

# Metode for måling av slams kondisjonerbarhet

*Sivilingeniør Bjarne Paulsrud*  
Norsk institutt for vannforskning

NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg



HPD-05/76

Blindern, august 1977

## Forord

*Ved avvanning av slam brukes hjelpekoagulanter for å kondisjonere slammene før selve avvanningen. Driftspersonalet er helt avhengig av å finne riktig type hjelpekoagulant og riktig mengde for å få brukbare avvanningsresultater. Ved bestemmelse av type hjelpekoagulant og doseringsmengder er man i dag overlatt til tilfeldige og mangelfulle metoder.*

*Det er i perioden 1973-76 utarbeidet en metode for måling av et slams kondisjonerbarhet. Arbeidet har pågått innenfor rammen av COST 68/2 som er et europeisk samarbeidsprosjekt. Norsk institutt for vannforskning fikk i oppdrag av NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg å utarbeide en brukervennlig rapport basert på de resultater som var oppnådd innenfor COST-samarbeidet. Sivilingeniør Bjarne Paulsrud begynte dette arbeid mens han var ansatt ved NIVA, men det ble først fullført etter at han var blitt ansatt i NTNF.*

*Arild Schanke Eikum  
NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg*

*Blindern, august 1977*

# Innholdsfortegnelse

	Side:
FORORD	2
1. INNLEDNING	4
2. METODEBESKRIVELSE	5
2.1 Generelt	5
2.2 Laboratorieutstyr	5
2.3 Forbehandling av slammet	10
2.4 Tilberedning av stamløsninger	10
2.5 Dosering av kondisjoneringsmiddel	10
2.6 Innblanding, omrøring og måling av CST	11
2.7 Måling av spesifikk filtrermotstand	13
2.8 Presentasjon av resultater	14
2.9 Kommentarer	15
3. EKSEMPEL PÅ BRUK AV METODEN	17
REFERANSER	19
VEDLEGG 1: BRUK AV "INFRATESTER" FOR BESTEMMELSE AV TØRRSTOFFINNHold I SLAM	20
VEDLEGG 2: BESTEMMELSE AV SPESIFIKK FILTRERMOTSTAND I SLAM	25

# Figurfortegnelse

Fig. 1. CST-apparat - prinsipp og aktuell enhet	6
Fig. 2. Standard omrører	8
Fig. 3. Standard begerglass og plassering i forhold til omrøreren	8
Fig. 4. Standardisert røreverk for innblanding av kondisjo- neringsmidler i slam og skjærpåkjennning av det kondisjonerte slammet	9
Fig. 5. Stamløsning av standard polyelektrolytt (Praestol 444K)	9
Fig. 6. Tilsetting av kondisjoneringsmiddel ved hjelp av pipette	12
Fig. 7. Tilsetting av kondisjoneringsmiddel ved hjelp av målesylinder og trakt	12
Fig. 8. "Infra-tester"	22
Fig. 9. Apparat for bestemmelse av spesifikk filtrermotstand (prinsipp)	27
Fig. 10. Detaljer av filteringsutrustning for a) saktefil- trerende slam og b) hurtigfiltrerende slam (tilsatt kondisjoneringsmiddel)	27

# 1. Innledning

I perioden 1973-1976 ble det gjennomført et europeisk samarbeidsprosjekt vedrørende slamkarakterisering hvor også Norge deltok. Innenfor dette prosjektet ble det bl.a. utarbeidet en metode for måling av slams kondisjonerbarhet, og denne metode er nå vedtatt som en standard metode innenfor deltakerlandene (COST-Projekt 68, 1975).

Hensikten med metoden var å sammenligne ulike slamtyper for å se hvor lett de lar seg kondisjonere tilfredsstillende før avvanning. Som standard kondisjoneringskjemikalier ble det valgt én type kationisk polyelektrolytt (Praestol 444K) samt jern(III)klorid som representant for de uorganiske kondisjoneringsmidler. Praestol 444K ble valgt fordi man i praksis har funnet at den er effektiv ved de fleste slamtyper med høyt innhold av organisk stoff. Bruken av Praestol 444K som en standard polymer betyr imidlertid ikke at denne er den gunstigste polymer i praksis ut fra en kostnads/effektivitetsvurdering. Kationiske polyelektrolytter gir for øvrig ikke et representativt bilde av mulighetene for å kondisjonere alle typer slam, spesielt ikke slam fra kjemisk felling, men pga. manglende erfaring med anioniske polyelektrolytter er det foreløpig ikke valgt noen standardtype av disse.

I tillegg til å tjene som en slamkarakteriseringsmetode vil denne metoden også være svært nyttig for å gjøre en grovsortering av polyelektrolytter ved fullskala avvanningsanlegg. En kan da foreta utprøvinger av en rekke forskjellige polyelektrolytt-typer i løpet av kort tid og de typene som viser seg lovende, må så undersøkes under vanlige driftsforhold ved anlegget for å komme fram til den type som både prosessmessig og økonomisk er gunstigst.

Selve metodebeskrivelsen i denne rapporten er oversatt fra den engelske originalteksten og er derfor basert på de to standard kondisjoneringskjemikalier som skal brukes ved vurdering av ulike slamtypers kondisjonerbarhet. Opplegget blir imidlertid helt identisk dersom en bruker andre kondisjoneringskjemikalier i stedet for eller i tillegg til de to valgte produkter. Fordelen med metoden vil for øvrig uansett være at innblanding av kjemikalier, omrøring (skjærpåkjønning) og måling av resultatene skjer under standardiserte betingelser.

## 2. Metodebeskrivelse

### 2.1 Generelt

Metoden er basert på å måle effekten av kjemikalietilsetting til slam (kondisjonering) ved hjelp av den såkalte kapillære sugetid (Capillary Suction Time, CST). Denne parameter er et mål for et slams filtreringsegenskaper (se beskrivelse av utstyret under pkt. 2.2) og resultatene er bl.a. avhengig av slammets tørrstoffinnhold. Ved tilsetting av kondisjoneringsmidler er en derfor avhengig av å variere kjemikaliedoseringen ved å endre konsentrasjonen på den løsningen som tilsettes slik at slamprøvene fortynnes med like store volumer av kondisjoneringsmidlet. For å få en sammenlignbar referanseverdi for ukondisjonert slam, må en utføre CST-målingen på en slamprøve som er tilsatt et tilsvarende volum med destillert vann.

Som standardopplegg benyttes tre forskjellige doseringer av to kondisjoneringsmidler: jern(III)klorid og Praestol 444K (forhandles av Bayer Kjemí A/S, Oslo). Andre typer kondisjoneringsmidler og doseringsmengder kan selvsagt benyttes etter behov. For hver slamprøve måles CST umiddelbart etter at destillert vann eller kondisjoneringsmiddel er blandet inn og deretter igjen etter at prøven har vært utsatt for omrøring med en standardisert omrører i bestemte perioder. For øvrig bør det utføres én måling av spesi- fikk filtrermotstand på det ukondisjonerte slammet og på hver av de seks kon- disjonerte slamprøvene.

