

Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib

De mogelijkheden van de FE-cel en de CP-cel

Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib



De mogelijkheden van de FE-cel en de CP-cel

INHOUDSOPGAVE	blz.
TEN GELEIDE	III
SAMENVATTING	IV
1 INLEIDING	1
2 WERKWIJZE	2
3 MEETOPSTELLING	3
3.1 Beschrijving	3
3.1.1 De Filtratie-Expressiecel	3
3.1.2 De Compressie-Permeabiliteitscel	4
3.2 Reproduceerbaarheid	7
3.3 Invloed van monsterparameters op het ontwateringsgedrag in de FE-cel	9
3.3.1 Invloed van de absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvende monstermassa	10
3.3.2 Invloed van de monstermassa bij een gelijkblijvende absolute drogestofhoeveelheid	11
3.3.3 Variatie van de absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvend begindrogestofgehalte	12
3.3.4 Conclusies	14
4 DE TOEPASBAARHEID VAN DE MEETCELLEN	15
4.1 Dosering en type polyelectrolyt	15
4.2 Mengintensiteit van slib en polyelectrolyt	17
4.3 Menging van slibsoorten	18
4.4 De invloed van de aangelegde mechanische druk en perstijd	19
4.5 De invloed van de Fe^{3+} -voorconditionering van slib	20
4.6 Doseerconcentratie van de polyelectrolytoplossing	20
4.7 De invloed van filtratiehulpmiddelen op de ontwateringseigenschappen van slib	21
4.8 Invloed van de sliblijn op de ontwatering	22
4.9 Invloed van de ontwateringscyclus van een filterpers op de ontwateringseigenschappen	22
4.10 Invloed van de druk op de permeabiliteit en porositeit van de slibkoek	23
4.11 Drukopbouw bij napersen in membraanfilterpersen	24
4.12 Ondersteuning van de keuze voor de procesopzet van de slibontwatering	25
5 EVALUATIE	26
6 KOSTENBESPARING OP DE SLIBVERWERKING	28
6.1 Kostenbesparing bij de onderzochte rwzi's	28
6.2 Evaluatie	28
7 MARKTVERKENNING	30
7.1 Resultaten van het marktverkenkend onderzoek	30
7.2 Toegevoegde waarde en toepassingsgebied	31
7.3 Aanschaf van de cellen en prijsniveau	32
7.4 Conclusies	32

8	CONCLUSIES	33
9	REFERENTIES	34
	BIJLAGEN	35
Bijlage 1	Conditionering van slib met polyelectrolyt op laboratoriumschaal	36
Bijlage 2	Dosering en type polyelectrolyt	38
Bijlage 3	Mengintensiteit van slib en polyelectrolyt	46
Bijlage 4	Menging van slibsoorten	50
Bijlage 5	De invloed van de aangelegde mechanische druk en perstijd	54
Bijlage 6	De invloed van de Fe^{3+} -voorconditionering van slib	61
Bijlage 7	Doseerconcentratie van de polyelectrolytoplossing	63
Bijlage 8	De invloed van Rehoplus op de ontwateringseigenschappen	65
Bijlage 9	Invloed van de appendages op de ontwatering	68
Bijlage 10	Ontwateringscyclus van geconditioneerd slib in een filterpers	69
Bijlage 11	Invloed van de druk op de permeabiliteit en porositeit van de slibkoek	71
Bijlage 12	Drukopbouw bij napersen in membraanfilterpersen	74

Ten geleide

Voor vergelijking van ontwateringsgegevens en het verklaren en oplossen van slibontwateringsproblemen is inzicht in de ontwateringseigenschappen van slib essentieel. Dit vereist eenduidige analysemethodieken en -apparatuur.

Uit het RWZI 2000-onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering" kwam de filtratie-expressiecel (FE-cel) als meest geschikt naar voren voor de rwzi-praktijk. Hiermee kunnen snel en eenvoudig de specifieke filtratieweerstand, de benodigde perstijd en het einddrogestofgehalte worden bepaald. Met de eveneens ontwikkelde compressie-permeabiliteitscel (CP-cel) kunnen naast de specifieke filtratieweerstand en het einddrogestofgehalte, ook de porositeit en permeabiliteit van het slib als functie van de persdruk worden bepaald.

Op basis van het voorafgaande RWZI 2000-onderzoek werd gemeend dat de FE-cel en de CP-cel in de praktijk een belangrijke rol zouden kunnen vervullen bij het optimaliseren van de slibconditionering en de slibontwatering.

Het thans voorliggend rapport beschrijft het onderzoek naar de mogelijkheden van de FE- en CP-cel bij de optimalisatie van de slibontwatering in de praktijk, de ontwikkeling van standaardmeetmethodieken voor deze meetcellen en geeft ook een marktverkenning.

De werkzaamheden werden door het bestuur van de STOWA opgedragen aan Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs te Deventer (projectteam bestaande uit prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf en ir. J.R.A.G. schepman) in samenwerking met de firma Herwijn en Janssen Sludge Technology (dr.ir. A.J.M. Herwijn en ing. P.M.H. Janssen).. Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. P.C. Stamperius (voorzitter, ing. F.D. Beukema, ing. J.P. Kruissink en ing. I.H. Smith.

Utrecht, augustus 1996

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

SAMENVATTING

Bij de uitwisseling van ontwateringservaringen tussen gebruikers en het verklaren en oplossen van slibontwateringsproblemen is het van essentieel belang om inzicht te hebben in de ontwateringseigenschappen van het slib. Dit vereist de beschikbaarheid en de toepassing van een set eenduidige analysemethodieken en analyseapparatuur voor de bepaling hiervan. In de huidige rwzi-praktijk is nog onvoldoende sprake van een eenduidige vaststelling van slibontwateringseigenschappen.

Om het inzicht in de ontwateringseigenschappen van slib te vergroten is in het wetenschappelijk onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering" een uitgebreide reeks karakteriseringsmethoden voor slib en slibkoek ontwikkeld [8]. Uit het onderzoek kwamen twee meetcellen naar voren, namelijk de filtratie-expressiecel (FE-cel) en de compressie-permeabiliteitscel (CP-cel), die mogelijk geschikt zijn voor invoering in de rwzi-praktijk. De FE-cel is een geautomatiseerde meetopstelling waarmee op een snelle en eenvoudige wijze het dynamische ontwateringsgedrag van slib kan worden bestudeerd. De CP-cel is een geautomatiseerde opstelling waarmee de permeabiliteit en de porositeit van ontwaterd slib als functie van de aangelegde compressedruk kunnen worden bepaald.

Het resultaat van het wetenschappelijke onderzoek was voor de STOWA aanleiding de toepasbaarheid van beide meetcellen voor de optimalisatie van de slibontwatering in de rwzi-praktijk te onderzoeken. Er is getracht standaard meetmethodieken en meetapparatuur voor de bepaling van slibontwateringseigenschappen te ontwikkelen en te introduceren in de rwzi-praktijk.

Op acht rwzi's met verschillende slibontwateringsapparatuur zijn met de cellen metingen verricht. Om de interesse voor de FE en CP-cel te peilen is gelijktijdig met het uitvoeren van de metingen op de rwzi's een marktverkennd onderzoek uitgevoerd onder technologen van de waterkwaliteitsbeheerders in Nederland en andere belanghebbenden.

Met de FE-cel is de invloed van de dosering en het type polyelectrolyt, de mengintensiteit van slib en polyelectrolyt, de mengverhouding van slibben, de invloed van persdruk en perstijd en andere aspecten op het ontwateringsresultaat bestudeerd.

Gebleken is dat met de FE-cel op een snelle en eenvoudige wijze de slibontwateringseigenschappen kunnen worden bepaald. De reproduceerbaarheid van de metingen bleek goed te zijn.

De trends van de resultaten van de FE-cel-metingen overeenkomen met de trends van de ontwateringsresultaten in de praktijk. Zo blijkt o.a. dat de in de praktijk gebruikte polyelectrolytdosering vaak ligt in het optimale polyelectrolytdoseringsgebied dat is bepaald met behulp van de FE-cel.

Door een goede keuze van de instellingen van de FE-cel is het mogelijk om de drogestofgehalten bereikt in de FE-cel in overeenstemming te brengen met het bereikte drogestofgehalte in de praktijk, het zogenaamde "fitten". Na fitten kan de FE-cel mogelijk het in de praktijk te bereiken drogestofgehalte voorspellen.

De FE-cel biedt vele voordelen ten opzichte van de conventionele methoden voor de bepaling van de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib, zoals het CST-apparaat en de Modified Filtration Test. De FE-cel biedt alle voordelen van een geautomatiseerde meetopstelling zoals snelheid, nauwkeurigheid, dataopslag en dataverwerking en is daardoor weinig arbeidsintensief en gebruiksvriendelijk. De FE-cel legt het gehele dynamische ontwateringsgedrag van een slib suspensie vast. Dit in tegenstelling tot de andere meetmethoden waarbij slechts een aantal ontwateringsparameters wordt vastgelegd. De reproduceerbaarheid van de FE-cel metingen daarbij is zeer goed.

Met de CP-cel is de invloed van de mechanische druk op het drogestofgehalte, de permeabiliteit en de porositeit van slibkoeken onderzocht. Met de CP-cel kan eveneens onderzoek worden gedaan naar de invloed van procesparameters, zoals de dosering en het type polyelectrolyt, de

mengintensiteit van slib en polyelectrolyt, de mengverhouding van slibben, de invloed van persdruk en perstijd, op het ontwateringsresultaat. CP-cel metingen vergen beduidend meer tijd dan FE-cel metingen.

Uit het marktonderzoek blijkt dat de meetcellen bij de potentiële gebruikers hoog scoren op de punten robuustheid, betrouwbaarheid, nauwkeurigheid en gebruiksmogelijkheden. De toepassingsmogelijkheden sluiten goed aan bij de praktijkbehoeften. De interpretatie van de metingen wordt als specialistisch ervaren.

In het onderzoek zijn op verschillende rwzi's optimalisatiemogelijkheden van de slibontwatering gevonden. Door optimalisatie kunnen de kosten voor de slibverwerking worden verlaagd. Zo is uit de metingen naar voren gekomen dat in veel gevallen een hoger einddrogestofgehalte mogelijk is, zodat op de kosten voor afzet van ontwaterd slib naar de stortplaats of de droog- of verbrandingsinstallatie kan worden bespaard. Afhankelijk van de winst in drogestofgehalte kan op een rwzi enkele f 100.000,- per jaar op de kosten van slibafzet worden bespaard. Een winst in einddrogestofgehalte van één tot drie gewichtsprocent betekent voor Nederland een besparing van f 10.000.000 tot f 30.000.000 per jaar op de afzetkosten voor ontwaterd slib.

1 INLEIDING

Bij de uitwisseling van ontwateringservaringen tussen gebruikers en het verklaren en oplossen van slibontwateringsproblemen is het van essentieel belang om inzicht te hebben in de ontwateringseigenschappen van het slib. Dit vereist de beschikbaarheid en de toepassing van een set eenduidige analysemethodieken en analyseapparatuur voor de bepaling hiervan. In de huidige rwzi-praktijk is nog onvoldoende sprake van een eenduidige vaststelling van slibontwateringseigenschappen.

Om het inzicht in de ontwateringseigenschappen van slib te vergroten is in het wetenschappelijk onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering" een uitgebreide reeks karakteriseringsmethoden voor slib en slibkoek ontwikkeld [8]. Uit het onderzoek kwamen twee meetcellen naar voren, namelijk de filtratie-expressiecel (FE-cel) en de compressie-permeabiliteitscel (CP-cel), die mogelijk geschikt zijn voor invoering in de rwzi-praktijk. De FE-cel is een geautomatiseerde meetopstelling waarmee op een snelle en eenvoudige wijze het dynamische ontwateringsgedrag van slib kan worden bestudeerd. De CP-cel is een geautomatiseerde opstelling waarmee de permeabiliteit en de porositeit van ontwaterd slib als functie van de aangelegde compressiedruk kunnen worden bepaald. Deze cellen kunnen mogelijk worden ingezet voor het optimaliseren van de slibconditionering, bijvoorbeeld bij de selectie van het type polyelectrolyt, het vaststellen van de doseerverhouding of het vaststellen van de benodigde mengintensiteit van slib en polyelectrolyt. Daarnaast kunnen de cellen mogelijk worden ingezet bij het opsporen en verhelpen van knelpunten in slibontwateringsinstallaties. Door (empirische) relaties op te stellen tussen de gemeten parameters en de ontwateringsresultaten op de praktijkinstallatie, is het wellicht mogelijk om op basis van slibontwateringseigenschappen voorspellingen te doen over de resultaten van de slibontwateringsapparatuur. Hiervoor is een groot aantal goed gedocumenteerde metingen met de meetcellen op praktijkinstallaties nodig.

Het resultaat van het wetenschappelijke onderzoek was voor de STOWA aanleiding de toepasbaarheid van beide meetcellen voor de optimalisatie van de slibontwatering in de rwzi-praktijk te onderzoeken. Er is getracht standaard meetmethodieken en meetapparatuur voor de bepaling van slibontwateringseigenschappen te ontwikkelen en te introduceren in de rwzi-praktijk.

In dit onderzoek is nagegaan of beide meetcellen toepasbaar zijn voor de optimalisatie van de slibontwatering in de rwzi-praktijk. Daarnaast is getracht standaard meetmethodieken en meetapparatuur voor de bepaling van slibontwateringseigenschappen te ontwikkelen en te introduceren in de rwzi-praktijk.

In dit rapport zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven. Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de werkwijze van het onderzoek. In hoofdstuk 3 wordt de meetopstelling beschreven. De toepasbaarheid van de FE-cel en de CP-cel voor de bepaling van de invloed van procesparameters op het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib bij verschillende ontwateringssystemen is in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 vindt een evaluatie van de toepasbaarheid van de meetcellen voor de rwzi-praktijk plaats. Hoofdstuk 6 gaat in op de resultaten van de adviezen voor de praktijk en hoofdstuk 7 geeft de resultaten van een marktverkenning weer. De conclusies van het onderzoek zijn in hoofdstuk 8 weergegeven.

2 WERKWIJZE

In het onderzoek is gebruik gemaakt van de filtratie-expressiecel (FE-cel) en de compressie-permeabiliteitscel (CP-cel). De achtergrond en de werking van deze cellen zijn in hoofdstuk 3 beschreven. Op acht rwzi's met verschillende slibontwateringsapparatuur zijn met deze cellen metingen verricht. In tabel 1 zijn deze rwzi's en de slibontwateringsmethode weergegeven.

Tabel 1 Overzicht van de bezochte rwzi's.

rwzi	Waterkwaliteitsbeheerder	Slibontwatering
Enschede	Waterschap Regge en Dinkel	membraanfilterpers
Amsterdam-Oost	Dienst Riolerings en Waterhuishouding Amsterdam	kamerfilterpers centrifuge
Ridderkerk	Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden	zeefbandpers
Bath	Hoogheemraadschap van West-Brabant	zeefbandpers
Gennep	Zuiveringschap Limburg	zeefbandpers
Leiden-Zuid-West	Hoogheemraadschap van Rijnland	centrifuge
Zwolle	Zuiveringschap West-Overijssel	centrifuge

Met de meetcellen is op elke rwzi onderzoek uitgevoerd naar de verschillende factoren die van invloed zijn op de slibconditionering, zoals het type conditioneringsmiddel, de doseerverhoudingen en de mengintensiteit tussen slib en conditioneringsmiddel. Bovendien is met de meetcellen de invloed van apparaatparameters, zoals persdruk en perstijd, op de ontwateringsresultaten onderzocht.

Er is getracht een relatie tussen de meetresultaten en resultaten van de praktijkinstallaties te vinden. Hiertoe zijn de relevante parameters van de praktijkinstallatie (doorzet, conditionering, ontwateringsgraad, diverse machine-instellingen) bijgehouden.

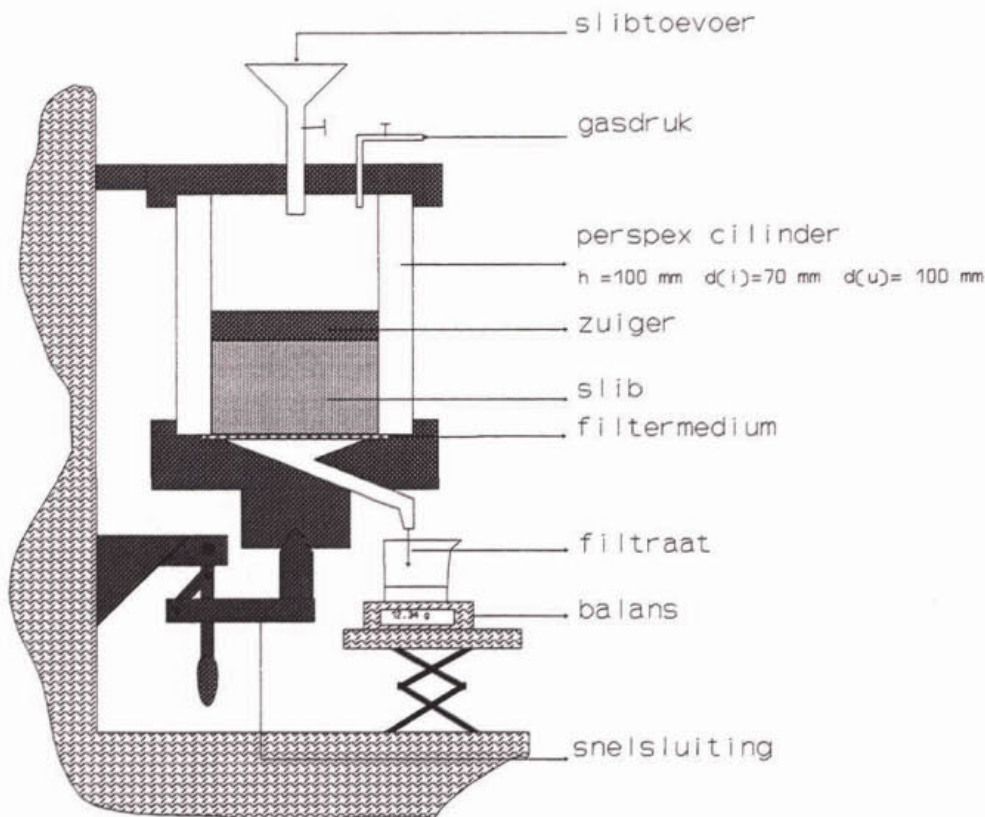
De opzet van een onderzoek op een rwzi is in nauwe samenwerking met de betreffende bedrijfsvoerders en technologen bepaald. De onderzoeksresultaten zijn voor elke rwzi in een rapport vastgelegd en aan de betrokkenen uitgereikt [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Gelijktijdig met het uitvoeren van de metingen op de rwzi's is door middel van een enquêteformulier een marktverkennd onderzoek uitgevoerd. Technologen van de waterkwaliteitsbeheerders in Nederland en andere belanghebbenden zijn uitgenodigd de meetopstellingen te bekijken en te beoordelen.

3 MEETOPSTELLING

3.1 Beschrijving

De meetopstelling bestaat uit een frame, waarin de filtratie-expressiecel (FE-cel), de compressie-permeabiliteitscel (CP-cel) en een roerder zijn ingebouwd. Daarnaast omvat de meetopstelling twee balansen, een verplaatsingsopnemer en een computer. Met behulp van de FE-cel kan het dynamische ontwateringsgedrag worden bestudeerd. De CP-cel kan worden gebruikt voor de bestudering van het persgedrag bij verschillende drukken. Navolgend worden de werking en uitvoering van beide meetcellen kort toegelicht.



Figuur 1 Schematische weergave van de Filtratie-Expressiecel.

3.1.1 De Filtratie-Expressiecel

Met behulp van de FE-cel is het mogelijk de invloed van verschillende procescondities, zoals mechanische druk, hoeveelheid slib (koekdikte), type en dosering van flocculant, op het ontwateringsgedrag van slib te bestuderen.

De FE-cel is een geautomatiseerde meetopstelling die schematisch is weergegeven in figuur 1. Via een trechter wordt een slibmonster in een cilindervormige houder gebracht.

Het ontwateringsproces wordt gestart door een bepaalde gasdruk op de zuiger aan te brengen. De zuiger zal naar beneden bewegen, waardoor er mechanische druk op het slib wordt uitgeoefend. De aangelegde druk is de drijvende kracht voor de vast-vloeistofscheiding. Op het filtermedium, bestaande uit een poreuze metalen plaat in combinatie met een filtreerpapier dat zich op de bodem

van de cilinder bevindt, vindt de koekopbouw plaats. Het filtraat wordt opgevangen in een beker-glas dat rust op een elektronische weegschaal. Deze is gekoppeld aan een PC. De massa wordt continu als functie van de tijd geregistreerd en weergegeven op de PC-monitor. Het inlezen en bewerken van de signalen worden uitgevoerd met het bij de meetopstelling meegeleverde softwarepakket "Lucy Signal Processing Software".

Het mechanische slibontwateringsproces kan worden opgesplitst in achtereenvolgens een filtratie- en een expressiefase. In de filtratiefase wordt een slibkoek opgebouwd en neemt de koekhoogte toe als functie van de tijd. In de hierop volgende expressiefase wordt de ontstane koek uitgeperst en neemt de koekhoogte af als functie van de tijd.

Slibkoek is een compressibel materiaal. In de filtratiefase komt het compressibele karakter echter niet zo tot uitdrukking. Het filtratieproces bij constante druk kan dan worden beschreven met behulp van de geïntegreerde Darcy-vergelijking, die geldig is voor incompressibele materialen:

$$t = \frac{\alpha \mu c_v}{2\rho^2 A^2 \Delta P} m^2 + \frac{\mu R}{\rho A \Delta P} m \quad (1)$$

waarin	α	= gemiddelde specifieke filtratieweerstand	[m.kg ⁻¹]
	μ	= viscositeit van het filtraat	[Pa.s]
	ρ	= dichtheid van de vloeistof	[kg.m ⁻³]
	ΔP	= aangelegde druk	[N.m ⁻²]
	A	= oppervlak van het filtermedium	[m ²]
	c_v	= concentratie van de vaste stof in de suspensie	[kg.m ⁻³]
	t	= tijd	[s]
	m	= filtraatmassa	[kg]
	R	= weerstand van het filtermedium	[m ⁻¹]

Voor de viscositeit van het filtraat wordt aangenomen dat deze gelijk is aan de waarde voor de viscositeit van zuiver water (=10⁻³ Pa.s). Ook voor de dichtheid van de vloeistof wordt aangenomen dat deze gelijk is aan die van water. Het softwarepakket maakt vergelijking (1) kloppend met de experimentele filtratiecurve. Het resultaat hiervan is de waarde van de gemiddelde specifieke filtratieweerstand α . De filtratieweerstand is een goede maat voor de gemiddelde filtratiesnelheid. Hoe lager de filtratieweerstand, des te hoger de snelheid van ontwatering in de filtratiefase. Andere ontwateringsparameters die worden bepaald zijn het tijdstip t_r , waarbij de filtratiefase overgaat in de expressiefase, het ontwateringsrendement na de filtratiefase η_r , het ontwateringsrendement na afloop van het experiment η_e en het einddrogestofgehalte van de slibkoek. Het ontwateringsrendement is gedefinieerd als het percentage van de oorspronkelijke hoeveelheid water, aanwezig in het slib, dat wordt verwijderd in het filtratie-expressieproces.

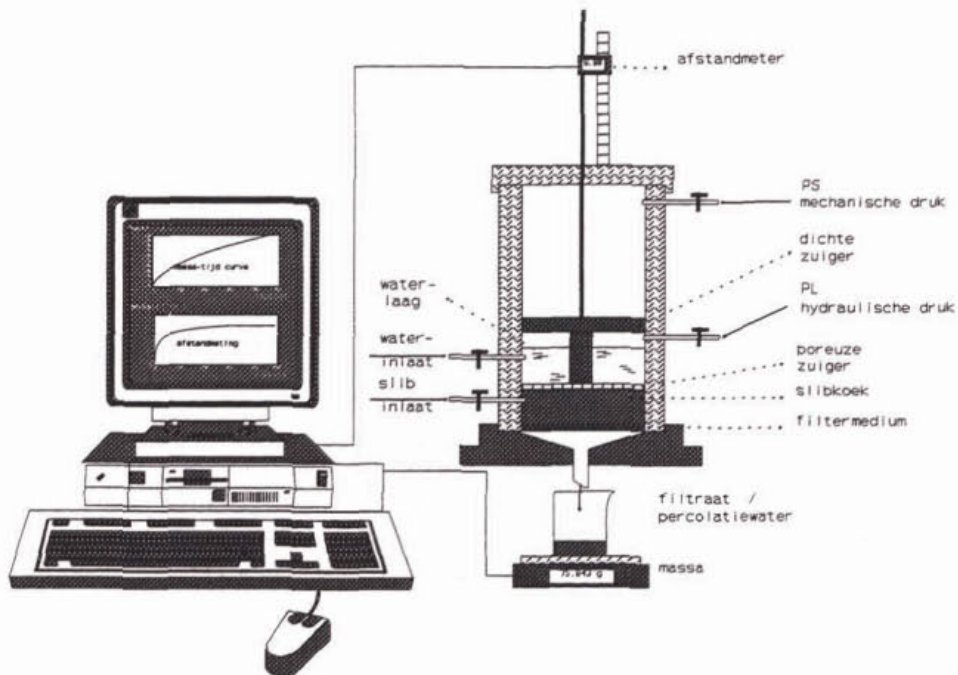
De weerstand van het filtermedium R kan worden bepaald door een bepaalde hoeveelheid water onder een ingestelde gasdruk door het filtermedium te laten stromen. Er vindt hierbij uiteraard geen koekopbouw plaats, waardoor de eerste term aan de rechterzijde van vergelijking (1) gelijk is aan nul. De massastroom is nu evenredig met de weerstand van het filtermedium. Deze weerstand kan nu berekend worden door vergelijking (1) kloppend te maken met de geregistreeerde massa-tijd curve. Dit wordt door het softwarepakket uitgevoerd.

3.1.2 De Compressie-Permeabiliteitscel

De compressie-permeabiliteitscel (CP-cel) is een opstelling waarmee de permeabiliteit en de porositeit als functie van de aangelegde compressiedruk kunnen worden bepaald. De permeabiliteit

en porositeit geven inzicht in de structuur van het ontwaterde slib en kunnen onder andere worden gebruikt in slibontwateringsmodellen.

In figuur 2 is een schematische tekening gegeven van de CP-cel. Onderin de cel bevindt zich het filtermedium dat bestaat uit een poreuze plaat in combinatie met een filtreerpapier. De onderste, poreuze en waterdoorlaatbare zuiger is star verbonden met de bovenste gesloten zuiger. Op deze zuiger kan een gasdruk ΔP worden aangebracht. Deze gasdruk bepaalt de mechanische druk op de filterkoek indien de evenwichtssituatie is bereikt. De mechanische druk ligt in de orde-grootte van enkele bars. 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 aangelegde druk (= hydraulische druk) ligt in de orde-grootte van 0,1-0,5 bar. De massa van het doorgesijpelde water wordt als functie van de tijd gemeten met behulp van een balans die is aangesloten op een computer.



Figuur 2 Schematische weergave van de *Compressie-Permeabiliteitscel*.

In de evenwichtssituatie is de waterstroom door de slibkoek constant. De permeabiliteit K volgt dan uit de wet van Darcy:

$$K = \frac{v\mu d}{\Delta P_1} = \frac{\mu d \frac{dm}{dt}}{\rho A \Delta P_1} \quad (2)$$

waarin A = oppervlak van het filtermedium [m^2]
 v = watersnelheid [$m.s^{-1}$]
 μ = viscositeit van water [$Pa.s$]
 ρ = dichtheid van water [$kg.m^{-3}$]
 d = koekdikte [m]
 ΔP_1 = hydraulische drukval over de slibkoek [$N.m^{-2}$]
 K = permeabiliteit [m^2]
 dm/dt = waterstroom [$kg.s^{-1}$]

De mechanische druk kan worden verhoogd wanneer de permeabiliteit in de eerste evenwichtssituatie bekend is. Er zal zich een nieuwe evenwichtssituatie instellen, waarbij uiteraard de koekdikte kleiner is. In deze nieuwe situatie kan weer opnieuw de permeabiliteit worden bepaald, etc.

Op deze manier kan de permeabiliteit als functie van de compressiedruk worden bepaald. De relatie tussen permeabiliteit K en de compressiedruk ΔP kan volgens een "power-law functie" worden weergegeven:

$$K = K_0 \left[1 + \frac{\Delta P}{\Delta P_a} \right]^{-\delta} \quad (3)$$

ΔP_a wordt vaak gelijkgesteld aan 1. Bovenstaande vergelijking kan kloppend gemaakt worden door aanpassing van de constanten K_0 en δ aan de experimentele resultaten. δ stelt de compressiecoëfficiënt voor.

Naast de permeabiliteit wordt ook de porositeit van de koek bepaald als functie van de aangelegde mechanische druk. De porositeit van de koek bij een bepaalde aangelegde mechanische druk kan worden berekend met behulp van de volgende vergelijking:

$$u = u' + \frac{\epsilon}{(1-\epsilon)} d_w \left[\frac{1}{d_s} + \frac{u'}{d_w} \right] \quad (4)$$

waarin d_s = dichtheid van de drogestof [$kg \text{ drogestof}/m^3 \text{ drogestof}$]
 d_w = dichtheid van water [$kg \text{ water}/m^3 \text{ water}$]
 u = vochtgehalte [$kg \text{ water}/kg \text{ drogestof}$]
 u' = gebonden water gehalte [$kg \text{ gebonden water}/kg \text{ drogestof}$]

Het gebonden-watergehalte bedraagt 0,4 kg gebonden water/ kg drogestof en is praktisch onafhankelijk van de slibsoort [8,9].

Het vochtgehalte van de slibkoek bij een bepaalde aangelegde druk kan worden berekend uit:

$$u = \frac{m_{w,\infty} + (\Delta m_{w,\infty} - \Delta m_w)}{m_{ds}} \quad (5)$$

waarin m_{ds} = massa van de drogestof [kg]
 $m_{w,\infty}$ = massa van het water in de koek aan einde van experiment [kg]
 Δm_w = verlies in hoeveelheid water bij een aangelegde druk [kg]
 $\Delta m_{w,\infty}$ = totaal waterverlies in een experiment [kg]

Na een experiment wordt de koek gedroogd bij 105 °C en zijn m_{ds} en $m_{w,\infty}$ dus bekend. Uit de experimentele gegevens kunnen de waterverliezen Δm_w en $\Delta m_{w,\infty}$ worden bepaald.

De empirische relatie tussen porositeit ϵ en compressiedruk ΔP is met behulp van onderstaande formule weergegeven:

$$\epsilon = \epsilon_0 \left(1 + \frac{\Delta P}{\Delta P_a} \right)^{-\lambda} \quad (6)$$

ΔP_a wordt vaak gelijkgesteld aan 1. Vergelijking (6) kan kloppend gemaakt worden door aanpassing van de constanten ϵ_0 en λ aan de experimentele resultaten.

3.2 Reproduceerbaarheid

Om de resultaten van de metingen op een juiste wijze te kunnen interpreteren is het van belang de reproduceerbaarheid van de uitgevoerde metingen te kennen.

