

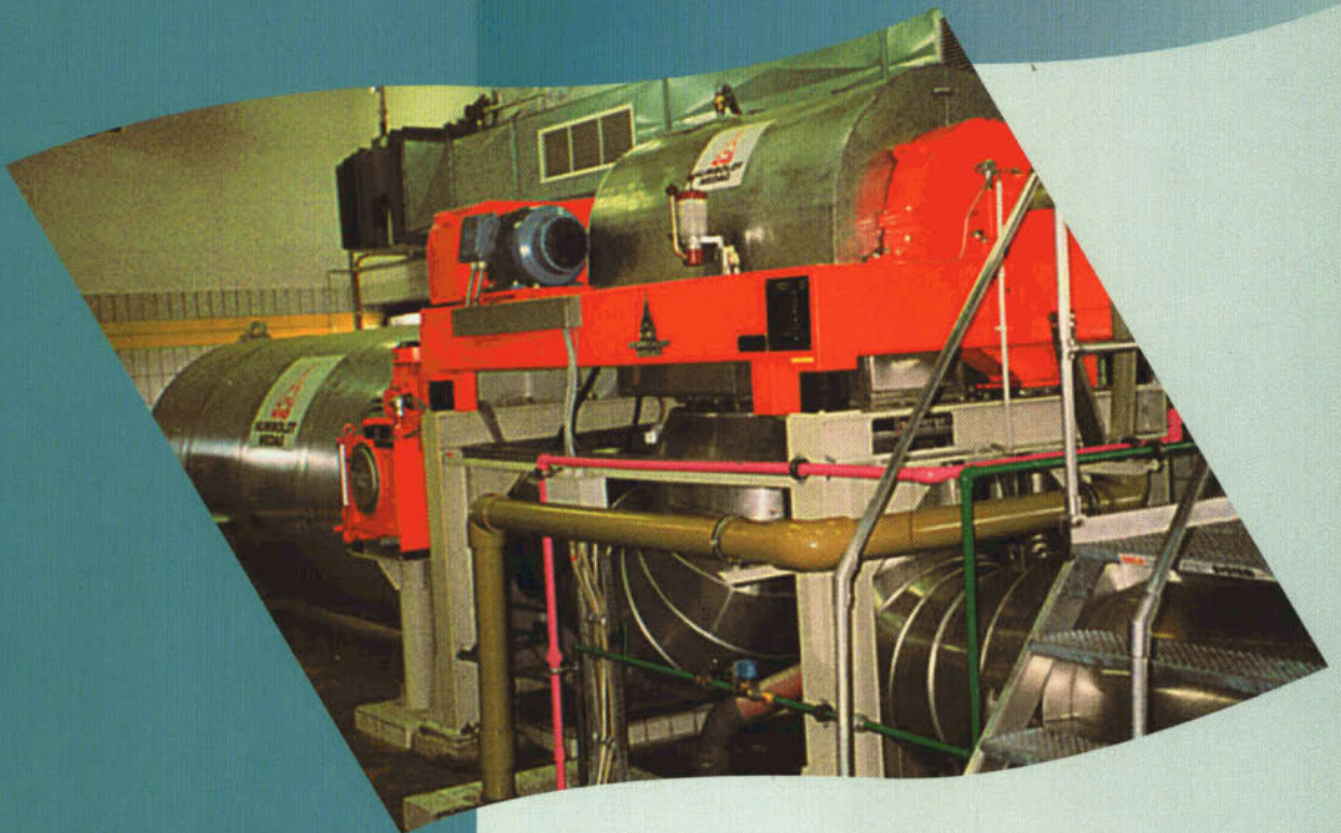
1997-13_meet-regelapparatuur-slibontwatering-
inventarisatie

stowa

ing Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering

Inventarisatie van apparatuur en mogelijkheden



97

13

Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering

Inventarisatie van apparatuur en mogelijkheden

97**13**

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

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.74476.78.3

Ten Geleide

De huidige generatie slibindikkings- en ontwateringsapparatuur maakt een vergaand geautomatiseerde en daarmee continue bedrijfsvoering mogelijk. Dit betekent in de praktijk echter geenszins dat van een technologisch of kostentechnisch optimale bedrijfsvoering kan worden gesproken. Het zo efficiënt mogelijk benutten van de kapitaalintensieve slibontwateringsinstallaties vereist de inzet van meet- en regelsystemen voor de conditionering en ontwatering van slib, die reageren op wijzigingen in slibaanbod, slibsamenstelling e.d.

De laatste jaren wordt meet- en regelapparatuur voor slibverwerkingsprocessen steeds vaker ingezet voor het automatiseren van slibindikkings- en ontwateringsapparatuur. Het aantal merken en typen apparatuur, alsmede het aantal meetprincipes waarop hun werking gebaseerd is, wordt steeds groter. De ervaringen met deze thans nog beperkt toegepaste apparatuur zijn sterk uiteenlopend en onderling moeilijk vergelijkbaar. Vergroting van de inzet van deze apparatuur in de praktijk van de Nederlandse rwzi vereist onderzoek naar zijn mogelijkheden en beperkingen.

In het thans voorliggende rapport wordt de nuttige toepasbaarheid van de op de markt aanwezige apparatuur voor uiteenlopende typen slibindikkings- en ontwateringsinstallaties in beeld gebracht. Daartoe zijn de applicatiemogelijkheden, de technische beperkingen en de sterke en zwakke punten zo goed mogelijk belicht.

De werkzaamheden werden door het bestuur van de STOWA opgedragen DHV Water B.V. te Amersfoort (projectteam bestaande uit ir. R.J. van der Kuij en ing. J.G.M.A. Bouwman). Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. A.W.A. de Man (voorzitter), ing. F.D. Beukema, ing. R. van Dalen, ing. H.A.P. Mollen, ir. J.R.A.G. Schepman en ir. P.C. Stamperius.

Utrecht, april 1997

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

INHOUD**BLAD**

	Ten Geleide	i
1	INLEIDING	1
2	ACHTERGRONDEN	3
	2.1 Algemeen	3
	2.2 Optimalisatie van het proces	3
	2.3 Afbakening	6
	2.4 De toepassing van een meetsignaal	8
	2.5 De indik- en ontwateringsapparatuur en de toepasbare metingen	8
	2.5.1 <i>De indik- of ontwateringscentrifuge</i>	8
	2.5.2 <i>Het bandfilter of de zeebandpers</i>	8
	2.5.3 <i>De membraan- of kamerfilterpers</i>	8
	2.5.4 <i>De zeeftrommel</i>	9
	2.6 De processtromen en de toepasbare metingen	9
	2.6.1 <i>Het ingaande slib</i>	9
	2.6.2 <i>Vlokhulpmiddel</i>	10
	2.6.3 <i>Geconditioneerd slib</i>	11
	2.6.4 <i>Het filtraat of centraat</i>	12
	2.6.5 <i>Ingedikt en ontwaterd slib</i>	13
3	RESULTATEN	14
	3.1 Algemeen	14
	3.2 Troebelheid en drogestofmeting met behulp van infrarood licht	17
	3.3 Drogestofmeting met microgolven	21
	3.4 Drogestofmeting op basis van meting van de afschuifkracht	22
	3.5 Dichtheidsmeting met geluidsgolven	24
	3.6 Dichtheidsmeting met gammastraling	26
	3.7 Dichtheidsmeting door meting van de vibratiefrequentie	27
	3.8 Meting van de vlokstructuur en vloggrootte met een fotocel	29
	3.9 Infraroodreflecties als maat voor de indikking	30
	3.10 Meting van de reologische eigenschappen.	31
	3.11 Meting van de Zeta-potentiaal	32
4	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	35
5	REFERENTIES	40

Bijlage 1 Overzicht van de leveranciers die aan het onderzoek deelnamen

1 INLEIDING

De huidige generatie slibindikkings- en -ontwateringsapparatuur maakt een vergaand geautomatiseerde en daarmee continue bedrijfsvoering mogelijk. Dit betekent in de praktijk echter geenszins dat van een technologisch of kostentechnisch optimale bedrijfsvoering kan worden gesproken. Een indik- of ontwateringsproces is optimaal bij:

- een goede capaciteitsbenutting;
- een ongestoorde automatische bedrijfsvoering;
- een laag vlokhelpmiddelverbruik;
- een hoog drogestofafscheidingsrendement;
- een voldoende hoog, respectievelijk een zo hoog mogelijk drogestofgehalte van het ingedikte en het ontwaterde slib.

Vaak moet door de bedrijfsvoering voor een "veilige" machine-instelling worden gekozen, teneinde storingen, m.n. als gevolg van schommelingen in het drogestofgehalte of wijzigingen in de kwaliteit van het in te dikken of te ontwateren slib, te voorkomen. Dit resulteert meestal in een overdosering aan vlokhelpmiddelen, terwijl het drogestofgehalte van het ontwaterde slib niet maximaal is.

In een aantal gevallen wordt geïnvesteerd in grote buffertanks om schommelingen in de kwaliteit van het slib uit te vlakken. Bij sommige onderzoeken is echter aangetoond dat door de langdurige opslag van slib de ontwateringseigenschappen achteruit kunnen gaan.

De kosten voor het vlokhelpmiddelverbruik vormen soms meer dan 20% van de totale exploitatiekosten van een slibverwerkingsinstallatie. Verder worden de transport- en eindverwerkingskosten van ingedikte of ontwaterd slib sterk beïnvloed door het drogestofgehalte van het slib. Bij het minimaliseren van deze kosten kan uitbreiding of verbetering van de automatisering van de bedrijfsvoering van slibverwerkingsapparatuur, een belangrijk hulpmiddel zijn. Dit kan bijvoorbeeld door de toepassing van apparatuur die aan de ingaande slibstroom en/of het centraat/filtraat metingen verricht, waarbij vervolgens automatisch kan worden ingegrepen in de vlokhelpmiddeldosering en/of de instelling van de indikkings- en ontwateringsmachine.

Recent heeft een sterke ontwikkeling plaatsgevonden op het gebied van het mechanisch indikken en ontwateren van slib. Een economisch optimaal gebruik van indik- en ontwateringsmachines wordt door lange bedrijfstijden nagestreefd, terwijl personele inzet bij het verwerkingsproces, waar mogelijk, vergaand wordt beperkt. Nauwkeurige en betrouwbare meting, alsmede automatische regeling van de relevante procesparameters voor het conditioneren en het ontwateren van het slib zijn daarvoor noodzakelijk.

De laatste jaren wordt meet- en regelapparatuur voor slibverwerkingsprocessen steeds vaker ingezet ten behoeve van het automatiseren van slibindikkings- en ontwateringsapparatuur. Het aantal merken en typen apparatuur, alsmede het aantal meetprincipes waarop de werking van de apparatuur is gebaseerd, wordt steeds groter. De ervaringen met de thans nog beperkt toegepaste apparatuur zijn sterk uiteenlopend en onderling niet of nauwelijks vergelijkbaar. Een en ander is afhankelijk van het type ontwaterings- of indikkingsmachine, het soort slib, de aanwezigheid van slibbuffertanks, de technische beperkingen van de apparatuur en de eisen die er door de bedrijfsvoerders aan worden gesteld. Dikwijls ontbreekt het aan objectieve, kwantificeerbare gegevens waarmee het al of niet goed functioneren van een willekeurig apparaat kan worden beoordeeld.

Het doel van het uitgevoerde onderzoek is de nuttige toepasbaarheid van de apparatuur voor uiteenlopende typen slibindikkings- en -ontwateringsinstallaties in beeld te brengen en zo mogelijk te vergroten. Daartoe zijn de applicatiemogelijkheden en de technische beperkingen

van de beschikbare apparatuur zo goed mogelijk in kaart gebracht. Sterke en zwakke punten van de apparatuur zijn, voor zover mogelijk, gekwantificeerd.

Het onderzoek omvat een literatuurrecherche en een schriftelijke enquête gehouden bij leveranciers van meet- en regelapparatuur in Nederland, België, Duitsland en Engeland. Tevens zijn telefonisch praktijkervaringen met dergelijke apparatuur geïnventariseerd. Hoewel getracht is het overzicht aan bestaande apparatuur zo volledig mogelijk te maken, is de inventarisatie zeker niet uitputtend.

De resultaten van het onderzoek zijn samengevat in de voorliggende rapportage. Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 is ingegaan op de wijze waarop een mechanisch indik- of ontwateringsproces kan worden geoptimaliseerd en de rol die meet- en regelapparatuur hierbij kan spelen. Tevens vindt in dit hoofdstuk een afbakening van de studie plaats. Verder is in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van de plaatsen waar in een slibverwerkingsproces bepaalde metingen kunnen worden verricht.

In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van het onderzoek samengevat. In iedere paragraaf wordt een bepaalde meettechniek behandeld, waarbij is ingegaan op het werkingsprincipe, de randvoorwaarden voor een goede werking, de kostprijs, de nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en de gevoeligheid van de meetsignalen en de relevante literatuur- en praktijkreferenties. Een samenvattend overzicht van de resultaten en de conclusies zijn verwoord in hoofdstuk 4. In dit hoofdstuk zijn tevens enige aanbevelingen gedaan voor een vervolgonderzoek in de praktijk. In hoofdstuk 5 is een overzicht van de referenties gegeven.

2 ACHTERGRONDEN

2.1 Algemeen

Er is een grote keuze aan merken en typen meet- en regelapparatuur die mogelijkwerwijs nuttig kan worden ingezet bij het mechanisch indikken en ontwateren van slib. De investering voor deze apparatuur is meestal aanzienlijk. Het (economisch) nut ervan zal dan ook pas tot uiting komen, indien aan een aantal randvoorwaarden is voldaan.

Het is onjuist om te veronderstellen dat een technische, technologische of economische optimalisatie van het indik- of ontwateringsproces kan plaatsvinden uitsluitend door of vanwege de toepassing van geschikte meet- en regelapparatuur. Het is en blijft noodzakelijk om empirisch en met behulp van separate laboratoriumanalyses, de optimale procesomstandigheden (vooraf) vast te stellen. De meet- en regelapparatuur dient vooralsnog uitsluitend te worden gezien als een hulpmiddel voor het zo veel mogelijk in stand houden van de door de bedieningsman gekozen "optimale" procesinstellingen.

2.2 Optimalisatie van het proces

Ten behoeve van het continu en het tegen zo laag mogelijke kosten bedrijven van indik- of ontwateringsmachines dient eerst een optimalisatie plaats te vinden. De optimalisatie van het indik- of het ontwateringsproces kan worden opgedeeld in drie stappen:

- Stap 1. de keuze, aanschaf en installatie van de indik- en/of ontwateringsmachine(s) en de randapparatuur;
- Stap 2. het aanpassen van de machine(s) of onderdelen hiervan aan de specifieke slibeigenschappen, bedrijfsomstandigheden en wensen met betrekking tot het te behalen resultaat, alsmede de keuze voor het type vlok hulpmiddel en de wijze van conditionering van het slib;
- Stap 3. het voor korte of langere tijd in (bedrijf) stellen van de machine(s), waarbij het proces aan het begin van de bedrijfsacyclus wordt geoptimaliseerd door het aanpassen van machine-instellingen aan de momentane omstandigheden.

Op de verschillende stappen zal hierna worden ingegaan.

Stap 1. Keuze van machine en randapparatuur

Bij de keuze voor een bepaalde indik- of ontwateringsmachine kunnen vele criteria een belangrijke, al of niet doorslaggevende rol spelen. De grootte en capaciteit van een apparaat dienen optimaal te zijn afgestemd op de te verwerken slibhoeveelheden en de gekozen bedrijfstijd. Verder zullen naast de gewenste eigenschappen van het eindprodukt (drogestofgehalte, consistentie enz.) ook criteria gelden zoals de resultaten van een voorafgaand (vergelijkend) praktijkonderzoek, de benodigde capaciteit, de investering, de verwachte operationele kosten en de door de leverancier verstrekte technische en procesgaranties.

Kenmerkend voor stap 1 is dat bij de keuze van de machine een groot aantal, machine-eigen procesvariabelen en randvoorwaarden definitief wordt vastgelegd. Met name de wijze van bedrijfsvoering of het te behalen eindresultaat ligt vast met het type machine. Indien bijvoorbeeld voor een filterpers wordt gekozen, dan ligt hiermee direct de keuze voor een niet-continue c.q. batchgewijze procesvoering vast. Als is gekozen voor een type decanteercentrifuge dat op 80% van zijn maximale hydraulische capaciteit zal worden belast, zal zonder meer genoeg moeten worden genomen met een resultaat dat in termen van vlok hulpmiddelverbruik en

ontwateringsgraad lager zal zijn dan bij een gelijkwaardige (grotere) machine die op 60% wordt belast.

Door de machine-eigen procesvariabelen en randvoorwaarden wordt de toepasbaarheid van bepaalde meet- en regelapparatuur onmogelijk. Een duidelijk voorbeeld van een machinespecifieke meting is een vochtgehaltemeter met infraroodlicht zoals deze wordt toegepast op de indikzone van een zeefbandpers. Toepassing van dit apparaat bij een centrifuge of filterpers heeft uiteraard geen zin. Verder zal bijvoorbeeld bij decanteercentrifuges, waarbij de conditionering van slib vaak in de machine zelf plaatsvindt, de toepassing van een vlok groottemeter geen zin hebben.