### 2.2 Labororientert utstyr

#### CST-apparat

Utstyret for måling av et slams kapillære sugetid (CST-apparatet) er vist i figur 1. Prinsipper og anvendelsesområde er beskrevet i detalj av Baskerville og Gale (1968), og målingen går i korthet ut på at slam fylles i en hul sylinder som står på den ru siden av et filterpapir (Whatman nr. 17). Den kapillære sugetid (CST) er den tiden det tar for vannet som filterpapi- ret trekker ut av slammet, å bevege seg mellom to konsentriske ringer med radius

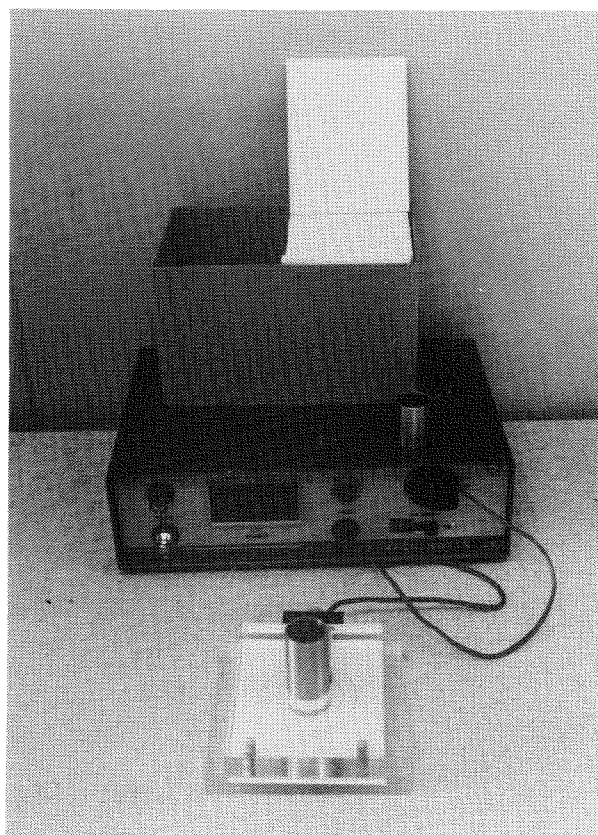
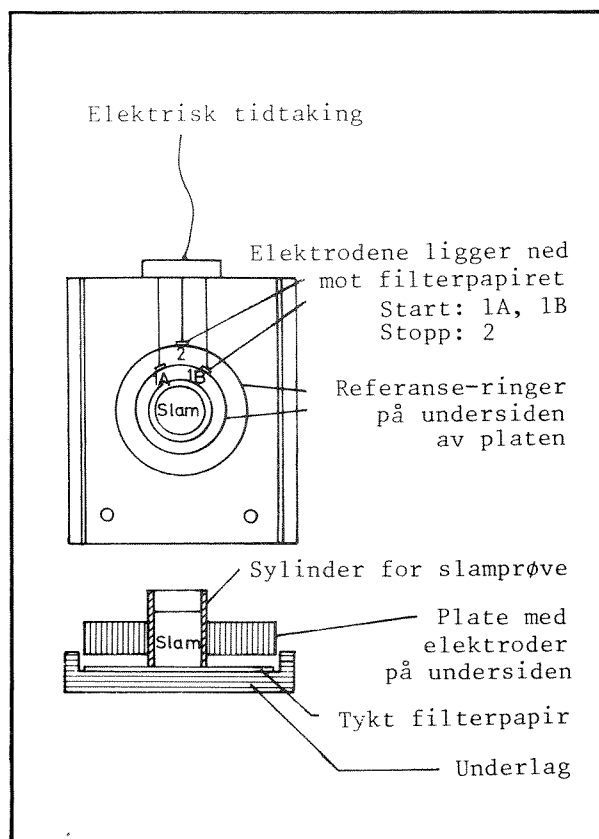


Fig. 1. CST-apparat - prinsipp og aktuell enhet.

16 og 22,5 mm. Det er to forskjellige sylindrer for slamprøven, én med 10 mm og én med 18 mm indre diameter. Den minste sylindren gir de mest nøyaktige resultater ved hurtigfiltrerende slam.

CST-apparater produseres av Triton Electronics Ltd., Bigods Hall, Dunmow, Essex, England, og forhandles i Norge av Dipl.ing. Houm & Co., Sagvn. 23B, Oslo 4. Apparatet kan fås både for batteridrift og for tilkopling til lysnettet.

#### Røreverk med standard omrører

Den standardiserte omrøreren er vist på figur 2, mens plassering av den i forhold til den valgte begerglasstype er gitt i figur 3. Omdreinings-hastigheten på røreverket skal være 1000 omdreininger pr. min. Dette utstyret kan man enten selv bygge opp av de enkelte komponenter eller det kan kjøpes som en "skreddersydd" enhet (se figur 4) fra samme forhandler som for CST-apparatet. I denne enheten er det også innebygget tidur som gir de ulike standard omrøringstider.

#### Utstyr for måling av tørrstoffinnhold i slam

Det kan her brukes konvensjonelt utstyr (tørkeskap og analysevekt) eller et enklere utstyr ("Infra-tester") som gir tørrstoffinnholdet i løpet av ca.  $\frac{1}{2}$  time og allikevel er tilstrekkelig nøyaktig for dette formål.

"Infratester" forhandles av Collett & Larsen, Hedmarksgt. 13, Oslo 6. I vedlegg 1 er det gitt en kortfattet bruksanvisning for tørrstoffbestemmelser i slam med dette utstyret.

#### Glassutstyr

Minimum 6 stk. 250 ml begerglass (lav form, tilsvarende ISO 522).

100 ml målesylinder for å måle ut slam.

Graderte pipetter eller byretter for å måle ut den nødvendige mengde kondisjoneringsmiddel fra stamløsninger (se pkt. 2.5).

20 ml pipetter med avkuttet spiss for tilsetting av kondisjoneringsmiddel til slammet. Her kan en alternativt bruke 20 ml målesylinder og en liten trakt.

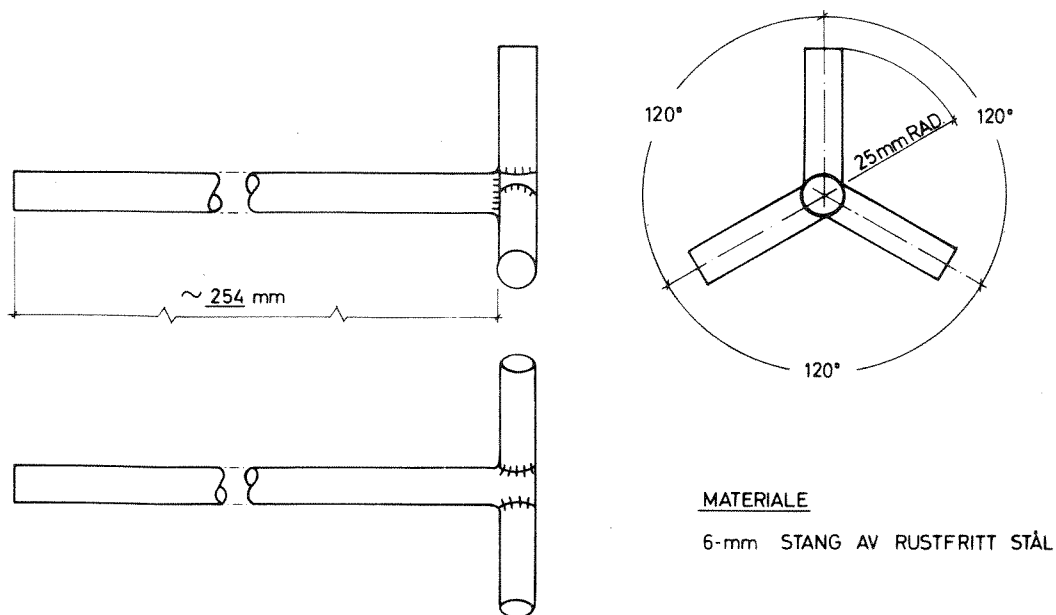


Fig. 2. Standard omrører.

