

NN31085.94-07

i g e

rioolwater-
zuiveringsinrichtingen

rwzi
2000

R94-07

HET UITTESTEN VAN DE FILTRATIE-EXPRESSIECEL IN DE PRAKTIJK



RIZA

Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer
en Afvalwaterbehandeling

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

stowa

Stichting Toegepast Onderzoek
Waterbeheer

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

NW 3100/94-97

neratie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectieuning en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70411



BIBLIOTHEEK
STARINGEER

HET UITTESTEN VAN DE FILTRATIE-EXPRESSIECEL IN DE PRAKTIJK

auteur(s):

TU-Eindhoven, Laboratorium
voor Scheidingstechnologie:

ir. A.J.M. Herwijn
drs. E.J. La Heij
ing. P.M.H. Janssen
dr.ir. W.J. Coumans
prof.dr.ir. P.J.A.M. Kerkhof



17 SEP. 1997

RWZI 2000 94-07

Handwritten signature or mark.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	3
SAMENVATTING	5
1 INLEIDING	7
2 DE SLIBVERWERKINGSINSTALLATIE IN MIERLO	9
3 HET PRAKTIJKGERICHTE ONDERZOEK	13
3.1 De Filtratie-Expressiecel	13
3.2 Resultaten en discussie	16
3.2.1 Experimenten met verschillende concentraties FeCl_3 en $\text{Ca}(\text{OH})_2$	17
3.2.2 Experimenten met geflocculeerde slibmonsters afgetapt op verschillende posities in het kamerfilterperssysteem	20
3.2.3 Experimenten met verschillende doseringen polyelectrolyt en onder verschillende mengcondities	23
3.2.4 Experimenten met geflocculeerde slibmonsters afgetapt vlak vóór de zeefbandpers	26
4 APPARAATMODELLEN	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Eerste aanzet tot apparaatmodellen	29
4.3 Simulaties	32
4.4 Invloed van het filterdoek	34
4.5 Expressie in de membraanpers	36
5 EVALUATIE	39
5.1 Praktijkgericht onderzoek	39
5.2 Apparaatmodellen	40
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	41
7 LITERATUUR	43

VOORWOORD

De problematiek rond de nuttige afzet van zuiveringsslib heeft binnen het RWZI 2000 onderzoekprogramma ruim aandacht gekregen. Naast kwaliteitsverbetering van zuiveringsslib kan de omvang van het probleem worden verkleind door het volume van de hoeveelheid slib, dat vrij komt te beperken o.a. door een verbeterde ontwatering. Aangezien destijds met de toenmalige, veelal op empirisch onderzoek gebaseerde inzichten en kennis geen substantiële verhoging van het drogestofgehalte was te verwachten, is in 1990 een fundamenteel onderzoek gestart naar slib/waterscheiding. Dit onderzoek is uitgevoerd in het Laboratorium voor Scheidingstechnologie van de TU-Eindhoven door een projectgroep, bestaande uit ir. A.J.M. Herwijn, drs. E.J. La Heij en ing. P.M.H. Janssen onder begeleiding van dr.ir. W.J. Coumans en prof.dr.ir. P.J.A.M. Kerkhof.

In de voorafgaande fase (1990 -1994), waarin het onderzoek een fundamenteel karakter had, is de aandacht voornamelijk gericht geweest op een zeer uitgebreide karakterisering van zuiveringsslib en op modellering van het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib. De onderzoeksresultaten zijn vastgelegd in een uit acht delen bestaand eindrapport "Fundamentele aspecten van slibontwatering" (RWZI 2000 94-02).

In de onderhavige overbruggingsfase (januari - juli 1994) is één van de slibkarakteriseringsmethoden, t.w. de filtratie-expressiecel getoetst aan de dagelijkse praktijk van de slibverwerkingsinstallatie te Mierlo. Tevens is er een aanzet gegeven tot het ontwikkelen van apparaatmodellen op basis van het in de vorige fase verkregen fysisch-mathematisch model voor de beschrijving van het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib.

Bij de uitvoering van het onderzoek werd het projectteam begeleid door een commissie bestaande uit ir. H.A. Meijer (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf (TU-Delft / Witteveen + Bos), ing. R. Kampf (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen), ir. R.E.M. van Oers (Hoogheemraadschap West-Brabant), prof.dr.ir. W.H. Rulkens (LU-Wageningen), ing. G.B.J. Rijs (RIZA), ir. J.R.A.G. Schepman (Witteveen + Bos), ir. P.C. Stamperius (STOWA) en ir. T.W.M. Wouda (GTD Oost-Brabant).

Tevens willen de onderzoekers de heren M. Marskamp, A.P.J. Menheere en T.W.M. Wouda van het waterschap De Dommel bedanken voor hun medewerking en gastvrijheid op de slibverwerkingsinstallatie te Mierlo.

Lelystad, december 1994

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

prof. dr. J. de Jong
(voorzitter)

SAMENVATTING

In de periode van januari tot en met juni 1994 is een verkennend onderzoek uitgevoerd waarin de filtratie-expressiecel is uitgetest bij de slibverwerkingsinstallatie in Mierlo. De filtratie-expressiecel blijkt bij de slibontwatering een nuttig apparaat te zijn voor procescontrole, procesoptimalisatie en het opsporen van "bottle-necks". Tevens is een eerste aanzet gegeven tot het ontwikkelen van apparaatmodellen. Beide deelonderzoeken zijn een vervolg op het onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering" (RWZI 2000 94-02).

De metingen zijn uitgevoerd aan slib dat verwerkt wordt met behulp van kamerfilterpersen en zeefbandpersen. Er zijn verschillende series expressie-experimenten uitgevoerd waarbij zowel geflocculeerde als ongeflocculeerde monsters, afgetapt uit het ontwateringssysteem, zijn gebruikt. De ongeconditioneerde monsters zijn op laboratoriumschaal geflocculeerd waarbij zowel de flocculantdosering als de mengintensiteit is gevarieerd.

Het blijkt dat in de praktijk hoge kalkdoseringen worden gebruikt (40-60 gew.%). Een maximaal gecorrigeerd drogestofgehalte wordt al bereikt bij 20 gew.%.

Na-indikking heeft een negatieve invloed op de filtratiesnelheid en het te bereiken einddrogestofgehalte.

De specifieke filtratieweerstand van slib afgetapt vóór de membraanpomp is veel hoger dan die van slib afgetapt ná de membraanpomp hetgeen betekent dat de slibvlokken in de pomp worden stukgeslagen.

Er kan een optimale combinatie van polyelectrolytdosering (Nalco 41/62) en roerintensiteit gevonden waarbij de specifieke filtratieweerstand minimaal en het einddrogestofgehalte maximaal is.

Ten behoeve van het onderzoek naar de apparaatmodellen zijn ééndimensionale simulaties uitgevoerd waarbij rekening is gehouden met een realistische drukopbouw en expressietijden in kamerfilterpersen en zeefbandpersen. Een verblijftijd van gemiddeld 2,5 uur in de kamerfilterpers is voldoende om drogestofgehaltenes van meer dan 40 gew.% te bereiken. Er treden grote locale verschillen in drogestofgehaltenes per kamer op in een kamerfilterpers. Een slibverblijftijd van gemiddeld 10 minuten in de zeefbandpers is onvoldoende om hoge einddrogestofgehaltenes te bereiken.

1 INLEIDING

Het in dit verslag beschreven onderzoek is binnen het onderzoekprogramma RWZI 2000 geformuleerd als vervolg op het onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering (RWZI 2000 94-02)". Een onderzoekvoorstel [Kerkhof en Coumans, 1993] vormde voor dit vervolgonderzoek de basis. In het voorafgaande onderzoek zijn veel kennis, methodieken en inzichten ontwikkeld m.b.t. het gedrag van zuiveringsslib tijdens een mechanisch ontwateringsproces onder goed gedefinieerde condities in kleinschalige laboratoriumopstellingen. Daarnaast is een fysisch/mathematisch model ontwikkeld voor de beschrijving van het mechanische ontwateringsgedrag van zuiveringsslib [Herwijn et al., 1994]. Het is een logische stap om te trachten deze expertise te vertalen en toe te passen in de praktijk. In dit vervolgonderzoek kunnen de volgende twee activiteiten worden onderscheiden:

1. Praktijkgericht onderzoek bij een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi). Eén van de belangrijkste methoden die ontwikkeld en getest is in het fundamentele onderzoek is de Filtratie-Expressiecel. Met behulp van deze meetcel kan het filtratie- en expressieproces van de slibontwatering worden gesimuleerd. De meetcel is ingezet bij de slibverwerking te Mierlo dat o.a. het zuiveringsslib verwerkt van de rwzi Eindhoven.

De meetgegevens zouden in eerste instantie kunnen worden ingezet voor diagnostische doeleinden, met name van het flocculatieproces. Op basis van dezelfde meetgegevens kan ook worden nagegaan in hoeverre optimalisatie van het ontwateringsproces kan plaatsvinden, door bijv. sturing van de flocculantdosering. Daartoe dient de optimale flocculantdosering bepaald met de Filtratie-Expressiecel steeds te worden vergeleken met de praktijkdosering.

De metingen dienen elke dag te worden uitgevoerd vanwege de sterk variërende samenstelling van het zuiveringsslib.

2. Aanzet tot apparaatmodellen. Het ontwikkelde fysisch-mathematisch model biedt een uitstekende basis voor het ontwikkelen van apparaatmodellen. Apparaatmodellen zijn modellen waarmee het ontwateringsgedrag van kamerfilterpersen, membraanfilterpersen en zeefbandpersen wordt beschreven en gesimuleerd. Aspecten die in dit deelonderzoek werden onderzocht zijn o.a. de manier waarop de kamers in kamerfilterpersen worden gevuld, vultijden in kamerfilterpersen en zeefbandpersen en weerstanden van filterdoeken.

2 DE SLIBVERWERKINGSINSTALLATIE IN MIERLO

De slibverwerkingsinstallatie in Mierlo valt onder het beheer van Waterschap de Dommel. In rwzi Eindhoven wordt het afvalwater uit Eindhoven en omstreken gezuiverd (type: aëratietank). Het zuiveringsslib dat hierbij vrijkomt, wordt ontwaterd in de speciale slibverwerkingsinstallatie in Mierlo. Hieronder staan enkele gegevens vermeld van rwzi-Eindhoven en de slibverwerkingsinstallatie Mierlo.

rwzi-Eindhoven

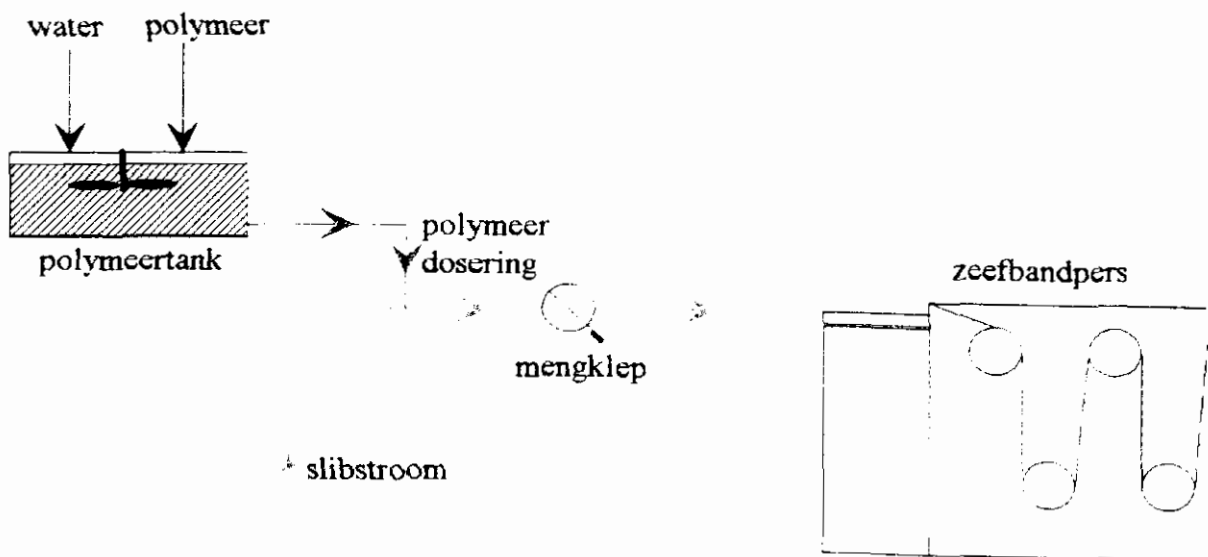
aangesloten plaatsen:	Eindhoven en een groot aantal kleinere plaatsen. Bij elkaar 25 steden en dorpen.
samenstelling:	60% huishoudelijk, 40% industrieel.
debiet influent:	$5,0 \cdot 10^7$ m ³ /jaar.
ontwerpcapaciteit:	750.000 inwonerequivalenten.
slibbelasting:	0,20 kg BZV/kg d.s..dag.
slibleeftijd:	6 dagen.

slibverwerkingsinstallatie Mierlo

debiet slib:	$5,6 \cdot 10^5$ m ³ /jaar.
ontwateringsapparatuur:	5 zeefbandpersen (ZBP): 2950 kg d.s./uur (totaal). 1 centrifuge (C): 1500-1750 kg d.s./uur. 2 kamerfilterpersen (KFP): 2 x 7,5 m ² , perstijd 2,5 - 3 uur.
% d.s. te ontwateren slib:	ca. 2.5 gew.%. % d.s. ontwaterd slib: ca. 20 gew.% (ZBP), ca. 25 gew.% (C), ca 35 gew.% (KFP).
flocculantverbruik:	40-60 g FeCl ₃ /kg d.s., 400-500 g Ca(OH) ₂ /kg d.s. (KFP), 4-5 g actief pe/kg d.s. (C en ZBP).
gebruikte polyelectrolyt:	Nalco 41/62 van Nalco Company.