Stap 2. Optimalisatie van machine(-onderdelen), vlok hulpmiddelen en conditionering
Voordat een indik- of ontwateringsmachine (continu) in gebruik kan worden gesteld dient een aantal procesvariabelen te worden geoptimaliseerd. Meestal wordt de machine daarbij handmatig bediend, waarbij via trial en error en/of via een gericht meet- en analyseprogramma een bepaalde "optimale" machine-instelling of configuratie wordt bereikt.

Kenmerkend is dat het vinden van een optimale instelling van de procesvariabelen (in stap 2) geruime tijd in beslag kan nemen en regelmatig dient te worden herhaald. Dit laatste bij duidelijke wijzigingen van de kwaliteit of kwantiteit van het in te dikken of te ontwateren slib, bijvoorbeeld als gevolg van proceswijzigingen in de rwzi (influent samenstelling, seizoensinvloed, verwerking van extern slib en dergelijke).

Aspecten die in stap 2 geoptimaliseerd moeten/kunnen worden, zijn:

- machine-instellingen zoals:
 - . het toerental, de vijverdiepte¹⁾ en het schroeftype van een centrifuge;
 - . de banddruk bij een zeefbandpers;
 - . het zeefbandtype en het aantal te gebruiken slib-omwoel-eenheden bij een bandfilter of zeefbandpers;
 - . het zeefdoektype van een zeeftrommel;
 - . het filterdoektype bij een filterpers;
- de keuze van het soort en type vlok hulpmiddel:
Deze keuze is zowel afhankelijk van het slibtype als van het type indik- of ontwateringsmachine (zie 2.5.2). Een filtratie-expressiecel [22,23] kan hierbij een nuttig hulpmiddel zijn;
- wijze van aanmaken van het poly-elektrolytisch vlok hulpmiddel (PE):
Het PE dient voor een optimale werking op de juiste wijze aangemaakt en verdund te worden. De kwaliteit van het gebruikte aanmaak- en/of verdunningswater, de rijpings-tijd en de mengenergie spelen hierbij een belangrijke rol. Overigens wordt de wijze van aanmaken van PE al in stap 1 grotendeels vastgelegd. De keuze voor het type poly-elektrolytaanmaak en doseerinstallatie (PADI) bepaalt en beperkt de aanmaakmogelijkheden en daarmee de kwaliteit van het aangemaakte PE;
- wijze van aanmaken van kalkmelk:
Er dient sprake te zijn van een homogene, klontvrije kalkdispersie met een constante concentratie;
- wijze en plaats van menging van vlok hulpmiddel en slib:
Het vlok hulpmiddel of de combinatie van vlok hulpmiddelen kan in lijn vóór de slibpomp, na de slibpomp, in de machine of op een combinatie van deze plaatsen worden

¹⁾De vijverdiepte (Engels: pond depth), uitgedrukt in mm, geeft de hoogte aan van het vloeistofniveau in de centrifuge.

gemengd met het te behandelen slib. Ook kan vlokhelpmiddel worden gedoseerd in een mengvoorziening welke vóór de indikkings- of ontwateringsmachine wordt geïnstalleerd.

Stap 3. In bedrijf stellen en optimaliseren

Tijdens stap 3 worden diverse procesparameters ingesteld om voor de dan geldende omstandigheden een optimaal resultaat te geven. Het indik- of ontwateringsresultaat wordt daarbij meestal visueel beoordeeld. Deze procesparameters zijn:

- het toegevoerde-slibdebiet;
- het toegevoerde-vlokhelpmiddeldebiet;
- de mengtijd tussen slib en vlokhelpmiddel;
- de mengenergie bij het mengen van slib en vlokhelpmiddel;
- het toerentalverschil van een indik- of ontwateringscentrifuge;
- de hoeveelheid gerecirculeerd filtraat of bandspoelwater bij een bandfilter of zeefbandpers;
- de bandsnelheid van een bandfilter of een zeefbandpers;
- de rotatiesnelheid en/of hellingshoek bij een zeeftrommel;
- de vul- en perstijd respectievelijk vul- en persdruk van een filterpers.

Overigens is apparatuur zoals de filtratie-expressiecel [22,23] een nuttig hulpmiddel bij het vaststellen van een aantal van deze procesparameters.

Nadat de machine is ingesteld zou in principe een optimale procesvoering gecontinueerd moeten worden. Dit is normaal gesproken echter geenszins het geval. Zowel het slib als het vlokhelpmiddel kunnen in kwaliteit of concentratie (tijdelijk) wijzigen. Tevens kunnen wijzigingen plaatsvinden in de procesomstandigheden in of op de machine.

In het ergste geval kan dit leiden tot het uitvallen van de indik- of ontwateringsinstallatie waardoor opnieuw moet worden opgestart en geoptimaliseerd.

In de praktijk zal de bedieningsman dan ook geneigd zijn om naar een machine-instelling te zoeken waarbij geen verdere continue (visuele) controle benodigd is. Dit kan betekenen dat een van de volgende bedrijfssituaties optreedt:

- De installatie wordt niet volledig of optimaal belast;
- De vlokhelpmiddeldosering wordt aan de veilige kant ingesteld zodat in feite een overdosering plaatsvindt;
- Er wordt geen optimaal en maximaal drogestofgehalte van het ingedikte respectievelijk ontwaterde slib bereikt;
- Het drogestofafscheidingsrendement is niet optimaal.

Al met al kunnen de operationele kosten hierdoor onnodig hoog worden.

Uit het voorgaande mag worden geconcludeerd dat zowel tijdens als na het afronden van de optimalisatie in stap 3 de toepassing van meet- en regelapparatuur nuttig kan zijn. Door bijvoorbeeld bij het opstarten van een machine gebruik te maken van historische "optimale" gegevens en deze te vergelijken met de huidige procesparameters kan mogelijk automatisch opnieuw een optimale machine-instelling worden bereikt.

Onafhankelijk van dit opstartproces kan door het (voor)tijdig constateren van wijzigingen in bepaalde procesomstandigheden de instelling van een indik- of ontwateringsmachine (tijdelijk) automatisch worden aangepast of bijgesteld. Zowel de continuïteit van het proces als een optimaal indik- of ontwateringsresultaat kan hierdoor blijven gewaarborgd.

2.3 Afbakening

Teneinde de onderzoeksresultaten van deze studie overzichtelijk te houden, is gekozen voor een afbakening van de toepassingen en het toepasbaarheidsgebied. De afbakening betreft:

- het proces;
- de indik- en ontwateringsapparatuur;
- de meetplaatsen;
- de metingen.

Het proces

In afbeelding 1 is een principeschema gegeven van het mechanische indik- en ontwateringsproces. Er is in deze studie vanuit gegaan dat alle ondersteunende processen buiten dit proces om, handmatig of automatisch zijn of kunnen worden geregeld of geoptimaliseerd. Zo is in deze studie bijvoorbeeld de bedrijfsvoering van een gravitatie-indikker (vul en leeg-proces) of het aanmaken en rijpen van PE niet nader beschouwd. Ook is geen onderzoek gedaan naar meet- en regelapparatuur die bij deze ondersteunende processen kan worden toegepast.

De indik- en ontwateringsapparatuur

Uitsluitend meet- en regelapparatuur die kan worden toegepast bij de volgende mechanische indik- en ontwateringsapparatuur is bij de studie betrokken:

- zeef- en indiktrommels;
- bandfilters en indiktafels;
- indikcentrifuges;
- membraan- en kamerfilterpersen;
- ontwateringscentrifuges;
- zeefbandpersen;
- de combinatie van bandfilters met ontwateringscentrifuges;
- de combinatie van bandfilters met zeefbandpersen.

In paragraaf 2.5 is voor deze indik- en ontwateringsapparatuur een aantal machine-specifieke metingen genoemd. De apparatuur waarmee deze metingen worden uitgevoerd is merk- en typespecifiek en wordt standaard met de (in stap 1 geselecteerde) machines meegeleverd. Deze metingen zijn derhalve niet nader geïnventariseerd. Uitzondering vormt de (optionele) apparatuur voor de meting van vochtgehalte van slib op de (voor)indikkingszone van een bandfilter of zeefbandpers.

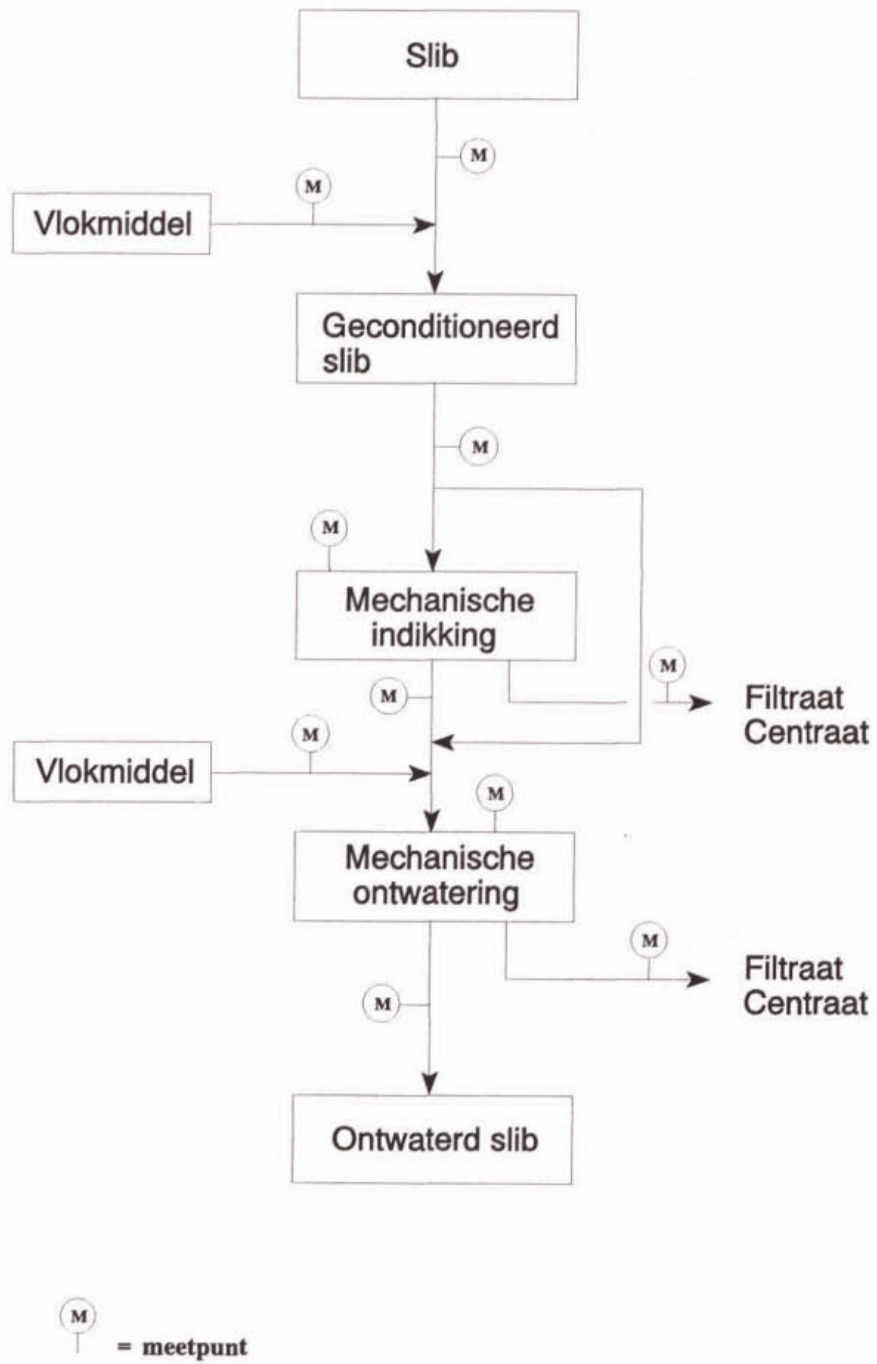
De meetplaatsen

De plaatsen waar en de processtromen waarin een meting kan plaatsvinden, zijn weergegeven in afbeelding 1. In paragraaf 2.6 wordt een verdere uiteenzetting gegeven van de meetplaatsen. Deze zijn:

- de ingaande slibstroom;
- het toegevoegde vlokhulpmiddel;
- het gedeeltelijk of volledig geconditioneerde slib;
- het ingedikte of ontwaterde slib;
- het filtraat of centraat.

De metingen

In de paragrafen 2.5 en 2.6 is een onderverdeling gemaakt in metingen die in-lijn kunnen worden toegepast en metingen die op een laboratorium in een steek- of verzamelmonster moeten worden uitgevoerd. De laatstgenoemde metingen zijn bij deze inventarisatiestudie buiten beschouwing gelaten. Verder is van een aantal in-lijn metingen bekend dat deze op een nauwkeurige en reproduceerbare wijze (kunnen) worden toegepast. Het betreft de metingen



Afbeelding 1, Meetpunten bij mechanische slibindikking en -ontwatering

van het debiet, de temperatuur, de zuurgraad en de geleidbaarheid. Ook deze metingen en de bijbehorende meetapparatuur zijn niet nader beschouwd.

2.4 De toepassing van een meetsignaal

De output van één of meer meetsignalen kan worden gebruikt als input voor het aanpassen van de ingestelde procesparameters. Daarnaast zal een meting kunnen worden benut voor signalering en/of alarmering voor een ondersteunend proces. Zo kan bijvoorbeeld door meting in de ingaande slibstroom vanuit de gravitatie-indikker worden geconstateerd dat grote schommelingen in het drogestofgehalte optreden. De bedrijfsvoerder kan dan via een signalering hiervan op de hoogte worden gebracht. Hij kan vervolgens het indikproces in de gravitatie-indikker separaat van het mechanische slibverwerkingsproces optimaliseren.

2.5 De indik- en ontwateringsapparatuur en de toepasbare metingen

2.5.1 De indik- of ontwateringscentrifuge

Bij een centrifuge zal de druk, die de schroef uitoefent op het slib in de conus, veranderen als de kwaliteit en de kwantiteit van het slib in de machine veranderen. De moderne centrifuges zijn voorzien van een automatische toerentalverschilregeling die er voor zorgt dat de schroefdruk op of rond een bepaalde waarde gehandhaafd kan blijven. Een probleem dat met een centrifuge kan ontstaan tijdens het proces is bijvoorbeeld het verstopt raken van de centraafvoeropeningen of -pijpen. Verder is het onregelmatig uitwerpen van drogestof uit de machine ("boeren") een bekend probleem.

De volgende metingen kunnen worden toegepast bij een centrifuge.

- het toerental;
- het verschiltoerental;
- de op de schroef uitgeoefende weerstand of druk;

2.5.2 Het bandfilter of de zeefbandpers

Bij een zeefbandpers of een bandfilter hangt de hoogte van de sliblaag op de band zowel samen met de drogestofbelasting als met de mate waarin (gravitatie-)indikking plaatsvindt. Een toe- of afname van de slibhoogte op de (voor)indikkingszone kan wijzen op een verandering in de toegevoerde slib- of vlokulpmiddelstroom of op een verstopping van de zeefband. Tevens is de hoeveelheid vocht die op de band c.q. het slib blijft staan een maat voor de indikking of ontwatering van het slib. Een en ander kan met optische apparatuur worden geregistreerd.

De volgende metingen kunnen worden toegepast bij een bandfilter of zeefbandpers.

- de slibhoogte op de (voor)indikkingszone;
- de vochthoeveelheid op de (voor)indikkingszone;
- de bandsnelheid;
- de banddruk.

2.5.3 De membraan- of kamerfilterpers

Bij een filterpers kan het verloop in de toename van de vuldruk c.q. persdruk als maatgevend worden beschouwd voor de werking van de filterpers. Verstopping van de filterdoeken of een ongelijkmatige opbouw van de slibkoek kan hiermee worden waargenomen. Er bestaat software waarin volgens vooraf vastgelegde curves het vulregime kan worden geregeld en

bijgestuurd. Hierbij wordt een verband gelegd tussen de afnamesnelheid van het toegevoerde slibdebiet, het drogestofgehalte van het slib + vlokhelpmiddel en de gemeten tegendruk. Deze meting wordt min of meer repressief toegepast. Bij een minder goede conditionering van het slib kan de pers al gevuld zijn met slecht filtreerbaar slib of kan het filterdoek al vergaand verstopt zijn vóórdat de meting dit registreert. In dat geval zal mogelijk de filterpers moeten worden gereinigd en opnieuw moeten worden opgestart.

Hoyland en Ovens [9] beschrijven een optimalisatiesysteem voor filterpersen met PE-dosering. Het betreft een systeem waarmee de slibinvoer (drukregeling), de slib/PE-menging (variabele mixer) en het drogestofgehalte van de koek (flowmeting in filtraat) kunnen worden geoptimaliseerd.

