

ARKIV

NORVAR20 C
1991

Prosjektrapport

Prosjektet «Slambehandling og -disponering
ved større kloakkrensaneanlegg». Delrapport

Slamavvanning



Norske VAR-selskapers forening

NORVAR-rapport

Norske VAR-selskapers forening

Postadresse: 2312 OTTESTAD
Besøksadresse: HIAS, Sandvika (Ottestad)
Telefon: 065 76255

Rapportnummer:

20 c - 1991

Dato:

12. juli 1991

Antall sider (inkl. bilag)

74

Tilgjengelighet:

☒ Åpen

☐ Begrenset

Rapportens tittel: **Prosjektet:**

"Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg"
Delrapport. SLAMAVVANNING

Forfatter(e): Arbeidsgruppe bestående av: Kirsti Grundnes Berg, Gunnar Hall, Kjell Åge Haugli, Olav Holdhus, Bjørn Christoffersen, Lars Magnussen (sekretær)

Ekstrakt:

Prosjektet "Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg" har som mål å sammenstille dagens kunnskaper og erfaringer om dette temaet. Foreliggende rapport er en av i alt 5 rapporter fra prosjektet. Denne delrapporten beskriver kunnskap om slamavvanning. Det er blant annet gitt tekniske og økonomiske data for henholdsvis 20.000, 70.000 og 300.000 personekvivalenter.

Emneord, norske:

Kloakkslam
Slamavvanning

Emneord, engelske:

Sewage Sludge
Dewatering

Andre utgaver:

82-414-0024-1

FORORD

Etter forslag fra VEAS, inviterte NORVAR i 1989 forskjellige renseanlegg m. fl. til å delta i et prosjekt for å samordne aktiviteten på slamsiden.

Prosjektets mål har vært å sammenstille dagens erfaringer/kunnskap om slambehandling/-disponering i en teknisk/økonomisk utredning. For teknisk/økonomiske data har man konsenteret seg om 3 anleggsstørrelser; 20.000, 70.000 og 300.000 pe.

Arbeidet har tatt utgangspunkt i

- driftserfaringer
- diverse utredninger som er utført for prosjektdeltagerne
- forsøksresultater
- opplysninger fra diverse firma/anlegg
- spesialutredninger
- konkrete planer
- litteraturstudier.

Prosjektet har vært organisert som vist i figuren nedenfor.

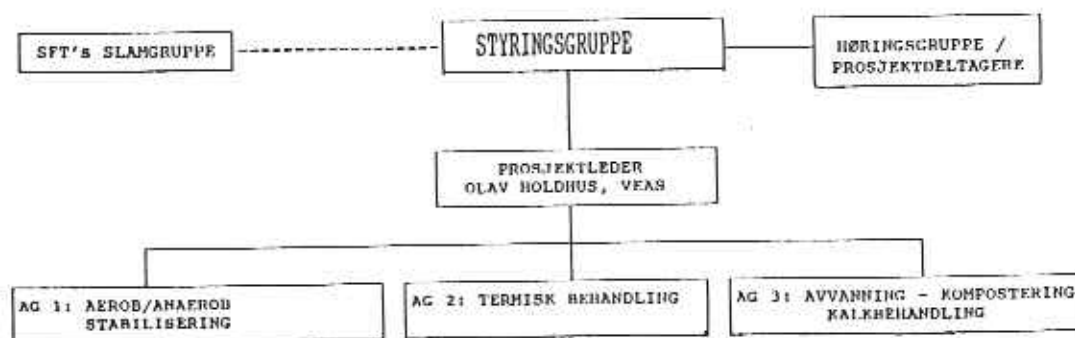


Fig. 1 Organisering av NORVAR-prosjektet P13 E. Utredning om slambehandling/-disponering ved større kloakkrenseanlegg

Styringsgruppen har hatt følgende sammensetning:

- Svein Erik Moen, NORVAR (leder)
- Kjartan Reksten, O.V.A.
- Kjell Johnsen, S.I.A.
- Ernst Georg Hovland, I.V.A.R.
- Bjarne Paulsrud, Aquateam A/S (observatør for SFT's styringsgruppe)
- Olav Holdhus, VEAS (Prosjektleder/sekretær)

De 3 arbeidsgruppene har hatt følgende sammensetning:

Arbeidsgruppe for aerob/anerob behandling:

- Kjell Johnsen, S.I.A.
- Knut Lilleng, FOA
- Leif Sigvaldsen, Knarrdalstrand kloakkrenseanlegg
- Ingar Ness, O.V.A.
- Olav Holdhus, VEAS (sekretær)

Arbeidsgruppe for termisk behandling:

- Ernst Georg Hovland, I.V.A.R.(sekretær)
- Per Hallberg, O.V.A.
- Tor A. Ulfeng, RA-2
- Olav Holdhus, VEAS

Arbeidsgruppe for avvanning, kompostering, kalkbehandling:

- Kjell Åge Haugli, HIAS
- Kirsti Grundnes Berg, VEAS
- Gunnar Hall, RA-2
- Bjørn Christoffersen, Drammen kommune
- Lars Magnussen, Samfunnsteknikk A/S (sekretær)
- Olav Holdhus, VEAS

Prosjektet har hatt 22 deltagere. Prosjektdeltagerne har bidratt dels med egeninnsats, dels med å stille til disposisjon tidligere utredninger, dels med kontantstøtte til prosjektet. Dette er nærmere angitt i tabell 1.

Tabell 1.

PROSJEKTDELTAGERE PR. 20.6.91

a = bidrag i form av arbeidsinnsats
u = stilt utredninger til disposisjon
t = økonomisk tilskudd

FOA	(Fredrikstad området)	a,u
HIAS	(Hamar-regionen)	a,u
I.V.A.R.	(Stavanger-regionen)	a,u
KNARRDALSTRAND KLOAKKRENSSEANLEGG	(Porsgrunn/Skien)	a,u
O.V.A.	(Oslo vann- og avløpsverk)	a,u
RA-2	(Lillestrøm-området)	a,u
S.I.A.	(Sarpsborg-regionen)	a,u
VEAS	(Vestfjorden avløpselskap i Oslo-området)	a,u,t
TAU	(Tønsberg-regionen)	t
NIDAR-KRETSEN	(Arendal-regionen)	t
DRAMMEN KOMMUNE		a,u
GJØVIK KOMMUNE		t
SKIEN KOMMUNE		t
KONGSBERG KOMMUNE		u,t
RINGERIKE KOMMUNE		u,t
FYLKESMANNEN I HEDMARK		t
FYLKESMANNEN I AKERSHUS		t
ENVIRO TECH A/S		t
HYDROGAS A/S		t
BIKOM		t
AQUATRAM A/S		a,u
VA-MILJØTEKNIKK		a,u

Det vil bli utgitt følgende rapporter fra prosjektet:

- Aerob/anaerob behandling
- Tøking/forbrenning
- Kalking og kompostering
- Avvanning
- Samlerapport

Prosjektdeltagerne har vært invitert til 4 høringsmøter. Disse høringsmøtene var et viktig ledd i den kompetanseoppbygging prosjektdeltagerne fikk gjennom deltagelsen.

En stor del av arbeidet er konsentrert om slambehandling, men det er også beskrevet hvordan denne påvirker disponeringsmulighetene etter behandlingen. Rapportene beskriver også behov for videre arbeid på dette feltet.

Som et grunnlag for å diskutere aktivitet vedrørende miljøpåvirkning ved bruk av slam, har styringsgruppen engasjert Bjarne Paulsrud, Aquateam A/S, til å utarbeide et forprosjekt. Dette prosjektet gir en oversikt over hva som er gjort på dette feltet til i dag, samt hvilke fagmiljøer som arbeider på feltet.

Kostnadene for prosjektet ("verdiskapningen") er beregnet til ca. kr. 1,4 mill.

NORVAR har etablert en slamgruppe som skal videreføre arbeidet med slamspørsmålet.

Med dette vil vi takke alle som har bidratt til gjennomføringen av dette prosjektet for innsatsen.

Ottestad, 12. juli 1991

Svein Erik Moen

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
0 INNLEDNING	3
1 GENERELT	4
2 BEHANDLINGSMETODER	5
2.1 Generelt	5
2.2 Sentrifugering	6
2.3 Filtrering	10
2.4 Kombinasjonsprosesser	17
2.5 Utbredelse	18
3 FORBEHANDLING	19
3.1 Generelt	19
3.2 Vannbehandling	20
3.3 Slambehandling	22
3.4 Kondisjonering	27
4 TEKNISK UTFORMING	32
4.1 Generelt	32
4.2 Dimensjonering	32
4.3 Avvanningsutstyr	34
4.4 Doseringsutstyr	41
4.5 Slamlagring	43
4.6 SRO-anlegg (styring, regulering, overvåkning)	45

	Side
5 KOSTNADER	46
5.1 Generelt	46
5.2 Investeringer	47
5.3 Drift	49
 6 DRIFTSERFARINGER	 52
6.1 Generelt	52
6.2 Sentrifuger	53
6.3 Silbåndpresser	57
6.4 Kammerfilterpresser	59
6.5 Øvrige prosesser	60
6.6 Slamvannsretur	61
6.7 Energiforbruk	61
6.8 Fordeler og ulemper ved ulike metoder	62
 7 UTVIKLINGSTENDENSER	 64
7.1 Generelt	64
7.2 Sentrifuger	64
7.3 Silbåndpresser	66
7.4 Kammerfilterpresser	67
7.5 Øvrige prosesser	68
 8 VIDERE ARBEID	 69

Litteraturhenvisning

O. INNLEDNING

Denne rapporten inngår som en del av NORVAR-prosjekt P13E "Slambehandling/disponering ved større renseanlegg".

Rapporten er utarbeidet av en arbeidsgruppe (AG3) bestående av

- Kirsti Grundnes Berg, VEAS (til 1.1.91)
- Gunnar Hall, RA-2
- Kjell Åge Haugli, HIAS
- Olav Holdhus, VEAS
- Bjørn Christoffersen, Drammen kommune
- Øystein Lid Larsen, Fylkesmannen Oslo/Akershus (fra 1.1.91)
- Lars Magnussen, Samfunnsteknikk A.S (fra 1.12.90)
- Geir Trengereid, Bergen kommune (til 1.10.90)

Holdhus har vært leder av gruppen, mens Magnussen har vært faglig sekretær med ansvar for utarbeidelse av delrapporter og hovedrapporten.

Arbeidsgruppen har avholdt 7 møter og 8 befaringer til norske anlegg. Det er videre holdt 4 foredrag om gruppens arbeid på egne høringsmøter i prosjektet.

1 GENERELT

Avvanning er ofte siste behandlingstrinn på renseanlegg og skal fylle flere formål:

- Redusere transporterte slammengder
- Tilpasse struktur til disponeringsmetode
- " tørrstoffinnhold til disponeringsmetode (spredning)

Avvanningsmaskinene ble i utgangspunktet konstruert for avvanning av bioslam. Med innføring av polymer rundt 1965 ble det mulig å senke avvanningskostnadene betraktelig, og det ble også vanlig å avvanne andre slamtyper som tidligere var problematisk å avvanne maskinelt.

I mange land, bl.a. i Mellom-Europa, er det ofte slik at slammet ikke avvannes før det disponeres. Dette gjelder også middelsstore og større anlegg hvor man har rikelig tilgang på disponeringsarealer. I Norge derimot blir så og si alt slam avvannet. Det er således en solid tradisjon med avvanningsprosessen i Norge. Spesielt gjelder dette mekanisk-kjemisk slam som dominerer i Norge.

2. BEHANDLINGSMETODER

2.1 Generelt

Formålet med avvanning av slam er å oppnå en større volumreduksjon enn hva som kan oppnås ved fortykking. På denne måten reduseres kostnadene til transport og deponering/mellomlagring. Et annet formål med avvanningen er å tilpasse slamstrukturen til den videre anvendelse av slammet.

Avvanningsprosessen er delt i følgende hovedgrupper:

- Sentrifugering
- Filtrering

Ved de kommersielt tilgjengelige prosessene man i dag har, vil det være hulromsvann og kapillærvann som frigjøres i varierende omfang. For å frigjøre bundet vann (cellevann) og adsorpsjonsvann kreves termisk kondisjonering av slammet før avvanning. Fig.1 illustrerer de fire ulike vanntypene /1/.

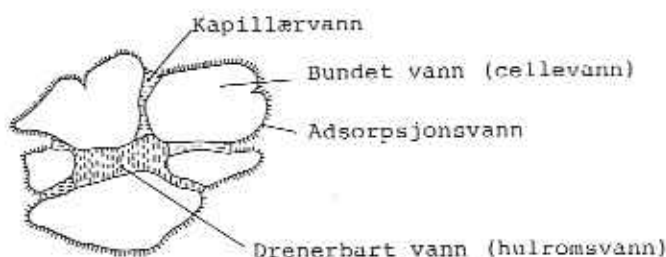


Fig. 1 Skjematisk fremstilling ulike typer slamvann.

Det er videre under utvikling nye prosesser som bl.a skaper skjærkrefter i slammet slik at cellevannet kan frigjøres.

Det snakkes her om tørrstoffinnhold på 50-60% for konvensjonelle prosesser.

Ved avvanning er det viktig at gjenvinningsgraden, dvs. andelen av slampartikler som holdes tilbake i slamkaken, ligger på et optimalt nivå i forhold til driftskostnad og påvirkning på vannbehandlingsprosessene.

