

SLIBVERWERKING MET BEHULP VAN
FILTERPERSEN

Mededeling nr. 55 van het KIWA
Tevens mededeling nr. 2 van de
Werkgroep Slibverwerking opgesteld
door ir. J. van der Heide
Laboratorium voor Gezondheidstechniek
Afdeling der Civiele Techniek
Technische Hogeschool Delft

maart 1978

U.D.C. 628.336.422

Coördinator:

Secretaris:

Leden:

ir. R.H. Dekker - Laboratorium voor Gezondheids-
 techniek

ir. J. van der Heide - Laboratorium voor Gezondheids-
techniek

ir. J. Janssens - Antwerpse Waterwerken N.V.

ir. H.M.M. Koppers - KIWA N.V.

ir. J. Leentvaar - Landbouwhogeschool Wageningen

ir. E.C. Schwencke - Drinkwaterleiding der Gemeente
Rotterdam

De doelstellingen van de Werkgroep Slibverwerking luiden als volgt:

1. Het verkrijgen van inzicht in de eigenschappen en het gedrag van slib, dat vrijkomt bij oppervlaktewater- en grondwaterverwerkende bedrijven.
2. Nagaan hoe met dit inzicht processen kunnen worden beïnvloed om het volume van het vrijkomende slib te verkleinen.
3. Inventariseren en ontwikkelen van technieken en apparatuur, die ten behoeve van deze volumeverkleining worden of kunnen worden gebruikt.
4. Nagaan welke bestemmingsmogelijkheden (inclusief hergebruik) aanwezig zijn of gevonden kunnen worden voor het residu, dat na verwerking overblijft.
5. Contact leggen met de afvalwatersector, vanuit een visie, welke gericht is op toepassing van slibverwerking op de drinkwatersector.

In het kader van deze doelstellingen zal de Werkgroep een aantal rapporten opstellen, die als KIWA mededeling het licht zullen zien.

In bijgaande tweede mededeling van de Werkgroep wordt een overzicht gegeven van de verwerking van coagulatieslib met behulp van filterpersen.

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
SUMMARY	6
SAMENVATTING	9
1. INLEIDING	12
2. THEORIE	14
2.1 Porositeitsveranderingen in de filterkoek	14
2.2 De koekaangroei	18
2.3 Het gemiddelde droge stofgehalte in de filterkoek	22
2.4 Specifieke filtratieweerstand en samendrukbaarheid	24
3. KARAKTERISERING VAN HET SLIB	30
3.1 Droge stofgehalte	30
3.2 Specifieke filtratieweerstand	30
3.3 Samendrukbaarheid	34
3.4 C.S.T.-getal	34
3.5 Afzuigtijd	37
3.6 Betekenis van de gemeten slibkarakteristieken	39
4. DE FILTERPERS	40
4.1 Algemene beschrijving	40
4.2 De bedrijfsvoering	45
4.3 Het slibbehandelingsproces in zijn geheel	46
5. DIMENSIONERING VAN DE FILTERPERS	50
5.1 Onderzoek ten behoeve van de dimensionering	51
5.2 Bedrijfservaring	57

INHOUD (vervolg)

Blz.

6.	DE KOSTEN VAN DE SLIBVERWERKING MET BEHULP VAN EEN FILTERPERS	59
7.	ANDERE FILTRATIETECHNIEKEN	61
8.	EVALUATIE VAN FILTERPERS EN VERGELIJKING MET ANDERE SLIBVERWERKINGSTECHNIEKEN	63
9.	AANBEVELINGEN	65
Bijlage 1:	Beschrijving van het mechanisch-elec- trische gedeelte van een slibbehande- lingsinstallatie waarbij een filterpers wordt gebruikt voor de ontwatering	66
Bijlage 2:	De invloed van conditionering met kalk op de specifieke filtratieweerstand	71
Bijlage 3:	Gegevens van een aantal drinkwaterbe- drijven over de praktijk van de slib- verwerking met een filterpers	74
Bijlage 4:	Specificatie van de kosten van de slib- verwerking met een filterpers voor twee drinkwaterbedrijven	80
LITERATUURLIJST		82
BEGRIPPENLIJST		90
SYMBOLENLIJST		93

SUMMARY

Sludge treatment with filterpresses.

Disposal of sludge from water treatment plants has become an integral part of the water treatment process. It cannot be regarded as a separate process because the sludge quality and volume strongly depend on the water treatment process. It is therefore advisable in order to reduce sludge dewatering costs to investigate ways of reducing the sludge volume already in the designing stage of the treatment process. The most delicate problems arise with sludge from the coagulation process. To date, the most widely applied method of disposal for this kind of sludge has been dewatering for subsequent disposal in a sanitary landfill. A filter press is one process that may be used for artificial sludge dewatering.

Because there is yet too little insight into the dewatering mechanism, the filtration theories that have been developed in the past are not sufficiently fit for design purposes. Based upon those theories, a few sludge characteristics have been defined; namely, the specific resistance against filtration and the compressibility. The major importance of these parameters is the potential for estimating the general dewaterability of a sludge. The parameters can be calculated using relatively simple apparatus.

Sludge dewatering using a filter press is a batch process. Every now and then the press has to be opened to remove the cake and so the dewatering process had to be interrupted. The opening and closing of the press and the cake removal can be completely automated. However, the sludge disposal scheme is far more complicated. It is often advisable to thicken the sludge before it is introduced into the filter press and the sludge should usually be subjected to chemical conditioning. Moreover, the sludge has to be transported to the dumping site.

The filter press design mainly concerns estimation of the favourable cake thickness and the calculation of the required filtration area. An important aspect of process variables as the degree of pre-thickening, type and dose of conditions, and filtration pressure. On-site investigations with a small filter press thus become very important.

Practical experience derived from elsewhere can be of great assistance in guiding these investigations. For instance, it has proven advisable to limit the cake thickness to a few centimeters, sludge conditioning by polyelectrolytes and/or lime often gives the best results, and the filtration pressure normally varies between 0,5 and 1,0 MPa.

Compared to other dewatering techniques like vacuumfilters, centrifuges and belt presses, filter presses generally give better dewatering results.

With respect to the dewatering costs and despite relatively high capital costs, the filter press can be competitive with the previously mentioned techniques.

Drying beds might economically be more attractive, but the large areas of land required are often not available. The filter press is reliable, has a relative long life, and does not need much maintainance. Therefore, at the present state of the art, filter pressing might be preferable when sludge from coagulation processes has to be dewatered.

SAMENVATTING

De verwerking van het slib dat bij de drinkwaterbereiding vrijkomt kan beschouwd worden als een noodzakelijk nevenproces bij de waterzuivering. De slibverwerking kan niet los worden gezien van de drinkwaterbereiding aangezien de hierbij toegepaste zuiveringstechnieken mede bepalen welke kwaliteit slib wordt geproduceerd en in welke hoeveelheid. Met het oog op de kosten van slibverwerking is het derhalve zinvol bij het onderzoek naar het toe te passen zuiveringssysteem aandacht te schenken aan de mogelijkheden om de slibproduktie te beperken. In het algemeen levert de verwerking van het slib dat bij het coagulatieproces ontstaat de meeste problemen op. De verwerking hiervan komt neer op het ontwateren en storten van het residu.

Eén van de mogelijkheden om het slib kunstmatig te ontwateren is filterpersen.

Helaas is het inzicht in het ontwateringsproces nog te gering om op grond van de theorie een filterpers te kunnen dimensioneren. Uit de theorie zijn echter wel de parameters specifieke filtratieweerstand en samendrukbaarheid afgeleid, die veel worden gebruikt om slib te karakteriseren. Deze parameters zijn vooral van belang om een eerste indruk van de ontwaterbaarheid van het slib te verkrijgen en kunnen met behulp van betrekkelijk eenvoudige apparatuur worden bepaald.

De ontwatering in een filterpers is een ladingsgewijs proces. Van tijd tot tijd wordt de filterpers geopend om de koek te kunnen verwijderen, zodat dan geen ontwatering mogelijk is. De hierbij te verrichten handelingen kunnen volledig worden geautomatiseerd. Een slibverwerkingsproces omvat overigens veel meer dan de filterpers alleen. Meestal wordt het slib eerst in een indikker behandeld, vaak moet het worden geconditioneerd en moet de koek naar de stortplaats worden afgevoerd.

De dimensionering van een filterpers heeft voornamelijk betrekking op het bepalen van de breedte van de ontwateringsruimtes en het filtratieoppervlak. Een aantal procesparameters spelen bij de dimensionering een belangrijke rol. Van belang zijn hierbij vooral het aanvangsdroge stofgehalte van het slib, de conditionering en de persdruk. Vanwege de beperkte mogelijkheden van de theorie zal onderzoek ter plaatse met een klein model filterpers een belangrijk element vormen bij dimensionering van filterpersen. Elders opgedane bedrijfservaring kan hierbij van veel waarde zijn. Op grond van deze op betrekkelijk ruime schaal aanwezige ervaring mag worden verwacht dat de breedte van de ontwateringsruimtes meestal beperkt zal blijven tot enkele centimeters, dat de conditionering met polyelektrolyt en/of kalk vaak de beste resultaten zal geven en dat de benodigde persdruk veelal tussen 0,5 en 1,5 MPa zal variëren.

Vergeleken met andere methodes om slib kunstmatig te ontwateren zoals het vacuümfilter, de centrifuge en de zeefbandpers worden met een filterpers vaak betere ontwateringsresultaten bereikt. Verwacht mag worden dat de filterpers ondanks de vrij hoge investeringskosten in veel gevallen kan concurreren met andere slibverwerkingsmethodes. Droogbedden zijn economisch gezien misschien aantrekkelijker, maar de hiervoor benodigde terreinoppervlakte zal niet altijd aanwezig zijn. De filterpers is een bedrijfszeker apparaat dat weinig onderhoud vraagt en een lange levensduur heeft, en biedt voor de verwerking van coagulatieslib op dit moment goede vooruitzichten.

1. INLEIDING

Bij de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater of grondwater ontstaat slib. De samenstelling van het slib hangt af van de kwaliteit van het ruwe water en het toegepaste zuiveringsproces. De hoeveelheid slib is voorts afhankelijk van de omvang van de drinkwaterproductie.

Vooraf bij de zuivering van oppervlaktewater ontstaat veel slib. Het bevat naast de verontreinigingen in het ruwe water chemicaliën die tijdens het zuiveringsproces zijn toegevoegd.

Vroeger werd het slib vaak direct op het oppervlaktewater geloosd. Dit is tegenwoordig om diverse redenen niet langer acceptabel. Afvoer naar een rioolwaterzuiveringsinrichting is soms mogelijk. De drinkwaterbedrijven zullen echter veelal zelf voor een verantwoorde verwerking van het slib zorg moeten dragen.

Bij de verwerking van het slib kan in eerste instantie aandacht worden geschonken aan het beperken van de slibproductie. In dit verband kan worden gedacht aan de procesvoering bij de drinkwaterbereiding maar ook aan het terugwinnen van chemicaliën uit slib. Er zal echter toch een aanzienlijke hoeveelheid slib overblijven. De verwerking hiervan zal meestal bestaan uit een ontwateringsproces gevolgd door gecontroleerd storten van het residu. Het vrijgekomen slibwater wordt of gerecirculeerd of op oppervlaktewater of het riool geloosd.

Er zijn diverse methodes om het slib te ontwateren (lit. 1). De meest voorkomende, onderverdeeld naar na-

tuurlijke en kunstmatige methodes, zijn:

natuurlijke ontwatering

slibvijver

droogbed

kunstmatige ontwatering

centrifuge

vacuümfilter

zeefbandpers

filterpers

Het onderhavige rapport geeft een overzicht van de factoren die een rol spelen bij de ontwatering in een filterpers. Daarbij is de meeste aandacht geschonken aan de verwerking van coagulatieslib daar dit momenteel de meeste problemen oplevert.

2. THEORIE

De mogelijkheden van de theoretische beschrijvingen van de ontwatering van coagulatieslib in een filterpers zijn vrij beperkt. Het inzicht in het ontwateringsproces wordt er eventueel door verbeterd, maar dimensionering van een filterpers is op grond van de theorie alleen niet goed mogelijk. Deze beperktheid wordt voornamelijk veroorzaakt door een nog te geringe kennis omtrent de slibeigenschappen die de ontwatering beïnvloeden.

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op enkele theoretische aspecten van het ontwateringsproces. In de paragrafen 2.1 en 2.2 wordt getracht het proces aan de hand van porositeitsveranderingen in de filterkoek en de aangroei van de filterkoek in de tijd enigszins doorzichtig te maken. Paragraaf 2.3 handelt over de mogelijkheid om aan de hand van het gemiddelde droge stofgehalte in de filterkoek de voortgang van het ontwateringsproces te volgen. In paragraaf 2.4 komen de parameters specifieke filtratieweerstand en samendrukbaarheid (= compressibiliteit) aan de orde, welke veelvuldig worden gebruikt bij de karakterisering van slib.

2.1 Porositeitsveranderingen in de filterkoek

Er wordt in een filterpers een gedeeltelijke scheiding bereikt tussen het water en de vaste stof van het slib. Het slib wordt tegen een filterdoek geperst opdat de

vaste stof er zo veel mogelijk op achterblijft en water er doorheen verdwijnt. Na verloop van tijd gaat de op het filterdoek afgezette vaste stof, de filterkoek, eveneens als filter fungeren.

Een algemeen aanvaard kenmerk van de vaste stofdeeltjes in coagulatieslib is dat ze, op het filterdoek afgezet, van vorm veranderen wanneer er druk op wordt uitgeoefend. Men noemt coagulatieslib daarom samendrukbaar. Op grond hiervan zouden bij de ontwatering twee fasen kunnen worden onderscheiden:

- a. afzetten van een laagje slib op het koekoppervlak
- b. ontwatering van het laagje door samendrukking

Aan het scheidingsvlak koek-slib is fase a in werking, in de koek fase b en dus treden voor de koek als geheel beide fasen gelijktijdig op. Het hangt van het soort slib en de druk waaronder het wordt aangevoerd (persdruk) af hoe de samendrukking van een laagje als functie van de tijd verloopt. In ieder geval neemt het poriënvolume (porositeit) af door de samendrukking en veranderen tevens de porieafmetingen.

Door de continue aanvoer van slib naar de filterpers groeit de koek aan. Deze aangroeiing kan worden opgevat als een in de tijd toenemend aantal op het filterdoek afgezette laagjes, zoals in figuur 1 schematisch is weergegeven.

