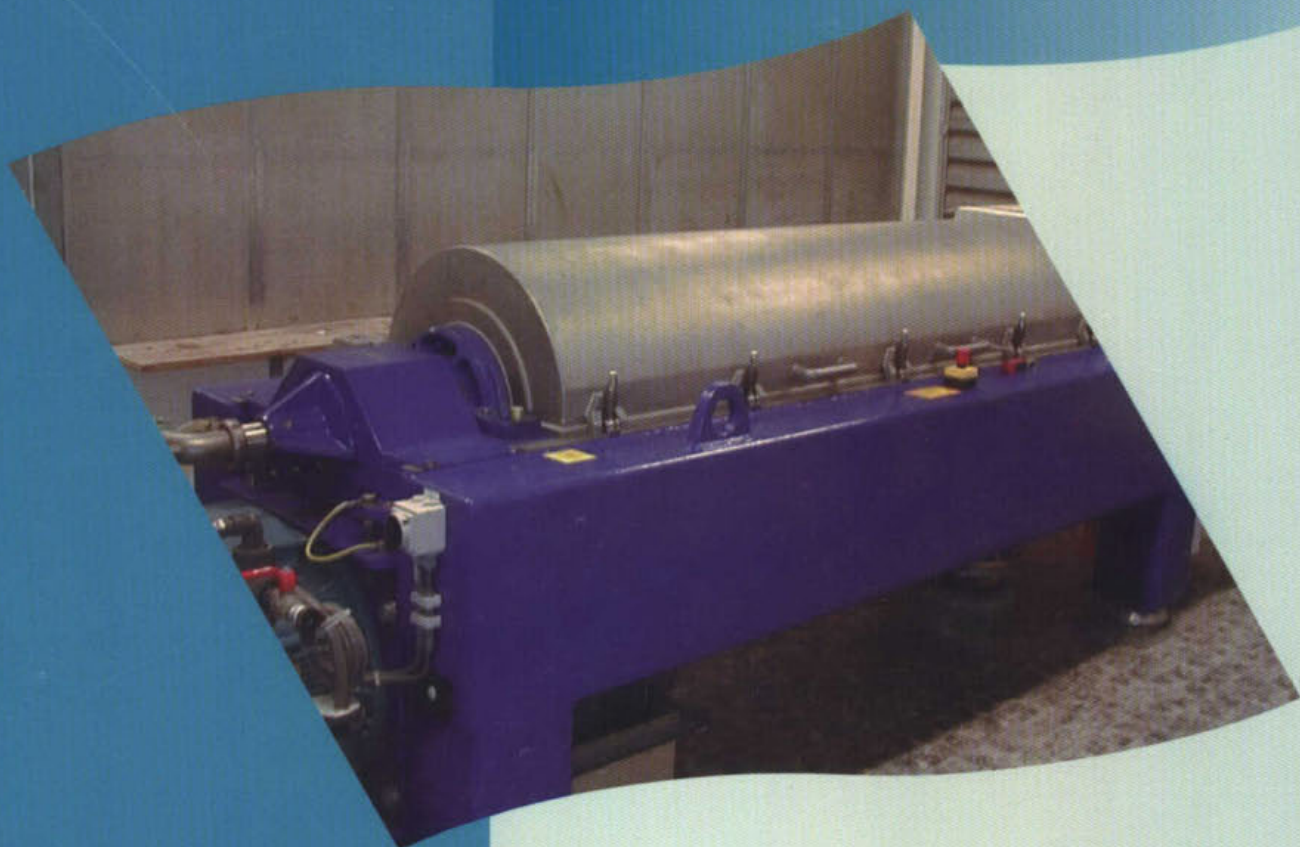


Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering

Zelf optimaliserende regelunit

Onderzoek op awzi Almere



2002 43

Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering

Zelf optimaliserende regelunit

Onderzoek op awzi Almere

Arthur van Schendelstraat 816

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

Telefoon: 030 - 232 11 99

Fax: 030 - 232 17 66

E-mail: stowa@stowa.nl

<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-overzicht
van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:

Hageman Fulfilment

Postbus 1110

3300 CC Zwijndrecht

Telefoon : 078 - 629 33 32

fax: 078 - 610 42 87

E-mail: info@hageman.nl

o.v.v. ISBN- of Stowa rapportnummer
en een duidelijk afleveradres.

ISBN 90-5773-201-7

2002

43

Colofon

Utrecht, 2002

Uitgave:
STOWA, Utrecht

Projectuitvoering:
Eddie Koornneef (DHV Water BV), Cees Visser (Alfa Laval BV), Robbert van der Kuij (DHV Water BV)

Begeleidingscommissie:
Ad de Man (Zuiveringschap Limburg; vz), Ruud van Dalen (Waterschap Veluwe), Hans Mollen (Hoogheemraadschap van West-Brabant), Ben Roelfzema (Waterschap Zuiderzeeland), Hans Schepman (Waterschap Groot Salland), Ronald van Walraven (Dienst Waterbeheer en Riole-ring), Paul Roeleveld later opgevolgd door Cora Uijterlinde (STOWA).

Druk
Kruyt Grafisch Advies bureau

STOWA rapport 2002-43
ISBN 90.5773.201.7

Ten geleide

Automatisering van processen staat volop in de belangstelling. Op steeds grotere schaal wordt binnen de waterschappen nagedacht over de mogelijkheden om processen te automatiseren, teneinde met de beperkte beschikbare ruimte te kunnen blijven voldoen aan de steeds strenger wordende effluenteisen bij een minimalisatie van de verwerkingskosten.

Door gebrek aan goede en betrouwbare regelapparatuur voor slibontwateringsprocessen en de inhomogeniteit van het te ontwateren product slib, is een vergaande automatisering van ontwateringsapparatuur tot op heden nog niet gerealiseerd. De tot dusver bestaande regelingen bleven beperkt tot een geregelde vlokhulpmiddeldosering op basis van het slibdebiet en/of de slibconcentratie. Een terugkoppeling met de ontwateringsapparatuur en de centraat of filtraatkwaliteit werd vooralsnog niet gebruikt, terwijl dit een noodzaak is voor de realisatie van een regeling voor een zelfoptimaliserend ontwateringsproces.

Het doel van het in dit rapport beschreven STOWA onderzoek was dan ook het ontwerpen en testen van een regeling voor de automatische optimalisatie van het ontwateringsproces met voldoende mogelijkheden om variaties in concentratie en kwaliteit van het slib adequaat te verwerken. Tevens diende de regeling geschikt te zijn voor meerdere types slibontwateringsapparatuur.

Voorafgaand aan de ontwikkeling van de regeling zelf is eerst uitgebreid onderzoek gedaan naar bestaande meetapparatuur en regelingen. Dit literatuur- en praktijkonderzoek is in de periode 1996 tot en met 1999 uitgevoerd en is beschreven in twee STOWA-rapporten, te weten:

- Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering:
Inventarisatie van apparatuur en mogelijkheden, STOWA 97-13
- Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering:
Vergelijkend praktijkonderzoek aan meetapparatuur, STOWA 99-26

Met dit derde en laatste rapport in de reeks 'Meet- en regelapparatuur bij de slibontwatering' wordt het STOWA onderzoek afgesloten.

Het testen van de ontwikkelde regeling en de centraatmeetopstelling was mogelijk door de goede samenwerking met de medewerkers van het Waterschap Zuiderzeeland (awzi Almere). De STOWA is deze medewerkers zeer erkentelijk voor hun waardevolle inbreng.

Het voorliggende rapport beschrijft de ontwikkeling van een regeling voor het automatiseren van het ontwateringsproces en de resultaten die met de regeling zijn bereikt op de awzi Almere. Op deze locatie is aangetoond dat in combinatie met betrouwbare meetapparatuur het mogelijk is een zelfoptimaliserende ontwateringsinstallatie te realiseren. Met het uitgevoerde onderzoek is een interessante ontwikkeling gepresenteerd, die zeker de moeite waard is om nader beschouwd te worden bij optimalisaties van het ontwateringsproces.

Utrecht, januari 2003

De directeur van de STOWA

ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

Inleiding

Reductie van de slibontwateringskosten is mogelijk door het optimaal bedrijven van de slibontwateringsinstallatie gedurende 24 uur per dag en 7 dagen per week met een zelfoptimaliserende regelunit.

Uit een in 1999 uitgevoerde benchmarkstudie is gebleken dat 12 tot 45 % van de totale kosten voor afvalwaterbehandeling nodig is voor de verwerking en afzet van slib. Een belangrijke maar relatief complexe stap in het verwerkingsproces is de slibontwatering. Variaties in slibkwaliteit maken een optimaal ontwateringsresultaat niet eenvoudig. Voor een storingsvrije bedrijfsvoering worden vooral in weekeinden en gedurende de nacht "veilige" procesinstellingen gekozen. Een zelfoptimaliserend regelsysteem is in staat om ideale instellingen te handhaven en de instellingen van de ontwateringsinstallatie aan te passen aan veranderende omstandigheden. Aangezien er uit een inventariserende studie is gebleken dat er geen goed werkende regelsystemen voorhanden waren, is in overleg met de STOWA besloten een regelsysteem te ontwerpen en te testen in het kader van het STOWA onderzoek "Meten en regelen in de sliblijn".

In december 1999 is dit deel van het onderzoeksproject gestart met als primaire doel een regelsysteem te ontwerpen voor de optimalisatie van het ontwateringsproces, zodanig dat er voldoende mogelijkheden zijn om het systeem aan te passen aan de verschillende slibsoorten en ontwateringsinstallaties.

Opzet onderzoek

Om een goed beeld te krijgen waar een regelunit aan moet voldoen, is voorafgaand aan het eigenlijke ontwerp van de regelunit eerst met een afvaardiging van de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders gebrainstormd over de slibontwatering van de toekomst. Hieruit is naar voren gekomen dat de huidige apparatuur op zich goed functioneert, maar dat een regelunit nodig is om de wisselende slibomstandigheden op een rwzi goed te kunnen verwerken. Met name het gebrek aan een goed on-line inzicht in het ontwateringsresultaat maakt het moeilijk de apparatuur continu optimaal te laten functioneren zonder toezicht. Aansluitend zijn met een groep regeltechnici diverse regelconcepten geëvalueerd, waarna een opzet is gemaakt voor de uiteindelijke regelunit.

Samen met Alfa Laval is de voorgestelde regelunit ontworpen, waarbij gebruik is gemaakt van drogestofsenoren in het ingaande slib en in het centraat. De keuze van drogestofsenoren (Dr. Lange) is gebaseerd op de resultaten van een eerder uitgevoerd onderzoek (STOWA 99-26).

Resultaten

De regelunit is uitermate bedieningsvriendelijk opgezet. Met behulp van een PC heeft de bedieningstechnicus/bedrijfsvoerder de mogelijkheid om eenvoudig verschillende randvoorwaarden en procesinstellingen voor het slibontwateringsproces in te voeren (of te wijzigen). Zo worden minimale en maximale waarden opgegeven voor onder andere het slibdebiet, de PE-dosering, het drogestofafscheidingsrendement, het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en de instellingen van de ontwateringsapparatuur. Daarnaast worden alle relevante kostenfactoren ingevoerd, zoals de kosten voor PE, aanmaakwater, slibtransport, energie en slibafzet. Met de verschillende machine-instellingen en de on-line meting van de concentratie van het te ontwateren slib, wordt de ontwateringsinstallatie opgestart. Nadat deze een bepaalde tijd op de setpoint instellingen heeft gedraaid, wordt automatisch overgeschakeld op een optimalisatie programma. Afhankelijk van het gekozen programma optimaliseert de regelunit het ontwateringsproces richting minimalisatie van kosten of naar een zo hoog mogelijk drogestofgehalte van het ontwaterde slib.

De awzi Almere heeft als testlocatie gediend, waarbij één centrifuge is uitgevoerd met de regelunit. Aan de hand van testen onder verschillende omstandigheden zijn de resultaten van beide centrifuges vergeleken. De regelunit heeft voornamelijk in de kostenoptimalisatiemodus gedraaid, waarbij de PE-dosering ca 25 % is gedaald en het einddrogestofgehalte op een constant niveau werd gehouden. Drogestofvariaties in het ontwaterde slib over de dag, een verschijnsel dat voor de installatie van de regelunit regelmatig voorkwam, was na de installatie bijna geheel verdwenen. Dit alles heeft erin geresulteerd dat met de regelunit ca. € 15,- per ton drogestof kan worden bespaard, wat voor de awzi Almere neerkomt op ruim € 53.000,- per jaar. Hierbij zijn nog geen besparingen opgenomen voor minder toezicht en een beter afscheidingsrendement.

Kosten en baten

De kosten voor het installeren van een regelunit zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden op de rwzi. Een globale inschatting van de kosten voor hardware, software en de benodigde tijd voor de installatie komen uit op € 60.000,- tot € 105.000,- per ontwateringsunit. Evenals de kosten zijn ook de baten afhankelijk van de lokale situatie. Bovendien zijn ze niet altijd gemakkelijk uit te drukken in een geldbedrag. De besparingen kunnen worden gerealiseerd doordat:

- de transport- en eindverwerkingskosten lager zullen uitvallen door een constanter en gemiddeld hoger drogestofgehalte van het ontwaterde slib;
- de personeelskosten omlaag gaan doordat de optimalisatie van het proces wordt overgenomen door de regelunit;
- er minder PE- en PE-aanmaakwater wordt verbruikt;
- het afscheidingsrendement van de installatie verbetert, zodat er minder slib opnieuw ontwaterd hoeft te worden;

Conclusies

Onderstaand zijn de voornaamste conclusies van het onderzoek opgesomd.

- Het is mogelijk om met een regelunit het slibontwateringsproces continu te optimaliseren, zonder ingrijpen van een operator gedurende 24 uur per dag en 7 dagen per week;
- De opzet van de regelaar is universeel, maar vooralsnog is het regelconcept slechts uitgewerkt en getest met één type centrifuge van één leverancier. Toepassen van de regelunit op andere centrifuges of zeefbandpersen is in principe mogelijk, maar vraagt nog wel om een inspanning en investering van de leveranciers om het systeem te matchen en de software aan te passen voor de specifieke apparatuur;
- De daisywheel regeling en de fuzzy regeling moeten beide naast elkaar functioneren. De daisywheel regeling is nodig voor de fijnafstemming, maar is ongeschikt om snelle wisselingen te realiseren. Hier is een fuzzy regelaar voor nodig. Voor relatief stabiele slibkwaliteiten en geringe drogestofconcentratiewisselingen kan (eventueel) worden volstaan met enkel een daisywheel regeling.
- Voor het implementeren van een regelunit, zoals is ontwikkeld, moet er een zekere relatie zijn tussen het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en de PE-dosering en/of de weerstand in de centrifuge. Deze relaties moeten worden uitgezocht, zodat de regelunit kan worden geïjkt aan de werkelijkheid;
- De testen in Almere zijn uitgevoerd met een lastig te ontwateren aëroob gestabiliseerd slib. Met anaëroob gestabiliseerd slib is er meestal een betere relatie te vinden tussen de ontwateringsparameters en is dus te verwachten dat met de inzet van de regelunit ook hier goede resultaten te behalen zijn;
- De mogelijke besparingen hangen sterk af van de lokale omstandigheden, bijvoorbeeld of de verrekening van ontwaterd slib bij de eindverwerker/afnemer op basis van drogestof of aangeleverde tonnen slib plaatsvindt;

- Een belangrijke randvoorwaarde voor een goede werking van de regelunit is een betrouwbare drogestofmeter in het ingaande slib en het centraat of filtraat, waarbij de opstelling in het filtraat of centraat uitermate belangrijk is;
- De Dr. Lange sensoren hebben gedurende de gehele testperiode van meer dan een jaar uitstekend gefunctioneerd. Storingen bij meting van het ingaande slib hebben niet plaatsgevonden. De variaties in kwaliteit van het ingaande slib over het jaar konden eenvoudig worden bijgesteld door variatie van de scalingsfactor en het onderhoud bleef beperkt tot het vervangen van een wissel;
- De keuze van het PE dient kritisch te worden geanalyseerd, omdat de gevoeligheid bij overdosering erg storend is voor een optimale regeling;

Eén van de nadelen is de complexiteit van de regelunit en de daarmee samenhangende hoge prijs. Hiertegenover staan echter de nodige besparingen, zodat de regelunit in principe in enkele jaren terugverdiend moet kunnen worden.

De STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefteinventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

SUMMARY

Introduction

The application of a self-optimising control-unit for the operation of a sludge dewatering facility, during twenty-four hours per day and seven days per week, will decrease the operation costs.

A benchmark study of 1999 has shown that the costs for treatment of excess sludge and transport of treated sludge amounts to 12 – 45% of the total costs for sewage treatment. The sludge dewatering is an important, but relatively complex step in the treatment process. Because of variations in the quality of the sludge, it is not an easy task to obtain an optimal result of dewatering. To prevent operational upsets during nights and weekends "safe" process parameters are used, which do not reflect anymore than the approximate average parameters.

A self-optimising control-unit is able to follow process changes and maintain the best operational parameters throughout the operation of the sludge dewatering facility.

An inventory on the availability of control-units has learned that no suitable control-unit was available, hence has been decided in close collaboration with STOWA to design and test a suitable control-system within the framework of the STOWA project "Measuring and controlling sludge dewatering processes".

In December 1999 this part of the investigations has embarked with the main objective to design a suitable control-system for the optimisation of the sludge dewatering process. The control-system should have sufficient possibilities to be adapted to the several types of sludge and sludge dewatering facilities.

Methodology

To obtain a good picture of the specifications a control-unit should meet, a preliminary brainstorm session was held, aimed at the sludge dewatering facility of the future. A delegation of the water authorities was invited to participate in the aforementioned brainstorm session.

The main conclusion of the brainstorm session was that the existing sludge dewatering facilities are performing well, but a control-unit is needed to cope with the varying sludge conditions that occur at sewage treatment plants; especially the lack of a clear, on-line, insight in the results of the sludge dewatering process make it difficult to operate such a system without supervision on a continuous basis.

Subsequently, several different control concepts have been evaluated by a group of process control specialists, after which a proposal has been made for the design of the selected control-unit.

Together with Alfa Laval the proposed control-unit has been designed, making use of dry-solids sensors in the sludge feed and in the centrate. The selection of dry-solids sensors (brand: Dr. Lange) has been based on the results of an earlier investigation (STOWA 99-26).

Results

The set-up of the control-unit is exceedingly user-friendly. By means of a microcomputer the operator/supervisor has the possibility to input or change simply several conditions and process adjustments for the sludge dewatering process. Minimum and maximum values are put in for (among other things): Sludge flow rate, PE-dosing, dry-solids recovery, dry-solids content of the dewatered sludge and the operational parameters of the sludge dewatering equipment. Next, all relevant cost-factors are put in, such as the costs for the PE, make-up water, sludge transport, energy and cost factors for further sludge treatment and/or disposal.

The sludge dewatering facility is started-up with the input of the several operational parameters and the on-line measurement of the dry-solids content in the sludge feed. After running a certain

time with the operational parameters at set point, the control-unit automatically switches to an optimisation program. Depending of the selected program the control-unit optimises the sludge dewatering process either towards minimisation of the costs or towards a maximisation of the dry-solids content of the dewatered sludge.

The sewage treatment plant in Almere served as a location for testing of the control-unit, where one decanter centrifuge has been equipped with the control-unit and the other one without. Following a testing program under different process conditions the results of both centrifuges have been compared. The control-unit has been operating predominantly in the cost-optimisation mode, where the PE-dosing has been decreased 25% and the dry-solids content of the dewatered sludge has been kept on a constant level. Variations in the dry-solids content of the dewatered sludge occurred quite regularly before the installation of the control-unit. These variations had disappeared after the installation of the control-unit. All this has resulted in a cost benefit of € 15.- per ton dry-solids, which boils down for the sewage treatment plant Almere to a cost benefit of more than € 53,000.- per year, without the extra cost benefit due to less supervision and an improved dry-solids recovery.

Costs and Benefits

The costs for the installation of the self-optimising control-unit depend strongly on the local conditions of the sewage treatment plant. An approximation of the costs involved for hardware, software and the installation would range from € 60,000.- to € 105,000.-.

In analogy the benefits depend as strongly on the local conditions. Furthermore it is not always simple to express the benefits in an exact amount of money. The benefits can be realised, because:

- the costs of transport and the final treatment costs will decrease, due to a more constant and higher average dry-solids content of the dewatered sludge;
- the labour costs decrease, due to the optimisation of the dewatering process, taken over by the control-unit;
- a decreased usage of PE and PE make-up water;
- an improvement of the dry-solids recovery, resulting in less sludge to dewater over again.

