

0-
85251

1966

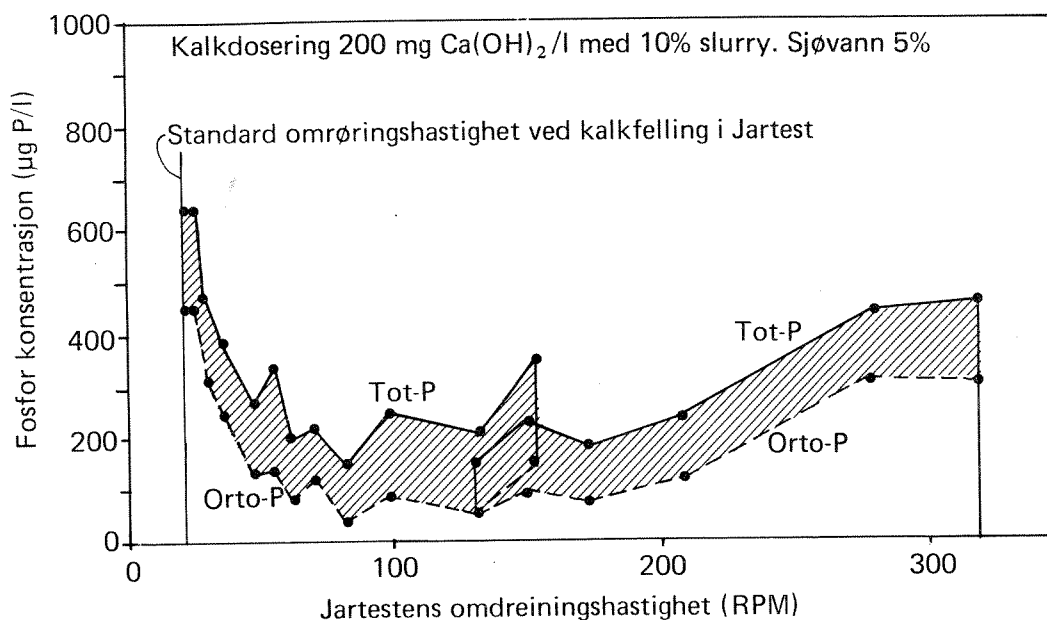
RAPPORT 5/87

O-85251

E-86645

Optimalisering av kalksjøvannsfelling

Undersøkelse ved NIVAs
laboratorie i Oslo og ved SRV



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:
O-85251 og
E-86645

Undernummer:

Løpenummer:

1966

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:	Dato:
OPTIMALISERING AV KALKSJØVANNSFELLING Undersøkelser ved NIVAs laboratorie i Oslo og ved SRV. VA 5/87	6. mars 1987
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Lasse Vråle Hans Kristiansen	O-85251 og E-86645
	Faggruppe:
	Miljøteknisk
	Geografisk område:
	Akershus
	Antall sider (inkl. bilag):
	72

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
Franzefoss Bruk A/S NIVA	

Ekstrakt:
Undersøkelsen har vist at kalksjøvannsprosessen kan ytterligere optimaliseres ved at kalken utnyttes bedre. Resultatene viser at lavere slurrykonsentrasjon eller bedre omrøring hindrer at uoppløst kalk sedimenterer i flokkuleringskammer og sedimenteringsbasseng. Dette vil senke doseringsmengdene ytterligere, senke slamproduksjonen og øke rensegraden. Undersøkelsene viser dessuten at jartester med kalkfelling av avløpsvann kjøres feil ved at omrøringshastighetene er alt for små. Som en følge av dette er SFTs rapport nr. 44 misvisende og bør omarbeides.

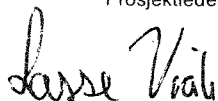
4 emneord, norske:

1. Kjemisk felling
2. Fosforreduksjon
3. Rensing av avløpsvann
4. Kalksjøvannsfelling
VA 5/87

4 emneord, engelske:

1. Chemical precipitation
2. Phosphorus reduction
3. Municipal wastewater treatment
4. Lime seawater precipitation

Prosjektleder:



Lasse Vråle

For administrasjonen:



Oddvar Lindholm

ISBN 82-577-1202-7

O-85251

OPTIMALISERING AV KALKSJØVANNSFELLING

Undersøkelser ved NIVAs laboratorie i Oslo og ved SRV

Oslo, 6. mars 1987

Prosjektleder: Lasse Vråle

Medarbeider: Hans Kristiansen

FORORD

De meget oppløftende resultatene med kalksjøvannsfelling i fullskala ved SRV vinteren 1984 førte til at Ferriklorprosessen måtte optimaliseres for å prøve å bli konkurransedyktig. Senere er det ikke utført kalksjøvannsfelling ved SRV, men VEAS oppfordret kalkleverandørene til å gjennomføre undersøkelser med tanke på å optimalisere kalksjøvannsprosessen videre for en ny runde i fullskala ble gjennomført.

Den første del av undersøkelsen ble gjennomført sommeren 1985 og Franzefoss Bruk A/S bevilget kr 93.000,-. Resten av undersøkelsen ble gjennomført i 1986 og NIVA har støttet prosjektet med kr 50.000,- gjennom sitt forskningsprosjekt E-86645. Det rettes en takk til Ivar Lavlund, og Astri Drake ved Franzefoss Bruk som har medvirket i prosjektet.

Oslo, 24. februar 1987


Lasse Vrøle

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	2
1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	5
1.1. Tidligere resultater med kalksjøvannsprosessen	5
1.2. Laboratorieundersøkelser for videre optimalisering av kalksjøvannsprosessen	9
1.3. Konklusjoner fra laboratorieundersøkelser	10
2. INNLEDNING	14
3. PROBLEMSTILLINGER OG UNDERSØKELSER	15
4. LITT OM KALK OG KALKLESKING	17
5. RESULTATER	20
5.1. Kalkens oppløsningshastighet målt ved hjelp av pH-utviklingen	20
5.1.1. Kalkkonsentrasjon 100 gram/l	20
5.1.2. Kalkkonsentrasjon 1,0 gram/l	21
5.1.3. Kalkkonsentrasjoner 5,0 gram/l	24
5.1.4. Tilleggsundersøkelser	26
5.1.5. Konklusjoner fra forsøk hvor kalkens oppløsningshastighet ble målt ved hjelp av pH-utviklingen	27
5.2. Hydratkalkens innhold av fuktighet og karbonat etter lagring	28
5.3. Temperaturen innvirkning på kalkens oppløslighet og oppløsningshastighet	30
5.4. Slamvolum for uoppløst kalk ved forskjellige konsentrasjoner	33
5.5. Den uleskede Tromsdalskalkens oppløsningshastighet	36
5.5.1. Omrøringsintensitetens innvirkning	36
5.5.2. Kornstørrelsens innvirkning	39
5.5.3. Kalkkonsentrasjonens innvirkning med groveste kalktype og høyeste omrøringsintensitet	40
5.5.4. Konklusjoner	41
5.6. Undersøkelser med kalksjøvannsfelling i jar-test ved SRV	42
5.6.1. Kalkslurrykonsentrasjonens innvirkning på renseresultat	42
5.6.2. Omrøringshastighetens innvirkning på rensesultat når 10 % kalkslurry benyttes	45

Innholdsfort. forts.	Side
5.6.3. Hurtiginnblandingens innvirkning på rensesultatet når 10 % kalkslurry benyttes	50
5.6.4. Omrøringshastighetens innvirkning på rensesultatet når mettet kalkløsning benyttes	52
5.6.5. Innvirkningen av kjemikaliedoseringens rekkefølge på rensesultatet	56
5.6.6. Virkningen av filtratvann fra kammerfilterpresser på kalksjøvannsprosessen	57
6. VURDERING AV RESULTATENE	61
7. REFERANSER	64
8. BILAG	65

1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

1.1. Tidligere resultater med kalksjøvannsprosessen

Prosessen med kalksjøvannsfelling av avløpsvann ble utviklet tidlig i 1970-årene og ble gjennomført i fullskala ved Sandvika renseanlegg i 1974. Dette anlegget behandlet avløpsvannet fra Sandvika-området i Bærum kommune og anlegget hadde en rensekapasitet på 8.000 personenheter. Renseprosessen har vært meget vellykket og den er senere gjennomført ved flere andre renseanlegg i Norge, Sverige og Danmark. Prosessen er internasjonalt publisert i IAWAPR-konferansen i Stockholm i 1978 (1) og i WPCF-journalen i 1984 (2) og det er utgitt en rekke rapporter om prosessen ved NIVA.

Det er kommet en mengde utenlandske henvendelser om prosessen blant annet fra europeiske land, USA, New Zealand og Sovjet.

I forbindelse med byggingen av SRV viste prosessen seg å være teknisk og økonomisk konkurransedyktig med de beste fellingsalternativene. Det ble derfor besluttet at 25 % av SRV anlegget skulle utbygges med muligheter for kalksjøvannsfelling. Det ble derfor bygget en egen pumpestasjon for sjøvann ved SRV nettopp med tanke på kalksjøvannsprosessen.

Det ble utført fullskalaforsøk med kalksjøvannsprosessen i de to spesialbygde bassengene for sed 7 og sed 8 i februar og mars 1984, og dette er rapportert separat (3). Resultatene med kalksjøvannsprosessen var meget bra til tross for at kalken ble dosert til de 4 seriekoblede flokkuleringsbassengene som primært er dimensjonert for kjemisk felling med aluminiumsulfat.

Gjennomsnittresultatene fra fullskalaundersøkelsene med kalksjøvannsfelling og Ferriklor 12 ved SRV er vist i tabell 1.

Tabell 1. Resultater fra sammenlignbar undersøkelse av kalk-sjøvannsfelling og Ferriklor ved SRV i februar 1984.

Kjemikaliedosering og driftsdata	Kalk-sjøvann (SED 7 + 8)	Ferriklor (SED 6)
Kjemikaliedosering i vannfasen, g/m ³ vann	165 Ca(OH) ₂	260 ufortynnet vare
Sjøvannsdosering, % av utgående	4,5	-
Renseresultater, Tot-P, %	90,9	91,8
Netto spesifikk slamproduksjon, tørrstoff g SS/m ³ vann	226	240
Netto spesifikk slamproduksjon volum, 6 % i g slam/m ³ vann	3,77	4,00
Kalkdos. til slamkondisjonering: kg Ca(OH) ₂ /m ³ slam	6,9	14,2
" " " g Ca(OH) ₂ /m ³ vann	26	57
Avvanningskapasitet Lasta-pressen, kg TS/syklus	500	400

Fullskala-undersøkelsen ved VEAS viste at 165 mg Ca(OH)/l og 4,5 % sjøvann gav samme rensegrad som 260 mg Ferriklor 12 (31 mg Fe/l) eller ca. 175 ml/m³. Rensegraden for samme periode var for begge renseprosessene 91 %. Denne renseeffekten er ikke uttrykk for den maksimale renseeffekten. Den kan økes ved å skru opp kalkdoseringen. Målsetningen var bare å se hvilken kalkdosering som skulle til for å gi samme rensegrad som Ferriklor 12. Ferriklor 12-doseringen ble holdt på det angitte nivå for å klare utslippskravet og for å holde slamproduksjonen nede fordi de eksisterende Lasta-pressene hadde problemer med å klare den eksisterende slamproduksjonen fra Ferriklor-prosessen.

Slamproduksjonen var 6 % lavere med kalksjøvannsfellingen enn med Ferriklor, henholdsvis 226 g SS/m³ vann for kalksjøvann mot 240 g SS/m³ med Ferriklor.

De spesifikke kostnadene ved de to prosessene er vist i tabell 2.

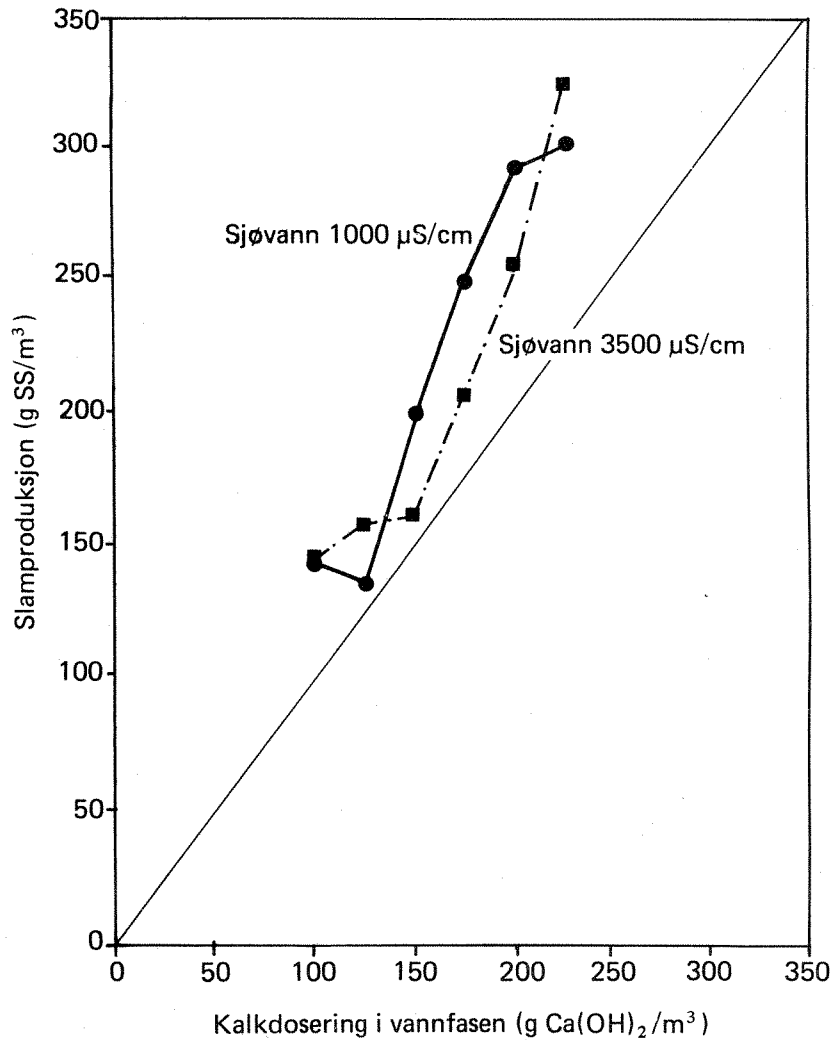
Tabell 2. Spesifikke kostnader ved de to fellingsprosessene uttrykket i øre/m³.

Spesifikke kostnader	Kalk-sjøvann (SED 7 + 8)	Ferriklor (SED 6)
Kjemikaliedosering i vannfasen øre/m ³ vann	8,09	11,22
Sjøvannspumping energi (nesten stengt ventil) " "	0,50	
Total kjemikaliekostnad i vannfasen " "	8,59	11,22
Kalkdosering til kondisjonering av slam " "	1,32	2,89
Avvanning driftskostn. Lasta-presser " "	2,26	2,83
Totalt	12,17	16,94
Differanse øre/m ³ vann	- 4,77	

Dette innebærer at kalksjøvannsfelling ved VEAS viste seg å være 28 % rimeligere enn Ferriklor-felling når februar og mars-resultatene fra 1984 legges til grunn.

Avløpsvannet i februar er spesielt konsentrert slik at kostnadene pr. m³ er høyere enn årsgjennomsnittet. Hvis vanntilførselen ved VEAS for 1984 legges til grunn, ca. 90 mill m³/år, blir kostnadsforskjellen mellom prosessene 4,29 mill. kr/år i favør av kalk-sjøvannsprosessen.

Helt sentralt i denne sammenheng står kalkens utnyttelsesgrad. Det er meget viktig at kalkdoseringsmengdene blir så små som mulig. Små kalk-doseringer i vannfasen senker kjemikaliekostnadene og slamproduksjonen som vist i figur 1. Kalken doseres som en slurry ca. 10 %, og det tar en viss tid for at den skal gå i løsning. Uoppløst kalk som sedimenterer vil sannsynligvis forbli uoppløst og delta ikke i prosessen. Utnyttelsesgraden blir da lav. Oppløsnings- og doseringsmetoder som i størst mulig grad utnytter den kalken som doseres, bør derfor undersøkes nærmere.



Figur 1. Slamproduksjon som funksjon av kalkdosering ved kalksjøvannsfelling. Utført i jartest av VEAS laboratoriet 4.4.84.

Fra sommeren 1984 og frem til idag har det ved SRV pågått optimaliseringsforsøk og arbeid for å forbedre fellingsprosessen med Ferriklor. Blant annet har man tatt i bruk sjøvannspumpestasjonen for kalksjøvannsprosessen også for Ferriklor prosessen, fordi det har vist seg at rensegraden forbedres også med denne kombinasjonen. Dessuten har man tatt i bruk polyelektrolytt-dosering for å bedre avskillingsgraden i sedimenteringsbassengene. Hurtiginnblanding av fellingskjemikaliene er dessuten forbedret og flokkuleringsbassengene er under ombygging. Om disse tiltakene har ført til at

Ferriklordoseringen nå er mer økonomisk enn den uoptimaliserte kalksjøvannsfellingen fra 1984 og om den gir bedre rensresultat er forutsatt uavklart. Det er imidlertid rimelig at en optimalisering av kalksjøvannsprosessen gjennomføres når kalksjøvannsprosessen utprøves ved SRV.

1.2. Laboratorieundersøkelser for videre optimalisering av kalksjøvannsprosessen

Det problemet som oppsto i 1984 da kalksjøvannsprosessen ble kjørt i fullskala ved SRV var at et relativt hurtigsedimenterende slam akkumulerte seg i de 4 seriekoblede flokkuleringsbassengene og i sedimenteringsbassengene. Anbefalingene fra NIVA før SRV ble bygget var at 2 seriekoblede flokkuleringsbassenger var tilstrekkelig ved kalksjøvannsfelling og det ble anbefalt slamavdrag i flokkuleringsbassengene slik det var gjennomført ved Sandvika renseanlegg.

Det var en sterk mistanke om at det tunge slammet i SRVs flokkuleringsbasseng var uoppløste kalkpartikler. Hensikten med denne laboratorieundersøkelsen var å se om kalkdoseringen kan optimaliseres slik at kalken utnyttes bedre og hindre at uoppløst kalk synker til bunns. Her vil forhold som kalktype, kalkens kornstørrelse, oppløsningshastighet, slurrykonsentrasjon og omrøringshastigheter stå sentralt.

Det er gjennomført 10 forsøk i NIVAs laboratorie hvor forskjellige kalktyper fra Franzefoss, konsentrasjoner og med forskjellige omrøringsbetingelser er utprøvd. I disse forsøkene ble drikkevann fra Oset renseanlegg benyttet som oppløsningsvann og oppløsningshastigheten ble målt ved hjelp av pH-analyser. Disse undersøkelsene viste at den fineste uleskede Tromsdalskalk fra Franzefoss løste seg nesten like hurtig som hydratkalken.

Undersøkelsene viste videre at grovere kalkpartikler løser seg saktere enn finere partikler og høyere kalk-konsentrasjon gir hurtigere kalkoppløsning i vannfasen.

Deretter ble det gjennomført 5 forsøk ved NIVA hvor følgende forhold ble undersøkt:

- a) Kalkens innhold av fuktighet og karbonat under lagring.
- b) Kalkens oppløslighet som funksjon av temperatur.
- c) Temperaturens innvirkning på kalkoppløsningshastigheten.
- d) Slamvolum av uoppløst kalk ved forskjellige konsentrasjoner.
- e) Omrøringshastighetens innvirkning på kalkens oppløslighet.

Ved alle disse forsøkene ble det også benyttet Oset-vann til oppløsning, men nå ble en ledningsevne måler med temperaturkompensator benyttet for å følge med på oppløsningshastigheten.

I siste del av undersøkelsen ble det gjennomført 6 undersøkelser med jartest i NIVAs laboratorium ved VEAS, hvor følgende kalksjøvannsfellinger i avløpsvann fra VEAS ble utprøvet.

- a) Kalkslurrykonsentrasjonens betydning for renseresultatet.
- b) Omrøringshastighetens betydning når 10 % kalkslurrykonsentrasjon ble benyttet.
- c) Omrøringshastighetens betydning når mettet kalkløsning oppløst kalk ble benyttet.
- d) Hurtiginnblandingens betydning.
- e) Betydningen av kjemikaliedoseringens rekkefølge.
- f) Virkningen av filtratvann fra kammerfilterpressene på kalksjøvannsprosessen.

