

Forskningsprosjekt PRA 2.1

Undersøkelser og forskningsresultater
i forbindelse med behandling av kloakkslam

V/avd.sjef Peter Balmér, siv.ing., Ole Falk Frederiksen, siv.ing.,
Ph.D. Arild Schanke Eikum og siv.ing. Bjarne Paulsrud

Peter Balmér er ansatt som forsker ved Norsk institutt for vannforskning. Han er siv.ing. (1963) og har lic.tekn. (1969) fra Kungl. Tekn. Högskolan, avd. Kjemi, Stockholm.

Ole Falk Frederiksen er ansatt som forsker ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA), teknisk avdeling. Han er sivilingeniør fra Heriot-Watt University, Edinburgh, 1972.

Arild Schanke Eikum er ansatt som forsker ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA), teknisk avdeling. Han er sivilingeniør fra University of Washington, Seattle, VA-teknikk, 1963, og har Ph.D. fra samme universitet, 1973.

Bjarne Paulsrud er ansatt som forsker ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA), teknisk avdeling. Han er sivilingeniør fra Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, linje Bygg, 1969.

Resymé av innlegg på kollokvium i NFVV den 20. november 1973.

SLAMPRODUKSJON VED KJEMISK FELLING

Ved tekn.lic. Peter Balmér.

Innledning.

I PRA-prosjekt 2.1 «Forsøksanlegget på Kjeller» inngår et delprosjekt kalt «Driftsundersøkelser ved mekaniske, biologiske og kjemiske rensesanlegg.»

Innen dette prosjekt skjer det en oppfølging av driftsresultatene ved

de rensesanlegg som finnes på forsøksstasjonen. Hensikten er at resultatene skal gi bakgrunnsmateriale til andre delprosjekter. Delprosjektet gir også anledning til detaljstudier av ulike rensetekniske forhold. Det har f.eks. blitt utført en forholdsvis omfattende sammenlignende undersøkelse av ulike fellingskjemikalier i samband med sekundærfelling (direktefelling) av kommunalt avløpsvann. I denne undersøkelse er også slamproduksjon studert, og det er

noen resultater fra denne som blir rapportert i dette innlegg.

Slamproduksjonen i det kjemiske fellingsstrinn påvirkes av flere faktorer. Faktorer som bidrar til slamproduksjonen er:

1. *Utfelling av fosfor.* Når fellingsmiddel tilsettes avløpsvannet blir uorganisk fosfor utfelt som aluminiumfosfat (AlPO_4), jernfosfat (FePO_4) eller hydroksylapatitt ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), avhengig av hvilket fellingsmiddel en bruker.
2. *Utfelling av overskudd av fellingsmiddel.* Normalt må det tilsettes betraktelig mer av fellingsmiddelet enn hva som er nødvendig rent støkiometrisk for å felle ut fosforet. Ved bruk av aluminium og jernsalter som fellingsmiddel vil overskuddet av fellingsmiddelet bli utfelt som hydroksyder, $\text{Al}(\text{OH})_3$ resp. $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ved bruk av kalk som fellingsmiddel vil ved de høye pH som er aktuelle ($> 11,2$), praktisk talt alt uorganisk karbon foreligge som karbonat, hvilket betyr at det blir utfelt en god del kalsiumkarbonat (CaCO_3).
3. *Ikke oppløst stoff i fellingsmiddelet.* De fleste fellingsmidler inneholder i tekniske kvaliteter en liten andel ikke oppløst stoff. Dette vil ende opp i slammet.
4. *Adsorpsjon av suspendert stoff.* Avløpsvann har, også etter mekanisk rensing, et høyt innhold av suspendert stoff. Ved de kjemiske fellingsprosesser vil normalt praktisk talt alt suspendert stoff bli adsorbent til fosfat- og hydroksydudfelling.

5. *Adsorpsjon av løste stoffer.* Som kjent anses det at en ved kjemisk felling kan fjerne suspendert og kolloidalt organisk stoff fra avløpsvannet. Resultater fra Kjeller indikerer at vi også fjerner en del organisk stoff i oppløst form. (Oppløst er da definert som den del som passerer gjennom et glassfiberfilter.)