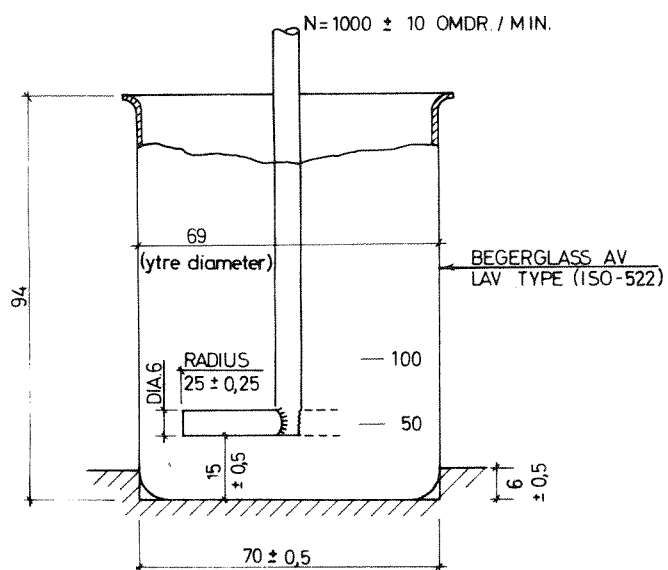


Fig. 3. Standard begerglass og plassering i forhold til omrøreren. (Dimensjoner i mm).



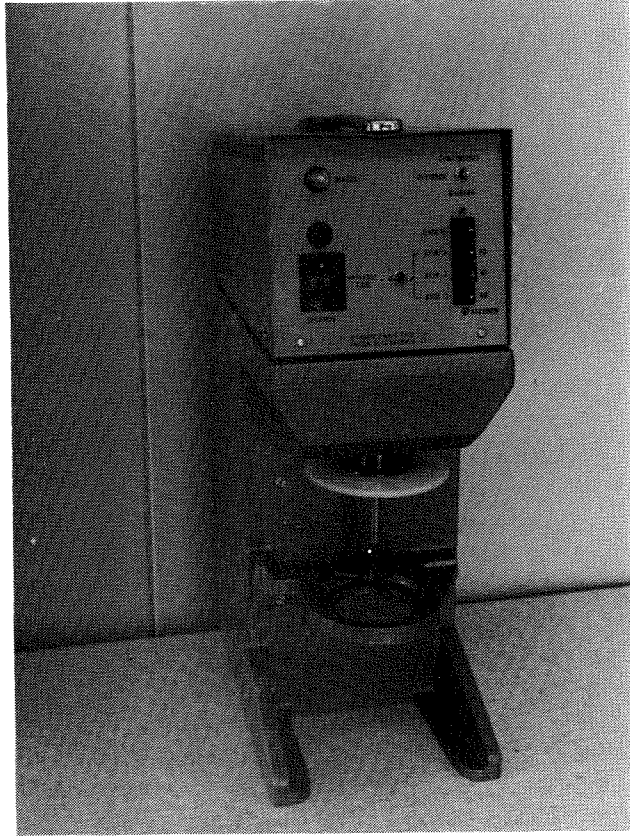


Fig. 4. Standardisert røreverk for innblanding av kondisjoneringsmidler i slam og skjærpåkjønning av det kondisjonerte slammet.

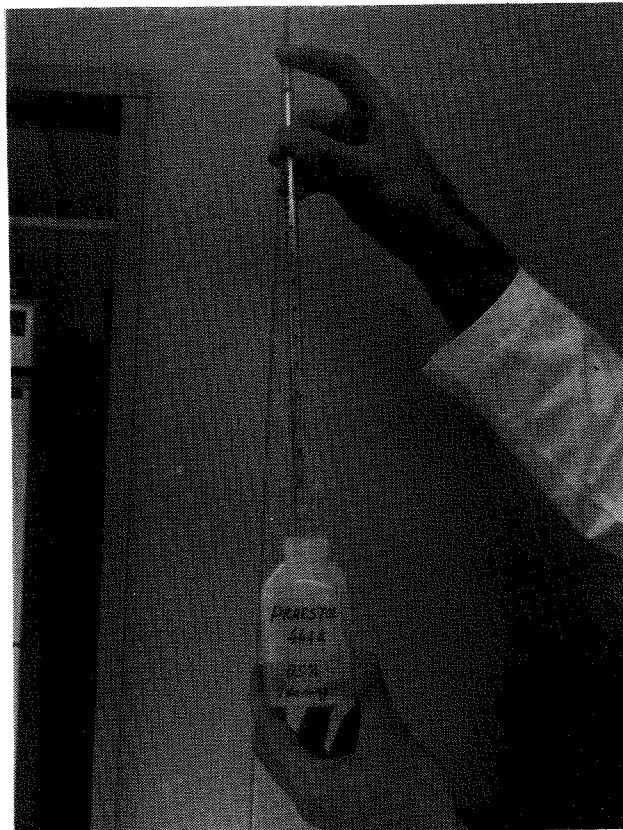


Fig. 5. Stamløsning av standard polyelektrolytt (Praestol 444K).

### Utstyr for pH-måling

Ved bruk av jernklorid som kondisjoneringsmiddel må en foreta pH-målinger etter innblanding i slammet. Det kan brukes pH-meter eller til nød pH-papir.

### 2.3 Forbehandling av slammet

Dersom slammet inneholder store partikler, filler etc., bør en la det passere en metallduk med lysåpning 5,6 mm (BS 410:1969, ASTM-E11-70) før det brukes i kondisjoneringstesten.

### 2.4 Tilberedning av stamløsninger

#### Praestol 444K

Det lages en 0,5% løsning i destillert vann. Dette kan f.eks. gjøres ved først å væte 0,5 g polymer med 1 ml isopropanol og deretter tilsette 99 ml destillert vann under kraftig omrøring. Bruk deretter standard-røreverket til å røre i blandingen i  $\frac{1}{2}$ -1 time eller til det ikke er flere uoppløste polymerklumper. Dette betegnes løsning  $A_p$ .

#### Jernklorid

Det lages en 10% løsning av analytisk ren  $FeCl_3$  (3,45% Fe, 16,7%  $FeCl_3 \times 6 H_2O$ ) i destillert vann. Bruk f.eks. 100 ml destillert vann og tilsett 10 g  $FeCl_3$ . Løsningen må ikke varmes opp. Denne løsningen, som her betegnes  $A_F$ , har vist seg å kunne lagres i opptil 1 uke ved 15 °C uten å miste noe av sin effektivitet.

### 2.5 Dosering av kondisjoneringsmiddel

Slammets tørrstoffinnhold (totalt tørrstoff eller suspendert stoff) angitt i prosent betegnes som x.

#### Praestol 444K

Ta ut 2x ml av stamløsningen  $A_p$  og bland med (40 - 2x) ml destillert vann. (Se fig. 5). Tilsett 20 ml av denne løsningen til 100 ml slam. Bland de gjenværende 20 ml av løsningen med 20 ml destillert vann. Tilsett 20 ml av denne nye løsningen til 100 ml slam. Bland de gjenværende 20 ml av denne løsningen med 20 ml

destillert vann. Tilsett 20 ml av denne siste løsningen til 100 ml slam. På denne måten får man doseringer på henholdsvis 0,5; 0,25 og 0,125% Praestol 444K (angitt som prosent av slammets tørrstoffinnhold).

### Jernklorid

Ta ut 2x ml av stamløsningen A<sub>F</sub> og bland med (40 - 2x) ml destillert vann., Tilsett 20 ml av denne løsningen til 100 ml slam. Bland de gjenværende 20 ml med 20 ml destillert vann. Fortsett så på samme måte som beskrevet for Praestol 444K. På denne måten får man doseringer på henholdsvis 10; 5 og 2,5% FeCl<sub>3</sub> (angitt som prosent av slammets tørrstoffinnhold).

Fortynnede jernkloridløsninger vil tape sin effektivitet ved lagring og bør helst brukes innen 2 timer etter at de er laget istand.

### 2.6 Innblanding, omrøring og måling av CST

Destillert vann eller kondisjoneringsmiddel (volumet skal alltid være 20 ml) tilsettes slamm i løpet av 10 sekunder mens det standardiserte røreverket går. Ved bruk av pipette kan det ofte være nødvendig å kutte av spissen for å få tømt den fort nok (fig. 6). Alternativt kan man helle direkte fra en målesylinder og bruke trakt for å få væsken ned gjennom åpningen i lokket over slambegeret (fig.7).