1.3. Konklusjoner fra laboratorieundersøkelsene

1. Undersøkelsene viser at når kalken doseres som suspensjon (slurry), løses de uoppløste kalkpartiklene så sakte at faren for at en del av kalken sedimenterer til bunns som uoppløst kalk er meget stor. Den uoppløste kalken som sedimenterer til bunns deltar ikke i prosessen og må anses som tapt.
2. Prosessen kan derfor optimaliseres betydelig ved å hindre at uoppløst kalk synker til bunns i kanaler, flokkuleringsbasseng og sedimenteringsbasseng. Uoppløst kalk som går tapt øker

doseringsmengdene og kjemikaliekostandene, gir lavere rensegrad og øker slamproduksjonen.

Den uoppløste kalken kan gi driftsproblemer slik det ble opplevd under fullskalaundersøkelsene ved VEAS i 1984.

3. Kalktapet kan hindres eller reduseres på tre måter:
 - a) Ved å benytte så lav kalkslurrykonsentrasjon som mulig. Fullstendig løsning (mettet løsning) altså maksimalt ca. 1,4 g $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$ (0,14 %) eliminerer alt kalktap, men krever en større fortynningsvannsmengde.
 - b) Sørge for at de uoppløste kalkpartiklene omrøres så kraftig at de holdes i suspensjon inntil de er løst opp.
 - c) Finere kalkpartikler løses hurtigere enn grovere partikler og stiller mindre krav til omrøringsintensiteten for å holdes i suspensjon.
4. Størrelsen på kalktapet vil være avhengig av den kalkslurrykonsentrasjon som benyttes (5-10 % er ikke uvanlig), kalktype, kalkens kornstørrelse og innblanding og omrøringsintensitet i flokkuleringsbasseng og i hvilken grad uoppløst kalk gis anledning til å sedimentere.
5. Kalkdoseringen ved VEAS kan derfor etter all sannsynlighet senkes under de 165 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$ ved kalksjøvannsprosessen og opprettholde den gode renseeffekten. Samtidig vil mengden av uoppløste kalk som sedimenterte i flokkuleringsbassenget og skape problemer bli redusert.
6. Filtratvannet fra kammerfilterpressene har en meget gunstig innvirkning på fellingsprosessen. Tilsetning av 10 % filtratvann og ingen kalk, gav en renseeffekt på 81 %. Ved kalksjøvannsfelling bør derfor filtratvannet fra kammerfilterpressene tilsettes foran flokkuleringsbassengene slik at de øvrige kalkdoseringene kan reduseres tilsvarende.

7. Forsøkene har vist at det ved kalk- og sjøvannsfelling ikke er behov for hurtigomrøring med ekstrem innblandingshastighet slik som ved aluminium- og jernflokkulering. Omrøringsintensiteten må imidlertid være stor nok til å holde uoppløste partikler i suspensjon og eventuelt knuse grovere partikler i mindre.
8. Bruk av lavere kalkkonsentrasjon i kalkløsningen krever en for-tynningsvannstrøm annen enn drikkevann som vil bli for dyrt. Renset vann som resirkuleres å brukes som kalkoppløsningsvann er sannsynligvis den beste løsningen. Sjøvannet kan også benyttes til kalkoppløsning, men gir ikke det mest optimale renseresultatet.
9. Med hensyn til om sjøvannet eller kalken bør tilsettes først eller om kalken og sjøvannet kan blandes før tilsetning viste en slik blanding noe dårligere resultat. Teoretisk sett vil det være en fordel å tilsette kalken først, men praktiske forhold kan gjøre dette mindre ønskelig.
10. Det er selvfølgelig fullt mulig å optimalisere kalksjøvannsprosessen videre ved tilsats av polymerdosering som påvist i 1970-årene.
11. Undersøkelsene avslørte at jartest med kalkfelling må kjøres med vesentlig høyere sakteomrøringsintensitet minimum 80 RPM når kalken tilsettes i form av kalkslurry. Renseeffekten blir da økt fra 0,64 mg P/l i supernatanten ved 20 RPM til 0,15 mg P/l ved 80 RPM. Over 120 RPM synes det å forekomme fnokkoppbryting som gir dårligere rensegrader.
12. Resultatene viste videre at det ikke var noen hensikt i å benytte hurtigomrøring ved kalksjøvannsfelling av avløpsvann i Jartest, men sakteomrøringen må holdes over 80 RPM.
13. Den uleskede Tromsdalskalken som er produsert fra marmor hydratiseres og løser seg ikke vesentlig saktere enn hydrat-kalken. Det synes derfor også som det kan være mulig å unngå

kostbart leskerutstyr å anvende ulesket kalk direkte hvis kalkdoseringsutstyret utformes med tanke på dette. Dette bør undersøkes nærmere.

14. Årsaken til behovet for bruk av lokal lesking når ulesket kalk benyttes ved vann og avløpsanlegg kan være basert på erfaringer fra andre kalktyper som ikke er basert på marmor og det faktum at hovederfaringene om kalklesking stammer fra kalkleverandøren som er avhengig av å produsere tørr hydratkalk etter lesking. Da ønskes det minimalt med vanntilførsel.

2. INNLEDNING

Prosjektet hadde som målsetning å øke forståelsen for hvordan kalken skal oppløses, doseres, omrøres og flokkuleres, for å gi best mulig resultat. Slik kunnskap er viktig når prosessen skal tilpasses anlegg slik at ressursene utnyttes best mulig, og driftsproblemer unngås.

Kalksjøvannsfelling er gjennomført med positive resultater ved flere renseanlegg (4, 5), også ved Sentralrenseanlegg Vest (SRV). Et sammendrag av resultatene fra en fullskala undersøkelse med kalk og sjøvann som ble gjennomført ved SRV i februar 1984, er rapportert separat (3).

Disse resultatene viste at kalksjøvannsprosessen var 28 % rimeligere enn Ferriklor-prosessen slik forholdene var februar 1984. Senere er det gjennomført optimaliseringer som har ført til at Ferriklordoseringen kan reduseres med 15 til 20 prosent.

3. PROBLEMSTILLINGER OG UNDERSØKELSER

Ved overgang til kalk som fellingsmiddel for rensing av avløpsvann er det en rekke spørsmål som må avklares hvis man ønsker en mest mulig optimal drift av prosessen.

Først og fremst er det spørsmål om hvor godt kalken utnyttes. Kalken tilsettes vanligvis som en slurry, ofte som en 10 % løsning regnet som $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Uoppløst kalk løses sakte og uoppløste kalkpartikler som sedimenterer bakes inn i slammet og forblir uoppløst og deltar derved ikke i prosessen. Jenkins og Lee (6) har gjennomført undersøkelser som har vist at kalkfelling gir bedre resultat jo lavere slurry-konsentrasjonen er. Mettet løsning gir best resultat. Grunnen er at kalken krever tid for å bli oppløst, slik at alt som tilsettes kan delta i prosessen. Omrøringstiden og omrørings-intensiteten blir meget viktig når kalken må oppløses for at prosessen skal bli optimal.

Følgende punkter var planlagt undersøkt:

1. Kalkens utnyttelsesgrad
 - a) Oppløsningshastighet som funksjon av kornstørrelse, røreintensitet, vannkvalitet.
 - b) Jartestforsøk. Undersøkelse av slurrykonsentrasjonens innvirkning på felling og røreintensitet ved konstant sjøvannstilsetning.
 - c) Undersøkelse med formål å kvantitativt bestemme ubrukt kalk i slammet.
2. Undersøkelse i rørflokkuleringsanlegg.

NIVAs rørflokkuleringsanlegg gir mulighet for nærmere bestemmelse av optimal flokkuleringstid og røreintensitet ved kalkfelling.
3. Filtratvann fra kammerfilterpressene som hjelpekoagulant ved kalkfelling.

Overnevnte forsøk utføres i første rekke i laboratorieskala. Senere kan det bli ønskelig med enkelte rene fullskalaforsøk, eksempelvis:

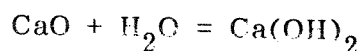
1. Rensegrad som funksjon av flatebelastning
2. Avvanning av kalkfelt slam i konvensjonelle kammerfilterpresser
3. Slamsirkulering
4. Undersøkelser av slamproduksjon.

I dette programmet vil vi i første omgang konsentrere oss om undersøkelser som enkelt kan utføres i laboratorieskala.

4. LITT OM KALK OG KALKLESKING

Kalk anvendes enten i form av hydratkalk (Ca(OH)_2) eller brent kalk (CaO). Hydratkalken inneholder vann og er 32 % tyngre enn samme mengde alkaliseringsmiddel av brent kalk.

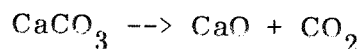
Når brent kalk brukes som alkaliseringsmiddel og tilsettes vann, skjer det først en lesking og det dannes hydratkalk ved reaksjon mellom brent kalk og vann:



Under leskingen utvikles varme som det må tas hensyn til. Tilsetning av brent kalk til vannet skjer vanligvis i en lesker. Tiden leskeprosessen tar er avhengig av utgangsmaterialets renhet og den tekniske utforming av leskeren. Etter leskeprosessen blandes hydratkalken med vann og pumpes til en lagertank hvor den holdes i jevn suspensjon ved hjelp av et rørverk og doseres til avløpsvannet i form av en kalkmelk-suspensjon.

Brent kalk

Brent kalk fremstilles ved at kalkstein eller marmor varmes eller kalsineres ved en temperatur over 900°C . Marmoren spaltes da etter følgende reaksjon:



Av 100 vektdeler marmor dannes 56 vektdeler brent kalk og 44 vektdeler karbondioksyd.

Tettheten for marmor angis i litteraturen til $2,65 \text{ g/cm}^3$. Dersom den brente kalken beholder marmorens volum, får den en tetthet på $1,48 \text{ g/cm}^3$, mens tettheten for brent kalk oppgitt i litteraturen er $3,25 - 3,38 \text{ g/cm}^3$. Det betyr at samme kalkmengde brent fra kalkstein har omtrent halvparten av volumet av kalk brent fra marmor. Ved oppmaling av den brente kalken fra kalkstein får man en partikkelstørrelse på mindre enn $0,09 \text{ mm}$ av nesten hele mengden og omsettes

under navnet malt brent kalk. Denne kalk-kvaliteten har en spesifikk overflate på fra 4 til 7 m²/g og tetthet i bulk er fra 700 til 1100 kg/m³. Både partikkelstørrelse, spesifikk overflate og tetthet for malt kalk etter brenningen, er avhengig av hvilken type kalsiumkarbonat man går ut fra; kalkstein, kritt eller marmor. Kalkstein er gjerne forurenset av leire. De tall det her er referert til er fra belgisk litteratur hvor utgangsmateriale er kalkstein eller kritt, mens utgangsmaterialet her i landet er marmor.

Marmor er en metamorf bergart, gjerne grovkrystalinsk som under brenningen ikke minsker særlig i ytre volum. Den brente kalken fra norske produsenter vil dermed være lettere i vekt og ha en mer åpen struktur med stor spesifikk overflate. Dette kan bety at norske kalktyper er mye lettere å leske enn de europeiske kalktyper som er basert på kalkstein. Forurensninger av leire i kalkstein danner under brenningen sintringsprodukter som gjør at leskingen tar lengre tid.

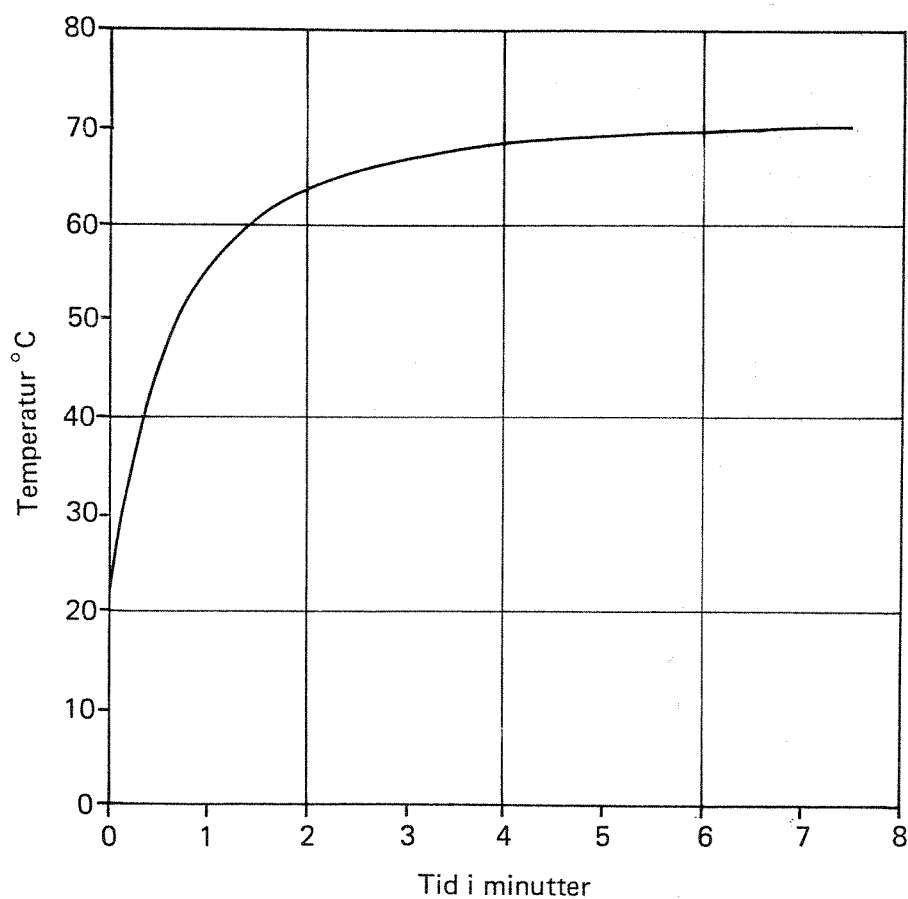
Lesking av kalk

Det skilles mellom tørrlesking og våtlesking. Tørrlesking brukes for industriell fremstilling av lesket kalk. Når hydratkalken skal brukes til vannbehandling er våtlesking en mest anvendte metode og leskingen skjer på stedet. For våtlesking skilles mellom to forskjellige metoder; Pastalesking og suspensjonslesking. For hver metode er det utviklet spesielt utstyr. Den største forskjellen mellom de to metodene er den mengde vann som tilsettes kalken og tiden leskingen tar. Pastaleskeren arbeider med omkring 2 liter vann/kg kalk og leskingen tar fra 5 til 10 minutter, mens suspensjonsleskeren arbeider med fra 2,5 til 6 liter vann/kg kalk og leskingen oppgis å ta over 30 minutter.

For alle kjemiske reaksjoner øker reaksjonshastigheten med stigende temperatur. Dette gjelder også for en lekseprosess. Amerikanerne angir som ønskelig at leskingstemperaturen ligger mellom 80 og 90°C, mens belgisk standard for hydratiseringshastighet (NBN B 13.204) angir forholdet mellom lesketid og temperatur under leskingen som vist i figur 2. Figuren er å tolke slik at leskingen er over etter ca.

5 minutter og temperaturen har da steget bare til ca. 70°C og gjelder for kalk med spesifikk overflate på $4\text{--}7\text{ m}^2/\text{g}$ og tetthet i bulk $700\text{--}1100\text{ kg/m}^3$.

Forskjellig oppfatningen av temperaturens betydning for leskeprosessen tyder på at brent kalks evne til å reagere med vann kan variere. Brent kalk fremstilt av marmor (den norske typen) vil få en struktur som gjør den meget reaktiv. Muligheten for å hydratisere denne norske kalktypen i kaldt vann skal her undersøkes nærmere i denne undersøkelsen.



Figur 2. Hydratisering av brent kalk - temperaturøkning som funksjon av tiden.

5. RESULTATER

5.1. Kalkens oppløsningshastighet målt ved hjelp av pH-utviklingen

De første forsøkene på å måle kalkens oppløsningshastighet ble gjennomført i juni 1985 i NIVAs laboratorium på Brekke. Hensikten med å måle oppløsningshastigheten var å se nærmere på mulighetene for at kalkpartiklene i slurryen rakk å løse seg, før de nådde bunnen i oppløsningstanken.

5.1.1. Kalkkonsentrasjon 100 gram/liter

Forsøk nr. 1 (25.6.85)

I første eksperiment ble den fineste Tromsdalskalken, 0-0,15 mm, benyttet. 100 gram av denne uleskede kalken ble tilsatt 1,0 liter vann i et begerglass fra ledningsnettet, altså en 10 % løsning. Begeret ble satt under et vanlig jartest-apparat og pH og temperatur ble målt fortløpende i begeret. Resultatene av dette forsøket er vist i tabell 3.

Tabell 3. Forsøk nr. 1.

Tid etter dosering	Temp. °C	pH i slurry	Omrøringshastighet RPM
0	14	6,49	60
30 sek.	20	12,75	60
3 min., 30 sek.	24	12,87	60
8 min.	25	12,91	60
11 min.	28,5	12,87	100
22 min.	32	12,73	100

Forsøket viste at kalken sedimenterte hurtig og la seg på bunnen av begeret. Selv når omdreiningshastigheten ble øket til 100 RPM var det ikke mulig å holde alle partiklene i slurryen svevende.

pH-målingene ble gjort med glasselektrode og verdiene ble registrert på en skriver. pH-elektroden gikk mer eller mindre tett og skrive-
ren virket ikke som den skulle i dette første forsøket. Dette ble senere endret slik at pH-målingene virket tilfredsstillende.

Hovederfaringen fra forsøket var at pH-verdien raste hurtig opp slik at det ikke var mulig å vurdere forskjeller. Det er nødvendig å gjøre bruk av langt lavere kalkkonsentrasjoner enn 100 gram/liter når forskjeller i oppløsningshastigheter skal måles.

5.1.2. Kalkkonsentrasjon 1,0 gram/liter

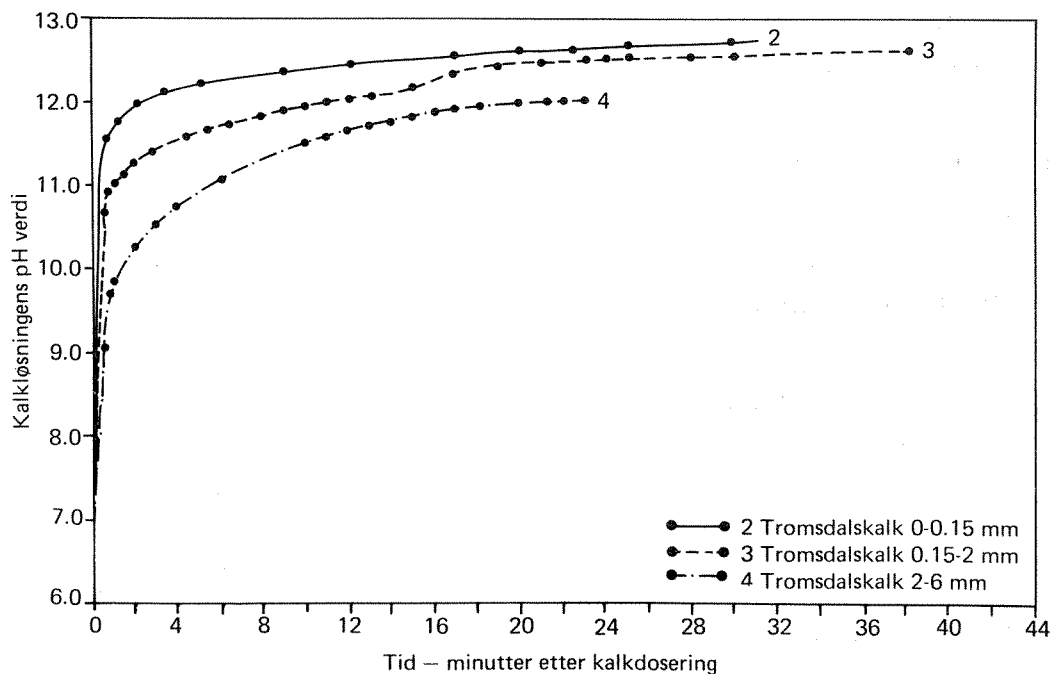
Forsøk nr. 2 (26.6.85). Oppløsningshastighet for den uleskede Tromsdalskalken, kornstørrelse 0-0,15 mm

Den samme Tromsdalskalken som i forsøk nr. 1 ble benyttet, men nå ble bare 1,0 g tilsatt 1 liter vann på samme måte som i forrige forsøk. Vannet ble nå omrørt med 100 RPM hele tiden. Det ble dessuten benyttet en egen omrører med et jartest omrørerblad. Denne omrøreren kunne kjøres med vesentlig høyere omdreiningshastighet enn jartesten (maks 120 RPM). Resultatene er vist i bilag nr. 1 og figur 3 og 4.