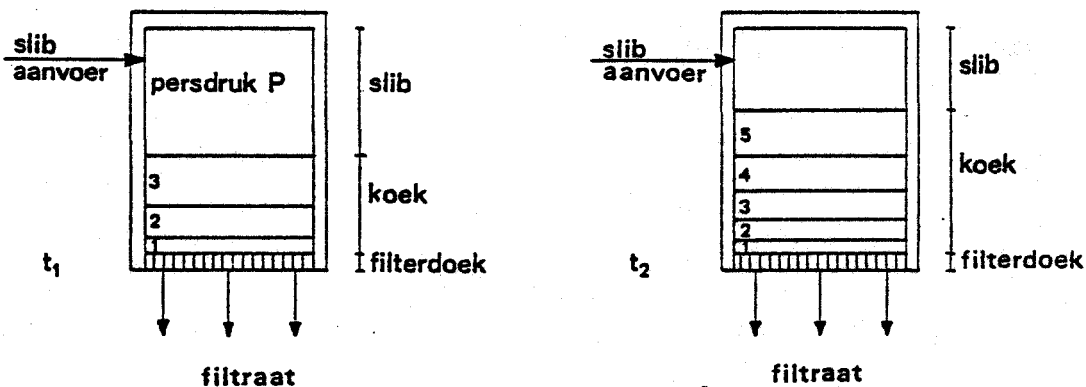


Fig. 1: Schematische weergave van de koekaangroei in de periode t_1 tot t_2

De figuur laat zien dat in de periode t_1 tot t_2 het aantal laagjes in de koek toeneemt van 3 tot 5, en dat tevens samendrukking optreedt. De samendrukking van een laagje is slechts mogelijk wanneer hieruit water kan verdwijnen in de richting van het filterdoek. Dit betekent dat om laagje 5 samen te persen de weerstand, die de laagjes 1 t/m 4 bieden tegen de stroming van water er doorheen, moet worden overwonnen. Hierdoor wordt het aanmerkelijk dat de bij druk P minimaal te bereiken porositeit van laagje 5 groter zal zijn dan die van de laagjes 1 t/m 4. Hoe het verloop van de porositeit in de koek op de tijdstippen t_1 en t_2 zal zijn is min of meer een open vraag, hoewel Tillier (lit. 2) een verloop zoals weergegeven in figuur 2 verwacht.

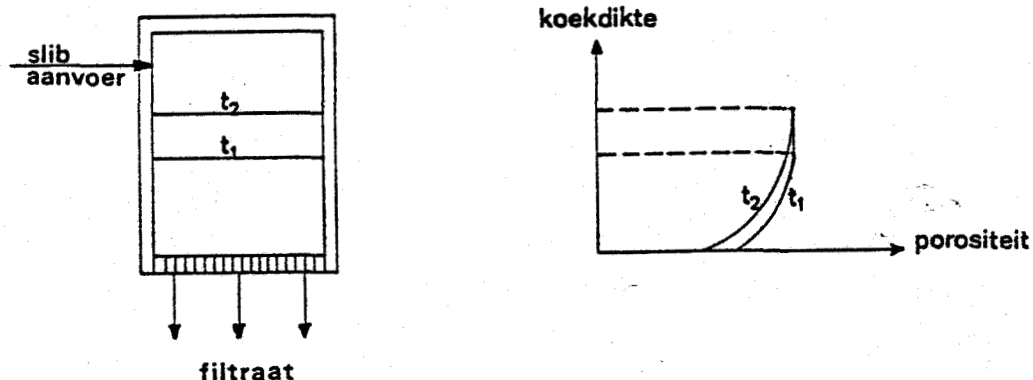


Fig. 2: Het verloop van de porositeit in koek als functie van de tijd volgens Tiller (lit. 2), $t_2 > t_1$

Het voorgaande is slechts een aanzet tot het beschrijven van de porositeitsveranderingen tijdens het ontwateringsproces. Deze hangen evenals de minimaal te bereiken porositeit af van het soort slib en de druk waaronder het slib wordt aangevoerd. Bovendien is niet gesproken over een verandering in porieafmetingen, welke eveneens invloed heeft op het ontwateringsproces.

Toch mag worden verwacht dat de porositeit en het eventueel in de hand houden van de porositeitsvermindering van belang zijn voor een goed verlopende ontwatering. Het aanbrengen van een zogenaamde precoat op het filterdoek en het toevoegen van vaste stofkorrels aan het slib teneinde de doorlatendheid van de koek te verbeteren kunnen de ontwatering bevorderen.

2.2 De koekaangroei

In de loop van het ontwateringsproces groeit de koek aan totdat de maximale dikte wordt bereikt, welke meestal de breedte van de ontwateringsruimte is. Het is echter ook mogelijk dat de doorlatendheid van de koek zo gering is dat bij een bepaalde persdruk niet de totale ontwateringsruimte kan worden benut.

Indien de koekdikte op een zeker tijdstip t gelijk is aan L , kan de massa van de koek op dat tijdstip worden gedefinieerd als:

$$M = A \cdot L \cdot \bar{\rho}_k$$

M	= massa van de koek op tijdstip t	(kg)
A	= filtratieoppervlak	(m ²)
L	= koekdikte op tijdstip t	(m)
$\bar{\rho}_k$	= gemiddelde volumieke massa van de koek	(kg/m ³)

Tiller (lit. 2) veronderstelt dat een constante $\bar{\rho}_k$ een redelijke aanname is zolang de koek aangroeit. De ver-

klaring hiervan zou zijn dat de gemiddelde porositeit van de koek weinig varieert daar reeds afgezette koeklaagjes worden samengeperst en nieuwe laagjes worden afgezet.

Wanneer de zichtbare aangroei van de koek in de periode Δt een dikte ΔL bedraagt, dan luidt de massabalans voor de ontwateringsruimte over de periode Δt :

toevoer = toename van de massa in de ontwateringsruimte + afvoer

$$\Delta V_s \cdot \rho_s = \Delta L \cdot A \cdot \bar{\rho}_k - \Delta L \cdot A \cdot \rho_s + \Delta V_f \cdot \rho_w \quad (2)$$

ΔV_s = slibtoevoer naar de ontwateringsruimte in de periode Δt (m³)

ΔV_f = toename van het filtraatvolume in de periode Δt (m³)

ρ_s = volumieke massa van het slib (kg/m³)

ρ_w = volumieke massa van het water (kg/m³)

In deze massabalans zijn ρ_s en ρ_w constant verondersteld, hetgeen een redelijke aanname is.

De differentiaalvergelijking die uit vgl (2) kan worden afgeleid luidt:

$$\rho_s \cdot \frac{dV_s}{dt} = (A \cdot \bar{\rho}_k - A \cdot \rho_s) \cdot \frac{dL}{dt} + \rho_w \cdot \frac{dV_f}{dt} \quad (3)$$

Omdat de ontwateringsruimte geheel met slib en koek is gevuld, en het water en de droge stof als niet samen-

drukbaar worden beschouwd geldt:

$$\frac{dv_s}{dt} = \frac{dv_f}{dt}$$

Met behulp hiervan kan vgl (3) worden herschreven tot:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dv_f}{dt} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{A \cdot \bar{\rho}_k - A \cdot \rho_s} \quad \text{of} \quad (4)$$

$$\frac{dL}{dt} = C_1 \cdot \frac{dv_f}{dt} \quad (5)$$

C_1 is constant wanneer ρ_s , ρ_w en $\bar{\rho}_k$ constant zijn

Vergelijking (5) houdt in dat bij een constante C_1 de toename van de koekdikte per tijdseenheid rechtevenredig is met de toename van het filtraatvolume per tijdseenheid.

Het berekenen van de koekdikte als funktie van de tijd op grond van vgl (5) is enigszins problematisch, omdat $\bar{\rho}_k$ en de toename van het filtraatvolume als funktie van de tijd op voorhand niet bekend zijn. Het is echter een bekend verschijnsel bij de ontwatering van coagulatieslib dat het filtraatvolume in de loop van het ontwateringsproces steeds langzamer toeneemt. Van dit verschijnsel is figuur 3 een karakteristiek voorbeeld. Op grond hiervan en van vgl (5) blijkt dus dat de koek steeds langzamer zal aangroeien. Dit verklaart misschien

waarom de ontwateringsruimte in de praktijk slechts een beperkte breedte heeft, daar anders de kans bestaat dat deze niet geheel kan worden benut.

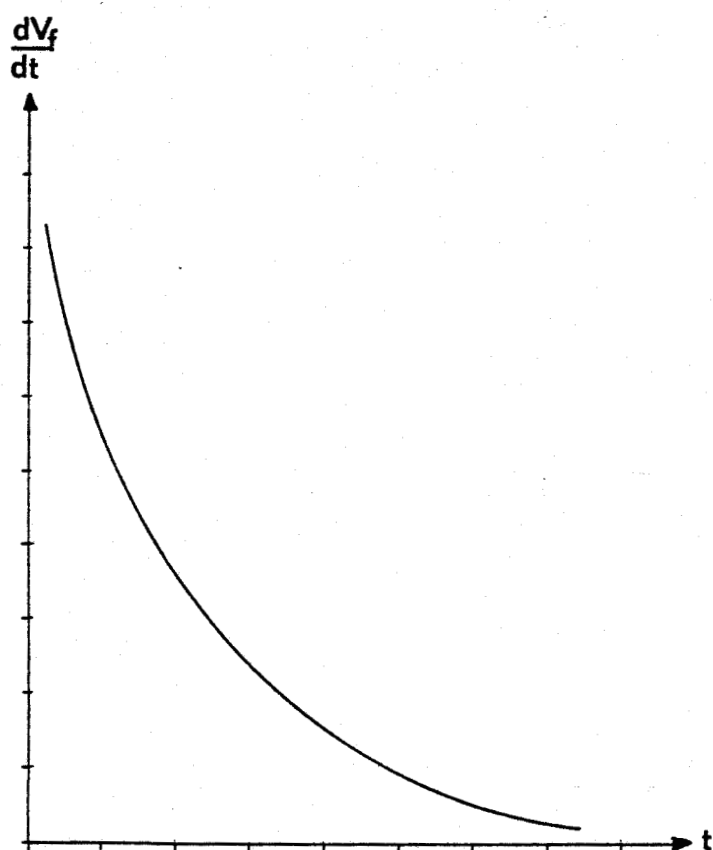


Fig. 3: Karakteristiek verloop van de toename van het filtraatvolume per tijdseenheid in de loop van het ontwateringsproces

2.3 Het gemiddelde droge stofgehalte in de filterkoek

Onder normale omstandigheden wordt de benodigde ontwateringstijd bepaald door de gewenste mate van ontwatering. Vaak wordt de mate van ontwatering uitgedrukt in het gemiddelde droge stofgehalte van de koek in gewichtsprocenten. Het kan daarom ter beperking van de duur van de ontwatering van belang zijn in een later stadium van het ontwateringsproces het gemiddelde droge stofgehalte te berekenen.

De massabalans voor de ontwateringsruimte op het tijdstip t luidt:

toegevoerde massa slib = massa in de ontwateringsruimte +
massa van het filtraat

$$V_s \cdot \rho_s = A \left[L \cdot \bar{\rho}_k + (B - L) \rho_s \right] + V_f \cdot \rho_w \quad (6)$$

B = breedte van de ontwateringsruimte (m)

Daar de koek aangroeit mag geruime tijd na het begin van de ontwatering $B - L$ worden verwaarloosd t.o.v. L . Dit betekent dat $A \cdot L$ dan ongeveer gelijk is aan het volume van de ontwateringsruimte, zodat de massabalans vereenvoudigd kan worden tot:

$$V_s \cdot \rho_s = V_k \cdot \bar{\rho}_k + V_f \cdot \rho_w \quad (7)$$

V_k = volume van de ontwateringsruimte (m³)

Doordat de koek in het stadium waarover hier wordt gesproken nauwelijks meer aangroeit zal $\bar{\rho}_k$ waarschijnlijk niet meer constant zijn. Bij benadering kan worden gesteld dat:

$$\bar{\rho}_k = \frac{M}{V_k} \quad (8)$$

Het gemiddelde droge stofgehalte in de koek is:

$$c_k = \frac{M_{dk}}{M} \quad (9)$$

c_k = gemiddelde droge stofgehalte in de koek (kg/kg)

M_{dk} = massa van de droge stof in de koek (kg)

De massa van de droge stof in de koek is ongeveer gelijk aan de massa van de droge stof in de hoeveelheid slib V_s die tot tijdstip t is aangevoerd.

Deze massa bedraagt:

$$M_{dk} = c_s \cdot V_s \cdot \rho_s \quad (10)$$

c_s = droge stofgehalte van het slib (kg/kg)

Uit de vergelijkingen (8), (9) en (10) volgt nu voor $\bar{\rho}_k$:

$$\bar{\rho}_k = \frac{c_s \cdot V_s \cdot \rho_s}{c_k \cdot V_k} \quad (11)$$

Hiermee kan vgl. (7) worden herschreven tot:

$$V_s \cdot \rho_s = \frac{V_k \cdot c_s \cdot V_s \cdot \rho_s}{c_k \cdot V_k} + V_f \cdot \rho_w \quad (12)$$

Hieruit volgt:

$$c_k = \frac{c_s \cdot V_s \cdot \rho_s}{V_s \cdot \rho_s - V_f \cdot \rho_w} \quad (13)$$

In deze formule voor het gemiddelde droge stofgehalte van de koek zijn parameters verwerkt die voor en tijdens het ontwateringsproces gemeten kunnen worden, zodat het droge stofgehalte tijdens de ontwatering kan worden berekend. Vergelijking van de berekende c_k met de gewenste waarde maakt het mogelijk het tijdstip te bepalen waarop de ontwatering kan worden beëindigd.

2.4 Specifieke filtratieweerstand en samendrukbaarheid

De specifieke filtratieweerstand en de samendrukbaarheid zijn parameters die veelvuldig worden gebruikt om het slib te karakteriseren.

De specifieke filtratieweerstand (r) kan worden gedefinieerd als de weerstand, uitgedrukt in m/kg, die, onder de beschreven proefomstandigheden, door de uit het slib gevormde filterkoek wordt geboden aan de verdere passage van de in bewerking zijnde vloeistof (volgens voorlopig NEN-voorschrift). Een hoge filtratieweerstand betekent dat het slib moeilijk te ontwateren is.

De samendrukbaarheid legt een verband tussen de specifieke filtratieweerstand en de persdruk.

Sterk samendrukbaar slib heeft een hoge compressibiliteit.

Volgens Darcy, Carman en Kozeny geldt voor de ontwatering van onsamendrukbaar slib de volgende formule:

$$\frac{dV_f}{dt} = \frac{P \cdot A^2}{\eta \cdot (r \cdot V_f \cdot C + A \cdot R_f)} \quad (14)$$

- P = persdruk (Pa)
 η = dynamische viscositeit van het filtraat (Pa.s)
 r = specifieke filtratieweerstand (m/kg)
 C = massa van de droge stof in de koek, gedeeld door het filtraatvolume (kg/m³)
 R_f = weerstand van het filterdoek (1/m)

Omdat C een moeilijk te bepalen grootte is wordt deze vaak vervangen door het droge stofgehalte van het slib in kg/m³. Men noemt r dan wel de schijnbare specifieke filtratieweerstand.

Wordt vgl. (14) in de tijd geïntegreerd dan volgt daaruit:

$$t = V_f^2 \cdot \frac{\eta \cdot r \cdot C}{2P \cdot A^2} + V_f \cdot \frac{\eta \cdot R_f}{P \cdot A} \quad \text{of} \quad (15)$$

$$\frac{t}{V_f} = b \cdot V_f + K \quad (\text{formule van Ruth}) \quad (16)$$

Voor een type onsamendrukbaar slib blijken b en K constant te zijn.

$$b = \frac{r \cdot \eta \cdot C}{2P \cdot A^2} \quad K = \frac{\eta \cdot R_f}{P \cdot A} \quad (17)$$

Men kan b en K grafisch bepalen door in de loop van het ontwateringsproces t en V_f te meten en $\frac{t}{V_f}$ tegen V_f uit te zetten (zie fig. 4). De specifieke filtratieweerstand is dan:

$$r = \frac{2P \cdot A^2 \cdot b}{\eta \cdot C} \quad (18)$$

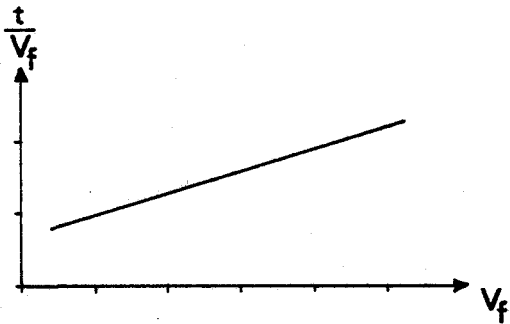


Fig. 4: Grafische weergave van de formule van Ruth

Bij de ontwatering van samendrukbaar slib blijkt dat slechts voor de beginfase van het ontwateringsproces een constante b en r bepaald kunnen worden.