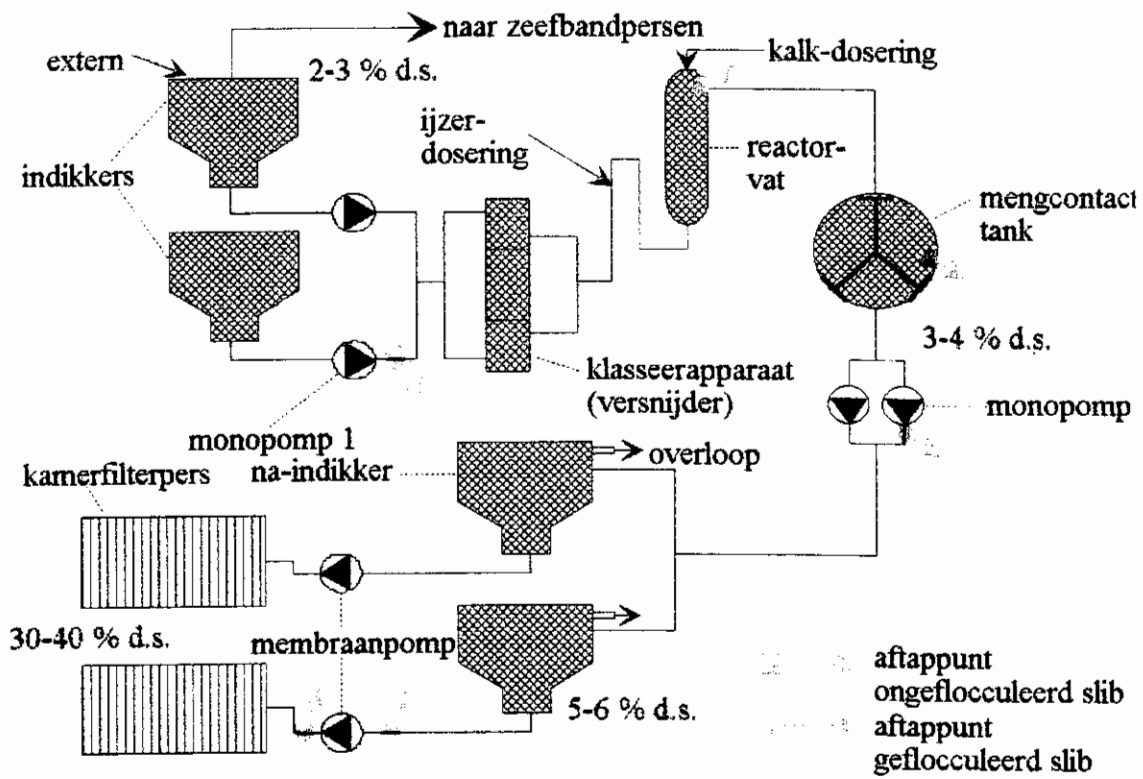
De metingen in Mierlo zijn uitgevoerd aan slib dat verwerkt wordt met behulp van kamerfilterpersen en zeefbandpersen. Het slib dat vanuit rwzi Eindhoven in Mierlo aankomt wordt opgeslagen in twee buffertanks. De samenstelling van dit slib is niet constant en afhankelijk van verschillende externe factoren zoals: dag van de week, weersomstandigheden,

toevoer van extern slib etc. Van hieruit gaat één stroom naar de zeefbandpersen cq. centrifuge (figuur 1) en één stroom naar de kamerfilterpersen (figuur 2). Het slib voor de zeefbandpersen wordt geconditioneerd met het polymeer Nalco 41/62 en daarna rechtstreeks op de zeefbandpersen gebracht voor ontwatering. Het polymeer wordt geleverd als een polymeerolie-emulsie die 40% werkzame stof bevat. Deze polymeeremulsie wordt voor menging met het slib verdund met water in een verhouding van ca. 1 : 35.



Figuur 1 Het processchema van de zeefbandpers

Het slib voor de kamerfilterpersen doorloopt nog een voorbehandeling voor de ontwateringsfase (zie figuur 2). Vanuit de buffertank (indikker) wordt het slib (d.s. 2-3 %) verpompt door het klasseerapparaat waar grove stukken versneden worden. Na deze stap wordt het slib geconditioneerd. Aan de slibstroom wordt eerst FeCl_3 (concentratie 200 g Fe/l) en daarna een $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -oplossing (10-15 gew.%) toegevoegd. De menging van het slib met de flocculanten treedt op in het reactorvat en de mengcontacttank (d.s. 3-4 %). Van hieruit komt het slib in de na-indikers waarbij het drogestofgehalte toeneemt tot 5-6 gew.%. Dit slib wordt ontwaterd in de kamerfilterpersen. Na ontwatering heeft de slibkoek een drogestofgehalte van 30-40 gew.%.

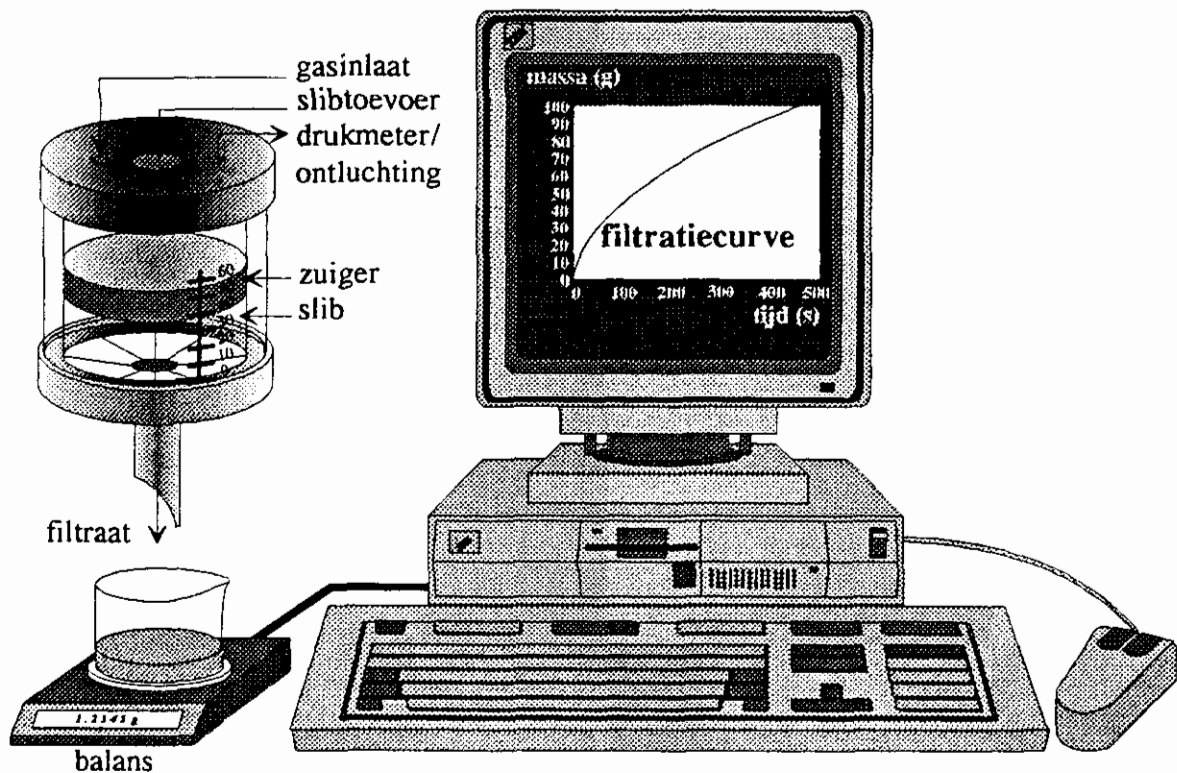


Figuur 2 Het processchema van het kamerfilterperssysteem

3 HET PRAKTIJKGERICHTE ONDERZOEK

3.1 De Filtratie-Expressiecel

In het kader van het onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering" is een geautomatiseerde meetopstelling ontwikkeld waarmee filtratie- en expressie-experimenten kunnen worden uitgevoerd. Tot op heden is het ontwateringsgedrag van zuiveringslib in de praktijk onderzocht aan de hand van o.a. MFT en filtratiesnelheid. Introductie van de filtratie-expressiecel in de praktijk zal leiden tot een verhoging van het inzicht in het ontwateringsproces, betere beheersbare mechanische slibontwatering en eventueel lager flocculantverbruik. Een beter beheersbare slibontwatering zou kunnen leiden tot een lager energieverbruik en een efficiëntere inzet van ontwateringsapparatuur. In de huidige praktijksituatie geschiedt de keuze van type en dosering flocculant slechts op basis van 'trial en error' en deels op ervaring. Ten behoeve van het praktijkgerichte onderzoek is een mobiele meetopstelling gebouwd. Daarnaast is een gebruikersvriendelijk softwareprogramma ontwikkeld waarmee de data kunnen worden ingelezen en verwerkt. Als softwarepakket is gekozen "Lucy Signal Processing Software".



Figuur 3 De filtratie-expressiecel

In figuur 3 is een tekening gegeven van de Filtratie-Expressiecel. Via een trechter wordt een bepaalde hoeveelheid geflocculeerd slib in een perspex cilinder gebracht. Bij de start van een experiment wordt een bepaalde gasdruk op de zuiger aangebracht, waardoor deze naar beneden beweegt. De zuiger zal de gevormde slibkoek gaan uitpersen (expressie). De vloeistof (filtraat) wordt opgevangen in een bekeerglas dat rust op een weegschaal. Deze is gekoppeld aan een PC. De data (massa en tijd) worden ingelezen. Tijdens een experiment is het verloop ervan (massa als functie van de tijd) zichtbaar op de monitor. In alle uitgevoerde expressie-experimenten is 100 ml slib (exclusief flocculanten) gedurende 15 minuten ontwaterd met een druk van 3 bar. De meetmethode kan worden gebruikt voor diagnose, sturing en optimalisatie van het flocculatieproces in de praktijk.

Het gehele slibontwateringsproces kan worden opgesplitst in een filtratie- en expressiefase [La Heij, 1994; Herwijn et al., 1994]. In de filtratiefase wordt een slibkoek opgebouwd. De koekhoogte neemt toe als functie van de tijd. We stellen bij benadering dat het slib zich incompressibel gedraagt. Het filtratieproces kan worden beschreven door de geïntegreerde Darcy-vergelijking. De vergelijking wordt als volgt weergegeven:

$$t = \frac{\alpha \eta c_v}{2 A^2 \Delta P} V^2 + \frac{\eta R}{A \Delta P} V \quad (3.1)$$

waarin:	α = specifieke filtratieweerstand	[m.kg ⁻¹]
	η = viscositeit van het filtraat	[Pa.s]
	A = oppervlak van het filtermedium	[m ²]
	c_v = concentratie vaste stof in de suspensie	[kg m ⁻³]
	ΔP = aangelegde drukverschil	[Pa]
	t = tijd	[s]
	V = filtraatvolume	[m ³]
	R = weerstand van filtermedium	[m ⁻¹]

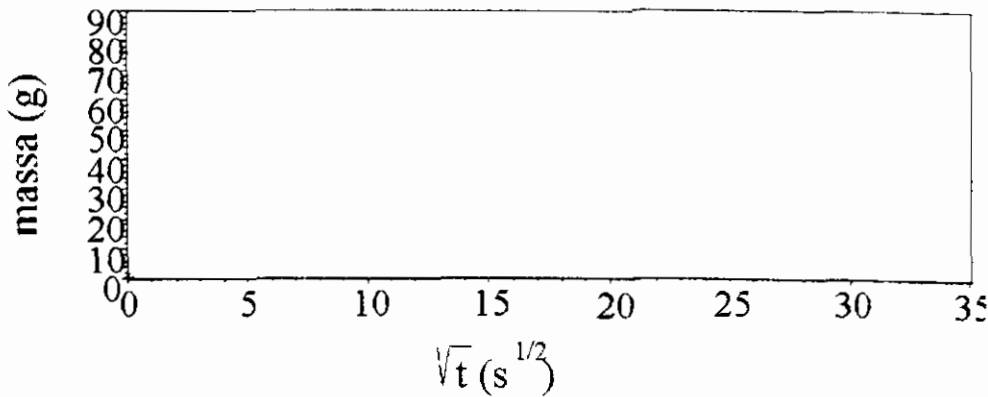
De weerstand van het filtermedium wordt vooraf bepaald. Een hoeveelheid water wordt onder een bepaalde druk door het filtermedium geperst. Dit levert een lineaire massa-tijdcurve.