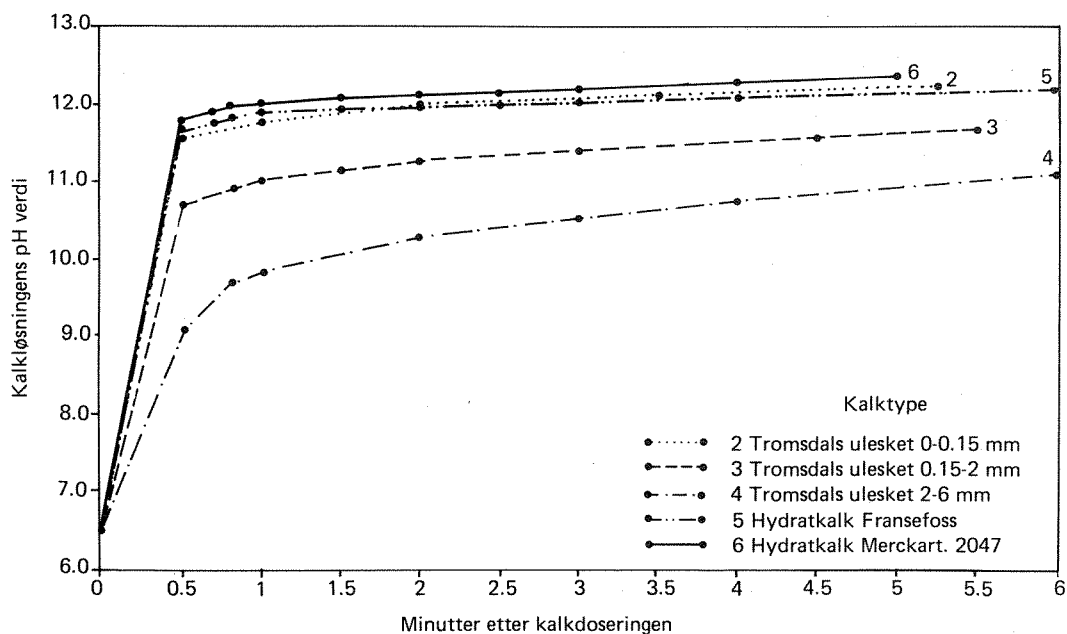
Som man ser stiger pH-verdien nå vesentlig saktere enn ved forsøk 1, da kalkkonsentrasjonen var 100 ganger større. Det tar nå 30 minutter for å heve pH-verdien til 12,73 mens dette ble oppnådd i løpet av 30 sekunder i forsøk 1.

Det ble observert at det hele tiden lå en kjegle med uoppløst kalk i senter på bunnen av karet. Det var da 6 cm klaring mellom bunn og omrørerblad. Begeret ble hevet etter 12,5 min. for å redusere mengden av sedimentert kalk slik at klaringen bare ble 2 cm. I en kort periode ble omrøringshastigheten hevet til 200 RPM. Denne hastighetsøkningen virket ikke inn på pH-verdien.

18 timer etter oppstaring var det fortsatt litt uoppløst kalk igjen på bunnen og pH-verdien hadde i løpet av natten sunket til 12,0. Senkningen skyldes opptak av CO₂ fra atmosfæren. Da omrøringen ble stanset var det tydelig at en del uoppløste korn hadde holdt seg svevende i begeret og løsningen må derfor anses som mettet.



Figur 3. Kalkens oppløsningshastighet målt ved hjelp av pH som funksjon av tid. Konsentrasjon er 1,0 g pr. liter Osetvann.



Figur 4. Kalkens oppløsningshastighet målt ved hjelp av pH som funksjon av tid. Konsentrasjon er 1,0 g pr. liter Osetvann.

Forsøk nr. 3. Oppløsningshastighet for ulesket Tromsdalskalk, kornstørrelse 0,15-2 mm.

Forsøket ble utført på samme måte som forsøk nr. 2, men det ble benyttet den mellomste finhetsgraden på kalken. Konsentrasjonen var som før, 1,0 g/liter. Omrøringshastigheten var 100 RPM og padlerbladet ble montert 2 cm over bunnen. Resultatene er vist i bilag nr. 2 og figur 3 og 4 og viser en lavere pH-kurve utvikling enn med den fineste kalken.

Forsøk nr. 4. Oppløsningshastighet for Tromsdalskalk, type, 2-6 mm

Dette forsøket ble utført på samme måte som de to foregående undersøkelser, men kalken var nå av groveste type Tromsdalskalk. Det ble som før benyttet 1,0 g pr. liter. Omrøringshastigheten var 100 RPM. Resultatene er vist i bilag nr. 3 og figur 3 og 4 og viser at kalken nå løser seg enda saktere.

Forsøk nr. 5. Oppløsningshastighet for hydratkalk av typen Franzefoss

Dette forsøket ble utført på samme måte som de 3 foregående forsøk. 1,0 g hydratkalk ble løst opp i 1 liter vann. Omrøreren ble kjørt på 100 RPM. Resultatene er vist i bilag nr. 4, figur 3 og viser omtrent samme oppløsningshastighet som den fineste uleskede Tromsdalskalken i forsøk nr. 2.

Forsøk nr. 6 (27.6.85). Oppløsningshastighet for ren (p.a.) kalsiumhydroksyd

Forsøket ble utført på samme måte som de 4 foregående forsøk med 1,0 g utveid hydratkalk oppløst i 1 l vann. Omrøreren ble kjørt på 100 RPM og resultatene er vist i bilag nr. 5 og figur 4. Denne kalken gir den hurtigste pH-økningen, men forskjellen fra hydratkalken til Franzefoss og den fineste uleskede kalken er ikke stor.

Arsaken til at den mest finmalte Tromsdalskalken viser hurtigere oppløsning enn den manuelle, skyldes sannsynligvis at den fineste kalken har størst overflateareal. Forsøkene ble gjennomført med en

omrøringshastighet på 100 RPM fra start. Ved alle forsøk ble det lagt inn en økning til 200 RPM i noen minutter slik det fremgår av tabellene. Denne økningen gav relativt liten virkning.

De største endringene i pH skjer i løpet av de første 10 minuttene. Tidskalaen er derfor øket i figur 4, også for å få plass til hydratkalk-forsøkene. Resultatene viser at hydratkalken fra Franzefoss bare løser seg noe hurtigere enn den uleskede Tromsdalskalken av fineste type 0-1,15 mm de 2 første minuttene. Den analytisk rene hydratkalken løser seg like hurtig de første 20 sekundene, men pH-kurven ligger deretter ca. 0,10 pH-enheter høyere.

Kalkkonsentrasjonen i oppløsningsvannet spiller her en viktig rolle. Ved alle forsøkene er det benyttet 1,0 g teknisk vare pr. liter. Det betyr at samme mengde hydratkalk gir lavere kalsiuminnhold med følgende forhold:

$$\frac{1,0 \text{ g CaO} \cdot 56}{74} = 1,321 \text{ g Ca(OH)}_2$$

Det betyr at 1,0 g av hydratkalken gir 75,7 % lavere kalsiumkonsentrasjonen enn den uleskede kalken og at oppløsningshastigheten i hydratkalken er relativt sett høyere enn i den uleskede kalken. Her vil imidlertid kornstørrelsen i kalktypene også bety noe. Det faktum at den analytisk rene laboratoriekalken gir noe høyere pH enn hydratkalken fra Franzefoss er naturlig siden noe av den tekniske kalken vil være urenheter og ikke aktiv kalk.

5.1.3. Kalkkonsentrasjon 5 gram/liter

Forsøk nr. 7. Oppløsningshastighet med pH-målinger og konsentrasjoner på 5,0 g/l

For å se hva konsentrasjonen betydde for oppløsningshastighetene og det ble besluttet og gjenta målingene for Tromsdalskalken med en høyere konsentrasjon, nemlig 5,0 g/l og dessuten øke omrøringshastigheten fra 100 til 200 RPM for å sikre at kalken holder seg i suspensjon.

Resultatene fra forsøket er vist i bilag nr. 6 og figur 5 hvor også de tidligere forsøkene med 1,0 g ulesket Tromsdalskalk er presentert for sammenligningens skyld.

Økningen i padleverkets omdreiningshastighet fra 100 RPM til 200 RPM etter 13 min. og 40 sek. og tilbake igjen etter 16 min. og 30 sek. gav ingen forskjell i pH-utviklingen. Resultatene viser ellers en raskere pH-økning enn med lavere kalkkonsentrasjon.

Forsøk nr. 8

Det samme forsøket ble gjennomført for den mellomste Tromsdalskalken nå med 5 g/l (0,15-2 mm kornstørrelse). Dette forsøket ble kjørt med 200 RPM hele tiden. Resultatene er vist i bilag nr. 7 og figur 5, og viser noe lavere oppløsningshastighet enn med den fineste kalken.

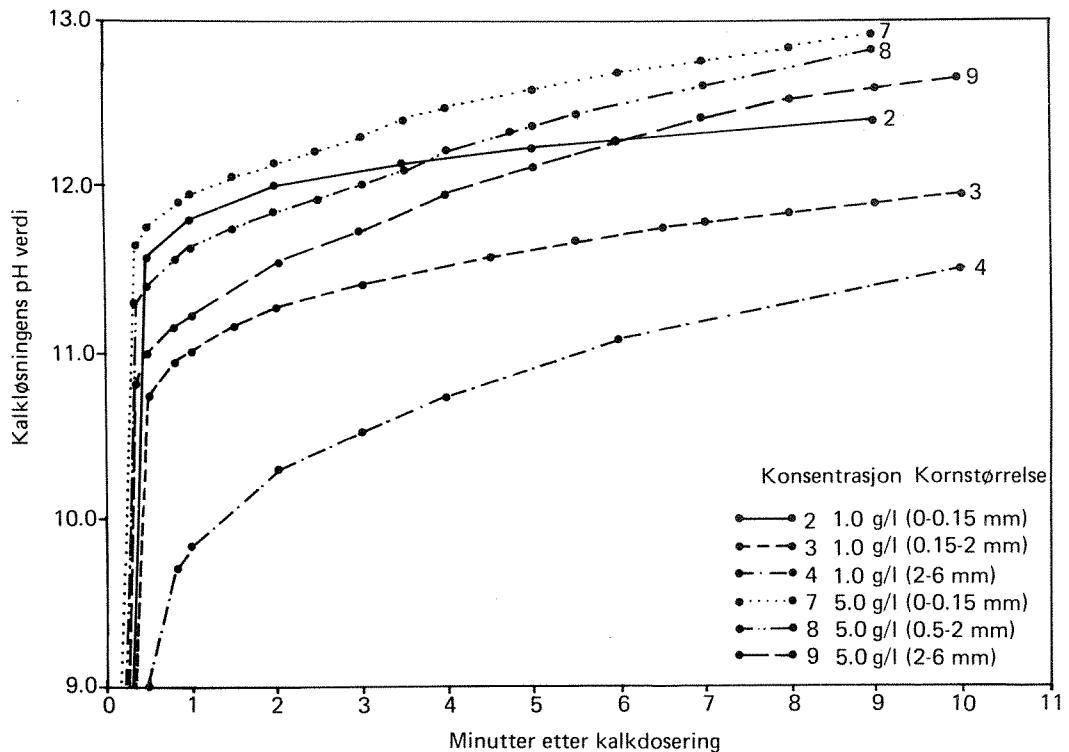
Forsøk nr. 9

Det samme forsøket ble gjennomført med en groveste Tromsdalskalken (2-6 mm) med konsentrasjon på 5 g/l og 200 RPM i omdreiningshastighet. Resultatene er vist i bilag nr. 8 og figur 5 og viser en ennå lavere oppløsningshastighet enn med de to finere kalktypene foran.

Figur 5 viser at pH-verdien økte hurtigere når kalkkonsentrasjonen ble økt fra 1,0 g/l til 5,0 g/l. Dette viser at økende innveid kalkmengde i høyeste grad påvirker oppløsningshastigheten, men man får selvfølgelig ikke løst opp noe mer totalt, enn det de kjemiske likevektskonstantene tilsier.

Grunnen til at pH-verdien stiger raskere når kalkens konsentrasjon øker er at kalk partiklenes overflate øker. Samtidig vil økt omrøringshastighet hurtigere skifte ut vannmassene rundt partiklene og lettere bryte opp nye overflater. Forsøkene tyder imidlertid på at denne effekten ikke er like viktig som konsentrasjonen.

Konsentrasjonsforskjellen betyr minst for den fineste kornfraksjonen (0-0,15 mm) og mest for den groveste kalken. Det kan tenkes at den høyere omrøringshastigheten i forsøk 8 og 9 har bidratt til å heve oppløsningshastigheten.



Figur 5. Konsentrasjonens betydning for oppløsningshastigheten.

5.1.4. Tilleggsundersøkelser

Det ble gjort noen mindre tilleggsundersøkelser på dette stadium. Den ene gikk ut på å se om den groveste Tromsdalskalken lot seg male opp i våt form. 10 g av denne kalken (2-6 mm) ble veid opp og det ble tappet 2 liter vann opp et 3 liters beger. Mens kalken lå stille løste den seg gradvis. De hviteste kornene "poppet" ut som popkorn en av gangen. Etter 1-2 minutter begynte flaten på toppen å bli dekket av et hvitt belegg.

Deretter ble en hurtigroterende spesialomrører (Recombinder Typ SLR 50/60 83 Volt: 220 Watt 460 Amp:4 RPM:8000) benyttet i 3 liters beger. På 1-2 sekunder var hele massen homogenisert og finmalt.

Det ble også gjennomført en undersøkelse for måling av oppløsningshastighet for Franzefoss hydratkalk med konsentrasjon 5 g/l. Ved denne undersøkelsen ble 100 RPM benyttet hele tiden. Resultatet er vist i tabell 4.

Tabell 4. Oppløsning av 5 g hydratkalk/l.

Tid etter kalkdosering	pH-verdi
0 sek	6,02
20	11,66
30	11,80
50	11,95
1,00 min	12,00
1,30	12,09
2,00	12,21
3,00	12,41
4,00	12,54
5,00	12,61
6,00	12,67
7,00	12,73
8,00	12,77
9,00	12,82
10,00	12,87
11,00	12,92
12,00	12,96
13,00	13,00
18,00	13,15
22,00	13,21
32,00	13,30

Resultatene her er de samme som tidligere observert med Tromsdalskalken. Denne høyere konsentrasjonen gav høyere pH-økning. Igjen løste hydratkalken seg like hurtig som den fineste uleskede Tromsdalskalken. Imidlertid flatet pH-kurven ut på et noe lavere nivå. Dette skyldes at hydratkalken har en lavere konsentrasjon med hensyn på kalsium.

5.1.5. Konklusjoner fra forsøk hvor kalkens oppløsningshastighet ble målt ved hjelp av pH-utviklingen

Følgende konklusjoner kunne trekkes etter disse innledende forsøkene:

1. Den fineste uleskede Tromsdalskalken løser seg like hurtig som hydratkalken når det veies ut like mengder av begge kalktypene. Imidlertid er kalsium konsentrasjonen i hydratkalken 24,3 % lavere enn i den uleskede kalken.

2. Den grovere Tromsdalskalken løser seg tilsvarende saktere, men når samme nivå tilslutt. Partiklene løser seg gradvis opp inntil reaksjonene stanser opp på grunn av metning. Årsaken er at de grovere kalktypene har en lavere overflatekonsentrasjon.
3. Høyere slurrykonsentrasjon gir hurtigere konsentrasjonsøkning i vannfasen fordi kalkpartiklenes overflatekonsentrasjon blir større. På den annen side vil en større andel av kalken foreligge uoppløst når metningspunktet er nådd.

Hovedinntrykket til nå, er at den fineste uleskede Tromsdalskalken er overraskende lett å løse opp i forhold til hydratkalken. Siden den uleskede kalken er billigere, mer konsentrert og enklere å håndtere i en silo kan man spørre seg hvorfor den ikke større grad benyttes og spesielt hvis man kan klare seg uten kompliserte leskere.

5.2. Hydratkalkens innhold av fuktighet og karbonat etter lagring

Ved optimalisering av kalkfelling er det om å gjøre at kalken utnyttes best mulig. Første steg i prosessen er da å se hvor stor andel av kalken som er aktiv kalk. Vi går her ikke inn på selve kalkproduktet slik det foreligger fra leverandøren, men ser nærmere på hva som kan skje med kalken etter at kalken transporteres ut fra kalkfabrikken.

Man ble spesielt oppmerksom på dette problemet fordi man ved NIVA hadde foretatt noen forskjellige undersøkelser med en hydratkalk som var lagret i lengre tid i en plastsekk først ved NIVAs forsøksstasjon ved SRV og siden ved NIVA. Denne hydratkalken gav dårlig pH-effekt ved bruk i forskjellige undersøkelser blandt annet ved en kalk- og magnesiumfelling i rørflokkuleringsanlegget med direktefilter ved Frogn r.a. og ved utprøving av kalkoppløsningsutstyr ved NIVA.

Hydratkalken ble derfor testet for innhold av vann og karbondioksyd. Dette ble gjort på følgende måte:

Vanninnholdet ble bestemt som vekttap etter gløding ved 600°C og karbondioksydinnholdet som vekttap etter gløding ved 1000°C .

Resultatet viste at fordelingen i kalken var følgende:

Hydratkalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$:	22,3 %
Kalsiumkarbonat CaCO_3 :	77,7 %.

Dette resultatet var meget skremmende og viser at CO_2 fra luften med tid kan ødelegge en hydratkalk avhengig av lagringsmetoden. CO_2 vandrer lett gjennom plast (Kristiansen) og er en dårlig lagringsmetode. Man bør derfor være spesielt kritisk til eldre kalktyper når det skal kjøres forsøk!

På bakgrunn av disse undersøkelsene ble den lagrede Tromsdalskalken fra Franzefoss fra de første undersøkelsene med oppløsningshastighet målt med pH-utvikling i juni -85, testet i november -85 med hensyn til vann og karbondioksyd for å sikre at ikke dette skulle forstyrre de videre undersøkelsene.

Ulesket kalk med de tre forskjellige kornstørrelsene, fin med kornstørrelse fra 0,0-0,15 mm, som er standard kvalitet fra Franzefoss, mellomfraksjonen som har kornstørrelse som har korndiameter fra 0,15 til 2 mm og den grove fra 2 til 6 mm er brukt i undersøkelsen.

Resultat:

Kalkfraksjon	% H_2O	% CO_2
Fin	1,46	0
0,15 - 2 mm	2,58	1,07
2 - 6 mm	3,40	2,16

Analysene viser at de forskjellige kalkfraksjonene har tatt opp forholdsvis lite fuktighet og karbondioksyd, men at den grove typen har noe mer enn den fine.