Conclusions

Below is a list of the most important conclusions of this investigation.

- It is possible to optimise the sludge dewatering process by means of a control-unit, without the intervention of process operators, during twenty-four hours per day and seven days per week.
- In principal the set-up of the control-unit is universal, but the control concept has only been tested with one type of centrifuge from one supplier. Usage of the control-unit for other centrifuges or belt filter presses should be possible, but needs an additional investment and effort of the suppliers to match the control-unit to the specific dewatering system.
- The daisywheel concept is specially made for the fine tuning of the dewatering process in contrast to the fuzzy logic concept, which is specially made for fast changing conditions. Both should be incorporated in the control-unit to be sure that the control unit is always able to optimise the dewatering process, even when the optimisation process starts far away from the optimal dewatering settings. When the incoming sludge doesn't vary a lot in quality it is possible to optimise the process only with the daisywheel concept.
- For the implementation of this control-unit in particular, there should be a distinct correlation between the dry-solids content of the dewatered sludge and/or the friction in the centrifuge. These correlations have to be established to enable a realistic calibration of the control-unit in practice.
- The tests in Almere have been conducted using an aerobically stabilised sludge, which is difficult to dewater. In general better results with the control-unit can be expected when an-aerobically stabilised sludge is involved, due to the better dewatering properties of this sludge.

- The feasible benefits are strongly depending on local conditions. For example, the difference in calculating costs for further sludge treatment may be based on tons of sludge or based on dry-solids content, which depends on the owner of the installation.
- An important condition to assure correct operation of the control-unit is the application of a reliable dry-solids measurement in the feed sludge and the centrate or filtrate, where the installation in the centrate or filtrate is of the utmost importance.
- The sensors of Dr. Lange have operated correctly during the entire test period of more than a year. No interferences of the dry-solids measurement in the feed sludge have occurred. The variations in the quality of the feed sludge could simply be adjusted by means of the variation of the scaling factor. Maintenance kept restricted to the replacement of a wiper.
- The correct selection of the PE is very important, because of the sensitivity of the control-unit for overdosing.

A main disadvantage is the complexity of the control-unit causing the high price. However, the benefits will enable payback times of a few years.

STOWA in brief

The Institute of Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater purification installations and dam inspectors. In 2002 that includes all the country's water boards, polder and dike districts and water treatment plants, the provinces and the State

These water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative-legal and social-scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed on the basis of requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as centres of learning and consultancy bureaux, are more than welcome.

After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

All the money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some five million euro.

For telephone contact STOWA's number is: (31 (0)30-2321199.
The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.

E-mail: stowa@stowa.nl.
Website: www.stowa.nl.

INHOUD

Ten geleide
Samenvatting
STOWA in het kort
Summary
STOWA in brief

1	INLEIDING	3
1.1	Aanleiding.....	3
1.2	Doel.....	4
1.3	Leeswijzer.....	4
2	OPZET ONDERZOEKSPROGRAMMA	5
2.1	Introductie.....	5
2.2	Fasering van het totale onderzoek	5
2.3	Fasering derde projectdeel	7
2.4	Meet- en analyseprogramma.....	7
2.5	Samenwerking derden.....	8
2.5.1	<i>Waterschap Zuiderzeeland</i>	8
2.5.2	<i>Alfa Laval</i>	9
2.5.3	<i>Dr. Lange</i>	9
2.5.4	<i>Water Environmental Research Foundation</i>	9
3	DE AWZI ALMERE.....	11
3.1	Algemene beschrijving van de awzi	11
3.2	De ontwateringinstallatie	11
3.3	Slibkarakterisering	12
3.4	Gebruikte kostenparameters	13
4	ONTWERP VAN DE REGELUNIT	15
4.1	Uitgangspunten waterkwaliteitsbeheerders	15
4.2	Regeltechnische concepten.....	15
4.3	Uitgangspunten voor het ontwerp van de regelunit.....	16
4.4	De opbouw van de regelunit	17
4.5	De gebruikte regelmethode.....	18
4.6	De regelunit	19
5	ERVARINGEN MET DE REGELUNIT	21
5.1	Referentiemetingen	21
5.2	Samenvatting resultaten	21
5.3	Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van sensoren en regeling.....	25
5.4	Voorbeeld regeling kostenoptimalisatie	27
5.5	Problemen, oplossingen en gevoeligheden.....	28
6	TOEPASBAARHEID EN KOSTEN REGELUNIT	31
6.1	Toepasbaarheid	31
6.2	Kosten en baten.....	32

7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	35
7.1	Conclusies.....	35
7.2	Aanbevelingen	35
8	LITERATUUR	37

BIJLAGEN:

1. Overzicht awzi Almere
2. Samenvatting van de brainstormsessie met de waterkwaliteitsbeheerders
3. Toelichting regeltechnische concepten voor automatisering slibontwatering
4. Werking regelunit
5. Resultaten referentiemetingen

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Reductie van de kosten voor slibverwerking is sinds vele jaren al onderwerp van discussie en onderzoek. Uit een in 1999 uitgevoerde benchmarkstudie (Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer, 1999) is gebleken dat 12 tot 45 % van de totale kosten voor afvalwaterbehandeling nodig is voor de verwerking en afzet van slib.

Het op riool- of afvalwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's/awzi's) geproduceerde slib wordt na een aantal verwerkingsstappen afgevoerd naar een definitieve eindbestemming. Een belangrijke tussenstap naar de eindverwerking vormt het slibontwateringsproces. Door de wisselende kwaliteit en concentratie van het slib en het gebrek aan goede (on line) meetgegevens is het vrijwel onmogelijk om het slibontwateringsproces optimaal te bedrijven zonder het constante toezicht van een operator. Maximalisatie van het ontwateringsresultaat, te weten een zo hoog mogelijk drogestofgehalte en afscheidingsrendement bij een zo laag mogelijk poly-elektrolyt (PE)-verbruik, is dan ook alleen mogelijk met een zelfoptimaliserend systeem. Deze gedachte is de aanleiding geweest voor het starten van het STOWA-onderzoek: "Meten en regelen in de sliblijn".

Om een automatisch optimaliserend slibontwateringsproces te realiseren bleek het noodzakelijk te zijn de diverse onderdelen van het ontwateringsproces kritisch te evalueren en een eventuele ontwikkeling af te stemmen met de wensen van de waterkwaliteitsbeheerders. Uit de wensen en evaluatie kwam naar voren dat de ontwateringsapparatuur zelf goed functioneert, maar dat de betrouwbaarheid van de signalen voor het meten van het in- en uitgaande drogestofgehalte en het rest drogestofgehalte in het filtraat of centraat sterk te wensen over liet. Voor het welsla- gen van het project was het dus nodig om eerst goede drogestofmeters te selecteren.

In 1997 is voor de STOWA een inventarisatie afgerond van alle bestaande soorten drogestof- meters en regelconcepten, die tot dan toe werden toegepast in de slibverwerking (STOWA 1997-13). Uit dit onderzoek kwam naar voren dat er een grote verscheidenheid aan meetapparatuur bestaat, die qua meettechniek en kosten sterk uiteen loopt. Aangezien van de aangeboden apparaten slechts een beperkt aantal betrouwbare referenties voorhanden was, is besloten een vergelijkend praktijkonderzoek uit te voeren op twee verschillende locaties met 9 verschillende drogestofmeters. De resultaten van dit praktijkonderzoek zijn vastgelegd in een separaat STOWA rapport (STOWA 1999-26).

Uit het praktijkonderzoek met de drogestofmeters is gebleken dat met infrarood strooilightme- ting goede resultaten zijn te bereiken. Voor het vervolgonderzoek is daarom ook één van de leveranciers van een dergelijk meetapparaat benaderd om te participeren in het project.

Uit de eerder uitgevoerde inventarisatie is ook gebleken dat er geen geavanceerde regelsyste- men bestonden, die in staat waren de instellingen van de ontwateringsapparatuur te beïnvloe- den. De meest geavanceerde systemen tot dan toe waren slechts in staat het PE-debiet te sturen op basis van een drogestofmeting in het te ontwateren slib. Voor een goed werkend zelf optima- liserend regelsysteem is het echter essentieel dat de regelunit ook in staat is de instellingen van de ontwateringsapparatuur aan te passen aan veranderende omstandigheden. Doordat er geen regelsystemen voorhanden waren is in overleg met de STOWA besloten een regelsysteem te ontwerpen en te testen.

Omdat aan het ingrijpen in de besturing van ontwateringsapparatuur risico's verbonden zijn en specifieke kennis van de apparatuur vergt, is een leverancier van veel toegepaste ontwateringsapparatuur gevraagd te participeren in het project. Als leverancier van ontwateringscentrifuges heeft Alfa Laval aangeboden samen met de STOWA en DHV een regelsysteem te willen ontwikkelen. Hierbij is afgesproken dat bij het realiseren van een regelsysteem voor een open structuur moet worden gekozen, zodat het systeem eenvoudig is aan te passen aan diverse andere typen ontwateringsinstallaties (zeefbandpersen en centrifuges). Ook diende de opzet zodanig te zijn dat iedere zuiveringstechnicus met ervaring met ontwateringsapparatuur in staat moet zijn de instellingen/randvoorwaarden aan te passen.

Gedurende het project is ook regelmatig contact geweest met de Amerikaanse zuster organisatie van de STOWA, de Water Environmental Research Foundation (WERF). Hieruit is gebleken dat er ook in Amerika grote behoefte ontstaat aan een goed werkend regelconcept, maar dat er tot nog toe geen goed werkende systemen beschikbaar zijn.

1.2 Doel

Het in dit rapport beschreven onderzoek is in hoofdzaak gericht op de volgende twee vragen:

- is het mogelijk een regelsysteem te ontwerpen voor de optimalisatie van het ontwateringsproces, waarbij er voldoende mogelijkheden zijn om het systeem aan te passen aan de verschillende slibsoorten en slibontwateringsinstallaties;
- is het regelsysteem in staat variaties in concentratie en kwaliteit van het slib voldoende adequaat op te vangen.

1.3 Leeswijzer

De resultaten van het onderzoek zijn samengevat in de voorliggende rapportage, die als volgt is opgebouwd. In hoofdstuk 2 is de opzet van het onderzoeksprogramma uiteengezet, inclusief de relatie met de eerdere delen van het onderzoek. Ook is de toegepaste fasering, het meet- en analyse programma en de samenwerking met derden toegelicht. In hoofdstuk 3 is een beschrijving opgenomen van de awzi Almere. In hoofdstuk 4 zijn de uitgangspunten en overwegingen voor het ontwerp van de regelunit samengevat. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten die zijn bereikt in de testperiode met de centrifuges. Ook is hier ingegaan op de betrouwbaarheid en gevoeligheid van de gebruikte apparatuur en zijn een aantal voorbeelden gepresenteerd. In hoofdstuk 6 is in gegaan op de toepasbaarheid van de regelunit voor andere ontwateringsinstallaties en de benodigde kosten voor de aanschaf van een regelunit. Tenslotte zijn in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

2 OPZET ONDERZOEKSPROGRAMMA

2.1 Introductie

Het project kent een lange voorgeschiedenis. In deze paragraaf is een kort overzicht gegeven van de historie van het totale project en zijn de resultaten van de reeds uitgevoerde onderzoeken samengevat.

Sinds begin jaren negentig heeft een sterke ontwikkeling plaatsgevonden op het gebied van mechanische indikking en ontwatering van slib. Door het Besluit Overige Organische Meststoffen (BOOM) was afzet van slib in de landbouw nauwelijks meer mogelijk. Dit heeft ervoor gezorgd dat andere slibverwerkingsmethoden noodzakelijk werden met als gevolg een aanzienlijk stijging van de slibverwerkingskosten. Onder meer op basis van voorgaande zijn veel schappen de inzet van personeel en middelen kritischer gaan bekijken. In plaats van processen in de sliblijn alleen te bedrijven tijdens werkuren ontstond de behoefte om deze processen continu te bedrijven, waardoor kleinere ontwateringsinstallaties konden worden aangeschaft. Het (semi)continu ontwateren met minder personeel kan een aanzienlijke besparing opleveren ten aanzien van investerings- en personeelskosten. Voorwaarde is dan wel dat de ontwatering zo optimaal mogelijk verloopt.

Variaties in concentratie en kwaliteit van het te ontwateren slib zorgen er echter voor dat een optimaal ontwateringsresultaat niet eenvoudig te realiseren is. Om zonder storingen 's nacht en de weekenden te kunnen draaien wordt vaak een 'veilige' instelling toegepast. Dit wil zeggen dat een relatief hoge PE-dosering in combinatie met een relatief lage druk op het slib wordt toegepast. Dit resulteert over het algemeen in een lager drogestofgehalte van het ontwaterde slib en dus in hogere ontwateringskosten. Bij een aanvankelijk optimale draaiende centrifuge zal een toenemende slibconcentratie bij een gelijkblijvend PE-debiet leiden tot verslechtering van het ontwateringsresultaat en dus een toename van de ontwateringskosten.

Om het slibontwateringsproces te optimaliseren is naast goede meet- en ontwateringsapparatuur een regelunit nodig die het proces bewaakt en indien nodig bijstuurt. Om een goed overzicht te krijgen van de beschikbare apparatuur en regelingen is het STOWA meet- en regelproject gestart. De volgende paragrafen geven aan op welke wijze het project is gefaseerd en uitgevoerd.

2.2 Fasering van het totale onderzoek

Het oorspronkelijke project omvatte 3 delen, te weten:

1. inventarisatie van apparatuur en regelkringen;
2. praktijktest drogestofmeters;
3. test van een geautomatiseerde slibontwateringsinstallatie.

Deel 1: Inventarisatie

Het onderzoek dat in 1997 is afgerond, omvatte een literatuurrecherche en een schriftelijke enquête bij leveranciers van meet- en regelapparatuur in de Benelux, Duitsland en Engeland. Tevens zijn middels een telefonische enquête praktijkervaringen geïnventariseerd. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat:

- er destijds 32 verschillende apparaten werden aangeboden voor het meten van het drogestofgehalte van het te ontwateren slib en/of filtraat/centraat;

- er geen meters zijn voor het meten van het drogestofgehalte van ontwaterd slib;
- er geen meters zijn voor het meten van PE-concentraties;
- er niet/nauwelijks betrouwbare referenties beschikbaar zijn van meetapparatuur;
- de meeste meetprincipes werken op weerkaatsing en/of adsorptie van infrarood(IR)-licht;
- bij het toepassen van metingen met behulp van (IR)-licht, gasbellen een groot probleem opleveren.

Deel 2: Praktijktest drogestofmeters

Teneinde voldoende inzicht te verkrijgen in de technische en economische toepasbaarheid van de apparatuur is een praktijktest uitgevoerd op twee locaties met 9 verschillende drogestofmeters voor het meten van de drogestofconcentratie in het ingaande slib en/of het centraat of filtraat. Deze meters van verschillende fabrikaten verschilden zowel in meetprincipe als prijs. Op beide onderzoekslocaties, Katwijk (ZH) en Hilversum-Oost, zijn de meters ingebouwd in de sliblijn en gedurende enkele weken intensief beproefd. Het onderzoek richtte zich met name op de volgende twee aspecten:

- het verkrijgen van representatieve en reproduceerbare meetresultaten;
- vaststellen van de geschiktheid van de meetapparatuur bij opname in een regelkring.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek (STOWA 99-26) waren als volgt:

- slechts enkele meters bleken in staat te zijn representatieve en reproduceerbare meetresultaten te genereren bij een ongeconditioneerd (zonder vlokhelpmiddel) ingaand slib, waarbij de testen zijn uitgevoerd met zowel aëroob gestabiliseerd als uitgegist slib;
- de beste resultaten zijn verkregen met meters, die de concentratie meten met IR-licht onder een hoek (Dr. Lange) of via een meerpuntsmeting (Endress+Hauser);
- kalibratie met het meest voorkomende slib is aan te bevelen en bij sterk in kwaliteit wisselende slibsoorten wordt aanbevolen om regelmatig opnieuw te kalibreren;
- centraat of filtraat is geen geschikt medium om het zwevende stofgehalte in te meten, wel kan meting in dit medium fungeren als signaal voor verstoring van het ontwateringsproces;
- het opnemen van meetapparatuur in een regelkring ten behoeve van een automatische bedrijfsvoering is mogelijk met een aantal van de geteste apparaten in de ingaande slibstroom.

Deel 3: Ontwikkelen en testen van een geautomatiseerde slibontwateringsinstallatie

In het oorspronkelijke projectplan was voorzien in een test met een geautomatiseerde slibontwateringsinstallatie, bestaande uit een ontwateringsapparaat gekoppeld aan een bestaande regelkring in combinatie met betrouwbare drogestofsensoren. Gaandeweg fase 2 van het project werd duidelijk dat het derde deel opnieuw gedefinieerd moest worden, omdat er geen bestaande regelkringen beschikbaar waren voor het slibontwateringsproces.

In december 1999 is het (vernieuwde) derde deel van het project gestart met als primaire doel een regelsysteem te ontwerpen voor de optimalisatie van het ontwateringsproces, zodanig dat er voldoende mogelijkheden zijn om het systeem aan te passen aan de verschillende slibsoorten en ontwateringsinstallaties. De fasering en activiteiten van dit projectdeel zijn in de volgende paragraaf nader toegelicht.

2.3 Fasering derde projectdeel

Bij de fasering van het derde projectdeel is een onderscheid gemaakt in de volgende drie activiteiten, te weten ontwikkelen, realiseren en testen van de regelunit. Onderstaand is kort samengevat welke activiteiten binnen de verschillende fasen zijn uitgevoerd.

Fase 1: Ontwikkeling van de regelunit

In deze fase zijn de uitgangspunten en mogelijke concepten voor de regelunit geïnventariseerd en is aan de hand van de uitkomsten een regelunit ontwikkeld, waarbij de volgende onderverdeling is toegepast:

- 1a vaststellen van de randvoorwaarden voor de regelunit vanuit het oogpunt van de waterkwaliteitsbeheerders;
- 1b vaststellen van de ontwerpcriteria en regelconcepten door regeltechnici;
- 1c ontwikkelen van de regelunit in samenwerking met Alfa Laval.

Fase 2: Realisatie van de regelunit

Om te bewijzen dat de in fase 1 ontwikkelde regelunit werkte is de regelunit geïnstalleerd op een awzi en waar nodig aangepast. Deze fase is als volgt onderverdeeld:

- 2a installeren, testen en aanpassen van de regelunit op een awzi;
- 2b demonstreren van de regelunit en vaststellen van het testprogramma voor een duurttest.

Fase 3: Duurttest van de regelunit

In fase 2b is een onderzoeksprogramma opgezet om de werking van de regelunit in praktijk te testen. Het uitvoeren van het testprogramma in vergelijking met een referentiecentrifuge is tijdens fase 3 gerealiseerd, waarbij de onderstaande activiteiten zijn onderscheiden:

1. Uitvoeren referentiemeting en installeren en testen van de regelunit

- Doel: - het vaststellen van de eventuele verschillen tussen de beide centrifuges;
- het plaatsen van een regelunit bij één centrifuge;
- het testen of de regelunit naar behoren werkt.

2. Duurproef, waarbij beide centrifuges hetzelfde slib te verwerken krijgen.

- Doel: - het beoordelen van de werking van de centrifuge met de regelunit ten opzichte van de centrifuge zonder regelunit.
centrifuges zullen in deze periode regelmatig tegelijkertijd bedreven worden. Eén centrifuge wordt gestuurd door de regelunit, terwijl de andere centrifuge wordt gestuurd door een bedieningstechnicus.

3. Duurproef, waarbij de regelunit wordt getest indien het ingaande drogestofgehalte sterk varieert

- Doel: - het beoordelen van de werking van de centrifuge met regelunit indien het drogestofgehalte van het te ontwateren slib momentaan wordt veranderd door het te ontwateren slib te verdunnen met water.

4. Duurproef, waarbij de regelunit wordt getest indien het ingaande slib in kwaliteit varieert

- Doel: - het beoordelen van de werking van de centrifuge met regelunit indien de kwaliteit van het te ontwateren slib momentaan wordt veranderd door de mengverhouding van de twee slibsoorten (Zeewolde en Almere) aan te passen of door het bijpompen van een ander slib.

