



O-86085

# Kalkstabilisering og kondisjonering av slam fra fiskeoppdrettsanlegg



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.:

0-86085

Undernummer:

Løpenummer:

2556

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:  KALKSTABILISERING OG KONDISJONERING AV SLAM FRA  FISKEOPPDRETTSANLEGG	Dato:  19. april 1991
Forfatter (e):  Helge Liltved (NIVA) Øistein Vethe (JORDFORSK) Kjell Øren (NIVA)	Prosjektnummer:  0-86085
	Faggruppe:  Miljøteknologi
	Geografisk område:  Norge
	Antall sider (inkl. bilag):  19

Oppdragsgiver:  Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd/ Senter for jordfaglig miljøforskning	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:

Kalkstabilisering og kondisjonering av slam fra filterdukene i et landbasert oppdrettsanlegg for røye ga et slamprodukt som er godt egnet som gjødsel i landbruket og til kompostering sammen med bark. Både råslam og kalkstabilisert slam viste volumreduksjon på omlag 50 % etter 2 døgn. Best avvanningsegenskaper ble målt for kombinasjon av kalktilsetning og bruk av polymerer. Tilsetning av 280 g Ca(OH)<sub>2</sub> pr. kg tørrstoff til fortykket råslam ga stabil pH > 12 i 30 døgn ved 16 °C.

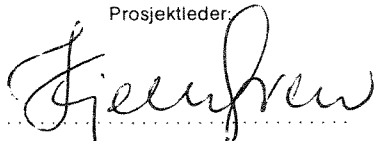
4 emneord, norske:

1. Akvakultur
2. Slambehandling
3. Slamkondisjonering
4. Kalkbehandling

4 emneord, engelske:

1. Aquaculture
2. Pollution control
3. Sludge conditioning
4. Lime treatment

Prosjektleder:



Kjell Øren

For administrasjonen:



Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-1874-2

## I N N H O L D S L I S T E

	<u>Side:</u>
SAMMENDRAG .....	3
1.0 INNLEDNING .....	5
2.0 MATERIALER OG METODER .....	5
2.1 Anleggsbeskrivelse .....	5
2.2 Kjemikalier .....	6
2.3 Avvanningsegenskaper .....	7
2.4 Fortykkingssegenskaper .....	7
2.5 Stabilitet .....	7
3.0 RESULTATER OG DISKUSJON .....	7
3.1 Avvanningsegenskaper .....	7
3.1.1 Avvanningsegenskaper for råslam .....	7
3.1.2 Avvanningsegenskaper for kalkslam .....	10
3.2 Fortykking .....	13
3.3 Stabilisering .....	15
3.4 Kostnader for kalk og polymer .....	16
3.5 Slamanalyse .....	16
4.0 REFERANSER .....	19

## Sammendrag

Slam fra oppdrettsanlegg kan være egnet som jordforbedringsmiddel. Egnetheten avhenger av forhold som tørrstoffinnhold, stabilitet (lukt), innhold av mikroorganismer, innhold av organisk stoff og næringsalter og innhold av eventuelle giftige komponenter. Ved å tilsette kjemikalier (f.eks. kalk og polymer) kan flere positive effekter oppnås. Luktutviklingen kan stanses eller reduseres og tørrstoffinnholdet kan økes ved etterfølgende avvanning. Kalk har også en heldig virkning på de fleste jordtyper dersom slammet skal brukes i landbrukssammenheng.

Slam fra fiskeoppdrettsanlegg kan f.eks. behandles slik:

- 1) Slammet kan fortykkes ved sedimentering og benyttes som jordforbedringsmiddel.
- 2) Slammet kan fortykkes ved sedimentering, tilsettes kalk og benyttes som jordforbedringsmiddel.
- 3) Slammet kan fortykkes ved sedimentering, tilsettes kalk og polymer, avvannes mekanisk og brukes som jordforbedringsmiddel.

Alternativ 1 er den enkleste løsningen. Ulempen er lukt og transport og håndtering av store volumer da tørrstoffinnholdet er forholdsvis lavt. Alternativ 2 reduserer luktproblemene midlertidig. Alternativ 3 krever avvanningsutstyr, men gir enklest og best disponering av slammet.

I denne undersøkelsen ble slam fra et landbasert oppdrettsanlegg for røye (Fiskefjorden A/S) studert. Slammet ble samlet opp fra renseanlegget (silduksystem) som var etablert på avløpet fra anlegget. Slam tilsatt kalk og ubehandlet slam (råslam) ble undersøkt. Kalkslammet ble sammenliknet med råslammet med hensyn på avvanningsegenskaper, fortykkingssegenskaper, stabilitet og kjemiske sammensetning. Videre ble slammet fra Fiskefjorden A/S analysert og sammenliknet med slam fra en tidligere undersøkelse (Liltved og Vethe, 1990).

Resultatene fra undersøkelsen kan oppsummeres som følger:

- 1) Råslammet som ble benyttet krevde høye polymerdoseringer for å få brukbare avvanningsegenskaper (lave CST-verdier) i forhold til råslammet som ble benyttet i de tidligere undersøkelsene. Høyere tørrstoffprosent og sjøvannsinnblanding har sannsynligvis vært medvirkende årsaker til dette. For å oppnå gode avvanningsegenskaper krevdes en mengde på 300 g/m<sup>3</sup> råslam eller 4.2 kg/tonn tørrstoff av den kationiske polymerkvaliteten FO 4650 SH. På tørrstoffbasis representerer dette et forbruk som er 2.9 ganger høyere enn det som var nødvendig å tilsette i den tidligere undersøkelsen. Kostnadene for kondisjonering ble dermed 9 kr/m<sup>3</sup> slam og 126 kr/tonn tørrstoff.
- 2) Etter tilsetning av kalk, tilsvarende en mengde på 280 g Ca(OH)<sub>2</sub> pr. kg tørrstoff, holdt slammet seg stabilt med hensyn på pH (pH >12) i 30 døgn ved 16 +/- 1 °C. Slammet kan derved betegnes som kalkstabilisert. Kostnadene for kalkstabilisering ble beregnet til 15 kr/m<sup>3</sup> slam og 212 kr/tonn tørrstoff.
- 3) Det kalkstabiliserte slammet og råslammet lot seg fortykke ved henstand. Etter 2 døgn var slamvolumet redusert til fra 100 ml til henholdsvis 56 og 45 ml for kalkslam og råslam. Utfelling av kalsiumforbindelser (Mg(OH)<sub>2</sub> og CaCO<sub>3</sub>) ga større slamvolum for kalkslammet enn for råslammet. Ytterligere 2 døgns henstand ga liten tilleggseffekt med hensyn til volumreduksjon. Etter totalt 4 døgns henstand inneholdt begge slamtypene 18 % tørrstoff. Tørrstoffinnholdet i det opprinnelige slammet var 7.1 %. Dette viser at gravitasjonsfortykking ga svært høyt

tørrstoffinnhold i begge slamtypene.

4) Kalkstabilisert slam viste seg å ha bedre avvanningsegenskaper målt som CST enn råslam uten polymertilsetting. Kalkstabilisert slam uten polymertilsetting ga en CST-verdi på 82.1 sek. mot råslammets 211.0 sek.

Lave CST-verdier ble oppnådd med den kationiske polymerkvaliteten FO 4650 SH på kalkstabilisert slam. Slammet tålte også bra den mekaniske påvirkningen fra hurtigomrøring i 40 sekunder. Det ble også oppnådd gode resultater med den anioniske polymerkvaliteten AN 956 SH.

5) Slam som var kalkstabilisert synes å kreve en mindre mengde polymer enn råslam. Det var mulig å redusere polymerdoseringen til  $100 \text{ g/m}^3$  eller  $1.4 \text{ kg/tonn}$  tørrstoff og allikevel oppnå sammenliknbare resultater med hensyn på CST. Polymerkvalitetene FO 4650 SH og AN 956 SH ble benyttet. Polymerkostnadene ble derved redusert til  $42 \text{ kr/tonn}$  tørrstoff. Dette var i samme størrelsesorden som i den tidligere undersøkelsen.