5.3. Temperaturens innvirkning på kalkens oppløselighet og oppløsningshastighet

To forhold som er viktige når kalkens oppløsningshastighet i forhold til temperatur skal undersøkes er:

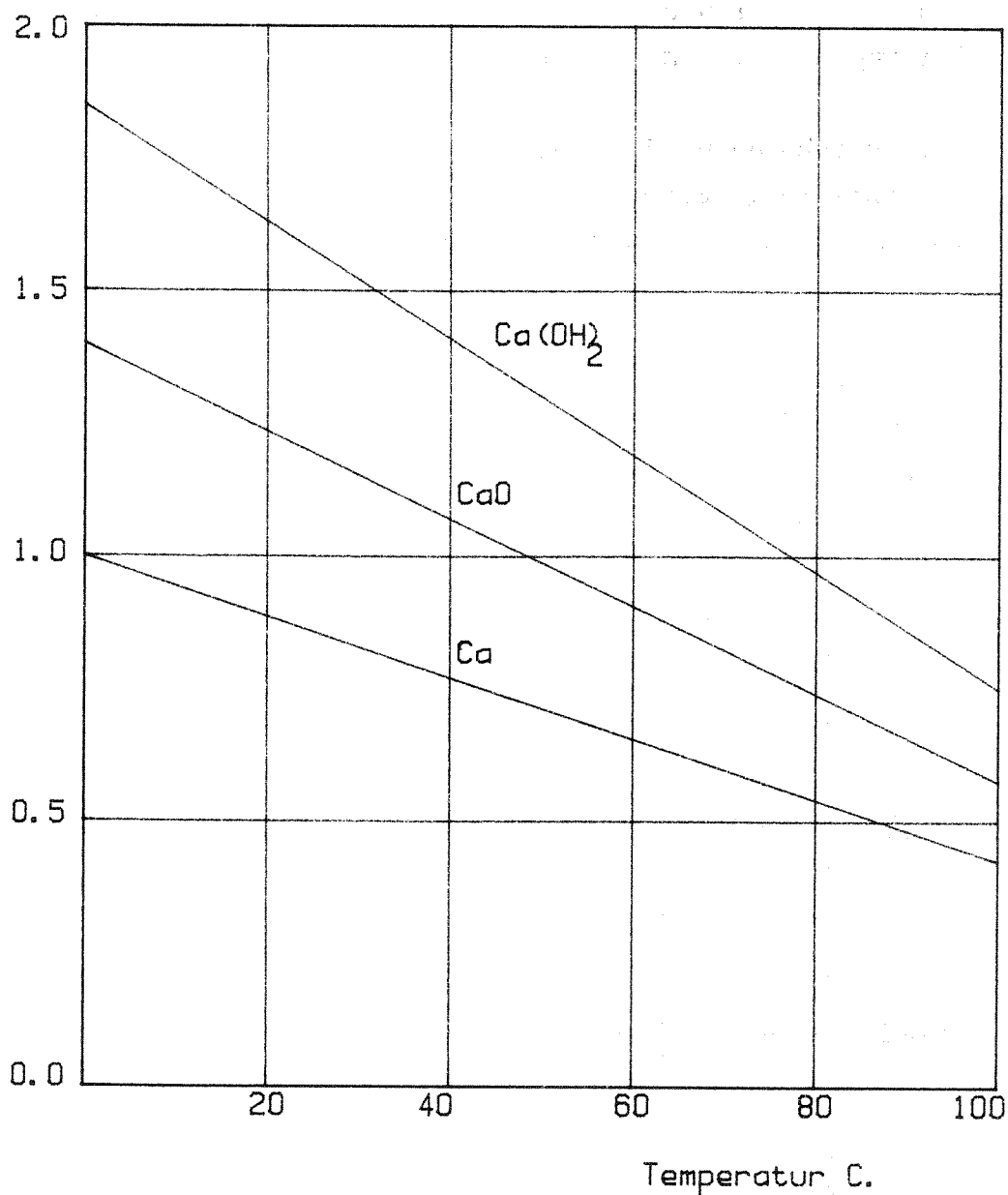
1. Kalkens totale oppløsningskonsentrasjon ved de forskjellige temperaturer
2. Kalkens oppløsningshastighet ved de forskjellige temperaturer.

Tabell 5 viser kalkens totale oppløselighet i forhold til temperatur.

Tabell 5. Kalkens oppløselighet i destillert vann som funksjon av temperatur.

Temp. °C	Maksimal kalsiumkonsentrasjon		
	Angitt som g Ca(OH) ₂ /l	Angitt som g Ca/l	Angitt som g CaO
0	1,85	1,00	1,40
10	1,76	0,95	1,33
20	1,65	0,89	1,25
30	1,53		
40	1,40		
50	1,28	0,69	0,97
60	1,16		
70	1,06		
80	0,94	0,51	0,71
90	0,85		
100	0,77	0,42	0,58

Løseligheten er temperaturavhengig og avtar med stigende vann slik som det fremgår av figur 6.



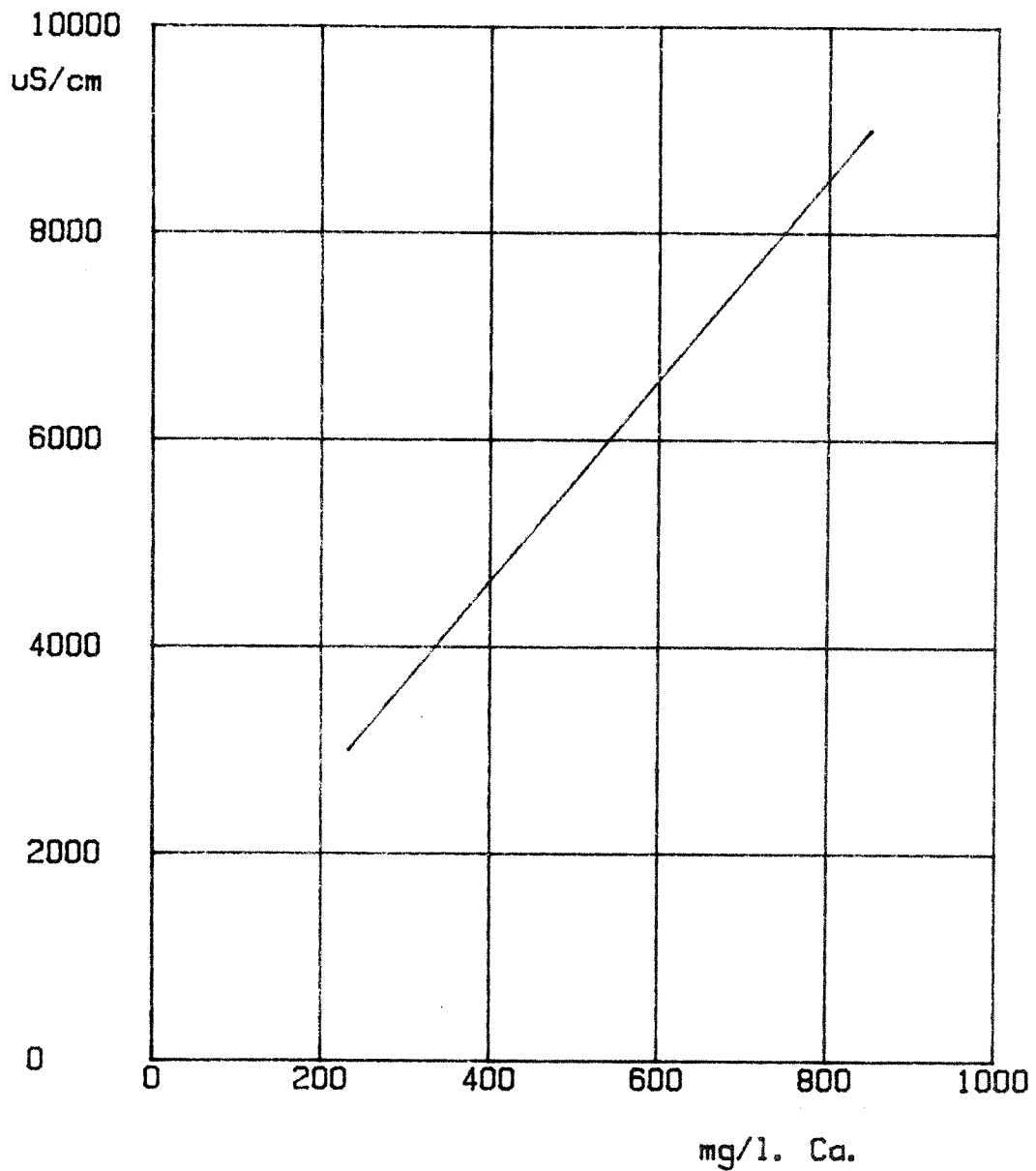
Figur 6. Løselighet i vann for forskjellige former for kalsium.

Temperatures innvirkning på selve oppløsningshastighetene ble forsøkt undersøkt på følgende måte. Det ble veid ut 2 g Tromsdalskalk av fineste type til hvert sitt beger i et jartestapparat.

I det ene begeret ble det benyttet vann direkte fra springen og i det andre oppvarmet til 80°C. Vannet tilsettes på samme måte som i det tidligere forsøket.

Som mål for løseligheten benyttes det en konduktivitetsmåler med innebygget temperaturkompensator for å måle kalsiumkonsentrasjonen.

Konduktiviteten ble i alle forsøkene målt med et Hoelzle & Chelius KG digimeter L21. Sammenhengen mellom konduktivitet og løst kalsium i vannet er grafisk fremstilt i figur 7.



Figur 7. Sammenheng mellom konduktivitet og løst kalsium.

Det ble utført en identisk omrøring med 100 RPM i begge begere. Resultatene er vist i tabell 6.

Tabell 6. Kalkens oppløselighet som funksjon av temperatur.

Tid etter vanntil- setning kontinuerlig omrøring	Beger nr. 1		Beger nr. 2	
	Temp. °C	Kond. μS/cm	Temp. °C	Kond. μS/cm
Straks etter til- setning	10	2000	80	4650
30 min. uten omr.	12	2270	60	5150
30 min. med ½ min. omr.	12	4400	60	6400
3 timer uten omr.	20	4520	25	7100
3 timer med ½ min. omr.	20	5020	25	7900
1 dag med 1 min. omr.	25	5070	25	8250

Resultatene viser at kalken løser seg hurtigere når vannet er varmere. Målingene som er tatt etter en dag når temperaturen er blitt tilnærmet lik i de to begerne (fortsatt avvik på 5°C) viser at mer kalk har gått i løsning i det begeret som i utgangspunktet hadde høyest temperatur.

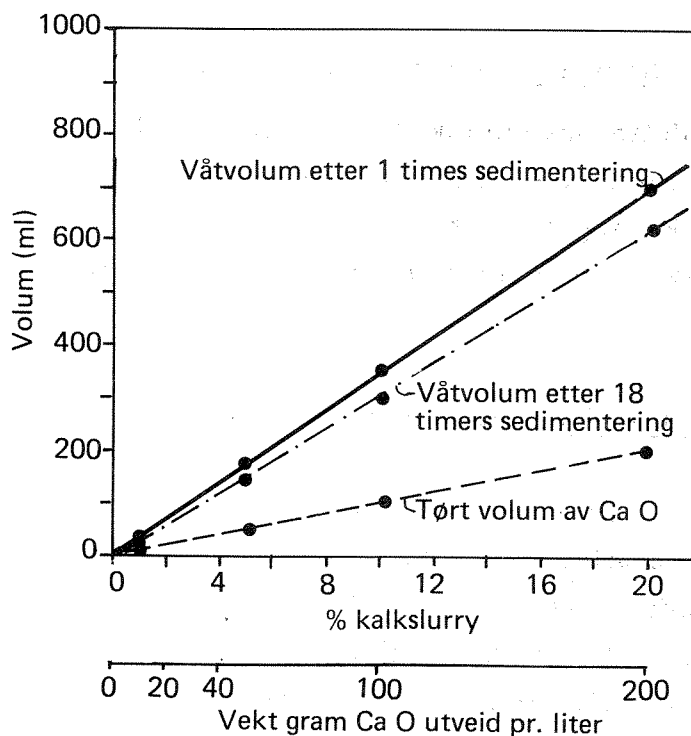
5.4. Slamvolum for uoppløst kalk ved forskjellige konsentrasjoner

Den 5 og 6 desember ble den fineste Tromsdalskalken oppløst i 6 forskjellige konsentrasjoner. Hensikten var å se hvilke maksimumsvolum som ble oppnådd i vannfasen ved de forskjellige konsentrasjonene og i hvilken grad kalkens våtvolum sto i forhold til konsentrasjonene. Vann fra Oset vannverk ble benyttet som oppløsningsvann. Kalken ble utveid, helt over i 1 liters målesylindere og tilsatt vann. Resultatene er vist i tabell 7.

Tabell 7. Hydratisering og oppløsning av ulesket Tromsdalskalk i 1,0 liter vann.

Utveid CaO g	% kons.	Tørt volum ml CaO	Sedimentering 1 time		Sedimentering 18 timer		Oppløst kalk i vannfasen		
			Våt volum ml	Spesif. volum ml/g	Våt- volum ml	Spesif. volum mg/l	Liten om- røring	Konduktivitet $\mu\text{S/cm}$ Omrørt med glass- stav 1 t henstand	Lagring til neste dag 18 t
1	0,1	1	-	-	-	-	1190	2200	3900
5	0,5	5	18	3,60	15	3,00	3250	8000	8700
10	1,0	10	35	3,50	30	3,00	5400	8300	8600
50	5	50	175	3,50	150	3,00	8800	8500	8700
100	10	105	350	3,50	300	3,00	8800	8600	8700
200	20	210	700	3,50	620	3,10	8900		8700

Kalkens våtvolum er selvfølgelig funksjon av sedimenteringstiden. Konduktivitet ble benyttet som mål for kalkens oppløsning. En konduktivitet på 8700 $\mu\text{S/m}$ tilsvarer en mettet løsning. Resultatene viser at CaO kalkens egenvekt i tørrform er ca. 1,0 g/ml. Når vannet tilsettes, sveller kalkmelkens volum ca. 3,5 gang. Allerede etter 1 time dannes en klar vannfase over den uoppløste kalken. Aller viktigst er at forholdet mellom våtvolumet og tilsatt kalkmelk er tilnærmet konstant for alle de 6 konsentrasjonene, nemlig 3,50 ml pr. g CaO. Ved 18 timers sedimentering synker volumet noe til ca. 3,0 ml pr. g CaO. Dette fremgår av figur 8 og betyr at den uoppløste andelen av kalken har omtrent samme konsentrasjon ved en bestemt sedimenteringstid.



Figur 8. Våtvolum av kalkslurry som funksjon av kalkslurry konsentrasjon.

Målingene i vannfasen viser at de høyeste konsentrasjonene gir hurtigere økning i kalsiumkonsentrasjonen. Dette kan enten skyldes raskere løsning på grunn av høyere temperaturutvikling i de meste konsentrerte prøvene, større partikkeloverflate eller begge deler. Det ble observert at i prøven hvor kun 1 g ble utveid var det en liten uløst fraksjon etter 1 time som kan skyldes bunnfelling av uløste partikler. Økt omrøring med glasstav gav høyere oppløsning og henstand i 18 timer til neste dag gav ytterligere oppløsning.

Løsningene vil før eller senere vil nå likevekt og da vil kalsiumkonsentrasjonen i vannfasen nå sitt høyeste nivå og bli mettet. Da stanser den videre oppløsning opp.

5.5. Den uleskede Tromsdalskalkens oppløsningshastighet

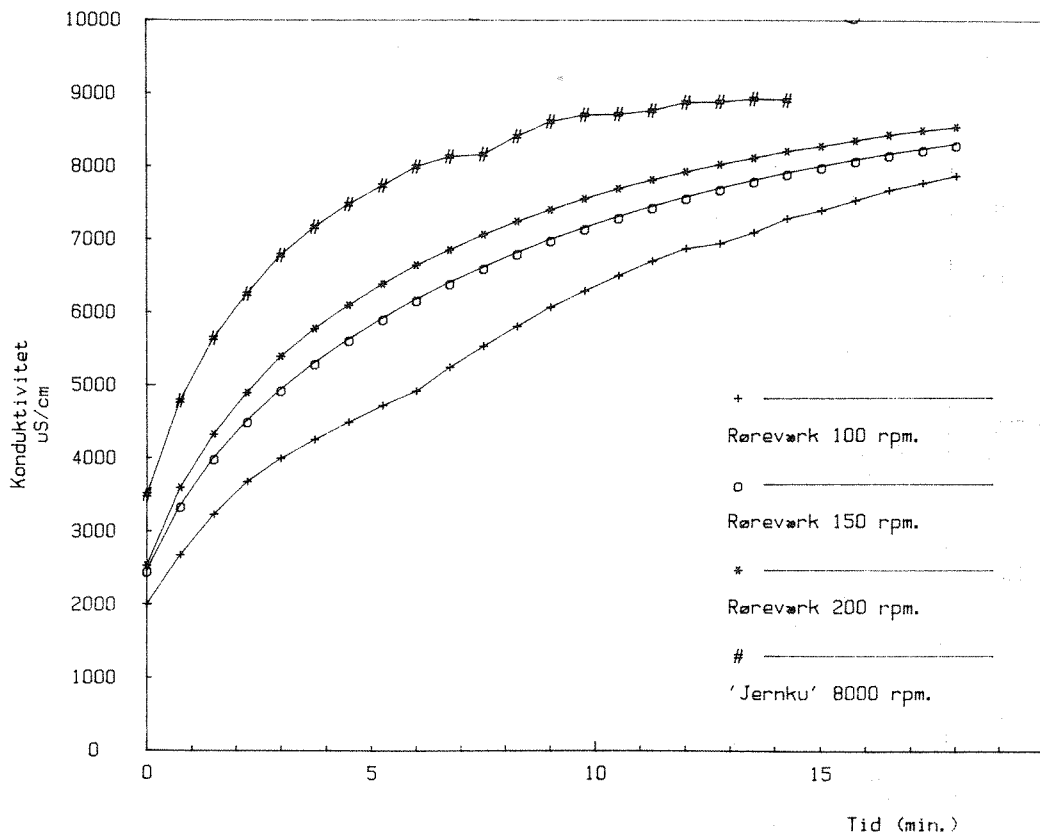
5.5.1. Omrøringsintensitetens innvirkning

Under dette hovedpunktet var det ønskelig å undersøke hvordan omrøringsintensiteten innvirket på den uleskede kalkens hydratisering og oppløsningshastighet. Oppløsningshastigheten ble nå målt ved hjelp av en konduktivitetmåler med innebygget temperaturkompensator.

Forsøk med den fineste kalkfraksjonen

To g av den fineste Tromsdalskalken veid ut og tilsatt 1 liter vann under omrøring. Forsøket ble gjentatt slik at rørverket gikk med tre forskjellige hastigheter; 100, 150 og 200 omdreininger pr. minutt (RPM). I tillegg ble det brukt et spesialrørverk som videre omtales som "jernku". Det er et rørverk som brukes på skip til å lage melk av tørrmelk og vann og har en omdreiningshastighet på 8000 RPM.

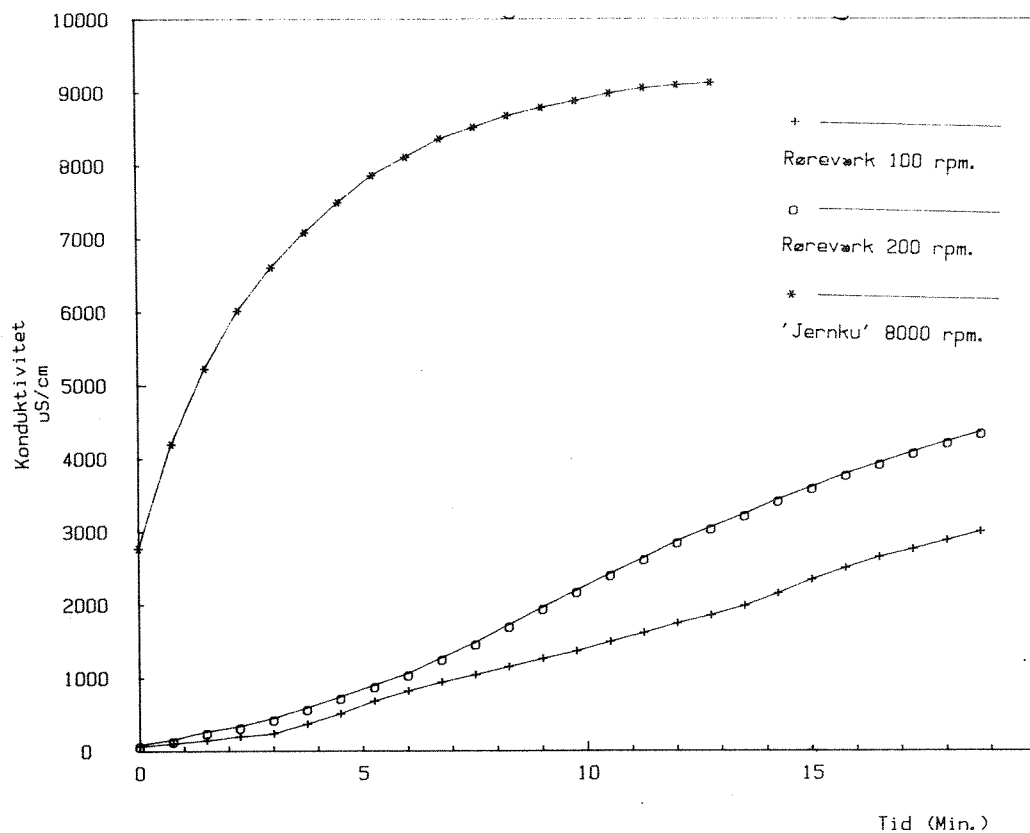
Omrøringen ble stanset hvert 30. sek. og sto ca. i 15 sek. Løsningens konduktivitet ble målt og er et uttrykk for hvor mye kalsium som går i løsning. Konduktiviteten som funksjon av omrøringstiden for de fire forsøkene er grafisk fremstilt i figur 9. Av figuren fremgår at ved kraftigst omrøring er vannet mettet med kalsium etter omkring 10 minutter. I vann omrørt med lavere omrøringshastighet på rørverket inntreer kalkmetning etter vesentlig lenger tid.



