

**Aerob slamstabilisering**  
**Driftserfaringer**  
**Slamstabilitet**

*Sivilingeniør Bjørn-Erik Haugan*  
Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg



HPD-07/76  
Blindern, februar 1981

## Forord

Omtrent 25% av rensesanleggene i Norge drives med aerob slamstabilisering. Til tross for dette foreligger det få eller ingen dokumenterte drifts-erfaringer fra denne slambehandlingsprosess. Som regel drives stabiliseringen tilfeldig og uten klare målsettinger. Det finnes heller ingen utprøvet god metode for måling av slammets stabilitet slik at det er vanskelig for driftsoperatørene å vite når slammets stabilitet er stabilt.

NTNFs Utvalg for drift av rensesanlegg satte derfor igang et prosjekt som skulle undersøke praktiske erfaringer med slamstabilisering ved noen rensesanlegg. Det skulle også foretas en mer grundig driftsoppfølging av et par rensesanlegg for å bestemme materialbalansen gjennom stabiliserings-trinnet og forsøke å koble forskjellige analyser og prøver av slammets stabilitet.

Prosjektet inngår også i det europeiske samarbeidsprosjektet om slam, COST 68, hvor Norges oppgave blant annet er å bidra til utvikling og utprøving av en standard metode for måling av slamstabilitet ved aerob slamstabilisering. Prosjektet er utført av Bjørn-Erik Haugan, Norsk institutt for vannforskning.

Ole Jakob Johansen (sign.)  
NTNFs Utvalg for drift av rensesanlegg

Blindern, februar 1981

# Innholdsfortegnelse

|   |    |
|---|----|
| FORORD  | 1  |
| FIGUR- OG TABELLFORTEGNELSE   | 2  |
| 1. INNLEDNING   | 4  |
| 1.1 Målsetting  | 4  |
| 1.2 Oppsummering og konklusjoner  | 5  |
| 2. AEROB STABILISERING - EN ORIENTERING                                   | 7  |
| 2.1 Dimensjonering  | 7  |
| 2.2 Virkninger på slammet   | 8  |
| 2.3 Måling av stabilitet  | 9  |
| 3. DRIFTSOPPFØLGING   | 11 |
| 3.1 Bjørnmyrdalen renseanlegg   | 11 |
| 3.1.1 Anleggsbeskrivelse  | 11 |
| 3.1.2 Stabiliseringsenheter   | 12 |
| 3.1.3 Resultater  | 13 |
| 3.2 Hestvold renseanlegg  | 22 |
| 3.2.1 Anleggsbeskrivelse  | 22 |
| 3.2.2 Stabiliseringsenheter   | 23 |
| 3.2.3 Resultater  | 24 |
| 4. DRIFTSUNDERSØKELSE AV RENSEANLEGG MED AEROB<br>SLAMSTABILISERING       | 31 |
| 4.1 De enkelte anleggene  | 31 |
| 4.2 Oppsummering av inntrykk fra åtte anlegg                              | 34 |
| 4.2.1 Anleggenes utforming  | 34 |
| 4.2.2 Driftsmåter   | 35 |
| 4.2.3 Driftsresultater  | 36 |
| 4.2.4 Driftsproblemer   | 36 |
| 5. RUNDSPØRRING OM AEROB SLAMSTABILISERING HOS NORSKE<br>KONSULENTFIRMAER | 37 |
| 6. REFERANSER   | 38 |
| VEDLEGG 1   |    |
| Beregning av stabilitet ved mekanisk/kjemiske renseanlegg                 | 39 |

# Figur og tabellfortegnelse

Side:

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Figur nr. 1.  | Prinsippskisse av ett- og totrinns aerob stabilisering. (Etter PRA 10(1))   | 10 |
| Figur nr. 2.  | Flyteskjema over Bjørnmyrdalen renseanlegg  | 12 |
| Figur nr. 3.  | Vannføring og slamproduksjon ved Bjørnmyrdalen renseanlegg  | 15 |
| Figur nr. 4.  | Belastning av suspendert stoff og BOF <sub>7</sub> , kjemikalieforbruk og tørrstoffproduksjon ved Bjørnmyrdalen renseanlegg | 15 |
| Figur nr. 5.  | Volum slam i STAB 1 og STAB 2 i Bjørnmyrdalen renseanlegg   | 16 |
| Figur nr. 6.  | Tørrstoffkonsentrasjon i stabiliseringsenhetene ved Bjørnmyrdalen renseanlegg   | 16 |
| Figur nr. 7.  | Glødetap i % av tørrstoffkonsentrasjonen  | 18 |
| Figur nr. 8.  | Oksygenkonsentrasjoner i stabiliseringsbasseng 1  | 19 |
| Figur nr. 9.  | Oksygenkonsentrasjoner i stabiliseringsbasseng 2  | 19 |
| Figur nr. 10. | Slammets stabilitet (S) ved Bjørnmyrdalen renseanlegg   | 21 |
| Figur nr. 11. | Materialstrømmer i Bjørnmyrdalen renseanlegg. Alle verdier er basert på gjennomsnitt over oppfølgingsperioden               | 21 |
| Figur nr. 12. | Flyteskjema over Hestvold renseanlegg   | 23 |
| Figur nr. 13. | Volum slam i STAB 1 ved Hestvold renseanlegg  | 25 |
| Figur nr. 14. | Volum slam i STAB 2 ved Hestvold renseanlegg  | 25 |
| Figur nr. 15. | Tørrstoffinnhold i stabiliseringsenheten  | 27 |
| Figur nr. 16. | Glødetap i % av tørrstoffinnhold  | 27 |
| Figur nr. 17. | Oksygeninnhold i stabiliseringsbassengene ved Hestvold renseanlegg  | 29 |
| Figur nr. 18. | Materialstrømmer i Hestvold renseanlegg. Alle verdier er basert på gjennomsnitt gjennom oppfølgingsperioden                 | 30 |
| Figur nr. 19. | Oksygenopptak i slamprøve ved 44 dagers opphold i luftet miljø  | 41 |

## TABELLFORTEGNELSE

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Tabell nr. 1. | Renseanlegg med aerob slamstabilisering                         | 32 |
| Tabell nr. 2. | Noen observasjoner ved åtte renseanlegg med aerob stabilisering | 32 |

# 1. Innledning

Det er i alt ca. 75 renseanlegg i Norge som drives med aerob slamstabilisering. Hovedhensikten med stabiliseringen er å redusere de luktulemper som er forbundet med slambehandlingen og disponeringen av slammet. Det er imidlertid vanskelig å vite hvor lenge slamstabiliseringen må pågå før slammet er stabilt. Det finnes heller ingen utprøvet og god målemetode som kan benyttes for å avgjøre om slammet er stabilt eller hvor ustabilisert slammet er. I brukerrapport PRA 10 "Stabilisering av kommunalt slam" er det angitt en metode for måling av slammets stabilitet, men metoden er ikke utprøvet i praksis. Det foreligger også få dokumenterte driftserfaringer med aerob slamstabilisering.