Gjenvinningsgraden er definert som /2/:

$$G.G = \frac{TS_k (SS_{inn} - SS_r)}{SS_{inn} (TS_k - SS_r)}$$

hvor

TS_k = tørrstoffinnhold i avvannet slam (%)

SS_{inn} = suspendert stoff i innkommende slam (%)

SS_r = " " i rejektivannet (%)

Normalt bør gjenvinningsgraden være 95% eller høyere.

2.2 Sentrifugering

Ved sentrifugering separeres faste partikler fra væsken ved hjelp av sentrifugalkrefter.

Sentrifugalkreftene ligger i området 500-3000 G.

Blant sentrifugene finnes følgende typer:

- Tallerkensentrifuger (imperforate basket centrifuge)
- Kurvsentrifuger (disc nozzle separators)
- Dekantersentrifuger

Av disse dominerer dekantersentrifugene fullstendig på verdensbasis. Det kjennes ikke til installasjoner av de 2 andre typene i Norge. Av denne grunn konsentreres beskrivelsen nedenfor om dekantersentrifuger.

Dekantersentrifuger

Slampartiklene trykkes mot mantelen inne i en roterende sylinder og føres videre ut av denne med en transport-skrue (solhjul). Skruen har en hastighetsdifferanse i forhold til sylindere (trommelen) på normalt 5-80 rpm. Oppholdstiden i sentrifugen er normalt 30-60 sek. Dekantersentrifugene er konstruert etter 2 ulike hovedprinsipper:

- Medstrøms
- Motstrøms

Sentrifuger etter medstrømsprinsippet drives vanligvis med lave rotasjonshastigheter (<1000 rpm).

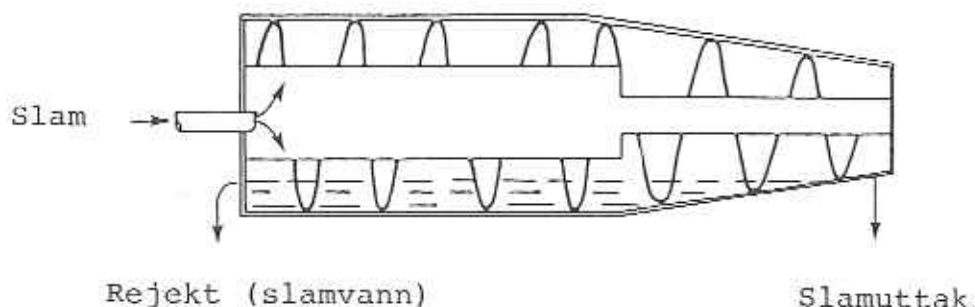


Fig. 2 Skisse medstrømssentrifuge

Sentrifuger etter motstrømsprinsippet drives vanligvis med rotasjonshastigheter i området 1000-3000 rpm.

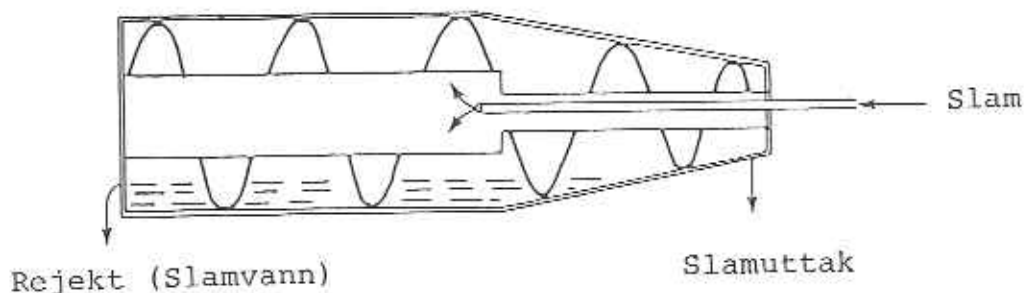


Fig. 3 Skisse motstrømssentrifuge.

Ved sentrifugering i dekanter-sentrifuger er en rekke variabler bestemmende for avvanningsresultatet.

Maskinvariabler

- Trommelhastighet
- Skruehastighet
- Vanndybde i trommelen

Prosessvariabler

- Tilført slammengde
- Tørrstoff i tilført slam
- Polymerdosering
- Slamtype
- Slamalder

I tabell 1 fremgår sammenhengen mellom endringer i ovennevnte variabler og avvanningsresultatene.

Tabell 1 De ulike driftsparametrenes innvirkning på avvanningsresultatet.

Variabel	Gjenvinningsgrad	TS- i slamkake
Øk. trommelhastighet	Økende	Økende
" vanndybde	"	Avtagende
" skruehastighet	Avtagende	"
" slamtilførsel	"	Økende
" TS i tilført slam	"	"

Trommelhastighet

Det vil ikke alltid være slik at en økning i trommelhastighet medfører økning i gjenvinningsgrad og TS-innhold i slamkake /1/. En høyere hastighet gir også større slitasje, større energiforbruk, risiko for fnokknedbrytning samt økende vanskeligheter med slamtransporten inne i trommelen /1/.

Det anbefales derfor så lav hastighet som mulig uten å gi avkall på forventet resultat.

Skruehastighet

Avtagende skruerhastighet (avtagende differansehastighet) medfører at slammets oppholdstid øker. En oppholdstid opptil ca. 60 sek. bør forbedre TS-innholdet i slamkaken. Oppholdstider over dette vil øke risikoen for at slamtilførselen overstiger skruens utmatingskapasitet. Dette medfører at rejektivannets kvalitet forverres dramatisk /1/.

I neste omgang vil sentrifugen kunne bli overfylt med slam og den vil da stoppe på utløst motorvern.

Vanndybde

Vanndybden stilles inn ved regulerbare brikker i trommelens ene ende. Stor vanndybde foretrekkes normalt fordi turbulensen i væskefasen minker.

Slamtilførsel

En økning i hydraulisk belastning medfører dårligere rejektivannskvalitet, mens en økning i TS-belastning krever justering av skruens utmatingshastighet. Ønskes økt TS i slamkaken, må tilførselen reduseres og oppholdstiden økes, forutsatt at kapasiteten er stor nok.

Tørrstoff i tilført slam

En økning i tilført slams TS-innhold har positiv innvirkning på utgående slams TS-innhold. Svenske erfaringer presentert på VAV-dagen 1975 viser at en økning av tilført slams TS-innhold fra 2% til 4% (middel) kan forventes å gi en økning i utgående slams TS-innhold med 5% /1/.

Det bør derfor alltid tilstrebes så høy TS i slam til avvanning som praktisk mulig både ut ifra et teknisk og et økonomisk synspunkt.

Polymerdosering

Tilsettingspunkt for polymerløsning spiller også inn på resultatene. Følgende tilsettingspunkter er aktuelle:

- Foran matepumpe slam
- Etter " "
- Rett foran sentrifugen

Doseringsledningene må legges opp fleksibelt slik at alle disse punktene kan prøves ut i full skala.

Slamtype, slamalder

Se kap. 3.

2.3 Filtrering

Med filtrering menes en prosess hvor faste partikler separeres fra en væske når suspensjonen passerer gjennom et medium som holder partiklene tilbake.

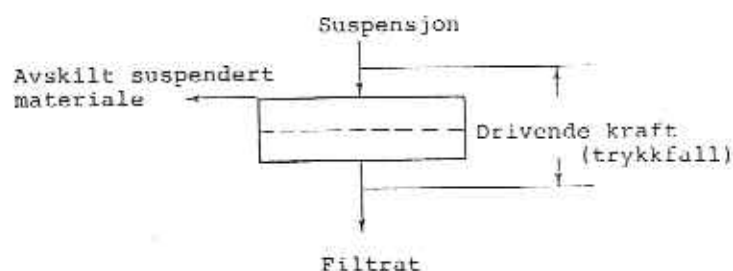


Fig. 4 Filtreringssystem (skjematisk) /1/.

Trykkfallet oppnås med følgende drivende krefter:

- Gravitasjon
- Vakuum (undertrykk)
- Trykk

Til det første prinsippet hører bl.a følgende prosesser:

- Tørkesenger
- Sekkefilter
- Silbåndpresse (bare dreneringssonen)

Når det gjelder vakuum som drivkraft så benyttes dette i ulike typer vakuumfilter.

Følgende prosesser anvender trykk som drivkraft:

- Silbåndpresser (trykksonen, skjærsonen)
- Kammerfilterpresser
- Membranfilterpresser
- Høytrykkskammerfilterpresser
- Platåfilterpresser

Silbåndpresser

Silbåndpresser finnes i et utall utførelser alt fra 1-trinnspresser til 3-trinnspresser. Førstnevnte anvendes vanligvis til mekanisk fortykking fordi TS-innholdet bare kan heves til 8-12%.

Det som normalt benyttes for avvanning i dag, er 3-trinnspresser.

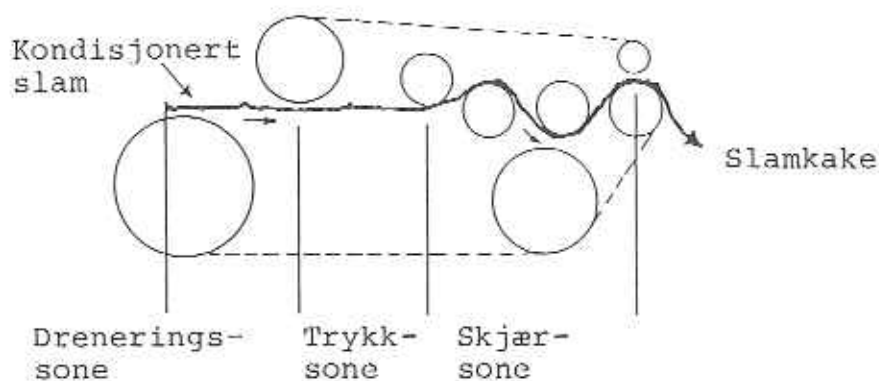


Fig. 5 Prinsippskisse silbåndpresse /1/.

I dreneringssonen minsker slamvolumet 25-50% avhengig av forbehandling. TS-innholdet kan heves til 8-12% /3/. God funksjon i dette trinnet har stor betydning for driften i etterfølgende trinn.

I trykksonen er det viktig at pressevannet kan avskilles ut unødvendige forurensninger.

Vanligvis dras vannet av gjennom silbåndet både i retning u fra valsene og inn gjennom valsene.

En annen løsning er sideveis avdrag. Dette er gjort mulig v parallellmonterte T-profiler som klemmer silbåndene sammen slik at det dannes kanaler. Vannet renner dermed ut gjennom duken mellom "slampølsene" /3/.

I skjærsonen skal slammet settes under høyt trykk samtidig med at det utsettes for store skjærkrefter.

Dette oppnås ved at slammet må følge en S-formet bane mellom et visst antall valser.

Ved filtrering i silbåndpresser er følgende variabler bestemmende for resultatet:

Maskinvariabler

- Silbåndets hastighet
- " spenning
- " gjennomslipplighet

Prosessvariabler

- Tørrstoff i tilført slam
- Polymerdosering
- Spylevannsforbruk
- Slamtype
- Slamalder

I tabell 2 fremgår sammenhengen mellom endringer i ovennevnte variabler og avvanningsresultatene.

Tabell 2. De ulike driftsparametrene innvirkning på silbåndpressens funksjon /4/.

Variabel	Endring resultat 1) Gjennomstrømning				
	Utg TS-innh.	Gjenv. grad	Polymer dose	TS	Hydrulisk
TS-innh.inn 2)				<5/>5%	<5/>5%
- Økning	+	+/-	-	+/-	0/-
- Minskning	-	-/-	+	-/-	0/+
Båndhastighet					
- Økning	-	-	+	+	+
- Minskning	+	+	-/+	-	-
Båndstramming					
- Økning	+	-/-	+	0	0
- Minskning	-	+/-	-	0	0
Båndets gjennomslipplighet					
- Økning	+	-	+	+	+
- Minskning	-	+	+	-	-
Spylevannsmengde/trykk					
- Økning	0	0	-/-	+	+
- Minskning	-	-	+	-	-
Polymerforbruk 3)					
- Økning	+/-	+/-		+/-	+/-
- Minskning	-	-		-	-

Anmerkninger:

- 1) + = økning
- = minskning
0 = ingen endring
- 2) Inngående TS <5% betyr hydraulisk begrensning
" TS >5% " TS-begrensning
- 3) Økning av polymerdosen kan øke utgående TS-innhold og gjenvinningsgraden med noen %-enheter mens en altfor høy dosering senker begge.

Filterpresser

Filterpresser arbeider normalt batchvis og filterkakene dannes ved at slammet pumpes inn i et antall parallellkoblede kammer som åpnes ved syklusens slutt slik at kakene faller ut. Hver syklus varer normalt i 1-6 timer. Normalt for norske forhold er 1-2 t. (mekanisk-kjemisk slam). Filtersyklusen forløper ved at kamrene gradvis fylles med slam. Ettersom de fylles vil motstanden i filterkakene mot vanngjennomstrømmingen øke. Filtreringshastigheten avtar således med tiden. Når pumpetrykket når en viss grenseverdi avbrytes innmatingen. Pressen åpnes og kakene tas ut. En konvensjonell kammerfilterpresse fremgår av fig. 6.