De volgende metingen kunnen worden toegepast bij een filterpers.

- de toename van de vul- en/of persdruk gerelateerd aan het toevoerdebiet c.q. de toegevoerde drogestofvracht;
- de persdruk tijdens het napersen;
- het filtraatdebiet.

2.5.4 *De zeeftrommel*

Voor zover bekend bestaat er geen specifieke, voor een zeeftrommel ontwikkelde meet- en regelapparatuur. Mogelijk kunnen ook optische meetinstrumenten zoals een vochtgehaltemeter (conform de apparatuur bij bandfilters en zeefbandpersen) worden toegepast.

De volgende metingen kunnen worden toegepast bij een zeeftrommel.

- het trommeltoerental;
- de trommelhoek;
- de slibhoogte;
- de slibvochtigheid.

2.6 **De processtromen en de toepasbare metingen**

2.6.1 *Het ingaande slib*

Het ingaande slib kan worden toegevoerd vanuit de aëratietank, de retourslibstroom, de gistingstank, de gravitatie-indikker of de slibmeng-/buffertank. De samenstelling en/of indik- of ontwateringseigenschappen van dit slib kunnen door verschillende oorzaken (al of niet geleidelijk) wijzigen. Een aantal oorzaken hiervoor is:

- wijzigingen in het influentdebiet door regenweeraanvoer of onregelmatige aanvoer;
- het ontstaan van waterlagen of lagen met dunner of dikker slib (stratificatie) in een (ongemengde) koude gistingstank, indikker of buffertank;
- het discontinu doseren van ijzer- of aluminiumzouten in de aëratietank voor chemische defosfatering;
- het batchgewijs doseren van ijzerchloride of drinkwaterslib in een gistingstank ten behoeve van sulfidebinding;
- onregelmatige of batchgewijze aanvoer van (extern) slib naar de gistingstank of slibmeng-/buffertank.

De volgende metingen kunnen worden toegepast in de ingaande slibstroom.

in-lijn metingen:

- het drogestofgehalte;
- de dichtheid²⁾;
- de troebelheid;
- de reologische eigenschappen (viscositeit, zie paragraaf 3.10);
- de Zeta-potentiaal (elektrische lading van (slib)deeltjes, zie paragraaf 3.11);
- het debiet;
- de temperatuur.

metingen in een monster:

- het asgehalte;
- de deeltjesgrootteverdeling;
- de MFT-waarde³⁾;
- de CST-waarde⁴⁾;
- de specifieke filtratieweerstand [22,23];
- het filtratie-expressie gedrag [22,23].

2.6.2 Vlokhulpmiddel

Bij centrifuges, bandfilters en zeefbandpersen wordt meestal vloeibaar of poedervormig PE ingezet. Dit PE wordt aangemaakt in een PADI in een vóóraf (stap 2) vast te stellen optimale concentratie. Ook bij filterpersen is het gebruik van PE mogelijk, meestal in combinatie met ijzerchloride dat ten behoeve van een goede koeklossing wordt gedoseerd. Verder wordt bij filterpersen vaak ijzerchloride in combinatie met kalk als vlokhulpmiddel gebruikt. Wijzigingen in de kwaliteit van het te doseren vlokhulpmiddel kunnen worden veroorzaakt door:

- de overgang naar een nieuwe batch of voorraad PE, ijzerchloride of kalk, met een andere kwaliteit of samenstelling;
- wijzigingen in de kwaliteit van het aanmaak- of verdunningswater;
- veranderingen in de voordruk van de aanmaak- of verdunningswateraanvoer;
- verstoppingen in (onderdelen van) de PADI of kalkaanmaak- en doseerinstallatie.

De volgende metingen kunnen worden toegepast in het toegevoerde vlokhulpmiddel.

in-lijn metingen:

- de dichtheid
- de reologische eigenschappen;
- de Zeta-potentiaal;
- de geleidbaarheid;
- de zuurgraad (Ph);
- het debiet;
- de temperatuur.

²⁾De dichtheid (kg/m^3) kan worden gebruikt voor de bepaling van het drogestofgehalte. Men dient hierbij rekening te houden met het feit dat de dichtheid zowel afhankelijk is van het gehalte aan de niet-opgeloste drogestof (slibdeeltjes) als van het gehalte aan opgeloste drogestof (zouten).

³⁾MFT = Bepaling van de ontwaterbaarheid met de MFT-methode volgens NEN 6691; MFT = Modification of the Filtration Test.

⁴⁾CST = Bepaling van de capillaire zuigtijd volgens NEN 6690; CST = Capillary Suction Time.

metingen in een monster:

- het drogestofgehalte;
- het zoutgehalte;
- de deeltjesgrootte (bij kalkmelk);
- de specifieke filtratieweerstand (bij kalkmelk).

2.6.3 Geconditioneerd slib

Nadat het slib met (een deel van) het vlokhelpmiddel is gemengd wordt het in de indikkings- of ontwateringsmachine ingevoerd. De kwaliteit van de conditionering zal veranderen als gevolg van veranderingen in de samenstelling van het slib of het vlokhelpmiddel.

Door Herwijn et al [22,23] is vastgesteld dat een optimale conditionering met geschikte apparatuur (filtratie-expressie cel) meetbaar is. Bij een optimale flocculatie van het slib kan dit leiden tot een hoger (zo niet maximaal) drogestofgehalte van het ontwaterde slib.

Zhang [16] beschrijft een apparaat voor de automatische optimalisatie van het vlokings- en afscheidingsproces. Het apparaat bestaat uit respectievelijk een troebelheidsmeter, een flocculator, een lamellenafscheider, een slibdeeltjesteller en een tweede troebelheidsmeter. De omslachtige methodiek is in principe ontwikkeld voor vlokingsprocessen bij lagere drogestofgehaltenes (bijvoorbeeld pre-precipitatie).

Bridle en Hertle [4] alsmede Crawford [5] geven een beschrijving van een meter waarmee de reologische eigenschappen van geconditioneerd slib kunnen worden bepaald. Het apparaat is specifiek geschikt voor zeebandpersen en wordt verder beschreven in paragraaf 3.11.

Het handhaven van een optimale conditionering zal bij filterpersen overigens gecompliceerder zijn dan bij centrifuges of zeebandpersen. Immers, bij het vullen van een filterpers is sprake van een afnemend debiet van de slibtoevoer. Bij het doseren van het vlokhelpmiddel in-lijn, zal de ingebrachte mengenergie in de loop van de tijd afnemen waardoor direct de kwaliteit van de conditionering zal worden beïnvloed.

De volgende metingen kunnen worden toegepast in het geconditioneerde slib.

in-lijn metingen:

- het drogestofgehalte;
- de reologische eigenschappen;
- de Zeta-potentiaal;
- de geleidbaarheid;
- de zuurgraad (pH);
- de vlokform.

metingen in een monster:

- de deeltjesgrootteverdeling;
- de filtratie-expressie;
- de specifieke filtratieweerstand;
- de compressibiliteit [22,23].

2.6.4 *Het filtraat of centraat*

Bij een goed lopend mechanisch indik- of ontwateringsproces kan een hoog drogestofafscheidingsrendement⁵⁾ (DAR) worden behaald. Een overzicht van het haalbaar geachte DAR bij de diverse indik- en ontwateringsapparatuur, is weergegeven in tabel 1.

Bij een continu proces is een afname van de DAR meestal een eerste indicatie dat het indik- of ontwateringsproces verstoord raakt of is geraakt. Aan het registreren (bijvoorbeeld door een troebelheidsmeter) van een toename van het zwevendestofgehalte in het filtraat of centraat moet derhalve een groot belang worden gehecht.

Bij een overmatige vlokhelpmiddeldosering worden meestal restanten van dit vlokhelpmiddel teruggevonden in het filtraat of centraat. Een overmatige dosering kan op diverse manieren worden aangetoond:

- Bij het (handmatig) mengen van centraat of filtraat met slib blijkt dat uitvlokking optreedt.
- Door bepaling van de Zeta-potentiaal [1,2,6,10,11] kan een overmaat aan PE worden gemeten. Deze bepaling kan overigens ook in het geconditioneerde slib [2,10] worden toegepast.
- Yasukawa et al [15] beschrijven een methodiek waarbij een temperatuurgevoelige sensor, een zogenaamde hot-film sensor, in filtraat wordt geplaatst. De sensor wordt verwarmd door een elektrische stroom. De temperatuur van de sensor is afhankelijk van de PE-concentratie van het filtraat. Bij verhoging van de PE-concentratie vindt minder warmte-afgifte aan het filtraat plaats en neemt de temperatuur van de sensor toe. Bij een optimale PE-dosering is de temperatuur van de sensor het laagst.
- Herwijn et al [22] hebben aanwijzingen gevonden dat bij conditionering met ijzertzouten, een minimaal ijzergehalte in het filtraat wordt teruggevonden bij een optimale flocculatie.

Tabel 1, Haalbaar drogestofafscheidingsrendement

Machine	Haalbaar drogestofafscheidingsrendement [%]
Kamer- of membraanfilterpers	> 99%
Indikcentrifuge zonder PE	90 - 95%
Indikcentrifuge met PE	> 99%
Bandfilter, zeeftrommel of zeefbandpers	> 95%
Idem met recirculatie van spoelwater	> 99%
Ontwateringscentrifuge	> 98%
Idem bij directe ontwatering	> 95%

De volgende metingen kunnen worden toegepast in het filtraat of centraat.

in-lijn metingen:

- het drogestofgehalte;
- de troebelheid;
- de Zeta-potentiaal;
- de geleidbaarheid;

⁵⁾Het drogestofafscheidingsrendement, uitgedrukt in een percentage, kan worden gedefinieerd als het quotiënt van de hoeveelheid slibdrogestof in het ontwaterde slib en de hoeveelheid slibdrogestof (droogrest van de niet-opgeloste bestanddelen) in het te ontwateren slib vermenigvuldigd met 100%.

- het ijzergehalte;
- de warmte-afgifte van een hot-film sensor.

metingen in een monster:

- de uitvlokking van slib.

2.6.5 *Ingedikt en ontwaterd slib*

Bij een meer of minder vergaande indikking of ontwatering zal duidelijk een effect op de consistentie van het eindprodukt kunnen worden gemeten [5]. De consistentie van ontwaterd slib (stopverfachtig tot steekvast of korrelig) is duidelijk anders dan van ingedikt slib (dun tot dik vloeibaar).

Bij het ontwateren van slib is in de meeste gevallen het doel een zo hoog mogelijk drogestofgehalte van het ontwaterde slib te verkrijgen. Dit hangt samen met het feit dat bij een hoger drogestofgehalte, de verdere verwerkingskosten voor het slib sterk kunnen worden beperkt. Het sturen van het ontwateringsproces kan dan ook gekoppeld worden aan een meting in het ontwaterde slib. Hierbij kan gedacht worden aan de meting van afschuifkrachten of de persdruk die een ontwaterd-slibpomp of -schroef ondervindt.

De gewenste consistentie voor mechanisch ingedikt slib hangt samen met de verdere verwerking. De verwerkbaarheid hangt hier vooral samen met de reologische eigenschappen van het ingedikte slib. Het (nogmaals) mengen met vlokhelpmiddel wordt bemoeilijkt bij een te hoge viscositeit. Ook de menging in een gistingstank kan hierdoor bemoeilijkt worden. Bij verdere verwerking in een ontwateringsmachine of in een gistingstank dient het slib dan ook een relatief laag drogestofgehalte te hebben (3-6%). Bij afvoer van het slib naar elders zal het (economisch) maximaal haalbare drogestofgehalte (>6%) gewenst zijn.

De volgende metingen kunnen worden toegepast in het ingedikte of ontwaterde slib.

in-lijn metingen

- het drogestofgehalte;
- de dichtheid (niet in ontwaterd slib);
- het vochtgehalte;
- de reologische eigenschappen;
- persdruk in het transportsysteem.

metingen in een monster

- de afschuifkracht;
- de specifieke filtratieweerstand (niet in ontwaterd slib);
- de filtratie-expressie (niet in ontwaterd slib).

3 RESULTATEN

3.1 Algemeen

Opzet van het onderzoek

Ten behoeve van het inventarisatie-onderzoek is een literatuurrecherche uitgevoerd, waarbij gezocht is naar praktijkervaringen met metingen in de sliblijn en naar automatisering van het slibverwerkingsproces. Bij het literatuuronderzoek is gebruik gemaakt van de informatiebestanden Aqualine en Chemical Abstracts. Het onderzoek is uitgevoerd met (combinaties van) de trefwoorden: "sludge, polymer, dewatering, thickening, automation, control, measurement, process en instrumentation". Tevens zijn de jaarlijkse literature reviews van de Water Environment Federation en (de inhoudsopgaven van) een aantal vakbladen van de laatste 5 jaar doorgenomen. Een overzicht van de geïnventariseerde literatuur is opgenomen in hoofdstuk 5.

Om een zo volledig mogelijk overzicht te verkrijgen van de meet- en regelapparatuur die bij mechanische slibverwerking kan worden ingezet, zijn leveranciers van dergelijke apparatuur benaderd in Nederland, België, Duitsland en Engeland. Een overzicht van de leveranciers die aan het onderzoek hebben deelgenomen, is opgenomen in bijlage 1. De resultaten van het onderzoek, die in dit hoofdstuk zijn weergegeven, zijn voornamelijk gebaseerd op de door de leveranciers verstrekte informatie en apparatuurdocumentatie. Tevens is telefonisch informatie opgevraagd bij een aantal door de leveranciers opgegeven referenties, teneinde de praktische ervaringen met de apparatuur te inventariseren. Deze referenties betreffen zowel huishoudelijke als industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties.

Aan de deelnemende leveranciers is met behulp van een enquêteformulier een aantal vragen voorgelegd over hun apparatuur, waarbij op de volgende apparatuurspecifieke aspecten is ingegaan:

- de verkrijgbare types;
- de kostprijs;
- het werkingsprincipe;
- het medium waarin het apparaat kan worden of wordt toegepast;
- de gemeten grootte;
- de randvoorwaarden voor een goede werking
- de relevante praktijkervaring en referenties.

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de geïnventariseerde meet- en regelapparatuur. Per meetmethodiek is een overzicht gegeven van:

- het werkingsprincipe;
- de plaats in de sliblijn waar de apparatuur kan worden toegepast;
- de randvoorwaarden waaronder het apparaat goed functioneert;
- de door de leverancier opgegeven waarden voor het meetbereik, de nauwkeurigheid, de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid;
- de kosten voor de apparatuur;
- de relevante leveranciers- en literatuurreferenties.

Werkingsprincipes

De meeste meetprincipes van de geïnventariseerde apparatuur zijn gebaseerd op de verstrooiing, de absorptie, de doorlating of de weerkaatsing van een bepaald meetsignaal. Dit meetsignaal kan zijn:

- infraroodlicht met verschillende golflengtes;
- geluidsgolven (ultrasonoor);

- gammastraling;
- microgolven.

Meer dan de helft van de apparatuur die wordt aangeboden voor metingen in de sliblijn, meet met behulp van infraroodlicht (IR-licht). Opvallend bij deze apparatuur is het grote aantal variaties in stralingshoeken, het aantal lichtstralen en het gemeten signaal. Het is geenszins duidelijk of een bepaalde meetmethodiek bepaalde voordelen heeft boven een andere, indien deze wordt toegepast in de sliblijn.

De overige meetprincipes zijn gebaseerd op:

- de elektrostatische lading (Zeta-potentiaal) van het medium;
- de ondervonden afschuifkracht van een in het medium roterend lichaam;
- de frequentie van een in trilling gebrachte meetbuis;
- de meting van de reologische eigenschappen.

Alle apparatuur, op drie typen na, wordt voor continue meting en/of in-lijn toegepast. Alleen de gecombineerde Zeta-potentiaalmeting/titratie-unit, één van de ultrasonore dichtheidsmeters en de reologische-eigenschappenmeter nemen batchgewijs een monster.

Toepassingen

De meeste apparatuur kan in de sliblijn worden toegepast in te ontwateren of in te dikken slib, geconditioneerd slib en mechanisch ingedikt slib. Bepaalde meetapparatuur is speciaal ontworpen voor toepassing bij specifieke indikkings- of ontwateringsapparatuur. Hierbij kan worden gedacht aan de fotografische meting van de vloggrootte/vlokstructuur van geconditioneerd slib dat in een filterpers wordt ontwaterd of meting van de weerkaatsing van infrarood licht van slib/water bovenop een indikband.

De meting van de Zeta-potentiaal wordt specifiek toegepast in het geconditioneerde slib of in filtraat of centraat.

Er is geen apparatuur bekend die specifiek metingen kan verrichten in het vlokhuipmiddel of in ontwaterd slib. Alleen de vibratiefrequentiemeter is geschikt voor de dichtheidsmeting van vlokhuipmiddel.