De helling van deze grafiek is een maat voor de mediumweerstand. In de wet van Darcy vervalt de eerste term ($c_v = 0$):

$$R = \frac{t \cdot A \cdot \Delta P}{V \cdot \eta} \quad (3.2)$$

Indien wordt aangenomen dat de tweede term in formule 3.1 verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de eerste term kan worden afgeleid dat de filtratiefase dat deel van de ontwateringscurve is waarvoor de volgende relatie geldt:

$$\frac{dV}{d\sqrt{t}} = \text{constant} \quad (3.3)$$



Figuur 4 Filtraatmassa als functie van \sqrt{t}

Vergelijking 3.3 is ook geldig voor compressibele media zoals slib [La Heij, 1994].

In figuur 4 is de filtraatmassa welke evenredig is met het filtraatvolume V , uitgezet als functie van \sqrt{t} . Het gedeelte van de grafiek waar m lineair toeneemt met \sqrt{t} is de filtratiefase. Op het tijdstip waarop het verband tussen m en \sqrt{t} begint af te wijken van het lineaire gedrag start de expressiefase. In deze fase neemt de koekhoogte af en wordt de slibkoek uitgerst. Over het lineaire deel van de curve is de Darcy vergelijking getoetst. Het resultaat van deze toetsing is de waarde van de gemiddelde specifieke filtratieweerstand α . De gemiddelde specifieke filtratieweerstand is een maat voor de filtratiesnelheid. Hoe lager de filtratieweerstand, hoe hoger de filtratiesnelheid. De specifieke filtratieweerstand kan worden berekend met behulp van het betreffende softwarepakket. Deze procedure is toegepast op alle gemeten filtratie-expressiecurven. In de figuren 5 t/m 12 zijn echter de werkelijk geregistreerde curven weergegeven. Indien de massa als functie van \sqrt{t} wordt uitgezet bevindt zich in elke grafiek een lineair gedeelte (filtratiefase).

Naast de specifieke filtratieweerstand is ook het einddrogestofgehalte van de slibkoek bepaald.

3.2 Resultaten en discussie

Gedurende een periode van twee maanden zijn er metingen uitgevoerd met de Filtratie-Expressiecel bij de slibverwerkingsinstallatie te Mierlo. Onderstaande metingen zijn uitgevoerd om te testen of het ontwateringsgedrag van slib in de praktijk met behulp van de filtratie-expressiecel is te simuleren om zo de procescondities te optimaliseren bij de verschillende ontwateringssystemen.

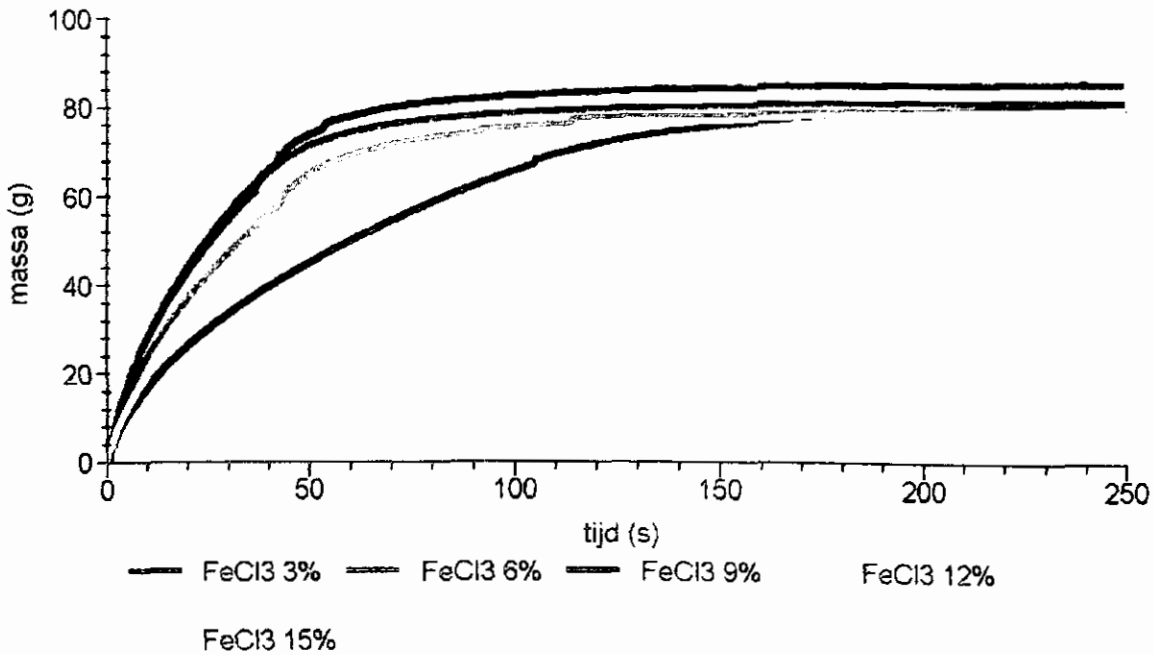
De metingen kunnen worden onderverdeeld in de volgende categorieën:

1. Experimenten uitgevoerd met verschillende concentraties FeCl_3 en $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ongeflocculeerd slib is afgetapt vóór de ferridoserings en geflocculeerd op laboratoriumschaal.
2. Experimenten met geflocculeerde ($\text{FeCl}_3/\text{Ca}(\text{OH})_2$) slibmonsters die afgetapt zijn op verschillende posities in het kamerfilterperssysteem (zie figuur 2).
3. Experimenten uitgevoerd met verschillende concentraties polyelectrolyt Nalco 41/62. Tevens zijn er experimenten uitgevoerd waarbij de roertijd tijdens de menging van polyelectrolyt met slib is gevarieerd. Ongeflocculeerde slibmonsters zijn daartoe afgetapt op een positie vóór de dosering van de polymeeroplossing en daarna geflocculeerd op laboratoriumschaal.
4. Experimenten uitgevoerd met met polyelectrolyt geflocculeerde slibmonsters en afgetapt op posities vlak vóór de verschillende zeefbandpersen.
5. Proeven ter bepaling van einddrogestofgehalteverdeling in kamers. Hiernaast wordt ook het gecorrigeerde drogestofgehalte bepaald. Hierbij wordt het drogestofgehalte gecorrigeerd voor de toegevoegde hoeveelheden chemicaliën. Dit is een maat voor het verwijderde water.
6. Experimenten die tot doel hadden de vervuiling van filterdoeken te onderzoeken.

In de hiernavolgende subparagrafen zal nader worden ingegaan op de resultaten van de verschillende categorieën metingen. Per categorie is een aantal reeksen van experimenten uitgevoerd. In de subparagrafen worden slechts de resultaten besproken van één reeks experimenten per categorie, die voor de betreffende categorie representatief is.

3.2.1 Experimenten met verschillende concentraties FeCl_3 en $\text{Ca}(\text{OH})_2$

In figuur 5 zijn de geregistreerde expressiecurven gegeven van een reeks experimenten uitgevoerd met verschillende concentraties FeCl_3 op drogestofbasis. Ongeflocculeerd slib is afgetapt vóór de ferridoserings en heeft een drogestofgehalte van 4 gew. %.



Figuur 5 Filtratie-expressiecurven voor slib geflocculeerd met verschillende FeCl_3 - doseringen

Het slib is geflocculeerd op laboratoriumschaal. In deze reeks is een kalkdosering gebruikt van 36 gew. % op drogestofbasis. Een maximale ontwateringssnelheid wordt bereikt bij een dosering van 9 gew. % op drogestofbasis.

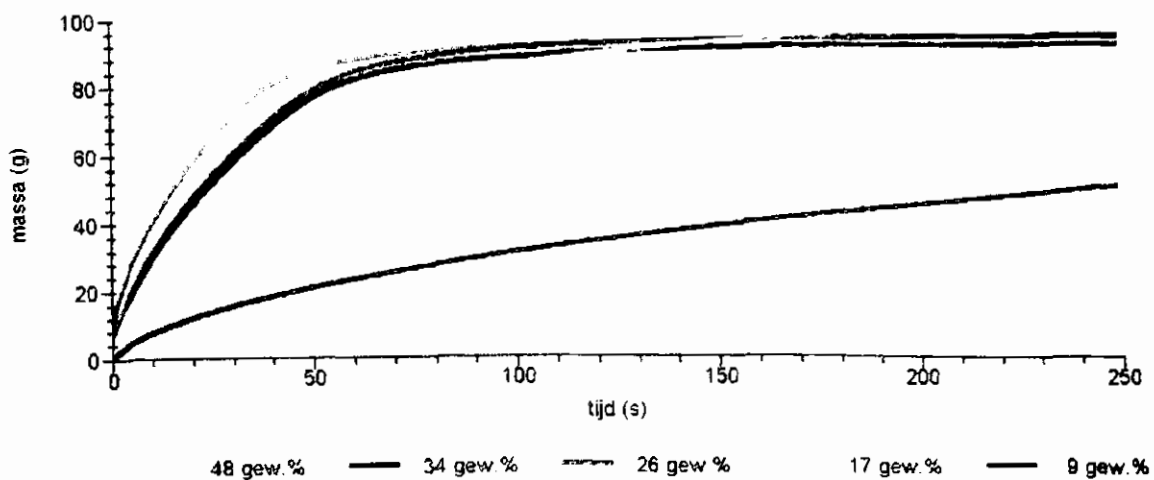
Dit komt overeen met de verkregen resultaten uit voorgaand onderzoek [Herwijn et al., 1994]. In tabel 1 zijn de waarden gegeven van de berekende specifieke filtratieweerstanden en de bereikte en gecorrigeerde einddrogestofgehalten na expressie.

Tabel 1 Specifieke filtratieweerstand α en drogestofgehaltenes van monsters geflocculeerd met verschillende concentraties FeCl_3 en een constante Ca(OH)_2 dosering (36 %).

FeCl_3 -dosering (gew. % op d.s.- basis)	α (10^{12} m.kg ⁻¹)	% d.s. (gew. %)	gec. % d.s. (gew. %)
3	3,8	39,7	25,7
6	1,6	37,6	24,1
9	1,5	35,5	22,7
12	2,4	33,0	21,1
15	2,7	29,9	19,1

De dosering FeCl_3 heeft een duidelijke invloed op de filtratiesnelheid. Het hoogste drogestofgehalte wordt echter bereikt bij een dosering van 3 gew.% FeCl_3 op drogestofbasis. De gebruikte kalkdosering is vrij hoog. De gevormde slibkoek bestaat uit een starre matrix, waardoor er nauwelijks sprake is van een compressibele koek. Het te bereiken drogestofgehalte na expressie wordt daardoor voornamelijk bepaald door de structuur van de filterkoek (beïnvloed door Ca(OH)_2) en niet door aggregatie van slibdeeltjes geïnduceerd door FeCl_3 .

In figuur 6 zijn gemeten expressiecurven gegeven van een reeks experimenten waarbij de kalkdosering is gevarieerd. Het drogestofgehalte van het ongeflocculeerde slib is 3,2 gew.%. De dosering FeCl_3 dosering is constant en gelijk aan 6,3 gew.% op drogestofbasis.



Figuur 6 Filtratie-expressiecurven voor slib geflocculeerd met verschillende doseringen Ca(OH)_2

In tabel 2 zijn de resultaten gegeven.

Tabel 2 Specifieke filtratieweerstand α en drogestofgehalten van monsters geflocculeerd met verschillende doseringen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en een constante hoeveelheid FeCl_3 (6,3 %).

kalkdosering (gew.% op d.s.-basis)	α ($10^{12} \text{ m.kg}^{-1}$)	% d.s. (gew.%)	gec. % d.s. (gew.%)
8,6	24,0	17,2	14,9
17,2	3,2	37,5	31,7
25,8	1,8	36,4	28,9
34,4	1,8	37,6	28,0
48,4	1,4	36,7	25,2

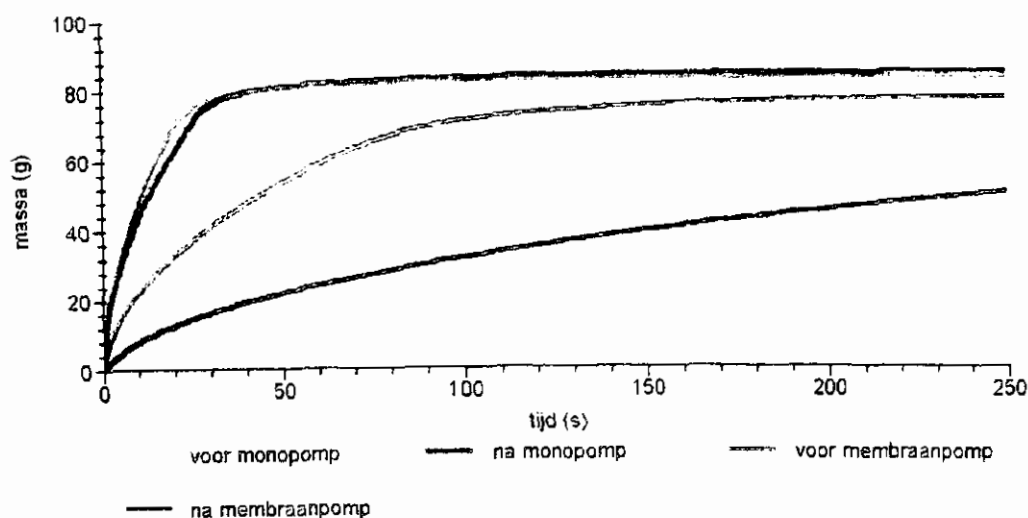
Een hoge kalkdosering heeft een hoge filtratiesnelheid tot gevolg. Dit kan worden verklaard door de vrij starre slibmatrix die ontstaat door toevoeging van grote hoeveelheden kalk. De gevormde poriën zullen waarschijnlijk ten gevolge van het incompressibele karakter van de slibkoek niet dichtslaan waardoor de permeabiliteit van de koek groter zal worden. Het gecorrigeerde drogestofgehalte gec.% d.s. (waarbij geen rekening gehouden wordt met toevoeging van flocculanten) is het hoogst bij een kalkdosering van 17,2 gew.%.