## 1.1 Målsetting

Målsettingen med dette prosjektet er å utprøve målemetoden for slamstabilitet, som er beskrevet i PRA 10, ved et par renseanlegg, samt å avklare de praktiske erfaringer og resultater med aerob slamstabilisering ved noen norske renseanlegg. Dette ble foretatt ved en undersøkelse delt i to:

1. Driftsundersøkelse med dagsbesøk ved åtte renseanlegg.
2. Driftsoppfølging og overvåking av to anlegg i fire måneder.

I tillegg er det ved henvendelse til norske konsulentfirmaer prøvd å sondere prosessens status hos planleggerne.

Driftsundersøkelsen hadde til hensikt å gi et bilde av typiske rutiner og erfaringer forbundet med aerob stabilisering. Videre var vi interessert i hva operatørene oppfattet som målsettingen med stabiliseringen, og endelig i hvilken grad driften synes å samsvare med intensjonene. Stikkprøver ble tatt av slamstrømmene i anlegget. Noen vidtgående konklusjoner kan ikke trekkes av slike "øyeblikksbilder", men de kan gi bakgrunnsmateriale for videre studier.

Driftsoppfølgingen av to utvalgte renseanlegg i fire måneder skjedde med daglige og ukentlige målinger av parametre som kunne belyse virkninger av slamstabiliseringen. Hensikten var å koble driftsdata og driftsrutiner sammen med de endringer en kunne registrere i slamkvaliteten, - "stabiliseringen". Bare oppfølging over lengre tid kan gi nødvendig datamateriale til å si noe om effektiviteten i stabiliseringsprosessen. Vi var også interessert i praktisk driftserfaring med parametre som kunne angi graden av stabilitet. Endelig ville vi prøve å sette opp en materialbalanse gjennom stabiliseringstrinnet.

## 1.2 Oppsummering og konklusjoner

I en driftsundersøkelse av åtte renseanlegg og en fire måneders driftsoppfølging av to andre, er det innhentet praktiske erfaringer med aerob slamstabilisering.

I anlegg med mindre stabiliseringsbasseng enn ca.  $100 \text{ m}^3$  pr. 1 000 pe tilknyttet, ble det funnet lavt oksygeninnhold og septisk slam. Luftinnblåsingen i bassengene tjener til å hindre sedimentering samt tilføre det nødvendige oksygenet. I anlegg med lavere lufttilførsel sedimenterte slam på bunnen av bassengene. Dette fører til at slammene går i forråtnelse på grunn av manglende lufttilførsel. Det septiske slam fører også til for lave oksygenkonsentrasjoner i de øvre lag av vannmassene i bassengene.

Alle undersøkte anlegg hadde blåsemaskiner som betjente andre bassenger utenom slamstabiliseringen (sandfang, luftetank etc.). Med varierende vannstand i stabiliseringsbassengene er dette systemet uegnet til å gi god kontroll med lufttilførselen. Lufttilførselen ved anleggene blir bare unntaksvis kontrollert med måling av oksygenkonsentrasjonen i bassengene. I de anlegg der en registrerte tilfredsstillende oksygenkonsentrasjoner ( $>2 \text{ mg O}_2/\text{l}$  slam) fant en også stabilt slam. Anleggene ga gjennomgående tilstrekkelig lang oppholdstid for slammene. Dersom lufternes utforming og kapasitet blir begrensende, fratras en i realiteten operatøren muligheten til å produsere et stabilt slam, selv om bassengvolumene og oppholdstiden er tilstrekkelig.

Praktisk talt alle anlegg hadde rutinemessig dekantering i stabiliseringsbassengene.

Ved enkelte anlegg tømte en regelmessig bassengene fullstendig. Dette fører til at den aktive biomassen som forestår stabiliseringen igjen må bygges opp fra bunnen av ved innpumping av råslam.

Driftsoperatørene var i liten grad blitt underrettet om hensikt og kvalitetsmål for stabiliseringen. Prosessen blir drevet med henblikk på å unngå lukt i anlegget samt redusere transportkostnadene.

Det synes i praksis ikke å være noen kopling mellom slamkvaliteten (uttrykt ved et mål for stabiliteten) og den disponeringen man gir adgang til. En har dermed intet krav vedrørende stabiliteten som slammet må oppfylle utover at det stammer fra et stabiliseringsanlegg. Så lenge en savner kvalitetskriterier, må driften av stabiliseringsenhetene bli tilfeldig og lavt prioritert.

I undersøkelsen har en registrert oksygenopptak og reduksjon av organisk stoff (glødetap) som mål for slammets stabilitet. Bruk av oksygenopptak som mål for slammets stabilitet kan gjennomføres, men krever en standardisering av målemetodikk for å få reproducerbare resultater.

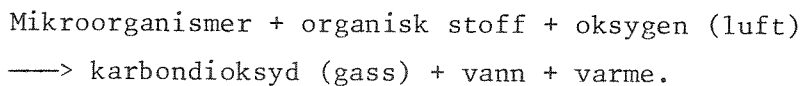
Glødetapet i slammet reduseres ved stabilisering. Reduksjonens størrelse er imidlertid avhengig av hvor mye organisk stoff som er lett nedbrytbart. Denne andelen kan variere over tid og gjør det vanskelig å sette kvalitetskrav på basis av glødetapsreduksjonen. En kan i dag vanskelig motivere for bruk av oksygenopptak eller noen annen stabilitetsindikator, så lenge dette ikke blir krevet i disponeringstillatelsen for slammet. Dersom en kan utvikle standardisert utstyr og metodikk for måling av oksygenopptak som anvist i vedlegg 1, kan denne parameteren brukes som et kvalitetsmål for stabilt slam.

I mellomtiden bør aerobe stabiliseringsbasseng i alle fall drives med overvåking av tilstrekkelig omrøring av slammet i bassengene og at oksygenkonsentrasjonen skal være større enn  $2 \text{ mg O}_2/\text{l}$ . Kombinert med de oppholdstider en har funnet vanlige i denne undersøkelsen, gir dette relativt god sikkerhet for å produsere et stabilt slam.