Følgende faktorer bidrar til å minske slamproduksjonen ved kjemisk felling:

1. *Tap av suspendert stoff i effluenten.* Det finnes alltid noe suspendert stoff i effluenten fra et renseanlegg. Jo større dette tap er, desto mindre blir selvsagt slammengden som er tilbake i anlegget.
2. *Hydrolyse er fast materiale.* Fra undersøkelsene på Kjeller er det funnet tegn som peker på at, i det minste ved kalkfelling, det kan skje en hydrolyse av organisk stoff. Dette vil bety en overføring fra fast fase til væskefase og en minsking av mengden stoff som vil bli felt ut. Kvantitativt synes denne hydrolyse å ha liten betydning for slamproduksjonen.

Utførte forsøk.

Ved Kjeller finnes det anlegg for mekanisk-kjemisk rensing av avløpsvann som muliggjør at en kan kjøre tre forsøk parallelt. Dermed kan man f.eks. studere virkningen av tre ulike fellingskjemikalier samtidig. Dette betyr at en faktor som varierende sammensetning i avløpsvannet, som normalt er et vanskelig problem ved

Tabell 1. Driftsbetingelser ved forsøk med kjemisk felling.

Serie Nr.	Antall døgn i serien	Linje nr. 1		Linje nr. 2		Linje nr. 3		Total fosfor i råkloakk mg P/l
		Fellings- middel	Dosering g/m ³	Fellings- middel	Dosering g/m ³	Fellings- middel	Dosering g/m ³	
1	10	Kalk	677 ± 91	Jern (III)	33,8 ± 4,4	Aluminium	17,4 ± 4,6	7,1
2	11	Kalk	482 ± 52	Jern (III)	35,4 ± 2,9	Aluminium	9,9 ± 1,1	7,1
3	17	Kalk	352 ± 61	Jern (III)	31,2 ± 9,3	Aluminium	17,9 ± 4,6	3,3
4	11	Kalk	364 ± 88	Jern (III)	47,7 ± 1,9	Aluminium	20,4 ± 1,2	4,7
5	9			Jern (III)	28,4 ± 7,0	—	—	2,4
7	9			Jern (III)	33,2 ± 3,2	—	—	3,0

Doseringsmengde aluminiumsulfat er angitt som g Al/m³, jern(III)klorid som g Fe/m³ og kalk som g Ca(OH)₂/m³.

alle rensetekniske forsøk, vil være den samme.

Det er nå utført 7 forsøksserier med ulike fellingskjemikalier på Kjeller. De resultater som vil bli omtalt her, er fra felling med aluminiumsulfat, jern(III)klorid og lesket kalk. Betingelsene ved forsøkene er sammenstilt i tabell 1.

Oppholdstider i flokkuleringsbassengene er ved samtlige forsøk ca. 0,67 h og oppholdstiden i sedimenteringsbassengene ca. 1,1 h.

Tilsvarende overflatebelastning har vært ca. 0,5 m³/m², h.

I tabell 2—4 er slamproduksjonen ved bruk av de ulike fellingsmidlene presentert. Ved en del av forsøkene har det vært et forholdsvis stort tap av suspendert stoff i effluenten. Resultatene angir derfor den mengde slam som er tappet fra sedimenteringen (slamproduksjon), tapet i effluenten og den totale slamproduksjon som er summen av disse to.

I tabell 2 og 3 er det også angitt en kvote Totalt/Teoretisk. Tallene her er fremkommet ved at man har prøvd å beregne slamproduksjonen ved kjemisk felling teoretisk ut ifra de forutsetninger som innledningsvis er diskutert.