In de praktijk worden echter relatief grote hoeveelheden kalk gebruikt (50-70 gew.%). De gecorrigeerde drogestofgehalten liggen bij deze hoge dosering kalk echter veel lager (zie tabel 2 en 3). Door de toevoeging van grote hoeveelheden kalk introduceert men extra hoeveelheden drogestof en dit heeft een negatieve invloed op het gecorrigeerde drogestofgehalte. De praktijkervaring wijst uit dat bij lagere doseringen (ca. 20 gew.%) de slibkoek gaat hechten aan het filterdoek, waardoor het lossen van de koeken in de kamer bemoeilijkt zal worden. Dit aspect van het hechten van slibkoek aan filterdoeken zou een aanbeveling voor nader onderzoek kunnen zijn.

3.2.2 Experimenten met geflocculeerde slibmonsters afgetapt op verschillende posities in het kamerfilterperssysteem

In dit deelonderzoek is het expressiegedrag onderzocht van slibmonsters die zijn afgetapt op verschillende posities in de toevoerleidingen naar de twee kamerfilterpersen. Er is gekozen voor vier aftappunten: vóór en na de monopomp 2 en vóór en na de membraanpomp (zie figuur 2).

Figuur 7 Filtratie-expressiecurven voor geflocculeerde slibmonsters afgetapt op



verschillende posities in het kamerfilterperssysteem

In figuur 7 zijn de vier expressiecurven gegeven. Het verschil in specifieke filtratieweerstand tussen slibmonsters genomen vóór en na de monopomp 2 is gering.

Het verschil in zowel α als het drogestofgehalte tussen monsters genomen na monopomp 2 en voor de membraanpomp is aanzienlijk. De na-indikker heeft dus een duidelijk negatief effect op de ontwateringseigenschappen van het slib. De verblijftijd in de na-indikker kan hierbij een belangrijke rol spelen. Door deze verblijftijd zo laag mogelijk te houden of de na-indikking achterwege te laten zou een verbetering van de ontwateringseigenschappen kunnen optreden.

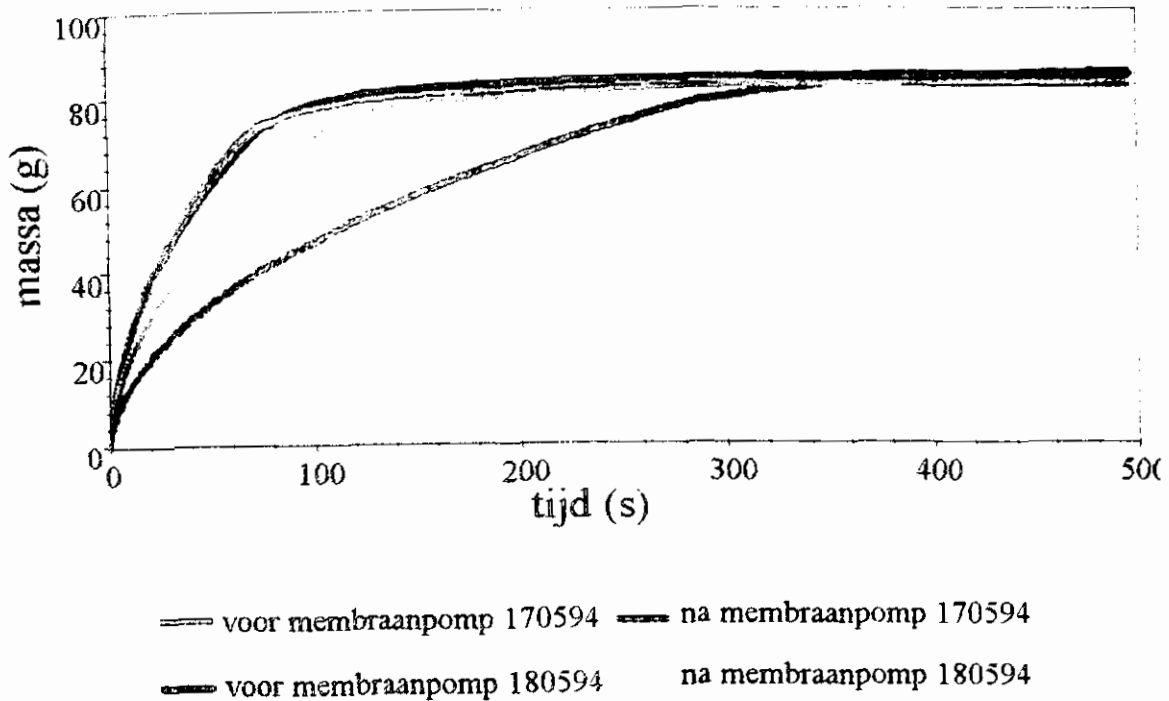
De specifieke filtratieweerstand van slib afgetapt na de membraanpomp is veel groter dan die van slib afgetapt voor de membraanpomp. In deze pomp bevindt zich een kogel die grote krachten uitoefent op de slibvlokken. De slibvlokken worden waarschijnlijk stukgeslagen waardoor er kleine vlokken/deeltjes worden gevormd die het filtratiegedrag nadelig beïnvloeden. De membraanpompen die in gebruik zijn beïnvloeden de filtratiesnelheid van het slib negatief en daarmee de ontwateringscapaciteit van de kamerfilterpersen. In tabel 3 zijn de specifieke filtratieweerstanden en einddrogestofgehalten na expressie gegeven.

Dit deelonderzoek is een aantal malen herhaald en de grote verschillen in filtratiesnelheid voor en achter de membraanpomp zijn elke keer weer opnieuw geconstateerd.

Tabel 3 *Specifieke filtratieweerstand α en drogestofgehaltes van monsters afgetapt op verschillende plaatsen in het kamerfilterperssysteem.*

positie	α (10^{12} m.kg ⁻¹)	% d.s. (gew.%)	gec. % d.s. (gew.%)
voor monopomp 2	1,5	36,1	24
na monopomp 2	2,3	35,6	25
voor membraanpomp	3,2	32,2	23
na membraanpomp	11,0	33,4	22

Op 17 mei is een vrij hoge filtratieweerstand gemeten van een slibmonster dat is afgetapt achter de membraanpomp ($\alpha = 1.6 \cdot 10^{13}$ m.kg⁻¹). Daarna is besloten de kogels (zuigers) in de membraanpomp te verwisselen. De meting van α van een slibmonster genomen achter de membraanpomp op de volgende dag wees uit dat er een duidelijke verbetering was opgetreden ($\alpha = 5.4 \cdot 10^{12}$ m.kg⁻¹). Deze verlaging van de specifieke filtratieweerstand is significant en kan niet verklaard worden door wisselende slibeigenschappen. In figuur 8 zijn de expressiecurven weergegeven van de metingen op 17 en 18 mei. De filtratie-expressiecel kan dus worden gebruikt voor het opsporen van 'bottle necks' in het systeem en heeft dus duidelijk een diagnostische waarde.



Figuur 8 Filtratie-expressiecurven voor en na verwisselen van kogels in membraanpomp

In onderstaande tabellen 4 en 5 zijn enkele resultaten samengevat om duidelijk de invloed van de toegevoegde hoeveelheid Ca(OH)_2 aan te geven. In de kolom van % d.s. zien we dat de hoeveelheid toegevoegd Ca(OH)_2 weinig invloed heeft op het drogestofgehalte. Er treedt pas een duidelijke afname van het drogestofgehalte op bij lage Ca(OH)_2 -doseringen (9 gew.%). In de kolom voor het gecorrigeerde drogestofgehalte zien we echter wel een duidelijk optimum (17 gew.% Ca(OH)_2). Dit betekent dat bij deze Ca(OH)_2 -dosering het meeste water uit het slib verwijderd is.

Tabel 4 Invloed van de dosering Ca(OH)_2 van monsters geflocculeerd op laboratoriumbasis op het gecorrigeerde drogestofgehalte t.o.v. het niet gecorrigeerde drogestofgehalte

Ca(OH)_2 (gew.%)	α ($10^{12} \text{ m.kg}^{-1}$)	% d.s. (gew.%)	gce. % d.s. (gew.%)
48	2,1	36,7	25,2
34	2,4	37,6	28,0
26	2,3	36,4	28,9
17	3,8	37,5	31,7
9	25,6	17,2	14,9

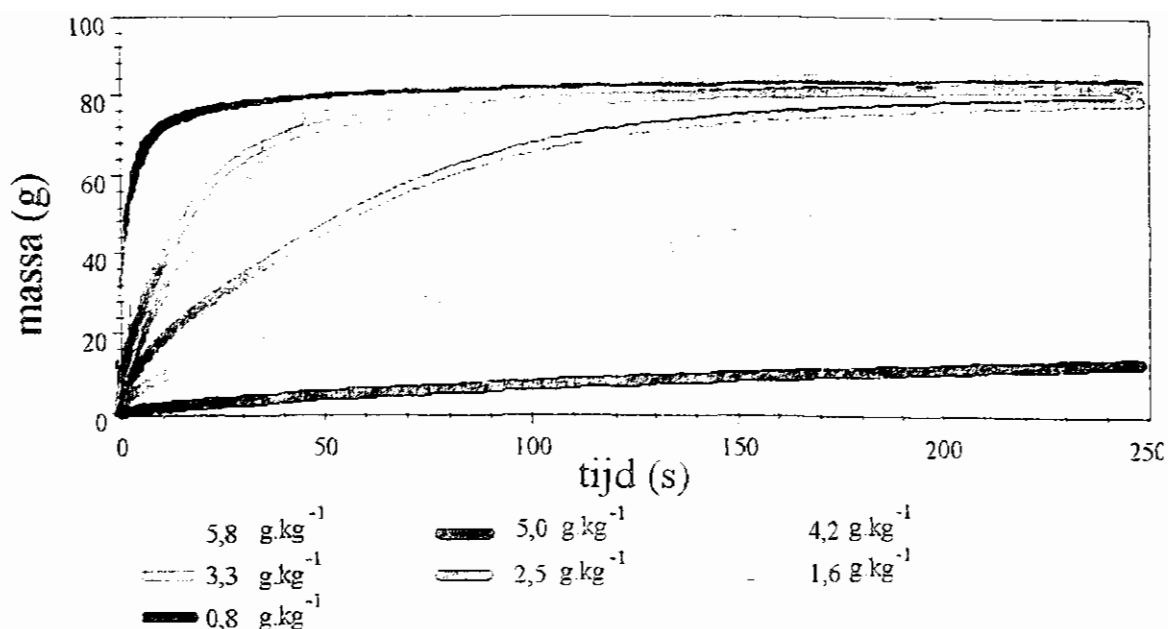
Hetzelfde zien we in tabel 5 bij praktijkmonsters. In de kolom % d.s. zien we relatief kleine verschillen in drogestofgehalte. Duidelijke verschillen treden op als we het drogestofgehalte corrigeren voor de toegevoegde chemicaliën.

Tabel 5 Invloed van de dosering Ca(OH)₂ van praktijkmonsters op het gecorrigeerde drogestofgehalte t.o.v. het niet gecorrigeerde drogestofgehalte.

monstername/ datum	Ca(OH) ₂ (gew.%)	α (10 ¹² m.kg ⁻¹)	% d.s. (gew.%)	gec. % d.s. (gew.%)
na monopomp 2/ 120494	47	1,6	36,5	30,1
voor membraanpomp/120494	47	0,9	37,1	27,8
voor monopomp 2/ 140494	62	1,0	35,2	24,4
na monopomp 2/ 140494	62	1,3	34,0	23,2
voor membraanpomp/140494	62	1,3	34,2	23,3
na membraanpomp/ 140494	62	1,6	34,9	23,9
na monopomp 2/ 150494	163	1,8	38,2	19,1
voor membraanpomp/150494	163	2,2	37,4	18,5
na membraanpomp/ 150494	163	5,1	39,0	19,5

3.2.3 Experimenten met verschillende doseringen polyelectrolyt en onder verschillende mengcondities.

Ongeflocculeerd slib is afgetapt in de kelder onder de zeebandpersen. Op laboratoriumschaal is het slib geflocculeerd met verschillende doseringen polyelectrolyt (pe). Het type polyelectrolyt dat wordt gebruikt is Nalco 41/62. Het door de leverancier geleverde polyelectrolyt is aangemaakt als een emulsie van polyelectrolyt en olie. De polyelectrolytemulsie is gemengd bij een roertijd van 15 seconden en roersnelheid van 1000 rpm. De emulsie bevat ongeveer 40 gew.% werkzame stof. De doseringen worden uitgedrukt in gram actief polymeer per kilogram drogestof.



