

0 - 78102

SLAMAVVANNING MED FILTERPRESSER

Del 1

Ulike slamtypers avvanningsegenskaper og kondisjonerbarhet

Oslo,

Saksbehandler: Siv.ing. Bjørn-Erik Haugan

Medarbeidere: " " Jens Erik Pettersen

" " Lasse Vråle

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-78102
Undernummer: I
Løpenummer: 1170
Begrenset distribusjon:

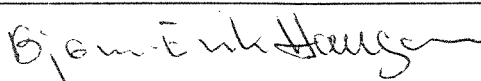
Rapportens tittel: Slamavvanning med filterpresser. Del 1. Ulike slamtypers avvanningsegenskaper og kondisjonerbarhet	Dato: 18. desember 1979
	Prosjektnummer:
Forfatter(e): Bjørn-Erik Haugan	Faggruppe:
	Geografisk område: Sandvika
	Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgiver: Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS)	Oppdrags. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	---------------------------------

Ekstrakt: Slam fra primærfelling med jernklorid, jernklorid + kalk, kalk, kalk + sjøvann og aluminiumsulfat er avvannet i kammerfilterpresse. En har studert kondisjonering av slamtypene før avvanning. En har korrelert resultater oppnådd i filterpressen med resultater oppnådd i laboratorietester: CST og spesifikk filtrermotstand.

4 emneord, norske:	
1.	Slam
2.	Avvanning
3.	Kammerfilterpressing
4.	Kjemisk felling

4 emneord, engelske:	
1.	Sludge
2.	Dewatering
3.	Filter presses
4.	Chemical precipitation



Bjørn-Erik Haugan
Prosjektleders sign.:



Arild Eikum
Seksjonsleders sign.:



Kjell Baalsrud
Instituttjefs sign.:

ISBN 82-577-0227-7

F O R O R D

Etter oppdrag fra Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS) er utført to arbeider med henblikk på å planlegge slamavvanningen ved Sentralrenseanlegg Vest (SRV). Denne første rapporten tar for seg sammenhengen mellom fellingskjemikalium (ved primærfelling) og slamavvanning. Den andre rapporten (2) tar for seg tre ulike filterpresser og vurderer deres ytelse i parallelle forsøk. Arbeidene er utført våren 1979 ved NIVA's forsøksanlegg på Kjeller og ved Sandvika renseanlegg i Bærum.

Firma Luvatek A/S har velvilligst stilt til disposisjon en pilotskala kammerfilterpresse for forsøkene, og for øvrig har VEAS og Bærum kommune assistert med det praktiske opplegget. L. Vråle ved NIVA har parallelt med disse avvanningsstudier undersøkt renseprosessen ved Sandvika renseanlegg. De to rapporter om slamavvanning kan derfor med fordel ses i sammenheng med L. Vråle: "Primærfelling med ulike fellingskjemikalier ved Sandvika renseanlegg" (3), men er utformet med henblikk på å kunne leses enkeltvis.

Brekke, 25. november 1979

Bjørn-Erik Haug

Bjørn-Erik Haugan

SAMMENDRAG

Det er gjort avvanningsforsøk med en pilotskala kammerfilterpresse. Avvanningsforsøkene er gjort med slam fra primærfelling med fellingskjemikalier:

- Jernklorid
- jernklorid + kalk
- kalk
- kalk + sjøvann
- aluminiumsulfat.

En har kondisjonert slammet med kombinasjoner av jernklorid og kalk og målt endringer i avvanningsegenskapene med laboratorieutstyr, samt ved resultater i kammerfilterpressen.

Slam fra kalkfelling og kalk + sjøvannsfelling har ukondisjonert så gode avvanningsegenskaper at en ikke har klart å forbedre disse ved kondisjonering.

De andre slamtypene lar seg ikke avvanne tilfredsstillende uten kondisjonering, men kan etter tilsetning av fra 15 til 25 prosent kalk avvannes med kapasiteter rundt 1,5 kg TS/m² filterflate pr. time dersom man setter krav om kaketørrstoff ca. 30 prosent. (Kalk beregnet i prosent av tørrstoff.)

Tilsetning av jernklorid gir bedre avvanningsegenskaper for aluminiumfelt og kalk + jernkloridfelt slam ved lave kalk-kondisjoneringsdoser. Imidlertid må en for å oppnå maksimal kapasitet, opp i kalkdoser på rundt 20 prosent. I dette området kan en ikke påvise at tilsatt jernklorid bedrer avvanningen.

Slam fra felling med jernklorid viser ingen positiv effekt av ytterligere jernklorid tilsatt under kondisjonering. Tilsetning av jernklorid kan imidlertid tjene til å gi et slamprodukt med lavere pH enn hva en oppnår etter kondisjonering med kalk alene.

Slammets kondisjonerbarhet er avhengig av råslammets tørrstoffinnhold og bufferkapasitet. Høyt tørrstoffinnhold (> 4 prosent) i råslammet fra fortykkeren vil øke kapasiteten på kammerfilterpressen, og dertil gi bedre utbytte av kondisjoneringskjemikalier. Høy alkalitet i slamvannet vil gi mindre effekt ved kalk-kondisjonering, og nødvendig kjemikalieforbruk øker.

Pressens matetrykk har betydning for avvanningsresultatene. En har imidlertid kun oppnådd ca. 20 prosent kapasitetsøkning ved å høyne matetrykket fra 7 til 15 bar med slam fra felling med jernklorid + kalk.

Konklusjoner som er trukket fra avvanningsforsøkene ved ulike kondisjoneringsdoser er i hovedsak de samme en har kunnet trekke ut fra forsøk med spesifikk filtrermotstand og kapillær sugetid (CST). Disse laboratorietestene er dermed et meget nyttig verktøy ved optimalisering av kondisjoneringsdoser.

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
SAMMENDRAG	3
AKTUELLE BEGREPER	10
1. INNLEDNING	12
2. FORSØKSOPPLEGG	14
3. SANDVIKA KLOAKKRENSEANLEGG	16
4. KAMMERFILTERPRESSEN	18
4.1 Beskrivelse av forsøkspressen	18
4.2 Fremgangsmåte ved pressing	24
5. MÅLEPROGRAM OG VARIABLER	25
6. RESULTATER OG BEREGNINGER	26
6.1 Råslam	26
6.1.1 Slam felt med jernklorid og kalk	27
6.1.2 Slam felt med jernklorid	30
6.1.3 Slam felt med kalk + sjøvann	31
6.1.4 Slam felt med aluminiumsulfat	31
6.1.5 Slam fra andre renseanlegg	31
6.2 Kondisjonering	33
6.2.1 pH	34
6.2.2 Spesifikk filtrermotstand (r)	41
6.2.3 CST/TS	48
6.3 Kammerfilterpressing	48
6.3.1 Hensikt og resultatfremstilling	48
6.3.2 Slam fra felling med jernklorid + kalk	49
6.3.3 Slam fra felling med jernklorid	58
6.3.4 Slam fra felling med aluminiumsulfat	61
6.3.5 Slam fra felling med kalk, Muusøya renseanlegg	63
6.3.6 Slam fra felling med kalk + sjøvann, Sandvika renseanlegg	63

	Side:
6.3.7 Sammenlikning av slamtypene	66
6.3.8 Tørrstoff i filterkaker	72
6.3.9 Kakevekt	75
6.3.10 Vedheng til duker	75
7. LITTERATUR	76
APPENDIX A Spesifikk filtrermotstand og CST	78
APPENDIX B Kondisjonering illustrert ved CST/TS	83
APPENDIX C Kapasitetsberegninger for kammerfilterpresser	88
APPENDIX D Fullstendig resultatpresentasjon	92

- o -

TABELLFORTEGNELSE

Tabell nr.:

1	Oversikt over forsøksperioder ved Sandvika renseanlegg. Januar-juni 1979	17
2.	Fysiske og kjemiske egenskaper ved råslam fra Sandvika kloakkrenseanlegg	28
3.	Fysiske og kjemiske egenskaper ved råslam fra Muusøya, RA II og Skjebergkilen renseanlegg	32
4.	Sandvika renseanlegg. Kondisjonering av slam	35-36
5.	Muusøya, RA II og Skjebergkilen renseanlegg. Kondisjonering av slam	37
6.	Tørrstoff i de undersøkte slamtyper	66
Dla.	Data for kapasitetsberegning. Felling med jernklorid + kalk	92
Dlb.	Data for kapasitetsberegning. Felling med jernklorid	93
Dlc.	Data for kapasitetsberegning. Felling med kalk, kalk + sjøvann og aluminiumsulfat	94

- o -

FIGURFORTEGNELSE

Figur nr.:		Side:
1.	Forsøksopplegg for avvanningsforsøk med kammerfilterpresse	15
2.	Flyteskjema over Sandvika renseanlegg	17
3.	Flyteskjema for Edwards & Jones Ltd. pilotskala kammerfilterpresse	19
4.	Kammerfilterpresse, prinsippskisse (Edwards & Jones)	19
5.	Edwards & Jones forsøkspresse. Oversiktsplan	20
6.	" " " " Fra siden	21
7.	" " " " Fra enden	22
8.	Kakeform på Edwards & Jones forsøkspresse	23
9.	pH som funksjon av kalkdose. Slam felt med jernklorid + kalk	38
10.	pH som funksjon av kalkdose. Slam felt med jernklorid	39
11.	pH som funksjon av kalkdose. Slam felt med aluminiumsulfat	40
12.	pH og spesifikk filtrermotstand i slam etter kondisjonering	42
13.	Spesifikk filtrermotstand ved kondisjonering med jernklorid + kalk. Slam felt med jernklorid + kalk	43
14.	Spesifikk filtrermotstand ved kondisjonering med kalk. Slam felt med jernklorid	44
15.	Spesifikk filtrermotstand ved kondisjonering med kalk. Slam felt med aluminiumsulfat	45
16.	Spesifikk filtrermotstand ved kondisjonering med jernklorid av kalkholdige slamtyper	47
17.	Effekten av kalk-kondisjonering på netto tilført TS	50
18.	Effekten av kalk-kondisjonering sammen med 2% Fe på netto tilført TS	51
19.	Effekten av kalk-kondisjonering sammen med 6% Fe på netto tilført TS	51
20.	Effekten av jernklorid på tilført TS ved lav (5%) kalkdose	53
21.	Effekten av jernklorid på tilført TS ved middelstor (17%) kalkdose	53
22.	Betydningen av råslammets TS-innhold ved filtrering av råslam, og av slam kondisjonert med ca. 22% kalk	54

Figur nr.:	Side:	
23.	Effekten av ulike matetrykk på tilført TS ved kammertykkelse 25 mm	56
24.	Effekten av ulike matetrykk på tilført TS ved kammertykkelse 30 mm	56
25.	Betydning av kammertykkelsen ved filtrering av slam kondisjonert med 13% og 21% kalk	57
26.	Betydning av dukens porøsitet før netto tilført TS	57
27.	Effekten av kalk-kondisjonering av slam fra Skjebergkilen	59
28.	Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med jernklorid ved Sandvika. Periode 4	59
29.	Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med jernklorid ved Sandvika. Periode 7	60
30.	Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med aluminiumsulfat ved Sandvika	62
31.	Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med aluminiumsulfat ved RA II	62
32.	Effekten av kondisjonering av slam felt med kalk. Muusøya	64
33.	Effekten av kondisjonering av slam fra felling med kalk + sjøvann. Periode 0	65
34.	Pressing av råslam fra felling med kalk + sjøvann. Periode 9	65
35.	Pressing av ulike råslamtyper	68
36.	Sammenlikning av ulike råslamtyper kondisjonert med 11-15% kalk	69
37.	Sammenlikning av ulike råslamtyper kondisjonert med 17-22% kalk	70
38.	Brutto TS % i filterkake for slam felt med kalk + jernklorid	73
39.	Brutto TS % i filterkake for slam felt med jernklorid	74
40.	Brutto TS % i filterkake for slam felt med aluminiumsulfat	74
41.	Sammenheng mellom kakenes TS-innhold og kakenes vekt. 25 mm og 30 mm kaketykkelse	75a
A1.	Beregning av konstanten b i filterlikningen (I)	79
A2.	Trykkcelle for måling av spesifikk filtrer- motstand ved drivtrykk P = 5 bar	80

Figur nr.:		Side:
A3.	Skisse av CST måleapparat	81
B1.	Korrelasjon mellom CST/TS og spesifikk filterermotstand	84
B2.	CST/TS ved kondisjonering med jernklorid + kalk. Slam felt med jernklorid + kalk	85
B3.	CST/TS ved kondisjonering med kalk. Slam felt med jernklorid	86
B4.	CST/TS ved kondisjonering med kalk. Slam felt med aluminiumsulfat	87
C1.	Omregning fra filtervolum til tilført masse pr. arealenhet	90
C2.	Kapasiteten fremkommer som en rett linje fra origo til et punkt på kurven	90
C3.	Ved økende syklustid avtar kapasiteten, men TS i kakene øker	90

AKTUELLE BEGREPER

1. Aluminiumsulfat
Kjemisk betegnelse $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Fellingskjemikalium. Leveres i teknisk vare av Borregaard A/S, innhold 4% Al^{3+}
Lysaker kemiske Fabrik, " 9% Al^{3+} .
I denne rapport menes vare fra Lysaker.
2. AVR
Aluminiumsulfat/jernsulfat, teknisk vare.
Fellingskjemikalium, innhold 7% Al, 3% Fe.
Leveres av Boliden AB.
3. CST
Capillary Suction Time (kapillær sugetid).
Analyse for å anslå avvanningsegenskaper ved slam. Se Appendix A.
4. Filtrat
Rejektvann fra filtreringsprosesser.
5. Jernklorid
 FeCl_3 . Fellingskjemikalium og kondisjoneringkjemikalium. Finnes krystallinsk som $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Leveres teknisk vare som mettet løsning med romvekt 1,47. Derav er 12% Fe beregnet på vektbasis.
Leveres av Ferriklor AB.
6. Kalk
Her: $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Fellings- og kondisjoneringkjemikalium. Kalk er lite løselig i vann og tilsettes gjerne som en suspensjon med 10% eller 20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ på vektbasis. Suspensjonen betegnes ofte kalkmelk eller kalkslurry.
Leveres av Hole, Hylla og Mjøndalen kalkfabrikker.

7. Kapasitet Med kapasiteten forstås mengde slam (tørrstoff) som kan tilføres filterflaten pr. tidsenhet. Uttrykkes som kg TS pr. m² filterflate pr. time. Kapasiteten uttrykkes netto, dvs. en gjør fratrekk for kondisjoneringskjemikalier i slammet. Se Appendix C.
8. Kondisjonering Tilsetting av kjemikalier for å bedre avvanningssegenskapene til slammet.
9. Rejekt Vann som fjernes fra slam i avvanningsprosessen.
10. Spesifikk filtrermotstand Analyse som angir avvanningsegenskaper. Se Appendix A.
11. SS Suspendert stoff. Mengde partikulært materiale pr. liter av en vannprøve.
12. TS Tørrstoff. Total mengde suspenderte og løste stoffer i en prøve. Uttrykkes ofte i prosent på vektbasis. TS brukes også om total masse tørrstoff i et væskevolum, og uttrykkes da i kg.

1. INNLEDNING

Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS) har ved utbyggingen av Sentralrenseanlegg Vest (SRV) på Slemmestad valgt membranfilterpresser ved slamavvanningssteget. SRV vil benytte kjemisk felling som renseprosess. Fellingskjemikalium er foreløpig ikke bestemt, men aktuelle er:

- jernklorid
- jernklorid + kalk
- aluminiumsulfat
- kalk + sjøvann.

Renseanlegget blir bygget med doseringsutstyr for alle disse kombinasjonene. Slamegenskapene ved de ulike fellingskjemikalier vil variere. Hvilke konsekvenser dette får for avvanningskapasiteten i renseanlegget er usikkert. Man kan ut fra litteraturen danne seg oppfatninger av generell karakter om ulike slamtypers avvanningsegenskaper. Rapporterte avvanningsdata fra ett renseanlegg kan imidlertid aldri direkte sammenliknes med data fra et annet anlegg. Det var derfor av interesse å samle avvannings- og kondisjoneringdata fra ulike slamtyper produsert på ett og samme renseanlegg. Det var dertil ønskelig at dette renseanlegget skulle behandle avløpsvann av samme type som blir aktuelt ved SRV, og videre at anleggets flyteskjema var noenlunde likt SRV's.

Sandvika kloakkrenseanlegg ligger i SRV's rensedistrikt og har en prosessutforming som likner SRV's. I anledning avvanningsforsøkene som blir rapportert her, ble fellingen ved Sandvika gjennomført i perioder med alle de aktuelle fellingskjemikalier. I tillegg er noen avvanningsforsøk utført med slam fra

- | | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------|
| - Muusøya kloakkrenseanlegg, | fellingskjemikalium: | kalk |
| - Skjebergkilen kloakkrenseanlegg, | "- | jernklorid |
| - RA II, | "- | aluminiumsulfat. |

Ved innledningen av disse undersøkelsene ble jernklorid + kalk vurdert som de mest aktuelle fellingskjemikalier. I en forsøksserie som omfattet i alt 25 pressinger med kammerfilterpresse, ble slamtypens avvanningsegenskaper undersøkt. De alternative slamtyper ble undersøkt i noe

mindre forsøksserier. I tillegg til slamegenskapene er undersøkt betydningen av maskinvariabler på kammerfilterpresser.

Enkelte av resultatene i denne rapporten skriver seg fra et arbeid som ble utført med henblikk på å sammenlikne avvannings-kapasiteten i to ulike kammerfilterpresser, og én membranfilterpresse. Full rapportering av dette arbeidet, som også er utført for VEAS, finnes i: "Slamavvanning i filterpresser 2", (2).

Metoden benyttet i de to undersøkelsene er meget nær den samme, slik at enkelte data fra rapport nr. 2 benyttes i denne undersøkelsen i den grad de belyser ulike slamtypers egenskaper. I denne rapporten er slamtypenes avvannings-egenskaper illustrert ved vanlige avvanningstester som spesi- fikk filtrermotstand og CST (capillary suction time) i tillegg til data fra kammerfilterpressing.

Egenskaper ved slam fra felling med kalk + sjøvann vil bli behandlet i en egen rapport, under utarbeidelse av L. Vråle, NIVA.

2. FORSØKSOPPLEGG

De forsøk som beskrives i denne rapporten, er alle utført med en pilot-skala kammerfilterpresse levert av Edwards & Jones Ltd., Stoke on Trent, England. (Se avsnitt om kammerfilterpressen.) Fig. 1 viser forsøksopplegget skjematisk.

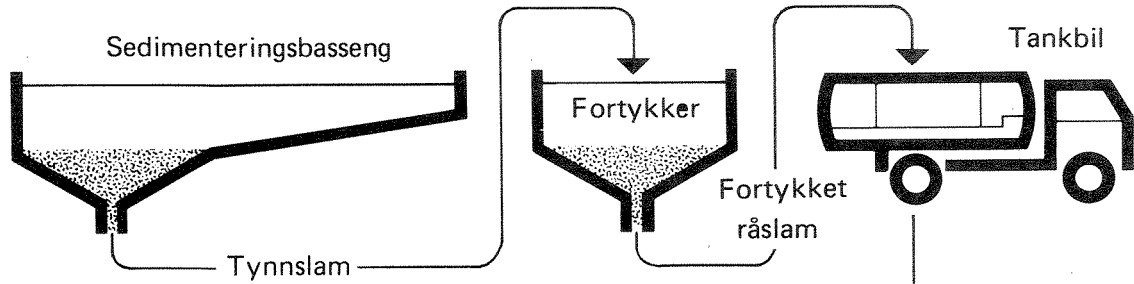
Kammerfilterpressen var i perioden januar-april 1979 installert på NIVA's forsøksstasjon på Kjeller. Slam fra Sandvika - og andre renseanlegg ble tappet fra respektive fortykkere og fraktet med tankvogn til Kjeller. Her ble råslammet lagret inntil 4 dager mens avvanningsforsøk ble gjort. Slammet ble lagret i en 3 m³ sylindrisk tank med langsom omrøring. Fra denne ble slammet pumpet til matetanken på kammerfilterpressen og kondisjonert. Deretter ble pressing gjennomført umiddelbart. Etter hver pressing ble matetanken tømt og pressens rørsystemer rengjort.

I rapporten inngår noen resultater fra forsøk i mai-juni 1979 med pressen plassert på Sandvika kloakkrenseanlegg i Bærum. Her ble pressens ytelser sammenliknet med to andre presser (2). Pressinger ble her gjennomført med slam produsert i anlegget ved felling med jernklorid, aluminiumsulfat og kalk + sjøvann.

Ved disse pressinger ble slammet pumpet direkte fra fortykker til en 3 m³ kondisjoneringstank med omrører. Slammet ble kondisjonert umiddelbart og pumpet ferdig kondisjonert til matetanken på forsøkspressen. Deretter ble pressing gjennomført.

I tillegg til målinger som er tatt for å bestemme ytelser til pressen, er det gjort analyser på råslam og kondisjonert slam. Disse kan gi et bilde av hvor kondisjonerbart slammet er, dvs. i hvilken grad slammets avvannings-egenskaper kan forbedres ved tilsetning av kjemikalier. I kapittel om kondisjonering er benyttet fortløpende nummerering. Denne nummerering tilsvarer nummerering ved pressingsforsøk, slik at kondisjonering nr. 13 er presset i forsøk nr. 13 etc.

Sandvika rensanlegg



Kjeller

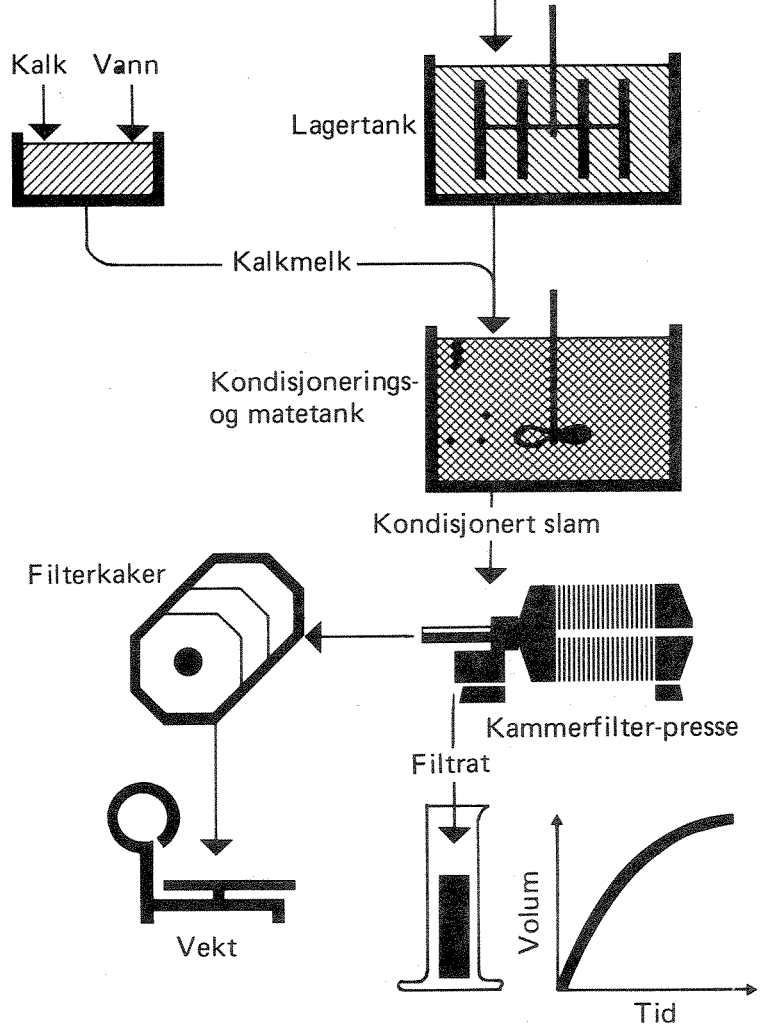


Fig. 1. Forsøksopplegg for avvanningsforsøk med kammerfilterpresse.

3. SANDVIKA KLOAKKRENSEANLEGG

Sandvika kloakkrenseanlegg ligger i Bærum kommune ved utløpet av Sandvikselva. Renseanlegget drives normalt med kjemisk felling med kalk + sjøvann. I perioden 29.1.1979-8.6.1979 er anlegget drevet som forsøksstasjon. Kjemisk felling er gjennomført med ulike vanlig forekommende kjemikalier: Kalk + jernklorid, jernklorid, kalk + sjøvann, og aluminiumsulfat. Parallelt med det produserte slammets avvanningsegenskaper (som rapporteres her) er inngående studert de ulike fellingskjemikalienes innvirkning på renseprosessen og slamproduksjonen. Fullstendige data fra disse undersøkelser blir rapportert i L. Vråle: "Primærfelling med ulike fellingskjemikalier ved Sandvika renseanlegg" (3). Tabell 1 er hentet fra denne rapporten og viser en oversikt over driftsperiodene undersøkelsene omfatter. Her vil dermed kun en kortfattet oversikt over renseanlegget og driften bli gitt. En fullstendig vurdering av renseprosess/slamavvanning krever at de to rapporter leses parallelt.

Sandvika kloakkrenseanlegg er en primærfellingsanlegg. Flyteskjema finnes på fig. 2.

Tekniske data:

- Kapasitet 8000 pe
- Dimensjonerende vannmengde 2800 m³/d
- Tilknyttet ca. 4000 pe inntil 27.3.1979
ca. 7000 pe etter 27.3.1979.

Tabell 1. Oversikt over forsøksperioder ved Sandvika renseanlegg. Januar - juni 1979.

Periode Nr.	Tidsrom 1979	Fellingskjemikalie- kombinasjon	Kommentar til doseringsforhold Gjennomsnitt	Periodens varighet dager	Behandlet avløpsvann m^3	Slam- avvanning i kammer- filterpresse
0	-	Kalk + sjøvann	Usikre data om driften av anleg- get	-	-	Kjeller
1	29.1.- 19.2.	Kalk + jernklorid	Noe variabel kalk: 131 g/m^3 x) jern: 182 g/m^3	21	29 853	Kjeller
2	19.2.- 27.2.	Kalk + jernklorid	Forandret kalk: 191 g/m^3 jern: 180 g/m^3	8	10 242	Ingen
3	27.2.- 9.3.	Kalk + jernklorid	Normal kalk: 130 g/m^3 jern: 240 g/m^3	10	16 896	Kjeller
4	9.3.- 16.3.	Jernklorid	Normal jern: 320 g/m^3	7	15 996	Kjeller
5	16.3.- 20.4.	Kalk + sjøvann	Normal kalk: 241 g/m^3 sjøvann: ca. 3%	35	132 197	Ingen
6	20.4.- 26.4.	Jernklorid	Inntrimming jern: 372 g/m^3	6	26 022	Ingen
7	26.4.- 15.5.	Jernklorid	Normal jern 356 g/m^3	19	59 988	Sandvika
8	15.5.- 29.5.	Aluminiumsulfat	Noe variabel x) Al-løsn. 301 g/m^3	13	39 175	Sandvika
9	29.5.- 8.6.	Kalk + sjøvann	Normal kalk: 206 g/m^3 sjøvann: ca. 3%	10	29 879	Sandvika
Sum:				129	360 248	

Kjemikaliedosering er angitt som teknisk vare.

Jern = Ferriklor 12 (11,87% Fe på vektbasis). Al-løsn. = Lysaker Aluminiumsulfat;
(4,2% Al på vektbasis).

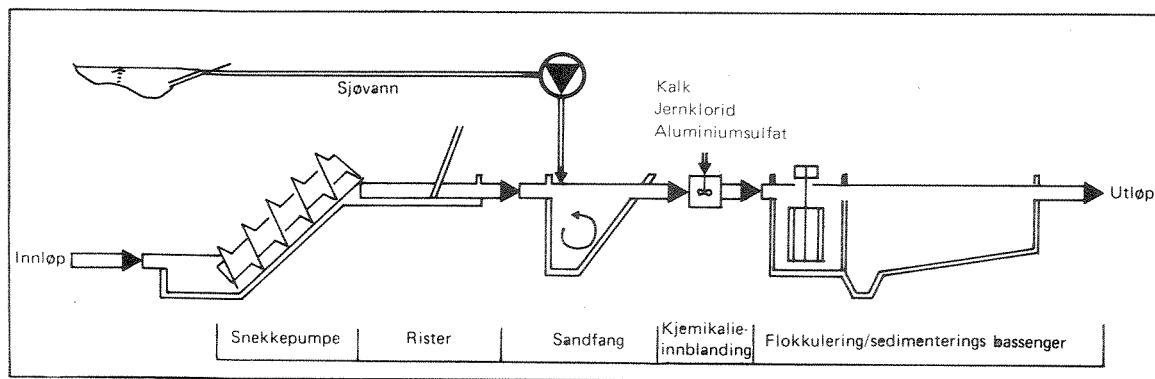


Fig. 2. Flyteskjema over Sandvika renseanlegg.

4. KAMMERFILTERPRESSEN

Pressing i pilotskala ble gjennomført med en presse levert av Edwards & Jones Ltd., Stoke on Trent, England. Spesifikasjoner for forsøkspressen:

Antall kamre	5	
Platestørrelse	ca. 40x40 cm	
Filterareal totalt	1,49 m ²	
Kammertykkelse	2,5 cm eller 3,0 cm.	
Kammer utforming	se fig. 8	
	Kammer tykkelse: 2,5 cm	3,0 cm
Volum: pr. kammer	3,94 l	4,95 l
" ,totalt (5 kamre)	19,70 l	24,75 l

Kondisjoneringstank, volum 320 l

Innrøring av kjemikalier v/ 25 omdr/min

Høytrykkpumpe, trykkområde 0-15 bar

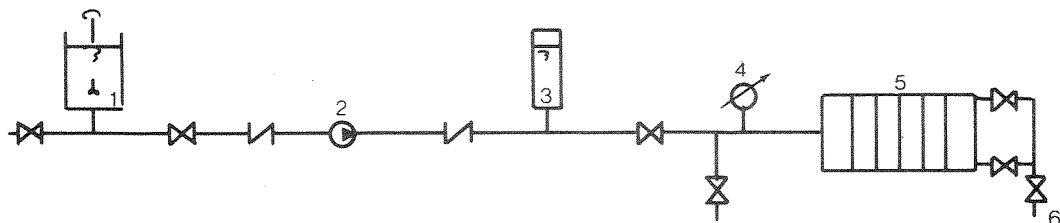
Duktyper: NKD 2392 RILSAN	Porøsitet: 7,16 m ³ /min
NKD 650 COURLENE	"- -
No. 1200 Nylon kontinuerlig filament.	"- 0,14 m ³ /min

Pressen er fremstilt skjematisk i fig. 3 og 4, og på oversiktstegninger, fig. 5, 6 og 7.