Alle geïnventariseerde meetapparatuur geeft een uitgangssignaal dat kan worden gebruikt voor het aansturen van (rand)apparatuur. Alleen de vloggrootte/vlokstructuurmeter wordt aangeboden als een zogenaamd totaal meet- en regelconcept. Een vijftal leveranciers meldt dat men een regelcircuit kan leveren waarin de meetapparatuur kan worden geïntegreerd. Omdat het volgens hen momenteel nog ontbreekt aan voldoende nauwkeurige en/of betrouwbare meetapparatuur is het inzetten van deze regelcircuits tot nu toe niet zinvol.

Randvoorwaarden

De meeste apparatuur, met uitzondering van de Zeta-potentiaalmeting, de vloggrootte/vlokstructuurmeter en de infraroodreflectiemeter, kan niet goed functioneren indien zich lucht- of gasbellen in het medium bevinden. Dit impliceert dat deze apparatuur niet of minder geschikt is voor metingen in bijvoorbeeld uitgestikt slib of denitrificerend actiefslib.

De batchgewijze dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven is speciaal ontwikkeld voor media waarin zich lucht of gas bevindt. Eén van de troebelheidsmeters met IR-licht kan worden geleverd met een additionele ontgassing. De overige meetapparatuur kan niet met ontgassing worden geleverd.

Door hoge(re) stromingssnelheden en/of een hoge voordruk toe te passen is het probleem van lucht- of gasbellen te minimaliseren.

Uit de overige randvoorwaarden (kleur, temperatuur, geleidbaarheid en dergelijke) die door de leveranciers zijn opgegeven kan worden afgeleid dat de meeste apparatuur zonder beperkingen in de sliblijn kan worden toegepast.

Nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

In dit rapport zijn de door de leveranciers opgegeven waarden vermeld, voor de nauwkeurigheid, de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid. Het betreft algemene waarden die niet specifiek gelden voor metingen in de sliblijn. Zij hebben derhalve een indicatieve waarde.

Ter verduidelijking van de begrippen nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid is in deze paragraaf een korte uiteenzetting van deze begrippen gegeven. Voor verdere achtergrondinformatie wordt verwezen naar [21].

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van een meting is een maat voor de optredende meetfout. Meestal wordt deze uitgedrukt in de onnauwkeurigheid. Indien bijvoorbeeld door een apparaat een drogestofgehalte van 2% wordt gemeten en de werkelijke waarde ligt tussen 1,9 en 2,1%, dan bedragen de absolute en de procentuele onnauwkeurigheid respectievelijk 0,1% en 5%. De nauwkeurigheid is in deze rapportage opgegeven als de procentuele onnauwkeurigheid.

Reproduceerbaarheid

Indien men met een bepaalde meter een meting uitvoert is er sprake van een systematische fout en een toevallige fout. De systematische fout is bij iedere meting hetzelfde. Door een goede kalibratie kan deze systematische fout worden beperkt. De toevallige fout hangt samen met de precisie van een instrument en wordt meestal uitgedrukt in de reproduceerbaarheid van de meetwaarde. Hoe kleiner de reproduceerbaarheid hoe groter de toevallige fout. De (fout in de) reproduceerbaarheid wordt uitgedrukt als een percentage van de maximale schaalwaarde.

Gevoeligheid

De (differentiële) gevoeligheid van een meting kan worden omschreven als de mate waarin een uitgangsgrootte van een meetinstrument verandert bij een verandering van de ingangsgrootte. De gevoeligheid wordt uitgedrukt als een percentage van de maximale schaalwaarde.

Kostprijzen

De kostprijzen voor de diverse meetapparaten lopen sterk uiteen, van circa NLG 2.200,- tot meer dan NLG 90.000,-. De vermelde prijzen zijn in alle gevallen exclusief BTW. De drogestofmeter met microgolven, de dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven, de gecombineerde Zeta-potentiaalmeter/titratie-unit en de infraroodreflectiemeter, zijn relatief duur. De drogestofmeters die werken met infrarood licht zijn relatief goedkoop.

Referenties

Door de leveranciers opgegeven referenties zijn in de meeste gevallen beperkt, zowel qua aantal als qua toepassing. Alleen voor de vlokgruote/vlokstructuurmeter, de dichtheidsmeters met demping van geluidsgolven en één Zeta-potentiaalmeter is een groot aantal referenties opgegeven. Deze bevinden zich voornamelijk in het buitenland. Bij de meeste referenties is de apparatuur niet of slechts eenvoudig ingebouwd in een regelcircuit en kan daardoor uitsluitend indicatief worden gebruikt.

De leveranciers melden in de meeste gevallen dat de apparatuur naar tevredenheid werkt. Dit kan echter niet of onvoldoende worden onderbouwd met testresultaten of onderzoeksrapporten. Slechts met drie meters (één drogestofmeter met infrarood licht, één dichtheidsmeter door meting van de vibratiefrequentie en de drogestofmeter met microgolven) zijn proeven uitgevoerd onder directie of begeleiding van een onafhankelijke instelling.

De hoeveelheid literatuur die over de toepassing of het gebruik van meet- en regelapparatuur in de slibverwerking is verschenen is zeer beperkt. Ook hierbij geldt dat testresultaten niet of onvoldoende worden gestaafd met uitgebreide testresultaten. De titels van de publicaties zijn vermeld in hoofdstuk 5.

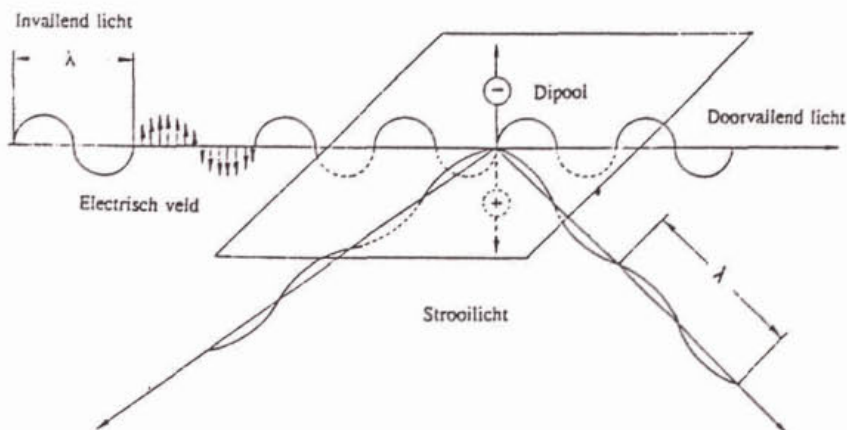
3.2 Troebelheid en drogestofmeting met behulp van infrarood licht

Algemeen

Het principe van troebelheid of drogestofmeting met behulp van infrarood licht (IR-licht) wordt door de meeste leveranciers toegepast. Er is op basis van dit meetprincipe een grote verscheidenheid aan apparatuur op de markt. Er zijn 17 apparaten aangemeld door 7 leveranciers.

Werkingsprincipe

Volgens het Nederlands Normalisatie Instituut (NNI) wordt onder troebelheid verstaan: "De vermindering van doorlatendheid van licht ten gevolge van de aanwezigheid van gesuspendeerd materiaal". Aangezien het onderscheidend vermogen bij het meten van een lichtverzwakking van een doorvallende lichtbundel zeer klein is, wordt meestal niet de lichtverzwakking, maar de lichtverstrooiing gemeten. Dit verschijnsel van het meten van lichtverstrooiing staat bekend als nefelometrie (zie afbeelding 2).



Afbeelding 2 Lichtverstrooiing door onopgeloste deeltjes

Naast de lichtverstrooiing zal overigens ook een deel van het licht worden geabsorbeerd. Het invallende licht kan dus in drie fracties worden verdeeld:

- het doorvallende licht;
- het verstrooide licht;
- het geabsorbeerde licht.

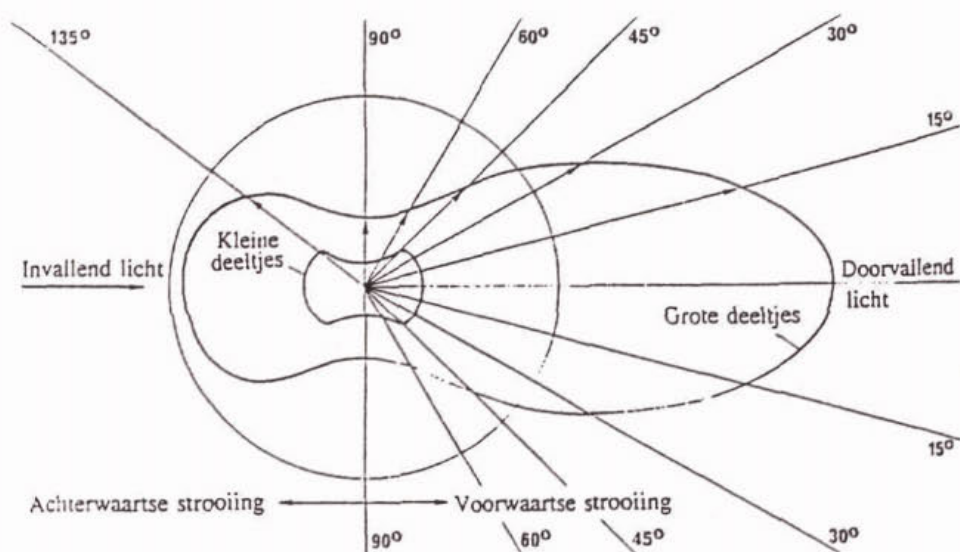
In principe kan de lichtverstrooiing onder iedere hoek worden gemeten. Er is echter een duidelijk verschil in de waarde van de gemeten lichtverstrooiing bij de verschillende hoeken waaronder gemeten wordt. Bij een hoek van 90° zou het effect van de deeltjesgrootte het kleinst zijn (zie afbeelding 3). De norm voor het meten van de troebelheid (NEN-ISO 7027/DIN 38404) schrijft daarom ook voor dat de troebelheid onder een hoek van 90° moet

worden gemeten. Voor het meten van troebelheid en drogestofgehaltenes bestaat er echter naast de meting onder een hoek van 90° ook apparatuur waarmee onder een hoek van 135° of 180° (weerkaatsing) wordt gemeten. Ook is een apparaat aangemeld waarmee gelijktijdig onder twee hoeken (90° en 135°) wordt gemeten.

Naast de hoek waaronder gemeten wordt, is ook de lichtbron van belang. De norm schrijft een infrarood (IR) lichtbron voor met een golflengte van 860 nm en een bandbreedte van 60 nm. Bij lagere golflengtes wordt de meting te sterk beïnvloed door de kleur van het medium. Alle aangeboden meters werken bij een golflengte die hoger ligt dan 860 nm, namelijk op golflengtes van 880, 920 of 950 nm.

De eenheid waarin lichtverstrooiing wordt uitgedrukt is formazine nefelometrische eenheden (FNE). De FNE wordt ook wel uitgedrukt als NTU of FTU. De definitie van één FNE alsmede de wijze waarop deze kan worden bepaald staat beschreven in de NEN-ISO 7027.

Als een meetapparaat gebruikt wordt voor het meten van drogestofgehaltenes dient een relatie opgesteld te worden tussen de troebelheid en de bijbehorende drogestofgehaltenes. Dit dient te geschieden met behulp van goede laboratoriumanalyses.



Afbeelding 3 Lichtverstrooiing onder verschillende hoeken versus de deeltjesgrootte

De meeste apparatuur is leverbaar met reinigingsapparatuur (wissers en/of spoelinrichting), waardoor het onderhoud beperkt is tot het enkele malen per jaar visueel controleren en/of handmatig schoonmaken van de sensors. Verder beschikt de meeste apparatuur over software waarmee de verschuivingen van het meetsignaal in de tijd worden gecorrigeerd. Hierdoor hoeft het apparaat niet opnieuw te worden gekalibreerd.

Toepassing

De toepasbaarheid van drogestofmeting met behulp van IR-licht is geschikt voor alle vloeistoffen met gesuspendeerde deeltjes. Afhankelijk van de meetmethode en de geometrie van de meeteenheid kan maximaal een drogestofgehalte van circa 10 % worden gemeten. In de sliblijn is de geïnventariseerde apparatuur volgens de leveranciers geschikt voor ingaand slib, ingedikt slib, geconditioneerd slib en het filtraat of centraat.

In het algemeen kan de IR-licht apparatuur als volgt worden onderverdeeld:

- apparatuur voor bepaling van de troebelheid en/of lage(re) slibconcentraties in filtraat of centraat, door meting van de verstrooiing van IR-licht onder een hoek van 90° ;

- apparatuur voor bepaling van de slibconcentratie in ingaand slib, geconditioneerd slib en/of centraat of filtraat, door meting van de absorptie van IR-licht;
- apparatuur voor bepaling van hoge(re) slibconcentraties of de dichtheid in ingaand of ingedikt slib, door meting van de weerkaatsing (180°) van IR-licht of door meting van de verstrooiing onder een hoek van 135°.

Randvoorwaarden

Om meting van drogestof met behulp van licht mogelijk te maken zal de vloeistof moeten stromen langs een of meer sensors. Het soort medium bepaalt welke meetmethode het meest geschikt is. Door de leveranciers wordt echter onvoldoende duidelijk gemaakt waarom een bepaald type apparaat of meetmethodiek specifiek meer geschikt zou zijn voor een bepaald medium. Als meest storende component worden lucht- of gasbellen genoemd. Om dit probleem te minimaliseren worden voorwaarden gesteld aan de plaats in de leiding waar het apparaat wordt gemonteerd. Eén troebelheidsmeter op basis van verstrooiing van licht onder een hoek van 90°, kan worden geleverd met een additionele gasbelvanger ("bubble trap") waarmee de invloed van lucht- of gasbellen kan worden beperkt. Een andere leverancier meldt dat, dankzij het toegepaste meetprincipe (2-hoeks-verstrooiing), geen verstoringen van het meetsignaal als gevolg van lucht- of gasbellen en kleurverschillen van de vloeistof en/of de deeltjes optreden. Dit is bevestigd door een praktijkonderzoek bij een onafhankelijk instituut [25].

Nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

De nauwkeurigheid van de apparatuur is onder andere afhankelijk van de kalibratie met behulp van laboratoriumanalyses. Door de leveranciers wordt een nauwkeurigheid opgegeven uiteenlopend van 0,5 tot 10 % van het maximale meetbereik een en ander afhankelijk van het type meetinstrument. De fout in reproduceerbaarheid ligt tussen 0,25 en 5 % van het maximale meetbereik. De gevoeligheid ligt tussen 0,3 en 2 % van het maximale meetbereik. Voor verdere gegevens wordt verwezen naar het overzicht in tabel 2.

Tabel 2 Gegevens van de geïnventariseerde infraroodlicht-drogestofmeters

meetprincipe	aantal	meetbereik ¹⁾	nauwkeurigheid ²⁾	reproduceerbaarheid ²⁾	gevoeligheid ²⁾	prijs (NLG)
lichtabsorptie	4	0 - 40 g/l	1 - 5 %	0,5 - 2 %	0,5 %	9.660 - 11.000 29.000 ³⁾
lichtverstrooiing onder 90°	7	0 - 10.000 NTU of 0 - 100 g/l	0,5 - 10 %	0,002 - 0,04 NTU of 0,25 - 5 %	0,001 - 1 NTU of 0,5 %	5.810 - 14.925
lichtverstrooiing onder 135°	1	0-40 g/l	1 %	0,5 %	-	2.250
lichtweerkaatsing onder 180°	3	0 - 10 %	1 - 5 %	0,5 - 2 %	2 %	11.440 - 25.000
lichtverstrooiing èn absorptie	1	0 - 25 g/l	1 %	1 %	-	10.000
lichtverstrooiing onder 90° en 135°	1	0 - 100 g/l	5 %	1 %	0,1 - 0,5 %	9.995

¹⁾ = het meetbereik verschilt per apparaat en per slibsoort.
²⁾ = uitgedrukt in procenten van het maximale meetbereik (tenzij anders aangegeven); een opgegeven bandbreedte is afhankelijk van het apparaat, de toepassing of van het (ingestelde) meetbereik.
³⁾ = prijs voor het type absorptiemeter waarbij compensatie/afvlakking van pieken in de uitlezing wordt toegepast.

Kostprijzen

De prijzen voor drogestofmeters met IR-licht lopen, door de vele verschillende uitvoeringsvormen, sterk uiteen van circa NLG 2.000,- tot NLG 29.000,-. De laagste prijzen hebben betrekking op enkelstraals troebelheidsmeters zonder verdere regelvoorzieningen. De hoogste prijs is gebaseerd op een meting waarbij een gemiddelde waarde wordt berekend gedurende een bepaald tijdsinterval. Deze waarde wordt gecorrigeerd voor de gemeten piekwaardes. Deze piekwaardes kunnen worden veroorzaakt door sterk in grootte en/of kleur afwijkende deeltjes.

Voor verdere gegevens wordt verwezen naar het overzicht in tabel 2.

Referenties

Afhankelijk van de leverancier zijn voor de drogestofmeters met IR-licht geen tot vele referenties opgegeven. De meeste referenties hebben echter betrekking op het meten van de troebelheid of het drogestofgehalte in de aëratietank, retourslibstroom en/of in de slibtoevoer naar de slibindikking of -ontwatering. Voor alle gecontroleerde referenties geldt dat geen onderbouwing van de resultaten kan worden gegeven door middel van een onderzoeksrapportage.