2.4 Meet- en analyseprogramma

Voorafgaand aan de vergelijkende testen is de werking van beide centrifuges op de awzi Almere met elkaar vergeleken. Deze referentiemeting moest uitsluitsel geven in welke mate de

centrifuges anders reageerden bij gelijke instellingen. Vrijwel altijd is er namelijk een (klein) verschil tussen twee zogenaamd gelijke centrifuges. Naast het verschil in inwendige afmetingen van de centrifuges kan er een verschil zijn in leidinglengte tussen de centrifuge en de slib- en/of PE-tank (andere menging) en het verschil in onttrekkingspunt uit een buffer/mengtank (ander slib) e.d. Het eventueel tijdens de referentiemeting gemeten verschil in ontwateringsresultaat kan gebuikt worden om de tijdens de optimalisatiemetingen gemeten resultaten goed te interpreteren.

Tijdens de testen op de awzi Almere zijn alle in- en uitgaande stromen (ingaaend slib, ontwaterd slib, centraat en PE) van de centrifuges bemonsterd en de instellingen genoteerd.

In fase 2 van het onderzoeksprogramma diende de centrifuge met regelunit getest te worden. Met name de werking van de drogestofsensoren en de door de regelunit berekende waarde van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib diende geverifieerd te worden (juli t/m november 2001). In fase 3 zijn tijdens de testen regelmatig monsters van de in- en uitgaande stromen van de centrifuges genomen, zodat de resultaten van beide centrifuges onderling vergeleken konden worden en om de werking van de sensoren en berekeningen te testen (december 2001 t/m augustus 2002).

De centrifuge gekoppeld aan de regelunit bevat een datalogger, waarbij iedere 30 seconde de gegevens van de belangrijkste parameters worden opgeslagen. Van de andere centrifuge (zonder regelunit) zijn de gegevens tijdens de testen genoteerd en berekend. Deze gegevens zijn:

- ingaand slib debiet (m^3/h);
- drogestofgehalte van het ingaande slib (%);
- drogestofgehalte van het ontwaterde slib (%);
- drogestofgehalte in het centraat (%);
- PE-dosering (kg actief PE/kg DS);
- koppel van de centrifuge trommel (kNm);
- verschiltoerental tussen trommel en schroef (rpm);
- totale ontwateringskosten (€/t DS).

Indien gewenst kunnen de genoemde eenheden en/of parameters worden gewijzigd.

Alle monsters van de in- en uitgaande stromen van de centrifuge zijn volgens de NEN-normen geanalyseerd. De resultaten van de on-line drogestofmeter in het ingaande slib zijn vrijwel dagelijks gecontroleerd met behulp van steekmonsters, die op het lab van de awzi en/of het lab van DHV water BV zijn geanalyseerd. De on-line drogestofmeter in het centraat is met name gecontroleerd aan de hand van labanalyses tijdens de testdagen.

2.5 Samenwerking derden

2.5.1 Waterschap Zuiderzeeland

Voor de keuze van de onderzoekslocatie waren drie aspecten van groot belang, te weten:

- de beschikbaarheid van twee identieke centrifuges, die onafhankelijk van elkaar kunnen worden bedreven op hetzelfde slib en waarvan één centrifuge eenvoudig was om te bouwen naar een systeem met een zelfoptimaliserende regelunit;
- de aanwezigheid van voldoende slib van een redelijke kwaliteit en de mogelijkheid de kwaliteit tijdens de testen te variëren;
- de volledige medewerking van het personeel van de onderzoekslocatie.

Gezien de medewerking van Alfa Laval was het tevens noodzakelijk dat de testlocatie over Alfa Laval centrifuges beschikte. Na een evaluatie van diverse locaties kwam de awzi Almere als meest geschikte naar voren, vanwege de volgende aspecten:

- er waren twee relatief nieuwe centrifuges (najaar 1999) met een vrijwel gelijk aantal draaiuren;
- de aansluiting van een regelunit was eenvoudig, omdat de awzi al geschikt was gemaakt voor eventuele automatisering;
- de awzi beschikte over voldoende reservecapaciteit om bij eventuele calamiteiten de surplusslibproductie te kunnen wegwerken (er is een buffertank aanwezig en in principe hoeft maar één van de centrifuges te draaien om de dagelijkse slibproductie weg te draaien);
- het waterschap Zuiderzeeland was bereid de slibontwatering van de awzi Almere ter beschikking te stellen als testlocatie;
- de medewerkers op de awzi waren bereid om op alle fronten te assisteren bij het uitvoeren van het project.

2.5.2 Alfa Laval

Vanwege de relatief complexe ontwaterbaarheid met centrifuges ten opzichte van zeefbandpersen is gekozen voor de benadering van centrifugeleveranciers om te participeren in het project. Filterpersen zijn, gezien het geringe aantal voor slibontwateringsprocessen op rwzi's in Nederland en de batchgewijze procesvoering, buiten beschouwing gelaten. In eerste instantie is Alfa Laval benaderd, omdat dit bedrijf het grootste aantal centrifuges heeft geleverd aan rwzi's bij waterschappen in Nederland. Aangezien Alfa Laval wilde meewerken is in overleg met de STOWA besloten Alfa Laval te laten participeren in het project. De rol van Alfa Laval was om onder begeleiding van DHV een regelaar te bedenken en de benodigde hardware en software hiervoor te leveren.

2.5.3 Dr. Lange

Essentieel voor het onderzoek is een betrouwbare meting van het drogestofgehalte in het ingaande slib en een realistische waarde van de centraatkwaliteit. Uit eerder onderzoek (STOWA 1999-26) was al gebleken dat de Dr. Lange drogestofsensoren voldeden en dus is de medewerking gevraagd van Dr. Lange Nederland. Voor de duur van het project heeft Dr. Lange twee sensoren plus toebehoren (aansluitende en inbouwarmatuur) en ondersteuning (installatie en kalibratie) geleverd, één sensor voor het ingaande drogestof en één sensor voor het centraat.

2.5.4 Water Environmental Research Foundation

Bij de start van het STOWA project bleek de WERF in Amerika ook begonnen te zijn met de uitvoering van een onderzoeksprogramma om enkele bestaande (simpele) regelaars te testen op een groot aantal locaties. Het was de bedoeling om de resultaten van dit onderzoek te betrekken in het STOWA onderzoek en vice versa. Doordat de resultaten van het Amerikaanse onderzoek tegenvielen is tijdens het onderzoek het Amerikaanse programma aangepast en is de nadruk komen te liggen op de methode om de juiste apparatuur te kiezen. De uitkomsten van dit onderzoek zijn verder niet meegenomen.

3 DE AWZI ALMERE

3.1 Algemene beschrijving van de awzi

Het afvalwater van de gemeente Almere wordt deels via een gescheiden rioolstelsel (oudere stadsdelen) en deels via verbeterd gescheiden rioolstelsels (nieuwere delen van de stad) aangevoerd. Via persleidingen komt dit water op de awzi aan, waarbij het via een harkrooster, selector en anaërobe tank over drie beluchtingtanks verdeeld wordt. Daarna wordt het slib gescheiden van het water in de nabezinktanks.

Het aëroob gestabiliseerde surplusslib wordt via de indikkers naar een beluchte homogenisatietank gepompt. Deze homogenisatietank heeft een volume van 200 m³, maar wordt op een vullingsniveau van 40 % gehouden door FO-gestuurde ingedikt slibpompen. Verder is er nog een buffertank aanwezig voor extern slib van 80 m³. Met een in te stellen debiet wordt extern slib uit deze buffertank in de homogenisatietank gepompt. Het te ontwateren slib wordt onttrokken uit de homogenisatietank en met centrifuges ontwaterd. In bijlage 1 is een overzichtstekening van de awzi met de diverse procesonderdelen opgenomen.

De awzi is op basis van i.e's (TZV 136) voor 87 % belast. Enkele karakteristieke parameters over het te verwerken afvalwater en de daarbij geproduceerde hoeveelheid slib zijn in tabel 1 weergegeven. Het betreft hier de gemiddelde gegevens over het jaar 2001, dus inclusief het eerste deel van de onderzoeksperiode (fase 2).

Tabel 1 Enkele karakteristieke parameters van de awzi Almere in het jaar 2001

Parameter	Eenheid	Waarde
Ontwerpdebiet	m ³ /d	27.500
Debiet	m ³ /d	27.827
Aandeel industrieel afvalwater	% van totaal	16
Ontwerp belasting volgens TZV136	i.e.	272.183
Belasting volgens TZV136	i.e.	235.902
Slibproductie Almere	ton ds/jr	2.942
Extern slib aanvoer	ton ds/jr	603
Gemiddeld drogestofgehalte ingedikt slib	%	2,7
Gemiddeld drogestofgehalte ontwaterd slib	%	20,2
Specifiek PE-verbruik	g actief PE/kg ds	10,7

3.2 De ontwateringinstallatie

Op de awzi Almere zijn twee identieke centrifuges aanwezig om de aangeboden hoeveelheid slib te ontwateren. Gezien de hoeveelheid slib draait er normalerwijze slechts één centrifuge, alleen bij het wegwerken van extra slibaanvoer en tijdens de uitvoering van het testprogramma zijn beide centrifuges gelijktijdig bedreven. In tabel 2 zijn enkele specifieke kenmerken van de centrifuges opgesomd. Eén van de centrifuges is gedurende het onderzoek voorzien van meet-apparatuur en de regelunit. De andere centrifuge heeft gefungeerd als referentiecentrifuge zonder meet- en regelapparatuur. Het was de bedoeling dat referentiecentrifuge gedurende de testperiode bedreven zou worden door het bedienend personeel van de awzi op een wijze zoals dit voor de introductie van de regelunit verliep (dus zonder optimalisatie aan de hand van de werking van de centrifuge met regelunit).

De voor de slibontwatering benodigde PE-oplossing wordt in één installatie aangemaakt. Het voordeel hiervan is dat beide centrifuges met exact dezelfde PE-oplossing werken. In tabel 3 staan enkele specifieke kenmerken van deze installatie opgesomd. Met de 2 aanmaakunits wordt de PE-oplossing in een vaste concentratie aangemaakt, waarbij het aan- en afschakelen op basis gaat van een niveauschakeling in de voorraadtank voor het aangemaakte PE.

Tabel 2 Centrifugegegevens

Parameter	Eenheid	Waarde/range/omschrijving
– type centrifuge	-	Alfa Laval DSNX 4850
– nominale doorzet	m ³ /h	18
– maximale doorzet	m ³ /h	25
– maximale doorzet	kg ds/h	750
– diameter trommel (inwendig)	mm	480
– lengte van de trommel	mm	2.016
– lengte cilindrisch deel	mm	1.354
– conushoek	°	10
– maximaal toerental	tpm	3.400
– ponddiepte neutraal /tijdens testen	mm/mm	132 / 126

Tabel 3 PE-installatie gegevens

Parameter	Eenheid	Waarde/range/omschrijving
– voorraad tank voor opslag van ruw PE	m ³	15
– aantal aanmaakunits	-	2
– type PE	-	Cytec SD 2083
– activiteit PE	%	ca. 42
– ruw PE-pomp	l/h	0,5 - 17
– aanmaakconcentratie	%	0,266 als actief PE
– type aanmaakwater	-	bedrijfswater (=gebr. drinkwater)
– inhoud voorraadtank PE-oplossing	m ³	1,5
– debiet van de PE-doseerpomp	m ³ /h	0,4 - 3,2
– verdunningswater	-	niet toegepast

3.3 Slibkarakterisering

Met de ontwateringcentrifuges op de awzi Almere wordt het aëroob gestabiliseerde slib van Almere en Zeewolde ontwaterd. In tabel 4 zijn enkele eigenschappen van de verschillende slibsoorten opgesomd. Het vooraf ingedikte (aëroob gestabiliseerde) slib van de awzi Zeewolde wordt normaliter vanuit de slibbuffertank in de homogenisatietank gepompt. In deze (beluchte) homogenisatietank wordt het slib van Zeewolde gemengd met het slib van de twee indikkers van de awzi Almere. In een aantal situaties (bijvoorbeeld buffertank vol slib) is het slib van Zeewolde direct in de aëratietank van de awzi Almere gepompt.

Tabel 4 Eigenschappen te ontwateren slib (aëroob gestabiliseerd)

Parameter	Eenheid	slib Almere	ingedikt slib Zeewolde	mengslib
– SVI	ml/g	115	110	nvt
– gemiddelde slibaanvoer	m ³ /h	16	1,5	18
– range slibaanvoer	m ³ /h	12 - 25	0-3	12-28
– gemiddeld DS-gehalte ingedikt slib	%	2,6	7,0	3,0
– gemiddeld organisch stofgehalte	% van DS	76	75	75

3.4 Gebruikte kostenparameters

Voor het berekenen van de kosten van de slibverwerking is uitgegaan van de in tabel 5 genoemde kostenbepalende factoren. Ook is bij de kostenberekening het afscheidingsrendement verdisconteerd. Hierbij is er van uitgegaan dat het niet afgescheiden deel opnieuw ontwaterd moet worden en dus is het niet afgescheiden deel vermenigvuldigd met de ontwateringskosten (PE, aanmaakwater en energie) en opgeteld bij het totaal.

Tabel 5 Kosten bepalende factoren (inclusief BTW)

	Eenheid	prijs
Slibafzetkosten	€/ton DS	325,-
slibafzetkosten bij 20 % drogestof	€/ton slib	65,-
slibtransport	€/ton slib	8,30
PE-kosten	€/kg actief PE	4,87
PE-aanmaakwaterkosten	€/m ³	1,36
energie kosten (dag/nacht)	€/kWh	0,08/0,07

4 ONTWERP VAN DE REGELUNIT

4.1 Uitgangspunten waterkwaliteitsbeheerders

Direct na de start van het project op 19 december 1999 is een brainstormsessie gehouden met een afvaardiging van de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders, te weten:

- DWR;
- Hoogheemraadschap West-Brabant;
- Waterschap Groot Salland;
- Waterschap Veluwe;
- Zuiveringschap Limburg.

Het doel van de brainstormsessie was de randvoorwaarden vast te stellen van een regelunit voor de automatisering van de slibontwatering. Een samenvatting van de belangrijkste opmerkingen en conclusies uit de brainstormsessie is in bijlage 2 opgenomen. Op basis van de uitkomsten zijn de wensen voor de slibontwateringsinstallatie van de toekomst gedefinieerd. Deze zijn hieronder kort samengevat.

- Slibontwatering blijft de komende jaren een zorgenkind, want nieuwe technieken zijn op korte termijn nog niet beschikbaar;
- De huidige apparatuur is niet de beperkende factor, maar het anticiperen op variaties in slibkwantiteit en kwaliteit functioneert niet optimaal;
- Voor diverse procesoptimalisaties is een constantere slibkwaliteit nodig of een regeling die in staat is met de variaties in slibkwaliteit om te gaan;
- De hoeveelheid personeel op een awzi zal in de toekomst (nog verder) afnemen doordat de automatisering van processen steeds verder gaat. De uit te voeren werkzaamheden zullen deels door mobiele onderhoudsploegen worden uitgevoerd. Hierbij hebben zij snel een overzicht nodig van de status van een proces om adequaat te kunnen ingrijpen;
- Het ontwateringsproces dient zelf regulerend en/of eventueel zelflerend te zijn, zodat het zichzelf aanpast aan gewijzigde omstandigheden;
- Mbv automatisch regelende slibontwateringsinstallaties is het mogelijk optimaal te bedrijven kan het nodig zijn om de organisatiestructuur van de Waterschappen te veranderen (bijvoorbeeld sturen op afstand en/of uitbesteden bedrijfsvoering);
- De toekomstige gegevensregistratie dient direct beschikbaar te zijn en in ieder geval de volgende componenten te bevatten:
 - registratie van o.a. debieten, drogestofgehalten, PE-doseringen etc.;
 - registratie van kosten voor PE, energie, water, slibtransport en eindverwerking;
 - betrouwbare trendcurves om eventuele problemen goed te kunnen analyseren.

4.2 Regeltechnische concepten

Na een inventarisatie van de wensen van de waterkwaliteitsbeheerders is op 22 februari 2000 een brainstormsessie gehouden met een afvaardiging van de Nederlandse instituten en bedrijven die zich bezighouden met regeltechniek. Het doel van de brainstormsessie was het vaststellen van de (on)mogelijkheden van een regelunit, die voldoet aan de wensen van de waterkwaliteitsbeheerders voor de automatisering van de slibontwatering. Aan de brainstormsessie hebben naast DHV Water en STOWA de volgende bedrijven/instellingen meegedaan:

- ABB
- Alfa Laval
- Technische Universiteit Delft;
- Technische Universiteit Eindhoven;

Tijdens de brainstormsessie is uitgebreid gediscussieerd over de vele aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij het realiseren van een 'universele regelunit voor het slibontwateringsproces'. Een opsomming van de besproken onderwerpen en een toelichting op de onderwerpen is opgenomen in bijlage 3.

4.3 Uitgangspunten voor het ontwerp van de regelunit

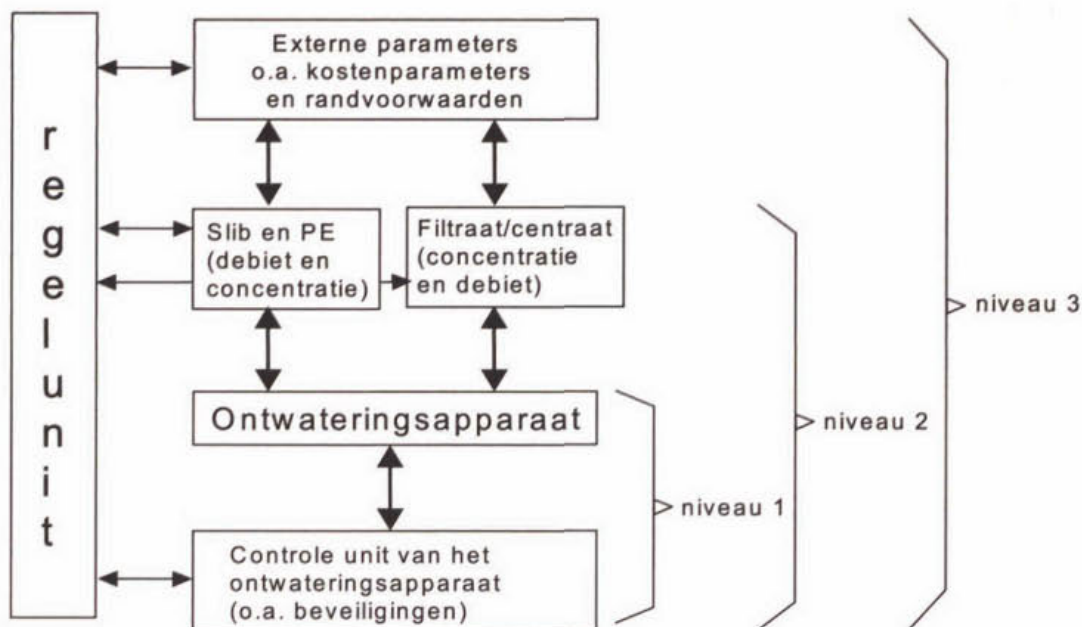
In de voorgaande twee paragrafen is beschreven wat de regelunit moet kunnen en wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van de diverse regelaars en strategieën. In principe zorgt de ideale regelunit voor een stabiel en betrouwbaar ontwateringsproces tegen minimale kosten en zonder ingrijpen van een bedieningstechnicus. Verder geldt voor een dergelijke unit dat die in staat moet zijn om:

- op een simpele manier te kunnen worden overgezet van handbediening naar automatisch bedrijf;
- overweg te kunnen met sensoren die veranderingen (concentratie, debiet) kunnen constateren in slib, PE en centraat of filtraat;
- de PE- en slibdebieten te reguleren;
- de machine-instellingen (koppel en verschildtoerental bij een centrifuge en bandsnelheid en druk bij een zeefbandpers) te wijzigen binnen nader vast te stellen grenzen;
- de verzamelde en berekende gegevens overzichtelijk te presenteren en toegankelijk te maken voor controle op afstand;
- volgens een aantal simpel in te stellen optimalisatieprogramma's te functioneren (o.a. minimalisatie kosten, zo hoog mogelijk drogestofgehalte ontwaterd slib en schoon filtraat of centraat)
- nieuwe signalen te laten aankoppelen en in te passen;
- te communiceren met de standaard programmatuur van de rwzi's.