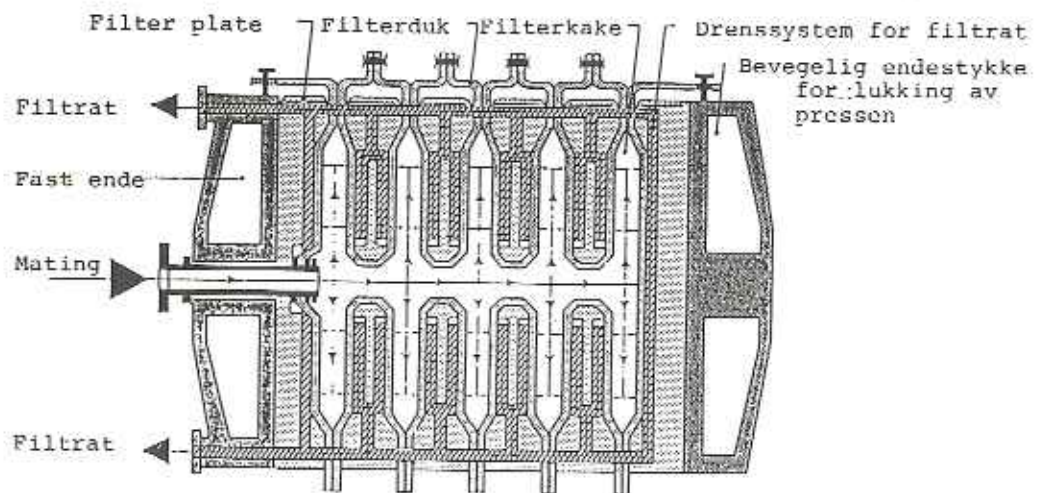


Fig. 6 Prinsippskisse kammerfilterpresse.

En videreutvikling av kammerfilterpressen er den såkalte membranfilterpressen. I forhold til en konvensjonell presse er her matetiden kort (<60 min.). Når innmatingen er avsluttet settes filterkammerne under trykk ved hjelp av trykkluft eller trykkvann som føres inn i separate kamre mellom hvert filterkammer. Kompressjonstiden varer normalt i noen få minutter (20-30 min.). Total syklustid er normalt 0,5-3 timer dvs at kapasiteten øker ca.100% i forhold til en konvensjonell presse.

Normalt for norske forhold er 0,5-1,0 t.

Høytrykkskammerfilterpressen (CHP) opererer med høyere trykk enn konvensjonelle presser (20 bar mot 6 bar). Pressen arbeider kontinuerlig og gir TS-innhold i området 30-45%.

2-trinnspressing er en metode utviklet i Japan hvor pressing foregår i 2 trinn med tilsetting av aske fra forbrenningsanlegg for slam etter 1. trinn. Kakene fra 1. trinn knuses og tilsettes aske slik at blandingen får en pelletert form. Påfølgende pressing foregår i 2 etapper:

- Trykk 20 bar i 45 sek.
- " 50 " i 60 " .

I dette trinnet utsettes slammet for skjærkrefter.

Tørrstoffinnholdet blir 50-55% i sluttproduktet, som forbrennes.

Volumreduksjonen i 2. trinn er 50-60% av volumet fra 1. trinn.

Silpresse

I Tyskland er det de senere år utviklet en ny prosess basert på 2-trinnsfiltrering med gravitasjonsfiltrering etterfulgt av skruepressing. I korte trekk består prosessen (Huber-rotamat) av følgende komponenter:

- Flokkuleringsreaktor/foravvanning (statisk sil m/innvendig røreverk)
- Skruepresse (sil + skrue)
- Polymerdoseringsenhet

I pressedelen utsettes slammet både for trykk- og skjærkrefter.

Fra leverandørhold oppgis følgende fordeler med prosessen:

- Høy gjenvinningsgrad
- Høy TS i slamkake (30-35% for utråtnet slam)
- Lavt støynivå
- Lavt strømforbruk
- Liten installert effekt
- Lite plassbehov (noe større enn sentrifuger)
- Samme mulighet for automatisering som sentrifuger

Utstyret leveres for kapasiteter opptil 20 m³/h pr. enhet.

Vakuumfilter

Vakuumfilteret består av en "endeløs" filterduk som løper over en roterende trommel nedsenket i et kar. Slamsuspensjonen ledes til dette karet etter kondisjonering. Ved hjelp av undertrykk suges slamvannet gjennom filterduken inn i trommelen og ledes ut som rejeckt. De faste partiklene holdes tilbake på filterduken og avskilles som slamkake. Duken brytes over valser for å muliggjøre effektiv rengjøring med spylevann.

2.4 Kombinasjonsprosesser

Det er utviklet flere prosesser de senere år som kombinerer de 2 forannevnte prinsippene bl.a.

- . High-compact
- . Centripresse
- . Hi-compact

Centripresse

Prosessen består av:

- . 1. trinn - Dekantersentrifuge
- . 2. " - Komprimator

Komprimeringssonen er konisk. Leverandør oppgir at utstyret gir 5-10% høyere tørrstoffinnhold enn konvensjonell sentrifuge.

Hi-compact

Prosessen består av.

- . 1. trinn - Foravvanning
- . 2. " - Presse

Forvannet slam fra 1. trinn (TS = 20-25%) tilsettes aske, steinmel eller varmetørket slam før avvanning i 2. trinn.

Tørrstoffinnholdet blir 55-65% i sluttproduktet.

Volumreduksjonen i 2. trinn er 40-50% av volumet fra 1. trinn.

2.5 Utbredelse

I Norge dominerer dekantersentrifuger markedet. Som nr. 2 kommer silbåndpressene mens kammerfilterpresser bare er installert på en håndfull anlegg.

Av nyere installasjoner som er i drift, under montasje eller planlagt på større anlegg, så ser fordelingen mellom ulike avvanningsprosesser slik ut:

- Sentrifuger : FOA, SIA, Fuglevik, SNJ,
Knappen, Monserud, Bekkelaget,
Voss, Hokksund, HIAS, Linnes
- Silbåndpresser : RA-2, HIAS, Knarrdalsstrand
- Kammerfilterpresser : Solumstrand, VEAS

Det samme bildet finner en også i våre naboland. I verden forøvrig er bildet noe mer nyansert. I Mellom-Europa er kammerfilterpresser for eksempel mye utbredt på større anlegg. I USA har vakuumfilter en forholdsvis stor utbredelse.

3 FORBEHANDLING

3.1 Generelt

Et vellykket avvanningsresultat er en kombinasjon av riktig valg av avvanningsutstyr i forhold til slam- og vannbehandlingsprosess og riktig kondisjonering.

Det er således en klar sammenheng mellom vannbehandling, slambehandling og kondisjonering slik at alle disse forholdene må ses som ledd i forbehandlingen av slammet før avvanning.

Forbehandlingen er også avgjørende for endelig disponering av slammet etter avvanning.

Et mål for avvanningsegenskapene for slam er slammets CST-verdi (Capillary Suction Time). Måling av CST-verdien foregår med et testapparat som er vist skjematisk i fig. 7/2/.

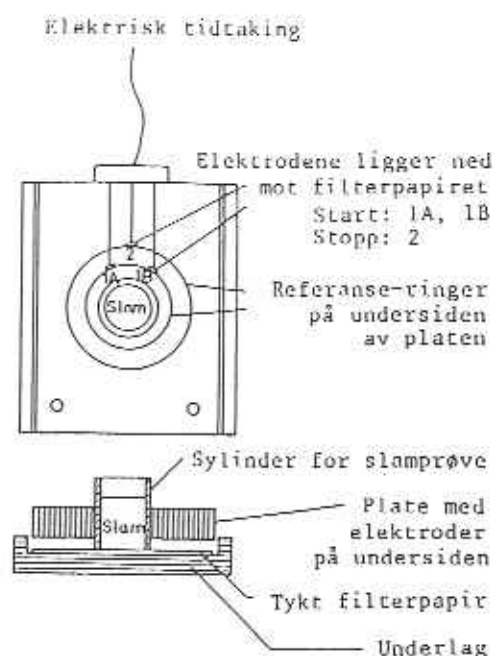


Fig. 7 Skjematisk fremstilling av CST-apparat.

CST-verdien for råslam av ulike typer ligger i området 100-300 sek. Mekanisk slam og septikslam ligger i nederste del av området, mens simultanfelt slam og aktivslam ligger i øverste del av området. CST etter kondisjonering skal ligge i området 10-20 sek.

3.2 Vannbehandling

I Norge har de fleste anlegg bare kjemisk rensing med hovedsiktemål å fjerne fosfor. I årene fremover må man imidlertid forvente at større anlegg (over 10.000 pe) beliggende langs kysten mellom Halden og Rogaland får krav om nitrogenfjerning. Dagens teknologi tilsier at dette vil kreve innføring av et biologisk rensetrinn. Det er derfor lagt vekt på å få frem utenlandske erfaringer med biologisk rensing, og hvilken innvirkning ulike behandlingsprosesser har på avvanningsprosessene. Det har imidlertid vært vanskelig å finne dokumentasjon i litteraturen med hensyn til det sistnevnte.

Kjemisk rensing

Ved kjemisk rensing i tillegg til mekanisk og biologisk rensing vil slambehandlingen bli påvirket negativt på 2 måter /1/.

- Slamproduksjonen øker
- De ulike slambehandlingsprosessene fungerer vanligvis dårligere og/eller blir dyrere i drift.

I flere land er det gjort omfattende studier av hvordan ulike kjemikalier/kjemikaliekombinasjoner innvirker på slammets fortykkings- og avvanningsegenskaper.

I USA var konklusjonene fra 147 anlegg med fosforfjerning følgende /5/:

- Kalk gir betydelig større TS-produksjon enn aluminium og jernsalter.
- Slam fra felling med al.salter er vanligvis vanskeligere å fortykke og avvanne enn slam fra Fe-salter.

En tysk undersøkelse fra Friedricshafen /6/ konkluderte med følgende:

- Avvanning av Al- og Fe-slam i sentrifuger og kammerfilterpresser ga jevnførbare resultater.
- Avvanning av Fe-slam i silbåndpresse ga klart bedre resultater enn de øvrige.

I Sverige er det dokumentert erfaringer fra Loudden, Arboga, Himmerfjärdsverket, Käppalaverket, Karlstad og Hässleholm med Al- og Fe-salter /1/ som konkluderer med at slam felt med jernsalter er lettere å fortykke og avvanne enn slam fra Al-salter.

Gjennomsnittet for de 4 første av disse anleggene indikerer en økning i slamkakenes TS-innhold på ca. 5%TS ved avvanning av Fe.slam i forhold til Al.slam. Samtidig var polymerforbruket noe lavere.

I Norge er det dokumentert resultater fra Alvim Ra (SIA) i 1990 med jernklorid og Al-klorid (PAX)/7/. Al.kloridslammets fortykkings- og avvanningsegenskaper er vesentlig dårligere enn jernkloridslammets. Al.klorid er benyttet i perioden mars-juni 1990. Informasjon fra anlegget indikerer at TS-innholdet i avvannet slam har sunket med 5-10%(TS) (fra ca.32%) samtidig som polymerforbruket har økt.

Ved RA-2 har en ikke tilsvarende erfaringer med

Al.felling. Ved dette anlegget benyttes al.sulfat i kombinasjon med polymer (ca. $0,5 \text{ g/m}^3$). Tørrstoffinnholdet i fortykket slam ligger på ca. 8%. Hvorvidt dette gode resultatet skyldes polymerdoseringen eller ikke er ikke klarlagt.

I Sverige tyder resultater på at tilbakeføring av alt produsert slam til forsedimenteringen og uttak av ett blandslam herfra gir forbedringer i avvanningsegenskapene /1/. (forfelling eventuelt med etterpolering i kjem.trinnet)

Biologisk rensing

Ved biologisk rensing vil slammets slamindex være et indirekte mål på avvanningsegenskapene. En høy slamindex f.eks. ved slamsvelling vil gi et slam som er vanskelig for ikke å si umulig å avvanne.

Erfaringer tyder på at simultanfelling med Fe.salter motvirker en høy slamindex i større grad enn al.salter /1/.

Samme kilde anbefaler imidlertid at alt slam bør blandes før tilføring til slambehandlingsprosessene. (se foregående avsnitt).

3.3 Slambehandling

Slambehandling før avvanning har naturlig nok større innflytelse på avvanningsresultatene enn vannbehandlingen.

Følgende hovedpunkter er av størst betydning:

- Lagringstid (fortykkere, slamlager)
- Fortykking

- Stabilisering/hygienisering (aerobt/anaerobt)
- Kondisjonering (se pkt. 3.4)

Slamproduksjonen fra ulike renseprosesser fremgår av tabell 3/2/.

Tabell 3 Slamproduksjon (råslam)

Rense-prosess	Spesifikk slamprod. gTS/pe.d	Slammengde fra sed. l/pe.d	Slammengde fra fortyk l/pe.d	Slammengde avvannet l/pe.d
Biologisk	80	8-16	2,7-4	0,3-0,5
Simultan-felling	100	10-20	3,3-5	0,4-0,7
Kjemisk felling (Al/Fe)	120	12-24	4-6	0,5-0,8
Etter-felling (Al/Fe)	105	10-21	3,5-5,3	0,4-0,7

Lagring

Lagring av råslam fører normalt til dårligere avvanningsegenskaper. I en amerikansk undersøkelse i 1982 /8/ redegjøres det for kjemikaliekostnadene for å oppnå en ønsket filtreringsmotstand som funksjon av lagringstid for ulike slamtyper. Forverringen av avvanningsegenskapene er mest markant når det gjelder slam fra et høyt belastet aktivslamanlegg. Utråtnet slam og slam fra et lavt belastet aktivslamanlegg (langtidslufter) påvirkes imidlertid overhodet ikke av lagringstiden.