De leverancier van de meter die werkt volgens het 2-hoeks-verstrooiingsprincipe heeft een tweetal onderzoeksrapporten overhandigd:

Eén rapport [24] beschrijft een vergelijkend onderzoek waarbij vier drogestofmeters met IR-licht van verschillende fabrikaten zijn toegepast in de aëratietank. Met alle vier meters kon een voldoende betrouwbaar meetresultaat worden verkregen. Op basis van de (betere) meetresultaten, de prijsstelling en de service van de leverancier is door de opdrachtgever gekozen voor de aanschaf van de 2-hoeks-verstrooiingsmeter.

Het tweede rapport [25] beschrijft een onderzoek naar de invloed van de kleur van het slib op het meetresultaat. De meter werd hiertoe in een aëratietank met bellenbeluchting geplaatst, waarbij de kleur van het actief slib (2 - 8 g/l) werd aangepast door het doseren van ijzerchloride, kalk, een rode kleurstof of een combinatie hiervan. In alle gevallen had de kleur geen invloed op het meetresultaat. Vastgesteld werd tevens dat bij metingen in primair slib de meetresultaten minder nauwkeurig waren als gevolg van de inhomogeniteit van dit type slib. Bij een homogeen uitgestikt slib daarentegen werden wel betrouwbare meetresultaten bereikt. Verder bleken de luchtbellen in de aëratietank geen invloed op het meetresultaat te hebben.

Bij het controleren van de referenties waarbij het instrument in de sliblijn wordt toegepast, bleek dat met twee typen drogestofmeters met IR-licht goede resultaten worden bereikt.

Bij een drietal referenties waar gravitair ingedikt slib (2 - 4% DS) wordt ontwaterd met een centrifuge of een zeefbandpers wordt gebruik gemaakt van de drogestofmeter met IR-licht met het 2-hoeks-verstrooiingsprincipe. De afwijkingen van het meetresultaat ten opzichte van controlemonsters bedroegen maximaal 0,1 tot 0,2% DS.

De absorptiemeter met piekcorrectie wordt toegepast bij een papierfabriek waar slib wordt ontwaterd met een zeefbandpers. Deze drogestofmeter met IR-licht is geïntegreerd in een regeling waarbij de polymeedosering automatisch wordt aangepast. Er is sprake van een "grote" besparing op flocculant. Dit kan echter niet nader worden gespecificeerd.

Bij alle overige referenties moest worden geconcludeerd dat de betreffende meters in meer of mindere mate onbetrouwbare resultaten geven. In één geval, waarbij een drogestofmeter met IR-licht werd toegepast in mechanisch ingedikt slib (3 - 6% DS), bleek duidelijk dat de aanwezigheid van grote, onregelmatig gevormde vlokken het meetresultaat dusdanig beïnvloedt, dat geen stabiele meting kon worden uitgevoerd. Bij een aantal referenties waarbij een drogestofmeter met IR-licht werd toegepast in uitgestikt slib bleek dat vanwege de donkere kleur geen betrouwbare meting werd verkregen.

In de literatuur wordt slechts in één geval gerapporteerd [13] over de toepassing van een drogestofmeter op basis van IR-licht. Hierbij werd de PE-dosering van een ontwateringscentrifuge (uitgegist slib 50 m³/h) aangepast op basis van de meting van de troebelheid van het centraat. De meting vindt plaats bij een golflengte van 950 nm. Twee centrifuges werden gelijktijdig bedreven, één handmatig en één met de automatische aanpassing van de PE-dosering. Het automatische systeem leverde een besparing op van 26 -32% op het PE-verbruik terwijl de kwaliteit van het centraat beduidend stabiel was.

In [17] wordt een onderzoek beschreven met een drogestofmeter met IR-licht toegepast in de slibtoevoerleiding en de centraatleiding. Het betreft de ontwatering met een centrifuge van gravitair ingedikt slib afkomstig van een carousel met biologische defosfatering aangevuld met simultane precipitatie. De resultaten waren teleurstellend, wat werd toegeschreven aan vervuiling van de meetsondes en het tijdsverloop tussen de monsternamen en de meetwaarde. Ook bleek dat het drogestofgehalte van het ingaande slib soms sterk kon fluctueren als gevolg van de werking van de slibuimer in de indikker.

3.3 Drogestofmeting met microgolven

Algemeen

Het principe van de drogestofmeting met behulp van microgolven wordt door één leverancier toegepast.

Werkingsprincipe

De drogestofmeter met microgolven wordt in-lijn toegepast en bestaat uit een meetbuis waarin, tegenover elkaar, twee microgolfantennes zijn ingebouwd. De antennes zijn aan een centrale regeleenheid gekoppeld. De meetbuis dient in de mediumleiding te worden gemonteerd. De regeleenheid kan aan een muur worden bevestigd.

De meting is gebaseerd op de reistijd van een microgolf tussen de zendantenne en de ontvangantenne. De frequentie van een microgolf bedraagt 2 - 3 GigaHertz. De reistijd van een microgolf in vloeistoffen bedraagt circa 4 nanoseconde. De reistijd is afhankelijk van de diëlektrische constante van de vloeistof. Deze bedraagt voor schoon water en slibdeeltjes respectievelijk 80 en 3. Een toename van het drogestofgehalte zal een proportionele toename van de reistijd tot gevolg hebben.

De meter kan door éénpuntsijking worden ingesteld. Correctie van het signaal vindt plaats op basis van een referentiemicrogolf en door middel van een in de software verwerkt zelfdiagnose-programma.

Toepassing

Het apparaat is oorspronkelijk ontwikkeld voor drogestofmetingen in de papierindustrie. In principe kunnen met het apparaat drogestofmetingen worden uitgevoerd in ieder willekeurig verpompbaar product dat is vermengd met of is opgelost in water.

In de sliblijn kan het apparaat worden toegepast voor de meting van het drogestofgehalte van het ingaande slib, het vlokhulpmiddel, het geconditioneerde slib, het filtraat/centraat en het ingedikte slib.

Randvoorwaarden

De diëlektrische constante is afhankelijk van de temperatuur. In de meter is een Pt-100 temperatuurelektrode geplaatst die voor (wijzigingen in) de temperatuur corrigeert. De temperatuur van het medium mag variëren tussen 0 en 100°C.

Omdat de diëlektrische constante van lucht of andere gassen 1 is, wordt de meting verstoord door de aanwezigheid van lucht- of gasbellen in het medium. Door een voordruk op het

medium van minimaal 1,5 bar kan het voorkomen van gasbellen worden beperkt, waardoor deze verstoring in belangrijke mate wordt gereduceerd. Verder mag de geleidbaarheid van het medium niet hoger zijn dan $10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ omdat hierdoor de diëlektrische constante van de vloeistof (water) wordt beïnvloed. De meting ondervindt geen hinder van variaties in kleur of viscositeit.

Nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

De kalibratie vindt plaats door het vaststellen van het drogestofgehalte van het medium op het laboratorium. Volgens de leverancier is de (on)nauwkeurigheid van het apparaat nagenoeg gelijk aan nul. De reproduceerbaarheid en de gevoeligheid van de meting bedragen volgens de leverancier respectievelijk 0,01% en 0,001%.

Kosten

De kostprijs van het volledige apparaat bedraagt circa NLG 65.000,- exclusief montage en overige service.

Referenties

Door de leverancier is één referentie opgegeven voor de drogestofmeting van slib met een drogestofgehalte van 6% bestaande uit zand en humus. Dit slib wordt ontwaterd met een centrifuge. Op basis van het gemeten drogestofgehalte wordt de toevoer vanuit de bezinktank opgestart ($> 6\%$ DS) of stopgezet ($< 6\%$ DS).

Verder is een praktijkonderzoek uitgevoerd met het betreffende apparaat waarbij goede resultaten zijn geboekt [18]. Dit onderzoek is uitgevoerd met de ontwatering van retourslib dat rechtstreeks naar een centrifuge werd gevoerd. Bij zeer wisselende drogestofgehaltenes (0,34 - 1,15% DS) bleek dat de meter de wijzigingen in het drogestofgehalte zeer nauwkeurig volgde. De verschillen tussen de geanalyseerde waarden en de meetwaarden van de drogestofmeter zijn statistisch getoetst en niet significant gebleken.

Yamaguchi [14] heeft recent gepubliceerd over een praktijktest, uitgevoerd met een drogestofmeter op basis van microgolven. Hierbij is een vergelijking gemaakt met twee verschillende typen dichtheidsmeters met geluidsgolven waarvan één met automatische gasbellenverwijdering. De drogestofmeter met microgolven bleek vergelijkbare of betere resultaten te geven dan de dichtheidsmeters met geluidsgolven. Er was sprake van een grote mate van lineariteit van de meetwaarden met die van laboratoriumanalyses. Yamaguchi meldt dat de meetresultaten slechts in beperkte mate door gasbellen worden beïnvloed. De meting is wel gevoelig voor schommelingen in temperatuur of geleidbaarheid. Deze resultaten spreken overigens de gegevens van vorenvermelde leverancier tegen. Yamaguchi heeft schriftelijk gemeld dat deze meter vanaf eind 1997 in Europa verkrijgbaar zal zijn. Verder heeft hij gemeld dat met het apparaat ook het drogestofgehalte van ontwaterd slib (tot maximaal 30% DS) kan worden gemeten.

3.4 Drogestofmeting op basis van meting van de afschuifkracht

Algemeen

Het principe van drogestofmeting op basis van meting van de afschuifkracht wordt door één fabrikant toegepast.

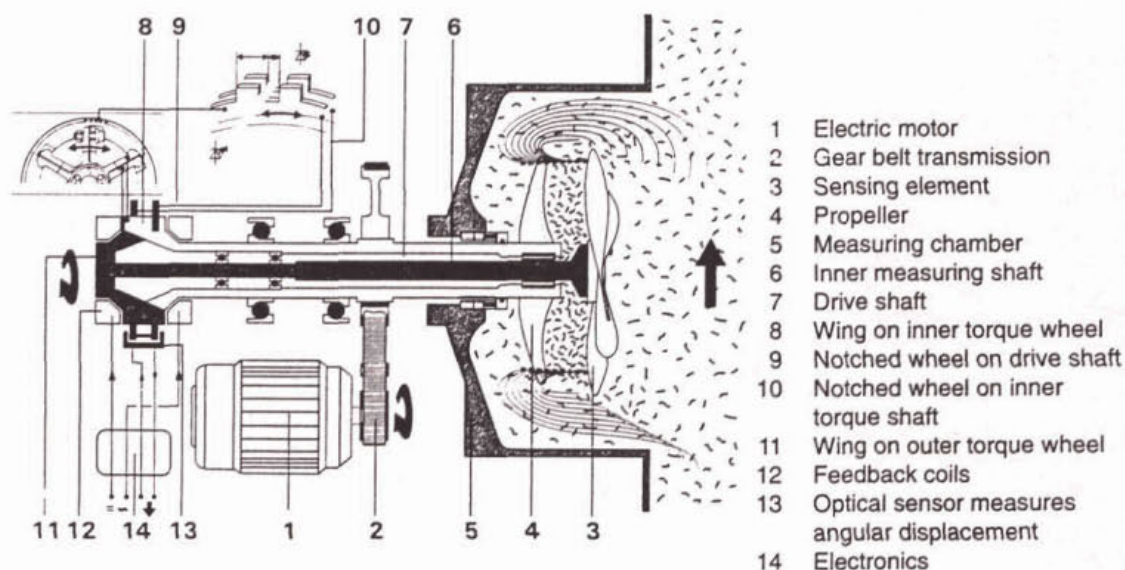
Werkingsprincipe

Een principeschema van de drogestofmeter is weergegeven in afbeelding 5

Het meetapparaat wordt gemonteerd in de leiding. In een uitstulping in de leiding bevindt zich een roterende as waaraan een propeller is gemonteerd. In deze as bevindt zich een tweede

roterende as waaraan een sensor is gemonteerd. De roterende propeller heeft een zuigende werking waardoor het medium in contact wordt gebracht met de eveneens roterende as met sensor.

De sensoras ondervindt een remmende kracht waardoor de rotatiesnelheid vertraagt ten opzichte van de rotatiesnelheid van de propeller. De mate van vertraging wordt gedetecteerd door een zender die een reactie-momentkracht produceert waardoor het rotatiesnelheidsverschil wordt gecompenseerd. Deze momentkracht wordt via een elektromagnetisch terugkoppelsysteem omgezet in een elektrisch uitgangssignaal van 4 - 20 mA. Dit signaal komt, na kalibratie, overeen met een bepaald drogestofgehalte van het medium.



Afbeelding 4, Drogestofmeter op basis van de afschuifkracht

Toepassing

De drogestofmeter op basis van de afschuifkracht is oorspronkelijk ontworpen voor metingen in papierpulp. Volgens de leverancier kan de meter in de sliblijn worden toegepast in het ingaande slib en in mechanisch ingedikt slib.

Randvoorwaarden

De temperatuur van het medium mag variëren tussen 15 en 150°C. Verder is een stroomsnelheid van het medium van 0,8 tot 5 m/s noodzakelijk.

De meting wordt verstoord door lucht- of gasbellen in het medium.

Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

Het meetbereik ligt tussen 1 en 10% DS. De meting geschiedt met een nauwkeurigheid van 1%. De reproduceerbaarheid en de gevoeligheid bedragen respectievelijk maximaal 0,3% en 0,005%.

Kostprijs

De kostprijs voor het apparaat bedraagt circa NLG 33.000,- exclusief montage doch inclusief alle service zoals opstarten, kalibreren, opleiding en een handleiding.

Voor registratie-apparatuur wordt een meerprijs genoemd van NLG 2.000 tot NLG 10.000,-.

Referenties

Door de leverancier is één relevante referentie opgegeven. Het betreft een tweetal apparaten die in de toevoerleiding naar een zeefbandpers zijn geplaatst. Over de betrouwbaarheid van de metingen is niets bekend. De meters zijn al enige tijd buiten gebruik gesteld.

3.5 Dichtheidsmeting met geluidsgolven

Algemeen

Het principe van dichtheidsmeting door geluidsgolven (ultrasonoor) wordt door twee fabrikanten in-lijn toegepast. De apparatuur onderscheidt zich van elkaar doordat ofwel de demping ofwel de reflectie van geluidsgolven wordt gemeten. De fabrikant van de dichtheidsmeter met demping van de geluidsgolven levert twee verschillende typen, namelijk een meter die in-lijn wordt toegepast en een meter waarbij de dichtheid batchgewijs wordt bepaald. De laatste is speciaal voor media waarin zich lucht- of gasbellen bevinden.

Werkingsprincipe

Eén fabrikant maakt gebruik van de demping van ultrasonore golven. Deze demping is recht evenredig met de dichtheid van de onopgeloste stof. De gemeten dichtheid kan worden vertaald naar en afgelezen als een drogestofgehalte.

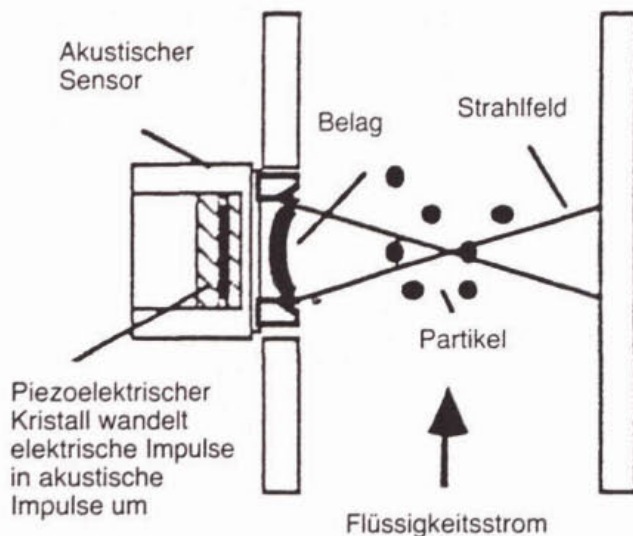
De dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven bestaat uit een meetbuis uitgerust met een zendende en een ontvangende transducer die aan weerszijde van de doorstromende vloeistof gemonteerd zijn. De uitgezonden geluidsgolven worden door de gesuspendeerde deeltjes verstrooid. De ontvangende transducer zal hierdoor een gedempt signaal ontvangen. Dit signaal wordt omgezet naar een hoogfrequent spanningssignaal en vervolgens in een mA-uitgangssignaal. Dit signaal wordt vervolgens omgezet in een uitlezing van de dichtheid op de digitale aanwijzer.

Het batchgewijze apparaat werkt volgens het zelfde principe als de in-lijn meting. Bij dit apparaat wordt echter periodiek een monster genomen dat (automatisch) in een meetkamer wordt gebracht. De meetkamer wordt na afsluiting onder druk gebracht waardoor de ingesloten lucht- of gasbellen in de vloeistof in oplossing gaan. Vervolgens vindt de dichtheidsmeting plaats in de stilstaande vloeistof. Het meetinterval is instelbaar. Bij media waarin zich relatief snel bezinkende deeltjes bevinden dient het meetinterval zo kort mogelijk te worden gekozen.