Fremgangsmåten ved bruk av Praestol 444K kan sammenfattes som følger:

- (A) Tilsett 20 ml destillert vann til 100 ml slam mens røreverket går i 10 sek. Senk begerglasset slik at omrøreren akkurat ikke går ned i slamm og slå på røreverket et lite øyeblikk slik at slam som henger på omrøreren, blir kastet av. Ta så begerglasset vekk fra røreverket og tøm slamm over i et annet 250 ml begerglass og deretter tilbake igjen i det første, for så straks å tømme en prøve opp i sylindren på CST-apparatet.
- (B) Kjør røreverket i 10 sek. med det slamm som er igjen i begerglasset og gjenta deretter den samme prosedyre med fjerning av begerglasset, tømning fram og tilbake mellom glassene og til slutt CST-måling.
- (C) Kjør røreverket i 30 sek. med det slamm som nå er igjen i begerglasset og gjenta prosedyren som angitt under B.

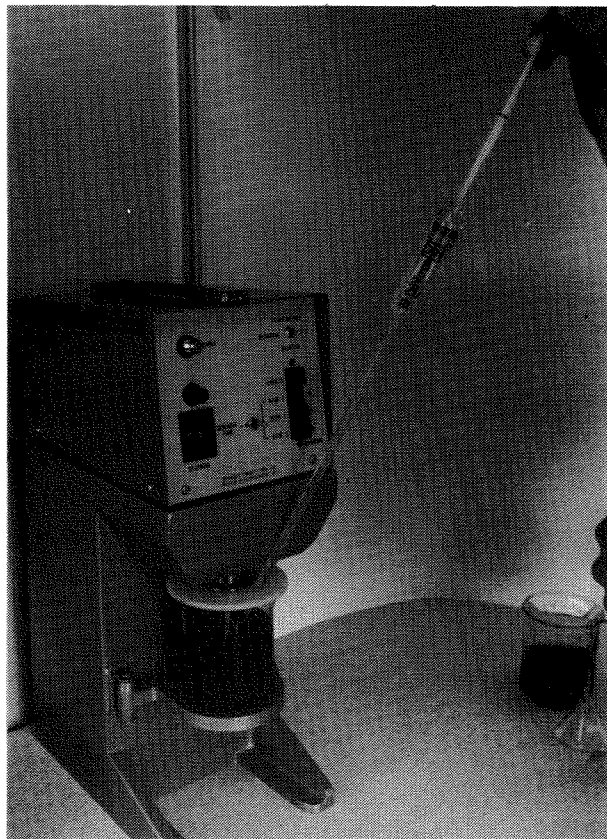


Fig. 6. Tilsetting av kondisjoneringsmiddel ved hjelp av pipette (avkuttet spiss).

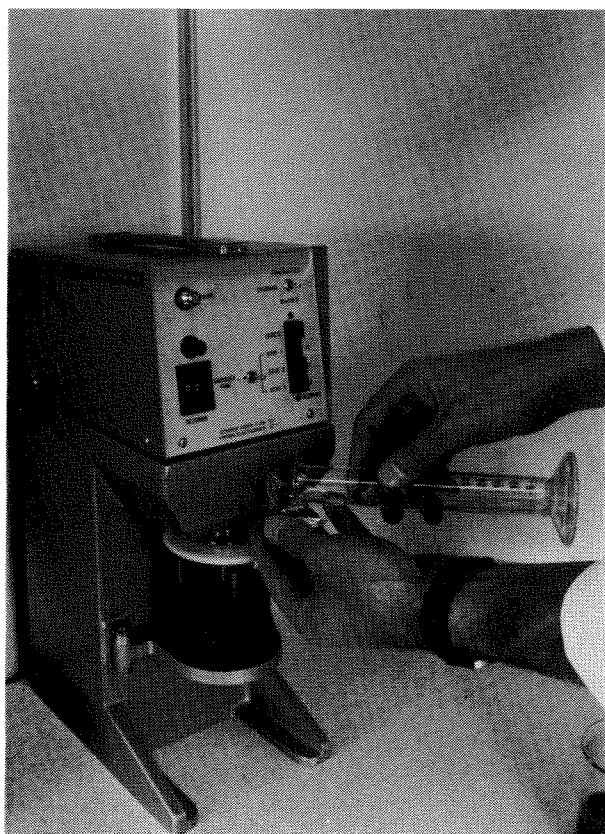


Fig. 7. Tilsetting av kondisjoneringsmiddel ved hjelp av målesylinder og trakt.

- (D) Kjør røreverket i 60 sek. med gjenværende slammengde og gjenta som angitt under B.
- (E) Gjenta punktene A-D idet man bruker 20 ml av den polymerløsningen som gir en dosering på 0,5% Praestol 444K.
- (F) Gjenta det samme ved å bruke 20 ml av den polymerløsningen som gir en dosering på 0,25% Praestol 444K.
- (G) Gjenta det samme ved å bruke 20 ml av den polymerløsningen som gir en dosering på 0,125% Praestol 444K.

For jernklorid benyttes nøyaktig den samme fremgangsmåten som for Praestol 444K, slik at man får doseringer på henholdsvis 10; 5 og 2,5%  $\text{FeCl}_3$ .

Vanligvis skal en benytte den sylindere til CST-apparatet som har indre diameter 18 mm. For hurtigfiltrerende slamtyper hvor CST (målt med 18 mm sylinder) er mindre enn 100 sek. for ukondisjonert slam, bør man benytte sylindere med 10 mm diameter.

## 2.7 Måling av spesifikk filtrermotstand

Det er ikke nødvendig å måle spesifikk filtrermotstand i tillegg til de målingene som er beskrevet hittil, dersom hensikten bare er å foreta en grovsortering av kondisjoneringsmidler for bruk ved en aktuell avvanningsenhet.

Ved en sammenligning av ulike slamtyper med hensyn på deres kondisjonerbarhet vil det være en fordel å måle spesifikk filtrermotstand i tillegg til CST-målingene. Ved bestemmelse av spesifikk filtrermotstand tas det hensyn til slammets tørrstoffinnhold slik at de verdiene som fremkommer er direkte sammenlignbare selv om tørrstoffkonsentrasjonen i slammene er forskjellige. Spesifikk filtrermotstand bør da måles på det ukondisjonerte slammet som er tilsatt destillert vann (20 ml pr. 100 ml slam), og deretter for hver av de tre doseringene av kondisjoneringsmiddel. For å få størst praktisk nytte av resultatene bør målingene skje etter at de respektive slamprøver har vært utsatt for omrøring i 10 sek. etter selve innblandingstiden.

Ved utprøving av forskjellige kondisjoneringsmidler i forbindelse med kammerfilterpresser og vakuumfiltre vil det også være fordelaktig å ta med målinger av spesifikk filtrermotstand. Forholdet er her at man ut fra lang tids erfaring har kunnet fastsette tallverdier for spesifikk filtrermotstand som en må underskride ( $<10^{12}$  m/kg) for å være sikker på at man har et slam som er tilfredsstillende kondisjonert. Tilsvarende erfaringstall fins ikke for sentrifuger og silbåndpresser.

I vedlegg 2 er det gitt en kort orientering om hvordan man kan bestemme spesifikk filtrermotstand i slam og hva slags utstyr som trengs.

## 2.8 Presentasjon av resultater

Slamtype

Slamkilde

Suspendert stoff, SS (%)

Flyktig suspendert stoff, FSS (% av SS)

CST-resultater med 18 mm sylinder

Kondisjonerings- middel	Dosering av kondisjoneringsmiddel (% av SS) <sup>x</sup>	Omrørings- tid etter innblanding (sek.)				pH
		0	10	40	100	
Ingen	20 ml destillert vann					
Praestol 444K						
FeCl <sub>3</sub>						

x) Doseringene kan også angis i prosent av totalt tørrstoff (TS). De angitte doseringer behøver ikke å være akkurat de standarddoseringer som er nevnt under pkt. 2.5, da bestemmelse av doseringsmengde ofte må baseres på et antatt tørrstoffinnhold når man bruker konvensjonelle metoder for tørrstoffbestemmelse. Ved bruk av "Infratester" for hurtigbestemmelse av tørrstoffinnholdet, kan en med tilstrekkelig nøyaktighet legge disse verdiene til grunn for tilsetning av kondisjoneringsmiddel.