Fortykking

Svenske erfaringer i 1975 /9/ viser at en økning av innkommende TS-konsentrasjon til avvanningen fra 2 til 4% gjennomsnittlig ga en økning av utgående TS-konsentrasjon med 5%.

Tilsvarende undersøkelser fra USA /8/ underbygger dette.

Forutsetningene for å få til denne positive effekten må være at oppholdstiden ikke virker i negativ retning. Se foregående avsnitt.

Videre omtales i VAV P51 /1/ at et homogent slam med konstante mengder vil forenkle avvanningen. Dette oppnås bl.a ved å blande alle slamtypene i forsedimenteringen. En løsning som gir dårligere forutsetninger for en god avvanning, er å blande f.eks. utrånnet primærslam, bioslam og kjemslam før avvanning. Kjemslammengden vil variere etter vannføringen og gi svært variable driftsbetingelser.

Norske erfaringer tyder på at innblanding av septikslam i internslammet før fortykning har en positiv effekt på TS-konsentrasjonen i fortykket slam.

Enkelte anlegg som mottar store mengder ekstersnslam bl.a Kambo (Moss) og Monserud (Ringerike) oppnår TS = 7-8% i fortykket slam.

Som tidligere nevnt i avsn. 3.2 vil Fe-salter normalt gi vesentlig høyere TS-konsentrasjoner enn Al-salter. Dette må imidlertid veies opp i mot fellingsresultater og hvilken slambehandlingsprosess som følger etter fortykning. Eksempelvis vil økonomien i videregående slambehandlingsprosesser som hygienisering og stabilisering (biologiske prosesser) være helt avhengig av TS-konsentrasjon og derav slammengde (volum) til behandling. Med slike prosesser bør TS være større enn 5-6%. Dette kan selvfølgelig oppnås med foravvanningsenheter, men disse er imidlertid kostbare i investering og drift og representerer således en ekstraavgift.

Stabilisering, hygienisering

Ved biologiske stabiliseringsprosesser reduseres tørrstoffmengden med 15-30% avhengig av prosess. Samtidig gjelder også at dess lengre disse prosessene drives dess bedre avvanningsegenskaper oppnås. I fig. 8 vises avvanningsegenskapene uttrykt som CST som en funksjon av oppholdstiden for 3 ulike prosesser /10/.

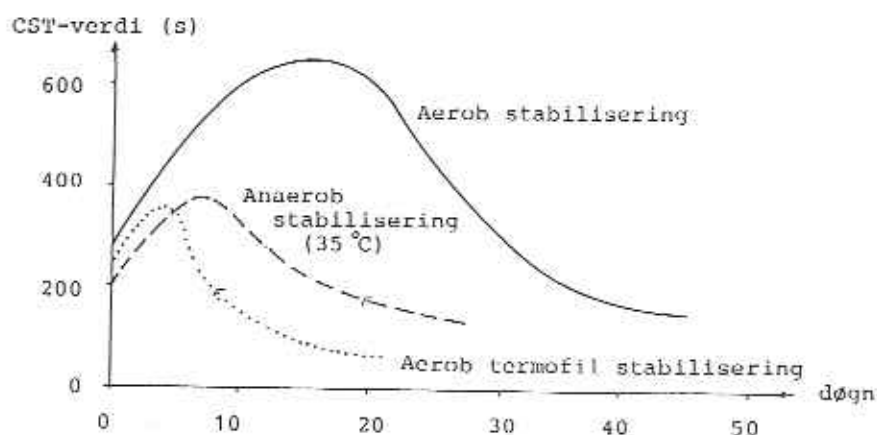


Fig. 8. CST-verdi som funksjon av oppholdstid.

Som man ser av figuren må følgende oppholdstider benyttes for ikke å forverre avvanningsegenskapene:

<u>Prosess</u>	<u>Oppholdstid (døgn)</u>
- Aerob stabilisering (15-30°C)	> 31
- " termofil stabilisering (60-65°C)	> 7
- Anaerob mesofil stabilisering (35-40°C)	> 16

En tysk undersøkelse i 1982 /11/ viste at avvanningsegenskapene ble forbedret parallelt med økende stabiliseringsgrad. Silbåndpressen var mer følsom enn sentrifugen for endringer i stabiliseringsgraden.

Resultatene fremgår av fig. 9.

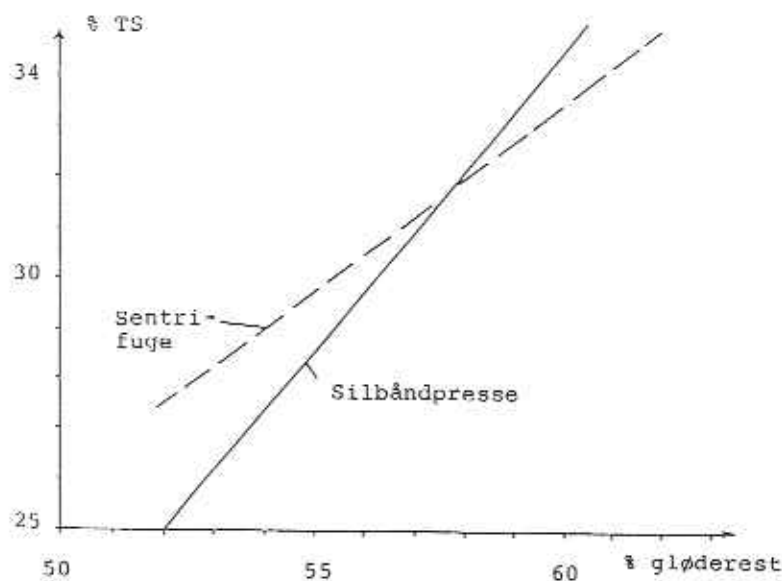


Fig. 9. TS-innhold som funksjon av slammets gløderest

De senere år har nye prosesser for hygienisering og stabilisering av slam slått gjennom i Mellom-Europa og Norge. Blant disse nevnes:

- Pasteurisering m/anaerob stabilisering
- Aerob termofil hygienisering/anaerob mesofil stabilisering
- Anaerob " " / " "

Resultatene tyder på at disse prosessene gir bedre eller like gode avvanningsegenskaper som ovennevnte prosesser med kortere oppholdstider. Erfaringene fra forskjellige anlegg omtales i kap. 6.

3.4 Kondisjonering

Med kondisjonering av slam menes termisk og kjemisk behandling av slammet med sikte på å forbedre slammets avvanningsegenskaper. Slambehandlingsprosessene nevnt i avsn. 3.3 gir også under gitte betingelser en kondisjonering av slammet. I dette avsnittet omtales imidlertid de prosessene som har som eneste formål å kondisjonere slammet.

Kjemiske prosesser

De vanligste kjemiske kondisjoneringsmidlene er:

- Polymer
- Kalk
- Kalk i kombinasjon med jernklorid

Polymer

Polymer er langkjedede, vannløslige kjemikalier (f.eks. akrylamid). Man skiller mellom følgende 3 hovedtyper:

- | | | | | |
|--------------|-------------------------------|---|---|---|
| - Anioniske | Negativ ladning i vannløsning | | | |
| - Kationiske | Positiv | " | " | " |
| - Nonioniske | Ingen | " | " | " |

Kondisjoneringseffekten beror på 3 egenskaper:

- Slampartiklenes overflateladning nøytraliseres
- Aggregatdannelse av små slampartikler ved brodannelse
- Frigjøring av bundet overflatevann fra partiklene.

Primær- og bioslam har vanligvis negativ overflate-ladning mens kjemslam har positiv.

En blanding av flere slamtyper på et anlegg gir vanligvis negativ ladning i sum. Dette innebærer at en kationisk polymer må forventes å gi best kondisjoneringseffekt. Slammets partikkelstørrelsesfordeling anses å være mest avgjørende for polymerforbruket /12/. Årsaken er bl.a. at ladningen også er en funksjon av partikkelstørrelsesfordelingen. Minskende partikkelstørrelse f.eks. ved uvøren håndtering av slammet, gir økende forbruk. En god og rask innblanding er også svært viktig. Omrøringen må imidlertid ikke være så kraftig at slampartiklene slås i stykker.

En altfor høy dosering vil gi dårligere avvanningsegenskaper. Riktig dosering bør derfor studeres ved laboratorieprøver av det aktuelle slammet.

Slam som skal utsettes for store belastninger f.eks i sentrifuger, vil normalt oppnå best resultat med en polymer med høy molekylvekt.

Et utråtnet slam vil pga høyt saltinnhold være lett å bygge opp til store partikkelaggregat. Imidlertid finnes det en viss risiko for inhibering av den nødvendige nettverksdannelsen /13/.

Pulverformede polymerer må løses opp i vann før tilsetting i slammet. Ofte vil det være behov for en viss modningstid for denne løsning for å få den beste kondisjoneringseffekten. En normal modningstid er 2 timer. Dersom hardt vann benyttes til løsningen og den ferdige løsningen blir mye utspedd (til 0,1%), er det en risiko for at effekten begynner å avta allerede etter noen få timer. Det anbefales derfor at en konsentrert stamløsning (0,5-1%) benyttes. Denne vil normalt tåle flere døgns lagringstid uten nevneverdig kvalitetsforringelse. I tvilstilfelle kan det være aktuelt å benytte avherdet vann.

Kalk og jern

Kondisjonering med kalk og jernsalter benyttes vanligvis ved avvanning i kammerfilterpresser og vakuumfilter. Normalt oppnås best effekt dersom jernet tilsettes før kalken /1/.

Dersom slammet inneholder jern fra vannbehandlingsprosessen vil det normalt ikke være behov for ekstra jerndosering /1/.

Man må ved denne kondisjoneringen være oppmerksom på at kjemikaliene bidrar med 25-50% av slamkakens TS-mengde. En stor del av avvanningsutstyrets kapasitet opptas således av kjemikaliene.

Vasking

"Vasking" av slammet i en etterfortykker er en klassisk metode for å redusere kjemikaliebehovet ved avvanning av utrånnet slam. Opptil 50% reduksjon kan oppnås, men samtidig vil 10-45% av slammets SS-innhold gå i retur til vannbehandlingen /12/. Renseeffekten over biotrinnet kan pga. dette forverres /12/.

Aske

Tilsetting av aske fra forbrenningsanlegg (slam/avfall) ved pressing av slam vil bedre slammets drenerende egenskaper og således gi høyere TS i slamkaken. En må imidlertid her være oppmerksom på askens innhold av tungmetaller i forhold til sluttanvendelse av slammet. En slik metode vil nok være mest aktuell der hvor slammet skal forbrennes eller brukes som toppdekke på fyllinger. Forbedring av rejektivannets kvalitet blir også nevnt som en positiv effekt ved tilsetting av aske /1/.

Varmetørket slam

Ved VEAS er det gjort forsøk med tilsetning av varmetørket kalkslam /14/. Resultatene var negative og bare tilsetning av 20% varmetørket slam og 25% Ca(OH)_2 ga tilnærmet samme resultat som fullskalaprosessen (25% Ca(OH)_2)

Effekten ved lavere doseringer er vesentlig lavere enn for kalkdosering. Det er således ingen gevinst ved tilsetning av varmetørket slam på VEAS.

Termiske prosesser

Av disse prosessene bør nevnes:

- Varmebehandling ($>200^\circ \text{C}$, $>15 \text{ bar}$)
- Frysing

Varmebehandling

Varmebehandling endrer slammets struktur ved at celleveggene brytes ned og bundet slamvann frigjøres (cellevann).

Det finnes flere forskjellige prosesser for varmebehandling. Den eldste av disse er den såkalte Porteous-prosessen som opererer med temperatur på ca. 200°C , trykk på 15-25 bar og en kontakttid på 30 min. Ved denne prosessen oppnås en lav oksydasjonsgrad ($<10\%$). Noe lengre kontakttid (30-90 min) og nærvær av mindre oksygenmengder gir en nedbrytning av organisk substans på 10-30% /1/.

Dersom en langtgående oksydasjon (30-95%) ønskes, velges en høyere temperatur ($250-350^\circ \text{C}$) i kombinasjon med rikelig oksygentilgang /13/.

Ulempene med varmebehandling er først og fremst:

- Rejektvannet inneholder høye forurensningskonsentrasjoner
- Ubehagelig lukt
- Høy driftskostnad (energi)
- Problemfylt drift (Belegg VVX, korrosjon)

Varmebehandlingen gjør at slammet kan avvannes til 35 60% (TS) uten kjemikalietsats (anlegg uten kjemisk felling). Videre oppnås et sterilt slam.

Ved VEAS er det gjort laboratorieforsøk med varmebehandling av utråtnet slam fra lab.anlegg /15/.

Utråtnet slam med TS=4,4% og en nedbrytningsgrad på 38% ble termisk behandlet i autoklav ved 180°C i 30 min.

Slammet ble avvannet i en modellpresse ved 6 bars trykk. Avrenning av filtratvannet opphørte etter 30 min.

Slamkaken hadde et tørrstoffinnhold på 45,4%. Dagens fullskalaprosess, dvs. fortykket råslam, gir TS=35% etter 1 times pressing og tilsetning av 25% Ca (OH)₂. Et parallellforsøk med kalktilsetning til ubehandlet utråtnet slam ga TS=45% ved tilsetning av 23% Ca(OH)₂ etter pressing i 12 min.