Voor de plaats van de regelunit in het ontwateringsproces is nagegaan op welke niveaus de regelunit moet kunnen ingrijpen in het proces. Er kunnen in principe drie niveaus worden onderscheiden. Deze zijn in afbeelding 1 schematisch weergegeven.

- Niveau 1: Directe controle en besturing van het ontwateringsapparaat.
Dit deel wordt meestal geleverd door de leverancier van het ontwateringsapparaat en regelt de primaire besturing en beveiliging van het apparaat zelf. De regelunit dient te kunnen communiceren met deze primaire besturing of deze besturing adequaat te kunnen overnemen.
- Niveau 2: Controle en besturing van de periferie rondom het ontwateringsapparaat.
Dit zijn de pompen en de sensoren rondom het ontwateringsapparaat en de gegevens van debietmeters en dergelijke.
- Niveau 3: Externe parameters
Dit is het deel van de regelunit waar de bedieningstechnici de randvoorwaarden kunnen invoeren in het systeem, inclusief de parameters voor de kostenoptimalisatie.

Gezien de niveaus waarop de regelunit moet kunnen communiceren, is een plaatsing in de nabijheid van de ontwateringsapparatuur het meest logisch. De gebruikersinterface van niveau 3 kan vanaf afstand worden benaderd.



Afbeelding 1 Niveau's van de regelunit

4.4 De opbouw van de regelunit

Voor het ontwikkelen van de regelunit is in eerste instantie gekozen voor het gebruik van een 'Windows NT designkit' vanwege de uitbreidingsmogelijkheden en de relatief eenvoudige werking. De software van het regelprogramma zelf is geschreven in Delphi 4.

Grofweg bestaat de regelunit uit een PC met het besturingsprogramma en een aantal Input/Output (I/O) poorten voor de communicatie met de verschillende onderdelen van de ontwateringsinstallatie. Afhankelijk van de gewenste besturing kan het aantal poorten eenvoudig worden uitgebreid. Op de awzi Almere zijn vooralsnog de volgende onderdelen aangesloten op de regelunit:

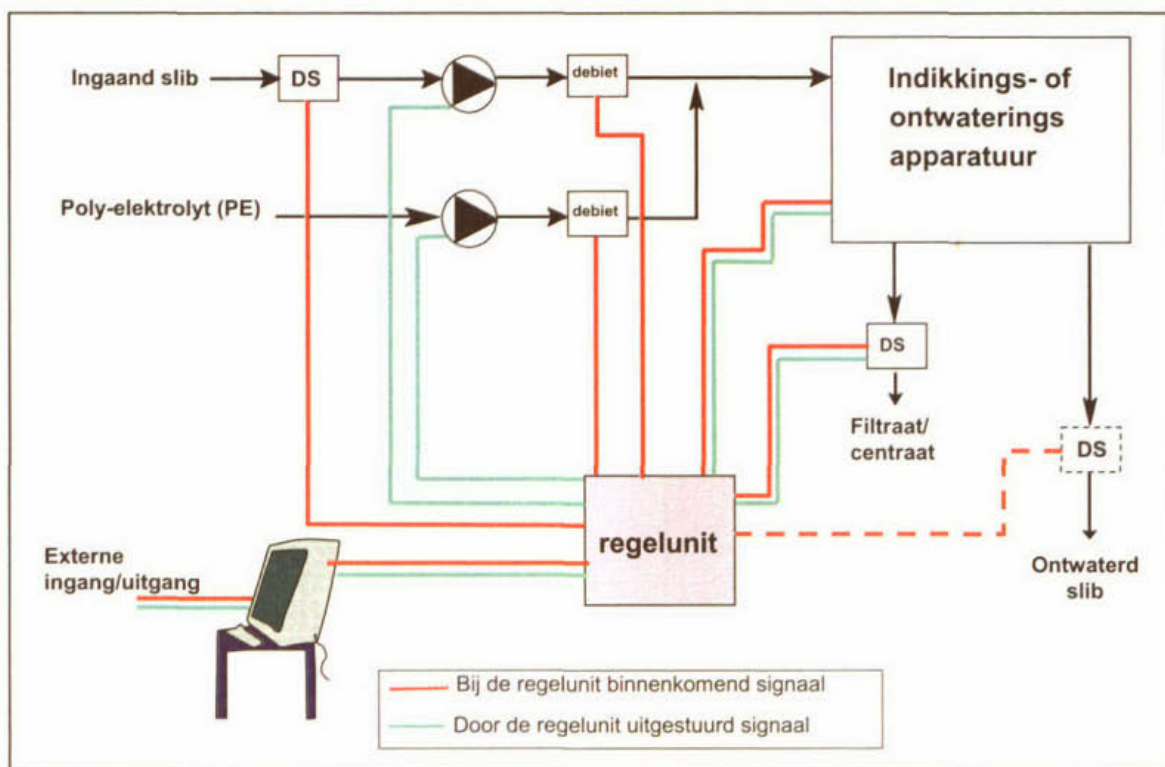
- centrifuge middels een directe koppeling met de ABC controller, waarbij de regelunit het verschiltoerental en het koppel kan wijzigen;
- slibvoedingspomp;
- slibdebietmeter;
- slibconcentratiemeter;
- PE-doseerpomp;
- PE-debietmeter;
- centraatconcentratiemeter;
- drain- en spoelwatervoorziening voor reiniging van het centraatmetervat.

In afbeelding 2 is de inpassing van de regelunit in de ontwateringsinstallatie grafisch weergegeven. De in de afbeelding geprojecteerde drogestofmeting (inclusief onderbroken lijn met regelunit) van het ontwaterde slib bestaat nog niet. Het drogestofgehalte van het ontwaterde slib wordt onder andere berekend op basis van de relatie tussen het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en de andere procesparameters (bijvoorbeeld koppel, vullingsgraad van de centrifuge e.d.) en is geijkt aan de hand van analyseresultaten van een groot aantal genomen monsters. De relatie tussen het drogestofgehalte en de andere parameters dient voor elke locatie opnieuw te worden uitgezocht.

Om de drogestofconcentratiemeter in het centraat goed te laten werken is een speciaal ontwikkeld vat nodig waar de sensor in kan worden geplaatst en dat is voorzien van een drain- en spoelinrichting, die door de regelunit kan worden aangestuurd.

De regelunit zelf is een losse parallel aan de bestaande besturing van de awzi geschakelde unit, zodat door middel van een schakelaar tussen beide besturingssystemen kan worden gekozen. Indien de ontwateringsinstallatie wordt bestuurd door het bestaande systeem van de awzi dan werkt de regelunit als datalogger ('monitormode'). Als de ontwateringsinstallatie wordt bestuurd door de regelunit blijven alarmeringen van centrifuge, pompen e.d actief via het systeem van de awzi.

Het besturingsprogramma kent een groot aantal opties en mogelijkheden. In het volgende hoofdstuk is aan de hand van een aantal voorbeelden uitgelegd hoe het besturingsprogramma werkt en wat de mogelijkheden zijn.



Afbeelding 2 Schematische weergave van de regelunit

4.5 De gebruikte regelmethode

Het door Alfa Laval geschreven softwareprogramma is modulair opgebouwd en bevat drie typen regelingen, een model gebaseerde regelaar, een regelaar op basis van evenwichten en een fuzzy regelaar (zie ook bijlage 3). In deze paragraaf is aan de hand van enkele voorbeelden een korte toelichting gegeven op de gebruikte regelmethodes voor regelen van het slibontwateringsproces met behulp van de ontwikkelde regelunit.

- Regeling op basis van een model met 'black en white boxes';
Hierbij staan in de black boxes de relaties tussen centrifugeparameters, het drogestofgehalte en de PE-dosering en in de white boxes de massabalansen en de regelstrategieën. Via eenvoudig op te roepen tabellen kunnen de relaties en de prioriteit van de gewenste regelkringen worden aangepast om het model aan te passen aan de werkelijkheid.
Een voorbeeld hiervan is de relatie tussen koppel en drogestofgehalte van het ontwaterde slib bij een PE-dosering, die hoog genoeg is om een goede scheiding tussen water en slib te

krijgen in de centrifuge. Voor de awzi Almere is met behulp van historische gegevens en referentiemetingen bepaald dat het drogestofgehalte van het ontwaterde slib binnen bepaalde grenzen kan worden beschreven met een relatie van het type $x=y+az$, waarbij z het koppel van de centrifuge is en y en a constanten zijn.

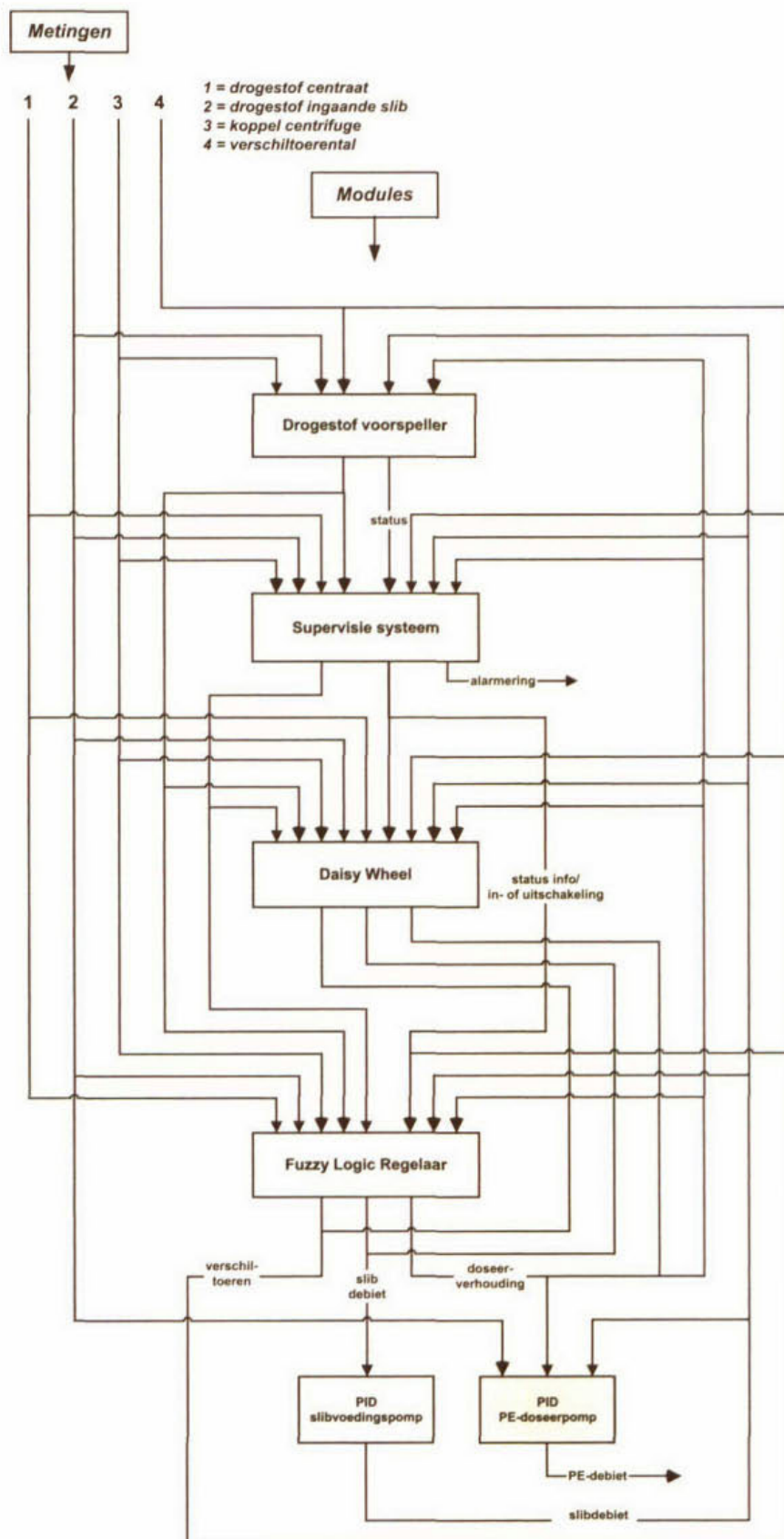
- Regeling op basis van evenwichten;
Deze regelaar is het daisywheelpincipe genoemd. Afhankelijk van het aantal te variëren parameters dat wordt opgegeven en de programmeerkeuze (bijvoorbeeld kostenoptimalisatie) zal het daisywheelpincipe starten met een parameter (bijvoorbeeld PE-dosering) te veranderen. Na een in te stellen wachttijd zal het resultaat vergeleken worden met het resultaat van voor de verandering. Als de totale slibverwerkingskosten na de verandering meer dan een in te stellen percentage lager zijn dan voor de verandering, is het resultaat positief en mag het daisywheelpincipe een volgend stapje doen. Is het resultaat negatief dan moet het daisywheelpincipe een stapje terug doen en een andere parameter aanpassen (bijvoorbeeld koppel van de centrifuge) of een kleiner stapje maken. Het aantal te beïnvloeden parameters, het aantal stapjes en de grootte van de stapjes zijn allemaal in te stellen.
Een nadeel van het daisywheelpincipe is dat er geen grote stappen gemaakt kunnen worden. Bij een plotselinge verslechtering van de ontwatering als gevolg van een verandering van de slibkwaliteit heeft het daisywheelpincipe mogelijk veel (kleine) stapjes nodig om het resultaat weer optimaal te krijgen. Gedurende deze periode zal het ontwateringsresultaat niet optimaal zijn en de verwerkingskosten navenant hoger.
- Regeling op basis van het fuzzy logic principe;
Om grotere stappen te kunnen nemen in geval van een verslechterde ontwatering is een fuzzy regelaar in het besturingsprogramma opgenomen. Deze regelaar zet de instellingen van de ontwateringsinstallatie eerst naar een bepaald (in te stellen) basisuitgangspunt. Na een bepaalde wachttijd gaat het programma proberen het resultaat te verbeteren door een (combinatie van) parameter(s) te veranderen en het resultaat te vergelijken met voorgaande resultaten. Anders dan bij het daisywheelpincipe kan de fuzzy regelaar veel grotere stappen nemen en ook sneller van parameter wisselen.

4.6 De regelunit

Aan de hand van de voorgaande paragrafen beschreven opties is een opzet gemaakt voor de regelunit. Deze opzet is in afbeelding 3 schematisch weergegeven en is door de centrifuge leverancier gebruikt voor het ontwerp van de regelunit.

Links in het schema staan de meetsignalen, die nodig zijn om de regelunit aan te sturen, te weten: drogestofgehalte van het centraat, drogestofgehalte van het ingaande slib, koppel en verschiltoerental van de centrifuge. In het midden staan de verschillende modules van de regelunit, waarbij het daisywheelpincipe en de fuzzy logic regelaar de werkelijke optimalisatie van het proces verzorgen op basis van diverse meet- en stuursignalen binnen de regelunit. De supervisie module controleert de randvoorwaarden en beslist op basis van welke regeling de optimalisatie moet plaatsvinden. In de drogestof voorspellingsmodule wordt het drogestofgehalte van het ontwaterde slib geschat aan de hand van ingevoerde relaties en een drogestofbalans. Het verschiltoeren van de centrifuge en het debiet van slib en PE kunnen door het daisy wheel en de fuzzy logic regelaar worden veranderd.

Voor alle modules zijn de te veranderen parameters en randvoorwaarden middels tabellen in te stellen. In bijlage 4 is in meer detail de functies en de werking van de regelunit beschreven.



5 ERVARINGEN MET DE REGELUNIT

5.1 Referentiemetingen

Bij een test met de twee centrifuges in Almere is eerst onderzocht in hoeverre de resultaten van de centrifuges afweken ten opzichte van elkaar en wat hiervan de oorzaak was. Om dit te onderzoeken zijn van de beide centrifuges de garantiemetingen van februari 2001 gebruikt en zijn in mei 2001 een aantal vergelijkende testen uitgevoerd. De resultaten van deze beide metingen zijn in bijlage 5 beschreven. Aan de hand van de uitgevoerde metingen is geconcludeerd dat er een klein verschil is tussen de beide centrifuges, met name bij de hogere slibdoorzetten (18 tot 25 m³/h) en de hogere PE-doseringen (8-9 g actief PE/kg DS). Onder deze procescondities presteert de centrifuge waar de regelunit later is aangekoppeld iets beter (absoluut 0,3 %) dan de andere centrifuge (=de referentiecentrifuge tijdens de testen met de regelunit). Bij lagere debieten en lagere PE-doseringen is er vrijwel geen verschil waar te nemen tussen beide centrifuges. Een oorzaak voor het beter presteren onder bepaalde procescondities van de centrifuge waar later de regelunit aangekoppeld is wordt verklaard uit het feit dat het slibonttrekkingspunt voor de centrifuge met regelunit dichterbij de wand van de homogenisatietank en de aanvoer van extern slib is gepositioneerd.

5.2 Samenvatting resultaten

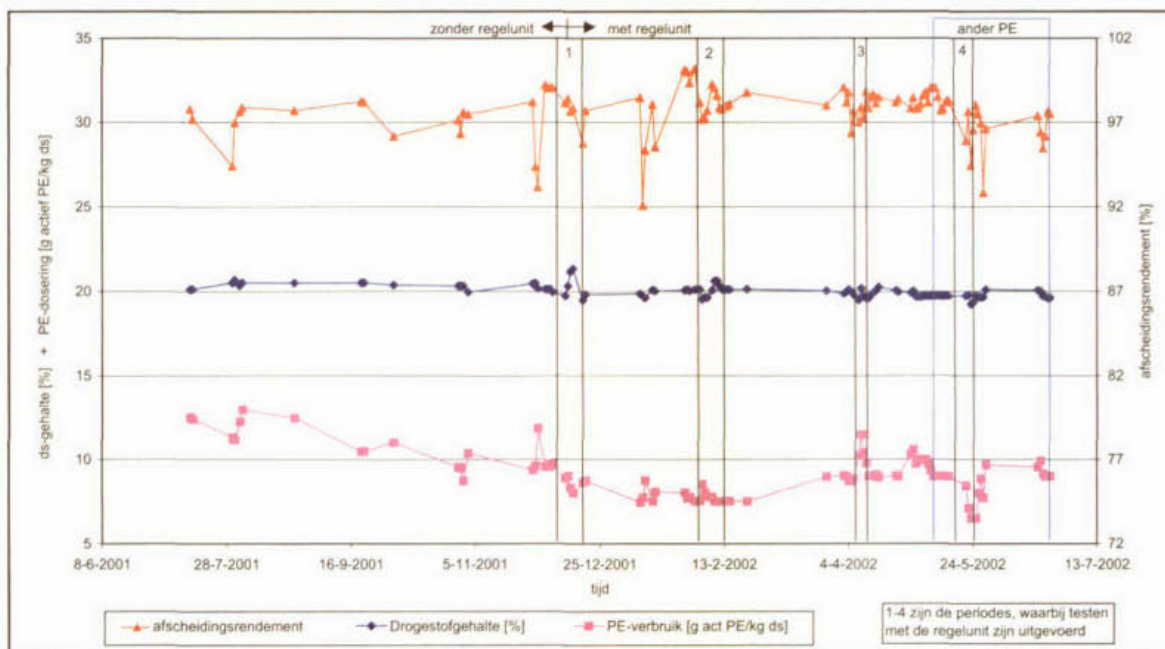
In afbeelding 4 is het ontwateringsresultaat weergegeven van de centrifuge met regelunit over de totale meetperiode, dus inclusief alle meet- en testdagen. Gezien het enorme aantal datapunten per dag (2880) is gekozen voor het weergeven van daggemiddelde waarden. Tot aan begin december 2001 heeft de regelunit alleen in een monitormode gestaan. De besturing van de centrifuges werd met het bedieningssysteem van de awzi Almere uitgevoerd, terwijl alle signalen wel bij de regelunit binnenkwamen. In de genummerde perioden 1 tot en met 4 zijn op de awzi Almere delen van het programma uitgebreider getest of vervangen.

Duidelijk is te zien dat in de zomerperiode van 2001 het PE-verbruik rond de 12 g actief PE/kg DS lag en dat in het najaar van 2001 dit is gezakt tot rond de 10 g actief PE/kg DS. Een dergelijke daling is in de voorliggende jaren niet op deze schaal voorgekomen en dus kan worden geconcludeerd dat de daling voortkomt uit de extra aandacht voor de ontwatering en het feit dat de werking van de centrifuge met regelunit direct zichtbaar is op de regelunit.