CST-verdien settes i parentes i de tilfeller hvor man er i tvil om det har kommet en representativ slamprøve opp i CST-sylindren. Slike problemer kan oppstå ved høye doseringer av kondisjoneringsmiddel og kort omrøringstid og spesielt ved slam med høyt tørrstoffinnhold.

#### CST-resultater med 10 mm sylinder

Bruk samme type skjema som for 18 mm sylinder.

#### Spesifikk filtrermotstand

Kondisjonerings- middel	Dose av kondisjo- neringsmiddel (% av SS)	Omrøringstid etter innbl. (sek.)	Spesifikk filtrermotstand <sub>2</sub> (m/kg ved 49kN/m <sup>2</sup> )	CST (sek.) Sylinderdiam.	
				18 mm	10 mm
Ingen	20 ml destillert vann				
Praestol 444K					
FeCl <sub>3</sub>					

#### 2.9 Kommentarer

Ved vurderingen av resultatene må man se både på selve CST-verdiene og på den relative forandring i CST-verdiene med økende skjærpåkjønning. På grunn av tørrstoffinnholdets innvirkning på CST vil det være galt å bruke en bestemt CST-verdi ved en gitt skjærpåkjønning som generell grense for tilfredsstillende kondisjonering. Stort sett kan man imidlertid si at et slam bør kondisjoneres slik at CST ligger mellom 10 og 20 sek. etter en skjærpåkjønning tilsvarende 10 sek. omrøringstid (forutsatt bruk av prøvesylinder med 10 mm diameter). I tillegg bør økningen i CST ved økende skjærpåkjønninger være liten, dvs. at det kondisjonerte slam kan tåle en viss behandling uten at avvannings-egenskapene reduseres vesentlig.

For hver slamtype og enhver dosering av kondisjoneringsmiddel fins det en optimal innblandingstid (for en gitt røreintensitet) som gir den beste

utnyttelse av kondisjoneringsmiddelet. Den optimale innblandingstid øker med økende viskositet i slammet og økende viskositet til det aktuelle kondisjoneringsmiddelet. Bruk av 10 sekunder som en standard innblandingstid for kondisjoneringsmiddelet i slam er derfor et kompromiss. Ved høye viskositeter i slam og/eller kondisjoneringsmiddel vil en finne at CST-verdien synker med økende omrøringstid etter innblandingen (fnokkoppbygging) for å øke igjen når omrøringstiden blir så lang at man får en nedbrytning av fnokker igjen.

Tiden som går mellom innblanding av kondisjoneringsmiddel og omrøringene med standard røreverket, kan innvirke på resultatene. Generelt sett bør all behandling av en slamprøve skje så fort som mulig etter at kondisjoneringsmiddelet er tilsatt, men det vil uunngåelig bli venting dersom man bare har ett CST-apparat til rådighet. Det vil derfor være en betydelig fordel om man kunne ha to CST-apparater som kan brukes samtidig.

Måling av pH er særlig viktig ved bruk av jernklorid, da høye doseringer kan redusere pH-verdien i slammet til et nivå hvor kondisjoneringseffekten reduseres. Under slike forhold kan man observere brunt filtrat på CST-papiret. I praksis ville man tilsette kalk i slike tilfeller, men dette er ikke inkludert i opplegget for denne testen.



### 3. Eksempel på bruk av metoden

I tabellen nedenfor er det sammenstilt resultater fra en utprøving av fire forskjellige polyelektrolytter i forbindelse med et kjemisk slam fra etterfelling med aluminiumsulfat. Tørrestoffinnholdet i slammet ble bestemt med "Infratester" og funnet å være 1,6%.

#### CST-resultater med 10 mm sylinder

Kondisjoneringsmiddel	Dosering av kondisjoneringsmiddel (% av TS)	CST (sek.)			
		Omrøringsstid etter innblanding (sek.)			
		0	10	40	100
Ingen	20 ml destillert vann	231,6	253,7	339,0	352,2
Praestol 444K (sterkt kationisk)	0,125	29,2	-	63,4	196,4
	0,25	14,9	23,0	54,6	85,3
	0,5	19,8	14,4	21,8	42,2
Praestol A739 (moderat kationisk)	0,125	32,5	32,9	130,3	190,5
	0,25	41,1	38,5	26,6	87,8
	0,5	66,0	57,3	58,6	-
Hercofloc 831.2A (moderat anionisk)	0,125	12,7	24,7	114,6	207,0
	0,25	22,7	17,5	13,0	47,2
	0,5	28,8	21,2	18,7	17,4
Hercofloc 819.2A (sterkt anionisk)	0,125	15,2	65,4	231,5	348,0
	0,25	18,0	19,7	44,4	143,5
	0,5	23,7	19,7	19,5	27,9

Resultatene viser at med Praestol A739 oppnådde man ikke CST-verdier under 20 sek. for noen av doseringene. For Praestol 444K og Hercofloc 819.2A var det nødvendig med den høyeste doseringen (0,5% av TS) for å få en noenlunde tilfredsstillende kondisjonering, mens Hercofloc 831.2A ga tilfredsstillende

resultater ved en dosering på mellom 0,25 og 0,5 prosent av tørrstoffinnholdet i slammet.

På bakgrunn av resultatene for denne slamtypen burde man gjennomføre fullskala forsøk i den aktuelle avvanningsutrustningen med Hercofloc 831.2A som kondisjoneringsmiddel. Fullskala drift er nødvendig for å kunne fastsette hvilke doseringsmengder som trengs for å gi et ønsket tørrstoffinnhold i slamkaken og et reneest mulig slamvann tilbake til renseanlegget. I tillegg ville det være en fordel å prøve ut i fullskala også den polyelektrolytten som kom ut som nr. 2 i laboratorieundersøkelsen (Hercofloc 819.2A) for å være sikker på at man har valgt den av de utprøvede polymerer som gir best resultater i praksis.

Det vil selvfølgelig være ønskelig å ta med flest mulig typer kondisjoneringsmidler i en slik grovsorteringstest, men for å spare tid er det ofte fordelaktig bare å satse på noen typer av hvert fabrikat som de ulike leverandørfirmaer anbefaler for den aktuelle slamtypen. I de tilfeller hvor laboratorieundersøkelsen gir tilnærmet samme resultater for flere av kondisjoneringsmidlene, vil det bestandig være nødvendig å gjennomføre fullskala forsøk for å komme fram til den gunstigste typen.

Ved det endelige valg av kondisjoneringsmiddel må en selvsagt gjøre en kostnad/effektivitetsvurdering av de mest aktuelle typer, og i mange tilfeller vil man kunne finne ut at en billigere type som må tilsettes i noe større mengder enn en dyrere for å oppnå samme avvanningseffekt, allikevel blir det rimeligste alternativ. Valg av kondisjoneringsmiddel er imidlertid sjelden en engangsforeteelse ved et renseanlegg, idet slamkvaliteten ofte vil forandre seg betydelig fra tid til annen, og det vil også være aktuelt å prøve ut nye typer kondisjoneringsmidler som kommer på markedet. Dette medfører at et slikt opplegg for å vurdere kondisjonerbarhet som her er gjennomgått, vil være aktuelt å ha tilgjengelig ved alle avvanningsanlegg for bedre å kunne optimalisere driften av utstyret.