Na deze fase neemt het filtraatvolume in steeds geringere mate toe, waardoor b en r groter worden. Figuur 5 is een karakteristieke weergave van dit verschijnsel.

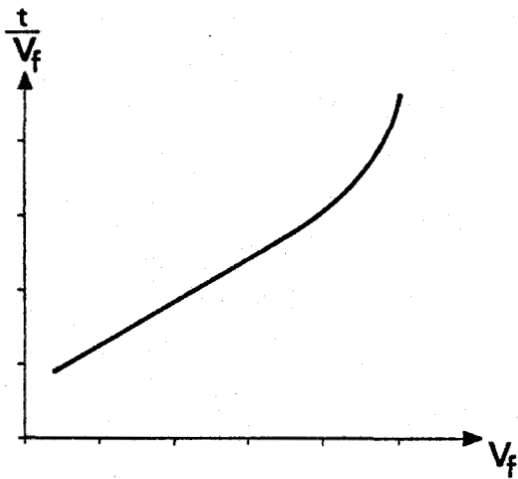


Fig. 5: Karakteristiek verloop van de toename van het filtraatvolume als funktie van de tijd bij de ontwatering van samendrukbaar slib

De specifieke filtratieweerstand die met vgl. (18) wordt berekend blijkt voor samendrukbaar slib afhankelijk te zijn van de persdruk. Dit houdt in dat voor verschillende waarden van P verschillende waarden voor r worden gevonden. Sperry en anderen (lit. 3) hebben experimenteel het volgende verband aangetoond tussen P en r :

$$r = r_0 \cdot P^s \quad (19)$$

r_0 = specifieke filtratieweerstand bij $P = 1$ Pa

s = samendrukbaarheid (compressibiliteit)

Voor niet samendrukbaar slib heeft s de waarde nul. Van samendrukbare slibsoorten wordt meestal verondersteld dat s maximaal één kan zijn.

Er is echter ook geconstateerd dat s groter kan zijn dan één (lit. 4, 5).

De samendrukbaarheid kan grafisch worden bepaald door voor diverse waarden van $\log r$ uit te zetten tegen $\log P$. Hierbij wordt uitgegaan van een in gewijzigde vorm geschreven vgl. (19):

$$\log r = \log r_0 + s \log P \quad (20)$$

Figuur 6 geeft een karakteristiek voorbeeld van de grafische bepaling van s .

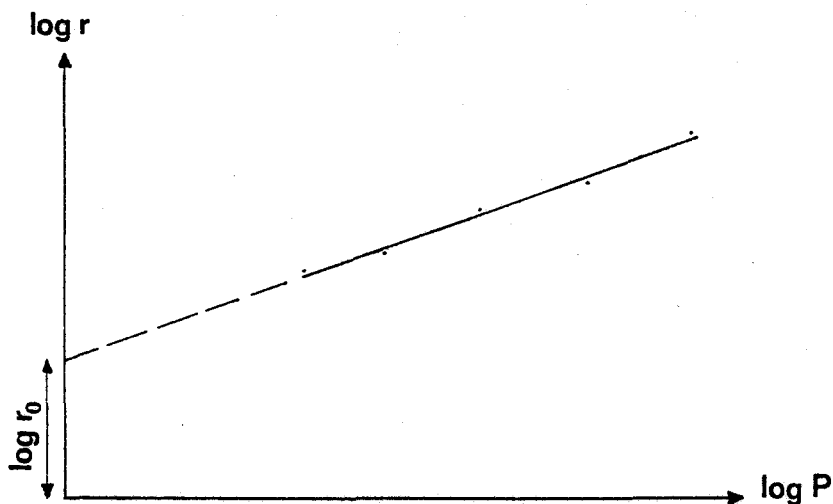


Fig. 6: Karakteristiek voorbeeld van de grafische bepaling van de samendrukbaarheid.

De constante r_0 kan door middel van extrapolatie uit dezelfde grafiek worden bepaald, maar kan ook worden berekend met de formule

$$r_0 = \frac{2P^{1-s} \cdot A^2 \cdot b}{\eta \cdot C} \quad (21)$$

Andere formules die eveneens een verband leggen tussen de persdruk en de specifieke filtratieweerstand zijn (lit. 3):

$$r = r_0 (1 + P)^s$$

$$r = r_0 (1 + \alpha P)$$

α = constante

Over het algemeen is echter de ervaring dat deze formules minder goed bij de experimentele gegevens aansluiten dan vgl. (19).

3. KARAKTERISERING VAN SLIB

De resultaten die bij de ontwatering van slib kunnen worden bereikt hangen voor een groot deel af van de aard van het slib. Om een globaal beeld te krijgen van de mogelijkheden tot ontwatering is het daarom zinvol het slib te karakteriseren door een aantal parameters die voor de ontwatering van belang zijn. Dit biedt tevens de mogelijkheid beter gebruik te kunnen maken van ervaringen die elders zijn opgedaan.

Ter karakterisering van het slib zouden de volgende parameters kunnen worden gehanteerd:

- droge stofgehalte
- specifieke filtratieweerstand
- samendrukbaarheid (sconstante)
- C.S.T.-getal
- afzuigtijd

3.1 Droge stofgehalte

De meting van het droge stofgehalte in slib geschiedt volgens NEN 3235 4.2: Bepaling van de droogrest en de gloeirest van de onopgeloste bestanddelen in afvalwater en slib.

3.2 Specifieke filtratieweerstand

De specifieke filtratieweerstand behoeft niet altijd aan de hand van proeven met een filterpers te worden

3

bepaald. Deze proefnemingen zijn nogal tijdrovend en daarom minder aantrekkelijk. Er zijn een aantal apparaten die een snellere bepaling van de specifieke filtratieweerstand mogelijk maken. De werking ervan wordt in het navolgende kort toegelicht.

3.2.1 Meting van de specifieke filtratieweerstand met behulp van een vacuümfILTER (lit. 6)

Met een Büchnerfilter is het mogelijk een aantal slibmonsters simultaan te ontwateren. Figuur 7 is een schematische weergave van het Büchnerfilter.

De Büchnertrechters worden met 125 ml slib gevuld en vervolgens gedurende ca. 20 minuten bij een gestandaardiseerde onderdruk van 50 kPa (volgens voorlopig NEN-voorschrift) ontwaterd. Het filtraat wordt in maatcilinders opgevangen, zodat op grond van de toename van het filtraatvolume met de tijd de specifieke filtratieweerstand kan worden berekend.

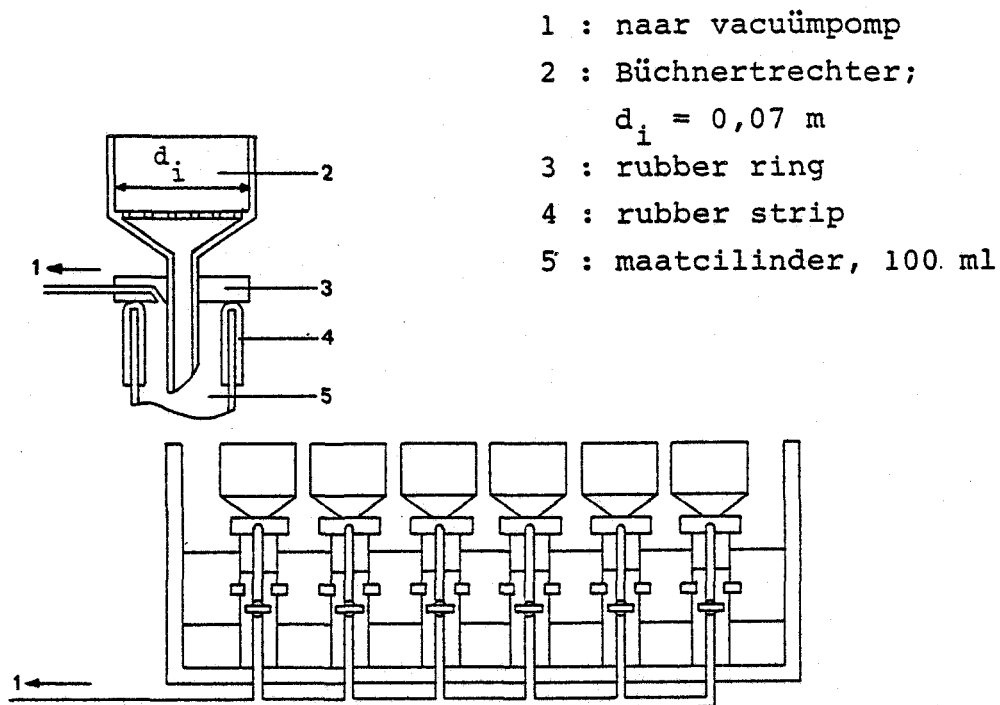


Fig. 7: Schematische weergave van het Büchnerfilter

3.2.2 Meting van de specifieke filtratieweerstand met behulp van een drukfilter

De werkwijze bij een drukfilter (b.v. meetfilter van Passavant) lijkt meer op die bij een filterpers. Een monster slib van 250 ml wordt gedurende ca. 20 minuten ontwaterd bij een overdruk in de ontwateringsruimte van maximaal 1500 kPa. Het filtraat wordt opgevangen in een maatcilinder, zodat op dezelfde wijze als bij het Büchnerfilter de specifieke filtratieweerstand berekend kan worden. In figuur 8 is de proefstelling schematisch weergegeven.

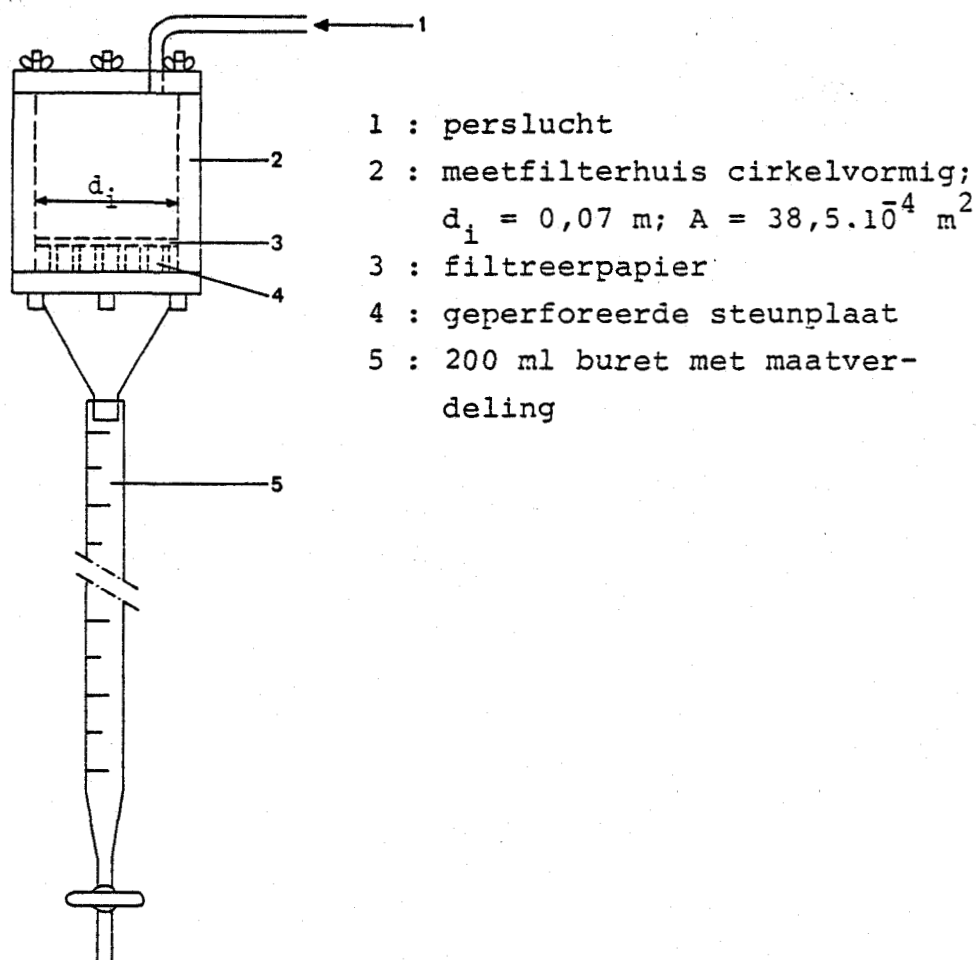


Fig. 3: Schematische weergave van een drukfilter

Het drukfilter kan bovendien vrij eenvoudig geschikt gemaakt worden voor ontwatering bij een onderdruk.

3.3 Samendrukbaarheid

De samendrukbaarheid is een afgeleide grootheid. Het principe van de bepaling staat beschreven in hoofdstuk 2.4.

De samendrukbaarheid s van slib wordt gedefiniëerd met de empirische relatie, die de specifieke weerstand r als functie van de druk P beschrijft

$$r = r_0 \cdot P^s.$$

(volgens voorlopig NEN voorschrift).

3.4 C.S.T.-getal

De bepaling van het C.S.T.-getal berust op het principe dat een monster slib onder invloed van het eigen gewicht wordt ontwaterd door capillaire opzuiging in filtreerpapier. Dit geschiedt met het z.g. C.S.T.-apparaat (lit. 7). Hierbij wordt een kleine cilinder op een stuk filtreerpapier geplaatst en vervolgens met een monster slib gevuld. Het filtreerpapier absorbeert het water dat uit het slib vrijkomt.

Door middel van een aantal elektrodes die op het filtreerpapier zijn geplaatst wordt de uitbreiding van de natte zone in het filtreerpapier in de loop van de tijd gemeten. De elektrodes zijn daartoe met een apparaat verbonden, dat de tijd in seconden meet die verstrijkt wanneer de natte zone zich uitbreidt van de binnenste naar de buitenste elektrode. Deze tijd wordt het C.S.T.-getal genoemd (capillary suction time) en is een

maat voor de ontwaterbaarheid van het slib. Moeilijk te ontwateren slib heeft een hoog C.S.T.-getal. Figuur 9 is een schematische weergave van het C.S.T.-apparaat.