Filtratvannet fra det termisk behandlede slammet inneholdt store mengder oppløste stoffer. Omlag 29% av TS-innholdet i innkommende slam havnet i filtratvannet.

Frysing

Ved VEAS er det gjort laboratorieforsøk med frysing av fortykket slam /16/.

Slammet med TS=ca 6% ble frosset ved -18°C.

Tørrstoffinnholdet etter gravitasjonsavrenning av opptint slam ble målt til 17,5%. Avvanning i modellpresse resulterte i et TS-innhold på 44,5% etter pressing i 10 min. Et parallellforsøk hvor opptint slam ble rystet kraftig før avvanning, resulterte i TS=47,5% etter pressing i 4 min.

Filtratvannet inneholdt

- TOC 2224 mg/l
- Tot.N 1.050 "

4 TEKNISK UTFORMING

4.1 Generelt

Den tekniske utformingen ved ulike avvanningsprosesser er kortfattet beskrevet i det følgende.

Det er her gjort et forsøk på å få frem nyvinninger de siste årene bl.a fra bygging av anlegg.

4.2 Dimensjonering

Dimensjonering av anleggene vil være avhengig av følgende forhold.

- Automatiseringsgrad
- Slamlagringsvolum
- Betjent/ubetjent drift
- Krav til reservekapasitet
- Slamproduksjon
- Inngående TS-konsentrasjon
- Slammets avvanningsegenskaper

Avvanningsanlegg som skal gå betjent maks. 6 timer pr. dag, bør dimensjoneres for å kunne avvanne hele slamproduksjonen i løpet av maks. 30 timer pr. uke.

Avvanningsanlegg som skal gå ubetjent, bør dimensjoneres for en driftstid på maks 120 timer pr. uke fordelt over 6 døgn dvs. 20 timer pr.døgn. Et slikt anlegg vil således bli ca. 25% av størrelsen på et betjent anlegg.

Ved større anlegg bør avvanningsanlegget ha 33-100% reserve avhengig av antall enheter (2-4) fordi et havari her på kort tid vil kunne slå ut hele renseanlegget. Ofte vil slamlagringskapasiteten i et renseanlegg sjelden overstige 1 uke.

Når det gjelder kammerfilterpresseanlegg, så er det et spørsmål om behovet for reservekapasitet. For større anlegg vil det imidlertid være en fordel å fordele kapasiteten på flere presser for å redusere problemene ved driftsstans.

En behovsanalyse bør tillegges vekt på planstadiet. Videre er det viktig å kjøpe utstyr fra leverandører som har et godt serviceapparat (service, reservedeler).

Ved ubetjent drift må anleggene ha lagringsvolum for avvannet slam enten i silo eller i containere (auto.system). Lagringsvolumet bør være tilstrekkelig til å dekke en langhelg (3-5 døgn).

Nedenfor er det vist et eksempel med dimensjonering av 3 ulike anleggsstørrelser med avvanning av utråtnet og aerobt hygienisert primærfelt slam (Utråtningsgrad = 50%).

	Anleggstørrelse (pe)		
	20.000	70.000	300.000
<u>Dimensjoneringsgrunnlag</u>			
- Slamproduksjon, kgTS/d	1.680	5.880	25.200
- Slammengde, m ³ /d (TS=5%)	34	118	504
- " m ³ /uke	238	826	3.528
- Avvannet slam, m ³ /uke (TS=32%)	37	130	550

Alt.1 Ubetjent drift

- Kapasitet, m ³ /h	2x2	2x7	2x30
" kgTS/h	2x100	2x350	2x1500
- Driftstid, h/uke	120	120	120
- Slamlager, m ³	2x14	2x49	2x210

Alt.2 Betjent drift

- Kapasitet, m ³ /h	2x18	2x28	4x450
- " kgTS/h	2x400	2x1450	4x2000
- Driftstid, h/uke	30	30	30

Garantikrav for avvanningsutstyr bør være en selvsagt del av alle kontrakter om levering av utstyr. Hvilke krav som skal stilles er avhengig av utstyrstype men følgende krav er fellesnevner:

- Kapasitet (kgTS/h, m³/h)
- Gjenvinningsgrad (%)
- Forbruk kondisjoneringsmiddel (kg/tTS)
- Tørrstoff i slamkake (% TS)

4.3 Avvanningsutstyr

I det følgende er følgende avvanningsutstyr beskrevet:

- Sentrifuger
- Silbåndpresser
- Kammerfilterpresser

Det er i dette avsnittet beskrevet krav en må legge vekt på samt mulige totalløsninger for hele avvanningsprosessen.

Sentrifuger

Helautomatisk drift

Avvanningsprosesser hvor sentrifuger benyttes er godt egnet for helautomatisert drift. Prosessen vil kunne drives ubetjent styrt av anleggets slamproduksjon. Prosessen som har vunnet størst innpass er basert på "feed-forward/feed-back"-styring. Dette innebærer at polymerdosen primært styres av TS-mengde (feed-forward) mens avviket i rejektivannets SS-innhold i forhold til en gitt børverdi (f.eks. 1500 mg/l) finjusterer dosen (feed-back). Argumentene for en automatisk styring er i første rekke /17/:

- Polymerkostnaden er betydelig
- Varierende slamegenskaper krever hyppig manuelt tilsyn og inntrimming

- Mindre avvanningsmaskiner kan installeres
- Rejektvannsbelastningen på vannbehandlingen kan holdes på et rimelig nivå
- Arbeidsmiljøet i sentrifugens nære omgivelse er mindre godt (støy/lukt).

Ved helautomatisk drift vil prosessen omfatte:

- Sentrifuger
- Siloer for avvannet slam (evt.containersystem)
- Utlastingssystem
- Evt. pumpesystem for avvannet slam
- Måleutstyr for måling av
 - Innkommende slammengde (m^3/h)
 - " TS-innhold ($\% \text{TS}, \text{kg}/\text{m}^3$)
 - Rejektvannets SS-innhold (mg/l)

Sentrifuger

Når det gjelder sentrifugene er det aktuelt å installere automatisk drift av skruen (solhjulet). Med dette oppnås følgende:

- Kapasitetsøkning
- Høyt TS-innhold i slamkake
- Sikker drift ved varierende tørrstoffmengder
- Lavere polymerforbruk

Behovet for automatisk drift av skruen vil være størst der hvor slammets egenskaper varierer mye over kort tid. Der hvor disse varierer lite over kort tid f.eks. etter en stabiliseringsprosess med lange oppholdstider (utjevning), vil et manuelt system kunne være tilstrekkelig. I et slikt system innstilles skruerhastigheten, (dvs. differanseturallet) manuelt. Skruen i sentrifugen vil være svært utsatt for slitasje. Dette vil spesielt avhenge av slammets innhold av sand.

En god sandavskilling i sandfangene (vann, septik) er derfor en viktig forutsetning for lang levetid. Ved en normalt god sandavskilling bør overhalingsintervallet kunne garanteres til minst 10.000 driftstimer.

Sentrifugene vil, avhengig av turtallet, gi mer eller mindre støy. Sentrifuger med høye turtall (3000 rpm) bør normalt kapsles inn. Ved lavere turtall (<1000 rpm) vil behovet være mindre. Leverandørene bør oppgi støynivået på anbudsstadiet. Hydraulikkpumper ved automatisk skruedrift vil kunne gi mye støy og må beaktes særskilt.

Sentrifugene vil uten særskilte tiltak avgi mye lukt. De bør derfor utstyres med punktavsug (eventuelt i kombinasjon med siloene), for å redusere luktspredning (undertrykk). Det er også viktig at rejektivannssystemet er lukket og også utstyrt med avsug.

Vibrasjoner fra sentrifuger kan bli et problem dersom det ikke tas maskintekniske og bygningstekniske forholdsregler mot dette. Spesielt gjelder dette for sentrifuger med høyt turtall. Det er rapportert om yrkesskader som følge av lavfrekvent lyd forårsaket av vibrasjoner overført til bygningskonstruksjonene. Separat fundament for sentrifugene eventuelt fundament med stor masse (gulvkonstruksjon) avhjelper dette. Maskinene må videre vibrasjonsdempes separat med maskinsko og fleksible forbindelser til rørarrangement etc. så langt det er praktisk mulig.

Siloer/containersystem

Se avsn. 4.5.

Måleutstyr

Se avsn. 4.6.

Pumping avvannet slam

Ved pumping av avvannet slam bør følgende pumpetyper anvendes:

- Stempelpumper ("betongpumper")
- Eksenterskruepumper m/brobrekker og stor mateåpning (spesialversjon)

Eksenterskruepumpene bør minst være 2-trinns (12 bar), helst 4-trinns (24 bar) av hensyn til slitasje og levetid. Uavhengig av pumpetype bør pumpene ha en stor matetrakt på 500-1000 l. En bra løsning er en konisk eller pyramideformet trakt med helning $> 60^\circ$ på sideflatene.

Innmatingsåpningen bør være minst 350 x 500 mm.

Begge pumpetypene må utstyres med overtrykkssikring. Eksenterskruepumpene må i tillegg ha tørrkjøringsvakt. Pumpeledningene må utformes med slake bend ($R > 3 \times D$) og Y-gren ved sammenkoblinger med andre ledninger (ikke vanlige T-rør).

Ledningene må dimensjoneres for trykkklasse 16 bar. Normalt vil pumpenes maks. arbeidstrykk ligge på 12 bar.

Manuell drift

Med manuell drift menes her at prosessen må overvåkes og inntrimmes fortløpende av driftspersonellet. Det forutsettes imidlertid at prosessen styres automatisk m.h.t gruppestart og stopp, dvs. at pumper, sentrifuger osv. starter og stopper i riktig rekkefølge. Automatisk stopp ved tomt slamlager forutsettes også å inngå i automatikken.

En prosess med manuell drift vil omfatte:

- Sentrifuger
- Utlastingssystem
- Containere

Sentrifuger

Automatisk eller manuell solhjulsdrift vil også i dette alternativet være høyst aktuelt. I dag leveres stort sett alle nye sentrifuger med en eller annen form for solhjulsdrift.

Forøvrig gjelder de samme punktene som nevnt under automatisk drift av avvanningsprosessene. Når det gjelder pumping vises det til foregående avsnitt vedrørende automatisk drift.

Utlastingssystem

Transportskruer bør ha akselløse skruer med opplagring i motorenden og slitestål i trauret.

Luker i fordelingsskruer for automatisk skifte mellom containere bør normalt være pneumatisk opererte.

Silbåndpresser

Automatisk styring av silbåndpresser har så langt ikke vært vanlig. En årsak er kanskje at pressene normalt er mer stabile enn sentrifuger hvilket gir muligheter for lengre driftsperioder uten tilsyn.

En forbedring av driftsbetingelsene vil oppnås dersom en holder TS-tilførselen konstant ved å turtallsregulere matepumpene med basis i målt TS-konsentrasjon.

Følgende punkter bør tillegges vekt ved anskaffelse av silbåndpresse:

- Innblanding slam/polymer
- Spylevannsforbruk
- Støy
- Kapsling

Kapsling av silbåndpressene med punktavsug er vesentlig for å hindre spredning av lukt, aerosol og støy.

Kapslingen bør være lett demonterbar der hvor det er viktig å komme til for rengjøring og service.

Levetiden på silbåndene bør kunne garanteres til minst 4000 driftstimer.

Kammerfilterpresser

Kammerfilterpresser er lite egnet for automatisk drift. Derfor er også anleggene som er bygget basert på betjent drift 1 - 3 skift pr. døgn (6 - 18 h).

En avvanningsprosess med kammerfilterpresser vil omfatte følgende hoveddeler:

- Innblandings- og kondisjoneringstanker (jernklorid, kalk, og evt. polymer)
- Doseringsanlegg for kondisjoneringskemikalier
- Utjevningstank (evt., store anlegg)
- Matepumper
- Kammerfilterpresser
- Rengjøringssystem (høytrykksvann, syre)
- Transportsystem for avvannet slam
- Lager for avvannet slam
- Automatikkanlegg

Tanker

Tanker for innblanding, flokkulering og utjevning utføres normalt i handelsstål innvendig overflatebehandlet med tjære-epoxy eller tilsvarende.

Omrørere for flokkulering utføres som tradisjonelle paddelomrørere med periferihastigheter fra 0,8 m/s (1.kammer) til 0,3 m/s (2. kammer). Alt stål bør være rustfritt, NS 14350 og paddelbladene i trykkimpregnert tre. Omrører i utjevningstank utføres med periferihastighet på 0,1 m/s.

Matepumper

Prosessteknisk kan det være gunstig å få et jevnt økende trykk ved matingen. Dette kan eksempelvis utføres med parallellkoblede pumper av fortrenningstypen med ulike trykktrinn og kapasiteter. Dette er viktig for et godt avvanningsresultat.

Matepumpene bør støydempes.

Kammerfilterpresser

Viktige momenter å legge vekt på ved utforming av pressene er:

- Krav til TS i slamkake
- " " gjenvinningsgrad
- Tømming av filterkakene
- Rengjøringssystem
- Luftavsug
- Utlastingstraktene

Krav til høyt TS-innhold (>35%) vil kunne innebære at membranpressing må installeres i tillegg.

Automatisk kjerneutblåsning vil redusere ulempene med søl ved tømming av pressene.