Figur 9. Oppløsningshastighet for ulesket kalk av typen fineste Tromsdalskalk med konsentrasjon 2 g/l CaO angitt for fire forskjellige omrøringsintensiteter.

Forsøk med groveste kalkfraksjonen

Det samme forsøket ble gjentatt med den groveste kalktypen med kornstørrelsen 2-6 mm. I dette forsøket ble rørværket med 150 RPM sløffet, men ellers ble forsøket gjennomført som ovenfor. Resultatene er fremstilt grafisk i figur 10.



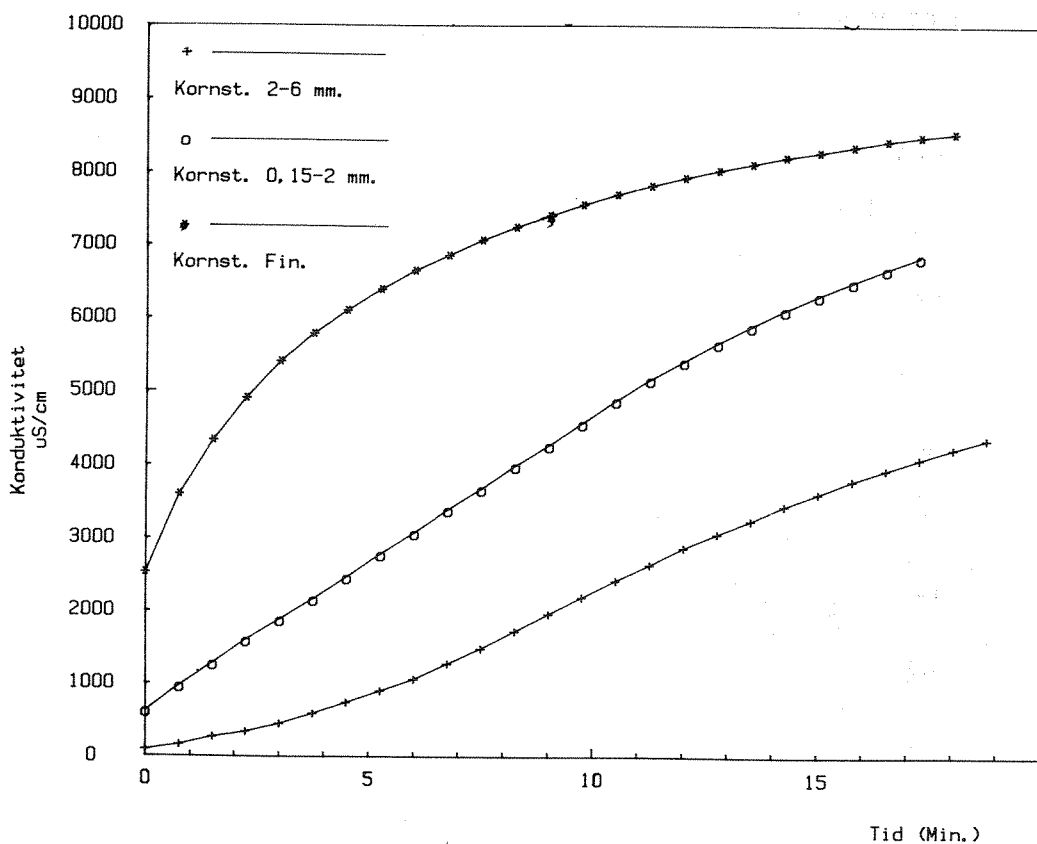
Figur 10. Oppløsningshastighet for ulesket kalk av typen groveste Tromsdalskalk med konsentrasjon 2 g/l CaO angitt for tre forskjellige omrøringsintensiteter.

Figuren viser omrøringsintensitetens betydning for oppløsning av den grove kalkfraksjonen. Årsaken til den vesentlig lavere oppløsningshastigheten for lavere omrøringsintensitet må være at en større andel kalkpartikler synker til bunns og forblir i ro. Hydratkalken som dannes på overflaten av de større partiklene hindrer videre hydratiseringen i å trenge dypere inn i den sedimenterte "kalkhaugen" og overflaten er betydelig redusert. Ved kraftig omrøring blir de tyngre partiklene holdt i suspensjon slik at partikkeloverflaten øker og nydannet hydratkalk transporteres hurtig vekk fra overflaten slik at ny uoppløst kalk eksponeres. Kurvene for oppløsningen med "jernkua" i figur 9 og 10 er nesten sammenfallende. Det betyr at bare omrøringen er kraftig nok vil oppløsningen av ulesket kalk være

uavhengig av kalkens korngradering. Ved lav omrøringshastighet derimot har korngraderingen stor betydning for oppløsningshastigheten.

5.2.2. Kornstørrelsens innvirkning

Det ble deretter utført oppløsningsforsøk for alle de tre korngraderingene av kalken med samme kalkkonsentrasjon og samme omrøringshastighet på omrøreren, nemlig 200 RPM. Vannets konduktivitet som funksjon av tiden for de tre forsøkene er fremstilt grafisk på figur 11.

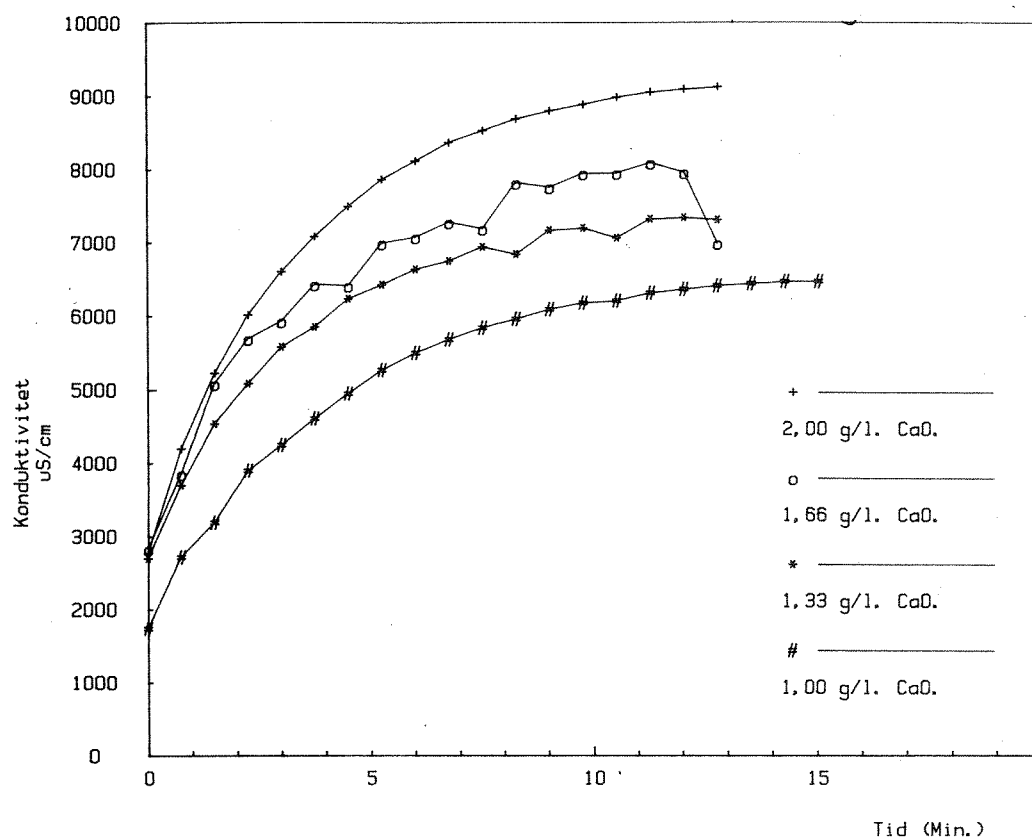


Figur 11. Oppløsningshastighet for ulesket kalk med tre forskjellige kornstørrelser utført med 2 g/l CaO og med en omrøringshastighet på 200 RPM.

Figuren viser at den fine Tromsdalskalken løser seg vesentlig raskere ved 200 RPM enn den grove fraksjonen. Den grove kalkfraksjonen krever hele 10 minutters omrørings tid før det er løst like mye kalsium som registrert ved første avlesningen med den finmalte kalken.

5.5.3. Kalkkonsentrasjonens innvirkning med groveste kalktype og med høyeste rørintensitet

Forskjellige konsentrasjoner, henholdsvis 6, 5, 4 og 3 g kalk pr. 3 liter vann med kalktypen med groveste kornstørrelse 2-6 mm ble tilsatt hvert sitt fylt med vann. Kalken ble tilsatt vannet og blandingen rørt om med "jernku". Hvert 30. sek. ble rørverket stanset og konduktiviteten i vannet målt som for forsøkene foran. Resultatene er fremstilt grafisk i figur 12.



Figur 12. Oppløsningshastighet for ulesket kalk av groveste type og høyeste omrøringsintensitet ("jernku" 8000 RPM) angitt ved 4 forskjellige konsentrasjoner.

Figur 11 viser at bare i glasset med mest kalk 2 g/l CaO, har man oppnådd metning i vannet, når man sammenlikner med figur 8 og 9. Når man ikke har oppnådd metning ved lavere konsentrasjoner, til tross for at 1,3 g/l CaO skulle ha gitt metning ifølge figur 5, skyldes det sannsynligvis at kalsium reagerer med karbonationer i vannet og danner kalsiumkarbonat. Dette forbruker kalsiumioner og reduserer den løste kalsiumkonsentrasjonen og dermed også konduktiviteten.

5.5.4. Konklusjoner

Følgende konklusjoner kan trekkes fra forsøk under avsnitt 5.5.

1. Høyere omrøringsintensitet øker oppløsningshastigheten for ulesket Tromsdalskalk.
2. Ved 2 g/l ulesket CaO oppnås metning etter ca. 12 minutter ved høy omrøringsintensitet.
3. Høyere omrøringsintensitet er nødvendig for å øke oppløsningshastigheten for grovere kornstørrelser på kalkpartiklene.
4. Den kalken som sedimenterer uoppløst må anses som tapt.
5. Den fineste kalktypen løser seg vesentlig hurtigere enn den groveste spesielt ved lavere omrøringsintensitet.
6. Høyere kalkkonsentrasjon gir hurtigere kalsiumløsning inntil metning oppnås.
7. Karbonatinnholdet i Osetvannet fører til at man må opp i ca. 2 g/l CaO av Tromsdalskalk for å oppnå mettet løsning det vil si ca. 9.000 $\mu\text{S/cm}$.

5.6. Undersøkelser med kalksjøvannsfelling i jartest ved SRV

Etter at undersøkelsene ved NIVAs laboratorium med kalk oppløst i vann fra springen var utført, sto man igjen med den konklusjonen at omrøringshastigheten i vannet etter at kalken er tilsatt er uhyre viktig for kalkens utnyttelsesgrad. Den kalken som sedimenterer deltar ikke i prosessen i vannfasen og må anses som tapt. I et jartestapparat er den maksimale omrøringshastigheten 100 RPM. Våre forsøk har til nå vist at dette er for lite til å holde alle de uoppløste kalkpartiklene i suspensjon.

Det er utført forsøk med vesentlig høyere omrøringsintensitet blant annet med "jernkua". Dette har vist at oppløsningshastigheten øker betydelig når omrøringshastigheten i kalksuspensjonen øker. Det er likevel noe usikkert hvordan disse lærdommene best kan utnyttes når kalk skal doseres til avløpsvann og benyttes i en flokkuleringsprosess. Man er for det første avhengig av å få kalken oppløst for at kalsiumionene skal kunne delta i renseprosessen. Men etter at kalken er løst, skal det utfelles eller flokkuleres til nye produkter med de mest optimale omrøringsbetingelsene. Hurtig nok for å påskynde prosessen, men ikke så hurtig at fnokkene brytes opp og ødelegges.

Arbeidet videre er knyttet til forsøk med rensing av avløpsvann fra VEAS med kalk- og sjøvannsprosessen.

5.6.1. Kalkslurrykonsentrasjonens innvirkning på renseresultatet

Hensikten med denne første undersøkelsen var å studere hvordan kalkslurrykonsentrasjonen innvirket på renseresultatet i en jartest.

Kalkdoseringen i alle begerne var 220 mg/l Ca(OH)_2 målt i forhold til det virkelige volumet når sjøvann og fortynningsvann er tilsatt.

Avløpsvannet ble hentet fra SRVs innløp før ristene i den linjen hvor kun råkloakk kommer inn. Råvannsprøven ble hentet kl. 12. Dette er tidlig for SRV på grunn av den lange tilrenningstiden slik at morgenkloakken fra Oslo ennå ikke er nådd frem. Det ble laget opp 3 stamløsninger av den fineste Tromsdalskalken med følgende innhold:

Løsning nr. 1	Løsning nr. 2	Løsning nr 3.
10 % som CaO	1 % som CaO	0,1 % som CaO,
100 g/l	10 g/l	1 g/l

Alle tre slurrykonsentrasjonene ble omrørt med Turrax-omrører før og under utveiling for dosering. Det ble tilsatt springvann i begerne slik at alle volumene i jartest-begerne var 1200 ml ved oppstartning. Blandingsforholdet fremgår av tabell 8.

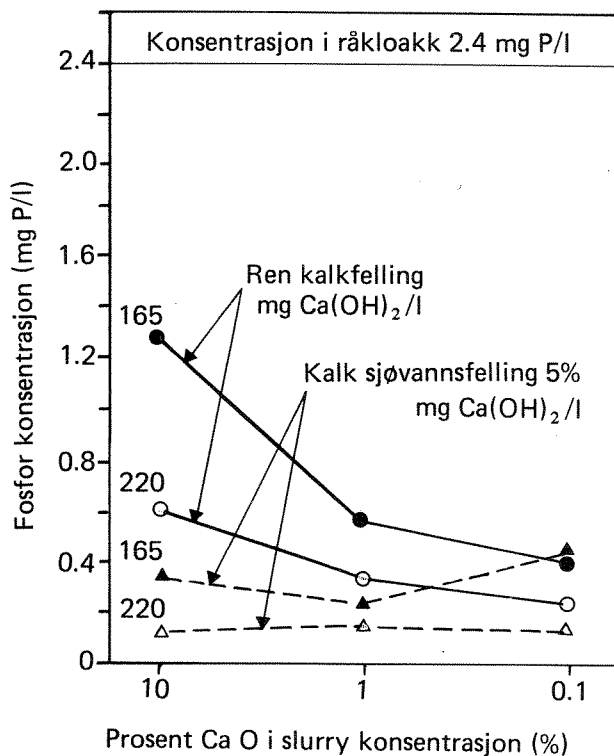
Tabell 8. Blandingsforhold i jartest begerne.

	Beger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Volum avløpsvann, ml	1000	1000	1000	950	950	950
Volum sjøvann, ml	0	0	0	50	50	50
Sum volum ml	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Kalkdos. mg/l Ca(OH) ₂	220	220	220	220	220	220
Kalkslurrykons. %	10	1	0,1	10	1	0,1
Kalkslurry tilsatt, ml	2	20	200	2	20	200
Tilsatt springvann, ml	198	180	0	198	180	0
Sum vannvolum, ml	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Resultatene er vist i tabell 9 og er grafisk fremstilt i figur 13.

Tabell 9. Resultater fra forsøk 1 og 2 med kalksjøvannsfelling utført med varierende slurrykonsentrasjon og to forskjellige kalkdoseringer.

Slurrykons. % CaO	Kjemikaliedosering		Renseresultat	
	Ca(OH) ₂ mg/l ²	Sjøvann %	Tot. fosfor kons. etter	Renseeffekt i % av rå- kloakk målt til 2,4 mg P/l
10	220	0	0,62	74
1	220	0	0,34	86
0,1	220	0	0,24	90
10	220	5	0,11	95
1	220	5	0,15	94
0,1	220	5	0,14	94
10	165	0	1,30	45
1	165	0	0,58	76
0,1	165	0	0,40	83
10	165	5	0,36	85
1	165	5	0,24	90
0,1	165	5	0,45	81



Figur 13. Kalkslurrykonsentrasjonens innvirkning på renseresultatet uttrykt ved restfosfor i jartest med vanlig kalkfelling og kalksjøvannsfelling nr. 1 og nr. 2.

Resultatene viser at ved ren kalkfelling forbedres rensegraden fra 74 % med 10 % slurry til 86 % med 1,0 % slurry og til 90 % for 0,1 % slurry. Dette er en meget stor forbedring på tross av at det bare er konsentrasjonen i slurryen som har variert. Dette viser at kalken utnyttes bedre når slurrykonsentrasjonene senkes.

For kalksjøvannsdoseringen er resultatet blitt meget bra i alle begerne og man kan ikke se noen spesiell tendens for disse tre begerne. Resultatene viser dessuten at kalkdoseringen har vært i det høyeste laget slik at de relative forskjellene ikke har blitt så utslagsgivende. Det var derfor ønskelig å gjenta forsøket med lavere kalkdosering.

Forsøk nr. 2 ble gjentatt på nøyaktig samme måte, men nå med en lavere kalkdosering som tilsvarte 165 mg Ca(OH)_2 /l. Det ble nå dosert 1,5 ml, 15 ml og 150 ml med henholdsvis 10, 1 og 0,1 % kalkslurrykonsentrasjon og alle begerne ble fortynnet opp til 1150 ml.

Disse resultatene er også presentert i tabell 8 og i figur 13. Tendensen er her ennå tydeligere når det gjelder ren kalkfelling. Rense-resultatet viser en stor forbedring fra 45 % renseeffekt med 10 % slurry, til 76 % renseeffekt med 1 % slurry og til 83 % renseeffekt med 0,1 % slurry. Dette er et bemerkelsesverdig resultat sett i relasjon til at alt annet er konstant utenom den slurrykonsentrasjonen som benyttes. Forskjellene er imidlertid vesentlig mindre for kalksjøvannsfellingen, men også her synes resultatene bedre ved lavere kalkslurrykonsentrasjon.

Konklusjonene, spesielt ved ren kalkfelling synes klar. Kalken utnyttes bedre når en større andel doseres i oppløst form.

5.6.2. Omrøringshastighetens innvirkning på renseresultatet når 10 % kalkslurry benyttes

De tidligere undersøkelsene hadde vist at omrøringshastigheten kan være svært viktig for å utnytte kalken bedre. Det ble derfor tatt initiativ til å bygge om et jartest-apparat slik at hvert beger fikk økende omdreiningshastighet på omrøreren mens alle andre parametre var konstant.

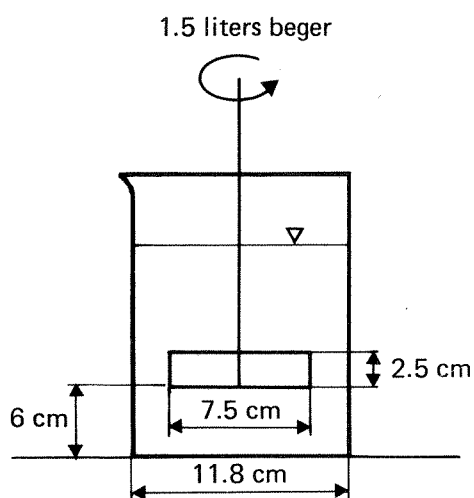
Dette ble oppnådd ved at et eldre jartestapparat ved NIVA med trinsedrift ble ombygd med økende diameter på trinsene. I tillegg kunne hastigheten for drivverket reguleres trinnvis.

Etter ombygging og utprøving var det mulig å regulere omdreinings-
hastigheten mellom følgende intervaller:

Test av omdreiningshastighet på ombygd jartestapparat.