Na activering van de regelunit (=de omschakeling van monitormode naar controlmode) op 13 december 2001 is het PE-verbruik verder gedaald tot circa 7 g actief PE/kg DS. Richting zomer, waar voor de awzi Almere de slibkwaliteit meestal minder wordt, is de PE-dosering opgelopen tot circa 9 g actief PE/kg DS. Dit is overigens nog steeds 25 % minder dan de vorige zomer en 10-15 % minder dan de referentiecentrifuge.

In de meetperiode (vanaf december 2001) ligt het drogestofgehalte van het ontwaterde slib vrijwel continu op 20 %, terwijl in de voorafgaande periode het drogestofgehalte meestal iets boven de 20 % lag. In eerste instantie lijkt dit een verslechtering van het resultaat, maar uit de kostenberekening blijkt dat het juist gunstiger is om niet teveel boven de 20 % drogestof te gaan draaien met de ontwateringsinstallatie. De kosten voor eindverwerking voor de awzi Almere zijn namelijk gebaseerd op tonnen drogestof en niet op aangeleverde tonnen slib. Het nastreven van een zo hoog mogelijk drogestofgehalte heeft voor de awzi Almere dan ook niet veel zin, omdat dit geen kostenvoordeel oplevert bij de eindverwerker van het slib. Zeker niet als een hoger drogestofgehalte alleen kan worden bereikt met hogere PE-doseringen en lagere afscheidingsrendementen. Na de kosten voor de slibafzet bij de eindverwerker zijn namelijk de PE-kosten de belangrijkste kostenpost. Het kostenoptimalisatieprogramma van de regelunit streeft

dus terecht naar een minimale PE-dosering, waarbij nog wel aan de randvoorwaarden wordt voldaan.



Afbeelding 4 Resultaten van de hele meetperiode van centrifuge 1 (waarden als daggemiddelden)

Het afscheidingsrendement lag gedurende de meetperiode vrijwel altijd boven de ingestelde grens van 97-98%. Gedurende een korte periode (ca. 6 weken) is echter een ander goedkoper PE getest, waardoor de grens van 97% amper gehaald kon worden (tussen de verticale blauwe lijnen in afbeelding 4). Ondanks de positieve resultaten in eerdere testen bleek het niet mogelijk om tijdens het wegdraaien van de geleverde batch de eerdere resultaten te herhalen, waarbij ook nog eens het PE-slibmengsel veel gevoeliger werd voor overdosering. Zie hiervoor ook paragraaf 5.5.

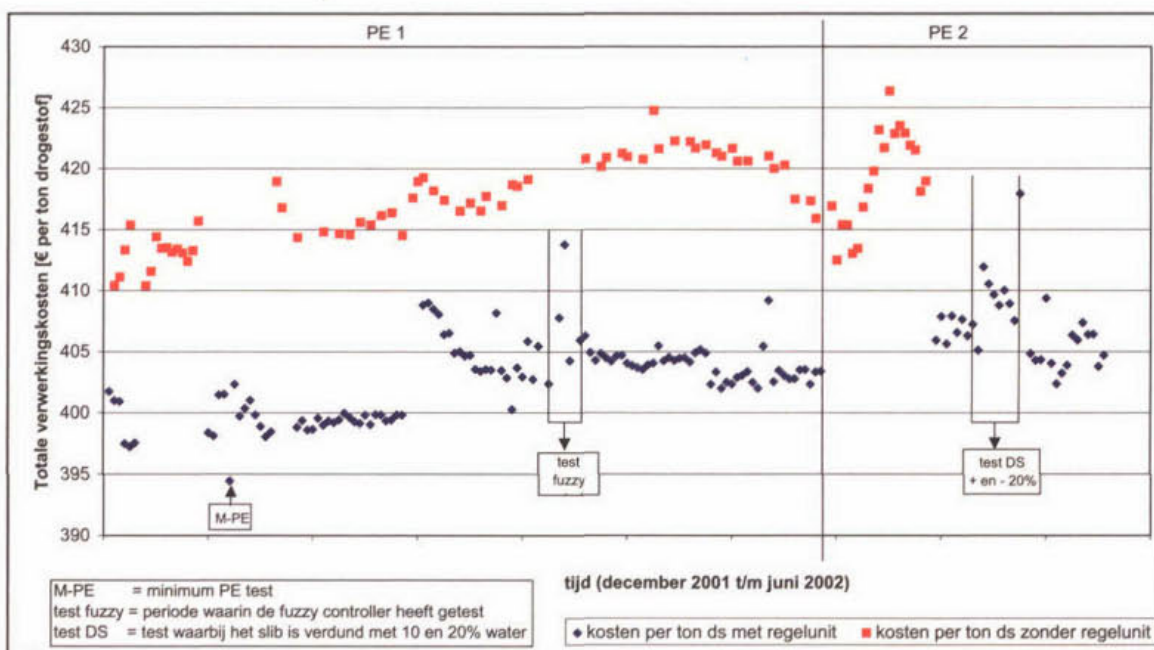
Een van de belangrijkste parameters voor het installeren van een regelunit is de minimalisatie van de ontwateringskosten. Verder is het verkrijgen van een stabiel proces een pre voor de bedrijfsvoering. Om te onderzoeken of de regelunit aan de verwachtingen heeft voldaan zijn voor beide centrifuges de totale ontwateringskosten uitgezet in de tijd. Dit is in afbeelding 5 weergegeven. De datapunten van de centrifuge met regelunit zijn de punten waarvan naast de metingen met de regelunit ook de gegevens zijn gecontroleerd aan de hand van labanalyses. De datapunten van de centrifuge zonder regelunit zijn voor een deel gebaseerd op metingen van de awzi Almere, waarbij geen exacte cijfers voor de centraatkwaliteit bekend waren. Voor deze punten is aangenomen dat het afscheidingsrendement hoger was dan 97,5%. Naast de ontwateringskosten, berekend aan de hand van de gegevens uit tabel 5 (paragraaf 3.4), zijn ook de kosten meegerekend om het deel dat niet wordt afgescheiden nogmaals te ontwateren. Dus bij een afscheidingsrendement van 97 % komt 3 % van de aangevoerde drogestof nogmaals door de ontwateringsinstallatie. De kosten voor PE, aanmaakwater en energie zijn (in dit voorbeeld) dan ook vermenigvuldigd met een factor 1,03.

Het verschil in ontwateringskosten tussen de centrifuge met en zonder regelunit bedraagt €15,- per ton DS als gemiddelde van alle in de grafiek gepresenteerde waarden. Dit lijkt misschien niet veel (15,- op de 415,- = 3,6 %), maar hierbij moet worden bedacht dat dit bijna alleen maar besparingen op de PE-kosten zijn, omdat er geen voordeel wordt gehaald uit de kosten voor eindverwerking. Deze € 15,- per ton drogestof betekent overigens voor de awzi Almere een besparing van ruim € 53.000,- per jaar op verwerkingskosten van het slib.

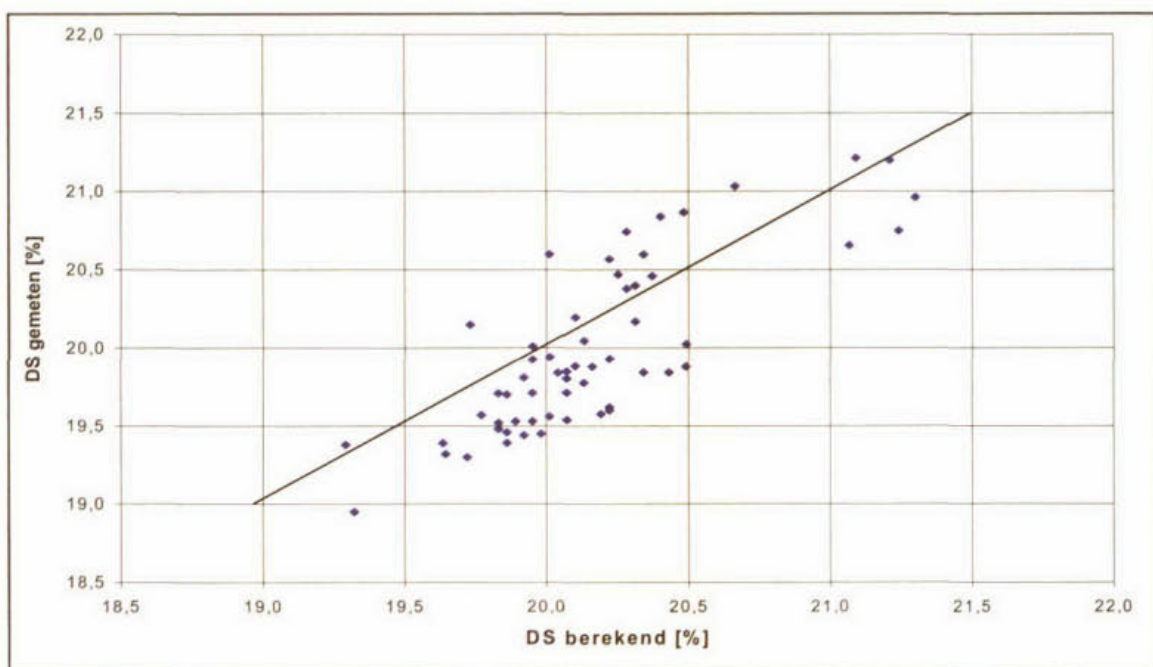
De door de regelunit berekende waarden zijn regelmatig geverifieerd aan de hand van lab analyses. Deze verificatie is opgenomen in afbeelding 6. Hieruit blijkt dat de berekende waarden over het algemeen een fractie lager liggen dan de gemeten waarden (gemiddeld 0,17 % als absolute waarde). De consequentie hiervan is dat de berekende kosten dus nog een fractie lager zijn dan de werkelijke kosten oftewel de besparingen zijn gemiddeld nog hoger dan hiervoor is aangegeven (op jaarbasis ca. € 2.500,-).

Tevens moet worden bedacht dat de labanalyses zijn gebaseerd op steekmonsters en dat de vertraging in de uitworp van ontwaterd slib niet exact is in te schatten.

Naast de besparingen op PE-kosten zijn er ook nog besparingen op grond van het feit dat het proces met regelunit veel stabiel is dan zonder regelunit en dat het optimaliseren geen tijd kost van de bedieningsmensen. In feite doet de regelunit 24 uur/dag en 7 dagen/week wat de bedieningsmensen alleen kunnen doen als zij aanwezig zijn bij de ontwateringsinstallatie.



Afbeelding 5 Ontwateringskosten voor beide centrifuges van de awzi Almere tot en met juni 2002 (x-as is op sommige delen iets uitgerekt om leesbaarheid te vergroten)

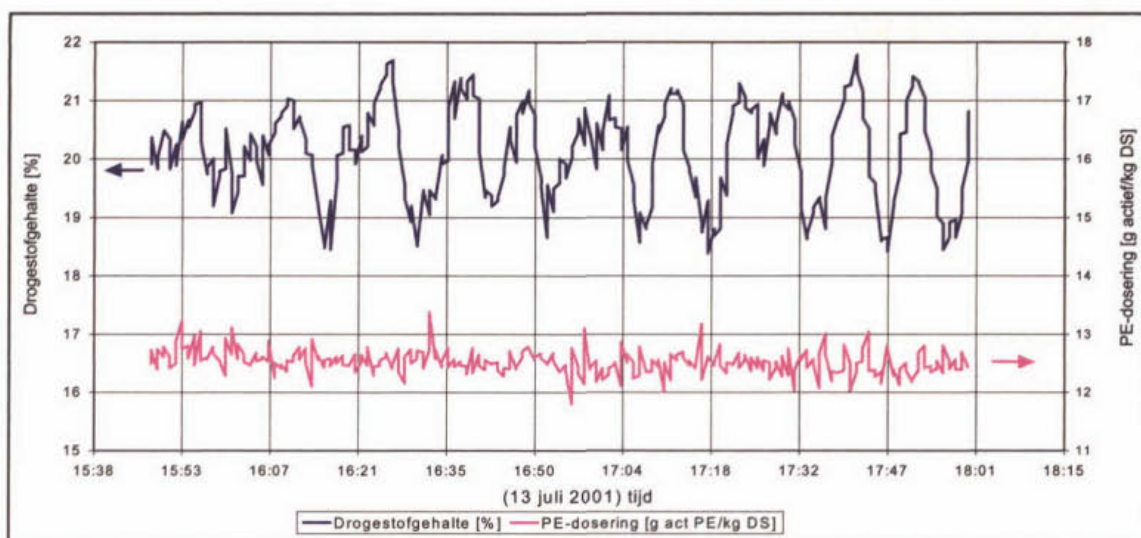


Afbeelding 6 Berekend drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de labmetingen

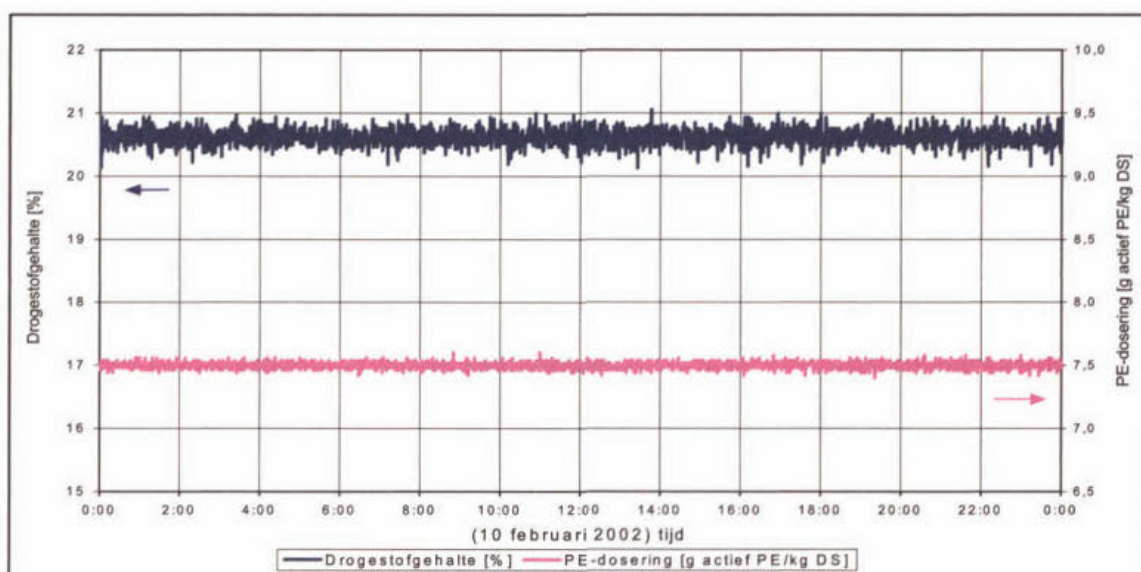
De afbeeldingen 7 en 8 geven een beeld van de PE-dosering en het drogestofgehalteverloop over (een deel van) een dag. Afbeelding 7 is de eerste dag dat de installatie was aangesloten op de regelunit (13 juli 2001) in monitormode en afbeelding 8 is een willekeurige meetdag waarbij de regelunit actief was en er geen testen zijn gedaan (10 februari 2002). De regelunit heeft hier zonder toezicht gedraaid, wel zijn enkele monsters genomen van de in- en uitgaande stromen van de centrifuge ter verificatie van de gemeten en berekende gegevens.

Duidelijk is het verschil in amplitude van het signaal te zien, waarbij moet worden bedacht dat de schaal van de van de PE-dosering in afbeelding 8 nog is opgerekt ten opzichte van de grafiek in afbeelding 7. De tijd as is overigens ook niet gelijk in beide grafieken. In de afbeeldingen is duidelijk het verschil te zien tussen de toegepaste PE-doseringen.

Het op 10 februari 2002 toegepaste optimalisatieprogramma was volgens het 'black en white boxen' in combinatie met het daisywheel concept (zie ook paragraaf 4.5). De fuzzy logic regelaar is in een later stadium (mei/juni 2002) getest, maar is slechts beperkt gebruikt. De reden hiervoor is dat de variaties in drogestofconcentratie in het ingaande slib langzaam in de tijd verschoven en er dus geen grote stappen nodig waren om de optimale instellingen te bereiken. Voor kleine veranderingen in de tijd is de optimalisatie volgens het daisywheel concept beter geschikt.



Afbeelding 7 Verloop drogestofgehalte en PE-dosering over de dag (situatie voor regelunit)

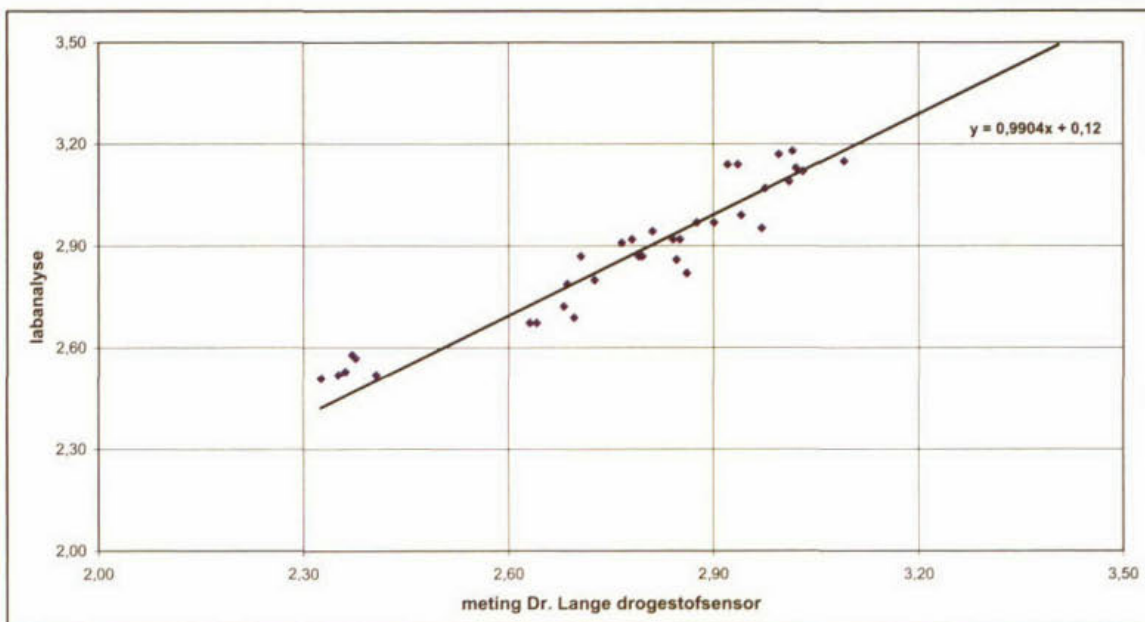


Afbeelding 8 Verloop drogestofgehalte en PE-dosering over de dag (situatie na regelunit)

5.3 Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van sensoren en regeling

Zoals in voorgaande al is genoemd werkt de regelunit op basis van het drogestofgehalte van het ingedikte slib en het drogestofgehalte in het centraat. De drogestofconcentratie in het ingedikte slib wordt gebruikt voor diverse berekeningen, zoals de PE-dosering en de slibvrachten in de balansen. De drogestofconcentratie in het centraat wordt vooral gebruikt om de randvoorwaarde van het afscheidingsrendement te bewaken. Als niet aan de randvoorwaarde van het afscheidingsrendement is voldaan optimaliseert de regelunit naar meer PE en minder druk in de centrifuge, wat de ontwateringskosten niet ten goede komt. Een voorwaarde is dan ook dat de sensoren een betrouwbare en nauwkeurige waarde weergeven. In afbeelding 9 staat een grafiek die de relatie weergeeft tussen het drogestofgehalte van het ingaande slib van de labanalyses en de metingen van de drogestofsensor. Hierbij is nog geen correctie toegepast op de waarden van de drogestofsensor. Na het kalibreren van de drogestofsensor met ijkvloeistoffen kan de gemeten waarde van de sensor namelijk eenvoudig worden aangepast aan de werkelijke drogestof-

concentratie van het slib, door het invoeren van een correctiefactor (scalingsfactor). Voor de in de grafiek gepresenteerde metingen zou de correctie factor 1,12 moeten zijn. Deze correctiefactor is tijdens de testen gevarieerd tussen 1,07 en 1,25. Een enkele keer per maand is deze factor aangepast, afhankelijk van de wisselingen in slibkwaliteit.