Tabell 2. *Slamproduksjon i kjemisk trinn ved sekundærfelling med Al-sulfat, SS g/m³.*

<i>Serie</i>	<i>Slam prod.</i>	<i>Slam i effl.</i>	<i>Totalt</i>	<i>Totalt/Teor.</i>
1	176	41	217	1,18
2	81	85	166	1,10
3	183	53	236	1,19
4	175	20	195	0,95

Tabell 3. *Slamproduksjon i kjemisk trinn ved sekundærfelling med Fe(III)klorid, SS g/m³.*

<i>Serie</i>	<i>Slam prod.</i>	<i>Slam i effl.</i>	<i>Totalt</i>	<i>Totalt/Teor.</i>
1	84	120	204	1,12
2	137	73	210	1,11
3	133	118	251	1,19
4	166	29	195	0,84
5	57	74	131	1,03
7	101	55	156	0,92

Tabell 4. *Slamproduksjon i kjemisk trinn ved sekundærfelling med lesket kalk, SS g/m³.*

Serie	Slam prod.	Slam i effl.	Totalt	Totalt korr.
1	597	52	649	517
2	595	17	612	461
3	576	79	655	470
4	569	38	607	389

Uttrykket for den totale slamproduksjonen i g/m³ ved felling med aluminiumsulfat er da:

$$\begin{aligned}
 & (\text{PO}_4 - \text{P}_{\text{inn}}) \times \frac{122}{31} + \left[\text{Al} - (\text{PO}_4 - \text{P}_{\text{inn}}) \frac{27}{31} \right] \frac{78}{27} + \text{SS}_{\text{inn}} \\
 & + (\text{KOF}_{\text{fellt, inn}} - \text{KOF}_{\text{fellt, ut}}) \times 0,5.
 \end{aligned}$$

Tilsvarende uttrykk ved bruk av tre-verdig jern ved fellingsmiddel blir:

$$\begin{aligned}
 & (\text{PO}_4 - \text{P}_{\text{inn}}) \times \frac{150}{31} + \left[\text{Fe} - (\text{PO}_4 - \text{P}_{\text{inn}}) \frac{55}{31} \right] \frac{106}{55} + \text{SS}_{\text{inn}} \\
 & + (\text{KOF}_{\text{fellt, inn}} - \text{KOF}_{\text{fellt, ut}}) \times 0,5,
 \end{aligned}$$

der

$(\text{PO}_4 - \text{P})_{\text{inn}}$ er fosfatfosfor i influent som g $\text{PO}_4 - \text{P}/\text{m}^3$.

Al er dosert mengde Al-salter som g Al/m^3 .

Fe er dosert mengde Fe-salter som g Fe/m^3 .

SS_{inn} er mengde suspendert stoff i influent i g/m³.

$\text{KOF}_{\text{fellt, inn}}$ og $\text{KOF}_{\text{fellt, ut}}$

er innholdet av organisk stoff målt som KOF i filtrert prøve av influent og effluent respektive.

Første leddet i ligningene angir utfelt mengde fosfor og andre leddet utfelling av overskudd av fellingsmiddelet. Tredje leddet angir utfellingen av suspendert stoff og fjerde leddet utfelling av løst organisk

stoff. Vil en ha netto slamproduksjon, dvs. den mengde som blir tilbake i anlegget, må en trekke fra SS_{ut} , dvs. mengde suspendert stoff i effluenten i g/m³.

Av tabell 2 og 3 kan en se at det

Tabell 5. *Materialbalanser, avvikelse, %.*

<i>Serie</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Kalk</i>
1	1,9	11,7	— 25,2
2	— 3,8	0,1	— 32,8
3	— 1,2	— 15,0	— 39,3
4	— 0,9	— 1,6	— 56,0
5	—	0,5	—
7	—	5,3	—

er en forbausende god overensstemmelse mellom de funne og de teoretisk beregnede slamproduksjonene.

Differansen i slamproduksjon i forsøksseriene beror på at dosert kjemikalimengde har variert, og avløpsvannets sammensetning er varierende.

Ved forsøkene er tørrstoffinnholdet målt i influent, effluent og i slammet. Med kjennskap til volumstrømmer og doserte kjemikalimengder kan en da sette opp materialbalansen. Den prosentuelle differansen i materialbalansene ($TS_{inn} - TS_{ut}$) er angitt i tabell 5.

Av tabellen fremgår at materialbalansene stemmer meget godt for aluminium- og jernfellingsforsøkene, men at det er stor differanse ved kalkfelling. Det er derfor grunn til å tro at det er noen systematiske feil i tallene for slamproduksjon ved kalkfelling. Derfor er i tabell 4 også angitt en korrigert total slampro-

duksjon. Denne er fremkommet beregningsmessig ved å gjøre forutsetninger om at materialbalansen skal stemme.