6) Analysene av råslam og kalkslam viste lavere verdier for tungmetaller enn det som ble påvist i den tidligere undersøkelsen ved Gjerdavågen Fiskeoppdrett A/S. Tungmetall-nivået i slammet fra Fiskefjorden A/S synes ikke å skape problemer for bruk av slammet som jordforbedringsmiddel eller gjødsel.

7) Slammet fra Fiskefjorden inneholdt et høyt innhold av viktige plantenæringstoffer som nitrogen, fosfor, kalsium og magnesium. Slamanalysen tilsier at slammet egner seg som gjødsel i landbruket. Saltinnholdet synes ikke å skape problemer ved bruk av normale mengder slam. Det kalkstabiliserte slammet vil ha en gunstig pH-effekt i jorda. Det antydes en spredningsmengde på  $10 \text{ tonn}$  slam (våtvekt) pr. dekar hvert 5. år av det kalkstabiliserte slammet. Slammet egner seg sannsynligvis også godt til kompostering sammen med et karbonrikt strukturmedium som f.eks. bark.

## 1.0 Innledning

Gjennom Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd (NLVF) og Senter for jordfaglig miljøforskning (JORDFORSK) har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) vært engasjert i et 5-årig prosjekt; "Tiltak mot forurensning fra akvakultur". NIVA's innsats har vært konsentrert om rensing av avløpsvann og slambehandling i landbaserte oppdrettsanlegg. Det arbeidet som rapporteres her er en oppfølging av rapporten "Behandling av slam fra settefiskanlegg" (Liltved og Vethe, 1990).

Ved direkte bruk av fortykket slam fra oppdrettsanlegg som jordforbedringsmiddel, kan lukt skape problemer. Dårlig lukt kan gjøre at potensielle brukere mister interessen for slammene og at det kan oppstå problemer ved transport og eventuell deponering. Ved bruk av kloakkslam har kalk blitt benyttet for stabilisering av slammene for derved å unngå luktproblemer. Kalkinnholdet ansees som positivt når slammene skal benyttes som jordforbedringsmiddel.

Med kalkstabilisering av slam menes i rapporten tilsetning av lesket hydratkalk til fortykket uavvannet slam. Avhengig av tilsatt mengde øker pH-verdien. For å unngå at slammene går i forråtnelse bør pH-verdien være  $> 11$ . Kalkstabilisering er en midlertidig stabilisering, og kan derfor ikke sidestilles med aerob eller anaerob biologisk stabilisering. Den biologiske stabiliseringen innebærer en nedbrytning av organisk stoff til stabile sluttprodukter, altså en permanent stabilisering. Kalkstabiliseringen sørger for at nedbrytningsprosessene stopper opp i et visst tidsrom. Det er derfor her snakk om en midlertidig stabilisering.

Målsettingen med arbeidet som er rapportert her var å undersøke kalkstabilisert oppdrettslam med tanke på avvanningsegenskaper, fortykkingssegenskaper og stabilitet. Slammets egenskaper som jordforbedringsmiddel skulle vurderes ut fra en omfattende kjemisk analyse.

I forsøkene ble slam fra et oppdrettsanlegg for sjørøye tilsatt kalk. Etter kalktilsetning ble slammets avvanningsegenskaper karakterisert med "capillary suction time" (CST). Flere ulike typer organiske polymerer ble tilsatt for å finne fram til beste kondisjoneringmiddel til avvanning av kalkslam. Det ble benyttet en hurtigmikser for å avgjøre hvor mye kondisjonert slam tålte av mekanisk påvirkning. Det ble også utført forsøk for å klarlegge fortykkingsegenskapene og stabiliteten til ubehandlet og kalkbehandlet slam.

## 2.0 Materialer og metoder

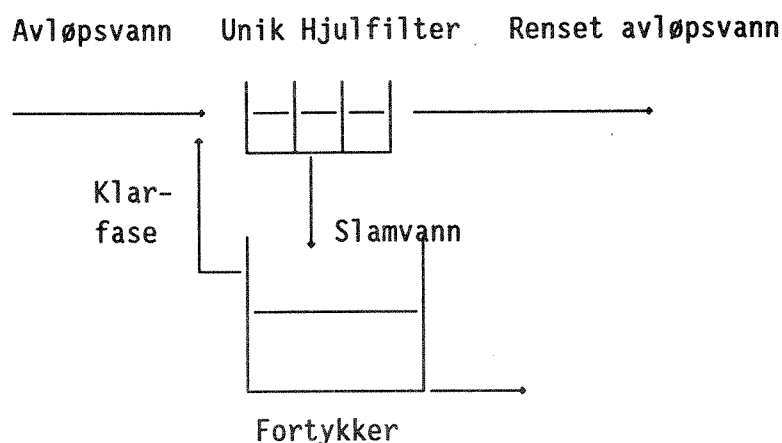
### 2.1 Anleggsbeskrivelse

Forsøkene ble utført ved oppdrettsanlegget Fiskefjorden A/S i Nordland fylke. Ved anlegget drives oppdrett av sjørøye. Totalt karvolum (våtvolum) var ca. 1200 m<sup>3</sup> fordelt på 36 kar. Fiskens størrelse varierte fra 10 g til 1.5 kg. Middelvekten var på 150 g. Det ble benyttet ferskvann med varierende grad av sjøvannsinnblanding; fra 0 til 8 ‰ i karene. Saliniteten i avløpet var ca. 4 ‰. Vannet fra oppdrettsanlegget ble rensert i Unik hjulfiltere før utløp til sjøen. Unik hjulfiltere er tidligere beskrevet og utprøvd av NIVA (Liltved, 1988). Annen informasjon omkring oppdrettsanlegget er gitt nedenfor:

For:	Felleskjøpet 1.8 mm og Skretting 4 og 5 mm
Forfaktor:	Varierte fra 0.9 i enkelte kar opp til 1.6, 1.2 som middelvei på årsbasis
Medisinering:	Sporadisk formalinbehandling mot costia
Vannforbruk:	20 m <sup>3</sup> /min

Avløpsrensing:	4 stk. Unik hjulfiltere type 900 i container
Silduker:	1600 og 350 um i hhv første og andre duk
Rensekapasitet:	30 m <sup>3</sup> /min
Slambehandling:	Sedimentering/oppesamling i 6 m <sup>3</sup> tank.

For å få ferskt slam til forsøkene ble slam fra silduksystemet samlet opp i en liten fortykker (diameter 1 meter). Høy overflatebelastning kan ha ført til at store slampartikler ble liggende igjen, mens de mindre ble med i utløpet. Dette kan ha hatt betydning for slamkvaliteten og dermed resultatene, kanskje spesielt for resultatene fra forsøkene som ble gjort for å undersøke slammets fortykkingssegenskaper. Etter oppsamling ble slammet stående ett døgn for fortykking. Klarfasen ble tømt av og det fortykkede slammet, her kalt råslam, ble godt omblandet før prøveuttak. Det ble gjort forsøk med råslammet og slam etter kalktilsetning, her kalt kalkslam. Flyteskjema for avløpsrensingen ved Fiskefjorden A/S er vist i figur 1.



Figur 1. Flyteskjema for avløpsrensing ved Fiskefjorden A/S.

## 2.2 Kjemikalier

Polymer ble levert fra Fure & Stømner A/S. Det ble først tillaget forrådsløsning ved å tilsette 2 ml ren metanol til 0.5 g polymer. Disse ble fortynnet med 98 ml destillert vann (0.5 % forrådsløsninger). Før bruk ble 10 ml av forrådsløsningene fortynnet med 90 ml vann til 0.05 % bruksløsninger. Effekten av polymertilsetning ble prøvd på råslam og kalkslam. Det ble tatt ut 100 ml slam til hver test. Polymer ble blandet inn ved hurtigomrøring i 10 sekunder med en standard laboratorie omrører.

Polymerkvaliteter ble valgt ut fra erfaringene som var gjort tidligere. I de tidligere forsøkene ga polymerkvaliteter med høye kationiske ladninger best resultat. Sjøvannsinblandning og kalktilsetning gjorde nå at andre polymerkvaliteter kunne være aktuelle. Det ble derfor testet både kationiske og anioniske polymerkvaliteter.