## 2. Aerob stabilisering — en orientering

Stabilisering av slam er å oppfatte som "inaktivering", dvs. en reduserer eller stanser omfanget av anaerob biologisk aktivitet eller råtning. Det primære siktemålet er å gjøre slammene mer attraktivt, først og fremst gjennom reduksjon av lukten eller endring av luktens karakter. Lukten fremstår ved nedbrytning av biologisk materiale under utilstrekkelig oksygen (luft-) tilførsel. Ved aerob stabilisering skjer biologisk nedbrytning under tilførsel av tilstrekkelig mengde luft. Nedbrytningen går så langt at om slammene senere lagres uten lufttilførsel, er det blitt fattig på nedbrytbart materiale. Det kan dermed ikke utvikle sjenerende lukt fordi "drivstoffet" i råtningen er oppbrukt.

Kvalitativt kan nedbrytningen fremstilles i en likning:



Forutsetningene for prosessen er at man tilfører nok luft over tilstrekkelig lang tid. Mikroorganismer og organisk stoff finnes i slammene, og nedbrytningen skjer om forholdene legges til rette for oksygentilførsel.

Ved stabiliseringen skjer oftest en viss reduksjon av antall sykdomsfremkallende mikroorganismer. Dette er imidlertid ikke det primære siktemålet med aerob stabilisering.

### 2.1 Dimensjonering

Dimensjonering av aerobe stabiliseringsanlegg må sikre at slammene oppholder seg tilstrekkelig lenge under lufting, og at lufttilførselen er stor nok.

Nødvendig oppholdstid avhenger av slammets karakter og temperaturen. Ved vanlige driftstemperaturer i Norge ( $5^{\circ}\text{C} < T < 15^{\circ}\text{C}$ ) vil normalt kravet til oppholdstid for det organiske materialet (tørrstoffet) være 15-45 dager.



Nødvendig bassengvolum avhenger dermed av slamtypen. Ved en gitt slamproduksjon vil også tørrstoffinnhold være avgjørende. Dersom en kan øke tørrstoffinnholdet ved fortykning og dekantering, vil kravet til nødvendig bassengvolum avta. En kan imidlertid samtidig få problemer med å tilføre nok luft. Nærmere angivelser finnes i PRA 10 (1).

Slamproduksjonen fra vanlige renseprosesser ligger typisk på 3-6 l/pe · d (fortykket slam). Nødvendig oppholdstid ved temperatur 15 °C er lengre enn 25 dager. Nødvendig reaktorvolum blir ca. 100 m<sup>3</sup>/1 000 pe eller større. Forutsetningen for å oppnå stabilt slam på angitt tid er at lufttilførselen er "tilstrekkelig". Dette kontrolleres vanligvis ved å måle mengde oppløst oksygen i slammet. Dersom en ved luftingen klarer å holde konsentrasjonen høyere enn ca. 2-3 mg/l, antas ikke oksygentilførselen å virke begrensende på proseshastigheten. Det har imidlertid vist seg at luftbehovet bestemmes av omrøringen. Oppnås tilstrekkelig omrøring av slammet vil oksygenkonsentrasjonene være så høye at oksygentilførselen ikke begrenser nedbrytningen.

## 2.2 Virksomheter på slammet

Nedbrytningen av organisk materiale i slammet vil endre en rekke av dets egenskaper. Først og fremst vil mengden organisk materiale minke. Av tørrstoffet i kloakkslam er oftest 30-70 prosent glødetap, eller organiske forbindelser. Alt organisk materiale i råslam er imidlertid ikke nedbrytbart. Som regel vil bare halvparten av det organiske materialet nedbrytes i en vellykket stabilisering. Man vil få en reduksjon i glødetapet fra råslam til stabilisert slam. Reduksjonen vil avhenge av hvor mye som er nedbrytbart. Nedbrytningsprosessen i slammet vil forbruke oksygen. Et stabilt slam vil ha lav aktivitet og dermed lavt oksygenforbruk. Oksygenforbruket må sees i forhold til mengden organisk materiale i slammet. Andre egenskaper som slamvannskvalitet, avvannings-egenskaper, hygieniske egenskaper vil også forandre seg.

Ved stabilisering vil lukten bli svakere og fremfor alt endre karakter fra råtten til jordliknende. Godt stabilisert slam har meget svak og lite sjenerende lukt. Lukt kan måles, men dette er kostbart og krever komplisert utstyr.

### 2.3 Måling av stabilitet

Mange ulike parametre har vært lansert som egnede mål for slammets stabilitet. I og med at lukten er vanskelig å måle, har en prøvd å definere stabiliteten ved andre og lettere målbare størrelser. Spesielt er forbruket (opptaket) av oksygen et mål for hvor aktive mikroorganismene er. Dersom ferskt slam tilføres luft, vil levevilkårene for de aerobe mikroorganismer forbedres. Disse vil starte omsetting av organisk materiale og formere seg. Ved at de øker i antall, øker også stadig deres samlede aktivitet og dermed oksygenopptaket en kan måle. Etter en tid vil antallet aktive mikroorganismer bli så stort at det vil oppstå mangel på føde. Organisk materiale blir begrensende for videre vekst, - det oppstår "matknapphet". Formering vil stoppe opp, og aktiviteten (oksygenforbruket) vil flate ut for siden å avta når mikroorganismene begynner å dø ut på grunn av matmangel. Herved skjer "stabiliseringen". Ved å måle oksygenforbruket i det stabiliserte slammet og sette dette i forhold til oksygenforbruket som registreres når aktiviteten er maksimal, får en et mål for slammets stabilitet. En beregner stabiliteten, S, ved følgende uttrykk:

$$S = 100 A \left( 1 - \frac{OUR_{\text{målt}}}{OUR_{\text{maks}}} \right)$$

hvor

S = slamprøvens stabilitet (%)

A = en konstant

OUR = oksygenopptaket (mg O<sub>2</sub>/g FSS · time)

FSS = flyktig suspendert stoff (organisk materiale).

Nærmere anvisninger for målemetode og beregning av konstanten A er gitt i PRA 10 (1). Slammet er stabilt når S = 100%, og S vil være 0% når oksygenopptaket er maksimalt. Vedlegg 1 viser et eksempel på beregning av stabiliteten for slam fra et mekanisk/kjemisk anlegg. For kjemiske slamtyper vil S avta de første 3-5 dagene slammet luftes, for så å øke mot 100%. Dette skyldes vekst i bakteriekulturen. For biologiske slamtyper der mikroorganismene alt er tilpasset aerobe forhold, vil S øke gjennom hele stabiliserings-tiden (oksygenopptaket avtar hele tiden).