Noen foreløbige vurderinger.

Resultatene som her presenteres, peker på slamproduksjoner ved kjemisk felling som er betraktelig større enn de som en tidligere har regnet med. Tallene angir bare slamproduksjon i det kjemiske fellingstrinnet. Slamproduksjonen i det mekaniske trinnet kommer i tillegg. Resultatene generelle verdi begrenses av at de alle kommer fra én type avløpsvann (Kjeller). Forholdene kan være annerledes på andre steder. Vi har nå erfaring med slamproduksjon ved sekundærfelling også fra et annet avløpsvann, og her har vi fått resultater som er i tråd med de som er funnet på Kjeller. Det finnes derfor grunn til kritisk å betrakte de tall for slamproduksjon i sekundærfellingsanlegg som hittil har vært brukt.

FORTYKKING AV KJEMISK SLAM

Ved siv.ing. Ole Falk Frederiksen.

Innledning.

Fortykking er et velkjent begrep innenfor slambehandling. Det finnes en mengde litteraturdata om fortykkingsegenskaper samt dimensjoneringsgrunnlag for fortykking av mekanisk og biologisk slam. Kjemisk slam er lite undersøkt, og det som er gjort av forsøk er utført i laboratorieskala, og gir neppe grunnlag for dimensjonering av fortykker i full størrelse.

Formål.

1. Sammenligne sedimenteringshastigheten for forskjellige typer kjemisk slam og se hvilke konsentrasjoner man kan oppnå.
2. Finne omrøringens innvirkning på sedimenteringen.
3. Undersøke forurensingen av det avskilte vannet (dekantatet).
4. Undersøke forandring i slammets filtreringsegenskaper med oppholdstiden i fortykkeren. ..
5. Finne det dimensjonerende areal for fullskala fortykker.

Utført arbeid.

Forsøkene er utført i pilotskala. Under innledende forsøk er hver slamtype kjørt parallelt i pilotskala og laboratorieskala. Slamtypene er undersøkt med og uten omrøring i pilotskala. Slamtypene fra sekundærfelling som har inngått i for-

søkene, er aluminium-, jern-, kalk- og jern + kalk-slam.

I første forsøksperiode er det benyttet aluminiumslam i forskjellige konsentrasjoner i de 4 sylindrene. Initialhøyden er holdt på 2,5 m, og forsøkene er gjort uten omrøring.

I annen periode er det gjort tilsvarende forsøk med kalkslam.

Resultater.

Forsøk har vist:

1. At fortykking av slam i pilotskala og laboratorieskala gir forskjellige resultater. Resultater av laboratorieskala-forsøk kan som ventet ikke legges til grunn for dimensjonering av full skala anlegg.
2. At omrøring ikke bedrer fortykkingen av kjemisk slam ved de konsentrasjoner man normalt har ved renseanlegg for kommunalt avløpsvann.
3. At dekantatet — som normalt skal tilbake til renseanleggets innløp — ved normal drift av fortykker, ikke er mer forurenset enn det opprinnelige kloakkvann. Resultatene er fra en diskontinuerlig drevet fortykker og antageligvis ikke direkte overførbare til kontinuerlig fortykking.
4. At de ulike slamtypenes synkehastighet og oppnådd tørrstoffinnhold ved fortykking har rangorden med kalk som best og deretter jern + kalk, jern og aluminiumslam. Etter ett døgn var oppnådd tørrstoffinnhold:

Slamtype	% konsentrasjon etter 24 t.	Hyppigst forekommende
		% kons. etter 24 t.
Kalk	6,0—15,0	8,0
Jern + kalk	2,0— 5,0	3,5
Jern	1,2— 4,0	2,5
Aluminium	0,5— 2,0	1,0

vært fra 6 t.—2 døgn. Kalkslammet filtrerer ca. 10 ganger så bra som aluminiumslammet.

Videre arbeid.