	Beger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Laveste hastighet RPM	13,5	15,5	18	21,5	29	34
Høyeste hastighet RPM	150	170	200	240	320	370

Geometrien i beregningen kan være viktig ved disse undersøkelsene fordi uoppløst kalk kan sedimentere under omrøringen og derved gå tapt. Figur 14 viser viktige mål ved beger og padleverk.



Figur 14. Viktige mål i jartest-begeret.

Det ble benyttet begere med volum på 1,5 liter. Råkloakken ble tatt kl. 0930 fra samme sted ved SRVs innløp. Kalkslurryen med 10 % konsentrasjon var laget opp 5 dager tidligere og ble Turrax-behandlet.

Det måtte kjøres 3 separate jartest-forsøk etter hverandre for å dekke hele omdreiningsområdet for omrørerne. Doseringsforholdene og de benyttede omdreiningshastigheter er vist i tabell 10.

Tabell 10. Doserings- og fellingsbetingelser i jartest med økende omdreiningshastighet. Forsøk 3, 4 og 5.

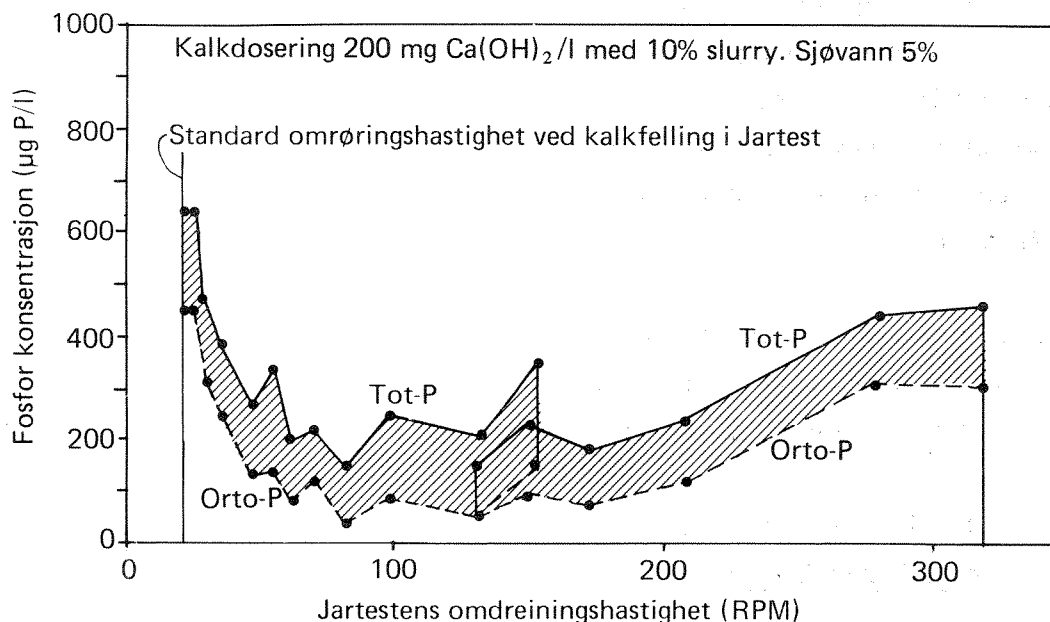
Parameter	Beger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Vol. råkloakk ml.	950	950	950	950	950	950
Vol. sjøvann ml.	50	50	50	50	50	50
Dos. slurryvol. med 10 % kons. ml.	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kalkdosering						
mg/l Ca(OH) ₂	198	198	198	198	198	198
Omrøringsstid min.	15	15	15	15	15	15
Sedimenteringsstid min.	20	20	20	20	20	20
pH etter dosering	10,7	10,7	10,8	10,8	10,8	10,8
Ledningsevne µS/cm	3960	3960	3960	3960	3960	3960
Omdreiningshastigheter under omrøring						
Forsøk 3. RPM	22	25,2	29,3	35,0	47,2	55,4
Forsøk 4. RPM	61	70	81	97	131	154
Forsøk 5. RPM	130	150	173	207	280	320

De to første forsøkene (nr. 3 og 4) er kjørt på samme råkloakkprøve tatt kl. 0930, mens forsøk nr. 5 er kjørt med ny råkloakk hentet kl. 1230.

Prøvene av rensset vann etter sedimentering ble analysert både med hensyn på totalfosfor og ortofosfat. Resultatene er presentert i tabell 11 og er grafisk fremstilt i figur 15. Resultatene er overraskende og interessante, og viser at omdreiningshastigheten i en standard jartest (ofte 20 RPM) er alt for lav.

Tabell 11. Resultater fra jartest med økende omdreiningshastighet i hvert beger utført med kalksjøvannsfelling av avløpsvann fra VEAS. Kalkslurrykonsentrasjon var 10 % som CaO og forsøket ble utført 28.1.85. Kalkdoseringen var 200 mg/l Ca(OH)_2 , omrøringstiden 15 min. og sedimenteringstiden 20 min.

Jartest beger nr.	Omdreinings- hastighet, RPM	Total fosfor $\mu\text{g P/l}$	Orto fosfat $\mu\text{g P/l}$
1	22	640	455
2	25	640	455
3	29	480	320
4	35	395	320
5	47	270	125
6	55	340	130
1	61	200	87
2	70	225	125
3	81	145	40
4	97	250	81
5	131	205	65
6	154	395	150
1	130	150	58
2	149	230	100
3	173	180	72
4	207	240	120
5	279	440	310
6	320	450	275



Figur 15. Omrøringshastighetens innvirkning på restfosfor ved kalksjøvannsfelling i jartest. Nr. 3, 4 og 5.

Vesentlig bedre resultat oppnås når omdreiningshastigheten på omrøreren øker, og synes best i området 80 til 180 RPM. En videre økning gir imidlertid dårligere resultat. Disse resultatene viser at kalken i dette området utnyttes best, enten fordi uoppløst kalk holdes i suspensjon og derved løses opp bedre, eller fordi partiklene flokkuleres bedre ved høyere omrøringsintensitet.

Det ble ikke benyttet noen hurtigomrøring ved disse forsøkene og resultatet ved 20-30 RPM uten hurtigomrøring er dårligere enn med kalk og sjøvannsfelling i forsøk nr. 1 og 2 i figur 13 hvor det var hurtigomrøring i 1 min. med 100 RPM før sakte-omrøringen på 20 RPM. Det viser at større omrøringsintensitet i denne første fasen er viktig.

På den annen side viser resultatet at når omdreiningshastigheten øker over 180 RPM blir renseresultatet gradvis dårligere og dårligst ved maksimal omrøring på 320 RPM. Dette tyder på at det over 180 RPM starter en fnokkoppbrytning. Det er viktig å merke seg at

også orto-P mengden øker. Dette er foreløpig noe vanskelig å forklare. Man skulle tro at orto-p verdien hovedsakelig har med kjemien å gjøre. Imidlertid kan det tenkes at orto-P-verdien ved høyere omdreiningshastighet øker fordi partiklene blir mindre. De lavere orto-p verdiene ved de laveste omdreiningshastighetene kan forklares ved at mye av kalken ikke går i løsning, men sedimenterer og går tapt.

Det ble observert under forsøkene at begerne med høyere omrøringsintensitet fikk et turbid utseende og at fnokkene sedimenterte dårligere. Dette tyder klart på fnokkoppbryting.

5.6.3. Hurtiginnblandingens innvirkning på renseresultatet når 10 % kalkslurry benyttes

Det ble nå viktig å avklare om hurtiginnblanding med meget høy intensitet var viktig. Det ble derfor kjørt ett forsøk nr. 6 som en vanlig jartest med de samme doseringsforholdene som i forsøkene foran. Turrax-omrøreren (10.000 RPM) ble benyttet som hurtigomrører i hvert av de 6 begerne. Tiden med ekstrem hurtigomrøringen ble økt i hvert beger som vist i tabell 12.

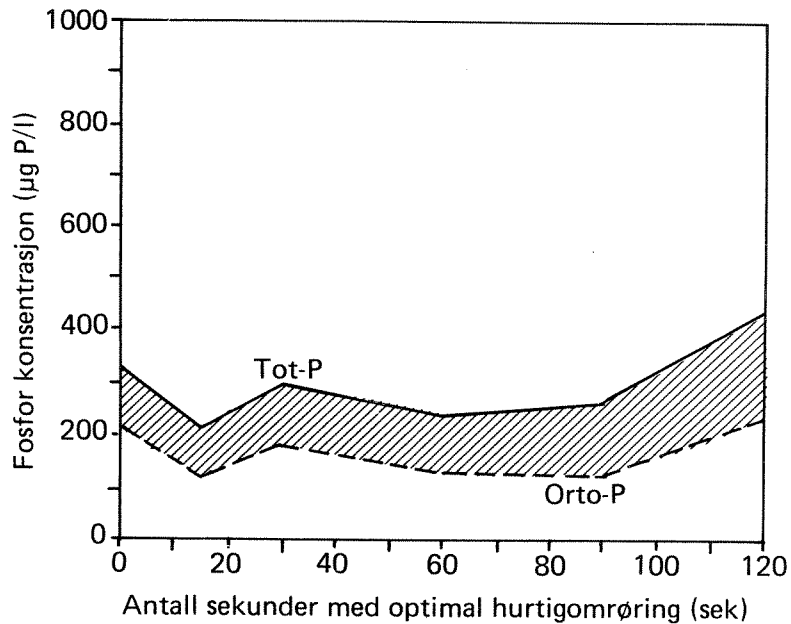
Tabell 12. Forsøksbetingelser ved jartest med hurtiginnblanding med Turrax. Forsøk nr. 6.

Parameter	Beger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Vol. råkloakk ml	950	950	950	950	950	950
Vol. sjøvann ml.	50	50	50	50	50	50
Dosert slurryvolum 10 % konsentrasjon ml	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kalkdosering som mg/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$	198	198	198	198	198	198
Turrax-omrøring sek.	0	15	30	60	90	120
Sakte omrøring 20 RPM min. ca.	15	15	15	15	15	15
Sedimentering min.	20	20	20	20	20	20

Resultatene er presentert i tabell 13 og er grafisk presentert i figur 16. De viser ingen spesiell økning i rensegrad med økende tid med optimal hurtigomrøring. Det er heller en tendens til økende fosforinnhold i supernatanten når hurtigomrøringstiden blir så lang som 120 sek. Dette betyr at de forbedrede resultatene i figur 15, når omdreiningshastigheten øker fra 20 RPM til ca. 80 RPM, ikke skyldes raskere homogenisering på grunn av bedret hurtigomrøring, men etter alt å dømme bedre utnyttelse av kalken ved at en større andel løses og ikke sedimenterer og går tapt.

Tabell 13. Renseresultater fra jartest med økende reaksjonstid med ekstrem hurtigomrøring. Kalkdosering 200 mg/l Ca(OH)_2 , sjøvannsdosering 5 %.

Beger nr.	Tid med Turrax-omrører (10.000 RPM) sek.	Tot-P μ P/l	Orto-P μ P/l
1	0	335	220
2	15	215	135
3	30	300	180
4	60	240	130
5	90	265	130
6	120	430	240



Figur 16. Innvirkning av antall sekunder med optimal hurtigomrøring med Turrax-omrører på restfosfor ved kalksjøvannsfelling i jartest nr. 6.

5.6.4. Omrøringshastighetens innvirkning på renseresultatet når mettet kalkløsning benyttes

Det ble nå viktig å gjenta forsøk nr. 3, 4 og 5, men denne gang med kalkdosering i form av mettet løsning. Den mettede løsningen ble tatt fra klarvannsfasen fra oppløst hydratkalk. Den inneholder 900 mg Ca/l ved 20°C eller 1,66 g/l Ca(OH)₂ løsning.

Forsøksbetingelsene er som vist i tabell 14.

Tabell 14. Doserings- og fellingsbetingelser i jartest med økende omdreiningshastighet. Forsøk 8, 9 og 10.

Parameter	Reger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Vol. råkloakk ml	950	950	950	950	950	950
Vol. sjøvann ml.	50	50	50	50	50	50
Dosering mettet kalkløsning ml (forsøk 8)	150	150	150	150	150	150
Dosering mettet kalkløsning ml (forsøk 9 og 10)	100	100	100	100	100	100
Dosering mg/l Ca(OH)_2 (forsøk 8)	217	217	217	217	217	217
Dosering mg/l Ca(OH)_2 (forsøk 9 og 10)	150	150	150	150	150	150
Omrøringsstid min.	15	15	15	15	15	15
Sedimenteringsstid min.	20	20	20	20	20	20
pH etter dosering	11,10	11,10	11,15	11,15	11,15	11,15
Omdreiningshastighet under omrøring RPM						
Forsøk nr. 8	20	23	26	31	42	49
Forsøk nr. 9	54	60	65	78	110	126
Forsøk nr. 10	150	160	180	210	284	330

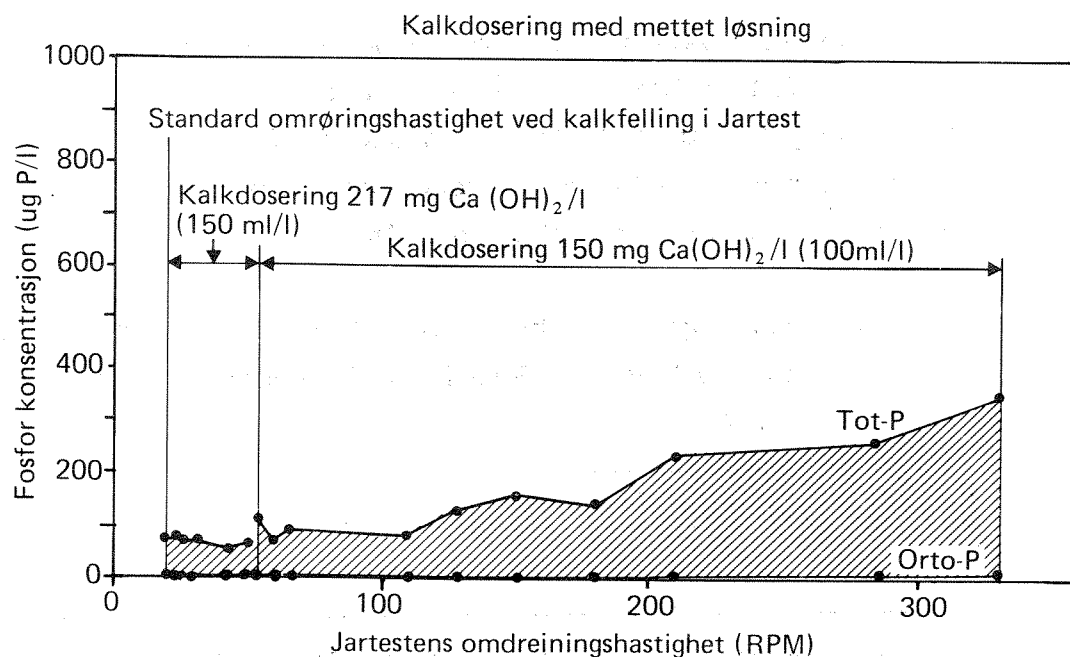
Ved forsøk nr. 8 var kalkdoseringen noe høy, nemlig 217 mg Ca(OH)_2 /l. I forsøk 9 og 10 hvor omdreiningshastigheten var økende var kalkdoseringen 150 mg Ca(OH)_2 /l.

Resultatene er vist i tabell 15 og er grafisk fremstilt i figur 17. De viser meget gode renseresultater allerede i begeret med de laveste omdreiningshastighetene sterk i kontrast til resultatene i figur 15. Konklusjonen blir at høy omdreiningshastighet bare er viktig når

kalken doseres som slurry. Hensikten med å holde høyere omrøringsintensitet må derfor være å unngå at uoppløste kalkpartikler sedimenterer og går tapt for prosessen som uoppløst kalk i slammet. Dermed blir den virkelige doseringen mindre enn den tilsatte kalkmengden.

Tabell 15. Resultater fra jartest med økende omdreiningshastighet i hvert beger utført med kalk sjøvannsfelling av avløpsvann fra VEAS. Kalkdosering i form av mettet kalkløsning. Sjøvannsdosering var 5 %.

Jartest beger nr.	Kalkdosering mg/l Ca(OH) ₂	Omdreinings- hastighet	Total fosfor µg P/l	Orto fosfat µg P/l
1	217	20	76	1,5
2	217	23	75	1,0
3	217	26	65	1,0
4	217	31	69	1,0
5	217	42	55	1,0
6	217	49	61	3,0
7	150	54	120	3,0
8	150	60	67	1,5
9	150	65	92	1,0
10	150	78	96	0,5
11	150	110	80	0,5
12	150	126	130	3,0
13	150	150	160	9,0
14	150	160	160	5,0
15	150	180	140	1,5
16	150	210	240	9,0
17	150	284	260	7,0
18	150	330	350	19,0



Figur 17. Omrøringshastighetens innvirkning på restfosfor ved kalksjøvannsfelling i jarrest nr. 8, 9 og 10 hvor kalkmengden tilsettes som mettet løsning.

Resultatene viser imidlertid som i figur 15 dårligere rensegrader når omdreiningshastigheten øker, men økningen i total restfosfor i supernatanten begynner tidligere, nemlig allerede ved ca. 110 RPM. Den ikke begynte å øke før ved 180 RPM i figur 15 da 10 % kalkslurry ble benyttet. Denne forskjellen skyldes sannsynligvis at det ikke er noen negativ effekt av lavere omrøring når det benyttes mettet kalkløsning. Det er derfor rimelig å forutsette at fnokkoppbrytingen starter allerede ved 110 RPM med den begerutformingen og omrøreren som ble benyttet her. Det er også meget interessant å merke seg at orto-P verdien er meget lav ved dette forsøket.

5.6.5. Innvirkningen av av kjemikaliedoseringens rekkefølge på rensresultatet

For å undersøke betydningen av kjemikaliedoseringens rekkefølge ved kalksjøvannsfelling ble det gjennomført en egen jartest den 7.3.86. Det ble benyttet ulesket Tromsdalskalk av fineste fraksjon og laget stamløsninger med to konsentrasjoner henholdsvis 10 % og 1 %. Fellingsbetingelsene er som vist i tabell 16.

Tabell 16. Doserings og fellingsbetingelser og resultat i jartest for undersøkelse av doseringsrekkefølgens betydning, forsøk nr. 7.

Parameter	Beger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Vol. råkloakk ml	950	950	950	950	950	950
Vol. sjøvann ml.	50	50	50	50	50	50
Kalkslurrykons. %	10	1	10	1	10	1
Vol. kalkslurry ml.	1,06	10,6	1,06	10,6	1,06	10,6
Kalkdosering som mg/l Ca(OH) ₂	140	140	140	140	140	140
Doseringsmåte	Sjøvann først deretter kalk		Sjøvann + kalk sammen først 5 min. før dos.		Kalk først deretter sjøvann *	
Hurtigomrøring 100 RPM Ant. min.	1	1	1	1	1	1
Sakte omrøring 20 RPM Ant. min.	14	14	14	14	14	14
Sedimentering Ant. min.	20	20	20	20	20	20
Tot-p i supernatant µg P/l	510	620	610	660	670	770

* Ved en feiltakelse ble dette gjort omvendt slik at det ble likt med beger 1 og 2.

Resultatene er også vist i tabell 16.

Disse resultatene viser noe dårligere resultat i de begerne hvor kalken er dosert med lavere konsentrasjon (1,0 %). Deretter er ikke i overensstemmelse med de tidligere resultatene og årsaken er ukjent. Forsøkene i beger nr. 5 og 6 ble ved en misforståelse tilsatt på samme måte som beger 1 og 2, men kalken ble her tilsatt noe senere. Beger nr. 3 og 4 hvor kalk og sjøvann ble dosert sammen viste mindre fnokker og sluttresultat etter sedimentering var vesentlig mer turbid. Årsaken til dette kan være at magnesiumhydroksyd utfelles og forblir utfelt i vannet.

Teoretisk sett vil det være riktig å dosere kalken først og la løst fosfor binde seg til kalsiumpartiklene i størst mulig grad før sjøvannet kommer inn i bildet. Årsaken til dette er at pH-verdien blir høyere uten sjøvann slik at mer fosfat felles ut. Når sjøvannet doseres utfelles og magnesiumhydroksyd på vanlig måte og forbedrer renseresultatet som vanlig ved kalksjøvannsfelling.