Een tweede fabrikant maakt gebruik van de reflectie van geluidsgolven. De zender functioneert hierbij gelijktijdig als ontvanger. Dit meetprincipe wordt ook bij sonar toegepast. Het verschil bestaat hieruit dat met sonar grote objecten op een grote afstand worden gedetecteerd terwijl bij de dichtheidsmeter kleine deeltjes op korte afstand worden gemeten.

Vanuit de sensor wordt een bundel geluidsgolven uitgezonden. Het brandpunt van deze golvenbundel bevindt zich in het midden van de meetbuis (zie afbeelding 4). De meting vindt hierdoor zover mogelijk van de wand af plaats, waardoor volgens de fabrikant het signaal niet wordt verstoord door wandinvloeden of vervuiling van de sensor. Voor een volledige beschrijving van het meetprincipe wordt verwezen naar [19]

Kalibratie van de dichtheidsmeters met geluidsgolven vindt plaats aan de hand van een drogestofmeting van het monster op het laboratorium. Hierbij kan een kalibratiecurve worden opgesteld die dient ter controle van de kalibratiecurve van het apparaat.



Afbeelding 5 Principe van dichtheidsmeting door reflectie van geluidsgolven

Toepassing

De apparatuur kan worden toegepast voor meting van de dichtheid van alle onopgeloste deeltjes in een vloeistof die door een leiding stroomt.

In de sliblijn kan de meting worden toegepast voor meting van de dichtheid van het ingaande slib, het geconditioneerde slib en/of het ingedikte slib.

Randvoorwaarden

Voor de in-lijn dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven is een vloeistofsnelheid van 0,3 tot 4 m/s vereist. De leidingdiameter kan hierop aangepast worden. De in-lijn meter kan hinder ondervinden van in de vloeistof aanwezige lucht- of gasbellen. Lucht of gas veroorzaakt een versterkte demping van de geluidsgolven. Bij aanwezigheid van lucht- of gasbellen kan beter de batchgewijze meter worden toegepast.

De temperatuur van het medium mag niet hoger zijn dan 50°C. Viscositeitsschommelingen die geen verband houden met de dichtheid van de gesuspendeerde deeltjes kunnen foutmeldingen tot gevolg hebben. Hoge zoutgehalten kunnen de meetbuis aantasten.

De dichtheidsmeter met reflectie van geluidsgolven dient trillingsvrij te worden gemonteerd. De vloeistofsnelheid mag uiteenlopen van 0 tot 4 m/s. De temperatuur van het medium mag niet hoger zijn dan 147 °C. Ook bij deze meter kunnen lucht- of gasbellen de meting verstoren. Het instrument is ongevoelig voor wijzigingen in de viscositeit, de geleidbaarheid of het debiet.

Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

De gegevens met betrekking tot het meetbereik, de nauwkeurigheid, de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid zijn samengevat in tabel 3.

Kostprijs

De kostprijs voor de in-lijn dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven bedraagt circa NLG 20.000,-. Voor de batchgewijze meter is dit circa NLG 60.000,-.

De kosten voor een extra automatische reiniging van de drukmeetkamer bedragen NLG 9.000,-. Een alarmering voor beide meters kost circa NLG 1.500,-.

De in-lijn dichtheidsmeter met reflectie van geluidsgolven heeft een kostprijs van circa NLG 29.000,-. Een alarmering voor deze meter kost circa NLG 540,-.

Tabel 3, Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid van de ultrasonore meting

Parameter	In-lijn meter (demping)	Batch-gewijze meter	In-lijn meter (reflectie)
Meetbereik ¹	minimaal 0-1% DS maximaal 0-20% DS	minimaal 0-3% DS maximaal 0-15% DS	0 - 3% DS
Nauwkeurigheid ²	5%	2,5%	1%
Reproduceerbaarheid ²	2%	2%	0,2%
Gevoeligheid ²	2%	2%	0,1%
¹	=	Het meetbereik is afhankelijk van het medium	
²	=	Uitgedrukt in procenten van het maximale meetbereik	

Referenties

Wereldwijd zijn, voornamelijk in Zuid-Oost Azië, 3.170 in-lijn meters en 965 batchgewijze meters geïnstalleerd (peildatum 31/12/94).

In Nederland worden de betreffende dichtheidsmeters met demping van geluidsgolven nog niet toegepast. Wel zijn op een drinkwaterproductiebedrijf in Nederland uitgebreide proeven uitgevoerd met een in-lijn meter in de toevoerleiding naar een ontwateringscentrifuge. Het ingaande slib betreft ijzerhydroxydeslib van 5 - 12% DS. De resultaten waren betrouwbaar en mogelijk dat tot aanschaf van de apparatuur zal worden overgegaan.

Voor de dichtheidsmeter met reflectie van geluidsgolven is één referentie in Zwitserland opgegeven. De toepassing betreft de aflaatleiding van primair slib (circa 2% DS). De meter werkt naar tevredenheid wat voornamelijk te maken heeft met het relatief geringe onderhoud dat aan de meter hoeft te worden gepleegd. Er is geen verdere rapportage omtrent meetresultaten / nauwkeurigheid en dergelijke.

3.6 Dichtheidsmeting met gammastraling

Algemeen

Het principe van de dichtheidsmeting met gammastraling wordt door twee deelnemende leveranciers toegepast.

Werkingsprincipe

De dichtheidsmeter met gammastraling bestaat uit een meetbuis waarin een zender en een ontvanger aan de tegengestelde zijden van de buis zijn gemonteerd. De zender bestaat uit een houder waarin zich een gammastraling emitterende stof bevindt. Hiervoor kan Caesium-137 of Kobalt-60 worden gebruikt. De zender emitteert een bundel gammastralen die (gedeeltelijk) worden geabsorbeerd door het medium in de meetbuis. De mate van absorptie is volgens één leverancier recht evenredig met de dichtheid. De tweede leverancier bericht dat de gemeten absorptie exponentieel toeneemt met de dichtheid. De dichtheid kan worden omgerekend naar en afgelezen als een drogestofgehalte.

De stralingssterkte zal in de loop van de tijd afnemen. Het meetsignaal wordt hiervoor gecompenseerd. Voor de gammastralingsbron is een levensduur van 15 jaar opgegeven.

Toepassing

De dichtheidsmeter met gammastraling is geschikt voor alle verpompbare vloeistoffen en slurries. Het apparaat wordt toegepast voor dichtheidsmetingen en de meting van massastromen in de mijnbouw, chemische-, papier- en levensmiddelenindustrie en de baggerverwerking. In de sliblijn kan de meting worden toegepast voor het meten van de dichtheid van het ingaande slib, het geconditioneerde slib en het ingedikte slib.

Randvoorwaarden

De temperatuur van het medium mag variëren tussen -20°C en $+50^{\circ}\text{C}$. Er vindt een correctie plaats voor de mediumtemperatuur. De meting wordt verstoord door de aanwezigheid van lucht- of gasbellen of door zouten. Deze beïnvloeden de dichtheid van het medium sterk.

Volgens [20] dient aan een aantal strenge voorwaarden te worden voldaan om een dichtheidsmeter met gammastraling te mogen gebruiken. Op basis van de Kernenergiewet is een vergunning nodig van het Ministerie van Sociale Zaken. Verder moet de meter een duidelijk aantoonbaar nut hebben terwijl op locatie een toezichthouder nodig is die een gerichte opleiding heeft gevolgd.

Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

Het meetbereik ligt tussen 0 en 24% DS (mits het slib nog vloeibaar is) of tussen 0,1 en $1,1 \text{ g/cm}^3$. Voor de nauwkeurigheid is geen waarde opgegeven. De reproduceerbaarheid en de gevoeligheid bedragen respectievelijk 0,2% en $0,0001 \text{ g/cm}^3$.

Kostprijs

De kostprijs voor de apparatuur bedraagt circa NLG 23.000,- tot 25.000,- exclusief montage doch inclusief alle service zoals opstarten, kalibreren, opleiding en handleiding.

Voor bijpassende registratie-apparatuur is door één leverancier een prijsopgave gedaan van NLG 1.000 tot NLG 2.000,-. Ten behoeve van de kalibratie kan een referentiesysteem worden meegeleverd voor een meerprijs van NLG 2.000,-.

Referenties

Er zijn door de deelnemende leverancier geen referenties opgegeven.

In [20] worden de resultaten van proeven met een dichtheidsmeter met gammastraling beschreven. Het betrof een meting in de toevoerleiding naar kamerfilterpersen. Uitgestort slib met een drogestofgehalte van 2 - 3% werd geconditioneerd met PE. Uit de metingen bleek dat er geen verband bestond tussen het drogestofgehalte en het meetsignaal. Volgens de leverancier is dit te wijten aan wijzigingen die optreden in de dichtheid van de slibdeeltjes of in de aanwezigheid van gistingsgas in het slib.

3.7 Dichtheidsmeting door meting van de vibratiefrequentie

Algemeen

Het principe van het meten van de dichtheid op basis van de vibratiefrequentie wordt door twee leveranciers toegepast.

Een van deze leveranciers is gevestigd in Groot-Brittannië en heeft, voor zover bekend, geen Nederlandse vertegenwoordiging. De Nederlandse fabrikant biedt twee sterk op elkaar lijkende types aan.

Werkingsprincipe

De dichtheidsmeter op basis van de vibratiefrequentie bestaat uit een meetbuis die zowel in-lijn als parallel aan de leiding met het te meten medium, kan worden geïnstalleerd. De meetbuis (met medium) vibreert in zijn resonatiefrequentie. Deze frequentie is een functie van de massa per lengte-eenheid. De totale massa is de som van de massa van de meetbuis en van de

doorstromende vloeistof. De frequentie is derhalve recht evenredig met de dichtheid van de vloeistof in de meetbuis. De gemeten frequentie wordt omgerekend naar de dichtheid van de vloeistof. De dichtheid kan worden omgerekend naar en afgelezen als een drogestofgehalte.

Toepassing

Het meetprincipe kan worden toegepast voor gassen, vloeistoffen of slurries. Hierbij geldt dat een vloeistof of slurry geen schurende eigenschappen mag hebben en verpompbaar moet zijn door een leiding met een diameter van 1 inch.

In de sliblijn kan het apparaat worden ingezet voor ingaand slib, vlokhulpmiddel, geconditioneerd slib en ingedikt slib.

Randvoorwaarden

In de meetbuis is een vloeistofsnelheid vereist tussen 0 en 10 m/s. De meetbuis is geschikt voor debieten tussen 0 en 20 m³/h. De temperatuur van het medium mag variëren tussen -50°C en +180°C. De meting wordt voor de temperatuur van het medium gecorrigeerd. Hiertoe bevindt zich in de meetbuis een Pt-100 temperatuuropmeter. Aangezien lucht of gas de dichtheid van de vloeistof verlaagt, beïnvloedt de aanwezigheid van lucht of gas de gemeten frequentie.

De meetmethode is onafhankelijk van het debiet, de druk of de viscositeit. Verder wordt de meting niet gestoord door trillingen in het leidingwerk.

Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

De gegevens met betrekking tot het meetbereik, de nauwkeurigheid, de gevoeligheid en de reproduceerbaarheid zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4, Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid van de vibratiefrequentiemeter

Parameter	fabrikant 1	fabrikant 2 type 1	fabrikant 2 type 2
Meetbereik	0 - 10% DS 0 - 2.100 kg/m ³	0 - 3.000 kg/m ³	300 - 1.600 kg/m ³
Nauwkeurigheid	+/- 0,1 kg/m ³ +/- 0,25 %DS	0,0015 kg/m ³	0,035 - 0,05 kg/m ³
Reproduceerbaarheid	+/- 0,01 kg/m ³ +/- 0,025 %DS	0,002 kg/m ³	
Gevoeligheid	+/- 0,01 kg/m ³ +/- 0,025 %DS		

Kostprijs

De Engelse fabrikant geeft een kostprijs op van UKP 4035,- en UKP 5240,- voor twee verschillende uitvoeringsvormen.

De Nederlandse leverancier geeft voor type 1 een prijs op van circa NLG 19.000,-. Voor type 2, dat in drie varianten verkrijgbaar is, wordt een prijs opgegeven van NLG 12.000 tot NLG 21.500,-.

Referenties

De Nederlandse leverancier geeft geen referenties op.

De Engelse fabrikant geeft twee referenties op. Het betreft de meting van de dichtheid van gravitair ingedikt slib dat via een opslagtank naar een filterpers wordt verpompt. In het laatste

geval wordt de PE-dosering gestuurd op basis van de gemeten dichtheid. Nadere informatie ontbreekt. Verder verwijst de Engelse fabrikant naar een onderzoek dat is uitgevoerd door de Engelse "Water Research Company", in opdracht van de UK Water Industry Members. Hierbij is vastgesteld dat de meter geschikt is voor dichtheidsmetingen in slibben met een drogestofgehalte van 0 - 10%.

3.8 Meting van de vlokstructuur en vlogkrootte met een fotocel

Algemeen

Het betreft een compleet meet- en regelsysteem dat speciaal ontwikkeld is voor filterpersen. Het systeem wordt door één fabrikant toegepast.

Werkingsprincipe

Het systeem bestaat uit een procesbesturing waarop diverse meetapparaten kunnen worden aangesloten, waaronder een vlogkroottometer. De procesbesturing stuurt en regelt een aantal parameters waaronder de slib- en PE-toevoer alsmede de inbreng van mengenergie.

De vlogkroottometer bestaat uit een aparte meetcel waar het medium continu doorheen wordt geleid. In de meetcel zijn een lichtzender en een lichtontvanger ingebouwd. De licht/donkercontrasten veroorzaakt door de slibvlokken worden door een sensor opgemeten en omgezet in een beeldwaarde die vervolgens weer in een 0 - 10 V uitgangssignaal wordt omgezet.

Om te voorkomen dat zich slibvlokken in de meetcel afzetten, wordt periodiek de stroomrichting in de meetcel omgekeerd. Tevens worden de vensters van de lichtsensoren periodiek automatisch schoongewist.

Het gemeten beeld wordt vergeleken met een "optimaal" vlogkrootte- en vlogkroovormbeeld. Bij een afwijking hiervan kan de slib-/PE-verhouding en/of de mengenergie voor slib met PE worden aangepast.

Toepassing

Het systeem is toepasbaar voor geconditioneerd slib en wordt tot nu toe uitsluitend bij filterpersen ingezet.

Kostprijs

De investering voor het inbouwen van het volledige meet- en regelsysteem in een bestaande filterpers wordt door de leverancier geschat op een bedrag van NLG 200.000,- tot 300.000,-.

Overige aspecten

Door de leverancier zijn verder geen gegevens verstrekt inzake de randvoorwaarden voor een goede werking, het meetbereik, de nauwkeurigheid, de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid van de apparatuur.

Referenties

Er zijn vijfendertig referenties opgegeven waarvan zich vijfentwintig in Duitsland bevinden en de overigen in België, Denemarken, Italië, Oostenrijk, Spanje, Verenigde Staten en Zwitserland. Een drietal referenties is gecontroleerd. In één geval was de meter niet meer in gebruik. In beide overige gevallen blijkt dat het regelsysteem betrouwbaar kan functioneren mits het drogestofgehalte van het ingaande slib niet te sterk varieert. Aangezien slib wordt onttrokken aan een gravitatie-indikker, kan het drogestofgehalte sterk variëren (stratificatie). In dat geval behoeft het systeem handmatige bijsturing.

In Nederland wordt de vlogkroottometer niet toegepast.

3.9 Infraroodreflecties als maat voor de indikking

Algemeen

Apparatuur werkend volgens het principe van het meten van de reflectie van infraroodlicht op een indikband wordt door één leverancier geleverd. De onderstaande gegevens zijn gebaseerd op mondelinge informatie van de leverancier.

Werkingsprincipe

Door op een drietal plaatsen (in serie) boven een voorontwaterings- of indikkingsband de reflectie van IR-licht te meten kan de mate van indikking of ontwatering van het slib worden vastgesteld. Door het signaal te koppelen met de slibvoedingspomp, de PE-doseerpomp en de bandaandrijving kan worden gestuurd op een constante indikkings- of ontwateringsgraad.

De apparatuur hangt boven de installatie en komt niet in contact met het te meten medium. Hierdoor blijft het onderhoud van de apparatuur beperkt tot het circa twee keer per jaar reinigen van de sondes.

Toepassing

Het apparaat is uitsluitend toe te passen op bandindickers en voorontwateringszones van zeefbandpersen.

Randvoorwaarden

Er dient een verandering van structuur in het te ontwateren medium op te treden tussen de eerste en de laatste meetcel. Verder zal in de programmatuur goed moeten worden vastgelegd in welke volgorde en in welke mate de PE-dosering of de bandsnelheid moet worden aangepast bij wijzigingen in de gemeten IR-lichtreflecties.

De kalibratie van het apparaat dient twee keer per jaar te worden uitgevoerd òf na iedere substantiële verandering van het te verwerken materiaal.

Nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

Er worden door de leverancier geen gegevens opgegeven over de nauwkeurigheid, de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid van het meetapparaat.

Kosten

De kosten voor een reflectiemeter met IR-licht bedragen circa NLG 90.000,- tot NLG 100.000,-. Dit is inclusief de PLC, de bekabeling voor het uitgangssignaal naar de te sturen apparatuur (pompen, motoren) en 3 dagen inregeling en optimalisatie.

Referenties

Er zijn twee referenties in Nederland gemeld, één ten behoeve van de ontwatering van calciumhoudend slib met een zeefbandpers bij een zoutverwerkende industrie en één bij de indikking van papierslib bij een papierindustrie. Er zijn geen gedocumenteerde procesgegevens bekend.

Op een rwzi in de USA zijn zeven zeefbandpersen opgesteld ten behoeve van de ontwatering van uitgestikt slib. Door toepassing van de reflectiemeter met IR-licht wordt een besparing op het PE-verbruik van 15 - 30% behaald. Verdere gegevens hierover zijn niet bekend.

3.10 Meting van de reologische eigenschappen.

Algemeen

Het principe van het meten van de reologische eigenschappen van het geconditioneerde slib wordt door één leverancier toegepast. De onderstaande gegevens zijn gebaseerd op mondelinge informatie van de leverancier.

Toepassing

Het apparaat kan worden toegepast voor in te dikken of te ontwateren slib dat met PE wordt geconditioneerd. Het wordt uitsluitend toegepast op bandfilters en zeefbandpersen.

Werkingsprincipe

Onder reologie wordt verstaan de leer van de weerstanden die bij stroming van vloeistoffen optreden. De reologische eigenschappen van slib kunnen worden vastgesteld door meting van de (schijnbare) viscositeit uitgedrukt in centipoise (10^{-1} kg/(m*s)). Bij een toename van het drogestofgehalte of ná conditionering van het slib met poly-elektrolyet neemt de viscositeit van het slib toe.

De conditionering van het slib alsmede de werking van het bandfilter of de zeefbandpers dient vooraf handmatig geoptimaliseerd te worden. Het apparaat neemt vervolgens een aantal malen (instelbaar) een geconditioneerd slibmonster en meet de viscositeit in de meetcel. De gemeten waarden worden doorgerekend en in een referentiecurve omgezet. In deze curve wordt de PE-dosering gerelateerd aan de gemeten viscositeit; hoe hoger de dosering, hoe hoger de viscositeit. Nadat de kalibratie is voltooid, worden regelmatig, volgens een in te stellen tijdschema, monsters van het geconditioneerde slib genomen. Bij een wijziging in de reologische eigenschappen wordt automatisch de PE-dosering aangepast.

De meter werkt batchgewijs. De monsternamen en meetcyclus kan worden gevarieerd tussen 1½ en 5 minuten. De meetcel wordt na elke meetcyclus gedurende 30 seconden gereinigd [5].

Randvoorwaarden en meetbereik

Volgens de leverancier is in de loop der jaren gebleken dat de reologische eigenschappen van relatief dun slib (0 - 1% DS) weinig verschillen van die van ditzelfde slib ná conditionering. Derhalve is de meter van de reologische eigenschappen niet geschikt voor toepassing bij de indikking of ontwatering van slib rechtstreeks uit de aëratietank of uit de retourslibstroom. Op bandfilters of zeefbandpersen in cascade-opstelling, zal het systeem derhalve niet (meer) worden toegepast. Bij gravitair ingedikt slib en/of uitgegist slib met drogestofgehaltes van 1,5% of meer, kan de meter wel worden toegepast.

Omdat de reologische eigenschappen specifiek zijn voor elk slibtype, is het apparaat niet geschikt voor slibben waarvan de samenstelling varieert. Bij wijzigingen in de slibsamenvatting, bijvoorbeeld bij de menging met of verwerking van externe slibsoorten, dient het apparaat opnieuw gekalibreerd te worden.

Nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

Door de leverancier zijn geen gegevens verstrekt van de (on)nauwkeurigheid, de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid van de reologische-eigenschappenmeter.

Kostprijs

Door de leverancier is een kostprijs opgegeven van NLG 30.000,-

Referenties

Er zijn in Nederland op diverse lokaties reologische-eigenschappenmeters geplaatst. Een aantal hiervan is inmiddels weer buiten gebruik gesteld onder meer vanwege de bij "randvoorwaar-

den en meetbereik" beschreven problematiek. Er bestaat geen rapportage omtrent de mogelijke besparingen die worden behaald vanwege de toepassing van deze meter.

Bridle en Hertle [4] en Crawford [5] geven een beschrijving van deze meter waarmee de reologische eigenschappen van geconditioneerd slib kunnen worden bepaald. De meter wordt op een aantal praktijkinstallaties (zeefbandpersen) toegepast waarbij besparingen van 15-40% op het PE-verbruik worden vermeld. De metingen hebben plaatsgevonden op een rwzi in Texas-USA (een chemisch/biologisch slibmengsel) en een rwzi in Nederland (uitgegist slib). Overigens wordt door Crawford [5] vermeld dat slibben met drogestofgehaltes van 0,3% tot 7% kunnen worden doorgemeten.

3.11 Meting van de Zeta-potentiaal

Algemeen

De meting van de Zeta-potentiaal (streaming current detector) wordt door vier leveranciers toegepast. Opvallend is dat hetzelfde fabrikaat en/of type apparaat door meer leveranciers kan worden geleverd met soms behoorlijke prijsverschillen.

De meetwijze en/of werking van het apparaat is in principe voor alle fabrikaten gelijk. Eén fabrikant levert een Zeta-potentiaalmeter in combinatie met een titratie-unit.

Werkingsprincipe

In een vloeistof bevinden zich geladen deeltjes. Dit kunnen zowel ionen zijn als colloïdale deeltjes met een oppervlaktelading. Deze deeltjes in de vloeistof wekken bij een, al of niet geforceerde, beweging een wisselspanning op. Deze beweging betreft in dit geval de stroming van de vloeistof door de meetbuis. Het wisselspanningssignaal wordt in een Zeta-potentiaalmeter gemeten tussen twee elektroden. Deze spanning wordt ook wel de streaming current genoemd. Het gemeten signaal is recht evenredig met de elektrische lading van de deeltjes en daarmee met het aantal deeltjes.

Bij de slibconditionering wordt de negatieve lading aan het oppervlak van de slibdeeltjes geneutraliseerd door het toevoegen van een vlokhelpmiddel, zoals een positief geladen ion (ijzer of aluminium) of een positief geladen PE. Bij een optimale conditionering zal de elektrische lading (Zeta-potentiaal) nagenoeg neutraal zijn. Met behulp van het meten van de Zeta-potentiaal in het geconditioneerde slib of het filtraat/centraat kan worden vastgesteld of meer of minder vlokhelpmiddel moet worden toegevoegd.

Het apparaat onttrekt continu een monster aan de leiding waardoor het medium stroomt waarna direct de meting plaatsvindt. Bij één apparaat wordt een monster in een meet/titratiekamer ingevoerd. Terwijl de Zeta-potentiaal wordt gemeten, wordt gelijktijdig met een titrant (in principe het gebruikte vlokhelpmiddel) getitreerd totdat geen lading meer wordt gemeten. De monster- en titratiecyclus neemt in totaal 5 minuten in beslag. Hiervan is ca. 30 seconden benodigd voor het doorspoelen van de meetcel en circa 3 minuten voor de reiniging. De meting en titratie nemen circa 1 minuut in beslag.

Indien in (geconditioneerd) slib moet worden gemeten, dient het monster eerst te worden gefiltreerd. In centraat of filtraat (mits helder genoeg) kan de meting plaatsvinden zonder filtratie.

Toepassing

In de sliblijn kan de Zeta-potentiaalmeter worden toegepast in het geconditioneerde slib, het filtraat of het centraat.

Randvoorwaarden

Per fabrikaat worden diverse randvoorwaarden opgegeven. Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat de meting niet wordt verstoord door lucht- of gasbellen of de kleur van het medium. Eén leverancier geeft een maximale waarde voor de troebelheid op van 30.000 NTU. De geleidbaarheid van het medium dient een waarde te hebben tussen 0 en 35.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De temperatuur mag variëren tussen 5°C en 45 à 60°C.

Verder wordt door de leveranciers een debiet van het medium door de meetcel van 10 of 20 l/min opgegeven.

Meetbereik, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en gevoeligheid

Het meetbereik wordt op diverse manieren uitgedrukt. Twee leveranciers van hetzelfde type apparaat geven een uitgelezen waarde op die varieert tussen -100 en + 100 SCU (streaming current units). De nauwkeurigheid voor dit apparaat bedraagt 1%. Voor de reproduceerbaarheid en gevoeligheid zijn geen waardes opgegeven.

Een andere leverancier geeft een meetbereik op van -5 tot +5 ICU (ion change unit).

De nauwkeurigheid en de reproduceerbaarheid van dit apparaat bedragen beide 1%.

Twee andere leveranciers (zelfde type apparaat) geven geen meetbereik op doch wel een nauwkeurigheid van 0,25%.

De leverancier van de gecombineerde Zeta-potentiaalmeting en titratie-unit meldt een meetbereik tussen 0,6 en 10 ml te doseren titrant (vlokhulpmiddel). De nauwkeurigheid van dit apparaat bedraagt 0,1%. Er is geen waarde bekend voor de reproduceerbaarheid en de gevoeligheid van de meting.

Kostprijs

De door de leveranciers opgegeven prijzen variëren tussen circa NLG 16.000,- en NLG 25.000,-. De prijs voor de gecombineerde Zeta-potentiaalmeting en titratie-unit bedraagt circa NLG 90.000.

Referenties

Voor twee apparaten zijn geen referenties opgegeven. Voor een ander apparaat worden meer dan 60 referenties opgegeven, voornamelijk in Duitsland. Twee van deze referenties betreffen apparaten die in Nederland zijn ingezet voor metingen in het centraat van ontwateringscentrifuges. Volgens de gecontroleerde referenties geeft de apparatuur een goed en betrouwbaar meetsignaal, waarop de PE-dosering kan worden bijgesteld. In één geval heeft de meter alleen in het eerste jaar goed gefunctioneerd. Sindsdien vindt in de meetcel van het apparaat een dusdanige spontane aangroei van slib en/of kalkdeeltjes plaats dat het apparaat niet meer betrouwbaar is en derhalve buiten werking is gesteld.

De leverancier van de gecombineerde meter geeft één referentie op. Het betreft hier een meting in een flotatie-unit voor de verwijdering van zwevende stof uit drinkwater. De dosering van het vlokhulpmiddel wordt aangepast aan het meetsignaal.

In alle gevallen geldt dat geen rapportage van meetresultaten beschikbaar is.

Anonymus [1] en Krumwiede [12] geven een uiteenzetting van het werkingsprincipe en de praktische toepassingsmogelijkheden van een "streaming current detector".

Igarashi et al. [10,11] beschrijven de ontwikkeling van een nieuwe techniek waarmee de Zeta-potentiaal van geconditioneerd slib en/of centraat/filtraat gemeten kan worden. De nieuwe methodiek is vergeleken met de resultaten van colloïdale titratie en in de praktijk uitgetest op centrifuges (een mengsel van centrifugaal ingedikt surplusslib en ruw primairslib) en twee zeefbandpersen (gravitair ingedikt slib).

Bij de centrifuges werd aangetoond dat het ontwateringsproces stabiel kon verlopen bij toepassing van de Zeta-potentiaal meter, ook indien handmatig de slibtoevoer werd gewijzigd. Bij de praktijktesten met de twee zeefbandpersen werden beide persen gelijktijdig met hetzelfde slib gevoed. Bij één zeefbandpers werd de PE-dosering gestuurd met de Zeta-potentiaalmeter en bij de andere werd de colloïdale titratiemethode gebruikt. Bij de eerstbeschreven pers werd 20% (4,6 g PE/kg DS) minder PE verbruikt dan bij de andere pers (5,9 g/kg DS).

Abu-Orf en Dentel [2,6] berichten over de resultaten van testen met een streaming current detector. Het betreft laboratoriumtesten alsmede praktijktesten met de ontwatering van uitgegist slib in een centrifuge. Zowel de toepassing in het centraat als in het geconditioneerde slib geven goede resultaten. Er is een verband gelegd tussen de uitlezing van het apparaat en de toegepaste mengenergie of mengtijd. De testresultaten zijn gecontroleerd aan de hand van CST-metingen en drogestofanalyses.

Algemeen

Er bestaat een grote verscheidenheid aan meetapparatuur die kan worden toegepast in de sliblijn. Zowel qua toegepaste technieken als qua kostprijs bestaan grote verschillen. Via dit inventarisatie-onderzoek is een goede indruk verkregen van de diverse mogelijkheden op dit gebied. Een samenvattend overzicht van de geïventariseerde meetapparatuur en haar toepassing is weergegeven in tabel 5.

Niet alle in paragraaf 2.6 van dit rapport beschreven metingen en/of parameters, worden in de geïventariseerde meetapparatuur toegepast. Voor metingen in het vlokhulpmiddel of in ontwaterd slib bestaat in het geheel geen specifieke apparatuur. Vooralsnog is men hier aangewezen op visuele beoordelingen of het uitvoeren van (tijdrovende) laboratoriumanalyses.

Vanwege het kleine aantal, door rapportage onderbouwde referenties is helaas onvoldoende inzicht verkregen in de nuttige, economische toepasbaarheid van de apparatuur in de praktijk. Het is duidelijk dat nog geen van de geïventariseerde apparaten echt zijn waarde op het gebied van de slibverwerking heeft bewezen.

Meetprincipes

De meeste meetprincipes van de geïventariseerde apparatuur zijn gebaseerd op de verstrooiing, de absorptie, de doorlating of de weerkaatsing van een bepaald meetsignaal. Dit meetsignaal kan zijn:

- infrarood (IR)-licht met verschillende golflengtes;
- geluidsgolven (ultrasonoor);
- gammastraling;
- microgolven.

De overige meetprincipes zijn gebaseerd op:

- de elektrostatische lading (Zeta-potentiaal) van het medium;
- de ondervonden afschuifkracht van een in het medium roterend lichaam;
- de frequentie van een in trilling gebrachte meetbuis;
- de meting van de reologische eigenschappen.

Meer dan de helft van de apparatuur die wordt aangeboden voor metingen in de sliblijn, meet met behulp van IR-licht. Opvallend bij deze apparatuur is het grote aantal variaties in stralingshoeken, het aantal lichtstralen (enkel- tot zesstraals) en het gemeten signaal.

Globaal kan de IR-lichtapparatuur als volgt worden onderverdeeld:

- apparatuur voor bepaling van de troebelheid en/of lage(re) slibconcentraties door meting van de verstrooiing van IR-licht onder een hoek van 90°;
- apparatuur voor bepaling van de slibconcentratie door meting van de absorptie van IR-licht;
- apparatuur voor bepaling van hoge(re) slibconcentraties of de dichtheid door meting van de weerkaatsing (180°) van IR-licht of door meting van de verstrooiing van IR-licht onder een hoek van 135°.

De gemeten troebelheid of dichtheid kan door middel van ijking met behulp van laboratoriumanalyses, worden omgerekend naar het zwevende- of drogestofgehalte van het medium. Het is geenszins duidelijk of een bepaalde meetmethodiek bepaalde voordelen heeft boven een andere, indien deze wordt toegepast in de sliblijn.

Toepassingen

De meeste apparatuur kan in de sliblijn worden toegepast in te ontwateren of in te dikken slib, geconditioneerd slib en mechanisch ingedikt slib. Bepaalde meetapparatuur is speciaal ontworpen voor toepassing bij specifieke indikkings- of ontwateringsapparatuur. Hierbij kan worden gedacht aan de fotografische meting van de vloggrootte/vlokstructuur van geconditioneerd slib dat in een filterpers wordt ontwaterd of meting van de weerkaatsing van infrarood licht van slib/water bovenop een indikband.

De meting van de Zeta-potentiaal wordt specifiek toegepast in het geconditioneerde slib of in filtraat of centraat.

Er is geen apparatuur bekend die specifiek metingen kan verrichten in het vlokhuipmiddel of in ontwaterd slib. Alleen de vibratiefrequentiemeter is geschikt voor de dichtheidsmeting van vlokhuipmiddel.

Alle apparatuur, op drie typen na, wordt voor continue meting en/of in-lijn toegepast. Alleen de gecombineerde Zeta-potentiaalmeter/titratie-unit, één van de ultrasonore dichtheidsmeters en de reologische-eigenschappenmeter nemen batchgewijs een monster.

De geïnventariseerde meet- en regelapparatuur kan als volgt worden toegepast:

Op in te dikken of te ontwateren slib en op ingedikt slib:

- de drogestofmeters op basis van de absorptie van IR-licht;
- de drogestofmeters met weerkaatsing (180°) van IR-licht
- de drogestofmeter met 2-hoeks (90 en 135°) verstrooiing van IR-licht;
- de drogestofmeter met microgolven;
- de ultrasonore dichtheidsmeters;
- de vibratiefrequentie dichtheidsmeters.