Bij de bepaling van de reproduceerbaarheid van metingen met de FE-cel wordt onderscheid gemaakt tussen niet-geflocculeerd niet-biologisch slib en geflocculeerd zuiveringsslib.

Bij niet-geflocculeerd niet-biologisch slib worden optredende verschillen in resultaat ten gevolge van biologische activiteit en verschillen in monstervoorbereiding, zoals de toegevoegde mengenergie tijdens flocculatie en de polyelectrolyt-dosering, uitgesloten. Eventuele optredende verschillen in de meetresultaten kunnen dus hierbij alleen worden veroorzaakt door het meetapparaat.

Bij zuiveringsslib zijn de mengcondities van slib met polyelectrolyt (roersnelheid, roertijd, type roerder, dimensies roervat en positionering van de roerder in het mengvat) van de duplo's en triplo's constant gehouden. In het wetenschappelijk onderzoek [8] is ook veel aandacht besteed aan de reproduceerbaarheid van FE-cel metingen met geflocculeerd zuiveringsslib.

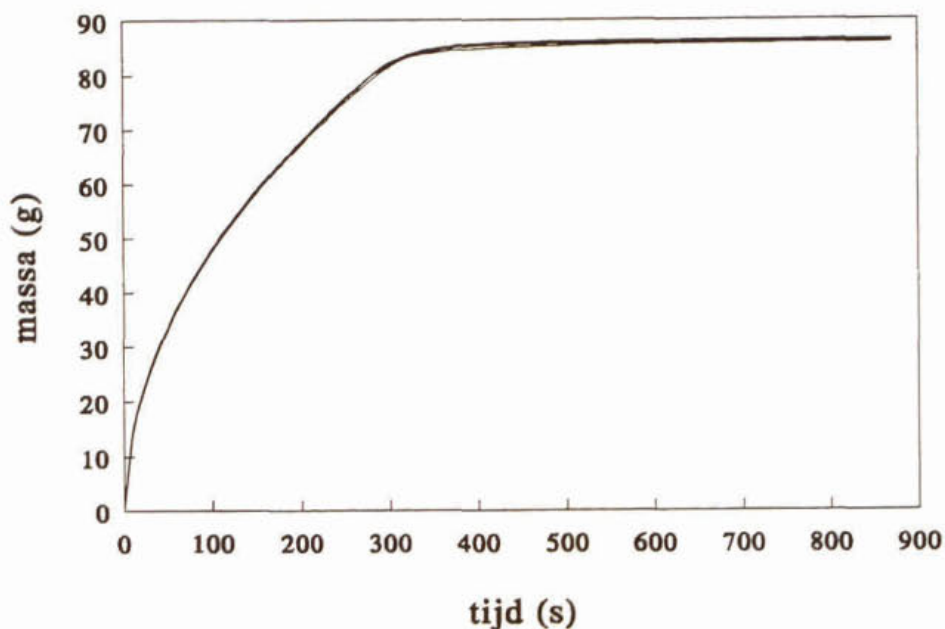
Alle parameters die van invloed zijn op het ontwateringsgedrag van slib in de FE-cel, zoals de absolute hoeveelheid drogestof, de monstermassa, het begindrogestofgehalte, de persdruk, de perstijd en de weerstand van het filtermedium, dienen constant zijn.

niet-geflocculeerd, niet-biologisch slib

Bij de bepaling van de reproduceerbaarheid van metingen met een niet-geflocculeerd niet-biologisch slib is gekozen voor een industrieel metaalslib met een drogestofgehalte van 13,9 gew.%. Er zijn vijf identieke experimenten uitgevoerd. Voor elke meting is een gelijke hoeveelheid slib afgewogen, weergegeven in tabel 2. De aangelegde druk bedraagt 3 bar en de ontwateringstijd 15 minuten.

In figuur 3 zijn de filtratie-expressiecurves van de vijf experimenten weergegeven.

In tabel 2 zijn de specifieke filtratieweerstand en het einddrogestofgehalte van de metingen weergegeven. In de onderste rij is het gemiddelde van de genoemde procesparameters met de bijbehorende standaarddeviatie weergegeven.



Figuur 3 Filtratie-expressiecurves (in vijfvoud) van een ongeflocculeerd industrieel slib.

Uit de tabel blijkt dat zowel het bereikte einddrogestofgehalte van de koek als de specifieke filtratieweerstand goed reproduceerbaar is. De relatieve onnauwkeurigheid van resp. het einddrogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand zijn resp. 0,1 % en 0,9 %. Ook uit de vijf filtratie-expressiecurves, weergegeven in figuur 3, blijkt dat de metingen goed reproduceerbaar zijn; de vijf curven liggen nagenoeg over elkaar heen. Er kan worden geconcludeerd dat het uitvoeren van ontwateringsexperimenten met de FE-cel goed reproduceerbaar is.

Tabel 2 De monstermassa, het drogestofgehalte van de filterkoek en de specifieke filtratieweerstand van vijf filtratie-expressiemetingen met een ongeflocculeerd industrieel slib.

meting-nummer	monster-massa (g)	drogestofgehalte filterkoek (gew.%)	specifieke filtratieweerstand (10^{12} m/kg)
1	99,7	40,61	7,17
2	99,5	40,52	7,11
3	99,5	40,59	7,06
4	99,6	40,51	7,22
5	99,5	40,51	7,07
		$40,55 \pm 0,05$	$7,13 \pm 0,07$

geflocculeerd zuiveringsslib

Voor het bepalen van de reproduceerbaarheid van metingen die worden uitgevoerd met geflocculeerd zuiveringsslib zijn gedurende de eerste drie deelonderzoeken de metingen in twee- of in drievoud uitgevoerd. Vergeleken zijn de monsters die op laboratoriumschaal zijn geflocculeerd omdat bij deze monsters de randvoorwaarden redelijk gelijk konden worden gehouden. Bij praktijkmonsters is dit moeilijker te realiseren; het is soms moeilijk goed reproduceerbare monsters uit het systeem te nemen door lokale verschillen in drogestofgehalte of door snel variërende procesomstandigheden.

Het bleek dat de resultaten van de meervoudige metingen goed reproduceerbaar waren. In totaal zijn circa 60 duplo- of triplo-metingen uitgevoerd. Bij ongeveer 65% van de metingen is het verschil in FE-drogestofgehalte kleiner dan 0,5 gew.%, bij ongeveer 25% ligt het verschil tussen 0,5 en 1 gew.% en bij ongeveer 10% bedraagt het verschil 1 gew.% of hoger.

Bij 95% van de metingen verschillen de specifieke filtratieweerstanden minder dan een factor 1,5 van elkaar.

evaluatie

Er kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de metingen met niet biologisch actief ongeflocculeerd slib met de FE-cel goed reproduceerbaar zijn. De FE-cel is een betrouwbaar apparaat waarmee ontwateringsexperimenten kunnen worden uitgevoerd.

Ook de metingen met zuiveringsslib zijn redelijk goed reproduceerbaar. Er kunnen echter verschillen tussen de duplo- of triplo-metingen optreden door het feit dat het materiaal biologisch actief is en dus veranderlijk is in de tijd. Het is hierbij dus van belang, wil men monsters met elkaar kunnen vergelijken, dat de metingen zo snel mogelijk na elkaar of indien mogelijk tegelijkertijd worden uitgevoerd (bijv. door met twee meetcellen parallel te werken).

Een tweede factor van belang bij zuiveringsslib is de flocculatie vooraf. Door verschillen in flocculatie-omstandigheden kunnen verschillen optreden tussen duplo- en triplo-metingen. Het is dus belangrijk om de monsters zoveel mogelijk onder dezelfde condities te flocculeren.

Tijdens het onderzoek bleken CP-cel metingen met slib, dat geflocculeerd was met pe, zeer moeizaam te verlopen en bleek de CP-cel minder geschikt voor toepassing in de rwzi-praktijk (zie paragraaf 4.10); er is daarom geen onderzoek gedaan naar de reproduceerbaarheid van CP-cel metingen.

3.3 Invloed van monsterparameters op het ontwateringsgedrag in de FE-cel

Vele procesparameters hebben invloed op het ontwateringsgedrag van een slibmonster dat is ingebracht in de FE-cel. De procesparameters kunnen worden onderverdeeld in monsterparameters en instellingen van het meetapparaat. In deze paragraaf wordt de invloed beschreven van de monsterparameters: absolute hoeveelheid drogestof, monstermassa en begindrogestofgehalte op het ontwateringsgedrag in de filtratie-expressiecel. Uit de resultaten van deze experimenten volgen mogelijk werkvoorschriften die dienen te worden opgevolgd bij het uitvoeren van series van experimenten. De invloed van de instellingen van het meetapparaat op de meetresultaten komt aan bod in paragraaf 4.4.

Om de invloed van de absolute hoeveelheid drogestof, de totale ingebrachte monstermassa en het begindrogestofgehalte van het monster op het ontwateringsgedrag van slibmonsters in de FE-cel te bepalen, is een drietal reeksen van experimenten uitgevoerd. Opgemerkt wordt dat indien één van de drie hiervoor genoemde parameters constant wordt gehouden en een tweede wordt gevarieerd, de derde parameter ook varieert.

In een eerste reeks experimenten zijn de absolute hoeveelheid drogestof en het begindrogestofgehalte gevarieerd bij gelijkblijvende monstermassa.

In een tweede reeks experimenten zijn de monstermassa en het begindrogestofgehalte gevarieerd bij gelijkblijvende absolute hoeveelheid drogestof.

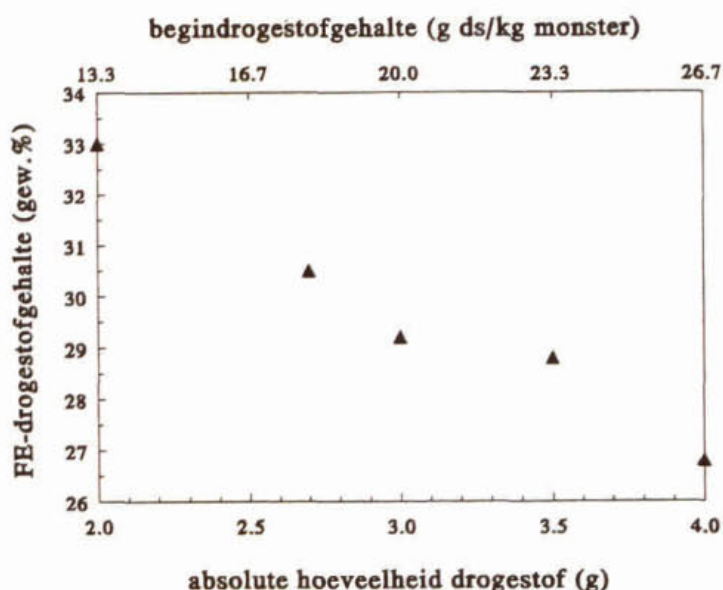
In een derde reeks experimenten zijn de monstermassa en de absolute hoeveelheid drogestof gevarieerd bij gelijkblijvend begindrogestofgehalte.

3.3.1 Invloed van de absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvende monstermassa

Bij deze reeks experimenten is een verdunningsreeks van het uitgangsslib, met een drogestofgehalte van 4,0 gew.%, gemaakt. Van alle monsters, verdund en onverdund, is 100 ml slib op labschaal geflocculeerd met 6,3 g Zetag 87/kg ds en aangevuld tot 150 g totaalgewicht.

De monsters zijn doorgemeten in de FE-cel en het drogestofgehalte na 900 seconden is bepaald door de filterkoek te drogen bij 105 °C.

In de figuren 4 en 5 zijn respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand als functie van de absolute hoeveelheid drogestof en het begindrogestofgehalte weergegeven.



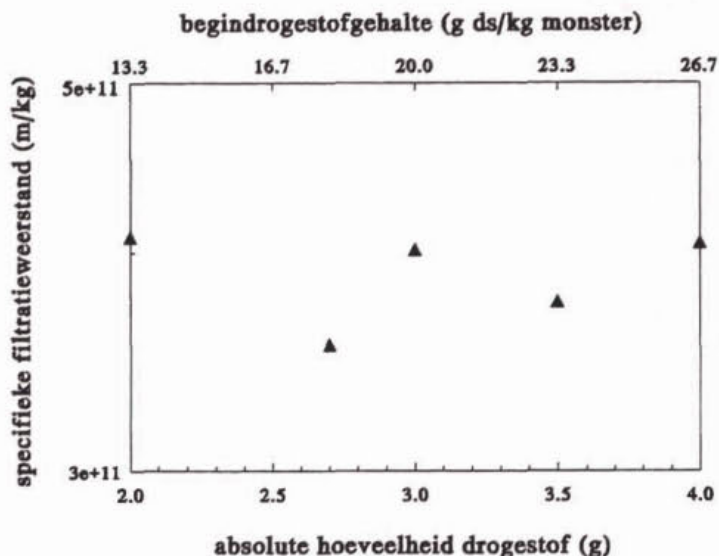
Figuur 4 De invloed van de hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvende monstermassa (150 g) op het FE-drogestofgehalte.

Uit de figuren blijkt dat een toename van de absolute hoeveelheid drogestof een afname van het FE-drogestofgehalte na 900 seconden persen tot gevolg heeft. De verklaring hiervoor is dat een hogere absolute hoeveelheid drogestof een grotere koekdikte tot gevolg heeft. Een dikkere koek betekent een hogere stromingsweerstand, waardoor er gedurende een bepaalde tijd minder water wordt verwijderd. Het drogestofgehalte van de slibkoek na persen gedurende een bepaalde tijd zal dus lager zijn.

Uit figuur 5 blijkt dat de absolute hoeveelheid drogestof geen invloed heeft op de specifieke filtratieweerstand bij absolute drogestofhoeveelheden tussen 2 en 4 gram.

De specifieke filtratieweerstand is een intrinsieke ontwateringseigenschap en is derhalve niet afhankelijk van het drogestofgehalte en de absolute hoeveelheid drogestof.

Figuur 5 De invloed van de hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvende monstermassa (150 g) op de specifieke filtratieweerstand.



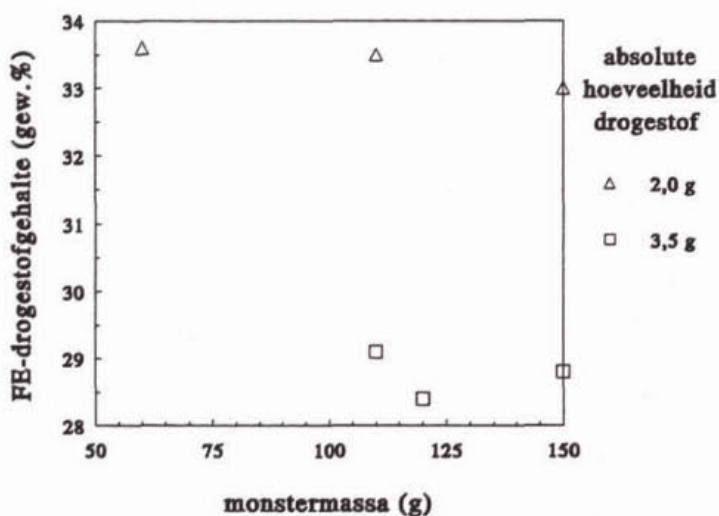
3.3.2 Invloed van de monstermassa bij een gelijkblijvende absolute drogestofhoeveelheid

Er zijn twee reeksen van experimenten uitgevoerd met absolute hoeveelheden drogestof van respectievelijk 2 gram en 3,5 gram. Voor de reeks met 2 gram drogestof is 50 gram en voor de reeks met 3,5 gram drogestof is 87 gram slib met een drogestofgehalte van 4,0 gew.% genomen. De slibmonsters zijn geflocculeerd met 6,3 g Zetag 87/kg ds en verdund met water tot de gewenste monstermassa.

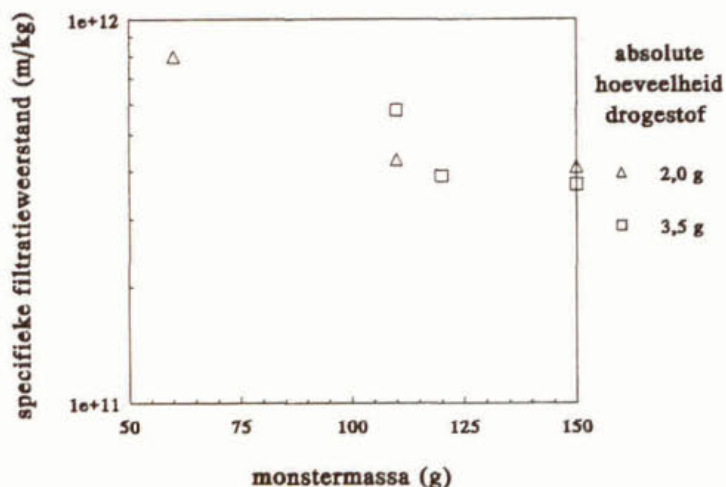
De monsters zijn doorgemeten in de FE-cel en het drogestofgehalte na 900 seconden is bepaald door de filterkoek te drogen bij 105 °C.

In de figuren 6 en 7 is respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand als functie van de monstermassa weergegeven.

Figuur 6 Invloed van de monstermassa op het FE-drogestofgehalte bij gelijkblijvende hoeveelheid drogestof.



Figuur 7 Invloed van de monstermassa op de specifieke filtratieweerstand bij gelijkblijvende hoeveelheid drogestof.



Het monstergewicht bij gelijkblijvende absolute hoeveelheid drogestof heeft nauwelijks invloed op het einddrogestofgehalte. Een verklaring hiervoor is dat de absolute hoeveelheid drogestof de koekdikte en daarmee het einddrogestofgehalte na 900 seconden persen bepaalt. Bij een absolute hoeveelheid drogestof van 2 g worden dunnere filterkoeken gevormd dan bij een hoeveelheid drogestof van 3,5 gram. Bij 2 gram drogestof worden dan ook hogere FE-drogestofgehalten gevonden dan bij een drogestofhoeveelheid van 3,5 g.

Bij monstermassa's boven 100 gram zijn de waarden voor de specifieke filtratieweerstand nagenoeg gelijk. Bij een monstermassa van 60 gram is de specifieke filtratieweerstand duidelijk hoger. Dit zou niet het geval moeten zijn daar de specifieke filtratieweerstand onafhankelijk is van de monstermassa en het begindrogestofgehalte. Hiervoor is geen bevredigende verklaring te geven.

3.3.3 Variatie van de absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvend begindrogestofgehalte

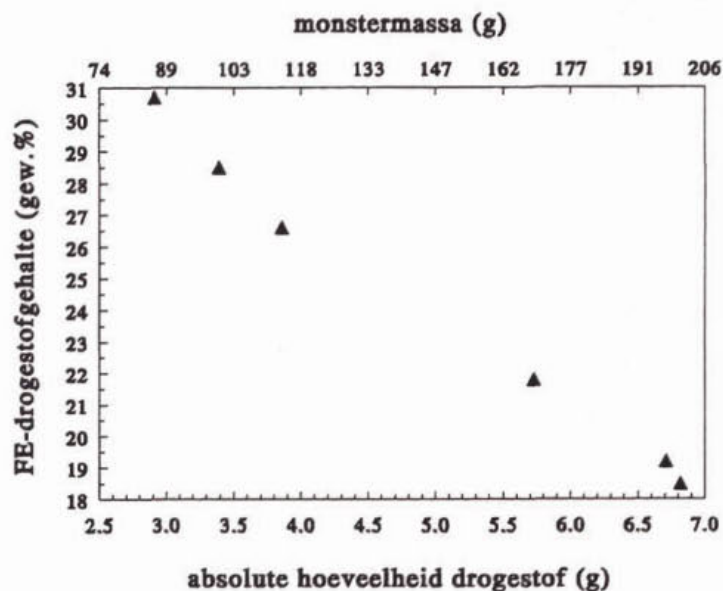
In deze serie zijn verschillende hoeveelheden praktijkmonster voor de voorontwateringsfase afgetapt. De praktijkmonsters hebben een begindrogestofgehalte van 3,5 gew.% en zijn geflocculeerd met ca. 5 g Zetag 87/kg ds. Het begindrogestofgehalte is constant en de absolute hoeveelheid drogestof en dus ook de monstermassa wordt gevarieerd.

De monsters zijn doorgemeten in de FE-cel en het drogestofgehalte na 900 seconden is bepaald door de filterkoek te drogen bij 105 °C.

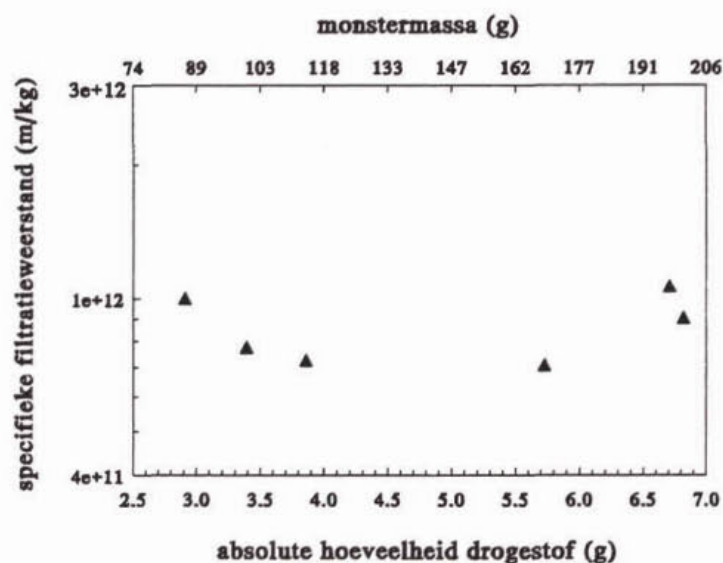
In de figuren 8 en 9 is respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand als functie van de absolute hoeveelheid drogestof en de monstermassa weergegeven.

Een grotere absolute hoeveelheid drogestof levert een lager einddrogestofgehalte op na 900 seconden persen. Een variatie in absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvende begindrogestofgehalten heeft nauwelijks invloed op de filtratieweerstand. Dit is in overeenstemming met het feit dat de specifieke filtratieweerstand een intrinsieke ontwateringseigenschap is. Bij een gelijkblijvende specifieke filtratieweerstand en begindrogestofgehalte zal de snelheid van watertransport in de filtratiefase ook gelijk zijn.

Figuur 8 Invloed van de absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvend begindrogestofgehalte op het FE-drogestofgehalte.



Figuur 9 Invloed van de absolute hoeveelheid drogestof bij gelijkblijvend begindrogestofgehalte op de specifieke filtratieweerstand.



3.3.4 Conclusies

De specifieke filtratieweerstand is een intrinsieke ontwateringseigenschappen en dient derhalve onafhankelijk te zijn van de absolute hoeveelheid drogestof en het begindrogestofgehalte van het slibmonster dat in de FE-cel wordt gebracht. De uitgevoerde FE-cel metingen bevestigen dit.

De absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel is de bepalende monsterparameter voor het te bereiken FE-drogestofgehalte. Bij het onderzoek naar de invloed van o.a. de dosering en het type polyelectrolyt op het ontwateringsgedrag van slib is het dus van belang om bij elk experiment in een reeks de absolute hoeveelheid drogestof gelijk te houden om de resultaten in een reeks met elkaar te kunnen vergelijken. In de standaardprocedure voor het uitvoeren van een meting met de filtratie-expressiecel worden een constante monstermassa en begindrogestofgehalte voorgeschreven (bijlage 1).

4 DE TOEPASBAARHEID VAN DE MEETCELLEN

Het ontwateringsresultaat wordt bepaald door een samenspel van vele procesparameters. Een belangrijke categorie van procesparameters is gerelateerd aan de conditionering van het slib. Ter verbetering van het ontwateringsgedrag wordt het slib geconditioneerd met behulp van flocculantten. Als flocculantten in de rwzi-praktijk worden voornamelijk polyelectrolyten gebruikt. Een andere categorie procesparameters is gerelateerd aan apparaatinstellingen, zoals persdruk en perstijd. Met beide meetcellen is onderzoek gedaan naar de invloed van procesparameters op de ontwateringsresultaten. De volgende aspecten zijn onderzocht met de FE-cel:

- dosering en type polyelectrolyt;
- mengintensiteit van slib en polyelectrolyt;
- menging van slibsoorten;
- aangelegde mechanische druk en perstijd;
- voorconditionering met FeCl_3 ;
- doseerconcentratie van de polyelectrolytoplossing;
- toevoeging van filtratiehulpmiddelen;
- invloed van appendages in de sliblijn;
- slibconditionering tijdens een ontwateringscyclus in een filterpers.

Met de CP-cel zijn de volgende aspecten onderzocht:

- invloed van de druk op de permeabiliteit en porositeit van slibkoeken;
- drukopbouw bij napersen in membraanfilterpersen.

In dit hoofdstuk wordt de toepasbaarheid van de FE-cel en de CP-cel voor de bepaling van de invloed van procesparameters op het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib in centrifuges, zeefbandpersen en filterpersen beschreven. De meetresultaten worden alleen in algemene zin weergegeven. Voor een gedetailleerde bespreking van de meetresultaten van de verschillende deelonderzoeken wordt verwezen naar de bijlagen 2 t/m 12 en de werkrapporten [1,2,3,4,5,6,7].

Opgemerkt wordt dat de trends die in dit hoofdstuk worden aangegeven zijn gebaseerd op de resultaten van de acht deelonderzoeken en in principe geen algemene geldigheid hebben. De resultaten van dit onderzoek zijn dus niet onverkort geldig voor andere praktijkinstallaties op andere locaties.

4.1 Dosering en type polyelectrolyt

Achtergrond

Vóór de mechanische ontwatering wordt het slib geconditioneerd met behulp van flocculantten. Toevoegen van flocculantten heeft tot gevolg dat het ontwateringsproces sterk wordt verbeterd. De primaire deeltjes vlokken samen tot grotere deeltjes waardoor de afvoerkanalen groter worden en het ontwateringsproces wordt bevorderd. Tevens wordt het colloïdale karakter van het slib door toevoeging van flocculantten opgeheven. Als flocculantten worden voornamelijk polyelectrolyten toegepast.

Een juiste flocculantdosering is van groot belang voor een goede mechanische ontwatering. Binnen een smal doseringsgebied blijkt de ontwaterbaarheid van slib maximaal te zijn. De gemiddelde specifieke filtratieweerstand is hierbij minimaal en het einddrogestofgehalte van de slibkoek maximaal [8,9]. Een te lage flocculantdosering geeft een onvoldoende vorming van slibvlokken en een onvoldoende binding van zwevend materiaal in de waterfase. Het specifieke oppervlak van de slibdeeltjes is relatief groot, hetgeen het watertransport door de slibkoek nadelig beïnvloedt. Dit leidt tot een hogere specifieke filtratieweerstand en een lager drogestofgehalte. Een te hoge dosering leidt tot restabilisatie van de slibdeeltjes. De gevormde vlokken stoten elkaar electrosta-

tisch af, waardoor er nauwelijks sprake is van een verbetering van de ontwateringsresultaten. Een te hoge dosering leidt tevens tot een overmatig flocculantverbruik en dus tot te hoge kosten.

Door een juiste keuze van het type flocculant kunnen ook grote verbeteringen in de slibontwatering worden bereikt. Op de markt is een grote diversiteit van polyelectrolyten te verkrijgen. De polyelectrolyten verschillen o.a. in lading (positief of negatief), ladingsdichtheid en molecuulmassa.

Tot nu toe zijn in de praktijk de conventionele meetmethoden ter bepaling van de optimale flocculantdosering toegepast, zoals het CST-apparaat, de Modified Filtration Test en een visuele beoordeling van de gevormde vlok. Deze karakteriseringstesten geven slechts beperkte informatie over het ontwateringsgedrag van een slibmonster [8,9]. Bij de genoemde testen wordt slechts een beperkt aantal ontwateringsparameters bepaald.

Met de FE-cel kan het gehele dynamische ontwateringsgedrag van een slibmonster worden vastgelegd, waardoor veel meer informatie wordt verkregen. Bovendien is het werkgebied van een aantal apparaatparameters, zoals persdruk, bij de conventionele karakteriseringstechnieken veel kleiner dan bij de filtratie-expressiecel.

Werkwijze

Voor de verschillende ontwateringssystemen is onderzocht of de FE-cel toepasbaar is voor het vaststellen van de optimale dosering en het optimale type polyelectrolyt.

Voor de bepaling van de optimale dosering van het praktijkpolyelectrolyt wordt een reeks van experimenten uitgevoerd met de FE-cel waarin alleen de dosering van het polyelectrolyt wordt gevarieerd. Het slibmonster wordt op laboratoriumschaal geflocculeerd met het praktijkpolyelectrolyt in verschillende doseerverhoudingen bij een van te voren bepaalde optimale mengintensiteit. De gevonden optimale dosering of doseringsgebied wordt vergeleken met de gebruikte praktijkdosering.

Ook verschillende typen polyelectrolyten zijn getest, waarbij voor elk type een reeks van experimenten wordt uitgevoerd waarbij de dosering wordt gevarieerd. Het ontwateringsresultaat bij de optimale dosering van de verschillende geteste pe's wordt vergeleken met het ontwateringsresultaat bij de optimale dosering van het praktijkpolyelectrolyt. De gedetailleerde resultaten staan vermeld in bijlage 2.

Evaluatie

De in de praktijk gebruikte dosering ligt vaak in of in de buurt van het optimale pe-doseringsgebied dat is bepaald met de FE-cel. Indien de gebruikte praktijkdosering buiten het optimale pe-doseringsgebied ligt, wordt geadviseerd de pe-dosering in de praktijk bij te sturen en de gevolgen hiervan op praktijkschaal te onderzoeken. Op basis van FE-cel metingen kan ook worden nagegaan of een reductie van het polyelectrolytverbruik met behoud van het ontwateringsresultaat kan worden gerealiseerd.

Bij de ontwatering met centrifuges is geconstateerd dat een pe-dosering lager dan de optimale dosering leidt tot verslechtering van de centraatkwaliteit, er blijft meer drogestof achter in het centraat. Niet alle slibdeeltjes worden door het polyelectrolyt ingevangen doordat er ondergedoseerd wordt. Ook het op te bouwen koppel, een maat voor de sterkte van de vlokken, neemt af. Bij te lage pe-doseringen neemt in de FE-cel de specifieke filtratieweerstand sterk toe.

Bij de keuze van de dosering en het type pe spelen naast de ontwateringssnelheid en het einddrogestofgehalte nog andere factoren een rol, zoals het zijdelings uitpersen van slib en bandvervuiling bij zeefbandpersen en het plakgedrag van de slibkoeken bij filterpersen. Deze aspecten zijn niet onderzocht in de FE-cel.

Conclusies

Uit dit deelonderzoek wordt geconcludeerd dat de correlatie tussen FE-cel resultaten en die bereikt in ontwateringsapparatuur goed is. Dit geldt voor alle typen ontwateringsapparatuur, met uitzondering van de kamerfilterpersen waar het type niet in die zin is bekeken. De FE-cel biedt de mogelijkheid om op een vrij snelle en eenvoudige manier en onafhankelijk van de bedrijfsvoering de optimale pe-dosering en het optimale type pe te bepalen.