Årsaken til at man i Norge til nå likevel har tilsatt sjøvannet før kalken er av praktiske årsaker for å sikre jevn og god innblanding av sjøvannet. Det har vært vanlig å benytte luftet sandfang for dette for å unngå for store tetthetsvariasjoner i prosessvannet. Det er rapportert om bedre renseresultater ved å snu doseringsrekkefølgen. Det er imidlertid et spørsmål om fordelene ved dette er så store at det utjevner ulempene. Fordelene med å tilsette sjøvann til kalkfellingen er til sammenligning svært stor.

5.6.6. Virkingen av filtratvann fra kammerfilterpressene på kalksjøvannsprosessen

Det er tidligere påvist at dekantvann fra fortykkere, rejektivann fra sentrifuger og filtratvann fra slampresser har en negativ innvirkning i fellingsprosessen når det benyttes aluminiumsulfat eller jernklorid som fellingskjemikalie i renseprosessen og spesielt når kalk benyttes i slambehandlingen. Derimot er det klart at slamvann kan ha en positiv innvirkning når kalk benyttes som fellingsmiddel. Slamresirkulering ved kalksjøvannsprosessen er tidligere undersøkt ved Sandvika renseanlegg med meget positive resultater (2).

Det var nå ønskelig å undersøke hvilken effekt filtratvannet fra kammerfilterpressene ved VEAS har på kalksjøvannsprosessen. Dette filtratvannet er tidligere undersøkt og inneholder mettet kalkvann.

Den 7.3.86 ble det gjennomført en jartest ved NIVAs forsøksstasjon med økende dosering av filtratvann i hvert beger. Ny råkloakk ble hentet kl. 1330 og 850 ml råkloakk og 45 ml sjøvann ble tilsatt og blandet ut i hvert beger på forhånd. Doseringsmengdene er som vist i tabell 17.

Tabell 17. Doseringsbetingelser og rensresultater ved kalksjøvannsfelling av SRV-kloakk med filtratvann fra kammerfilterpresser som fellingsmiddel.

Parameter	Beger nr.					
	1	2	3	4	5	6
Kloakkvann ml.	850	850	850	850	850	850
Sjøvann ml.	45	45	45	45	45	45
Mettet kalkløsning ml.	100	0	0	0	0	0
Filtratvannsmengde fra kammerfilter ml.	0	25	50	75	100	150
Totalt volum ml.	995	920	945	970	995	1045
Tot-P mg P/l	0,17	3,00	2,60	1,20	0,70	0,40
Orto-P mg P/l	0,002	2,10	0,50	0,18	0,082	0,017

Den mettede kalkløsningen som ble benyttet i beger nr. 1 tilsvarer en kalkdosering på ca. 166 mg/l som Ca(OH)_2 . Omrøringen etter doseringen av mettet kalk og filtratvann fra kammerfilterpressen har vært:

Hurtig omrøring 100 RPM: 1 min.

Sakte omrøring 20 RPM: 14 min.

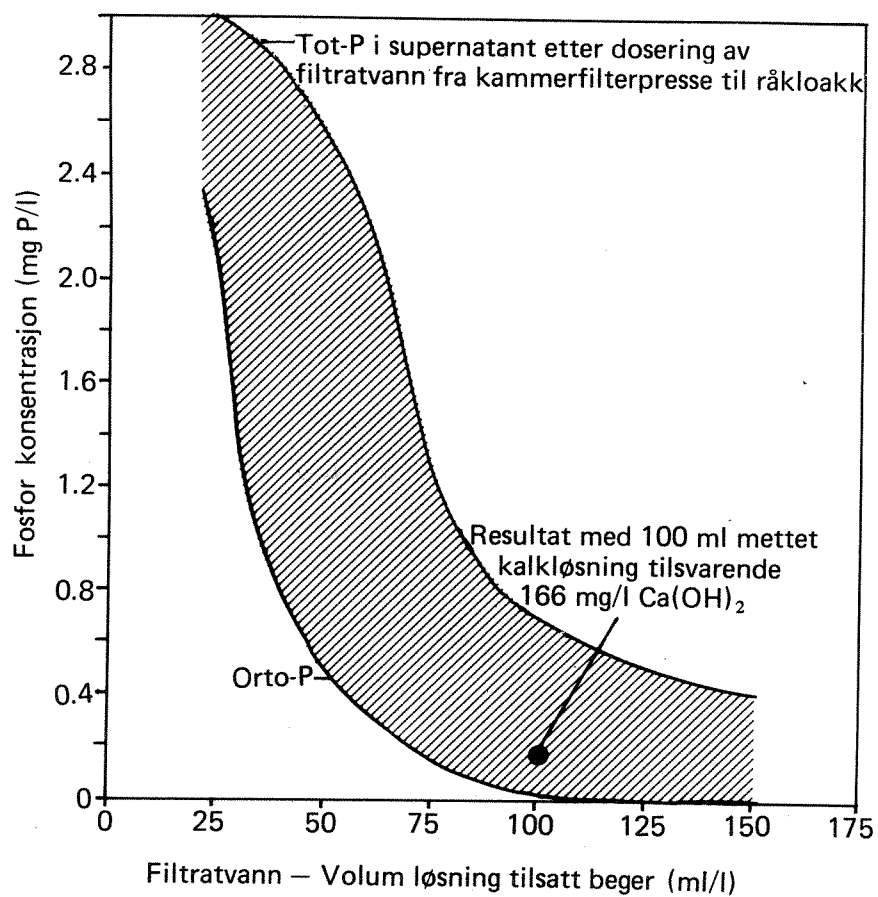
Sedimenteringstiden har vært 20 minutter som før.

Resultatene fra forsøkene er vist nederst i tabell 17.

Figur 18 viser en grafisk fremstilling av resultatene. Den viser at økende dosering av filtratvann fra kammerfilterpressene faktisk fører til økende renseeffekt. Med 100 ml filtratvann pr. liter tilsatt altså ca. 10 % av den totale vannstrømmen, oppnås en restfosfor på ca. 0,7 mg P/l. Så mye filtratvann er neppe tilgjengelig ved VEAS. Konklusjonen er at disse forsøkene viser at filtratet fra kammerfilterpressene virker som fellingsmiddel på kalksjøvannsprosessen og øker rensesgraden!

Resultatet med 100 ml mettet kalkløsning gir imidlertid bedre rensesresultat enn filtratvannet. En av årsakene til dette kan være at pH-effekten av filtratvannsdoseringen neppe er like god som i doseringen av mettet løsning.

Det ble lagt merke til under forsøket at den produserte slammengden i jartest-begerne med filtratvann var vesentlig lavere enn når kalkløsning ble benyttet. Dette kan være naturlig i og med at rensesresultatene heller ikke var like gode.



Figur 18. Restfosforkonsentrasjon i begerne når filtratvann fra kammerfilterpressene benyttes som fellingsmiddel.

6. VURDERING AV RESULTATENE

Resultatene viser at det er mulig å optimalisere kalksjøvannsfelling ytterligere.

Det viktigste forholdet som er påvist, er den dårlige utnyttelsen av kalken når den doseres som slurry. Flere av undersøkelsene viser at uopløst kalk sedimenterer sammen med fnokkene og deltar ikke i prosessen.

Det er derfor svært viktig at kalken omrøres så kraftig til å begynne med at den rekker å gå i løsning og deltar i prosessen.

De problemene som ble påvist under forsøkskjøringene i SED 7 og 8 ved SRV i februar og mars -84 med opphopning av slam i flokkuleringsbasseng og sedimenteringsbasseng kan etter dette med stor sannsynlighet tilskrives uopløst kalk som sedimenterte sammen med fnokkene. Omrøringsintensiteten i de store flokkuleringsbassengene var alt for liten til å hindre uopløste kalkpartikler i å sedimentere. Den kalken som sedimenterer er både bortkastet og skaper problemer. Det er vanskelig å anslå hvor mye dette kan utgjøre i prosent, men den potensielle besparelsen er sannsynligvis betydelig. Det betyr at det samme gode renseresultatet fra denne perioden kan opprettholdes samtidig som kalkdoseringene kan senkes ytterligere. Spørsmålet er så hvordan dette best kan gjøres og det er flere veier å gå.

En mulighet er å senke kalkslurrykonsentrasjonen fra de 10 % som benyttes idag. Det optimale er ned mot 0,1 % som er i nærheten av mettet løsning. Det betyr imidlertid en vesentlig økning i oppløsningsvann som må tilsettes avløpsvannet. For å dosere 200 g $\text{Ca(OH)}_2/\text{m}^3$ med 10 % løsning må det tilsettes 2 liter vann/ m^3 . Med en 0,1 % løsning må det tilsettes hele 200 liter vann/ m^3 100 ganger så mye, altså 20 % vann. Som drikkevann vil dette utgjøre et meget stort vannforbruk og gi en uakseptabel høy vannavgift.

For kalkdoseringen til kammerfilterpressene ønsker man dessuten at det tilsettes helst så lite vann via kalken som mulig. Denne løsningen vil derfor innebære at det bør være et eget kalkoppløversystem for fellingssteget i vannfasen. Det kan ikke være aktuelt å bruke drikkevann til dette formålet. Det gjenstår da å bruke:

- a) Renset avløpsvann
- b) Filtratvann fra kammerfilterpressene
- c) Sjøvann.

Det er nærliggende å bruke sjøvannet som doseres å løse kalken opp i denne delstrømmen som utgjør ca. 4 % av hovedstrømmen. Dette synes fullt mulig, men laboratorieforsøk tyder på at det ikke gir det beste resultat. Grunnen er at det utfelles magnesiumhydroksyd allerede i kalksuspensjonen og det er mulig at det ikke er så effektivt. Men man sparer vannavgiften til oppløsningsvannet.

Når det gjelder bruk av filtratvann utgjør disse vannmengdene relativt små vannmengder i forhold til behovet. Dessuten er dette vannet relativt mettet på kalsium. Dette vannet bør uansett tas inn i prosessen på et tidlig stadium for eksempel i sandfanget slik at det kan bidra med reduserte kjemikalie kostnader.

Den siste muligheten er å bruke rensed avløpsvann. Det er sannsynligvis det beste alternativet og er tidligere antydnet av Jenkins (2). Det anlegges et eget resirkuleringsbasseng hvor rensed avløpsvann oppsamles og hvor kalken løses opp før dosering.

I utgangspunktet bør kalkslurrykonsentrasjonen senkes mest mulig. Hvis kalkslurrykonsentrasjonen ikke kan senkes tilstrekkelig, er det nødvendig å sørge for en innblanding og omrøring som gjør det mulig at kalken holder seg i suspensjon før den er helt oppløst. Dette krever en spesiell utforming av flokkuleringsbassenget. Videre er det viktig å bruke så finmalt kalk som mulig. Dessuten kan det tenkes at de forskjellige kalktypene oppløser seg med forskjellig hastighet.

Det er ellers av meget stor betydning at undersøkelsene her har vist at jartest med kalk, gir meget misvisende resultater når det benyttes kalkslurry-dosering. Sakteomrøringen i jartestbegerne på 20 RPM fører til at uopløste kalkpartikler sedimenterer. Renseresultatet med kalk blir vesentlig bedre når sakteomrøringen økes til minimum 80 RPM.

Det har vært vanlig mange steder å benytte jartest for å avgjøre hva slags fellingskemikalier som bør benyttes før et renseanlegg bygges. Feil utførelse av jartesten har derfor sannsynligvis forårsaket at kalkalternativet har falt ut på et tidlig tidspunkt.

Det er også svært viktig å være klar over at det er nær sammenheng mellom kalkdosering og slamproduksjon slik som vist i figur 1. Denne økte "slamproduksjonen" skyldes i stor grad uoppløst kalk. "Stor slamproduksjon" har tradisjonelt redusert interessen for kalkfelling. En optimalisering av dette leddet blir svært viktig både fordi kalkdoseringen og slamproduksjonen går ned, begge med betydelige besparelser.

Et annet moment som synes viktig i denne undersøkelsen er det faktum at den finmalte Tromsdalskalken løste seg hurtig opp sammenlignet med hydratkalk. Det er imidlertid klart at kornstørrelsen betyr mye for oppløsningshastigheten. Det er størst oppløsningshastighet for mindre kalkpartikler. Disse resultatene peker i retning av at det omfattende og kostbare leskeprosessen kanskje kan sløyfes for kalktyper som er basert på marmor.

7. REFERANSER

1. Vråle, L.: "Chemical Precipitation of wastewater with Lime and Seawater". Prog. Wat. Tech. 1978, Vol. 10, No. 5/6 pp 645-656, 1978. Pergamon Press.
2. Ferguson, J.F. and Vråle, L.: "Chemical aspects of the lime seawater process". Journal WPCF, Volume 56, No. 4, April, 1984.
3. Vråle, L.: "Kalk og sjøvannsfelling ved SRF vinteren 1984". VEAS Juleseminar 19.12.84.
4. Vråle, L.: "Kjemisk felling med kalk og sjøvann". Del. 2. Fullskala driftsresultater fra Sandvika renseanlegg. C2-32 og O-40/71-A, Juli 1979.
5. Vråle, L.: "Primærfelling med ulike fellingskjemikalier ved Sandvika renseanlegg". O-79001, VA-rapport 7/97. Februar 1980.
6. Jenkins, D. and Lee, F.-M.: "Investigations into the lime precipitation of raw municipal wastewater". Prog. Wat. Tech. Vol., 9, pp. 495-507, Pergamon Press, 1977.

BILAG NR. 1.

Forsøk nr. 2. Kalkoppløsningshastighet målt med pH 1,0 g kalk/l.

Kalktype: Ulesket Tromsdalskalk 0-0,15 mm

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter dosering	Temp.	pH i vannet	Omrøringshastighet RPM
0	21	6,48	100
30 sek	21	11,57	100
1 min		11,80	100
2 min	21	12,00	100
3 min 30 sek	21	12,14	100
5 min 14 sek	21	12,24	100
9 min	21	12,39	100
12 min	21	12,46	100
17 min	22	12,57	100
20 min	22	12,62	200
22 min 30 sek	22	12,65	100
25 min	22	12,68	100
30 min	22	12,73	100
18 timer		12,01	100

BILAG NR. 2.

Forsøk nr. 3. Kalkopløsningshastighet målt med pH 1,0 g kalk/l.

Kalktype: Ulesket Tromsdalskalk 0,15-2 mm

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
-----------------------	----------	-----------

0 sek.	6,50	
30 sek.	10,75	
50 sek.	10,95	
1 min.	11,01	
1,30	11,15	
2,00	11,28	Mye samler seg på bunn
3,00	11,41	
4,30	11,58	100 RPM
5,30	11,67	
6,30	11,74	
7,00	11,78	
8,00	11,84	
9,00	11,90	
10,00	11,95	
11,00	12,00	
12,00	12,04	
13,00	12,08	
15,00	12,15	
16,00	12,25	Økt omdreiningshast. til 200 RPM etter 15 min.
17,00	12,31	
19,00	12,42	NB! Økning i pH skyldes raskere opløsning av kalk
21,00	12,48	
23,00	12,50	Ingen sedimentering på bunn.
24,00	12,51	
25,00	12,52	Senket RPM tilbake til 100 RPM.
28,00	12,53	
30,00	12,54	Fortsatt store mengder uopløst
38,00	12,67	
40,00	12,70	
49,00	12,77	
54,00	12,80	
57,00	12,82	
63,00	12,84	
96,00	13,03	
100,00	13,05	Paddleverk avslått etter 100 min
104,00	13,05	Svevende korn observert.

BILAG NR. 3.

Forsøk nr. 4. Kalkoppløsningshastighet målt med pH 1,0 g kalk/l.

Kalktype: Ulesket Tromsdalskalk 2-6 mm

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
0 sek.	6,50	
30 sek.	9,01	
50 sek.	9,70	
1 min.	9,85	Store korn ligger stille
2,00	10,30	på bunnen
3,00	10,54	100 RPM
4,00	10,75	
6,00	11,10	
10,00	11,51	
11,00	11,65	
12,00	11,71	
13,00	11,76	
15,00	11,81	Omdreiningshastighet økt til 200 RPM etter
15,30	11,83	15,25 min.
16,00	11,86	
17,00	11,90	
18,00	11,94	
20,00	12,00	
21,00	12,01	
22,00	12,01	Omdreiningshastigheten senket tilbake
23,00	12,01	til 100 RPM etter 22,30 min.
51,00	12,38	
60,00	12,50	
72,00	12,61	
100,00	12,87	

BILAG NR. 4.

Forsøk nr. 5. Kalkoppløsningshastighet målt med pH 1,0 g kalk/l.

Kalktype: Franzefoss Hydratkalk

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
0 sek.	6,48	
30 sek.	11,66	
40 sek.	11,77	
50 sek.	11,82	
1 min.	11,85	
1,30	11,91	
2,00	11,96	
2,30	12,00	100 RPM
3,00	12,04	
4,00	12,10	
6,00	12,18	
7,00	12,21	
8,00	12,25	
11,00	12,33	Fortsatt sees uoppløste partikler.
12,00	12,35	
13,00	12,37	Omdreiningshastighet økt til 200 RPM etter 12,30 min.
15,00	12,43	
16,00	12,45	Omdreiningshastighet redusert til 100 RPM etter 15,30 min.
19,00	12,55	
20,00	12,57	
22,00	12,60	
24,00	12,63	
43,00	12,81	
60,00	12,89	Omrører stanset, fortsatt uoppløst igjen på bunnen

BILAG NR. 5.

Forsøk nr. 6. Kalkopløsningshastighet målt med pH 1,0 g kalk/l.

Kalktype: Hydratkalk. Merck art. 2047 Calciumhydroxid.

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
0 sek.	6,48	
30 sek.	11,81	
40 sek.	11,94	
50 sek.	12,00	
1 min.	12,04	
1,30	12,09	
2,00	12,13	100 RPM
2,30	12,18	
3,00	12,23	
4,00	12,31	
5,00	12,38	
7,00	12,49	
9,00	12,58	Uopløste korn sees også her.
10,00	12,62	
12,00	12,69	
14,00	12,75	
16,00	12,80	16,20 økt RPM til 200
18,00	12,86	18,15 senket RPM tilbake til 100
19,00	12,88	
20,00	12,90	
23,00	12,95	
27,00	13,00	
33,00	13,05	
40,00	13,09	
53,00	13,12	
62,00	13,13	
89,00	13,12	

BILAG NR. 6.

Forsøk nr. 7. Kalkopløsningshastighet målt med pH 5,0 g kalk/l.

Kalktype: Ulesket Tromsdalskalk 0-0,15 mm

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
0 sek.	6,12	100 RPM
20 sek.	11,65	"
30 sek.	11,78	"
50 sek.	11,92	"
1 min.	11,96	"
1,30	12,06	"
2,00	12,14	"
2,30	12,22	"
3,00	12,31	"
3,30	12,40	"
4,00	12,49	"
5,00	12,58	"
6,00	12,68	"
7,00	12,76	"
8,00	12,83	"
9,00	12,88	"
10,00	12,95	"
11,00	13,00	"
12,00	13,06	"
13,00	13,12	"
15,00	13,19	Omdreiningshastighet økt til 200 RPM
18,00	13,27	13,40 min
19,00	13,27	Senket tilbake til 100 RPM
25,00	13,37	16 min og 30 sek.
29,00	13,38	
33,00	13,39	

BILAG NR. 7.

Forsøk nr. 8. Kalkopløsningshastighet målt med pH 5,0 g kalk/l.

Kalktype: Ulesket Tromsdalskalk 0,15-2 mm

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
0 sek.	6,30	200 RPM
20 sek.	11,31	
30 sek.	11,41	
50 sek.	11,57	
1 min.	11,64	
1,30	11,78	Omrøringen klarer å holde
2,00	11,87	store korn i suspensjon
2,30	11,94	
3,00	12,03	
3,30	12,11	Løsningen har blitt
4,00	12,21	gråere etterhvert som tyder på
5,00	12,37	partikkeloppbryting
5,30	12,44	
7,00	12,61	
9,00	12,78	
10,00	12,84	
12,00	12,97	
15,00	13,12	
18,00	13,22	
36,00	13,39	
38,00	13,39	
40,00	13,40	

BILAG NR. 8.

Forsøk nr. 9. Kalkopløsningshastighet målt med pH 5,0 g kalk/l.