Det er påvist stor forskjell mellom fortykkingsegenskapene til de forskjellige kjemiske slamtyper. Det vil bli gjort ytterligere forsøk med Fe^{3+} /kalk- og Fe^{2+} /kalk-slam. Senere vil de forskjellige kjemiske slamtypene i blanding med biologisk og mekanisk slam bli undersøkt. Dette er aktuelle blandingstyper i anlegg med flere rensetrinn. Spørsmålet om de ulike slamtyper skal fortykkes separat eller blandes før fortykning, er ikke tidligere studert, enda det har stor betydning for den praktiske utformingen og for driften av renseanlegg. Hoveddelene av det eksperimentelle arbeidet regnes å være avsluttet innen 1.7.1974, og resultatet vil da bli rapportert.

5. At kalk- og aluminiumslammets karakter forandrer seg mye fra dag til dag, men at det allikevel skal være mulig å få en partikkel-flux/konsentrasjonskurve som gir grunnlag for å finne dimensjonerende areal for fullskala fortykker.
6. At kalk- og aluminiumslammets avvanningsegenskaper målt ved CST — blir lite forandret ved fortykking der fortykkingsstiden har

AEROB STABILISERING

Ved Arild Schanke Eikum, siv.ing. Ph. D.

Innledning.

Generelt kan man si at ved alle kloakkrenseanlegg hvor det produseres et biologisk nedbrytbart slam, kan dette slammet stabiliseres ved aerob slamstabilisering. Dette vil igjen si mekanisk slam, biologisk slam, kjemisk slam fra forfelling, simultanfelling og etterfelling med jern- og aluminiumsalter, og en del

industrielle slamtyper. Aerob stabilisering har i de senere år som oftest blitt anvendt ved små (mindre enn 2 000 pe.) og middelstore (2 000—5 000 pe.) kloakkrenseanlegg. Dette skyldes blant annet at prosessen har relativt lave byggekostnader, og at drift og vedlikehold er enkelt.

Formål.

Formålet med prosjektet var i korthet følgende:

1. Undersøke om aerob slamstabilisering er en hensiktsmessig be-

handlingsprosess for slam fra et mekanisk-kjemisk kloakkrenseanlegg.

2. Klarlegge innvirkningen av oppholdstiden og temperaturen på reduksjon av totalt suspendert stoff, flyktig suspendert stoff og kjemisk oksygenforbruk.
3. Undersøke hvordan prosessens oppholdstid og temperatur eventuelt endrer slammets sedimenterings-, filtrerings- og dreneringssegenskaper.
4. Finne ut om lagring av det stabiliserte slamm forandrer slammets avvanningsegenskaper.
5. Studere utløsning av fosfor fra slamm til slamvannet under lagring.
6. Komme fram til dimensjoneringsgrunnlag for aerobe stabiliseringsenheter.

Resultater.

Følgende liste gir kun en oppsummering av en del av hovedresultatene som ble oppnådd ved dette prosjektet:

1. Aerob stabilisering av slam fra et mekanisk-kjemisk kloakkrenseanlegg med aluminiumsulfat som fellingsmiddel vil ikke bli inhibert av det høye aluminiuminnholdet i slamm.
2. Reduksjon av kjemisk oksygenforbruk følger samme forløp som reduksjon av flyktig suspendert stoff.
3. Ved lave oppholdstider (< 10 dager) øker pH under stabiliseringsprosessen for deretter å synke gradvis ved ytterligere stabilise-

ring (> 10 dagers oppholdstid). Ekstremt høye eller lave pH-verdier ble aldri påvist som bremsende på den biologiske prosessen.

4. Nitrogeninnholdet i slamm blir redusert ved aerob stabilisering. Dette skyldes nitrifikasjon med påfølgende denitrifikasjon.
5. Økende temperatur har en gunstig innvirkning på det stabiliserte slams sedimenteringsegenskaper.
6. Stabiliseringstider mindre enn 5—10 dager ved lav temperatur (mindre enn $12\text{ }^{\circ}\text{C}$) gir slamm dårligere sedimenteringsegenskaper enn ubehandlet slam.
7. Totalt vannvolum drenert fra et stabilisert slam vil øke med økende oppholdstid i stabiliseringsenheten. Fra 85 % til 90 % av vannvolumet i et stabilisert slam kan fjernes ved ren drenasje.
8. Fosforinnholdet i slamvannet ved aerob stabilisering er mindre i blandet mekanisk-kjemisk slam enn i mekanisk slam alene.
9. Lagring av stabilisert mekanisk-kjemisk slam vil ikke forårsake utløsning av fosfor til slamvannet.