Kalk ble dosert ved å benytte en 10 % kalkslurry (10 % Ca(OH)<sub>2</sub>). En magnetomrører sørget for homogen slurry.

### 2.3 Avvanningsegenskaper

Som i tidligere forsøk ble slammets filtrerbarhet (avvanningsegenskaper) målt med et "Capillary suction time (CST)" - instrument. Instrumentet er spesielt utviklet for raskt å kunne avgjøre filtrerbarheten til forskjellige slamtyper med god reproduserbarhet. Lave CST - verdier gir god filtrerbarhet. Instrumentet er beskrevet av Baskerville og Gale (1968). Det ble også beskrevet i den tidligere rapporten om slambehandling i settefiskanlegg (Liltved og Vethe, 1990).

Det ble gjort forsøk for å teste slammets evne til å motstå mekanisk påvirkning. Dette ble gjort ved hurtigomrøring i 40 sekunder. CST - verdien ble målt etter hurtigomrøringen. Et slam med sterke fnokker vil vise relativt liten endring i CST - verdi etter omrøring, mens et slam med svake fnokker vil vise stor økning i CST etter omrøring. Testen ble utført med de polymerdoseringer og kvaliteter som ga best filtrerbarhet.

### 2.4 Fortykkingssegenskaper

Det var også av interesse å undersøke om råslammet og kalkslammet kunne gravitasjonsfortykket ytterligere uten polymertilsetning ved henstand. Det ble derfor tatt ut 100 ml kalkslam (tilsatt 2 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pr. 100 ml slamprøve) og 100 ml råslam og overført til 2 stk. 100 ml målesylindere. Slamvolumet ble avlest regelmessig over en periode på 4 døgn.

### 2.5 Stabilitet

For å vurdere kalktilsetningens effekt med hensyn på stabilitet ble 200 ml kalkslam og 200 ml råslam tatt ut for henstand ved  $16 \pm 1$  °C i 30 døgn. pH målt regelmessig og luktutviklingen ble registrert.

## 3.0 Resultater og diskusjon

### 3.1 Avvanningsegenskaper

#### 3.1.1 Avvanningsegenskaper for råslam

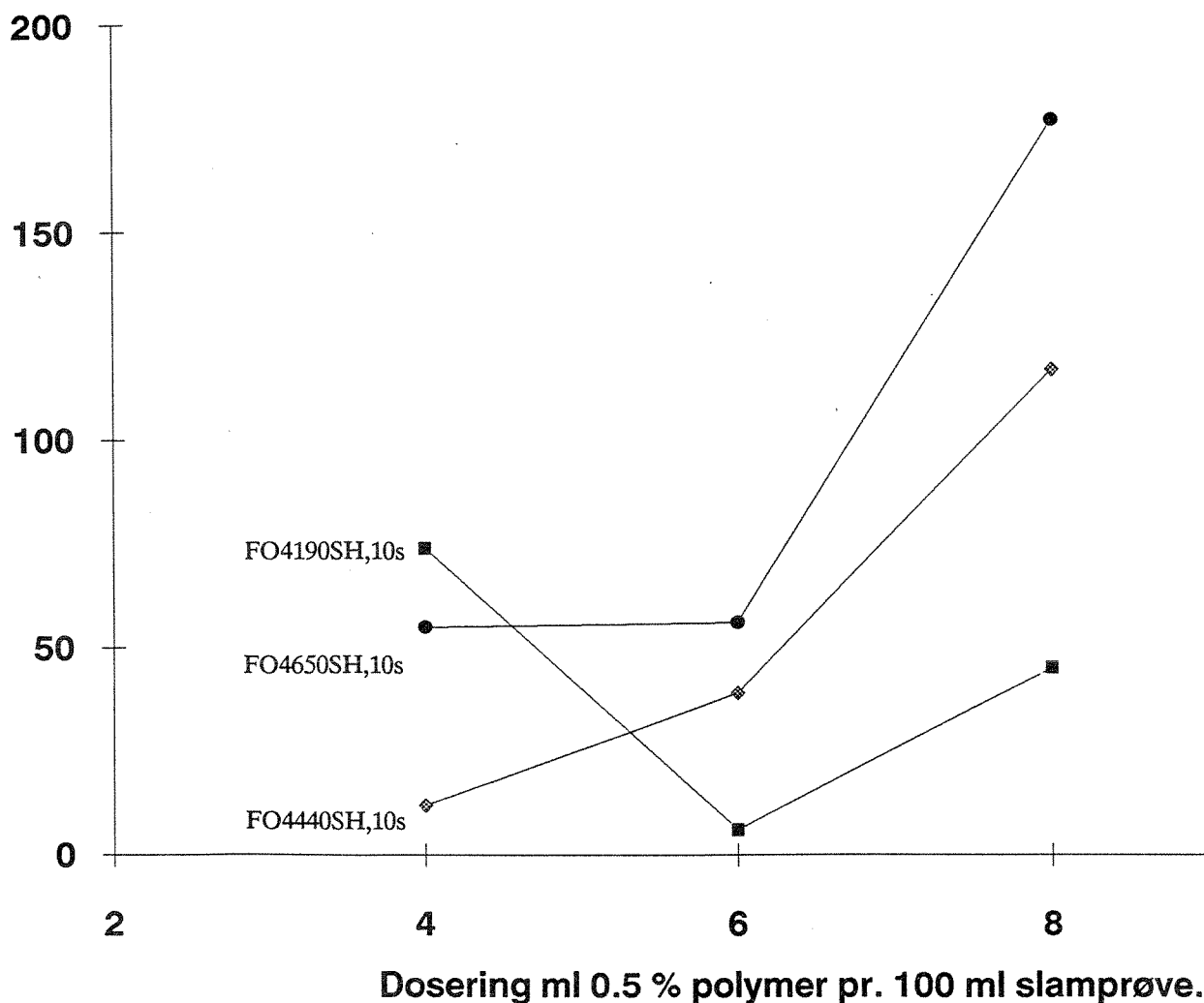
Innledende forsøk viste at råslammet som ble benyttet her krevde høyere polymer doseringer enn det som ble benyttet ved de tidligere forsøkene. Nødvendig dose var såpass mye høyere at det måtte tilsettes 0.5 % polymerløsning i stedet for 0.05 % løsning for ikke å fortynne prøvene for mye. CST - målingene for de kvalitetene som ga best resultat er vist i tabell 1 og framstilt i figurene 2 og 3.