### Praktisk utforming

Aerobe stabiliseringsanlegg består av ett eller to seriekoblede bassenger (1 og 2). Overskuddslammet fra renseanlegget tilføres basseng 1, enten ved manuelt styrte regelmessige overpumper, eller ved automatiske, tidsstyrte pumper. Stabiliseringsbassengene er utstyrt med luftere som tilfører det nødvendige oksygenet (luft). Basseng 1 vil gradvis fylles opp. Rutinemessig stoppes lufterne i perioder fra noen timer opp til ett døgn. Ved henstand synker slammets tørrstoff til bunns, og en vannfase kan trekkes av (dekanteres). Etter dekantering i basseng 1 pumpes noe slam over i basseng nr. 2. Dekantering kan også forekomme i basseng nr. 2, men slammets her vil ofte være så tykt at det fortykkes dårlig.

Uttak av slam fra stabiliseringsbasseng 2 kan skje kontinuerlig ved anlegg med slamavvanning eller satsvis der en må transportere vekk uavvannet slam.

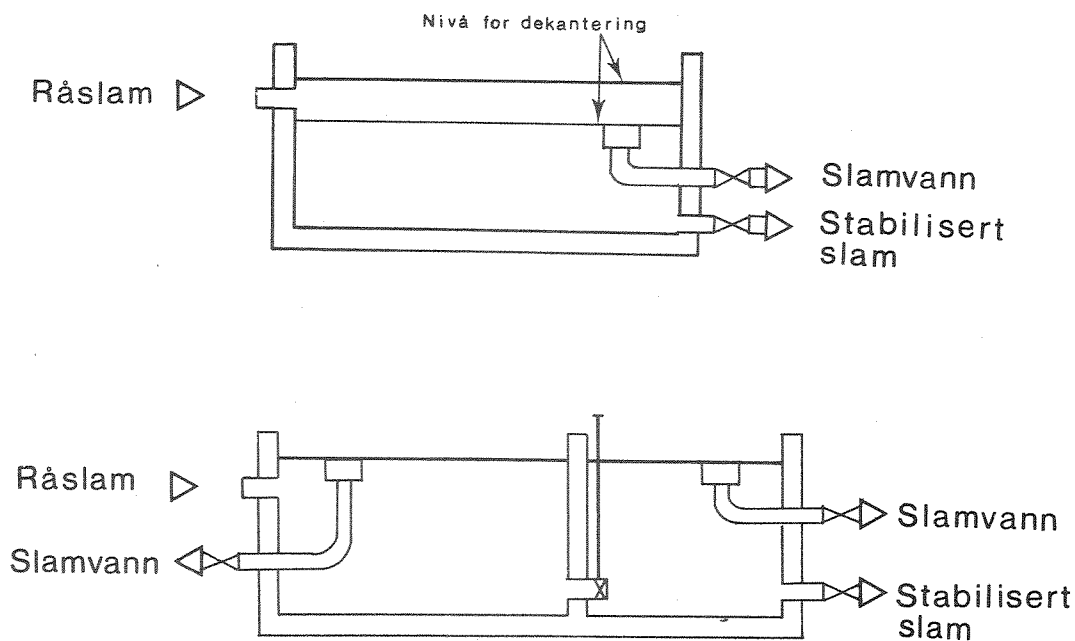


Fig. 1. Prinsippkisse av ett- og tottrinns aerob stabilisering. (Etter PRA 10(1)).

## 3. Driftsoppfølging

Driftsoppfølgingen i denne undersøkelsen foregikk over en periode på ca. fire måneder med besøk fra NIVA én gang pr. uke ved to anlegg med to-trinns aerob stabilisering. Driftsoperatørene tok daglige målinger av de viktigste parametrene. De to anleggene var Bjørnmyrdalen (simultanfelling) i Nesodden kommune og Hestvold (mek/kjem) i Råde kommune.

### 3.1 Bjørnmyrdalen renseanlegg

#### 3.1.1 Anleggsbeskrivelse

Bjørnmyrdalen renseanlegg i Nesodden kommune er et simultanfellingsanlegg med flokkuleringsbasseng etter luftebassenget, (se flyteskjema, fig. 2). Anlegget er dimensjonert for en belastning på 2 600 pe. Kommunen angir at anlegget er belastet med et sykehus (200 ansatte og 200 pasienter) samt 300 boliger (å 3 personer), - i alt vel 1 500 pe. Tilrenningsområdet inneholder ikke skoler, og en vesentlig del av områdets yrkesaktive befolkning reiser til Oslo på dagtid. Reell belastning ligger derfor lavere. Tallene for oppfølgingen tyder på en gjennomsnittlig belastning på drøyt 500 pe.

I perioder med tele (liten infiltrasjon), uke 1-8 1980, var tilrenningen gjennomsnittlig  $1\ 057\ m^3/uke$  (tilsvarer 503 pe å 300 l/d). Hydraulisk belastning varierte fra  $805\ m^3/uke$  til  $4435\ m^3/uke$  i perioden uke 44 1979 til uke 8 1980. Gjennomsnitt for hele perioden var  $1\ 725\ m^3/uke$ . Vannføringen er fremstilt i figur 3.

Aluminiumsulfat (AVR) benyttes som fellingsmiddel, med et forbruk på ca.  $85\ g/m^3$ . Doseringen blir foretatt fra silo med oppløser og tilsetting i kanalen mellom luftebassenget og flokkuleringsbassengene. Returslamføringen fra sedimenteringsbassenget går til en overløpskasse som sender en delstrøm til fortykkeren og en delstrøm til luftebassenget. Anlegget har felles blåsemaskin for luftebasseng, aerobe stabiliseringsbassenger og sandfanget. Hvert av stabiliseringsbassengene er utstyrt med fire luftere. Lufterne kan reguleres med ventiler. Blåsemaskinen har to hastigheter.

Anlegget er i perioder plaget av skum i samtlige bassenger. Dette kan skyldes nitrifikasjon i anlegget og/eller at slammet er for gammelt.