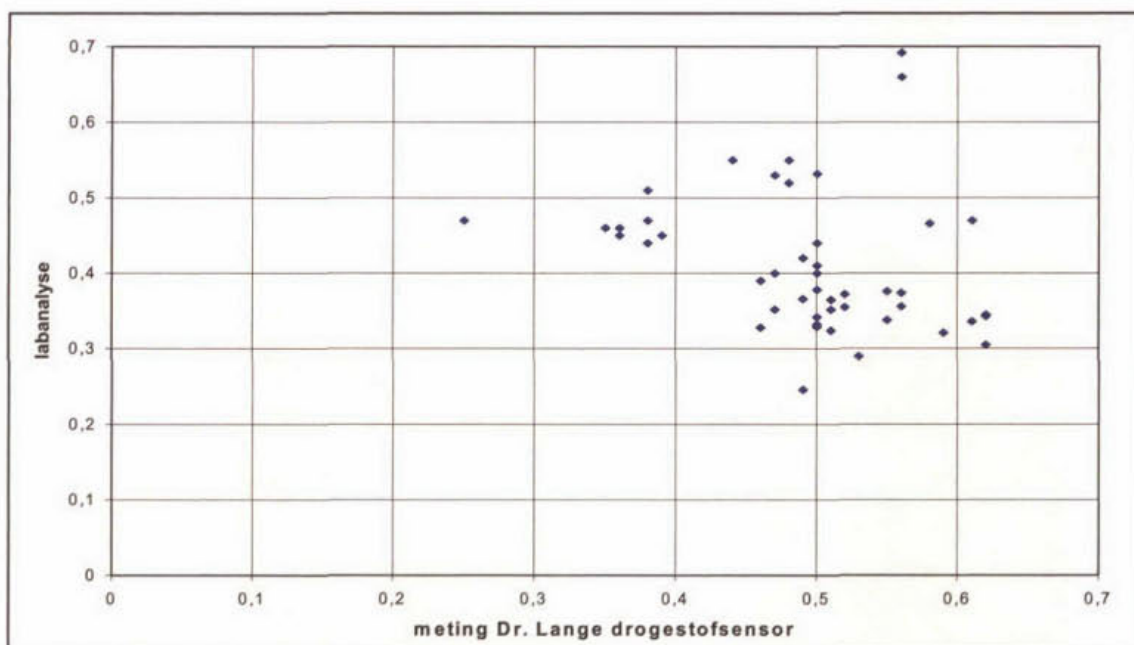


Afbeelding 9 Drogestofgehalte drogestofsensor versus labmeting van het ingaande slib

Een zeker verloop tussen de waarde van de drogestofsensor en de werkelijke waarde van het ingaande slib levert overigens niet direct een probleem op voor de regelunit, omdat deze niet alleen stuurt op het drogestofgehalte in het ingaande slib, maar op de combinatie van drogestof in het ingaande slib en het centraat. Bijsturing en optimalisering van het proces vinden met name plaats op basis van het centraat. Het drogestofgehalte van het ingaande slib wordt gebruikt voor het draaien op setpoint modus en de berekening van de slibverwerkingskosten. Alleen als beide meters tegelijkertijd niet meer of slecht functioneren verslechtert het optimalisatieproces. Zoals uit afbeelding 8 blijkt komt de door de sensor weergegeven waarde van het ingaande slib goed overeen met de labmeting.

Er zijn geen specifieke testen uitgevoerd met enkel uitgegist slib. Wel is met enige regelmaat uitgegist slib aan de centrifuges gedoseerd. Hierbij werden geen problemen ondervonden met de meting.

In afbeelding 10 is voor het centraat de relatie tussen de labmetingen en de sensorwaarden weergegeven. Duidelijk is dat hier een minder eenduidige relatie uit te destilleren valt. Wel dient te worden opgemerkt dat de dataset niet gecorrigeerd is voor storingen die zijn voortgekomen uit het gebruik van een ander PE en de diverse sensoropstellingen. Ondanks dat er geen duidelijk relatie is aan te geven functioneert de sensor in het centraat veel beter dan oorspronkelijk was verwacht en is het mogelijk gebleken de waarde van de meting te gebruiken als stuurparameter voor de regelunit. Uit de gegevens blijkt dat de sensor niet de exacte waarde aangeeft, maar wel goed in staat is aan te geven of het centraat positief of negatief verandert in kwaliteit ten opzichte van de voorgaande meting.



Afbeelding 10 Drogestofgehalte drogestofsensor versus labmeting van het centraat

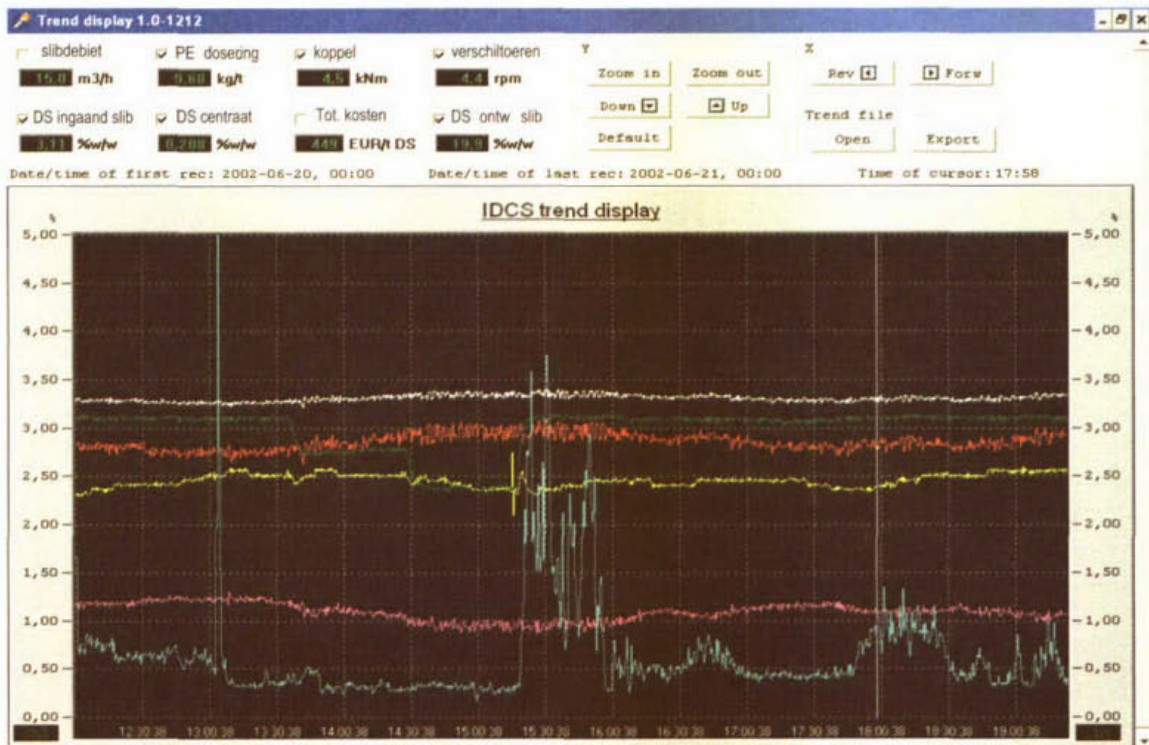
Gevoeligheid van de drogestofanalyses

Iedere 30 seconden worden de waarden in de regelunit opnieuw berekend en geregistreerd. Om rare sprongen in de processturing door de regelunit te voorkomen door een enkele mismeting of verstoring van de signaaloverdracht zijn filters ingebouwd in de signalen van de drogestofsensoren en de centrifuge. Deze filters kunnen middels invoertabellen worden ingesteld en middelen de waarden uit over een in te stellen tijdsperiode. Door het inbouwen van dergelijke filters zijn de metingen ongevoeliger voor verstoringen.

5.4 Voorbeeld regeling kostenoptimalisatie

Als voorbeeld van hoe het optimalisatieproces functioneert is een plotselinge daling van het drogestofgehalte van het ingedikte slib gerealiseerd door in de slibaanvoerlijn naar de centrifuge water te doseren. In afbeelding 11 is het resultaat van deze actie te zien. Rond 13:30 uur (op de x-as) is het slib verdund met 10 % water (daling van de groene lijn). De regelunit reageert hier direct op door de PE-dosering te corrigeren en terug te brengen naar de oorspronkelijke waarde (gele lijn). Tevens verandert door het dunnere slib de vulling van de centrifuge en dus de wrijving in de centrifuge. De regelunit probeert dit te corrigeren door het verschiltoerental te verlagen (paarse lijn). In minder dan een kwartier heeft de regelunit het proces weer gestabiliseerd en is er geen nadelig effect opgetreden voor het ontwaterde slib (witte lijn) of het centraat (lichtblauwe lijn).

Rond 14:30 is nogmaals 10 % water aan het slib toegevoegd en herhaalt het optimalisatieproces zich zonder noemenswaardige effecten op het centraat en ontwaterde slib. Rond 15:15 uur is de toevoeging van water plotseling gestopt en neemt de concentratie van het ingedikte slib weer snel toe. De PE-dosering wordt snel aangepast evenals het koppel en verschiltoerental. Na de plotselinge verhoging van het drogestofgehalte in het ingedikte slib van 2,4 naar 3,1 % wordt het afscheidingsrendement niet meer gehaald (centraat wordt zwart). De regelunit heeft ook dit effect na ca 40 minuten opgelost.



Afbeelding 11 Optimalisatieproces na een wijziging van het drogestofgehalte van het ingaande slijb

5.5 Problemen, oplossingen en gevoeligheden

Tijdens de installatie en testen van de regelunit waren er een aantal moeilijkheden, die moesten worden opgelost om een betrouwbare regeling te realiseren. In de voorliggende paragraaf zijn de belangrijkste drie toegelicht.

Centraatkwaliteit

Uit eerdere onderzoeken was gebleken dat er nog geen nauwkeurige sensoren voor in het centraat waren. Bij het begin van het onderzoek was het daarom de bedoeling om de regeling van de centrifuge vooral te baseren op de ingaande kwaliteit van het slijb en de centraatkwaliteit als een soort correctiefactor op deze regeling toe te passen. Na de installatie van de drogestof-sensoren bleek echter dat de drogestofsensor in het centraat veel beter in staat was de centraatkwaliteit weer te geven dan op grond van eerdere metingen kon worden verwacht.

In de regelunit is daarom een veel belangrijker rol voor de centraatmeting weggelegd dan aanvankelijk de bedoeling was. Het voordeel hiervan is dat de regeling een stuk sneller is geworden, omdat door de korte hydraulische verblijftijden in de centrifuge een effect in het centraat zeer snel merkbaar is.

In eerste instantie werkte dit probleemloos, maar door een andere slijbkwaliteit en gebruik van een ander PE bleek dat de sensor gevoelig was voor de opstellingswijze in het centraat. Er is daarna veel geëxperimenteerd met de opstellingswijze van de drogestofsensor. Deze hangt nu loodrecht op de stroomrichting van het centraat in een speciaal geconstrueerde bak (zie afbeelding 12). De centraatmeting werkt sinds deze verandering vrijwel probleemloos.



Afbeelding 12 foto van de centraatsensorbak

PE-keuze

Een andere moeilijkheid bij de realisatie van de regelunit op de centrifuge was de keuze van het type PE in combinatie met het slib van de awzi Almere. Zoals in paragraaf 4.5 al is aangegeven is het verloop van de relatie drogestofgehalte versus PE-dosering op de awzi Almere erg vlak. Dit is moeilijk regelen voor een regelunit, omdat het effect van een verandering moeilijk te meten is. In de testperiode zijn testen uitgevoerd met een ander (veel voordeliger) PE, waaruit bleek dat de drogestofgehalten en centraatvervuiling niet veel slechter waren dan met het standaard PE van de awzi. Het waterschap Zuiderzeeland had op basis van voorgaande besloten op dit nieuwe PE over te gaan voor de ontwatering. Al vrij snel bleek echter dat de toch al lastige (vlakke) relatie tussen drogestof en PE-dosering bij de awzi Almere verstoord werd door het feit dat met het nieuwe PE een overdosering leidde tot extra slibuitspoeling. Dit extra drogestof in het centraat was voor de regelunit een teken dat de druk in de centrifuge te hoog was en/of er te weinig PE aan het slib werd toegevoegd, zodat de regelunit meer PE ging doseren en de druk ging verlagen wat het effect alleen nog maar erger maakte. In de afbeeldingen 4 en 5 is de periode met het andere PE aangegeven. Aangezien met het nieuwe PE ook de benodigde tijd voor het stabiliseren na een verandering langer was geworden, kon een deel van de problematiek worden opgeheven door de regelunit veel trager te maken. Bij de installatie van een regelunit op een rwzi/awzi dient dit verschil in reacties op diverse PE-typen mee te worden genomen bij de beoordeling van de werking van de regelunit. Naast de relatie drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus ontwateringsparameters dient ook de gevoeligheid voor overdosering te worden getest.

Besturing centrifuge

De normale besturing van een Alfa Laval centrifuge in Nederland verloopt met een ABC-controller. Bij sommige ABC-controllers loopt een teller mee, die het aantal omschakelingen bijhoudt tussen de verschillende sturingsmogelijkheden (op koppel of op verschiltoeren). Bij conventioneel bedrijf worden er nooit veel omschakelingen gedaan tussen koppel en verschiltoerental besturing (hooguit een paar maal per dag) en zijn er dus geen problemen met deze teller. De nieuw ontwikkelde regelunit is echter in staat zeer vaak te schakelen, waardoor het type ABC en het vollopen van de teller daarin een aandachtspunt dient te zijn bij installatie van een regelunit. Ook bij de ontwikkeling van regelunits voor andere ontwateringsapparatuur is het van belang met dergelijke aspecten rekening te houden.

6 TOEPASBAARHEID EN KOSTEN REGELUNIT

6.1 Toepasbaarheid

Uitgangspunt bij het ontwerpen van een regelunit is steeds geweest dat een open structuur moet worden gerealiseerd, zodat het systeem later eenvoudig is aan te passen aan andere indikkings- of ontwateringssystemen. De regelunit kent daardoor vele mogelijkheden om het systeem te matchen aan de situatie ter plaatse, zelfs als dit een ander type ontwateringsapparaat is dan een centrifuge. Zoals in paragraaf 2.5.2. al is aangehaald is de regelunit niet ontworpen om de ontwatering met filterpersen te optimaliseren, aangezien dit type ontwatering te veel batchgevijs verloopt en de vlokvorming deels los is gekoppeld van de ontwatering. Als de filterpers eenmaal is gevuld en het effect van een goed of slecht ontwaterbare vlok zich manifesteren, zijn er niet of nauwelijks nog mogelijkheden om bijvoorbeeld de vlokvorming bij te sturen.

Aanpassen van de regelunit aan andere typen centrifuges

Bij de geteste centrifuges wordt de werking van de centrifuge vooral geregeld met het koppel en het verschiltoerental. Deze parameters worden gewijzigd met de regelunit, waarbij de te regelen parameter afhankelijk is van de optimalisatiemodus. In de daisywheel modus wordt gestuurd op het koppel, terwijl in de fuzzy modus wordt geregeld op verschiltoerental.

Een dergelijke regeling met verschiltoeren en koppel geldt in principe voor elke centrifuge, het verschil zit vooral in de grootte van het regelbereik. Dit betekent dat per type centrifuge de stapgrootte moet worden aangepast. Dit is middels invultabellen relatief eenvoudig te doen. Overigens is dit aanpassen ook nodig voor andere type centrifuges van Alfa Laval zelf.

Aanpassen van de regelunit aan zeefbandpersen

Bij een zeefbandpers geldt dat er minder te beïnvloeden parameters zijn dan bij een centrifuge en dat een deel van de parameters direct te meten is. Voor een zeefbandpers geldt dat het slibdebiet, de slibconcentratie, de vlokvorming en de bandsnelheid bepalen hoe dik de opgebrachte sliblaag is. Deze dikte van de sliblaag op de voorontwateringszone is te meten met behulp van niveaumeters en kan gebruikt worden voor de sturing van het ontwateringsproces. In Amerika is hier al enige ervaring mee opgedaan door Alpine Technology (WERF 2001). In Nederland wordt de meting van de sliblaag al wel regelmatig gebruikt als alarmering voor het niet goed functioneren van het ontwateringsproces. Ook wordt in een enkel geval de bandsnelheid automatisch geregeld op basis van de slibhoogte/dikte op de voorontwatering. Deze metingen houden echter nog geen rekening met de filtraatkwaliteit of het drogestofgehalte van het ontwaterde slib.

Het geschikt maken van de regelunit voor gebruik met zeefbandpersen vergt onder andere een herdefinitie van de I/O poorten. Aangezien dit voor een groot deel met behulp van tabellen gaat vergt deze verandering een beperkte hoeveelheid tijd. Ook dient de snelheid van verandering te worden vastgesteld op een zeefbandpers. Oftewel hoe lang duurt het voordat het effect van een verandering te meten is. Een ander punt is de grafische interface. Momenteel laat het basisscherm een plaatje van een centrifuge zien met alle parameters daarin (zie bijlage 4). Dit plaatje zal moeten worden aangepast, maar dit heeft met de eigenlijke regeling niets te maken.

Om de bestaande regeling geschikt te maken voor zeefbandpersen, inclusief het aanpassen van het basisscherm vergt naar schatting enkele weken voor een programmeur. Hier bovenop komt nog de installatie en check van de meetapparatuur voor de slibhoogte/dikte meting in relatie met de ontwaterbaarheid.

Aanpassen van de regelunit aan indikbanden

Indikken met een indikband is een relatief simpel proces, aangezien er geen krachten op het slib worden uitgeoefend zoals bij een centrifuge of zeefbandpers. Het optimaliseren van dit proces betekent in feite het optimaal houden van de vlok. Met een sterk vereenvoudigde uitvoering van de regelunit zou ook dit proces kunnen worden geregeld, maar de vraag is of een dergelijke complexe regelunit zinvol is voor dit proces. Een simpele koppeling tussen de PE-pomp en een slibdroge-stofmeter zal in veel gevallen al voldoende zijn.

6.2 Kosten en baten

De installatie van de regelunit brengt de nodige kosten met zich mee. Daartegenover staan echter ook de nodige baten. Afhankelijk van de lokale omstandigheden en de factoren die worden meegenomen in de kosten-batenanalyse zal per awzi kunnen worden vastgesteld of de installatie van een regelunit zinvol is. In deze paragraaf is een globale schatting gemaakt van de kosten en is een opsomming gegeven van de mogelijke besparingen.

Kosten

Het is op dit moment moeilijk in te schatten hoeveel een regelunit zal gaan kosten per ontwateringsapparaat. In de hiernavolgende opsomming is geprobeerd een globale inschatting te geven van de kosten voor hardware, software en de benodigde tijd voor het installeren. Deze kosten zijn slechts een grove schatting en sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden op de rwzi.

Tabel 6 Globale kostenraming regelunit per ontwateringscentrifuge

Parameter	Afhankelijk van:	Kosten
Hardware - DS sensor ingaand slib en centraat - regelunit (=PC+PLC+I/O poorten)	- type sensoren en wijze van installatie - complexiteit van de regelaar	€ 15.000,- tot 40.000,-
Software¹ - voor regelen optimalisatieproces	- lokale situatie, omvang van het te regelen proces	c.a. € 25.000,-
Installatie en inregeling - technisch (= aansluiten hardware) - technologisch (= matchen systeem)	- hoeveelheid reeds bestaande leidingen en bekabeling - afhankelijk van beschikbare gegevens	€ 20.000,- tot 40.000,-
Totale kosten		€ 60.000,- tot 105.000,-

¹ waarde is slechts een schatting en afhankelijk marktwerking;

Baten

Naast kosten zijn er natuurlijk ook baten, die overigens ook sterk afhankelijk zijn van de lokale situatie. De volgende aspecten leveren in meer of mindere mate een besparing op, al zijn deze niet altijd gemakkelijk uit te drukken in een exact geldbedrag:

- gemiddeld een hoger drogestofgehalte van het ontwaterde slib, waardoor de transport- en eindverwerkingskosten lager zijn;
- lager PE-verbruik;
- lager PE-aanmaakwaterverbruik;
- beter rendement, zodat er minder slib opnieuw ontwaterd hoeft te worden;

- minder personeelskosten, omdat de optimalisatie van het proces continu plaatsvindt zonder inbreng van bedieningsmensen;
- lagere investeringskosten, omdat bij vervanging/nieuwbouw kan worden uitgegaan van 24 uurs bedrijf in plaats van 8 of 10 uurs bedrijf.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Onderstaand zijn de voornaamste conclusies van het onderzoek opgesomd.