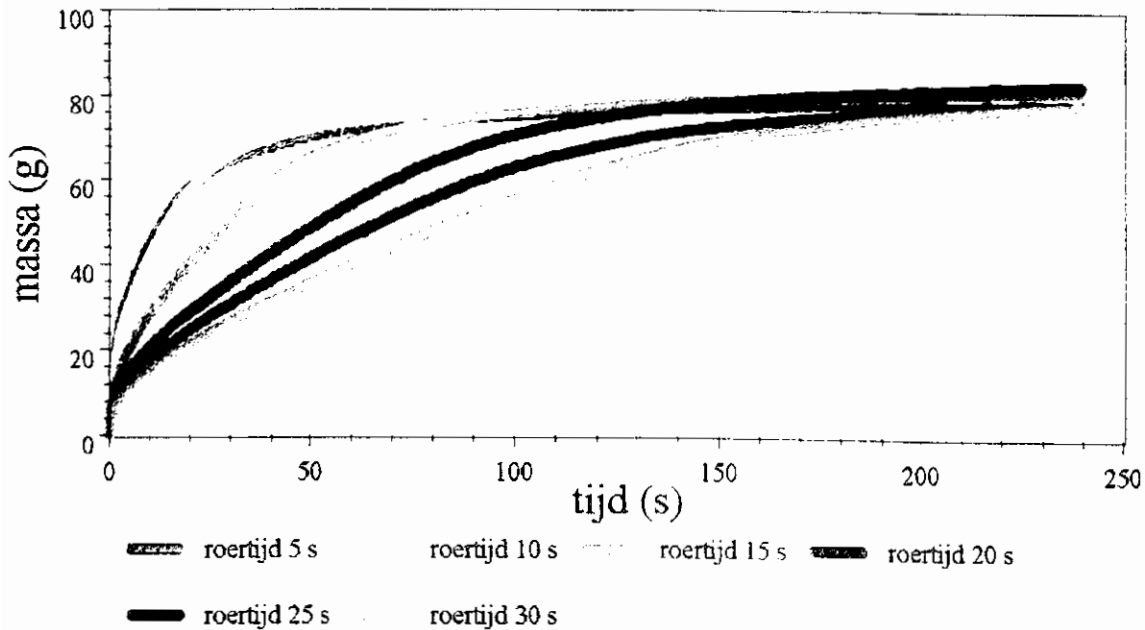
Figuur 10 Filtratie-expressiecurven van slib geflocculeerd met verschillende doseringen polyelectrolyt Nalco 41/62.

Volgens verwachting wordt er bij een bepaalde dosering een optimum gevonden in het ontwateringsgedrag. Bij een dosering van $5,0 \text{ g pe.}(\text{kg d.s.})^{-1}$ wordt een minimale specifieke filtratieweerstand en een maximale einddrogestofgehalte gevonden. De resultaten van de verschillende metingen zijn in tabel 6 gegeven. In figuur 10 zijn de zeven expressiecurven gegeven.

Tabel 6 Specifieke filtratieweerstand α en drogestofgehalte van monsters geflocculeerd met verschillende doseringen Nalco 41/62.

pe emulsie dosering ($\text{g pe.}(\text{kg d.s.})^{-1}$)	α ($10^{12} \text{ m.kg}^{-1}$)	% d.s. (gew.%)
0,8	380	3,3
1,6	220	12,7
2,5	7,4	15,8
3,3	2,4	18,3
4,2	0,8	21,1
5,0	0,5	21,8
5,8	2,9	21,7

In een reeks experimenten is de invloed onderzocht van de mengintensiteit op het ontwateringsgedrag. In deze reeks is de roertijd gevarieerd van 5 tot 30 seconden en de roersnelheid is constant gehouden op 1000 rpm. De pe dosering is in deze reeks ook constant gehouden en is gelijk aan $4,0 \text{ pe.}(\text{kg d.s.})^{-1}$. In figuur 11 zijn de expressiecurven gegeven.



Figuur 11 Filtratie-expressiecurven van slib geflocculeerd met $4,0 \text{ pe.}(\text{kg d.s.})^{-1}$ bij verschillende roertijden.

De laagste filtratieweerstand werd gevonden bij een roertijd van 5 seconden. Bij lage roertijden (5 en 10 sec) werden ook de hoogste drogestofgehalten gevonden (zie tabel 7).

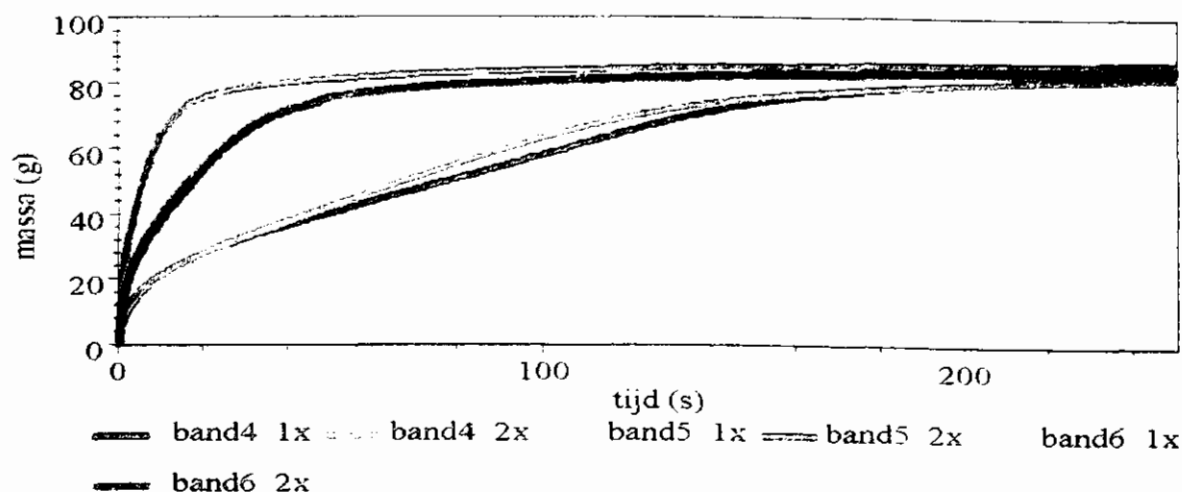
Deeltjesgrootteverdelingen bepaald aan slibmonsters geflocculeerd met Nalco 41/62 wijzen uit dat er relatief grote vlokken worden gevormd [Herwijn et al., 1994]. Door een hoge mengintensiteit zullen de gevormde vlokken worden stukgeslagen, waardoor het filtratiegedrag nadelig wordt beïnvloed. Het is dus aan te bevelen de flocculatie met het polymeer Nalco 41/62 uit te voeren met een geringe mengintensiteit.

Tabel 7 Invloed van de roerintensiteit op de specifieke filtratieweerstand α en het drogestofgehalte van monsters geflocculeerd met 4,0 g pe.(kg d.s.)⁻¹.

roertijd (s)	α (10^{12} m.kg ⁻¹)	% d.s. (gew.%)
5	2,1	20,5
10	2,2	20,0
15	4,2	19,6
20	7,3	18,4
25	13,0	17,8
30	9,5	17,8

3.2.4 Experimenten met geflocculeerde slibmonsters afgetapt vlak vóór de zeebandpersen.

Op posities vlak vóór drie zeebandpersen zijn met polyelectrolyt geflocculeerde slibmonsters afgetapt. Bij band 4 is de positionering van de mengklep vlak achter de inspuiting van het polyelectrolyt. Bij band 5 en 6 is de afstand tussen inspuiting en mengklep ca. 3 meter. Met de afgetapte slibmonsters zijn ontwateringsproeven uitgevoerd met de Filtratie-Expressiecel. De einddrogestofgehalten die werden behaald in deze proeven zijn vergeleken met de einddrogestofgehalten die werden behaald bij de betreffende zeebandpersen. De resultaten van een reeks experimenten die is uitgevoerd zijn gegeven in tabel 8. De expressiecurven zijn gegeven in figuur 12.



Figuur 12 Filtratie-expressiecurven van met polyelectrolyt geflocculeerd slibmonsters afgetapt voor de voorontwateringsfase van drie zeebandpersen.

Uit figuur 12 blijkt dat in de expressiecurve van slibmonsters afgetapt voor band 4 er zich een vrijwel lineair gedeelte bevindt. De stromingsweerstand van de filterkoek over dit lineaire stuk is vrijwel constant en is in tegenstelling tot het filtratie-/expressiegedrag van compressible filterkoeken waar de stromingsweerstand toeneemt als functie van de tijd. Twee hypothesen hiervoor zijn:

- de koek groeit niet aan doordat het slib gaat drijven in de vloeistof,
- de koek groeit wel aan maar het flocculatieproces is nog niet ten einde.

Er is geen nader onderzoek gedaan naar een mogelijke verklaring voor dit afwijkende filtratiegedrag. Nadere analyse kan wel degelijk worden uitgevoerd met de Filtratie-Expressiecel door geflocculeerde slibmonsters te nemen op verschillende posities in de aanmaaktank en toevoerleidingen naar zeefbandpers 4.

Tabel 8 Specieke filtratieweerstanden en drogestofgehaltenes van geflocculeerde slibmonsters afkomstig van verschillende zeefbandpersen bepaald met de filtratie-expressiecel. Bereikte drogestofgehaltenes zijn vergeleken met de praktijk

band nr.	pe dosering (g pe.(kg d.s.) ⁻¹)	α (10 ¹² m.kg ⁻¹)	% d.s. cel (gew.%)	% d.s. instal. (gew.%)
4	3,4	8,1	23,2	22,0
	3,4	8,8	22,2	
5	4,3	0,7	29,0	23,0
	4,3	0,9	26,3	
6	4,0	2,4	24,9	21,7
	4,0	2,7	24,0	

Uit deze categorie experimenten blijkt dat het einddrogestofgehalte bepaald met de filtratiecel iets hoger is dan dat van de zeefbandpers. Dit kan mogelijk worden verklaard door de langere perstijd voor de ontwatering van slib in de cel (15 minuten) in vergelijking met de perstijd in de zeefbandpers (6 minuten). Nader onderzoek dient te worden verricht naar de perstijd die dient te worden gebruikt in de experimenten om het te bereiken einddrogestofgehalte in de praktijk te kunnen voorspellen.

4 APPARAATMODELLEN

4.1 Inleiding

Het blijkt in de praktijk met enige regelmaat voor te komen dat slibverwerkingsinstallaties niet die ontwateringsresultaten of -capaciteit behalen waarvan bij het ontwerp was uitgegaan. Ook komt het voor dat de ontwateringsresultaten sterk fluctueren. Het zoeken van verklaringen en het verbeteren van ontwateringsresultaten geschiedt doorgaans op basis van praktijkonderzoek. Dergelijk onderzoek kost veel tijd en geld, en kan bovendien leiden tot capaciteitsproblemen in de slibontwateringsinstallatie.

Modellen waarmee de werking van slibontwateringsapparatuur wordt beschreven als functie van slibontwateringseigenschappen en proces- en apparaatparameters kunnen een belangrijk hulpmiddel zijn bij het oplossen van de vermelde problemen.

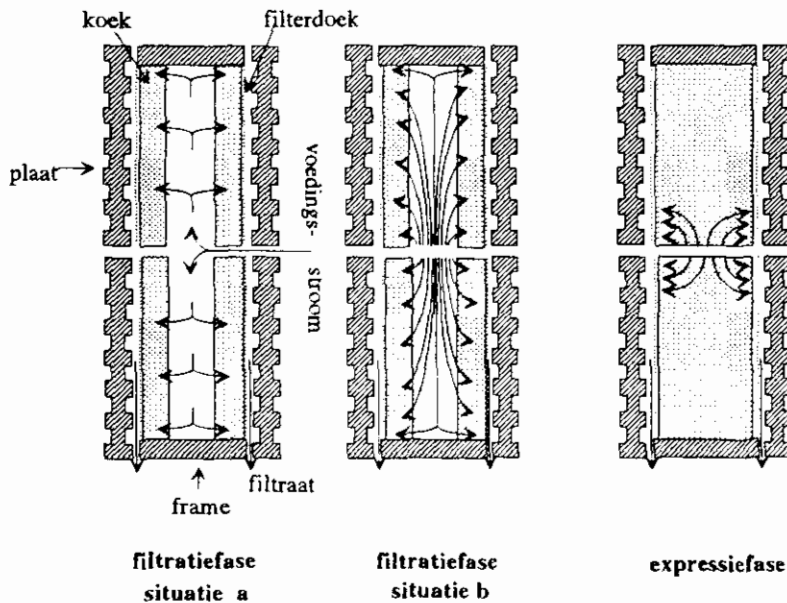
In het onderzoek "Fundamentele aspecten van slibontwatering" is een fysisch-mathematisch model ontwikkeld waarmee het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib kan worden beschreven [Herwijn et al., 1994; La Heij, 1994]. Het model biedt duidelijk aanknopingspunten voor het opstellen van apparaatmodellen. De te ontwikkelen apparaatmodellen moeten in de rwzi-praktijk kunnen worden ingezet, met name als hulpmiddel bij de optimalisatie van bestaande ontwateringsinstallaties.