Het in de praktijk vaststellen van het optimale type pe en de optimale pe-dosering vergt veel meer tijd en leidt tot overlast voor de bedrijfsvoering. Dit geldt vooral voor filterpersen, en in iets mindere mate ook voor zeefbandpersen en centrifuges.

4.2 Mengintensiteit van slib en polyelectrolyt

Achtergrond

Polyelectrolytoplossingen blijven ondanks verregaande verdunning met water redelijk visceuze vloeistoffen. Het mengen met slib kan dus problemen opleveren. Onvoldoende menging kan leiden tot lokale onder- en overdosering. Verhoging van de mengintensiteit van slib en polyelectrolyt verbetert de menging en versnelt de vlokvorming. Bij een te hoge mengintensiteit bestaat de kans op afbraak van de gevormde vlokken. Dit proces is irreversibel en er moet dan meer polyelectrolyt gedoseerd worden om de vlokken weer op te bouwen. Voor een efficiënt gebruik van polyelectrolyt is een goede menging met slib dus essentieel.

In de praktijk worden slib en polyelectrolyt op verschillende manieren gemengd. Bij zeefbandpersen worden slib en polyelectrolyt gemengd in een geroerd vat of in een leiding. Bij dosering in een leiding is bij het polyelectrolytdoseerpunt vaak een voorziening aanwezig die zorgt voor turbulentie, zoals een mengklep. Bij kamerfilterpersen en membraanfilterpersen wordt in een vulpomp of in de leiding gemengd. Het polyelectrolyt wordt bij centrifuges in de leiding of rechtstreeks in de centrifuge gedoseerd. De wijze van dosering en menging gebeurt in de praktijk vaak op basis van "trial and error". Door in de praktijk een goede menging te realiseren kunnen naar verwachting aanzienlijke besparingen op polyelectrolytverbruik worden bereikt, in combinatie met hogere einddrogestofgehaltes.

Werkwijze

Onderzocht is of de FE-cel toepasbaar is voor de bepaling van de invloed van de mengintensiteit op het ontwateringsresultaat. In een reeks labexperimenten is de mengintensiteit gevarieerd door het slibmonster in een bekeerglas te roeren met een constante roersnelheid en de roertijd te variëren. Het te gebruiken bekeerglas en de soort roerder die hierbij worden toegepast zijn voorgeschreven in de handleiding van de filtratie-expressiecel. Andere dimensies van bekeerglazen en/of roerders kunnen leiden tot andere ontwateringsresultaten.

Tevens zijn op praktijkschaal geflocculeerde monsters afgetapt en onderzocht in de FE-cel, waarbij het FE-drogestofgehalte vergeleken is met het praktijkdrogestofgehalte. De monsters zijn onttrokken uit het mengvat vóór een zeefbandpers. De mengintensiteit kan worden gevarieerd door het toerental van de roerder in het mengvat te variëren.

Opgemerkt wordt dat het moeilijk is een representatief geflocculeerd slibmonster te nemen. Hierdoor kan de absolute hoeveelheid drogestof die in de FE-cel wordt gebracht variëren. De absolute hoeveelheid drogestof heeft, zoals in hoofdstuk 3 is geconstateerd, een grote invloed op het FE-drogestofgehalte. De gedetailleerde resultaten van deze experimenten staan vermeld in bijlage 3.

Evaluatie

Uit de relaties tussen resp. het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand met de mengtijd kan informatie worden verkregen over de stabiliteit van de vlokken. Vaak blijkt dat bij

geringe mengtijden het FE-drogestofgehalte relatief laag en de specifieke filtratieweerstand relatief hoog te zijn. Blijkbaar zijn bij geringe mengtijden de slibdeeltjes nog onvoldoende bezet met polyelectrolytmoleculen waardoor de flocculatie onvoldoende is. Een toename van de specifieke filtratieweerstand met de roertijd duidt op continue vlokafbraak. Indien de specifieke filtratieweerstand niet afhangt van de roertijd is er sprake van een stabiele en dus sterke vlok.

In de praktijk geflocculeerde monsters zijn ook in de FE-cel bestudeerd. Het FE-drogestofgehalte is vergeleken met het praktijkdrogestofgehalte. Er blijkt een menginstelling te zijn waarbij het FE-drogestofgehalte maximaal is. Het praktijkdrogestofgehalte is bij deze menging eveneens maximaal. De resultaten van de FE-cel metingen stemmen dus overeen met die van de praktijk.

Conclusies

Met de FE-cel kan op snelle en eenvoudige wijze een uitspraak worden gedaan over het gedrag van bepaalde polyelectrolyten bij menging met een bepaald slib en kan men komen tot een keuze van de mengintensiteit van de slib/polyelectrolytcombinatie.

De optimale menging in de praktijk wordt gevonden door bij diverse praktijkmengcondities, zoals roersnelheid in het mengvat, geflocculeerde monsters af te tappen en door te meten in de FE-cel. De resultaten van deze FE-cel metingen worden vergeleken met die van FE-cel metingen uitgevoerd met op labschaal optimaal geflocculeerd slib. In het kader van dit onderzoek is voornamelijk praktijkervaring opgedaan met zeefbandpersen. Dit onderzoek wijst erop dat de resultaten van de FE-cel metingen overeen komen met de praktijkresultaten.

4.3 Menging van slibsoorten

Achtergrond

Bij veel rwzi's wordt naast het slib van de eigen rwzi ook het slib van naburige rwzi's ontwaterd. Hierbij kan het voorkomen dat slecht ontwaterbare slibben worden gemengd met goed ontwaterbare. De mengverhouding van de diverse slibben kan dan van invloed zijn op het ontwateringsgedrag van het mengsel. Met behulp van de FE-cel kan de invloed van de mengverhouding van de verschillende slibben op het ontwateringsgedrag van het mengsel worden onderzocht. Daartoe worden in een reeks experimenten twee of meer slibben met elkaar gemengd in verschillende mengverhoudingen en daarna op labschaal geflocculeerd met hetzelfde type en dezelfde dosering flocculant. De absolute hoeveelheid drogestof van het slibmonster in elk experiment van deze reeks dient constant te zijn om de resultaten met elkaar te kunnen vergelijken. De gedetailleerde resultaten van deze experimenten staan vermeld in bijlage 4.

Evaluatie

De algemene trend is, bij menging van een slecht ontwaterbaar slib met een goed ontwaterbaar slib, dat een verhoging van het aandeel slecht ontwaterbaar slib in het mengsel een verlaging van het FE-drogestofgehalte en verhoging van de specifieke filtratieweerstand tot gevolg heeft. Het verband tussen het FE-drogestofgehalte en de mengverhouding is nagenoeg lineair.

Ook in de praktijk blijkt een groter aandeel van een slecht ontwaterbaar slib in een mengsel slechtere ontwateringsresultaten op te leveren. De correlatie tussen de meetresultaten van de FE-cel en de praktijkresultaten blijkt dus goed te zijn.

In dit onderzoek kwam ook naar voren dat uitgestist slib betere ontwateringseigenschappen heeft dan aëroob gestabiliseerd slib. Dit komt overeen met de praktijkervaringen.

Conclusie

Met de FE-cel kan op een eenvoudige en snelle wijze de mengverhouding van diverse slibben worden bepaald waarbij de gewenste ontwateringsresultaten worden verkregen. Het vaststellen van de invloed van verschillende mengverhoudingen van slibsoorten op de ontwaterbaarheid is in de praktijk vaak moeilijk en kost veel tijd en geld.

De resultaten van de FE-cel metingen komen overeen met de praktijkresultaten.

4.4 De invloed van de aangelegde mechanische druk en de perstijd

Achtergrond

De aangelegde mechanische druk en de toegepaste perstijd kunnen in de praktijk een grote invloed hebben op het einddrogestofgehalte. Bij de ontwatering met zeefbandpersen kunnen de perstijd en de aangelegde druk worden gevarieerd door aanpassing van de bandsnelheid en de bandspanning. Bij filterpersen kunnen de perstijd en de persdruk worden gevarieerd door aanpassing van de vuldruk, de napersdruk (membraanfilterpersen) en de vultijd. Ook bij moderne centrifuges, waarbij het ontwaterde slib in de schroef wordt nageperst, speelt de persdruk een belangrijke rol. De persdruk en perstijd zijn apparaatinstellingen van de FE-cel die kunnen worden gevarieerd.

Werkwijze

Voor de verschillende ontwateringsapparatuur is onderzocht of de FE-cel toepasbaar is voor de bepaling van de invloed van persdruk en perstijd op de ontwateringsresultaten.

Daarnaast is onderzocht bij welke instellingen van persdruk en perstijd het FE-drogestofgehalte overeenkomt met het praktijkdrogestofgehalte.

De invloed van de mechanische druk en de perstijd op het ontwateringsgedrag kan worden onderzocht door in een reeks van experimenten met een op dezelfde manier voorbehandeld monster de mechanische druk en perstijd te variëren. De gedetailleerde resultaten van deze experimenten staan vermeld in bijlage 5.

Evaluatie

Uit de geregistreerde massa-tijd-curve kan eenvoudig het drogestofgehalte van de slibkoek als functie van de tijd worden bepaald. Uit deze curve, die is opgenomen bij een bepaalde druk kan het tijdstip worden bepaald waarbij het drogestofgehalte van de koek in de FE-cel overeenkomt met het praktijkdrogestofgehalte. Dit wordt het "fitten" van de meetcel aan de praktijk genoemd. Na "fitten" lijkt het mogelijk om op basis van FE-cel metingen een goede voorspelling te doen van het effect van een wijziging van procesparameters op het praktijkdrogestofgehalte. Opgemerkt wordt dat na wijziging van de praktijkapparaatparameters de FE-cel opnieuw moet worden "gefit".

Uit de vele metingen blijkt veelal dat een verhoging van de opgelegde mechanische druk leidt tot verhoging van het einddrogestofgehalte na 15 of 30 minuten persen. De mate van stijging van het FE-drogestofgehalte als functie van de druk is voor elk slib verschillend.

Een verhoging van de druk leidt ook tot een verhoging van de specifieke filtratieweerstand. Dit betekent dat slib een compressibel karakter heeft. De compressibiliteit van elk onderzocht slib bleek verschillend.

Door de verschillende drogestofgehalte-tijd-curven, geregistreerd bij verschillende drukken, in één grafiek te plaatsen kan worden nagegaan of verhoging van de mechanische druk na een bepaalde tijd persen al dan niet een verhoging van het drogestofgehalte tot gevolg heeft. Drukverhoging in de praktijk is niet altijd mogelijk. De maximaal aan te leggen druk in de praktijk is afhankelijk van de apparaatspecificaties en is dus aan limieten gebonden. Bij een kamerfilterpers wordt de druk begrensd door de vulpomp, bij een zeefbandpers is de bandspanning aan limieten gebonden, terwijl bij een centrifuge het aan te leggen koppel afhankelijk is van de voorhanden zijnde tandwielkast.

Uit proefnemingen met de FE-cel blijkt dat, indien drukverhoging effect heeft op het te bereiken FE-drogestofgehalte, ook bij centrifuges respectievelijk zeefbandpersen hogere drogestofgehalten worden bereikt door verhoging van het koppel respectievelijk de bandspanning. De invloed van

drukverhoging op het ontwateringsresultaat van een filterpers is niet onderzocht. De correlatie van de FE-cel metingen met de praktijk is dus goed.

Uit de drogestofgehalte-tijd-curven kan ook worden afgeleid of perstijdverlenging leidt tot hogere drogestofgehalten. Indien de curve in de tijd nog steeds een stijging laat zien, is verlenging van de perstijd te overwegen. Een langere perstijd gaat echter ten koste van de verwerkingscapaciteit.

Conclusies

Door een goede keuze van de mechanische druk en perstijd blijkt het mogelijk om het FE-drogestofgehalte in overeenstemming te brengen met het praktijkdrogestofgehalte. De FE-cel kan hierna mogelijk als voorspeller voor het te bereiken drogestofgehalte in de praktijk worden gebruikt. In dit onderzoek is dit echter niet beproefd.

Met de FE-cel kan snel en op eenvoudige wijze de invloed van de procesparameters persdruk en perstijd op het te bereiken drogestofgehalte worden bepaald. Uit de verkregen gegevens kan ook de mate van compressibiliteit van de slibkoek worden bepaald.

Het CST-apparaat en de Modified Filtration Test hebben als nadeel dat de uitgeoefende druk benodigd voor de vast-vloeistofscheiding niet of slechts beperkt te variëren is. In het CST-apparaat is de werkdruk ca. 1 bar (zuigkracht filtreerpapier) en bij de Modified Filtration Test varieert de werkdruk van 0 - 1 bar (voorgeschreven is 0,5 bar).

4.5 De invloed van de Fe^{3+} -voorconditionering van slib

Achtergrond

Bij de ontwatering wordt het slib op enkele rwzi's voorgeconditioneerd met FeCl_3 . Dit blijkt een beter ontwateringsresultaat op te leveren. Fe^{3+} zorgt voor een primaire vlokking van de fijne slibdeeltjes en voor een pH-verlaging van het slib. Nadien wordt een pe-oplossing aan het slib toegevoegd, die zorgt voor een secundaire vlokking.

Voor centrifuges is onderzocht of de FE-cel toepasbaar is voor de bepaling van de invloed van voordosering van Fe^{3+} op het ontwateringsresultaat. In een serie van experimenten wordt in eerste instantie het slib geconditioneerd met verschillende doseringen FeCl_3 . Daarna wordt pe toegevoegd met één bepaalde dosering. De gedetailleerde resultaten van deze experimenten staan vermeld in bijlage 6.

Evaluatie en conclusies

De extra toevoeging van Fe^{3+} leidt tot een hoger drogestofgehalte in de FE-cel. Op praktijkschaal resulteert de extra toevoeging tot een duidelijke verbetering van de centraatkwaliteit. De extra toevoeging van Fe^{3+} leidt echter niet tot hogere drogestofgehalten in centrifuges.

De FE-cel is geschikt voor de bepaling van de invloed van de voordosering Fe^{3+} op het ontwateringsgedrag van slib in centrifuges (tabel 15 uit bijlage 6). Een hoger FE-drogestofgehalte ten gevolge van de extra toevoeging van FeCl_3 correspondeert met een verbetering van de centraatkwaliteit in de praktijk.

4.6 Doseerconcentratie van de polyelectrolytoplossing

Achtergrond

De doseerconcentratie van een pe-oplossing bedraagt over het algemeen 0,1-0,2 gew.%. Het polyelectrolyt wordt vaak eerst aangemaakt tot een stamoplossing (circa 0,5%) en vervolgens verdund tot de doseeroplossing. De doseeroplossing wordt gemengd met het te ontwateren slib. Een goede menging bevordert de werking van het pe.

De concentratie van de doseeroplossing is van invloed op de viscositeit van de doseeroplossing. Een hogere concentratie leidt tot een hogere viscositeit en kan daardoor een verminderde menging van slib met pe tot gevolg hebben. In enkele praktijksituaties is bij hoge doseerconcentraties een slechter ontwateringsresultaat en/of een hoger pe-verbruik waargenomen.

Werkwijze

Onderzocht is de toepasbaarheid van de FE-cel voor de bepaling van de invloed van de doseerconcentratie op de slibontwateringseigenschappen. In een reeks experimenten zijn de polyelectrolytdosering en de polyelectrolytconcentratie gevarieerd. De gedetailleerde resultaten van deze experimenten staan vermeld in bijlage 7.

Evaluatie

De doseerconcentratie blijkt geen invloed te hebben op de specifieke filtratieweerstand en het einddrogestofgehalte. De menging van slib en pe is in de experimenten uitgevoerd in een bekersglas. Hierbij vindt een zeer goede menging van slib met pe plaats. Een hogere viscositeit van de oplossing door een hogere concentratie leidt hierdoor waarschijnlijk niet tot een verminderde werking van het pe. In de praktijk is in sommige gevallen bij hogere concentraties een slechtere ontwatering waargenomen. De menging is in praktijksituaties minder goed dan onder testcondities met de FE-cel, waardoor een hogere concentratie daar wellicht wél van invloed kan zijn op de menging van slib en pe.

Conclusies

Om het effect van de doseerconcentratie te onderzoeken en de resultaten te kunnen vertalen naar praktijksituaties moet de menging in de FE-cel overeenkomen met die in de praktijk. Hiervoor dienen schaalregels te worden toegepast. In het kader van dit onderzoek is hier geen aandacht aan besteed. Er kan worden vastgesteld dat er geen correlatie is op de wijze zoals dit deelonderzoek nu is uitgevoerd.

4.7 De invloed van filtratiehulpmiddelen op de ontwateringseigenschappen van slib

Achtergrond

In de praktijk worden soms filtratiehulpmiddelen aan slibben toegevoegd om zo een betere ontwatering te verkrijgen. Rehoplus is een dergelijk middel. Het is een uit natuurlijke grondstoffen bestaand produkt en wordt in granulaatvorm aan het slib toegediend.

De invloed van Rehoplus op de ontwateringseigenschappen van slib is op labschaal onderzocht met behulp van de FE-cel. Onderzocht is of door toevoeging van Rehoplus een "onevenredige toename" in het drogestofgehalte te bereiken is, dat wil zeggen een toename van het drogestofgehalte die niet alleen kan worden toegeschreven aan de extra drogestoftoevoeging van Rehoplus.

Hiervoor is het begrip "gecorrigeerd drogestofgehalte" ingevoerd. Dit is gedefinieerd als het drogestofgehalte na persen gecorrigeerd voor de hoeveelheid extra toevoegingen:

$$\%ds_{\text{corr}} = \frac{(\text{gewicht droge koek}) - (\text{toevoeging Rehoplus})}{(\text{gewicht natte koek}) - (\text{toevoeging Rehoplus})} * 100\% \quad (7)$$

Werkwijze

Het effect van de toevoeging van een filtratiehulpmiddel op het ontwateringsgedrag van slib is onderzocht door in eerste instantie het hulpmiddel in een bepaalde dosering (uitgedrukt in gewichtsprocenten op drogestofbasis) toe te voegen aan een slibmonster, alvorens te flocculeren

met een bepaalde pe. De gedetailleerde resultaten van deze experimenten staan vermeld in bijlage 8.

Evaluatie

Uit de FE-cel metingen blijkt dat de toevoeging van het filtratiehulpmiddel een aanzienlijke winst in het FE-drogestofgehalte oplevert. Gecorrigeerd voor de toevoeging van Rehoplus wordt deze winst iets kleiner. Tevens blijkt de specifieke filtratieweerstand af te nemen bij toename van de dosering Rehoplus. Uit CP-cel metingen blijkt dat toevoeging van Rehoplus de structuur van de slibkoek zodanig verandert dat de permeabiliteit wordt verhoogd (zie paragraaf 4.10). De slibkoek zal meer star van structuur worden.

Uit de proeven met de FE-cel blijkt dat de grootste winst in gecorrigeerd drogestofgehalte wordt behaald bij de optimale dosering polyelectrolyt. Het is dus van belang om, bij toepassing van een filtratiehulpmiddel in combinatie met een polyelectrolyt, vooraf de optimale pe-dosering te bepalen.

Het effect van toepassing van een filtratiehulpmiddel is in het kader van dit onderzoek niet onderzocht in de praktijk. Hierdoor kan geen uitspraak worden gedaan over de correlatie tussen FE-cel metingen en praktijkresultaten.

Conclusies

Met de FE-cel kan op een snelle en eenvoudige manier worden onderzocht of het de moeite is om bepaalde filtratiehulpmiddelen in de praktijk te gebruiken. Ook andere filtratiehulpmiddelen kunnen op de beschreven manier worden getest met de FE-cel. Bij toepassing van filtratiehulpmiddelen in combinatie met een polyelectrolyt is het van belang ook de optimale pe-dosering te bepalen.

4.8 Invloed van de sliblijn op de ontwatering

Een slecht ontwateringsresultaat in de praktijk hoeft niet alleen te worden veroorzaakt door het slecht functioneren van het ontwateringsapparaat. Appendages in de sliblijn, zoals pompen, mengkleppen, pers- en zuigleidingen, kunnen de slibvlokken beschadigen wat het ontwateringsresultaat verslechtert. Door voor en na een appendage een slibmonster af te tappen en deze te ontwateren in de FE-cel kan de invloed van de appendage op het ontwateringsresultaat worden vastgesteld. In dit onderzoek is hier beperkt aandacht aan besteed. In een onderzoek bij de slibverwerkingsinstallatie te Mierlo [10] is hier wel uitgebreid onderzoek naar gedaan. Hierbij bleek dat in een vulpomp een sterke verslechtering van de ontwateringseigenschappen optrad. Na verwisseling van een versleten kogel in de pomp bleek de ontwatering sterk verbeterd. In Mierlo is aangetoond dat de FE-cel kan worden ingezet voor het opsporen en verhelpen van knelpunten in slibontwateringsinstallaties (zie ook bijlage 9).

4.9 Invloed van de ontwateringscyclus van een filterpers op de ontwateringseigenschappen

Werkwijze

Tijdens een ontwateringscyclus van een filterpers, die een tijdsduur heeft van enkele uren, kunnen de ontwateringseigenschappen van slib sterk veranderen. Eén ontwateringscyclus bestaat uit een vulfase en een persfase. Door regelmatig, gedurende één cyclus, uit de vulleiding van een filterpers geconditioneerde slibmonsters te nemen en deze te ontwateren in de FE-cel kan het effect van de ontwateringscyclus op de slibontwateringseigenschappen worden onderzocht.

Evaluatie

De FE-cel metingen tonen aan dat de ontwateringseigenschappen in de persfase duidelijk slechter zijn dan in de vulfase. Mogelijke oorzaken hiervoor kunnen zijn het verschil in vulprocédé tijdens de vulfase en de persfase. Er worden verschillende pompen toegepast tijdens de twee fasen. Bovendien zijn de werkdrukken van de pompen verschillend van elkaar. Het verschil in de manier van vullen van een filterpers kan aanleiding geven tot een andere vlokstructuur. Een andere vlokstructuur kan de ontwateringseigenschappen van de gevormde slibkoek beïnvloeden (zie ook bijlage 10).

Conclusie

Met de FE-cel kunnen verschillen in ontwateringseigenschappen tijdens een ontwateringscyclus van een filterpers eenvoudig worden aangetoond. Het ontwateringsproces is niet aangepast op basis van FE-cel metingen, zodat geen uitspraak kan worden gedaan over de vertaalbaarheid naar de praktijk.

4.10 Invloed van de druk op de permeabiliteit en porositeit van de slibkoek

Achtergrond

De mechanische druk die wordt uitgeoefend op de slibkoek kan in belangrijke mate de ontwaterbaarheid bepalen. Met behulp van de CP-cel kunnen het drogestofgehalte, de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) en porositeit van de slibkoek als functie van de aangelegde druk worden bepaald. De permeabiliteit en porositeit van de filterkoek zijn structurele eigenschappen van de filterkoek. Een hogere permeabiliteit van de slibkoek zou kunnen leiden tot het sneller bereiken van een bepaald drogestofgehalte in de praktijk. De permeabiliteit en porositeit als functie van de aangelegde druk, de zgn. constitutieve relaties, kunnen worden toegepast in modellen die het ontwateringsgedrag beschrijven van compressibele, poreuze materialen. Tevens kan met behulp van de CP-cel een indruk worden verkregen van de compressibiliteit van een slibkoek.

De mate van compressibiliteit van een slibkoek kan grote invloed hebben op het ontwateringsgedrag. Een materiaal is compressibel indien een drukverhoging leidt tot volumeverkleining van het materiaal. Een volumeverkleining van een slibkoek kan worden gerealiseerd door verwijdering van het aanwezige water in de slibkoek, dus verhoging van het drogestofgehalte. Een te hoge waarde van de compressibiliteit kan nadelig zijn voor het ontwateringsgedrag omdat dan snel vrij water wordt ingesloten in de slibkoekmatrix. Modelberekeningen hebben aangetoond dat indien slibkoeken zeer compressibel zijn ($\delta > 1,9$) een verhoging van de druk nauwelijks leidt tot verhoging van de ontwateringssnelheid [11].

Informatie uit de experimenten met de CP-cel kan mogelijk worden gebruikt voor ontwateringsystemen waarbij een reeds gevormde slibkoek een lange tijd onder een bepaalde mechanische druk is gebracht. Op alle bezochte locaties zijn metingen uitgevoerd met de CP-cel.

De metingen met de CP-cel zijn uitgevoerd zoals beschreven is in paragraaf 3.1 (zie ook de bijlagen 11 en 12).

Evaluatie

Vele experimenten zijn uitgevoerd met slibkoeken die zijn geflocculeerd met polyelectrolyt.

Uit deze metingen blijkt dat de tijd benodigd voor het bereiken van de evenwichtsinstelling zeer groot is. De koekdikte neemt na een aantal uren onder een bepaalde druk te zijn gebracht, nog steeds af als functie van de tijd. Dit houdt in dat het slib, geflocculeerd met het betreffende polyelectrolyt, een hoge compressibiliteit heeft. De gevormde vlok zal dan ook niet stabiel zijn en gemakkelijk deformeerbaar zijn. Het bereiken van een constante koekdikte (dus constant drogestofgehalte) is een belangrijke voorwaarde voor het bepalen van de permeabiliteit van de koek (zie paragraaf 3.1).

Bij slibkoeken geflocculeerd met polyelectrolyt bleek het vaak bij lage mechanische drukken moeilijk of onmogelijk om water door de koek te persen. De permeabiliteit van koeken geflocculeerd met polyelectrolyt kon hierdoor vaak niet bepaald worden.

In het geringe aantal experimenten waarbij het wel was gelukt om de permeabiliteit van een slibkoek geflocculeerd met polyelectrolyt te bepalen, zijn permeabiliteiten gevonden in de orde-grootte van 10^{-16} tot 10^{-18} m². Verder blijkt dat de gemeten permeabiliteit sterk afneemt als functie van de aangelegde druk. Een hogere drijvende kracht voor de vast-vloeistofscheiding wordt gecompenseerd door een lagere permeabiliteit van de slibkoek, waardoor nauwelijks enige verhoging van de ontwateringssnelheid te verwachten is. Bij voldoende ontwateringstijd leidt een verhoging van de mechanische druk tot een verhoging van het drogestofgehalte van de koek.

De invloed van Fe³⁺ en Rehoplus op het drogestofgehalte en de permeabiliteit van de slibkoek is ook onderzocht. Bij slibkoek waar Rehoplus aan is toegevoegd, worden onder dezelfde procesomstandigheden hogere einddrogestofgehalten bereikt dan zonder deze toevoeging. Onder gelijkblijvende procesomstandigheden is de permeabiliteit van de slibkoek waaraan Rehoplus is toegevoegd duidelijk groter dan die van slibkoeken zonder deze toevoeging. De toevoeging van Rehoplus leidt tot een meer starre structuur van de slibmatrix. De massastroom door de koek is groter, wat leidt tot het eerder bereiken van een bepaald einddrogestofgehalte. De perstijd zou dus mogelijk verkort kunnen worden en hierdoor kan de verwerkingscapaciteit worden verhoogd. Bij behoud van perstijd kunnen mogelijk hogere drogestofgehalten worden bereikt.

Conclusie

De CP-cel geeft informatie over drogestofgehalte, compressibiliteit, permeabiliteit en porositeit van slibkoeken die al enige tijd onder een mechanische druk staan. Op basis van CP-cel metingen kan inzicht worden verkregen in de invloed van de toepassing van ijzerzouten of filtratiehulpmiddel.

Gebleken is dat metingen aan slibben geflocculeerd met polyelectrolyt vaak problemen geven. De evenwichtinstelling duurt zeer lang (groot aantal uren) of wordt niet bereikt. Bovendien is het reeds bij lage mechanische drukken moeilijk om water door de koek te persen. De metingen met de CP-cel duren lang, waardoor de terugkoppeling van de meetresultaten naar de praktijk vaak te laat is. De CP-cel is hierdoor duidelijk minder geschikt voor de optimalisatie van de ontwatering van zuiveringsslib in de rwzi-praktijk.

4.11 Drukopbouw bij napersen in membraanfilterpersen

Achtergrond

Het ontwateringsproces van een membraanfilterpers start met het vullen van de kamers. Hierbij vindt een koekopbouw plaats. Als een bepaalde druk is bereikt, wordt het vullen beëindigd en neemt de druk in de kamers af, doordat filtraat uit de slibkoek stroomt. Na het vullen wordt de koek nageperst door de membranen in de kamers te vullen met lucht. De druk in de membranen wordt opgebouwd tot een bepaalde eindwaarde, die enige tijd wordt vastgehouden. Uit praktijkervaringen blijkt dat de wijze van drukopbouw invloed heeft op het ontwateringsresultaat (zie ook bijlage 12).

Werkwijze

Onderzocht is of de CP-cel toepasbaar is voor de bepaling van de invloed van de drukopbouw op het ontwateringsresultaat van membraanfilterpersen. Omdat het in de praktijk vaak moeilijk is verschillende waarden van de drukopbouw in te stellen, is dit nagebootst door in de CP-cel een aantal filterkoeken na te persen. Om representatieve monsters van filterkoeken te verkrijgen is een charge na het vullen gestopt en is een aantal plakken filterkoek uit de kamers gehaald. De

filterkoek is in de CP-cel gebracht. In de cel zijn vervolgens verschillende snelheden van de drukopbouw toegepast.

Tijdens het persen van de filterkoeken is de afname van de koekdikte gemeten. Tevens is de koekmassa voor en na ontwatering in de CP-cel gemeten, op basis waarvan het einddrogestofgehalte van de koeken is berekend.

Evaluatie en conclusie

Uit de CP-cel metingen is gebleken dat een snelle opbouw van de napersdruk over het algemeen tot een lager einddrogestofgehalte leidt dan een langzame opbouw van de napersdruk. Dit komt overeen met de praktijkervaring.

4.12 Ondersteuning van de keuze voor de procesopzet van de slibontwatering

Achtergrond

Op één rwzi werd de sliblijn aangepast om de gisting en zeefbandpersinstallatie te ontlasten. Gepland was de spuislibstroom af te koppelen van de slibgisting en separaat te ontwateren met een centrifuge. De bestaande zeefbandpers werd ingezet voor de ontwatering van uitgegist primair slib. De ontwatering van een mengsel van spuislib en uitgegist primair slib is mogelijk een interessant alternatief. Omdat dit om technische redenen aanvankelijk niet op praktijkschaal kon worden beproefd is in de FE-cel de invloed van de mengverhouding van de twee slibsoorten op het ontwateringsgedrag onderzocht.

Evaluatie en conclusie

Het praktijkonderzoek dat op de rwzi is uitgevoerd wijst uit dat het spuislib zeer moeilijk ontwaterbaar is. Zowel met een centrifuge als met een zeefbandpers kan het spuislib tot maximaal 16 gew.% ds worden ontwaterd. De FE-cel metingen bevestigen dit.

Toevoeging van uitgegist slib aan het spuislib blijkt in de FE-cel tot een duidelijke toename van het drogestofgehalte te leiden. Blijkbaar heeft toevoeging van uitgegist slib een positieve invloed op het te bereiken drogestofgehalte. Op basis van de FE-cel metingen is later ook op praktijkschaal onderzoek gedaan naar de ontwatering van mengsels van uitgegist slib en spuislib. Ook hierbij bleek een mengsel van uitgegist slib en spuislib aanzienlijk beter ontwaterbaar dan onvermengd spuislib.