Automatisk rengjøringssystem med høytrykkspyling (7-8 bar) og syrevaskanlegg bør inngå. Syrevasking bør foregå i lukket system med resirkulering. Avvanning av slam vil medføre dannelse av større mengder ammoniakk-gass ved tilsetting av kalk.

Utråtnet slam vil avgi en del restgass. Det er derfor viktig med god ventilering av pressene for å unngå spredning av lukt i lokalene. Utlastingstraktene for avvannet slam må utstyres med rist e.l. for "finknusing" av filterkakene. Dersom man ikke gjør dette vil transportutstyret få problemer. Selv om man benytter skruer som findeler kakene ytterligere, så vil matingen bli vanskelig med hele kaker (blokkering kan oppstå). Traktene må utføres med bratte sideflater ($>70-80^\circ$), inspeksjonsluker og punktavsug. Filterduker bør garanteres for min. 2000 pressesykluser og gummimembraner for min. 35.000 pressesykluser.

Transportsystem

Følgende løsninger er aktuelle for transport av avvannet slam:

- Spiraltransportør
- Transportbånd
- Redlertransportør
- Stempelpumper

Valg av system vil bl.a. være avhengig av:

- TS i slammet
- Transportavstand
- Plassering av lager for avvannet slam

En løsning basert på pumper vil kreve skruemating fra trakt til pumpens innløpstrakt. Pumpene bør også ha innløpstrakt (500-1000 l) for å lette innmatingen. Skruematingen bør eksempelvis være av tvillingtypen.

4.4 Doseringsutstyr

Aktuelle kondisjoneringskemikalier er:

- Polymer
- Kalk (Ca(OH)_2)

- Jernklorid (FeCl_3)

Polymer

Oppløsning av polymer i pulverform bør gjøres i automatiske polymerberedere hvor oppløsningen skjer automatisk etter forbruk (nivåstyring).

Berederen bør bestå av:

- Dagsilo m/doserer
- Syklonoppløser
- Oppløsnings/modningskar m/omrøring
- Doseringskar

Modningstiden må være minst 2 timer med en stamløsning på 0,5% tørrstoff. Løsningen spes ut ved tilførsel av vann til doseringspumpenes trykkside.

Kalk

Kalk er et vanskelig kjemikalie å berede og dosere. Gjentetting og beleggdannelse er et normalt forekommende problem som vil oppstå dersom anlegget ikke utformes riktig.

Kalksiloen må være spesielt beregnet på lagring av kalk. Dette innebærer spesiell form på bunnseksjon, stor utmatingsflate doserer og slegge evt. pulsator for brobryting.

Kalk våtdoseres normalt som slurry. For beredning av slurry anvendes en standard slurrybereder med omrører, vanntilførsel og støvfjerning (f.eks. overrisling med vann av luften ut fra berederen). Enhetene må være tettkapslet. Vann til beredningen bør polariseres (polarisator) for å redusere karbonatutfelling i doseringssystemet.

Kalkslurrypumpene bør være av fortrengringstypen f.eks. slangepumper, eksenterskruepumper eller loperotorpumper. Doseringsledninger bør være transparente armerte plastslanger hvor det er enkelt å se og banke løs belegg. Et sirkulasjonssystem med automatiske reguleringsventiler ved doseringspunktene bør vurderes. I et slikt system kan en opprettholde stor nok hastighet i ledningene til å hindre belegg.

Jernklorid

Lagertanker for jernklorid utføres i GUP enten i stående eller liggende utførelse.

Doseringspumpene bør være fortrengringspumper av stempelmembrantypen utført i materialer med stor resistens mot jernklorid (væskeberørte deler)

Doseringsledninger utføres i PVC.

4.5 Slamlagring

Silolagring

Slammet må etter avvanning ha et tilstrekkelig lagringsvolum. Dette løses enten med siloer eller containere. Et automatisk containersystem vil være mer sårbart for driftsproblemer enn siloer fordi det består av mange bevegelige komponenter. Et silosystem vil være mer og mindre sårbart avhengig av om avvannet slam skal pumpes til siloene eller ikke. Et system med avvanningsutstyr på toppen av siloene vil være minst sårbart (selvfall).

Siloer

Siloene bør ha sideflater med helning min. 60°. Innmatingsåpningen til utlastingsskruene i bunn av siloene bør ha en bredde på minst 1 m for å unngå brodannelse.

Siloene bør innvendig behandles med tjære-epoxy for å hindre korrosjon.

Utlastingssystem

Utlasting av slam fra siloene bør gjøres med transportskruer med akselløse skruer (spiral) opplagret i motorenden. Skruene bør utstyres med slitestål i trauet.

Utmatingsåpningene fra skruene bør utstyres med en pneumatisk og en motordrevet skyvespjeldventil. Den motordrevne ventilens funksjon er å regulere gjennomstrømningsmengden og bør derfor ha reguleringspjeld. Den andre ventilens funksjon er start-stopp fylling.

Utlastningsåpningene bør utstyres med teleskoptrakt for å hindre sprut ved fylling. Ofte vil fallhøyden for slammet bli 4-5 m og sprut vil være uunngåelig. På Alvim Ra (SIA) har en erfaring både med og uten teleskop. Erfaringene herfra tilsier at teleskop el. liknende er en forutsetning for å unngå søl. Søl kan være svært vanskelig å fjerne fra malte betongvegger.

Utlastingssystem som befinner seg utendørs vil være svært utsatt for frostproblemer og er ikke å anbefale selvom man installerer varmekabler og isolasjon.

Containersystem

Automatisk drift

Et containersystem vil normalt ha 3 eller flere containerplasser.

Hensiktsmessig containerstørrelse er 5-10 m³. En full 10 m³ 's container (80% utnyttelse) vil veie ca. 11-12 tonn inkl. container. Standard liftbiler vil således kunne ta denne størrelsen og man er derfor ikke bundet opp til spesialbiler.

Et containersystem bør normalt omfatte:

- Innlastingsbane (tomme containere)
- Transferbane m/fyllestasjon
- Utlastingsbane (fulle containere)

Transportvognene bør løpe på skinner slik at posisjoneringen er enkel.

Vognene kan eventuelt løpe i en renne i gulvet slik at gulvet blir oppstillingsrampe for containere.

Posisjonering av containere på respektive baner bør styres av mekaniske brytere.

Fylling av containerne bør primært styres med basis i vekt, sekundært med basis i nivå. Jevn fylling i containerne for maksimal utnyttelse av kapasiteten bør beaktes spesielt. Enten løses dette med motordreven skrape eller ved at slamutkastet kan dreies automatisk.

Manuell drift

Størrelse: Se foregående avsnitt.

Kapasiteten på containersystemet bør tilsvare minst 3-timers drift ved full drift på avvanningsutstyret.

4.6 SRO-anlegg

Styrings-, regulerings- og overvåkningssystem (SRO) for slambehandlingsprosesser er nærmere beskrevet i VAV P61 /17/. Det henvises derfor til denne for nærmere informasjon.

5 KOSTNADER

5.1 Generelt

Kostnadsberegningene er gjort for følgende anleggsstørrelser:

- Alt.	I	20.000 pe
- "	II	70.000 "
- "	III	300.000 "

Videre er det oppdelt i følgende prosesskombinasjoner:

A. Sentrifuge.	Helautomatisk drift
B. Silbåndpresse.	Delautomatisk drift
C. Kammerfilterpresse.	"

Alternativ A og B har lagring av avvannet slam i silo, mens alternativ C har containersystem.

I kostnadsberegningene inngår ikke fortykkere og slamlagre foran avvanning.

Kostnadene er beregnet på basis av slammengder og prosess nevnt som eksempel i avsnitt 4.2.

Følgende kapasiteter og antall avvanningsmaskiner er forutsatt i kostnadene:

	Alternativ		
	I	II	III
<u>Sentrifuger</u>			
- Kapasitet, m ³ /h	2	7	30
- Antall, stk	2	2	2
- Driftstid, h/uke	120	120	120
<u>Silbåndpresser</u>			
- Kapasitet, m ³ /h	8	28	40
- Antall, stk	2	2	4
- Driftstid, h/uke	30	30	30

Kammerfilterpresser

- Kammervolum, m3/stk	1,2	4,2	4,2
- Antall, stk	1	1	2
- Filterflate, m2/stk	87	287	287
- Driftstid, h/uke	30	30	60

I alternativene med sentrifuger og silbåndpresser, er det regnet med 100% reservekapasitet unntatt alt. IIIB hvor reserven er 33%. I alternativene med kammerfilterpressene er det ikke regnet med reserve.

5.2 Investeringer

Kostnadene er basert på prisnivå 1990.

Det må poengteres at kostnadene må betraktes som en ren orientering om størrelsesorden på investeringene.

Stedlige forhold og forutsetninger vil kunne påvirke kostnadene i vesentlig grad.

Tabell 4. Investeringskostnader. (hele tusen)

Anleggs- størrelse	Alter- nativ	Investeringskostnad				Tot.	kr/pe
		Bygg	Maskin	El/ instr.	VVS		
20 000	IA	1260	2280	720	240	4500	225
	IB	1330	2580	600	240	4750	238
	IC	1260	3240	600	240	5300	265
70 000	IIA	2400	3300	800	300	6800	97
	IIB	2820	4380	650	300	8150	116
	IIC	1500	6300	660	240	8700	124
300 000	IIIA	3780	6600	960	360	11700	39
	IIIB	7440	9240	960	460	18100	60
	IIIC	4860	13240	840	360	19300	64

I VAV P51 /1/ er det gjengitt kostnader fra en utredning fra Arboga, et anlegg dimensjonert for ca. 20.000 pe. Kostnadene som refererer seg til prisnivå 1980 fremgår av tabell 3.5. Følgende kapasiteter ble forutsatt:

- Sentrifuge, silbåndpresse 10 m³/h
- Kammerfilterpresse 2,4 m³ (kammervolum)

Tabell 5 Kostnader Arboga, 1980. (hele tusen SEK)

	Sentrifuge	Silbåndpresse	Kammerfilter- presse
Anleggskostnad	2170	2370	2930
Driftskostnad	132	140	168
Kapitalkostnad	294	323	404
Tot. årskostnad	426	463	572
Forholdstall	1	1,09	1,34

5.3 Drift

Driftskostnadene er basert på følgende forutsetninger:

- Lønn	kr/time	120
- Tilsynsbehov		
Alt. IA	h/år	1.450
" . IB	"	1.450
" . IC	"	1.600
" . IIA	"	1.600
" . IIB	"	1.600
" . IIC	"	1.750
" . IIIA	"	1.800
" . IIIB	"	2.200
" . IIIC	"	3.500
- Polymerforbruk		
Alt. IA, IIA, IIIA,	kg/tonnTS	2,0
" IB, IIB, IIIB,	"	2,5
" IC, IIC, IIIC,	"	2,5
- El.forbruk		
Sentrifuger	kWh/m ³ slam	1,0
Silbåndpresser	"	0,6
Kammerfilterpresser	"	0,3
Oppvarming bygg	kWh/m ² .år	150
- Tørrstoff avvannet slam		
A. Sentrifuger	%	32
B. Silbåndpresser	%	37
C. Kammerfilterpresser	%	45
- Driftstid (totalt)		
Alt. IA, IIA, IIIA,	h/år	6.200
" IB, IIB,	"	1.550
" IIIB	"	4.650
" IC, IIC,	"	1.550
" IIIC	h/år	6.200

- Overhalingsintervaller			
a. Solhjul sentrifuger	h		10.000
b. Silbånd, utskifting	"		4.000
c. Filtersett, "	syklus	stk.	2.000
- Spylevannsförbruk			
a. Sentrifuger	m ³ /m ³ slam		0,05
b. Silbåndpresse	"		1,00
c. Kammerfilterpresse	"		0,05
- El, effektavgift	kr/kW.år		600
energipris	øre/kWh		25
- Polymerkostnad	kr/kg		40
- Spylevannskostnad	kr/m ³		5
- Slamtransport	kr/m ³		70
- Vedlikehold			
a. Bygg	%		0,8
b. Tekn. installasjoner	"		1,5
c. Solhjul alt. I,	kr/stk		45.000
" II,	"		90.000
" III,	"		240.000
d. Silbånd alt. I,	"		35.000
" II,	"		100.000
" III,	"		135.000
e. Filtersett alt. I,	"		25.000
" II, III "			45.000

Drifts- og vedlikeholdskostnadene fremgår av tabell 6 på neste side.

Tabell 6 Driftskostnader (hele tusen)

Anl.- størrel- se (pe)	Alt- erna- tiv	Lønn	En- er- gi	Poly- mer vann	Slam- tran- sport	Ver- like- hold	Sum	
							kr	kr/tTS
20 000	IA	175	15	55	135	85	465	760
	IB	175	10	120	115	80	500	815
	IC	190	10	65	95	95	455	740
70 000	IIA	190	40	185	480	140	1035	485
	IIB	190	35	425	405	145	1200	560
	IIC	210	25	225	335	155	950	445
300 000	IIIA	215	145	785	2060	295	3500	380
	IIIB	265	140	1815	1740	380	4340	470
	IIIC	420	95	965	1425	395	3300	360

6 DRIFTSERFARINGER

6.1 Generelt

Driften av avvanningsutstyr har ulike målsettinger:

- Høyt TS-innhold i slamkaken
- Lavt SS- " " rejektivannet
- Lavt energi-og ressursforbruk
- God driftssikkerhet og fleksibilitet
- Lavt vedlikeholdsbehov

Enkelte av disse delmålsettingene kan være direkte i opposisjon til hverandre. Det er derfor viktig å finne et optimalt driftspunkt.