- Het in dit rapport gepresenteerde onderzoek heeft laten zien dat het mogelijk is een regelaar op de markt te brengen voor het automatisch optimaliseren van slibontwateringsprocessen.
- De opzet van de regelaar is universeel, maar vooralsnog is het regelconcept slechts uitgewerkt en getest met één type centrifuge van één leverancier. Toepassen van de regelunit op andere centrifuges of zeefbandpersen is in principe mogelijk, maar vraagt nog wel om een inspanning en investering van de leveranciers om het systeem te matchen en de software aan te passen voor de specifieke apparatuur;
- De daisywheel regeling en de fuzzy regeling moeten beide naast elkaar functioneren. De daisywheel regeling is nodig voor de fijnafstemming, maar is ongeschikt om snelle wisselingen te realiseren. Hier is een fuzzy regelaar voor nodig. Voor relatief stabiele slib-kwaliteiten en geringe drogestofconcentratiewisselingen kan (eventueel) worden volstaan met enkel een daisywheel regeling.
- Voor het implementeren van een regelunit moet er een of meerdere relatie zijn tussen het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en het PE en/of de weerstand in de centrifuge. Deze relatie moet per locatie worden gezocht.
- De mogelijke besparingen hangen sterk af van de lokale omstandigheden, bijvoorbeeld of de verrekening van ontwaterd slib bij de eindverwerker/afnemer op basis van drogestof of aangeleverde tonnen slib plaatsvindt.
- Een belangrijke randvoorwaarde voor een goede werking van de regelunit is het gebruik van betrouwbare drogestofmeters in het ingaande slib en het centraat of filtraat, waarbij de opstelling in het filtraat of centraat uitermate belangrijk is.
- De Dr. Lange sensoren hebben gedurende de gehele testperiode van meer dan een jaar uitstekend gefunctioneerd. Storingen bij meting van het ingaande slib hebben niet plaatsgevonden. De variaties in kwaliteit van het ingaande slib over het jaar konden eenvoudig worden bijgesteld. Dit vraagt overigens wel om een regelmatige check van de door de drogestofsensoren gemeten waarden. Het onderhoud bestond slechts uit het tweemaal per jaar vervangen van een wissel.
- Op basis van het gegeven dat anaëroob gestabiliseerd slib over het algemeen beter ontwaterbaar is dan aëroob gestabiliseerd slib en dat er een sterkere relatie is tussen drogestofgehalte en PE-dosering of weerstand in de centrifuge, is te verwachten dat de regelaar ook goed functioneert bij anaëroob gestabiliseerd slib.
- De keuze van het PE dient kritisch te worden geanalyseerd, omdat de gevoeligheid bij overdosering erg storend is voor een optimale regeling.
- Eén van de nadelen is de complexiteit van de regelunit en de daarmee samenhangende hoge prijs. Hiertegenover staan echter de nodige besparingen, zodat de regelunit in principe in enkele jaren terugverdiend kan worden.

7.2 Aanbevelingen

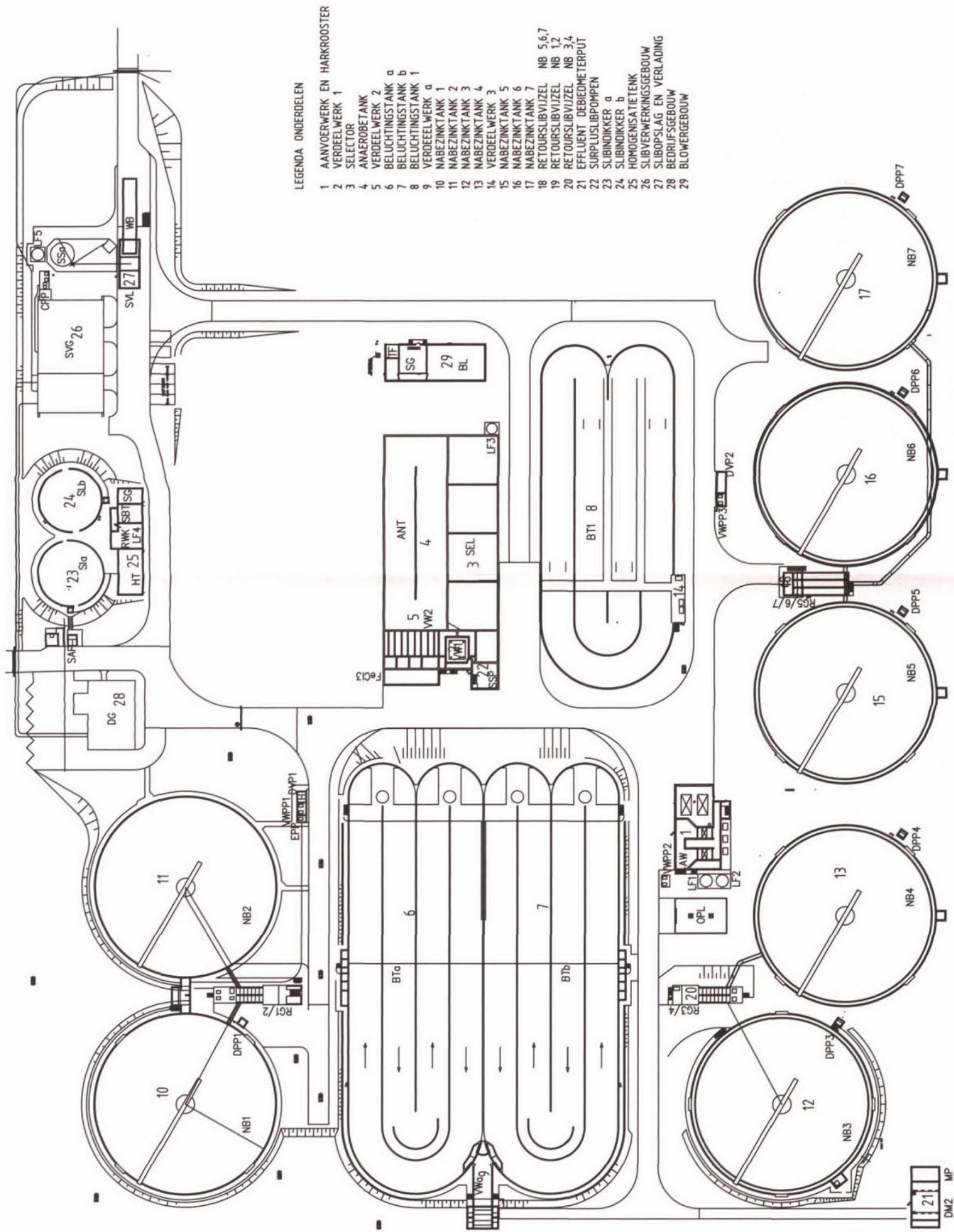
De ontwikkelde regelunit is vooralsnog alleen op de awzi Almere getest. Indien de regeling op een andere locatie wordt ingezet zal in ieder geval nog moeten worden geverifieerd of het systeem universeel bruikbaar is en wat de werkelijke kosten bedragen voor implementatie. Dit traject is door de leverancier van de geteste regelaar inmiddels ingezet en de verwachting is dat

in de nabije toekomst meerdere leveranciers van zowel centrifuges als zeefbandpersen zullen volgen met dergelijke regelsystemen. Het is dan ook aan te bevelen deze ontwikkeling te volgen.

8 LITERATUUR

- [1] STOWA 97-13, Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering: *Inventarisatie van apparatuur en mogelijkheden*, 1997
- [2] STOWA 99-26, Meet- en regelapparatuur bij slibontwatering: *Vergelijkend praktijkonderzoek aan meetapparatuur*, 1999
- [3] STOWA 2000-07, Slib en PE-verwarmen: *Literatuur-en praktijkonderzoek*, 2000
- [4] Water Environmental Research Foundation, project 98-REM-3, Thickening and dewatering processes: How to evaluate and implement an automation package, Alexandria, Virginia, USA , 2001.

BIJLAGE 1 OVERZICHT AWZI ALMERE



- LEGENDA ONDERDELEN
- 1 AANVOERWERK EN HARKROOSTER
 - 2 VERDEELWERK 1
 - 3 SELECTOR
 - 4 ANAEROBETANK
 - 5 VERDEELWERK 2
 - 6 BELUCHTINGSTANK a
 - 7 BELUCHTINGSTANK b
 - 8 BELUCHTINGSTANK 1
 - 9 VERDEELWERK a
 - 10 NABEZINKTANK 1
 - 11 NABEZINKTANK 2
 - 12 NABEZINKTANK 3
 - 13 NABEZINKTANK 4
 - 14 VERDEELWERK 3
 - 15 NABEZINKTANK 5
 - 16 NABEZINKTANK 6
 - 17 NABEZINKTANK 7
 - 18 RETOURLIBVIJZEL NB 5,6,7
 - 19 RETOURLIBVIJZEL NB 1,2
 - 20 RETOURLIBVIJZEL NB 3,4
 - 21 EFFLUENT DEBIDEMETERPUT
 - 22 SURPLUSLIBPOMPEN
 - 23 SLIBDIKKER a
 - 24 SLIBDIKKER b
 - 25 HOMOGENISATIEBANK
 - 26 SLIBVERWERKINGSGEBOUW
 - 27 SLIBOPSLAG EN VERLADING
 - 28 BEDRIJFSGEBOUW
 - 29 BLOWERGEBOUW



Adviseur/aannemer:		ZUIDERWAGENPLEIN 1 8224 AD LELYSTAD TEL.: 0320 - 274911	
Project:	Titel:	Besteknr	Blad
AWZI ALMERE	OVERZICHTSTEKENING		01
Status:	ONDERDELEN	Dossiernr	Aantal
ALGEMEEN		10000723.DWG	01
Gezien:	Form.	Omschr.	Wijz.
Get. IOMA	11-1-00	ECV -	01
	A3	Schaal 1:3000	Wijz. 01
		Nummer: /19C002	

BIJLAGE 2 SAMENVATTING VAN DE BRAINSTORMSESSIE MET DE WATERKWALITEITSBEHEERDERS

De belangrijkste opmerkingen en conclusies van de brainstormsessie over de automatisering van de slibontwatering met de waterkwaliteitsbeheerders zijn in deze bijlage samengevat (zie ook paragraaf 4.1 van het hoofdrapport).

1. Technische aspecten

- De technische installatie functioneert over het algemeen goed indien deze handmatig geoptimaliseerd wordt en onder constant toezicht blijft. De techniek zelf is dus niet de beperkende factor;
- Een goede mengtank/buffertank helpt een constantere slibkwaliteit te realiseren. Dit is nodig, omdat de ontwateringsinstallatie slecht overweg kan met variaties in slibconcentraties en kwaliteit;
- Goede sensoren voor het ingaande slib en centraat zijn essentieel voor het goed kunnen volgen/sturen van het slibontwateringsproces;
- Behalve de werking van de sensor dient ook het onderhoud en de wijze van kalibratie te worden meegenomen in de keuze voor een sensor.

2. Technologische aspecten

- Het nastreven van een homogene slibkwaliteit levert betere ontwateringsresultaten. Het mengen van verschillende slibsoorten vraagt dan ook extra aandacht;
- De PE-keuze, aanmaak en dosering is een moeilijk te sturen proces en is sterk afhankelijk van (de variatie in) de slibkwaliteit;
- Het slibverwerkingsproces dient inzichtelijk gemaakt te worden, zodat de gevolgen van een verandering in de procesvoering ook direct zichtbaar zijn voor de bedieningsmensen.

3. Personele aspecten en organisatie

- Voor waterkwaliteitsbeheerder is het bereiken van het maximum resultaat met de ontwateringsinstallatie tot nog toe niet verenigbaar geweest met een onbemand bedrijf gedurende het grootste deel van de dag;
- Onder andere door gebrek aan inzicht in de effecten van een bepaalde proceswijziging op het ontwateringsresultaat is het moeilijk mensen gemotiveerd te houden de slibontwatering te optimaliseren.

4. Communicatie en gegevensverwerking

- De toegankelijkheid van gegevens over de ontwateringsinstallatie is te beperkt binnen de huidige schappen en de ervaring van bedieningsmensen is niet altijd goed gekoppeld aan meetgegevens, zodat het voor procesbegeleiders moeilijk is om een optimalisatieproces te bespreken of door te voeren;
- Voor de bedieningsmensen zijn on line gegevens van o.a drogestofmeters, PE-gebruik, energie en centraatkwaliteit essentieel om processen tijdig te kunnen bijsturen. Tot nog toe wordt de installatie beoordeeld aan de hand van enkele labanalyses;
- Gegevens van voorliggende periodes zijn nauwelijks toegankelijk op de rwzi's, waardoor vergelijking van een behaald resultaat met resultaten uit het verleden niet mogelijk is;
- Communicatie hangt samen met de mensen die het moeten doen en is te verbeteren door eenvoudige hulpmiddelen ter beschikking te stellen. Voor de werking van een ontwateringsinstallatie lijkt een on line inzicht in de resultaten hierin essentieel.

5. Logistieke and financiële aspecten

- Tot op heden zijn er nog geen mogelijkheden de financiële consequenties (on-line) inzichtelijk te maken, terwijl dit wel zeer gewenst is;
- Naast de kosten van PE, water, transport, energie en eindverwerking is het ook gewenst de onderhoudskosten mee te nemen in het kostenplaatje van de slibverwerking;
- Logistieke problemen treden vooral op als er slib moet worden getransporteerd anders dan normaal, bijvoorbeeld door het uitvallen van een ontwateringsinstallatie.

6. Overige aspecten

- Er zijn nog geen meetsystemen op de markt die de kwaliteit van een PE-oplossing goed kunnen meten. Een vergelijking in effectiviteit van de PE-oplossing door bijvoorbeeld gebruik te maken van ander water dan drinkwater is hierdoor moeilijk;
- Naast de optimalisatie van een enkel ontwateringsproces moet er ook aandacht blijven voor een integrale aanpak van alle slibverwerkingsinstallaties van een schap en het effect van het centraat op de desbetreffende rwzi, met name bij centrale slibverwerkingsinstallaties.

BIJLAGE 3 TOELICHTING REGELTECHNISCHE CONCEPTEN VOOR AUTOMATISERING SLIBONTWATERING

Toelichting op de regeltechnische concepten voor de automatisering van de slibontwatering, zoals besproken is in een brainstormsessie met regeltechnici (zie ook paragraaf 4.2 van het hoofdrapport).

De besproken onderwerpen zijn:

- prestaties, onnauwkeurigheid en robuustheid van diverse typen regelstrategieën;
- metingen van parameters en betrouwbaarheid van procesgegevens, waarbij met name aandacht is besteed aan:
 - het drogestofgehalte van het ingedikte slib;
 - het drogestofgehalte van het ontwaterde slib;
 - de drogestofconcentratie in het centraat of filtraat;
 - andere metingen in het slibbehandelingsproces voorafgaand aan de ontwatering.
- typen regelingen voor het ontwateringsproces, waarbij aandacht is besteed aan:
 - de gegevens die nodig zijn om het ontwateringsproces goed te kunnen sturen;
 - de omgang met het eventueel onstuimige gedrag van het ontwateringsproces;
 - de mogelijkheden van op kennis gebaseerde regelingen;
 - de mogelijkheden van op modellen gebaseerde regelingen;
 - de mogelijkheden van op evenwichten gebaseerde regelingen;
 - de mogelijkheden van fuzzy regelingen;
 - de mate van complexiteit van de regeling.

1. Onnauwkeurigheid, robuustheid en prestaties

Als startpunt voor de discussie over het type regelaar is uitgegaan van drie type regelstrategieën, namelijk modelgebaseerde, robuuste en op kennis gebaseerde regelstrategieën. Deze regelstrategieën vullen elkaar aan en hebben ook veel overeenkomsten. Bij het ontwerp van een regeling geldt dat vaak de afweging moet worden gemaakt of men hoge prestaties of juist een zeer robuuste regelaar wil. Bij veel onzekerheden in het proces zal eerder de neiging bestaan een zeer robuuste regelaar toe te passen. Dit gaat dan echter wel ten koste van de prestaties.

2. Metingen en procesgegevens

Informatie over het proces is essentieel voor een regeling. Grofweg kunnen drie soorten informatiestromen worden onderscheiden, te weten: directe, indirecte en vertraagde informatie. De informatie van sensoren en debietmeters is directe informatie. Gegevens van de ontwateringsapparatuur zelf kunnen worden aangemerkt als indirecte informatie. Zo kan het centrifugekoppel een maat zijn voor het drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Dit werd tot nog toe niet gebruikt voor de processturing.

3. Drogestofgehalte ingaande slib

Het gebrek aan vitale informatie door bijvoorbeeld het slecht of niet functioneren van de meetinstrumenten kan worden gereduceerd door controle metingen.

Een voorbeeld van vitale informatie is het drogestofgehalte van het ingaande slib, omdat hier de (initiële) PE-dosering op wordt gebaseerd en omdat met deze meting de PE-dosering direct kan worden aangepast. De meting wordt onbetrouwbaar als de meter vervuild raakt of de kwaliteit van het slib buiten het bereik van de meter komt. Om de onbetrouwbaarheid van een instrument vast te stellen zijn er verschillende opties mogelijk, zoals:

- meerdere meetinstrumenten parallel plaatsen;
- besluitvormingsmodel toepassen, bijvoorbeeld beperking van de maximale veranderings-snelheid;

- voorspellend model toepassen en berekende waarden van model vergelijken met sensoruit-lezing.

In geval een meetsignaal uitvalt of onbetrouwbaar is dient een vervolgactie te worden gedefini-eerd, zoals:

- het aanpassen van de regelstrategie (bijvoorbeeld op laatste instelling blijven staan);
- een bedieningstechnicus alarmeren;
- een reinigings- of calibratieprocedure starten.

Drogestofgehalte van het ontwaterde slib

Aangezien de eindverwerking van slib veelal kostenbepalend is, zal in veel gevallen het droges-tofgehalte van het ontwaterde slib een belangrijke te controleren parameter zijn. Deze kan echter nog niet continu on-line worden gemeten en zal dus moeten worden berekend aan de hand van andere metingen, bijvoorbeeld met behulp van een drogestofbalans over de ontwate-ringsinstallatie. In de regelaar dient een zekere schatter voor het drogestofgehalte van het ontwaterde slib te worden ingebouwd. Bij de ontwikkeling van een dergelijke schatter moet rekening gehouden worden de beschikbare kennis en de mogelijkheid om de schatter te trainen met de resultaten van steekmonsters. Ingeval een zelflerende schatter wordt gebruikt kan het resultaat van steekmonsters worden toegepast om de schatter te verbeteren.

Drogestofconcentratie in het centraat of filtraat

De inhoud van een ontwateringsinstallatie reageert als een buffer voor de regelaar. Een toename van het in het centraat of filtraat gemeten drogestofgehalte is dus een vertraagde indicatie voor een verstoring van het ontwateringsproces. Bij gebruik van het signaal van een drogestofmeter in het centraat of filtraat voor de regeling zal rekening met de vertraging moeten worden gehouden. De vertraging is daarbij nog afhankelijk van de doorzet en het drogestofgehalte van het ingaande slib.

'Feedforward' signalen van de slibkwaliteit

Indien opstroom van de slibontwatering signalen beschikbaar zijn over de slibkwaliteit kunnen deze worden gebruikt in de regelunit als 'feedforward' signalen om een regeling te verbeteren. Gebruik van deze signalen dient met enige voorzichtigheid te gebeuren, omdat er mogelijk andere factoren zijn die deze signalen kunnen beïnvloeden.

4. Regelingen

Er bestaan veel soorten regelingen, die grofweg in twee groepen kunnen worden ingedeeld, namelijk regelingen die informatie gebruiken om een volgende actie te berekenen, en regelin-gen die op basis van evenwichten werken (zoals het menselijk lichaam). Voor deze beide regelingen geldt dat 'feedforward' signalen kunnen helpen de regeling te verbeteren, terwijl 'feedback' signalen worden gebruikt om onzekerheden te compenseren.

Gedurende de brainstormsessie zijn de volgende aspecten van een regelunit besproken:

- welke gegevens zijn nodig om het ontwateringsproces goed te kunnen sturen;
- hoe om te gaan met het eventueel onstuimige gedrag van het proces;
- op kennis gebaseerde regelingen;
- op modellen gebaseerde regelingen;
- op evenwichten gebaseerde regelingen;
- op fuzzy logic gebaseerde regelingen
- de mate van complexiteit van de regeling.