Mede op basis van de testresultaten met de FE-cel is men tot een procesopzet voor de praktijkinstallatie gekomen: ontwatering van een mengsel van niet ingedikt spuislib en uitgegist slib met behulp van een centrifuge. De metingen met de FE-cel zijn mede richtinggevend geweest voor de bijsturing van het project op de rwzi.

Geconcludeerd kan worden dat FE-cel bruikbaar kan zijn bij de keuze van een procesopzet van de slibontwatering.

5 EVALUATIE

In de vorige hoofdstukken is de toepasbaarheid van de FE-cel en de CP-cel voor de optimalisatie van de slibontwatering in de rwzi-praktijk beschreven. Belangrijke randvoorwaarden voor het onderzoek naar de toepasbaarheid zijn de reproduceerbaarheid van de metingen en de invloed van monsterparameters op de meetresultaten. Navolgend wordt de toepasbaarheid van beide meetcellen geëvalueerd.

FE-cel

Uit het onderzoek blijkt dat de reproduceerbaarheid van FE-cel metingen goed is. Bij metingen aan niet biologisch niet geflocculeerd slib blijkt dat zowel het bereikte FE-drogestofgehalte van de koek, de specifieke filtratieweerstand en de geregistreerde filtratie-expressiecurves nagenoeg gelijk zijn. De relatieve onnauwkeurigheid op basis van vijf identieke metingen van resp. het einddrogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand zijn resp. 0,1 % en 0,9 %. Bij duplo- en triplometingen aan geflocculeerd zuiveringsslib blijkt dat bij ongeveer 65% van de metingen het verschil in FE-drogestofgehalte kleiner dan 0,5 gew.% is. Bij ongeveer 25% van deze metingen is het verschil tussen 0,5 en 1 gew.% en bij ongeveer 10% ligt het verschil bij 1 gew.% of hoger. Bij 95% van de metingen verschillen de specifieke filtratieweerstanden minder dan een factor 1,5 van elkaar.

De absolute hoeveelheid drogestof, het begindrogestofgehalte en de monstermassa kunnen mogelijk invloed hebben op de resultaten van FE-cel metingen. Gebleken is dat de specifieke filtratieweerstand onafhankelijk is van genoemde monsterparameters. Het FE-drogestofgehalte blijkt alleen afhankelijk te zijn van de absolute hoeveelheid drogestof. Voor een juiste interpretatie van een reeks metingen, waarin de invloed van een bepaalde procesparameter op het ontwateringsgedrag wordt onderzocht, is het daarom van belang om de absolute hoeveelheid drogestof van elk slibmonster in de reeks constant te houden. In de standaardprocedure voor een FE-cel meting wordt de absolute hoeveelheid drogestof die wordt ingebracht in de FE-cel dan ook voorgeschreven.

Op acht ontwateringslokaties, waar alle in Nederland gangbare ontwateringssystemen zijn vertegenwoordigd, is de toepasbaarheid van de FE-cel voor de optimalisatie van de slibontwatering onderzocht. Daarbij zijn de dosering en het type polyelectrolyt, de mengintensiteit van slib en polyelectrolyt, de mengverhouding van slibben, de invloed van persdruk en perstijd en andere aspecten bestudeerd.

Gebleken is dat de trends van de resultaten van de FE-cel metingen overeenkomen met de trends van de ontwateringsresultaten in de praktijk. Bij de standaardinstelling van de FE-cel (druk = 3 bar, perstijd = 900 seconden) blijkt het FE-drogestofgehalte niet altijd overeen te komen met het praktijkdrogestofgehalte. Door een goede keuze van de mechanische druk en perstijd voor de FE-cel is het mogelijk om beide in overeenstemming te brengen, het zogenaamde "fitten". De FE-cel kan dan het in de praktijk te bereiken drogestofgehalte voorspellen. Bij elke ontwateringsinstallatie blijkt een andere combinatie van persdruk en -tijd te worden gevonden waarbij het FE-drogestofgehalte overeen komt met het praktijkdrogestofgehalte. Bij wijziging van de praktijkapparaatparameters dient opnieuw de juiste combinatie van persdruk en perstijd te worden bepaald.

Een aantal factoren, die van invloed is op het ontwateringsgedrag in de rwzi-praktijk, zoals bandvervuiling en het zijdelings uittreden van slib in zeefbandpersen en het plakgedrag van de slibkoeken bij filterpersen kunnen met de FE-cel niet worden onderzocht.

De filtratie-expressiecel biedt vele voordelen ten opzichte van de conventionele methoden ter bepaling van de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib, zoals het CST-apparaat en de Modified

Filtration Test [8,9]. De FE-cel biedt alle voordelen van een geautomatiseerde meetopstelling zoals snelheid, nauwkeurigheid, dataopslag en dataverwerking en is daardoor weinig arbeidsintensief en gebruikersvriendelijk. De FE-cel legt het gehele dynamische ontwateringsgedrag van een slib suspensie vast. Dit in tegenstelling tot de andere meetmethoden waarbij slechts een aantal ontwateringsparameters wordt vastgelegd.

De Modified Filtration Test is een niet-geautomatiseerde meetopstelling die relatief eenvoudig en goedkoop is. De werkdruk in deze meetopstelling is voorgeschreven en kan slechts beperkt worden gevarieerd. De werkdruk van de filtratie-expressiecel is binnen een ruim bereik instelbaar. Het conventionele CST-apparaat is alleen nuttig voor de bepaling van de filtratiesnelheid van slibben die zijn geflocculeerd met ijzerchloride. Er doen zich veel problemen voor indien wordt gewerkt met met polyelectrolyt geflocculeerde slibben. De werkdruk in dit apparaat is niet te variëren. Er wordt slechts één ontwateringsparameter vastgelegd, nl. de capillaire zuigtijd.

Op grond van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de FE-cel goede mogelijkheden biedt om op een snelle, nauwkeurige en eenvoudige wijze en onafhankelijk van de bedrijfsvoering de slibontwatering te optimaliseren. Het op praktijkschaal optimaliseren van de slibontwatering vergt vaak veel meer tijd en leidt tot overlast voor de bedrijfsvoering. De FE-cel heeft duidelijk voordelen ten opzichte van de conventionele karakteriseringsmethoden.

CP-cel

De CP-cel geeft informatie over drogestofgehalte, compressibiliteit, permeabiliteit en porositeit van slibkoeken die al enige tijd onder een mechanische druk staan. Op basis van CP-cel metingen kan inzicht worden verkregen in de invloed van toepassing van ijzerzouten of filtratiehulpmiddel. Gebleken is dat metingen aan slibben geflocculeerd met polyelectrolyt vaak problemen geven. De evenwichtsinstelling duurt zeer lang (groot aantal uren) of wordt niet bereikt. Het is reeds bij lage mechanische drukken moeilijk om water door de koek te persen. De metingen met de CP-cel duren lang, waardoor de terugkoppeling van de meetresultaten naar de praktijk vaak te laat is. De CP-cel is hierdoor minder geschikt voor de optimalisatie van de ontwatering van zuiveringsslib in de rwzi-praktijk.

6 KOSTENBESPARING OP DE SLIBVERWERKING

In het onderzoek zijn op verschillende rwzi's metingen uitgevoerd aan de optimalisatie van de slibontwatering. Door optimalisatie kunnen de kosten voor de slibverwerking worden verlaagd. Zo is uit de metingen naar voren gekomen dat in veel gevallen een hoger einddrogestofgehalte mogelijk is, zodat op de kosten voor afzet van ontwaterd slib naar de stortplaats, de droog- of verbrandingsinstallatie kan worden bespaard.

In dit hoofdstuk wordt op de behaalde en mogelijke kostenbesparingen ingegaan.

6.1 Kostenbesparingen bij de onderzochte rwzi's

rwzi Gennep

Op de rwzi Gennep (40.000 ie) wordt ingedikt secundair slib met een zeefbandpers ontwaterd. Het in de praktijk gebruikte polyelectrolyt geeft een drogestofgehalte van het ontwaterd slib van gemiddeld 16,5 gew.%. Om het drogestofgehalte te verhogen zijn verschillende polyelectrolyten getest. Onderzoek aan zes alternatieve polyelectrolyten met de FE-cel heeft aangetoond dat de toepassing van enkele van deze polyelectrolyten een betere ontwatering oplevert dan het gebruikte polyelectrolyt. Er werd in de FE-cel een verschil in einddrogestofgehalte van circa 2 gew.% aangetoond. Een verhoging van een drogestofgehalte van 2 gew.% betekent een besparing van circa f 50.000 op de slibafzetkosten.

rwzi Leiden-Zuid-West

Op de rwzi Leiden-Zuid-West (80.000 ie) wordt het uitgegist slib met een centrifuge ontwaterd. Met het in de praktijk gebruikte polyelectrolyt werd een drogestofgehalte bereikt van 20-22 gew.%. Uit testen met de FE-cel kwam naar voren dat met een alternatief polyelectrolyt een 1,5 tot 2 gew.% hoger drogestofgehalte behaald kon worden. Met dit polyelectrolyt wordt in de praktijk nu een drogestofgehalte van circa 23 gew.% behaald. Een verhoging van 1,5-2 gew.% drogestofgehalte levert een besparing op de slibafzetkosten van circa f 100.000 per jaar.

rwzi Bath

Op de rwzi Bath (500.000 ie) wordt het uitgegist slib ontwaterd met zeefbandpersen. Uit onderzoek met de FE-cel is gebleken dat met het polyelectrolyt dat wordt gebruikt in de praktijk een 2 gew.% hoger drogestofgehalte wordt behaald dan bij toepassing van een alternatief polyelectrolyt, bij een lagere doseerverhouding. Het alternatieve polyelectrolyt werd in de praktijk getest, waarbij een 1 gew.% lager drogestofgehalte werd behaald. Een verhoging van het drogestofgehalte van 1 gew.% leidt tot een besparing in de slibafzetkosten van f 200.000 à f 300.000 per jaar.

6.2 Evaluatie

De FE-cel geeft informatie over de omstandigheden waarbij een hoog drogestofgehalte kan worden behaald, zoals de polyelectrolytkeuze en de doseerverhouding. Een verschil in einddrogestofgehalte van 1-3 gew.%, dat in verschillende experimenten met de FE-cel werd behaald, levert een aanzienlijke besparing op de kosten voor de slibafzet. Bij de in § 6.1 weergegeven rwzi's kan op basis van de metingen mogelijk f 50.000 tot f 300.000 per jaar worden bespaard.

Naast de kosten voor de slibafzet zijn de kosten voor de polyelectrolytdosering van belang. Met de FE-cel kan een goedkoper polyelectrolyt en/of een polyelectrolyt met een lagere doseerverhouding worden geselecteerd. De experimenten zijn echter vooral gericht geweest op het behalen van een hoger einddrogestofgehalte. Vanwege de hoge kosten voor de slibafzet zal een hoger einddrogestofgehalte vaker een doorslaggevende rol spelen.

In tabel 3 is voor hypothetische rwzi's van 50.000, 100.000 en 150.000 ie de besparing op de slibafzetkosten weergegeven als functie van het behaalde einddrogestofgehalte. Er is uitgegaan van een slibproduktie van 54 g ds/ie.d en afzetkosten van f 150,-/ton materiaal.

Tabel 3: Besparingen per jaar op de slibafzet voor hypothetische rwzi's.

	Verschil in einddrogestofgehalte ten opzichte van 20 gew. %		
	+ 1 gew. %	+ 2 gew. %	+ 3 gew. %
50.000 ie	f 35.000	f 67.000	f 96.000
100.000 ie	f 70.000	f 134.000	f 193.000
150.000 ie	f 106.000	f 202.000	f 289.000

Uit de tabel blijkt dat afhankelijk van de grootte van de rwzi en het behaalde einddrogestofgehalte enkele f 100.000,- per jaar op de kosten voor de slibafzet kan worden bespaard.

Voor geheel Nederland zou bij een één tot drie procent hoger einddrogestofgehalte in totaal f 10.000.000 tot f 30.000.000 per jaar op de slibafzetkosten kunnen worden bespaard.

7 MARKTVERKENNING

Om de interesse voor de FE- en CP-cel te peilen zijn de technologen van de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders en PE-leveranciers uitgenodigd beide cellen op locatie te bezichtigen, waarbij het werkingsprincipe van beide cellen is toegelicht en het uitvoeren van metingen met deze cellen is gedemonstreerd. De bezoekers is gevraagd de meetcellen op een scala van aspecten te beoordelen. Aan deze enquête is meegewerkt door 16 waterkwaliteitsbeheerders, drie p.e.-leveranciers en één adviesbureau. Navolgend worden de resultaten uitgewerkt.

7.1 Resultaten van het marktverkennd onderzoek

Voor het inschatten van de marktomvang is het van belang een indruk te hebben van de marktrijsheid van de beide meetcellen. Om die vast te stellen is de bezoekers een serie vragen voorgelegd over de hardware (de meetcellen) en de software. Tevens is gevraagd naar de toegevoegde waarde van de beide cellen ten opzichte van bestaande slibkarakteriseringstechnieken, zoals de CST-meting of de MFT-methode.

Tabel 4: Beoordeling van de FE- en CP-cel

	FE-cel		CP-cel	
	gemiddeld*	st.dev.	gemiddeld*	st. dev
Beoordeling hardware				
robuustheid	7,5	0,9	6,8	1,0
bedieningsgemak	7,0	1,1	6,9	0,9
veiligheid	7,3	0,9	6,8	0,9
constructie	7,2	0,9	7,4	0,8
eenvoud	7,5	1,2	7,3	1,0
gebruikte materialen	7,6	0,7	7,2	0,6
Beoordeling software				
gebruikersvriendelijkheid	7,3	1,2		
eenvoud	7,0	1,2		
mogelijkheden	7,9	0,8		
snelheid	7,8	1,0		

* 4 = slecht, 5 = onvoldoende, 6 = voldoende, 7 = ruim voldoende, 8 = goed, 9 = zeer goed, 10 = uitmuntend

In de enquête is gevraagd een cijfermatige beoordeling (van 1 tot en met 10) te geven voor de verschillende aspecten van de uitvoering en bediening van de FE en CP-cel. Tabel 4 geeft de belangrijkste resultaten. Er is onderscheid gemaakt in de hardware (de meetopstelling) en de software voor het opslaan en verwerken van de meetresultaten. Gevraagd is naar aspecten van de technische uitvoering (robustheid, constructie en gebruikte materialen) en de bedieningsaspecten (bedieningsgemak, eenvoud en veiligheid).

De uitvoering van de FE-cel blijkt ruim voldoende tot goed te worden beoordeeld door de 23 geënuquêteerden. De hardware en de software van de FE-cel worden door de geënuquêteerden goed beoordeeld qua bedieningsaspecten en constructie (7 à 8). Vrijwel alle geënuquêteerden vinden de hardware van de FE-cel robuust, veilig en goed geconstrueerd van goede materialen. Ook de eenvoud en het bedieningsgemak van de hard- en software worden in zijn algemeenheid goed beoordeeld. De mogelijkheden en de snelheid van de software worden unaniem van ruim voldoende tot goed beoordeeld.

De CP-cel wordt qua hardware met ruim voldoende (gemiddeld een 7) iets lager beoordeeld dan de FE-cel. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vragen voor de CP-cel door de helft van de geënuquêteerden zijn beantwoord.

7.2 Toegevoegde waarde en toepassingsgebied

Twintig van de drieëntwintig geënuquêteerden zien een duidelijke toegevoegde waarde van de FE- en CP cel ten opzichte van de bestaande technieken voor de slibkarakterisering, zoals de CST-, MFT- en zeeftest. Drie geënuquêteerden vinden de toegevoegde waarde nog onduidelijk of moeilijk te beoordelen.

Als toegevoegde waarde van de beide cellen worden vooral genoemd:

- er wordt een duidelijker correlatie met de praktijk gevonden (6x);
- de hoge graad van automatisering van de metingen en de snelle softwarematige verwerking van de meetgegevens (8x);
- er wordt meer inzicht verkregen in de onderliggende processen bij de slibontwatering (3x).
- een betere optimalisatie van de PE-dosering is mogelijk.

In de enquête is gevraagd om een cijfermatige beoordeling te geven van de toepassingsgebieden van de meetcel. Tabel 5 vat hiervan de resultaten samen.

Tabel 5: Beoordeling van de toepassing van de meetcellen.

	Fe-cel		CP-cel	
	gemiddeld*	st.dev.	gemiddeld*	st. dev
Geschiktheid voor:				
optimalisatie van de slibontwatering	7,6	0,9	6,5	1,5
troubleshooting	7,2	1,1	6,2	1,5
voorspelling van praktijkresultaten	6,8	1,4	5,7	1,2
doormeten van de sliblijn	6,9	1,0	5,8	1,6
vaststellen van externe invloeden	6,6	1,3	6,1	1,7

* 4 = slecht, 5 = onvoldoende, 6 = voldoende, 7 = ruim voldoende, 8 = goed, 9 = zeer goed, 10 = uitmuntend

De geënuquêteerden zien vooral een goede toepassing voor de FE-meetcel; met name de toepassing voor de optimalisatie van de slibontwatering scoort hoog. Ook het doormeten van de sliblijn en het opsporen van knelpunten in het functioneren van de complete sliblijn (troubleshooting) wordt als een goede toepassing gezien.

Toepassing van de CP-cel wordt in het algemeen wisselend beoordeeld. Een aantal geënquêteerden ziet voor de CP-cel een nuttige toepassing voor de optimalisatie van de slibontwatering en troubleshooting. De inzet van de CP-cel voor de voorspelling van praktijkresultaten, het doormeten van de sliblijn en het vaststellen van de externe invloeden (o.a. de procesvoering van de afvalwaterzuivering, menging van slibsoorten) met de CP-cel worden matig beoordeeld. Er bestaat een sterke voorkeur voor een mobiele opstelling, zodat de meetcellen op meerdere lokaties toegepast kan worden.

7.3 Aanschaf van de cellen en prijsniveau

In de enquête is gevraagd of men de aanschaf van een dergelijk meetinstrument overwoog. Circa 20% van de geënquêteerden (5) reageerde hier positief op. Circa 35% (8) geeft aan de metingen met de FE-cel of de CP-cel liever uit te besteden aan een externe deskundige. Redenen die hiervoor genoemd worden, zijn het niet routinematige karakter van dergelijke metingen op slibontwateringsinstallaties en de expertise die nodig is voor het uitvoeren van de metingen en het interpreteren van de meetresultaten. Circa 35 % (8) van de geënquêteerden geeft aan meer (praktijk)informatie nodig te hebben om een mening te kunnen vormen.

De meetcellen zijn nog niet in de handel verkrijgbaar. Het in de handel brengen van de CP-cel wordt niet overwogen blijkens de resultaten van dit onderzoek. De FE-cel zal naar wens en behoefte gefabriceerd moeten worden. De prijs van een complete FE-cel opstelling met meet- en weegapparatuur, roerder, computer en gegevensverwerking wordt bij een produktie-aantal van 10 stuks geschat op f 60.000,-.

De kosten van een FE-cel opstelling zonder bijbehorende randapparatuur (elektronische balans, roerder en computer) worden geschat op f 45.000,-.

7.4 Conclusies

Uit de resultaten van de enquête kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De geënquêteerden hebben een positieve indruk van de FE- en de CP-cel. De uitvoering van de meetcellen en de software worden positief beoordeeld. De snelle software-matige verwerking van de meetgegevens wordt ook als voordeel gezien.
- De geënquêteerden zijn van mening dat de resultaten van de FE-cel een betere correlatie met de praktijk opleveren dan de bestaande methoden voor slibkarakterisering.
- De geënquêteerden zien vooral voor de FE-cel goede toepassingsmogelijkheden, met name bij de optimalisatie van de slibontwatering. De toepassingsmogelijkheden voor de CP-cel worden als minder breed beoordeeld.
- Een aantal geënquêteerden meent dat metingen met deze cellen aan externe deskundigen moet worden uitbesteed.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de waterkwaliteitsbeheerders goede toepassingsmogelijkheden zien voor de FE-cel. De interpretatie van de metingen wordt als specialistisch ervaren. De metingen zullen in eerste instantie naar verwachting niet routinematig worden uitgevoerd.

8 CONCLUSIES

- In dit onderzoek is de toepasbaarheid van de FE-cel en de CP-cel voor de optimalisatie van de slibontwatering onderzocht op acht lokaties in Nederland waarbij alle in Nederland gangbare ontwateringssystemen waren vertegenwoordigd. Gebleken is dat de FE-cel toepasbaar is voor het bepalen van de invloed van de
 - dosering en type polyelectrolyt;
 - mengintensiteit van slib en polyelectrolyt;
 - menging van slibsoorten;
 - aangelegde mechanische druk en perstijd;
 - voorconditionering met FeCl_3 ;
 - doseerconcentratie van de polyelectrolytoplossing;
 - toevoeging van filtratiehulpmiddelen;
 - appendages in de sliblijn;op het ontwateringsresultaat in de rwzi-praktijk.

Ook is gebleken dat de FE-cel behulpzaam kan zijn bij de keuze van de procesopzet of de dimensionering van nieuwe slibontwateringsinstallaties.

Met de CP-cel kan eveneens de invloed van de bovengenoemde aspecten op het ontwateringsgedrag van slibkoeken worden onderzocht. Met de CP-cel kan informatie worden verkregen over de invloed van toevoeging van filtratiehulpmiddelen op de structuur van slibkoeken. De CP-cel metingen vergen beduidend meer tijd dan FE-cel metingen.
- De filtratie-expressiecel biedt vele voordelen ten opzichte van de conventionele methoden ter bepaling van de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib, zoals het CST-apparaat en de Modified Filtration Test. De FE-cel biedt alle voordelen van een geautomatiseerde meetopstelling zoals snelheid, nauwkeurigheid, dataopslag en dataverwerking en is daardoor weinig arbeidsintensief en gebruiksvriendelijk. De FE-cel legt het gehele dynamische ontwateringsgedrag van een slib suspensie vast. Dit in tegenstelling tot de andere meetmethoden waarbij slechts een aantal ontwateringsparameters wordt vastgelegd. De reproduceerbaarheid van de FE-cel metingen daarbij is zeer goed.

Een belangrijk voordeel van de CP-cel ten opzichte van de conventionele karakteriseringsmethoden is dat informatie kan worden verkregen over de ontwaterbaarheid van slibkoeken gedurende de persfase, die een groot deel uitmaakt van het gehele ontwateringsproces. De conventionele methoden geven slechts informatie over het begin van het ontwateringsproces, de filtratiefase.
- De FE-cel geeft informatie over de omstandigheden waarbij een hoog drogestofgehalte bij een lage filtratieweerstand kan worden behaald, zoals de polyelectrolytkeuze, de mengenergie en de doseerverhouding. Een toename in einddrogestofgehalte van 1-3 gew.%, die in verschillende experimenten met de FE-cel werd behaald, leverde een aanzienlijke besparing op de kosten voor de slibafzet.

Voor geheel Nederland zou bij een één tot drie procent hoger einddrogestofgehalte in totaal f 10.000.000 tot f 30.000.000 per jaar op de slibafzetkosten kunnen worden bespaard.
- De marktverkenning geeft aan dat de ontwikkelde apparatuur bij de potentiële gebruikers hoog scoort op de punten robuustheid, betrouwbaarheid, nauwkeurigheid en gebruiksmogelijkheden. De toepassingsmogelijkheden sluiten goed aan bij de praktijkbehoeften. Daarbij wordt de interpretatie van de metingen als specialistisch ervaren.

9 REFERENTIES

- [1]* Janssen, P.M.H., Herwijn, A.J.M., Werkrapport Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib bij de KSO Zwolle, 1995.
- [2]* Janssen, P.M.H., Herwijn, A.J.M., Werkrapport Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib bij de awzi Ridderkerk, 1995.
- [3]* Haar, v.d. M.J.H., Schepman, J.R.A.G., Werkrapport Meting van ontwateringseigenschappen van uitgegist slib bij de rwzi Leiden-Zuid-West, 1995.
- [4]* Janssen, P.M.H., Herwijn, A.J.M., Werkrapport Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib bij de rwzi Amsterdam-Oost, 1995.
- [5]* Janssen, P.M.H., Herwijn, A.J.M., Werkrapport Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib bij de rwzi Gennep, 1995.
- [6]* Haar, v.d. M.J.H., Schepman, J.R.A.G., Werkrapport Meting van slibontwateringseigenschappen op de rwzi Enschede-West, 1996.
- [7]* Janssen, P.M.H., Herwijn, A.J.M., Werkrapport Meting van ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib bij de rwzi Bath, 1996.
- [8] Herwijn, A.J.M., La Heij, E.J., Janssen, P.M.H., Coumans, W.J., Kerkhof, P.J.A.M., Fundamentele aspecten van slibontwatering, eindrapport RWZI 2000 94-02, 1994.
- [9] Herwijn, A.J.M., Fundamental aspects of sludge characterization, dissertatie, Faculteit Scheikundige Technologie, Technische Universiteit Eindhoven, 1996.
- [10] Janssen, P.M.H., Herwijn, A.J.M., La Heij, E.J., Coumans, W.J., Kerkhof, P.J.A.M., Het uittesten van de Filtratie-Expressiecel in de praktijk, rapport RWZI 2000 94-07, 1995.
- [11] La Heij, E.J., An analysis of sludge filtration and expression, dissertatie, Faculteit Scheikundige Technologie, Technische Universiteit Eindhoven, 1994.

* Op te vragen bij de Hydrotheek van STOWA

Bijlagen

Bijlage 1 CONDITIONERING VAN SLIB MET POLYELECTROLYT OP LABORATORIUMSCHAAL

1 Inleiding

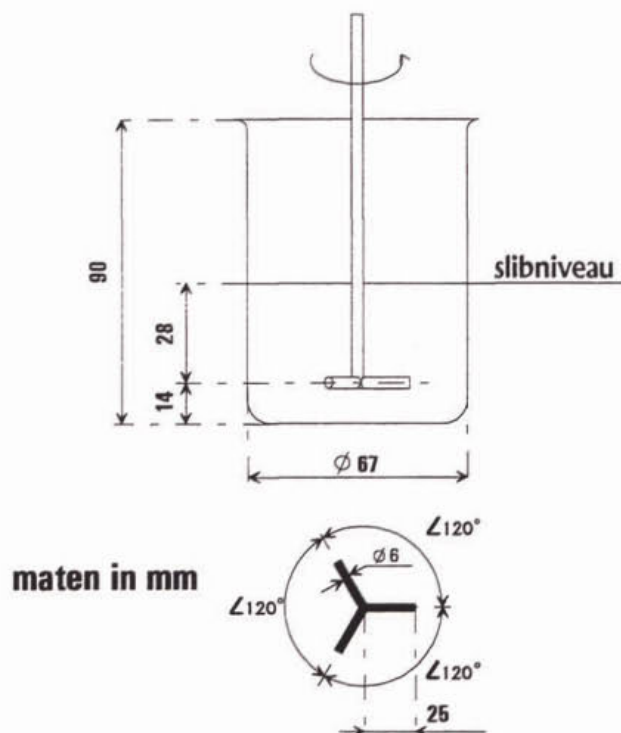
De ontwaterbaarheid van slib geflocculeerd met polyelectrolyt (pe) is afhankelijk van een groot aantal factoren: type en dosering pe, menging van slib met pe, drogestofgehalte van het slib, slibsoort etc.

In dit voorschrift wordt een methode voor de monsterbehandeling en een standaard meting met de FE-cel beschreven. Hierbij wordt niet ingegaan op het type pe, de optimale dosering en menging van slib met pe. Alleen de van belang zijnde parameters voor het uitvoeren van een representatieve FE-meting worden vastgelegd.

2 Monsterpreparatie

De te gebruiken pe-stamoplossing wordt minimaal 16 uur voor gebruik aangemaakt in een concentratie van 10 g/l (= 1 gew.%). Een uur voor gebruik wordt de stamoplossing 10 x verdund zodat een werkoplossing van 1 g/l (= 0,1 gew.%) wordt verkregen. De stamoplossing wordt bewaard bij 5 °C en maximaal 1 week gebruikt, terwijl de werkoplossing dagelijks vers wordt aangemaakt.

Het uitgangsslib wordt op een drogestofgehalte gebracht van 3 gew.%. Van dit wordt 100 gram slib afgewogen. De gewenste polymeerdosering wordt toegevoegd. Het monster wordt aangevuld met leidingwater tot een totaalgewicht van 150 gram en gemengd met de gewenste mengintensiteit. Het is van belang om na elke handeling het juiste gewicht te noteren om achteraf altijd de juiste parameters bij de berekeningen te kunnen gebruiken.



hulpmiddelen

roermotor	draaisnelheid 0-2000 min ⁻¹
roerder	zie figuur
bekerglas	250 ml

positionering van de roerder

De roerder wordt zodanig in het bekerglas geplaatst dat de roerder gecentreerd staat ten opzichte van het bekerglas en de afstand tussen de roerder en de bodem van het bekerglas $\frac{1}{3}$ deel is van de afstand van de afstand tussen het slibniveau en de bodem (zie figuur 10).

voorbeeld

In navolgend voorbeeld wordt een slib met een uitgangsdrogestofgehalte van 4 gew.% geflocculeerd met 5 gram pe per kilogram drogestof. Er wordt een pe-oplossing van 0,1 gew.% gebruikt.

Figuur 10 Positionering van roerder in bekerglas.

- Het uitgangsslib met een drogestofgehalte van 4 gew.% wordt verdund met leidingwater tot een drogestofgehalte van 3 gew.% .

- Aan 100 g van het slibmonster wordt 15 g van de 0,1 gew.% pe-oplossing toegevoegd.

Berekening:

100 g slib bevat: $0,1 \text{ [kg slib]} \cdot 30 \text{ [g ds/kg slib]} = 3 \text{ g droge stof.}$

gewenste pe- dosering: 5 g pe/ kg ds.

$\Rightarrow$ toe te voegen hoeveelheid pe: $5 \text{ [g pe/ kg ds]} \cdot 0,003 \text{ [kg ds]} = 0,015 \text{ g pe}$

$\Rightarrow$ toe te voegen hoeveelheid pe-oplossing: $\frac{0,015 \text{ [g pe]}}{1,0 \text{ [g pe / kg opl.]}} \cdot 1000 = 15 \text{ g pe-oplossing}$

- Het monster wordt met water aangevuld zodanig dat de totale monstermassa 150 gram is.
- Meng het monster met de gewenste roersnelheid en het gewenste toerental.

Door het toevoegen van de pe-oplossing en het aanvullen van het monster met water is het drogestofgehalte van het monster veranderd. Het nieuwe drogestofgehalte bedraagt:

$$\frac{100}{150} \cdot 3 \text{ gew.\%} = 2 \text{ gew.\%}$$

Het monster is nu gereed om te worden doorgemeten in de FE-cel.

3 Standaard meting met de FE-cel

Toestellen en hulpmiddelen

- ♦ FE-cel (voor een beschrijving zie hoofdstuk 1)
- ♦ Filtreerpapier Schleicher & Schüll Ø 70mm
- ♦ Bekerglas 250 ml
- ♦ Balans met RS232 uitgang
- ♦ PC met software pakket Lucy

Gegeven

- ♦ monstermassa 150 gram
- ♦ drogestofgehalte monster 2 gew.%

Instellingen FE-cel

- ♦ druk 3 bar
- ♦ perstijd 15 minuten

Voer de bepaling met slib uit bij kamertemperatuur.

