ 7,5		
		Kalk 15	45	2,5

Tabel 10. Enkele resultaten van de persfilterontwatering¹⁰

SLIBEIGENSCHAPPEN EN BEDRIJFSRESULTATEN VAN ONTWATERINGSAPPARATUUR

In dit hoofdstuk wordt de aandacht voornamelijk gericht op de invloed van de slibeigenschappen en de ontwateringskenmerken met inbegrip van het aanvangsdrogestofgehalte op de ontwateringsresultaten.

6.1 Invloed van het aanvangsdrogestofgehalte

In tabel 11 is voor de ontwatering van slib met decanteercentrifuges, zeefbandpersen, vacuümfilters en persfilters de invloed van het aanvangsdrogestofgehalte op het bereikte einddrogestofgehalte, de capaciteit en het scheidingsrendement weergegeven.

ontwatering met	invloed aanvangs- drogestofgehalte op	effect	lit.
decanteercentrifuges	eind d.s. scheidingsrendement(η)	begin d.s. > \rightarrow eind d.s. > begin d.s. > \rightarrow η <	
zeefbandpersen		begin d.s. \rightarrow ontwatering verloopt beter	
vacuümfilters	capaciteit (ρ) eind d.s.	begin d.s. < \rightarrow ρ > gering	14
persfilters	perstijd (t) capaciteit (ρ) eind d.s.	begin d.s. > \rightarrow t < begin d.s. > \rightarrow ρ > begin d.s. > \rightarrow eind d.s. >	15

Tabel 11. Invloed van het aanvangsdrogestofgehalte op de ontwateringsresultaten

De beschikbare informatie is summier en voornamelijk kwalitatief. Bij vacuümfiltratie heeft een toename van het drogestofgehalte van 2,2% naar 4,3% een verhoging van de capaciteit van 8,1 naar 14,6 kg/m².h tot gevolg¹⁴. Bij persfiltratie is de perstijd (en derhalve ook de capaciteit) afhankelijk van het aanvangsdrogestofgehalte. Wordt het drogestofgehalte van 3% naar 6% opgevoerd, dan wordt de perstijd globaal met een factor 3 verkort¹⁵. Uit tabel 11 blijkt dat verhoging van het aanvangsdrogestofgehalte een gunstige uitwerking op het einddrogestofgehalte heeft. De in de tabel aangegeven ongunstige invloed van het aanvangsdrogestofgehalte op het scheidingsrendement van een decanteercentrifuge kan een gevolg zijn van overbelasting, waarbij de transportschroef de toegevoerde hoeveelheid droge stof niet geheel kan verwerken.

Invloed van slibeigenschappen

Uit vergelijking (2) op pagina 16 blijkt dat de bezinksnelheid van de vaste stof in een centrifugaal veld o.a. afhankelijk is van het verschil in dichtheid tussen slibdeeltjes en water. Op grond hiervan kan worden verondersteld dat het asgehalte van het slib via ρ_s van invloed is op de ontwatering met centrifuges. In een aantal gevallen is inderdaad een (proportioneel) verband gevonden tussen het bereikte einddrogestofgehalte bij ontwatering met een decanteercentrifuge en het asgehalte^{22, 23}.

Vesilind bracht de slibvolume-index (SVI) in verband met de capaciteit van een centrifuge (zie figuur 20)⁴⁴. Naarmate het slib beter bezinkt (SVI laag) is de voedingssnelheid van de centrifuge groter.

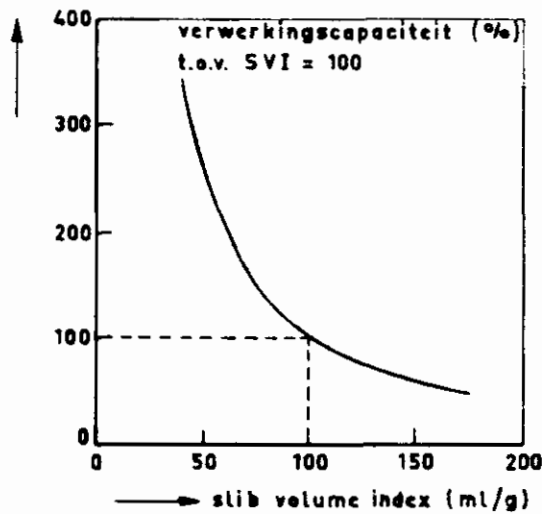


Fig. 20. Kwalitatief effect van de SVI op de verwerkingscapaciteit van een centrifuge

Vaak wordt niet een slibeigenschap of een ontwateringskenmerk, maar een afgeleide grootte, zoals de polyelektrolytdosering gerelateerd aan de ontwateringseigenschappen. In figuur 21, waarin het verband tussen voedingssnelheid en scheidingsrendement respectievelijk einddrogestofgehalte is weergegeven, is tevens de invloed van de polyelektrolytdosering op het scheidingsrendement gegeven. Bij een grotere polyelektrolytdosering (verandering van de slibeigenschappen) neemt het scheidingsrendement toe. De invloed van de polyelektrolytdosering op de indikking (= bereikte einddrogestofgehalte) is gering