Den praktiske nytten av prosjektets resultater kan oppsummeres på følgende måte:

1. Reduksjonshastighet av totalt tørrstoff, flyktig suspendert stoff og kjemisk oksygenforbruk ved forskjellige driftstemperaturer må bestemmes for at den praktiserende ingeniør skal kunne velge nødvendig oppholdstid i stabiliseringsenheten. Tabell 1 viser hvilke resultater som ble oppnådd.

Tabell 1.

Nødvendige oppholdstider og stabiliseringstankvolum ved aerob stabilisering.

Temperatur	Oppholdstid (dager) ¹⁾				Sp.stab.tankvolum (l/p.d.				Antatt ²⁾ slammgd.
	7°C	12°C	18°C	25°C	7°C	12°C	18°C	25°C	l/p.d.
Mekanisk	40	30	18	10	48—120	36—90	22—36	12—30	1,2—3,9
Mekanisk + kjemisk (A1)	40	30	18	10	160—360	120—270	72—162	40—90	4,0—9,0

¹⁾ Nødvendig oppholdssted for å oppnå 35—40 % reduksjon av flyktig susp.stoff.

²⁾ Slamvolum uten fortykking.

2. Ved mekanisk-kjemiske kloakkrenseanlegg hvor aluminiumsulfat anvendes som fellingsmiddel, bør slammet fra den mekaniske og den kjemiske delen, behandles sammen og ikke i separate slambehandlingsanlegg.
3. Behandlingsprosessens innvirkning på sedimenterings-, filterings- og drenasjeegenskaper, samt slammets kompressibilitet er viktig ved valg av avvanningsutstyr etter stabiliseringsprosessen.
4. Å hindre utløsning av fosfor til slamvannet under lagring er viktig for å unngå resirkulasjon av fosfor i kloakkrenseanlegget.

Videre arbeid.

Arbeidet har hittil vært konsentrert om mekanisk og blandet mekanisk-kjemisk slam fra et sekun-

dærfellingsanlegg som anvender aluminiumsulfat som fellingsmiddel. Siden aerob slamstabilisering antageligvis vil bli en mye anvendt stabiliseringsprosess i Norge, er det et behov for å se på andre slamtyper enn de som allerede er undersøkt. Det vil i første rekke bli septiktankslam og blandet mekanisk og kjemisk slam fra sekundærfellingsanlegg hvor jern og jern + kalk anvendes som fellingsmiddel. Undersøkelsene av disse slamtypene vil ikke omfatte så mange sider ved aerob stabilisering som det tidligere arbeid. Det vil bli lagt vekt på de parametre som har direkte praktisk nytte.

Det vil også bli gjort en vurdering av luftetyper, utforming og drift av eksisterende slamstabiliseringsenheter for å skaffe til veie praktiske erfaringer.

STABILISERING AV SLAM MED KALK

Ved siv.ing. Bjarne Paulsrud.

Innledning.

Ved en rekke kloakkrensaneanlegg vil det bli nødvendig med en eller annen form for stabilisering av slammet slik at det ikke forårsaker ulemper (spesielt lukt) ved lagring innenfor anlegget eller ved den endelige deponering/anvendelse. Det kan da bli aktuelt med enten aerob, anaerob eller kjemisk stabilisering.

De kjemikalier som har vært brukt i noen utstrekning ved kjemisk stabilisering, er klor og kalk. Ved bruk av klor oksyderes det organiske materialet i slammet, og man får en *permanent stabilisering* på samme måte som ved aerob og anaerob stabilisering, idet innholdet av lett nedbrytbart organisk materiale overføres til stabile sluttprodukter.

Ved tilsetning av kalk får man ingen reduksjon av organisk stoff i slammet. Hensikten er snarere tvert imot å hindre at slammet skal gå i forråtnelse ved at nedbrytningsprosessen inhiberes for et visst tidsrom. Det er også snakk om en *midlertidig stabilisering*, og varigheten er i første rekke avhengig av kalkmengden som tilsettes de ulike slamtyper.