## Referanser

- "Analysis of Raw, Potable and Waste Water" (1972), Her Majesty's Stationery Office, London.
- Baskerville, R.C. and Gale, R.S. (1968) "A simple automatic instrument for determining the filtrability of sewage sludges", Water Pollution Control, 67, 233-241.
- Coackley, P.C. and Jones, B.R.S. (1956) "Vacuum sludge filtration. Interpretation of results by the concept of specific resistance", Sewage and Industrial Wastes, 28, 963-976.
- COST-project 68 (1975) "Sewage sludge processing". Final report of the management committee, EUCO/SP/48/75, EUROCOP-Cost Secretariat, Brussels.
- Gale, R.S. (1967) "Filtration theory with special reference to sewage sludges", Water Pollution Control, 66, 622.

**Vedlegg 1**  
**Bruk av "Infratester" for bestemmelse**  
**av tørrstoffinnhold i slam**

Fig. 8 viser en skisse av en "Infratester". Bruken av denne er noe forskjellig avhengig av om det skal gjøres tørrstoffbestemmelser i uavvannet eller avvannet slam. I det etterfølgende er det gitt en beskrivelse av fremgangsmåten for disse to tilfellene.

#### UAVVANNET SLAM

Fremgangsmåten nedenfor gjelder for slam som ikke er avvannet, dvs. slam fra f.eks. luftetanker, stabiliseringsbasseng, fortykkere etc.

1. Tenn varmelampen ca 5 min før måling. Drei lampen bort fra vekten og innstill lampen i nederste posisjon ved hjelp av stoppstift (7).
2. Ta vektskålen av armen og tørk godt av den, slik at det ikke sitter igjen rester fra forrige prøve. Vektskålen skal alltid avkjøles mellom hver måling.
3. Heng den tomme vektskålen på plass på vekten og heng opp tilleggsloddene: 40% + 40% + 20% (totalt 5,0 gram) på tverrpinne (16). Still inn skyveren (10) slik at vekten er i balanse.
4. Skrue (9) løsnes og skalaen (8) forskyves inntil 0-merket står nøyaktig ut for avleserstreken på skyveren, hvoretter skruen strammes igjen.
5. Sett den tomme vektskålen på de tre skruene i beskyttelsesrøret (19) (vektskålen skal altså ikke henge på armen).
6. Mål ut 10 ml av slamprøven med en miniatyr målesylinder og hell slammet i vektskålen. Hvis det er problemer med å få ut alt tørrstoffet, kan man skylle cylinderen med en lett fordampelig væske, for eksempel denaturert sprit.
7. Lampen vriss inn over vekstålen, og tørketiden (25 min.) stilles inn på et varslingsur.
8. Når tørketiden er omme, henges vektskålen på veiearmen (bruk pinsett) og skyveren føres langs skalaen til vekten er i balanse. Ved tørrstoffinnhold under 10% må 20%-loddet byttes ut med 10%-loddet for å få vekten i balanse.

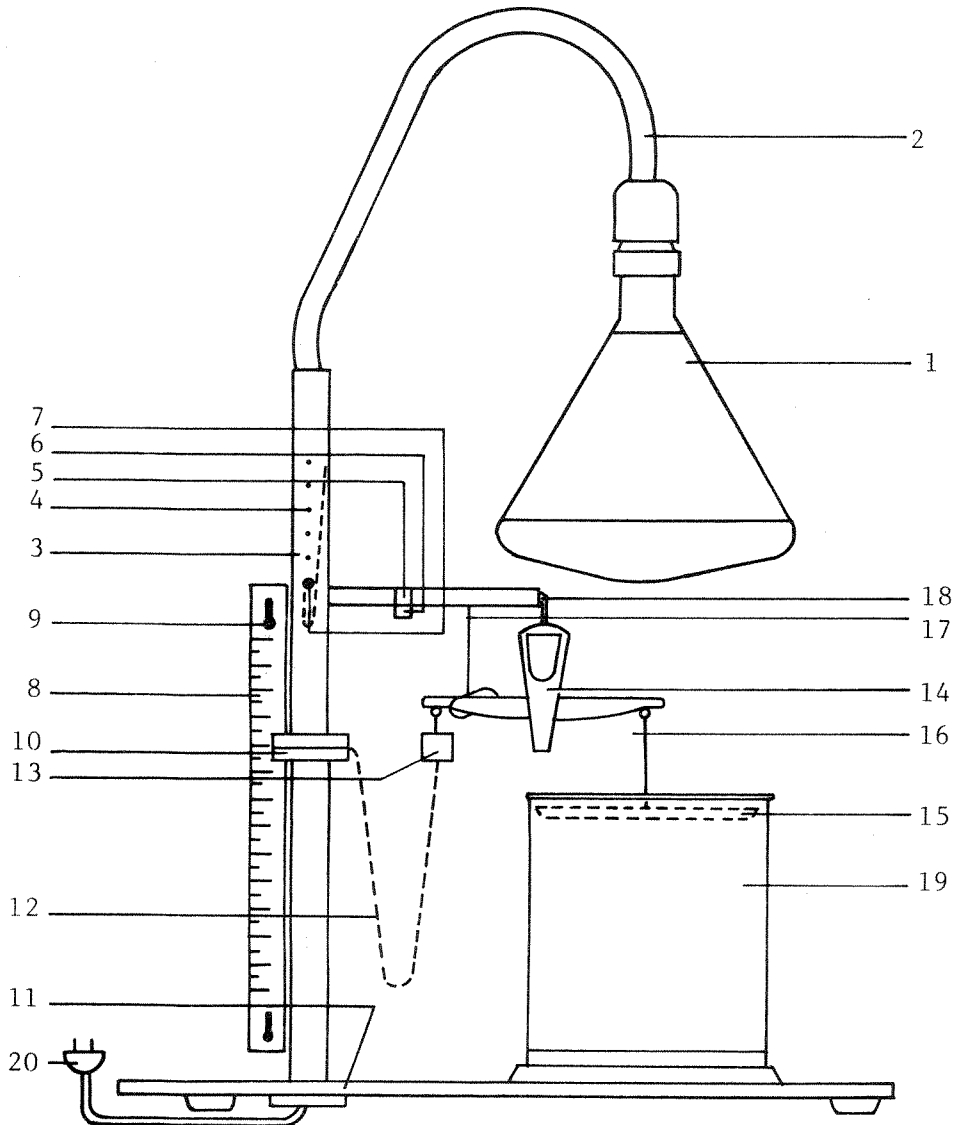


Fig. 8. "Infra-tester".

Tegnforklaring

- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1  | Varmelampe  | 11 | Mutter med fjærskive for feste av bærerør |
| 2  | Lamperør  | 12 | Vektkjede                                 |
| 3  | Bærerør   | 13 | Motvekt                                   |
| 4  | Huller for innstilling av lampehøyde                        | 14 | Vektarm                                   |
| 5  | Stift for oppheng av tilleggslodd (som ikke er i bruk)      | 15 | Veieskål                                  |
| 6  | Tilleggslodd (1 stk mrk: 10%, 1 stk mrk 20%, 2 stk mrk 40%) | 16 | Stift for oppheng av tilleggslodd         |
| 7  | Stoppstift for lamperør                                     | 17 | Stoppbøyle for vektarm                    |
| 8  | Skala   | 18 | Bæreskrue for vektarmens knivlager        |
| 9  | Skrue for låsing av skala                                   | 19 | Beskyttelsesrør                           |
| 10 | Skyver med strek for avlesing                               | 20 | Ledning med støpsel                       |

9. Tørrstoffinnholdet i slammet i prosent finnes nå av følgende formel:

$$\boxed{0,5 \times (100 - (s+a))} \quad (\%)$$

hvor s = verdien som leses av på skala (8) når vekten er i balanse

a = summen av prosenttallene på de påhengte tilleggslodd

Faktoren 0,5 kommer med i formelen fordi vi har brukt 10 ml prøve ( $\approx 10$  g), mens vekten er tarert med 5 g (summen av 2 stk 40% lodd og 1 stk 20% lodd).