4.1 Beskrivelse av forsøkspressen (tall refererer til fig. 3 og 5)

Pressen har en sylindrisk kondisjonerings-/matetank (1). Denne er utstyrt med en omrører med hastighet 25 omdr. pr. min. Tanken var ikke utstyrt med baffler, slik at slammet snart etter startingen av omrøreren svingte rundt i tanken uten nevneverdig turbulens. Forholdene for innblanding av kjemikalier var dermed ikke ideelle idet man ikke kunne garantere rask innblanding i hele slamvolumet.

Fra matetanken sugdes slammet gjennom en tilbakeslagsventil ved hjelp av en stempelpumpe (2) (hydraulisk drevet og trykkregulert). Denne pumpet slammet gjennom en ny tilbakeslagsventil direkte til kamrene (5). Pressen var utstyrt med en trykk-klokke mellom pumpen og kamrene (3). Kammerutformingen som er lik kakeformen, sees av fig. 8.



1. matetank
2. høytrykks stempelpumpe
3. trykkstøtklokke
4. manometer
5. kammerfilterpresse
6. filtrat uttak.

Fig. 3. Flyteskjema for Edwards & Jones Ltd. pilotskala kammerfilterpresse.

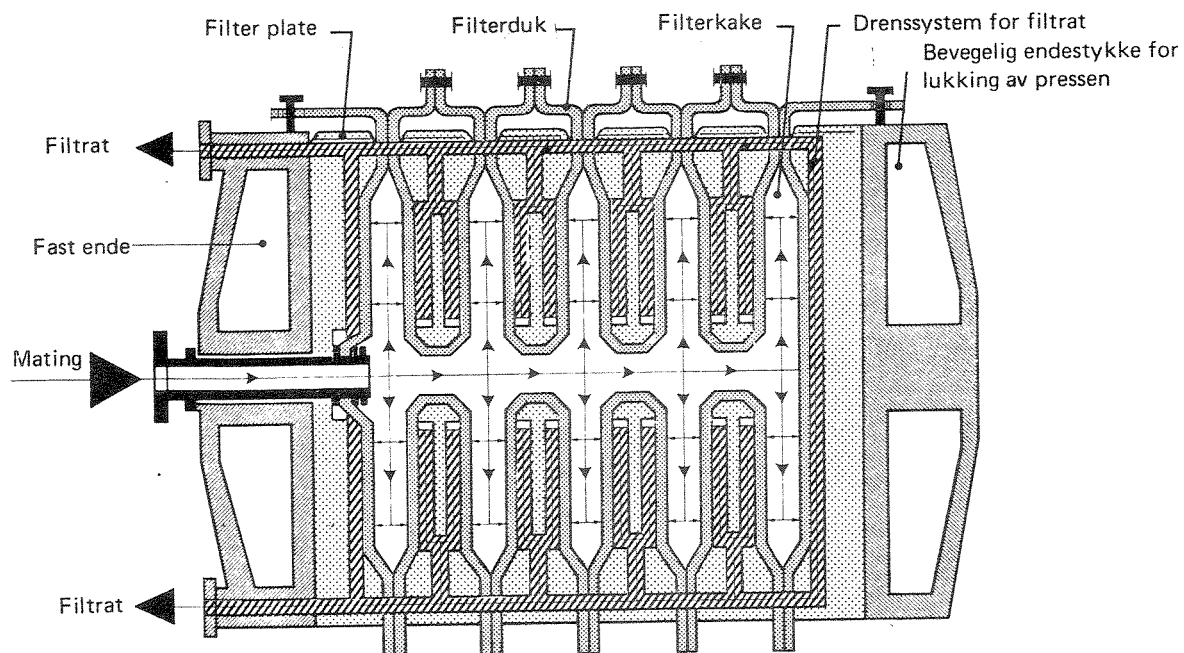
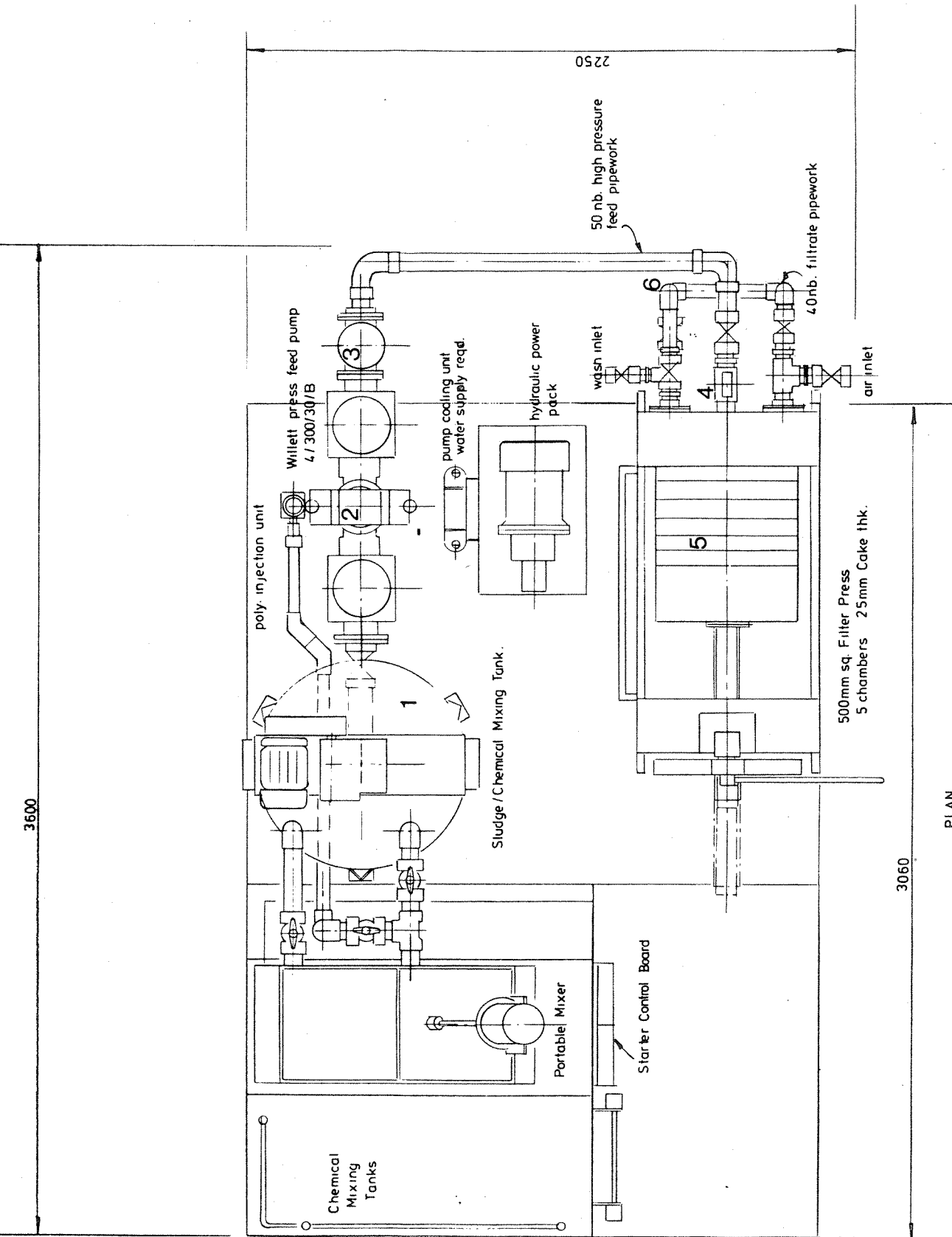


Fig. 4. Kammerfilterpresse, prinsippskisse.

(Gjengitt med tillatelse av Edwards & Jones Ltd.)



PLAN

Fig. 5. Edwards & Jones' forsøkspresse. Oversiktsplan. Gjengitt med tillatelse av Edwards & Jones.

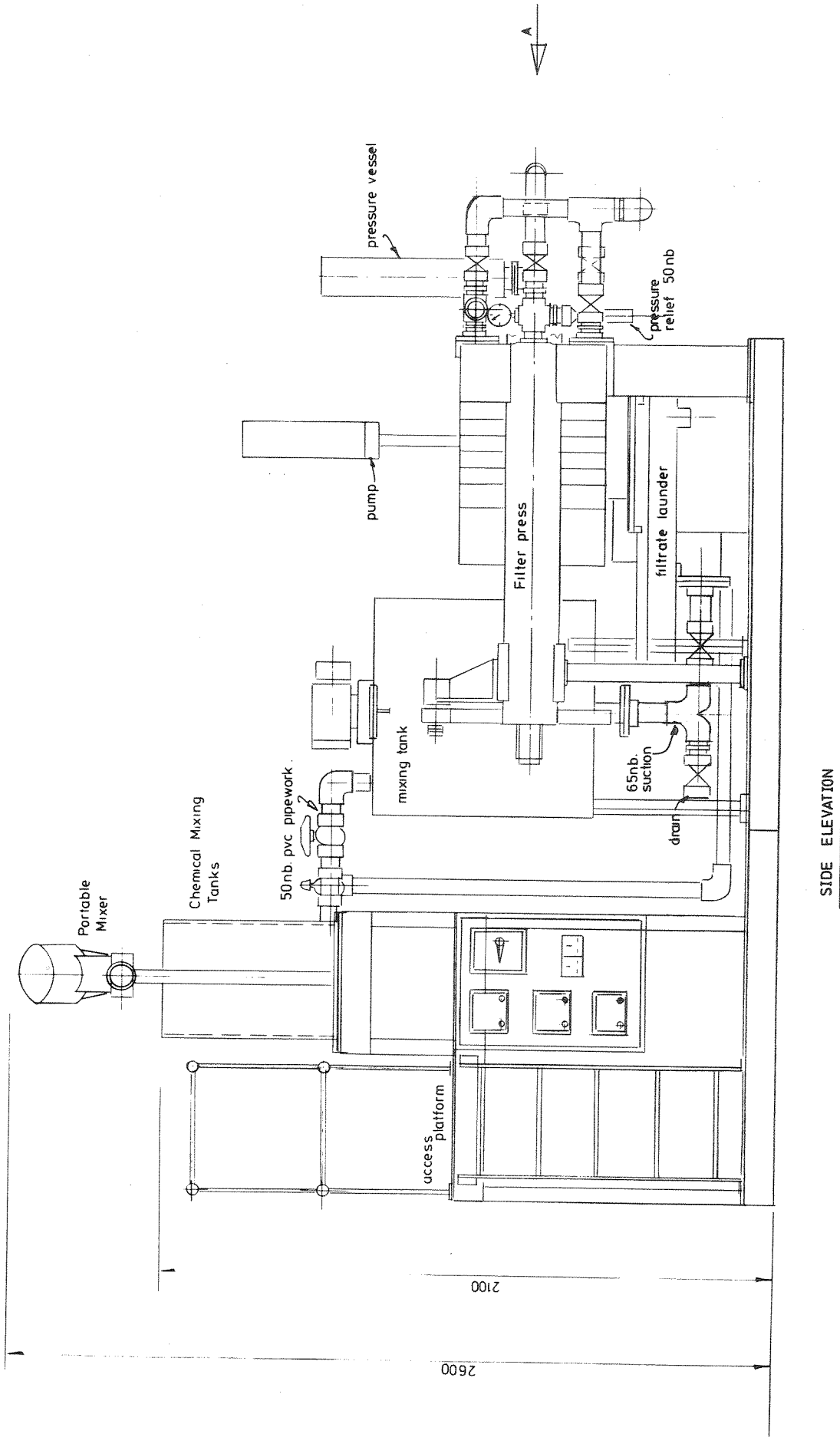


Fig. 6. Edwards & Jones forsøkspresse. Fra siden.

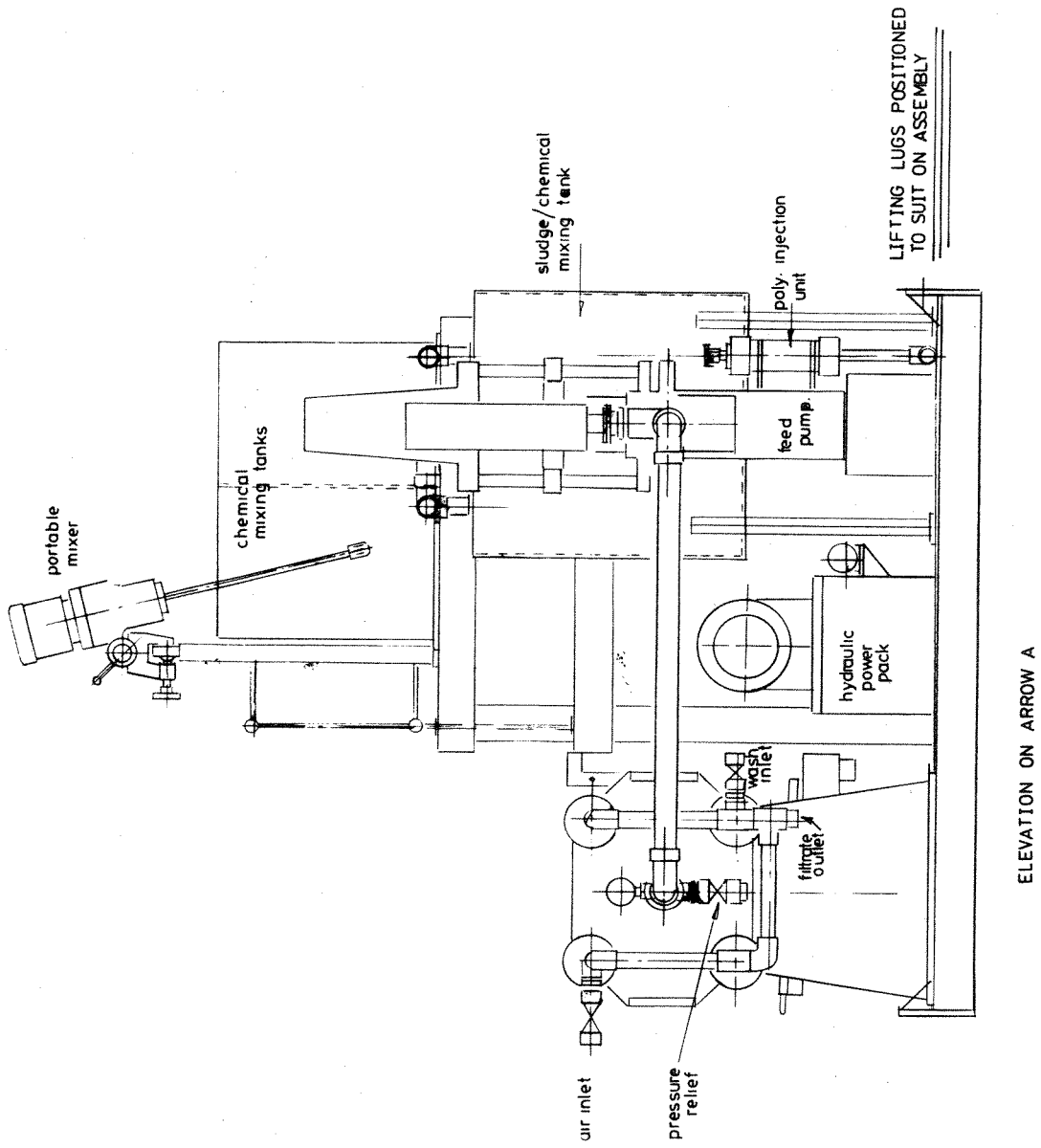


Fig. 7. Edwards & Jones forsøkspresse. Fra enden.

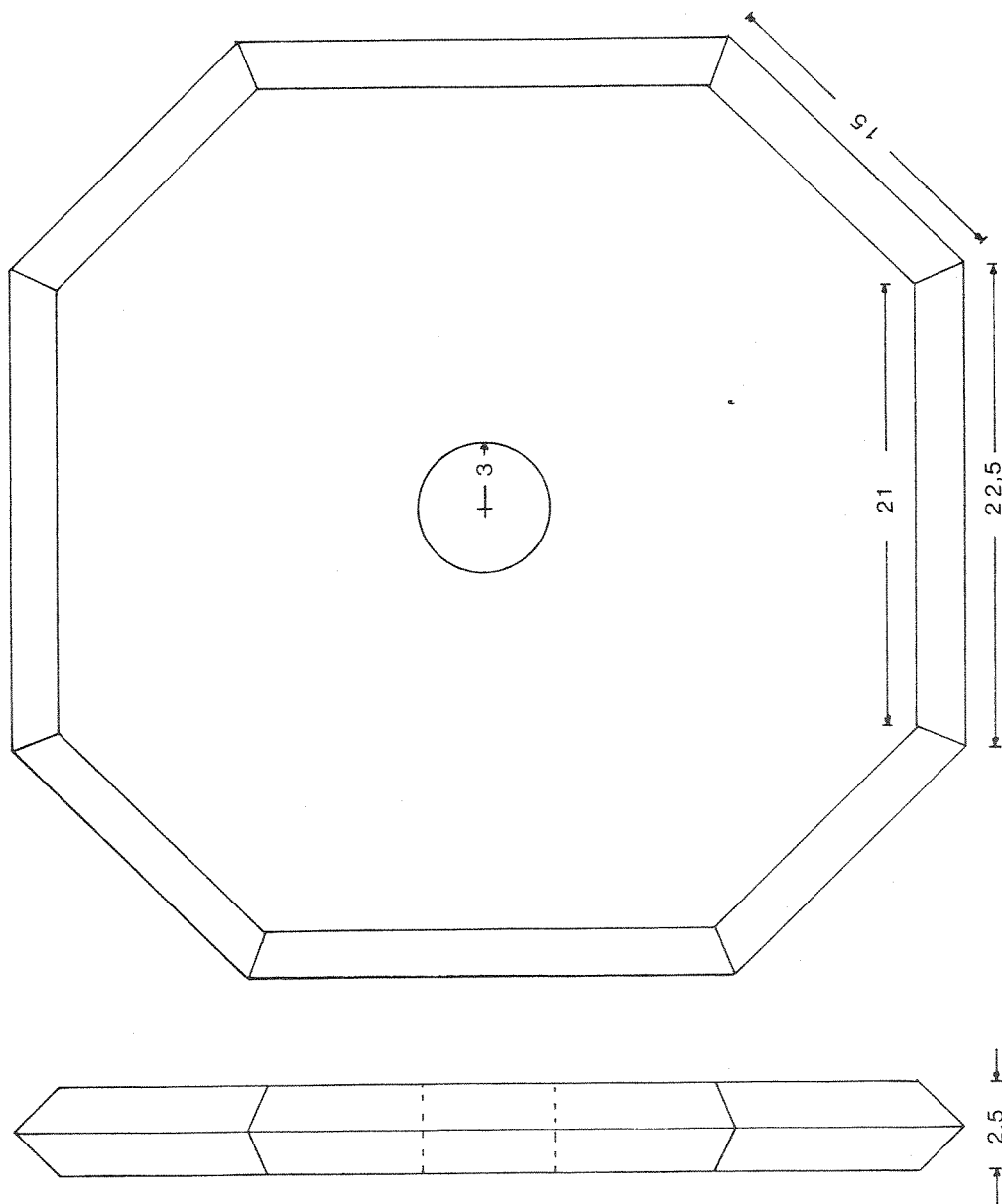


Fig. 8. Kakeform på Edwards & Jones forsøkspresse.
Mål i cm.

4.2 Fremgangsmåte ved pressing. (Tall i parentes refererer til fig.3 og 5.)

Ved undersøkelsene ble følgende prosedyre benyttet:

1. Ønsket råslam-mengde ble fylt i kondisjoneringstanken (1).
2. Dersom jernklorid, FeCl_3 , ble benyttet ved kondisjoneringen, ble denne tilsatt under fyllingen av kondisjoneringstanken.
3. Når stabile forhold var nådd i kondisjoneringstanken, ble kalk, Ca(OH)_2 , tilsatt fra en 10 prosent suspensjon. Kondisjonering skjedde således satsvis, en gang pr. pressing.
4. Etter fullstendig innrøring av kalksuspensjon i slammet iverksattes pressing. Så vel jernklorid som kalk ble dosert på basis av råslam-mets tørrstoffinnhold (TS).
5. Slam gikk fra kondisjoneringstank (1) gjennom høytrykkspumpe (2) til kamrene (5). Filtrat ble samlet opp ved utløpet (6).
6. Måling av tid og filtratmengde skjedde fortløpende.
7. Ved avslutning av pressing ble pumpen stoppet, trykket avlastet, og pressen åpnet.
8. Kakene ble veid.
9. Rørsystemet på matesiden ble gjennompumpet med rent vann for å skylle ut rester av slam før neste pressing. Dukene ble spylt.

5. MÅLEPROGRAM OG VARIABLER

I forbindelse med pressingene ble følgende parametre målt:

	<u>Råslam</u>	<u>Kondisjonert slam</u>
pH	x	x
CST	x	x
Spesifikk filtrermotstand, r	x	x
Alkalitet	x	
Suspendert stoff, SS	x	
Flyktig suspendert stoff, VSS	x	
Tørrstoff	x	x
Total fosfor, tot-P	x	
Ortofosfat, PO_4 -P	x	

Ved kondisjonering:

Volum råslam

Vekt kalk ved utblanding av kalkmelk

Volum vann " "- " "-

Volum jernklorid

Volum kondisjonert slam etter kjemikalietylsetting.

Ved pressing:

Filtratvolum som funksjon av pressetid

Restvolum kondisjonert slam etter pressing

Kake Vekt

" Tørrstoff

" Glødetap

Matetrykk

Kammervolum (kammertykkelse)

Type filterduk.

Variabler:

De viktigste faktorer som ble systematisk variert i forsøksprogrammet var:

Dosering av jernklorid
Dosering av kalk
Matetrykk
Kaketykkelse
Duktype
Syklustid.

Faktorer som antas å kunne innvirke på presseresultatene, men som ikke ble variert systematisk, var særlig:

- Hydrauliske forhold under innblanding av kjemikalier. Dette lot seg ikke gjøre på grunn av utformingen av kondisjoneringsenheten.
- Råslammets tørrstoffinnhold
- Råslammets alder
- Driften av renseanleggene. Driften av Sandvika renseanlegg ble nøye overvåket under forsøksperioden. Endring av driftsparametre utenom fellingskjemikalium ble imidlertid ikke gjort bevisst med henblikk på å se følsomheten i avvanningsegenskapene ved det produserte slammet. Anlegget hadde enkelte driftsforstyrrelser i forsøksperiodene. Disse gjorde at slam tilkjørt fra Sandvika til Kjeller varierte noe i egenskaper. Resultater fra ulike tappinger må derfor sammenliknes med disse variasjonene for øyet. Spesielt nevnes at tidlig i periodene med felling med jern og kalk (periode 1 og 3) hadde man lekkasje av sjøvann inn i oppsamlingsnett. Første slamtapping derpå (1a) hadde noe høyere TS enn de påfølgende (ca. 4,8 prosent mot senere ca. 3,7 prosent).

6. RESULTATER OG BEREGNINGER

6.1 Råslam

Fra Sandvika kloakkrenseanlegg ble sendt råslam til avvanningsforsøk på Kjeller i alt 6 ganger (å 3 m³). Herav stammet 4 forsendelser fra perioder der renseanlegget ble drevet med felling med jernklorid + kalk (type 1a, 1b, 3a og 3b), én fra felling med jernklorid (type 4), og én fra felling med kalk + sjøvann (type 0). Nummereringen refererer til driftsperioder ved Sandvika renseanlegg (tabell 1), slik at 1a og 1b er to slamtappinger i samme driftsperiode.

Avvanningsforsøk ble også utført med forsøkspressen plassert på Sandvika renseanlegg. Ved disse forsøkene ble slammet pumpet direkte fra fortykkeren for hver pressing. Fellingen ble gjennomført primært med jernklorid. En kort periode forsøkte man felling med Lysaker aluminiumsulfat og også med kalk + sjøvann. I tabell 2 finnes to prøver av slam felt med jernklorid, benevnt nr. 7a og 7b, aluminiumsulfat, nr. 8, og kalk + sjøvann, nr. 9 og 0. I tabell 3 finnes på samme måte egenskaper for slam produsert ved renseanleggene Muusøya (kalkfelling) nr. 11, Skjebergkilen (jernklorid felling) nr. 13 og RA II (aluminiumsulfat felling) nr. 12. Tabellen er satt opp som for slam felt ved Sandvika renseanlegg. Opplysninger om råslammets kjemiske og fysiske egenskaper er ment som referansedata. Råslammets avvanningsegenskaper er for noen slamtyper gode nok til å gjøre kondisjonering unødvendig. I motsatt fall er en interessert i kondisjoneringens barhet. Avgjørende i så henseende er i hvilken grad kondisjonering kan frembringe et avvannbart produkt, dvs. hvordan man med rimelig tilsetning av kjemikalier kan oppnå tilfredsstillende egenskaper. Råslam med gode avvanningsegenskaper stammer primært fra felling der kalk inngår.

6.1.1 Slam felt med jernklorid og kalk (slamtype nr. 1a, 1b, 3a, 3b)

De fire mottatte sendinger skilte seg fra hverandre på følgende punkter av betydning:

- Dosering av kalk, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, i produksjonsperiodene
- Dosering av jernklorid, Ferriklor 12
- Tørrstoffinnhold
- Suspendert stoff
- Magnesium.

Dosering av fellingskjemikalium har fluktuert noe i alle periodene. Fluktuasjonenes størrelse er ulik i periodene. Variasjonenes betydning for avvanningsegenskapene er vanskelig å anslå, da middelveidene ligger i det samme området for de fire typene, se for øvrig Vråle (3). Slammets relativt lange oppholdstid i fortykkeren, samt omrøring i denne, kan ha forårsaket at rester av slam fra én fellingsperiode forurenser prøver fra neste periode. Variasjon i magnesiuminnhold skyldes trolig lekkasje av sjøvann inn på ledningsnett. De relativt høye Mg-konsentrasjonene er likevel vanskelig å forklare etter som magnesiumhydroksyd faller ut av løsning først ved $\text{pH} \gtrsim 10$ (4). Variasjonene i Mg-innhold gjenspeiles ikke i avvanningsegenskapene, slik at det må antas at magnesium finnes i forbindelser som er av sekundær interesse for avvanningen, dvs. i løste forbindelser.

Tabell 2. Fysiske og kjemiske egenskaper ved råslam fra Sandvika kloakkrensning.

Slamtype nr	1a	1b	3a	3b	4	0	7a	7b	8	9
Pressing nr.	29- 37	38- 43	44- 51	52- 54	55- 58	13- 17	68	71	75- 78	79- 85
Dosering Aluminiumsulfat	0	0	0	0	0	0	0	0	var.	0
Fellings- kalk	131	130	130- 190	137	0	240	0	0	0	206
kjemi- kalier	0-36	20-24	25	24-33	39	0	42	42	0	0
Sjøvann	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30
Slam levert, dato 1979	12.2	19.2	5.3	9.3	15.3	29.1	8.5	9.5	21.5	-
pH	8,5	8,2	8,1	8,1	7,8	10,5	6,5	6,6	7,0	9,6-11,4
x) Alkalitet	171	167	196	-	203	139	476	580	491	-
Tørrstoff, TS	4,8	3,7	3,8	3,7	5,6	6,5	2,7	2,8	3,2	8,1-8,6
Glødetap	44,9	46,6	46,0	43,1	-	31,0	-	-	-	24,7
x) Suspensert stoff, SS	323	131	97	-	149	458	-	-	-	-
x) Flyktig suspendert stoff, VSS	271	106	68	-	90	393	-	-	-	-
x) Kjemisk oksygenforbruk, KOF	2057	1613	1683	-	2171	1649	18480	15450	21430	-
x) Total fosfor, tot-P	1,96	1,17	-	-	-	1,23	450	500	730	737
x) Ortofosfat, PO ₄ -P	0,80	0,22	-	-	-	0,11	0,3	1,6	2,4	1,2
Aluminium	283	380	340	-	340	336	-	-	913	-
Jern	3700	5300	4950	-	6500	470	5500	8000	6157	-
Kalsium	5000	1430	3150	-	2770	4300	153	164	126	20150
Magnesium	960	1660	1000	-	1700	930	6,9	7,6	94	3300
Capillary suction time, CST	92	90	94	76	111	49,2	58,9	58,8	89,0	48,3
CST/TS	19,2	24,3	24,7	20,5	19,8	7,6	21,8	21,0	27,8	5,7
Spesifikk filtermotstand, r	96,7	87,0	94,1	67,7	91,9	27,9	-	-	-	-
Kompressibilitet, s	-	-	0,76	-	-	-	-	-	-	-
Slamvolum, 30 min	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-

x) NB! Følgende analyser er gjort på slamvann for prøve nr. 0, 1a, 1b, 3a, 3b, 4 og 9 (sentrifugert slamprøve): pH, alk, SS, VSS, KOF, tot-P, PO₄-P. Tilsvarende parametre for slamtyper 7a, 7b og 8 gjelder hel slamprøve.

Råslammets tørrstoffinnhold (TS) vil sterkt påvirke slammets avvannbarhet i kammerfilterpresser. Av tabell 2 ser man at slamtype 1a hadde TS ca. 1 prosent høyere enn 1b, 3a og 3b. Dersom man ønsker å studere virkningen av ulike kondisjoneringsdoser e.l., må forsøk gjøres med slam uten store TS-variasjoner. Disse vil ellers maskere utslag på grunn av variasjon i kondisjoneringsdosen (se fig. 22).

Capillary Suction Time (CST) og spesifikk filtrermotstand (r) er standardiserte parametre som brukes i laboratoriet til å få et inntrykk av slammets avvannbarhet. (Nærmere opplysninger finnes i Paulsrud (5).) Av disse er spesielt spesifikk filtrermotstand et mål for hvor lett slammets avvannes ved filtrering eks. vakuumfilter, silbåndpresser og kammerfilterpresser. Da spesifikk filtrermotstand er en tidkrevende analyse, er det gjort forsøk på å korrelere mot den langt raskere CST/TS måling. Ett eksempel på slik korrelasjon er vist i fig. B1 i appendix B for kondisjonerte prøver av kalk + jernklorid-felt slam. Råslammets CST/TS- og r -verdier er relativt stabile i forsøkene med kalk + jernklorid-felt slam (slamtype 1a, 1b, 3a og 3b). (Se også tabell 4.)

