

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

Nr. 19 1991

Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

Nr. 19 1991

Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg

PC-baseret operatørstøttesystem

Jens la Cour Jansen
Henrik Grüttner
Ole Poulsen
Palle Due de Buchenskjøll Larsen
Vandkvalitetsinstituttet

Om spildevandsforskning

Miljøstyrelsen har med baggrund i en særlig programbevilling i perioden 1988-91, med rådgivning fra Vandrensningsrådet, igangsat en række forskningsprojekter på spildevandsområdet.

Disse projekter er tæt koordineret med en række tilsvarende projekter, igangsat af Teknologirådet under Industri- og Handelsstyrelsen.

Miljøstyrelsens projekter offentliggøres i denne serie om spildevandsforskning. De øvrige offentliggjorte rapporter er anført på omslagets næstsidste side.

Det bemærkes, at offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at indholdet er udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter, men styrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt bidrag til den videnopbygning, der også skulle være et led i gennemførelsen af Vandmiljøplanen.

I N D H O L D S F O R T E G N E L S E

	<u>Side</u>
FORORD	5
1. RESUMÉ	7
2. BAGGRUND OG FORMÅL MED PROJEKTET	9
2.1 Projektets idé	9
2.2 Faktorer der påvirker slamafvanding	10
2.3 Karakterisering af slammet	10
2.4 Sammenfatning af idégrundlag	11
2.5 Projektets gennemførelse	11
3. BESKRIVELSE AF ANLÆG OG STYRINGSPARAMETRE	12
3.1 Styringsparametre på slamafvandingsudstyret	14
3.2 Driften af slamafvandingsudstyret	16
3.3 Operatørens observationer	17
3.4 Dokumentation af driften	17
4. SLAMKARAKTERISERINGSMETODER	18
4.1 Metoder til karakterisering af afvandings-egenskaber	18
4.2 Valg af metode i projektet	20
5. OPERATØRSTØTTESYSTEMET	21
5.1 Dataopsamling	22
5.2 Kurver og rapporter	27
5.3 Rådgivning og vurdering af gamle data	28
6. UDNYTTELSEN AF SYSTEMET	31
6.1 Sjælsø	31
6.2 Hornbæk	32
7. VURDERING AF DE INDSAMLEDE DATA FRA SJÆLSØ	34
7.1 De foretagne justeringer	34
7.2 Præsentation af de indsamlede data	36
7.3 Statistiske sammenhænge	41
7.4 Sammenfatning vedrørende de indsamlede data	47
8. ANVENDELSESMULIGHEDER OG PERSPEKTIVER	48
8.1 Indpasning i organisationen	48
8.2 Økonomisk potentiale	49
8.3 Udviklingsmuligheder	50
REFERENCER	
BILAG	

B I L A G S F O R T E G N E L S E

- BILAG 1: Principdiagrammer for Sjælsø, Frederikssund og Nordkystens renseanlæg.
- BILAG 2: Metodebeskrivelse Capillary Suction Time (CST) og specifik filtrering.
- BILAG 3: Eksempler på rapporter fra operatørstøttesystemet på Sjælsø Renseanlæg.
- BILAG 4: "Rådgivning": Oplæg til generel strategi og forslag til afhjælpning af problemer.

FORORD

Denne rapport beskriver resultatet af projektet: "Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg", der er gennemført i perioden 15. april 1989 til 1. november 1990.

Projektet er finansieret af Industri- og Handelsstyrelsen og Miljøstyrelsen.

En styringsgruppe bestående af nedennævnte personer har løbende fulgt projektet og præget det med råd og vejledning. Der har været afholdt fem følgegruppemøder.

Styringsgruppe

Styringsgruppen har bestået af:
Jes la Cour Jansen, Vandkvalitetsinstituttet, ATV
John Jensen, Danisco, Udviklingssektionen.
Niels Christian Berggren, Alfred Gad A/S
Bent Ohlsen, Birkerød kommune.
Tage V. Andersen, Miljøstyrelsen

Projektet er udført af Vandkvalitetsinstituttet, ATV.

Projektgruppe

Projektgruppen har bestået af:
Jes la Cour Jansen (projektleder)
Henrik Grüttner (sagsbehandler)
Ole Poulsen (miljøtekniker)
Palle Due de B. Larsen (programmør).

Edb-program

I forbindelse med projektet er der udviklet et program i TURBO-PASCAL. Dette program demonstreres af VKI på forespørgsel.

1. RESUMÉ

Formål	Med det formål at udvikle et "værktøj" til driftsoperatørerne på kommunale anlæg til at optimere driften af slamafvandingen er der udviklet en prototype til et operatørstøttesystem for slamafvanding. Tilrettelæggelsen af systemet er sket ud fra undersøgelser på Frederikssund og Sjælsø renseanlæg.
Involverede anlæg	Udviklingen er derefter udført på Sjælsø, og systemet er senere overført til Nordkystens Renseanlæg i Hornbæk. Som afvandingsudstyr anvendes i Frederikssund sibåndspresse, mens de andre anlæg anvender dekantercentrifuge.
Systembeskrivelse	Systemet består af tre dele: • Data om slamegenskaber, indstillinger af udstyret, resultater fra prøvetagning og analyse samt operatørens observationer udgør en database, der er rygraden i systemet. • Grafisk præsentation af data og sammenhænge giver operatøren adgang til de indsamlede data, og en række rapporter tjener som dokumentation. • En rådgivningsfunktion yder støtte i tilfælde af driftsproblemer eller ønsker om optimering. Rådgivningen er baseret på generel viden om slamafvanding samt på informationer fra databasen. Programmet er skrevet i TURBO-PASCAL og kan anvendes på en standard PC.
Anvendelse	På Sjælsø har systemet været anvendt i forskellige versioner gennem 9-10 måneder, mens systemet kun havde været installeret på Nordkystens Renseanlæg i ca. 1 måned ved projektets afslutning.
Resultater	Anvendelsen af systemet på Sjælsø har vist: • Indtastning af data og anvendelse af systemet kan udføres af alle de fire operatører, der arbejder med slamafvanding. • Grafisk præsentation af målinger og observationer er nyttige i den daglige drift og har motiveret til en øget anvendelse af systemet. • Der er vanskeligheder med at holde en konstant specifik polymerdosering på grund af variationer i tørstofindholdet i indløbet. En mere konsekvent styringsstrategi og hjælp fra operatørstøttesystemet ventes at reducere dette problem.

- En korrelationsanalyse viser et mønster, der er i god overensstemmelse med generel teori for dekanterafvanding. Dette opfattes som en indikation af, at de indtastede data beskriver virkeligheden godt.

Grundlæggende teori

I projektet kombineres tre discipliner:

- Slamafvandingsteori
- Ledelsesteori, og
- Edb-teknik.

Systemets effekter

Med en tilstrækkelig udnyttelse af systemet vil det kunne medvirke til at optimere slamafvandingsdelen af renseanlæg ved at give operatøren feed-back i form af bearbejdede data og rådgivning. Derudover vil systemet give dokumentation af driften, hvilket kan have betydning for såvel driftslederen som for udstyrs- og kemikalieleverandører.

Systemet vil ret enkelt kunne overføres til andre former for kontinuert slamafvanding som f.eks. sibåndspresser, mens det vil være noget vanskeligere at tilpasse systemet til udstyr, der arbejder batch-vis, som f.eks. kammerfilterpresser.

Fremtids-perspektiver

En videreudvikling af systemet vil kunne bestå i at opsamle data om slammets forhistorie i vandbehandlingsdelen af renseanlægget eller forbehandlingen af slammet.

Opbygning af en statistisk model, der løbende opdateres af de indtastede data, vil kunne anvendes til at forudsige effekten af en given driftsjustering og vil således være en interessant udviklingsmulighed.

Andre muligheder for udvikling ligger i at føre nogle signaler for driftsparametre eller on-line målinger direkte til systemet og dermed lette operatørens arbejde.

2. BAGGRUND OG FORMÅL MED PROJEKTET

2.1 Projektets idè

Slamafvandings
betydning på
renseanlæg

Slamafvanding udgør en vigtig del af driften af de fleste renseanlæg - af flere grunde:

- 1) Når slammet deponeres på losseplads eller afleveres til forbrænding, bliver tørstofindholdet i det afvandede slam af betydning for økonomi og gørlighed.
- 2) Hvis slammet ikke behandles rigtigt, kan der frigives betragtelige mængder stof i forbindelse med afvandingen i form af suspenderet og opløst stof i vandfasen. Typisk recirkuleres dette i anlægget og giver således anledning til en forøget belastning på vandbehandlingsdelen af anlægget.
- 3) En betragtelig del af driftsomkostningerne ved driften af renseanlæg går til slambehandling. Ofte udgør afvanding, transport og deponering op mod halvdelen af driftsomkostningerne.

Slambehandling
ofte lav

Samtidig med de ovennævnte forhold ses ofte, at slambehandlingen har en væsentlig lavere prioritet end vandbehandlingsdelen, og ofte sker der ingen systematisk optimering af denne del af driften.

Afvandings-
mekanismer
ufuldstændigt
kendt

Det hænger blandt andet sammen med, at mange faktorer indvirker på afvandingen, og i mange tilfælde er de grundlæggende mekanismer ikke fuldstændig forstået, hverken af de såkaldte eksperter eller af driftspersonalet.

Konflikt mellem
optimeringsønsker

En anden grund til den manglende optimering kan skyldes, at der grundlæggende er en konflikt mellem de forskellige optimeringsønsker. Det er således nødvendigt at prioritere mellem de forskellige muligheder:

- højt tørstof i afvandet slam
- rent rejektvand
- lavt polymerforbrug
- høj kapacitet

Systematisk
dataopsamling
mangler ofte

Endelig sker der i mange tilfælde ikke en systematisk opsamling og bearbejdning af data fra driften af slamafvandingssystemet.

Baggrunden for dette er dels, at slamafvandingsudstyret ofte er dårligt instrumenteret og dels, at der nødvendigvis må ske en kombination af driftsdata/on-line målinger og resultater fra prøvetagning og analyser, hvilket vanskeliggør processen.

På denne baggrund blev det opfattet som en vigtig opgave at udvikle et system, som gør det muligt for operatøren af et slamafvandingsudstyr at indsamle data på en let måde og anvende disse data som baggrund for en videre optimering.

2.2 Faktorer der påvirker slamafvanding

Faktorer af betydning for slamafvanding

En lang række faktorer påvirker resultatet af slamafvandingen:

- Slammets karakter og forhistorie
- Typen af slamafvandingsudstyr
- Afvandingsudstyrets indstilling
- Udstyrets regulering/styring
- Det anvendte konditioneringsmiddel
- Doseringen af konditioneringsmiddel
- Driften af udstyret.

Mange af disse forhold er fastlagt ved indkøb og installation af udstyret, mens andre kontrolleres af operatøren ved driften af udstyret.

I forhold til de ovennævnte faktorer har projektet været afgrænset på den måde, at slammets forhistorie, afvandingsudstyret og det valgte konditioneringsmiddel er opfattet som givne forhold, idet systemet er forsøgt set fra operatørens synspunkt.

Operatørens observationer

Der er i projektet lagt vægt på at udnytte operatørens erfaringer, således at disse ikke tilsidesættes, men derimod udnyttes og evalueres på et plan, som operatøren kan overskue. Der lægges derved et element af uddannelse og videnoverførsel i projektet, idet et system som det udviklede bl.a. vil være hensigtsmæssigt til overførsel af viden mellem flere forskellige operatører på det samme anlæg.

2.3 Karakterisering af slammet

Afvandings-egenskaber

Der er behov for at kunne karakterisere variationer i slammets afvandingsegenskaber for at kunne skelne mellem, hvilken del af suboptimale driftsresultater der er en funktion af dårlige slamegenskaber (der måske skal søges i en anden del af anlægget) og den del, der skyldes en u hensigtsmæssig drift af slamafvandingsaggregatet.

Idèelt set vil en god karakteriseringsmetode kunne anvendes som en styringsparameter, der kan angive, hvornår slammets karakter betinger en ændring af indstillingerne på afvandingsudstyret. Projektet har således også haft som formål at vurdere, om der eksisterer nemme metoder til karakterisering af afvandingsegenskaberne, der

kan anvendes i den løbende drift af afvandingsudstyret.

2.4 Sammenfatning af idégrundlag

Sammenfatning

Det kan således sammenfattes, at projektets idé har været - med udgangspunkt i driftsoperatørens situation - at integrere de tre elementer:

- Metoder til karakterisering af slams afvandelighed.
- Systematisk dataopsamling - herunder operatørens erfaringer, som de udmøntes i driften af anlægget.
- Generel teori om slamafvanding.

Disse tre elementer er integreret ved at anvende edb-baseret informationsbehandling, idet projektets formål har været at udvikle et koncept/prototype på et operatorstøttesystem til slamafvanding samt vurdere potentialet og perspektiverne i at anvende sådan et værktøj i driften af slamafvandingsudstyret på kommunale renseanlæg.

2.5 Projektets gennemførelse

Projektplant

Den overordnede plan for projektet har været ud fra informationer om driften af slamafvandingsudstyret på to anlæg at udforme et koncept for et operatorstøttesystem, der derefter afprøves på et tredje anlæg. Projektet er således naturligt faldet i et antal faser:

Projektfaser

- Valg af udviklingsanlæg
- Indledende besøg/beskrivelse af de to anlæg
- Opstilling af behovsbeskrivelse
- Udvikling og programmering af operatorstøttesystemet
- Valg af afprøvningsanlæg
- Tilpasning af systemet
- Bearbejdning af indsamlede data
- Evaluering og rapportering.

Sideløbende med disse aktiviteter er der udført en litteratursøgning og afprøvning af metoder til karakterisering af slamafvandingsegenskaberne.

3. BESKRIVELSE AF ANLÆG OG STYRINGSPARAMETRE

Valg af
udviklingsanlæg

Som udviklingsanlæg blev valgt Frederikssund og Sjølsø renseanlæg. Disse anlæg blev besøgt og beskrevet, og driften af afvandingsudstyret blev fulgt og registreret over et par dage. Samtidig blev behovet og interessen for at gå ind i et udviklingsarbejde omkring et operatørstøttesystem vurderet på operatørplan. Det viste sig herved, at man på Frederikssund kørte slamafvandingssystemet med meget få justeringer og derfor ikke mente at have behov for et edb-system til at optimere driften. Det hænger sammen med, at Frederikssund størstedelen af året bringer slammet på landbrugsjord og derfor ikke har krav til tørstofindholdet i det afvandede slam. Sjølsø derimod sender slammet til Vestforbrænding, der kræver 30% tørstof i slamkagen for at modtage den.

Valg af
udstyrstype

Samtidig blev det klart, at udviklingen af et operatørstøttesystem mest hensigtsmæssigt kunne ske til en enkelt type slamafvandingsudstyr, idet det ville komplicere processen unødigt at operere med to forskellige apparater. Det blev derfor valgt at foretage udviklingen af systemet på Sjølsø Renseanlæg og senere overføre det til et andet anlæg med dekanter-centrifuge, hvor Nordkystens Renseanlæg i Hornbæk blev valgt. I tabel 3.1 er de tre nævnte anlæg summarisk beskrevet, og i bilag 1 findes principdiagrammer for de tre anlæg.

	Sjølsø	Frederikssund	Hornbæk
Afvandingsudstyr	Dekanter	Sibåndspresse	Dekanter
Fabrikat/type	DDS-142 C	Bellmer Winkelpresse	DDS-152 C
Startet	1989	?	1989
Nominal kapacitet (m ³ /h)	10	20	20
Slamstabilisering	Rådnetank	Langtidsluftet	Aerob stab.
Slam til afvanding pr. uge (m ³)	Ca. 140	Ca. 300	Ca. 300
Polymer/opblanding	Flydende/kontinuert	Pulver/batch-vis	Pulver/batch-vis
Anlægsstørrelse (PE)	15.000	33.000	16.000
Anlægstype	MBN	MBND	MB

Tabel 3.1: Oversigt over de tre involverede anlæg.

Afvandingsmetoder i Danmark

Som illustreret i tabel 3.2 anvendes dekanter-centrifuger på ca. 27% af den danske slammængde.

	% af samlede danske slam- produktion (tørstofbasis)
Sibåndspresser	21
Dekantercentrifuge	27
Kammerfilterpresse	31
Andet	21

Tabel 3.2: Afvandingsmetoder i Danmark.

Generelle principper

De generelle principper, der ligger til grund for systemet, vil kunne overføres til andre typer udstyr ved tilpasning af edb-programmet. Som illustreret i tabel 3.3 er der et betydeligt sammenfald af betydende parametre for dekanter-afvanding og afvanding på sibåndspresse, og da begge systemer opererer kontinuert, vil samme principper for registrering af data kunne anvendes. Derimod vil tilpasning til kammerfilterpresser kræve mere omfattende modifikationer, da der er tale om batch-operationer.

	Dekanter-systemet på Sjælsø Renseanlæg	Sibåndspresse-systemet på Frederikssund Renseanlæg
Forhold, der ændres sjældent	• Polymerfortynding • Omdrejningshastighed • Vandstand i kuglen	• Polymerfortynding • Båndspænding • Slamfordelersystem
Styringsparametre	• Differenshastighed mellem kuglen og sneglen, der styres af olietrykket i Viscothermsystemet • Fødehastighed • Polymertilsætning	• Båndhastighed • Fødehastighed • Polymertilsætning

Tabel 3.3: Betydende styringsparametre for slamafvanding på Sjælsø og Frederikssund renseanlæg.

3.1 Styringsparametre på slamafvandingsudstyret

I det følgende beskrives, hvilke parametre det er relevant at registrere og bearbejde, jf. tabel 3.4.

Relevante
parametre

Ved vurderingen af, hvilke parametre det er relevant at registrere, er der lagt vægt på to mulige anvendelser af data:

- 1) Direkte styring/regulering.
- 2) Dokumentation af driften af afvandingsudstyret (Driftsjournal).

Slammets
oprindelse

På Sjælsø afvandes slam fra to renseanlæg på det samme udstyr, og det er naturligvis væsentligt at kunne skelne disse typer fra hinanden i den videre bearbejdning. I visse situationer er det ikke muligt at holde disse typer adskilt, og det blev derfor valgt også at operere med begrebet mix-slam. Derudover er det væsentligt at kunne beskrive afvigende forhold ved slammet samt temperaturen i indløbet til afvandingsudstyret.