Kalktype: Ulesket Tromsdalskalk 2-6 mm

Vann: Oset vannverk, Oslo.

Tid etter kalkdos.	pH-verdi	Kommentar
0 sek.	6,30	
20 sek.	10,81	
30 sek.	11,00	
50 sek.	11,17	
1 min.	11,23	
2,00	11,55	
3,00	11,73	
4,00	11,94	Suspensjonen begynner å bli grå.
5,00	12,11	
6,00	12,27	
7,00	12,41	
8,00	12,51	200 RPM
9,00	12,59	
10,00	12,66	
12,00	12,78	
19,00	13,14	
28,00	13,28	
30,00	13,30	
37,00	13,34	
40,00	13,36	

rapporter utgitt av NIVA

- 1/78 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 1.
C2-31 Kjell Øren. November 1978
- 1/79 Kjemisk felling med kalk og sjøvann. Del 2
C2-34 O-40/71 A Lasse Vråle. Juli 1979
- 2/79 Driftsresultater fra norske simultanfellingsanlegg.
C2-28 Lasse Vråle, Eilen A. Vik. Juli 1979
- 3/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 1
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. November 1979
- 4/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 2
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. September 1979
- 5/79 Sivevann fra søppelfyllplass.
C2-26 Torbjørn Damhaug, Arild Eikum,
Ole Jakob Johansen. August 1979
- 6/79 Vannforurensning fra veg.
O-79024 Eivind Lygren, Egil Gjessing,
John Ferguson. Desember 1979
- 9/79 Primærfelling med ulike fellingskjemikalier
ved Sandvika renseanlegg.
O-79001 Lasse Vråle. Desember 1979
- 1/80 Bakteriologiske forhold i norske og utenlandske
råvannskilder
O-78029 Jens J. Nygård. Februar 1981
- 2/80 Treatment of Septic Tank Sludge
Research Proposal
F-80413 Arild Eikum. Januar 1980
- 3/80 Industrifyllplass i Arendal-Grimstadregionen
Vurdering av vannforurensning og rensetekniske
tiltak for alternativene Gloseheia og Lundeheia
O-80016 Torbjørn Damhaug, Hans Holtan. Mars 1980
- 4/80 Utprøving av analysemetoder for PAH og kartlegging
av PAH-tilførsler til norske vannforekomster
A3-25 Lasse Berglund. Mars 1980
- 5/80 Mobil avvanning av septikslam
Utprøving av septikbil »HAMSTERN»
O-80019 Bjørn-Erik Haugan. November 1980
- 6/80 Tilføringsgrad
Kontroll og kalibrering av vannmålestasjon
ved Monserud kloakkrenseanlegg. Del 1
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 7/80 Tilføringsgrad
Forurensningstilførsler og beregning av
tilføringsgrad for Monserud renseanlegg i 1979. Del 2
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 8/80 Overløp i avløpsnett
Tilstand i dag og mulige tiltak
C2-32 Eivind Lygren. September 1980
- 9/80 Sikring av vannforsyning i Oslo mot
forurensninger ved uhell eller sabotasje
Vurdering av faremomenter. (Sperrert)
O-79084 Egil Gjessing, Jens J. Nygård. September 1980
- 10/80 Important aspects of water treatment in USA
XT-25 Eilen Arctander Vik. Juli 1980
- 11/80 Myrgrøfting, effekt på vannkvalitet
Noen observasjoner fra grøftet myrområde
i Røyken 1971-79
XK-05 Egil Gjessing. September 1980
- 12/80 Driftsundersøkelse av vannbehandlingsanlegg
F-80417 Torbjørn Damhaug. November 1980
- 13/80 Hvirveloverløp
Avskilling av sedimenterbart materiale og
flyttestoffer i overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren. Desember 1980
- 14/80 Use of UV and H₂O₂ in water and
wastewater treatment
Research Proposal
F-80415 Arild Schanke Eikum. Desember 1980
- 1/81 Treatment of potable water containing humus by
electrolytic addition of aluminium followed by
direct filtration
Research Proposal
F-80415 Eilen Arctander Vik. Januar 1981
- 2/81 Water research in developing countries
A desk survey about planning and ongoing
research projects
O-80028 Svein Stene Johansen. Januar 1981
- 3/81 VA-teknisk forskershall Sentralrenseanlegg Vest SRV
Notat
Arild Schanke Eikum, Arne Lundar. Februar 1981
- 4/81 Alkalization/hardening of drinking water
Research proposal
G-314 Egil Gjessing. Februar 1981
- 5/81 Tiltak mot forurensning fra fiskeoppdrett
Behandling av vann i resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrett
Forskningsprogram 1981-1984
FP-80802 Arild Schanke Eikum, Eivind Lygren. Mai 1981
- 6/81 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 2
O-80018 Svein Stene Johansen. Mai 1981
- 7/81 Kalking av tilløp til lille Asketjern for fjerning av humus
Innledende forsk. O-81065 Eilen Arctander Vik. August 1981
- 8/81 Tilføringsgrad for oppsamlingsnett
Status for eksisterende målinger
O-80055 Lasse Vråle. August 1981
- 9/81 A Water Pricing Study for Western Province,
Zambia. Draft !
O-81022 Svein Stene Johansen. September 1981
- 10/81 Fjerning av humus ved H₂O₂ tilsetning
og UV - bestråling
F-80415 Lasse Berglund. Oktober 1981
- 11/81 Treatment of Septic Sludge
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. November 1981

- 12/81 **Silgrainsyre som fellingsmiddel for avløpsvann**
Buhrestua renseanlegg. Nesodden
O-80093 Lasse Vråle. Desember 1981
- 13/81 **Analyse av vannbehov i husholdninger, næringsvirksomhet
institusjoner og til kommunaltekniske formål**
O-78028-01 Svein Stene Johansen, Kim Wedum. Desember 1981
- 1/82 **Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann
ved ammoniakkavdrivning**
F-81427 Torbjørn Damhaug. Mars 1982
- 2/82 **Rensing av sigevann fra søppelfyllplasser**
OF-80606 Torbjørn Damhaug. Juni 1982
- 3/82 **Hvirvelkammer og hvirveloverløp**
Regulering av vannføring og rensing av overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren, Kim Wedum. Mai 1982
- 4/82 **Avvanning av septikslam i container**
O-81104 Bjarne Paulsrud. August 1982
- 5/82 **Kalibrering og justering av vannføringsmålere**
O-82011 Kim Wedum. Mai 1982
- 6/82 **Vurdering av driftsinstruksjer og driftsforhold
ved renseanlegg rundt Indre Oslofjord**
O-82004 Arne Lundar, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 7/82 **Styring av kjemikaliedosering ved kjemiske renseanlegg**
Erfaringer med bruk av ledningsevne som styringsparameter
O-82025 Torbjørn Damhaug, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 8/82 **Strålingskjemisk oksydasjon av organisk stoff i vann**
Programforslag. (Sperrert)
F-80415 Kim Wedum. September 1982
- 9/82 **Slamstabilisering under høy temperatur ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjørn-Erik Haugan. Oktober 1982
- 10/82 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
O-82022 Oddvar Lindholm. November 1982
- 11/82 **Treatment of septage**
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. Februar 1983
- 1/83 **Alkalisering av drikkevann**
Delrapport 1 NIVA/SIFF
F-82441 Eilen A. Vik. Mars 1983
- 2/83 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
Forbehandling av meieriavløp i luftede utjevningsbasseng
Delrapport 1
O-82017 Torbjørn Damhaug. Februar 1983
- 3/83 **Samlet optimalisering av avløpsrenseanlegg
og avløpsledningsnett**
O-82124 Oddvar Lindholm. Februar 1983
- 4/83 **Driftskontrollprogram for galvanindustriens renseanlegg**
O-79049 Eigil Iversen. Mars 1983
- 6/83 **Optimalisering av galvanotekniske industrirenseanlegg**
O-82119 Eigil Iversen. Mai 1983
- 7/83 **Utslipp av syre, løst organisk materiale og suspendert
stoff fra Hunsfos Fabrikker og Norsk Wallboard
juli-oktober 1982**
O-82067 Øivind Tryland. Mars 1983
- 8/83 **Analyseresultater for avløpsvann fra
Mosjøen Aluminiumverk april-oktober 1982**
O-82027 Øivind Tryland. Mars 1983
- 9/83 **Vannforurensning ved bruk av kalksalpeter som
støvdempingsmiddel på grusveger**
O-81050 Eivind Lygren, Reidun Schei. Juni 1983 (Sperrert)
- 10/83 **Funksjonsprøving nr 2 av membran
kammerfilterpresser VEAS Mars 1983**
O-82130 Lasse Vråle. Mars 1983
- 11/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 1
Forurensningsproduksjon fra boligfelt med tett
opsamlingsnett i Sydsbogen, Røyken kommune
O-81041 Lasse Vråle. April 1983
- 12/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 2
Automatisk overvåking av vannforbruk og lekkasje som
alternativ metode for beregning av tilførsingsgrad.
Resultater fra undersøkelsene ved Sydsbogen,
Buhrestua og Siggerud.
O-81041 Lasse Vråle. Desember 1984
- 13/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 3
Spillvannstapets resipient påvirkning i Siggerudgryta,
Ski kommune
O-81041 Lasse Vråle. August 1983
- 14/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 4
Spillvannstapets innvirkning på grunnvannskvalitet.
Buhrestua rensedistrikt, Nesodden kommune.
O-81041 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 15/83 **A feasibility study of fishfarming in Jordan**
O-83026 Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug. Juni 1983 (Sperrert)
- 16/83 **Driftsanalyse av Bekkelaget renseanlegg**
O-82005 Bjarne Paulsrud, Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrert)
- 17/83 **Water Research in Zambia**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 18/83 **Water Research in Kenya**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 19/83 **Water research in Tanzania**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen, Torbjørn Damhaug. May 1984
- 20/83 **Mikrobiologisk angrep på gummipakninger til vann- og avløpsrør**
Programforslag
O-83033 Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrert)

- 21/83 **Slamdeponering ved norske mangansmelteverk**
Fysisk-kjemisk karakterisering av drensvann og virkninger av drensvann på biologiske forhold i resipienten
O-80058 Øivind Tryland, Harry Efraimsen. April 1983
- 22/83 **Sandstangen vannverk**
O-83079 Eilen A. Vik. Juni 1983 (Sperrert)
- 23/83 **Erfaringer med mottak av septikslam på kommunale renseanlegg**
O-82037 Bjarne Paulsrud. Juli 1983
- 24/83 **Miljøgifter i overvann**
O-83063 Oddvar Lindholm. August 1983
- 25/83 **Arealfordeling av korttidsnedbør**
O-83005, F-83450 Oddvar Lindholm. Oktober 1983
- 26/83 **Urbanhydrologi i Sverige**
En litteraturstudie
O-83092 Oddvar Lindholm. November 1983
- 27/83 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
Fase II
O-82111 Oddvar Lindholm, November 1983
- 28/83 **Bruk av rent oksygen for luktreduksjon ved renseanlegg R-2, Lillehammer**
O-82083 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan. November 1983
- 29/83 **Avsluttende funksjonsprøve for membran-filterpresser ved VEAS, oktober-november 1983**
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. November 1983 (Sperrert)
- 30/83 **Emerging European Wastewater Treatment Technology Preliminary Description**
O-83150 Arild Schanke Eikum. Desember 1983 (Sperrert)
- 31/83 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Mikrobiell nedbrytning av klorert organisk materiale i blekeriavløpsvann
F-81434 Øivind Tryland, Harry Efraimsen. Desember 1983
- 32/83 **Suspensjoners synkehastighet**
Metode for analyse av finfordelte partiklers synkehastighet i vann
F-81434 Øivind Tryland. Desember 1983
- 33/83 **Silgrainsyre som fellingsmiddel ved SRV, VEAS Stemmestad**
O-82102 Lasse Vråle, P. Sagberg. Desember 1983. (Sperrert)
- 1/84 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
O-82017 Torbjørn Damhaug. Januar 1984
- 2/84 **Luftet lagune for rensing av sigevann**
Delrapport 1. Driftserfaringer
O-83027 Ragnar Storhaug. Februar 1984
- 3/84 **Highway pollution in a Nordic Climate**
O-79024 Eivind Lygren. Mars 1984
- 4/84 **An evaluation of large-scale algal cultivation systems for fish feed production**
O-84002 Torbjørn Damhaug et al. Februar 1984 (Sperrert)
- 5/84 **Matematisk modell av avløpsrenseanlegg**
O-82124/F-83448 Oddvar Lindholm. Februar 1984
- 6/84 **Adsorption in Water Treatment Fluoride Removal**
FP-83828 Eilen A. Vik. Februar 1984
- 7/84 **Analyse av vannføringsdata**
O-81113 Kim Wedum. Januar 1984
- 8/84 **Renseeffekt i Heistad renseanlegg med og uten tilkøpling av industrielt avløpsvann**
O-83093 Øivind Tryland. April 1984
- 9/84 **Hygienisering av slam ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan, Gunnar Langeland. Juli 1984
- 10/84 **Slamavvanning med filterpresser ved SRV**
Økonomisk sammenligning av Lasta membran-filterpresser og Rittershaus & Blecher kammerfilterpresser
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. Mai 1984 (Sperrert)
- 11/84 **Separat behandling av slamvann fra avvanning av septikslam**
Biologisk rensing ved bruk av aktivslam
O-83021 Ragnar Storhaug. Juni 1984
- 12/84 **Industriutslipp til vassdrag**
Aveininger for å beskytte resipienten, eksempel fra en tekstilbedrift
OF-81618 Bjørn-Erik Haugan, Kim Wedum. April 1984 (Sperrert)
- 13/84 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Virkning av peroksyd og UV-bestråling på klororganisk materiale og farge i celluloseblekeriers avløpsvann
F-81434 Øivind Tryland. Mai 1984
- 14/84 **Driftsassistanse**
Vannrenseanlegg, ÅSV A/S Fundo Aluminium
O-83141 Eigil Iversen, Torbjørn Damhaug. Juni 1984
- 15/84 **Ammonium som forurensningsparameter**
O-83035 Kim Wedum. August 1984
- 16/84 **Driftsoppfølging av Biovac renseanlegg for helårsbolig**
O-82101 Bjarne Paulsrud. September 1984
- 17/84 **Kalkfelling på små renseanlegg**
O-83067 Ragnar Storhaug. Oktober 1984
- 18/84 **Hygienisering av slam ved lufttilførsel (Janca-prosessen)**
O-84050 Bjarne Paulsrud, Gunnar Langeland. September 1984
- 19/84 **Utvikling av lukket mærkonstruksjon.**
Prosessløsning og optimalisering
O-84091 Kjell Maroni, Eivind Lygren, Bjørn Braaten. Oktober 1984. (Sperrert)
- 20/84 **Forurensningsproduksjon fra husholdning**
Halvårlig sommerundersøkelse fra Sydkogen i 1983, Røyken kommune.
F-83451 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 21/84 **Luftt lagune for rensing av sigevann**
O-83027 Ragnar Storhaug. April 1985
- 22/84 **Avløpsvannmengder tilført påslippene ved SRV i 1983 og 1984**
O-83090 Lasse Vråle. April 1985

- 1/85 **Spesifikk forurensningsproduksjon fra husholdning**
Enkel litteraturstudie
O-84131-01 Lasse Vråle. Mars 1985
- 2/85 **Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger**
O-84131-02 Lasse Vråle. Mars 1985
- 3/85 **Treatment of leachate in aerated lagoons**
Lab-scale study
O-84022 Ragnar Storhaug. Juli 1985
- 4/85 **Fiskeoppdrett på Granerudstøa, Nesodden**
O-85233 Bjørn Braaten, Torbjørn Damhaug. Juni 1985
- 5/85 **Oppdrett av ferskvannskreps ved Møna Bruk A/S**
Forprosjekt
O-85126 Sigurd Rognerud, Stellan Karlson
Torbjørn Damhaug, Gösta Kjellberg. August 1985
- 6/85 **Driftsassistanse - Vannrenseanlegg ved Steens Fornikling A/S**
O-84157 Øivind Tryland. August 1985
- 7/85 **Spillvarmebasert akvakulturanlegg i Tyssedal**
Forprosjekt
O-85226 Kjell Maroni, Erlend Waatevik. September 1985 (Sperret)
- 8/85 **Driftsassistanse - Avløpsledning
Høvik Lys A/S**
O-85221 Øivind Tryland, Eigil Iversen,
Åse K. Rogne. August 1985
- 9/85 **Teknologi og miljø i oppdrettsnæring**
O-84159/O-84160 Kjell Maroni. Januar 1985
- 10/85 **Rensing av blyholdig avløpsvann.
Undersøkelser ved Sønnak Batterier A/S**
O-85222 Eigil Iversen, Øivind Tryland. September 1985
- 11/85 **Spillvarmebasert oppdrettsanlegg i tilknytning
til Sauda Smelteverk A/S**
O-84167 Kjell Maroni. April 1985 (Sperret)
- 12/85 **Overføring av avløpsvann fra Bøkkelaget rensedistrikt
til Sentralrenseanlegg Vest, SRV.**
Noen vurderinger av VA-tekniske konsekvenser
O-85147 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 14/85 **Vann- og avløpstekniske løsninger for Helleberg hytteområde**
Nordstul, Store-Ble, Notodden kommune
O-85292 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 15/85 **Fremdriftsrapport for Frogn Vannverk**
Perioden juni-oktober 1985
O-85211 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 17/85 **Landbasert fiskeoppdrettsanlegg i Grimstad**
O-85262/Kristoffer Næs, Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug,
Kjell Maroni, Bjørn Braaten. November 1985 (Sperret)

WA rapporter utgitt av NIVA

- 1/86 NIVANETT på mikrodatamaskin
0-85207 Oddvar Lindholm. Januar 1986
- 2/86 Utvikling av resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrettsanlegg
0-81068 Eivind Lygren, Kjell Maroni. April 1986
- 3/86 Avfall fra skip på norske strender
0-85174 Tor Moxnes. Mars 1986
- 4/86 Driftsundersøkelse av sølvvarefabrikkers renseanlegg
0-82108 Eigil Iversen. Februar 1986
- 6/86 Minivannverk - forsøk i full skala med prototyp
0-84114 Tor Moxnes. Mai 1986
- 7/86 Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Ringbygget
0-85255 Lasse Vråle. Mai 1986
- 8/86 Virkning av dynamisk regn på hydrogram
0-86037 Oddvar Lindholm. Juni 1986
- 9/86 Driftserfaringer fra kalkdoseringsanlegg i vannverk
0-86092 Jens Arne Ohren. Juni 1986
- 10/86 Driftsundersøkelse av VIV's direktefiltreringsanlegg ved Akersvann
0-86068 Jens Arne Ohren. Oktober 1986
- 11/86 Følsomhetsanalyse for parametre i avløpsnettregninger. Fase I
0-86012 Oddvar G. Lindholm. Oktober 1986
- 12/86 Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Bosch bygget Oppegård kommune
0-86091 Lasse Vråle. November 1986
- 13/86 Bestemmelse av tilføringsgrad
0-86195 Lasse Vråle. November 1986
- 14/86 Heterotrofe mikroorganismer i ledningsnett for drikkevann
F-86635 Kari Ormerod. Januar 1987
- 15/86 Driftserfaringer for hvirveloverløp
0-85209, E-86638 Ole Jakob Johansen. Desember 1986
- 16/86 Vannkvalitet Vansjø vannverk
0-85075 Jens Arne Ohren. Desember 1986.
- 17/86 Evaluering av ABW-filter
0-86191 Jens Arne Ohren. Desember 1986
- 18/86 VIV's direktefiltreringsanlegg ved Akersvann.
Renseeffekter for alger, algetoksiner og andre vannkvalitetsparametre
0-86068 Jens Arne Ohren. Desember 1986
- 1/87 Overløpsforurensninger
Teoretiske beregninger
0-85285, 0-86638 Oddvar G. Lindholm. Januar 1987
- 2/87 Testing av pH og oksygenmålere.
Delrapport 1. Test av pHOX og oksygenmålere
0-86167 Tor Sukke. Februar 1987. Sperret
- 3/87 Akvakulturmuligheter i Lilleelv.
0-86168 Arne Lande. Desember 1986. Sperret
- 4/87 Desinfeksjon av vann i oppdrettsnæringen
0-86148 Helge Liltved. Februar 1987