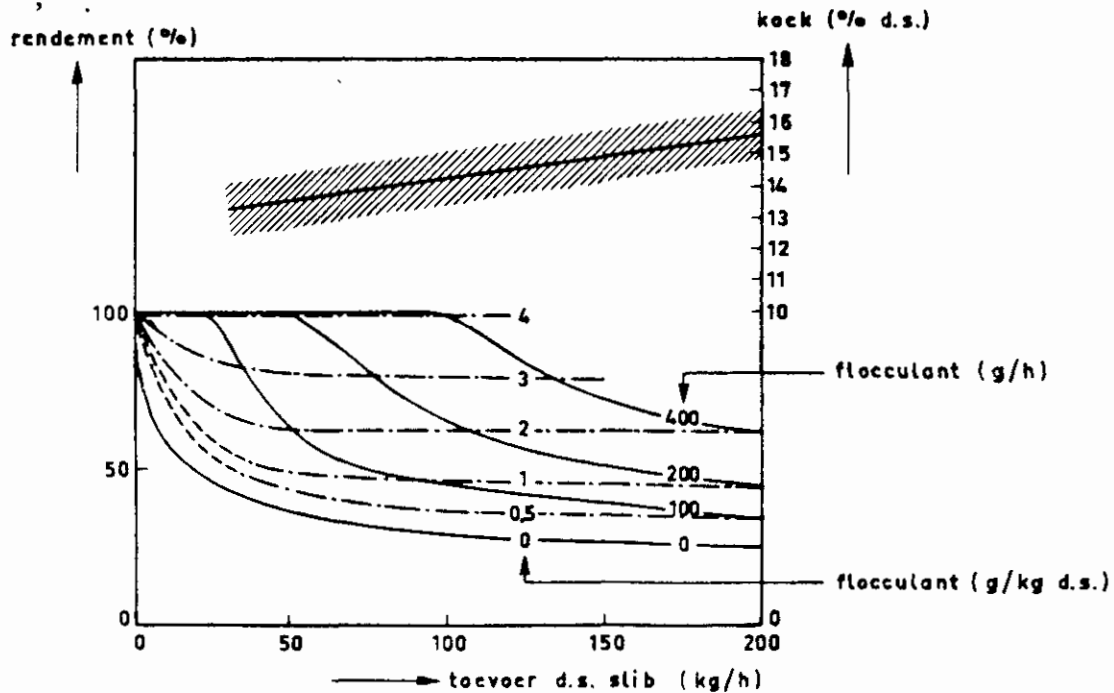


Fig. 21 Invloed van de capaciteit op de efficiëntie en het drogestofgehalte van de koek, inclusief relatie hoeveelheid vlokmiddel en rendement.

In het eerdervermelde TNO-onderzoek²¹ is het drogestofgehalte na centrifugeren in een "batch" laboratoriumcentrifuge zonder toevoeging van polyelektrolyt, gecorreleerd aan het drogestofgehalte van het ontwaterde slib uit de decanteercentrifuge. Dit slib (oxydatieslootslib en slib uit de continue oxydenitro-installatie met defosfatering) was vooraf geconditioneerd met 4 g Praestol 444K per kg droge stof. Het verband tussen drogestofgehalten bij laboratorium- en decanteercentrifugeproeven is in figuur 22, literatuur²² weergegeven. De bereikte drogestofgehalten zijn ongeveer gelijk. Dit onderzoek geeft niet aan of deze relatie algemeen toepasbaar is voor andere slibsoorten.

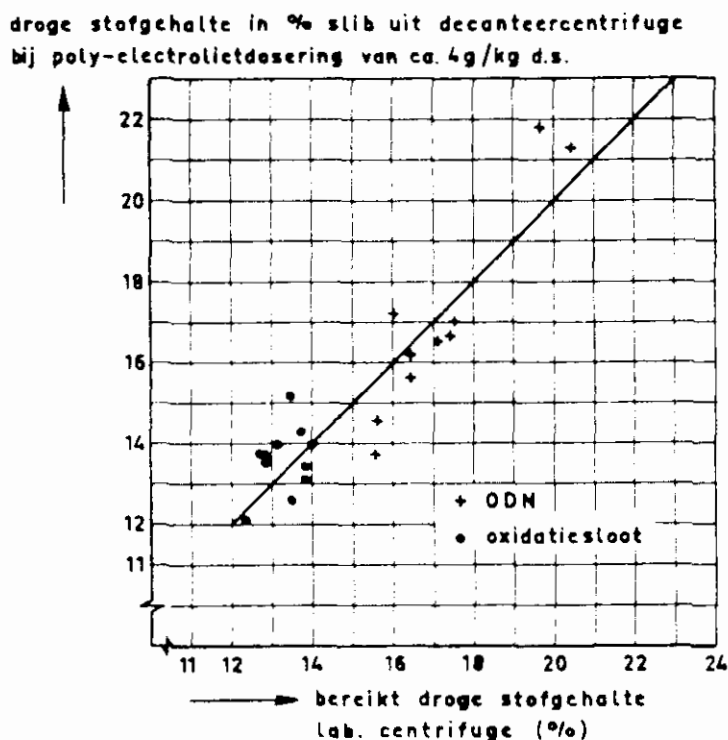


Fig. 22. Verband tussen drogestofgehalten bij laboratorium- en decanteercentrifugeproeven

In figuur 23 wordt aangegeven hoe de twee variabelen, asgehalte en polyelektrolyt, tezamen het scheidingsrendement beïnvloeden. Een hoger asgehalte van het slib vereist minder polyelektrolyt om een bepaald scheidingsrendement te verkrijgen.

Voor zover bekend zijn er nauwelijks gegevens waarin een slibeigenschap of een ontwateringskenmerk direct in verband wordt gebracht met de resultaten van de slibontwatering op een zeefbandpers. Over het effect van de polyelektrolytdosering (beïnvloeding van de slibeigenschappen) is daarentegen wel het een en ander bekend. Polyelektrolyten blijken³¹ onontbeerlijk bij de ontwatering van gemineraliseerd slib met een zeefbandpers. Zonder of met te weinig polyelektrolyt verstopt de zeefband waardoor van ontwatering nauwelijks sprake is. Een overmaat aan polyelektrolyt heeft geen effect op de capaciteit of het percentage droge stof van het ontwaterde slib.