Polymer
opblandings-
principper

Opløsning og indblanding af polymer for konditionering af slammet inden afvanding foregår på to principielt forskellige måder:

- På Sjælsø Renseanlæg sker der en kontinuert opblanding af et flydende polymerkoncentrat, og denne blanding tilføres fødeslammet to steder dels før fødepumpen og dels umiddelbart inden dekanteren.
- I Hornbæk sker der en batch-vis opblanding af et polymerpulver til en brugsfortynding, der indblandes i slammet, inden det tilføres dekanteren.

På anlægget i Frederikssund anvendes samme princip som i Hornbæk.

I relation til styring har det begrænset betydning, hvilket princip der anvendes, idet det væsentlige i alle tilfælde er at kunne beregne polymertilførslen i forhold til slamtilførslen. Som illustreret i tabel 3.4 betyder den forskellige opbygning dog, at der er behov for at registrere forskellige parametre.

Typisk anvendes på alle tre anlæg en opblanding til 0.1-0.2% aktiv polymer inden tilsætning til slammet.

Indstilling/registrering	Sjælsø	Hornbæk
Slammet:	• Slamtype • Bemærkning om slammet • Temperatur	• Bemærkning om slammet
Polymertilsætningen:	• Polymertype • % aktiv polymer i koncentrat • Slaglængde polymerpumpe • Frekvens polymerpumpe • 2 målere for vandtilførsel til polymerfortynding	• Polymertype • Hastighed polymerpumpe
Slamtilførslen:	• Pumperegulering med Tachometer • Flowmåler for fødeslam	• Pumperegulering med Tachometer
Maskinen:	• Vandstand i kuglen (vandstandsringene) • Olietryk i Viscotherm • Differenshastighed	• Vandstand i kuglen (vandstandsringene) • Olietryk i Viscotherm • Differenshastighed

Tabel 3.4: Relevante indstillinger/registreringer for slamafvanding på Sjælsø og Hornbæk renseanlæg.

Styringsparametre	I litteraturen omtales især tre styrende parametre for dekanterafvanding: • Slamtilførslen • Vandstanden i kuglen • Differenshastighed mellem kuglen og sneglen.
Indløbsflow	Slamtilførslen er en helt central parameter, idet denne størrelse styrer opholdstiden i dekanteren, der ifølge /1/ er den væsentligste parameter ved styring af dekanterafvanding. Slamtilførslen til dekanteren bestemmes på Sjælsø ud fra pumpeydelsen, hvilket er mulig, fordi der anvendes en positiv-pumpe (Mohno-type), mens der i Hornbæk er installeret en magnetisk flowmåler.
Vandstand	Vandstanden i kuglen bestemmes af vandstandsringene, der er nogle ringe med et excentrisk placeret hul, hvorigennem rejektet passerer. Ved

at dreje disse ringe kan vandstanden hæves og sænkes. Ændringer af vandstanden vil dog forekomme meget sjældent, da det kræver adskillelse af maskinen, og normalt vil leverandørens indstilling ikke blive ændret.

Relativ
hastighed

Differenshastigheden bestemmer, hvor hurtigt slamtørstoffet skrubes ud af maskinen. Denne faktor vil således bestemme, hvor lang tid slammet har til at bundfælde i den vandrette del af dekanteren, og hvor lang tid det har til at afdræne i konussen.

Hydraulisk
styring

Differenshastigheden reguleres i både Hornbæk og Sjølsø af Viscotherm-Rotodiff-systemet, der ved hjælp af oliehydraulik regulerer differenshastigheden proportionalt med drejningsmomentet på skrueakslen.

Ved at ændre på forskellige indstillinger kan reguleringstærsklen og stivheden af denne regulering ændres. Normalt ændres kun på stivheden ved at ændre olietrykket i systemet /2/.

Andre dekanter-leverandører (Alfa-Laval, Zickert m.fl.) har tilsvarende reguleringssystemer, og kun meget få maskiner til slam sælges uden en automatisk regulering af differenshastigheden.

Ingen af de ovennævnte parametre registreres rutinemæssigt på de to anlæg med dekantere, og tilsvarende parametre fra driften af sibåndspresen i Fredrikssund registreres ligeledes ikke.

3.2 Driften af slamafvandingsudstyret

Driftsforløb

På de tre undersøgte anlæg foregår slamafvanding kun i arbejdstiden, og der afvandes normalt 4-5 dage pr. uge. Afvandingsforløbet starter om morgenen med klargøring og opstart af maskinen. I løbet af dagen tilses udstyret jævnlige, og eventuelt udtages prøver til karakterisering af afvandingens effektivitet. Hvis der konstateres uhensigtsmæssige forhold, foretages en justering af udstyret eller polymertilførsningen. Om eftermiddagen afsluttes afvandingsforløbet, og maskinen tømmes og rengøres.

Typisk er afvandingen tilrettelagt ud fra slamproduktionen, således at der på hver afvandingsdag behandles en vis del af den ugentlige forventede slamproduktion.

Registrering
af tællere

I forbindelse med driften registreres visning på timetæller og eventuel flowmåler oftest i forbindelse med opstart af udstyret. Dette sker bl.a. af hensyn til smøring af maskindelen, der foretages med bestemte intervaller af driftstid.

3.3 Operatørens observationer

Ved tilsyn af udstyret anvender operatøren de instrumenter, der er til rådighed, men udnytter derudover sine sanser. Maskinen skal lyde rigtigt, og det afvandede slam og rejektet skal se rigtigt ud.

Operatør-
observationer

Observationer som, "det afvandede slam klistrer til transportøren", "store klumper i afvandet slam" og "småpillet slam" udnyttes til at bedømme tørstof i det afvandede slam. Rejektets kvalitet bedømmes specielt ud fra farven, idet "sort rejekt" er udtryk for højt indhold af suspenderet stof, mens "hvidt rejekt" betyder, at vandfasen er i orden. Rejektet kan dog også være "skummen-de" formodentlig på grund af for høj polymerdose-ring.

Justerings-
årsager

Disse - og tilsvarende - observationer vil typisk udgøre grundlaget for operatørens bedømmelse af, om der er behov for en justering af udstyret.

Prøvetagning

Prøveudtagning foretages normalt efter et forud aftalt skema, f.eks. én gang pr. uge, og en afvigende driftssituation vil normalt ikke udløse en prøvetagning.

På de tre anlæg blev inden projektets igangsæt-telse rutinemæssigt kun analyseret for tørstof-indholdet, mens parametre til at karakterisere slammets afvandingsegenskaber ikke blev målt.

3.4 Dokumentation af driften

Driftsjournaler

Driftsjournalerne på de tre anlæg omfatter typisk informationer om:

- Produceret mængde afvandet slam
- Forbrugt mængde polymer
- Opnået tørstof (samt eventuelle andre analyser)
- Bemærkninger om reparation og vedligeholdelse
- Aflæsninger af timetællere m.v.

Selve "afvandingsresultatet" er således ikke dokumenteret, og det er derfor ikke muligt at bedømme, om afvandingsudstyret har været drevet fornuftigt.

4. SLAMKARAKTERISERINGSMETODER

Metoder til karakterisering af slam kan opdeles i følgende grupper:

1. Metoder til generel karakterisering, dvs. diverse kemiske analyser, tørstof, glødetab, pH, m.v.
2. Metoder til karakterisering af tilstandsform, dvs. viskositet, massefylde, forskydningsstyrke m.fl.
3. Metoder til karakterisering af stabiliseringsgraden, dvs. iltforbrug, lugt, mikrobiologiske undersøgelser m.fl.
4. Metoder til karakterisering af forbehandling inden afvanding, dvs. konditioneringen af slammet med polymerer o.l.
5. Metoder til afprøvning af afvandingsegenskaberne ved filtrering eller centrifugering.

I forbindelse med dette projekt er gennemgangen af metoder afgrænset til at omfatte dem, der har direkte relation til afvandingsmetodikken, dvs. fra punkt 2, 4 og 5.

4.1 Metoder til karakterisering af afvandings-egenskaber

COST 681
workshop

Ved en workshop om metoder til karakterisering af slam i 1983 opsummerede Paulsrud de mest almindelige metoder, der anvendes til at forudsige afvandingsegenskaberne i forbindelse med design eller drift af de tre mest udbredte typer af afvandingsudstyr: centrifuge (dekanter), bæltepresse og kammer-filterpresse. Denne oversigt er vist i tabel 4.1 i lidt modificeret udgave.

Karakteriseringsmetode	Afvandingsudstyr		
	Centrifuge	Sibåndspresse	Kammerpresse
Specifik filtreringsmodstand			++
Capillary suction time (CST)			++
Standard-konditioneringstest		++	
Modificeret filtreringstest		*	
Viskositetstest		*	
Penetrometertest	*		
Centrifugering på laboratoriecentrifuge	*		
Flokstyrke (standard stirrer test)	*		
++ angiver, at metoden er pålidelig til at vurdere fuldskala			
* angiver potentiel metode til at vurdere den pågældende afvandingsmåde			

Tabel 4.1: Metoder til karakterisering af slamafvanding.
Modificeret efter /3/.

CST/specifik filtrering	De mest udbredte metoder til en generel karakterisering af afvandingsegenskaberne og til sammenligning af forskellige slamtyper er Capillary Suction Time (CST) og specifik filtreringsmodstand. Det er samtidig de eneste metoder, der foreligger som standardiserede metoder, idet CST er udformet som DIN-norm i Tyskland, og specifik filtreringsmodstand er etableret som standard i Frankrig. Princippet i disse to metoder beskrives i bilag 2.
Penetreringstest	Specielt til vurdering af afvanding ved centrifugering beskriver Vesilind i /4/ en metode til at optimere polymertil sætningen, hvor der udføres en standardiseret centrifugering efterfulgt af en måling af penetreringen. Denne metode er af Mininni og Spinosa /5/ sammenlignet med en metode, hvor flokstyrken bestemmes ved en standardomrøring i varierende tid efterfulgt af en CST. De konkluderer, at begge disse kombinerede metoder kan anvendes til at optimere/forudsige polymerforbrug og den forventede udskilningsgrad.
Flokstyrke meto	

Vesilinds metode er dog ikke velegnet til aktivt slam, idet det er vanskeligt at måle penetreringen.

Det er således sandsynligt, at de ideelle metoder opnås ved at kombinere flere testmetoder, men disse kombinerede metoder anses ikke relevante som testmetoder på renseanlæggene, hvor der må lægges vægt på, at metoderne er hurtige og enkle.

Viscositets-
målinger

En anden retning inden for karakterisering af slam udgøres af en gruppe forskere, der arbejder med viskositetsmålinger som mål for afvandingssegenskaberne. (Colin m.fl.) /6, 7/. Der er endnu ikke vist en klar sammenhæng mellem rheologi og filtreringsegenskaber, men metoderne kan tilsyneladende anvendes til at beskrive konditioneringsgraden /7/. En fordel ved de rheologiske metoder er, at de kan etableres som on-line-målinger af konditioneringen og som sådan løbende optimere polymertil sætningen. Et kommercielt tilgængeligt system, der er udviklet på Wastewater Technology Center i Canada beskrives i /8/, og det konkluderes, at polymerforbruget kan reduceres med ca. 25% ved anvendelse af systemet. Ud over ovennævnte metoder, der er beskrevet i litteraturen, anvender leverandører af udstyr og konditioneringskemikalier ofte deres egne metoder i form af simple filtreringer eller centrifugeringer kombineret med den visuelle observation af slamflokkenes karakter.

On-line rheologisk
metode

Leverandør-
metoder

4.2 Valg af metode i projektet

CST valgt

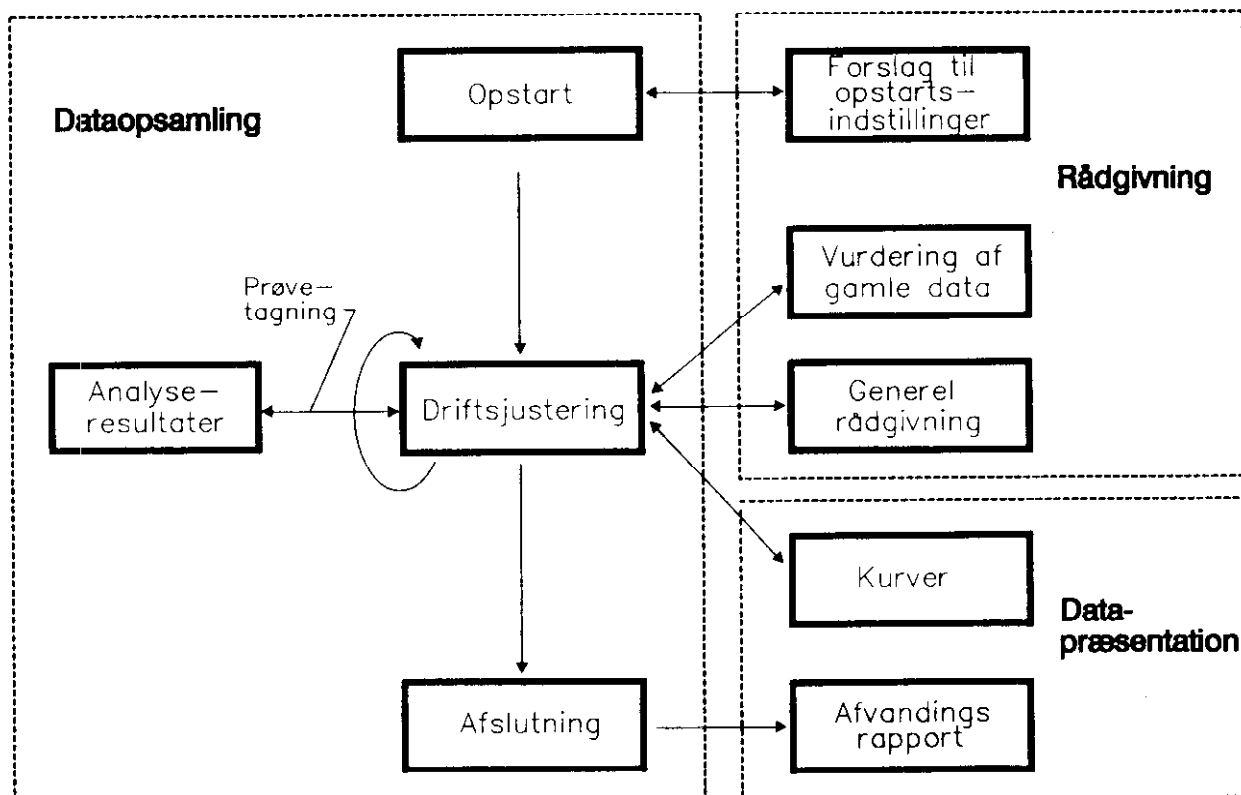
Ud fra ønsket om at anvende en standardiseret metode, der er hurtig og enkel at gennemføre, blev det valgt at implementere CST-måling på Sjølsø og Hornbæk som et redskab til at undersøge, om slamafvandingssegenskaberne ændrer sig.

5. OPERATØRSTØTTESYSTEMET

Med baggrund i beskrivelsen af de relevante styringsparametre (beskrevet i afsnit 3), er der udformet et operatørstøttesystem, der - baseret på operatørens inddateringer - foretager databearbejdning m.v. Systemet består i princippet af tre dele:

- En database indeholdende oplysninger om slamegenskaber, indstillinger af udstyret, resultater fra prøvning/analyse og operatørens observationer udgør rygraden i systemet.
- Grafisk præsentation af data og sammenhænge giver operatøren adgang til de indsamlede data, og en række rapporter tjener som dokumentation.
- En rådgivningsfunktion yder støtte i tilfælde af driftsproblemer. Rådgivningen er baseret på generel viden om slamafvanding og på informationer fra databasen.

Samspillet mellem de tre dele er illustreret i figur 5.1, og de enkelte komponenter i systemet omtales nærmere i det efterfølgende.



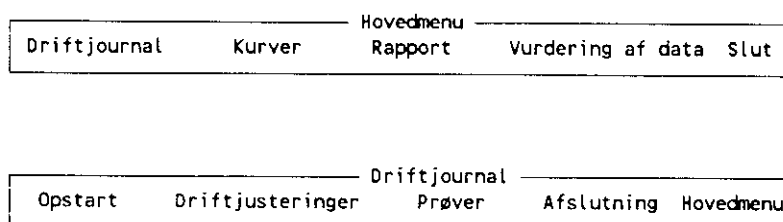
Figur 5.1: Diagram over den funktionelle sammenhæng mellem de enkelte komponenter i operatørstøttesystemet

Menustyring

I praksis er systemet opbygget med en kombination af menu-styring og anvendelse af funktionstaster, og menu-strukturen er vist i figur 5.2. Denne struktur er dog ikke resultat af en gennemtænkt strategi, men snarere et produkt af den udvikling, systemet har undergået. I det hele taget må det understreges, at der er tale om en prototype/udviklingssystem, som vil kunne forbedres på flere punkter inden en eventuelt videre udbredelse.

Prototype

Den version, der beskrives nedenfor, er specifikt udviklet til afvandingssystemet på Sjølsø Renseanlæg, og programmet til Hornbæk er modificeret på en række punkter. Systemet er således modulopbygget, let adgang til at foretage ændringer af de moduler, der beskriver det specifikke anlæg.



Figur 5.2: Menu-struktur i operatorstøttesystemet

5.1 Dataopsamling

Enkel betjening

Filosofien bag dataopsamlingsdelen af systemet har været at gøre det enklest muligt for driftsoperatøren at betjene systemet, men samtidigt illustrere for ham hvilke parametre, der er relevante at registrere ved hver justering/prøvetagning.

Fastholdte
justerings-
parametre

På denne baggrund er der skelnet mellem parametre, der er konstante gennem et længere afvandingsforløb og som derfor kun behøver at blive registreret ved opstart, og parametre der kan ændres under drift, og som derfor skal opdateres ved hver justering af driften (jf. figur 5.3 + 5.4). Hvis nogle af de parametre, der registreres under opstart, ønskes ændret - f.eks. slamtypen - må man lave en afslutning og en ny opstart.

Prøvetagning

Derudover er systemet indrettet således, at det kan håndtere det forhold, at det kun er i forbindelse med nogle af justeringerne, der udtages en prøve, og at indtastningen af analyserne først sker senere. Dette gøres ved at generere et prøvenummer, hvis operatøren svarer "ja" til prøvetagning.