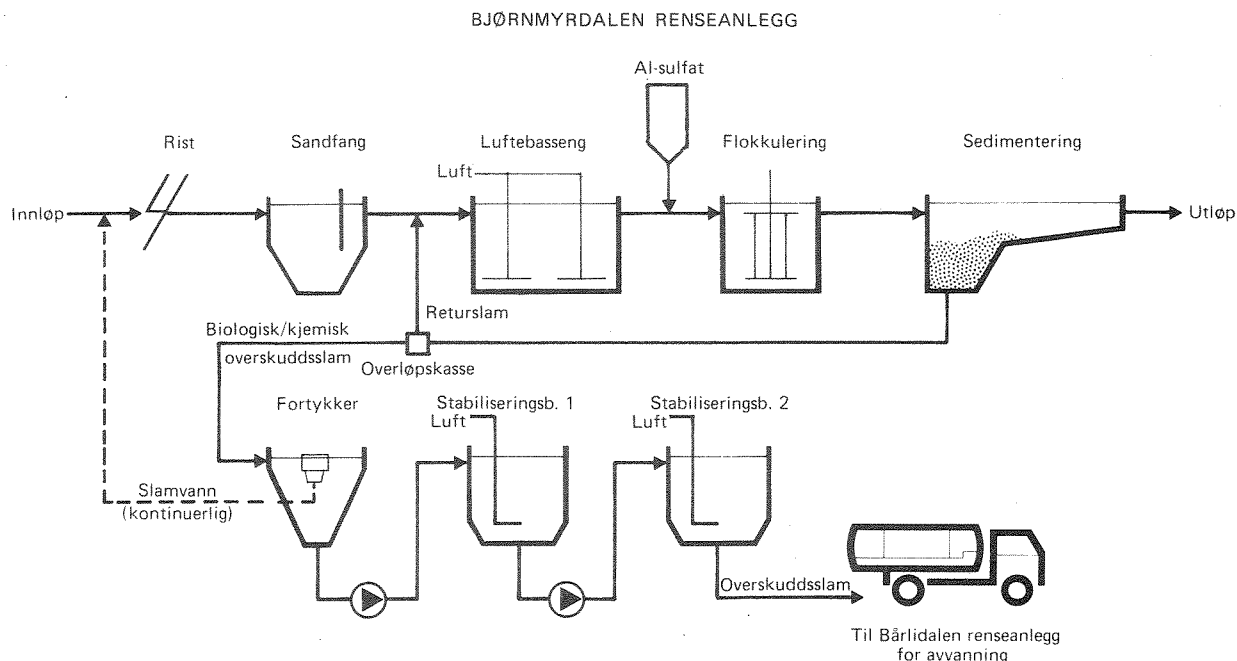


Fig. 2. Flyteskjema over Bjørnmyrdalen rensanlegg.

Anlegget blir ettersett ca. fire timer hver ukedag og bærer preg av å være veldrevet.

### 3.1.2 Stabiliseringsenheter

Bjørnmyrdalen rensanlegg er utstyrt med to stabiliseringsbassenger med volum på henholdsvis  $75 \text{ m}^3$  og  $50 \text{ m}^3$ . Overflate av bassengene måler ca.  $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ , og  $7 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ , begge med flat bunn og dybde  $4 \text{ m}$ . Lufte- og stabiliseringsbassengene er utstyrt med diffusorluftere med en samlet kapasitet på  $1\,080 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dette er omtrent som angitt i retningslinjene (2). Fortykkeren har overløp med kontinuerlig dekantering. Overpumping av slam fra fortykker til første stabiliseringsenhet foregår ved tidsstyrt pumpe én gang annenhver time. Gjennomsnittlig volum pr. overpumping er ca.  $170 \text{ l}$ . Overpumping av slam fra første til andre stabiliseringsenhet foregår ved hjelp av nedsenkbar pumpe ca. én gang pr. uke. Overpumpet volum ligger stort sett et sted mellom  $10 \text{ m}^3$  og  $20 \text{ m}^3$ . Anlegget har ikke avvanningsutstyr, så slam fra stabiliseringsenhet nr. 2 blir kjørt til Burustua rensanlegg for avanning

i sentrifuge. Dekantering av stabiliseringsenhetene ble foretatt kun noen få ganger i oppfølgingsperioden. Fortykkeren foran stabiliseringsenhetene gjør dekantering i disse unødvendig og vanskelig. Slamalderen i det biologiske trinnet er relativt høy, og slamstabiliseringen er i prinsippet allerede påbegynt når slammet pumpes til stabiliseringsbassengene.

### 3.1.3 Resultater

#### Avløpsvann og renseeffekt

Anlegget har en gjennomsnittlig renseeffekt på fosfor på 69% og organisk materiale uttrykt som  $BOF_7$  på 96%. Anlegget tilføres gjennomsnittlig ca. 265 kg  $BOF_7$  pr. uke (38 kg  $BOF_7$  pr. dag). Slambelastningen blir ca. 0,05 kg  $BOF_7$ /kg FSS · d. Dette er lavt. En har da også registrert nitrifikasjon og skumdannelse i anlegget. Ved så lav slambelastning skal normalt slamproduksjonen bli liten. Man har beregnet slamproduksjonen til 73 kg/d eller ca. 45 g/pe · d.

Ubehandlet avløpsvann inneholdt gjennomsnittlig:

7,4 mg P/l, 189,5 mg  $BOF_7$ /l, 98,6 mg SS/l, pH var gjennomsnittlig 7,7 og alkaliteten 1,97 mekv/l.

Anleggets belastning kan anslås til vel 500 pe på basis av vannføringsdata, 540 pe. på basis av  $BOF_7$  (å 70 g  $BOF_7$ /pe · d) og 455 pe. på basis av fosfortilførselen (å 2,5 g P/pe · d).

#### Vannføring og slamproduksjon

Figur 3 viser vannføringen og slamproduksjonen i oppfølgingsperioden ( $m^3$ /uke). (NB! ulik skala!) Vannføringen er målt ved utløpet mens slamproduksjonen er volum slam pumpet fra fortykker til første stabiliseringsenhet. (STAB 1.) En ser, ikke overraskende, at vannføringstopper gir økt slamtilførsel til STAB 1 med noe tidsforsinkelse. Ved høy vannføring øker kjemikalieforbruket proporsjonalt. Slammet blir tynt pga. store mengder lette hydroksydfnokker. Gjennomsnittlig slamproduksjon i oppfølgingsperioden var 15,6  $m^3$ /uke (4,5 l/pe · d hvis belastningen er 500 pe.). Man ser at slamvolumet overført til STAB 1 er ganske høyt også i perioder med lav vannføring. Av figur 6 ser en at tørrstoffinnholdet i slammet fra fortykkeren synker i denne perioden, dvs. det pumpes mye vann over i stabiliseringsenhetene.