I fig. 10 illustreres sammenhengen mellom slamtilførsel, gjenvinningsgrad og polymerbehov ved sentrifugering av utråtnet slam /1/.

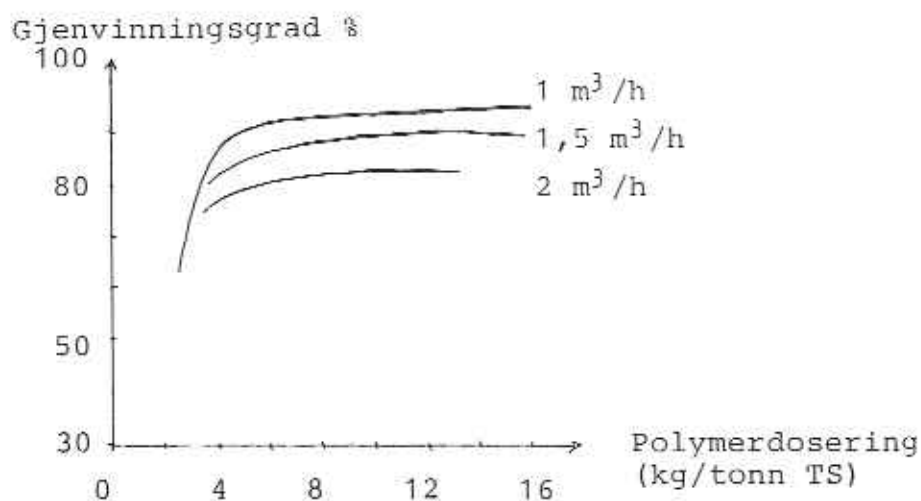


Fig.10. Gjenvinningsgrad. Avhengigheter

6.2 Sentrifuger

Norge

I Norge dominerer sentrifugene markedet. I tabell 7 nedenfor er det gjengitt driftsresultater fra endel større anlegg i 1990.

Tabell 7. Driftsresultater norske anlegg

Anlegg	Størrelse (pe)	Prosess	Slam- beh.	TS slam (%)	PE forbuk kg/tTS
Bekkelaget	200000	M/K/B	AN	25	5 -6
FOA	105000	M/K	P/AN	30 - 33	1,5
SIA	60000	"	AE/AN	32 - 39	1,5-2,5
S.Follo	50000	"	AN	22 - 23	3,3-3,4
Monserud	16000	"	-	20 - 25	3,9
Knapen	63000	"	-	27 - 28	3 -4
Voss	13000	M/K/B	AN	-	-
Mjøndalen	10000	M/K	-	20	2,0
Muusøya	22000	"	-	25	
Linnes	26000	"	-	25	1,4

Tegnforklaring:

- Pe = Personekvivalenter (hydraulisk)
- M = Mekanisk rensing
- K = Kjemisk "
- B = Biologisk rensing
- TS = Tørrstoff
- PE = Polymer
- AE = Aerob termofil hygienisering
- AN = Anaerob mesofil stabilisering
- P = Pasteurisering

Kommentar til tabellen:

- FOA har hatt problemer med igangkjøring av pasteuriseringsanlegget. Resultatene er hentet fra garantitesten i september hvor disse problemene stort sett var løst.

Utenlandske erfaringer tilsier at denne slamtypen har vesentlig bedre avvanningsegenskaper enn vanlig utråtnet slam, noe som bekreftes av resultatene.

- SIA har i 1990 benyttet PAX i perioden mars-juni. Resultatene i denne perioden ga synkende TS i slamkaken (25-28%). Resultatene i tabellen er fra perioden med jernklorid. Reduksjonen i TS er således 5-10% TS ved bruk av PAX.
- Voss er nettopp igangsatt (utråtningsprosessen).
- Av de anleggene som er nevnt i tabellen, er det bare SIA, FOA og Muusøya som har helautomatisk drift av avvanningen.

På et seminar arrangert den 19.2.90 av en av sentrifugeprodusentene ble følgende typiske erfaringsdata for avvanning av ulike slamtyper oppgitt:

Slamtype	TS-slamkake (%)	Polymerforbruk (kg/tTS)
Mekanisk slam	35	0,5 - 1,0
Kjemslam (Al)	12	> 4,0
" (Ca)	20	3,0 - 4,0
" (Fe+Ca)	20	2,5 - 3,5
Aerobt slam	25	3,5

I NTNf-utvalget Drift av renseanlegg sin sluttrapport /2/ oppgis normalt polymerforbruk for avvanning av ulike slamtyper. Tabell 8.

Tabell 8 Normalt PE-forbruk ulike slamtyper:

Slamtype	Polymerforbruk (kg/tTS)
Mekanisk	2 - 3
Septikslam	2 - 3
Mek.-kjem.slam (Al, Fe)	2 - 4
Simultanfelt slam	4 - 7
Biologisk aktivslam	4 - 7
Mek-kjem-biologisk slam	3 - 6

Erfaringer fra de nyeste norske anleggene med videregående slambehandling tyder på at disse tallene vil måtte revurderes. Bortimot en halvering av mengden parallelt med øket TS-innhold i slamkaken med 10-15% TS (fra 20 til 30-35%TS) vil ikke være uvanlig. Dette innebærer vesentlige besparelser i driftskostnadene på anleggene.

Eksempel

Anleggstørrelse 70.000 pe

A. Stabilisering/hygienisering

Slamprod. etter stabilisering/hygienisering	5,9 tTS/d
TS i avvannet slam	35 %
PE-forbruk	1,5 kg/tTS
Slammengde avvannet slam	16,8 m ³ /d

B. Ingen videregående behandling

Slamproduksjon	8,4 tTS/d
TS i avvannet slam	20 %
PE-forbruk	3,0 kg/tTS
Slammengde avvannet slam	42,0 m ³ /d

Økonomisk sammenstilling:

- Redusert slamtransport	
25,2 m ³ /d x 365 d/år x 70 kr/m ³	644.000
- Redusert polymerforbruk	
16,4 kg/d x 365 d/år x 40 kr/kg	240.000

Total besparelse	884.000
------------------	---------

=====

Eksemplet viser at slambehandlingen har vesentlig betydning for driftskostnadene ved avvanningen.

Strukturen på slammet varierer mye. Norske erfaringer tyder på at følgende generalisering kan gjøres:

- * Kjemisk felt råslam - Kornete, porøst
- * " " utråtnet - Skokremkonsistens

Opplysninger fra SIA forteller om PAX-felt slam som etter kort tids lagring etter avvanning blir så hardt at det ikke kan måkes med spade. Årsaken til dette fenomen er ikke klarlagt, men en av teoriene går ut på at en kjemisk reaksjon mellom PAX og avvanningspolymeren er årsaken. Tilsvarende erfaringer er ikke dokumentert fra andre norske anlegg.

Temperaturen på slammet kan være et problem for god funksjon ved avvanning. Det er rapportert problemer både med kaldt slam (HIAS) og varmt slam (Bekkelaget, SIA), Temperaturer mellom 10 og 30°C synes ikke å by på problemer. Ved biologiske stabiliseringsprosesser som opererer med temperaturer over 35°C vil derfor en effektiv kjøling av slammet normalt være nødvendig. Varmeveksling med kaldt råslam inn til stabiliseringsprosessen vil være en løsning som samtidig forbedrer varmeøkonomien i prosessen. Avvanning av slam med for høy temperatur gir skummingsproblemer og økt innhold av forurensninger i rejektivannet. Årsaken til dette er antageligvis at en får en flotasjonseffekt i sentrifugen.

Tilsvarende problemer kan også være forårsaket av utilstrekkelig gassavdriving i utråtningsprosesser. I slike tilfelle vil det være behov for en egen avgassingsenhet.

Sverige

Svenske erfaringer er omtalt i VAV P51/1/. Disse erfaringene ligger noe tilbake i tid (før 1984), men mange av de momentene som er belyst er fortsatt aktuelle. En del av disse momentene er omtalt i kapittel 2 og 3. Forøvrig ble gjennomsnittlig polymerforbruk på 100 svenske anlegg beregnet til ca 4 kg/tonn TS. (Spredning 1-14 kg, alle utstyrstyper). Forøvrig vises det til ovennevnte publikasjon.

6.3 Silbåndpresser

Norge

Silbåndpresser har fått et visst innpass på norske anlegg, i alle fall på større anlegg. Resultater fra noen av disse fremgår av tabell 9.

Tabell 9 Resultater norske anlegg

Anlegg	Størr-else (pe)	Pro- sess	Slam- beh.	TS i slamkake (%)	PE- forbruk (kg/tTS)
N. Follo	40.000	M/K	AE/AN	24	-
RA-2	70.000	M/K	-	30 - 35	1,5
HIAS	90.000	M/B/K	-	18 - 19	3 - 4
Sellikdalen	24.000	M/K	-	22 - 23	1,7
Kambo	16.000	M/K	-	23	1,5
Hokksund	14.000	M/K	-	15 - 18	2,7

Kommentarer til tabellen:

- Tegnforklaring: Se tabell 7.
- Kambo har i 1990 vært gjennom omfattende tester med ulike fellingskjemikalier. Resultatene må ses i lys av dette.

- RA-2 har et TS-innhold på 6-8% etter fortykking. TS-innholdet som er oppgitt er etter kalktilsetting. Kalkmengden er ca 50 kg CaO pr. tonn slam.
- Hokksund har installert sentrifuge i 1990 med vesentlige forbedringer i driftsresultatene. Pga. tynt slam (1-2% TS) har avvanning i silbåndpressen vært problematisk.
- HIAS har i tillegg installert sentrifuge høsten 1990. Resultater foreligger ikke ennå.
- N.Follo har kjørt i gang hygieniseringstrinnet i 2.halvår 1990. I denne perioden har det vært diverse problemer med å få dette trinnet i normal drift. Det er således for tidlig å si hvilke resultater som kan oppnås med den nye slambehandlingsprosessen her.

I likhet med sentrifugene vil også silbåndpressen være utsatt for problemer forårsaket av høy eller lav temperatur, utilstrekkelig gassavdriving etc. Se forøvrig pkt. 6.2.

Når det gjelder strukturen på det avvannede slammet så vil denne variere mye. En generalisering som for sentrifugene, er vanskelig å gjøre.

Sverige

Svenske erfaringer er omtalt i VAV P51/1/. Silbåndpressene ga stort sett samme resultat som sentrifugene hva tørrstoffinnhold angår. Samtidig nevnes at den nye generasjonen presser forventes å gi ca 10%-enheter høyere tørrstoffinnhold (28% mot 18%).

Polymerforbruket var i middel 4 kg/tonn TS.

Blant anlegg i Sverige kan nevnes Käppalaverket (Stockholm) som uträtner slammet. Resultatene ligger på 24-25% TS.

Andre land

Engelske erfaringer opplyser at det oppstår vesentlige luktproblemer ved avvanning av biologisk slam.

I Sveits ble det i 1985 kjørt avvanningsforsøk i full-skala med mobil presse på ARA Wartau/18/. Anlegget er mekanisk-biologisk med aerob-anaerob slambehandling.

Resultatene fremgår av tabell 10 nedenfor.

Tabell 10. Avvanningsforsøk ARA Wartau

- TS fortykket slam	10 - 17 %
- FSS " "	40 %
- Slammengde	7 - 7,2 m ³ /h
- TS i avvannet slam	33 - 44 %
- Polymerforbruk	1,8 - 2,5 kg/tTS
- Spylevannsförbruk	6,5 m ³ /h

Silbåndpressen var utformet med 2-delt dreneringssone og 2 press-soner. Resultatene viser at en med denne slamtypen kan oppnå svært høye TS-konsentrasjoner i slamkaken med et lavt polymerforbruk.

6.4 Kammerfilterpresser

Norge

I Norge finnes et fåtall kammerfilterpresser installert.

Resultater fremgår av tabell 11 nedenfor.

Tabell 11. Resultater norske anlegg

Anlegg	Størrelse (pe)	Prosess	Slam- beh.	TS i slamkake (%)	Kond.midd. forbruk (kg/tTS)	
					Ca	Fe
VEAS	650.000	M/K	-	35	250	-
Solumstrand	70.000	M/K	-	-	-	-

Kommentarer til tabellen:

- Kalkdose regnet som Ca(OH)_2 .
- VEAS har et TS-innhold i fortykket slam på ca 6,5%.
- Solumstrand er nettopp satt i drift og data foreligger ikke ennå.

Sverige

Svenske erfaringer er omtalt i VAV P51/1/.

En undersøkelse av svenske anlegg (1981) ga følgende resultat (middelerverdier 1980):

- TS i slamkake 34%
- Kalkdose 35-40% (av TS)
- Jernkloriddose 11% (" ")

6.5 Øvrige prosesser

Norge

I Norge er det ikke installert andre typer avvanningsutstyr enn de 3 forannevnte typene på større anlegg.

Andre land

Vakuumfilter er utbredt i enkelte andre land, bl.a. USA.

Prosessten anses lite aktuell og omtales derfor ikke nærmere her.

6.6 Slamvannsretur

Slamvannsretur kan være et betydelig problem pga. kort driftstid på avvanningsutstyret. Normalt i Norge er 20-40 driftstimer pr. uke. Spesielt gjelder dette mekanisk-kjemiske anlegg hvor slamvannsreturen ikke bør overstige 5% av gjennomsnittlig tørrvørstilrenning.