Beregninger

En række forhold kan ikke aflæses direkte, og disse ting beregnes derfor af systemet som en hjælp til operatøren. Det gælder:

- Indfødt mængde (omregning af tachometervisning)
- Polymerforbrug (slaglængde * fortynding * frekvens)
- Aktuel polymerfortynding (polymerforbrug * vandforbrug).

Årsager til justering

Ved indtastning af en driftsjustering skal operatøren angive årsager til den udførte driftsjustering, idet der kan vælges mellem følgende årsager:

1. Lavt tørstof i afvandet slam
2. For højt tørstof i afvandet slam
3. For højt indhold af SS i rejekt
4. Kapaciteten på dekanteren ønskes øget
5. Kapaciteten på dekanteren ønskes reduceret
6. Polymertilsætningen ønskes sat ned
7. Opstart af drift
8. Prøveudtagning
9. Andre grunde - forklar:

Hver af de første seks årsager har en undermenu, hvor operatøren skal angive, hvad der har udløst behovet for justeringer med henblik på at få indsamlet et datagrundlag over årsager, udtrykt som de observationer operatøren gør.

Vurdering af gennemført justering

Efter endt indtastning bliver operatøren spurgt, om den gennemførte justering skønnes at have haft den tilsigtede effekt, som "ja", "nej" eller "ved ikke". Dette har til formål at sortere data, således at kun justeringer, der af operatøren skønnes vellykkede, anvendes i "vurdering af data". (Se nedenfor).

Indtastning af analyser

Inden afslutningen af afvandingsforløbet skal alle analyseresultater indtastes - for at komme med i dagsrapporten (se nedenfor). De registreres dog også ved senere indtastning og kan anvendes i den efterfølgende rapportering eller vurdering.

Indtastningen sker i et skærbillede som vist i figur 5.5, idet der samtidig beregnes en række nøgleparametre:

- Slamfaktor med og uden polymer (CST/Tørstof i indløb)
- Polymerdosering (polymerforbrug/Tørstof i indløb)
- Udskilningsgrad
- Tørstofmængden ind i dekanteren.

INDTASTNING AF GRUNDINDSTILLING		Dato: 30/8-90
MASKINEN: Brikkerne står på..... 0 POLYMEREN: Polymertype75 Polymerfortynding (%) 50 Slaglængde på polypumpe (%)100 DRIFTEN: Startes kl. 14.02 af (init):	SLAMMET: Slamtype Sjælsø Bistrup Isterød Mix Specielle forhold ved slammet idag:	Home: Første felt End: Hop til Godkend

F1 : Hjælp F4 : Rådgivning
F5 : Indstillingsforslag F10 : Kurver

GODKEND

Figur 5.3: Skærbillede til registrering af opstartsdata

OPSTART FORETAGET KL. 9.41		Dato: 21/9-90
GRUND TIL JUSTERING: Opstart af drift PRØVE ? Vil du udtage prøver (J/N): N Mærk prøverne: IndløbI RejektR Afvandet slam.A Polymer slam ..P Husk Nummer BEREGNEDE VÆRDIER: Polymerbrugsfortynding (%) Pumpeydelse (m3/time)	INDSTILLINGER: Tachometer Frekvens på polypumpe ... Vandmåler 1 (l/t) Vandmåler 2 (l/t) Viscoterm-visning (Bar).. AFLÆSNINGER: Slamstand i slamtank (cm) Relative omdrejninger ... Temperaturaflæsning21.0	F1: Hjælp F4: Rådgivning F10: Kurver FORTRYD GODKEND

Figur 5.4: Skærbillede for registrering af driftsdata

INDTASTNING AF ANALYSERESULTATER		Dato: 19/9-90
Analyseresultater fra prøve nr. 112 udtaget kl. 12.28 dato 19/ 9-90 analyseret af olp		Tryk F1 for Hjælp Tryk F2 for at annullere prøven
Indløb Temperatur .. 22.0 Prøvenr 1112 Tørstof (%).. 4.0 CST (sek).... 1000	Rejekt Temperatur ... Prøvenr R112 pH Susp. stof (%) 1.00	
Polymerblandet Temperatur .. Prøvenr P112 Tørstof (%).. CST (sek).... 50.0		BEREGNED VÆRDIER: Polymerdosering (g/kgTS) 6.25 Slamfaktor indløb250.0 Kond. slamfaktor 12.5 Udskilningsgrad 77.8
Afvandet slam Tørstof (%).. 28.00 Prøvenr A112		

Home:Første felt End:Hop til Godkend FORTRYD GODKEND

Figur 5.5: Skærbillede for indtastning af analyseresultater

BEREGNINGER PÅ BAGGRUND AF ANALYSERESULTATER		Dato: 19/9-90
	Beregnet værdi	Gennemsnit af tidligere analyser for denne slamtype
Tørstofmængde ind (kg/time)	266.26	377.69
Specifik polymerdosering (g/kgTS)	6.25	6.79
Slamfaktor (uden polymer)	250.00	255.70
Udskilningsgrad (%)	77.78	94.55

FORTSÆT

Figur 5.6: Skærbillede for vurdering af beregnede nøgleparametre

Efter endt indtastning sammenlignes de beregnede nøgleparametre med gennemsnit af gamle data for den pågældende slamtype for at illustrere, om resultaterne er væsentligt afvigende - se figur 5.6.

Fortryd

Bemærk i øvrigt i figur 5.5, at det er muligt at annullere en prøveserie igen, og der er således ingen risiko ved at sige "ja" til en prøveudtagning. Generelt er der lagt vægt på at have muligheder for at fortryde, således at et fejlvalg eller et forkert tryk ikke har nogen effekt. Det betyder også, at f.eks. skærmen for driftsjustering kan udnyttes til en konsultation af systemet, hvis man ønsker at få beregnet nogle af de størrelser, der indgår på skærmen.

Afslutning

I forbindelse med afslutning af afvandingsforløbet kan systemet registrere:

- Slamniveauet i slamlagertanken
- Driftstimetæller for anlægget
- Tilkørt og bortkørt slammængder,

Dagsrapport

og der er mulighed for at indtaste bemærkninger om dagens drift og eventuelle vedligeholdelses- eller reparationsaktiviteter. (Figur 5.7). På basis af dagens registreringer udregnes de vigtigste mængder og afvandingsresultater:

- Mængden af råslam, der er behandlet
- Polymerforbrug
- Polymervandsforbrug
- Gennemsnitligt tørstof i vandfase og slamfase,

og disse informationer udskrives i en dagsrapport sammen med opstarts- og afslutningstidspunkt, operator, slamtype m.v. Et eksempel på en dags-rapport er vist i bilag 3.

AFSLUTNING FORETAGET KL. 12.26 Dato: 19/9-90	
INDSTILLINGER/AFLÆSNINGER: Slamstand i slamtank (cm) .. 25 Timetæller (timer) 7888 TILKØRT/BORTKØRT SLAM: Tilkørt (m3) 60 Bortkørt (læs) 2	BEMÆRKNINGER: Smøring: Polymer: Reparationer: polypumpe Andet:
Tryk F1 for Hjælp	

GODKEND

Figur 5.7: Skærbillede for indtastning af afslutningsdata

5.2 Kurver og rapporter

Kurver

Kurvefaciliteten omfatter følgende muligheder:

- Temperatur i indløb og tørstof i afvandet slam som funktion af tiden
- Slamfaktor indløb som funktion af tiden
- Polymerdosering og tørstof i indløb som funktion af tiden
- Udskilningsgrad som funktion af tiden
- Tørstofmængden tilført dekanteren som funktion af tiden
- Polymerdosering som funktion af tørstof i indløb
- Tørstof i afvandet slam som funktion af temperatur i indløb
- Tørstof i afvandet slam som funktion af polymerdosering.

Kurverne kan vælges til at omfatte alle slamtyper eller kun en enkelt, og de kan derudover vælges til at omfatte hele perioden, hvor systemet har været i drift, en måned tilbage eller 14 dage tilbage.

Rapporter

Rapporterne omfatter døgnrapporter, der kan vælges udskrevet for et vilkårligt døgn, samt tre-månedes rapporter:

- Mængder, dvs. afvandede, tilkørte og bortkørte mængder
- Afvanding, dvs. maskinindstilling og justeringsgrund
- Analyser, dvs. resultater fra de gennemførte prøvetagninger og analyser.

Månedsrapporterne kan vælges udskrevet for vilkårlig måned.

5.3 Rådgivning og vurdering af gamle data

Denne del af programmet indeholder følgende hjælpefaciliteter:

- * Forslag til opstartsindstilling
- * Rådgivning - forslag til strategi
- * Vurdering af gamle data.

Forslag til
opstart

Ved "forslag til opstartsindstilling" bliver operatøren bedt om at definere sine ønsker/sin strategi for slamafvandingsforløbet, idet der vælges mellem følgende fire muligheder:

- Højt tørstof i afvandet slam
- Rent rejekt
- Høj kapacitet
- Lavt polymerforbrug.

På denne baggrund hentes de seneste indstillinger, der opfylder kriterierne for den pågældende slamtype, som et forslag til opstartsindstilling.

Forslag til
styringsstrategi

Vælges "rådgivning", præsenteres et forslag til en meget enkel styringsstrategi, der er hyppigt anvendt:

- * Hold tørstofmængden ind i dekanteren konstant. Hvis niveauet ønskes ændret, ændres polymer-tilsætningen tilsvarende.
- * Regulér tørstofindholdet i det afvandede slam ved at regulere udskrabningshastigheden, dvs. trykket i viscothermen.
- * Regulér rejektkvaliteten ved hjælp af polymer-tilsætningen.

Vejledning

På baggrund af denne strategi er der udarbejdet en vejledning til afhjælpning af de forskellige problemer eller ønsker om optimering, der kan opstå undervejs. Vejledningen, der er knyttet til de første seks årsager til justering (- se ovenfor), findes i bilag 4, mens principperne er illustreret i figur 5.8.

Justeringsgrund	Tachometeret		Viscotryk		Polymertilsætning	
	Op	Ned	Op	Ned	Op	Ned
• For lavt tørstof i afv. slam (Tørstof ønskes øget)		•		⊕		
• For højt tørstof i afv. slam (Tørstof ønskes reduceret)	•		⊕			
• For meget SS i rejekt (Vandfasen ønskes pænere)		⊕			•	
• For lille kapacitet (Kapaciteten ønskes øget)	•				•	
• For stor kapacitet (Kapaciteten ønskes reduceret)		•				•
• For stort polymerforbrug (Polymertilsætningen ønskes reduceret)						•

• = Første justeringsforslag.
⊕ = Anden justeringsforslag.

Figur 5.8: Oversigt over forslag til justeringer, som er beskrevet i "rådgivning".

Normal respons

Ved "vurdering af data" kan de foretagne justeringer trækkes frem og præsenteres, idet der igen tages udgangspunkt i årsagen til justeringen. Dvs. at operatøren får svar på spørgsmålet: "Hvad plejer vi at gøre når...". Samtidig gøres opmærksom på, hvilke ændringer der er i overensstemmelse med den generelle strategi.

Succeskriterier

Ved præsentationen anvendes kun de ændringer, der vurderes at have effekt - dvs. blev bedømt som vellykkede af operatøren, der udførte dem. Hermed bliver der to succeskriterier til evaluering af de gamle data, og operatøren stilles frit til at vælge den mest hensigtsmæssige løsning. Et eksempel på en "vurderingsskærm" er vist i figur 5.9.

Årsag til justering : For højt tørstof i afvandet slam
--

Justeringer af fødemængden (Tachometer) :

	Antal	fra (gns)	til (gns)
Sat op	2	21.10	21.90
Sat ned	0		

*

Justeringer af polymertilsætningen (Frekvens) :

	Antal	fra (gns)	til (gns)
Sat op	1	70.00	75.00
Sat ned	1	75.00	70.00

Justeringer af udskrabningshastighed (Viscoterm) :

	Antal	fra (gns)	til (gns)
Sat op	0		
Sat ned	0		

VURDÉR IGEN FORTSÆT

De mest relevante justeringer ifølge den generelle strategi er markeret med ***Figur 5.9:** Skærbillede for vurdering af data

6. UDNYTTTELSEN AF SYSTEMET

6.1 Sjælsø

Implementerings-
perioder

Som beskrevet har projektet omfattet en række faser, og specielt har etableringen og udviklingen af systemet på Sjælsø Renseanlæg omfattet tre perioder:

1. periode: Dataopsamling implementeret, 5. jan. til 28. marts 1990.
2. periode: Kurver og rapporter implementeret, 23. marts til 20. august 1990.
3. periode: Rådgivning m.v. implementeret, 20. august

I første periode, der omfatter ca. 3 mdr., er der således indsamlet data, uden at operatørerne har haft væsentlig feed-back. Denne fase kan således bruges til at beskrive den upåvirkede drift, mens der i anden periode har været en vis feed-back til operatørerne i form af præsentation af de indsamlede data. Tredje periode omfatter det komplette system, hvor alle de ovennævnte faciliteter er implementeret.

Nedenfor er der skelnet mellem disse tre perioder for at vurdere, om der er sket en ændring i anvendelsen af systemet, efterhånden som systemet er blevet implementeret.

Antal indsamlede
datasæt

Tabel 6.1 viser mængden af indsamlede data fordelt på de tre perioder, idet der er angivet det samlede antal datasæt, antal prøvetagninger og tørstofbestemmelsen samt fordeling af data på årsagerne til justering.

Systemet har været i drift på næsten alle "afvandringsdage". I gennemsnit er der foretaget 2 justeringer hver dag, dog med en ret ujævn fordeling, således at antallet af justeringer varierer fra 0 til 6. Der kan ikke konstateres en stigning i antallet af justeringer gennem de tre perioder.

Antal
prøveudtagninger

Antallet af prøveudtagninger viser derimod en klar stigning, og der er tilsvarende sket en stigning i antallet af analyser på vandfaser, hvilket tyder på en stigende bevågenhed for kvaliteten af vandfasen.

	Første periode	Anden periode	Tredie periode
Antal data-sæt	152	158	60
Opstarter	51	51	20
Justeringer	101	107	40
Justeringer pr. dag	2.0	2.1	2.0
Antal prøvetagninger	34	43	20
Prøvetagninger pr. dag	0.7	0.8	1.0
TS bestemt i indløb	25	38	15
TS bestemt i afv. slam	24	41	16
TS bestemt i rejekt	4	32	11
Grunde til justering			
Opstart af drift	51	51	20
Lavt tørstof i slamkagen	45	57	6
Højt tørstof i slamkagen*	3	6	18
Højt tørstof i rejekt	1	6	2
Kapaciteten sættes op*	-	-	3
Kapaciteten sættes ned*	-	-	1
Polymertils. sættes ned*	-	-	1
Prøvetagning*	5	11	7
Andre grunde	13	2	2
Ingen forklaring	34	24	-
Samlet	152	157	60

* Disse grunde til justering blev først implementeret i 3. fase.

Tabel 6.1: Mængden af indsamlede data for de tre perioder.

Flere årsager
til justering

Som det yderligere fremgår af tabel 6.1, har der i første og anden periode været ret få årsager til justering, hvilket har ført til, at en del justeringer er udført, uden at der er angivet en forklaring, eller muligheden for at angive en anden forklaring end standardårsagerne er anvendt. Dette forhold gav anledning til at udvide rækken af standardårsager til listen, der er beskrevet i afsnit 5.

Ændring i slam-
mets karakter

Mens den dominerende årsag til justering i første og anden periode var "for lavt tørstof i slamkagen", er der i tredje periode sket et skift i retning af flere tilfælde, hvor tørstoffet i slamkagen har været for højt. Det skyldes en ændring i slammets karakter, som beskrives nærmere nedenfor.

6.2 Hornbæk

Implementering
Hornbæk

Kontakten til Nordkystens Renseanlæg i Hornbæk blev etableret mens den afsluttende version af systemet stadig var under udvikling, og der blev lavet en udgave af systemet med dataopsamling og kurver tilpasset til anlægget i Hornbæk.

Af forskellige årsager blev systemet ikke anvendt i første omgang, og det blev derfor aftalt at gøre et nyt forsøg med det færdigudviklede

system. Denne version af programmet blev installeret ca. 1 måned før projektets afslutning, og der har således været begrænset tid til rådighed for personalet på Nordkystens Renseanlæg til at vende sig til systemet.

Stadig i
indkøringsfase

Anvendelsen af systemet har således været meget begrænset anvendt. Der er foretaget 8 opstarter, og der er foretaget 3 prøvetagninger, hvor der er udført bestemmelse af tørstofindholdet i det afvandede slam. Der er således stadig tale om en indkøringsfase, og det kan derfor ikke bedømmes, i hvilket omfang systemet vil kunne støtte til operatørerne.

7. VURDERING AF DE INDSAMLEDE DATA FRA SJÆLSØ

7.1 De foretagne justeringer

I tabel 7.1 er det opgjort for første og anden periode, hvilken form for justering der er foretaget som respons på de forskellige justeringsgrunde, idet der er skelnet mellem de tre vigtigste styringsparametre:

- * justering af fødemængden med "tachometeret"
- * ændring af trykket i "viscothermen"
- * justering af polymertilsætningen.

Antal ændringer af styringsparametre

Disse styrende parametre er kun ændret i 67 ud af 208 justeringer, hvilket betyder at mange af de andre registreringer har haft andre formål end en direkte ændring af procesbetingelserne, bl.a. opstart af driften, udtagning af prøve m.v.

Justeringsgrund	Antal justeringer	Tachometervisning		Viscothermtryk		Polymertilsætning	
		øget	reduceret	øget	reduceret	øget	reduceret
0 "Opstart af drift"	0	-	-	-	-	-	-
1 "Store klumper i afv. slam"	22	13	5	1	2	3	6
2 "For lavt tørstof..."	7	3	3	0	0	1	3
3 "Sort vandfase"	2	0	1	0	0	2	0
4 "Skummende vandfase"	5	1	0	1	1	0	5
5 Andre årsager	19	9	4	3	2	3	4
6 Ingen forklaring	12	7	2	0	0	1	4
I alt	67	33	16	5	5	10	22

Tabel 7.1: Justeringer af flow (tachometer), "udskrabningstryk" (Viscothermtryk) og polymertilsætning fordelt på de forskellige årsager til justering i første og anden periode.