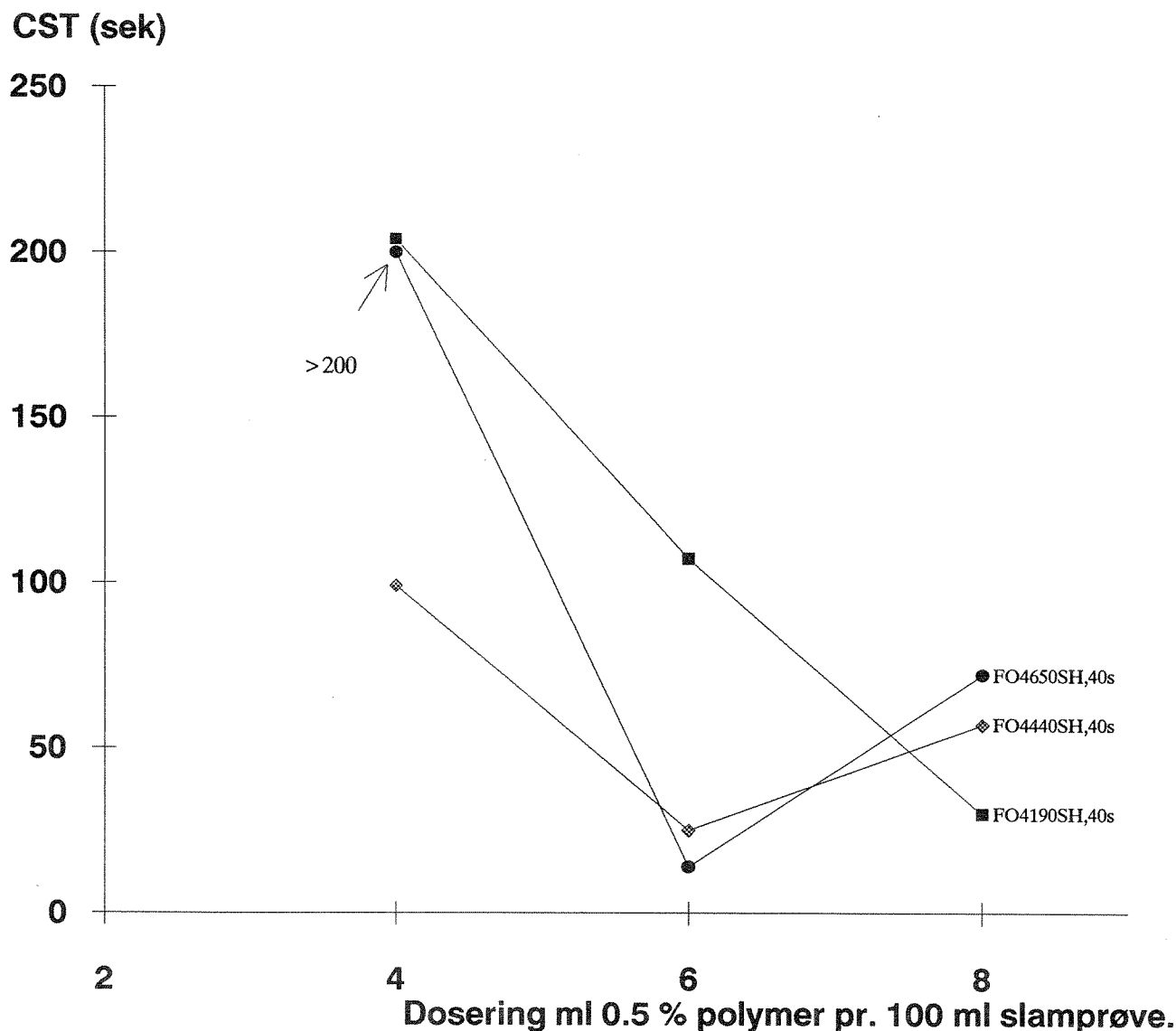
Tabell 1. CST - verdier i sekunder for råslammet tilsatt 4, 6 og 8 ml 0.5 % polymer pr. 100 ml slamprøve. CST-middel for råslam uten polymertilsetning var 211 sekunder.

Polymerkvalitet	Dosering og omrøringstid					
	4 ml		6 ml		8 ml	
	10 s	40 s	10 s	40 s	10 s	40 s
<b>Kationiske - molvekt 18'</b>						
FO 4190 SH - ladning = 10 %	74	204	6	107	45	30
FO 4440 SH - ladning = 30 %	12	99	39	25	117	57
FO 4650 SH - ladning = 55 %	55	>200	56	14	177	72
<b>Anioniske - molvekt 20'</b>						
AN 934 SH - ladning = 30 %			>200	>200		
AN 956 SH - ladning = 50 %			>200	>200		-

### CST (sek)



Figur 2. CST-verdier for råslam avhengig av polymertype og polymerdosering etter 10 sek. hurtigomrøring.



Figur 3. CST-verdier for råslam avhengig av polymertype og polymerdosering etter 40 sek. hurtigomrøring.

Disse resultatene viser at råslammet krevde polymerdosering på ca. 300 g/m<sup>3</sup>, 5-6 ganger høyere dosering enn det som ble vist i tidligere forsøk. Årsaken til dette kan være høyere tørrstoffkonsentrasjon og annen kjemisk sammensetning. Sjøvanninnholdet, ca. 4 promille, kan også ha ført til økt polymerbehov. Omregnet til tørrstoffbasis, økte polymerbehovet 2.9 ganger i forhold til tidligere forsøk.

Best resultat ble oppnådd med kationiske polymerkvaliteter med høy ladning. FO 4440 og FO 4650 ga laveste CST - verdier med en dosering på henholdsvis 4 og 6 ml 0.5 % polymer pr. 100 ml slamprøve, figur 2. Ved dosering av 6 ml polymer, men spesielt ved dosering av 8 ml pr. 100 ml slamprøve, så det ut til at det ved 10 sek. omrøring ble dannet en viskøs klarfase som kan tyde på overdosering eller utilstrekkelig innblanding. Ved 40 sekunders omrøring bedret dette forholdet seg noe som lavere CST-verdier viser.

Ved en dosering på 4 og 6 ml polymer og 40 sekunders omrøring ble fnokkene delvis knust med økt CST som resultat. Figur 3 viser at dette forløpet er avhengig av polymerdoseringen. 6 ml

dosering var den doseringen som ga best resultat ved vurdering av 10 og 40 sekunders omrøring under ett. Fnokkene var her såpass sterke at de tålte bra den økte mekaniske påvirkningen ved 40 sekunders omrøring.

De anioniske polymerkvalitetene ble vurdert som lite egnet til kondisjonering av råslammet ut ifra de høye CST - verdiene.

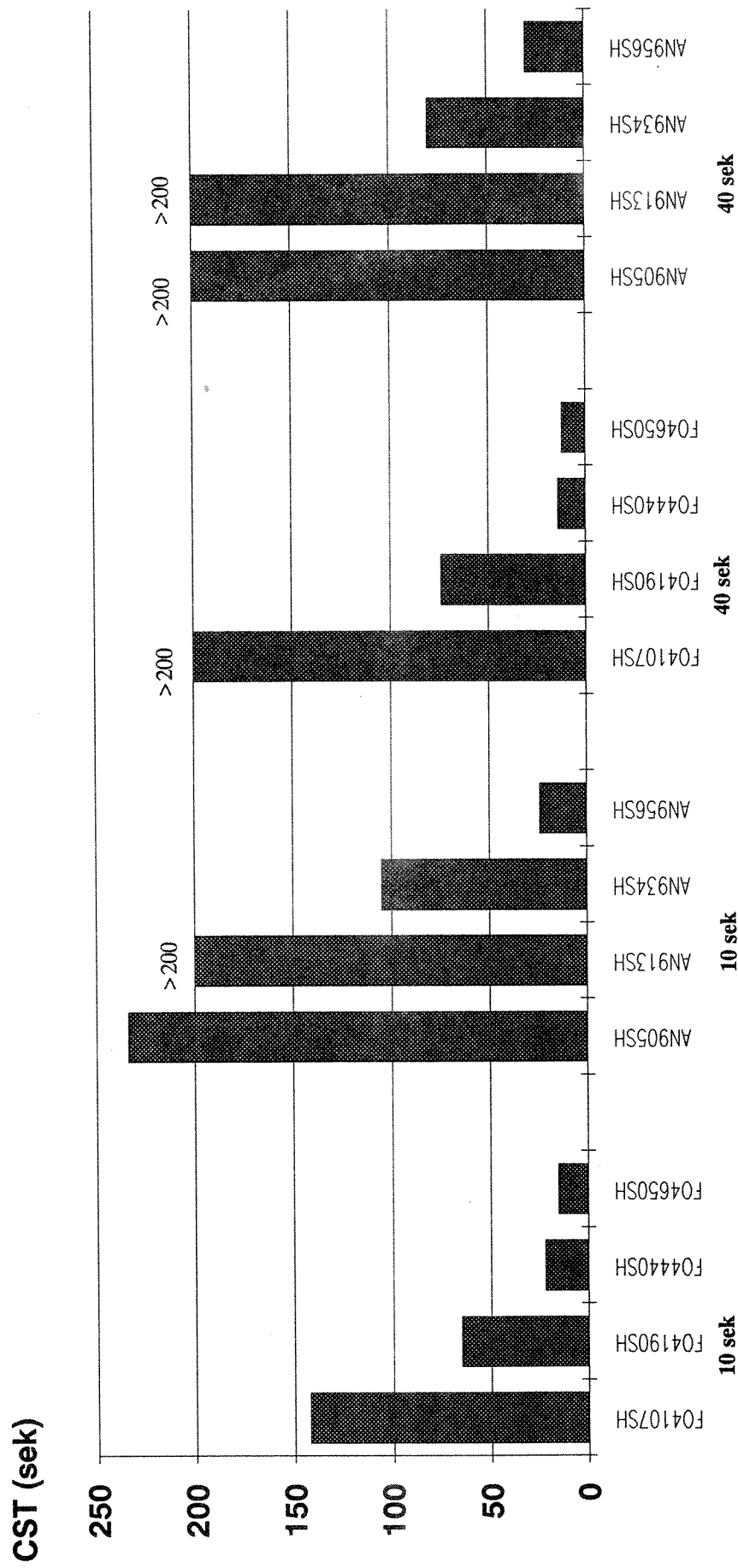
### 3.1.2 Avvanningsegenskaper for kalkslam