### Suspendert stoff/kjemikalieforbruk

I figur 4 er mengde suspendert stoff inn på anlegget fremstilt sammen med kjemikalieforbruket i kg/uke. Som man kan se, følger disse kurvene samme mønster. Aluminiumsulfatet er mengdedosert ( $\text{g/m}^3$ ) og proporsjonalt med hydraulisk belastning. Totalt tørrstoff fra fortykkeren til første stabiliseringsenhet er også fremstilt i figur 4. Dersom en kjenner totalt tørrstoff i lufte- og sedimenteringsbasseng, kan en regne ut slamalderen fra innløp til første stabiliseringsenhet. Dette ble gjort ved at det ble tatt målinger av tørrstoff i - og volum av luftebassenget en dag da sedimenteringsbassenget var tømt for slam i forbindelse med rengjøring. Alt slam ble overført til luftebassenget.

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| Volum av luftebasseng             | = 166 m <sup>3</sup> |
| Tørrstoff                         | = 7,25 g/l (0,725%)  |
| Total masse                       | = 1 200 kg           |
| Tørrstoff tilført STAB 1 pr. dag= | 73 kg                |
| Slamalder $\frac{1200}{73}$       | = <u>16 døgn</u>     |

Under forutsetning av at akkumulert slam i sedimenteringsbassenget er konstant, skulle dette tilsi en tidsforskjell på ca. 16 døgn fra slammet oppstår i luftebasseng og flokkulerer til det tilføres STAB 1 (fig. 4).

### Volum i stabiliseringsenheter

Figur 5 viser volumene i stabiliseringsbassengene som funksjon av tiden. Manuelle målinger av vannstanden i bassengene ble foretatt daglig. I tillegg ble en limnograf installert i hvert basseng for å få kontinuerlig registrering. Volumet i STAB 1 stiger omtrent lineært på grunn av den tidsstyrte pumpen. Volum i STAB 2 varierer bare ved overpumping fra STAB 1 (1 gang/uke) og tømning. Ved dekantering og overpumping til STAB 2 blir STAB 1 ikke helt tømt.

### Tørrstoff i stabiliseringsenheter

Figur 6 viser tørrstoff-konsentrasjonen i stabiliseringsenheten som funksjon av tiden. Daglige målinger ble foretatt av driftsoperatøren, mens ukentlige målinger ble tatt av NIVA. Det ble også tatt daglige tørrstoffprøver av slam fra fortykkeren, men disse viser store variasjoner fra dag til dag. Det er vanskelig å få tatt gjennomsnittsprøver fra overpumping i

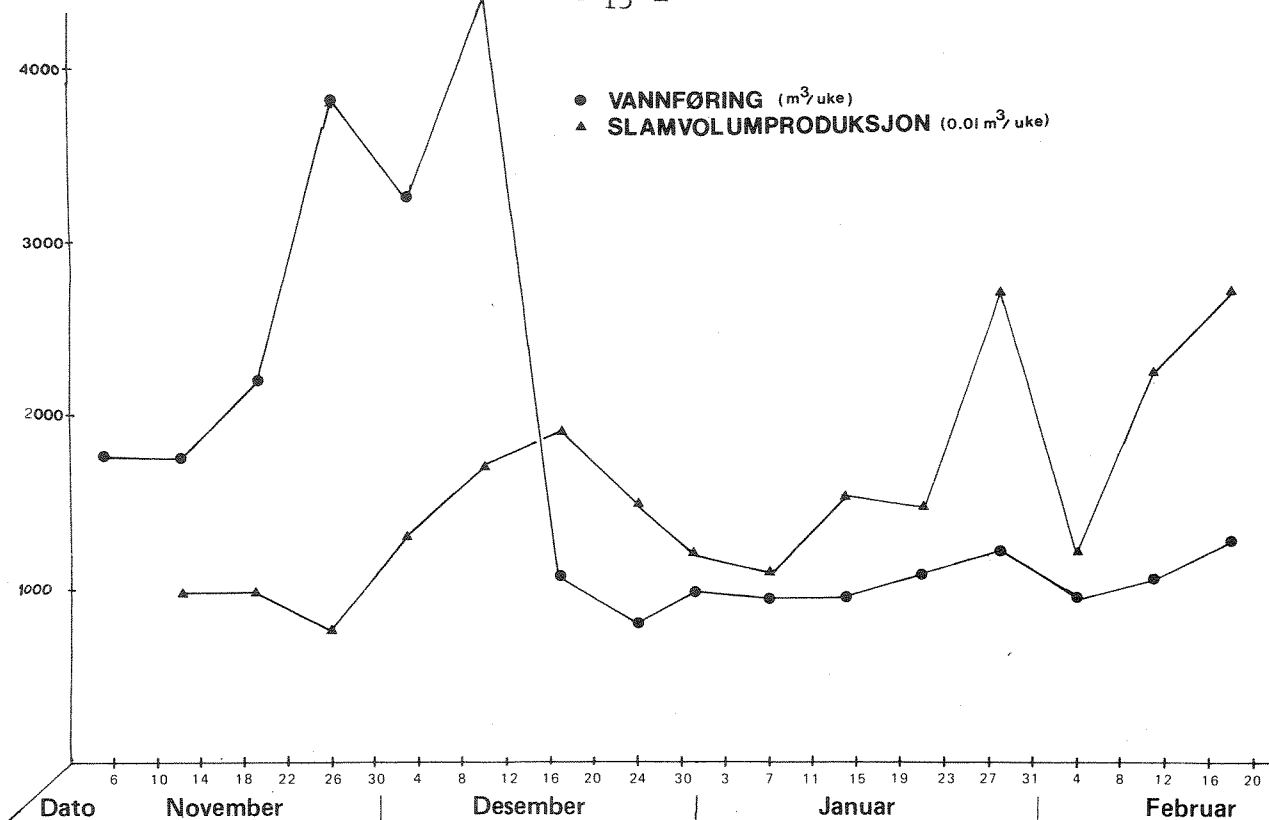


Fig. 3. Vannføring og slamproduksjon ved Bjørnmyrdalen renselanlegg.