Ved automatisert drift av avvanningsutstyret og lengre driftstid (100-120 timer pr. uke), vil en oppnå stor grad av utjevning av rejektivannet. Behovet for egne utjevningssbassenger blir redusert.

Ved kort driftstid (betjent drift) bør rejektivannet utjevnes. Utjevning av all slamvannsretur bør vurderes.

6.7 Energiforbruk

Energiforbruket for de forskjellige prosessene vil variere mye. Det vil også variere avhengig av anleggsstørrelsen.

I VAV P51 /1/ omtales et sammenlikningseksempel fra Hyperion renseanlegg i Los Angeles, USA. Anlegget er dimensjonert for 136 tonn tørrstoff pr. døgn. Resultatene fremgår av tabell 12 nedenfor.

Tabell 12 Energiforbruk Hyperion, LA (USA)

Avvannings- metode	Direkte ener- giforbruk (kWh/d)	Indirekte energiforb. (kWh/d)	Sum (kWh/tTS)
Sentrifuger	153.500	1.200	1.130
Vakuumfilter	112.400	65.000	1.310
Kammerfilter	91.000	301.900	2.890

Direkte energiforbruk omfatter energiforbruk for avvanningsutstyr, kringutstyr og deponering av slam.

Indirekte energiforbruk omfatter energiforbruk ved fremstilling og transport av kondisjonerings-kjemikaliene.

Filterpresser som bare anvender polymer, vil ha et vesentlig lavere energiforbruk enn angitt ovenfor.

6.8 Fordeler og ulemper ved ulike metoder

EPA (1979)/12/ har laget en sammenstilling av fordeler og ulemper ved ulike metoder. Utdrag av denne fremgår av tabell 13 nedenfor.

Tabell 13 Fordeler/ulempes ulike metoder

Metode	Fordeler	Ulemper
Dekanter-sentrifuge	- Renslig - Lite lukt - Enkel installasj. - Kort oppholds tid - Normalt like høy TS som andre met.	- Sliteskrue - Sandavskilling/maling slam inn - Høyt kompetanse nivå drifts-personell
	- Lav kapitalkost. - Kontinuerlig tilsyn ikke nødv.	
Silbåndpresser	- Høy TS (høytrykks-) - Lavt energiforbruk	- Stor følsomhet for avvannings-egenskapene - Hydraulisk begrensing - Kort levetid silbåndene
Kammerfilterpresser	- Gir høyest TS	- Diskont.drift - Høyt tilsynsbehov - Høy kapitalkost. - Stor vekt - Stort arealbehov

Kommentarer til tabellen:

- Høyt el.forbruk sentrifuger er ikke nevnt (-)
- Stor gjenvinningsgrad for filterpresser ikke nevnt (+)
- Letthåndterlig slam fra filterpresser " " (+)
- I sammenstillingen nevnes det at filterpresser gir det høyeste TS-innholdet. Ved bruk av kalk og jernklorid vil imidlertid normalt 1/3-del av TS-innholdet utgjøres av disse kjemikaliene.
- En ulempe ved filterpresser er vanskeligheten med å tilpasse doseringsmengdene etter variasjon i slamegenskaper.

7 UTVIKLINGSTENDENSER

7.1 Generelt

Utviklingen de siste årene har gått veldig raskt når det gjelder forbedringer av kjente metoder. Det er også kommet en del nye metoder som er utviklet spesielt med sikte på høy TS der hvor slammet skal forbrennes.

Også i Norge pågår det utviklingsarbeider for å utvikle nye metoder. Hva det kommer ut av dette vites ikke i øyeblikket.

7.2 Sentrifuger

Utviklingsarbeidet er stort sett konsentrert om driftskostnadsreduksjon og arbeidsmiljøforbedringer.

Arbeidsmiljøet forbedres vesentlig ved bedre innkapsling, rett oppstilling og punktavsug. Eksempel på enkel innkapsling finnes på S.Follo. Denne har redusert støyen betydelig.

Man ønsker generelt å redusere turtallet på sentrifugene for å oppnå følgende

- Lavere el.forbruk
- Mindre støy/vibrasjoner
- Lavere PE-forbruk

uten at resultatene forverres.

Dette har enkelte produsenter klart, men maskinene har øket i størrelse og kostnad ganske vesentlig.

Automatisk styring av sentrifuger har begynt å få innpass også i Norge, selvom vi her ligger etter Sverige. Følgende gevinster oppnås med en slik driftsmetode:

- Bedre utnyttelse av investeringene
- Lave maskinkostnader (forutsatt stort lager)
- Utjevning rejeckt
- Redusert PE-forbruk (opptil 40%)
- Stabil rejeckt-kvalitet
- Øket kapasitet på eksisterende utstyr

Styresystemet som bl.a. anvendes på SIA og en rekke svenske anlegg, det såkalte feed-forward/feed-back-systemet ser ut til å dominere blant de automatiske styresystemene. Metoden er omtalt i pkt. 4.3.

Manuell eller automatisk solhjulsdrift er i dag mer eller mindre standard på nye maskiner som leveres i Norge. Dette har medført en vesentlig bedring i stabiliteten i avvanningsresultatene.

I Norge pågår det for tiden utvikling av en ny type prosess som kombinerer avskilling av partikler i vannbehandlingsprosessen og oppkonsentrering av slammet. Utviklingsarbeidet som skjer i regi av Kværner-Eureka er basert på sentrifugeprinsippet. Prosessen går i korte trekk ut på at alt vannet i vannbehandlingsprosessen blir behandlet i en sentrifuge med vertikale-/radielle lameller. Denne prosessen vil erstatte sedimenteringsbasseng, fortykkere og konvensjonelt avvanningsutstyr.

Prosessdata:

- | | | |
|------------------------|-------------------|-----------------|
| - Kapasitet pr. enhet | m ³ /h | 100-200 |
| - Trommelhastighet | rpm | 200-400 |
| - Tørrstoff i slamkake | % | 16- 24 (antatt) |

7.3 Silbåndpresser

Silbåndpressene er suksessivt blitt forbedret de senere årene. Hvilke tiltak som er utført, varierer fra produsent til produsent. Forbedringer i dreneringssonen er bl.a.

- Økt oppholdstid
- Horisontal sone ender i en sjakt ("filtersekk") som gir ytterligere avvanning
- Den horisontale delen består av små lommer av filterduk (gir god fordeling)
- Små ploger på den horisontale delen pløyer og fordeler slammet slik at dreneringen forbedres
- Bedre rejeckt- og spylevannsoppsamling

I kompresjonssonen er det viktig at rejeckt vannet ikke forurenses unødig. Forbedringer her er:

- Sideavdrag
- "Spormaskin" (kanaler mellom slammet)
- Økt trykk (høytrykkspresser)

I skjærsonen skal slammet utsettes for skjærkrefter og høyt trykk for ytterligere avvanning. Pressene er utviklet med S-formede baner som tvinger slammet til å følge en viss kurs gjennom flere valser, ofte med økende trykk. Et visst antall omlagringer av slammet er resultatet.

Pressene leveres nå mer og mer med hel kapsling som standard.

7.4 Kammerfilterpresser

Det viktigste utviklingsarbeidet som er utført de seneste årene, er overgang til polymerer som kondisjoneringsmiddel. Dette har kunnet oppnås ved endringer i pressenes drift. Kapasiteten øker med opptil 30%, selvom optimal kapasitetsøkning kanskje bare er 10-14%. TS-innholdet i slamkaken blir noe lavere enn ved bruk av kalk/jernklorid, men bør allikevel resultere i mindre slammengder.

En annen positiv effekt er at behovet for dukrengjøring reduseres betraktelig når en slutter å tilsette kalk (karbonatbelegg). En ulempe er at pressetiden normalt øker.

Konvensjonelle presser er blitt videreutviklet til såkalte membranfilterpresser hvor slammet settes under trykk i syklusens slutfase, f.eks. 15 bar i 10 min. Det hevdes at disse pressene gir betydelig økning i TS-innholdet i slamkaken (fra 35 til 40-45%).

I tabell 14 nedenfor er det gjengitt resultater fra K:a Albstadt i Tyskland med 9 måneders drift med polymer jevnført med 11 måneders drift med kalk/jernklorid. I forbindelse med omleggingen til polymer ble det også installert en ny blander for slam/kondisjoneringsmiddel /19/.

Tabell 14 Driftsresultater Albstadt

		PE + Fe	Ca + Fe
- TS i fortykket, utråtnet slam	, %	3,2	3,2
- Polymerforbruk	, kg/tTS	4,7	-
- Kalkforbruk (CaO)	, % av TS	-	64
- Jernkloridforbruk	, % av TS	22	34
- Pressetid pr. syklus	, h	2	2,25
- Kapasitet (8 h/d)	, kg TS/d	3543	2107
- Kjemikaliekostnader	, DM/tTS	115	202
- Energi & personalkostn.	, "	32	54
- Transpostkostnader	, "	21	31
- Deponeringskostnader	, "	11	16
- Total driftskostnad		179	303

7.5 Øvrige prosesser

Følgende nye prosesser er på vei inn på verdensmarkedet:

- * Centripress
- * Hi-Compact
- * High-Compact
- * CHP Høytrykkskammerfilterpresse (kont.drift)

Disse er kortfattet beskrevet i kap. 2. Det er verdt å legge merke til at flere av disse prosessene kombinerer flere prinsipper, f.eks. dekanterentrifuge og presse for å utnytte begge prinsippenes positive fortrinn.

8 VIDERE ARBEID

Et viktig punkt i det videre arbeid er å bringe viten om automatisert drift av avvanningsutstyr ut til brukerne. Her ligger vi betydelig etter andre land. Målet med dette må være å

- Redusere investeringskostnadene
- " driftskostnadene (el. og polymer)
- Oppnå stabile prosesser
- Redusere rejektivannsbekastningen på vann-
behandlingsprosessen.
- Øke kapasiteten på eksisterende utstyr

Arbeidet med utvikling av en ny kombinert avskillings- og avvanningsenhet etter sentrifugeprinsippet i regi av Kværner-Eureka bør følges nærmere opp, muligens i eget prosjekt. Utprøving i fullskala er planlagt utført i 1992.

Utprøving av andre nye prosesser, bl.a. Huber Rotamat er i gang på leverandørinitiativ. Utprøving av utstyr bør skje under anleggseierne kontroll, f.eks. gjennom NORVAR, slik at resultatene kan komme hele fagmiljøet til gode.

Litteraturhenvisning

1. VAV P51. April 1984. "Slamhantering vid kommunale avloppsreningsverk". Hans Holmström.
2. NTNf 1984. "Sluttrapport fra NTNf's utvalg for drift av renseanlegg". (Tapir forlag).
3. Wasser/Energie/Luft nr. 5/6 vol. 74/82".
Schlammentwässerung - Neue Erkenntnisse im Bau von Siebbandpressen". H. Steinemann.
4. Chemical Engineering. 28.11.83 "Improving beltfilterpress performance". R.W. Lecey og K.A. Pietilä.
5. EPA-600/2-79-083 " Review of techniques for treatment and disposal of phosphorus-laden chemical sludges".
C.J. Schmidt et al.
6. GWF Wasser/Abwasser. Vol. 122 Heft 9/81. "Einfluss der fällungsreinigung auf das verhalten von klärschlämmen bei der mechanischen entwässerung". D. Gleisberg.
7. VAR-dagene '90. "Erfaringer fra slambehandlingene ved det nye Alvim Ra, Sarpsborg". L. Magnussen, .
8. Water Pollution Control. Vol 81 nr. 3/82 "Uprating sludge treatment processes" A.M. Bruce & C.F. Lockyear.
9. VAV-dagen '75 "Slamavvattning". VAV 1975.
10. Proceedings of the first European Symposium:
Treatment and use of sewage sludge, Cadarache 13.-15.2.79 "Zusammenhang zwischen stabilisierungsgrad und entwässerbarkeit bei biologisch stabilisierten klärschlämmen". U. Loll.

11. Korrespondenz Abwasser. Vol. 29 nr. 11/82
"Erfahrungen aus einem praxistest mit
schlammentwässerungsmaschinen". H. Kammerer.
12. EPA. US Environmental Protection Agency. "Process
design manual for sludge treatment and disposal"
Sept. 1979.
13. Umweltschutz-1, Abwasser. Kontakt + Studium Bd38.
" Methoden zur verbesserung der entwässerungseigen-
schaften". C.F. Seyfried, 1975. Lexika-Verlag.
14. VEAS-rapport 5/90 "Avvanning av fortykkerslam med
tilsetting av varmetørket kalkslam". 12.1.90.
O. Holdhus.
15. VEAS-rapport 7/90 "Avvanning av utråtnet, termisk
behandlet slam i kammerfilterpresse". 22.10.90.
O. Holdhus.
16. VEAS-rapport 6/90 "Avvanning av frosset
fortykkerslam fra VEAS". O. Holdhus.
17. VAV P61. Jan. 1986". Styrning av slambehandlings-
processer". Holmström.
18. "Schlammentwässerungsversuche ARA Wartau" 3.-6.6.85
Von Roll. W. Mützenberg.
19. Korrespondenz Abwasser Vol. 29 nr. 9/82
"Leistungs- steigerung bei der Schlammentwässerung
mit Kammerfilterpressen durch anwendung von
polyelektrolyten". R.Pfeilschifter.