6.1.2 Slam felt med jernklorid (slamtype 4, 7a og 7b)

Renseanlegget ble en kort periode i mars 1979 drevet med jernklorid felling (periode 4). Perioden var så vidt kort at det ikke kan garanteres at anlegget ble drevet optimalt, eller at slammets ble helt representativt. Slamprøver 7a og 7b derimot stammer fra en lengre periode med jernklorid felling og skulle gi et godt bilde av denne slamtypens egenskaper. Type 4 skulle etter driftsdata fra renseanlegget være ganske lik type 7a og 7b, men en rekke parametre er markert forskjellig.

pH er for type 4 7,8 mens pH i periode 7 vedvarende lå rundt 6,5. Råslammets TS var i slamtype 4 hele 5,6 prosent mens man ikke klarte å oppnå høyere verdier enn ca. 3,5 prosent i periode 7. Man merker seg videre at Ca-konsentrasjonen ligger nær 20 ganger høyere i type 4. Dette kan skyldes et etterslep etter forutgående kalk + jernklorid-felling, periode 1, 2 og 3. Dette kan også være forklaring på den høyere pH. Slamtype 4 blir derfor rapportert separat i følgende resultatberegninger, mens slamtype 7a og 7b inngår i resultatene fra presseforsøk i mai, periode 7. Slamegenskapene i denne siste perioden varierte så vidt lite at type 7a

og 7b kan betraktes som representative, og like. Slamtype 7 er felt med noe høyere jerdoser enn type 4, og Fe-konsentrasjonen regnet i prosent av TS var 11 prosent i type 4 og 20-30 prosent i type 7.

6.1.3 Slam felt med kalk + sjøvann (slamtype 0 og 9)

Felling med kalk + sjøvann utnytter sjøvannets innhold av magnesium som hjelpekoagulant (6, 7). Magnesiumhydroksyd, $Mg(OH)_2$, dannes og felles ut ved $pH > 10$. pH ligger derfor høyere i denne slamtypen enn for de andre som er undersøkt ved Sandvika renseanlegg. Et høyt forbruk av uorganiske kjemikalier (kalk) reduserer prosentvis innhold av flyktig (organisk) tørrstoff.

Magnesium vil først ved $pH > 10$ foreligge i fast form, $Mg(OH)_2$ og påvirke slammets fysiske egenskaper. Høyt innhold av Mg i typene 1-4 skyldes som nevnt lekkasje av sjøvann inn i oppsamlingsnettet.

Avvanningsparametrene CST/TS og spesifikk filtrermotstand ligger lavt for kalk/sjøvannsfelt slam og indikerer gode avvanningsegenskaper. Dette bekreftes av data fra kammerfilterpressing av slammene idet råslammet avvannes så vidt godt at kondisjonering med jernklorid og/eller kalk er nødvendig, og dertil har liten eller ingen effekt.

6.1.4 Slam felt med aluminiumsulfat (slamtype 8)

Slamanalysen er gjort tidlig i perioden, og en har funnet høyt Fe-innhold, et etterslep fra periode 7. Tradisjonelt er aluminiumfelt slam kjent for å ha skjøre fnokker og kunne være vanskelig avvannbart. Dette er i meget sterk grad avhengig av hydrauliske forhold i renseanlegget. Spesielt er forholdene under innblanding og flokkulering viktige. Slammene som ble produsert ved Sandvika, bød ikke på vesentlige problemer ved avvanningen.

6.1.5 Slam fra andre renseanlegg

Tabell 3 viser data for råslam fra renseanleggene Muusøya (nr. 11), RA II (nr. 12) og Skjebergkilen (nr. 13).

Muusøya - felling med kalk (nr. 11). Slamtype 11 utmerker seg ved høy pH (12,5) etter tilsetning av 600 g kalk pr. m^3 avløpsvann. TS er målt til 4,6 prosent, noe lavt for kalkfelt slam sammenliknet med andre slamtyper. Avvanningsparametrene CST/TS og r ligger meget lavt i råslammet og indikerer gode avvanningsegenskaper også for ukondisjonert slam.

Tabell 3. Fysiske og kjemiske egenskaper ved råslam fra renseanleggene:
 Muusøya: Kalkfelling, RA II: Aluminiumsulfat,
 Skjebergkilen: Jernklorid

Slamtype nr.			11	12	13
Pressing nr.			23-28	5-12	18-22
Renseanlegg			Muusøya	RA II	Skjebergkilen
Doserings- felling- kjemi- kalier	Kalk	g/m ³	ca. 600	0	0
	Jernklorid	g Fe/m ³	0	0	42-51
	Aluminiumsulfat	g/m ³	0	140	0
Slam levert, dato 1979			7.2	22.1	1.2
Kjemiske parametre	pH		12,5	5,6	6,9
	x) Alkalitet	mekv/l	140	68	-
	Tørrstoff, TS	%	4,6	5,3	3,4
	Glødetap	% av TS	24,0	70,5	31,3
	x) Suspendert stoff, SS	mg/l	105	842	140
	x) Flyktig suspendert stoff, VSS	mg/l	-	577	38
	x) Kjemisk oksygenforbruk, KOF	mg O ₂ /l	662	2834	282
	x) Total fosfor, tot-P	mg P/l	1,65	4,8	3,73
	x) Ortofosfat, PO ₄ -P	mg P/l	0,03	0,03	0,11
	Aluminium	mg Al/l	466	945	300
	Jern	mg Fe/l	180	80	6900
	Kalsium	mg Ca/l	11000	0,1	245
	Magnesium	mg Mg/l	210	1,9	520
Avvanning	Capillary suction time, CST	s	21,2	97	38
	CST/TS	s/%	4,6	18,8	11,2
	Spesifikk filtrermotstand	10 ¹² m/kg	6,0	105,7	27,8

x) NB! Følgende analyser er gjort på slamvann (sentrifugert prøve):
 Alk, SS, VSS, KOF, tot-P, PO₄-P.

RA II - felling med Lysaker aluminiumsulfat (nr. 12). Slammets hadde uvanlig høyt TS-innhold, 5,6 prosent, fellingskjemikaliet tatt i betraktning, og også en svært høy andel organisk TS (flyktig TS = 70,5 prosent). Avvanningsegenskapene er normalt gode og ligger omtrent som for aluminiumfelt slam fra Sandvika (type 8).

Skjebergkilen - felling med jernklorid (nr. 13). Slammets fra Skjebergkilen kan sammenliknes med jernklorid-felt slam fra Sandvika (typene 4, 7a og 7b). Skjebergkilen har pH 6,9; relativt høyt for jernfelt slam. Avvanningsegenskapene for slam nr. 13 er gode ($CST/TS = 11,2 \frac{s}{g}$ og $r = 27,8 \times 10^{12} \text{ m/kg}$). Slammets hadde også god respons på kondisjonering i motsetning til tilsvarende jernkloridfelte slamtyper fra Sandvika.

6.2 Kondisjonering

Kondisjonering innebærer at slammets avvanningsegenskaper søkes forbedret ved at kjemikalier tilsettes. Valg av kondisjoneringmiddel henger sammen med slammets opprinnelse (fellingskjemikalium etc. og hvilken avvanningsapparat som benyttes).

Ved avvanning med kammerfilterpresser benyttes vanligvis følgende kondisjoneringmiddel, alene eller i kombinasjon:

- Jernklorid (eventuelt jernsulfat)
- jernklorid + kalk
- kalk
- polyelektrolytter
- aluminiumklorhydrat
- aske.

I disse undersøkelsene er kun benyttet kondisjonering med jernklorid, jernklorid + kalk, eller kalk alene. Hovedvekten er lagt på kondisjonering med kalk idet innledende studier og forsøkspressing indikerte at de kjemiske slamtypene som er undersøkt, ble lite påvirket av jernkloridtilsetning i de kalkdose-områdene som var aktuelle. Det må understrekes at spesielt biologiske slamtyper (eks. aktivslam og utråtnet slam) vil kunne reagere vesentlig annerledes på kondisjonering, slik at resultatene kun er gyldige for kjemisk felt slam.

Slammets avvanningsegenskaper kan ofte forbedres til et ønsket nivå ved kondisjonering. Kjemikaliebehovet vil imidlertid variere fra én slamtype til en annen. Kondisjonerbarhet er således et begrep som innebærer hvordan slammets avvanningsegenskaper forbedres ved øking av kondisjoneringsdosen. Det er intet til hinder for at et råslam med dårlige avvanningsegenskaper kan være godt kondisjonerbart, dvs. få gode egenskaper etter kjemikalietilsetning.

Tabell 4 og 5 gir en oversikt over alle kondisjoneringer som er utført, og endringer i slammets avvannbarhet målt med standardiserte parametre (CST/TS og r). Rapporteringen av resultater fra kammerfilterpressing av slammet (kap. 6.3) viser hvordan kondisjonering virkelig forbedrer pressekapasiteten. Imidlertid er ikke alle forsøk med kammerfilterpressen utført under helt like betingelser (pressetid, pressetrykk etc.) slik at en viss vekt her legges på å fremstille effekten av kondisjonering også ved laboratorietester. Det understrekes at kondisjoneringene som er vist i tabell 4 er utført ved pressing, og prøvene er hentet direkte fra matetanken på kammerfilterpressen. Tabell 4 er ordnet etter stigende kondisjoneringsdose.

6.2.1 pH

De undersøkte slamtypenes pH respons ved kalk-kondisjonering er fremstilt i fig. 9, 10 og 11 som funksjon av kondisjoneringsdosen (kalk i prosent av TS). Fremstilling av kondisjoneringsdosen i prosent av TS i råslammet kan være litt villedende. Imidlertid er alle avvanningsresultater fremstilt som funksjon av kalkdose i prosent av TS. Dette er derfor valgt også ved plotting av pH. pH forløpet ved kalktilsetning til slammet er bestemt av slammets bufferkapasitet. Denne er uttrykt i mekv. pr. volumenhet, og sier intet om bufferkapasitet pr. TS enhet.

Slamtypene med høyest alkalitet (7a og 7b og 8) får en svakere pH stigning ved kalktilsetting enn prøver med lavere alkalitet. Høy pH er ikke nødvendigvis en ønsket effekt av kondisjonering. Dersom det avvannede slammet skal komposteres, vil høy pH ($\geq 10,5$) hindre omsetning av organisk materiale og komposteringen slå feil eller forsinkes. Imidlertid vil den høye pH effektivt kunne drepe enkelte patogene bakterier. Denne effekt er studert ved et utvalg av kondisjoneringer i disse undersøkelsene. Full rapportering av de bakterielle forhold ved kalk-kondisjonering av slam for kammerfilterpressing finnes i G. Langeland (1). Undersøkelsen gjelder slamtype 0, 1, 3, 11, 12 og 13.

Tabell 4. Sandvika renseanlegg. Kondisjonering av slam.
Tabellen er ordnet etter stigende kondisjoneringsdose.

Pressing nr.	Fellings-kjemikalium slamtype nr.	Råslam					Kondisjonering			Kondisjonert slam				
		TS %	Gl.tap % av TS	CST TS s/%	Spes.filtrer motstand 10 ¹² m/kg	pH	Jernklorid Fe % av TS	Kalk Ca(OH) ₂ % av TS	TS %	Gl.tap % av TS	CST TS s/%	Spes.filtrer motstand 10 ¹² m/kg	pH	
17	kalk +	6,4	31,9	7,5	25,7	10,4	-	-	-	-	-	-	-	
16	siøvann	6,4	31,0	6,8		10,6	-	20,3	6,6	25,5	4,6	8,3	12,9	
13		6,6	31,0	8,2		10,7	4,0	-	7,8	-	5,0	16,5	8,6	
14		6,6	31,1	8,8		10,5	4,0	9,5	7,7	-	3,4	10,4	9,5	
15	Nr. 0	6,3	30,5	6,8		10,4	4,2	21,7	7,6	27,5	3,1	60,0	10,0	
40	Jernklorid	3,7	46,5	27,0	86,6	8,2	-	-	-	-	-	-	-	
29	+	5,1	42,6	22,5	114,4	9,0	-	-	-	-	-	-	-	
42	kalk	3,7	46,3	23,0	-	8,0	-	7,0	3,7	44,6	11,9	48,3	9,7	
54		3,7	43,1	20,7	69,1	8,1	-	13,0	3,9	39,5	-	16,6	10,9	
52		3,7	-	20,1	66,5	8,2	-	13,0	3,9	39,1	5,7	16,9	11,2	
51		3,8	44,8	-	-	-	-	13,2	3,8	42,6	6,4	16,7	11,4	
41		3,8	46,0	24,4	-	8,2	-	14,1	3,9	33,9	5,9	18,3	10,8	
30		4,5	45,4	-	-	8,8	-	18,7	5,1	36,6	3,8	9,1	12,3	
46	Nr. 1a, 1b	3,9	57,9	-	-	-	-	20,1	4,2	52,7	4,6	-	12,1	
48	Nr. 3a, 3b	3,8	45,7	23,6	97,0	8,1	-	21,0	4,1	38,4	4,8	12,3	12,0	
49		3,8	44,9	21,4	-	8,1	-	21,0	4,1	37,5	5,1	-	12,0	
38		3,7	47,2	24,3	-	8,3	-	21,1	4,1	40,0	5,1	10,4	12,0	
45		3,7	-	28,4	99,6	8,5	-	21,2	4,1	53,2	5,6	14,3	12,2	
37		4,9	46,6	20,8	-	8,5	-	21,3	5,6	37,3	4,6	11,3	12,3	
50		3,9	46,6	23,8	85,3	8,0	-	21,5	4,2	38,4	5,1	-	12,1	
44		3,7	48,1	28,4	99,6	8,5	-	21,5	4,2	-	4,9	11,3	12,2	
47		3,8	45,7	23,6	-	8,1	-	21,5	4,1	50,1	4,8	-	12,1	
43		3,5	46,7	-	-	8,1	-	21,7	4,0	41,5	5,3	12,5	12,0	
39		3,6	46,9	23,6	-	8,3	-	21,7	4,1	39,8	4,6	10,4	12,0	
31		4,7	43,9	16,5	-	8,8	2,1	5,6	4,9	44,6	8,8	37,8	7,8	
36		5,1	44,9	20,0	-	8,5	2,0	10,3	5,1	41,2	8,6	24,8	8,7	
34		4,8	44,6	18,3	-	8,5	2,1	16,4	5,0	38,7	6,4	16,9	9,5	
32		4,9	45,1	17,1	-	8,7	4,1	5,4	5,6	40,1	8,4	23,6	6,7	
33		4,8	44,9	17,7	-	8,7	6,2	5,5	5,9	39,1	5,9	15,2	5,9	
35		4,7	45,8	17,7	-	8,5	6,4	16,8	6,3	38,2	5,6	14,0	7,3	
57	Jernklorid	5,4	-	23,6	76,7	7,7	-	5,6	5,3	-	14,0	54,5	9,6	
58		5,4	-	19,6	-	7,8	-	11,1	5,5	-	-	27,6	10,6	
55	Nr. 4	5,7	-	18,8	107,0	7,7	-	16,1	6,3	-	4,9	20,2	11,9	
56		5,7	-	17,9	-	7,8	-	21,0	6,3	-	4,3	12,0	12,4	
67	Jernklorid	2,4	-	21,2	-	6,6	-	14,4	2,8	-	16,3	-	9,5	
68		2,7	-	21,8	-	6,5	-	17,1	3,1	-	14,5	-	10,3	
69	Nr. 7a, 7b	2,5	-	18,8	-	6,6	-	19,7	3,1	-	13,8	-	10,6	
66		2,5	-	23,7	-	6,5	-	20,2	3,0	-	14,4	-	10,4	
74		2,5	-	-	-	6,5	-	23,5	3,3	-	7,7	-	11,2	
62		2,1	-	20,9	-	6,8	-	25,5	2,6	-	13,7	-	10,8	
72		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
73		2,8	-	23,9	-	6,6	-	25,4	3,2	-	11,1	-	10,8	
60		2,6	-	18,5	-	7,2	-	28,3	3,2	-	9,8	-	11,8	
64		2,3	-	24,5	-	6,4	-	28,5	2,9	-	11,0	-	11,8	
70		2,5	-	26,6	-	6,6	-	28,9	3,6	-	8,8	-	11,4	
71		2,8	-	21,0	-	6,6	-	31,3	3,7	-	8,6	-	11,9	
59		2,3	-	21,5	-	7,3	-	33,0	3,5	-	8,4	-	12,4	
63		2,1	-	23,1	-	6,5	-	38,9	2,9	-	10,5	-	12,1	
65		2,5	-	20,8	-	6,6	-	41,8	3,5	-	9,2	-	12,4	
61		2,1	-	20,6	-	7,1	-	45,7	3,2	-	7,8	-	12,3	

Tabell 4. Sandvika rensanlegg. Fortsatt.

Pressing nr.	Fellings- kjemikalium samtpe nr.	Råslam				Kondisjonering				Kondisjonert slam			
		TS %	Gl.tap % av TS	CST TS s/%	Spes.filtrer motstand 10 ¹² m/kg	pH	Jernklorid Fe % av TS	Kalk Ca(OH) ₂ % av TS	TS %	Gl.tap % av TS	CST TS s/%	Spes.filtrer motstand 10 ¹² m/kg	pH
77	Aluminium- sulfat	3,2	-	28,3	-	7,1	-	14,4	3,6	-	7,9	-	10,6
78		3,2	-	-	-	7,1	-	19,0	3,7	-	6,4	-	10,3
76	Nr. 8	3,2	-	27,8	-	7,1	-	23,9	3,9	-	6,0	-	11,3
75		3,4	-	27,4	-	7,1	-	32,0	4,4	-	5,8	-	11,6
79	Kalk + sjøvann	8,1	27	6,4	-	9,6	-	-	-	-	-	-	-
80		8,4	24	6,5	-	9,4	-	-	-	-	-	-	-
81		8,6	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	Nr. 9	8,5	25	5,4	-	9,4	-	-	-	-	-	-	-
83		8,6	23	5,2	-	10,8	-	-	-	-	-	-	-
84		8,2	22	5,3	-	11,1	-	-	-	-	-	-	-
85		8,1	-	5,9	-	11,2	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 5. Muusøya, RA II og Skjebergkilen. Kondisjonering av slam. Tabellen er ordnet etter stigende kondisjoneringsdose.

Pressing nr.	Fellings-kjemikalium slantype nr.	Råslam				Kondisjonering			Kondisjonert slam				
		TS %	Gl.tap % av TS	CST TS s/%	Spes.filtrer motstand 10 ¹² m/kg	pH	Jernklorid Fe % av TS	Kalk Ca(OH) ₂ % av TS	TS %	Gl.tap % av TS	CST TS s/%	Spes.Filtrer motstand 10 ¹² m/kg	pH
28	Muusøya	4,5	23,9	5,7	6,5	12,4	-	-	-	-	-	-	-
23	Kalk	4,7	24,3	4,3	6,0	12,8	-	-	-	-	-	-	-
24	Nr. 11	4,4	24,0	4,5	-	12,8	1,9	-	4,8	24,0	3,1	3,8	12,7
27		4,7	23,6	4,4	-	12,5	1,8	9,1	5,2	23,5	3,2	3,5	12,4
25		4,8	24,0	4,6	-	12,7	4,4	-	5,3	29,5	2,8	3,8	11,8
26		4,7	24,0	3,9	-	12,4	6,2	-	-	-	-	6,6	11,5
11	RA II	5,6	70,1	18,0	-	5,8	-	15,0	5,9	62,8	12,3	72,1	9,7
8	Aluminium-	4,9	70,9	15,9	-	5,3	-	23,1	5,3	59,5	6,6	27,9	10,5
12	sulfat	6,3	69,3	18,1	-	5,8	-	26,7	7,0	58,2	7,4	34,4	10,5
7	Nr. 12	4,8	70,6	-	-	-	-	31,7	5,3	56,4	5,4	20,7	11,0
9		4,9	70,9	18,2	-	5,7	-	47,4	5,6	52,2	3,8	7,5	12,0
5		5,5	70,5	-	-	-	1,0	20,7	6,1	58,7	6,9	33,7	9,1
6		5,9	70,6	-	-	-	1,0	28,1	6,0	56,2	6,1	24,7	9,6
10		5,3	70,9	19,4	-	5,7	2,0	43,6	6,8	49,8	4,0	10,0	10,8
19	Skjeberg-	3,3	31,3	9,5	-	7,0	-	12,7	3,3	28,8	5,3	12,0	10,9
22	kilen	3,3	32,0	-	-	-	-	16,6	3,6	29,2	5,2	8,5	12,3
18	Jernklorid	3,7	31,0	10,6	28,7	6,7	-	21,8	3,6	30,9	3,9	3,6	12,2
21	Nr. 13	3,2	31,1	13,6	26,9	7,1	0,8	20,1	3,6	28,0	3,8	6,1	11,1
20		3,4	31,1	11,3	-	6,9	0,7	23,6	3,6	27,0	3,9	2,8	12,3

Slamtype Nr	1a, 1b, 3a, 3b
Kjemisk felling med	Jernklorid + kalk
Renseanlegg	Sandvika
Kondisjonering	Jernklorid + kalk

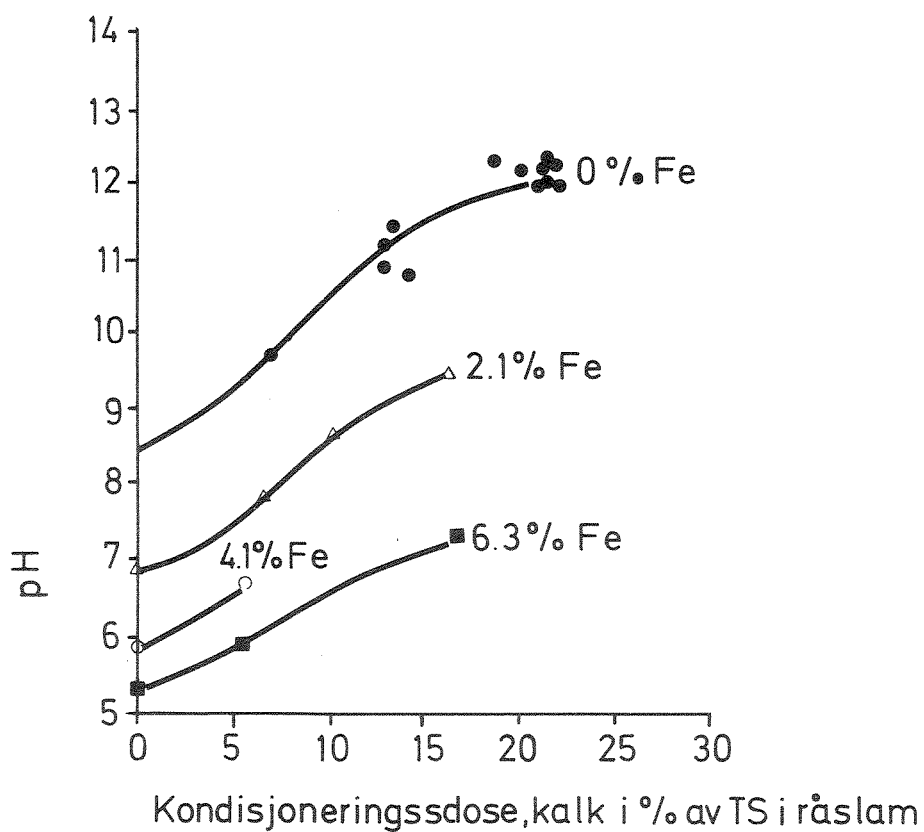


Fig. 9. pH som funksjon av kalkdose. Slam felt med jernklorid + kalk.

Slamtype Nr	4 , 13 , 7
Kjemisk felling med	Jernklorid
Renseanlegg	Sandvika nr 4, Skjebergkilen nr 13, Sandvika nr 7
Kondisjonering	Kalk

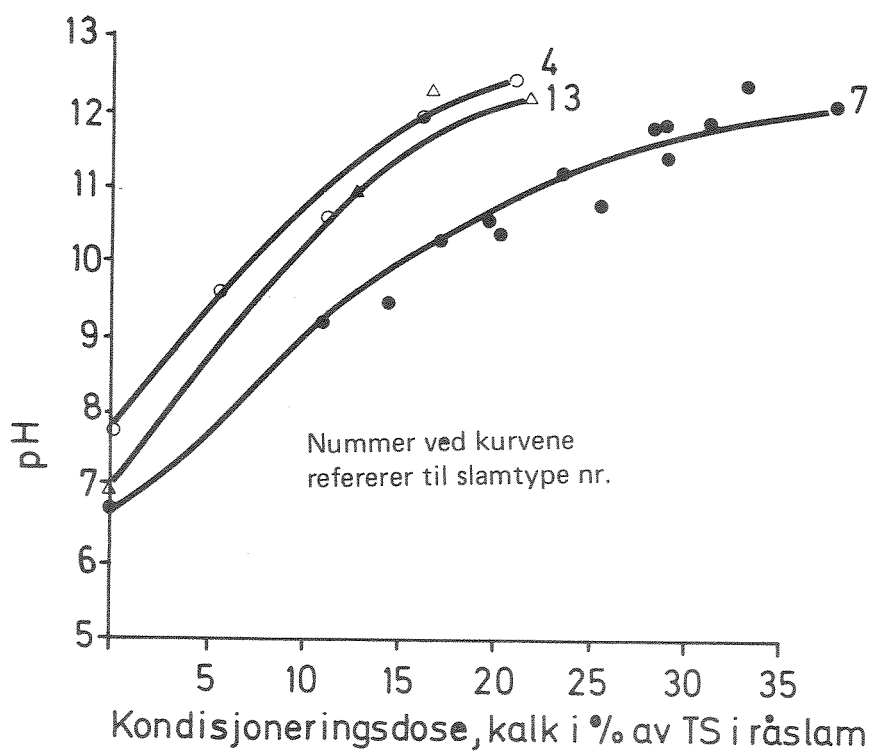


Fig. 10. pH som funksjon av kalkdose. Slam felt med jernklorid.

Slamtype Nr	8,12,12
Kjemisk felling med	Aluminiumsulfat
Renseanlegg	Sandvika nr.8 Ra II nr 12
Kondisjonering	Jernklorid+kalk

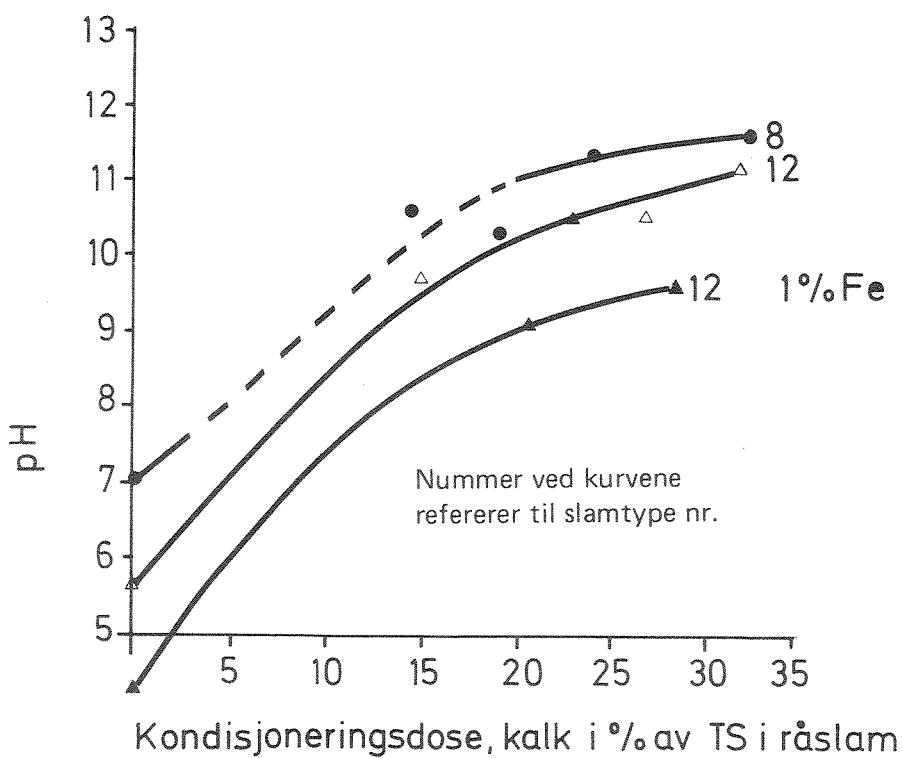


Fig. 11. pH som funksjon av kalkdose. Slam felt med aluminiumsulfat.

Slammets pH respons ved kalk-kondisjonering er i tillegg til alkaliteten påvirket av eventuell jernklorid tilsatt. Fig. 9 viser for slamtype 1 og 3 (felt med jernklorid + kalk) hvordan henholdsvis 2, 4 og 6 prosent jern tilsatt presser pH ned. Fig. 11 viser samme effekt for slam fra RA II (felt med aluminiumsulfat).

pH er ikke nødvendigvis godt korrelert med avvanningsegenskapene, men er likevel en viktig parameter som påvirkes av kondisjoneringen. Dersom man av hensyn til viderebehandling av slammet ønsker spesielt høy eller lav pH, kan denne manipuleres ved tilsetning av jernklorid. Fig. 12 viser for én av slamtypene (nr. 1 og 3, felling med jernklorid + kalk) hvordan spesifikk filtrermotstand kan nå en lav verdi i nøytralt pH område ved kondisjonering med 6 prosent jern og 0-15 prosent kalk.

Slam fra felling med kalk + sjøvann eller kalk har høy pH ($\geq 10,5$). Slamtypene har så gode avvanningsegenskaper at en vil avvanne disse med liten eller ingen tilsetning av jernklorid. En må derfor regne med høy pH i sluttproduktet.

6.2.2 Spesifikk filtrermotstand (r)

Fig. 13, 14 og 15 viser hvordan spesifikk filtrermotstand påvirkes av kalk-kondisjonering. Det må bemerkes at avvanning i kammerfilterpresser ikke gir et like entydig bilde. Spesifikk filtrermotstand er et uttrykk for filtreringshastigheten alene. Dersom kalk tilsettes slam, vil TS-innholdet øke ved siden av at filtreringsegenskapene forbedres. I en kammerfilterpresse vil økende del av kapasiteten (volum og areal) opptas av kondisjoneringsmiddelet. Selv om avvanningshastigheten pr. volum kondisjonert slam øker (r avtar), øker dermed ikke nødvendigvis filterpressens netto kapasitet tilsvarende. Spesifikk filtrermotstand er imidlertid en god indikator for påvisning av store utslag ved kondisjonering.

Fig. 13 viser for slamtype 1 og 3 hvordan filtrermotstand ved lave kalkdoser (< 15 prosent) kan reduseres ved tilsetning av jernklorid. Ved 6 prosent jern tilsatt er filtrermotstanden nær uavhengig av kalktilsetningen.