Etter de innledende forsøkene ble råslammet tilsatt kalkslurry. Det måtte tilsettes forholdsvis store mengder for å nå pH verdier over 12.0. Dette skyldes stor bufferkapasitet p.g.a. sjøvannsinholdet i slammet og utfelling av  $Mg(OH)_2$ ,  $CaCO_3$ , apatitt og at en del av kalken ikke utnyttes. Det ble dosert 2 g  $Ca(OH)_2$  pr. 100 ml råslam. Denne mengden tilsvarte 280 g  $Ca(OH)_2$  pr. kg tørrstoff (ved kalkstabilisering av mekanisk slam i kloakkrensaneanlegg er det anbefalt 100 - 200 g  $Ca(OH)_2$  pr. kg suspendert stoff (Eikum og Paulsrud, 1976)). Dette ga pH 12.2. CST ble bestemt til 82.2 sek. på dette slammet. Deretter ble det dosert 6 ml 0.5 % polymer pr. 100 ml slamprøve. Det ble prøvd både anioniske og kationiske kvaliteter. Kalk ble innblandet med 10 sek. hurtigomrøring. Deretter ble polymer innblandet med 10 sek. hurtigomrøring før bestemmelse av CST. Resultatene er vist i tabell 2 og figur 4.

Tabell 2. CST - verdier for kalkslam i sekunder etter tilsetning av 6 ml 0.5 % polymer pr. 100 ml slamprøve. CST - verdien for kalkslam før polymertilsetning var 82.1 sek.

Polymerkvalitet	Dosering og omrøringstid	
	10 s	40 s
<u>Kationiske - molvekt 18'</u>		
FO 4107 SH - ladning = 3 %	142	>200
FO 4190 SH - ladning = 10 %	65	74
FO 4440 SH - ladning = 30 %	22	14
FO 4650 SH - ladning = 55 %	15	12
<u>Anioniske - molvekt 20'</u>		
AN 905 SH - ladning = 7 %	234	>200
AN 913 SH - ladning = 15 %	>200	>200
AN 934 SH - ladning = 30 %	105	80
AN 956 SH - ladning = 50 %	24	30

Som i forsøkene med råslam ga de kationiske polymerkvalitetene best resultat, spesielt FO 4460 SH og FO 4650 SH. Kvaliteten med høyest ladning, FO 4650 SH, ga lave CST - verdier både ved 10 og 40 sekunders omrøring. Til forskjell fra forsøkene med råslam, ga den anioniske polymerkvaliteten AN 956 også bra resultat.

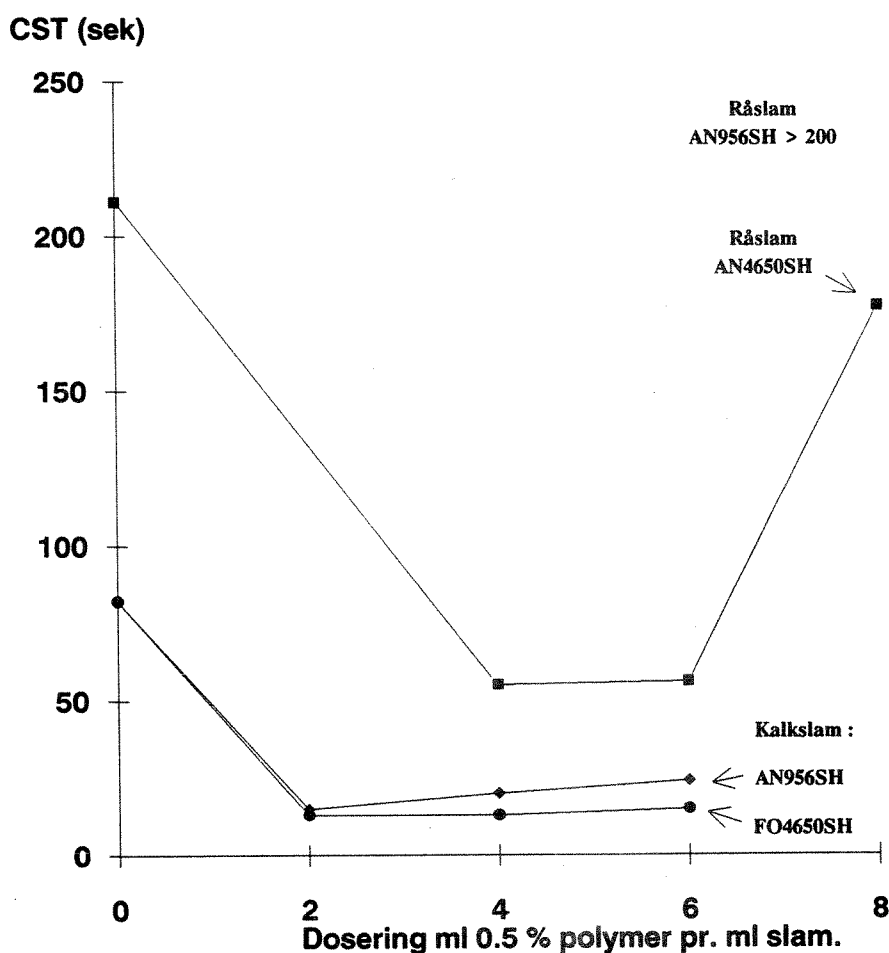


**Fig. 4 CST-verdier for kalkslam afhængig af polymertype og tid for hurtigomrøring ved dosering 6 ml 0.5 % polymer pr. 100 ml slamprøve.**

For å vurdere mulighetene for lavere polymerdoseringer på kalkslam ble forsøk med polymerkvalitetene FO 4650 SH og AN 956 SH gjentatt med doseringer på 2 og 4 ml. Resultatene er vist i tabell 3 og framstilt sammen med andre verdier i figur 5.

Tabell 3. CST - verdier i sekunder for kalkslam tilsatt polymer. Det ble tilsatt 2 og 4 ml 0.5 % polymerløsning til 100 ml slamprøve.