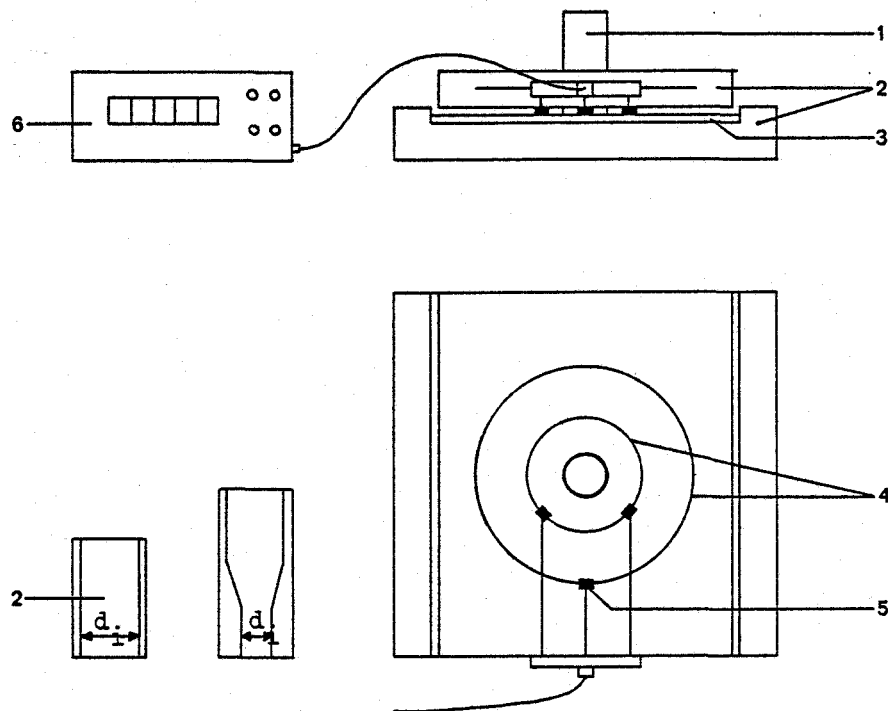


Fig. 9: Schematische weergave van het C.S.T.-apparaat

- 1: metalen cilinder voor het slibmonster
(2 uitvoeringen: $d_i = 0,018 \text{ m}$; $d_i = 0,01 \text{ m}$)
- 2: perspex platen
- 3: filtreerpapier
- 4: metalen ringen in bovenste perspex plaat
- 5: elektroden, verbonden met telapparaat en ringen
- 6: telapparaat

Het C.S.T.-getal is een maat voor de ontwaterbaarheid van een slib, maar het is in principe ook mogelijk om uit het C.S.T.-getal de specifieke filtratieweerstand af te leiden. Hiertoe kan het produkt van de specifieke filtratieweerstand, gemeten bij een onderdruk van 49 kPa, en het droge stofgehalte uitgezet worden tegen het C.S.T.-getal (zie fig. 10, lit. 8).

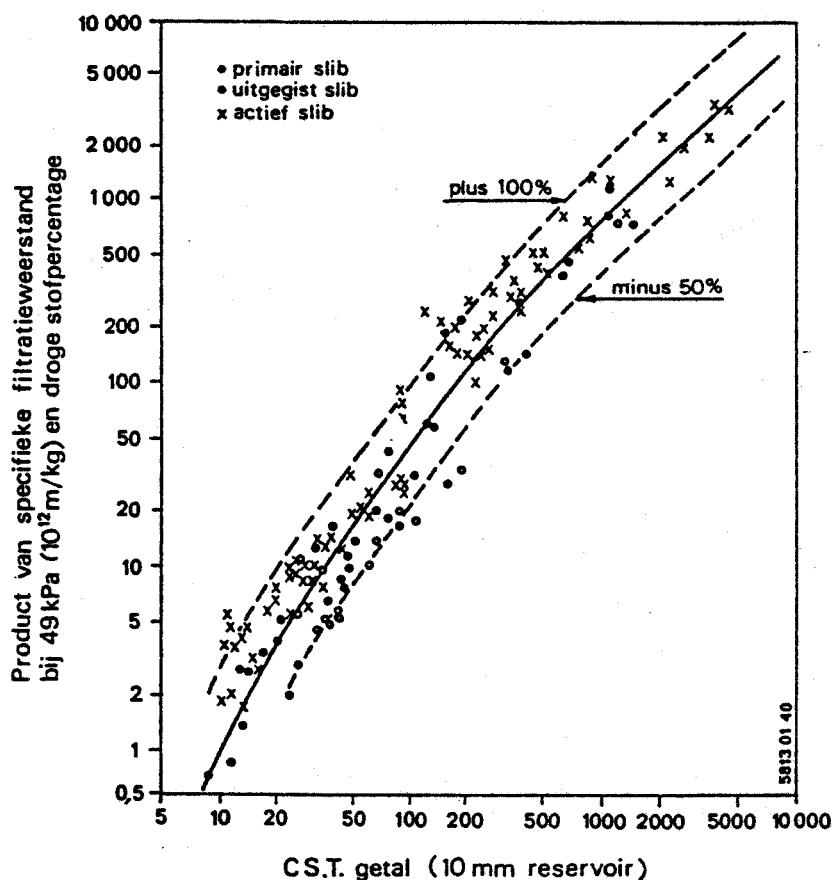


Fig. 10: Verband tussen het C.S.T.-getal en het produkt van specifieke filtratieweerstand en droge stofgehalte bij drie typen afvalwaterslib

3.5 Afzuigtijd

De afzuigtijd is de tijd waarin bij een onderdruk van 50 kPa, 75 ml filtraat wordt verkregen, uitgaande van 125 ml slib suspensie (volgens voorlopig NEN voorschrift).

Bepaling van de afzuigtijd geschiedt met behulp van een Büchnerfilteropstelling (zie ook 3.2.1). Het is mogelijk om uit de afzuigtijd de specifieke filtratieweerstand af te leiden.

Hiertoe wordt de afzuigtijd uitgezet tegen de specifieke filtratieweerstand (zie fig. 11, lit. 58).

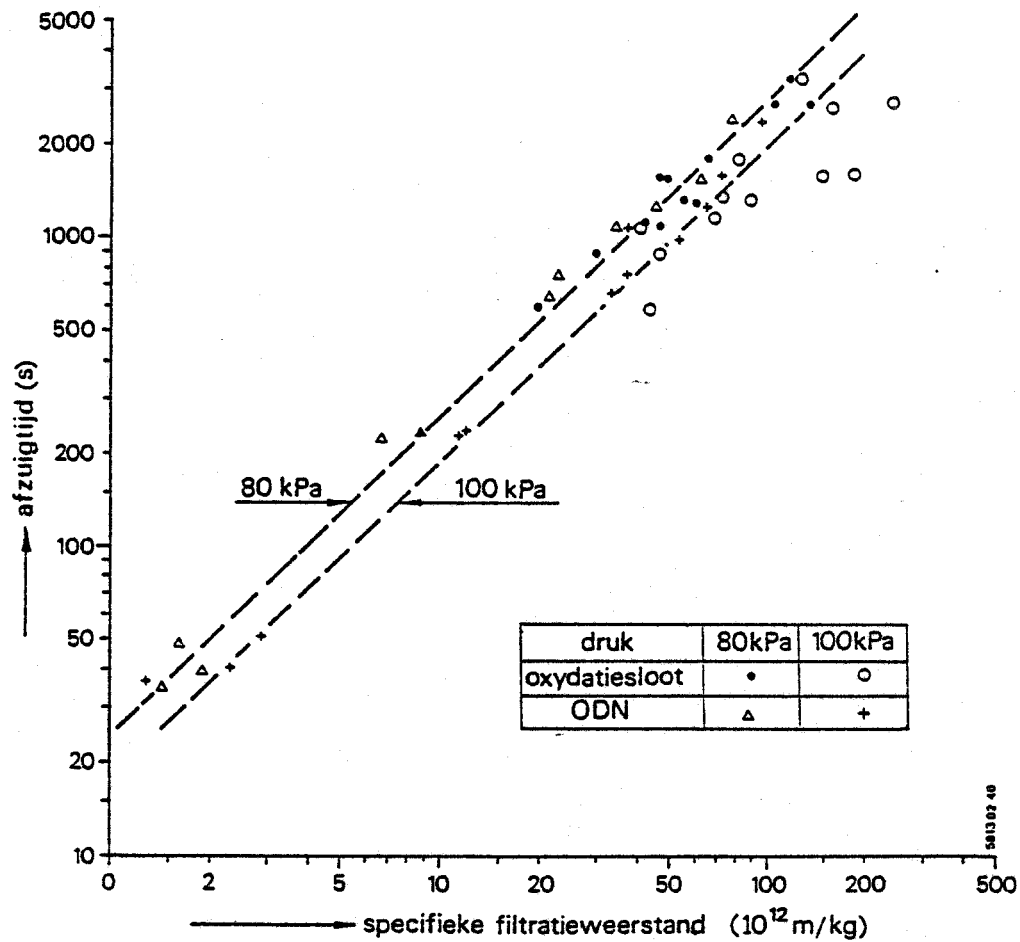


Fig. 11: Verband tussen afzuigtijd en specifieke filtratieweerstand van slib uit een oxidatiesloot bij vacuümfiltratie (80 kPa ●), en drukfiltratie (100 kPa ○) en van slib uit een oxydatiedenitrificatie-installatie bij vacuümfiltratie (80 kPa △), en drukfiltratie (100 kPa +)

3.6 Betekenis van de gemeten slibparameters

Het aanvangs droge stofgehalte van slib kan van invloed zijn op de tijd die nodig is om een koek met een zeker gewenst droge stofgehalte te produceren. Het aanvangs droge stofgehalte heeft eveneens invloed op de eventueel te doseren hoeveelheid conditioneringsmiddel, welke bedoeld is om de ontwatering te verbeteren.

Praktijkgegevens over de ontwatering van diverse slib-suspensies tonen aan dat beneden een bepaalde grenswaarde voor de specifieke filtratieweerstand een redelijke werking van de filterpers te verwachten is. Als bovengrens voor de specifieke filtratieweerstand wordt bij mechanische slibontwatering wel een waarde van 10^{13} m/kg aangehouden (lit. 59).

De samendrukbaarheid dient zo dicht mogelijk de waarde 1 te benaderen. Dit kan door conditioneren bereikt worden. Een lage samendrukbaarheidsconstante zou aanleiding geven tot snellere vervuiling van het filtermedium (lit.54). In plaats van de specifieke filtratieweerstand kunnen ook het C.S.T.-getal en de afzuigtijd gemeten worden. Laatstgenoemde twee slibparameters geven een snelle en betrouwbare indruk van de filtratie-eigenschappen van het slib. Meestal wordt het verse slib eerst opgeslagen en/of ingedikt in een indikker.

Om eventuele kwaliteitsveranderingen van het slib tijdens deze fase te volgen zou eveneens aandacht geschonken kunnen worden aan parameters als slibleeftijd, organische stofgehalte en zuurstofgehalte.

4. DE FILTERPERS

4.1 Algemene beschrijving

Een filterpers bestaat in principe uit een aantal naast elkaar geplaatste ontwateringsruimtes (de kamers). De wanden van de kamers zijn aan de binnenkant gegroefd (het filtratieoppervlak). Op het filtratieoppervlak bevindt zich het filterdoek. Het filtraat verdwijnt tussen het filterdoek en het filtratieoppervlak door naar het afvoerkanaal.

Om na beëindiging van de ontwatering de koek te kunnen verwijderen is een kamer in werkelijkheid opgebouwd uit twee zogenaamde filterplaten met eventueel daar tussen een open frame. Tijdens de ontwatering worden de filterplaten door een horizontaal werkende tegendruk tegen elkaar geklemd. Ten behoeve van de verwijdering van de koek worden de filterplaten na het wegnemen van de tegendruk uit elkaar geschoven, waartoe ze op twee horizontale geleide balken rusten. Onder normale omstandigheden valt de koek dan vanzelf naar beneden. Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen twee types filterpersen, te weten de "kamerfilterpers" en de "vlakke plaat filterpers". De figuren 12 en 13 laten een uitvoeringsvorm van het filtratiegedeelte van deze types zien.

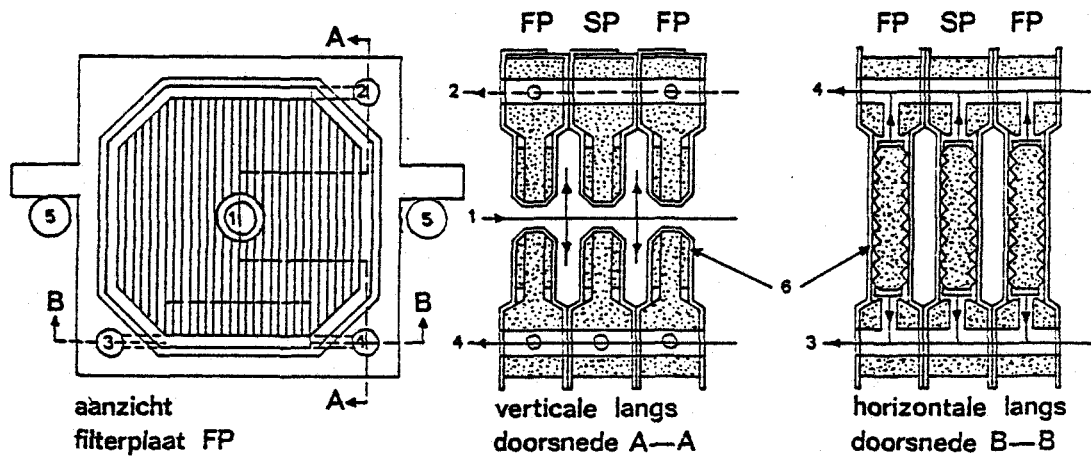


Fig. 12: Een uitvoeringsvorm van de ontwateringsruimtes van een kamerfilterpers

- 1 = slibaanvoer
- 2 = spoelwaterafvoer
- 3 = spoelwaterafvoer en filtraatafvoer
- 4 = filtraatafvoer
- 5 = horizontale geleidebalken
- 6 = filterdoek
- FP = filterplaat
- SP = spoelplaat

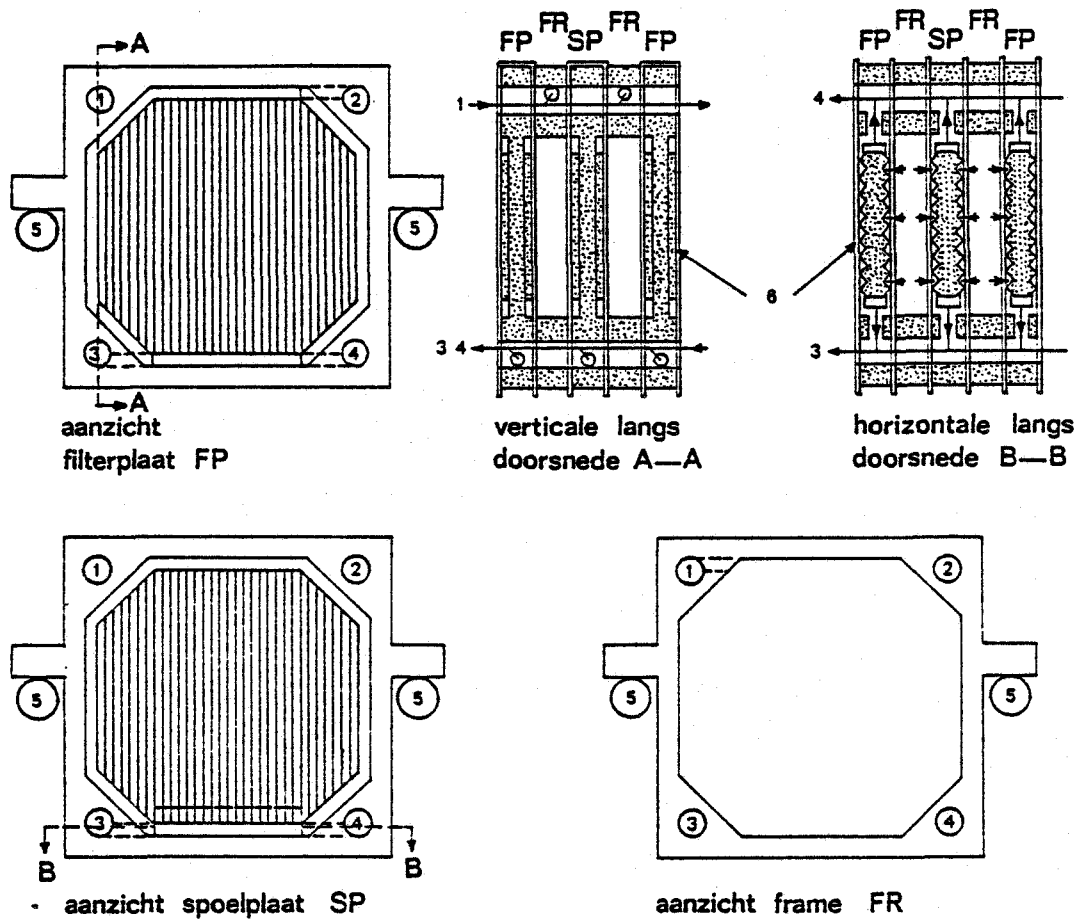


Fig. 13: Een uitvoeringsvorm van de ontwateringsruimtes van een vlakke plaat filterpers