Slamtype Nr	1a, 1b, 3a, 3b
Kjemisk felling med	Jernklorid+kalk
Renseanlegg	Sandvika
Kondisjonering	Jernklorid+kalk

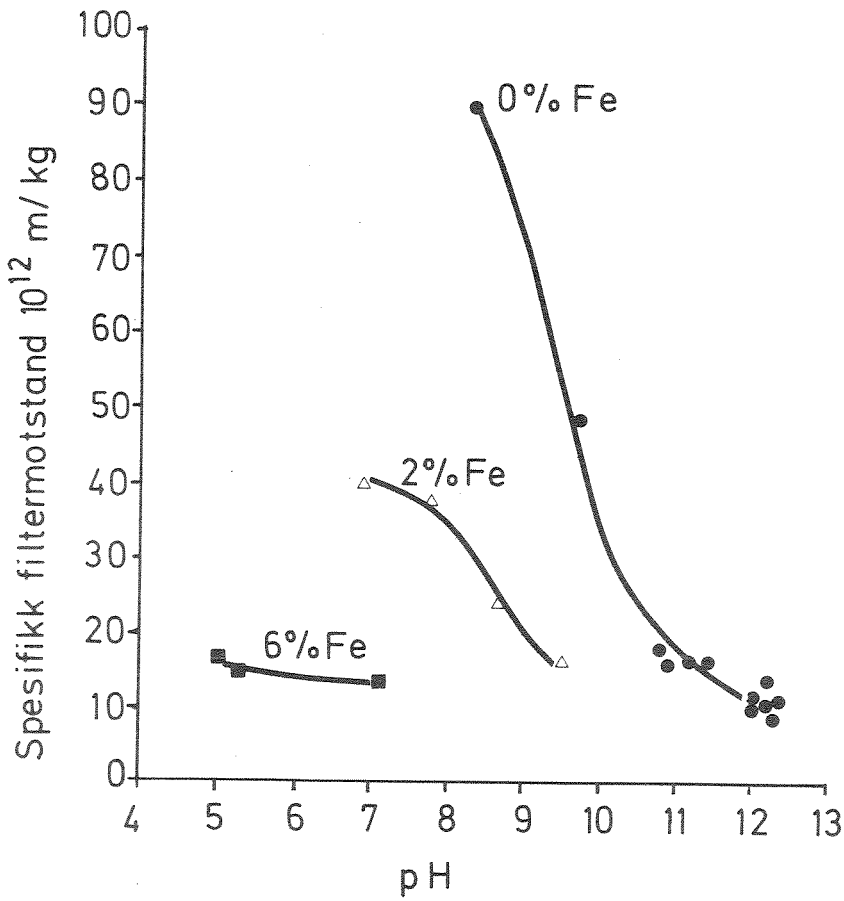


Fig. 12. pH og spesifikk filtermotstand i slam etter kondisjonering.

Slamtype Nr	1a, 1b, 3a, 3b
Kjemisk felling med	Jernklorid + kalk
Renseanlegg	Sandvika
Kondisjonering	Jernklorid + kalk

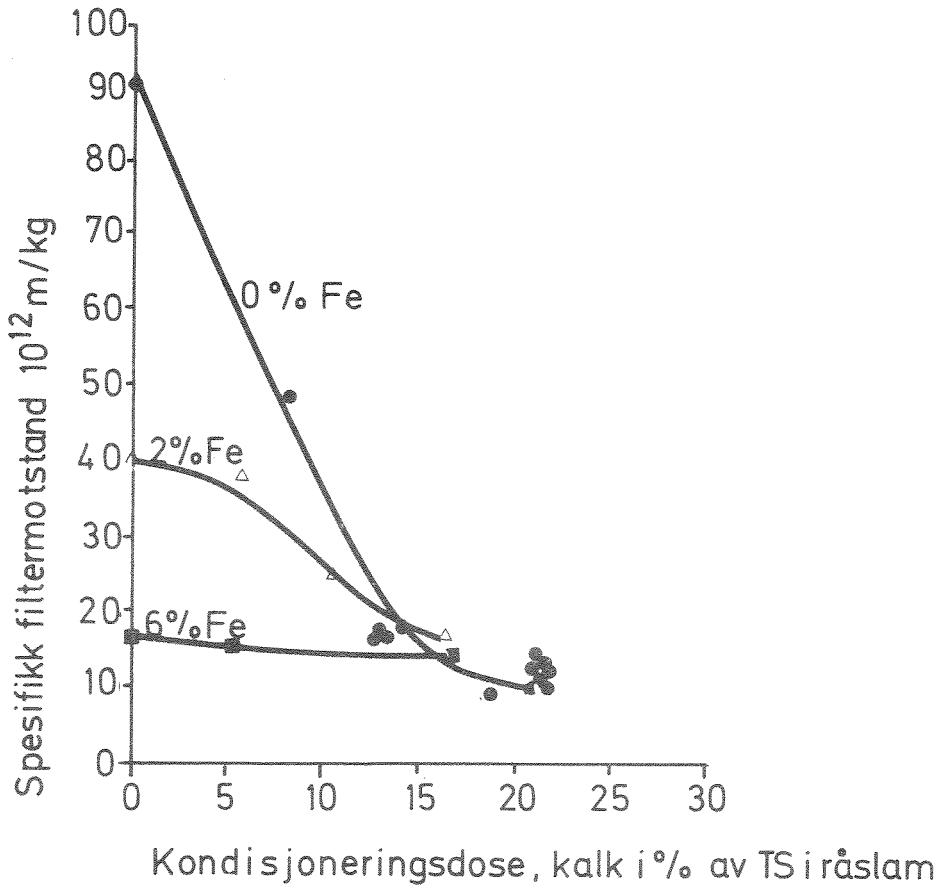


Fig. 13. Spesifikk filtermotstand ved kondisjonering med jernklorid + kalk. Slam felt med jernklorid + kalk. (Se fig. B2.)

Slamtype Nr	4, 13
Kjemisk felling med	Jernklorid
Renseanlegg	Nr 4, Nr 13 Sandvika, Skjebergkilen
Kondisjonering	Kalk

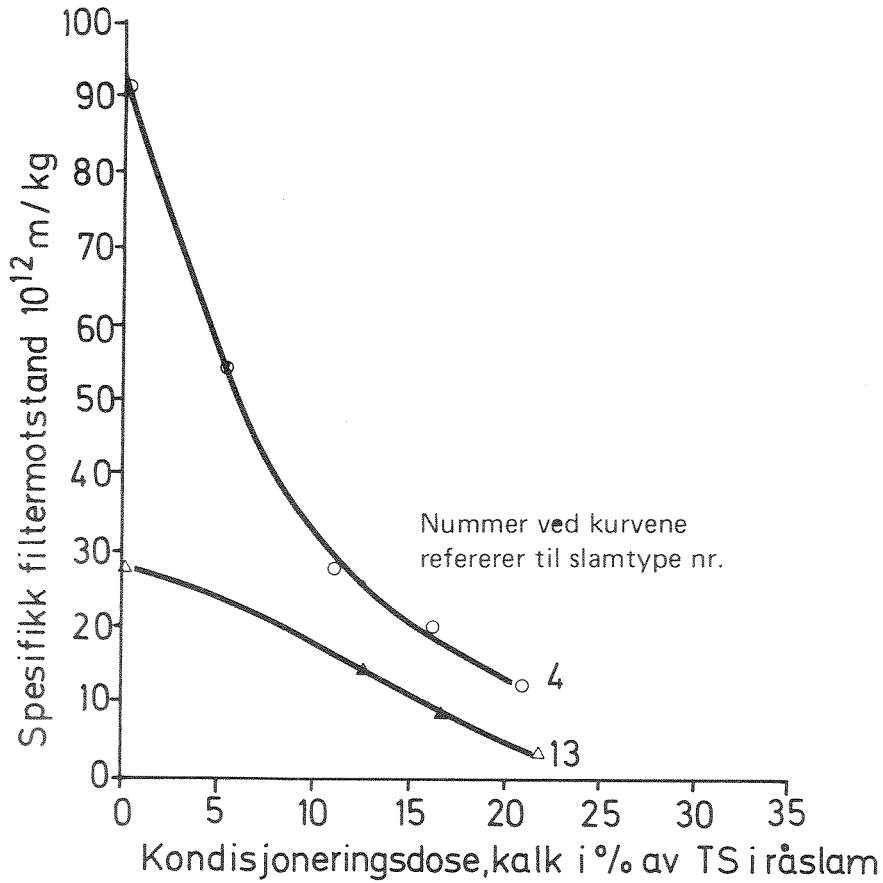


Fig. 14. Spesifikk filtermotstand ved kondisjonering med kalk. Slam felt med jernklorid. (Se fig. B3.)

Slamtype Nr	12
Kjemisk felling med	Aluminiumsulfat
Renseanlegg	RA II
Kondisjonering	Jernklorid + kalk

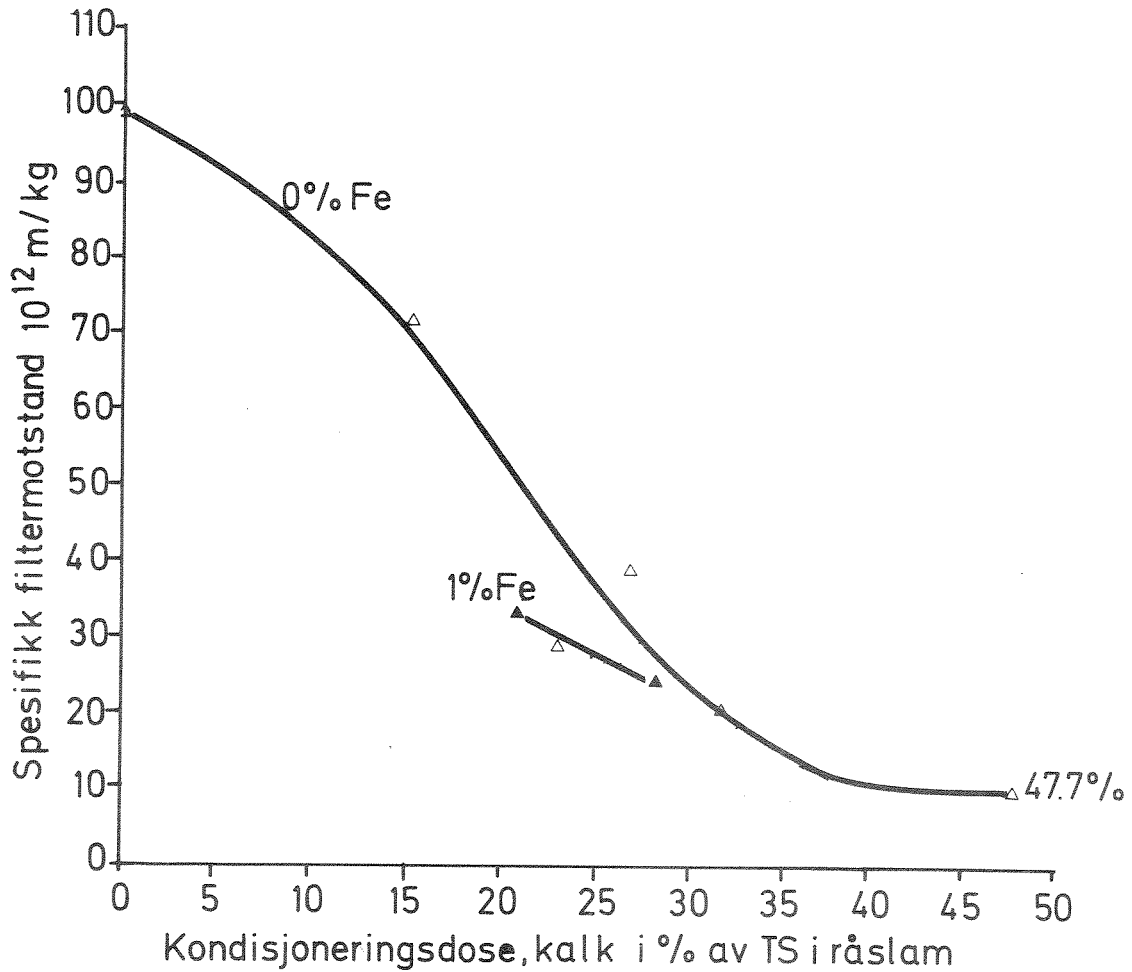


Fig. 15. Spesifikk filtermotstand ved kondisjonering med kalk. Slam felt med aluminiumsulfat. (Se fig. B4.)

Gunstig virkning av jern ved lave kalkdoser kan sees også i forsøkene med kammerfilterpressen, men av hensyn til pressens kapasitet og krav om høyt TS innhold i kakene er kalkdoser valgt i området der effekten av jernet er liten eller endog negativ (kap. 6.3.8).

Fig. 13 viser videre at råslam fra felling med jernklorid + kalk, når kondisjonert med 15-20 prosent kalk, gir optimal avvanningshastighet, uavhengig av jerntilsettingen. Fig. 14 viser på samme måte effekten av kalk-kondisjonering av to jernkloridfelte slamtyper (type 4 og 13). Disse gir begge lave verdier for spesifikk filtrermotstand ved kalkdoser ca. 20 prosent. Filtrermotstanden for ukondisjonert slam (kalkdose = 0 prosent) varierer sterkt og er en indikasjon på at to renseanlegg med nær samme prosess kan gi ulike slamegenskaper.

Hovedtyngden av presseforsøkene med jernkloridfelt slam er foretatt i periode 7 på Sandvika renseanlegg. Av tidshensyn var det ikke anledning til å bestemme spesifikk filtrermotstand ved disse pressingene, men CST/TS er beregnet og kan sammenliknes med verdier oppnådd for type 4 og 13 i fig. B3 (Appendix B).

Slammet produsert i periode 7 hadde dårlige avvanningsegenskaper og reagerte tregt på kalk-kondisjonering. Disse resultatene bekreftes av forsøkene med kammerfilterpressen.

Slam som oppstår i fellingsprosesser der kalk inngår (type 0, 9 og 11), får gode avvanningsegenskaper uten tilsetning av kondisjoneringmidler. Fig. 16 viser at spesifikk filtrermotstand er nær upåvirket av kondisjonering med jernklorid. Kondisjonering med kalk gir likeledes liten eller ingen gevinst. Resultatene bekreftes i presseforsøkene.

Slam fra felling med aluminiumsulfat ved RA II (type 12) hadde ukondisjonert høy filtrermotstand, men kondisjoneringsdose 25-30 prosent kalk gav god avvanning, $r \leq 20 \cdot 10^{12}$ m/kg. (Fig. 15.) Slamtype 8 fra Sandvika viser også god respons på kalk-kondisjonering, ut fra verdier for CST/TS, (fig. B4, Appendix B).

Slamtype Nr	0, 11
Kjemisk felling med	Kalk+ sjøvann 0 Kalk 11
Renseanlegg	Sandvika, Muusøya
Kondisjonering	Jernklorid

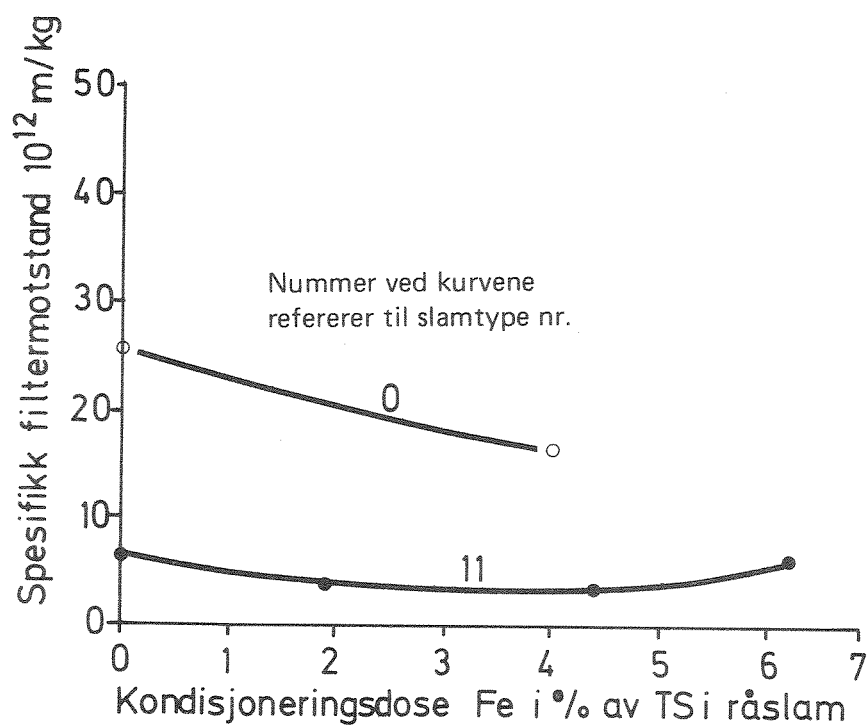


Fig. 16. Spesifikk filtrermotstand ved kondisjonering med jernklorid av kalkholdige slamtyper.

6.2.3 CST/TS

Som et supplement til måling av spesifikk filtrermotstand er CST/TS målt ved alle pressinger. I appendix B finnes variasjoner i denne parameteren ved kondisjonering. Likeledes er gjort korrelasjon mellom CST/TS og spesifikk filtrermotstand for én slamtype. Kurver for CST/TS og spesifikk filtrermotstand har meget nær samme forløp med økende kalkdosering, og kurvene i Appendix A presenteres derfor uten nærmere kommentarer.

6.3 Kammerfilterpressing

6.3.1 Hensikt og resultatfremstilling

De viktigste forhold som skulle belyses ved forsøksprogrammet, var:

1. Ulike slamtypers kondisjonerbarhet. Dvs. i hvilken grad man ved tilsetting av kjemikalier kan forbedre avvanningsegenskapene og øke ytelsen til avvanningsapparatene.
2. Kammerfilterpressens kapasitet. Heri ligger betraktninger som bestemmer nødvendig størrelse på kammerfilterpressene ved renseanlegget.

Mål for kondisjonerbarhet vil være hvor raskt vann kan fjernes fra slamm, og dertil hvor mye vann man kan klare å fjerne. Begge forhold må måles mot resultater oppnådd uten kondisjonering. Ved sammenlikningen av avvanningshastighet må fratrekk gjøres for vann tilsatt under kondisjonering. Ved sammenlikning av oppnådd avvanningsgrad (dvs. kakenes tørrstoffkonsentrasjon) må fratrekk gjøres for tørrstoff tilsatt under kondisjonering.

I appendix C er gjort noen betraktninger over kapasitetsberegninger ved avvanning i kammerfilterpresser ut fra data som fremkommer under pressing.

Kapasitetsberegninger gjøres ut fra slammengde tilført pressen ved ulike kondisjoneringer, pressevariabler etc. Slammengder er regnet som netto råslam, idet tilførte kjemikalier og vann er trukket fra. Tabell D1a, b og c (Appendix D) viser de viktigste data for kapasitetsberegning. Data som inngår, er som fremkommet ved avsluttet pressing. Tabell D1 inkluderer samtlige pressinger som er foretatt. Pressingene er i det følgende fremstilt som kurver over TS tilført pr. m² filterflate som funksjon av tiden. Dvs. man kan gå inn på kurvene, finne tilført mengde tørrstoff pr. m², dividere med filtreringstid og beregne kapasitet.

Slamtypene er gruppert etter fellingsprosess. Innvirkning av kondisjonering og maskinvariabler er diskutert for hver enkelt slamtype. Slamtypene er deretter vurdert mot hverandre.

Undersøkelsene av slamtypene 1 og 3 omfatter forsøk med ulik kondisjonering. Noen pressinger er utført med 30 mm kaketykkelse, og pressetrykket er forsøkt variert. To forskjellige duktyper er prøvd. De andre slamtypene er kun undersøkt for kondisjonerbarhet idet betydningen av maskinvariabler (kammertykkelse, duktype og matetrykk) er illustrert for slamtype 1 og 3. Standardiserte betingelser var matetrykk $P = 15$ bar, kammertykkelse 25 mm. om ikke annet er angitt.

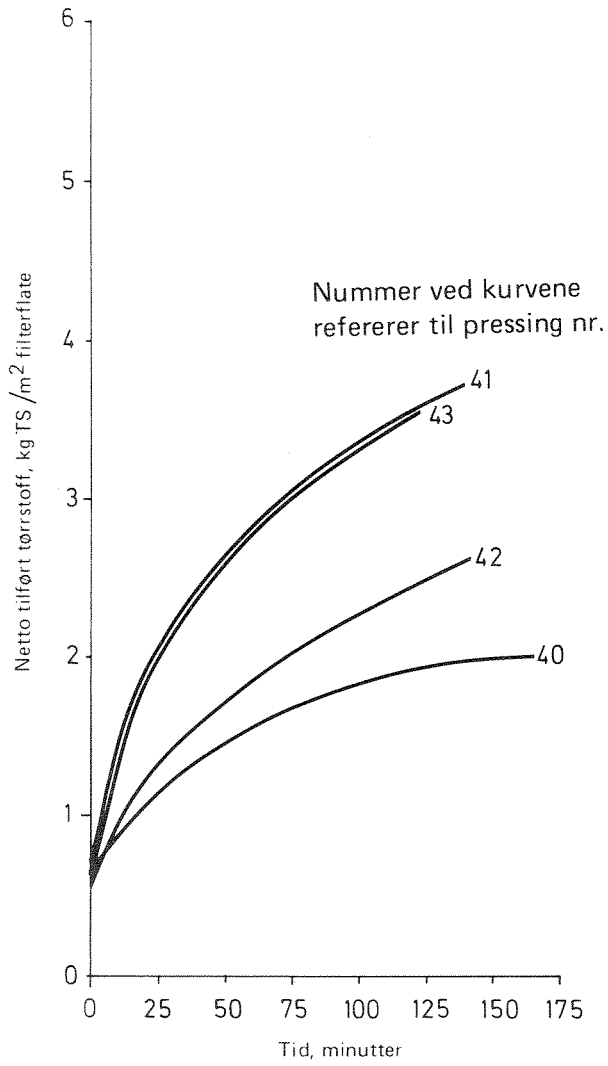
6.3.2 Slam fra felling med jernklorid + kalk

Slamtype 1a, 1b, 3a, 3b. Sandvika

Slamtype 1 og 3 er undersøkt i 25 pressinger. Kondisjonering er forsøkt med kalk og jernklorid. Fig. 9 viste hvordan pH var avhengig av kalkdosen ved kondisjonering. Jernklorid ble også tilsatt ved enkelte kondisjoneringer og førte til lavere pH ved en gitt kalkdose. Tilsatt jernklorid kunne ikke gi lavere minimal filtrermotstand, men føre til at minimum motstand inntraff ved lavere pH og ved lavere kalkdose, fig. 12 og 13.

Det virkelige mål på effekten av kondisjonering er selvsagt hvor vidt man øker kapasiteten til kammerfilterpressen. Avgjørende her er ikke bare hastigheten slammet avvanner med, men også graden av avvanning som kan oppnås. Disse to egenskaper avhenger ikke like mye av kondisjoneringen.

Kondisjonering av slamtype 1b med kalk er vist i fig. 17. Figuren viser at for denne slamtypen øker netto tilførselen av tørrstoff til pressen med økende kalkdose i kondisjoneringen. Ved doser høyere enn knappe 15 prosent (her 14 prosent) oppnås ingen ytterligere kapasitetsøkning. Samme trend sees i fig. 13 for den spesifikke filtrermotstand.



Renseanlegg	Sandvika
Fellingskemikalier	Jernklorid+ kalk
Slamtype Nr	1 b
T.S råslam	3.7%
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Pressing Nr	Kondisjonering	
	kalk %	Fe%
41	14	-
43	22	-
42	7	-
40	-	-

Fig. 17. Effekten av kalk-kondisjonering på netto tilført TS.

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid+kalk
Slamtype Nr	1a
T S råslam	4,7%
Kondisjoneringskemikalier	Jernklorid+kalk

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid + kalk
Slamtype Nr	1a
T S råslam	4,7%
Kondisjoneringskemikalier	Jernklorid + kalk

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %
34	16	2
36	10	2
31	6	2
29	-	-

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %
33	6	6
35	17	6
29	-	-

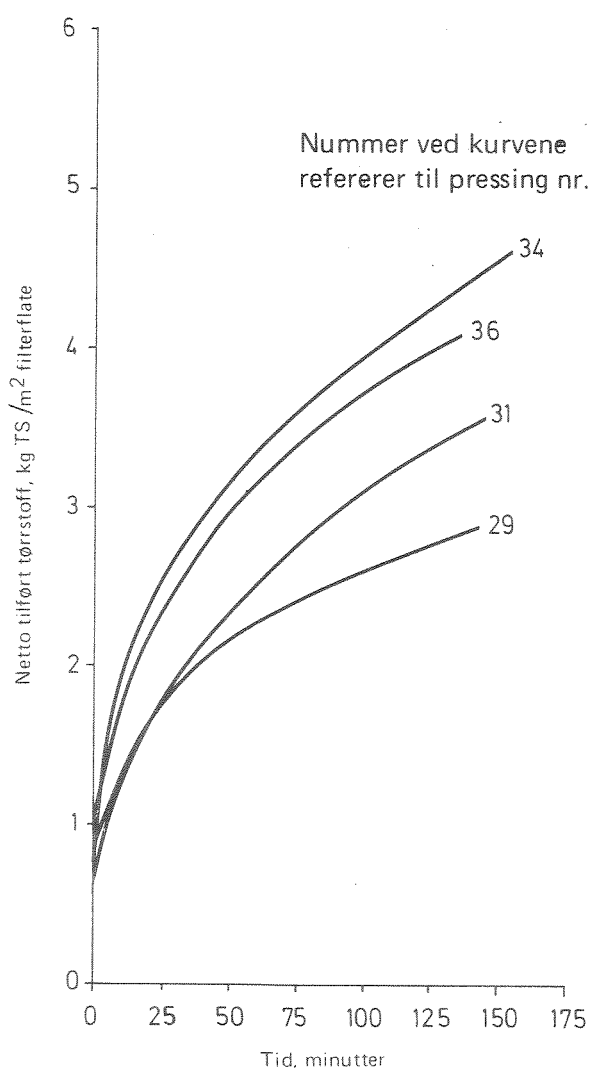


Fig. 18. Effekten av kalk-kondisjonering sammen med 2% Fe på netto tilført TS.

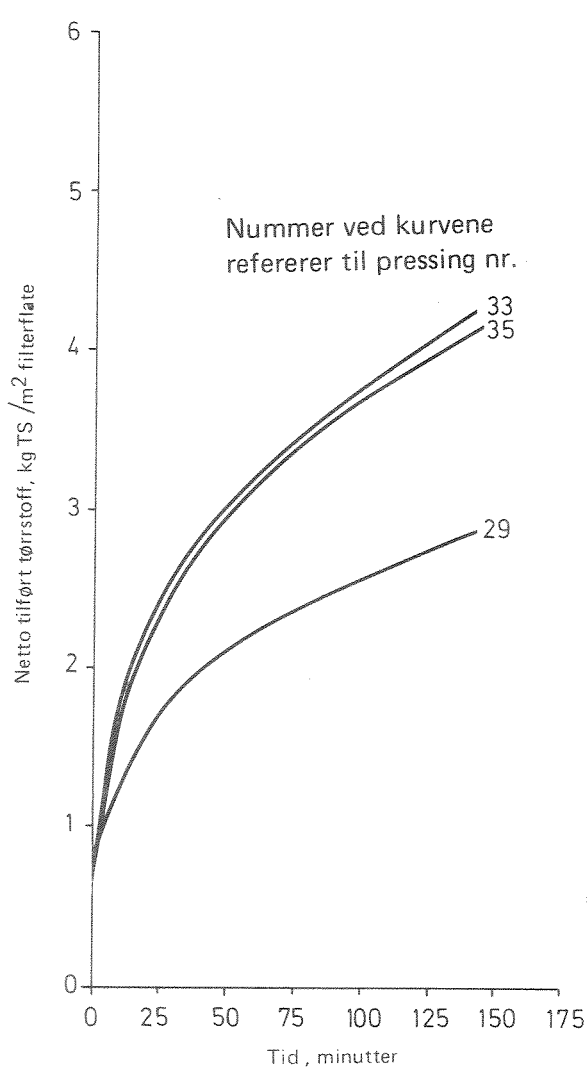


Fig. 19. Effekten av kalk-kondisjonering sammen med 6% Fe på netto tilført TS.

Dersom man før kalk-kondisjoneringen tilsetter 2 prosent Fe (som jernklorid), blir avvanningskurvene som på fig. 18. Man oppnår fortsatt kapasitetsøkning ved økende kalkdose opp til ca. 15 prosent. Samme effekt sees i spesifikk filtrermotstand, fig. 13. Dersom Fe-dosen økes ytterligere - til 6 prosent, fig. 19, ser man at man alt ved 6 prosent kalk tilsetning har høy kapasitet som ikke forbedres ved å øke til 17 prosent.

Det er tilsynelatende en del å vinne på å tilsette jernklorid før kalken tilsettes. Bildet blir klarere dersom man holder kalkdosen fast og varierer tilsetning av jernklorid. Fig. 20 viser effekten av jernklorid ved en lav (5-6 prosent) kalkdose. Man ser at kapasiteten kan forbedres betydelig med tilsetning av opp til 6 prosent Fe. Dersom man ser på effekten av jernklorid ved en høyere kalkdose (16-18 prosent), fig. 21, blir bildet et annet. Fe doseringen gir her negativt utslag på avvanningen. Betrachtingene bekreftes av verdier for spesifikk filtrermotstand, fig. 13. Konklusjonen synes derfor å være at jernklorid har positiv effekt ved lave kalkdoser, men ingen eller negativ effekt ved kalkdoser høyere enn 15 prosent. Sammenlikner man alle pressingene, ser man at den høyeste kapasiteten ved 25 mm kake tykkelse er oppnådd ved 18 prosent kalk uten jernklorid tilsetning. Denne pressingen (nr. 30) gav brutto tørrstoffinnhold i kakene 34,8 prosent etter $2\frac{1}{2}$ times pressing med kapasitet $1,93 \text{ kg TS/m}^2 \cdot \text{time}$ (tabell D1a, Appendix D).

Dersom man kan renonsere noe på krav om maksimal kapasitetsutnyttelse på pressen, kan god avvanning oppnås f.eks. med 2 prosent Fe og 10 prosent kalk.

Tørrstoff i råslam

Foruten kondisjoneringen er råslammets egenskaper avgjørende for hvilken avvanningskapasitet som kan oppnås. Spesielt er tørrstoffinnholdet kritisk. Fig. 22 viser avvanningskurver for råslam la og lb. Tørrstoff i råslam la var 4,8 prosent, lb hadde 3,7 prosent. En markert høyere kapasitet oppnås med type la. Dersom slammet kondisjoneres med ca. 22 prosent kalk, ser man at forskjellen mellom de to typene la og lb fortsatt er stor. Type 3a (råslam TS = 3,8 prosent) gir resultater mellom la og lb. Kurvene understreker betydningen av god fortykning før avvanning.