Formål.

1. Bestemme de kalkmengder som behøves til ulike slamtyper for å hindre at de går i forråtnelse innenfor et visst tidsrom.
2. Undersøke fortykkings- og avvanningsegenskapene til forskjellige typer slam som er stabilisert med kalk.

3. Undersøke den hygieniske virkningen av kalkstabilisering i den grad metoder og utstyr gjør dette praktisk mulig.
4. Vurdere problemer forbundet med resirkulering av slamvann med høyt pH innenfor forskjellige typer rensaneanlegg.

Resultater.

Ved undersøkelser i laboratoriemålestokk med slag i uavvannet tilstand er det fremkommet data som klarlegger en del forhold ved stabilisering med kalk. Sammen med tilgjengelig litteratur om emnet har dette materialet gitt grunnlag for følgende foreløpige konklusjoner:

1. De kalkmengder som skal til for å oppnå en høy initial-pH i ulike slamtyper, er ofte ikke tilstrekkelige for å opprettholde høye pH-verdier over et visst tidsrom ved lagring av slamtypene i uavvannet form.
2. Kalken bør av praktiske grunner tilsettes slammet i form av slurry (kalkmelk). Konsentrasjonen kan være 5—25 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$, avhengig av doseringsutstyret.
3. Økende lagringstemperatur medfører raskere pH-senkning.
4. Ut fra kurver som angir pH som funksjon av lagringstid og kalkdosering, kan man finne de doseringsområder som bør brukes for ulike slamtyper for å holde pH i slammet over en ønsket verdi i en viss tid. Som et eksempel er det nedenfor satt opp de nødvendige kalkdoseringer for å holde $\text{pH} > 11$ i ca. 14 dager ved 20 °C.

Mekanisk slam	100 — 150
Septiktankslam	100 — 300
Biologisk slam	300 — 500
Al-slam fra sekundærfelling (direktfelling)	400 — 600
Al-slam fra sekundærfelling + Mek.slam (SS _{Al} : SS _{Mek.} = 1 : 1)	250 — 400
Fe-slam fra sekundærfelling	350 — 600

SS = suspendert stoff i slammet.

- Det blandete mekanisk/kjemiske slammet fra sekundærfellingsanlegg (direktefellingsanlegg) med kalk som fellingsmiddel vil ikke trenge noen kalktilsetning for å holde pH > 11 ved lengre tids lagring.
- For mekanisk slam ser det ut til at fortykning har liten eller ingen innvirkning på den kalkmengden som behøves for å holde en høy pH ved lagring.
- Forsøkene med bruk av Sontheimer's teori (1) om et slams kalkbindingskapasitet gav negative resultater, da det overhodet ikke var mulig å bestemme noen slik parameter.
- De foreløpige forsøk på å klarlegge mekanismene ved pH-senkningen i slam har ikke gitt noen entydige resultater. Fenomenet kan ha både biologiske og fysisk-kjemiske årsaker.

Videre arbeid.

For å kunne vurdere brukbarheten av stabilisering med kalk er det nød-

vendig å se denne enhetsprosessen i sammenheng med de andre enhetene innen et renseanlegg. Videre forsøk vil derfor bli konsentrert om hvilke effekter kalktilsetningen har på ulike slamtypers fortykkings- og avvanningsegenskaper samt på slamvannets muligheter for resirkulering i ulike typer renseanlegg.

Det vil også være ønskelig å få vurdert de hygieniske aspekter ved denne form for stabilisering da dette utvilsomt er av stor betydning ved spørsmål om deponering/anvendelse av kalkstabilisert slam.

Det bør følges opp med en del undersøkelser i fullskala anlegg for å verifisere de data som kommer frem ved forsøkene i laboratorie- og halvt teknisk målestokk.

- (1) *Sontheimer, H.* (1967) «Effects of sludge conditioning with lime on dewatering», *Advances in Water Pollution Research, Proceedings of 3rd International Conference, München.* Pergamon Press, Vol. 2, 165—194.