- 1 = slibaanvoer
- 2 = spoelwaterafvoer
- 3 = spoelwateraanvoer en filtraatafvoer
- 4 = filtraatafvoer
- 5 = horizontale geleidebalken

6 = filterdoek
FP = filterplaat
SP = spoelplaat
FR = frame

Het verschil tussen deze twee types filterpersen berust op de wijze waarop een kamer wordt gevormd en de plaatsing van de slibtoevoer. Bij een kamerfilterpers wordt een kamer gevormd door twee filterplaten met een verbrede rand en is de slibtoevoer centraal in het filtratieoppervlak geplaatst. De vlakke plaat filterpers heeft open frames tussen vlakke filterplaten en de slibtoevoer is buiten het filtratieoppervlak gehouden. Deze verschillen betekenen in de praktijk dat bij de kamerfilterpers elke filterplaat afzonderlijk met een filterdoek is bekleed, terwijl bij de vlakke plaat een harmonicavormig tussen de filterplaten en frames doorlopend filterdoek mogelijk is. Dit heeft echter geen betekenis voor de ontwateringsmogelijkheden, hetgeen in de praktijk ook is gebleken. Een keuze tussen de twee types zal dan ook op andere gronden berusten. De filterpers komt in vele uitvoeringsvormen wat betreft kamerbreedte, afmetingen van het filtratieoppervlak en aantal kamers voor. Het voert te ver om hiervan een compleet overzicht te geven, maar gangbare kamerbreedtes zijn 0,015 tot 0,05 m, de afmetingen van het

drainageoppervlak kunnen variëren van 0,20 x 0,20 m tot 1,30 x 1,30 m terwijl het aantal kamers kan variëren van 1 tot 100.

Buiten het reeds genoemde kunnen de filterpersen ook nog worden onderscheiden naar de mate van automatisering. Het gaat hierbij vooral om het aanbrengen van de tegen-
druk tijdens de ontwatering en het uit elkaar schuiven van de filterplaten na de ontwatering. Bij de grotere filterpersen is dit tegenwoordig volledig geautomatiseerd, waarvan figuur 14 een voorbeeld is. Een eenvoudiger uitvoering is ook mogelijk, maar dan moeten b.v. de filterplaten met de hand uit elkaar worden geschoven, hetgeen een tijdrovend en inspannend karwei is.

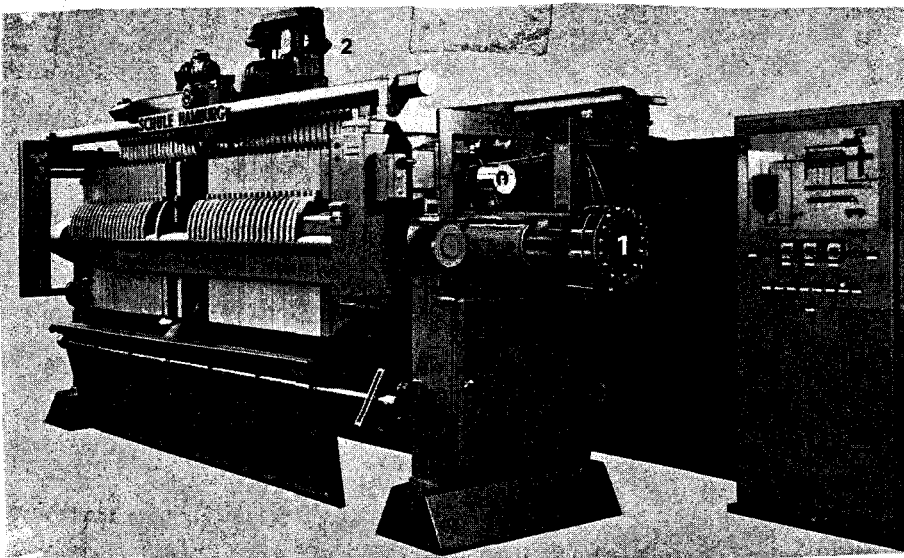


Fig. 14: Een voorbeeld van een volautomatisch uitgevoerde filterpers

1 = mechanisme voor het aanbrengen van te tegendruk

2 = mechanisme voor het uit elkaar schuiven van de filterplaten

4.2 De bedrijfsvoering

De ontwatering in een filterpers is een ladingsgewijs proces, omdat er geen continue aanvoer van slib naar en afvoer van koek en filtraat uit de filterpers mogelijk is. Van tijd tot tijd wordt de slibtoevoer stopgezet en worden de filterplaten van elkaar geschoven om de koek te kunnen verwijderen.

Het is van belang de ledigingstijd, d.w.z. de tijd die nodig is om de filterpers te openen, de koek te verwijderen en de filterpers weer te sluiten, zo kort mogelijk te houden. Het apparaat is immers in deze periode niet voor ontwatering te gebruiken. Er is mede daarom de nodige aandacht besteed aan de automatisering van het transport van de filterplaten. Hierdoor is niet alleen tijdwinst mogelijk, maar ook een beperking van de benodigde mankracht. Bovendien hoeft het bedienend personeel in principe niet meer met het slib of de koek in aanraking te komen. Dankzij de automatisering moet het mogelijk worden geacht de ledigingstijd van een filterpers met een groot aantal kamers te beperken tot ca. 20 minuten.

Daar de resterende werkzaamheden hoofdzakelijk van controlerende aard zijn zal vaak kunnen worden volstaan

met één man per filterpers, vermeerderd met b.v. de helft in verband met ziekte en verlof. De relatief hoge personeelskosten ten gevolge van weekend- en avondwerk zijn vaak aanleiding het aantal persuren te beperken tot veertig per week.

Over het algemeen heeft de filterpers door de geringe slijtage van de onderdelen een grote levensduur. Vaak wordt gerekend met een levensduur van dertig jaar. De filterdoeken moeten wel regelmatig worden vervangen. Een termijn hiervoor is moeilijk aan te geven, omdat deze mede afhankelijk is van de aard van het slib en de behandeling van de filterdoeken. Ze moeten namelijk regelmatig worden schoongemaakt om de erin gedrongen vaste stof te verwijderen. Hiertoe worden de filterdoeken met leidingwater schoongespoten, of met chemicaliën gereinigd. Wat betreft de levensduur moet in de orde van enkele maanden worden gedacht.

4.3 Het slibbehandelingssysteem

De slibbehandeling omvat meer dan ontwatering in een filterpers alleen. Om te beginnen is een buffertank nodig om het verse slib op te slaan, daar de slibproductie en de toevoer naar de filterpers moeilijk op elkaar afgestemd kunnen worden. Verder is afhankelijk van het droge stofgehalte van het slib in de buffertank een indikker wenselijk om de benodigde filterperscapaciteit te beperken. Vele slibsoorten laten zich moeilijk ontwateren en met het oog hierop wordt vaak getracht door

het toevoegen van chemicaliën hierin verbetering aan te brengen. Dit brengt de noodzaak met zich mee de chemicaliën op te slaan en eventueel te verdunnen, terwijl bovendien een mengruimte nodig is om slib en chemicaliën te mengen. De koek tenslotte wordt vaak door een lopende band naar een koekbunker getransporteerd, terwijl voor het transport naar de stortplaats soms ook nog vrachtwagens nodig zijn. Het slibbehandelingsproces zoals is beschreven is in figuur 15 schematisch weergegeven.

De aard van het slib bepaalt in belangrijke mate de uitgebreidheid van het slibbehandelingsproces. Bovendien zijn leidingen, pompen, meet- en regelapparatuur en dergelijke niet genoemd. Om een idee van de werkelijke omvang van het slibbehandelingsproces te krijgen is op bijlage 1 het mechanische gedeelte beschreven van een filterpersinstallatie die 30.000 m^3 coagulatieslib per jaar zou moeten verwerken (lit. 9). Hieruit moge blijken dat de filterpers slechts een onderdeel van het slibbehandelingsproces is.

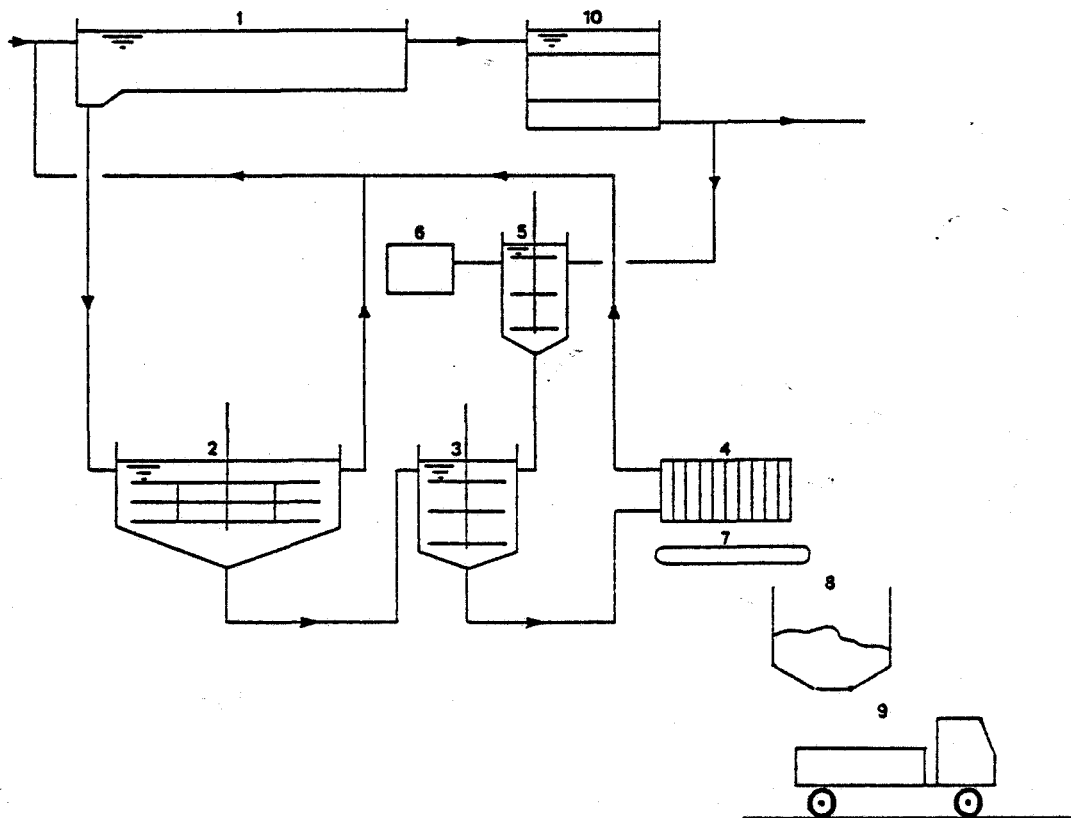


Fig. 15: Schematische weergave van een slibbehandelings-
proces, waarbij gebruik gemaakt wordt van een
filterpers

- 1 = bezinkinstallatie van het proces van de drinkwater-
bereiding
- 2 = slibindikker
- 3 = vat voor de menging van slib en chemicaliën

- 4 = filterpers
- 5 = vat voor de verdunning van chemicaliën
- 6 = voorraadvat voor de opslag van chemicaliën
- 7 = lopende band voor transport van de koek
- 8 = koekbunker
- 9 = transport van de koek naar de stortplaats
- 10 = snelfilter

5. DIMENSIONERING VAN DE FILTERPERS

De dimensionering van de filterpers is een optimaliseringsproces waarbij een aantal procesvariabelen een belangrijke rol spelen. Onder dimensionering wordt hier verstaan het bepalen van de afmetingen van het filtratieoppervlak en het vaststellen van het aantal kamers en de kamerbreedte. De theorie leent zich slechts voor de karakterisering van het slib, zodat de dimensionering zal moeten berusten op een meer of minder uitgebreid onderzoekprogramma, eventueel gesteund door ervaring die elders is opgedaan.

De technische randvoorwaarden bij de dimensionering zijn de hoeveelheid te ontwateren slib, de samenstelling van het slib en de gewenste mate van ontwatering. De kosten van de ontwatering komen later ter sprake. De eerste twee randvoorwaarden spreken voor zichzelf en staan min of meer vast. De gewenste mate van ontwatering hangt echter af van de eindbestemming van de koek. Meestal zal de koek worden gestort en met het oog hierop zal naar een droge stofgehalte van 20-25 gew % worden gestreefd. Ontwaterd ijzerhydroxideslib kan echter ook door de hoogovens worden gebruikt als ijzererts. De koek moet dan een hoog droge stofgehalte hebben (70-80 gew %), terwijl het ijzergehalte 50 gew % of meer dient te bedragen. De hoge mate van ontwatering die nu nodig is zal waarschijnlijk niet altijd haalbaar zijn en zal hoge ontwateringskosten met zich meebrengen.

5.1 Onderzoek ten behoeve van de dimensionering

Het onderzoekprogramma ten behoeve van de dimensionering zal meestal met een kleine filterpers worden uitgevoerd.

De optimalisatie van de filterpers, die beschouwd kan worden als een combinatie van procesvariabelen en aangepaste koekdikte (kamerbreedte) heeft tot doel hoge filtratiesnelheden te bereiken en dus bijgevolg lage filtratiekosten. De uiteindelijk te installeren filterpers zal dan de experimenteel bepaalde kamerbreedte hebben zal worden bedreven onder de vastgestelde optimale condities. Het filtratieoppervlak en het aantal kamers volgen uit de verhouding tussen de hoeveelheid in werkelijkheid te ontwateren slib en de hoeveelheid experimenteel ontwaterd slib.

De onderzoekresultaten zouden kunnen worden vergeleken op grond van:

- maximaal bereikbare droge stofgehalte van de koek
- droge stofproduktie per m^2 filtratieoppervlak per tijdseenheid
- kosten van de ontwatering

Het droge stofgehalte in de koek na zeer lang persen is het maximaal bereikbare onder de gegeven procescondities. Met de droge stofproduktie per m^2 filtratieoppervlak per tijdseenheid wordt de massa van de droge stof in de koek bedoeld die een tijd t na het begin van de ontwatering is bereikt, gedeeld door het filtratie-

oppervlak en de tijd t . De kosten van de ontwatering hebben voornamelijk betrekking op de posten energie, personeel, chemicaliën en afschrijving van de installatie.