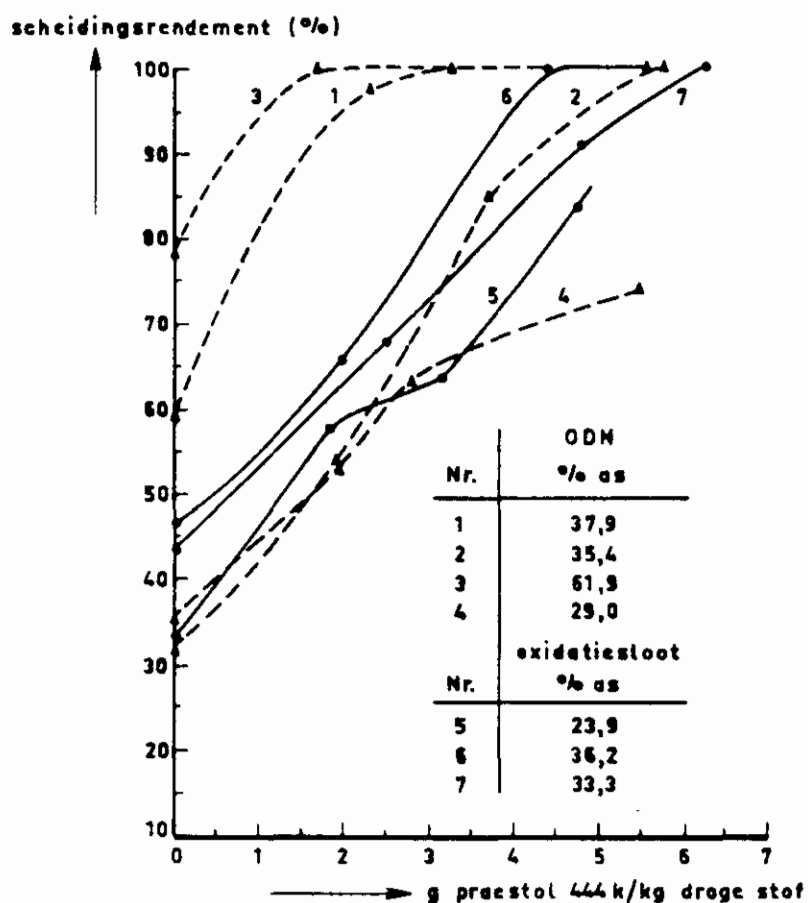


Fig. 23. Scheidingsrendement en flocculantdosering²²

Bij gebrek aan gegevens zal derhalve moeten worden nagegaan welke slibeigenschappen c.q. ontwateringskenmerken (bijvoorbeeld r, CST, afzuigtijd) kenmerkend zijn voor het gedrag van het slib op de zeefbandpers. Kayser en Bahr²⁹ hebben recentelijk een laboratoriumtest voor een zeefbandpers vermeld. De methode, die schematisch is beschreven geeft een grote afwijking in drogestofgehalten ten opzichte van de praktijkresultaten te zien (zie figuur 24).

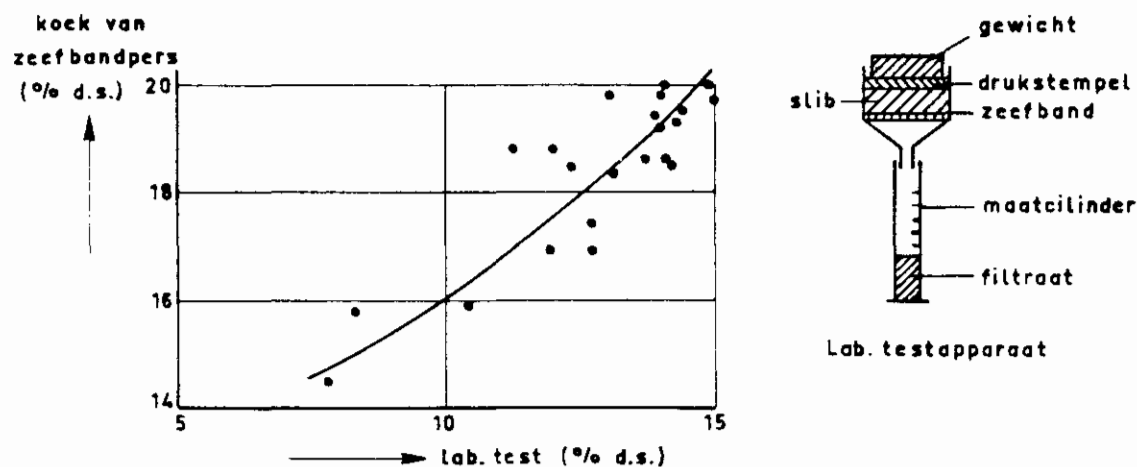


Fig. 24. Vergelijking van proefresultaten van een zeefbandpers en een laboratoriumtestapparaat

Voor vacuümfilters geldt eveneens dat de beschikbare informatie over slibeigenschappen en ontwateringskenmerken in relatie tot ontwateringsresultaten schaars is. Van vergelijking (5) op pagina 25 voor de capaciteit van een vacuümfilter is bekend dat zij de praktijksituatie goed weergeeft en er een goede overeenstemming bestaat tussen de in de praktijk gemeten en de op basis van de formule berekende capaciteit. In de formule komt de specifieke weerstand r als ontwateringskenmerk voor. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in de literatuur een relatie tussen de capaciteit van een vacuümfilter en de specifieke weerstand van het te ontwateren slib wordt gevonden¹². Ter illustratie daarvan is figuur 25 opgenomen.

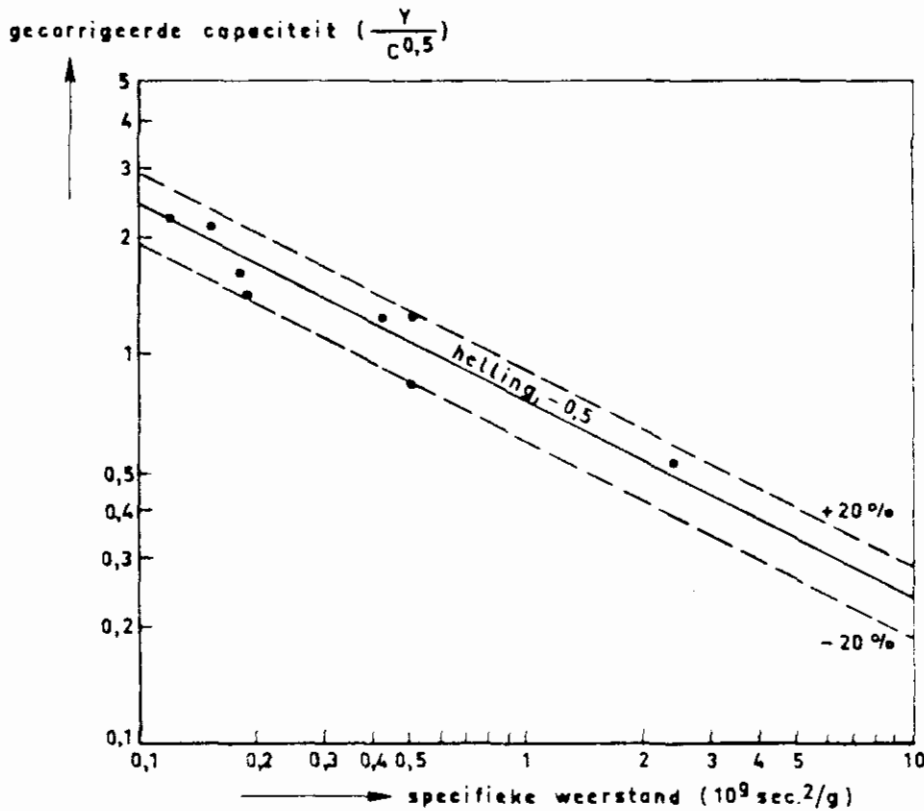


Fig. 25. Gecorrigeerde capaciteit vs specifieke weerstand

Op een aantal plaatsen in de literatuur is de specifieke weerstand van het slib gerelateerd aan de perstijd bij persfiltratie. In figuur 26 is het verband tussen specifieke weerstand en perstijd weergegeven².

Deze figuur laat tevens de in 6.1 besproken invloed van het uitgangsdrogestofgehalte op de perstijd zien.