Het slibmonster wordt in de FE-cel gebracht en uitgeperst bij een aangelegde overdruk van 3 bar. De massa van het filtraat wordt als functie van de tijd geregistreerd. Na 15 minuten wordt de proef beëindigd.

De indamprest van de filterkoek wordt bepaald door deze te drogen bij 105 °C volgens NEN 6620.

4 Verslaglegging

Vermeld in het verslag:

- de gegevens die noodzakelijk zijn voor de identificatie van het slib;
- het pe-type en de pe-dosering;
- de mengintensiteit slib met pe;
- het drogestofgehalte van de filterkoek;
- de gemiddelde specifieke filtratieweerstand;
- het filtratie-expressie-omslagpunt;
- eventuele bijzonderheden tijdens de bepaling waargenomen;
- alle niet in het voorschrift voorgeschreven handelingen die het resultaat kunnen hebben beïnvloed.

Bijlage 2 DOSERING EN TYPE POLYELECTROLYT

1 Zeefbandpersen te rwzi Bath

Bij de rwzi Bath worden zeefbandpersen toegepast voor de slibontwatering. Het ontwateringsgedrag van uitgestort Bath-slib, geflocculeerd met de polymeren Zetag 87 en Sedipur CF505, is zowel in de FE-cel als in de praktijk onderzocht.

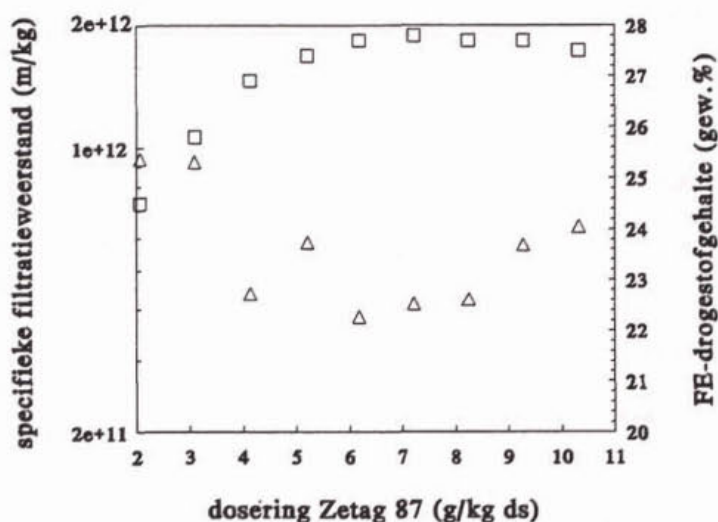
FE-cel

In een serie experimenten zijn slibmonsters met een drogestofgehalte van 4,1 gew.% op laboratoriumschaal geflocculeerd met verschillende doseringen Zetag 87 en in de FE-cel doorgemeten.

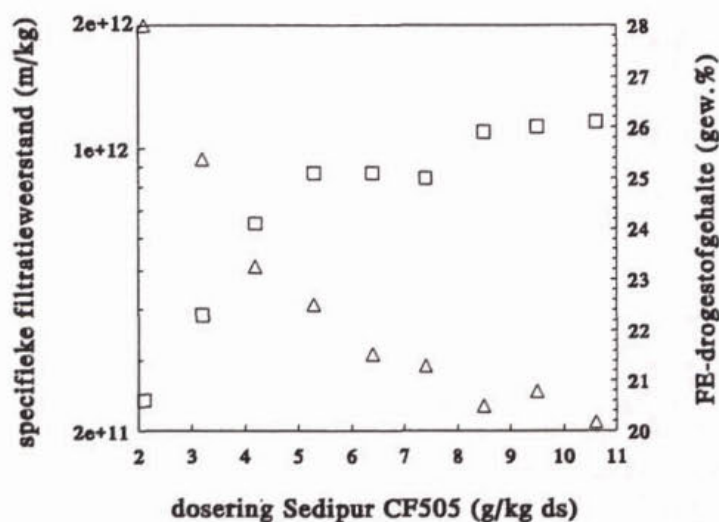
In een andere serie zijn slibmonsters met een drogestofgehalte van 4,0 gew.% op laboratoriumschaal geflocculeerd met verschillende doseringen Sedipur CF505 en in de FE-cel doorgemeten.

Bij alle experimenten is een perstijd aangehouden van 15 minuten. In figuur 11 zijn de specifieke filtratieweerstand en het FE-drogestofgehalte van de filterkoek uitgezet als functie van de dosering Zetag 87. Figuur 12 doet dit voor de Sedipur CF505-experimenten.

Figuur 11 Specifieke filtratieweerstand (Δ) en einddrogestofgehalte ($\square$) als functie van de dosering Zetag 87.



Figuur 12 Specifieke filtratieweerstand (Δ) en einddrogestofgehalte ($\square$) als functie van de dosering Sedipur CF505.



Evaluatie

In de figuren 11 en 12 zijn twee duidelijk verschillende karakteristieken waarneembaar. Bij Zetag 87 is een maximum bij het FE-drogestofgehalte in combinatie met een minimum bij de specifieke filtratieweerstand te constateren bij een dosering van 6 à 7 g Zetag 87/kg ds. Bij Sedipur CF505 neemt het FE-drogestofgehalte toe en de specifieke filtratieweerstand af als functie van de dosering. De optimale dosering Sedipur ligt bij 8 à 9 g/kg ds. Wat verder opvalt is dat de FE-drogestofgehalten bij flocculatie met Zetag 87 aanzienlijk hoger liggen dan bij flocculatie met Sedipur CF505.

Uit de metingen met de FE-cel kan geconcludeerd worden dat Bath-slib geflocculeerd met Zetag 87 betere ontwateringsresultaten geeft dan met Sedipur CF505. Tevens ligt de optimale dosering bij flocculatie met Zetag 87 lager dan met Sedipur CF505. De vraag is nu of deze resultaten verkregen in de FE-cel vertaald kunnen worden naar de praktijksituatie. Het onderzoek hiernaar is in de volgende paragraaf beschreven.

Correlatie van FE-cel metingen met de praktijk

Om het ontwateringsgedrag van Bath-slib geflocculeerd met Zetag 87 en Sedipur CF505 in de praktijk onderling met elkaar te vergelijken en de correlatie met de FE-cel metingen te kunnen leggen is een praktijktest met beide polymeren uitgevoerd.

De polymeren Zetag 87 en Sedipur CF505 zijn in de praktijk op twee verschillende zeefbandpersen naast elkaar gebruikt. De polymeerdosering wordt automatisch geregeld met de zogenaamde Zenofloc-apparatuur. Geflocculeerde monsters zijn om het kwartier gedurende anderhalf uur afgetapt vóór de voorontwateringsfase van de zeefbandpers en doorgemeten in de FE-cel (procesomstandigheden: 15 minuten persen bij een aangelegde druk van 3 bar; monstermassa 120 g). Het drogestofgehalte van de filterkoek is bepaald. De polymeerdoseringen zijn berekend aan de hand van de instellingen van de slibdoseerpomp, de polymeerconcentratie en de hoeveelheid verdunningswater.

Tien minuten na het aftappen van een praktijkmonster is een monster van de praktijkkoek genomen en het drogestofgehalte ervan bepaald. De polymeerdosering wordt gelijk verondersteld aan het hiervoor in de FE-cel doorgemeten praktijkmonster omdat een ontwateringscyclus in de praktijk ongeveer tien minuten duurt. In tabel 6 zijn de gemiddelde waarden van de metingen over de meetperiode weergegeven.

Tabel 6 Resultaten van praktijkmonsters doorgemeten in de FE-cel en drogestofgehalten van praktijkfilterkoeken bij flocculatie met Sedipur CF505 en Zetag 87.

polymeer	dosering polyelectrolyt (g pe/kg ds)	FE-drogestof- gehalte (gew. %)	specifieke filtra- tieweerstand α (10^{11} m/kg)	praktijk- drogestofgehalte (gew. %)
<i>Sedipur CF505</i>	6,8	26	14,4	22
<i>Zetag 87</i>	5,3	27	9,0	23

Evaluatie

Uit tabel 6 blijkt dat de praktijkdosering 20% lager ligt dan de optimale dosering bepaald met de FE-cel. Het blijkt dat het praktijkdrogestofgehalte van de filterkoeken bij flocculatie met Zetag 87 hoger is dan bij flocculatie met Sedipur CF505. Dit is ook het geval voor het FE-drogestofgehalte. Het verschil tussen de absolute waarde van het FE- en het praktijkdrogestofgehalte is 4 gew. % en ontstaat door het feit dat het FE-drogestofgehalte bepaald wordt na 15 minuten persen in de FE-cel. Vooraf moet de FE-cel eerst "gefit" worden aan de praktijk; het FE-drogestofgehalte is dan gelijk aan het praktijkdrogestofgehalte.

Op labschaal wordt gevonden dat Zetag 87 betere ontwateringsresultaten oplevert met Bath-slib dan Sedipur CF505 en dat de optimale dosering van Zetag 87 lager ligt dan de optimale dosering van Sedipur CF505 (zie tabel 6). Dit blijkt ook in de praktijk het geval te zijn.

Voor zeefbandpersen kan met de FE-cel het polymeer met de beste praktijk-ontwateringsresultaten worden gevonden.

Er bestaat een duidelijke correlatie tussen op de laboratoriumschaal verkregen resultaten en de praktijkresultaten.

2 Centrifuges te Leiden Zuid-West

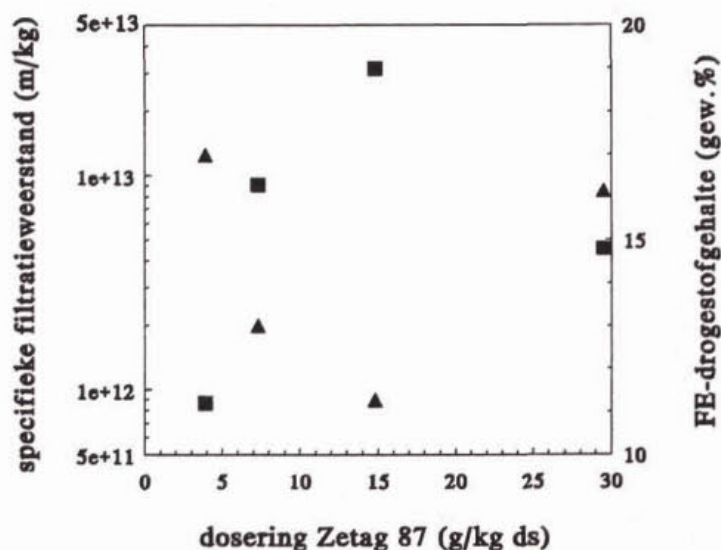
Bij de RWZI Leiden-Zuid-West worden centrifuges toegepast voor de ontwatering van uitgestist slib. De optimale dosering van het in de praktijk gebruikte polymeer Zetag 87 is met de FE-cel bepaald. Ook is het ontwateringsgedrag van slib, geflocculeerd met verschillende andere polymeren, in de FE-cel onderzocht.

FE-cel

Met de FE-cel werd de optimale dosering van het praktijkpolymeer Zetag 87 bepaald. Daarnaast zijn verscheidene andere polymeren in de FE-cel onderzocht. Dit alles bij een persdruk van 3 bar en een perstijd van 15 minuten. De resultaten voor de bepaling van de optimale dosering Zetag 87 zijn weergegeven in figuur 13; in deze figuur zijn de specifieke filtratieweerstand en het FE-drogestofgehalte als functie van de dosering uitgezet.

In de FE-cel bleek van de reeks doorgemeten polymeren slechts Zetag 78FS40 betere resultaten op te leveren dan het praktijkpolymeer Zetag 87. De resultaten van de FE-cel metingen met Zetag 78FS40 in vergelijking met Zetag 87 zijn weergegeven in de figuren 14 en 15. De resultaten bereikt met de FE-cel blijken goed overeen te komen met de praktijkresultaten.

Figuur 13 De specifieke filtratieweerstand ($\blacktriangle$) en het FE-drogestofgehalte ($\blacksquare$) als functie van de dosering Zetag 87.

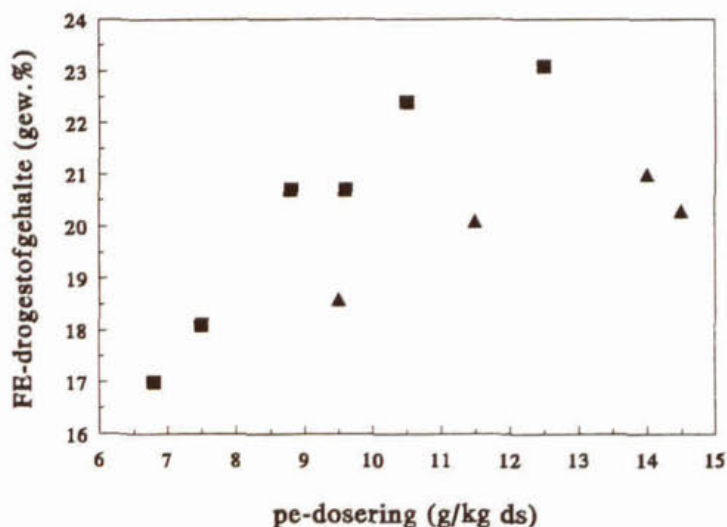


De optimale polyelectrolytdosering ligt in de buurt van 15 g/kg ds. Uit figuur 14 blijkt dat Zetag 78FS40 in de FE-cel betere ontwateringsresultaten geeft dan Zetag 87. De grote spreiding in de waarden voor de specifieke filtratieweerstand is niet te verklaren (zie figuur 15). Het polymeer Zetag 78FS40 is nadien in de praktijk getest. De resultaten zijn beschreven in de navolgende paragraaf.

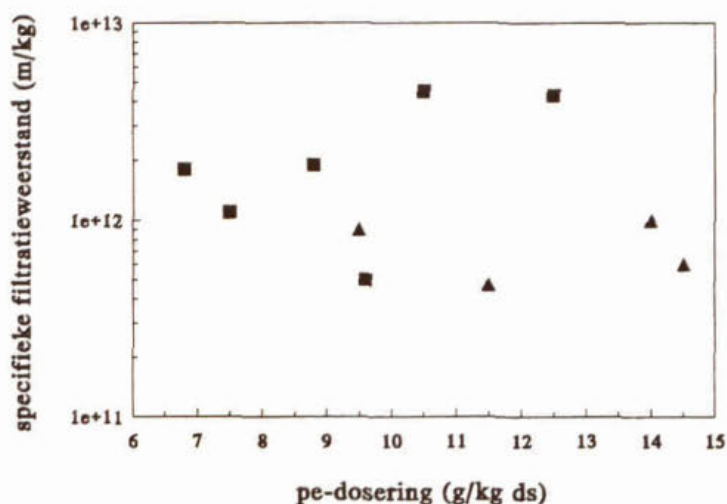
Correlatie van FE-cel metingen met de praktijk

In Leiden Zuid-West is de praktijkdosering Zetag 87 ongeveer 14 g/kg ds. Deze komt overeen met de in de FE-cel bepaalde optimale dosering.

Figuur 14 Het FE-drogestofgehalte als functie van de dosering voor Zetag 87 (▲) en Zetag 78FS-40 (■).



Figuur 15 De specifieke filtratieweerstand als functie van de dosering voor Zetag 87 (▲) en Zetag 78FS40 (■).



Bij lagere doseringen ging de centraatkwaliteit achteruit en kon met de centrifuge geen koppel kon worden opgebouwd. Door het gebruik van Zetag 78FS40 is dit probleem verholpen en werden hogere praktijkdrogestofgehalten gehaald.

De winst in drogestofgehalte is circa 1,5 gew.%. Verder bleek een lagere dosering polymeer mogelijk, nl. 11 à 12 g Zetag 78FS40/kg ds.

3 Centrifuges bij de KSO Zwolle

Bij de Kunstmatige Slibontwatering (KSO) Zwolle is voor twee typen polymeer, Nalco 41/30 en Zetag 87, de invloed van de dosering op de ontwateringseigenschappen onderzocht, zowel in de FE-cel als in de praktijk. Ongeflocculeerde monsters zijn afgetapt uit het systeem en op laboratoriumschaal geflocculeerd met polymeer gelijk aan de praktijkdosering. Bij Nalco 41/30 is het monster afgetapt na de Fe^{3+} -voordosering. Bij Zetag 87 is geen Fe^{3+} voorgedoseerd. In de praktijk zijn monsters van de praktijkkoek bij verschillende doseringen polymeer genomen en is het drogestofgehalte ervan bepaald. In de tabellen 7 en 8 zijn de resultaten weergegeven voor

respectievelijk Nalco 41/30 en Zetag 87. De praktijkdoseringen zijn weergegeven in de grijze rijen.

Tabel 7 *Onderlinge vergelijking van de ontwateringsresultaten van de praktijk en de FE-cel; type pe is Nalco 41/30; praktijkdosering is 4,0 g pe/kg ds.*

dosering (g pe/kg ds)	verschil toerental (rpm)	koppel (Nm)	ds centrifuge (gew%)	ds centraat (g/l)	ds FE-cel (gew%)	α (10^{11} m/kg)
1,0	niet mogelijk; geen koppel op te bouwen				9,6	425
2,0	1,25	99	21,9	15,5	15,3	109
4,0	3,5	150	24,1	0,1	20,1	8
8,0	3,8	150	24,9	0,1	21,6	8
10,0	2,7	150	24,1	0,1	21,6	11

Tabel 8 *Onderlinge vergelijking van de ontwateringsresultaten van de praktijk en de FE-cel; type pe: Zetag 86; praktijkdosering is 7,3 g pe/kg ds.*

dosering (g pe/kg ds)	verschil toerental (rpm)	koppel (Nm)	ds centrifuge (gew%)	ds centraat (g/l)	ds FE-cel (gew%)	α (10^{11} m/kg)
3,6	niet mogelijk; geen koppel op te bouwen				18,0	14
5,5	1,4	110	21,8	1,4	20,9	5
7,3	3	140	23,3	0,1	21,7	4
14,6	3	140	24,1	0,1	21,4	9
16,0	2,2	140	23,8	0,1	22,4	9

Evaluatie

Wat in de tabellen 7 en 8 duidelijk opvalt is dat, bij verlaging van de polymeerdosering naar lagere waarden dan de praktijkdosering, zowel het praktijkdrogestofgehalte als het FE-drogestofgehalte afneemt. Tevens wordt de centraatkwaliteit slechter, er blijft meer drogestof achter in het centraat. De vast-vloeistofscheiding wordt slechter. Het op te bouwen koppel, een maat voor de sterkte van de vlokken, neemt af. Dit komt in de FE-cel tot uiting in een verhoging van de specifieke filtratieweerstand.

Verhoging van de dosering heeft zowel in de FE-cel als in de praktijk geen duidelijke invloed op de ontwaterbaarheid van het slib bij flocculatie met Zetag 87. Bij flocculatie met Nalco 41/30 worden in de FE-cel bij verhoging van de polymeerdosering hogere drogestofgehalten bereikt; dit is in de praktijk niet of nauwelijks het geval.

4 Kamerfilterpersen te RI Amsterdam-Oost

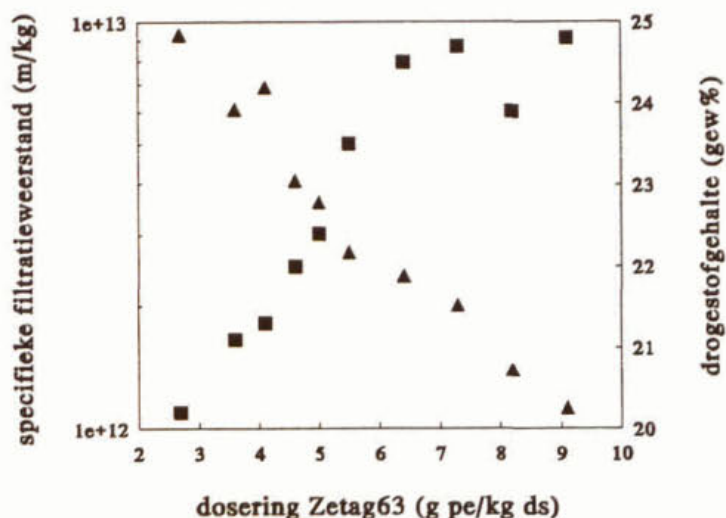
Bij de RI Amsterdam-Oost worden kamerfilterpersen toegepast voor de ontwatering van uitgegist slib. De optimale dosering van het in de praktijk gebruikte polymeer Zetag 63 is met de FE-cel bepaald. Ook is het ontwateringsgedrag van slib, geflocculeerd met verschillende andere polymeren, in de FE-cel onderzocht. De pe-dosering in de praktijk is 5,5 g pe/kg ds. In figuur 16 zijn de specifieke filtratieweerstand en het FE-drogestofgehalte als functie van de dosering Zetag 63 weergegeven. Het in de praktijk bereikte drogestofgehalte is ongeveer 24 gew.%. In tabel 9

zijn het FE-drogestofgehalte en de daarbij behorende specifieke filtratieweerstand α voor zes andere polymeren, onderzocht in de FE-cel, weergegeven.

Tabel 9 Het FE-drogestofgehalte met de daarbij behorende specifieke filtratieweerstand van Amsterdam-slib geflocculeerd met zeven polymeren.

	Zetag 87	Kemflok 585	Kemflok 580	Zetag 78FS40	Kemflok EM880	Kemflok EM885	Zetag 63
dosering (g pe/kg ds)	8	8	7	8	8	8	7
FE-drogestof- gehalte (gew. %)	30	29	29	31	30,5	30	24,8
α (10^{11} m/kg)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	20

Figuur 16 De specifieke filtratieweerstand ($\blacktriangle$) en het FE-drogestofgehalte ($\blacksquare$) als functie van de dosering Zetag 63 bij uitgestort Amsterdam-slib.

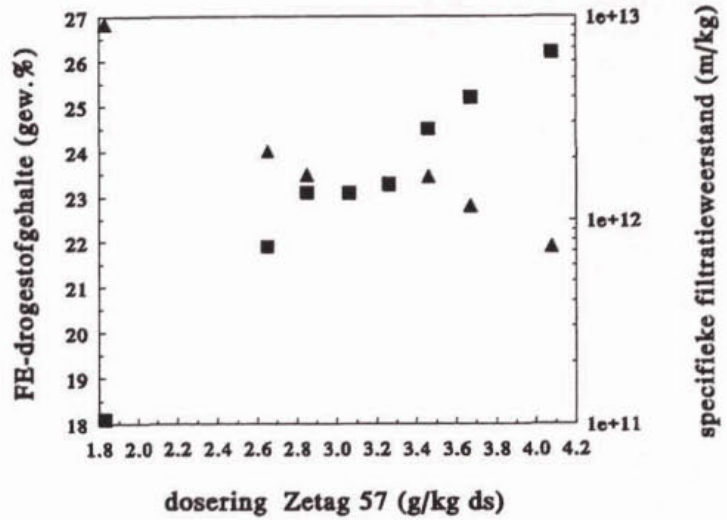


In het gemeten bereik van pe-doseringen heeft een kleine verandering in dosering een grote invloed op de slibontwateringseigenschappen. De FE-cel metingen wijzen op een optimale Zetag 63-dosering van 7 g pe/kg ds. Deze dosering ligt ca. 20% hoger dan de in de praktijk gebruikte dosering. De metingen laten zien dat alle andere polymeren een hoger FE-drogestofgehalte geven. Of dit in de praktijk ook het geval zal zijn, is niet onderzocht. Zetag 63 wordt gebruikt omdat dit het minste "plakgedrag" zou vertonen. Plakgedrag kan niet met de FE-cel worden onderzocht.

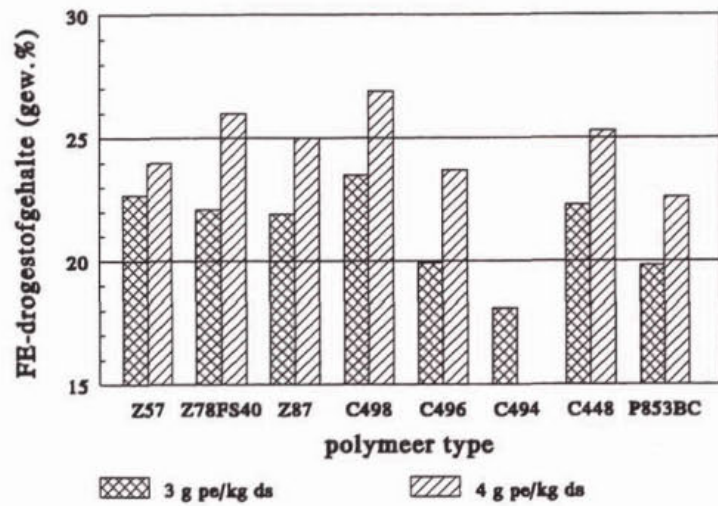
5 Membraanfilterpersen te RWZI Enschede-West

Bij RWZI Enschede-West worden membraanfilterpersen gebruikt voor de ontwatering van aëroob slib. De invloed van de dosering van het praktijkpolymeer Zetag 57 op de ontwateringseigenschappen is onderzocht in de FE-cel. De praktijkdosering Zetag 57 is 3,1 g/kg ds. In figuur 17 zijn de specifieke filtratieweerstand en het FE-drogestofgehalte als functie van de Zetag 57-dosering weergegeven. In de figuren 18 en 19 zijn respectievelijk de specifieke filtratieweerstand en het FE-drogestofgehalte als functie van het type polyelectrolyt weergegeven bij twee verschillende doseringen, te weten 3 en 4 g pe/kg ds. In de grafieken staat Z voor Zetag, C voor Cytec en P voor Praestol.

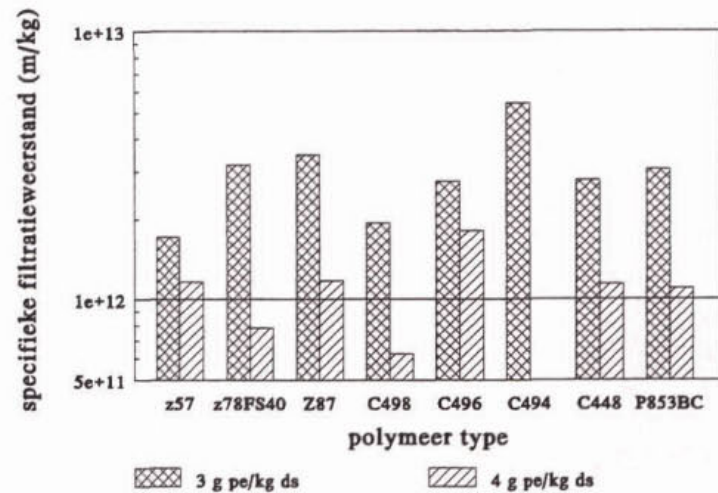
Figuur 17 De specifieke filtratieweerstand ($\blacktriangle$) en het FE-drogestofgehalte ($\blacksquare$) als functie van de dosering Zetag 57.



Figuur 18 Het FE-drogestofgehalte als functie van het type pe en pe-dosering.



Figuur 19 De specifieke filtratieweerstand als functie van het type pe en pe-dosering.



De dosering van Zetag 57 wordt in de praktijk laag gehouden (3,1 g/kg ds), omdat bij hogere doseringen de filterkoeken moeilijker kunnen worden gelost. De FE-cel wijst op betere ontwateringseigenschappen bij hogere pe-dosering, nl. op een optimale dosering boven 4,4 g/kg ds. Het plakgedrag kan echter niet onderzocht worden met de FE-cel.

Verschillende andere polymeren zorgen voor een beter ontwateringsgedrag dan Zetag 57. Op praktijkschaal is dit effect niet gecontroleerd.

Uit figuur 18 blijkt dat zowel bij 3 als bij 4 g pe/kg ds bij toenemende kationische lading (reeks Cytec C494, C496 en C498) het FE-drogestofgehalte toeneemt. Een lagere molecuulmassa van het pe (vergelijk Cytec C498 met Cytec C448) geeft een lager FE-drogestofgehalte.

Voor alle pe-soorten geldt dat een dosering van 4 g pe/kg ds een lagere specifieke filtratieweerstand oplevert dan een oplossing van 3 g pe/kg ds. Duidelijk is te zien dat een afnemende kationische lading (reeks Cytec C498, C496 en C494) een hogere specifieke filtratieweerstand geeft. Ook een lagere molecuulmassa (vergelijk Cytec C498 en C448) geeft een hogere specifieke filtratieweerstand.

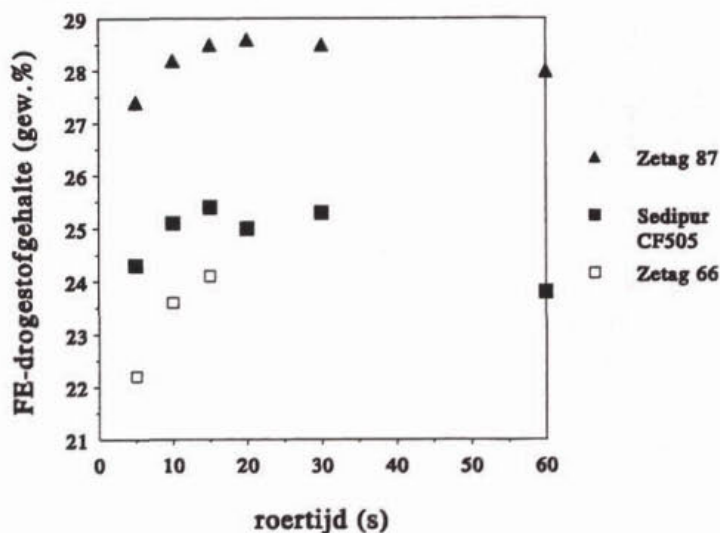
Bijlage 3 MENGINTENSITEIT VAN SLIB EN POLYELECTROLYT

1 Metingen op laboratoriumschaal

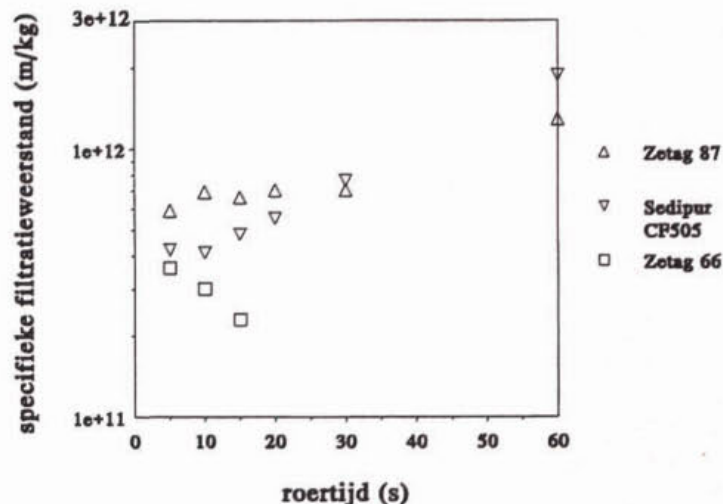
De menging van slib met polyelectrolyt is steeds uitgevoerd bij een constante roerdersnelheid van 1000 rpm [8]. De mengtijd is gevarieerd tussen 0 en 60 seconden. Alle overige relevante parameters bij menging op labschaal, zoals het volume en de vulgraad van het bekersglas, de afstand van het roerblad tot het monsterniveau, soort roerder etc. zijn constant gehouden. Op basis van de FE-cel metingen wordt een "optimale" mengtijd bepaald voor een bepaalde slib-polymeercombinatie. Met optimaal wordt bedoeld het hoogste FE-drogestofgehalte in combinatie met de laagste specifieke filtratieweerstand.