Justeringer med henblik på højere tørstof

Årsag 1 og 2 er begge udtryk for ønsket om at øge tørstofindholdet i det afvandede slam. Dette er tilsyneladende primært søgt opnået gennem en forøgelse af indfødningsgraden af slam, hvilket måske kan være en rimelig metode, såfremt udskilningsgraden er god og polymertilsætningen øges tilsvarende. Ifølge mere generelle betragtninger om slamafvandingsgraden, må en forøget tilførsel af slam til dekanteren dog forventes at bevirke en kortere opholdstid af slamtørstoffet i dekanteren og dermed et lavere tørstof i det udskilte slam. De få situationer, hvor tachometervisningen er reduceret, må således opfattes som en mere relevant respons.

I 10 af de 27 situationer er polymertilsætningen ændret samtidig med ændring af tachometeret. I 16 af disse er tachometeret sat på en højere værdi samtidig med, at polymertilsætningen er reduceret, og i 2 tilfælde er begge parametre øget. I de 2 sidste tilfælde er tachometeret sat på en lavere værdi samtidig med, at polymertilsætningen er øget.

Trykket i viscothermen er i et enkelt tilfælde øget for at opnå højere tørstof. Det vil bevirke, at udskrabningshastigheden øges, og at tørstoffet derfor får kortere opholdstid med lavere tørstof til følge, og de to tilfælde, hvor trykket er reduceret, er således mere hensigtsmæssige justeringer i denne situation.

Tredje periode

Tredje periode er ret kort, og der er derfor indsamlet væsentlig færre data end i de foregående perioder. En opstilling som den ovenstående er vist i tabel 7.2 for de 16 justeringer, hvor der er foretaget ændringer af styringsparametrene.

			Tachometer		Viscoterstryk		Polymerforbrug	
			øget	reduceret	øget	reduceret	øget	reduceret
1	Lavt tørstof i afvandet slam	2	1	1				
2	Højt tørstof i afvandet slam	6	5	0			1	1
3	Højt indhold af SS i rejekt	2	1	1	1	1		
4	Kapaciteten ønskes øget	2	2				1	
5	Kapaciteten ønskes reduceret	1	0	1				
6	Polymertilsætning reduceres	1	0					1
I alt		14	9	3	1	1	2	2

Tabel 7.2: Justeringer af styringsparametre fordelt på justeringsårsager i tredje periode.

Som det fremgår, er der stadig nogen variation på responsen på de forskellige justeringsønsker, men alligevel er der et mere tydeligt mønster. Tørstofindholdet i det afvandede slam er ligesom kapaciteten i det væsentlige reguleret med tachometeret, og polymertilsætningen er tilsyneladende justeret tilsvarende. Med hensyn til rejektkvaliteten følger justeringerne dog ikke et hensigtsmæssigt mønster, og specielt er ændring af polymertilsætningen ikke forsøgt, selv om det direkte er foreslået i rådgivningsfunktionen.

Bortset fra den ene af justeringerne i gruppe 4 er alle justeringerne bedømt som vellykkede af operatøren.

Konklusion

Det kan konkluderes, at det var ønskeligt med et øget datagrundlag fra periode med det samlede system implementeret, idet de foretagne justeringer er tydeligt forbedret siden første og anden periode.

7.2 Præsentation af de indsamlede data

I figur 7.1 til 7.3 er de indsamlede data for de væsentligste parametre vist på en tidsakse for alle tre perioder. Der er skelnet mellem tre typer:

- Parametre, der karakteriserer slammet (figur 7.1)
- Parametre, der kontrollerer maskinens indstilling (figur 7.2)
- Parametre, der beskriver afvandingens resultat (figur 7.3).

Rådnetank tømt

Slammets karakter som beskrevet ved tørstof, temperatur og CST varierer en hel del, men ligger dog på det samme niveau igennem de første måneder. Derefter sker der omkring starten af maj en tydelig ændring, idet temperaturniveauet stiger, og CST-værdierne falder. Det hænger sammen med, at rådnetanken på Sjølsø Renseanlæg blev tømt i slutningen af april med henblik på reparation, og da rådnetanken igen kom i gang, havde slammets egenskaber tydeligt ændret sig. Inden tømningen af rådnetanken var der tydelig forskel mellem slammet fra Sjølsø og Bistrup, men denne forskel er udjævnet meget efter tømning og ny opstart af rådnetanken på Sjølsø.

Slamegenskaber

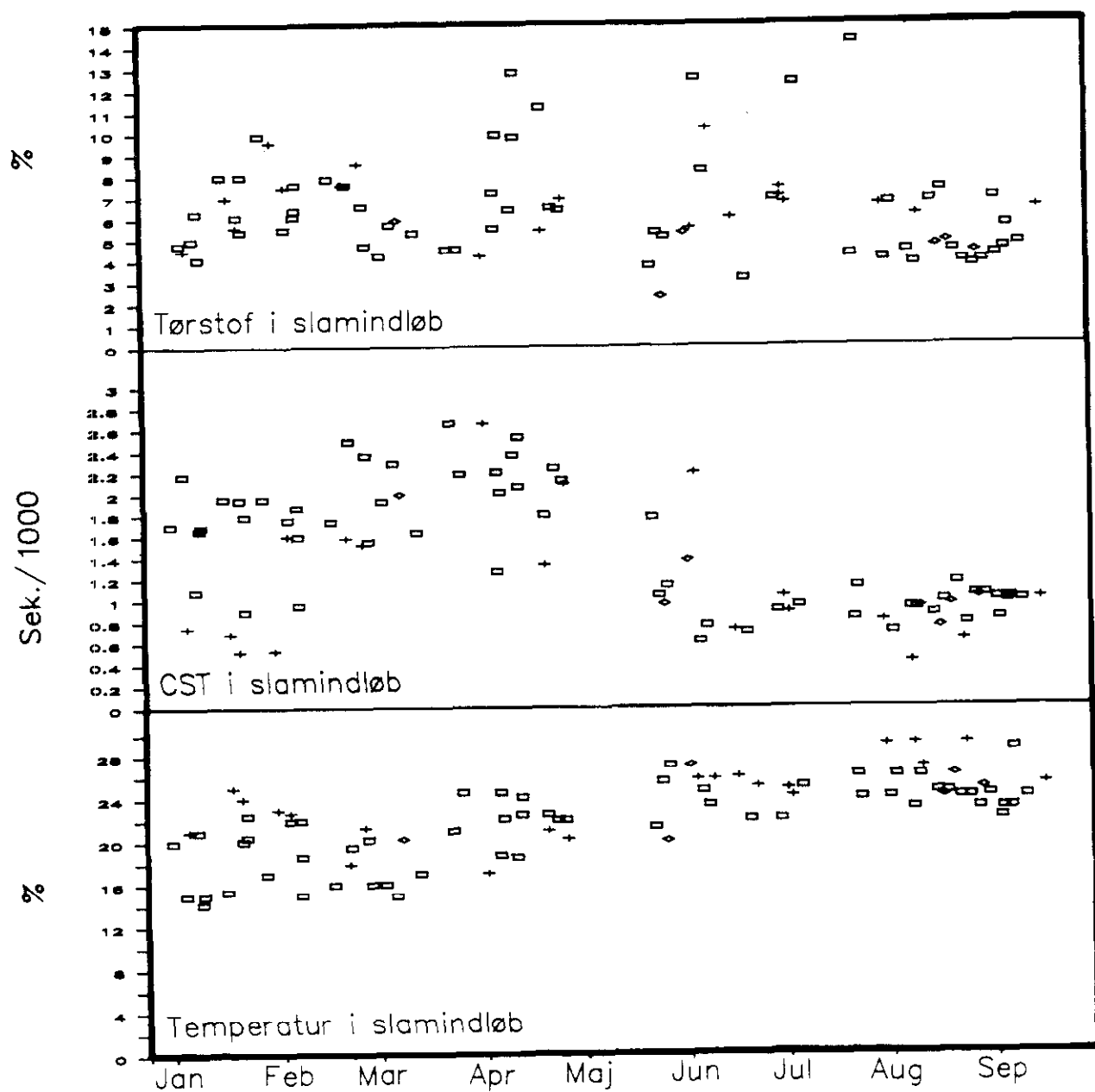
Dette forhold illustrerer, at det er væsentligt løbende at karakterisere slammet, således at det kan bedømmes, hvilke ændringer i afvandingsresultaterne, der skyldes ændringer i slammets karakter, og hvilke der skyldes ændret styring af udstyret.

Styringsparametre

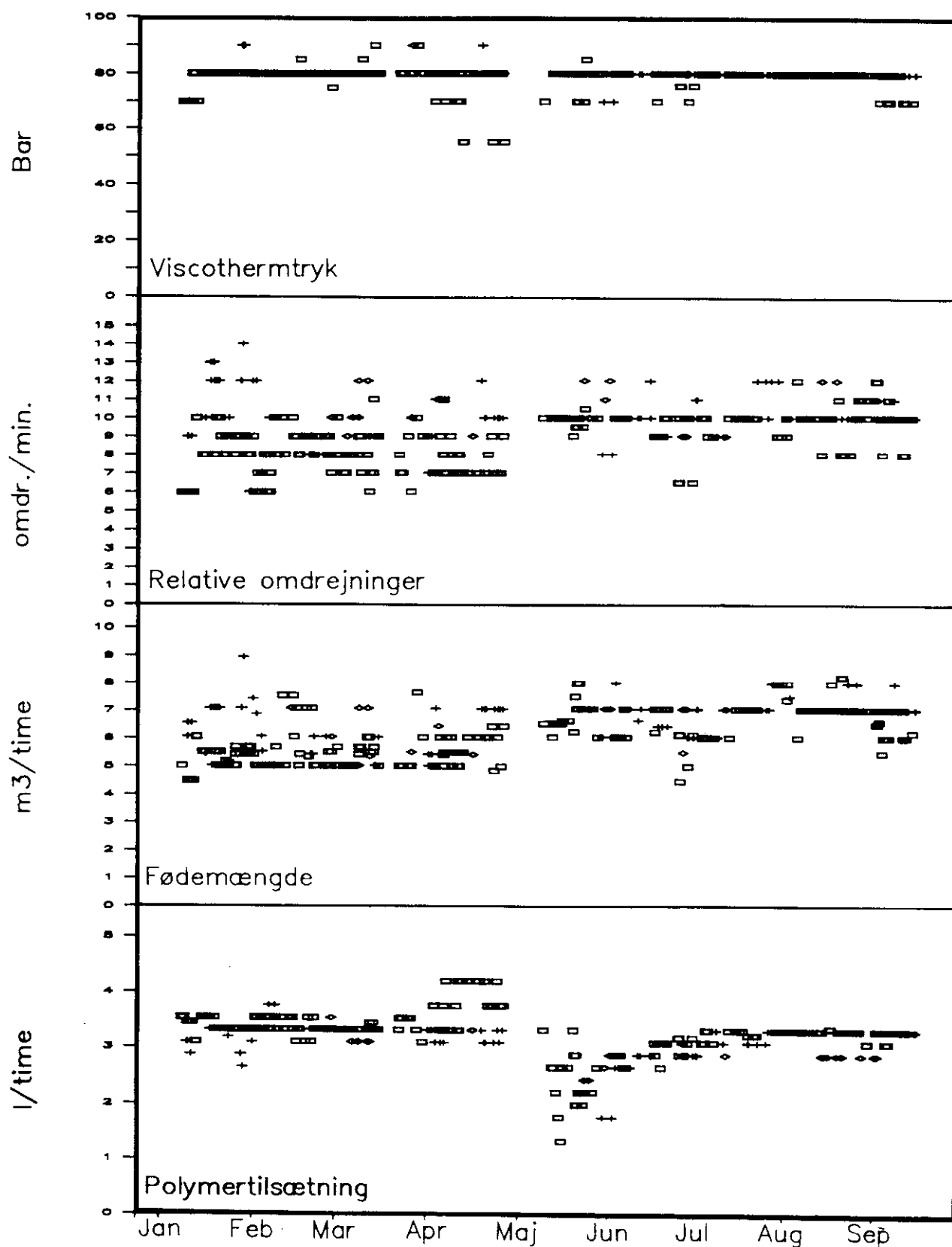
Som illustreret i figur 7.2 er der ikke væsentlige ændringer i styringen af udstyret, idet viscotherm-trykket, der kontrollerer differenshastigheden, er holdt på samme niveau, mens de aflæste differenshastigheder ligger på et højere niveau. Dette skyldes, at der er kørt med et højere føde-flow efter starten af maj som en konsekvens af de ændrede slamegenskaber.

Resultatparametre

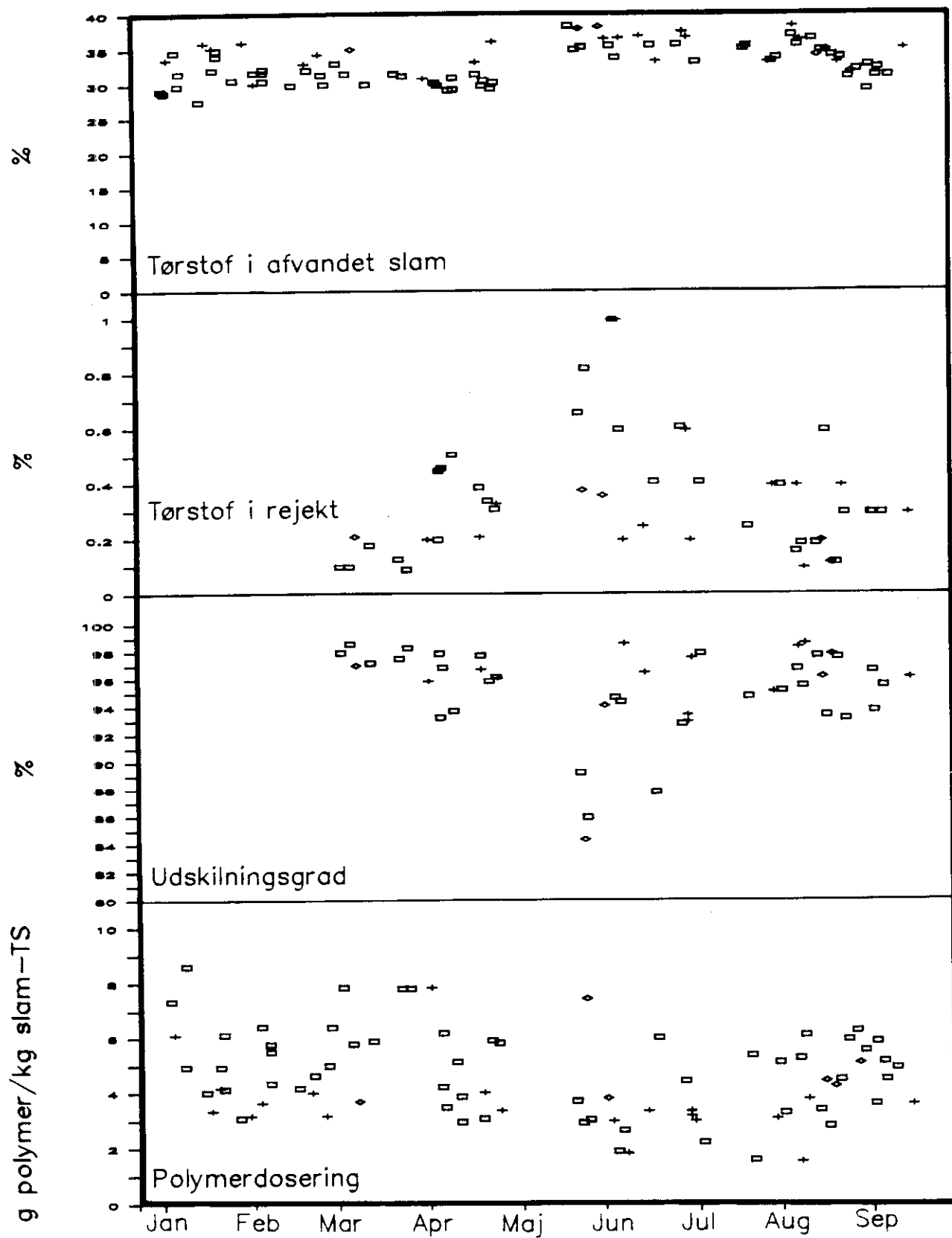
De ændrede slamegenskaber har tilsyneladende en positiv virkning på tørstofindholdet i det afvandede slam, mens der fortsat er stor spredning på tørstofindholdet i rejektet og dermed varierende udskilningsgrad.



Figur 7.1: Indsamlede data for tørstof, CST og temperatur i slamindløb fra Sjælsø Renseanlæg.



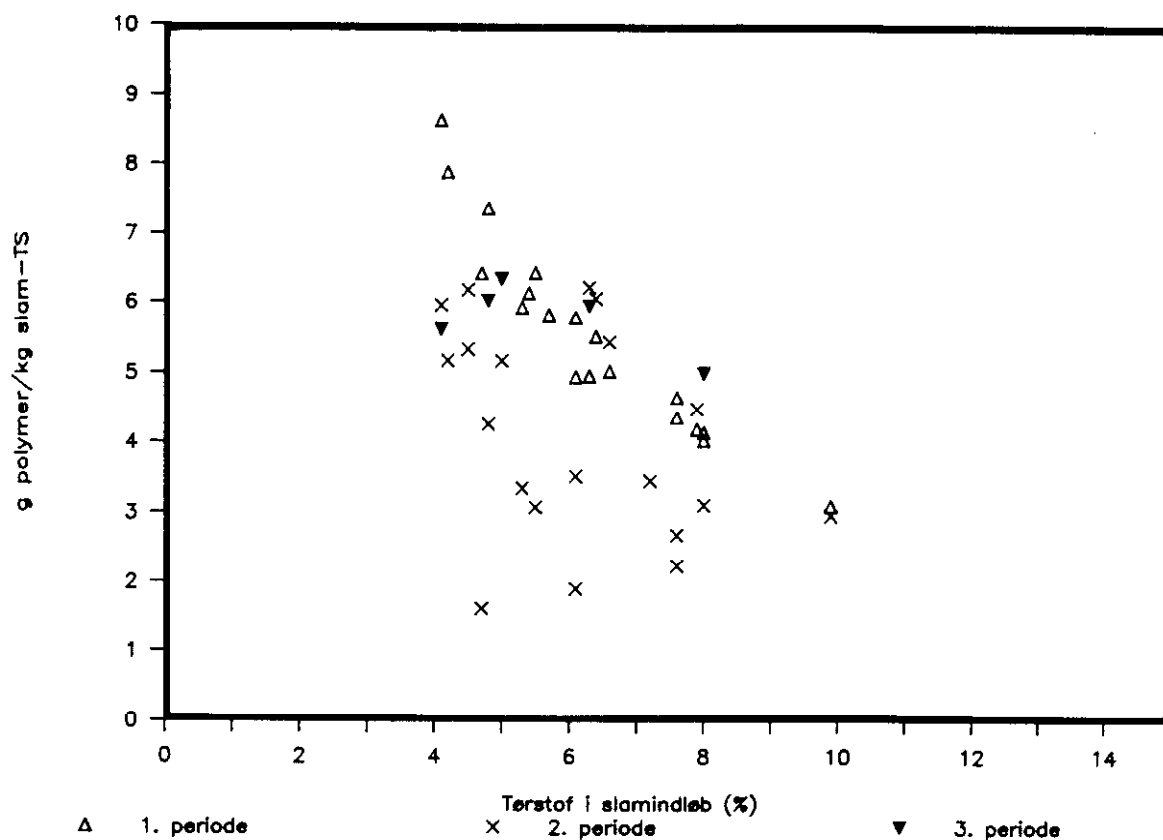
Figur 7.2: Indsamlede data for maskinindstilling fra Sjælsø Renseanlæg.