Een verband tussen de specifieke weerstand en de perstijd voor thermisch geconditioneerd slib is te zien in figuur 27.

specifieke weerstand
bij $\Delta p = 690 \text{ kN/m}^2$

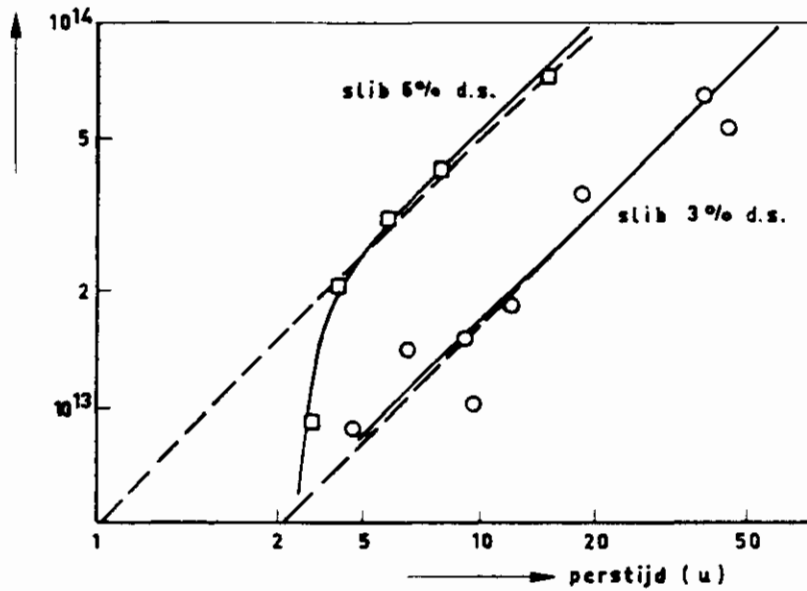


Fig. 26. Verband tussen specifieke weerstand bij 689 kN/m^2 en de perstijd (d.s. eind 37,6%)

perstijd bij 50% d.s.

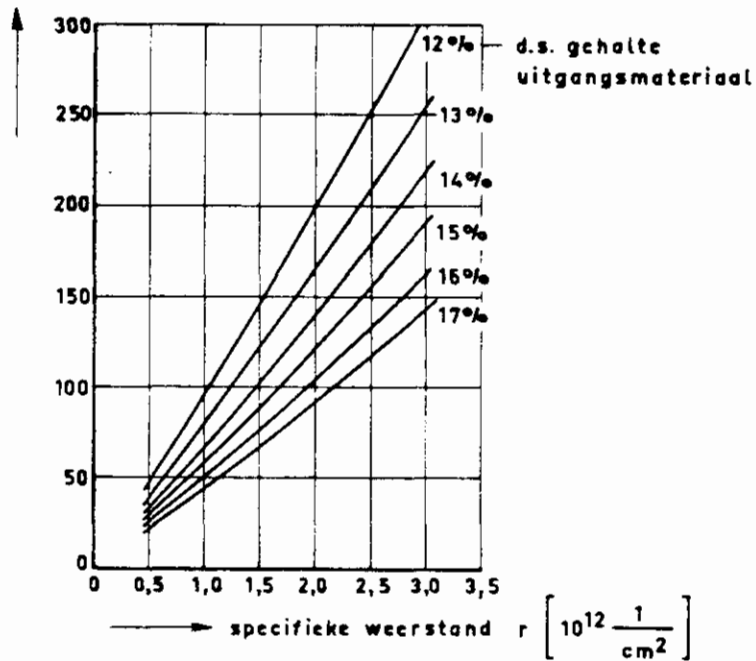


Fig. 27. Verband tussen de specifieke weerstand en de perstijd in een laboratorium kamerfilterpers

Behalve de specifieke weerstand is ook de CST-waarde in verband gebracht met de perstijd bij slibontwatering met een persfilter. Figuur 28 geeft het verband tussen CST-waarde en perstijd weer².

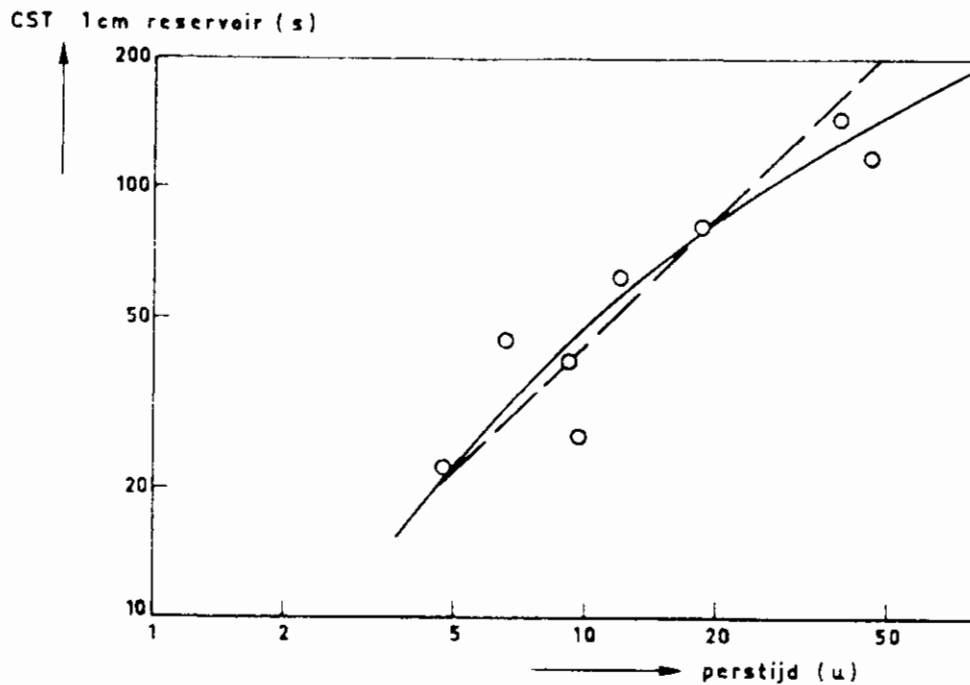


Fig. 28. Correlatie van de filtreerbaarheid (CST) en de perstijd

Hierbij valt op dat de figuren 27 en 28 een zekere overeenstemming vertonen.

Dennerkes²⁵ heeft niet alleen de specifieke weerstand, maar ook het quotiënt van specifieke weerstand en CST-waarde gecorreleerd aan de perstijd (Figuur 29).