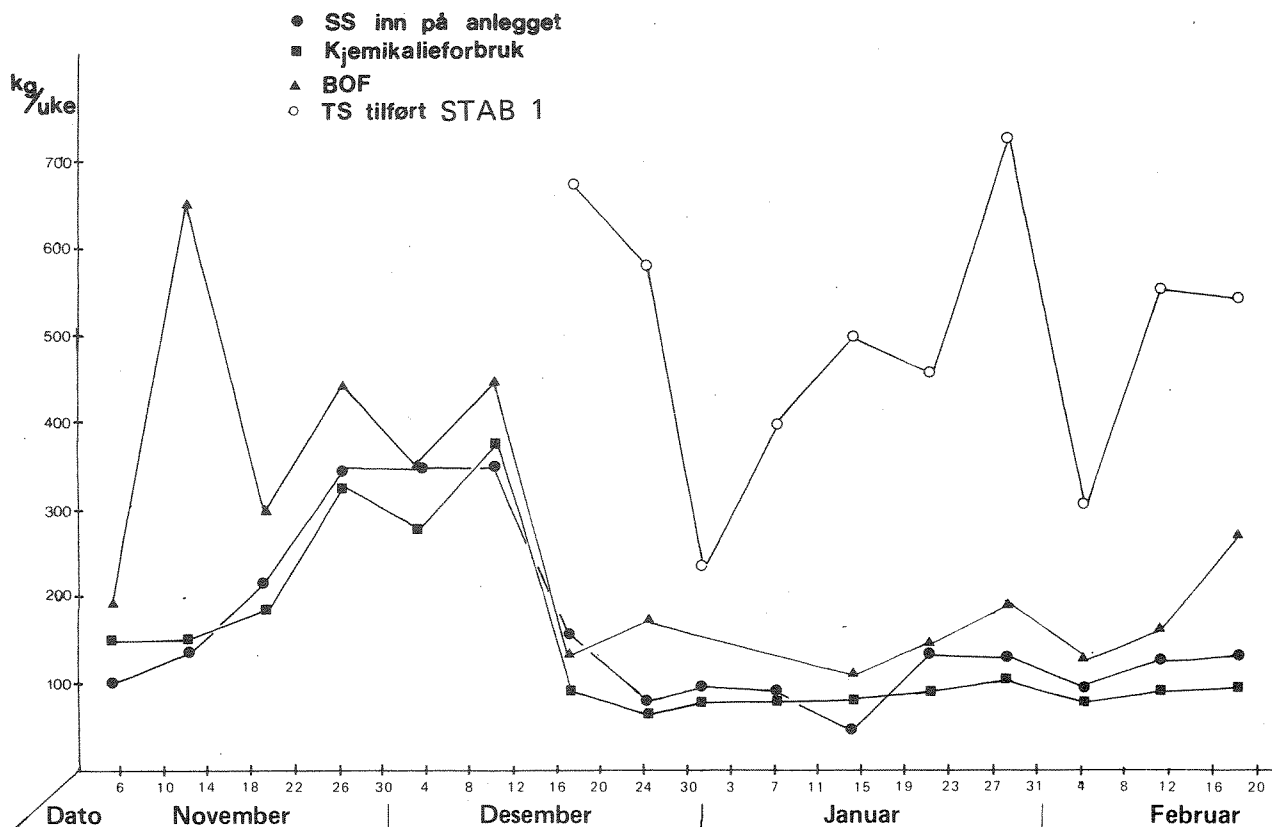


Fig. 4. Belastning av suspendert stoff og BOF<sub>7</sub>, kjemikalieforbruk og tørrstoffproduksjon ved Bjørnmyrdalen renselanlegg.



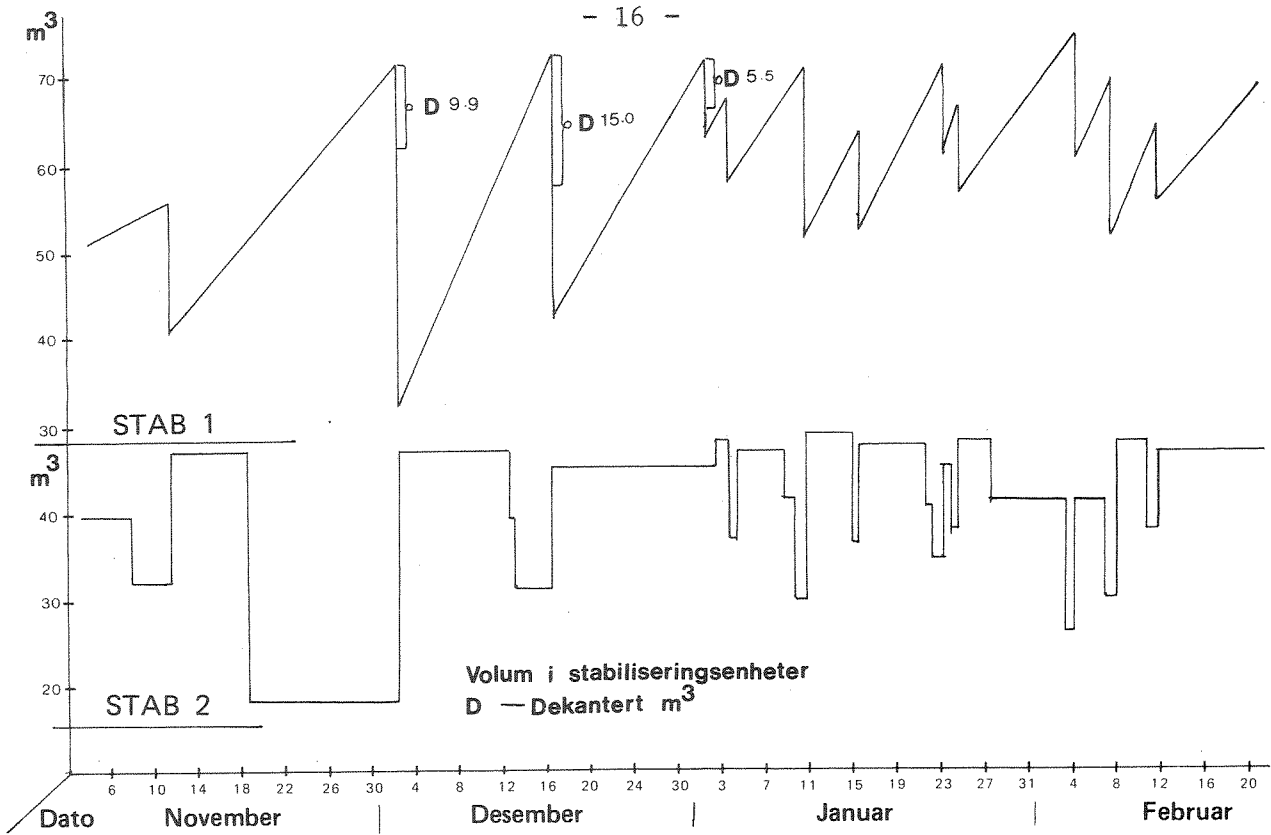


Fig. 5. Volum slam i STAB 1 og STAB 2 i Bjørnmyrdalen rensanlegg.