De afmetingen van het filtratieoppervlak van de uiteindelijk te installeren filterpers zijn meestal enige malen groter dan die bij de experimentele filterpers. Hierdoor wordt het mogelijk het aantal kamers te beperken.

Dat deze schaalvergroting over het algemeen weinig invloed heeft op de ontwateringsresultaten wordt o.a. geïllustreerd door Capey (lit. 10). Er werd geconstateerd dat een vergroting van de kamerafmetingen van $0,2 \times 0,2$ m naar $1,2 \times 1,2$ m praktisch geen invloed had op het droge stofgehalte in de koek dat na zekere tijd werd bereikt.

Bij het onderzoek ten behoeve van de dimensionering van de filterpers zou aan de volgende aspecten aandacht geschonken kunnen worden: indikkingsgraad van het slib, conditionering van het slib, persdruk en type filterdoek.

In het navolgende worden deze aspecten kort toegelicht.

5.1.1 Indikkingsgraad van het slib

Vers coagulatieslib heeft vaak een betrekkelijk laag droge stofgehalte. Door tussenschakeling van een indiker die het droge stofgehalte enkele gew % verhoogt

kunnen de dimensies van de filterpers worden beperkt. Wordt b.v. door een indikker het droge stofgehalte verhoogd van 2 naar 4 gew % dan betekent dit een beperking van het slibvolume van niet minder dan 50%. De geringe toename van de soortelijke massa van het slib is hierbij verwaarloosd. Om de indikking te verbeteren kan tevens aandacht worden geschonken aan conditionering van het slib voordat het wordt ingedikt. Enige theoretische beschouwingen over het indikproces worden o.a. in (lit. 1) behandeld.

5.1.2 Conditionering van het slib

In de praktijk is gebleken dat coagulatieslib vaak moeilijk tot een droge stofgehalte van 20 gew % of meer kan worden ontwaterd. Door conditionering van het slib tracht men de ontwaterbaarheid te verbeteren. Er bestaan verschillende conditioneringsmethodes, waarvan de meest bekende zijn:

fysische conditionering	- vries-dooiproces
	- verwarmen onder verhoogde druk
conditionering met vulstoffen	- zaagsel
	- hydroanthraciet
	- vliegas
	- andere vulstoffen
chemische conditionering	- anorganische verbindingen (kalk, zwavelzuur)

- organische verbindingen
(kationische, anionische
en nonionische polymeren)

Fysische conditionering

Door het vries-dooiproces wordt de geleachtige structuur van het slib veranderd in een meer korrelachtige, waardoor een aanmerkelijk betere ontwatering mogelijk is. Meer informatie hierover biedt o.a. (lit. 1). Van het verwarmen van het slib onder verhoogde druk zijn nog weinig praktijkgegevens beschikbaar.

Conditionering met vulstoffen

Met het toevoegen van vulstoffen wordt beoogd de doorlatendheid van de koek te verbeteren. De ervaringen die hiermee zijn opgedaan zijn echter niet uitsluitend gunstige. Vliegass wordt soms ook als precoat op het filterdoek gebruikt om de levensduur ervan te verhogen.

Chemische conditionering

Chemische conditionering wordt op grote schaal toegepast. Van de anorganische verbindingen is alleen kalk vermeldenswaardig. Het wordt meestal als kalkmelk toegediend in hoeveelheden van globaal 0,1-0,3 kg Ca(OH)_2 per kg droge stof in het slib. De pH van het slib blijkt een belangrijke controleparameter te zijn want een wezenlijk betere ontwatering is vaak pas mogelijk bij een pH van 11 à 12. Toch is de pH niet de enige

faktor van belang, want volgens (lit. 11) blijkt natronloog bij dezelfde pH waarden geen effect te hebben. De invloed van kalk kan vrij snel zichtbaar worden gemaakt aan de hand van de specifieke filtratieweerstand. Zo blijkt uit bijlage 2 (lit. 11) dat voor een aantal slibsoorten afhankelijk van de pH een maximum reductie van de specifieke filtratieweerstand mogelijk was van ca. 75%.

De organische polymeren die bij de conditionering worden gebruikt hebben een molecuulgewicht van ca. 10^5 - 10^6 . In water opgelost dissociëren de meeste tot positief (kationische polymeren) of negatief (anionische polymeren) geladen moleculen. De nonionische polymeren blijven vermoedelijk ongeladen. De polymeermoleculen zullen waarschijnlijk slibdeeltjes aan zich binden, en de hierdoor gevormde relatief grote deeltjes zouden de doorlatendheid van de koek kunnen verbeteren. Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen natuurlijke (zetmeelderivaten) en synthetische polymeren. Sommige synthetische polymeren mogen op grond van de eventuele toxiciteit niet worden gebruikt. Meestal kan met een relatief lage dosering van globaal 0,001 - 0,1 kg polymeer per kg droge stof in het slib worden volstaan.

5.1.3 Persdruk

De persdruk is de drijvende kracht van het ontwateringsproces. In theorie zou een hogere persdruk een snellere en/of verdergaande ontwatering mogelijk kunnen

maken. In de praktijk hoeft dit echter niet zo te zijn omdat de eerste koeklagen mogelijk slechter doorlatend zijn bij een hogere persdruk. Hier en daar wordt beweerd dat dit bezwaar van een hogere persdruk beperkt kan worden door de persdruk geleidelijk op te voeren. Dit zou tevens de verstopping van het filterdoek met fijne slibdeeltjes kunnen vertragen. Deze verstopping vergroot de stromingsweerstand en maakt intensieve reiniging van het filterdoek nodig. Het geleidelijk opvoeren van de persdruk stelt wel extra eisen aan de slibtoevoerpomp. De druk waarmee de filterplaten tijdens de ontwatering tegen elkaar worden geperst houdt nauw verband met de persdruk. Een verhoging van de persdruk is slechts mogelijk bij voldoende tegendruk, terwijl de filterplaten hiertegen ook bestand moeten zijn. In de praktijk worden persdrukken toegepast van globaal 0,2 MPa tot 1,5 MPa.

5.1.4 Type filterdoek

Over het algemeen heeft het type filterdoek weinig invloed op het ontwateringsproces, omdat de koek de filtererende werking van het doek ten dele overneemt. De maatstaven op grond waarvan een keuze moet worden gemaakt zijn dan ook van andere aard. Men kan de filterdoeken beoordelen aan b.v. de chemische resistentie tegen het slib en eventuele schoonmaakvloeistoffen, de mate van blijvende verstopping, de mate van slijtage etc. Het verdient echter ook aanbeveling te letten op

het loslaten van de koek na beëindiging van de ontwatering en de mate waarin het filtraat in het begin van de ontwatering is vervuild. Een aan het doek vastklevende koek vergt mankracht om te kunnen worden verwijderd. Een te sterk vervuild filtraat kan niet in het proces van de drinkwaterzuivering worden teruggevoerd. De filterdoeken kunnen van verschillende materialen zijn gemaakt zoals polyester, polyamide, polyvinylchloride, polypropyleen, maar ook natuurlijke produkten als katoen, wol en sisal worden gebruikt. Vooral bij de natuurlijke produkten is waakzaamheid wat betreft het vastkleven van de koek gewenst.

5.2 Bedrijfservaring

De ervaring die elders is opgedaan kan van veel waarde zijn om een globale indruk te krijgen van de mogelijkheden van een filterpers. Dimensionering op grond van alleen deze ervaring is meestal niet optimaal. Hoewel niet is getracht een compleet overzicht te geven van de toepassing van de filterpers voor de behandeling van coagulatieslib geeft bijlage 3 toch een redelijk beeld van de filterpersontwatering in de praktijk. In de bijlage zijn gegevens verzameld van een aantal drinkwaterbedrijven die betrekking hebben op o.a. de slibproductie, conditionering, omvang van de filterpers, bereikte volumereduktie en bedrijfsvoering. Uit de bijlage blijkt dat van slib met een droge stofgehalte variërend van 0,3 tot 8,0 gew % koeken worden geperst met een droge stofgehalte van 20 tot 40 gew % bij pers-

tijden van 1 tot 23 uur. De diverse slibsoorten zijn geconditioneerd met polyelectrolyt soms in combinatie met kalk in hoeveelheden variërend van 0,0006 tot 0,027 kg polyelectrolyt resp. 0,025 tot 0,20 kg kalk per kg droge stof. Een uitzonderingsgeval is het slib met een droge stofgehalte van 10,0 gew % waarvan koeken worden geperst met een droge stofgehalte van 55 gew % zonder dat het slib wordt geconditioneerd. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat het coagulatieslib is gemengd met kalk-soda onthardingsslib dat de doorlatendheid van de koek zou kunnen verbeteren.

6. DE KOSTEN VAN DE SLIBVERWERKING MET BEHULP VAN EEN FILTERPERS

Bij de keuze voor een slibverwerkingssysteem spelen de kosten een belangrijke rol. De slibverwerking is vergeleken met de drinkwaterproduktie van secundair belang en mag dus niet te veel kosten. Helaas zijn in Nederland nog geen praktijkgegevens beschikbaar, waardoor het moeilijk is exacte cijfers te noemen. Hiermee moet trouwens toch de nodige voorzichtigheid worden betracht omdat de kosten mede beïnvloed worden door plaatselijke omstandigheden. Om toch een orde van grootte aan te geven worden hier de resultaten van enkele buitenlandse drinkwaterbedrijven aangehaald en geplaatst tegenover de ramingen van twee Nederlandse drinkwaterbedrijven. De waterleidingbedrijven van Amsterdam en Rotterdam hebben ten behoeve van de nieuwbouw in Weesperkarspel en Kralingen kostenramingen opgesteld voor de slibverwerking. Hierbij werden voor de ontwatering met een filterpers ontwateringskosten berekend van resp. 0,55 en 0,92 cent per m³ drinkwater (prijspeil eind 1974). De Antwerpse Waterwerken gebruiken reeds een aantal jaren een filterpers en de kosten voor de slibverwerking inclusief indikking en koektransport werden voor 1976 berekend op ca 1,6 cent per m³ drinkwater (lit.12). Uit een Amerikaans onderzoek (lit. 13) waarbij een aantal slibverwerkingssystemen werden vergeleken bleken in 1975 de slibverwerkingskosten bij gebruik van een filterpers 1,7 cent per m³ drinkwater te zullen bedragen.

Een vergelijking van de filterpers met ander methodes van slibverwerking is minstens even moeilijk. Zowel in Weesperkarspel als Kralingen werden droogbedden met mechanische ruiming, een filterpers en een vries-dooi-installatie met elkaar vergeleken. Dit leidde voor Weesperkarspel tot de conclusie dat droogbedden de goedkoopste oplossing zouden bieden, terwijl in Kralingen de vries-dooiinstallatie (onder zeker voorbehoud) het goedkoopste zou zijn. In het reeds genoemde Amerikaanse onderzoek werd de filterpers vergeleken met een vacuümfilter, een centrifuge, een vries-dooiinstallatie en een vacuümfilter in combinatie met herwinning van aluminium. De resultaten hiervan wezen uit dat de filterpers de goedkoopste oplossing was. Volgens praktijkgegevens uit Engeland (lit. 14) bleek in 1971 dat de ontwateringskosten van filterpersen lager waren dan die van droogbedden en vries-dooiinstallaties. Om een iets duidelijker beeld te krijgen van de onderlinge verhouding van de factoren die de ontwateringskosten bepalen geeft bijlage 4 een nadere specificatie van deze kosten voor twee bedrijven. De cijfers van deze bedrijven, de Antwerpse Waterwerken en de Sturgeon Point Water Treatment Plant (lit 13), laten zien dat de kapitaalskosten de belangrijkste post vormen, gevolgd door onderhoud en bediening respectievelijk koektransport en storten.

7. ANDERE FILTRATIETECHNIEKEN

In een vacuümfilter en een zeefbandpers kan eveneens slib worden ontwaterd. Voor een beschrijving van deze apparaten zie o.a. (lit. 1). De overeenkomst met de filterpers is dat een filterdoek wordt gebruikt voor de scheiding van vaste stof en water. Een belangrijk verschil met de filterpers is dat in een vacuümfilter en een zeefbandpers continue ontwatering plaatsvindt. Op grond van de ervaringen in het buitenland kan worden getracht een ruwe schets te maken van de toepasbaarheid van de diverse apparaten voor de slibsoorten die bij de drinkwaterbereiding kunnen ontstaan.

De drijvende kracht bij de ontwatering in een vacuümfilter is een onderdruk onder het filterdoek. Deze is relatief laag ten opzichte van de overdrukken die in een filterpers kunnen worden toegepast. Dit heeft ertoe geleid dat in het buitenland voor het moeilijk te ontwateren coagulatieslib vaak gebruik wordt gemaakt van een filterpers. Het vacuümfilter is meestal niet in staat dezelfde droge koek te produceren als de filterpers. Het vacuümfilter wordt echter wel toegepast voor de ontwatering van onthardingsslib en door vries-dooien geconditioneerd coagulatieslib. Dit hangt samen met de meer korrelachtige structuur van deze slibsoorten, zodat de ontwatering gemakkelijker verloopt.

De zeefbandpers heeft tot op heden nauwelijks toepassing gevonden voor de ontwatering van coagulatieslib. De drijvende kracht van de ontwatering is een door

middel van verstelbare aandrijfrollen aangebrachte druk. Deze kan hoger zijn dan de onderdruk bij een vacuümfilter, maar is moeilijk precies te bepalen. De reden voor het geringe aantal toepassingen is het vrij matige ontwateringsresultaat, dat soms nog lager ligt dan dat van het vacuümfilter. Toepassing voor eenvoudiger te ontwateren slibsoorten is misschien mogelijk.

8. EVALUATIE VAN FILTERPERSEN EN VERGELIJKING MET ANDERE SLIBVERWERKINGSTECHNIEKEN

Er is in de laatste decennia betrekkelijk veel ervaring opgedaan met de ontwatering van coagulatieslib in een filterpers. Hieruit komen enkele aspecten naar voren die als een nadeel van de filterpers worden beschouwd, namelijk de discontinuïteit van het ontwateringsproces en de daarbij te verrichten werkzaamheden.

De discontinue werking is kenmerkend voor de filterpers. Het bezwaar hiervan is enerzijds het tijdverlies tijdens het lossen van de koek, maar ook procestechnisch worden extra eisen gesteld aan de installatie. Zo moet b.v. een slibbuffertank het verschil tussen de slibproductie en de variërende toevoer naar de filterpers nivelleren. Ten aanzien van de conditionering moet eveneens rekening worden gehouden met de variërende aanvoer naar de filterpers.

De te verrichten werkzaamheden bij een niet geautomatiseerde filterpers zijn vrij omvangrijk en vertonen bovendien pieken. De kans bestaat dat het personeel met slib in aanraking komt. Deze minder plezierige werkomstandigheden kunnen nog verslechteren wanneer slordig met de installatie wordt omgesprongen of wanneer deze onzorgvuldig is ontworpen.

Door automatisering is voor een deel aan de bezwaren tegemoet te komen, maar dit werkt wel kostenverhogend. De filterpers heeft echter als voordeel, dat het een bedrijfszekere apparaat is dat betrekkelijk weinig

onderhoud vraagt. Bovendien zijn de ontwateringsresultaten vaak beter dan bij vacuümfilters en centrifuges (lit. 1). Hoewel de investeringskosten vrij hoog zijn mag worden verwacht dat de filterpers wat betreft de ontwateringskosten in veel gevallen kan concurreren met andere ontwateringsmethodes. Droogbedden zijn economisch gezien misschien aantrekkelijker, maar het hiervoor benodigde terreinoppervlak zal niet altijd aanwezig zijn. Gezien het bovenstaande lijkt dan ook de conclusie gerechtvaardigd dat de filterpers voor de ontwatering van coagulatieslib voorlopig de meeste voordelen biedt.