Figur 7.3: Indsamlede data for opnået tørstof i afvandet slam, rejektørstof og udskilningsgrad samt den specifikke polymerdosering.

Specifik polymerdosering

Den varierende udskilningsgrad skyldes sandsynligvis variation i den specifikke polymerdosering. Sammenhængen mellem tørstof i indløb og specifik polymerdosering er vist i figur 7.4 for Sjølsø slam. Som det fremgår, har der i alle tre perioder været problemer med at holde en konstant polymerdosering.



Figur 7.4: Specifik polymerdosering som funktion af tørstof i indløb. Sjølsø-slam - fordelt på de tre perioder

Konditionering/ partikelstørrelse

Generelt vil det være ønskeligt, om polymerdoseringen kan holdes konstant i forhold til det indkommende tørstof ud fra en betragtning om, at det er tørstoffet i slammet, der skal konditioneres. Dette forudsætter dog, at mængden af små partikler i slammet er proportional med tørstofindholdet, idet konditioneringen især har til formål at få de små partikler til at "klistre sammen", således at de kan udskilles. Hvorvidt dette forhold er gældende for slammet på Sjølsø Renseanlæg, er ikke undersøgt, men det opfattes som et rimeligt udgangspunkt, at partikelstørrelsesfordelingen i slamtørstoffet er nogenlunde konstant, og at det derfor kan være fornuftigt at arbejde på at holde den specifikke polymerdosering konstant.

De ændrede slamegenskaber efter tømning af rådnetanken kan dog udmærket tænkes at være en konsekvens af en ændret partikelstørrelsesfordeling, men dette forhold er som nævnt ikke undersøgt.

Behov for hurtig tørstofmetode

Under forudsætning af en konstant partikelstørrelsesfordeling, dvs. uændrede slamegenskaber vil den styringsstrategi, der er nævnt i afsnit 5, være meget nyttig i hvert tilfælde på dette anlæg. Men denne strategi skaber et behov for en hurtig metode til bestemmelse af tørstof i indløbet. Tørstofbestemmelsen er i de ovenfor beskrevne data udført med en tørrelampe kombineret med en vægt, hvilket er en meget udbredt og nem metode. Der går dog ca. en time, inden resultatet af denne metode foreligger, og reguleringer vil derfor blive mindst en time forsinket.

Centrifugering som tørstofbestemmelse

Lige inden afrapporteringen er der derfor introduceret et alternativ i form af en centrifugering på laboratoriecentrifuge med 300 omdr./min. i 3 minutter og aflæsning af mængden af bundfældet materiale. Der er en direkte lineær sammenhæng mellem de to nævnte metoder, og centrifugeringen kan udføres på ca. 5 min, således at reguleringen kan udføres meget hurtigere. Det forventes, at dette tiltag kan bevirke en bedre styring af polymertil sætningen, forudsat operatørerne faktisk udnytter resultaterne af denne "tørstofbestemmelse".

Udnyttelse af analyseresultater

En vurdering af, hvorledes operatørerne har anvendt de foretagne tørstofbestemmelser, tyder nemlig på, at analyseresultaterne kun i begrænset omfang bliver udnyttet. I første og anden periode er der i alt foretaget 63 bestemmelser af tørstof i indløb, men kun i 23 tilfælde er der inden for fire timer efter foretaget en justering, og kun i 8 tilfælde er der ændret på styringsparametrene. Det kan naturligvis skyldes, at der ikke har været behov for justering, men mere sandsynligt har der ikke været styret efter en bestemt strategi.

I tredje periode er der i alt foretaget 15 tørstofbestemmelser i indløbet, og der er foretaget 7 justeringer inden for fire timer efter en bestemmelse af tørstof i indløb. Dette kan tolkes som en øget anvendelse af analyseresultaterne, selv om det dog ikke er direkte angivet som en forklaring på justeringen.

7.3 Statistiske sammenhænge

En anden måde at evaluere de indsamlede resultater på er at undersøge sammenhængen mellem de forskellige typer data, og specielt er det

interessant at se, hvilke parametre, der har indflydelse på de opnåede afvandingsresultater.

Resultat- parametre

I figur 7.5 og 7.7 er de tre resultatparametre

- tørstof i afvandet slam
- tørstof i rejekt og
- udskilningsgraden

afbildet som funktion af de forskellige slam-karakteristika og styringsparametre. Som det fremgår, er der specielt for tørstof i afvandet slam tydelige sammenhænge, men også for de andre parametre er der signifikante sammenhænge.

Korrelations- analyse

I tabel 7.3 er korrelationskoefficienter for de signifikante lineære sammenhænge angivet for Sjælsø slam for første og anden periode. (Testen er udført med SAS-proceduren: CORR.).

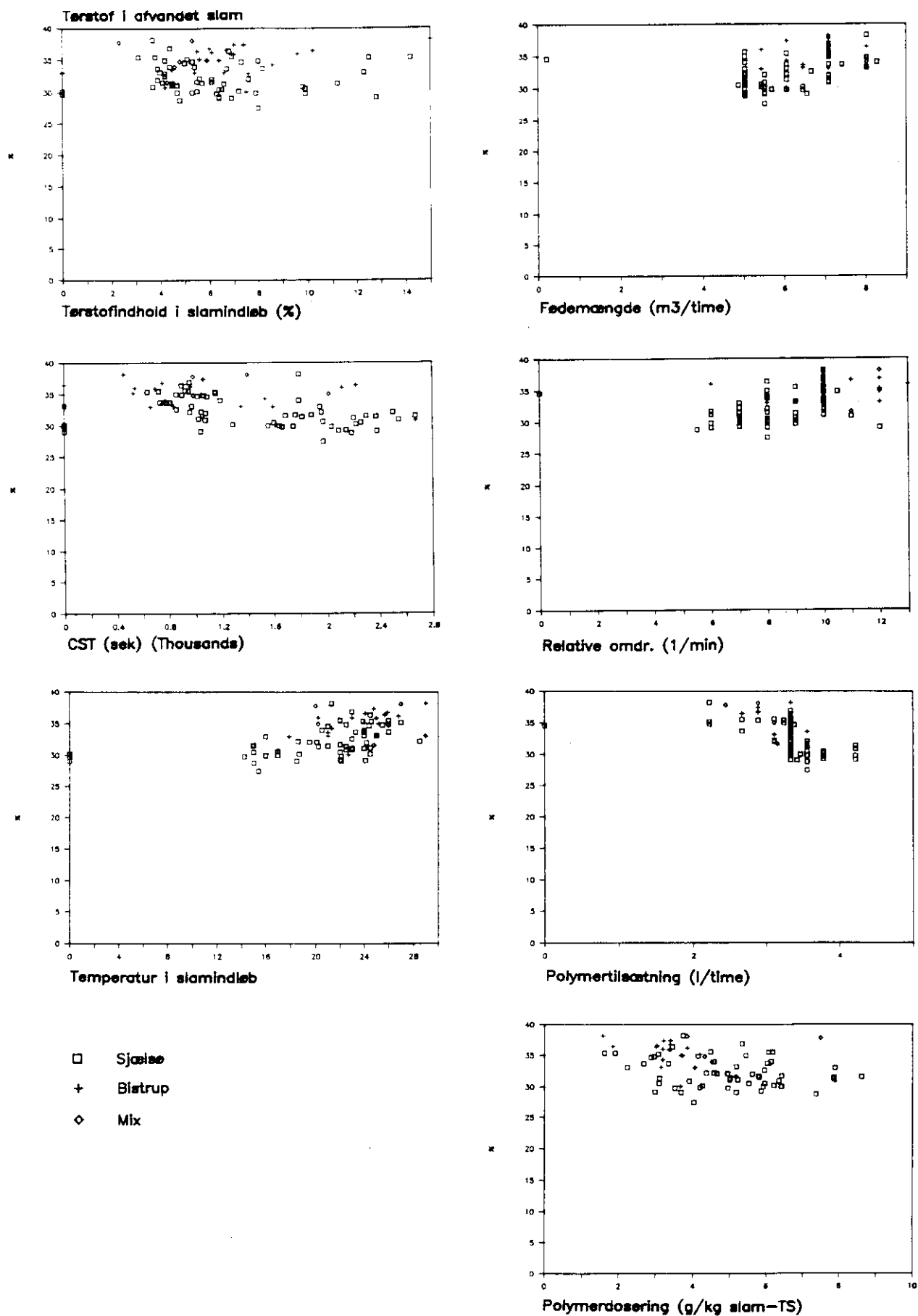
	Tørstof i afv.slam	Tørstof i rejekt	Udskilnings- grad
CST	-0,57	-0,74	0,53
Temperatur	0,40	0,65	0,48
Fødemængde	0,46	0,59	-0,61
Differenshastighed	0,57	0,77	-0,76
Polymertilsætning	-0,74	-0,52	0,65
Specifik polymerdosering	-	-0,81	0,56

:- Ingen signifikant korrelation på 95% niveau.

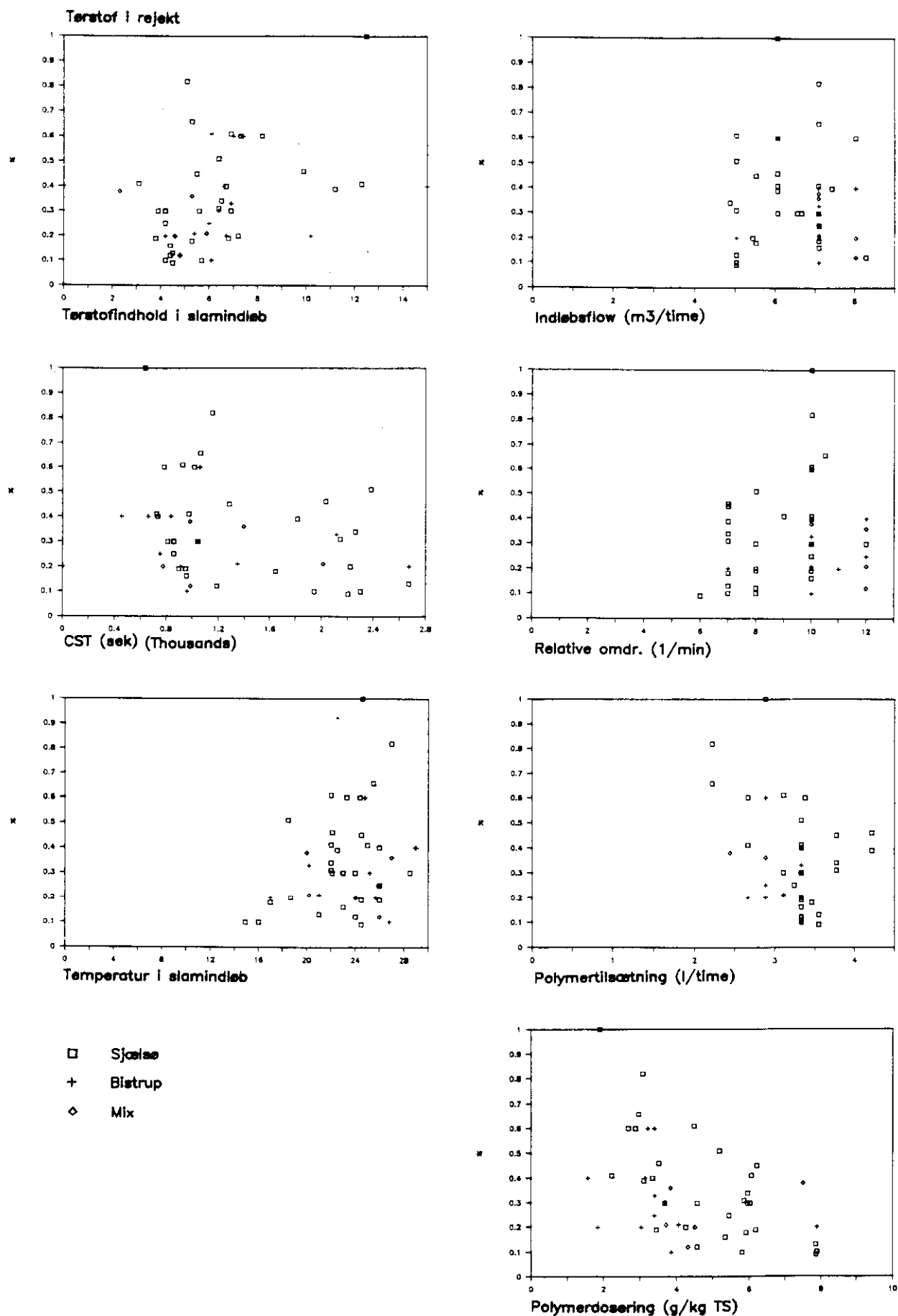
Tabel 7.3: Korrelationskoefficienter for lineære sammenhænge mellem diverse parametre for Sjælsø slam (første og anden periode).

Faktorer, der styrer tørstof i afvandet slam

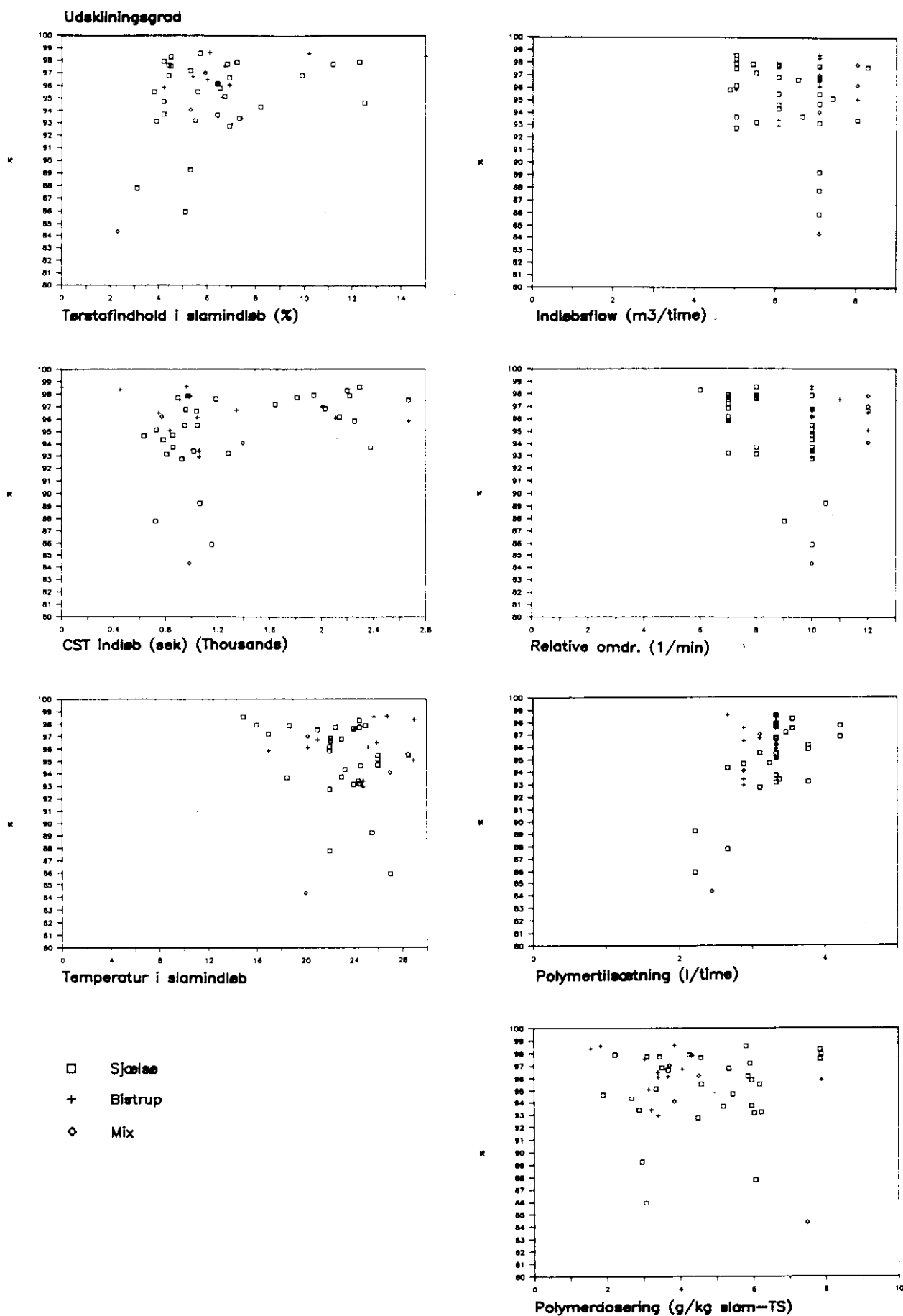
Tørstofindholdet i det afvandede slam er tilsyneladende en funktion af polymertilsætningen, differenshastigheden og CST, mens den specifikke polymerdosering er uden betydning. Det kan forklares ved det forhold, at de større partikler vil bundfælde og blive presset sammen uafhængigt af, om der tilsættes polymer, men med øget polymertilsætning vil det blive vanskeligere at presse partiklerne sammen, og dermed vil resultatet blive et mindre tørstofindhold i det afvandede slam. Dette er således et eksempel på, at de forskellige optimeringsønsker kan være modstridende.