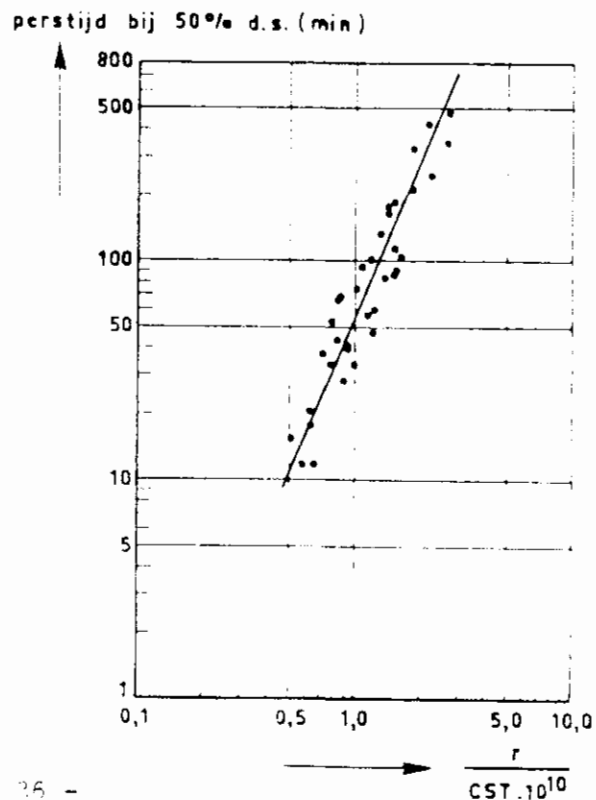


Fig. 29. Verband tussen de ontwateringskenmerken en de perstijd in een laboratorium kamersfilterpers

Bij het door TNO uitgevoerde ontwateringsonderzoek²¹ is gebleken dat er voor de onderzochte slibsoorten (oxydatieslootslib met en zonder simultane defosfatering met kalk) een betrekking bestaat tussen de drogestofbelasting van het persfilter (na 1 uur gemeten) en het quotiënt van specifieke weerstand (gemeten bij 7 bar = de toegepaste filtratiedruk) en drogestofgehalte (conditionering met FeCl₃ en kalk). In figuur 30 is dit verband weergegeven²².

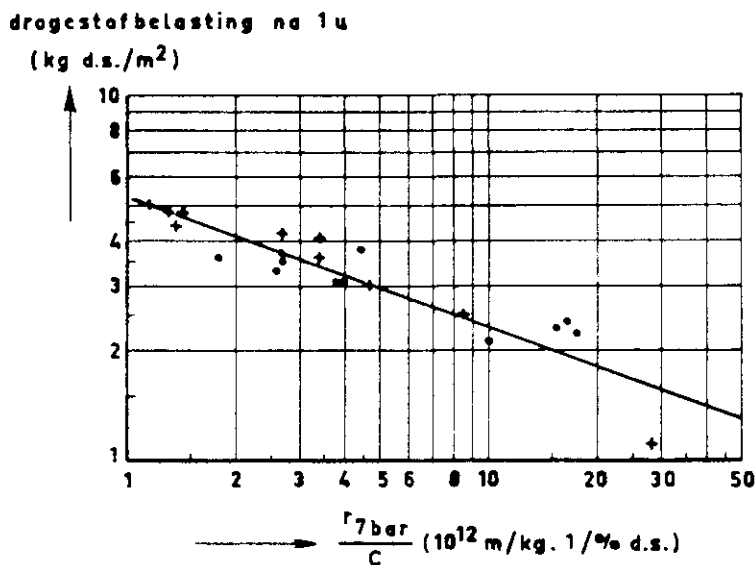


Fig. 30. Verband tussen drogestofbelasting na 1 uur en het quotiënt van de specifieke weerstand bij 7 bar en het drogestofgehalte (conditionering met FeCl₃ en kalk)

Voor de onderzochte slibben die sterk verschillen in ontwaterings-eigenschappen als gevolg van verschillen in oorsprong, seizoen en conditioneringswijze blijkt er een goede overeenkomst te bestaan tussen een ontwateringskenmerk (r/c) enerzijds en een ontwateringsresultaat (drogestofbelasting) anderzijds. Een dergelijke overeenkomst volgt ook uit figuur 31 waarin de hoeveelheid verwerkt filtraat na 1 uur filtreren in verband is gebracht met het produkt $r_{7\text{bar}} \cdot c$.²²

filtraatbelasting na 1u (l/m^2)

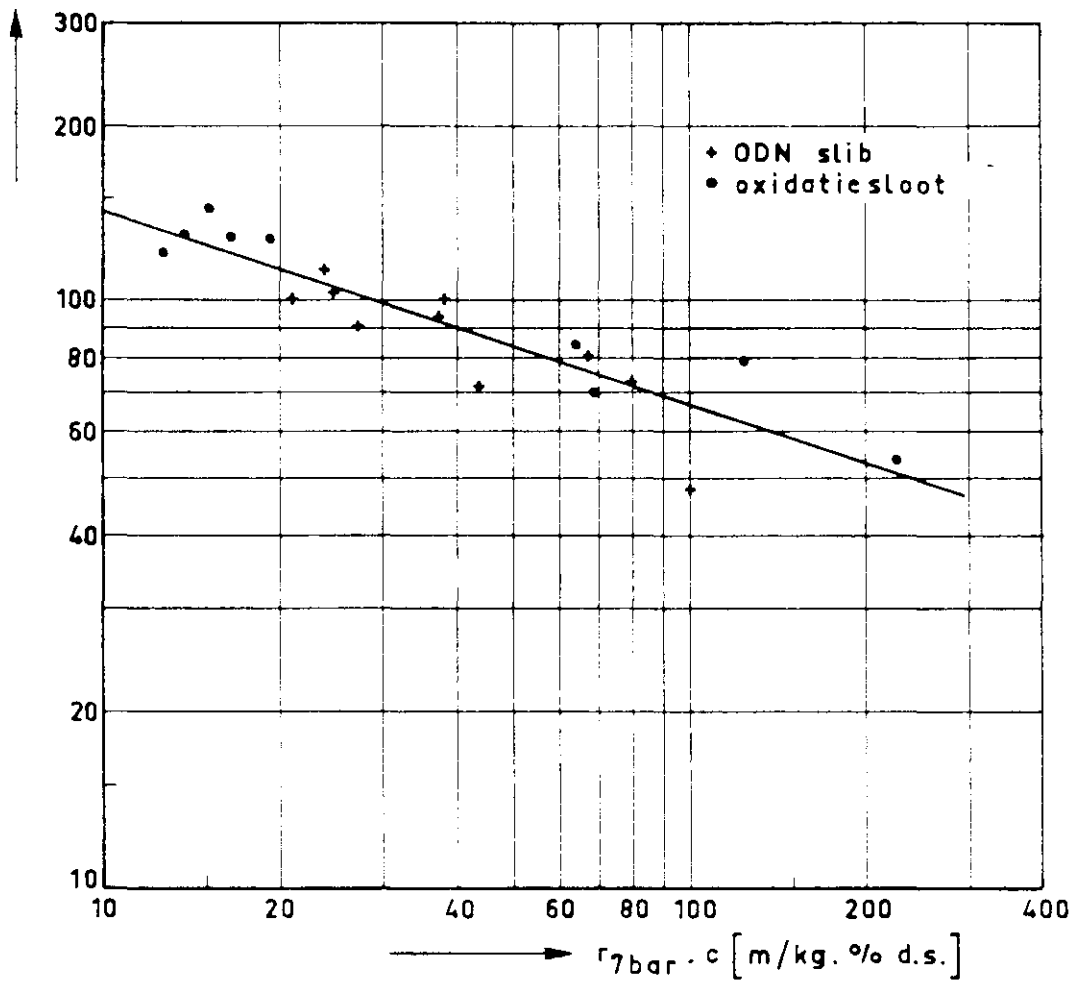


Fig. 31. Verband tussen de filtraatbelasting en $r_{7bar} \cdot c$

In tabel 12 is de belangrijkste informatie over slibeigenschappen, ontwateringskenmerken en ontwateringsresultaten kort samengevat.