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid+kalk
Slamtype Nr	1a
T.S råslam	4,7%
Kondisjoneringskjemikalier	Jernklorid+kalk

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid+kalk
Slamtype Nr	1a
T.S råslam	4,7%
Kondisjoneringskjemikalier	Jernklorid+kalk

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe%
33	5	6
32	5	4
31	6	2
29	-	-

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe%
30	18	-
34	16	2
35	17	7
29	-	-

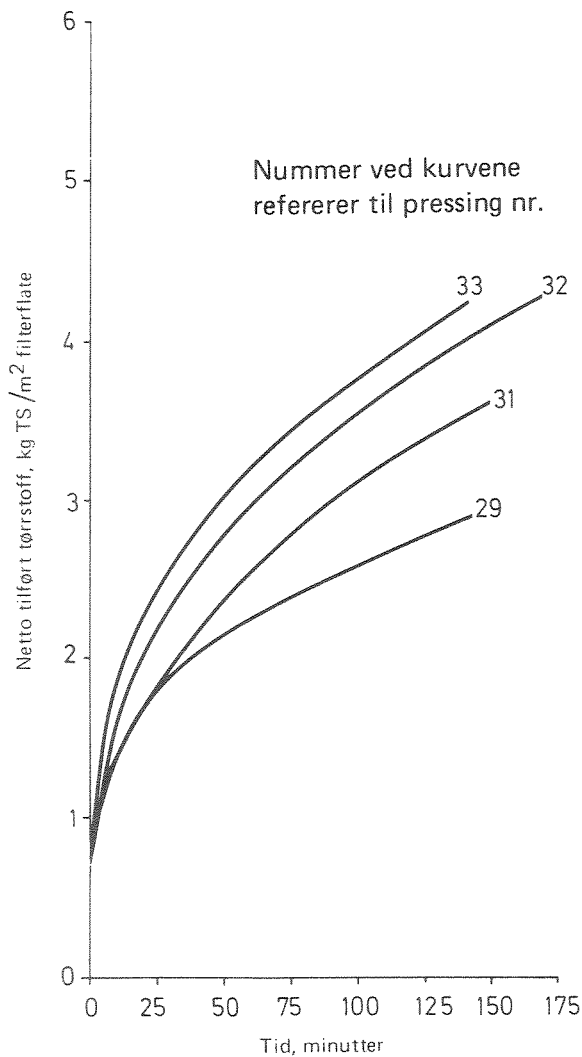


Fig. 20. Effekten av jernklorid på tilført tørrstoff ved lav (5%) kalkdose.

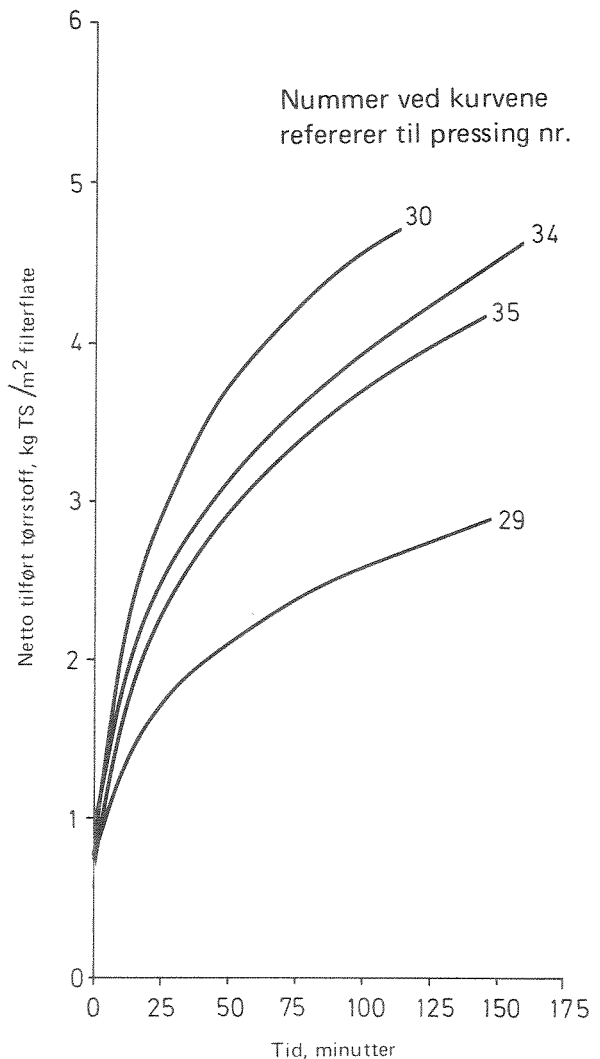
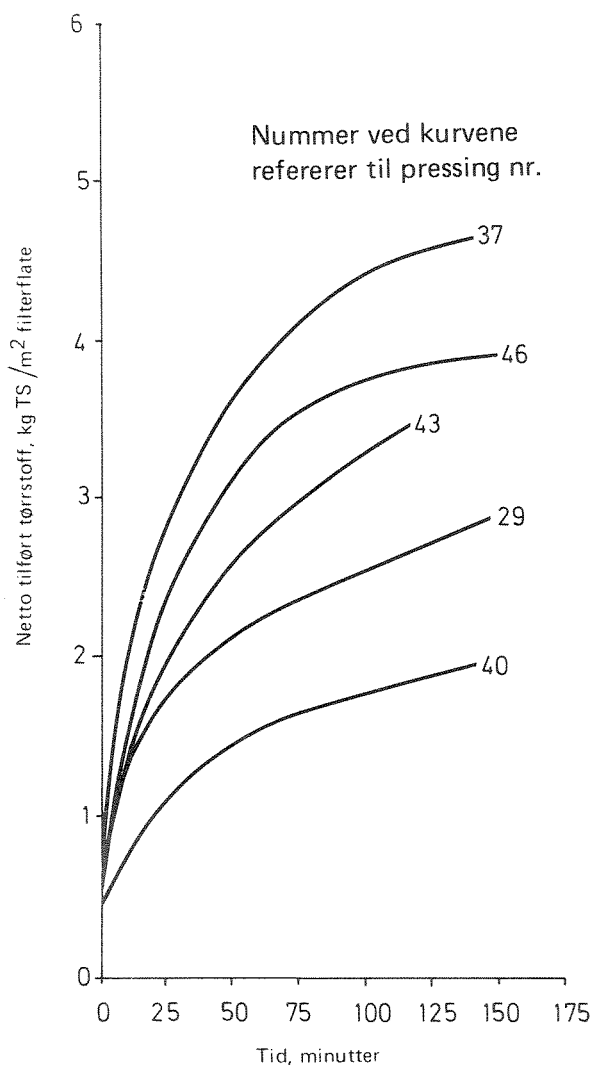


Fig. 21. Effekten av jernklorid på tilført tørrstoff ved mid-delstor (17%) kalkdose.



Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid+kalk
Slamtype Nr	1a, 3a, 1b
T.S. råslam	4.8%, 3.8%, 3.7%
Kondisjoneringskjemikalier	Kalk

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %	Slamtype
37	21	-	1a
46	22	-	3a
43	22	-	1b
29	-	-	1a
4	-	-	1b

Fig. 22. Betydningen av råslammets TS-innhold ved filtrering av råslam, og av slam kondisjonert med ca. 22% kalk.

Pressetrykk

Når matetrykket øker, vil slammet utsettes for større påkjenning under filtreringsprosessen. Filterkaken utgjør et porøst medium hvori vannet vandrer mot filterduken. Dersom den porøse strukturen bryter sammen, vil motstanden mot vannbevegelsen øke. Når trykket øker, øker samtidig sjansen for at slike sammenbrudd inntreffer. Heving av matetrykket i en kammerfilterpresse fører dermed dels til høyere filtreringshastighet på grunn av økt drivkraft på vannet, dels til høyere filtreringsmotstand på grunn av kollapser i kaken. Slampartiklenes styrke er derved bestemmende for om man kan nyttiggjøre seg høye drivtrykk. Fig. 23 viser ved 25 mm kaketykkelse hvordan slamtype 3a reagerer på ulike drivtrykk. Kapasitetsøkningen er beskjeden ved økning fra 7 til 15 bar. Slammet var kondisjonert med 21 prosent kalk. Fig. 24 viser samme tendens for type 3b. Her er imidlertid kaketykkelsen større (31 mm) og kondisjoneringsdosen mindre (13 prosent kalk). En oppnår fortsatt kun marginale forbedringer ved å øke drivtrykket fra 7 til 15 bar.

Kammertykkelse

Dersom filtermotstanden er høy, vil motstanden i filterkaken øke raskt når tykkelsen øker. Filterkaken bygges opp med avleiring av et lag på filterduken. Laget vokser innover i kammeret etter som tiden løper. Etter en tids pressing vil lagene fra de to kammerveggene møtes i midten, og kaken blir noenlunde homogen gjennom hele kammeret. Ved å øke kammertykkelsen fra 25 mm til 30 mm økes kammervolumet, mens filterarealet holdes konstant. Total mengde tørrstoff som kan tilføres pr. syklus, øker, men filtrermotstanden ved avslutningen av syklusen kan gjøre at filtrat-hastigheten blir uakseptabelt lav. Dersom kaken ikke er utsatt for sammenbrudd og slammets filtreringsmotstand er lav, vil man kunne benytte 30 mm kaketykkelse med hell. Fig. 25 viser hvordan kapasiteten for avvaning av dette slammet kan økes ved å øke kammertykkelsen. Effekten er vist for kondisjonering med henholdsvis 13 og 21 prosent kalk-kondisjonering. Fig. 25 viser for øvrig at det er lite å vinne ved å øke kondisjoneringsdosen utover 13 prosent.

Duktype

Valg av riktig filterduk vil primært påvirke filtratkvaliteten i begynnelsen av en filtersyklus. En åpen duk vil gi høyt innhold av suspendert

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid + kalk
Slamtype Nr	3a
T S råslam	3.8%
Kondisjoneringskemikalier	Kalk 21%
Kammertykkelse	25 mm

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid + kalk
Slamtype Nr	3b
T.S råslam	3.7%
Kondisjoneringskemikalier	Kalk 13%
Kammertykkelse	30 mm

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %	Pressetrykk bar
50	21	-	15
47	21	-	11
48	21	-	7
49	21	-	4

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %	Pressetrykk bar
54	13	-	15
52	13	-	7

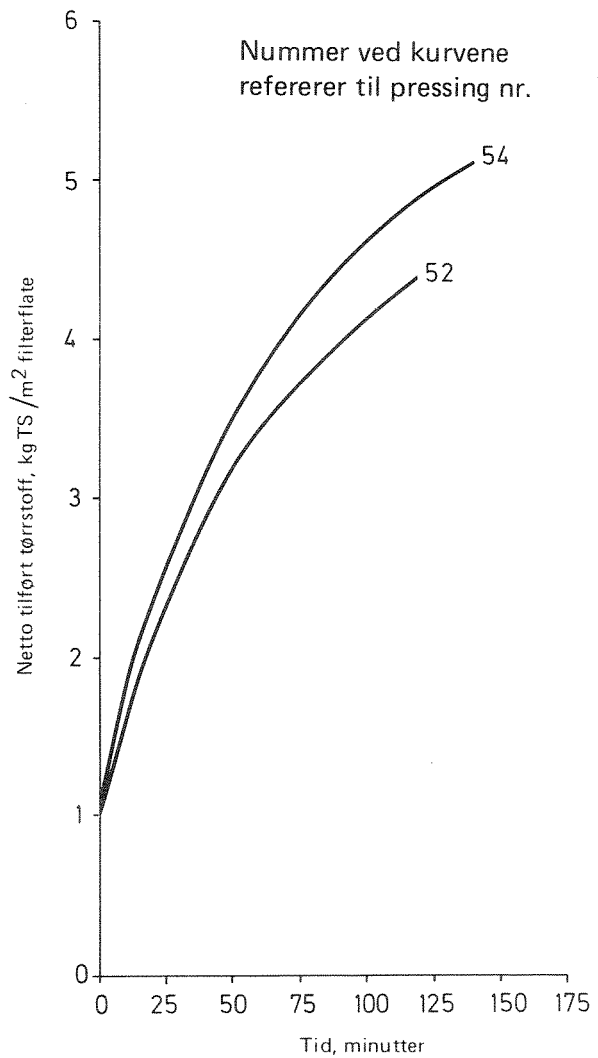
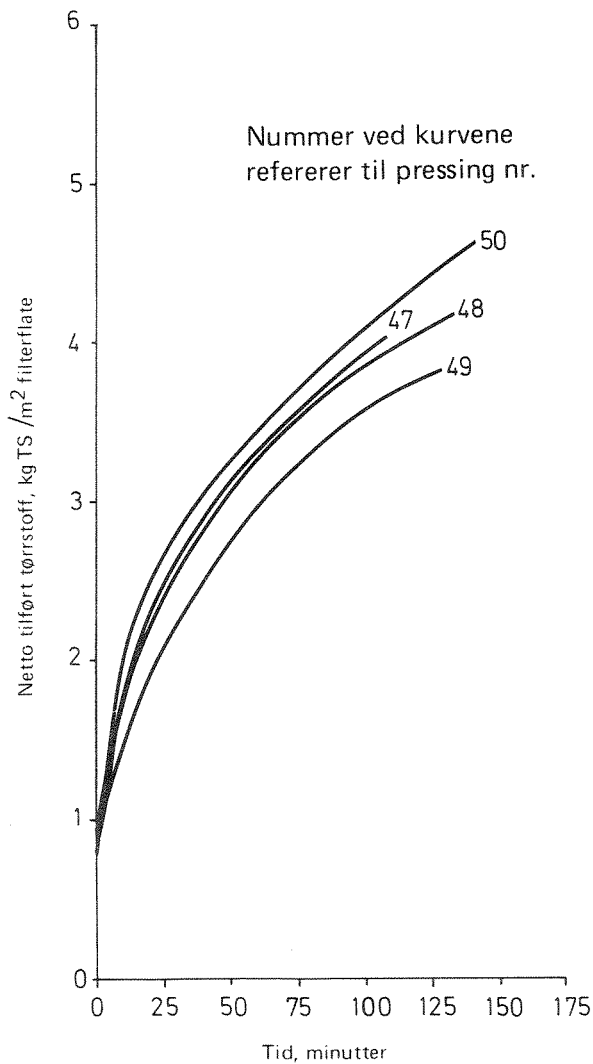


Fig. 23. Effekten av ulike matetrykk på tilført TS ved kammer-tykkelse 25 mm.

Fig. 24. Effekten av ulike matetrykk på tilført TS ved kammer-tykkelse 30 mm.

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid+kalk
Slamtype Nr	1b , 3a
T S råslam	3.7 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid+kalk
Slamtype Nr	3a
T S råslam	3.8 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %	Kammer-tykkelse mm
39	22	-	30
52	13	-	30
38	21	-	25
51	13	-	25

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %
47	22	-
46	22	-

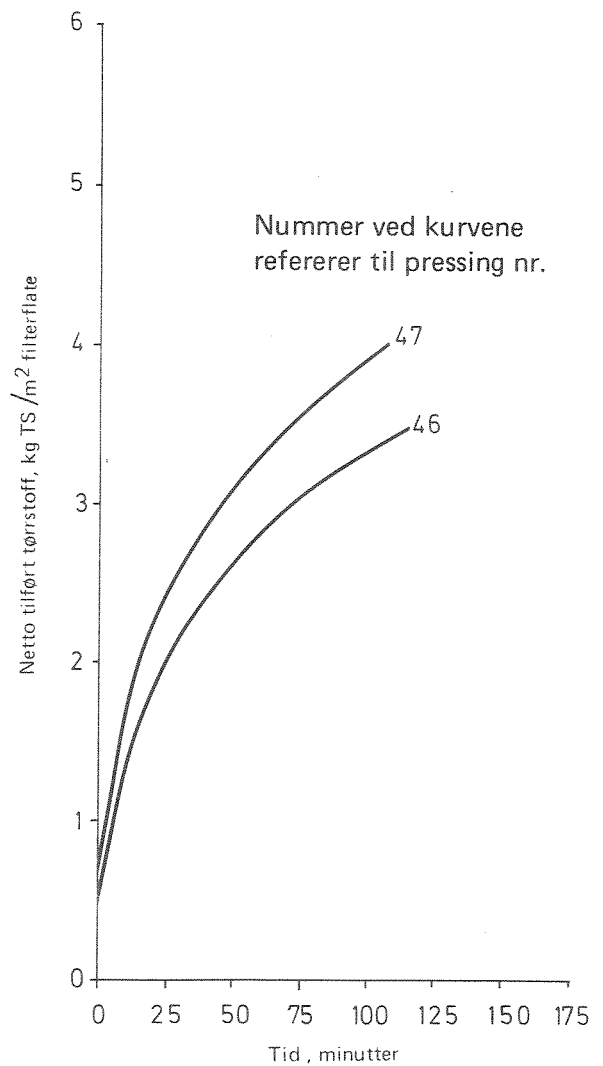
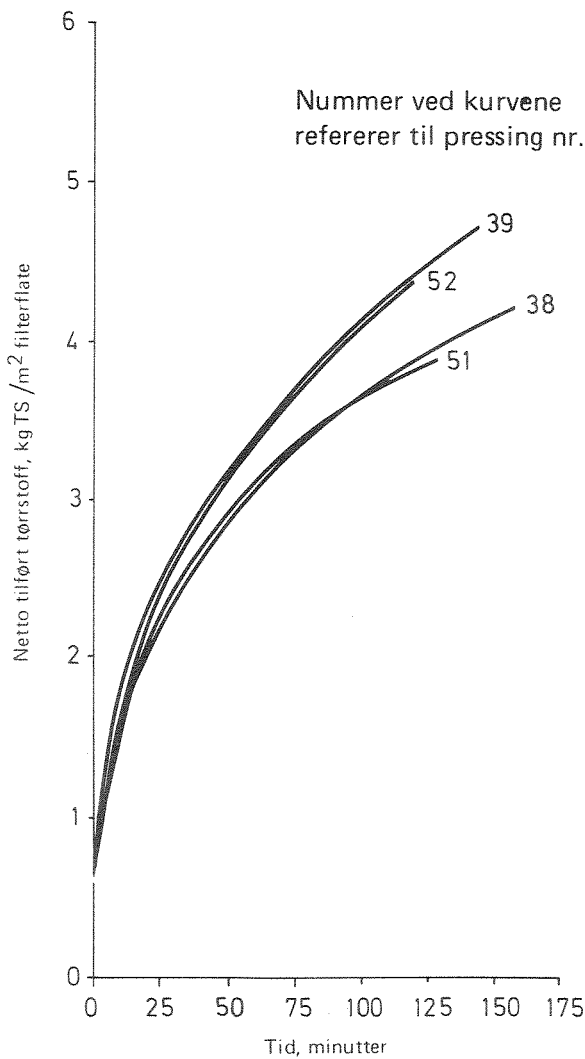


Fig. 25. Betydning av kammertykkelsen ved filtrering av slam kondisjonert med 13% og 21% kalk.

Fig. 26. Betydning av dukens porøsitet før netto tilført TS.

stoff, men lav motstand i selve filterduken. En "tettvevet" duk kan gi motsatt effekt. Fig. 26 viser hvordan filtrathastigheten økte ved skifte av duk fra NKD 2392 RILSAN til 650 COURLENE.

6.3.3 Slam fra felling med jernklorid

Slamtyper 4, 7 Sandvika, 13 Skjebergkilen

I appendix B, fig. B3 er CST/TS fremstilt for slamtype 4, 7 og 13 som funksjon av kondisjoneringsdosen. Det fremgår at slamtype 7 (Sandvika mai 1979) har høyere motstand mot avvanning (pr. tørrstoffenhhet) enn type 4 (Sandvika mars 1979) og type 13 (Skjebergkilen). Dertil krever slamtype 7 høyere kalkdose for å forbedre avvanningsegenskapene. Slamtype 7 har lavere tørrstoffinnhold

Tørrstoff i råslam, type 4:	5,6%	Fe i % av TS:	11%
" 7:	2,7%	Fe " " " "	20-30%
" 13:	3,4%	Fe " " " "	20%.

Vanskeligere avvanning av type 7 og tregere respons på kalk-kondisjonering bekreftes av fig. 27, 28 og 29 som fremstiller kapasitetene oppnådd i filterpressen.

fig. 27,

Slam fra Skjebergkilen (nr. 13)/viste meget gode avvanningsegenskaper og god kondisjonerbarhet til tross for at tørrstoff i råslammet ikke lå høyere enn 3,4 prosent. Kondisjoneringsdoser opp til vel 20 prosent gav betydelig økning i kapasiteten som trolig når sitt maksimum her, konferer kurven for 24 prosent kalkdose.

Ved Sandvika renseanlegg er felling gjennomført med jernklorid i mars -79 (type 4) og i mai -79 (type 7). I mai var renseanlegget hydraulisk høyt belastet. Selv ved bevisst å unnlate tømning av fortykkeren klarte en ikke å heve tørrstoff i råslammet høyere enn 3,5 prosent.

I mars var forsøksperioden meget kort (7 dager), og en kan ikke utelukke at slammet inneholder noe kalk fra fellingsperiode 3 (felling med kalk + jernklorid). Ca.- innholdet ligger høyt (2770 mg/l), noe som støtter antakelsen. Slammet fra periode 4 (fig. 28) har meget nær samme respons på kalk-kondisjonering som slam fra Skjebergkilen. Fig. 28 viser også at

Renseanlegg	Skjebergkilen
Fellingskjemikalier	Jernklorid
Slamtype Nr	13
T.S. råslam	3.4 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid
Slamtype Nr	4
T.S. råslam	5.6 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Pressing Nr	Kondisjonering	
	kalk %	Fe %
18	22	-
20	24	-
21	20	-
22	17	-
19	13	-

Pressing Nr	Kondisjonering	
	kalk %	Fe %
56	21	-
55	16	-
58	11	-
57	5	-

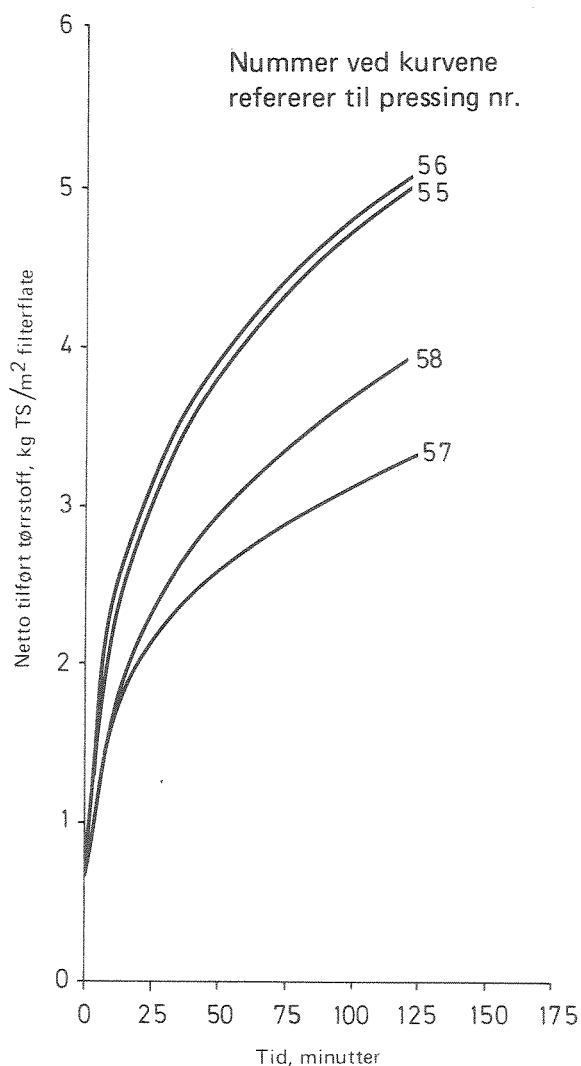
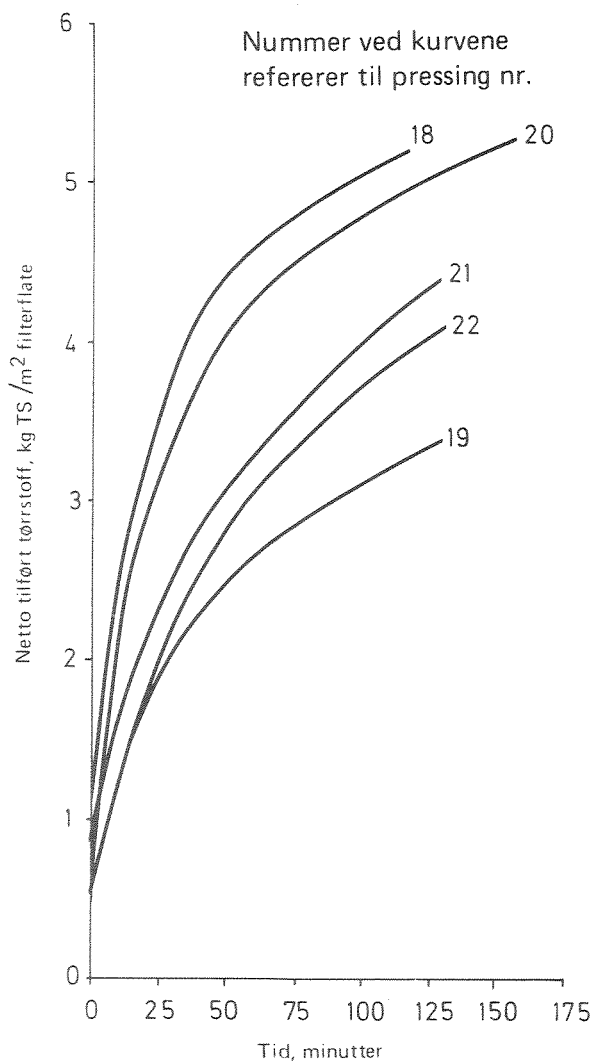


Fig. 27. Effekten av kalk-kondisjonering av slam fra Skjebergkilen.

Fig. 28. Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med jernklorid ved Sandvika. Periode 4.

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Jernklorid
Slamtype Nr	7
T S råslam	2.7 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %
61	44	-
63	39	-
70	29	-
64	28	-
73	25	-
69	20	-
67	14	-

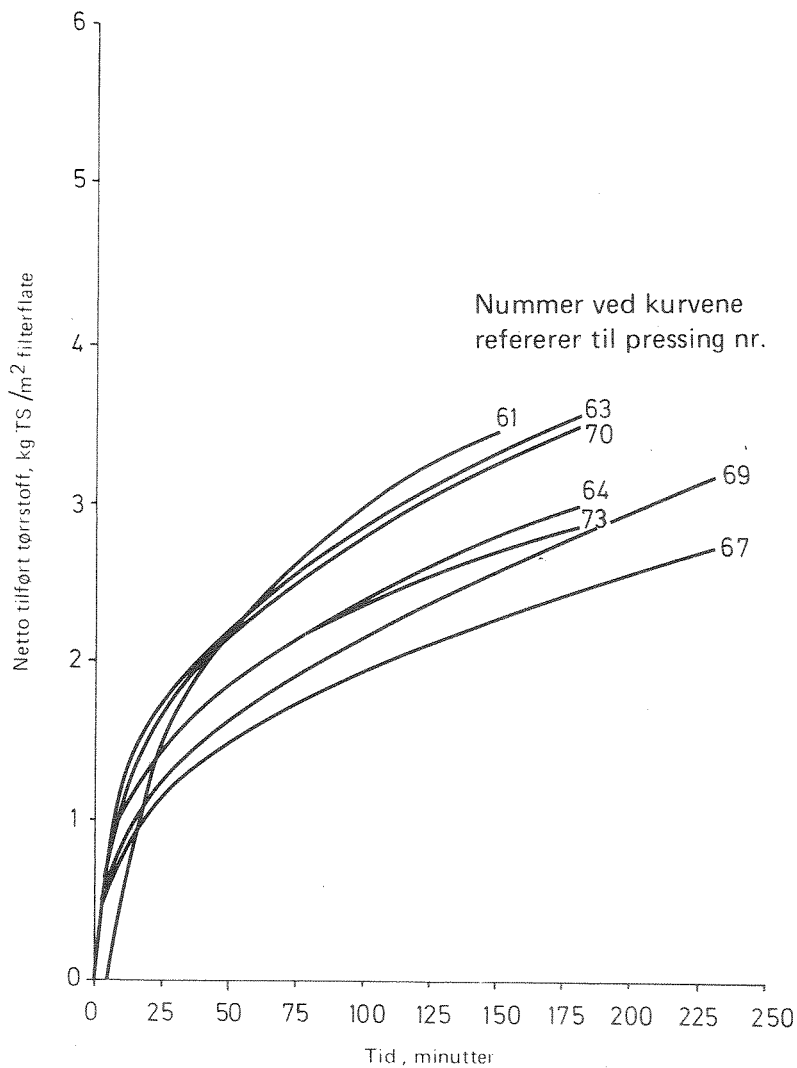


Fig. 29. Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med jernklorid ved Sandvika. Periode 7.

kapasiteten som ble oppnådd i kammerfilterpressen med slamtype 4, var i samme størrelsesorden som kapasiteten ved pressing av slamtype 13 (Skjebergkilen).

Slamtype 7 derimot viste seg dels vanskelig å kondisjonere, dels gav den lavere kapasiteter enn de to andre slamtypene fra felling med jernklorid. Fig. 29 viser at kalk-kondisjonering fra 14 til 44 prosent gav kun marginale kapasitetsøkninger. En oppnår med ekstreme kalkdoser (43,7 prosent) kapasitet som er nær den oppnådd med 13 prosent kondisjonering av slammet fra Skjebergkilen. Fig. 23 viste for slam felt med kalk + jernklorid den store betydningen av tørrstoff i råslammet. En må ut fra fig. 28 og 29 slutte at betydningen av høyt tørrstoff innhold i råslammet ikke er mindre ved disse slamtypene fra jernkloridfelling. Dersom en klarer å heve tørrstoff i fortykkeren, kan en dels spare kondisjonerings-kjemikalier, dels oppnå høyere kapasitet ved avvanningsmaskinene. For kondisjonerbarheten er alkaliteten viktig, og noen betraktninger om sammenhengen mellom tørrstoff og alkalitet er gjort i kapittel 6.3.7. Kondisjoneringsdosen er angitt på tørrstoff basis mens alkaliteten angis pr. volumenhet. Dette fører til at slamtype nr. 7 med lavt tørrstoff og høy alkalitet må reagere tregere enn type 4 og 13 ved kalk-kondisjonering.

6.3.4 Slam fra felling med aluminiumsulfat

Slamtyper 8, Sandvika, og 12, RA II

Basert på CST/TS (Fig. B4 appendix B) viser slammet fra Sandvika seg å gi forbedrede avvanningsegenskaper ved lavere kalkdoser enn slammet fra RA II. Imidlertid viser slammet fra Sandvika liten evne til å nyttiggjøre seg kalkdoser utover ca. 15 prosent. Slammet fra RA II når minimumsverdi for CST/TS ved høyere kalkdoser, men har gradvis forbedrede avvanningsegenskaper over hele doseringsintervallet.