10. Etter målingen svinges lampen bort fra vekten, og vektskålen tas av med pinsett, avkjøles og rengjøres for eventuelle rester av slamprøven. Apparatet er nå klart for neste måling.

#### AVVANNET SLAM (SLAMKAKE)

Når "Infratesteren" skal brukes til å bestemme tørrstoffinnhold i avvannet slam, blir fremgangsmåten noe annerledes enn for uavvannet slam (våt slam). Følgende prosedyre kan følges:

1-4. Som for uavvannet slam.

5. La vektskålen henge på armen, men fjern alle tilleggsloddene fra tverrpinne (16).

6. Bruk en skje eller lignende for å legge på så mye av slamprøven på vektskålen at denne akkurat kommer i balanse. Det er viktig at slamuttaket er så representativt som mulig for den aktuelle slamprøve. Selve utveilingen bør skje raskt for å unngå eventuelle forandringer i prøvens vanninnhold.

7. Ta av vektskålen med slamprøven i og fordel slammet jevnt utover skålen. Plasser vektskålen på de tre skruene i beskyttelsesrøret, vri lampen innover skålen og still inn tørketiden (25 min) på varslingsuret.

8. Når tørketiden er over, henges vektskålen på veiearmen (bruk pinsett) og det henges på tilleggslodd på tverrpinne (16) inntil man ved hjelp av skyverer (10) kan få vekten i balanse.

9. Tørrstoffinnholdet i slammet i prosent finnes nå av følgende formel:

$$\boxed{100 - (s+a)} \quad (\%)$$

hvor s = verdien som leses av på skala (8) når vekten er i balanse

a = summen av prosenttallene på de påhente tilleggslodd

10. Etter målingen svinges lampen bort fra vekten, vektskålen tas av med pinsett, avkjøles og rengjøres for eventuelle rester av slamprøven. Apparatet er nå klart for neste måling.



**Vedlegg 2**  
**Bestemmelse av spesifikk**  
**filtrermotstand i slam**

Det teoretiske grunnlaget for bestemmelse av spesifikk filtrermotstand er gjennomgått av Coackley and Jones (1956) og Gale (1967).

Selve metoden er ikke skikkelig standardisert når det gjelder apparatur og gjennomføring. Vi skal imidlertid her gi et kort sammendrag av metoden basert på engelsk standard (Analysis of Raw, Potable and Waste Water, 1972).

Et slams spesifikke filtrermotstand bestemmes ved at en viss slammengde filtreres gjennom filterpapir ved konstant undertrykk (vakuum), og filtratvolumet (V) leses av som funksjon av tiden (t) (se prinsipptegning, fig. 9).

Ut fra filtreringsteori kan man vise at følgende likning gjelder:

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

hvor

$b = \frac{\mu r c}{2PA^2}$  = helningen på den rette linjen som fås når  $t/V$  fremstilles som funksjon av  $V$  ( $\text{s/m}^6$ )

$r$  = slammets spesifikke filtrermotstand ( $\text{m/kg}$ )

$V$  = filtratvolum ( $\text{m}^3$ )

$t$  = filtreringstid (s)

$P$  = undertrykk som brukes ved filtreringen ( $\text{N/m}^2$ )

$A$  = arealet av filterpapiret ( $\text{m}^2$ )

$\mu$  = filtratets viskositet ( $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ )

$c$  = mengde tørrstoff i filterkaken pr. volumenhet filtrat ( $\text{kg/m}^3$ )

Spesifikk filtermotstand kan da bestemmes ut fra:

$$r = \frac{2PA^2 b}{\mu c} \quad (\text{II})$$

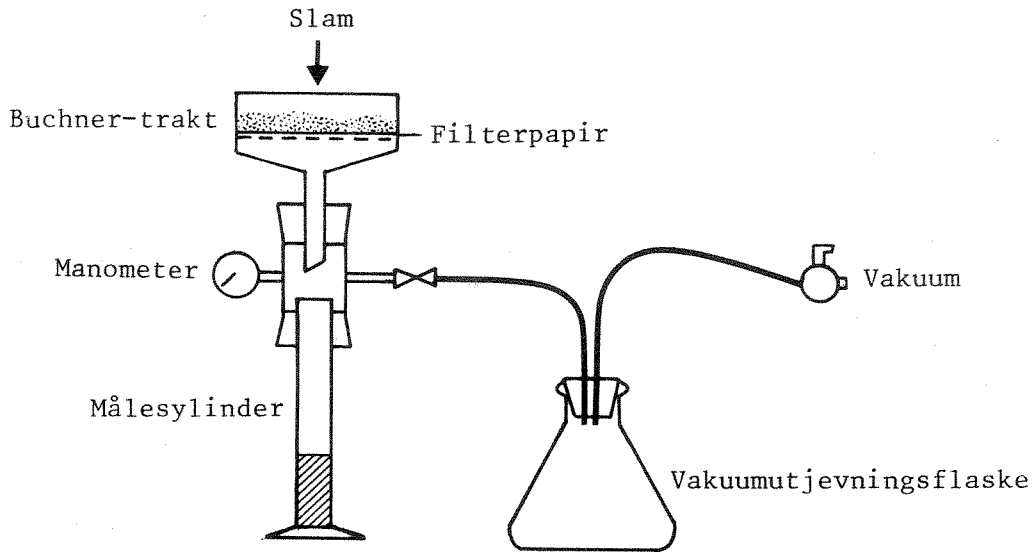


Fig. 9. Apparat for bestemmelse av spesifikk filtrermotstand (prinsipp).