Figur 7.5: Tørstof i afvandet slam som funktion af slamkarakteriseringsparametre og styringsparametre



Figur 7.6: Tørstofindhold i rejekt som funktion af slamkarakteriseringsparametre og styringsparametre



Figur 7.7: Udskilningsgrad som funktion af slamkarakteriseringsparametre og styringsparametre

Faktorer, der styrer tørstof i rejektet

Tørstofindholdet i rejektet er korreleret pænt til den specifikke polymerdosering, men er tilsyneladende også afhængigt af CST, temperatur, fødemængde og differenshastighed. CST er et udtryk for, hvor godt slammet filtrerer og vil som sådan være en funktion af partikelstørrelsesfordelingen, idet det er vist, at mange små partikler vil nedsætte filtrerbarheden. /9/. Temperaturen påvirker viscositeten af slamvandet og dermed partiklernes mulighed for at nå at sedimentere i dekanteren. Fødemængden styrer den hydrauliske opholdstid af slammet i dekanteren, mens differenshastigheden styrer tørstoffets opholdstid i dekanteren. Det er således at forvente, at mange faktorer har betydning for det opnåede resultat.

Det forhold, at der opnås en bedre korrelation for den specifikke polymerdosering end for polymertil sætningen alene, styrker ovennævnte antagelse om, at partikelstørrelsesfordelingen er rimeligt konstant, selv om tørstofindholdet varierer.

Faktorer, der styrer udskilningsgraden

Udskilningsgraden giver ikke noget særligt markant billede, hvilket var at forvente, da denne parameter omfatter begge de andre resultatparametre. Selv om udskilningsgraden således er et nyttigt redskab i den løbende vurdering af afvandingen, er denne parameter tilsyneladende mindre velegnet i en analyse af de statistiske sammenhænge, da den opsummerer to delvis modstridende forhold.

Ovenstående sammenhænge er i god overensstemmelse med generel accepteret teori om dekanterafvanding, og dette indikerer, at de indsamlede data faktisk kan udnyttes til at beskrive, hvad der er foregået.

Statistisk model

Det forhold, at der eksisterer en statistisk signifikant sammenhæng mellem de indsamlede data bevirker samtidig, at disse data vil kunne danne grundlag for en statistisk model som f.eks. beskrevet af /10/. En sådan model vil gøre det muligt at forudsige effekten af en given ændring af slamkarakteristika eller styringsparametre, således at det kan bedømmes, om ændringen har den ønskede effekt, inden den effektueres.

Med priserne på computer-kraft er det ikke urealistisk at forestille sig, at hvert enkelt renseanlæg i fremtiden vil få sin egen model for afvanding af netop deres slam, og ved at indsamle data fra driften vil en sådan model kunne kalibreres løbende.

Opbygningen af en sådan model ligger dog uden for rammerne af dette projekt.

7.4 Sammenfatning vedrørende de indsamlede data

Sammenfatning

Anvendelsen af systemet på Sjælsø Renseanlæg har vist:

- Indtastning af data og anvendelse af systemet kan udføres af alle de fire operatører, der arbejder med slamafvanding.
- Grafisk præsentation af målinger og observationer er nyttige i den daglige drift og har motiveret til en øget anvendelse af systemet.
- Der er vanskeligheder med at holde en konstant specifik polymerdosering på grund af variationer i tørstofindholdet i indløbet. En mere konsekvent styringsstrategi og hjælp fra operatørstøttesystemet ventes at reducere dette problem og dermed give besparelser i polymerforbrug.
- En korrelationsanalyse for data fra de første to perioder viser et mønster, der er i god overensstemmelse med generel teori for dekanterafvanding. Dette opfattes som en indikation af, at de indtastede data beskriver virkeligheden godt.

På Nordkystens renseanlæg i Hornbæk er systemet stadig under indkøring, og der er derfor ikke indsamlet tilstrækkelig data til, at der kan foretages en vurdering af udnyttelsen og sammenhængene.

8. ANVENDELSESMULIGHEDER OG PERSPEKTIVER

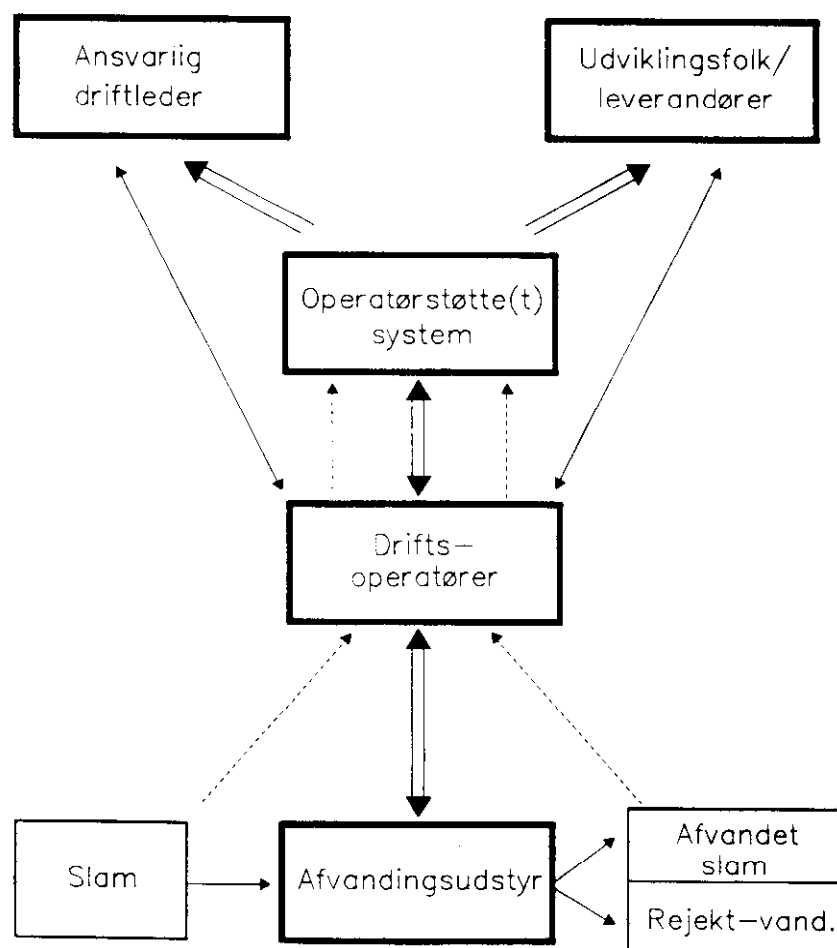
8.1 Indpasning i organisationen

Dette projekt kombinerer tre "traditionelle" discipliner:

- slamafvandingsteori
- ledelsesteori, og
- edb-teknologi.

Driftsleder

Som illustreret i figur 8.1 er dette gjort ved at placere et operatørstøttesystem til at opfange og bearbejde informationer fra slamafvandingsudstyret mellem driftslederen og driftsoperatøren. Selv om det væsentligste formål med systemet er at give feed-back til operatøren, har systemet samtidig til formål at bearbejde og formidle informationer til driftslederen. Her tænkes specielt på muligheden for at udskrive rapporter, der dokumenterer den faktiske drift, hvilket vil give driftslederen et grundlag for at foreslå specifikke optimeringstiltag.



Figur 8.1: Operatørstøttesystemet i organisationen på renseanlæg

Leverandører	Tilsvarende vil udviklingsfolk og kemikalieleverandører kunne få information om anlæggets drift, og vil således kunne yde en meget kvalificeret rådgivning, ligesom de får viden om den faktiske anvendelse af deres udstyr/kemikalier.
Driftsoperatører	I forhold til operatøren vil et system som det beskrevet i første omgang kunne anvendes til oplæring og støtte, således at operatøren føler sig mere sikker på driften af udstyret og dermed får overskud til også at gennemføre en mere systematisk optimering. Samtidig vil systemet kunne anvendes til udveksling af informationer mellem flere operatører, således at bemanningen af udstyret bliver mere fleksibel.
Motivation	Alt dette forudsætter naturligvis, at der indarbejdes en rutine for anvendelsen af systemet, således at det bliver en vane at indtaste data efter hver foretaget justering. Det betyder, at den nødvendige motivation er til stede til at komme i gang. Det skønnes derfor at være vanskeligt at implementere systemet på et anlæg, der har været i drift gennem flere år. Mest hensigtsmæssigt sker implementeringen samtidig med opstilling af udstyret, således at resultater fra leverandørens indkøring kan indgå, og således at operatøren i opstartsfasen har noget at støtte sig til.
Implementerings-tidspunkt	
Tidsforbrug	Det hænger også sammen med det forhold, at anvendelsen af systemet i begyndelsen vil kræve en del tid. Dette tidsforbrug reduceres dog hurtigt og vil forventeligt blive opvejet af en bedre udnyttelse af udstyr og kemikalier.

8.2 Økonomisk potentiale

Langsigtet optimering	Den direkte økonomiske gevinst ved at anvende et operatørstøttesystem er vanskelig at opgøre, da der er tale om en langsigtet optimering af anlægget. Dog vil den tættere opfølgning betyde besparelser i polymertilsætning og bedre udnyttelse af kapaciteten på udstyret.
Besparelse i polymerforbrug	Eksempelvis skønnes det, at der på Sjælsø vil kunne spares 20-30% af polymertilsætningen ved at styre efter en mere jævn og specifik polymerdosering, hvilket svarer til ca. 30-40.000 kr. pr. år. Forudsætningen er dog hyppige tørstofbestemmelser og en stadig bevågenhed fra operatørens side.
Øget tørstof	Tilsvarende vil der være et væsentligt økonomisk potentiale i at øge tørstofindholdet få procent eller holde lavere indhold af suspenderet stof i rejektet.

Tilpasning til
andre anlæg

Tilpasningen af det udviklede system til et andet anlæg vil kunne udføres for et begrænset beløb, og anvendelsen vil derudover kun kræve en standard PC, som allerede findes på mange anlæg.

Fokus på
slambehandlingen

Helt generelt er operatørstøttesystemet et værktøj til at hjælpe operatøren (og driftslederen) til at fokusere interesse på det delområde af driften af renseanlæg, som slamafvandingen udgør. På mange anlæg udgør omkostningerne til slambehandling en betragtelig del af omkostningerne, og der kan således være god grund til at iværksætte en optimering af denne del af anlægget.

8.3 Udviklingsmuligheder

Prototype

Det udviklede system skal opfattes som en prototype, der kræver et væsentligt arbejde for at kunne anvendes generelt. Systemet vil dog med ret få modifikationer kunne overføres til andre anlæg med dekantere eller sibåndspresser, mens tilpasning til anlæg med filterpresser er mere omfattende, da der er tale om batch-operationer.

Udviklings-
muligheder

Andre udviklingsmuligheder ligger i at føre visse aflæsninger elektronisk til systemet, samt at foretage on-line målinger af tørstof i indløb og rejekt. Flere systemer for fuldautomatisk kontrol af driften af slamafvandringsudstyr er udviklet. Som tidligere nævnt har Canadian Wastewater Center udviklet et system, der er baseret på en reologisk måling af det konditionerede slam /8/, mens der fra dansk side kan nævnes et system udviklet af Zichert /11/, der er baseret på måling af tørstof i indgående slam og i rejekt samt udnyttelse af momentet på skrueakslen. Et tilsvarende system er beskrevet fra Tyskland /12/, hvor der eksisterer flere kommercielt tilgængelige systemer.

Operatøren
- nøgleperson

Disse systemer er alle baseret på en direkte styring af udstyret på basis af et antal on-line målinger. Det betyder, at operatørens væsentligste rolle bliver at tilse disse måleapparater og prøve at vurdere, om styringen foregår korrekt. Det opfattes i den forbindelse som væsentligt, at driftsoperatøren tages med på råd, således at den automatiske styring kun kan køre inden for visse rammer eller give råd til operatøren om, hvilke ændringer han bør foretage. Herved opnås et større engagement hos operatøren og dermed på lang sigt et bedre resultat.

Slammets
"historie"
med i systemet

Slammet på et renseanlæg er som bekendt et produkt af driften af vandbehandlingsdelen. Det er derfor et andet interessant perspektiv at udbygge systemet til også at omfatte væsentlige parametre fra vandbehandlingsdelen for derigennem

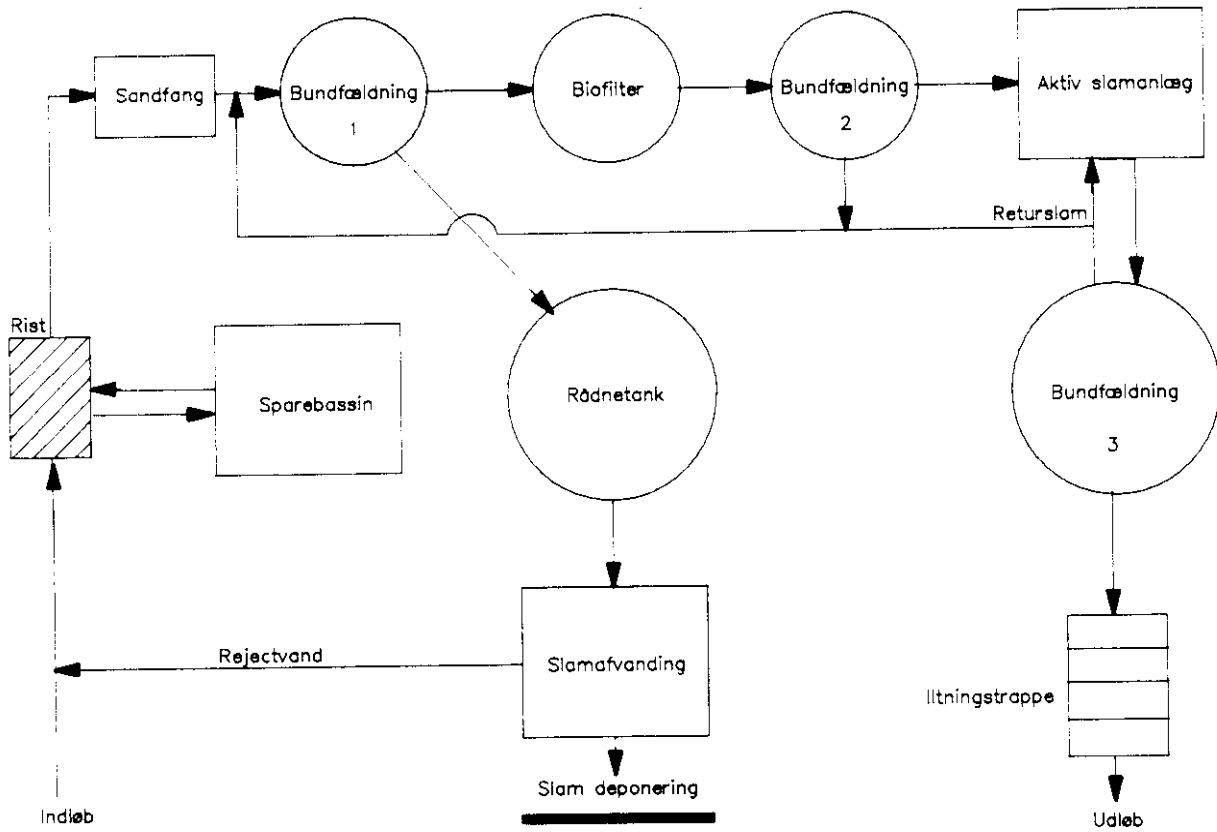
at kunne vurdere sammenhængen med slammets karakter og styringen af vandrensningsdelen. Tilsvarende vil det på anlæg med udrådning eller aerob stabilisering være relevant at inddrage data fra driften af rådnetanke eller lignende.