ontwatering met	slibeigenschap, ontwateringskenmerk	in verband gebracht met	lit.
decanteercentrifuge	asgehalte	eind d.s. gehalte van het ontwaterde slib	22, 29
	slibvolumeindex	voedingssnelheid van de centrifuge	44
	d.s. gehalte na centrifugetest	eind d.s. gehalte van het ontwaterde slib	22
zeefbandpersen	niet bekend	niet bekend	
vacuümfilters	specifieke weerstand (r)	capaciteit (kg d.s./m ² /h) van een vacuümfilter	10
persfilters	specifieke weerstand (r)	perstijd	2, 25
	CST-waarde	perstijd	2
	r/CST	perstijd	25
	$r_{7\text{bar}}/c$ (c = d.s. gehalte)	droge stofbelasting (kg d.s./m ² .h)	22
	$r_{7\text{bar}} \cdot c$	filtraatbelasting (l/m ² .h)	22

Tabel 12. Slibeigenschappen op ontwateringsresultaten

Gebleken is dat de beschikbare informatie op het gebied van relaties tussen slibeigenschappen en ontwateringsresultaten schaars is. Behalve in Engeland² en Duitsland²⁵ is of wordt er op dit gebied elders nauwelijks onderzoek verricht.

Ook in Nederland is aan dit aspect van de slibverwerking tot dusverre weinig aandacht besteed. Begin 1975 is TNO met een slibontwateringsonderzoek begonnen waarbij het karakteriseren van slib en het in verband brengen van ontwateringskenmerken en ontwateringsprestaties min of meer centraal stond²².

ONTWATERINGSAPPARATUUR IN NEDERLAND

Aan de hand van de door het RIZA beschikbaar gestelde informatie over de aanwezigheid van verschillende typen ontwateringsapparatuur in Nederland (stand van zaken per 31 december 1976) is een viertal overzichtstabellen gemaakt. Hierin zijn de beschikbare gegevens per ontwateringsmethode gerangschikt; Tabel 13, 14, 15 en 16 geven achtereenvolgens een overzicht van de in Nederland op de rioolwaterzuiveringsinrichtingen geïnstalleerde decanteercentrifuges, zeeffbandpersen, vacuümfilters en persfilters. Voor de in de kolom "type rwzi" gebruikte afkortingen gelden de volgende verklaringen.

Mech. = bezinkinstallatie
 AT = aëratietank
 CF = continufilter (oxydatiebed)
 OS_c = oxydatiesloot (continu werkend)
 OT_c = oxydatietank (continu werkend)

De opgegeven capaciteiten zijn ontwerpcapaciteiten gebaseerd op 54 g BOD₅ per i.e.

installatie	capaciteit rwzi	type rwzi	beherende instantie	merk centrifuge	opm.
Harderwijk	140.000	CF	zuiveringsschap Veluwe	Alpha Laval	2 stuks
Epe	42.000	OT _c	"	Sharples	
Dordrecht	200.000	AT	Polderdistrict de Dordtse waard	Flottweg	
Rijen	105.000	OS _c	Waterschap West-Brabant	Alpha Laval	3 stuks
Bladel, Hoogeloon	50.000	CF + OS _c	Waterschap de Dommel	?	
Den Bosch	400.000	AT	"	Flottweg	4 stuks

Tabel 13. Overzicht van geïnstalleerde centrifuges op rwzi's in Nederland

Installatie	Capaciteit rwzi	Type rwzi	Beherende instantie	Merk zeefbandpers	Opmerkingen
Leek	34.000	OT _c	Provincie Groningen	Unimat	Type 2 m
Hoogezand/Sappemeer	50.000	OT _c	" "	Klein	Type 20/40
Oude Pekela	16.500	OT _c	" "	Unimat	Type 100 m
Bolsward	40.000	OS _c	Provincie Friesland	Klein	Type S-pers
Joure	47.000	OS _c	" "	Klein	Type S-pers
Sneek	40.000	OS _c	" "	Unimat	Type 2 m
Opsterland	20.000	OS _c	" "	Klein	Type 15/30
Weststellingwerf	45.000	OS _c	" "	Klein	Type 15/30 (2 stuks)
Domwoude	24.000	OS _c	" "	Unimat	Type 1,5 m
Zuidwolde (Nijstad)	100.000	OS _c	Zuiveringsschap Drenthe	?	
Diever	30.000	OT _c	" "	Unimat	Type 2 m
Eelde	80.000	OS _c	" "	Klein	Type 20/40
Meppel-Staphorst	70.000	OS _c	" "	Klein	Type 20/40
Dalen	11.000	OT _c	" "	Klein	type 5/3
Gieten	45.000	OT _c	" "	Klein	Type 20'40
Lelystad	40.000	OS _c	Rijksdienst IJssel- meerpolders	Klein	Type 20/40
Borculo	77.000	CF + OT	Zuiveringsschap O. Gelderland	Klein	Type 15/3 (2 stuks)
Lichtenvoorde	48.000	OS _c	" "	Klein	Type 15/3
Winterswijk	67.000	OS _c	" "	Klein	Type 15/3 (2 stuks)
Barneveld	55.000	CF + OT _c	Zuiveringsschap Veluwe	Klein	Type 20/40
Culemborg	35.000	OS _c	Zuiveringsschap Rivierenland	Klein	Type 5/15
Nieuwegein	50.000	OS _c	Provincie Utrecht	Klein	Type 20/40 (2 stuks)
Wijk bij Duurstede	25.000	OT _c	" "	Klein	Type 10/3 (2 stuks)
Maarssen	11.000	Mech.	" "	Klein	
Ereukelen	18.000	AT	" "	Klein	
Zeist	70.000	AT	" "	Klein	Type 15/2 (3 stuks)
Montfoort	14.000	OT _c	" "	Klein	Type 5/3
Bunnik	32.000	OT _c	" "	Klein	Type 15/3
Eunschoten	30.000	OT _c	" "	Klein	Type 15/3
Hilversum Oost	120.000	CF	Zuiveringsschap Amstel en Gooiland	Passavant	Type BFP 200
Amsterdam West	400.000	AT		Klein	Type 20/40
Amsterdam Noord	142.000	AT		Klein	Type 10/3
Beemster	65.000	OS _c	Hoogheemraadschap v.d. Uitw.sluisen in Kenn. land en West Friesland	Klein	Type 20/40 (2 stuks)
Geestmerambacht	100.000	OS _c		Klein	Type 20/40 (3 stuks)
Ridderkerk	80.000	OS _c	Waterschap IJsselmonde	Klein	Type 20/40 (2 stuks)
Nieuw Lekkerland	9.200	OS _c + OT _c	Waterschap de Nederwaard	Hoechst	Type Willmis
Oostburg Cadzand	33.000	AT	Waterschap het vrije van Sluis	Klein	Type 15/35 (2 stuks)
Oss	300.000	OS _c	Waterschap de Maas- kant	Bellmer	Type 1,7 m (3 stuks)