Verder dient de regeling de mogelijkheid te hebben om veranderende randvoorwaarden in te voeren in het systeem, zodat bijvoorbeeld gewijzigde kostenfactoren eenvoudig worden meegenomen in de procesoptimalisaties.

Stuurparameters voor het ontwateringsproces

Alle parameters van het ontwateringsproces zijn in meer of mindere mate van belang en moeten worden onderverdeeld naar drie soorten variabelen, te weten:

- manipuleerbare variabelen (ingangssignalen, die kunnen worden gemanipuleerd);
- controleerbare variabelen (uitgangssignalen, die moeten worden gestuurd);
- versturende variabelen (signalen die het proces kunnen storen).

Omdat het ene signaal een grotere invloed heeft op het proces dan een ander moet de volgorde van belangrijkheid van de gedefinieerde variabelen worden aangegeven.

Onstuimig gedrag van het proces

Twee belangrijke redenen kunnen worden gegeven voor het onstuimig gedrag van het slibontwateringsproces. Ten eerste is er de plotselinge wijziging van één van de processtromen (bijvoorbeeld slibconcentratie), waardoor het ontwateringsproces niet meer optimaal verloopt en ten tweede is er de traagheid van registratie bij het huidige ontwateringsproces. Voordat een verslechtering van het proces wordt opgemerkt is de instelling al ver van het optimale werkpunt vandaan.

Een oplossing om dit in de hand te houden kan worden gevonden in het installeren van een supervisiesysteem, dat het proces terugduwt naar een optimaler werkpunt.

Op kennis gebaseerde regelaar

Op kennis gebaseerde regelaars zijn vaak ook goed begrijpbaar voor niet regeltechnici. Het is in feite een vertaling van de handelingen van bedieningsmensen naar een regelaar. Het probleem is echter om de handelingen van bedieningsmensen en de wijze waarop zij beslissen goed te omschrijven. Een dergelijke regelaar kent nog een aantal extra beperkingen ten opzichte van de bedieningsmensen, omdat kleur, geur en structuur van ingaand en ontwaterd slib niet eenvoudig te registreren zijn voor een regelaar. Ook zal op iedere ontwateringslocatie het effect verschillend zijn. Samengevat betekent dit dat op kennis gebaseerde regelaars niet voldoen aan de eisen die aan de regelaar worden gesteld.

Model gebaseerde regelaar

Voor een model gebaseerde regelaar is een goed model nodig van het ontwateringsproces, inclusief de wiskundige relaties tussen de diverse criteria. De onbekende dynamiek van het proces kan alleen met een zogenaamde 'black box' benadering worden beschreven. Het model voor het ontwateringsproces als totaliteit is een combinatie van 'black en white boxen'. De 'white boxen' zijn bijvoorbeeld de massabalansen, terwijl de 'black boxen' de relatie tussen PE en het slib is. Bij een model is het van groot belang dat de hiervoor genoemde variabelen goed worden uitgezocht, eventueel met behulp van testen.

Binnen de chemische industrie worden al voorspellende regelaars op basis van modellen toegepast. Op basis van verschillende doelen en de prioriteit van deze doelen berekent het model de instellingen van de regelaar. Een voorbeeld is de optimalisatie van een product, waarbij het model de procescondities mag wijzigen, zolang maar aan de randvoorwaarden van het proces voldaan wordt.

Op evenwichten gebaseerde regelaar

Op evenwichten gebaseerde regelaars proberen een proces binnen de randvoorwaarden te houden door de uitkomst van de regeling continu te vergelijken met de voorgaande instelling en aan de hand hiervan een volgend optimalisatiestapje te initiëren. Als het resultaat van een optimalisatiestap beter is dan het resultaat van de voorgaande stap, dan mag een volgende optimalisatie stap worden ingezet. Maar als het resultaat slechter is dan de voorgaande stap, dan gaat de regelaar een stap terug en gaat bijvoorbeeld een andere parameter aanpassen. Nabij een optimum van een proces is dit een zeer goede methode, omdat kleine stapjes moeten worden genomen. Maar als grote stappen nodig zijn, omdat bijvoorbeeld de slibconcentratie sterk is gewijzigd, dan is een dergelijke regeling over het algemeen te traag. In de ontwikkelde regelunit is een dergelijke regelaar toegepast onder de naam 'daisywheer'.

Fuzzy regelaars

Bij het optimaliseren van een proces kan het voorkomen dat de relaties tussen de verschillende parameters niet exact bekend zijn of dat de relaties afhankelijk zijn van andere, niet in een model beschreven, relaties. Een voorbeeld hiervan is de kwaliteit van het slib in relatie tot de watertemperatuur en de belasting van een rwzi. In dergelijke situaties is een (zelflerende) fuzzy logic regelaar wenselijk, die op basis van combinaties van instellingen en reeds bewaarde gegevens zelf de beste combinaties kiest om verder te optimaliseren.

Complexiteit van de regelaar

Voor het ontwerp van een regelaar dient altijd gestreefd te worden naar een zo simpel mogelijke regelaar. Voor eventuele veranderingen in een later stadium is bijvoorbeeld een koppeling van enkelvoudige loops met afhankelijke parameters makkelijker dan het veranderen van een complex (black box) model.

View

De lijst met opties onder deze knop is afhankelijk van of er met behulp van **service login** is ingelogd of niet. Als er niet is ingelogd verschijnt er alleen een aantal functies voor het bekijken van diverse lijsten met de status van de regelunit. Als er wel is ingelogd verschijnen er naast de functies voor het bekijken van de status ook functies om in de tabellen te komen voor het wijzigen van de instellingen.

Alarm list	Het openen van deze lijst geeft een overzicht van de opgetreden alarmen binnen de regelunit.
Proces display	Bij het aanklikken van deze functie verschijnt er een grafiek over het basisscherm waarin de status van 8 geselecteerde parameters grafisch wordt weergegeven met behulp van een Abakus trend diagram. Om middernacht worden de data van de grafiek opgeslagen in een separate file, waarna een nieuwe grafiek start.
Signal status	Deze functie opent een lijst met de status informatie van diverse signalen, zoals de informatie over hoe een bepaalde pomp wordt aangestuurd.
I/O signals	Dit geeft een overzicht van de status van de I/O poorten.
Setpoint mode	Deze functie geeft aan welke setpoints actief zijn en welke combinaties van setpoints mogelijk zijn.
Parameter	Deze functie opent (na inloggen) de toegang tot de tabellen om de instellingen te wijzigen van o.a. systeem setpoints, programma en berekeningswaarden en limieten en de configuratie variabelen.
Controllers	Met deze functie is het mogelijk (na inloggen) om de instellingen van de diverse regelaars te wijzigen.
Daisywheel	Met deze functie kunnen (na inloggen) de setpoints voor de daisywheel modus worden gewijzigd, oftewel de range waarbinnen het daisywheel mag optimaliseren.
Fuzzy	Met deze functie kunnen (na inloggen) de setpoints voor de fuzzy modus worden gewijzigd, inclusief de tijdsduur van de verschillende stappen binnen de fuzzy modus.

Process modes

Onder dit menu kan de modus worden gekozen waarin het programma moet draaien. De volgende opties zijn mogelijk:

Setpoint	Dit is de basis instelling waarmee het programma moet worden opgestart, teneinde dezelfde instellingen te krijgen als het systeem van de awzi. Ook zal na een ernstige storing deze modus kunnen worden gebruikt om het systeem op een bepaalde instelling te laten draaien, totdat het probleem is opgelost.
Optimize	Dit is de modus waarmee de regelunit een zo hoog mogelijk drogestofgehalte probeert te bereiken met behulp van het 'daisywheel' principe.
Cost	In deze modus zal de regelunit proberen de totale ontwateringskosten te minimaliseren met behulp van het 'daisywheel' principe.
Manuel	In deze modus kunnen alle onderdelen van de regelunit met de hand worden aangestuurd (na inloggen). In principe zal deze modus alleen gebruikt worden om te controleren of de onderdelen van de installatie nog op de goede wijze worden aangestuurd.
Auto	In deze modus is de fuzzy regelaar actief, waarbij ook kan worden aangegeven of de regeling na een bepaalde tijd moet worden omgeschakeld naar een andere modus (setpoint of daisywheel).

Help

Onder deze functie zitten de knoppen **Contents**, **?Help** en **About**. Door het aanklikken van deze knoppen worden respectievelijk een inhoudsopgave van zoektermen, hoe de helpfunctie te gebruiken en de versie van het Windows programma geopend.

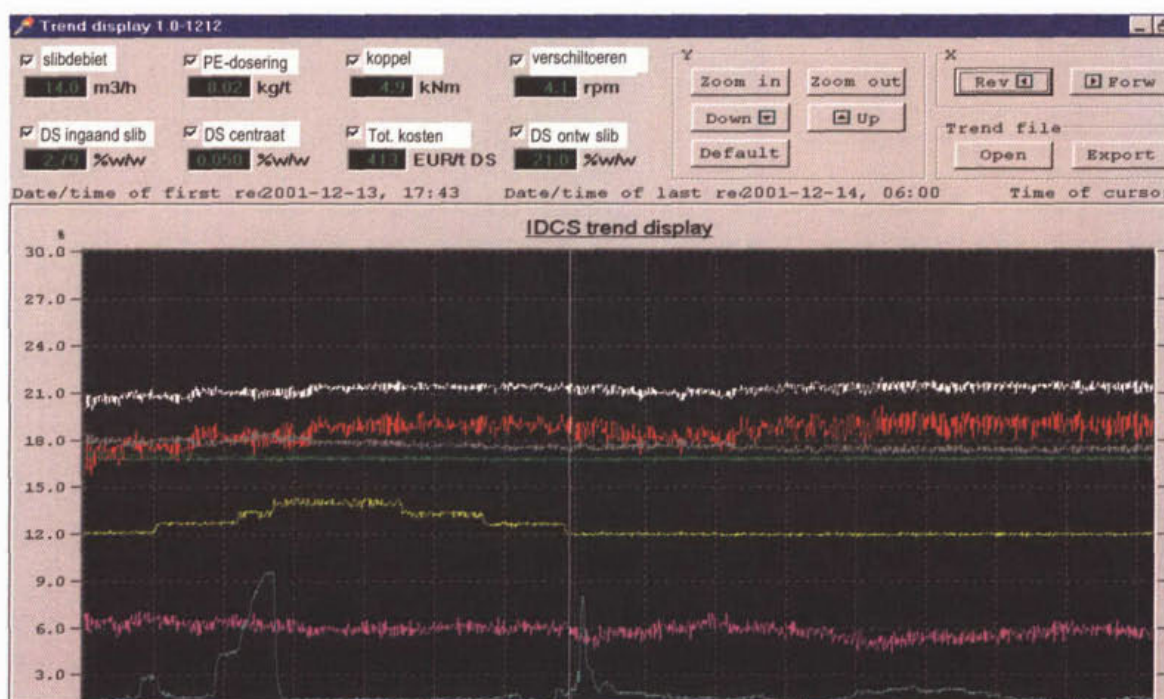
Service

De service functie is voor het grootste deel alleen actief na het inloggen in het systeem plus het activeren van de manuel functie in de 'process modes'. Het aan en uit zetten van de pompen en de centrifuge kan hiermee geactiveerd worden. Indien alleen is ingelogd kan de communicatie met de regelunit worden ingesteld en kunnen de passwords worden gewijzigd.

3 Beschrijving trendprogramma

De regelunit slaat de waarden van acht belangrijke gekozen parameters iedere 30 seconden op in een file. Na 24 uur wordt deze file gesaved en weggeschreven naar een apart stukje op de harde schijf van de PC. Met behulp van een los op te starten trendprogramma (Trend) kunnen de gegevens weer zichtbaar worden gemaakt op dezelfde wijze als dit te zien is bij de regelunit. Tevens kunnen de gegevens vanuit het trendprogramma worden geëxporteerd naar een micro-soft Excel file. Dit biedt de mogelijkheid om bepaalde gegevens eruit te lichten en te bewerken.

In afbeelding b4-2 is het scherm van het trendprogramma te zien. De gepresenteerde waarden van de 8 parameters komen overeen met de waarden op plaats van de verticale witte lijn in de figuur. Door met de cursor de lijn te verschuiven kan de exacte waarde op een bepaald tijdstip worden bekeken.



Afbeelding b4-2 Voorbeeld van het trendprogramma

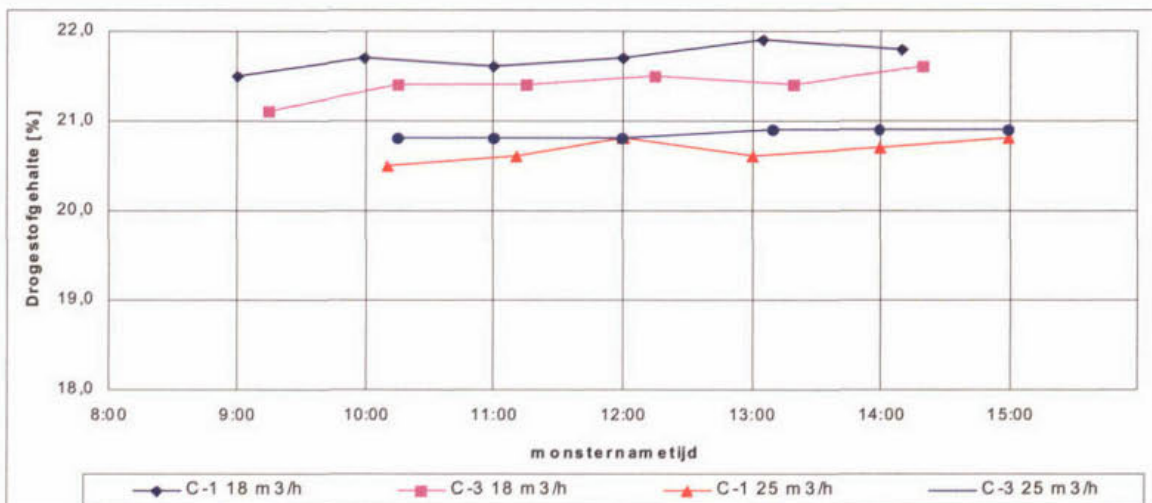
BIJLAGE 5 RESULTATEN REFERENTIEMETINGEN

Resultaten van de referentiemetingen

Voorafgaand aan de installatie van de regelunit is onderzocht in hoeverre de beide centrifuges afwijken ten opzichte van elkaar en wat hiervan de oorzaak is.

Als startpunt voor het onderzoek met de centrifuges in Almere zijn de garantiemetingen van februari 2001 gebruikt. De garantiemeting is uitgevoerd bij twee verschillende slibdebieten met een vaste PE-dosering en vaste instellingen van de centrifuges. Ieder uur is een monster genomen van het ontwaterde slib gedurende een periode van vijf uur. In afbeelding b4.1 zijn de resultaten van de garantiemeting grafisch weergegeven.

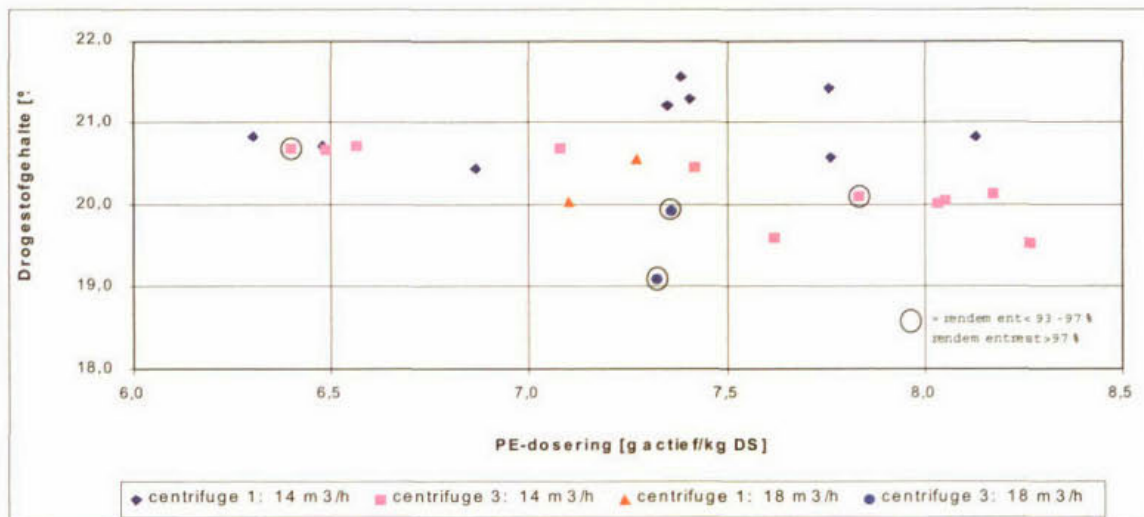
Bij een slibdebiets van $18 \text{ m}^3/\text{h}$ was de PE-dosering $9 \text{ g actief PE/kg DS}$ en bij een slibdebiets van $25 \text{ m}^3/\text{h}$ was de PE-dosering voor centrifuge 1 $8,4$ en voor centrifuge 3 $7,5$ tot $8,6 \text{ g actief PE/kg DS}$. Er is duidelijk een verschil tussen de resultaten van beide centrifuges waar te nemen. Bij een debiet van $18 \text{ m}^3/\text{h}$ presteert centrifuge 1 iets beter dan centrifuge 3, terwijl bij $25 \text{ m}^3/\text{h}$ centrifuge 3 juist iets beter presteert dan centrifuge 1. Voorafgaand en tijdens de garantiemetingen is dit aspect niet verder onderzocht al bestond wel het vermoeden dat het ingaande drogestof van beide centrifuges iets anders was.



Afbeelding b4.1 Drogestofresultaten van de garantiemetingen

Naar aanleiding van de tijdens de garantiemeting geconstateerde verschillen is in mei 2001 een serie metingen gedaan om vast te stellen wat de oorzaak van de verschillen was en of het verschil kon worden opgeheven. Anders dan bij de garantiemetingen zijn in de vergelijkende test vele verschillende instellingen geprobeerd bij verschillende PE-doseringen. Ook zijn lagere debieten en PE-doseringen getest, omdat tijdens de testperiode dit de normale waarden waren op de awzi en de test ook was bedoeld om meer duidelijkheid te krijgen over de relatie drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de afschuifkrachten in de centrifuge (koppel) en PE-dosering. In afbeelding b4.2 zijn de resultaten van de metingen weergegeven. Bij een debiet van $14 \text{ m}^3/\text{h}$ en PE-doseringen tot ca $7 \text{ g actief PE/kg DS}$ reageren beide centrifuges vrijwel gelijk. Bij hogere PE-doseringen kunnen hogere afschuifkrachten worden bereikt in centrifuge 1 en neemt navenant het drogestofgehalte van het ontwaterde slib toe. Een ander aspect dat is opgevallen tijdens de testen is dat het ingaande drogestofgehalte van centrifuge 1 bijna altijd iets ($0,05\text{--}0,1 \text{ g/l}$) hoger is dan van centrifuge 3. De oorzaak hiervan kan enerzijds verklaard worden uit het feit dat het slibonttrekingspunt van centrifuge 1 dichter tegen een zijwand van de homogenisatietank zit en daardoor het iets dikkere slib uit de hoeken van de homogenisatie-

tank te verwerken krijgt. Anderzijds bevindt zich het aanvoerpunt van extern (dikker en beter ontwaterbaar) slib zich in dezelfde hoek als het onttrekkingspunt van centrifuge 1.



Afbeelding b4.2 Resultaten van de vergelijkingstesten

Een opvallend aspect ten opzichte van de garantiemeting is dat bij de paar testen op 18 m³/h centrifuge 1 beter presteert dan centrifuge 3.

Een veel voorkomende oorzaak van het verschil tussen twee centrifuges is de plaats van de centrifuges ten opzichte van de pompen. Ook in Almere is er een verschil in leidinglengte tussen de beide centrifuges. Centrifuge 3 staat ca 11 meter verder bij de debietmeters en PE-pompen vandaan dan centrifuge 1. Aangezien dit rechte stukken leiding zijn kan het zijn dat de ingebrachte hoeveelheid meng-energie bij centrifuge 3 anders is dan bij centrifuge 1. De benodigde hoeveelheid mengenergie voor het vormen van een goede stevige vlok is afhankelijk van de het slibdebiet en de PE-dosering is.