REFERENCER

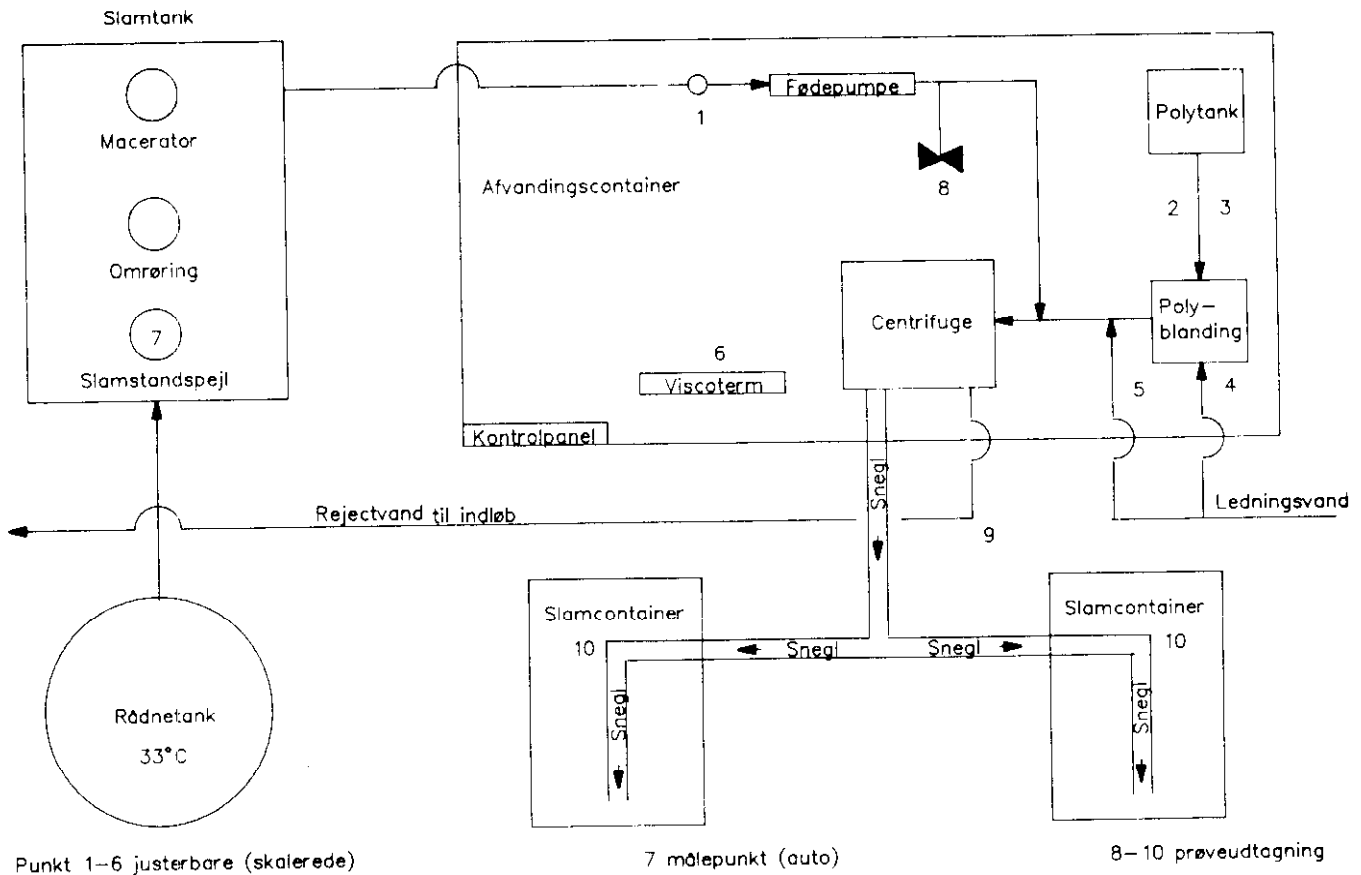
- /1/ Vesilind, P.A. (1970): Estimation of sludge centrifuge performance.
Journal of Sanitary Engineering DIV.-ASCE 96, 805.
- /2/ DDS Engineering (1988): Manual for Decanter 142C
Rekvireret fra DDS Engineering.
- /3/ Paulsrud, B. (1984): Conclusion I: Thickening and dewatering of sludges.
CEC workshop: Methods of characterization of sewage sludge. Dublin, July 6, 1983.
- /4/ Vesilind, P.A. (1979): Treatment and disposal of wastewater sludges. an Arbor Science 1979.
- /5/ Spinosa, L., & Mininni, G. (1984): Assessment of sludge centrifugability.
CEC workshop: Methods of characterizations of sewage sludge. Dublin, July 6, 1983.
- /6/ Colin, F. (1984): Characterization of the physical state of sludges.
CEC workshop: Methods of characterizations of sewage sludge. Dublin, July 6, 1983.
- /7/ Wiksell, H. and de Besche, S. (1978): Automatic control of a centrifuge process. Vatten 1, 10-14.
- /8/ Campbell, H.W. and Crescuolo, P.J. (1988): Control of polymer addition for sludge conditioning: A demonstration study in: What's new in wastewater technology?
Eds.: Environment Canada and Canadian Water and Wastewater Association. 25-40.
- /9/ Karr II, P.R. (1976): Factors influencing the dewatering characteristics of sludge. PhD-thesis.
- /10/ Herath, B., Geladi, P and Albano, C (1989): Developing an empirical model for dewatering... Filtration & Separation Jan/Feb, 53-56.
- /11/ Zichert (1989): Systembeskrivelse for slamcentrifuge.
Rekvireret fra Zichert Miljø A/S.
- /12/ Winther, F. (1990): Optimierte Flokkungsmitteldosierung am Beispiel der Schlammeindickung/Schlammentwässerung.
Korrespondenz Abwasser 4, 296-392.

BILAG 1: Principdiagrammer for Sjælsø, Frederikssund og Nordkystens
renseanlæg.

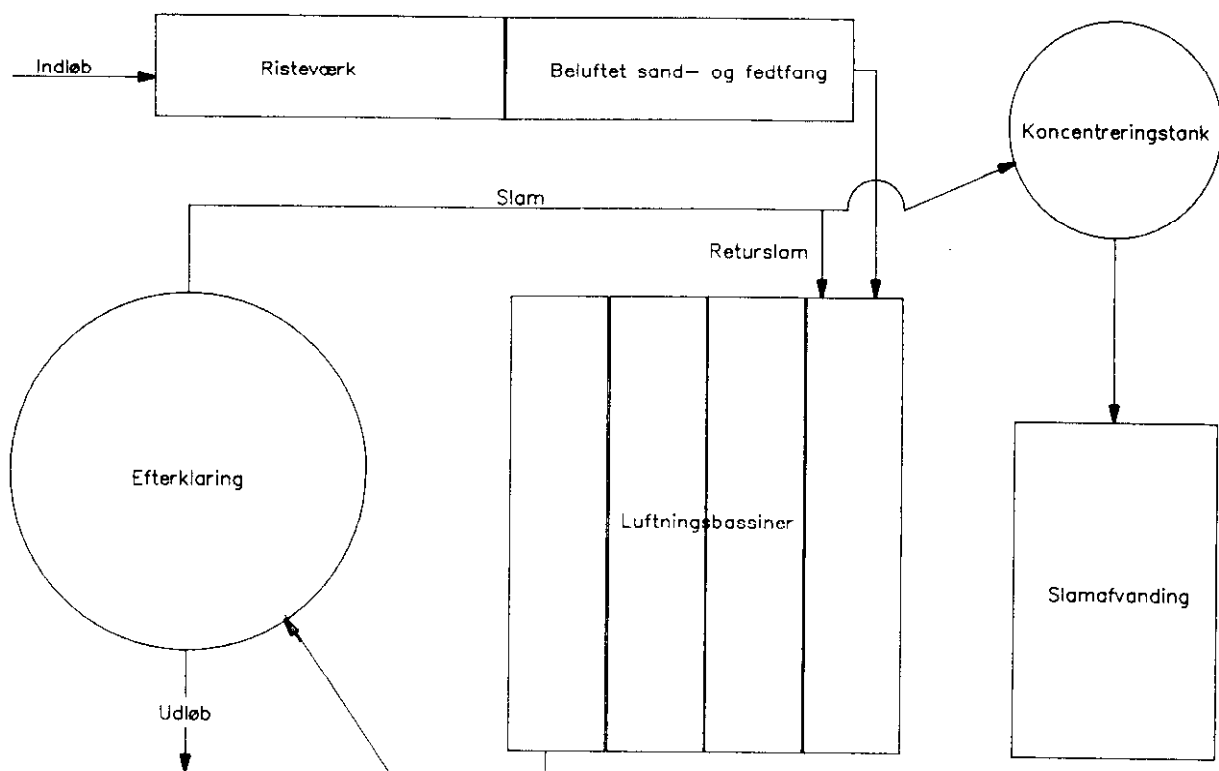
Sjælsø - principdiagram



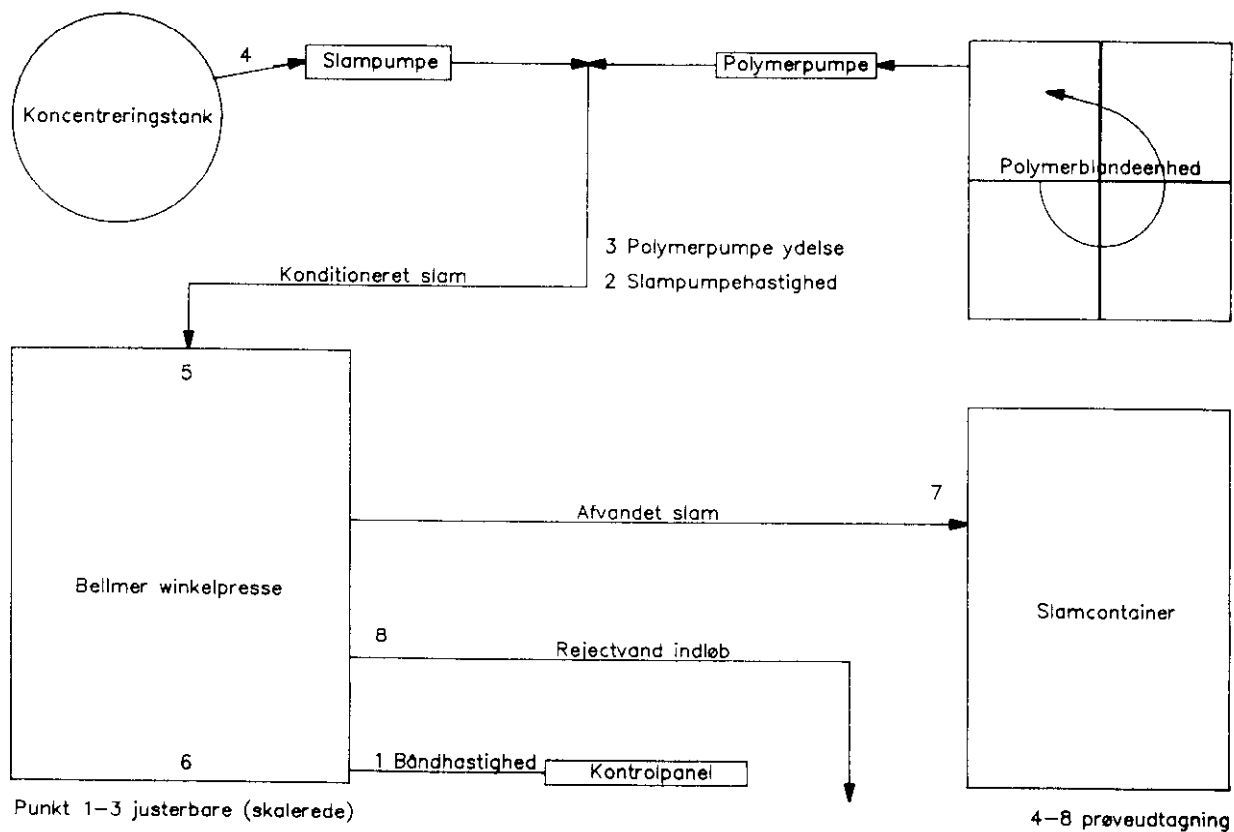
Sjølso - princip for slambehandling



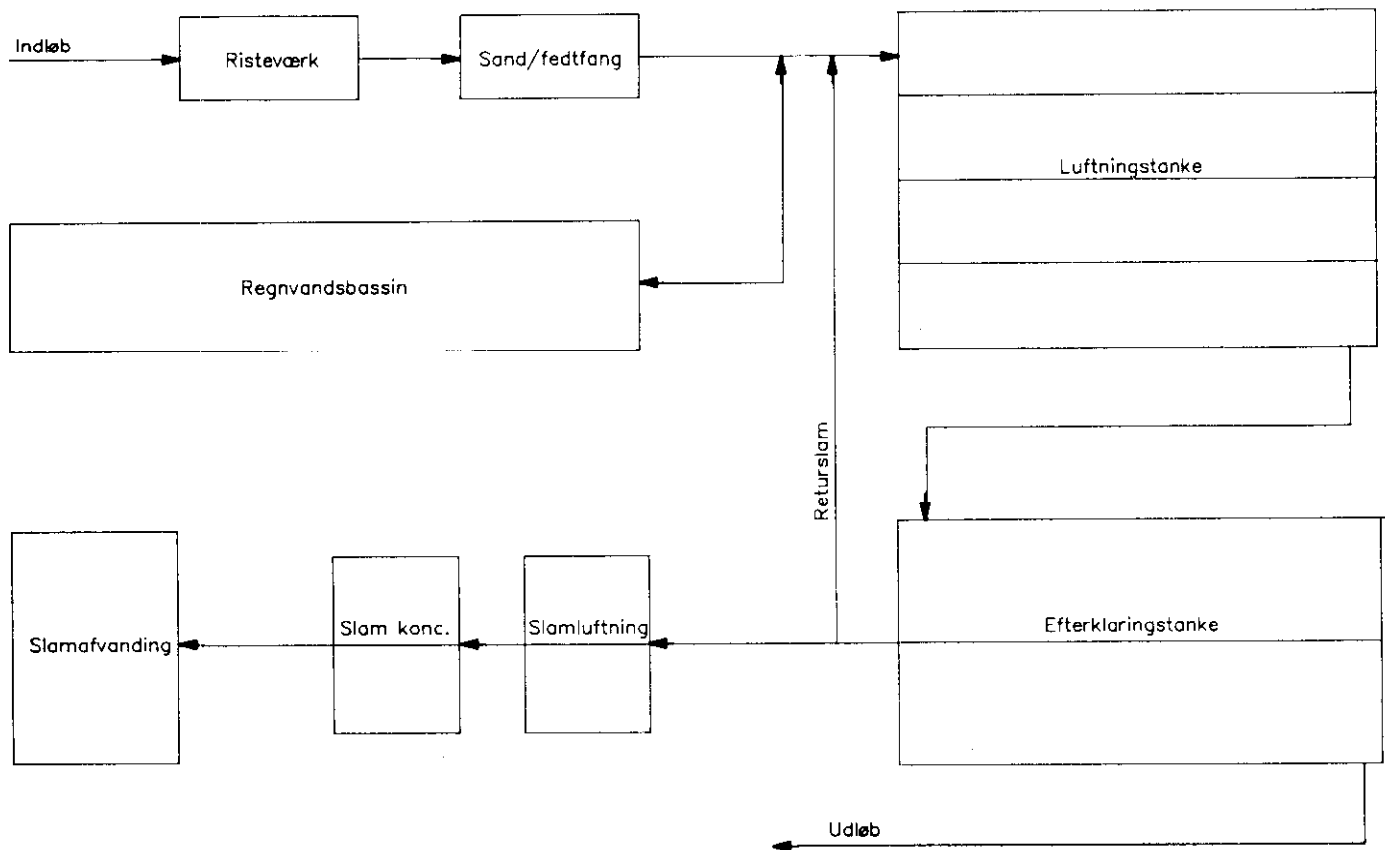
Frederikssund - principdiagram



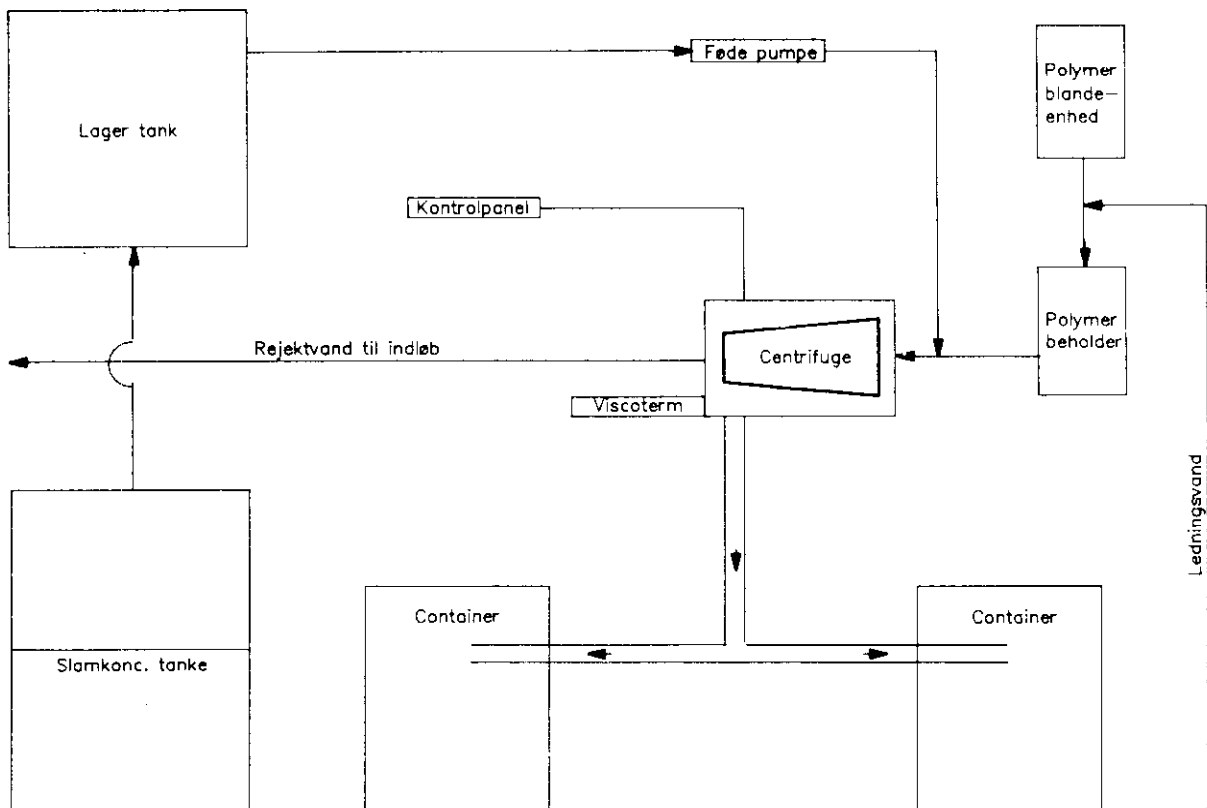
Frederikssund - princip for slambehandling



Hornbæk - principdiagram



Hornbæk - princip for slambehandling



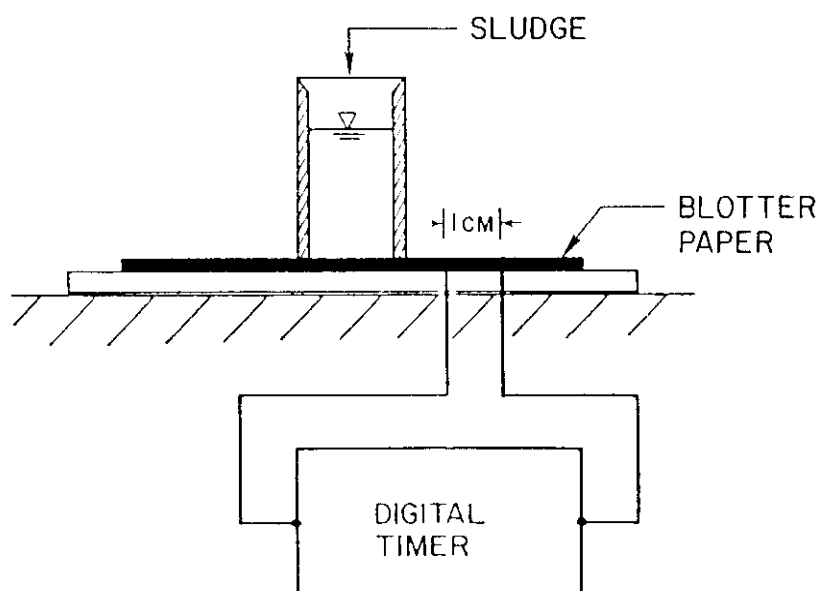
BILAG 2: Metodebeskrivelse Capillary Suction Time (CST) og specifik filtrering.