4.2 Eerste aanzet tot apparaatmodellen

Hieronder volgt een bespreking van de eerste aanzet tot apparaatmodellen. De term eerste aanzet wordt gebruikt, omdat simulaties alleen zijn uitgevoerd op basis van één dimensie, terwijl in werkelijkheid in ontwateringsapparaten de stroming in drie richtingen plaatsvindt. Dit geldt vooral voor een kamerfilterpers, waarin zich ingewikkelde stromingspatronen ontwikkelen zoals zal worden besproken. Verder zijn simulaties uitgevoerd voor filtratiedrukken van 1,0 tot 1,5 MPa. De voor deze simulaties benodigde permeabiliteiten zijn met behulp van de compressie-permeabiliteitscel alleen bij lagere drukken (0-0,6 MPa) uitgevoerd [La Heij, 1994]. Dit geldt dus als tweede benadering.

In figuur 13 is de geïdealiseerde werking (filtratiefase, situatie a en expressiefase) van een kamerfilterpers schematisch weergegeven. Tijdens de filtratiefase groeien de filterkoeken parallel aan het filterdoek en de richting van de vloeistofstroming is loodrecht op het filterdoek. In werkelijkheid is de stroming veel gecompliceerder, zoals schematisch is weergegeven in situatie b in figuur 13. De vloeistof zal ingewikkelde stromingspatronen volgen, langs de opbouwende filterkoek en zeker niet loodrecht richting de filterkoek. Dit stromingspatroon is echter ingewikkeld om te modelleren. Indien de pers vol is met slibkoek, zal de vloeistof alleen nog door de koek vlakbij de inlaat stromen. Op het moment dat de

vloeistof door de koek stroomt zal zich bovendien een nieuwe compressiedrukverdeling opbouwen, die tot een aanzienlijke verhoging van het drogestofgehalte zal leiden.

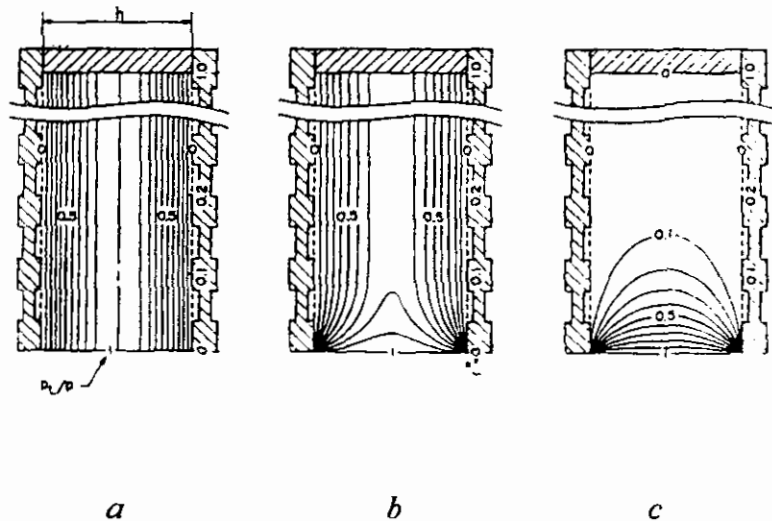


Figuur 13 Stromingspatronen van het filtraat in een kamerfilterpers.

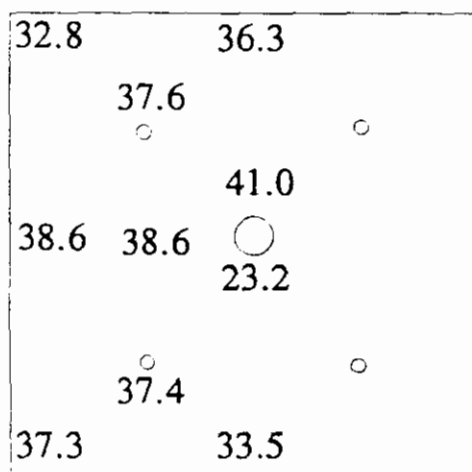
In figuur 14 zijn 2-dimensionale voorbeeldberekeningen voor een kamerfilterpers weergegeven uitgevoerd door Shirato et al. (1986). Shirato et al. transformeerde de expressievergelijking naar cilindrische coördinaten en nam aan dat de som van de compressiedruk en de vloeistofdruk gelijk is aan de aangelegde filtratie-expressiedruk. Deze relatie is waarschijnlijk te simpel voor een ingewikkelde geometrie zoals in een kamerfilterpers. Deze berekeningen kunnen daarom wederom worden beschouwd als een eerste benadering. Figuur 14a geeft de situatie aan het einde van de filtratiefase en het begin van de expressiefase weer. Het grootste gedeelte van de filterkoek is ongeconsolideerd ($p/p_1 = 0,5-1$). Figuur 14b geeft de expressiefase weer na ongeveer 20% van de totale expressiefase en figuur 14c geeft de uiteindelijke evenwichtssituatie weer. Het is duidelijk aan de hand van dit figuur dat aan het einde van de expressiefase de vloeistofdruk door de gehele koek vrijwel gelijk is aan 0 en dus is de vastestoffractie vrijwel overal gelijk in de kamer. In de praktijk zal er echter frictie optreden tussen de *filterkoek* en het *filterdoek*, waardoor er vertraging optreedt in de beweging van de vastestof. Dit resulteert in enkele natte gedeelten in de kamer. Metingen van drogestofgehaltes op verschillende plaatsen in een kamer wijzen er inderdaad op dat er grote lokale variaties optreden in drogestofgehaltes. Een goed voorbeeld is weergegeven in figuur 15; hierin is schematisch een kamer getekend met daarin weergegeven de gemeten lokale drogestofgehaltes. Het lijkt erop dat in het midden van de kamer het drogestofgehalte het hoogst is. Bij de inlaatpijp is het drogestofgehalte natuurlijk nog laag. Deze grote variaties

wijzen er inderdaad op dat er frictie ontstaat tussen de koek en het doek. Dit is vrijwel onmogelijk om te modelleren. Metingen van de vochtverdelingen in de filterkoeken toonden aan dat er op sommige plaatsen in het frame nog een porositeitsverdeling aanwezig was en op sommige plaatsen niet. Dit betekent waarschijnlijk wel dat de perstijd niet voldoende was om de filterkoek volledig uit te persen. In de toekomst zijn echter meer metingen noodzakelijk om te bestuderen in hoeverre er nog porositeitsprofielen aanwezig zijn in de filterkoeken.

Om te bewijzen dat verandering van de vloeistofstroom niet de oorzaak is van lage drogestofgehaltes, ontwikkelde Shirato et al. een opstelling waarbij de vloeistofstroming wel van richting veranderde indien de kamer vol was met koek maar waarbij de frictie tussen de filterkoek en het filterdoek verwaarloosbaar was. Uit metingen bleek dat het einddrogestofgehalte in deze opstelling gelijk was aan het drogestofgehalte in een gewone filtratie-expressieopstelling waarbij het stromingspatroon niet verandert.



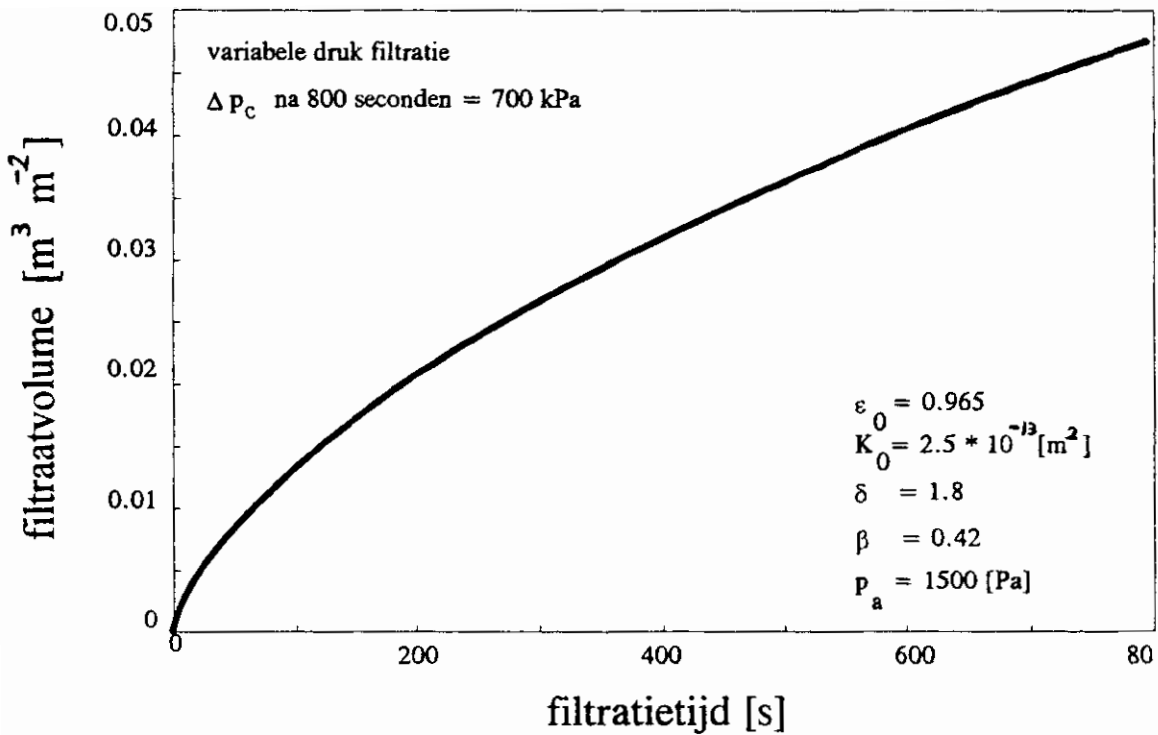
Figuur 14 Verandering van de vloeistofdrukverdeling in de tijd in een kamerfilterpers volgens berekeningen van Shirato et al. (1986). *a* = einde van de filtratie-, begin van de expressiefase; *b* = na ongeveer 20% van de totale expressietijd; *c* = uiteindelijke evenwichtssituatie.



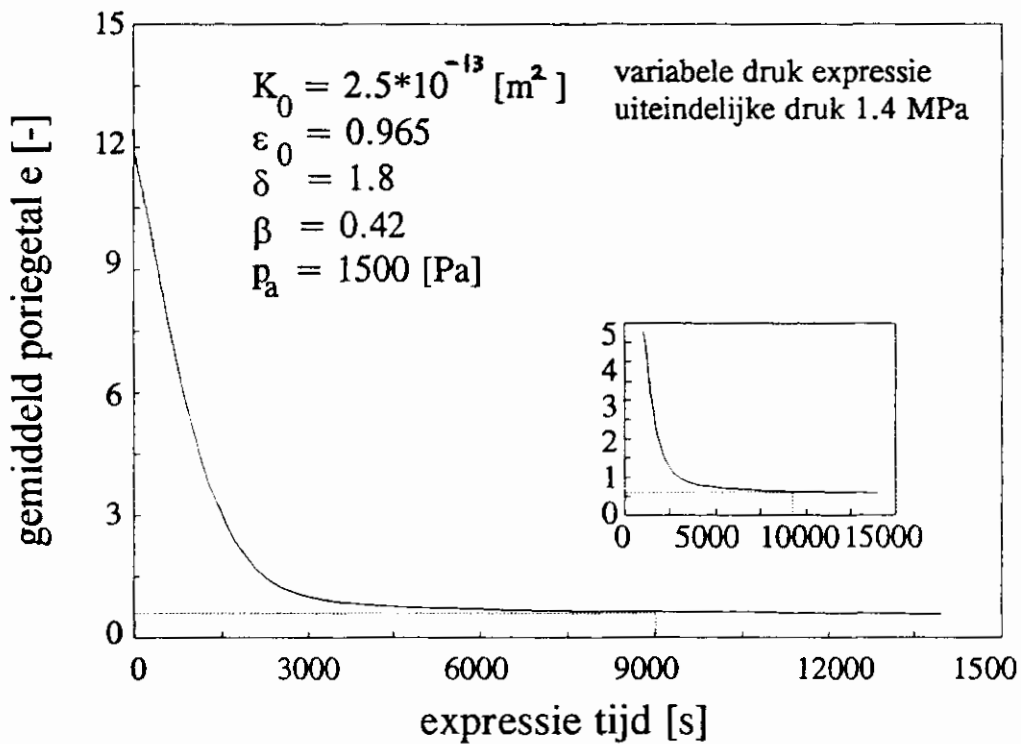
Figuur 15 Typisch voorbeeld van gemeten lokale drogestofgehaltenes in een frame van een kamerfilterpers.