Fig. viser at filterpresse-avvanning av slammet fra Sandvika gir liten gevinst av kondisjonering med høyere doser enn 15 prosent kalk. Fig. 31 viser på samme måte hvordan man kan heve avvanningskapasiteten ved slammet fra RA II ved opp til vel 30 prosent kalkdosering. Resultatene gir kvalitativt samme konklusjon som studier av CST/TS kurvene. Ved ekstremt høye doseringer (eks. 49 prosent i fig. 31) får kurvene gjerne et annet forløp idet avvanningen går meget raskt (høy hastighet) i begynnelsen

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Aluminiumsulfat
Slamtype Nr	8
T.S råslam	32 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Renseanlegg	RA II
Fellingskjemikalier	Aluminiumsulfat
Slamtype Nr	12
T.S råslam	5 - 6.3 %
Kondisjoneringskemikalier	Kalk

Pressing Nr	Kondisjonering	
	kalk %	Fe %
76	23.9	-
78	19	-
75	32	-
77	14.4	-

Pressing Nr	Kondisjonering	
	kalk %	Fe %
7	32	-
12	26	-
9	48	-
8	23	-
11	15	-

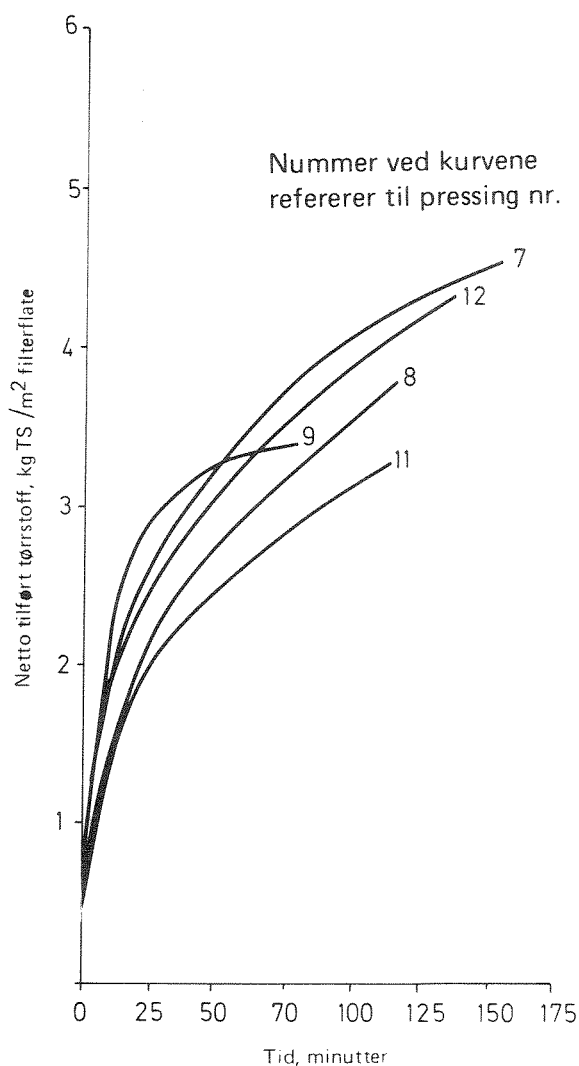
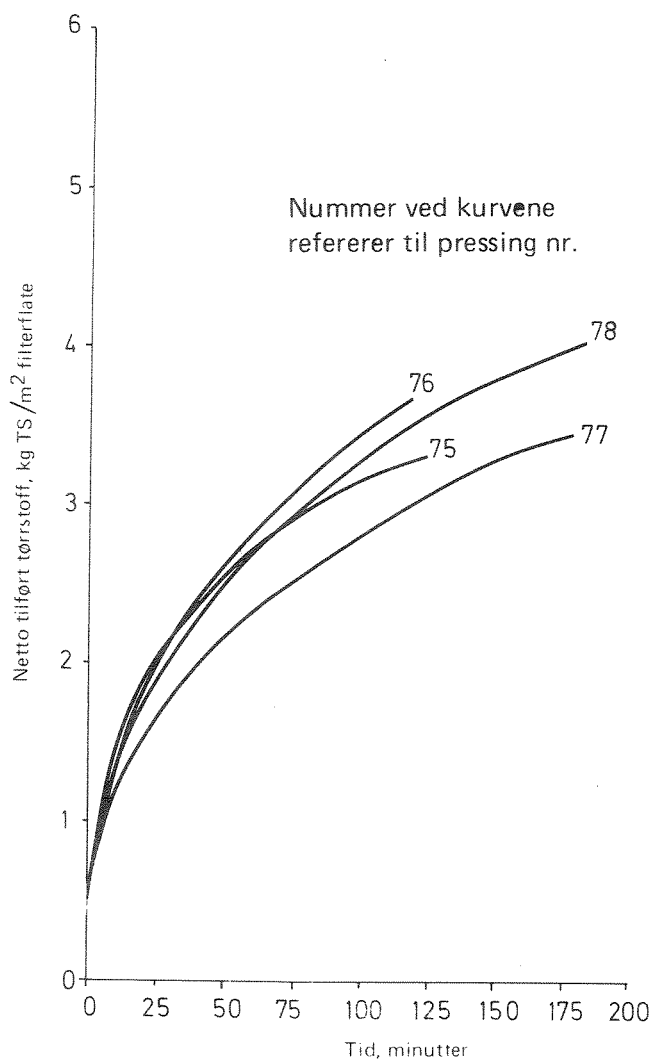


Fig. 30. Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med aluminiumsulfat ved Sandvika.

Fig. 31. Effekten av kalk-kondisjonering av slam felt med aluminiumsulfat ved RA II.

av syklusen, men kurvene flater ut tidlig når kammervolumet fylles raskere på grunn av mye kondisjoneringsmiddel i slammet. Dette er eksempel på at kondisjoneringen kan heve avvanningshastigheten, men redusere -kapasiteten.

Vurderer man resultatene (tabell D1c) oppnådd med de to slamtypene, ser man igjen at slam med høyere tørrstoff gir større kapasitet på filterpressen.

6.3.5 Slam fra felling med kalk

Slamtype nr. 11, Muusøya

Felling med kalk gir et slam som er meget rikt på kalsium (tabell 3).

Slammet har ukondisjonert meget gode avvanningsegenskaper,

$$\text{CST/TS} = 4,6$$

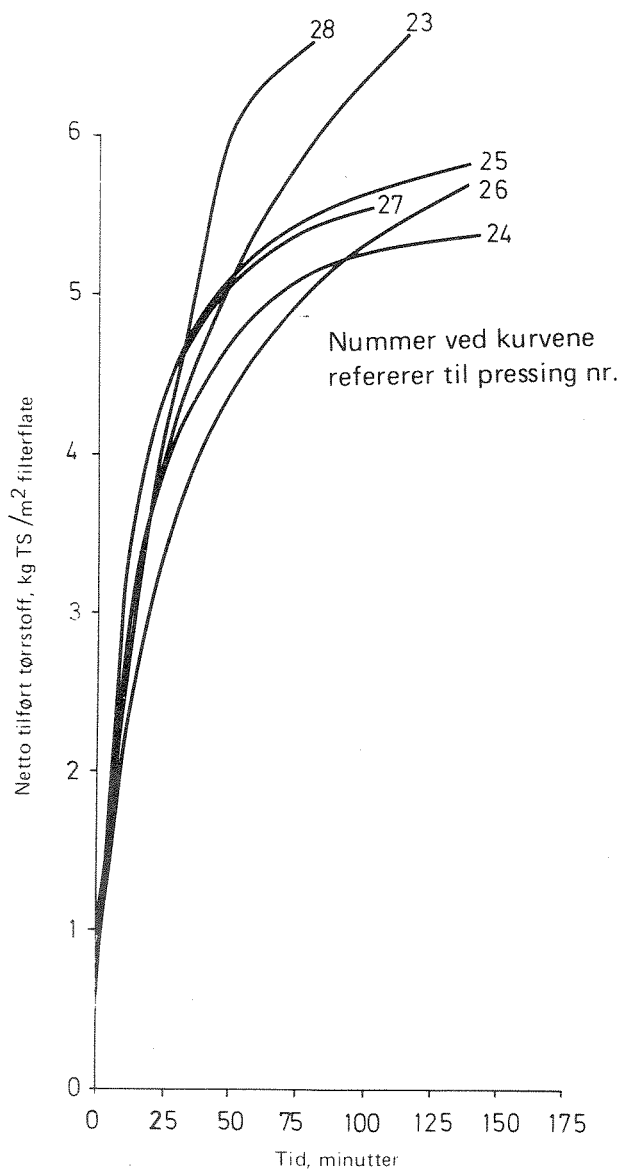
$$\text{Spesifikk filtreringmotstand} = 6,0 \cdot 10^{12} \text{ m/kg.}$$

En kunne ikke øke avvanningshastigheten ved å tilsette ytterligere kalk eller jernklorid (fig. 16). Kapasiteten ved filterpressing blir i realiteten mindre ved tilsetning av jernklorid eller kalk. Dette skjer idet kondisjoneringsmidlene opptar plass i kamrene (fig. 32). En ser videre av fig. 32 at en kan øke kapasiteten ved å øke kammertykkelsen. Dette slammet har så vidt gode avvanningsegenskaper at motstandøkningen gjennom en tykkere kake blir mer enn kompensert av at tilgjengelig kakevolum er større. Valg av kammertykkelse henger således sammen med valg av fellingskjemikalium.

6.3.6 Slam fra felling med kalk + sjøvann

Slamtyper 0 og 9, Sandvika

Ved felling med kalk + sjøvann halveres kalkforbruket i fellingsprosessen sammenliknet med ren kalkfelling. Fig. 33 viser imidlertid at selv om avvanningshastighet og kapasiteter oppnådd er noe lavere enn med kalkfelling, er egenskapene så gode at lite kan oppnås ved kondisjonering. En får også ved denne slamtypen en viss reduksjon i filtrermotstanden (tabell 5 viser CST/TS og spesifikk filtrermotstand) ved kondisjonering, men samtidig opptas kapasiteten i pressen av kondisjoneringsmidlene (fig. 33). I periode 9 ble slammet kun avvannet ukondisjonert. Pressing nr. 79 (fig. 34) faller helt sammen med pressingen av ukondisjonert slam (nr.17) i periode 0 (fig. 33). I fig. 35 er høyeste og laveste kurve for pressingene 79 til 85 tatt med. Slam fra felling med kalk + sjøvann vil bli behandlet i en egen rapport som er under utarbeide ved NIVA.



Renseanlegg	Muuseya
Fellingskemikalier	Kalk
Slamtype Nr	11
T S råslam	4.6 ‰
Kondisjoneringskemikalier	Jernklorid+kalk

Pressing Nr	Kondisjonering kalk ‰	Fe ‰	Kammer-tykkelse mm
28	-	-	31
23	-	-	25
25	-	4	25
27	9	2	25
26	-	6	25
24	-	2	25

Fig. 32. Effekten av kondisjonering av slam felt med kalk. Muuseya.

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Kalk + sjøvann
Slamtype Nr	0
T.S råslam	6.5 %
Kondisjoneringskemikalier	Jernklorid+kalk

Renseanlegg	Sandvika
Fellingskjemikalier	Kalk + sjøvann
Slamtype Nr	9
T.S råslam	8.5 %
Kondisjoneringskemikalier	Intet

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %
14	9	4
13	-	4
17	-	-
16	20	-
15	22	4

Pressing Nr	Kondisjonering kalk %	Fe %
79	-	-
80	-	-

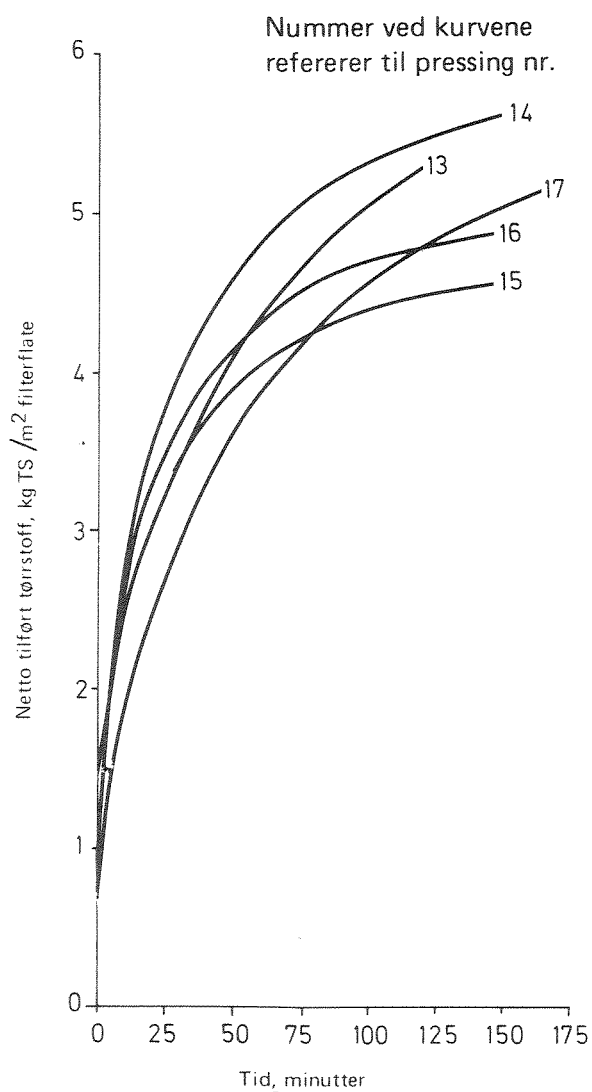


Fig. 33. Effekten av kondisjonering av slam fra felling med kalk + sjøvann. Periode 0.

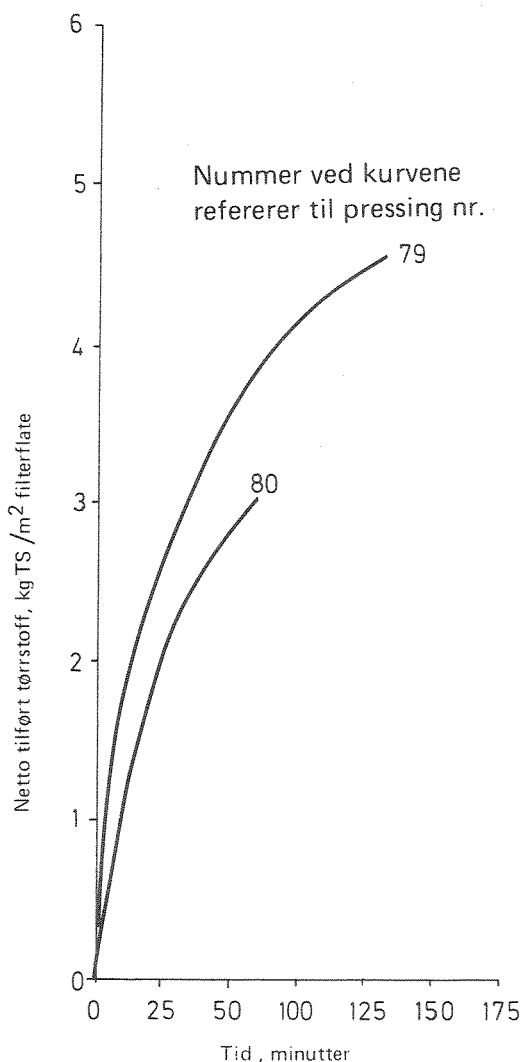


Fig. 34. Pressing av råslam fra felling med kalk + sjøvann. Periode 9.

6.3.7 Sammenlikning av slamtypene

Enkelte forhold ved avvanningssteget er bestemt alt ut fra renseprosessen. Variasjon slamtypene i mellom gjelder primært følgende egenskaper:

- Renseprosessens tørrstoff produksjon (mengde tørrstoff produsert pr. person)
- Råslammets fortykkingsegenskaper, dvs. tørrstoff prosent i råslammet
- Råslammets avvanningsegenskaper
- Råslammets kondisjonerbarhet, dvs. i hvilken grad avvannings-egenskapene kan forbedres ved tilsetning av kjemikalier.

Tørrstoff produksjonen i ulike renseprosesser vil ikke bli behandlet her, men data kan finnes i PRA brukerrapport nr. 10 (8), Øren (9) og Vråle (3).

Fig. 22, 27, 28 og 29 viste betydningen av tørrstoffinnholdet i råslammet for ytelsene til kammerfilterpressen. God fortykking gir høyere ytelse i avvanningsmaskinen. I tillegg oppnår en bedre kjemikalie økonomi ved kondisjoneringen. Nødvendig kjemikalieforbruk pr. tørrstoffenheter avtar når tørrstoffinnholdet øker. Fellingkjemikaliet er i sterk grad medbestemmende for slammets fortykkingsegenskaper.

Tørrstoffinnholdet i de undersøkte slamtypene er i tabell 6 satt opp mot verdier angitt som normale i PRA 10 (8).

Tabell 6. Tørrstoff i de undersøkte slamtyper.

Fellingskjemikalier	Tørrstoff i slam etter fortykking	
	Denne undersøkelse, %	PRA 10 (8), %
Jernklorid + kalk	3,5 - 5,1	-
Jernklorid	2,1-2,8; 3,2-3,7 og 4,0-5,7	2,0 - 4,0
Aluminiumsulfat	3,2-3,4 og 4,9-6,3	2,0 - 4,0
Kalk	4,4 - 4,8	4,0 - 8,0
Kalk + sjøvann	6,4-6,6 og 8,1-8,6	-

En ser at verdiene varierer mye. Data fra denne undersøkelsen er dels hentet fra forskjellige renseanlegg, dels fra forskjellige årstider ved Sandvika renseanlegg. En ser at så vel jernklorid som aluminiumsulfat undertiden kan gi høye tørrstoffverdier i slamproduktet. Kalk fra fellingen vil kunne bidra positivt til fortykkingssegenskapene og senere til avvanningsegenskapene. Kalk fra fellingsprosessen preger sluttproduktet ved høy pH, og er undertiden, men ikke alltid ønsket ut fra disponeringsalternativene.

Råslammets avvanningsegenskaper er i blant så gode at en kan avvanne uten kondisjonering. I denne undersøkelsen var dette tilfellet for slam fra felling med kalk + sjøvann og med kalk. Fig. 35 viser de avvanningsforsøk som er gjort med ukondisjonert slam. En må understreke at kurvene og kapasitetene vil være preget av at råslammet har ulikt tørrstoffinnhold. Pressing av råslam vil ofte gi problemer med at slammet presses inn i filterduken. Rejektvannet kan få dårlig kvalitet. En må anta at pressing av ukondisjonert slam kun er aktuelt for slamtyper der kalk er tilsatt som fellingskjemikalium, eller ved stabilisering. Disse slamtypene er i prinsippet kondisjonert allerede gjennom fellingssteget.

Ved kondisjonering forbedres avvanningsegenskapene for slamtyper med lavest naturlig kalkinnhold. Slam fra kalkfelling og kalk + sjøvannsfelling gav intet eller negativt utbytte av kondisjonering. Fig. 36 viser hvordan kapasitetene fordeler seg på slamtypene etter tilsetning av 11-15 prosent kalk.

Valg av fellingskjemikalium har konsekvenser for hvilket TS-innhold en når i fortykkeren. Ved avvanning vil TS-innholdet maskere andre forskjeller fellingskjemikaliene imellom. Eksempelvis finner man tre kurver som viser avvanning av slam fra jernkloridfelling (kurve 7, 13 og 4). Tørrstoffinnhold på henholdsvis 2,4; 3,3 og 5,4 prosent plasserer kurvene lavest, tredje lavest og høyest blant 6 slamtyper undersøkt i dette kondisjoneringsintervallet (fig. 36).

Dersom kalkdosen økes til området 19-24 prosent (fig. 37), ser man igjen at slamtyper fra jernfelling eller jern + kalkfelling er sterkt avhengig av god fortykning for å gi høye kapasiteter. Dersom man sammenlikner fig. 36 og fig. 37, ser man at økning av kalkdosen fra knapt 15 prosent til vel 20 prosent gir større kapasitetsøkning for jernholdige slamtyper (nr. 1b, 3a, 1a, 4 og 13) enn for aluminiumsfelt slam (nr. 8 og 12).

Slamtype Nr	Fellingskemikalier	Kalk kondisjonering %	Pressing Nr
11	Kalk	-	28
0	Kalk+sjøvann	-	17
9	Kalk+sjøvann	-	79
1 a	Jernklorid+ kalk	-	29
1 b	Jernklorid+kalk	-	40

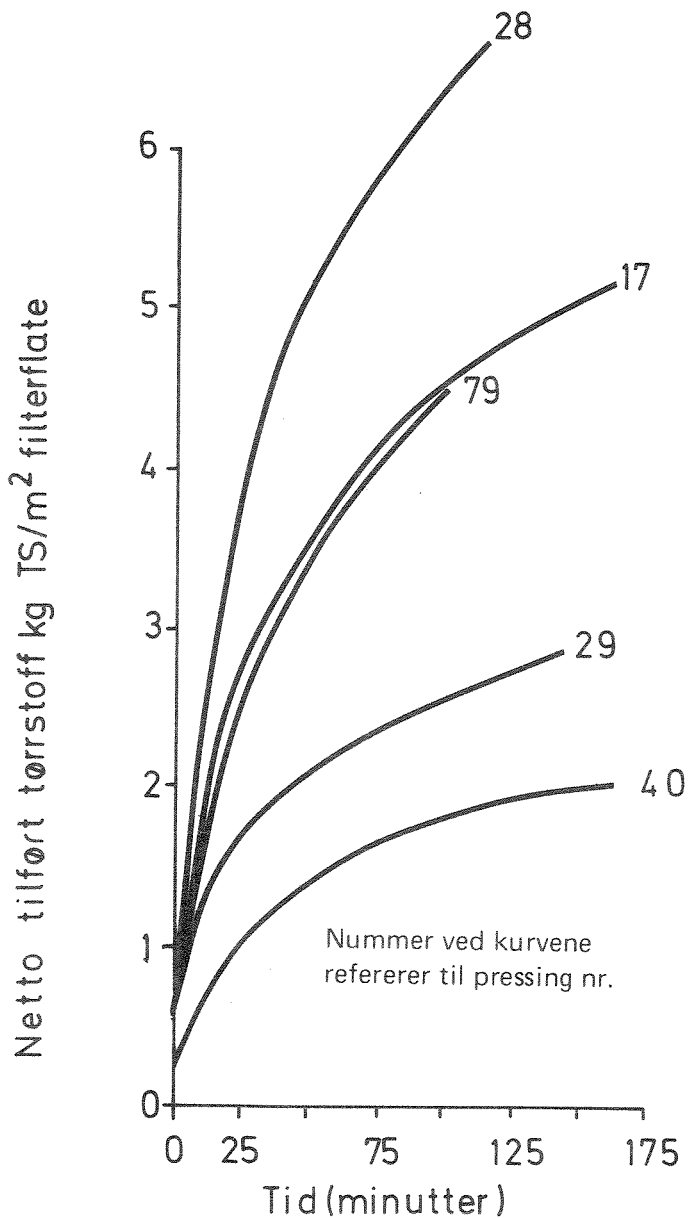


Fig. 35. Pressing av ulike råslamtyper.

Slamtype Nr	Fellingskjemikalier	Kalk kondisjonering %	Pressing Nr
4	Jernklorid	11	58
1b	Jernklorid+kalk	14	41
12	Aluminiumsulfat	15	11
13	Jernklorid	13	19
8	Aluminiumsulfat	14	77
7	Jernklorid	14	67

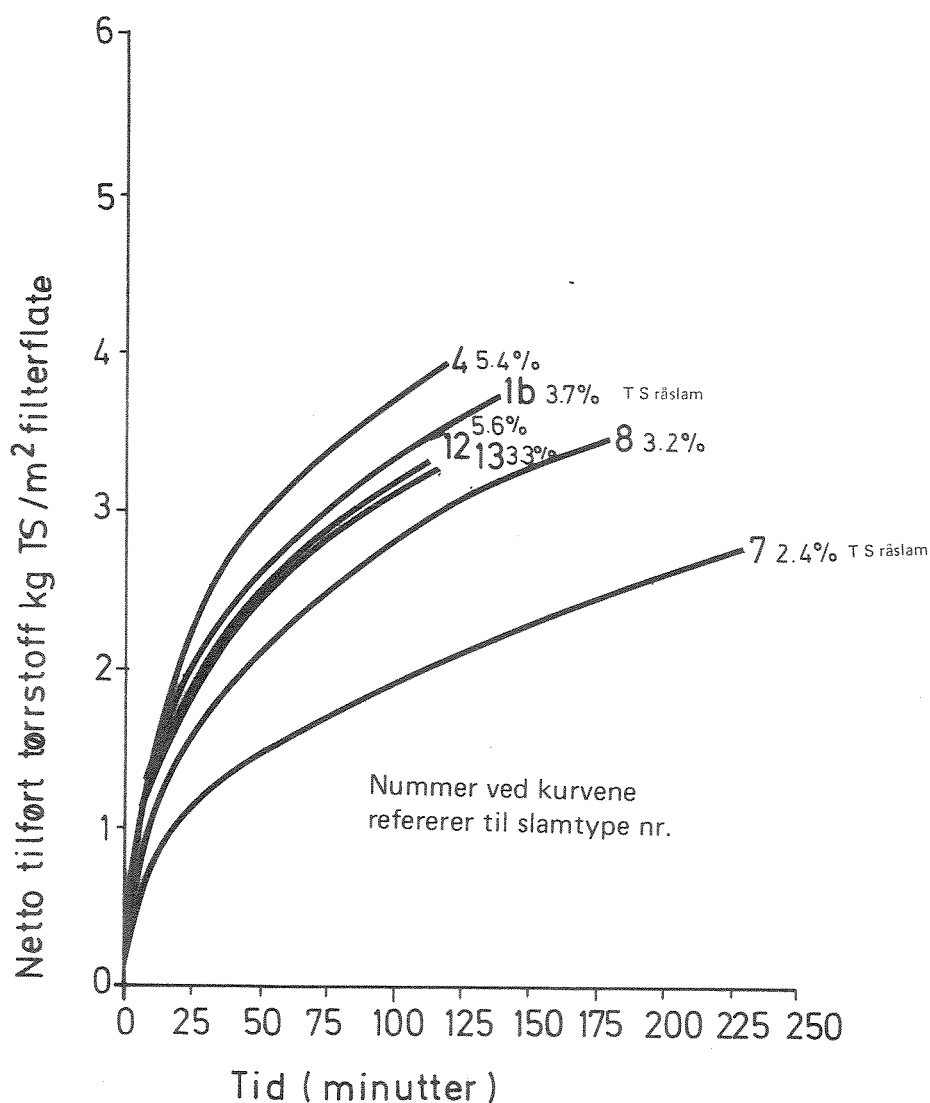


Fig. 36. Sammenlikning av ulike råslamtyper kondisjonert med 11-15% kalk. Kurvene er merket med TS % i råslam (små tall).

Slamtype Nr	Fellingskemikalier	Kalk kondisjonering %	Pressing Nr
13	Jernklorid	22	18
4	Jernklorid	21	56
1a	Jernklorid+kalk	19	30
0	Kalk + sjøvann	20	16
3a	Jernklorid+ kalk	20	46
12	Aluminiumsulfat	23	8
8	Aluminiumsulfat	24	76
1b	Jernklorid+kalk	22	43
7	Jernklorid	20	69

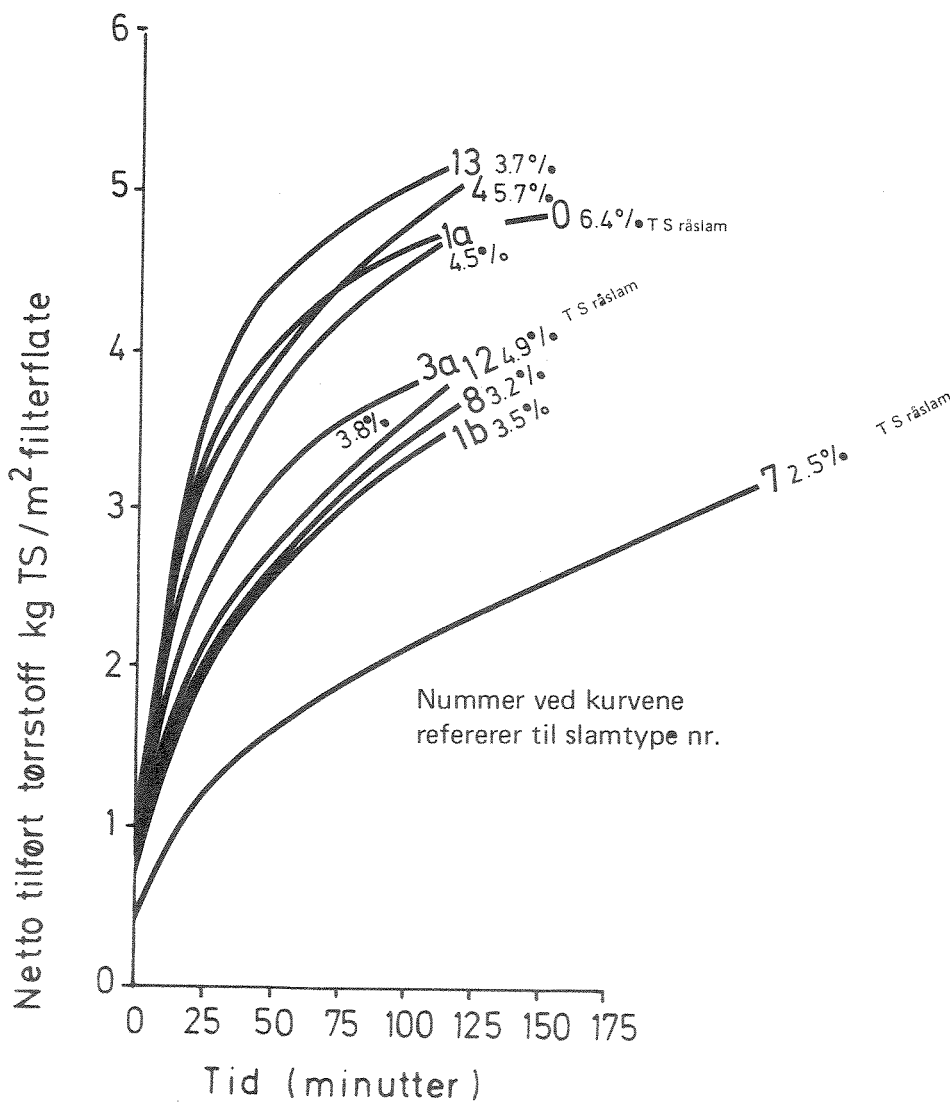


Fig. 37. Sammenlikning av ulike råslamtyper kondisjonert med 17-22% kalk. Kurvene er merket med TS % i råslam.

Slamtype nr. 7 danner et unntak i så måte idet den viste seg å reagere dårlig på kalk-kondisjonering. Slammet har vesentlig høyere alkalitet (> 470 mekv/l) enn andre undersøkte slamtyper (< 203 mekv/l).

Tørrstoff er dessuten lavest av undersøkte slamtyper (ca. 2,5 prosent). Alkaliteten er uttrykk for bufferkapasitet pr. volumenhet.