9. AANBEVELINGEN

Een bedrijf, dat slibverwerking met behulp van filterpersen overweegt, dient ter plaatse met behulp van een kleine filterpers na te gaan welke indikkingsgraad te bereiken is en onderzoek te doen naar de gewenste drukopbouw, eindpersdruk en toe te voegen conditioneringsmiddelen.

Het is gewenst nader onderzoek te doen naar het verband tussen de diverse slibkarakteristieken en de te behalen resultaten met filterpersen in de praktijk.

Bijlage 1

Beschrijving van het mechanisch-electrische gedeelte van een slibbehandelingsinstallatie waarbij een filter- pers wordt gebruikt voor de ontwatering (lit. 9)

Om een idee te geven van de mogelijke omvang van een slibbehandelingsinstallatie is in deze bijlage een beknopt overzicht gegeven van de installatie die nodig zou zijn om het slib van het Amsterdamse Waterleidingbedrijf dat in Loenderveen zal worden geproduceerd te verwerken. Uitgangspunten bij het ontwerp waren:

slibproductie	30.000 m ³ /j
droge stofgehalte van het slib	4 gew %
bedrijfstijd	52 weken/j
	5 dagen/week
	16 uur/dag
droge stofgehalte van de koek	25 gew %

Indikking van het slib werd niet als noodzakelijk beschouwd gezien het relatief vrij hoge droge stofgehalte. Het slib zou worden geconditioneerd met kalk.

Slibconditionering

slibverwerking

1 slibtoevoerpomp: monopomp
cap.: $15 \text{ m}^3/\text{h}$
opvoerhoogte: 196 kPa
vermogen: 1,1 kW
gewicht : 180 kg

1 mengreservoir : mengvolume $\sim 1 \text{ m}^3$
vermogen 1,1 kW
gewicht $\sim 50 \text{ kg}$

1 voorraadbassin : volume $\sim 35 \text{ m}^3$

pijpleidingen e.d.

bereiden en doseren kalkmelk

1 voorraadbunker droge kalk 30 m^3
1 luchtfilter (reinigen van de bij het pneumatisch
transport van kalk vrijgekomen
lucht)
1 niveau meetapparaat (voor kalkbunker)
1 vulleiding
1 pneumatisch luchtinblaas (voorkoming van kalk-
bruggen bij bunker-
spits)
1 bunkerafsluitschuif
1 doseergoot: vermogen 0,75 kW
gewicht $\sim 180 \text{ kg}$

1 kalkoplosreservoir (met roerwerk):

inhoud $\sim 2 \text{ m}^3$

1 kalkmelkdoseerpomp:

cap.: $0,4 - 2,4 \text{ m}^3/\text{h}$

vermogen: $1,5 \text{ kW}$

gewicht: $\sim 120 \text{ kg}$

pijpleidingen en toebehoren

Persluchtinstallatie

1 compressor: aanzuigcap. $46 \text{ m}^3/\text{h}$

max druk $1,52 \text{ MPa}$

vermogen $5,5 \text{ kW}$

gewicht $\sim 450 \text{ kg}$

1 stuurluchtreservoir: inhoud $0,25 \text{ m}^3$

werkdruk $1,52 \text{ MPa}$

pijpleidingen

Filtratie

1 kamerfilterpers: plaatafmeting $1200 \times 1200 \text{ mm}$

aantal platen 80

filtratie opp. 200 m^2

koekdikte 30 mm

inhoud pers 3 m^3

filtratiedruk max. $1,52 \text{ MPa}$

vermogen $6,25 \text{ kW}$

automatisch platentransport

leeg gewicht 39 t

1 set draagzeven: kunststof
1 set filterdoek: nylon
1 drukluchtschuif:
doorblaasinrichting
filtraat kommando-apparatuur: beëindiging filtra-
tie
1 zelfaanzuigende hoge druk zuigermembraanpomp:
capaciteit: $8,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
druk: 1,52 MPa
vermogen: 15 kW
gewicht: $\sim 2800 \text{ kg}$
1 ontlast wisselschuif
pijpleidingen en afsluiters

Filterkoektransport

1 transportband: bandbreedte 0,8 m
asafstand $\sim 10 \text{ m}$
helling $\sim 3^\circ$ stijgend
vermogen 3,3 kW
gewicht $\sim 1600 \text{ kg}$

Algemene uitrusting

filterdoekwasinrichting:
afspuitapparaat
hoge drukpomp: capaciteit $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
druk 10,1 MPa
pijpleidingen en afsluiters

Electrische aandrijving en besturing

aandrijving: draaistroommotoren

besturing: voor het automatische
verloop van het proces

kabels en installatiemateriaal.

Bijlage 2

De invloed van conditionering met kalk op de specifieke filtratieweerstand (lit. 11)

Voor een aantal slibsoorten is de afname van de specifieke filtratieweerstand door conditionering met kalk grafisch weergegeven (zie fig. 16). De proeven zijn uitgevoerd met het meetfilter van Passavant bij een persdruk van 0,5 MPa.

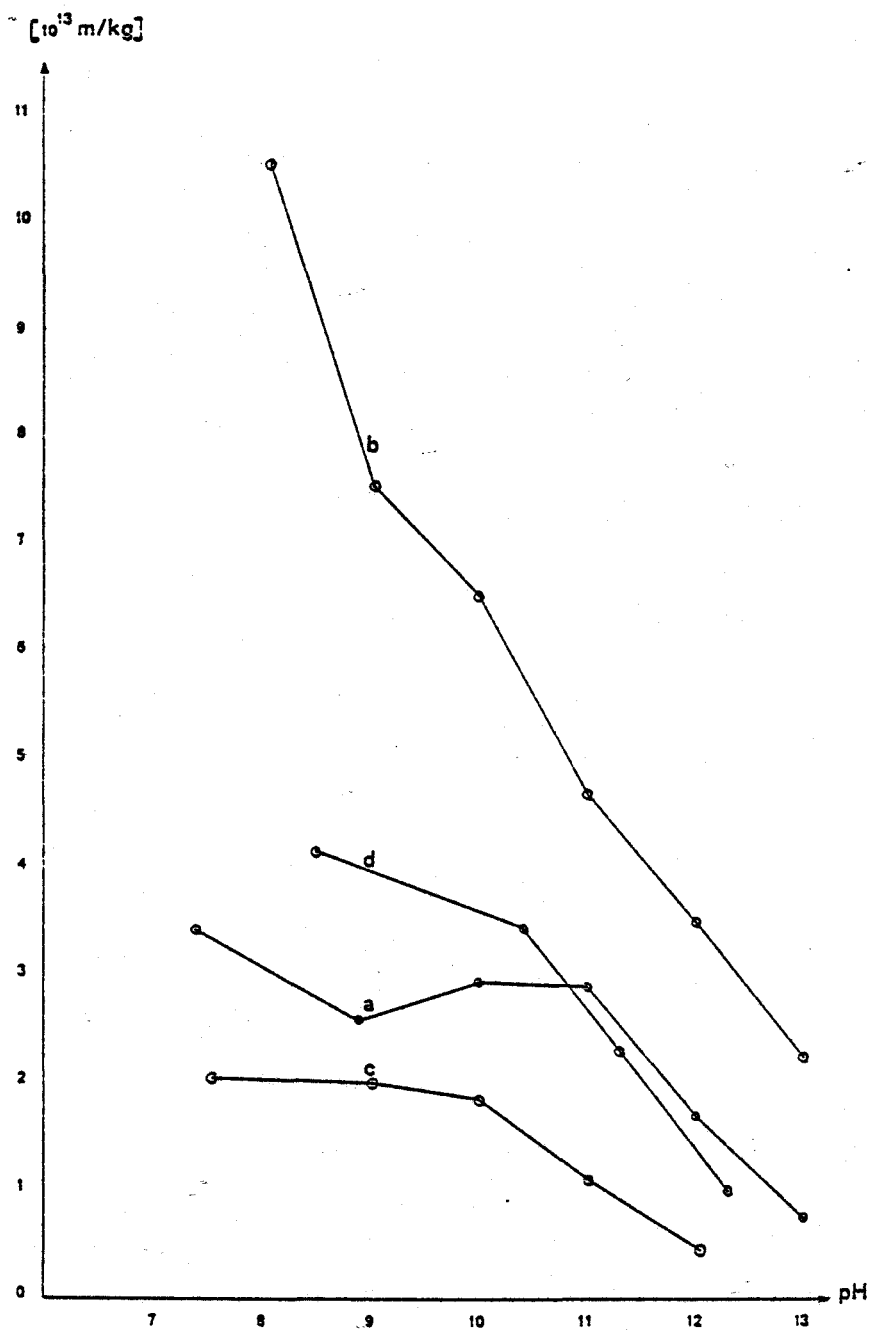
De onderzochte slibsoorten zijn:

- a: ingedikt coagulatieslib (ijzerhoudend) van een vlok-kendekenkolom in het laboratorium voor gezondheids-techniek van de T.H.-Delft, met een droge stofgehalte van 2,5 gew %.
- b: slib uit de slibvijver van de Haagse Duinwaterleiding (ijzerhoudend) met een droge stofgehalte van 6,1 gew %.
- c: coagulatieslib (ijzerhoudend) van de proefinstallatie aan de Honingerdijk van het Rotterdamse waterleidingbedrijf, met een droge stofgehalte van 7,2 gew %.
- d: ingedikt coagulatieslib (aluminiumhoudend) van de vlokkendekenkolom zie a, met een droge stofgehalte van 3,3 gew %.

Als controleparameter is de pH van het slib na conditionering met kalk gebruikt.

Uit de praktijk blijkt dat een specifieke filtratie-

weerstand van maximaal 10^{13} m/kg vereist is om binnen
perstijden van enkele uren een koek te produceren van
20 gew % of meer. Uit de figuur is te zien dat dan veelal
pH waarden groter dan 12 aangehouden moeten worden.



De invloed van conditionering met kalk op de specifieke filtratieweerstand

Bijlage 3

Gegevens van een aantal drinkwaterbedrijven over de
praktijk van de slibverwerking met een filterpers

a drinkw. bedr.	1	2	3	4	5
b soort slib	CSY	SSA	CSA	CSA	SSA
c slibprod. (m ³ /d)	136	60	13	228	636
d d.s.g.-slib (gew %)	1,0	4,0	4,0	3,5	0,3
e pH (voor condition.)	6,5	6,1	6,1	6,5-7,5	6,0
f soort condition.	PE/Ca	PE	PE	PE	PE
g kg condition. m/kg d.s.	0,001/?	0,0015	0,0015	0,01	0,027
h soort filterpers	VP	VP	VP	VP	K
i aantal kamers (per pers.)	80	80	80	40	66
j afmeting kamer (m ² xm)	1,2 ² x0,032	1,2 ² x0,032	1,2 ² x0,032	1,3 ² x0,025	1,2 ² x0,03
k soort filterdoek	PVC	N/PE	N/PE		PA
l persdruk (kN/m ²)	690	690	690	517	621
m perstijd (uur)	9-12	23	23	8	8
n persuren/dag	24	23	23	8	8
o persdagen/week	7	5	3	4	6
p d.s.g.-koek (gew %)	28,0	24,0	24,0	28,0	35,0
q bestemming filtraat	DWZ	OW	OW	DWZ	OW

a drinkw. bedr.	6	7	8	9	10
b soort slib	KS,CSY,SSY	CSY	CSY	CSY,SSY	CSA,SSA
c slibprod. (m ³ /d)	35	40	115	450	902
d d.s.g.-slib (gew %)	10,0	1,0	1,5	1,3	1,0
e pH (voor condition.)	7,2	4,5	5,0	4,5-5,2	
f soort condition.	geen	PE/Ca	PE/Ca	PE/Ca	PE/Ca x
g kg condition. m/kg d.s.	-	?/0,20	0,0006/0,16	0,005/0,025	0,0035/0,23
h soort filterpers	K	VP	VP(2)	VP(2)	K
i aantal kamers (per pers.)	60	47	60	54	60
j afmeting kamer (m ² xm)	1,2 ² x0,018	1,3 ² x0,032	1,2 ² x0,025	1,3 ² x0,032	0,8 ² x0,045
k soort filterdoek	PA	PE	PE	PA	
l persdruk (kN/m ²)		620	620	550	1000
m perstijd (uur)	1,5-4,5	1,75	5,0	1,5	1-3,5
n persuren/dag	6	8	8	9	8
o persdagen/week	5	5,5	5,5	5	5
p d.s.g.-koek (gew %)	55,0	20,0-29,0	26,0	20,0-25,0	30,0-40,0
q bestemming filtraat	OW	DWZ	DWZ	DWZ	DWZ

De drinkwaterbedrijven waarvan gegevens in de tabel
zijn verwerkt zijn (rubriek a in de tabel):

1:	North West Water Authority (Engl.)	: Arnfield Water- works
2:	" " " " "	: Stocks Water- works
3:	" " " " "	: Fishmoor Waterworks
4:	Southern Water Authority (Engl.)	: Weir Wood Waterworks
5:	Severn Trent Water Supply Authority (Engl.)	: Tittesworth Waterworks
6:	" " "	: Ogston Waterworks
7:	Northumbrian Water Authority (Engl.)	: Honey Hill Waterworks
8:	" " "	: Tynemouth Waterworks
9:	" " "	: Larttington Waterworks
10:	Antwerpse Waterwerken (België)	: zuiveringssta- tion Oelegem

Deze bedrijven zuiveren uitsluitend oppervlaktewater.
De filterkoek wordt gecontroleerd gestort.

Verklaring der symbolen en specificatie

- b. CSY = coagulatieslib (ijzer als coagulatiemiddel)
SSY = spoelwater snelfilters (ijzerhoudend)
KS = kalk-soda onthardingsslib
CSA = coagulatieslib (aluminium als coagulatiemiddel)
SSA = spoelwater snelfilters (aluminiumhoudend)
- d. d.s.g. = droge stofgehalte
- f. PE = polyelectrolyt: bedrijven 1,2,3,4,6,7,8,9
magnafloc LT 25, bedrijf 5
decapol A 33 P, bedrijf 10
perfectamyl
Ca = kalk
- h. VP = vlakke plaat filterpers
K = kamerfilterpers
- k. PVC = polyvinylchloride
N = natuurlijk materiaal
PE = polyester
PA = polyamide
- q. DWZ = terugvoeren in het proces van de drinkwaterzuivering
OW = lozen op oppervlaktewater

x Het zuiveringsbedrijf te Oelegem conditioneert het slib met polyelectrolyt resp. kalk tijdens twee aparte indikfasen.