Metodebeskrivelser:

1. Capillary suction time (CST)

Princippet i CST er en måling af, hvor hurtigt vandet fra den undersøgte slamprøve trækker ud i et stykke filtrerpapir.

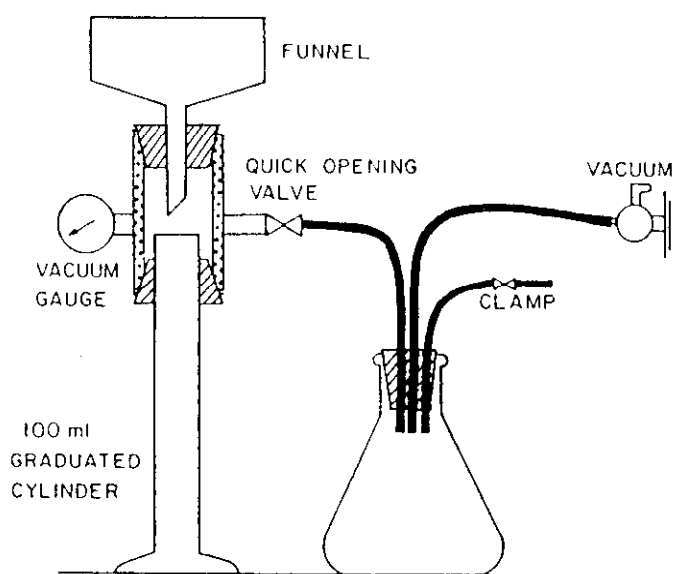
Der anvendes standardiseret automatisk apparatur fra f.eks. Triton Electronics Ltd., England. Princippet i apparatet er vist nedenfor [8].



Man kan vælge at bruge forskellig størrelse cylinder og angiver da indvendig diameter i mm - f.eks. CST_{10} . Tilsvarende bør det anvendte filtrerpapir specificeres.

2. Specifik filtreringsmodstand

Princippet i denne metode er, at slammet hældes på en Buckner-tragt e.lign. med et veldefineret filterpapir. Der påføres derefter et konstant trykfald over slamprøven (f.eks. 0,5 bar), og sammenhørende målinger af tid og filtratmængde registreres. Eksempel på opstilling er vist nedenfor [8].



Det er væsentligt at angive anvendt filtertype og anvendt trykfald.

BILAG 3: Eksempler på rapporter fra operatorstøttesystemet på Sjælsø Renseanlæg.

Dagsrapport for slamafvanding, Sjølsø renseanlæg

Dato : 22/8 1990

Slamtype : Mix
Polymertype : Zetag 75

Operator : BB

DRIFTEN :

Opstartet kl. 6.45
Afsluttet kl. 12.44
Slamstand i forlag ved opstart : 12 cm
Timetæller ved afslutning : 1883

Tilkørt slam fra Bistrup/Isterød : 30 m3
Bortkørt slam til forbrænding : 0 læs
Bemærkning om slammet :

BEREGNEDE VÆRDIER :

Polymerforbrug (l) : 19.92
Polymervandsforbrug (l) : 4487.50
Afvandet slam (m3) : 48.04
Gns. polymertilsætning (l/m3) : 0.62

ANALYSEDATA :

Antal prøver udtaget : 2
Gns. Tørstof i afv. slam : 34.4
Gns. Tørstof i indløb : 4.7
Gns. Tørstof i rejekt : 0.2

BEMÆRKNINGER :

Smøring :
Polymer :
Reparation :
Andet :
:
:

Udskrevet d. 26/10 1990

Rapport over slamafvanding, Sjølsø
MÆNGDER

Dato	Start	Slut	Behand- let (m3)	Tilkørt (m3)	Bortkørt (læs)	Tørstof afv. slam (%)	Polymer- forbrug (l)	Vand- forbrug (l)
2/8 1990	8.05	13.46	44.6	30	0	33.1	18.9	4262
6/8 1990	7.17	7.23	0.0	0	0	-	0.0	0
6/8 1990	7.25	12.25	40.1	0	0	33.2	16.6	3750
9/8 1990	7.30	12.56	40.3	0	0	33.7	18.1	4075
10/8 1990	7.30	11.55	32.8	30	1	-	14.7	3312
10/8 1990	11.58	7.47	-	30	1	-	-	-
13/8 1990	7.00	13.37	45.4	0	0	36.9	22.0	4962
14/8 1990	7.30	14.01	46.2	40	0	38.2	21.7	4887
16/8 1990	13.25	13.36	39.4	0	0	-	18.5	4175
16/8 1990	7.45	14.17	46.3	0	1	35.5	21.8	4900
20/8 1990	7.00	12.44	40.6	0	1	36.4	19.1	4300
22/8 1990	6.45	12.44	48.0	30	0	34.4	19.9	4487
22/8 1990	13.21	13.23	11.9	0	0	-	4.9	1112
24/8 1990	7.12	7.13	0.0	0	0	-	0.0	0
24/8 1990	7.14	11.07	30.5	0	0	34.7	13.1	2912
27/8 1990	7.30	13.18	43.0	0	1	33.8	19.3	4350
28/8 1990	7.29	14.21	53.2	36	0	33.0	22.9	5150
30/8 1990	10.21	14.10	12.7	0	1	-	5.3	1187
31/8 1990	10.30	12.48	1.7	0	0	-	0.7	162
ialt	-	-	576.9	196	6	-	257.6	57987

Rapport over slamafvanding, Sjælsø
ANALYSER

Prøve nr.	Udt. kl.	Indløb			Rejekt			Afv. slam			Udt. af grad
		Temp. (°C)	Tørstof (%)	CST (sek)	Slam faktor	Temp (°C)	pH	SS (g/l)	Tørstof (%)	Udsk. (%)	
2/8 1990 85	11.56	Bistrup 28.9	6.6	835	127	28.0	7.4	0.4	33.1	95.1	AS
6/8 1990		Sjælsø									
6/8 1990 86	8.59	Sjælsø 24.0	4.0	-	-	-	7.4	-	33.2	-	jo
87	10.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	pbj
9/8 1990 88	8.30	Sjælsø 26.0	6.7	732	109	24.0	7.4	0.4	33.7	95.2	HO
10/8 1990		Bistrup									
10/8 1990		Sjælsø									
13/8 1990 89	8.45	Sjælsø 23.0	4.4	956	217	22.5	7.5	0.2	36.9	96.8	BB
14/8 1990 90	10.00	Bistrup 29.0	15.0	452	30	27.5	7.5	0.4	38.2	98.4	HO
16/8 1990		Isterød									
16/8 1990 91	8.45	Sjælsø 26.0	3.8	950	250	25.3	7.2	0.2	35.5	95.5	BB
20/8 1990 93	8.50	Sjælsø 24.5	6.8	896	132	23.5	7.5	0.2	36.4	97.7	HO
22/8 1990 94	8.35	Mix 24.0	4.6	773	168	24.3	7.5	0.2	34.0	96.2	BB
95	12.00	26.0	4.8	986	205	23.6	7.6	0.1	34.8	97.8	BB
22/8 1990		Mix									
24/8 1990		Sjælsø									
24/8 1990 96	9.30	Sjælsø 24.4	7.3	1017	139	24.0	7.5	0.6	34.7	93.4	ho
27/8 1990 97	8.45	Sjælsø 24.0	4.4	1189	270	23.4	7.5	0.1	34.0	97.6	BB
98	11.29	24.0	3.9	810	208	24.3	7.6	0.3	33.7	93.1	BB
28/8 1990 99	12.00	Bistrup 29.0	-	659	0	28.5	7.5	0.4	33.0	-	Ho.
30/8 1990		Sjælsø									
31/8 1990		Sjælsø									

Rapport over slamafvanding, Sjælsø
AFVANDING

Reg. af	kl.	Grund til justering	Indfødt mængde		Polymertil sætning		Udskrabning		
			Tachom. visning	Flow m3/t	Slag- længde	Pumpe frek.	Tilsæt- ning	Visco tryk	Rel omd
2/8 1990		Bistrup							
AS	8.05	Opstart af drift	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
AS	9.11		23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	12
AS	11.56		23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	12
6/8 1990		Sjælsø							
HO	7.17	Opstart af drift	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	9
6/8 1990		Sjælsø							
	7.25	Opstart af drift	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	9
	8.59	Lavt tørstof i afvand	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	9
	8.59	Lavt tørstof i afvand	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	9
	10.38	Lavt tørstof i afvand	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	9
9/8 1990		Sjælsø							
HO	7.30	Opstart af drift	22.70	7.43	100	75.00	3.33	80	10
10/8 1990		Bistrup							
BB	7.30	Opstart af drift	22.80	7.54	100	75.00	3.33	80	10
10/8 1990		Sjælsø							
	11.58	Opstart af drift	-	-	100	-	-	-	-
13/8 1990		Sjælsø							
BB	7.00	Opstart af drift	21.40	6.06	100	75.00	3.33	80	12
BB	8.24	Lavt tørstof i afvand	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
BB	8.56	Prøve	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
14/8 1990		Bistrup							
HO	7.30	Opstart af drift	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
HO	8.02		22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
16/8 1990		Isterød							
HEG	13.25	Opstart af drift	-	-	100	-	-	-	-
HEG	13.31	Test af programmet	-	-	100	-	-	-	-
16/8 1990		Sjælsø							
BB	7.45	Opstart af drift	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
20/8 1990		Sjælsø							
HO	7.00	Opstart af drift	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	10
HO	8.50	Kapaciteten ønskes øg	22.40	7.09	100	75.00	3.33	80	8
22/8 1990		Mix							
BB	6.45	Opstart af drift	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	12
BB	7.27	Lavt tørstof i afvand	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	10
BB	8.35	Prøveudtagning	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	10
BB	11.54	Prøveudtagning	23.20	8.03	100	75.00	3.33	80	12
22/8 1990		Mix							
	13.21	Opstart af drift	-	-	100	-	-	-	-

BILAG 4: "Rådgivning": Oplæg til generel strategi og forslag til afhjælpning af problemer.

RÅDGIVNING:

*** Forslag til generel strategi**

Under normale forhold bør strategien være:

*** Hold tørstofmængden ind i decanteren konstant.**

Der bør ret ofte tages prøver af føden til analyse for tørstofindhold. Hvis tørstoffet stiger eller falder reguleres fødemængden ved at justere fødemængden ned eller op.

*** Tørstof indholdet i afvandet slam reguleres med de relative omdrejninger mellem kuglen og sneglen.**

Det betyder at lavt tørstof i afvandet slam kan skyldes for stor differenshastighed, d.v.s. at trykket i viscothermen er for højt. Generelt bør reguleringer på Viscotermen dog undgås, idet den selv regulerer udskrabningshastigheden.

*** Rejektets kvalitet reguleres med polymertil sætningen.**

En dårlig rejektkvalitet vil ofte skyldes at udskilningsgraden i decanteren er for lille. Prøv derfor at øge polymertil sætningen ved at sætte hastigheden på polymerpumpen op. Hvis rejektet er pænt kan man prøve at reducere polymertil sætningen.

*** Afhjælpning af problem/optimering:**

1. Lavt tørstof i afvandet slam

* Hvis tørstofindholdet i føden er steget, kan det bevirke, at fødemængden er for stor, hvorved udskilningen bliver for dårlig. Prøv da at sætte fødepumpen på en lavere hastighed.

Undersøg først om tørstofindholdet i føden er steget eller faldet.

* Udskraber hastigheden kan være for stor hvorved opholdtiden for tørstoffet i decanteren bliver for lille. Prøv da at sætte trykket i Viscothermen på en lavere værdi. Normalt vil Viscothermen dog selv regulere for mindre ændringer i slammets karakter.

Udfør altid kun en ændring af gangen og se om det hjælper!

General kommentar:

Prøv så vidt muligt at holde tørstofmængden ind i decanteren konstant!

2. For højt tørstof i afvandet slam

* Hvis tørstofindholdet i føden er faldet, kan det bevirke for lille indfødnings af tørstof i decanteren. Herved bliver opholdstiden af tørstoffet inde i decanteren lang og resultat bliver højt tørstof. Prøv at øge fødemængden ved at sætte fødepumpen på en højere hastighed.

Undersøg om tørstofindholdet i føden er steget eller faldet.

* Udskraber hastigheden kan være for lille. Prøv at sætte trykket i Viscothermen på en højere værdi. Justering af Viscothermen bør dog kun ske hvis slammets karakter har ændret sig, idet Viscothermen selv regulerer udskrabningshastigheden.

Udfør altid kun en ændring af gangen og se om det hjælper!

Generel kommentar:

Prøv så vidt muligt at holde tørstofmængden ind i decanteren konstant.

3. For højt indhold af suspenderet stof i rejekt

Mulige forklaringer:

* Der tilsættes for lidt polymer - prøv at øge frekvensen på polymerpumpen.

* Det kan dog også skyldes for stor indfødning af tørstof i decanteren, hvis tørstofindholdet i føden er steget. Prøv da at nedsætte fødemængden.

Udfør altid kun en ændring af gangen og se om det hjælper!

Generel kommentar:

Rejektkvaliteten bør styres ved at regulere på polymer-tilsætningen.

4. Kapaciteten på decanteren ønskes øget.

Hvis fødemængden øges, ved at sætte tachometeret op, vær da opmærksom på:

Når tørstofmængden ind i decanteren øges skal polymer mængden normalt øges tilsvarende.

Med øget tørstofmængde vil der blive behov for større udskrabning. Dette vil blive korrigeret af viscotherm-systemet til en vis grænse. Vær opmærksom på om tørstof i det afvandede slam stiger og rejektet bliver sort. Hvis det sker skal udskrabningshastigheden sættes op ved at øge trykket på viscotermen.

Udfør kun en ændring af gangen og se hvordan det virker.

Generel kommentar:

Med øget fødemængde får tørstoffet en kortere opholdstid inde i maskinen, og udskildningsgraden må derfor forventes at blive dårligere.

5. Kapaciteten på decanteren ønskes reduceret

Hvis fødemængden reduceres, vær da opmærksom på:

Med reduceret tørstofmængde ind i decanteren skal polymermængden normalt reduceres tilsvarende.

Med en mindre tørstofmængde ind i decanteren bliver der behov for mindre udskrabning. Viscothermen vil korrigere dette indtil en vis grænse. Vær opmærksom på om tørstof i det afvandede slam falder. Hvis det sker skal udskrabningen sættes ned ved at sætte trykket ned på viscothermen.

Udfør kun en ændring af gangen og se hvordan det virker.

Generel kommentar:

Med mindre tørstofmængde ind i decanteren får tørstoffet en længere opholdstid i maskinen, og udskilningsgraden må derfor forventes at blive bedre.

6. Polymertilsætningen ønskes sat ned

Med mindre polymertilsætning vil udskilningsgraden normalt blive dårligere. Det vil typisk give sig udslag i et dårligere rejekt. Vær derfor opmærksom på om rejektet bliver sort. Hvis det sker skal polymer tilsætningen øges igen.

Udfør kun en ændring af gangen og se hvordan det virker.

Generel kommentar:

Generelt bør polymertilsætningen bruges til at regulere kvaliteten af rejektet.

REGISTRERINGSBLAD

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, 19

Udgivelsesår: 1991

Titel:

Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg

Undertitel:

PC-baseret operatørstøttesystem

Forfatter(e) :

Jansen, Jens la Cour; Grüttner, Henrik; Poulsen, Ole; Larsen, Palle Due de Buchenskjoll

Udførende institution(er) :

Vandrensningsrådet (spons); Industri- og Handelsstyrelsen (spons); Vandkvalitetsinstituttet

Resumé:

Til udvikling af et "værktøj" for driftsoperatørerne på kommunale anlæg er udviklet en prototype til et operatørstøttesystem for slamafvanding. Systemet består af 3 dele:

- Data om slamegenskaber, indstilling af udstyr, resultater fra prøvetagninger, analyser samt operatørens observationer
- Grafisk præsentation af data og sammenhænge der giver operatøren adgang til indsamlede data
- En rådgivningsfunktion der yder støtte i tilfælde af driftsproblemer eller ønsker om optimering

Emneord:

renseanlæg; driftsforhold; slam; afvanding; programmel

ISBN: 87-503-9240-9

ISSN:

Pris (inkl. moms): 80 kr.

Format: A4

Sideantal: 80

Md./år for redaktionens afslutning: november 1990

Oplag: 400

Andre oplysninger:

Tryk: Scantryk, København

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

- Nr. 1: Proces- og funktionsgarantier samt rådgiveransvar
- Nr. 2: Fagligt indhold af renseanlæggets driftsdatabase
- Nr. 3: Datagrundlag for dimensionering af renseanlæg
- Nr. 4: Bestemmelse af belastningen fra regnvandsbetingede udløb
- Nr. 5: Lavteknologisk spildevandsrensning i danske landsbyer
- Nr. 6: Kvalitetsstyring af afløbsprojekter
- Nr. 7: Rodzoneforsøgsanlæg
- Nr. 8: Spildevandsrensning i rodzoneanlæg
- Nr. 9: Kompostering af spildevandsslam med andet organisk affald
- Nr. 10: Fjernelse af tungmetaller fra spildevandsslam
- Nr. 11: Udledning af industrispildevand til renseanlæg
- Nr. 12: Effektivisering af olieudskillere
- Nr. 13: Udarbejdelse af fornyelsesplaner for afløbssystemer
- Nr. 14: Energi til renseanlæg
- Nr. 15: Økonomi ved rensning af industrispildevand i renseanlæg
- Nr. 16: Septiktanke
- Nr. 17: Fjernelse af kvælstof fra rejektvand
- Nr. 18: Integreret styring af afløbssystem og renseanlæg i Tårnby
- Nr. 19: Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg

Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg

Til udvikling af et »værktøj« for driftsoperatørerne på kommunale anlæg er udviklet en prototype til et operatørstøttesystem for slamafvanding. Systemet består af 3 dele: – Data om slamegenskaber, indstilling af udstyr, resultater fra prøvetagninger, analyser samt operatørens observationer.

– Grafisk præsentation af data og sammenhænge der giver operatøren adgang til indsamlede data.

– En rådgivningsfunktion der yder støtte i tilfælde af driftsproblemer eller ønsker om optimering.



Pris kr. 80,- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-9240-9

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29 · 1401 København K · Tlf 31 57 83 10