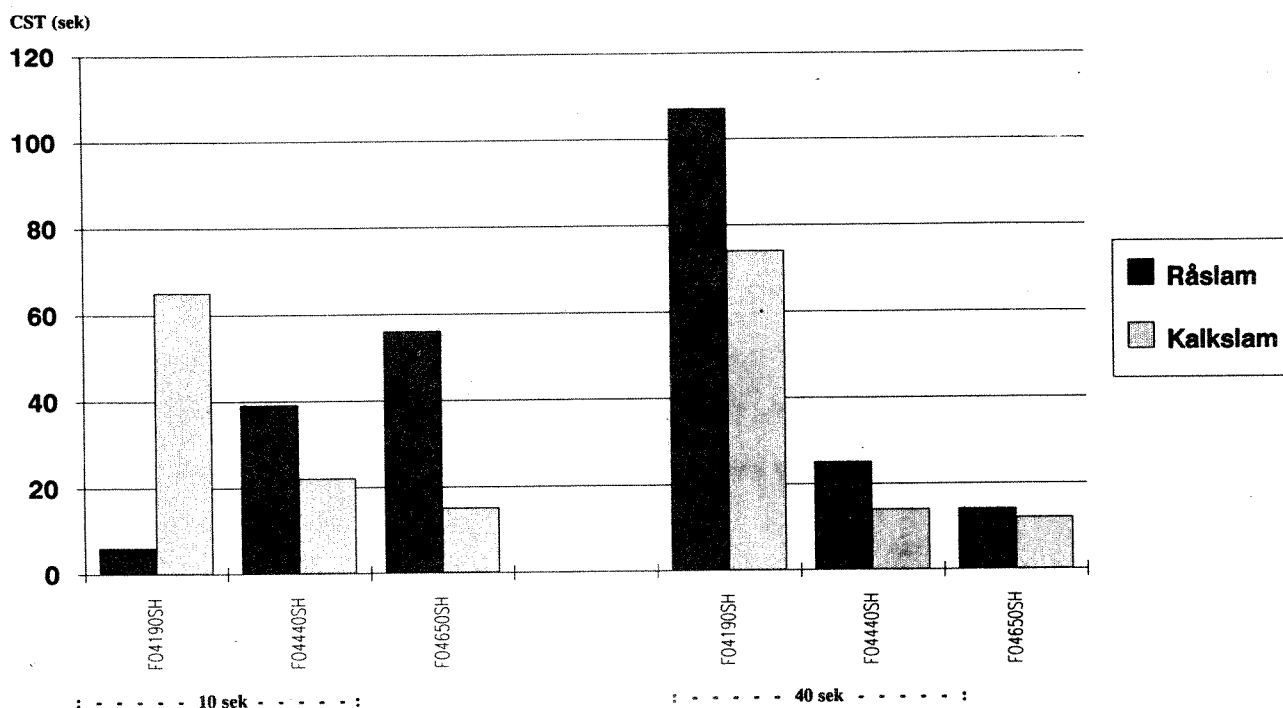
Polymerkvalitet	Dosering og omrøringstid			
	2 ml		4 ml	
	10 s	40 s	10 s	40 s
<u>Kationisk - molvekt 18'</u>				
FO 4650 SH - ladning = 55 %	13	33	13	22
<u>Anionisk - molvekt 20'</u>				
AN 956 SH - ladning = 50 %	15	31	20	20



Figur 5. CST-verdier for kationisk (FO4650SH) og anionisk (AN956SH) polymertilsetning, avhengig av slamtype og polymerdosering, 10 sek. hurtigomrøring.

Disse forsøkene viste at det var mulig å redusere polymerdoseringen til 2 og 4 ml 0,5 % løsning pr. 100 ml slamprøve uten store endringer i CST - verdier. For den laveste doseringen, 2 ml, ble fnokkene noe knust ved 40 sek. omrøring, noe som økte CST verdier viste. Dette ble også visuelt observert.

Figur 6 framstiller en sammenligning av kalkslam og råslam for bruk av tre kationiske polymerer. Bortsett fra en verdi, etter 10 sek. hurtigmixing for kalkslam, viser kalkslammet bedre avvanningsegenskaper enn råslammet.



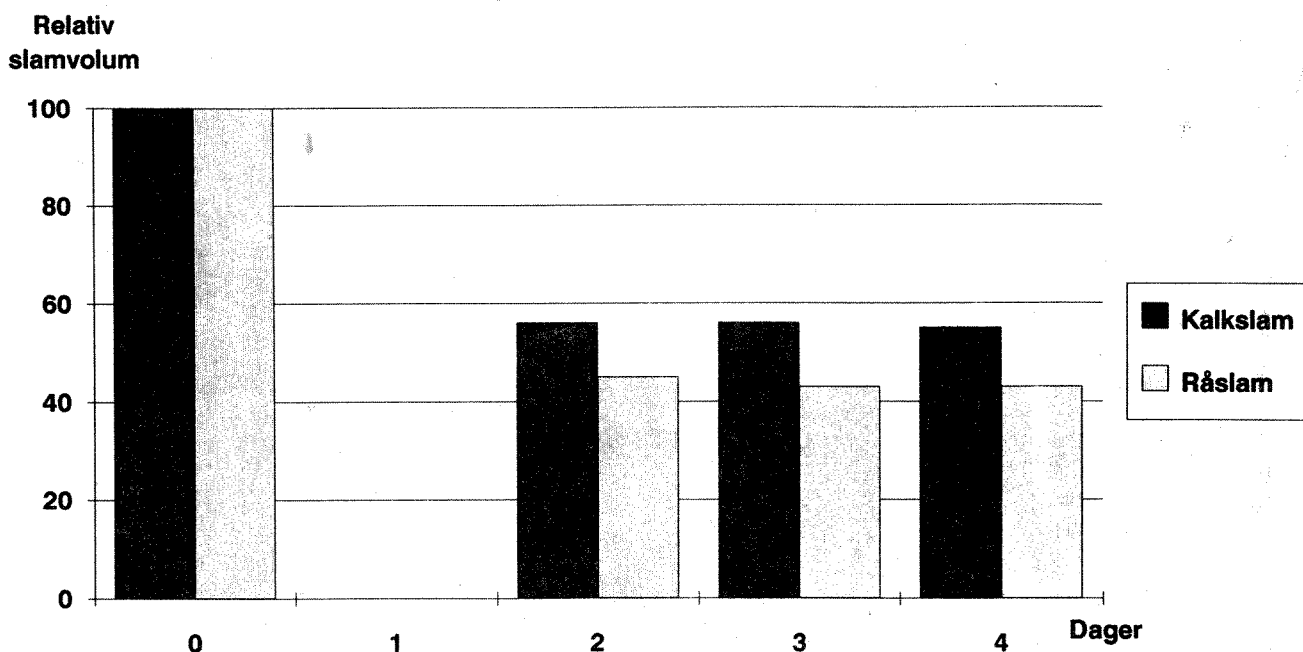
Figur 6. CST-verdier for råslam og kalkslam for noen kationiske polymerer.

### 3.2 Fortykking

Resultatene fra fortykkingsforsøket med kalkslam og råslam, begge uten polymertilsetning er vist i tabell 4 og figur 7. Begge slamkvalitetene lot seg fortykke til ca. halvparten av det opprinnelige volum. Det vesentligste av fortykningen skjedde i løpet av de første 2 dagene. Dekantvannet var farget, noe som tyder på høyt innhold av organisk stoff og næringsalter.

Tabell 4. Fortykking av kalkslam og råslam i 100 ml målesylindere.

Dag	S l a m v o l u m	
	Kalkslam	Råslam
0	100	100
1	—	—
2	56	45
3	56	43
4	55	43



Figur 7. Relativt slamvolum etter fortykking.

Det ble tatt ut prøver av slam og dekantvann etter 4 døgns fortykking. Resultatene er vist i tabell 5. Både kalkslammet og råslammet hadde da et tørrstoffinnhold på 18 %. Tørrstoffinnholdet i råslammet ble økt fra 7.1 % til 18 %, tilsvarende en volumreduksjon på 39 % av det opprinnelige. Slamvolummålingen (tabell 4 og figur 7) ga en reduksjon på 43 % av det opprinnelige volum. Dette viser at det er mulig å oppnå en høy tørrstoffprosent i denne type slam ved gravitasjonsfortykking uten polymerdosering. Som tidligere nevnt ble slammet som ble benyttet i denne undersøkelsen samlet opp fra en liten fortykker med forholdsvis stor gjennomstrømning. Dette kan ha medført at de store slampartiklene med gode fortykkingsegenskaper dominerte, noe som ga det høye tørrstoffinnholdet. Til sammenlikning kan det nevnes at ved mekanisk avvanning (kammerfilterpresse, silbåndpresse eller sentrifuge) oppnås vanligvis tørrstoffprosent mellom 20 og 30 % ved avvanning av slam fra kommunale renseanlegg.

Tabell 5. Tørrstoffinnhold i slamfasen og dekantvannets kvalitet etter 4 døgns fortykking.

	D e k a n t v a n n		S l a m f a s e	
	Kalkslam	Råslam	Kalkslam	Råslam
Tørrstoff, % av v.v.			18	18
Susp. tørrstoff, mg/l	230	970		
KOF, mg/l	26600	22700		
Tot-P, mg/l	41	260		
Tot-N, mg/l	1300	1200		

Analysene viser at dekantvannet fra råslammet er svært forurenset med hensyn på alle de målte parameterene. Dekantvannet fra kalkslammet er også svært forurenset med hensyn på organisk stoff (KOF) og nitrogen. Imidlertid har kalken hatt en positiv effekt ved å binde partikler (suspendert tørrstoff) og fosfor til slamfasen.