Når kondisjoneringsdosen er uttrykt i prosent av tørrstoff i råslammet, betyr dette at 20 prosent kalk tilsatt råslam med 2,5 prosent tørrstoff er en langt lavere dose på volumbasis enn 20 prosent kalk tilsatt et råslam med f.eks. 5,4 prosent tørrstoff. Dersom alkaliteten i de to slammene er lik, vil altså slammet med høyest tørrstoff få mer kalk til å reagere med alkaliteten, og en får en bedre respons når kondisjoneringsdosen er uttrykt i prosent av tørrstoffinnholdet. Når man som ved slamtype 7 har en kombinasjon av høy alkalitet og lavt tørrstoff, må derfor kondisjonerbarheten bli dårlig.

Ser man på absolutt verdien av kapasiteter oppnådd, ser man at kalkfelt slam, fig. 35 oppnår bedre avvanning ukondisjonert enn noen av de andre undersøkte slamtyper etter kondisjonering (fig. 37).

Kalk + sjøvannsfelt slam gav liten gevinst av kondisjonering, men avvaner til gjengjeld ukondisjonert (se fig. 37) omtrent på linje med maksimalverdier oppnådd etter kondisjonering av slam fra jernklorid felling og felling med kalk + jernklorid (fig. 37). Slam fra aluminiumsulfat felling reagerer positivt på kalk-kondisjonering, men en har ikke oppnådd like høye kapasiteter som med slam fra de andre slamtypene.

6.3.8 Tørrstoff i filterkaker

Fig. 38, 39 og 40 viser filterkakenes tørrstoffinnhold for slam felt med jernklorid + kalk, jernklorid, og aluminiumsulfat. Kakenes TS er fremstilt som funksjon av kondisjoneringsdosen.

En gjør oppmerksom på at verdiene som er fremstilt i figurene, viser brutto tørrstoffinnhold, dvs. det er ikke gjort fratrukk for tilsatte kondisjoneringsmidler. Videre er pressingene som er rapportert, utført med hovedsiktemål å påvise forskjeller i avvannbarhet for ulike slamtyper og kondisjoneringer. Dvs. pressingene er ofte avbrutt tidligere enn man ville gjort under normal drift. En kan av fig. 17 til 37 se at tilførselshastigheten ved pressingenes avslutning ofte er ganske høy. Dersom en hadde gjennomført pressingene med full syklustid (2-4 timer), hadde verdiene for kakenes tørrstoffinnhold gjennomgående ligget vesentlig høyere. En vil derfor ikke diskutere disse resultatene i detalj. En ser av figurene at tørrstoff gjennomgående ligger lavere enn 30 prosent for slam fra de tre nevnte fellingskemikalier. Tabell D1c i Appendix D viser at slam fra kalkfelling og kalk + sjøvannsfelling gjennomgående ligger vesentlig høyere selv med kortere syklustider. Fig. 38, 39 og 40 viser i prinsippet ikke annet enn det som er vist under diskusjonen i kapittel 6.3.

Kakenes brutto TS innhold er lett å måle, men etter som en ikke får noe uttrykk for netto mengde tørrstoff tilført pressen, vil verdiene gi et misvisende bilde av presseresultatene. Inntrykk av kapasiteten oppnås best ved å studere kurver for netto tilført tørrstoff som funksjon av presstid (fig. 17 til 37).

Brutto TS innhold er viktig ut fra et håndterings-synspunkt. Dette er imidlertid ikke problematisk dersom TS > ca. 25 prosent. Slammets håndteringsegenskaper endres ofte drastisk i TS området 20-30 prosent. Sentrifuger avvanner gjerne til TS ca. 22 prosent og gir en vanskelig håndterbar, plastisk, leiraktig masse. Alt ved TS vel 25 prosent opptrer slamm fra filterpresser som relativt fast materiale og kan håndteres uten at massen er klebrig. Overflaten av filterkakene vil dertil være tørrere enn det indre, noe som letter håndteringen.

Slamtype Nr	1a,1b,3a,3b
Kjemisk felling med	Kalk + jernklorid
Renseanlegg	Sandvika
Kondisjonering	Kalk

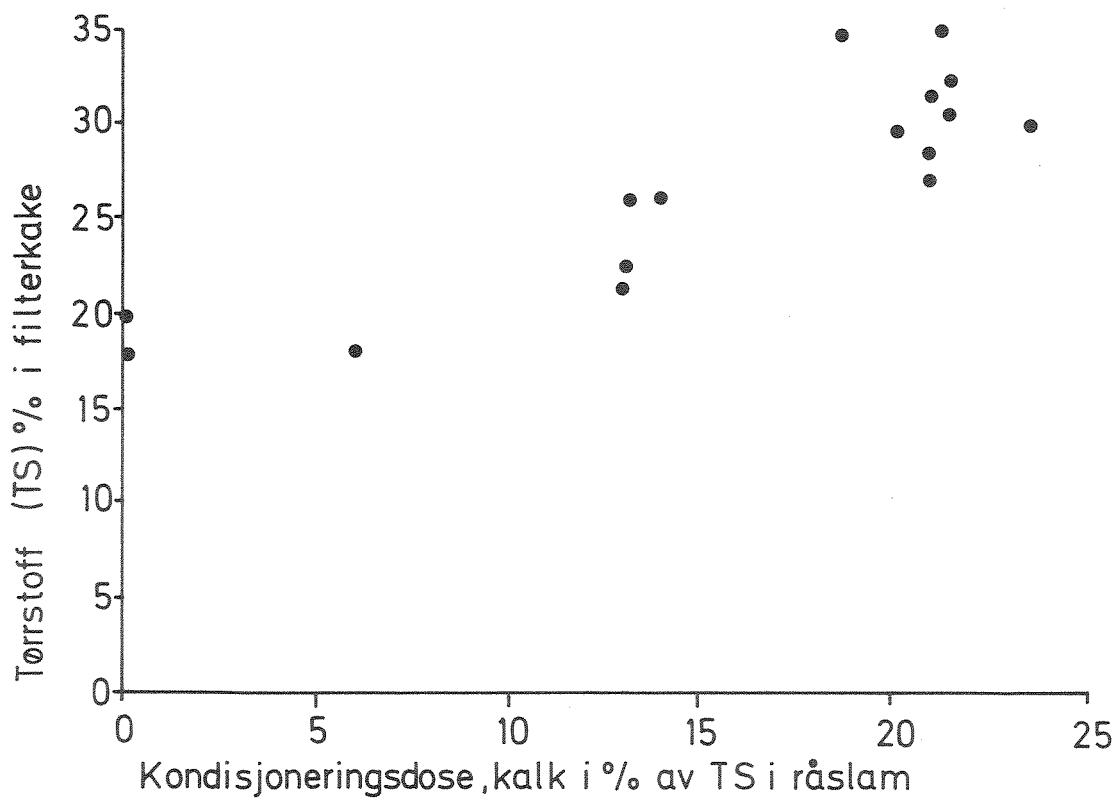


Fig. 38. Brutto TS % i filterkake for slam felt med kalk + jernklorid.

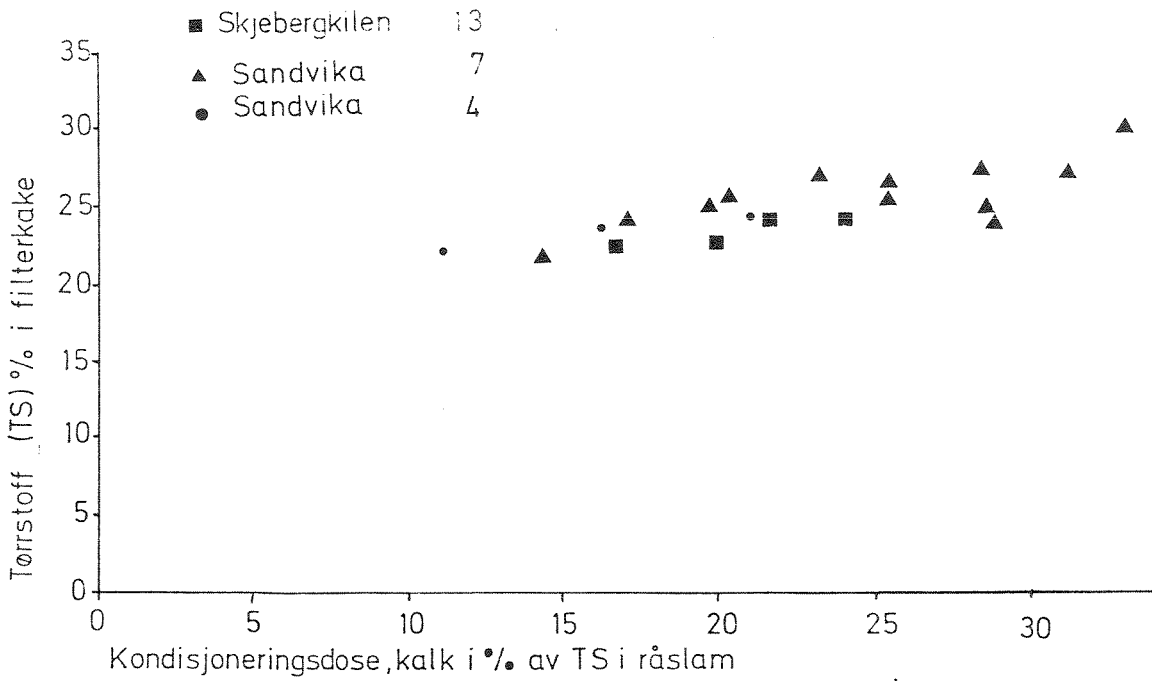


Fig. 39. Brutto TS% i filterkake for slam felt med jernklorid.

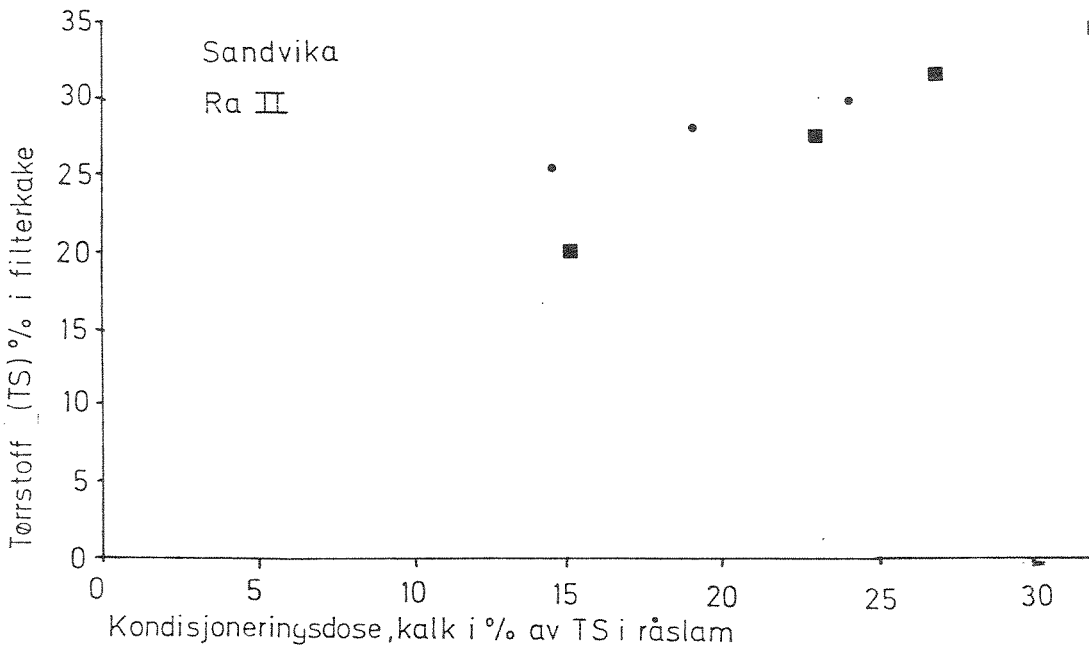


Fig. 40. Brutto TS% i filterkake for slam felt med aluminiumsulfat.

6.3.9 Kakevekt

Fra transportsynspunkt kan kakenes vekt være av interesse. Fig. 41 fremstiller kakevekten pr. m² filterflate for de utførte pressinger. Resultatene er merket med fellingskjemikalium. En ser at 10 prosent økning i brutto TS innhold gir ca. 1 kg økning i kakevekten pr. m² filterflate ved kaketykkelse 25 mm.

Videre gir felling med aluminiumsulfat noe lettere kaker enn de andre fellingskjemikalierne, men forskjellen er marginal, og en kan grovt regne 15-16 kg kake pr. m² filterflate ved kaketykkelse 25 mm og kaketørrestoff 30-35 prosent.

Økning av kaketykkelsen til 30 mm gir kakevekt 19 til 21 kg/m² filterflate. 1 m² filterflate tilsvarer følgende volumer og kakeromvekt ved 30 prosent brutto tørrestoff:

<u>Kaketykkelse</u>	<u>kakevolum/m² filterflate</u>	<u>kakeromvekt</u>
25 mm	12,5 l	ca. 1,2
30 mm	15 l	" 1,2

Ved transport av filterkakene vil effektiv romvekt være betydelig lavere, da en må regne med tilfeldig orientering av kakene i en container.

6.3.10 Vedheng til duker

Ved drift av kammerfilterpresser vil en være opptatt av at kakene ikke klebes til filterduken og skaper problemer med tømning av pressene. En har ikke i disse forsøkene gjort målinger av graden av klebing til dukene. Erfaringene tilsier imidlertid at dersom tørrestoffet i kakene (gjennomsnittlig) overstiger ca. 20 prosent, vil kakenes overflate være tørre nok til ikke å skape problemer med gjentetting av duken. En må imidlertid regne med at kakene ikke faller ut av pressen automatisk ved åpning. Manuell kontroll med tømning av pressen er derfor nødvendig. Av de undersøkte slamtyper fant en at jernkloridfelt slam fra Skjebergkilen gav spesielt liten heft til duken, mens de andre slamtypene opptrådte nokså likt.

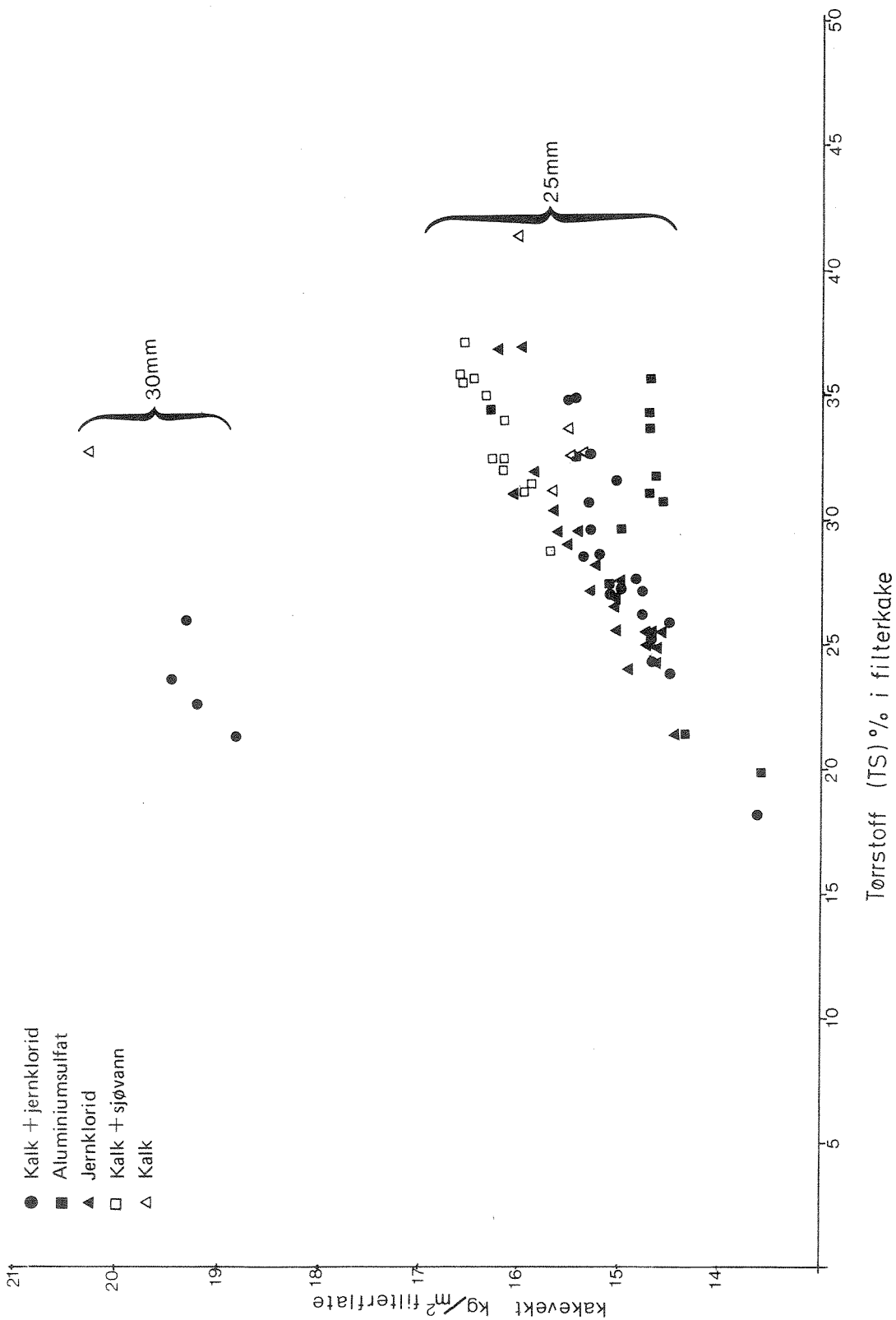


Fig. 41. Sammenheng mellom kakenes TS-innhold og kakenes vekt. 25 mm og 30 mm kaketykkelse.

7. LITTERATUR

1. Langeland, G.: Hygienisering av kloakkslam ved kalk-kondisjonering. Publikasjon under bearbeidelse. Norges Veterinærhøgskole, Oslo.
2. Haugan, B.-E.: Slamavvanning med filterpresser 2. Sammenliknende undersøkelser av to kammerfilterpresser og én membranfilterpresse. NIVA 0-78102-2, sept. 1979
3. Vråle, L.: Primærfelling med ulike fellingskjemikalier ved Sandvika Renseanlegg. Rapport under utarbeidelse. NIVA 0-79001, nov. 1979.
4. Haugan, B.-E.: Effekten av magnesium eller polyelektrolytter som hjelpekoagulant ved kjemisk felling med kalk. Hovedoppgave NTH. NIVA 1977.
5. Paulsrud, B.: Metode for måling av slams kondisjonerbarhet. NTNF's Utvalg for drift av renseanlegg. Publikasjon nr. 5, 1977.
6. & 7. Vråle, L.: Kjemisk felling med kalk og sjøvann. Del 1, 1977
Del 2, 1979. PRA 2.1 - NIVA 0-40/71-A.
8. Eikum, A. og Paulsrud, B.: PRA brukerrapprt nr. 10: Stabilisering av kommunalt slam. NIVA 1976.
9. Øren, K.: Systemanalyse av slamhandtering. NTNF's utvalg for fast avfall, nr. 1.2.77. NIVA 1977.
10. Cassel, A.F. og Johnson, B.P.: Evaluation of dewatering devices for producing high sludge solids cake. EPA Contract No. 68-03-2455. Cincinnati, Ohio, USA.

	Side:
APPENDIX A: Spesifikk filtrermotstand og CST	78
APPENDIX B: kondisjonering illustrert ved CST/TS	83
APPENDIX C: Kapasitetsberegninger for kammerfilterpresser	88
APPENDIX D: Fullstendig resultatpresentasjon	92

APPENDIX A

Spesifikk filtrermotstand og CST

I avsnittet om kondisjonering er parametrene spesifikk filtrermotstand og CST benyttet som mål for slammets avvanningsegenskaper. Dette er parametre som måles i laboratorium for å gi et raskt og standardisert mål for avvanningsegenskaper. Analysene har ingen verdi med mindre det kan dokumenteres at de reflekterer slammets egenskaper i fullskala avvanningsapparat. Dette er vel dokumentert i internasjonal litteratur.

På norsk foreligger en rapport av B. Paulsrud (5) som tar for seg måle-metodene for CST og spesifikk filtrermotstand. Her gis kun en kortfattet innføring i metodene.

Spesifikk filtrermotstand (r)

Denne analysen er laget for å beskrive avvanningsegenskaper ved filtrering. Den er basert på at filtratvolumet (V) har et forløp over tid (t) som kan beskrives ved likningen

$$\frac{t}{V} = b \cdot V + a. \quad \text{I}$$

a og b er konstanter.

b er en konstant som er avhengig av drivtrykket ved filtreringen, P, slammets viskositet, μ , filterflatens areal, A, slammets tørrstoffinnhold, c, og den spesifikke filtrermotstand:

$$b = \frac{\mu rc}{2PA^2}, \text{ dvs. } r = 2 \frac{PA^2 b}{\mu c} \quad (\text{m/kg}) \quad \text{II}$$

Dersom man måler volum som funksjon av tid, kan b finnes av likning I. b kan dermed gi filtrermotstanden pr. masse-enhet i slammet (r) ved at alle andre verdier i likning II er kjente.

b beregnes ved å plotte likning I, t/V som funksjon av V. (Se fig. A1.) b fremstår som vinkelkoeffisienten til en rett linje.

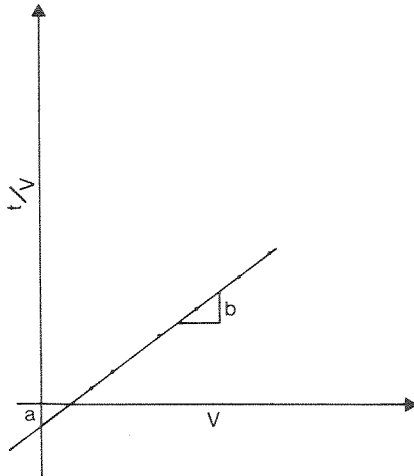


Fig. A1.
Beregning av konstanten b
i filterlikningen (I).

b settes så inn i uttrykket for r hvor alle de andre verdiene er kjent eller bestemmes ved målinger.

Filtreringen som gir data for t og V , foretas standardisert i en Büchner trakt ved å suge en 100 ml slamprøve gjennom et Whatman No 1 eller No 17 filterpapir med et vakuum på 0,49 bar.

Imidlertid vil filtrermotstanden øke dersom drivtrykket ved filtreringen øker. I forbindelse med kammerfilterpressing ved 15 bar er det derfor lite gunstig å benytte 0,49 bar ved analysen. Alternativt kan derfor benyttes et overtrykk over slamprøven. Fig. A2 viser en celle hvor slamprøven settes under overtrykk. I bunnen av cellen er en filterflate hvor kammerfilterduk benyttes som filtermedium. Filtratet samles opp under cellen i en målesylinder der volumet leses av med $\frac{1}{2}$ min. intervaller. Dette gir mulighet for å plotte t/V . Ved disse undersøkelsene er benyttet et drivtrykk på 5 bar.

Enheten for spesifikk filtrermotstand er m/kg . En opererer gjerne i området $r > 10^{12} m/kg$. Lav r betyr gode avvanningsegenskaper.

CST

Capillary Suction Time (kapillær sugetid) er en avvanningsparameter av relativt ny dato. CST er en rask metode som ofte benyttes i stedet for eller som supplement til spesifikk filtrermotstand.

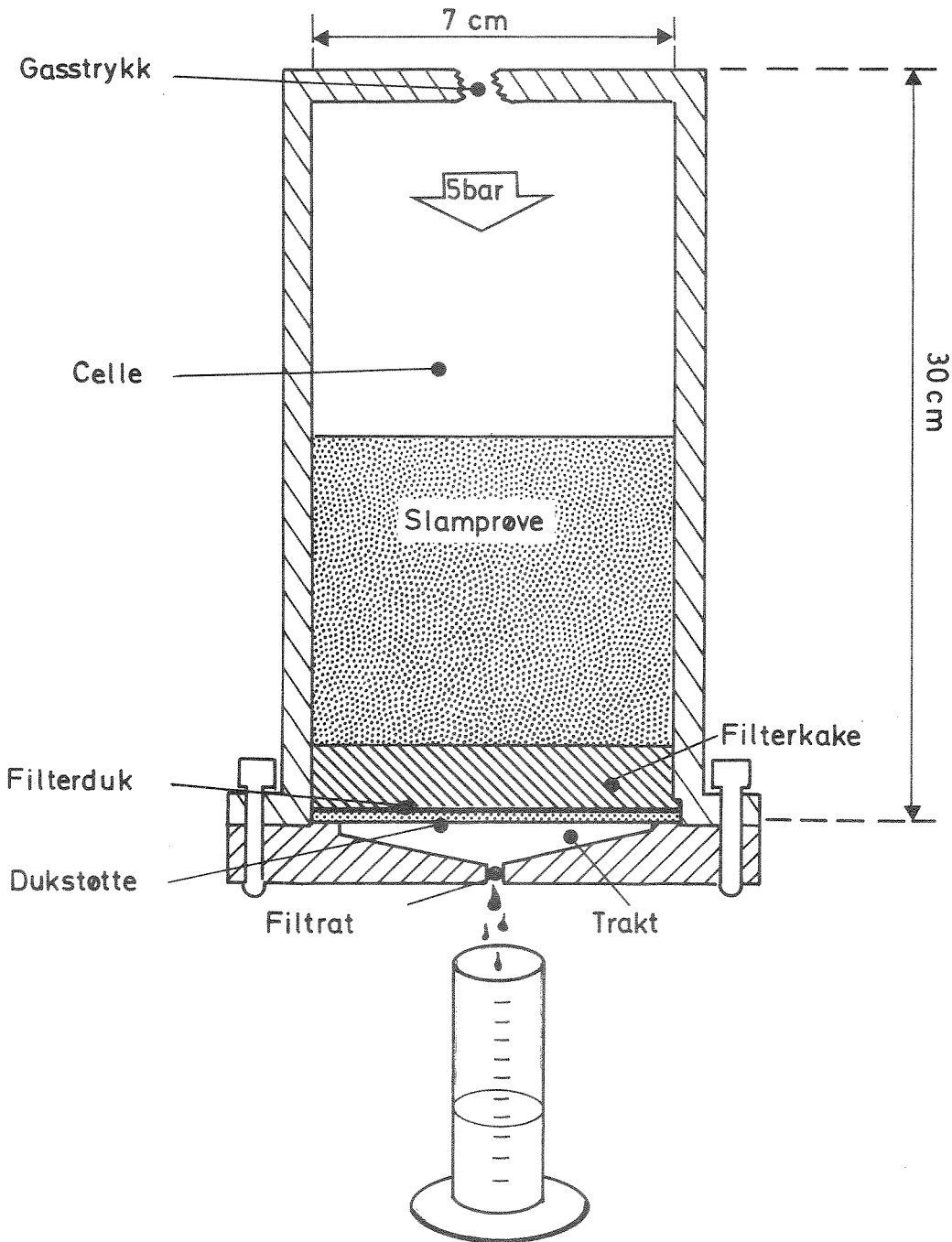


Fig. A2. Trykkcelle for måling av spesifikk filtrermotstand ved drivtrykk $P = 5$ bar.

Analysen består i at en liten sylinder plasseres på et porøst filterpapir (fig. A3). Sylindren fylles med slam. Vann fra slammet vil trekke ut i filterpapiret og bre seg sirkulært ut fra sylindren. Hastigheten væskefronten brer seg i papiret med, er avhengig av vannets binding i slammet.

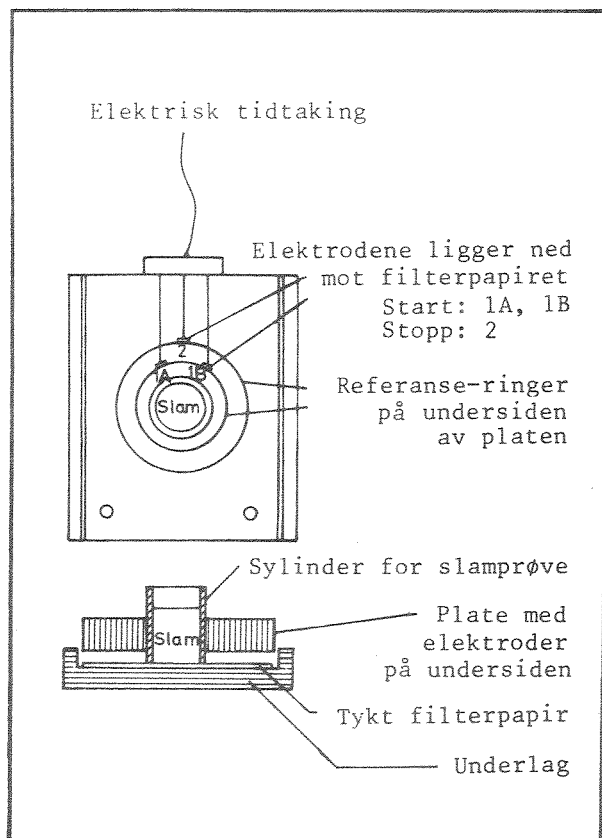


Fig. A3. Skisse av CST måleapparat.

Dersom slammet avvanner lett (svak binding til vann), vil væskefronten bre seg raskt. Ved målingen måler en tiden væskefronten bruker mellom to referanse ringer utenfor sylindren. Kort tid betyr rask bevegelse av væskefronten og gode avvanningsegenskaper.

CST er svært avhengig av tørrstoff i slammet. En bruker ofte å beregne CST pr. tørrstoffenheter for å kompensere for tørrstoff-avhengigheten. En får da en parameter som erfaringsmessig gir et godt bilde av hvordan slammet kan avvannes. En kan imidlertid vanskelig foreta direkte omregning av CST/TS data til spesifikk filtrermotstand eller fullskala data.

Derimot kan man påvise relative endringer i avvanningsegenskapene som følge av f.eks. kondisjonering. CST/TS korrelerer for hver enkelt slamtype ganske godt med spesifikk filtrermotstand, fig. Bl.

Enhet for CST er sekunder	s
" " CST/TS er	s/%.

Destillert vann har CST verdi ca. 4 sek. og representerer en nedre grense. Typiske verdier for slam kan være $20 \text{ s} < \text{CST} < 120 \text{ s}$. CST/TS ligger gjerne i området $4 \text{ s}/\% < \text{CST/TS} < 30 \text{ s}/\%$ med lave verdier for gode avvanningsegenskaper.

APPENDIX B

Kondisjonering illustrert ved CST/TS

I kapittel 6.2.2 ble effekten av kondisjonering illustrert ved hjelp av spesifikk filtrermotstand. Fig. B1 viser for slamtype 1 og 3 korrelasjon mellom spesifikk filtrermotstand og CST/TS. Fig. B2, B3 og B4 viser effekten av kalk-kondisjonering ved hjelp av CST/TS. Figurene presenteres uten kommentarer idet de viser samme tendenser som beskrevet i kapittel 6.2.2, fig. 13, 14 og 15.