Tabel 14. Overzicht van geïnstalleerde zeefbandpersen op rwzi's in Nederland

Installatie	Capaciteit rwzi	type rwzi	Beherende instantie	Merk zeefbandpers	Opmerkingen
Venray	50.000	-	Waterschap Zuiver- ingsschap Limburg	Klein	S-15
Wijlre Gulpen	46.00	AT	" "	?	
Maastricht Limmel	27.500	CF	" "	?	
Maastricht Z.O	50.000	OS _c	" "	?	
Hoensbroek	200.000	OS _c	" "	Klein	Type 20/40 (4 stuks)
Rimburg-Kaffeberg	75.000 + 150.000	OS _c	" "	Bellmer Winkelpresse	(2 stuks)
Eindhoven (Mierloo)	750.000	AT	" "	Flottweg	1,7 m (2 stuks)

Tabel 14. Overzicht van geïnstalleerde zeefbandpersen op rwzi's in Nederland
(vervolg)

Installatie	Capaciteit rwzi	type rwzi	Beherende instantie	Merk vacuümfilter	Opmerkingen
Apeldoorn/Vaassen	275.000	AT	Zuiveringsschap Veluwe	Eimco	Zimpro, therm. conditionering
Benkum/Wageningen	120.000	AT	" "	?	
Buizen	80.000	AT	Zuiveringsschap Amstel en Gooiland	?	Farrer, therm. conditionering
Tilburg-N.	150.000	AT	" "	?	Farrer, therm. conditionering
Maastricht West	100.000	AT	Waterschap Zuiver- ingsschap Limburg	Komline	

Tabel 15. Overzicht van geïnstalleerde vacuümfilters op rwzi's in Nederland

Installatie	Capaciteit rwzi	type rwzi	Beherende instantie	Merk persfilter	Opmerkingen
Groningen	300.000	AT	Provincie Groningen	Hydrochemie	3 stuks
Diever	30.000	OT _c	Zuiveringsschap Drenthe	Conhag	
Arnhem-N	330.000	CF + AT	Zuiveringsschap O. Gelderland	Passavant	
Apeldoorn/Vaassen	275.000	AT	Zuiveringsschap Veluwe	?	Zimpro, therm. conditionering
Renkum/Wageningen	120.000	AT	" "	Rittershaus & Blecher	
Nijmegen	315.000	-	Zuiveringsschap Rivierenland	Rittershaus & Blecher	
Katwijk	160.000	OS _c	Hoogheemraadschap van Rijnland	Passavant	Aerobe slibmi- neralisatie
Woerden	45.000	AT	Groot Waterschap Woerden	Progress	Ferrer, therm. conditionering
Breda	650.000	AT	Waterschap West- Brabant	Progress	2 stuks, Zimpro therm. conditio.
Eindhoven	750.000	AT	Waterschap de Dommel	Passavant	2 stuks
Helmond	440.000	AT	Waterschap de Aa	Passavant	2 stuks
Maastricht Z.O.	50.000	OS _c	Waterschap Zuiver- ingsschap Limburg	?	
Venlo	200.000	OS _c	" "	Passavant	2 stuks

Tabel 16. Overzicht van geïnstalleerde persfilters op rwzi's in Nederland

LITERATUUR

- 1 Baskerville, R.C., Gale, R.S. A simple automatic instrument for determining the filtrability of sewage sludges. *Water Poll. Control* 67(1968) 233 - 241
- 2 Baskerville, R.C., Komorek, J.A., Gale, R.S. Effects of operating variables of filter press performance. *Water Poll. Control* 70(1971)4, 400 e.v.
- 3 Bradē, C.E., Sambidge, N.E.W. The effect of surplus activated sludge in filter press performance. *Water Poll. Control* 73(1974)138-149.
- 4 Carman, P.C. Fundamental principles of industrial filtration. *Trans. Instn. Chem. Engrs. (London)* 16(1938)168.
- 5 Christensen, G.L., Elliot, W.R., Johnson, W.K. Interactions between sludge conditioning, vacuum filtration and incineration. *JWPCF* 48(1976)8, 1955 - 1969.
- 6 Coackley, P. Research on sewage sludge carried out in the civil engineering department of university college London *Inst. Sew. Purification* 54(1955) 59 - 66.
- 7 Coackley, P. Laboratory scale filtration experiments and their application to sewage sludge dewatering in biological treatment of sewage and industrial wastes. Reinhold New York p. 270, 1958
- 8 Eggink, H.J. Experience in centrifugation of sewage sludges aspects of performance and reliability. *Progress in Water Technology* 7(1975) 5/6, 947 - 958.
- 9 Eikum, A.S., Paulsrud, B. Filtration properties of aerobic stabilized primary and mixed primary-chemical (alum) sludge. *Water Research* 8(1974) 203-209.
- 10 Environmental Protection Agency. Process design manual for sludge treatment and disposal. EPA report 625/1-74-006. October 1974
- 11 Essener Tagung. Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen sowie von flüssigen bis festen Sonderabfällen unter Berücksichtigung von neuen Forschungsergebnissen und Erfahrungsberichten installierten Anlagen. *Gewässerschutz. Wasser. Abwasser* 21. Aachen, 1976.
- 12 Gale, R.S., Baskerville, R.C., Swanwick, J.D. Investigations of pressure filtration of raw sewage sludge. *Water Poll. Control* 66(1967) 553 - 569.
- 13 Gale, R.S. Filtration theory with special reference to sewage sludges. *Water Poll. Control* 66(1967) 622 - 632.
- 14 Gale, R.S., Baskerville, R.C. Studies on the vacuum filtration of sewage sludges. *Water Poll. Control* 69(1970)514 - 539.
- 15 Gale, R.S. Recent research on sludge dewatering. *Filtration of separation*, September/October 8(1971) 531-538.
- 16 Gale, R.S. Research in filtration of sewage sludges. *Filtration and Separation* July/August 9(1972)431-436.
- 17 Gerstle, R.W. Get ready for another inspector. *Water & Wastes Eng.* 11(1974)12, 43
- 18 Ghederim, V. Contribution à la technologie de déhydratation des boues provenant de l'épuration des eaux usées. *Tribune du Cebedeau* vol. 25, October 1972, 410-415.
- 19 Graefen, H., Dönges, H.J. Proc. of the 5th Internat. Conf. Water Poll. Research 1970. Studies on parameters effecting sludge dewatering in pressure filters.
- 20 Haworth, P.J. The filterbelt press. *Effluent and Water Treatment Journal*. 13(1973)October, 617 - 625.
- 21 Heide, B.A., Kämpf, R., Bloot, F. Slibverwerking bij de aërobe en verdergaande zuivering van afvalwater in zeer laag belaste actief-slibsystemen. Karakterisering, eigenschappen, conditionering en ontwatering. TNO rapport, Delft, maart 1977.