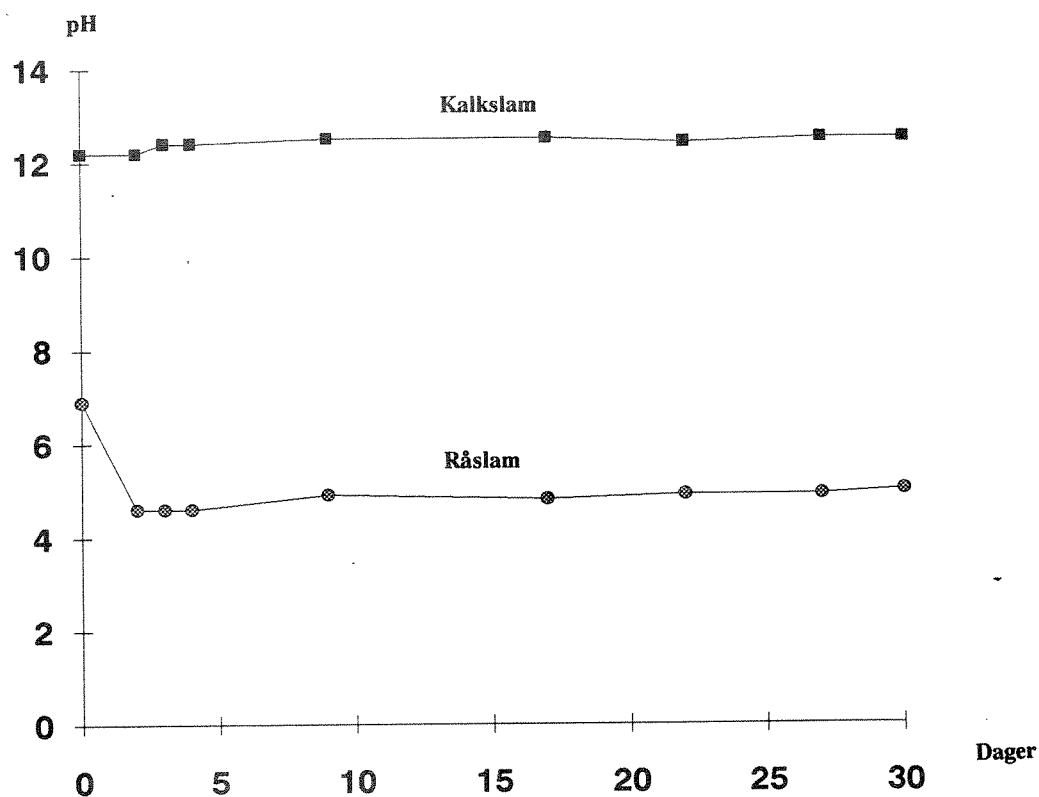
### 3.3 Stabilisering

Resultatene fra stabiliseringsforsøket er vist i tabell 6 og figur 8. Råslammets pH sank raskt til ca. 4.5 hvor verdien holdt seg forholdsvis stabil i 30 dagers perioden. Slammet luktet kraftig etter noen få dagers henstand. Dette tyder på livlig mikrobiologisk aktivitet.

Kalkslammets pH holdt seg høyere enn 12.2 i hele perioden. Den svake økningen som ble registrert kan muligens ha vært uoppløst kalk som ble løst etter hvert. Det ble ikke registrert generende lukt fra slammene, selv etter 30 dager. Slammene kan derved betegnes som kalkstabilisert slam. For å kunne betegne et slam som kalkstabilisert har Eikum og Paulsrud (1976) foreslått at kalkdoseringen må være så høy at pH >11 opprettholdes 14 dager ved 20 °C.

Tabell 6. pH-utviklingen i kalkslam og råslam i løpet av 30 døgn ved 16 +/- 1 °C.

Dag	p H - v e r d i e r	
	kalkslam	råslam
0	12.2	6.9
2	12.2	4.6
3	12.4	4.6
4	12.4	4.6
9	12.5	4.9
17	12.5	4.8
22	12.4	4.9
27	12.5	4.9
30	12.5	5.0



Figur 8. pH i kalkslam og råslam som funksjon av tid ved 16 °C.



### 3.4 Kostnader for kalk og polymer

Basert på dagens markedspriser for brent kalk og polymer er kostnadene for kalkstabilisering, kondisjonering av kalkstabilisert slam og kondisjonering av råslam beregnet. Beregningene er basert på de doseringene som ga best resultat i denne undersøkelsen. En dosering på 20 g lesket kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) pr. liter slam krever en mengde på 15 g brent kalk ( $\text{CaO}$ ) pr. liter. Tabell 7 angir kostnadene pr.  $\text{m}^3$  slam og pr. tonn tørrstoff.

Tabell 7. Kostnader for kalkstabilisering og kondisjonering av oppdrettslammet.

Kjemikalium	D o s e r i n g		K o s t n a d e r	
	kg/ $\text{m}^3$	kg/tonn TS	kr/ $\text{m}^3$	kr/tonn TS
Brent kalk til råslam	15	212	15;	212;
Polymer, FO4650SH, til kalkslam	0.1	1.4	3;	42;
Polymer, FO4650SH, til råslam	0.3	4.2	9;	126;

Tallene i tabell 7 viser at polymermengden og derved polymerkostnadene kan reduseres ved først å kalkstabilisere slammet.

### 3.5 Slamanalyse

2 liter råslam ble tilsatt kalk tilsvarende 2 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2/100$  ml og polymerkvaliteten AN 956 SH tilsvarende 4 ml/100 ml 0.5 % løsning. Etter innblanding ble dekantvannet drenert ved gravitasjon gjennom en 40 um silduk i ca. 2 minutter. Dekantvannet ble samlet opp å analysert med hensyn på organisk stoff (KOF), suspendert tørrstoff (SS), total fosfor (tot-P) og total nitrogen (tot-N). Tabell 4 viser analyseresultatene. Volumet av det kalkstabiliserte kondisjonerte slammet ble redusert til ca. 1 liter. Dette slammet og det ubehandlede råslammet ble analysert ved JORDFORSK for analyse.

Tabell 8 viser dekantvannets kvalitet. Analyseresultatene viser at vannet var kraftig forurenset. Konsentrasjonene av organisk stoff (KOF) og tot-N var svært høye, og vesentlig høyere enn verdiene fra tilsvarende forsøk i den tidligere undersøkelsen. Suspendert stoff verdien var i samme området som målt tidligere, mens tot-P var ca. 6 ganger lavere. Lav fosforverdi kan forklares med bruken av kalk da fosfor bindes som hydroksylapatitt med kalsium i vann.

Tabell 8. Kvaliteten på dekantvann fra kondisjonert kalkstabilisert slam.

Parameter	
pH	12.2
SS, mg/l	250
KOF Cr, mg/l	22900
Tot-P, mg/l	13
Tot-N, mg/l	1100

Tabell 9 viser analysen av råslam og kalkstabilisert slam analysert av JORDFORSK. Analysene av råslam (fortykket slam) fra den tidligere undersøkelsen ved Gjerdavågen Fiskeoppdrett A/S (Liltved og Vethe, 1990) er tatt med for sammenlikningens skyld. Noe forskjell i kvaliteten på råslammet fra Fiskefjorden A/S og på råslammet fra Gjerdavågen fiskeoppdrett A/S var ventet p.g.a. forskjellig produksjon og driftsformer i de to anleggene. Sjøvannsinnblanding ved Fiskefjorden A/S, som ikke ble praktisert ved Gjerdavågen fiskeoppdrett A/S, vil også gjøre utslag for innholdet av de enkelte komponenter.

Tabell 9. Analyser av råslam og kalkstabilisert slam fra Fiskefjorden A/S og av råslam (fortykket slam) fra Gjerdavågen Fiskeoppdrett A/S.