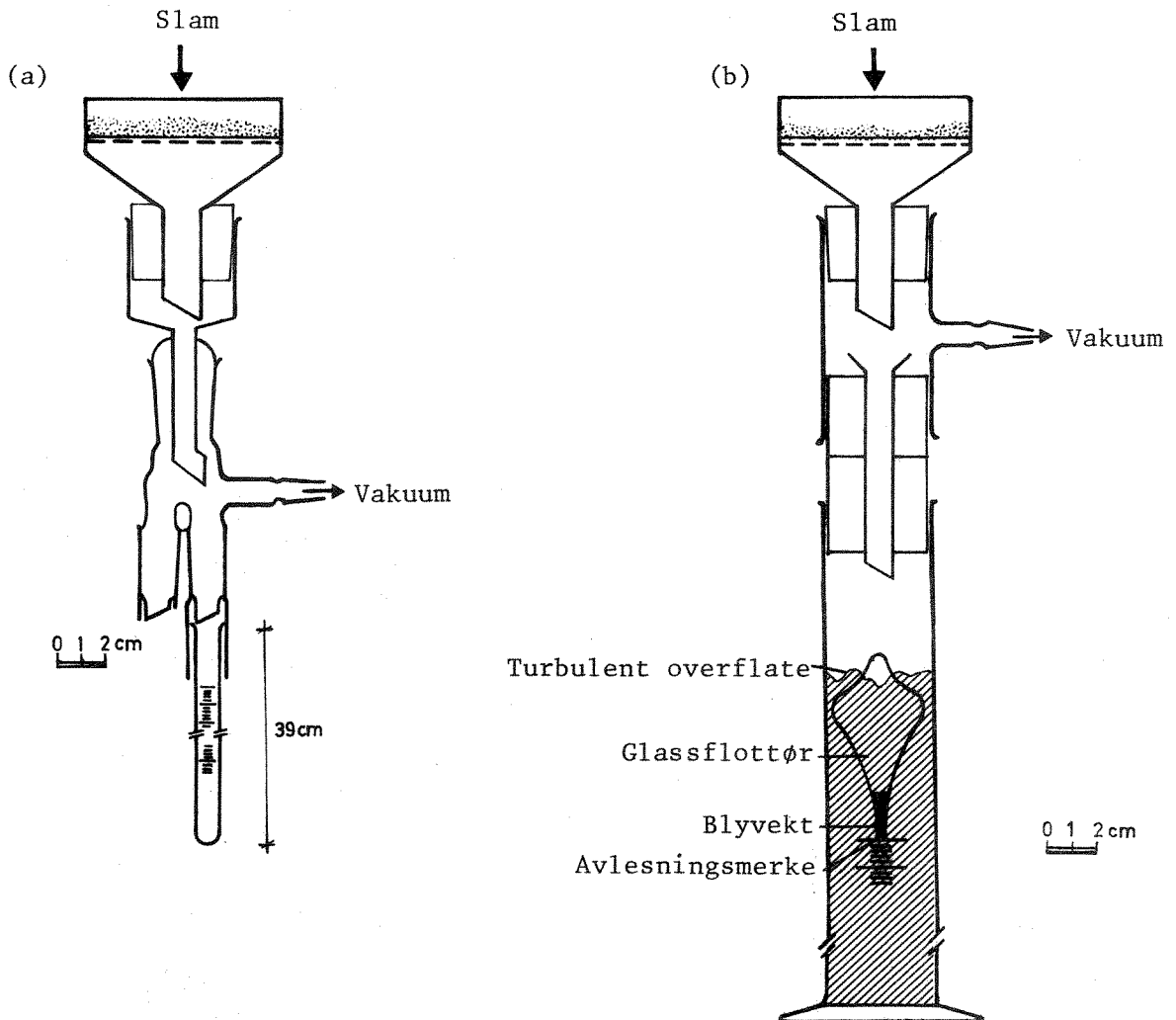


Fig. 10. Detaljer av filtreringsutrustning for a) saktefiltrerende slam og b) hurtigfiltrerende slam (tilsatt kondisjoneringsmiddel).

Det nødvendige undertrykket (P) kan skaffes ved hjelp av vakuumpumpe eller eventuelt vannstrålepumpe (ejektor). Normalt utføres målingene ved et konstant undertrykk på  $49 \text{ kN/m}^2$  ( $0,5 \text{ kp/cm}^2$ ).

Arealet på filterpapiret (A) bestemmes ut fra størrelsen på Buchnertrakten som benyttes. Det er vanlig å bruke trakter med diameter 70 eller 90 mm, og filterpapiret skal da ha samme diameter. Som filterpapir kan det brukes Whatman nr. 1 eller Whatman nr. 17. Nr. 1 er et tynt filterpapir og det må legges på en finmasket duk i bunnen av Buchnertrakten for at filtreringen skal skje over hele tverrsnittet. Nr. 17 er en atskillig tykkere kvalitet og dette filterpapiret kan legges direkte i trakten uten noen understøttelse. Ved bruk av 70 mm trakt er det passende å bruke 100 ml slam til filtreringen, mens 200 ml slam er et vanlig prøvevolum ved 90 mm-trakten.

For filtratets viskositet ( $\mu$ ) benyttes viskositeten i vann ved den temperatur som slammene har ved filtreringen. Nedenfor er det satt opp en tabell som viser hvordan vannets viskositet varierer med temperaturen:

Temperatur °C	Viskositet i vann ( $10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ )	Temperatur °C	Viskositet i vann ( $10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ )
0	1,79	21	0,98
1	1,73	22	0,96
2	1,67	23	0,94
3	1,62	24	0,91
4	1,57	25	0,89
5	1,52	26	0,87
6	1,47	27	0,85
7	1,43	28	0,84
8	1,39	29	0,82
9	1,35	30	0,80
10	1,31	31	0,78
11	1,27	32	0,77
12	1,24	33	0,75
13	1,20	34	0,74
14	1,17	35	0,72
15	1,14	36	0,71
16	1,11	37	0,69
17	1,08	38	0,68
18	1,06	39	0,67
19	1,03	40	0,66
20	1,01		

Som tidligere nevnt står "c" i uttrykket for spesifikk filtrermotstand egentlig for den mengde tørrstoff som holdes igjen i filterkaken pr. volumenhet filtrat. Dersom tørrstoffinnholdet i slammet er mindre enn 4-5% TS vil det normalt være tilfredsstillende å bruke dette tørrstoffinnholdet som c-verdi i likning II. Ved måling av spesifikk filtrermotstand i slam med høyere tørrstoffkonsentrasjoner eller ved spesielt nøyaktige målinger, bør den korrekte verdien for c benyttes. Denne kan finnes av uttrykket:

$$c = \frac{c_s}{1 - \frac{c_s}{c_k}} \quad (\text{III})$$

hvor

$c_s$  = tørrstoffkonsentrasjoner i slammet før filtrering

$c_k$  = tørrstoffkonsentrasjonen i slamkaken etter endt filtrering

Ved filtrering av slamprøver for bestemmelse av faktoren "b", er det viktig at man kan forutsi noe om filtreringshastigheten, da denne vil være med å bestemme detaljer både ved apparatur og selve filtreringsprosedyren. Fig. 10a viser opplegget for filtrering og måling av filtratmengden ved sakte filtrerende slam. For nøyaktige målinger kan en her vri traktholderen slik at den første filtratmengden (ca. 2 min. etter at undertrykket settes på) kan ledes utenom selve målebyretten og derved bare få med målinger etter systemet har kommet i likevekt. Ved bruk av en vanlig målesylinder (fig. 10b) kan en ta hensyn til dette ved først å starte registreringen av filtratvolumet etter ca. 2 minutters filtreringstid. Filtratvolumet bør leses av hvert minutt i ca. 10 minutter.

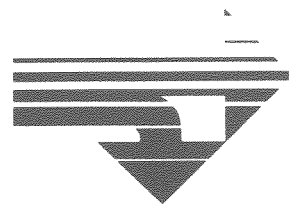
Ved hurtig filtrerende slam (spesielt slam som er tilsatt kondisjoneringsmiddel) vil det være en fordel å bruke et opplegg som vist i fig. 10b. På grunn av stor filtratmengde pr. tidsenhet må en her starte registreringen umiddelbart etter at undertrykket er satt på, og avlesning av filtratvolumet bør skje hvert 10-30 sek. (avhengig av filtreringshastigheten) inntil filterkaken sprekker. For å lette avlesningen er det en fordel å bruke en flottør som vist på figur 10b.

I litt eldre litteratur er det vanlig å se at spesifikk filtrermotstand ( $r$ ) er angitt med dimensjonen  $s^2/g$ . Dette skyldes at man brukte  $kg/cm^2$  som dimensjon for trykket i stedet for  $kp/cm^2$  eller  $N/m^2$ . Verdier for spesifikk filtrermotstand angitt i  $s^2/g$  kan regnes om til  $m/kg$  ved å multiplisere med  $9,81 \cdot 10^3$ .

PAU/LJA

25/8 1977

# NTNF's UTVALG FOR DRIFT AV RENSEANLEGG



Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

B-nr 1521.5969	Fork.inst.navn NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg P.b. 333, Blindern, Oslo 3	NTNF-gruppe 15	Åpen/Foreløpig konfidensiell/ konfidensiell Åpen
Tittel  METODE FOR MÅLING AV SLAMS KONDISJONERBARHET			
Internt rapp.nr. HPD-05/76			
Forfatter(e)  Sivilingeniør Bjarne Paulsrud			Antall sider 30
			Dato August 1977
Oppdragsgiver  NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg			

Referat, maks. 40 ord

Rapporten gir en beskrivelse av en standardisert metode for måling av slams kondisjonerbarhet som ble utarbeidet i det europeiske COST-68-prosjektet vedrørende slamkarakterisering. Metoden er spesielt egnet til å foreta en grovsortering av ulike kondisjoneringsmidler (f.eks. forskjellige typer polymerer) for bruk ved avvanning av slam. Dette vil redusere arbeidet betydelig i forhold til å prøve ut alle de aktuelle kondisjoneringsmidler i en fullskala avvanningsmaskin.

4 emneord à maks. 23 karakterer

Slambehandling
Slamkarakterisering
Slamkondisjonering
Slamavvanning