Als voorbeeld worden navolgend de resultaten van het op de rwzi Bath uitgevoerde onderzoek weergegeven. Uitgestist slib met een drogestofgehalte van 4 gew.% is bij verschillende roertijden op labschaal geflocculeerd met drie verschillende polymeren: Zetag 87 (ca. 5 g/kg ds), Sedipur CF505 (ca. 5 g/kg ds) en Zetag 66 (ca. 6 g/kg ds). De verschillende monsters zijn in de FE-cel doorgemeten. In figuur 20 is het FE-drogestofgehalte en in figuur 21 de specifieke filtratieweerstand als functie van de mengtijd weergegeven voor de drie polymeren.

Figuur 20 Het FE-drogestofgehalte als functie van de roertijd van op labschaal met verschillende polymeren geflocculeerde monsters van Bath-slib.



Figuur 21 De specifieke filtratieweerstand als functie van de roertijd van op labschaal met verschillende polymeren geflocculeerde monsters van Bath-slib.



Bij alle drie de polymeren blijkt verhoging van de mengtijd van 5 naar 15 seconden een verhoging in FE-drogestofgehalte op te leveren. Bij Zetag 87 en Sedipur CF505 is de specifieke filtratieweerstand bij deze mengtijden redelijk constant, terwijl bij Zetag 66 de specifieke filtratieweerstand afneemt. Blijkbaar zijn bij mengtijden korter dan 15 s het slib en het pe nog niet goed gemengd.

Het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand zijn voor Zetag 87 in het gebied tussen 15 en 30 seconden mengen redelijk constant; pas bij vrij lange mengtijd neemt het FE-drogestofgehalte iets af en de specifieke filtratieweerstand iets toe. Dit betekent dat Zetag 87 een sterke vlok vormt met Bath-slib. Ook bij Sedipur CF505 is het FE-drogestofgehalte in het gebied tussen 15 en 30 seconden mengen redelijk constant. Bij 60 seconden mengen treedt een duidelijke afname in FE-drogestofgehalte op. De specifieke filtratieweerstand wordt echter continu hoger naarmate er langer gemengd wordt. Bij dit pe lijkt er een continue vlokafbraak op te treden bij verlenging van de mengtijd. Bij Zetag 66 worden de ontwateringseigenschappen bij verlenging van de mengtijd van 5 naar 15 seconden duidelijk beter; het FE-drogestofgehalte neemt sterk toe en de specifieke filtratieweerstand neemt sterk af. Pas bij voldoende mengtijd wordt een sterke en grote vlok gevormd die bestand is tegen de opgelegde krachten. Praktisch betekent dit dat Bath-slib redelijk intensief gemengd moet worden met de onderzochte polymeren.

Met de FE-cel kan snel een uitspraak worden gedaan over het gedrag van verschillende polymeren met een bepaald slib bij verschillende mengintensiteiten.

2 Praktijkmetingen

De invloed van de mengintensiteit op de ontwaterbaarheid op labschaal en in de praktijk is onderzocht op de rwzi Ridderkerk, waar aëroob gestabiliseerd slib in een mengvat wordt geflocculeerd met Zetag 85. Het polymeer wordt rechtstreeks geïnjecteerd in het roervat en door een roerder met het slib gemengd. De roersnelheid is traploos instelbaar tussen 0 en 40 rpm. De standaard instelling van de praktijkroerder is 8 rpm. Het geflocculeerde slib doorloopt voordat het wordt uitgeperst een voorontwateringsstap.

Bij verschillende roersnelheden van de praktijkroerder (8, 16, 24 en 30 rpm) zijn monsters uit het mengvat genomen en doorgemeten in de FE-cel. Om het effect van de roersnelheid op de werking van de zeefbandpersinstallatie te bepalen is bij de verschillende roerderinstellingen het drogestofgehalte van het "voorontwaterde" slib en het ontwaterde slib bepaald. In tabel 10 zijn de resultaten van de metingen weergegeven.

Tabel 10 Invloed van de absolute hoeveelheid drogestof op het FE-drogestofgehalte en het praktijkdrogestofgehalte bij verschillende roersnelheden in het mengvat.

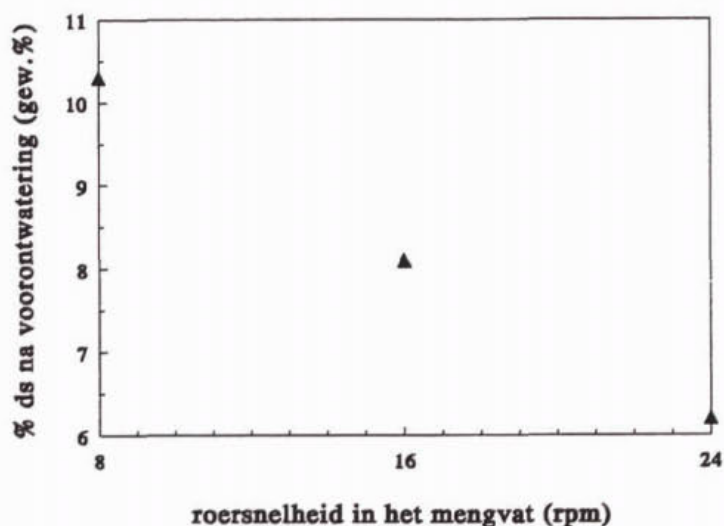
roersnelheid in het mengvat (rpm)	absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel (g)	FE-drogestofgehalte van de filterkoek (gew.%)	drogestofgehalte van de praktijkkoek (gew.%)	monster-massa (g)	begindrogestofgehalte (g/kg)	specifieke filtratieweerstand (10 ¹¹ m/kg)
8	2,9	16,0	16,6	98	29,6	6,3
8	3,0	16,5		144	20,8	3,8
16	1,6	21,4	17,0	100	16,0	5,0
16	1,7	21,1	17,7	99	17,2	3,9
24	2,2	17,6	16,9 / 16,8	99	22,2	8,2
24	2,1	19,0	16,9 / 16,8	101	20,8	10,1
30	2,2	17,2	16,8	100	22,0	10,2
30	2,1	17,9	16,6	101	20,8	14,1
38			16,7			

Verhoging van de roersnelheid in het mengvat heeft een toename van de specifieke filtratieweerstand tot gevolg, doordat bij verhoging van de roersnelheid de geconditioneerde slibvlokken beschadigd worden. Kleinere vlokken leiden tot een toename van het specifieke oppervlak, waardoor het wrijvingsoppervlak en daardoor de stromingsweerstand toenemen. De snelheid van watertransport tussen de vlokken zal hierdoor dus afnemen. Vertaald naar de praktijk zou een verhoging van de roerdersnelheid moeten leiden tot een afname van het drogestofgehalte van het voorontwaterde slib. In figuur 22 is het drogestofgehalte van het slib uit de voorontwatering als functie van de roersnelheid weergegeven. Uit deze figuur blijkt inderdaad dat het drogestofgehalte van het voorontwaterde slib afneemt bij toenemende roerdersnelheid.

Uit tabel 10 blijkt verder dat in de praktijk bij een roersnelheid van 16 rpm het hoogste einddrogestofgehalte na de persfase wordt verkregen. De verschillen ten opzichte van andere roertijden zijn echter gering. De roersnelheid in het mengvat heeft dus vrijwel geen invloed op het drogestofgehalte na de persfase in het zeefbandperssysteem.

Ook met de FE-cel wordt bij een roersnelheid van 16 rpm het hoogste einddrogestofgehalte gevonden. Het verschil in FE-drogestofgehalten bij de verschillende roersnelheden is echter beduidend groter dan in de praktijk. De absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel varieerde sterk bij roersnelheden tot 16 rpm vanwege de grote vlokken, waardoor geen representatief slibmonster kon worden genomen. De absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel heeft grote invloed op het FE-drogestofgehalte. De FE-drogestofgehalten van de filterkoeken in deze serie experimenten mogen dus niet direct met elkaar vergeleken worden, maar moeten eerst worden gecorrigeerd. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van het onderzoek naar de invloed van de absolute hoeveelheid drogestof op het FE-drogestofgehalte, dat ook op de rwzi Ridderkerk is uitgevoerd. Bij dit onderzoek zijn verschillende hoeveelheden monster uit het mengvat genomen bij een standaard ingestelde roersnelheid van 8 rpm en doorgemeten in de FE-cel. De resultaten zijn gegeven in tabel 11.

Figuur 22 Drogestofgehalte van het slib na de voorontwatering als functie van de roersnelheid in het mengvat.

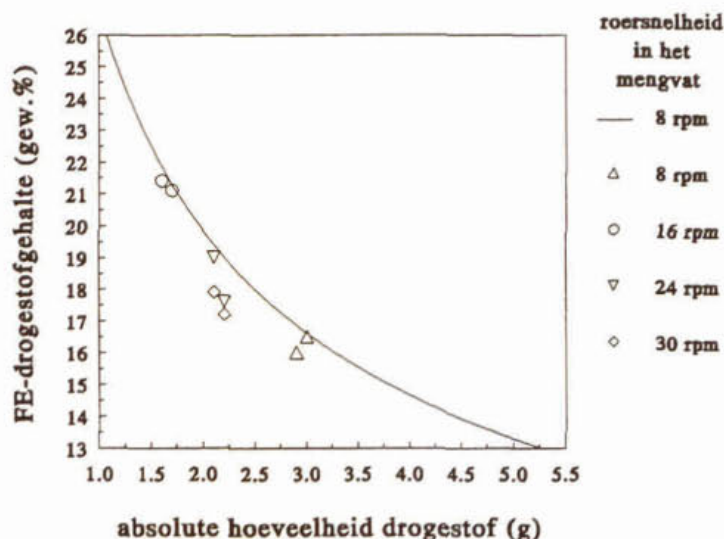


Tabel 11 Effect van de absolute drogestofhoeveelheid op het FE-drogestofgehalte bij een roersnelheid van 8 rpm.

ds in de FE-cel (g)	1,1	1,6	1,9	2,5	2,8	3,6	3,8	5,0
FE ds gehalte (gew. %ds)	26,0	22,4	20,1	17,8	17,1	15,3	15,2	13,7

In figuur 23 zijn de waarden uit tabel 11 (doorgetrokken lijn) en de FE-drogestofgehalten gemeten bij andere roersnelheden in het mengvat, grafisch weergegeven. Als in figuur 23 de FE-drogestofgehalten boven de doorgetrokken lijn liggen, betekent dit dat er hogere FE-drogestofgehalten worden bereikt dan bij de in de praktijk ingestelde (standaard) roersnelheid.

Figuur 23 FE-drogestofgehalte als functie van de absolute hoeveelheid drogestof bij verschillende roersnelheden in het mengvat.



Uit figuur 23 blijkt dat een roertijd van 16 rpm, na correctie voor de invloed van de absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel, gelijke resultaten wat betreft FE-drogestofgehalte oplevert als de standaard ingestelde 8 rpm. Verhoging van de roersnelheid levert slechtere resultaten. Dit komt redelijk tot goed overeen met het in de praktijk gevonden effect van de roersnelheid op het einddrogestofgehalte.

Bijlage 4 MENGING VAN SLIBSOORTEN

1 Menging van uitgegist Zwolle-slib met oxydatieslootslib van rwzi Genemuiden

De ontwateringseigenschappen van slib van de rwzi Genemuiden zijn slechter dan die van slib van de KSO-Zwolle. Zwolle-slib is een uitgegist slib, Genemuiden-slib ontstaat bij de zuivering van afvalwater in een oxydatiesloot, waarbij tevens vergaande verwijdering plaatsvindt van fosfaat en stikstof.

In experimenten met de FE-cel is de invloed van de mengverhouding van Zwolle-slib en Genemuiden-slib op het ontwateringsgedrag onderzocht. Het uitgangsdrogestofgehalte van Genemuiden-slib is 4,6 gew. % en van Zwolle-slib 3,8 gew. %. Alle monsters zijn geconditioneerd met 4,2 g Nalco 41/30/kg ds. In tabel 12 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 12 Ontwateringsresultaten van verschillende mengsels van Zwolle- en Genemuiden-slib.

meting	slibmengsel (vol.% Zwolle : vol.% Genemuiden)	monster- massa (g)	absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel (g)	FE-drogestofgehalte (gew.%)	specifieke filtratieweerstand (m/kg)
1	100 : 0	113	3,8	23,4	$7,9 \cdot 10^{11}$
2	100 : 0	113	3,7	22,8	$9,2 \cdot 10^{11}$
3	75 : 25	114	3,5	20,7	$9,6 \cdot 10^{11}$
4	75 : 25	114	3,5	21,1	$8,9 \cdot 10^{11}$
5	50 : 50	115	4,3	17,0	$11,2 \cdot 10^{11}$
6	50 : 50	115	3,7	19,1	$10,9 \cdot 10^{11}$
7	25 : 75	115	4,1	16,3	$15,1 \cdot 10^{11}$
8	25 : 75	115	4,1	17,0	$12,1 \cdot 10^{11}$
9	0 : 100	116	4,2	15,1	$17,3 \cdot 10^{11}$

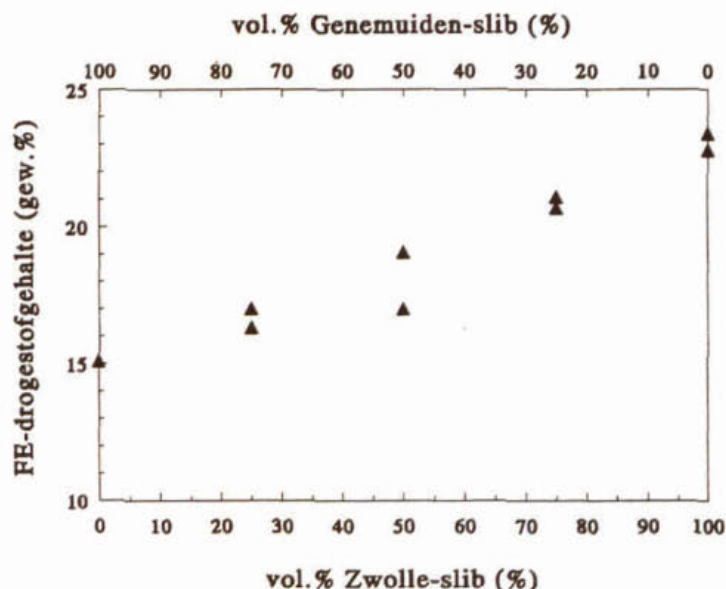
In de figuren 24 en 25 zijn respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand uitgezet als functie van het volumepercentage Zwolle slib en Genemuiden slib.

Bij toevoeging van Genemuiden slib aan het Zwolle slib wordt het FE-drogestofgehalte van de koek lager en de specifieke filtratieweerstand hoger bij gelijkblijvende monstermassa en nagenoeg gelijkblijvende hoeveelheid drogestof. Dit valt duidelijk op bij vergelijking van 100 % Zwolle slib (metingen 1 en 2) en 100% Genemuiden slib (meting 9) met de 50/50% mengsels (metingen 5 en 6).

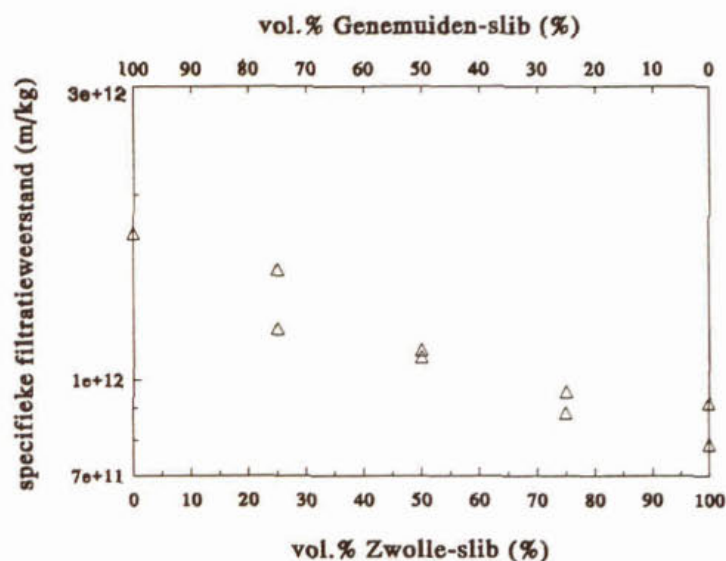
Naarmate het volumepercentage Zwolle-slib toeneemt, neemt het FE-drogestofgehalte van het slibmengsel toe van 15,1 gew. % (Genemuiden-slib) tot 23,4 gew. % (Zwolle-slib). Het verband is nagenoeg lineair. Opgemerkt moet worden dat de meetwaarden in strikte zin niet geheel met elkaar vergeleken mogen worden. Immers de absolute hoeveelheden drogestof, bepalend voor het einddrogestofgehalte in de FE-cel, waren niet exact gelijk. Aangezien de verschillen bijzonder gering waren, lijkt het lineaire verband gerechtvaardigd. Uit figuur 25 kan worden opgemaakt dat de specifieke filtratieweerstand van Zwolle-slib lager is dan die van Genemuiden-slib.

De metingen met de FE-cel wijzen uit dat verhoging van het aandeel van Genemuiden-slib een nadelige invloed heeft op het FE-drogestofgehalte van slibmengsels van Zwolle-slib met Genemuiden-slib. Dit komt overeen met het op praktijkschaal gevonden resultaat.

Figuur 24 FE-drogestofgehalte als functie van het volumepercentage Zwolle- cq. Genemuiden-slib. De pe-dosering is gelijk aan 4,2 g pe/kg ds.



Figuur 25 De specifieke filtratieweerstand als functie van het volumepercentage Zwolle- cq. Genemuiden-slib. De pe-dosering is gelijk aan 4,2 g pe/kg ds.



2 Menging van Steenwijk-slib, Zwolle-slib en Genemuiden-slib

De slibben van de rwzi's Steenwijk, Zwolle en Genemuiden zijn apart en in een mengverhouding van 1 : 2,5 : 1 in duplo gemeten. Tabel 13 geeft de resultaten. Het slib van rwzi Steenwijk heeft in de FE-cel het hoogste drogestofgehalte en de laagste specifieke filtratieweerstand, ondanks het feit dat bij het Steenwijk slib de hoogste absolute hoeveelheid drogestof in de cel is gebracht. Genemuiden-slib geeft duidelijk slechtere ontwateringsresultaten dan Zwolle-slib. Het mengsel van de drie slibben heeft slechtere ontwateringseigenschappen dan slib van Zwolle en betere dan het slib van Genemuiden. In de praktijk is het effect van de mengverhouding van deze slibben nog niet onderzocht.

Tabel 13 Ontwateringsresultaten van drie slibben en een mengsel daarvan.

slibsoort	monster-massa (g)	absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel (g)	ds FE-cel (gew.%)	specifieke filtratieweerstand (m/kg)
Steenwijk	120	4,9	24,8	$8,0 \cdot 10^{11}$
Steenwijk	120	4,8	25,6	$8,0 \cdot 10^{11}$
Zwolle	113	3,6	24,0	$13,1 \cdot 10^{11}$
Zwolle	113	3,4	24,4	$11,4 \cdot 10^{11}$
Genemuiden	116	3,6	17,5	$33,2 \cdot 10^{11}$
Genemuiden	116	3,8	16,7	$29,7 \cdot 10^{11}$
Mengsel	120	3,9	22,2	$12,5 \cdot 10^{11}$
Mengsel	120	3,8	22,8	$12,1 \cdot 10^{11}$

3 Menging van spuislib met uitgegist slib bij de rwzi Tollebeek

Twee slibsoorten zijn met elkaar gemengd en geflocculeerd met verschillende doseringen Zetag 78FS40 en in de FE-cel doorgemeten. Tevens is het spuislib apart in de FE-cel doorgemeten. In tabel 14 zijn de resultaten van de metingen weergegeven.

Bij 100 % spuislib valt op dat ondanks een lage absolute hoeveelheid drogestof het bereikte FE-drogestofgehalte het laagst is. Toevoeging van Zetag 78FS40 heeft bij deze monsters slechts een geringe toename van het FE-drogestofgehalte tot gevolg. Blijkbaar is het spuislib van de rwzi Tollebeek zeer moeilijk ontwaterbaar. Dit komt overeen met de resultaten van het praktijkonderzoek dat op de rwzi Tollebeek is uitgevoerd. Hierbij bleek dat zowel met een centrifuge als met een zeefbandpers het spuislib tot maximaal 16 gew.% ds kon worden ontwaterd.

Toevoeging van uitgegist slib aan het spuislib leidt tot een toename van de absolute drogestofhoeveelheid in de FE-cel. Toch leidt toevoeging van uitgegist slib tot een toename van het FE-drogestofgehalte. Blijkbaar heeft toevoeging van uitgegist slib een positieve invloed op het te bereiken drogestofgehalte.

Tabel 14 *Invloed van het mengen van spuislib en uitgegist slib op de ontwateringsresultaten.*

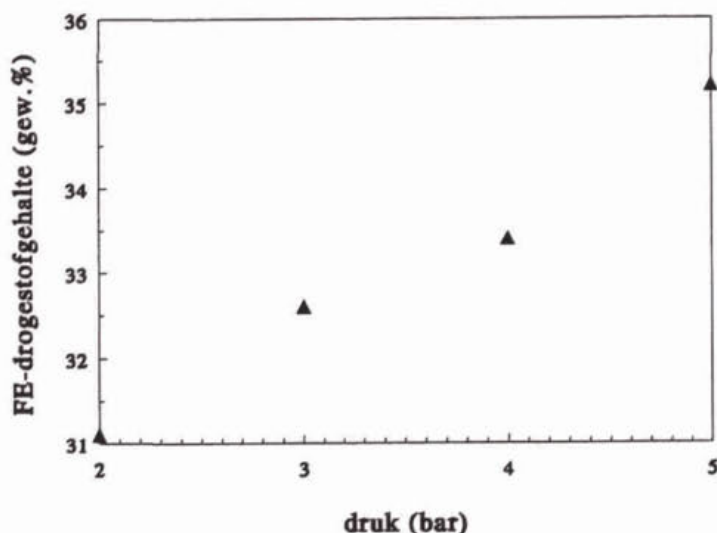
mengverhouding spuislib : uitgegist slib	monster-massa (g)	absolute hoeveelheid drogestof in de FE-cel (g)	dosering Zetag 78FS40 (g/kg ds)	drogestof-gehalte koek (gew.%)	specifieke filtratie-weerstand (m/kg)
100 : 0	234	1,4	5,4	19,4	12,3.10 ¹¹
100 : 0	234	1,4	3,9	19,1	8,0.10 ¹¹
100 : 0	234	1,4	2,3	19,5	13,0.10 ¹¹
100 : 0	234	1,4	1,2	18,5	20,0.10 ¹¹
100 : 0	234	1,4	0	18,2	39,2.10 ¹¹
90 : 10	234	1,9	6,6	21,6	4,5.10 ¹¹
90 : 10	234	1,9	4,7	21,1	13,7.10 ¹¹
90 : 10	234	1,9	2,8	20,1	27,8.10 ¹¹
90 : 10	200	1,7	1,4	20,8	50,6.10 ¹¹
83 : 17	234	2,3	7,1	21,7	4,5.10 ¹¹
83 : 17	234	2,3	5,1	22,2	1,6.10 ¹¹
83 : 17	234	2,4	3,0	20,7	3,5.10 ¹¹
70 : 30	234	3,1	9,6	25,0	6,9.10 ¹¹
70 : 30	234	3,1	6,8	24,1	4,0.10 ¹¹
70 : 30	234	3,1	4,1	21,2	27,0.10 ¹¹
70 : 30	200	2,6	2,1	15,4	156,3.10 ¹¹
50 : 50	234	4,1	8,3	25,4	1,0.10 ¹¹
50 : 50	234	4,2	5,9	22,6	7,8.10 ¹¹
50 : 50	234	4,3	3,6	14,8	49,9.10 ¹¹

Bijlage 5 DE INVLOED VAN DE AANGELEGDE MECHANISCHE DRUK EN DE PERSTIJD

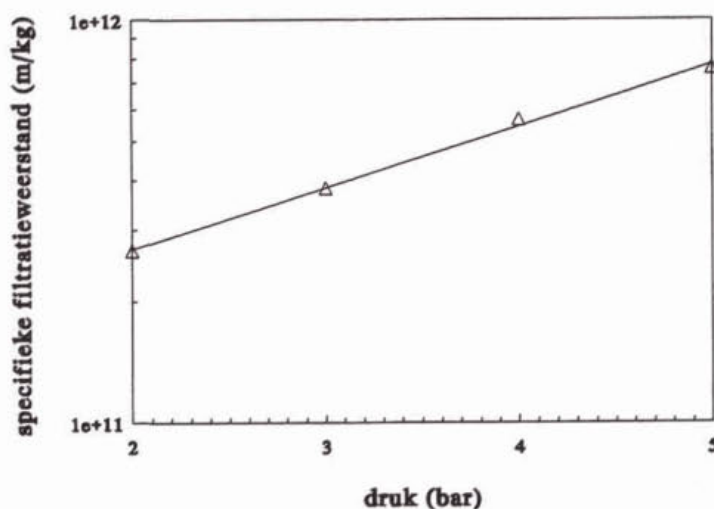
1 Zeefbandpers met uitgegist slib

In de figuren 26 en 27 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 28 zijn de FE-drogestofgehalten van de slibmonsters weergegeven als functie van de perstijd.

Figuur 26 FE-drogestofgehalte als functie van de druk voor uitgegist slib geflocculeerd met 6,2 g Zetag 87/kg ds.

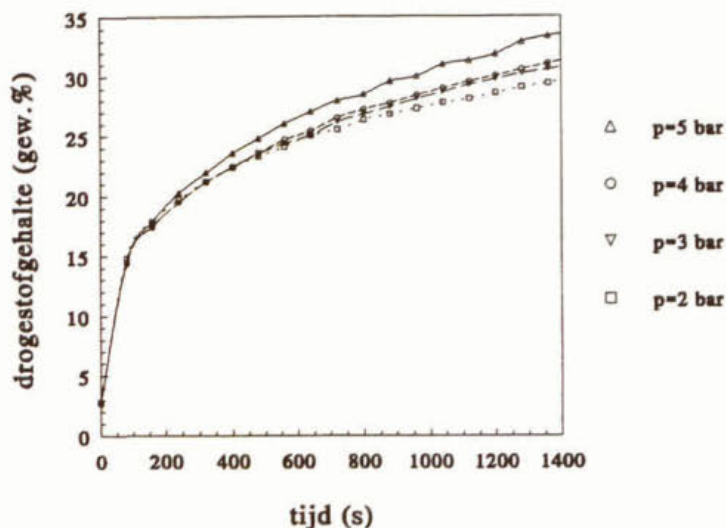


Figuur 27 Specifieke filtratieweerstand als functie van de druk voor uitgegist slib geflocculeerd met 6,2 g Zetag 87/kg ds.



Een verhoging van de aangelegde mechanische druk in de FE-cel leidt tot een verhoging van het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand. Figuur 28 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.

Figuur 28 Drogestofgehalte als functie van de tijd bij verschillende persdrukken voor slib geflocculeerd met 6,2 g Zetag 87/kg ds.



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.

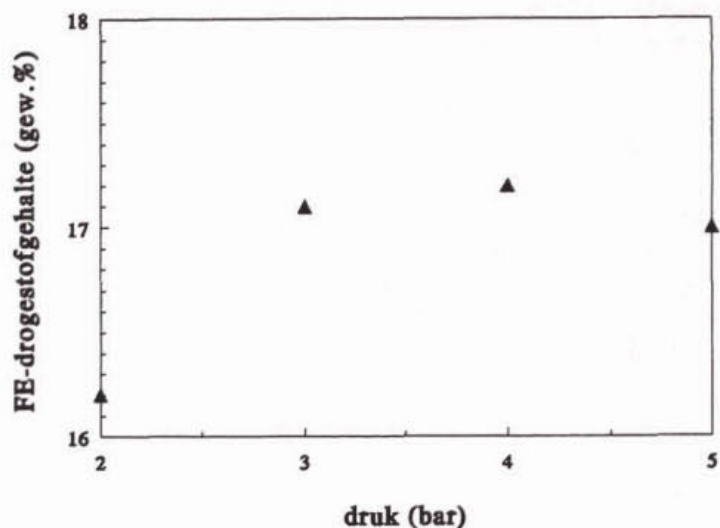
Verlenging van de perstijd zal in de praktijk bij dit slib aanzienlijke winsten in drogestofgehalte kunnen opleveren. Bij zeefbandpersen kan dit worden gerealiseerd door de bandsnelheid te verlagen. Indien de opgebrachte hoeveelheid slib per bandlengte gelijk moet blijven, moet wel het slibdebiet worden verlaagd. Dit gaat echter ten koste van de verwerkingscapaciteit. Indien een lagere capaciteit acceptabel is, is verlenging van de perstijd aan te bevelen.

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. Dit aspect is echter niet in de praktijk onderzocht.

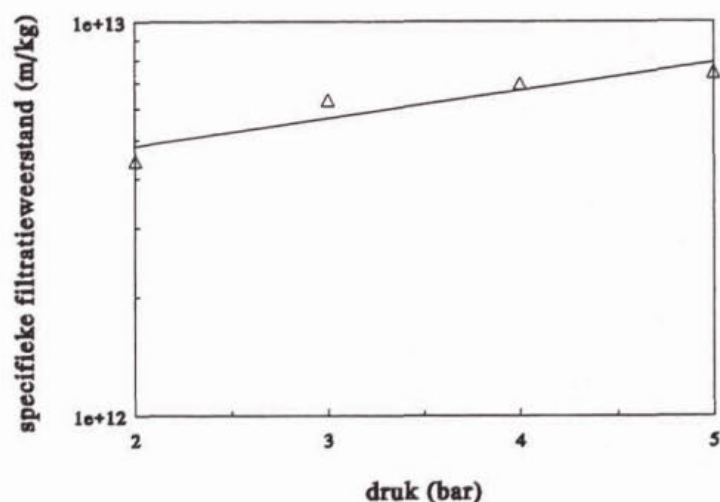
2 Zeefbandpers met aëroob slib

Bij rwzi Gennep wordt een zeefbandpers toegepast voor de slibontwatering. Het aëroob gestabiliseerde slib wordt in Gennep eerst via gravitatie ingedikt tot een drogestofgehalte van ca. 3 gew.%. Ter ondersteuning van het indikproces wordt het polymeer Excel 5000 aan het slib toegevoegd. In de figuren 29 en 30 is respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand van vier identieke slibmonsters als functie van de aangelegde druk uitgezet. De perstijd bedroeg 1800 seconden. Figuur 31 geeft de FE-drogestofgehalten van de slibmonsters weer als functie van de perstijd. Bij drukken groter dan 3 bar heeft een verhoging van de in de FE-cel aangelegde mechanische druk slechts een geringe verhoging van de specifieke filtratieweerstand tot gevolg. Dit wijst erop dat het geconditioneerde slib van de rwzi Gennep weinig compressibel is bij drukken groter dan 3 bar. Uit figuur 29 en 30 blijkt dat bij drukken groter dan 3 bar verhoging van de aangelegde druk nagenoeg geen invloed heeft op het FE-drogestofgehalte. Slechts bij een verhoging van de druk in de FE-cel van 2 naar 3 bar wordt enige winst in FE-drogestofgehalte geboekt.