Parameter	Benevn.	Fiskefjorden A/S		Gjerdavågen
		Råslam	Kalks.slam	Råslam (fort.slam)
pH		4.9	12.6	5.3
Kond.,	mS/m	560	820	168
Tørrstoff	% av v.v.	7.1	14.6	3.8
Org.stoff	% av t.s.	77.1	51.0	84.3
Kj-N	% av t.s.	4.8	3.2	7.4
Tot-P	"	2.22	1.36	1.65
Kalium	"	0.047	0.028	0.06
Kalsium	"	6.09	9.10	2.83
Magnesium	"	0.305	0.400	0.06
Natrium	"	0.199	0.114	0.06
Svovel	"	0.517	0.356	0.79
Jern	mg/kg t.s.	769	652	2180
Kobber	"	39.7	37.8	41.0
Mangan	"	150	123	290
Sink	"	458	422	770
Bor	"	9.6	4.7	7.0
Molybden	"	0.41	0.18	0.7
Kvikksølv	"	< 0.03	<0.02	<0.1
Bly	"	0.92	0.63	55
Kadmium	"	0.20	0.19	2.2
Nikkel	"	1.00	1.33	<5
Krom	"	2.61	3.06	18
Cobolt	"	0.59	0.46	3.8
NH <sub>4</sub> -N	"	6160	737	
NO <sub>3</sub> -N	"	123	54.1	

Analysene av slammet fra Fiskefjorden A/S viser at tørrstoffprosenten er ca. dobbelt så høy i det kalkstabiliserte slammet som i råslammet. Dette stemmer bra med at volumet ble halvert etter kalkdosering og kondisjonering med polymer. Den andre halvparten ble tatt bort som dekantvann. Fortykkings-testen som ble foretatt viste at tørrstoffprosenten kan heves til 18 % bare med gravitasjon. Tørrstoffprosenten i råslammet fra den tidligere undersøkelsen var lavere enn i råslammet fra Fiskefjorden A/S. Dette kan være en medvirkende årsak til at polymerdosene måtte økes.

Konduktiviteten var høy for begge slamtypene ved Fiskefjorden A/S og ca. 3 ganger høyere enn i råslammet fra den tidligere undersøkelsen. Dette reflekterer sannsynligvis sjøvannsinnblandingen og den høye polymerdosen ved Fiskefjorden A/S. Som ventet var den organiske andelen (glødetapet) større i råslammet enn i kalkslammet.

Råslammet fra Fiskefjorden A/S inneholdt lavere verdier for Kjeldahl-nitrogen målt som % av tørrstoff enn i råslammet fra den tidligere undersøkelsen. Tot-P innholdet var omtrent på samme nivå.

For komponentene kalsium, magnesium og natrium, som det er mye av i sjøvann, var som ventet innholdet i slammet fra Fiskefjorden A/S høyt sammenliknet med slammet fra Gjerdavågen. Det kalkstabiliserte slammet hadde som ventet høyest innhold av kalsium.

Råslammet fra Fiskefjorden A/S inneholdt lavere verdier for alle metaller og tungmetaller enn råslammet fra Gjerdavågen. For tungmetallene bly, kadmium, krom og cobolt var forskjellene betydelige. Slammet fra Gjerdavågen inneholdt henholdsvis 60, 11, 7 og 6 ganger høyere konsentrasjoner av disse enn slammet ved Fiskefjorden A/S. Dette støtter mistanken om metallforurensning av slamfasen ved Gjerdavågen.

Ved vurdering av om slammet egner seg til bruk som gjødsel eller jordforbedringsmiddel på jordarealer for planteproduksjon, må innholdet av næringstoffer og eventuelt skadelige stoffer vurderes. Dessuten har forhold som slammets innhold av organisk materiale og dets fysiske egenskaper betydning.

Slammet fra Fiskefjorden har et høyt innhold av viktige plantenæringsstoffer som nitrogen, fosfor, kalsium og magnesium. Ca. 87 % av nitrogenet i råslammet er bundet i organisk form. I kalkslammet er nesten alt nitrogen i organisk form. Denne forskjellen mellom slamtypene skyldes antakelig avdrivning av ammoniakk som følge av sterk pH-hevning ved tilsetning av kalk. Stor andel organisk bundet nitrogen krever en nedbrytning av den organiske delen og frigjøring av nitrogen som ammonium og nitrat før plantene kan gjøre seg nytte av det. Sett i forhold til mineralsk nitrogen (f.eks. i kunstgjødsel) må en derfor forvente at nitrogenet i slammet er mer seintvirkende. Sannsynligvis forekommer det organiske nitrogenet i forholdsvis lett nedbrytbare forbindelser. Kaliuminnholdet i slammet er lavt.

Ved bruk av slam fra oppdrettsanlegg der det brukes saltvann, kan høyt innhold av salt og bor være et problem. I det undersøkte slammet er konduktiviteten såpass høy at det kan oppstå problemer for plantevekst dersom en tenker seg slammet brukt i ren form. Vekstforsøk gjennomført av Myhr (1989) viste en viss veksthemmende effekt av salt og tendenser til borforgiftning ved bruk av større mengder slam. Han brukte imidlertid slam fra matfiskoppdrett i sjøvann som hadde betydelig høyere salt- og borinnhold enn slammet fra Fiskefjorden (Na = 1.65 % og B = 43 ppm).

Innholdet av tungmetaller i slammet fra Fiskefjorden må generelt betegnes som lavt og uproblematisk. Innholdet av sink er imidlertid forholdsvis høyt, noe som antakelig skyldes innholdet av sink i fiskeforet. Innholdet er imidlertid på samme nivå som i undersøkelsen til Myhr (1989) (Zn = 580 ppm), og representerer neppe noe fytotoksisk eller miljømessig problem.

En vurdering av slamanalysene sammenholdt med bl.a. vekstforsøkene til Myhr (1989), tilsier at slammet egner seg som gjødsel i landbruket. P.g.a. relativt begrenset bruk av sjøvann i anlegget, representerer ikke saltinnholdet noe vesentlig problem ved bruk av normale mengder slam. I tillegg til gjødselvirkingen, vil det kalkstabiliserte slammet ha en gunstig pH-effekt i jorda. Slammet er mest aktuelt å bruke på åpen åker eller ved gjenlegg slik at det kan nedmoldes etter spredning. Det kan antydes en spredmengde på ca. 10 tonn slam (våtvekt) pr. dekar hvert 5. år av det kalkstabiliserte slammet. Det gir en rimelig balansert fosfor-tilføsel over tid, samtidig som nitrogentilførselen blir tilstrekkelig i spredningsåret.

Tidligere forsøk har vist at oppdrettslam egner seg godt til kompostering sammen med karbonrikt strukturmedium som f.eks. bark (Vethe 1988). For å oppnå en tilstrekkelig porøs struktur for tørrkompostering uten å måtte bruke svært store mengder strukturmateriale, er antakelig en

ytterligere avvanning av det kalkstabiliserte slammet nødvendig. Kompostert oppdrettslam vil kunne egne seg godt som jordforbedringsmiddel eller som bestanddel i et ferdig jordprodukt.

#### 4. Referanser

Baskerville, R.C. og R.S. Gale. 1968. A simple automatic instrument for determining the filtrability of sewage sludge. *J. Inst. Wat. Pollut. Control*, 1968, 233-236.

Eikum, A.S. og Paulsrud, B. 1976. Stabilisering av kommunalt slam. PRA-rapport nr. 10, 32 s.

Liltved, H. 1988. Utprøving av Unik Hjulfilter for rensing av vann i settefiskanlegg. NIVA VA-rapport 6/88, 31 s.

Liltved, H. og Vethe, Ø. 1990. Behandling av slam fra settefiskanlegg. NIVA-rapport 2409, 17 s.

Myhr, K. 1989. Fiskeslam som gjødsel til grønnsforbygg. *Norsk Landbruksforskning*, 3, 71-78.

Vethe, Ø. 1988. Undersøkelse av fiskeoppdrettslam fra Farsund Aqua. Upublisert notat datert 09.09.88, 4 s.