Slamtype Nr .	1a , 1b , 3a , 3b
Kjemisk felling med	Kalk+ jernklorid
Renseanlegg	Sandvika
Kondisjonering	Kalk+ jernklorid

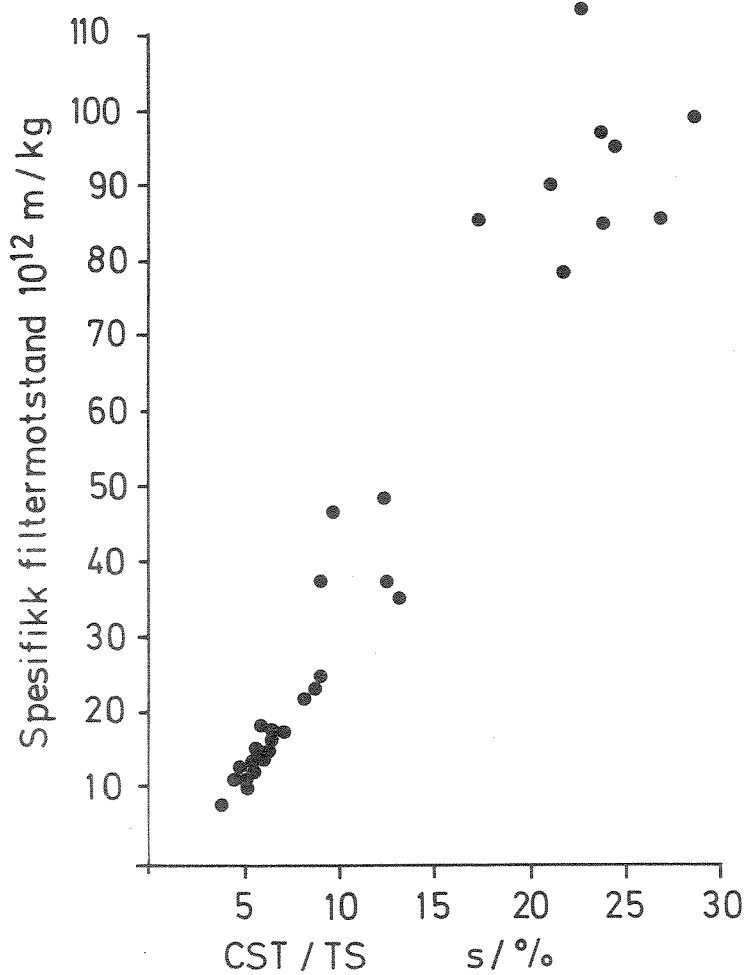


Fig. B1. Korrelasjon mellom CST/TS og spesifikk filtrermotstand (ved P = 5 bar).

Slamtype Nr	1a, 1b, 3a, 3b
Kjemisk felling med	Kalk+jernklorid
Renseanlegg	Sandvika
Kondisjonering	Kalk+jernklorid

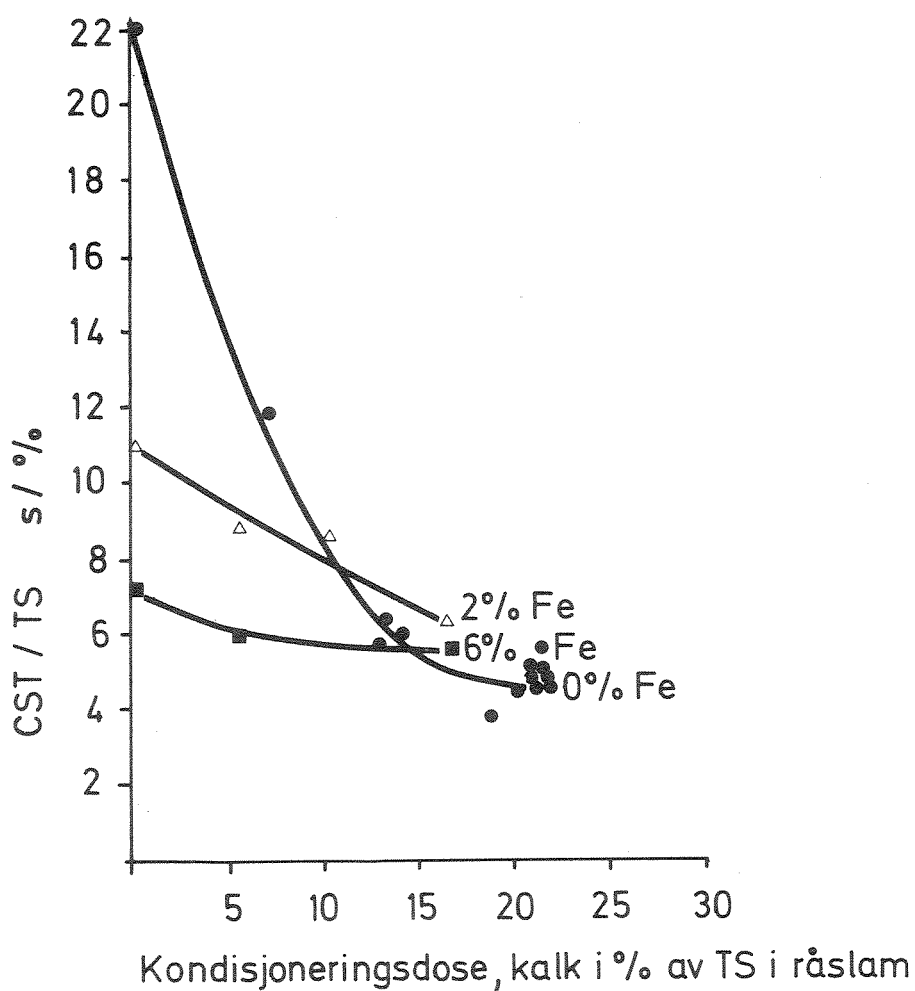


Fig. B2. CST/TS ved kondisjonering med jernklorid + kalk. Slam felt med jernklorid + kalk. (Se fig. 13.)

Slamtype Nr	7, 4, 13
Kjemisk felling med	Jernklorid
Renseanlegg	Sandvika nr 7, Sandvika nr 4, Skjebergkilen nr 13
Kondisjonering	Kalk

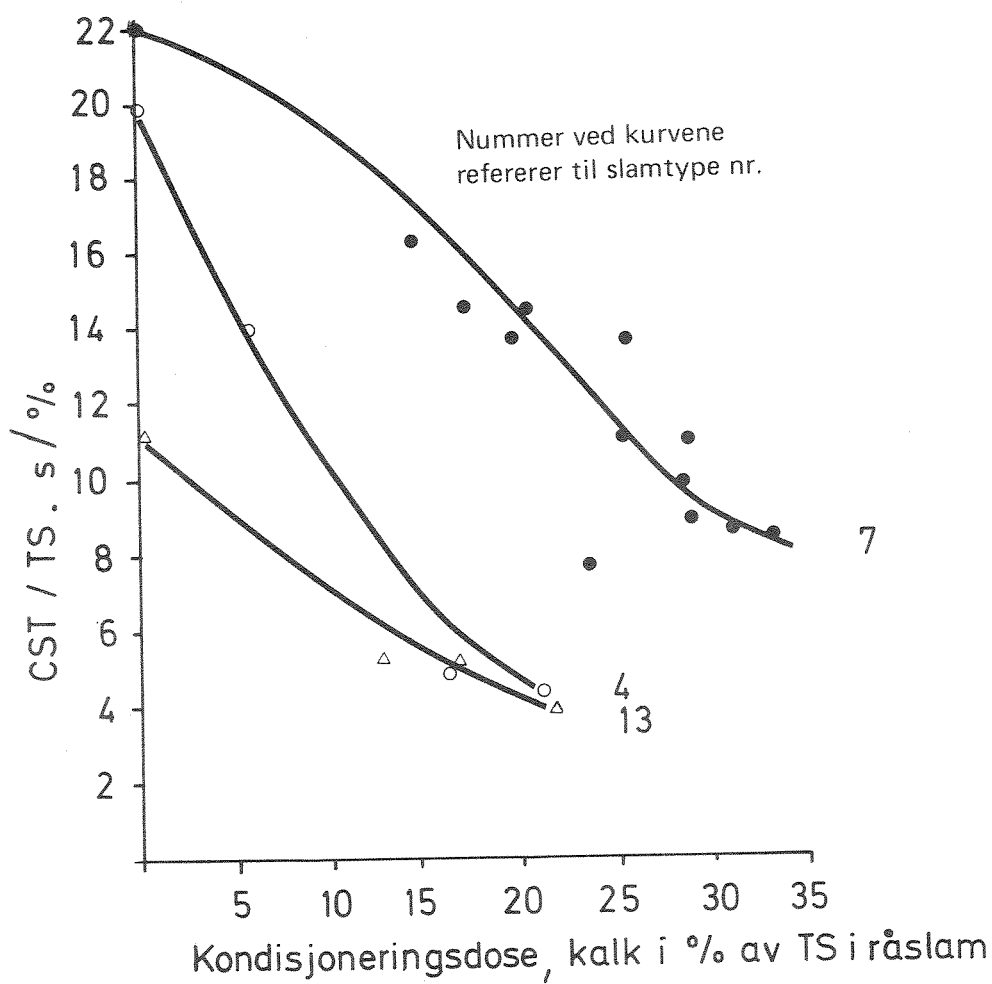


Fig. B3. CST/TS ved kondisjonering med kalk.
Slam felt med jernklorid. (Se fig. 14.)

Slamtype Nr	12,8
Kjemisk felling med	Aluminiumsulfat
Renseanlegg	Ra ^{Nr12} II, Sandvika Nr 8
Kondisjonering	Kalk

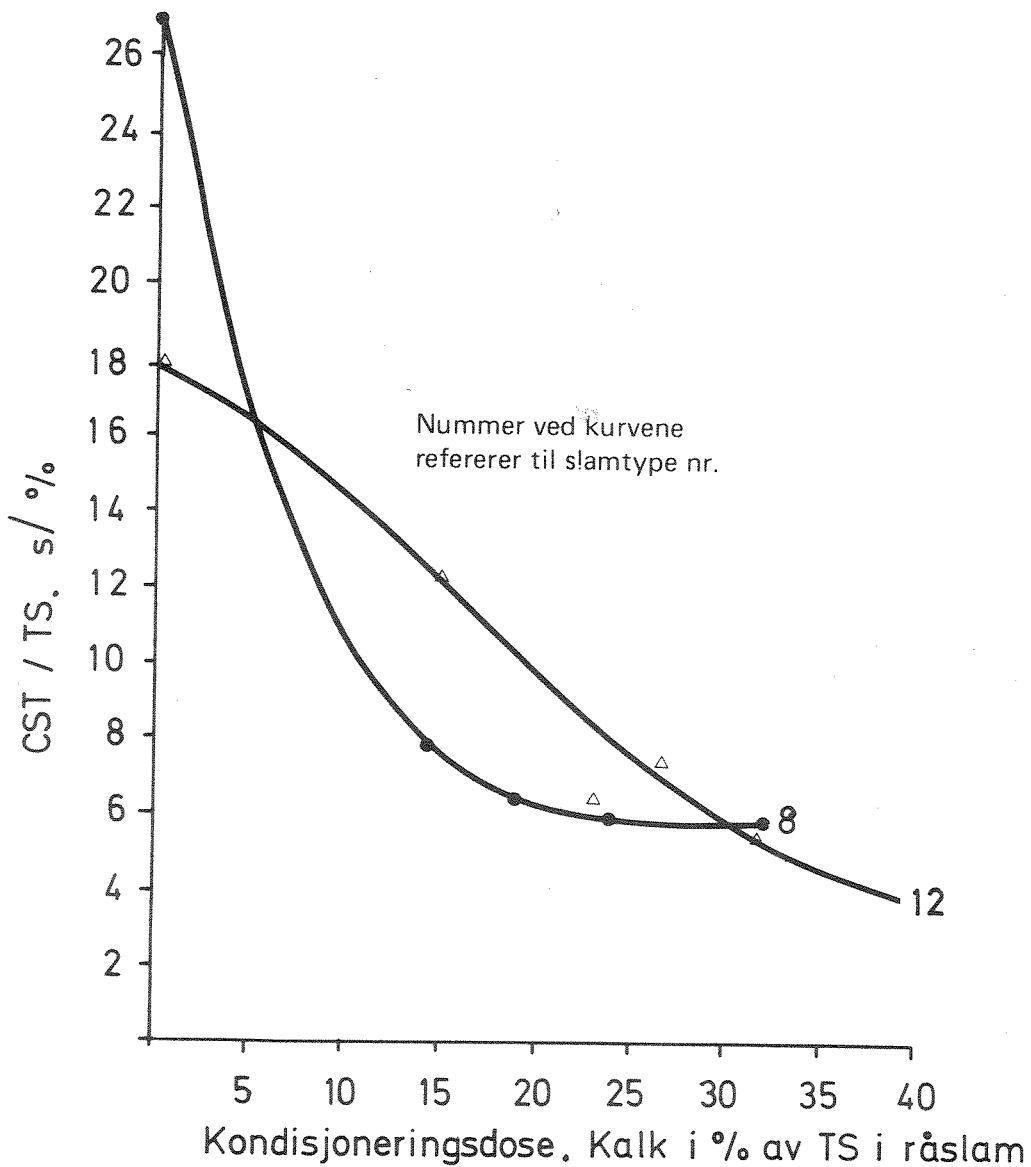


Fig. B4. CST/TS ved kondisjonering med kalk.
Slam felt med aluminiumsulfat. (Se fig. 15.)

APPENDIX C

Kapasitetsberegninger for kammerfilterpresser

De viktigste data som fremkommer ved pressing av slam, forbundet med pressens kapasitet er:

Råslammets volum
" tørrstoffinnhold
Kondisjoneringsmiddelets volum
"- "- tørrstoffinnhold
Det kondisjonerte slams volum
" " " " tørrstoffinnhold
Filtratmengden som funksjon av tiden
Kakenes vekt
Kakenes tørrstoffinnhold.

Kondisjoneringsdosen bestemmes i prosent av tørrstoff i råslammet.

Total tørrstoffmengde i råslammet er kjent ut fra volum og tørrstoffkonsentrasjon.

Tilsatt kondisjoneringsmiddelets volum og konsentrasjon er kjent, og kondisjoneringsmiddelet kan uttrykkes i prosent av tørrstoff i råslam.

Eks. Volum råslam 100 l
tørrstoff råslam 3% = 3 kg TS

Hertil settes kalkslurry (kalk løst i vann).

Volum kalkslurry 1,36 l
volumvekt 1,1 kg/l
tørrstoff 20%
Kalkmengde $1,36 \text{ l} \cdot 1,1 \text{ kg/l} \cdot \frac{20}{100} = 0,3 \text{ kg}$
Kondisjoneringsdose $\frac{0,3 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} \cdot 100 = \underline{10\%}$

Kondisjonert slam vil etter dette eksempelet ha et volum lik 101,36 l og inneholde 3,3 kg tørrstoff. Vi antar romvekt 1 kg/l dvs. totalt tørrstoff i kondisjonert slam :

$$\text{TS \%} = \frac{3,3 \text{ kg}}{101,36 \text{ l} \cdot 1 \text{ kg/l}} \cdot 100\% = \underline{3,26\%}$$

Av dette utgjør råslammet en andel:

$$3,26\% \cdot \frac{100\%}{110\%} = \underline{2,96\%} = \text{TS netto,}$$

dvs. netto TS blir lavere enn i råslammet!

Når volumstrømmene i pressingen er kjent, kan massebalanse utføres med tall som fremkommer som i eksempelet.

Slammengden tilført pressen vil til enhver tid være lik summen av filtratmengden og kammervolumet.

Det suspenderte stoff (SS) fra tilført slam oppkonsentreres i kaken (dersom filtratet er tilnærmet fritt for SS).

Tilført mengde tørrstoff inkluderer så vel kondisjoneringsmiddel som materiale fra råslammet. Ved kondisjonering og avvanning søker man å maksimere strømmen av råslam til avvanningsenheten, samtidig som bruken av kondisjoneringsmiddel holdes lavest mulig. I tillegg søker man av transportmessige hensyn å heve tørrstoffkonsentrasjonen i kakene.

Kjenner man filtratvolumet, er tilført mengde kondisjonert slam kjent, og lik filtratvolum + kammervolum. TS i dette er kjent, og råslammets andel av TS (TS netto) er kjent (2,96% i eksempelet). Ved ethvert tidspunkt i syklusen kan dermed mengde råslam (M) tilført pressen beregnes.

Kapasiteten uttrykkes som kg TS netto tilført pr. m^2 filterflate pr. tidsenhet. Fra fig. C1 over volumstrømmer kan plottes $\frac{M}{A}$ som funksjon av tiden, fig. C1.

$$A = \text{filterpressens effektive areal (m}^2\text{)}$$

$$M = V_t \cdot \text{TS}_{\text{netto}}. \quad V_t = \text{volum kondisjonert slam tilført.}$$

Fig. C2 viser at ved t_1 tidlig i syklusen er kapasiteten

$$\frac{M(t_1)}{A} / t_1 > \frac{M(t_2)}{A} / t_2 \quad (t_2 > t_1).$$

En linje gjennom origo til et punkt på kurven vil ha vinkelkoeffisient lik kapasiteten i punktet $\frac{M(t)}{A}/t$.

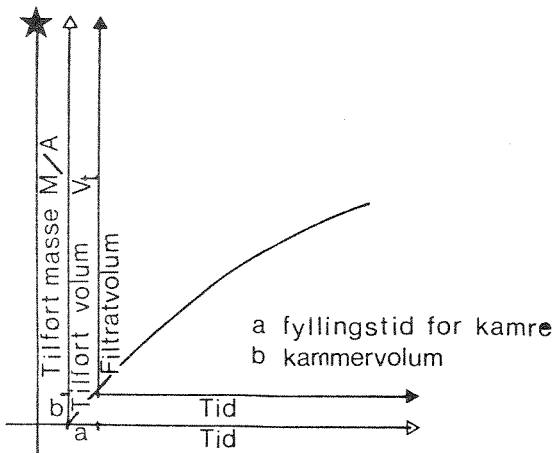


Fig. C1.
Omregning fra filtervolum til tilført masse (M) pr. areal-
enhet (A).

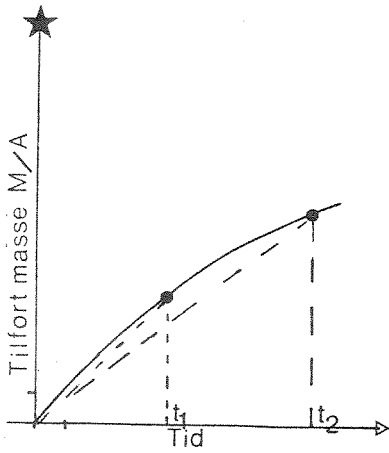


Fig.C2.
Kapasiteten fremkommer som en
rett linje fra origo til et
punkt på kurven.

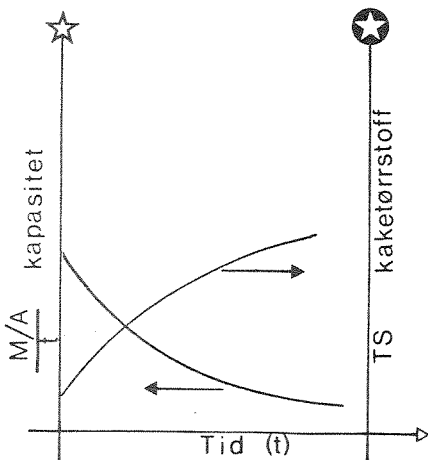


Fig. C3.
Ved økende syklustid avtar kapa-
siteten, men TS i kakene øker.

Dette innebærer at desto lenger tid en syklus varer, desto lavere blir kapasiteten. Imidlertid vil total mengde slam tilført ($\frac{M}{A}$) hele tiden øke og med den filterkakenes TS-innhold. Man må derfor gjøre et kompromiss og avbryte pressing når kakene er tørre nok (eks. 30% TS) og kapasiteten ennå akseptabel, fig. C3.

Filtrathastigheten er lik matehastigheten og er den parameter som i praksis avgjør når pressingen avbrytes. I fig. C2 vil filtrathastigheten fra fig. C1 i et punkt kunne fremstilles som tangenten til kurven ved omregning til tilført masse pr. areal og tidsenhet. Filtrathastigheten er maksimal ved $t = 0$ og avtar gjennom hele syklusen.

Når man leser resultater i tabell D1a, b og c, må man derfor se kapasitet, kake TS og syklustid i sammenheng med krav om høyt TS innhold og høy kapasitet.

APPENDIX D

Fullstendig resultatpresentasjon

Tabell D1a, b & c viser oversikt over alle pressinger som er foretatt. Pressingene er nummerert korresponderende til nummereringen ved kondisjonering, tabell 4 og 5. Tabell D1a, b & c er ordnet etter stigende jern- og kalkdose ved kondisjoneringen. Beregning av kapasiteter er foretatt som beskrevet i Appendix B, og kapasiteten er beregnet ved pressingenes avslutning. Alle beregninger er utført med netto tørrstoff konsentrasjoner. Dvs. kondisjoneringsmidlene er trukket fra.

Tabell D1a. Data for kapasitetsberegning.
Felling med jernklorid + kalk.

Slam- type	Rense- anlegg	Kondi- sjonering		TS kondi- sjonert slam		Volum uttatt føde- tank	Volum filtrat +kammer	Kake			Syklus tid	Kake- tyk- kelse	Netto kapasitet kg/m ² .time	Pres- sing nr.
		Kalk	Fe	Brutto	Netto			Vekt	TS %	Brutto				
nr.		%	%			l	l	kg			min	mm		nr.
1a, 1b, 3a, 3b, jernklorid + kalk	SANDVIKA	-	-	3,7	3,7	89	80	-	17,9	17,9	138	25	0,86	40
		-	-	5,1	5,1	88	85	-	19,9	19,9	146	"	1,20	29
		7,0	-	3,7	3,5	128	108	20,3	18,2	17,0	135	"	1,11	42
		13,0	-	3,9	3,5	214	213	28,6	22,6	20,0	246	30	1,20	54
		13,0	-	3,9	3,5	184	183	28,0	21,3	18,9	119	30	2,15	52
		13,2	-	3,8	3,4	165	158	21,6	25,9	22,9	128	25	1,67	51
		14,1	-	3,9	3,4	169	157	22,0	26,2	23,0	140	"	1,54	41
		18,7	-	5,1	4,3	168	166	23,1	34,8	29,3	149	"	1,93	30
		20,1	-	4,2	3,5	184	158	22,8	29,6	24,6	143	"	1,56	46
		21,0	-	4,1	3,4	184	177	22,6	28,6	23,6	135	"	1,79	48
		21,0	-	4,1	3,4	165	163	22,0	27,2	22,5	128	"	1,74	49
		21,1	-	4,1	3,4	192	180	22,4	31,6	26,1	155	"	1,58	38
		21,2	-	4,1	3,4	190	198	29,0	23,6	19,5	125	30	2,07	45
		21,3	-	5,6	4,6	146	151	23,0	34,9	28,8	138	25	1,96	37
		21,5	-	4,2	3,5	203	201	22,8	32,6	26,8	142	"	1,97	50
		21,5	-	4,2	3,5	183	176	24,8	-	-	132	25/30	1,86	44 x)
		21,5	-	4,1	3,4	181	169	22,8	30,7	25,3	106	25	2,16	47
		21,7	-	4,0	3,3	179	159	22,3	27,3	22,4	115	"	1,83	43
		21,7	-	4,1	3,4		207	28,8	25,8	21,2	143	30	1,96	39
		5,6	2,1	4,9	4,6	125	118	21,6	23,8	22,2	145	25	1,50	31
10,3	2,0	5,1	4,5	126	124	22,1	27,6	24,6	139	"	1,63	36		
16,4	2,1	5,0	4,2	145	149	22,9	28,6	24,1	156	"	1,58	34		
5,4	4,1	5,6	5,1	140	134	21,9	24,4	22,3	167	"	1,65	32		
5,5	6,2	5,9	5,3	146	139	21,9	25,2	22,6	140	"	2,11	33		
16,8	6,4	6,3	5,1	145	144	22,5	27,1	22,0	145	"	2,05	35		

x) Pressing nr. 44 er utført med 2 kamre med 30 mm tykkelse og 3 kamre med 25 mm tykkelse montert.

Tabell D1b. Data for kapasitetsberegning. Felling med jernklorid.

Slam- type	Rense- anlegg	Kondi- sjønering		TS kondi- sjonert slam		Volum uttatt føde- tank l	Volum filtrat +kammer l	Kake			Syklus tid min	Kake- tyk- kelse mm	Netto kapasitet kg/m ² .time	Pres- sing nr.
		Kalk %	Fe %	Brutto	Netto			Vekt kg	TS % Brutto	Netto				
7a, 7b, jernklorid	Sandvika	14,4	-	2,8	2,4	195	182	21,5	21,4	18,7	240	25	0,73	67
		17,1	-	3,1	2,6	195	187	21,8	24,2	20,7	244	"	0,80	68
		19,7	-	3,1	2,6	205	197	21,9	25,0	20,9	249	"	0,83	69
		20,2	-	3,0	2,5	195	187	21,7	25,5	21,2	245	"	0,76	66
		23,5	-	3,3	2,7	203	206	22,3	26,8	21,7	167	"	1,34	74
		25,4	-	3,2	2,6	193	174	22,4	26,6	21,2	180	"	1,01	73
		25,5	-	2,6	2,1	232	210	21,9	25,3	20,2	227	"	0,78	62
		28,3	-	3,2	2,5	265	243	22,3	27,5	21,4	180	"	1,33	60
		28,5	-	2,9	2,3	225	203	21,8	24,9	19,4	180	"	1,04	64
		28,9	-	3,6	3,0	196	186	22,2	24,0	20,0	186	"	1,20	70
		31,3	-	3,7	2,8	204	197	22,7	27,2	20,7	180	"	1,23	71
		33,0	-	3,5	2,6	233	238	23,3	30,4	22,9	180	"	1,38	59
		38,9	-	2,9	2,1	276	262	22,4	25,7	18,5	180	"	1,22	63
		41,8	-	3,5	2,5	233	226	23,2	29,5	20,8	182	"	1,25	65
		43,7	-	3,2	2,2	270	264	23,1	29,0	20,2	186	"	1,26	61
4, jernklorid	Sandvika	5,6	-	5,3	5,0	103	93	-	23,4	22,2	120	25	1,56	57
		11,1	-	5,5	5,0	116	115	21,9	25,7	23,1	120	"	1,93	58
		16,1	-	6,3	5,4	148	143	23,6	31,9	27,5	121	"	2,58	55
		21,0	-	6,3	5,2	149	146	23,8	36,9	30,5	121	"	2,53	56
13, jernklorid	Skjebergkilen	12,7	-	3,3	2,9	164	160	-	23,1	20,5	135	25	1,40	19
		16,6	-	3,6	3,1	196	194	22,7	28,2	24,2	132	"	1,82	22
		21,8	-	3,6	3,0	220	234	23,9	31,0	25,5	116	"	2,3	18
		20,1	0,8	3,6	3,0	229	214	23,0	29,6	24,6	129	"	1,99	21
		23,6	0,7	3,6	2,9	250	250	24,2	36,8	29,6	165	"	1,77	20

Tabell Dlc. Data for kapasitetsberegning.
Felling med kalk, kalk + sjøvann og aluminiumsulfat.

Slam- type	Rense- anlegg	Kondi- sjonering		TS kondi- sjonert slam		Volum uttatt fødde- tank l	Volum filtrat +kammer l	Kake			Syklus tid min	Kake- tyk- kelse mm	Netto kapasitet kg/m ² .time	Pres- sing nr.
		Kalk %	Fe %	Brutto	Netto			Vekt kg	TS % Brutto	Netto				
0, kalk + sjøvann	Sandvika	-	-	6,4	6,4	123	120	23,7	31,4	31,4	167	25	1,85	17
		20,3	-	6,6	5,5	137	135	24,3	34,9	29,0	155	"	1,92	16
		-	4,0	7,8	7,5	129	123	23,8	31,1	29,9	117	"	3,18	13
		9,5	4,0	7,7	6,8	135	136	24,5	35,7	31,5	156	"	2,36	14
		21,7	4,2	7,6	6,0	139	133	24,1	33,9	27,0	136	"	2,37	15
9, kalk + sjøvann	Sandvika	-	-	8,0	-	112	110	24,6	36,9	-	104	25	3,42	79
		-	-	8,4	-	90	87	24,2	32,2	-	61	"	4,92	80
		-	-	8,6	-	95	97	24,7	35,7	-	95	"	3,51	81
		-	-	8,5	-	87	96	24,4	32,4	-	56	"	5,53	82
		-	-	8,6	-	84	85	24,4	34,3	-	60	"	5,03	83
		-	-	8,2	-	87	84	24,1	31,9	-	45	"	6,39	84
		-	-	8,1	-	77	77	23,4	28,6	-	30	"	8,42	85
11, kalk	Muusøya	-	-	4,5	4,5	253	246	30,2	32,7	32,7	117	30	3,81	28
		-	-	4,7	4,7	219	224	23,9	41,4	41,4	133	25	3,18	23
		-	1,9	4,8	4,7	178	182	22,9	32,7	32,1	130	"	2,65	24
		9,1	1,8	5,2	4,7	176	183	23,1	33,7	30,4	102	"	3,39	27
		-	4,4	5,3	5,1	173	184	23,1	32,4	31,0	138	"	2,72	25
		-	6,2	-	-	187	188	23,3	31,1	-	138	"	-	26
8, aluminium- sulfat	Sandvika	14,4	-	3,6	3,1	184	167	22,0	24,6	21,5	183	25	1,1	77
		19,0	-	3,7	3,1	205	188	22,5	27,4	23,0	179	"	1,3	78
		23,9	-	3,9	3,1	191	172	22,3	29,6	23,9	122	"	1,8	76
		32,0	-	4,4	3,3	167	153	23,0	32,7	24,8	122	"	1,7	75
12, aluminiumsulfat	R A II	15,0	-	5,9	5,1	-	92	20,2	19,9	19,3	117	25	1,63	11
		23,1	-	5,3	4,3	-	152	21,4	28,3	23,0	132	"	2,0	8
		26,7	-	7,0	5,5	119	115	21,8	31,8	25,1	135	"	1,90	12
		31,7	-	5,3	4,0	-	160	21,9	33,8	25,7	153	"	1,70	7
		47,7	-	5,6	3,8	133	125	21,7	30,6	20,7	80	"	2,38	9
		20,7	1,0	6,1	4,9	151	138	22,0	35,3	29,0	188	"	1,46	5
		28,1	1,0	6,0	4,6	-	123	21,9	34,2	21,5	104	"	2,21	6
		43,6	2,0	6,8	4,7	-	110	21,9	31,0	21,3	72	-	2,87	10

---oOo---