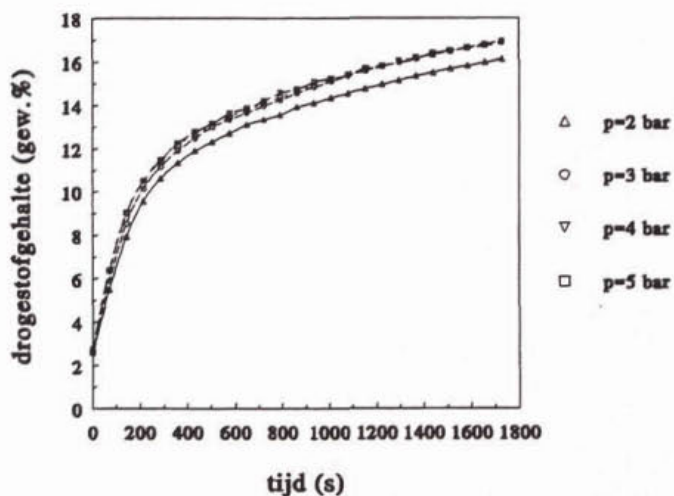
Figuur 29 FE-drogestofgehalte als functie van de druk voor oxydatieslootslib, geflocculeerd met 4,4 g Praestol 690BC/kg ds.



Figuur 30 Specifieke filtratieweerstand als functie van de druk voor oxydatieslootslib, geflocculeerd met 4,4 g Praestol 690 BC/kg ds.



Figuur 31 Drogestofgehalte als functie van de tijd bij verschillende persdrukken voor oxydatieslootslib, geflocculeerd met 4,4 g Praestol 690B-C/kg ds.



Met een curve als in figuur 31 kan de benodigde perstijd in de FE-cel bij een bepaalde druk worden bepaald, waarbij hetzelfde einddrogestofgehalte wordt bereikt als in de praktijk. Het praktijkdrogestofgehalte is hier 16,5 gew.%. Bij een aangelegde druk van 3, 4 en 5 bar en een perstijd van 1500 seconden komt het FE-drogestofgehalte overeen met het praktijkdrogestofgehalte. Bij een druk van 2 bar is dit na 1800 seconden nog steeds niet het geval.

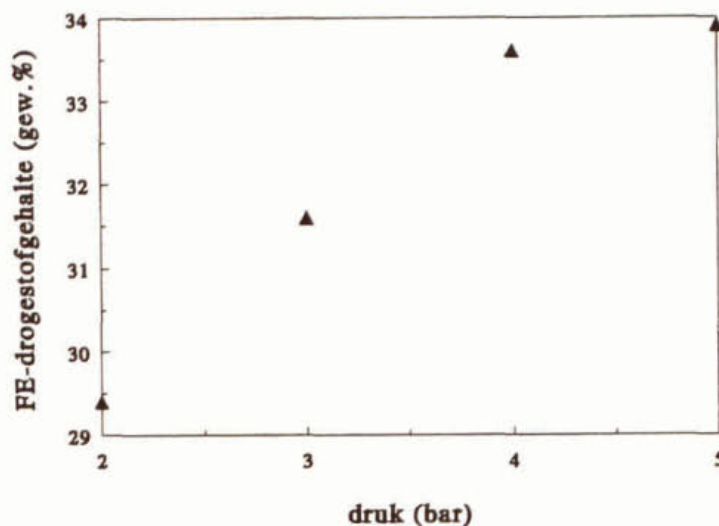
Uitgaande van een druk van 3 bar en een perstijd van 1500 seconden (FE-drogestofgehalte = praktijkdrogestofgehalte) levert een hogere persdruk **geen** toename op van het FE-drogestofgehalte. Op grond van deze resultaten wordt verwacht dat een verhoging van de gemiddelde persdruk in de praktijk **geen** winst in drogestofgehalte oplevert. In de praktijk blijkt inderdaad een verhoging van de bandspanning (=persdruk) niet tot een hoger einddrogestofgehalte te leiden.

3 Kamerfilterpers met uitgest slijb

100 gram uitgest slijb van de RI Amsterdam-Oost, met een drogestofgehalte van 2,7 gew.%, is op laboratoriumschaal geflocculeerd met 5,1 g Zetag 63/kg ds en aangevuld tot 120 gram totaalgewicht. Het begindrogestofgehalte van de monsters bedroeg 2,3 gew.%. Met de kamerfilterpers wordt een einddrogestofgehalte bereikt van ongeveer 25 gew.% ds.

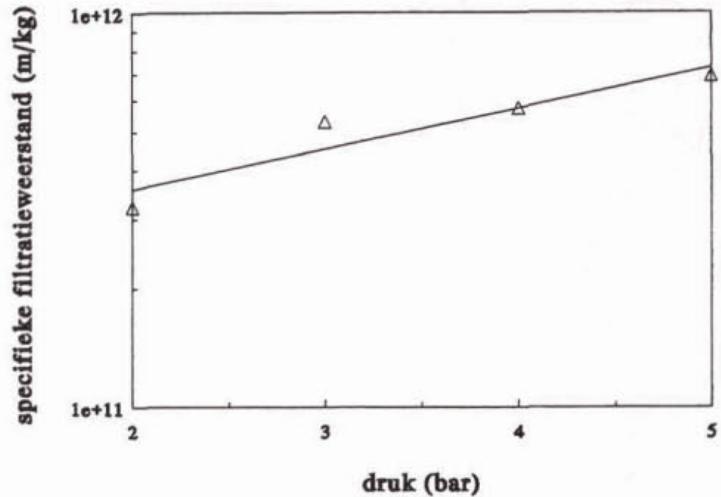
In de figuren 32 en 33 zijn respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand van vier identieke slijbmonsters als functie van de aangelegde druk uitgezet. De perstijd bedroeg 1800 seconden. In figuur 34 zijn de FE-drogestofgehalten van de slijbmonsters weergegeven als functie van de perstijd.

Figuur 32 FE-drogestofgehalte als functie van de druk voor uitgest slijb, geflocculeerd met 5,1 g Zetag 63/kg ds bij een perstijd van 15 minuten.

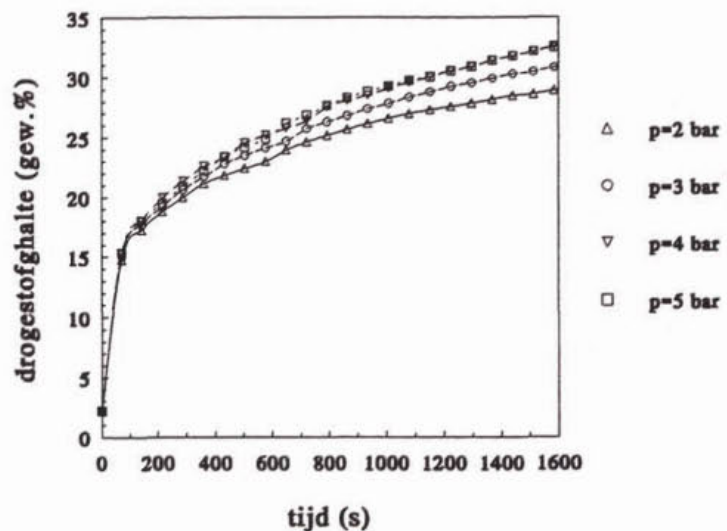


Een verhoging van de aangelegde mechanische druk leidt in de FE-cel slechts tot geringe verhoging van de specifieke filtratieweerstand. In het gebied van 2 naar 4 bar wordt echter een aanzienlijk winst in FE-drogestofgehalte behaald bij 15 minuten persen. Met figuur 33 kan de perstijd in de FE-cel bij die druk worden bepaald, waarbij hetzelfde einddrogestofgehalte wordt bereikt als in de praktijk. Bij een druk van 4 en 5 bar komt het FE-drogestofgehalte na 550 seconden perstijd overeen met het praktijkdrogestofgehalte. Bij een druk van 3 bar en 2 bar is dit na 700 seconden respectievelijk 800 seconden het geval. Verder geeft figuur 34 aan dat het drogestofgehalte van de koek nog steeds sterk toeneemt in de tijd. Een verdubbeling van de perstijd levert bij 3, 4 en 5 bar een winst in FE-drogestofgehalte op van zo'n 5 gew.%. Verlenging van de perstijd zal in de praktijk bij dit slijb hogere drogestofgehalten kunnen opleveren. Dit gaat echter ten koste van de verwerkingscapaciteit.

Figuur 33 Specifieke filtratieweerstand als functie van de druk voor uitgegist slib, geflocculeerd met 5,1 g Zetag 63/kg ds.



Figuur 34 Drogestofgehalte als functie van de tijd bij verschillende persdrukken voor uitgegist slib, geflocculeerd met 5,1 g Zetag 63/kg ds.

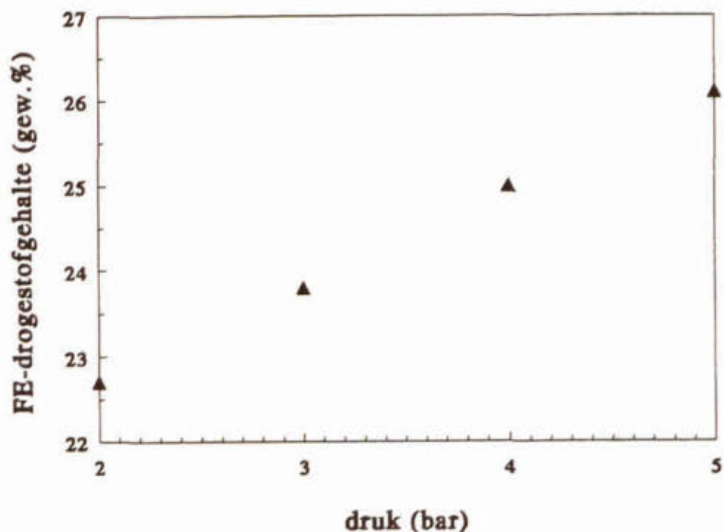


Indien een lagere capaciteit toelaatbaar is, is verlenging van de perstijd aan te bevelen. Een hogere persdruk resulteert in een toename van het FE-drogestofgehalte. Uitgaande van een druk van 3 bar en een perstijd van 700 seconden is de winst, behaald in de FE-cel echter maar gering. Drukverhoging van 3 naar 4 of 5 bar levert een winst op in FE-drogestofgehalte van ca. 1 gew. %.

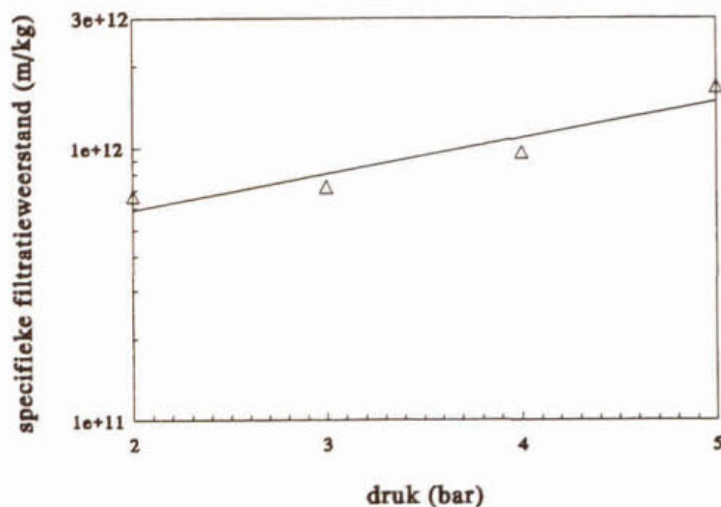
4 Centrifuges

Op de KSO-Zwolle is 100 gram van een slibmonster, bestaande uit een mengsel van Steenwijk-, Zwolle- en Vollenhoven-slib met een drogestofgehalte van 4,3 gew.%, op laboratoriumschaal geflocculeerd met 5,2 g Nalco 41/30/kg ds en aangevuld tot 115 gram totaalgewicht. Het begindrogestofgehalte van de monsters bedroeg 3,7 gew.%. Met de centrifuge werd een einddrogestofgehalte van 24 gew.% ds bereikt. In de figuren 35 en 36 zijn respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand van vier identieke slibmonsters als functie van de druk uitgezet. De perstijd bedroeg 1800 seconden. Figuur 37 geeft de FE-drogestofgehalten van de slibmonsters weer als functie van de perstijd.

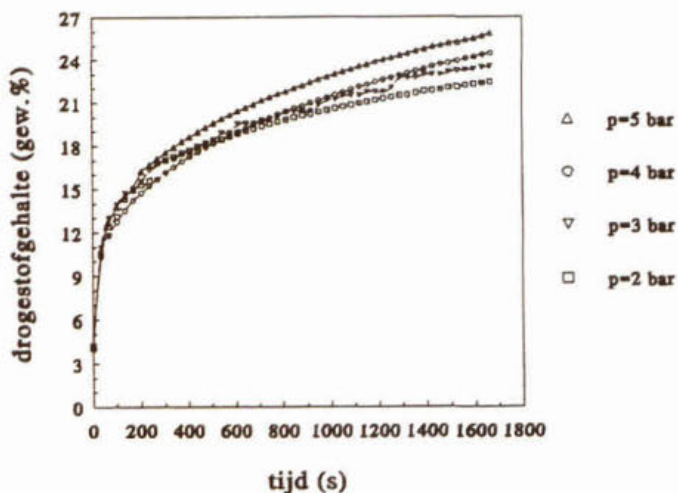
Figuur 35 FE-drogestofgehalte als functie van de druk voor een mengsel van slibben, geflocculeerd met 5,2 g Nalco 41/30/kg ds bij een perstijd van 15 minuten.



Figuur 36 Specifieke filtratieweerstand als functie van de druk voor een mengsel van slibben, geflocculeerd met 5,2 g Nalco 41/30/kg ds.



Figuur 37 Drogestofgehalte als functie van de tijd bij verschillende persdruken voor een mengsel van slibben, geflocculeerd met 5,2 g Nalco 41/30 /kg ds.



Een verhoging van de aangelegde mechanische druk leidt in de FE-cel tot een verhoging van het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand. Met de curven uit figuur 37 kan de pers-tijd in de FE-cel worden afgeleid, waarbij bij een bepaalde aangelegde druk hetzelfde einddroge-stofgehalte wordt bereikt als in de praktijk. Bij een druk van 5 bar komt het FE-drogestofgehalte overeen met het praktijkdrogestofgehalte bij een perstijd van 1200 seconden. Bij een druk van 4 bar is dit na 1550 seconden het geval en bij 2 en 3 bar is na 1700 seconden het praktijkdrogestof-gehalte nog steeds niet bereikt.

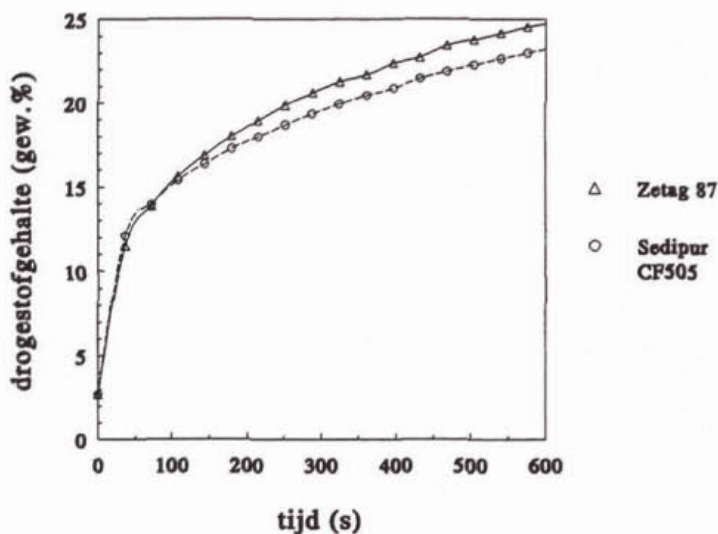
Verder geeft figuur 37 aan dat het drogestofgehalte van de koek nog steeds sterk toeneemt in de tijd. Perstijdverlenging zal in de praktijk bij dit slib tot hogere drogestofgehalten leiden, hoewel dit in de praktijk moeilijk te realiseren zal zijn.

Een hogere persdruk resulteert in een toename van het FE-drogestofgehalte. Uitgaande van een druk van 3 bar en een perstijd van 1700 seconden is de winst behaald in de FE-cel bij drukver-hoging van 3 naar 4 bar 1 gew.% en van 3 naar 5 bar 2 gew.%. Een verhoging van de persdruk zal in de praktijk mogelijk leiden tot hogere drogestofgehalten.

5 Samenvattend

Voorgaand onderzoek geeft aan dat er niet één specifieke combinatie van instellingen voor de FE-cel is waarmee praktijkresultaten kunnen worden voorspeld. Voor elke combinatie van slib en ontwateringssysteem zullen de FE-cel-resultaten eerst "gefit" moeten worden aan de praktijk, wil de FE-cel als "voorspeller" gebruikt kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 38. Op rwzi-Bath zijn in de praktijk de polymeren Zetag 87 en Sedipur CF505 naast elkaar getest. De praktijkdrogestofgehalten zijn voor Zetag 87 en Sedipur CF505 respectievelijk 23 en 22 gew.%. De instellingen van de zeefbandpersen zijn gelijk. Uit paragraaf 1 blijkt voor Zetag 87 bij een druk van 3 bar na 450 seconden persen het FE-drogestofgehalte overeen te komen met het praktijkdrogestofgehalte. Bij deze instellingen voor de FE-cel komt het FE-drogestofgehalte bij flocculatie met Sedipur CF505 ook overeen met het praktijkdrogestofgehalte.

Figuur 38 Het FE-drogestofge-halte als functie van de perstijd bij een aangelegde druk van 3 bar voor Bath-slib, geflocculeerd met Zetag 87 en Sedipur CF505.



Bijlage 6 DE INVLOED VAN DE Fe^{3+} -VOORDOSERING AAN SLIB

1 Invloed van de contacttijd van Fe^{3+} met slib bij de KSO-Zwolle

Op de KSO-Zwolle bestaat de mogelijkheid, door het al dan niet inschakelen van een "labyrint", de contacttijden van Fe^{3+} met slib te variëren voordat het pe (Nalco 41/30) wordt toegevoegd. Er zijn vier mogelijkheden:

- geen Fe^{3+} toevoeging
- contacttijd = 0 sec (geen labyrint)
- contacttijd = 7,5 min (half labyrint)
- contacttijd = 15 min (heel labyrint)

110 gram slibmonster (drogestofgehalte = 3,7 gew.%) is afgetapt vlak vóór de centrifuge en op labschaal geflocculeerd met 4,0 g pe/kg ds. De invloed van de contacttijd (ct) op de ontwaterbaarheid van slib is met de FE-cel onderzocht bij een druk van 3 bar en een perstijd van 15 minuten. De resultaten zijn vergeleken met die bereikt in de praktijk.

Tabel 15 Ontwateringsresultaten van Zwolle-slib geflocculeerd met Nalco 41/30, met en zonder Fe^{3+} als voordosering.

monster	dosering FeCl_3 (g/kg ds)	conc. vaste stof in cen- traat (g/l)	ds centrifuge (gew.%)	ds FE-cel (gew.%)	specifieke filtratie- weerstand (10^{11} m/kg)
geen Fe^{3+}	0	9,2	23,9	18,5	6
ct=0	6,7	0,4	23,5	21,2	8
ct=0	6,7	0,4	23,5	21,2	8
ct=7,5 min	6,7	0,4	24,4	21,2	9
ct=7,5 min	6,7	0,4	24,4	21,2	11
ct=15 min	6,7	0,3	23,0	20,7	13
ct=15 min	6,7	0,3	23,0	20,7	11

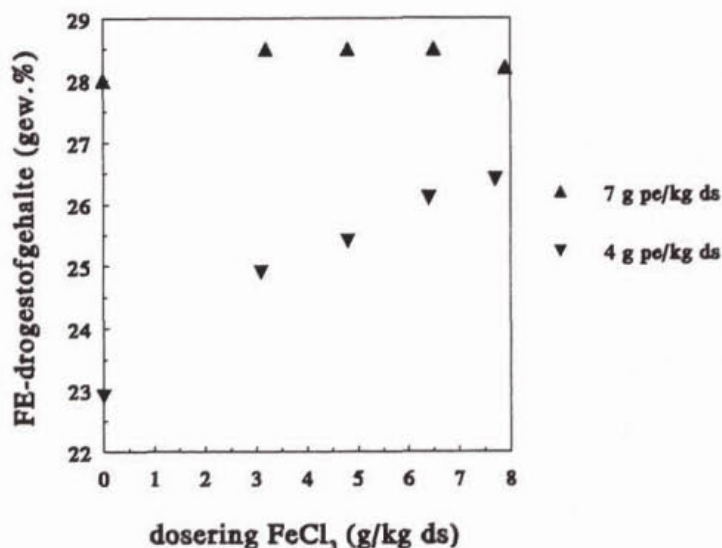
De contacttijd heeft vrijwel geen invloed op het drogestofgehalte, bereikt in de praktijk. Het drogestofgehalte van de FE-filterkoek is duidelijk lager bij géén FeCl_3 -toevoeging. De resultaten van de FE-cel metingen correleren, wat betreft het bereikte drogestofgehalte, dus niet met de praktijkresultaten. De specifieke filtratieweerstand neemt toe met toenemende contacttijd. Het drogestofgehalte in het centraat is in de praktijk veel hoger, indien men géén FeCl_3 toevoegt. FeCl_3 zorgt voor primaire vlokking van slibdeeltjes. De heel fijne slibdeeltjes worden ingevangen. Het polymeer zorgt voor de secundaire vlokking. Indien geen FeCl_3 wordt toegevoegd blijven de fijne deeltjes geheel of gedeeltelijk in het slibmonster aanwezig. Zij worden dus niet ingevangen door het polymeer. Bij het centrifugeren worden de fijne deeltjes niet gescheiden van het water, hetgeen duidelijk zichtbaar is aan het centraat. In de FE-cel resulteert dit in een lager drogestofgehalte van de filterkoek.

2 Invloed van de voordosering van FeCl_3 op de ontwatering van Amsterdam-slib

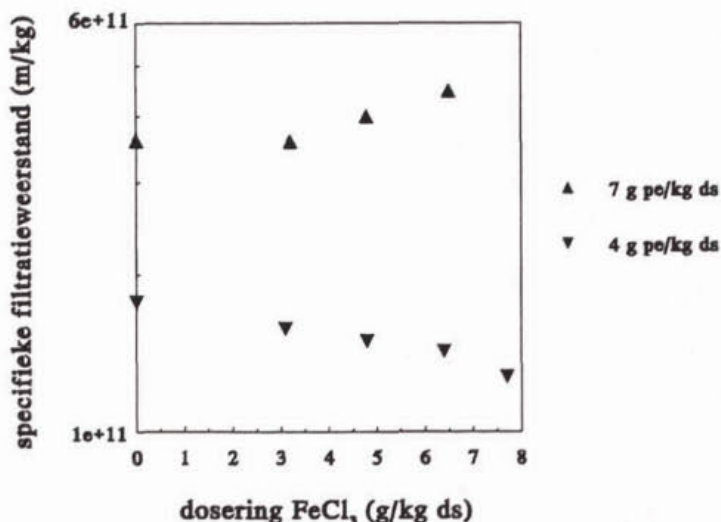
In twee series experimenten is de invloed onderzocht van de dosering Fe^{3+} op de ontwatering. Het slib is gedurende 5 s bij 1000 rpm gemengd met FeCl_3 . Na deze voordosering is het polymeer Zetag 73 toegevoegd aan het slib met een begindrogestofgehalte van 2,8 gew.%. De twee series

verschillen alleen in de dosering Zetag 73: 4 en 7 g pe/kg ds. Bij de toevoeging van het polymeer in deze experimenten is gemengd met een roersnelheid van 1000 rpm en een roertijd van 5 s. In de figuren 39 en 40 zijn respectievelijk het FE-drogestofgehalte en de specifieke filtratieweerstand weergegeven als functie van de dosering Fe^{3+} .

Figuur 39 FE-drogestofgehalte van uitgegist Amsterdam-slib als functie van de voordosering Fe^{3+} bij verschillende doseringen Zetag 73.



Figuur 40 Specifieke filtratieweerstand van uitgegist Amsterdam-slib als functie van de voordosering Fe^{3+} bij verschillende doseringen Zetag 73.



In de serie experimenten waarin 4 g pe/kg ds is toegevoegd, neemt het drogestofgehalte toe en de specifieke filtratieweerstand af bij toename van de dosering Fe^{3+} . De voordosering van Fe^{3+} heeft dus een positieve invloed op de ontwateringsresultaten. In de serie waarin een dosering van 7 g pe/kg ds is toegevoegd, is nauwelijks sprake van enige verbetering in ontwateringsresultaten door de extra toevoeging van Fe^{3+} .

De drogestofgehalten op labschaal in de reeks met een polyelectrolytdosering van 7 g pe/kg ds zijn duidelijk hoger (28 gew.%) dan die worden bereikt in de andere reeks met een polyelectrolytdosering van 4 g pe/kg ds (26 gew.%).

Door een voordosering van FeCl_3 kan het polymeerverbruik enigszins gereduceerd worden.

Bijlage 7 DOSEERCONCENTRATIE VAN DE POLYELECTROLYTOPLOSSING

De doseerconcentratie van een pe-oplossing bedraagt over het algemeen 0,1-0,2 gew.%. Het pe wordt vaak eerst aangemaakt tot een stamoplossing (circa 0,5%) en vervolgens verdund tot de doseeroplossing. De doseeroplossing wordt gemengd met het te ontwateren slib. Een goede menging bevordert de werking van het pe in de ontwatering.

De concentratie van de doseeroplossing is van invloed op de viscositeit van de doseeroplossing. Een hoge concentratie leidt tot een hogere viscositeit en kan daardoor een verminderde menging van slib met pe tot gevolg hebben. In enkele praktijksituaties is bij hoge doseerconcentraties een slechter ontwateringsresultaat en/of een hoger pe-verbruik waargenomen. Om meer inzicht te krijgen in het effect van de doseerconcentratie is in een aantal experimenten het effect hiervan op de ontwateringseigenschappen nagegaan. In de FE-cel zijn met verschillende pe-doseerconcentraties en pe-doseerverhoudingen metingen verricht. In tabel 16 zijn de gegevens van de proefopzet weergegeven.

Tabel 16 Gegevens van de proefopzet.

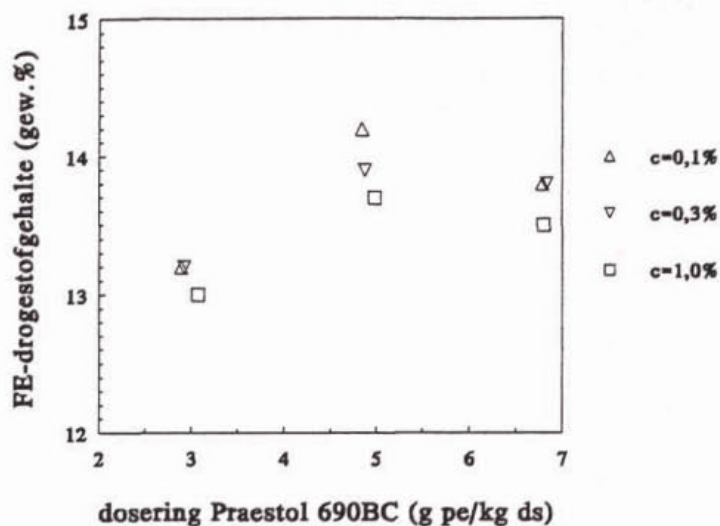
Aanmaak pe			Drogestofgehalte slib (RWZI Gennepe) (%)	Doseerver- houding pe (g pe/kg ds)	FE-cel	
Type	Concentra- tiereeks (%)	Rijpings- tijd (uur)			Meng- tijd (s)	Roersnel- heid (rpm)
Praestol 690 BC	0,1; 0,3; 1	16	3,2	3; 5; 6,8	5	1000

In de figuren 41 en 42 zijn de resultaten weergegeven. De doseerconcentratie heeft geen invloed op de specifieke filtratieweerstand en het einddrogestofgehalte; de ontwateringseigenschappen blijven gelijk.

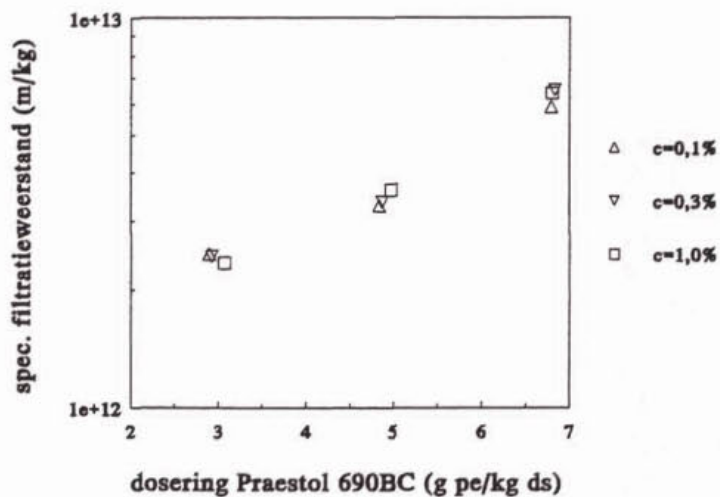
De menging van slib en pe is in de experimenten uitgevoerd in een bekerglas (FE-cel). Bij deze mengmethode vindt een zeer goede menging van slib met pe plaats. Een hogere viscositeit van de oplossing door een hogere concentratie leidt bij deze menging niet tot een verminderde werking van het pe. In de praktijk is in sommige gevallen bij hogere concentraties een slechtere ontwatering waargenomen. De menging is in praktijksituaties minder goed dan onder testcondities met de FE-cel, waardoor een hogere concentratie daar wellicht wél van invloed kan zijn op de menging van slib en pe.

Om het effect van de doseerconcentratie te onderzoeken en de resultaten te kunnen vertalen naar praktijksituaties moet de menging in de testen overeenkomen met die in de praktijk. Op grond van de resultaten kan worden gesteld dat bij goede mengcondities van slib met pe, overeenkomstig de menging in een bekerglas, een relatief hoge doseerconcentratie kan worden toegepast.

Figuur 41 Het FE-drogestofgehalte als functie van de pe-dosering bij verschillende doseerconcentraties.



Figuur 42 De specifieke filtratieweerstand als functie van de pe-dosering bij verschillende doseerconcentraties.