AVVANNING AV SLAM VED SMÅ RENSEANLEGG

Ved siv.ing. Bjarne Paulsrud.

Innledning.

En stor del av de kloakkrenseanlegg som vil bli bygd her i landet, blir små anlegg, dvs. med mindre enn ca. 2 000 pe. tilknyttet. For å ta hånd om slammet fra disse anlegg vil det

være aktuelt med enkle og rimelige avvanningsmetoder. Dette vil spesielt være tilfellet der hvor borttransport eller deponering/anvendelse av uavvannet slam ikke er holdbart fra økonomisk eller forurensningsmessig synspunkt.

Formål.

1. Fremskaffe dimensjoneringsdata for tørkesenger i Norge, spesielt

Tabell 1. AREALBEHOV VED NATURLIG AVVANNING

Renseprosess	Slammengder etter fortykking + aerob stab.		Nødvendig avvanningsareal (m ² /p)		
	gTS/p.d.	l/p.d.	Tørkesenger u/overbygg	Tørkesenger m/overbygg	Drenasje-arrangement innendørs
			Frosne i vinterhalvåret. Dim. avvanningstid 6 mnd. Maks. slamdybde 50 cm.	Drift hele året. Dim. avvanningstid 2 mnd. Maks. slamdybde 25 cm.	Ren drenasje m/kond.-midler. Dim. drenetid 1 døgn Maks. slamdybde 10 cm.
Mekanisk	40	0,8—1,5	0,29—0,54	0,19—0,36	0,008—0,015
Biologisk (lavbelastet)	40 ¹⁾	1,1—1,6	0,40—0,58	0,26—0,38	0,011—0,016
Mek. + Biol. (normalt belastet)	65	1,6—3,2	0,58—1,15	0,38—0,77	0,016—0,032
Mek. + Kjemisk (A1)	80	2,0—4,0	0,72—1,44	0,48—0,96	0,020—0,040
Biol./Kjem. (lavbel. simultanfelling)	60 ¹⁾	2,0—3,0	0,72—1,08	0,48—0,72	0,020—0,030
Me. + Biol. + Kjem. (A1)	90	2,2—4,5	0,80—1,62	0,53—1,08	0,022—0,045

¹⁾ Ikke separat aerob stabilisering.

Nødvendig avvanningsareal (m²/p) =

$$\frac{\text{Dim.avvanningstid (d)} \times \text{Slamvolum (m}^3\text{/p.d)}}{\text{Slamdybde (m)}}$$

for slam fra anlegg med kjemisk felling.

2. Vurdere andre enkle avvanningsutrustninger som praktisk og økonomisk kan være brukbare for små renseanlegg.

Resultater.

På bakgrunn av litteraturstudier og vurderinger er det utarbeidet forslag til dimensjonering av tørkesenger (se tabell 1 neste side).

Det er utført innledende forsøk med et innendørs drenasjearrangement basert på engangs filterduk over en bærende, finmasket metallduk. Arealbehov ved denne type avvanningsutstyr er også angitt i tabell 1. Det må imidlertid presiseres at tørrstoffinnholdet i slamkaken blir lavere enn ved tørkesenger og mekanisk avvanningsutstyr (ca. 10—15 % TS synes oppnåelig).

Videre arbeid.

Det anses lite formålstjenlig å gjøre ytterligere forsøk med tørkesenger, da realistiske forsøk er helt avhengig av de klimatiske forhold, og disse varierer så mye her i landet at man ut fra forsøkene på ett sted (Kjeller) neppe kan trekke opp sikrere generelle dimensjoneringsregler enn de som er gitt i tabell 1.

Det videre arbeid med dette prosjektet blir å se nærmere på andre enkle avvanningsmetoder enn tørkesenger, f.eks. en videreutvikling av det drenasjearrangement som man har gjort innledende forsøk med. Dette har stor praktisk interesse, da det utvilsomt er en mangel på avvanningstilbud for anlegg i området ca. 500—2 000 pe., dvs. i det området hvor hverken konvensjonelle tørkesenger eller mekanisk avvanningsutstyr (sentrifuger, silbandpresser osv.) er spesielt økonomisk gunstige.