4.3 Simulaties

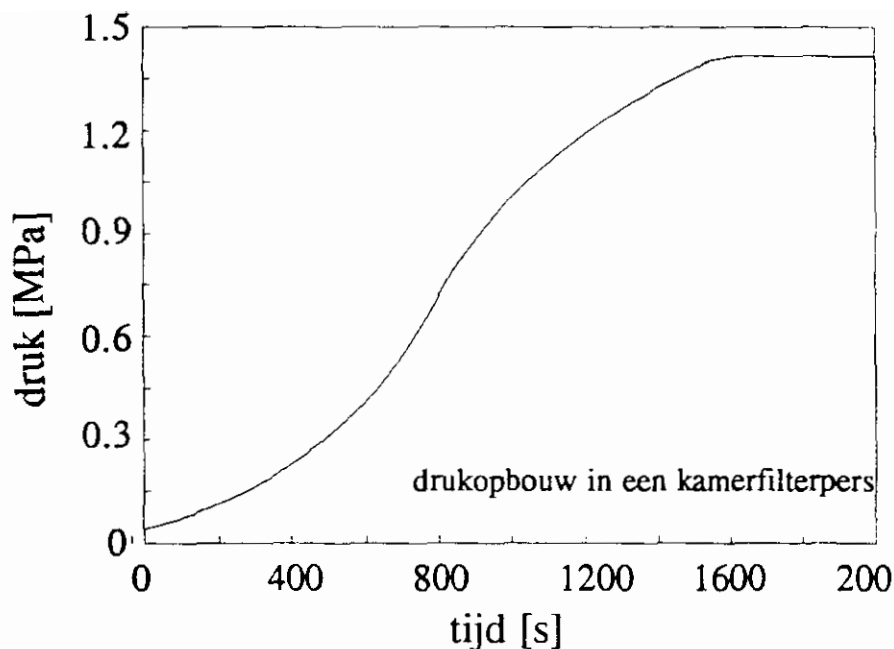
Resultaten van zelf gemaakte simulaties voor een kamerfilterpers voor de filtratiefase en de expressiefase zijn weergegeven in respectievelijk figuur 16 en 17. Voor de expressiefase is enige kruip meegenomen in de modellering. Berekeningen zijn gemaakt voor een halve kamer (20 mm). Ook bij deze berekeningen is aangenomen dat de opbouw van de filterkoek symmetrisch plaatsvindt. De opgelegde drukopbouw tijdens ontwatering was ongeveer zoals die door Heide en Kampf was gerapporteerd in H₂O [1982], zie figuur 18. (Ook dit is maar een benadering, omdat de drukopbouw wordt bepaald door permeabiliteit van de filterkoek). Uit berekeningen blijkt dat de druk na 800 seconden gelijk is aan 7 bar. De koek is dan 20 mm en de kamer is dan vol. Tijdens de expressiefase is druk dus nog steeds een functie van de tijd tot ongeveer 1600 seconden. Daarna is druk constant op 14 bar. Voor de manier waarop dit is berekend wordt verwezen naar La Heij [1994]. De berekeningen zijn gebaseerd op een afnemende koekdikte hetgeen in werkelijkheid niet het geval is, zoals weergegeven in figuur 13. Echter berekeningen met een bewegende randvoorwaarde (constante slibaanvoer tijdens de expressiefase) gaven dezelfde resultaten. Uit figuur 17 blijkt dat bij een gemiddelde verblijftijd van 2,5 uur (9000 seconden) de void ratio gelijk is aan 0,55. Dit is ongeveer gelijk aan 55 gew.% drogestof. Dit is veel hoger dan de gemiddelde waarde van 34 gew.% in de praktijk. De ontwateringstijd van 2,5 uur zou dus op basis van deze berekeningen voldoende moeten zijn.



Figuur 16 Filtraatvolume ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$) versus filtratietijd volgens een 1-dimensionale simulatie voor een kamerfilterpers.



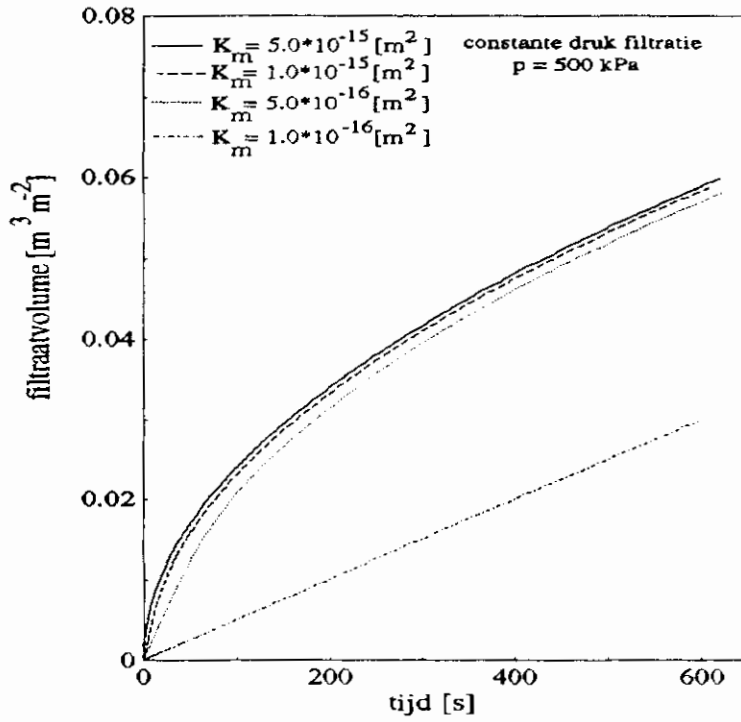
Figuur 17 Berekende afname van de gemiddelde void ratio versus expressietijd volgens een 1-dimensionale simulatie voor een kamerfilterpers.



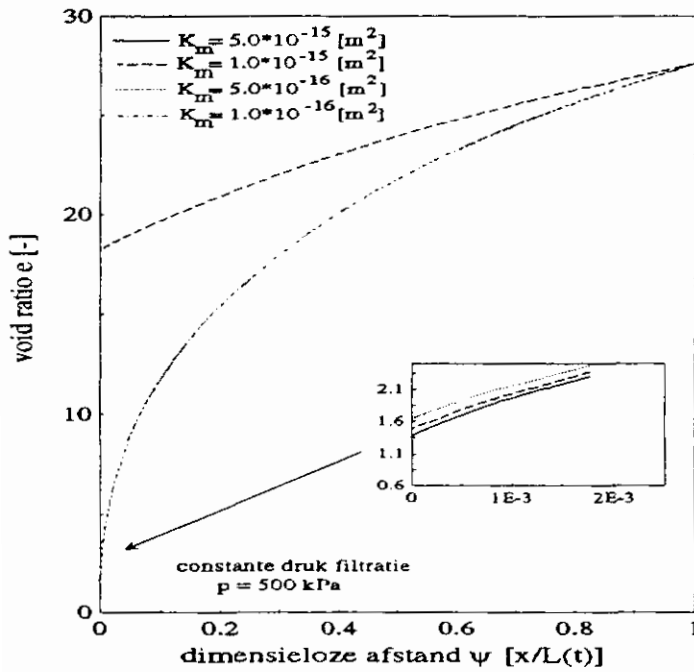
Figuur 18 Drukopbouw in een kamerfilterpers [Heide en Kampf, 1982].

4.4 Invloed van het filterdoek

Om de invloed van het filterdoek te bestuderen zijn tevens berekeningen uitgevoerd met verschillende doekweerstand. De doekpermeabiliteit werd gevarieerd van $5,0 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ tot $1,0 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$. Een doekpermeabiliteit van $5,0 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ is gelijk aan de permeabiliteit in laboratoriumapparatuur (filtreerpapier). Resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in figuur 19 (filtraatvolume versus tijd) en 20 (void ratio versus dimensieloze afstand). Aan de hand van deze figuren is het duidelijk dat effecten van de doekweerstand duidelijk worden wanneer deze 50 keer zo hoog zijn als in laboratoriumapparatuur. Dit kan alleen het geval zijn indien de doek verstopt met slibdeeltjes. Metingen met een filterdoek, zoals die wordt gebruikt in Mierlo, wezen uit dat de weerstand van het filterdoek van de filterpers een factor duizend lager is dan de weerstand van het gebruikte filtreerpapier op laboratoriumschaal. Na één filtratie-expressieproef (3 bar) was de weerstand van het filterdoek met een factor 4 toegenomen en na vier filtratie-expressieproeven met een factor 5. (Het gebruikte slib was geflocculeerd met 9 gew.% FeCl_3 en 60 gew.% Ca(OH)_2 op d.s. basis). Deze resultaten en berekeningen zouden erop wijzen dat de weerstand van het filterdoek verwaarloosbaar is. Echter in de praktijk blijkt dat de ontwatering na het schoonmaken van de doeken veel beter verloopt. De filterdoeken worden ongeveer na 3 à 4 weken schoongespoeld; blijkbaar vindt er dus wel filterdoekverstopping plaats. Er zullen in de toekomst dus meer proeven moeten worden uitgevoerd om na te gaan hoe verstopping ontstaat.



Figuur 19 Berekende filtraatvolume ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$) versus filtratietijd voor verschillende doekpermeabiliteiten.



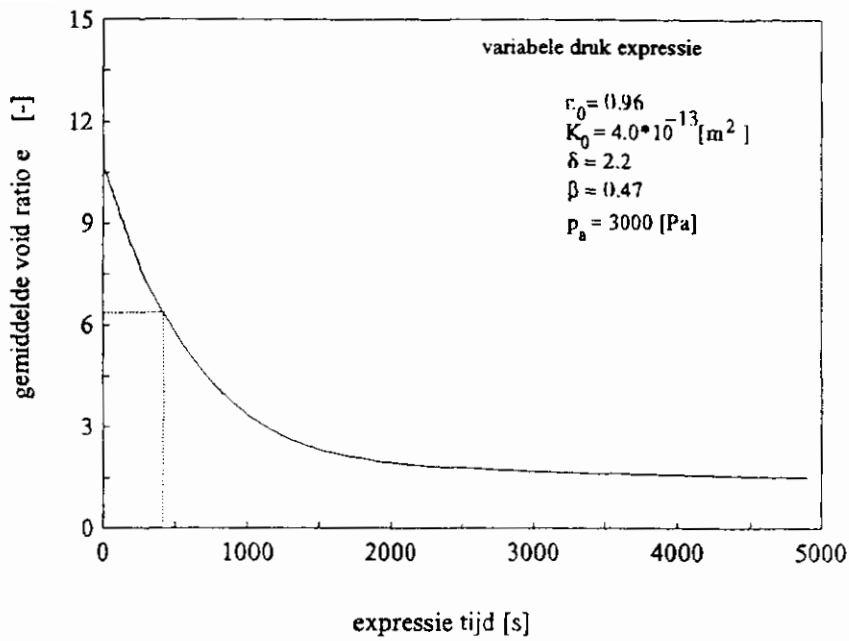
Figuur 20 Berekende void ratio profielen versus dimensionloze afstand na 800 seconden filtreren voor verschillende doekpermeabiliteiten.

4.5 Expressie in de membraanpers

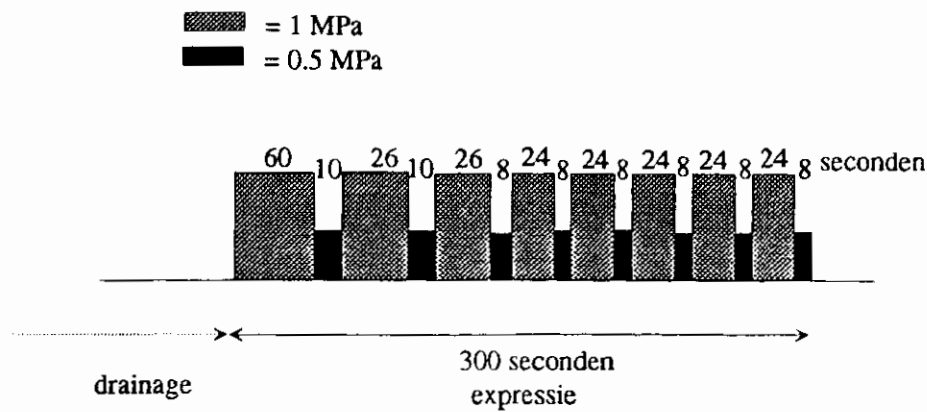
Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat ontwatering in een filterpers sterk kan worden beïnvloed door frictie tussen de filterkoek en het filterdoek en verstopping van het filterdoek. Expressie in een membraanpers zal waarschijnlijk betere resultaten opleveren, omdat minder frictie optreedt.