22. Heide, B.A., Kampf, R., Bloot, F. Eigenschappen en verwerking van oxydatieslootslib met en zonder simultane defosfatering met kalk. *H₂O* 10(1977)19, 448 - 456.
- 23 Heide, B.A., Kampf, R. Aërobe en verdergaande zuivering van afvalwater met zeer laag belaste actiefslibsystemen. Fosfaatverwijdering door middel van simultane precipitatie met kalk. IG-TNO rapport A 79. Delft.
- 24 Heide, B.A., Kampf, R. en F. Bloot. Persfilterontwatering bij lage en hoge druk. STORA project 31a.
- 25 Hennerkes, J.J. Über die thermische konditionierung von Emscher-Belebtschlamm. *Gewässerschutz.Wasser.Abwasser* 9. Aachen, 1972.
- 26 Jones, B.R.S. Vacuum sludge filtration. II. Prediction of filter performance. *Sewage and Industrial Wastes*. September 1956, 1103 - 1114.
- 27 Karper, R. van Melick, L. van Zanten, G.D. Slibontwatering met een zeefbandpers. *H₂O* 3(1970)20, 492 - 496.
- 28 Karper, R., van Melick, L., van Zanten, G.D. Slibontwatering door centrifugeren bij verlaagd toerental *H₂O* 3(1970)23, 612 - 613.
- 29 Kayser, R., Bahrs, D. Grundsätzliche Fragen der Schlammbehandlung. Informatie afkomstig van het Institut für Stadtbauwesen, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität Braunschweig BRD.
- 30 Loll, U. Bestimmung der kapillaren Fließzeit in der Praxis der maschinellen Klärschlammbehandlung. *Korrespondenz Abwasser* 24(1977)295 - 299.
- 31 de Man, A., Pepping, R. Ontwatering van aëroob gemineraliseerd slib met behulp van de zeefbandpers. *H₂O* 4(1971)15, 328 - 330.
- 32 Niemitz, W. Fuss, K. Der spezifische Filterwiderstand und die Kompressibilität von Klärschlämmen. *Wasser. Abwasser GWF* 106(1965)Juli, 778 - 783.
- 33 Notebaert, F.F., Wilms, D.A. van Haute, A.A. A new deduction with a larger application of the specific resistance to filtration of sludges. *Water Research* 9(1975) pp. 667 - 673.
- 34 Novak, J.T. en J.H. O'Brien (1975). Polymer conditioning of chemical sludges. *J. Water Poll.Control Fed.* 47 (1975)10, 2397 - 2450.
- 35 Onstwedder, H., Pepping, R. de Man, A. Toepassingsmogelijkheden van centrifuges voor het ontwateren van aëroob gemineraliseerd slib. *H₂O* 3(1970)19, 460 - 466.
- 36 Onstwedder, H., van der Vliet, A.W. Indikking van aëroob gemineraliseerd slib door een basketcentrifuge. *H₂O* 8(1975)22, 438 - 449.
- 37 Parker, D.S., Niles, D.G., Zadick, F.J. Processing of combined physical chemical biological sludge. *JWPCF* 46(1974)10, 2281 - 2299.
- 38 Peters, H. Ontwatering van slib met vacuümfilters. Slibverwerking tweede vacatiecursus in de slibbehandeling van afvalwater, 30 en 31 maart 1967, Delft.
- 39 Records, F.A. The continuous scroll discharge decanting centrifuge. *The Chemical Engineer*, January 1974, 41 - 47.
- 40 Reuter, H. Problematik der Durchsatzberechnung und Strömungsvorgänge in Überlaufcentrifugen. *Chemie-Ingenieur-Technik* 33,(1962) 384 - 336.
- 41 Simpson, J.R. Dewatering of sewage sludge. Design and operation experiences. *Water Poll. Control* 72(1973) 308 - 319.
- 42 Tenney, N.W., Eckenfelder, W.F., Coffey, J.J. and McAloon, T.S. Chemical conditioning of biological sludge for vacuumfiltration *JWPCF* 42(1970)2, p R.1.

- 43 Turovskii, I.S., Zanoschin, L.V. Calculation of vacuumfilter and filterpress capacities for dewatering sewage sludge slurries. Translated from Khimickeskoe; Neftyanoe Mashinostroenie 1972, no. 4 April, pp. 6-8.
- 44 Vesilind, P.A. Treatment and disposal of wastewater sludges. Uitg. Ann.Arbor Science, 1974.
- 45 Vesilind, P.A., Characterizing sludge for centrifugal dewatering, Filtration & Separation. March/April 1977, 115 - 120.
- 46 Weber, W.J. Physicochemical processes for water quality control. Uit. Wiley-Interscience, 1972.
- 47 White, M.J.D., Baskerville, R.C., Lockyear, C.F. Continuous thickening of biological sludges and the influence of stability. Water Pollution Control 73(1974) 86 - 97.
- 48 Zeper, J., Pepping, R. Handling of aerobic mineralized sludge by centrifuges and belt-press filters. Water Research 6(1972) 507 - 513.
- 49 Zingler, E. Proc. of the 5th Internat. Conf. Water Poll.Research. Significance and limits of the Büchner filtrationtest. II - 31.
50. 2. Europäisches Abwasser und Abfallsymposium. München 6 bis 9 November 1972. Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. nr. 26.