Bijlage 4

Specificatie van de kosten van de slibverwerking met een filterpers voor twee drinkwaterbedrijven

	Sturgeon Point Water Treatment Plant (USA, 1975)	Antwerpse Waterwerken (Oelegem, 1976)
soort slib	coag.slib+ spoelw. snel- filter (4:1)	spoelw.trommelzeven, spoelw.snelf. en langz. zandf., coagul.slib
hoeveelheid slib (m ³ /d)	183	902
droge stofgehalte (gew %)	2,3	1,0
drinkw. produktie (10 ⁶ m ³ /j)	67,5	37,5
indikking	ja (1 fase)	ja (2 fasen)
conditionering	kalk en vliegas	polyelectrolyt en kalk ("tijdens" indikking)
aantal kamers filterpers	79	60
kamerbreedte (m)	0,038	0,045
koekafvoer	lopende band	idem
jaarlijkse kosten		
afschrijving, rente	f 851.100,-- (machines)	f 350.978,-- (gebouwen en machines)
onderhoud en bediening (materiaal en lonen)	f 79.500,--	f 151.322,-- (incl. gebouwen)
energie	f 17.400,--	f 18.144,--
conditionering	f 27.600,--	f 56.881,--
transport filterkoek	f 140.400,-- (incl. stort- kosten)	f 10.264,--
algemene kosten	-	f 7.986,--
totale jaarlijkse kosten	f 1.116.000,--	f 595.575,--
kosten per m ³ drinkwater (cent)	1,7	1,6

Bij de cijfers moet het volgende worden opgemerkt:

- . Bij het Amerikaanse bedrijf is een gebouw niet in de kosten meegerekend omdat ruimte voldoende aanwezig was om de slibverwerkingsinstallatie in onder te brengen. Een nieuw gebouw was dus niet nodig.
- . Bij de Antwerpse Waterwerken is koekopslag op eigen terreinen mogelijk in de onmiddellijke omgeving van het zuiveringsbedrijf. Dit in tegenstelling tot het Amerikaanse bedrijf.

LITERATUURLIJST

In het rapport zijn geciteerd:

1. Dekker, R.H.
Inventarisatie van verwerkingstechnieken van coagulatieslib vrijkomend bij de bereiding van drinkwater
Rijswijk, het KIWA, 1977. Mededeling nr. 52
2. Tiller, F.M.
Theory and practice of solid-liquid separation, 2nd ed,
Houston, Univ. of Houston, Chem.Eng.Dep. 1975
3. de Leeuw den Bouter, J.A.; de Nie, L.H.
Fysisch-Technische Scheidingsmethoden
Delft, Delftsche Uitgevers Mij. N.V., 1967
4. van Breemen, A.N.; Dekker, R.H.
Karakterisering van een aantal slibsoorten van
Nederlandse drinkwaterbedrijven
Delft, Lab. voor Gezondheidstechniek, TH, 1976,
niet gepubliceerd
5. Novak, J.T.; Montgomery, G.E.
Chemical sludge dewatering on sand beds
Journ.Envir.Eng.Div. (ASCE), 101 (1975) 2, p. 1-15
6. Coakley, P.; Jones, B.R.S.
Vacuum sludge filtration: interpretation of results
by the concept of specific resistance
Sew. and Ind. Wastes, 28 (1956) 11, p. 963-975
7. Baskerville, R.C.; Gale, R.S.
A simple automatic instrument for determining the
filtrability of sewage sludges
Wat. Poll. Control, 67, (1968), p. 233

8. Purchas, D.B.
Solid/Liquid separation Equipment Scale-up
Croydon, (England), Uplands Press Ltd., 1977
9. Documentatie Gemeente Waterleidingen Amsterdam,
1974
10. Capey, M.; Hooton, J.A.; Thomas, C.M.; Vossler, J.L.
Plant testing for the assessment of filterpresses
Filtr. and Sep., 7, (1970), p. 331-343
11. Heide, J. van der
Enkele aspecten van de verwerking van ijzer- en
aluminiumhydroxideslib m.b.v. een filterpers
verslag afstudeerwerk,
Delft, Afdeling der Civiele Techniek TH, 1975
12. Janssens, J.
Analyse van de slibbehandeling
Documentatie Antwerpse Waterwerken, Oelegem,
maart 1977
13. Westerhoff, G.P.; Daly, M.P.
Waterplants waste disposal (parts II, III)
Journ. Am. Wat. Works Ass., 66 (1974) 6,7,
p. 379-384, p. 441-444
14. Burley, M.J.; Chappell, T.J.W.
A review of sludge treatment and disposal practice
in the water industry
Water Research Ass., TP 81, july 1971

Overige literatuur:

15. Carman, P.C.
Fundamental principles of industrial filtration
Trans. Instn. Chem. Engineers (London), 16 (1938),
p. 168-188
16. Jones, B.R.S.
Vacuum sludge filtration: interpretation of filter
performance
Sew. and Ind. Wastes, 28 (1956) 11, p. 1103-1115
17. Swanwick, J.D.; Davidson, M.F.
Determination of specific resistance to filtration
Wat. Waste Treatm. Journ., 8 (1961) p. 386
18. Daniells, K.J.
Guide to the selection of batch pressure filters
for solid-liquid separation in the process-industries
Filtr. and Sep., 1 (1964) p. 196-204
19. Webster, J.A.
Operational and experimental experience at Dear Water
Treatment Works
Journ. Inst. Wat. Engrs., 20 (1966) p. 167
20. Gale, R.S.; Baskerville, R.C.; Swanwick, J.D.
Investigation of pressure filtration of raw sludges
Wat. Poll. Control, 66 (1967) p. 553
21. Gale, R.S.; Baskerville, R.C.; Swanwick, J.D.
Capillary Suction Method for determination of the
filtration properties of a solid-liquid suspension
Chem. and Ind. (1967) p. 355

22. Peters, H.
Ontwatering van slib met vacuum filters
2e Vakantiecursus in behandeling van afvalwater,
Delft, Afdeling Weg- en Waterbouwkunde TH, (1967) p. 50-62
23. Sankey, K.A.
The problem of sludge disposal at the Arnfield
treatment plant
Journ. Inst. of Wat. Engrs., 21 (1967) p. 367-384
24. Gale, R.S.
Filtration theory with special reference to sewage
sludges
Wat. Poll. Control, 66 (1967) p. 622
25. Hooton, J.A.; Thomas, C.M.
Cost and performance of filtration and separation
equipment: Filterpresses including the Overpressure
Rotary Drum Filter
Filtr. and Sep., 5 (1968) p. 238
26. Young, E.F.
Water treatment plant sludge disposal practices in
the United Kingdom
Journ. Am. Wat. Works. Ass. 60 (1968) 6, p. 717-733
27. AWWA Research Foundation Report
Disposal of wastes from water treatment plants -
parts I, II, III
Journ. Am. Wat. Works Ass., 61 (1969) 10, 11, 12
p. 541-567, p. 619-639, p. 681-709
28. Ken-ichoro Kurita
Filtration behaviour of filterpresses under constant
pressure
Filtr. and Sep., 6 (1969) p. 31-39

29. Krasauskas, J.W.
Review of sludge disposal practices
Journ. Am. Wat. Works Ass., 61 (1969) p. 215
30. Water Pollution Control Federation
Sludge dewatering Washington, 1969
Manual of Practice no. 20
31. Dlouhy; Philips, E.
Pretreatment and filtration of sludge
Poll. Engrs., 2 (1970) 4, p. 31-33
32. Graefen, H.; Dönges, H.J.
Studies on parameters affecting sludge dewatering
in pressure filters
Adv. in Wat. Poll. Research, part 1, 1970, p. 1130
33. Strathmann, H.
Stofftrennung durch Druckfiltration mit semipermeablen
Membranen
Chem. Ing. Techn., 11 (1970) p. 1095-1102
34. Baskerville, R.C.; Komorek, J.A.; Gale, R.S.
Effect of operating variables on filterpress
performance
Wat. Poll. Control, 70 (1971) p. 400-408
35. Dönges, H.J.
Verfahrenstechnik Leistung, Störungen und Kosten
der Schlammbehandlung auf der Emscher Flusskläranlage
Gewässerschutz, Wasser, Abwasser (1971) p. 435-445
36. Gale, R.S.
Recent research on sludge dewatering
Fourth Public Health Engineering Conference,
Loughborough, (1971) p. 33-61

37. Hilson, M.A.
Sludge conditioning by polyelectrolytes
Journ. Inst. Wat. Engrs., 25 (1971) 8, p. 402-416
38. Menschel, J.
Der Begriff "spezifischen Filterwiderstand", seine
Masseinheit und Berechnung
Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 21 (1971) p. 412-413
39. Thomas, C.M.
The use of filterpresses for the dewatering of sludges
Journ. Wat. Poll. Control Fed., 43 (1971) 1, p. 93-102
40. Committee Report
Disposal of waterplants wastes
Journ. Am. Waterworks Ass., 64 (1972) p. 814-820
41. Ridgeway, K.; Dhami, T.S.
Cake thickness and deposition rate variation in a
plate and frame filterpress
Journ. Pharm. Pharmacol., 24 (1972) 10,
42. Widmer, F.
Möglichkeiten der Feststoffabtrennung aus Flüssig-
keiten
Chem. Rundschau (1972) p. 1625-1629
43. Calkins, R.J.; Novak, J.T.
Characterisation of chemical sludges
Journ. Am. Waterworks Ass., 65 (1973) p. 423-428
44. Calvest, J.T.
Sludge dewatering
Wat. Poll. Control (1973) p. 187-189

45. Glenn, R.W.; Judkins, J.F.; Morgan, J.M.
Filtrability of water treatment plant sludge
Journ. Am. Waterworks Ass., 65 (1973) 6, p. 414-417
46. Joo
Simulation der Filtration Kompressibler Kuchen
Chem. Techn. (Leipzig), 25 (1973) p. 726-729
47. Nielsen, H.L.; Carns, K.E.; De Boice, J.N.
Alum sludge thickening and disposal
Journ. Am. Waterworks Ass., 65 (1973) p. 385-395
48. Rushton, A.; Metcalfe, M.
Theoretical and practical studies on plate and
frame filterpresses
Filtr. and Sep., 10 (1973) p. 398-402
49. Schovoyer, W.L.; Luttinger, L.B.
Dewatering of waterplant sludges
Journ. Am. Waterworks Ass., 65 (1973) 6, p. 399
50. Skrabák, M.
Mechanik des Vorganges beim Pressen nasser,
poröser und zusammendrückbarer Medien
Verfahrenstechnik, 7 (1973) 1, p. 14-22
51. Slater, G.; Mays, L.R.; e.a.
Disposal of waterworks sludge
Journ. Inst. Wat. Engrs., 27 (1973) p. 399-408
52. Cherry, G.B.
New developments in filter plates and filterpresses
Filtr. and Sep., 11 (1974) 2, p. 181-186
53. Perry, R.H.; Chilton, C.H.
Filtration
Chemical Engineers Handbook, 5th edition, chapter 19,
p. 57-69, New York, McCraw+Hill Book Company

54. Gruninger, R.M.; Westerhoff, G.P.
Filterplant sludge disposal
Envir. Sci. and Technol., 8 (1974) 2, p. 122-125
55. Boersma, S.
Slibontwatering m.b.v. een filterpers
Verslag afstudeerwerk
Delft, Afdeling der Civiele Techniek TH, 1975
56. Koot, A.C.J.
Behandeling van afvalwater
Delft, Waltman (1975) Hoofdstuk 13, p. 257-261
57. Wang, K.L.; Yang, Y.L.
Total waste recycle system for water purification
plant, using alum as primary coagulant
Resource Recovery and Conservation, 1 (1975) 1,
p. 67-84
58. Heide, B.A.; Kampf, R.; Bloot, F.
Slibverwerking bij de aerobe en verdergaande
zuivering van afvalwater in zeer laag belaste
actief-slibsystemen IG-TNO rapport (1977).
59. Environmental Protection Agency
Process design Manual for sludge treatment and
disposal. EPA 625/1-74-006 okt. 1974

BEGRIPPENLIJST

Slib: Het bij de drinkwaterbereiding ontstane residu, waarvan de kwaliteit en kwantiteit afhangt van zowel de toegepaste zuiveringstechnieken als van de in bewerking genomen grondstof.

Slibontwatering: Het in voldoende mate verwijderen van de vloeistoffase, zodat het slib dan beschouwd en gehanteerd kan worden als vaste stof.

Slibvolume: Het volume dat een bepaalde hoeveelheid slib inneemt op een bepaald tijdstip (m^3/kg).

Droge stofgehalte: De concentratie van de onopgeloste bestanddelen in het slib (kg/m^3).

Specifieke filtratieweerstand: De weerstand die de uit het slib gevormde slibkoek biedt tegen verdere passage van het nog in het slib aanwezige water (m/kg).

Samendrukbaarheid: Deze grootheid geeft het verband weer tussen de specifieke filtratieweerstand en de toegepaste druk.
De samendrukbaarheid varieert van 0 (niet samendrukbaar) tot 1 (volledig samendrukbaar) en is dimensieloos.

C.S.T.-getal: De tijd die de vloeistoffraktie in het slib nodig heeft om een bepaalde afstand op een filtreerpapiertje af te leggen (s).

Afzuigtijd: De tijd die nodig is om bij een constante onderdruk een bepaalde hoeveelheid vloeistof aan het slib te onttrekken (s).

Slibindikking: Scheiding van de vaste stof en de vloeistof in het slib door middel van bezinking of flotatie.

Conditioneren: Het doseren van chemicaliën aan het slib ofwel het verhitten of bevriezen van het slib, waardoor een verbetering optreedt in de ontwateringseigenschappen van ingedikt slib.

Filterpersen: De ontwatering van ingedikt slib door middel van filtreren onder druk over een filterdoek.

Persdruk: De toegepaste druk in een filterpers.

Vacuumfiltratie: De ontwatering van ingedikt slib door middel van filtreren onder vacuum over een filterdoek.

Zeefbandpers: Een installatie, waarbij de ontwatering van ingedikt slib geschiedt door middel van gelijktijdig persen door een persband en filtreren door een zeefband.

Vriesdooien: Een proces ter verbetering van de ontwateringseigenschappen van het slib door middel van bevriezen en ontdooien.

Droogbedden: Zandbedden al dan niet voorzien van een drainage systeem, waarop het ingedikte slib door middel van verdamping en filtratie wordt ontwaterd.

Slibvijver (lagoon): Natuurlijk of kunstmatig aangelegd bassin, hetgeen dient als tijdelijke opslagplaats of als permanente voorziening ten behoeve van de ontwatering van ingedikt slib. Indien niet ingedikt slib, bijvoorbeeld filterspoelwater, wordt ingevoerd, wordt veelal gesproken van een bezinkvijver.

Symbolenlijst

A	= filtratieoppervlak	(m ²)
B	= breedte van de ontwateringsruimte	(m)
C	= massa van de droge stof in de koek gedeeld door het filtraatvolume	(kg/m ³)
c _k	= gemiddelde droge stofgehalte in de koek (kg droge stof per kg koek)	(kg/kg)
c _s	= droge stofgehalte van het slib (kg droge stof per kg slib)	(kg/kg)
L	= koekdikte	(m)
M	= massa van de koek	(kg)
M _{dk}	= massa van de droge stof in de koek	(kg)
P	= persdruk	(Pa)
R _f	= weerstand van het filterdoek	(l/m)
r	= specifieke filtratieweerstand	(m/kg)
s	= samendrukbaarheid = compressibiliteit	
t	= tijd	(s)
V _f	= filtraatvolume	(m ³)
V _k	= volume van de ontwateringsruimte	(m ³)
V _s	= totaal toegevoerd hoeveelheid slib naar de ontwateringsruimte tijdens een cyclus	(m ³)
$\bar{\rho}_k$	= gemiddelde soortelijke massa van de koek	(kg/m ³)
ρ_s	= soortelijke massa van het slib	(kg/m ³)
ρ_w	= soortelijke massa van het water	(kg/m ³)
η	= dynamische viscositeit van het filtraat	(Ns/m ²)