In figuur 21 is het resultaat weergegeven van een één-dimensionale simulatie voor een zeefbandpers. Ook voor deze simulatie is enige kruip tijdens de expressiefase meegenomen. Na ongeveer 420 seconden (de veronderstelde gemiddelde verblijftijd in het persgedeelte in een zeefbandpers) is de gemiddelde void ratio 6,5 (= 15 gew.%). Er is aangenomen dat na de drainagefase (verblijftijd 120 seconden) het drogestofgehalte van het slib ongeveer 5 gew.% was en dat de mechanische druk tussen de banden gelijk was aan 5 bar en tussen de rollers 10 bar. De drukverdelingen als functie van de tijd zijn weergegeven in figuur 22 (deze drukverdeling is gebaseerd op een grove technische schets van een zeefbandpers; de aangenomen drukken zijn zeer arbitrair omdat niet bekend is wat voor drukken er heersen in een zeefbandpers). Verder is er aangenomen dat de koekdikte tussen de banden gelijk was aan 30 mm en dat de vloeistofstroming symmetrisch is. Het heen en weer bewegen van de banden aan het einde van een zeefbandpers is niet meegenomen in deze berekening. Zoals is te zien aan de hand van figuur 21, is de ontwateringstijd veel te kort om hoge drogestofgehaltenes te kunnen bereiken. Ofschoon een aantal aannames is gemaakt voor deze berekeningen kan toch worden gesteld dat langere verblijftijden van de slibkoek in een zeefbandpers de resultaten aanzienlijk kunnen verbeteren.

Metingen van de drogestofgehaltenes aan de randen en in het midden van de band bij de uitgang van zeefbandpersen gaven aan dat er geen verschillen waren in drogestofgehaltenes. Dit betekent dat de drukopbouw over de gehele breedte van de band waarschijnlijk gelijk is, zodat geen variaties in lokale drogestofgehaltenes optreden zoals in een kamerfilterpers.



Figuur 21 Berekende afname van de gemiddelde void ratio versus expressietijd volgens een 1-dimensionale simulatie voor een zeefbandpers.



Figuur 22 Veronderstelde verloop van de druk als functie van de tijd in een zeefbandpers.

5 EVALUATIE

5.1 Praktijkgericht onderzoek

De filtratie-expressiecel blijkt een geschikt apparaat te zijn voor zowel diagnose als procescontrole van het slibontwateringsproces bij zowel kamerfilterpersen als zeefbandpersen.

Bij het kamerfilterperssysteem, zoals weergegeven in figuur 2, zijn de volgende opmerkingen te plaatsen.

1. Het slib dat aangevoerd wordt vanuit rwzi-Eindhoven is niet constant van samenstelling. Voor een optimale mechanische slibontwatering is het dus noodzakelijk om elke dag slibontwateringseigenschappen te bepalen. (hoofdstuk 2)
2. De kalkdosering in het reactorvat. Met behulp van de filtratie-expressiecel is aangetoond dat bij een dosering van ca. 20 gew.% Ca(OH)_2 een maximaal gecorrigeerd drogestofgehalte wordt bereikt. In de praktijk worden echter doseringen gebruikt die een factor 2 à 3 hoger liggen. (§3.2.1)
3. De na-indikker. Na-indikking heeft een negatieve invloed op zowel de filtratiesnelheid als het drogestofgehalte. (§3.2.2)
4. De membraanpomp. De kogels in de membraanpompen oefenen zeer grote krachten uit op de slibvlokken waardoor deze stuk geslagen worden. Dit heeft een negatieve invloed op de filtratiesnelheid. (§3.2.2)
5. De doeken in de kamerfilterpers. Uit praktijkervaring blijkt dat bij kalkdoseringen van 20 gew.% de filterkoek hecht aan het filterdoek waardoor er een lossingsprobleem optreedt. (§3.2.1)

Bij het zeefbandperssysteem, zoals weergegeven in figuur 1, zijn er drie cruciale punten te ontdekken:

1. Toevoeging van polymeer Nalco 41/62 aan de slibstroom.
2. De afstand tussen inspuiting en mengklep. (§3.2.4)
3. De mengklep.

Alle beïnvloeden de mengintensiteit van polymeer met het slib. Uit proeven met de filtratie-expressiecel blijkt dat de mengintensiteit een grote invloed heeft op het ontwateringsgedrag (§3.2.3).

5.2 Apparaatmodellen

Mogelijke oorzaken van verschillen tussen simulaties en praktijkresultaten kunnen zijn:

1. Fricie tussen de filterkoek en het filterdoek, waardoor lokale variaties van het drogestofgehalte kunnen optreden. Deze variaties zijn ook gemeten.
2. Aanzienlijke verstopping van het filterdoek, waardoor er veel weerstand voor de vloeistofstroming ontstaat en het ontwateringsproces extreem langzaam verloopt. Proeven *onder laboratoriumcondities* wijzen er echter op dat verstopping van het filterdoek weliswaar optreedt maar dat de weerstand nog steeds vrij laag blijft.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies uit praktijkgericht onderzoek

- De filtratie-expressiecel is een apparaat dat zeer goed bruikbaar is op slibverwerkingsinstallaties met name voor procescontrole, procesoptimalisatie, selectie van conditioneringsmiddelen, het opsporen van bottle-necks, het leggen en aantonen van verbanden bij kamerfilterpersen en zeefbandpersen. Oorzaken van een slechte ontwatering kunnen snel opgespoord worden.
- De cel is zeer gebruikersvriendelijk en eenvoudig in gebruik.
- Een maximaal gecorrigeerd drogestofgehalte wordt bereikt bij een kalkdosering van 20 gew.%. In de praktijk worden hoge kalkdoseringen gebruikt (40-60 gew.%) waardoor er onnodig extra hoeveelheden droge stof worden geïntroduceerd.
- Van monsters genomen uit de na-indikker is de specifieke filtratieweerstand hoger en het bereikte einddrogestofgehalte lager dan van monsters genomen op plaatsen uit het systeem voor de na-indikker.
- De specifieke filtratieweerstand van slibmonsters genomen achter de membraanpomp is veel hoger dan die voor de membraanpomp.
- Er is een optimale dosering Nalco 41/62 in combinatie met een bepaalde roerintensiteit waarbij de specifieke filtratieweerstand minimaal en het einddrogestofgehalte maximaal is.
- De dosering van FeCl_3 heeft een duidelijke invloed op de filtratiesnelheid. Bij een dosering van ca. 10 gew.% FeCl_3 wordt een minimale filtratieweerstand gevonden. In de praktijk wordt een dosering van ongeveer 7 gew.% toegepast waarbij de filtratieweerstand ook praktisch minimaal is.

Conclusies uit de simulaties met de apparaatmodellen

- Op basis van één-dimensionale simulaties is een verblijftijd van gemiddeld 2,5 uur in een kamerfilterpers voldoende om drogestofgehalten van meer dan 40 gew.% te bereiken.
- Op basis van één-dimensionale simulaties is een verblijftijd van gemiddeld 10 minuten in een zeefbandpers veruit onvoldoende om hoge einddrogestofgehalten te bereiken.
- De expressedruk in een zeefbandpers is gelijk verdeeld over de gehele breedte van de band.

Aanbevelingen voor toekomstig praktijkonderzoek

- Het plakgedrag van slibkoek aan filterdoek dient te worden bestudeerd, met name bij kalkdoseringen van ca. 20 gew.%. Het is aan te bevelen om verschillende filterdoeken in dit onderzoek te testen.
- Het is raadzaam om naast de filtratie-expressiecel ook de compressie-permeabiliteitscel in te zetten bij praktijkonderzoek. Met deze cel kunnen additionele gegevens zoals compressibiliteit en permeabiliteit van slibkoeken worden bepaald.
- Onderzoek naar de invloed van de verblijftijd in de na-indikker op het ontwateringsgedrag van het geconditioneerde slib is zinvol.
- Door het kiezen van een ander vulprocédé bij kamerfilterpersen is het mogelijk een snellere ontwatering te bewerkstelligen.
- Het is wenselijk dat op meerdere plaatsen in het zeefbandperssysteem monsters genomen kunnen worden om te zorgen voor optimale mengcondities en om eventuele afwijkingen hierop snel op te kunnen sporen en bij te kunnen stellen.
- Er dient aandacht besteed te worden aan de manier van monstername.
- Het is wenselijk om bij meerdere rwzi's en andere slibontwateringssystemen zoals membraanfilterpersen en centrifuges de filtratie-expressiecel in te zetten.

Aanbevelingen betreffende apparaatmodellen

- Opzetten van een twee- of drie-dimensionaal model voor de ontwatering in een kamerfilterpers.
- Uitzoeken in hoeverre koekopbouw in een kamerfilterpers nauwkeuriger kan worden gesimuleerd (dus geen symmetrische koekopbouw).
- Nauwkeurige bepaling van koekdikte en drukopbouw in een kamerfilterpers ten behoeve van simulaties.
- Nauwkeurige bepaling van koekdikte, drukopbouw en verblijftijd in een zeefbandpers ten behoeve van simulaties.
- Bestudering van filterdoekverstopping.
- Meten van porositeitsprofielen van filterkoek op verschillende plaatsen in een frame van een kamerfilterpers.

7 LITERATUUR

Heide, B.A., Kampf, R. van Vorneburg, F., Persfilterontwatering bij lage en hoge druk, H₂O, vol 15, p.p.67-71,1982.

Herwijn, A.J.M., La Heij, E.J., Janssen, P.M.H., Coumans, W.J., Kerkhof, P.J.A.M.
Eindrapport 'Fundamentele aspecten van slibontwatering', RWZI 2000 94-02, 1994.

Kerkhof, P.J.A.M., Coumans, W.J.

'Voorstel vervolgonderzoek overdracht van fundamentele slibontwateringskennis naar de praktijk', 1993.

La Heij, E.J.

'An analysis of sludge filtration and expression', dissertatie TUE, 1994.

MShirato, M., Murase, T., Iwata, M.

'Deliquoring by expression - theory and expression', part IV, editor: Wakeman, R.J., 1986.

**PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGENRWZI 2000" ¹**

- 'Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst'
Een haalbaarheidsonderzoek. I Eindrapport. II Werkrapport
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen + Bos Raadgevende
ingenieurs
Juli 1986
- 'Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000'
Onderzoeksplan
RIZA, STORA
Januari 1988
- 'Jaarverslag 1988'
RIZA, STORA
Maart 1989
- 'Slibontwatering; een voorstudie'
TU-Delft, TU-Eindhoven
RWZI 2000 89-01
Januari 1989
- 'Knelpunten bij de invoering van defosfatering'
Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-02
April 1989
- 'Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van een
magneetsysteem'
Smit-Nijmegen, TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-03
Oktober 1989
- 'Verwijdering van zware metalen uit zuiverings-slib door electrolyse'
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-04
Oktober 1989

¹ Te bestellen bij:
Hageman Verpakkers B.V., Postbus 281, 2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188 / fax 079-613927

- 'Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting'
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-05
Oktober 1989
- 'Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces'
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-06
December 1989
- 'Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem'
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-07
December 1989
- 'Symposium 'RWZI 2000' d.d. 5 oktober 1989'
RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989
- 'Jaarverslag 1989'
RIZA, STORA
RWZI 2000 90-01
Maart 1990
- 'AB-systemen; een inventarisatie'
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-02
September 1990
- 'Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib'
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-03
Augustus 1990
- 'Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's'
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-04
December 1990
- 'Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks'
Adviesbureau BKH
RWZI 2000 90-05
September 1990

- 'Verkenning Biodenitro-Biodenifio'
Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
RWZI 2000 90-06
Juni 1990

- 'Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater'
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 90-07
Oktober 1990

- 'Jaarverslag 1990'
RIZA, STORA
RWZI 2000 91-01
Maart 1991

- 'Deep Shaft-systemen; een inventarisatie'
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 91-02
Maart 1991

- 'Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in municipal waste water treatment plants'
A feasibility study
RU-Groningen
RWZI 2000 91-03
Juni 1991

- 'Jaarverslag 1991'
RIZA, STOWA
RWZI 2000 92-01
Maart 1992

- 'Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele slibgisting'
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-02
Maart 1992

- 'First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water'
8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.
RIZA, STORA, TU-Delft
RWZI 2000 92-03
Maart 1992

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

- 'Modelvorming en optimalisatie van biologische defosfatering van afvalwater. Microbiële aspecten'
LU-Wageningen, vakgroep Microbiologie
RWZI 2000 93-03
November 1993
- 'Jaarverslag 1993'
RIZA, STOWA
RWZI 2000 94-01
Juli 1994
- 'Fundamentele aspecten van slibontwatering'
Deel 1: Samenvattend verslag
Deel 2: Flocculatiemechanismen
Deel 3: Filtratie-expressie modellering
Deel 4: Filtratie expressie experimenten
Deel 5: Slib-water binding
Deel 6: Karakterisering van slibben
Deel 7: Ontwikkeling nieuw CST-apparaat
Deel 8: Congresbijdragen
TU-Eindhoven, Laboratorium voor Scheidingstechnologie
RWZI 2000 94-02
Juli 1994
- 'Fundamenteel onderzoek vermindering slibproductie'
VU, werkgroepen Theoretische Biologie en Microbiologie
RWZI 2000 94-03
September 1994
- 'Alternatieven voor de slibretentie bij hooggesuspendeerde waterzuiverings-systemen'
DHV Water BV
RWZI 2000 94-04
September 1994
- 'Evaluatie en overzicht van het onderzoekprogramma RWZI 2000'
RIZA, STOWA
RWZI 2000 94-05
December 1994
- 'Aërobe biofilm op gesuspendeerde drager ten behoeve van waterzuivering'
TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie
RWZI 2000 94-06
December 1994

- 'Het uittesten van de filtratie-expressiecel in de praktijk'
TU-Eindhoven, Laboratorium voor Scheidingstechnologie
RWZI 2000 94-07
December 1994