Op geconditioneerd slib:

- de reologische eigenschappenmeter (bij bandfilters en zeefbandpersen);
- de Zeta-potentiaal meters;
- de vloggrootte- en vlokstructuurmeter (bij filterpersen)

Op centraat of filtraat:

- de troebelheids- of drogestofmeters met verstrooiing van IR-licht onder een hoek van 90°;
- de Zeta-potentiaal meters.

Op (voor)ingedikt slib op een bandfilter of zeefbandpers:

- de meting van IR-reflecties als maat voor de indikking,

Op poly-elektrolyt:

- de vibratiefrequentie-dichtheidsmeters.

Op vlokhuipmiddelen anders dan poly-elektrolyt:

- hiervoor is geen geschikte apparatuur aangemeld.

Op ontwaterd slib:

- hiervoor is geen geschikte apparatuur aangemeld.

Tabel 5, Overzicht van de geïnventariseerde meetapparatuur

Meetprincipe	Specificatie	Meting	Medium ¹⁾	Kostprijs ²⁾	Referenties ³⁾	Onafhankelijk onderzoek ⁴⁾
Infraroodlicht	Absorptie	drogestof	i,g,d	9.960 - 11.000	ja	
	Absorptie met piekcorrectie	drogestof	i,c,f	29.000	ja, +	
	Verstrooiing 90°	troebelheid	c,f	5.810 - 14.925	ja	
	Verstrooiing 135°	drogestof	i,g,d	2.250	ja	
	Weerkaatsing 180°	drogestof	i,g,d	11.440 - 25.000	ja	
	Absorptie en verstrooiing	drogestof	i,g,d	10.000	ja	
	2-hoeks (90/135°) verstrooiing	drogestof	i,g,d,c,f	9.995	ja, +	ja, +
Microgolven		drogestof	i,g,d,c,f	65.000	ja	ja, +
Geluidsgolven	Reflectie	dichtheid	i,g,d,c,f	20.000		
	Reflectie/ batchgewijs	dichtheid	i,g,d,c,f	60.000		
	Demping	dichtheid	i,g,d,c,f	29.000	ja	
Gammastraling		dichtheid	i,g,d,c,f	23.000 - 25.000	ja	ja
Afschuifkracht		drogestof	i,d	33.000	ja	
Vlokstructuur /vloggrootte		vlokvorm	g/fp	200.000 -300.000 ⁵⁾	ja	
Vibratie-frequentie		dichtheid	i,v,g,d	UKP 4.035 - 5.240 12.000 - 21.500		ja
Zeta-potentiaal	Continu	lading	g,c,f	16.000 - 25.000	ja, +	
	Batchgewijs + titratie	lading	g,c,f	90.000		
Reflectie van infraroodlicht		reflectie	d/bf,zbp	90.000		
Reologische eigenschappen		viscositeit	g/bf,zbp	30.000		

¹⁾ : i = ingaand slib, v = vlokhulpmiddel, g = geconditioneerd slib, d = ingedikt slib, c = centraat, f = filtraat, bf = bandfilter, zbp = zeebandpers, fp = filterpers

²⁾ : aanschafprijs voor het apparaat exclusief BTW en montage doch inclusief opstarten en kalibratie

³⁾ : De met ja aangegeven referenties zijn gecontroleerd. De met een "+" aangegeven referenties betreffen referenties met relatief positieve ervaringen. Bij alle referenties ontbreekt een gedegen rapportage.

⁴⁾ : De met een "+" aangegeven praktijkonderzoeken betreffen onderzoeken met een aantoonbaar positief testresultaat.

⁵⁾ : Inclusief meet- en regelsysteem.

Randvoorwaarden

De meeste apparatuur, met uitzondering van de Zeta-potentiaalmeten, de vloggrootte/vlokstructuurmeter en de infraroodreflectiemeter, kan niet goed functioneren indien zich lucht- of gasbellen in het medium bevinden. Dit impliceert dat deze apparatuur niet of minder geschikt is voor metingen in bijvoorbeeld uitgestort slib of denitrificerend actiefslib.

De batchgewijze dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven is speciaal ontwikkeld voor media waarin zich lucht of gas bevindt. Eén van de troebelheidsmeters met IR-licht kan worden geleverd met een additionele ontgassing. De overige meetapparatuur kan niet met ontgassing worden geleverd. Door hoge(re) stromingssnelheden en/of een hoge voordruk toe te passen is het probleem van lucht- of gasbellen te verminderen.

Uit de overige randvoorwaarden (temperatuur, geleidbaarheid en dergelijke) die door de leveranciers zijn opgegeven kan worden afgeleid dat de meeste apparatuur zonder beperkingen in de sliblijn kan worden toegepast. De kleur van of kleurveranderingen in het medium hebben volgens de leveranciers van IR-licht meetapparatuur geen negatieve invloed op de meting. Bij een aantal referenties bleek echter dat bij donkergekleurde uitgestorte slibben de metingen met IR-licht apparatuur onbetrouwbaar kunnen zijn.

Kostprijzen

De kostprijzen voor de diverse meetapparaten lopen sterk uiteen, van circa NLG 2.250,- tot meer dan NLG 90.000,- (exclusief BTW). Deze prijzen zijn in de meeste gevallen exclusief montage doch inclusief opstarten, kalibreren en verdere begeleiding.

De drogestofmeter met microgolven, de dichtheidsmeter met demping van geluidsgolven, de gecombineerde Zeta-potentiaalmeten/titratie-eenheid en de reflectiemeter met infrarood licht, zijn relatief duur. De drogestofmeters die werken met (infrarood) licht zijn relatief goedkoop.

De investering voor het meet- en regelsysteem voor filterpersen, gebaseerd op de vlokstructuur en vloggrootte van geconditioneerd slib, bedraagt NLG 200.000 tot 300.000,-.

Referenties

Door de leveranciers opgegeven referenties zijn in de meeste gevallen beperkt, zowel qua aantal als qua toepassing. Alleen voor de vloggrootte/vlokstructuurmeter, de dichtheidsmeters met demping van geluidsgolven en één Zeta-potentiaalmeten is een groot aantal referenties opgegeven. Deze bevinden zich voornamelijk in het buitenland. Bij de meeste referenties is de apparatuur niet of slechts eenvoudig ingebouwd in een regelcircuit en kan daardoor uitsluitend indicatief worden gebruikt.

De leveranciers melden in de meeste gevallen dat de apparatuur naar tevredenheid werkt. Dit kan echter niet worden onderbouwd met testresultaten of onderzoeksrapporten. Slechts met drie meters (één drogestofmeter met infrarood licht, één dichtheidsmeter met meting van de vibratiefrequentie en de drogestofmeter met microgolven) zijn proeven uitgevoerd onder directie of begeleiding van een onafhankelijke instelling.

De hoeveelheid literatuur die over de toepassing of het gebruik van meet- en regelapparatuur in de slibverwerking is verschenen, is zeer beperkt. Ook hierbij geldt dat praktijkervaringen niet of onvoldoende worden gestaafd met uitgebreide testresultaten.

Bij het controleren van de door de leveranciers opgegeven praktijkreferenties bleken de resultaten niet altijd bevredigend. De resultaten behaald met de volgende vier typen apparaten mogen op basis van de referenties als relatief positief worden beschouwd:

- de drogestofmeter met 2-hoeks-verstrooiing van infraroodlicht;
- de drogestofmeter met absorptie van infraroodlicht en piekcorrectie;
- de drogestofmeter met microgolven;
- de Zeta-potentiaal meter.

Praktijkonderzoek

Teneinde voldoende inzicht te verkrijgen in de nuttige, economische toepasbaarheid van de apparatuur in de praktijk, wordt aanbevolen praktijkproeven uit te voeren waarbij met name dient te worden vastgesteld of een betrouwbaar en reproduceerbaar meetsignaal met een bepaald apparaat kan worden verkregen. Gelijktijdig kan worden vastgesteld of een apparaat op een effectieve wijze in een regelkring kan worden ingebouwd. Hierbij zal moeten worden beoordeeld of slibindikkings- en -ontwateringsapparatuur zonder toezicht van een operator automatisch en optimaal kan worden bedreven. Aangetoond moet kunnen worden dat duidelijke kostenbesparingen op vlokhulpmiddelen of slibafvoer kunnen worden verkregen door of vanwege de inzet van de betreffende meetapparatuur. Deze besparingen zullen de investering in met name de duurdere apparatuur moeten rechtvaardigen.

Een praktijkonderzoek zal vergelijkend plaatsvinden en zal derhalve op één of meer lokaties moeten worden uitgevoerd waar twee of meer identieke indik- of ontwateringsmachines zijn opgesteld. Uit de onderhavige studie is gebleken dat in principe alle leveranciers bereid zijn hun medewerking te verlenen aan een dergelijk onderzoek.

- [1] Anonymus (1993)
"Flockungshilfsmitteldosierung, Steuerung an kontinuierlich arbeitenden Entwässerungsmaschinen"
Sonderdruck aus CAV 5/93
- [2] Abu-Orf Mohammed M. and Dentel Steven K. (1985)
"Control of sludge conditioning by streaming current detector"
Proceedings 4th IAWPRC Workshop, Houston and Denver 1985, pp. 39-49
- [3] Bryant Robert L.
"Optimizing sludge dewatering costs"
Operations forum, september 1991,
- [4] Bridle T.R. and Hertle C.K. (1987)
"Polyelectrolyte in Sludge conditioning, use of rheology for control"
Water, December 1987, pp. 27-29
- [5] Crawford P.M. (1990)
"Optimizing polymer consumption in sludge dewatering applications"
Wat. Sci. Tech., Vol. 22, No. 7/8, pp. 261-267, 1990
- [6] Dentel S.K. and Abu-Orf M.M. (1993)
"Application of the streaming current detector in sludge conditioner selection and control"
Wat. Sci. Tech., Vol. 28, No. 1, pp. 169-179, 1993
- [7] Englmann Erich und Hegemann Werner (1985)
"CST-gesteuerte Konditionierungsmitteldosierung bei der Filterpressenentwässerung"
GWf-Wasser-Abwasser 126 (1985), H.3, S. 130-135
- [8] Englmann E. and Hegemann W. (1985)
"Practical experiences with a CST-controlled chemical feed rate for filter press dewatering of sewage sludges"
Proceedings 4th IAWPRC Workshop, Houston and Denver 1985, pp. 695-699
- [9] Hoyland G and Ovens J.A. (1987)
"Development of New Filter-Pressing Support Systems"
J. Wat. Pollut. Control, Vol 59, pp 146-157
- [10] Igarashi Chiaki, Nishizawa Kazuo (1992)
"A new technique for measuring the ζ -potential of organic sludge floc formed by cationic poly-electrolyte addition: description and application"
Water Environment research, Volume 64, Number 1, pp 44-52
- [11] Igarashi Chiaki, Tanaka Kazunari, Kitamura Teruaki, Fujita Kazuo, Arai Kazuaki and Kameyama Kenichi (1993)
"Development of new polymer dosage control method for sludge dewatering process"
Wat. Sci. Tech., Vol. 28, No. 11-12, pp. 263-272, 1993

- [12] Krumwiede Rainer (1995)
 "Kostenreduziering bei der Schlammwässerung durch optimierten Chemikalien-
 einsatz"
 Aufbereitungs-Technik, Jahrgang 36, Heft 2, Seite 64-68
- [13] Wiksell Hans (1978)
 "Automatic control of a centrifuge process"
 Vatten, 34, 1978, pp 10-14
- [14] Yamaguchi Seiji (1996)
 "New type of sludge density meter using microwaves for application in sewage treat-
 ment plants"
 Wat. Sci. Tech., Vol. 33, No. 1, pp. 53-60, 1996
- [15] Yasukawa Y., Totoki T. and Shigemi H. (1993)
 "A new sensing technique for optimum sludge conditioning for waste sludge dewater-
 ring"
 Wat. Sci. Tech., Vol. 28, No. 11-12, pp. 481-488, 1993
- [16] Zhang Jian, Wiesmann Udo und Grohmann Andreas (1996)
 "Optimierung der technischen Prozesse zur Flockenbildung und -abscheidung mit Hilfe
 eines kontinuierlichen Flockungstestgerätes
 GWF-Wasser-Abwasser 137 (1996), H.4, S. 205-214
- [17] DHV Water BV (1994)
 "Onderzoek slibconcentratie meetapparatuur"
 DHV-rapport, Amersfoort maart 1994
- [18] DHV Water BV (1996)
 "Praktijkonderzoek met een Valmet-drogestofmeter type Kajaani MCA-FT"
 DHV rapport, Amersfoort januari 1996
- [19] John G. Groetsch
 "Theorie und Anwendung von akustischen Partikelüberwachungssystemen"
 Monitek GmbH, Düsseldorf
- [20] Bennenbroek M
 "De Cesiumdrogestofmeter, de laatste hoop op een betrouwbare on-line drogestofme-
 ting"
 De Klaarmeester 31 (1996) nr. 6 blz 15-17
- [21] Meulen S.F. van der (1983)
 "Fysische meettechniek 1"
 Technische Hogeschool Twente, kenmerk 4012384, mei 1983
- [22] RWZI 2000, rapport 94-02
 "Fundamentele aspecten van de slibontwatering. Deel 2, Flocculatiemechanismen"
- [23] STOWA, rapport 96-19
 "Meting van de ontwateringseigenschappen van zuiveringsslib. De mogelijkheden van
 de FE-cel en de CP-cel"

- [24] Waterschap Zeeuwse Eilanden
"Test drogestofmeters"
Intern memo, 14 augustus 1996
- [25] Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft
"Vergleichende Untersuchung zur Trübungs- und Feststoffmeßsonde Solitax-plus"
Stuttgart, november 1995

BIJLAGE 1 OVERZICHT VAN LEVERANCIERS DIE AAN HET ONDERZOEK DEELNAMEN

Bedrijf	Merk	Type en werkingsprincipe
Adalpa, Purmerend	Chemtrac	ζ -potentiaal, streaming current detector
Alfa-Laval, Maarssen		levert regelcircuit
Allied Colloids, Mechelen (B)		levert regelcircuit
Aquapur, Vlaardingen	Hach	infraroodlicht troebelheidsmeter, verstrooiing 90°
Brinck, Amersfoort	Partech	infraroodlicht troebelheidsmeter, verstrooiing 90° infraroodlicht drogestofmeter, absorptie en weerkaatsing infraroodlicht drogestofmeter, weerkaatsing 180°
Dr. Lange, Tiel	Dr.Lange Solitax	infraroodlicht drogestofmeter, 2 hoeks (90°/135°) verstrooiing
Endress & Hauser, Naarden	Endress & Hauser	infraroodlicht troebelheidsmeter, enkelstraals, verstrooiing 90° infraroodlicht troebelheidsmeter, meerstraals, verstrooiing 90° infraroodlicht drogestofmeter, enkelstraals, verstrooiing 135°
Flottweg, Heemstede		levert regelcircuit
Geveke, Amsterdam	Andritz Polyscan Staiger Mohilo Staiger Mohilo Chemtrac	reflectie van infraroodlicht infraroodlicht troebelheidsmeter, meerstraals, verstrooiing 90° infraroodlicht drogestofmeter, meerstraals, absorptie infraroodlicht drogestofmeter, meerstraals, 180° weerkaatsing ζ -potentiaal, streaming current detector
Inven Technology, Breda	BTG-Polymetron BTG-Polymetron BTG BTG BTG HF Scientific	infraroodlicht drogestofmeter, 4-straals, absorptie infraroodlicht drogestofmeter, 180° weerkaatsing infraroodlicht drogestofmeter, absorptie met piekcorrectie dichtheidsmeter met gammastraling afschuifkracht drogestofmeter ζ -potentiaal, streaming current detector
Lubbers Instruments, Kerk-Avezaath	Nishihara Monitek	dichtheidsmeting door demping van ultrasonore golven idem, batchgewijs met ontgassingskamer dichtheidsmeting door reflectie van ultrasonore golven
MPT Mess + Prozesstechnik, Rodgau (D)	Milton Roy	ζ -potentiaal, streaming current detector
Mütek Analytic, Herrsching (D)	Mütek	ζ -potentiaal, streaming current detector met titratie-unit
Passavant, Doetinchem	Floctronic	fotocelvlakstructuur- en vloggrootemeter, in regelkring
Peek Measurement, Winchester (GB)	Peek	vibratiefrequentie dichtheidsmeter
Pieralisi, Bleiswijk		levert regelcircuit
SAFEx control, Reeuwijk	Berthold	dichtheidsmeter met gammastraling
Stork-Bosman, Piershil	Milton Roy	ζ -potentiaal, streaming current detector
This Analytical, Breda	Solartron	vibratiefrequentie dichtheidsmeter
Valmet, Zeist	Kajaani	drogestofmeter met microgolven
Zenon, Purmerend	Zenon	reologische-eigenschappenmeter
Züllig, Rheineck (CH)	Cosmos	infraroodlicht drogestofmeter, 6 straaals, verstrooiing 90°