Bijlage 8 DE INVLOED VAN REHOPLUS OP DE ONTWATERINGSEIGENSCHAPPEN

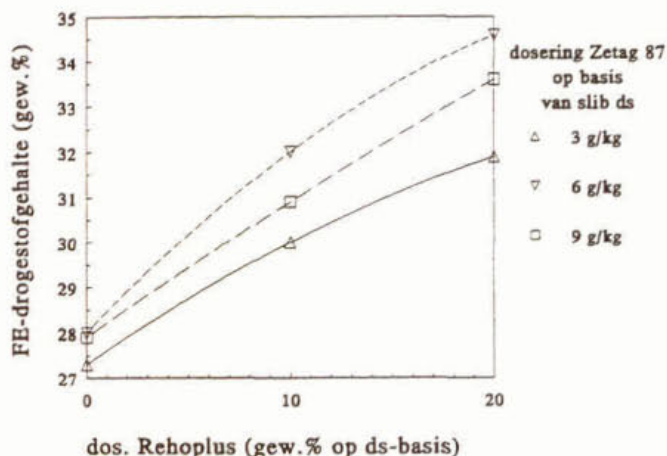
Werkwijze

Twee verschillende hoeveelheden Rehoplus (10 en 20 gew.% op drogestofbasis) zijn aan slibmonsters (%ds uitgangsslib = 4,4 gew.%) van 100 gram toegevoegd alvorens deze te flocculeren met drie verschillende doseringen (3, 6 en 9 g pe/kg slib ds) Zetag 87 (concentratie stamoplossing 0,1 gew.%). Het slibmonster met Rehoplus is 30 seconden geroerd bij een toerental van 500 rpm. De slibmonsters met polymeer zijn voor menging (1000 rpm gedurende 5 seconden) aangevuld met leidingwater tot 150 gram totaalgewicht. Het slibmonster is vervolgens doorgemeten in de FE-cel gedurende 15 minuten bij een drukverschil van 3 bar. Ook zijn de slibmonsters zonder Rehoplus-toevoeging in de FE-cel doorgemeten. Na elke meting is het werkelijke drogestofgehalte van de filterkoek bepaald door deze te drogen bij 105 °C. Tevens is het drogestofgehalte, gecorrigeerd voor de toevoeging Rehoplus, berekend.

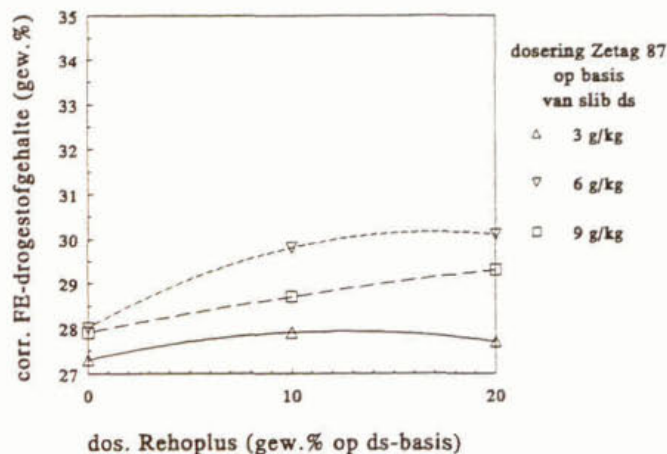
Resultaten

In de figuren 43 en 44 en tabel 17 zijn het werkelijke FE-drogestofgehalte van de filterkoeken en het gecorrigeerde FE-drogestofgehalte als functie van de dosering Rehoplus weergegeven bij verschillende doseringen Zetag 87. In figuur 45 en tabel 18 is de specifieke filtratieweerstand als functie van de Rehoplus-dosering weergegeven bij verschillende doseringen van Zetag 87.

Figuur 43 *Werkelijk drogestofgehalte van de filterkoek na 15 minuten persen bij 3 bar als functie van de dosering Rehoplus, bij verschillende doseringen Zetag 87.*



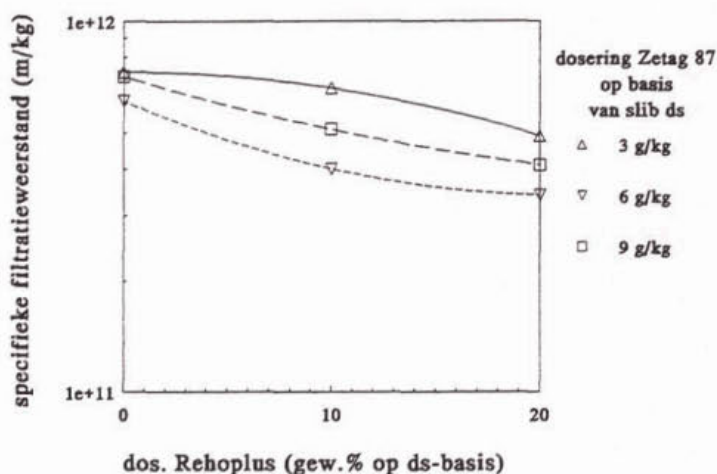
Figuur 44 *Gecorrigeerd drogestofgehalte van de filterkoek na 15 minuten persen bij 3 bar als functie van de dosering Rehoplus, bij verschillende doseringen Zetag 87.*



Tabel 17 Werkelijke (%ds) en gecorrigeerde drogestofgehalten (%ds_{corr}) na 15 minuten persen van filterkoeken (in gew. %) geflocculeerd met Zetag 87, met en zonder toevoeging van Rehoplus.

		dosering Zetag 87 (g/kg ds)		
		3 %ds / %ds _{corr}	6 %ds / %ds _{corr}	9 %ds / %ds _{corr}
dosering Rehoplus (gew.% op ds-basis)	0	27,3 / 27,3	28,0 / 28,0	27,9 / 27,9
	10	30,0 / 27,9	32,0 / 29,8	30,9 / 28,7
	20	31,9 / 27,7	34,6 / 30,1	33,6 / 29,3

Figuur 45 Specifieke filtratieweerstand als functie van de dosering Rehoplus bij verschillende doseringen Zetag 87 (Δ 3, ∇ 6 en $\square$ 9 g Zetag 87/kg slibds).



Tabel 18 Specifieke filtratieweerstand (in m/kg) van slib geflocculeerd met Zetag 87, met en zonder toevoeging van Rehoplus.

		dosering Zetag 87 (g/kg ds)		
		3	6	9
dosering Rehoplus (gew.% op ds-basis)	0	$7,3 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{11}$	$7,1 \cdot 10^{11}$
	10	$6,6 \cdot 10^{11}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	$5,1 \cdot 10^{11}$
	20	$4,9 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{11}$	$4,1 \cdot 10^{11}$

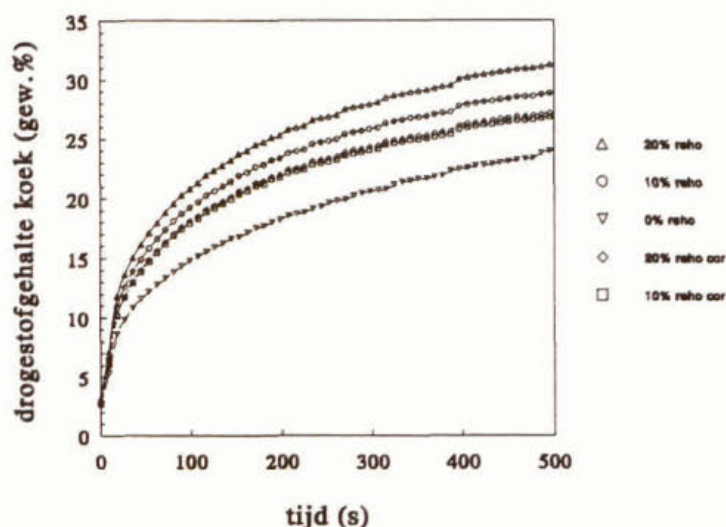
Evaluatie

Toevoeging van Rehoplus levert aanzienlijke winsten in drogestofgehalte. Gecorrigeerd voor de toevoeging worden deze winsten voor een deel uitgevlakt. Zo kan geconstateerd worden dat toevoeging van Rehoplus bij een dosering van 3 g Zetag 87/kg slib ds. nagenoeg geen winst oplevert in gecorrigeerd drogestofgehalte. De grootste winst wordt bereikt bij de optimale dosering van Zetag 87, namelijk 1,8 gew.% bij 10% toevoeging en 2,1 gew.% bij 20% toevoeging.

Het is dus van belang om bij toevoeging van Rehoplus vooraf de optimale pe-dosering te bepalen.

De hiervoor genoemde resultaten zijn na 900 seconden persen bij 3 bar. Voor de vertaalslag naar de praktijk moet de FE-cel eerst daaraan "gefit" worden en wordt nagegaan bij welke FE-procescondities het FE-drogestofgehalte overeenkomt met de praktijkresultaten. In figuur 46 zijn de ongecorrigeerde en gecorrigeerde FE-drogestofgehalten als functie van de tijd weergegeven bij een drukverschil van 3 bar. De Zetag 87-dosering is 6 g pe/kg ds, wat overeenkomt met de praktijkdosering.

Figuur 46 Het ongecorrigeerde en het gecorrigeerde FE-drogestofgehalte van slibmonsters, zonder en met toevoeging van Rehoplus en geflocculeerd met 6 g Zetag 87/kg slibds, als functie van de perstijd. (Niet gecorrigeerd drogestofgehalte voor $\triangle$ 20%, $\circ$ 10% en ∇ 0% Rehoplustoevoeging; Wel gecorrigeerd drogestofgehalte voor $\diamond$ 20% en $\square$ 10% en ∇ 0% Rehoplustoevoeging).



Uit figuur 46 blijkt het FE-drogestofgehalte na 450 seconden persen overeen te komen met het praktijkdrogestofgehalte. Het praktijkdrogestofgehalte van de filterkoek is 23 gew.%. Vergelijkt men monsters zonder toevoeging van Rehoplus met de monsters met toevoeging van Rehoplus dan valt op dat na 450 seconden persen grote winsten in **ongecorrigeerd** FE-drogestofgehalte bij toevoeging van Rehoplus bereikt worden. De **ongecorrigeerde** FE-drogestofgehalten na 450 seconden persen zijn respectievelijk 29 gew.% voor 10% en 31 gew.% voor 20% Rehoplustoevoeging.

De monsters met toevoeging van Rehoplus laten een **gecorrigeerd** drogestofgehalte na 450 seconden persen zien van 26,5 gew.% voor zowel 10% als 20% Rehoplustoevoeging. Dit is een toename van 3,5 gew.% ten opzichte van het monster zonder Rehoplus.

Toevoeging van Rehoplus zal in de praktijk dus naar verwachting ook hogere gecorrigeerde drogestofgehalten opleveren.

Uit figuur 45 blijkt dat de specifieke filtratieweerstand afneemt bij toevoeging van Rehoplus. Rehoplus heeft dus ook een positieve uitwerking op de filtratiesnelheid.

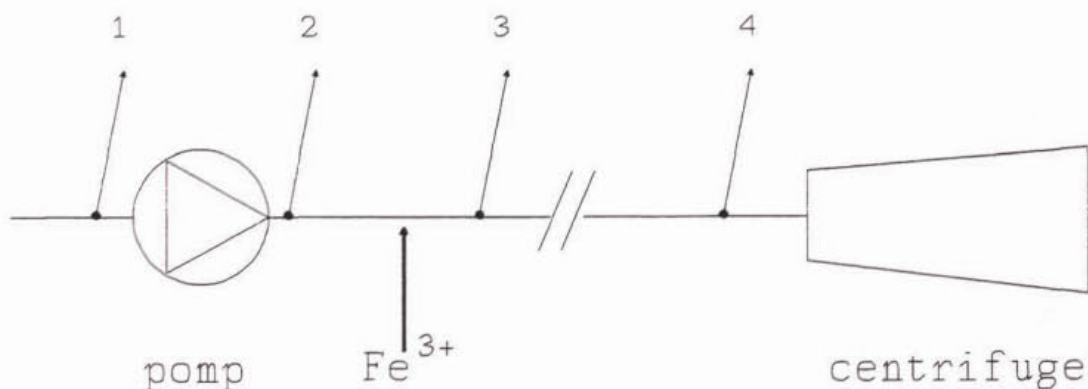
Er kan geconcludeerd worden dat bij Bath-slib geflocculeerd met Zetag 87 door toevoeging van Rehoplus meer (hoger gecorrigeerd drogestofgehalte) en sneller (lagere specifieke filtratieweerstand) water kan worden verwijderd dan bij Bath-slib zonder deze toevoeging.

Met de FE-cel kan op een snelle en eenvoudige manier worden onderzocht of het de moeite is om bepaalde filtratiehulpmiddelen in de praktijk te gebruiken. Ook andere filtratiehulpmiddelen kunnen op de beschreven manier worden getest met de FE-cel. Zouden de resultaten met de FE-cel uitwijzen dat geen verbetering van de ontwateringsresultaten door toevoeging van een bepaald filtratiehulpmiddel te bereiken valt, dan is de verwachting dat dit in de praktijk ook niet het geval zal zijn. Zou dit rechtstreeks getest moeten worden in de praktijk zonder hulp van de FE-cel dan bestaat de kans dat nodeloze energie en moeite in bepaalde projecten gestopt zou worden zonder dat er enig resultaat bereikt wordt.

Bijlage 9 INVLOED VAN APPENDAGES OP DE ONTWATERING

De FE-cel kan worden ingezet voor het opsporen en verhelpen van knelpunten in slibontwateringsinstallaties, zoals leidingen, mengkleppen, mengcontacttanken, pompen en indikkers. In een onderzoek bij de slibverwerkingsinstallatie te Mierlo [10] is dit aangetoond.

Bij KSO Zwolle 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 47). 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 47 De sliblijn voor de centrifuge.

In tabel 19 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.

Tabel 19 Resultaten van doormeten sliblijn.

monster	FE-drogestofgehalte (gew.%)	specifieke filtratieweerstand ($\cdot 10^{11}$ 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.

Er treedt geen duidelijk verschil in specifieke filtratieweerstand op.

Bijlage 10 ONTWATERINGSCYCLUS VAN GECONDITIONEERD SLIB IN EEN FILTERPERS

Werkwijze

Om inzicht te krijgen in de ontwateringseigenschappen tijdens een ontwateringscyclus is een aantal experimenten uitgevoerd op de rwzi's Enschede-West (meting tijdens vulfase) en Amsterdam Oost (meting tijdens vul- en persfase).

Gedurende een ontwateringscyclus van een filterpers zijn monsters geconditioneerd slib uit de vulleiding genomen. De ontwateringseigenschappen van de monsters zijn gemeten met de FE-cel.

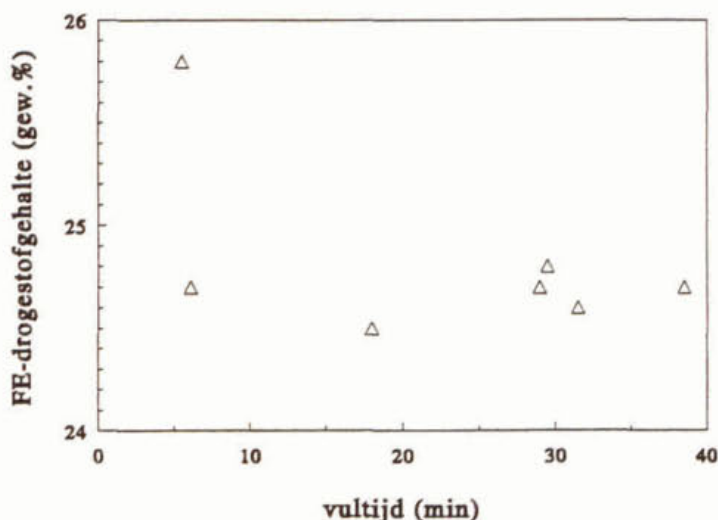
Evaluatie

In figuur 48 en 49 zijn de resultaten van een vulcharge op de rwzi Enschede-West weergegeven. Uit de figuur blijkt dat gedurende het vullen van de filterpers de ontwateringseigenschappen redelijk constant blijven.

In figuur 50 zijn de resultaten van metingen tijdens de vul- en persfase op de rwzi Amsterdam-Oost weergegeven. De ontwateringseigenschappen zijn in de persfase aanzienlijk slechter dan in de vulfase. Een mogelijke oorzaak hiervan kan het verschil in vulmethode tijdens de vulfase en persfase zijn. In de vulfase wordt een centrifugaalpomp gebruikt die een maximale werkdruk heeft van 8 bar. Tijdens de vulfase wordt 80 tot 90% van de totale inhoud van de kamerfilterpers gevuld met slib. In de navolgende persfase wordt een hogedrukpomp gebruikt die is afgesteld op de werkdruk van 15 bar. Het verschil in vulprocédé kan aanleiding geven tot verschil in vlokstructuur. Een andere vlokstructuur kan de ontwateringseigenschappen van de gevormde slibkoek beïnvloeden.

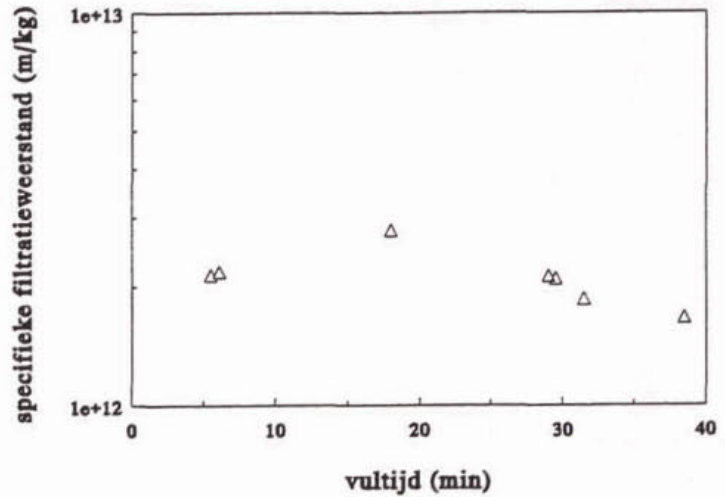
Gedurende één fase zijn de ontwateringseigenschappen vrijwel constant.

De praktische toepassing van de meetcellen betrof het aantonen van verschillen in ontwateringseigenschappen tijdens een ontwateringscyclus. Het ontwateringsproces is niet aangepast op basis van de metingen, zodat geen uitspraak gedaan kan worden over de vertaalbaarheid van de resultaten van de FE-cel metingen naar de praktijk.

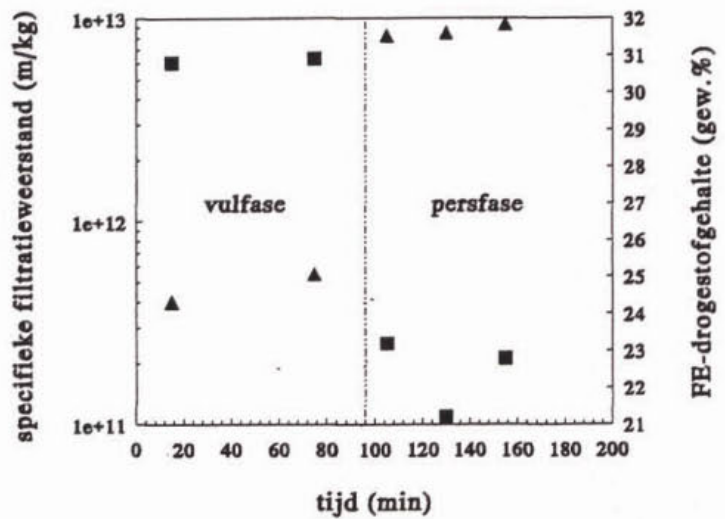


Figuur 48 *Het FE-drogestofgehalte tijdens een vulcharge van een membraanfilterpers op de rwzi Enschede-West.*

Figuur 49 De specifieke filtratieweerstand tijdens een vulcharge van een membraanfilterpers op de rwzi Enschede-West.



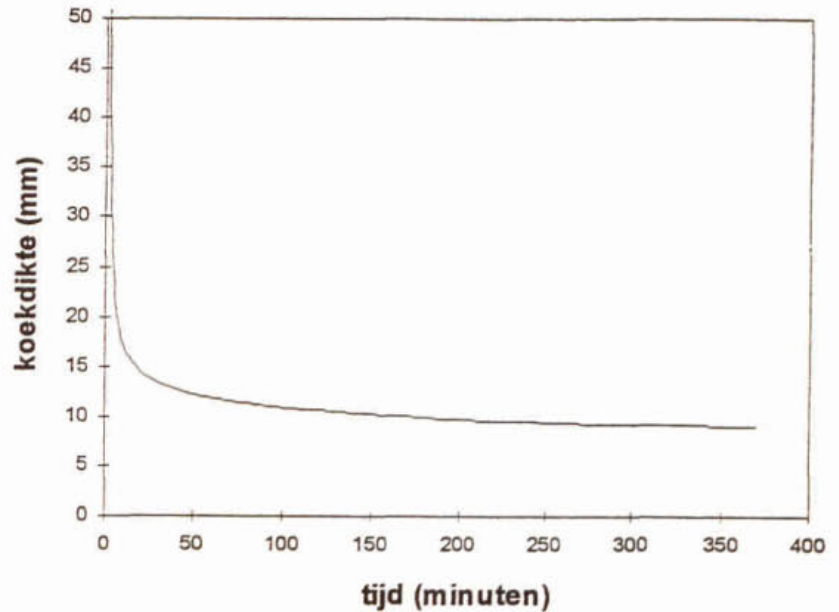
Figuur 50 De specifieke filtratieweerstand (▲) en het einddrogestofgehalte (■) tijdens de vul- en persfase op de rwzi Amsterdam-Oost.



Bijlage 11 INVLOED VAN DE DRUK OP DE PERMEABILITEIT EN DE POROSITEIT VAN DE SLIBKOEK

In figuur 51 is van een uitgegist-slibmonster met een beginmassa van 250 g de koekdikte als functie van de tijd bij een aangelegde druk van 1 bar. Het slibmonster is geflocculeerd met het polyelectrolyt Zetag 73.

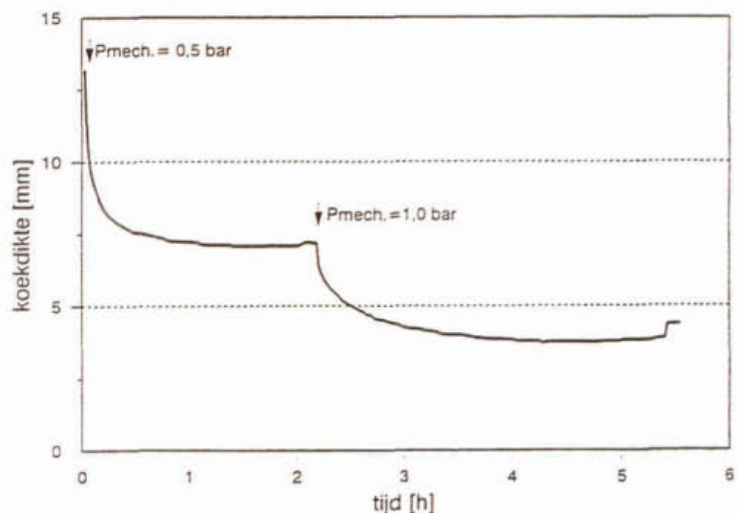
Figuur 51 CP-meting van een met Zetag 73 op labschaal geflocculeerd monster.



Uit de figuur blijkt dat de tijd benodigd voor het bereiken van de evenwichtsinstelling zeer lang is. Dit houdt in dat het slib geflocculeerd met het betreffende polyelectrolyt een hoge compressibiliteit heeft. De gevormde vlok zal dan ook niet stabiel zijn en gemakkelijk deformeerbaar zijn. Ook voor andere slibben geflocculeerd met polyelectrolyt blijkt dat, na een aantal uren onder een bepaalde druk te zijn gebracht, de koekdikte nog steeds af te nemen in de tijd.

Het bereiken van een constante koekdikte (dus constant drogestofgehalte) is een belangrijke voorwaarde voor het bepalen van de permeabiliteit van de koek. Bij slibkoeken geflocculeerd met polyelectrolyt bleek dat het vaak moeilijk of onmogelijk was om reeds bij lage mechanische drukken water door de koek te persen.

Figuur 52 Koekdikte als functie van de tijd bij twee verschillend aangelegde mechanische drukken.



De permeabiliteit van koeken geflocculeerd met polyelectrolyt kon dan ook vaak niet bepaald worden. In een aantal gevallen is dit echter wel gelukt.

In figuur 52 is de koekdikte als functie van de tijd gegeven voor een uitgegist slib uit Enschede-West geconditioneerd met Zetag 57. Uit deze figuur blijkt dat bij zowel een opgelegde mechanische druk van 0,5 bar als bij 1 bar een evenwichtssituatie wordt bereikt. Er wordt na een aantal uren persen een constante koekdikte bereikt.

De gemeten permeabiliteiten voor slibben geflocculeerd met polyelectrolyt liggen in de orde-grootte van 10^{-16} tot 10^{-18} m². Bij slibkoeken die zijn geflocculeerd met $\text{FeCl}_3/\text{Ca}(\text{OH})_2$ liggen de permeabiliteiten op een hoger niveau, nl. in de orde-grootte van 10^{-15} tot 10^{-17} m² [11]. De toevoeging van kalk heeft tot gevolg dat er een vrij starre slibmatrix wordt gevormd, waardoor de doorlaatbaarheid groter is dan bij slibkoeken geflocculeerd met polyelectrolyt.

Uit de metingen blijkt dat de permeabiliteit sterk afneemt als functie van de aangelegde druk. Een hogere drijvende kracht voor de vast-vloeistofscheiding wordt gecompenseerd door een lagere permeabiliteit van de slibkoek, waardoor nauwelijks enige verhoging van de ontwateringssnelheid te verwachten is.

Bij de rwzi Enschede-West is het effect van een extra ijzerdosering op de permeabiliteit en de porositeit van de slibkoek onderzocht. De metingen toonden aan dat de permeabiliteit van het met ijzer behandelde slib bij toenemende mechanische druk veel minder sterk afneemt dan het niet met ijzer behandelde slib.

Toevoeging van ijzer leidt tot dus tot een meer stabiele vlok die dus minder compressibel van aard is dan indien alleen polyelectrolyt is toegevoegd. Bij een bepaalde druk is de permeabiliteit van een met ijzer behandeld slib dus hoger. Het watertransport wordt dus bevorderd waardoor mogelijk (hogere) drogestofgehalten sneller kunnen worden bereikt.

Het effect van de invloed van een filtratiehulpmiddel op het drogestofgehalte, de permeabiliteit en de porositeit van een uitgegist slib is onderzocht. Het filtratiehulpmiddel Rehoplus is hiervoor gebruikt. Twee CP-cel metingen zijn uitgevoerd, één met en één zonder toevoeging van Rehoplus. De resultaten van deze metingen zijn in tabel 20 weergegeven.

Een verhoging van de mechanische druk leidt tot een verhoging van het drogestofgehalte van de koek. Bij de koek waar Rehoplus aan is toegevoegd worden onder dezelfde procesomstandigheden hogere einddrogestofgehalten bereikt dan zonder deze toevoeging. Dit wordt ook bevestigd door metingen met de FE-cel.

De permeabiliteit van de slibkoek waaraan Rehoplus is toegevoegd is tweemaal zo groot als die van de slibkoeken zonder deze toevoeging onder gelijkblijvende procesomstandigheden. De toevoeging van Rehoplus heeft een duidelijke verandering van de structuur van de slibkoek tot gevolg. Voor de praktijk betekent dit dat als de slibkoek al enige tijd onder druk staat, zoals bij kamerfilterpersen, de toevoeging van Rehoplus het watertransport in de koek bevordert (hogere doorlaatbaarheid). Dit is ook te zien aan de grootte van de massastroom dm/dt door de koek. Een verhoging van de massastroom door een koek die al enige tijd onder druk staat, leidt tot het eerder bereiken van een bepaald einddrogestofgehalte. De perstijd zou dus mogelijk verkort kunnen worden en hierdoor kan de verwerkingscapaciteit worden verhoogd. Bij behoud van perstijd kunnen mogelijk hogere drogestofgehalten worden bereikt.

Tabel 20 Resultaten van CP-cel metingen

meting	mechani- sche druk p_s (bar)	hydrauli- sche druk p_l (bar)	koekdikte d (cm)	massastroom dm/dt (g/s)	vochtgehalte u (kg w/kg ds)	permeabi- liteit K (m ²)	porositeit ϵ (-)
ZONDER Rehoplus-toevoeging							
1	1,0	0,8	1,25	$1,06 \cdot 10^{-4}$	1,89	$4,33 \cdot 10^{-18}$	0,547
2	1,5	0,9	1,14	$7,92 \cdot 10^{-5}$	1,66	$2,61 \cdot 10^{-18}$	0,506
3	2,5	1,0	1,0	$4,43 \cdot 10^{-5}$	1,64	$1,15 \cdot 10^{-18}$	0,502
MET Rehoplus-toevoeging							
4	1,0	0,9	1,11	$2,62 \cdot 10^{-4}$	1,45	$8,39 \cdot 10^{-18}$	0,46
5	1,5	1,0	1,02	$1,69 \cdot 10^{-4}$	1,26	$4,45 \cdot 10^{-18}$	0,41
6	2,0	1,0	0,95	$1,3 \cdot 10^{-4}$	1,12	$3,2 \cdot 10^{-18}$	0,37
7	3,0	1,0	0,82	$5,0 \cdot 10^{-5}$	1,17	$1,1 \cdot 10^{-18}$	0,385

Bijlage 12 DRUKOPBOUW BIJ NAPERSEN IN MEMBRAANFILTERPERSEN

Bij het vullen van een membraanfilterpers worden de kamers volgepompt en vindt een koekopbouw plaats. Als een bepaalde druk is bereikt, wordt het vullen beëindigd en neemt de druk in de kamers af, doordat filtraat uit de slibkoek stroomt. Na het vullen wordt de koek nageperst door de membranen in de kamers op vullen met lucht. De druk in de membranen wordt opgebouwd tot een bepaalde eindwaarde, die enige tijd wordt vastgehouden.

In de praktijk is op de rwzi Enschede-West gebleken dat een langzame, gelijkmatige opbouw tijdens het persen een positieve invloed heeft op het einddrogestofgehalte van de slibkoek. Om het inzicht in het effect van de persdrukopbouw op het drogestofgehalte te vergroten is een onderzoek hiernaar uitgevoerd.

Het onderzoek is uitgevoerd op de rwzi Enschede-West, waarbij gebruik gemaakt is van de CP-cel. Met de CP-cel kan continu de koekdikte worden gemeten. Omdat het in de praktijk moeilijk is verschillende waarden van de drukopbouw in te stellen, is dit nagebootst door in de CP-cel een aantal filterkoeken na te persen. Om representatieve monsters van filterkoeken te verkrijgen is een charge na het vullen gestopt en is een aantal plakken filterkoek uit de kamers gehaald. Uit deze filterkoeken is met een mal een aantal schijven gesneden met een diameter gelijk aan die van de CP-cel. De filterkoek is in de cel gebracht. In de cel zijn vervolgens verschillende snelheden voor de drukopbouw toegepast.

Tijdens het persen van de filterkoeken is de afname van de koekdikte gemeten. Tevens is de koekmassa voor en na ontwatering in de CP-cel gemeten, op basis waarvan het einddrogestofgehalte van de koeken is berekend.

Uit de metingen is gebleken dat een snelle opbouw van de napersdruk over het algemeen tot een lager einddrogestofgehalte leidt dan een langzame opbouw van de napersdruk. Dit komt overeen met de praktijkervaring.