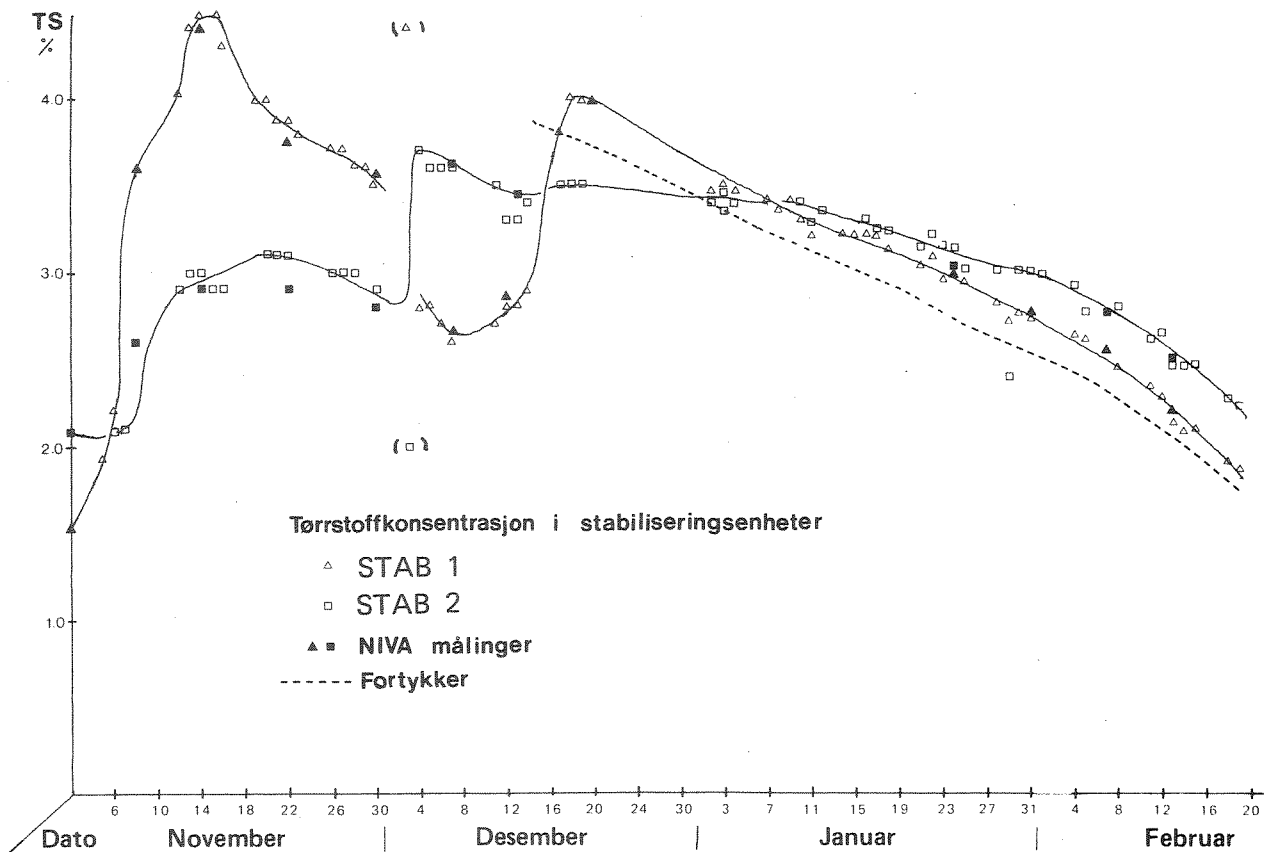


Fig. 6. Tørrestoffkonsentrasjon i stabiliseringsenhetene ved Bjørnmyrdalen rensanlegg.

og med at slammet er tykkere ved begynnelsen av en overpumping enn mot slutten. Synkende tørrstoffinnhold i slammet fra fortykkeren utover i perioden gir rimeligvis synkende tørrstoffinnhold i STAB 1 og deretter i STAB 2 etter noen tid.

Tørrstoffproduksjonen i anlegget over perioden er beregnet som gjennomsnitt for uke 50 (1979) - 7 (1980).

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Totalt TS inn i STAB 1             | = 5 135 kg, dvs. 73 kg/d |
| Totalt TS inn i STAB 2             | = 4 870 kg, dvs. 70 kg/d |
| Gjennomsnittlig total masse STAB 1 | = 1 916 kg               |
| Gjennomsnittlig total masse STAB 2 | = 1 400 kg               |
| Oppholdstid STAB 1                 | = <u>26 døgn</u>         |
| Oppholdstid STAB 2                 | = <u>20 døgn</u>         |

Man ser av figur 6 en markant nedgang i tørrstoffprosenten i fortykker og stabiliseringsenheter mot slutten av oppfølgingsperioden. Dette kan tyde på at slamføringen fra sedimenteringstanken til fortykker og luftebasseng var noe høy i denne perioden med lav vannføring (fig. 3).

#### Glødetap (organisk stoff)

Figur 7 viser glødetapet i prosent av tørrstoff i henholdsvis fortykker, STAB 1 og STAB 2 som funksjon av tiden. Her går det fram at gjennomsnittlig reduksjon av glødetap fra fortykker til STAB 1 ligger på ca. 8%, mens tilsvarende tall mellom STAB 1 og STAB 2 er ca. 4%. Dersom en setter glødetapet i råslammet til 100%, ligger glødetapet i STAB 1 gjennomsnittlig på 94,6% og glødetapet i STAB 2 på 89,9%. Interessant å merke seg er også at glødetapet viser en jevnt økende stigning mot slutten av oppfølgingsperioden. Vannmengden synker i perioder med lite infiltrasjonsvann (vinter). Mengden kjemikalier som doseres, reduseres proporsjonalt og dermed også produksjonen av hydroksydslam. Den organiske delen av slammet (glødetapet) avhenger i stor grad av anleggets organiske belastning. Tilførsel av organisk materiale fra kloakk er mindre sesongavhengig og utgjør en større andel av belastningen i perioden med liten infiltrasjon.

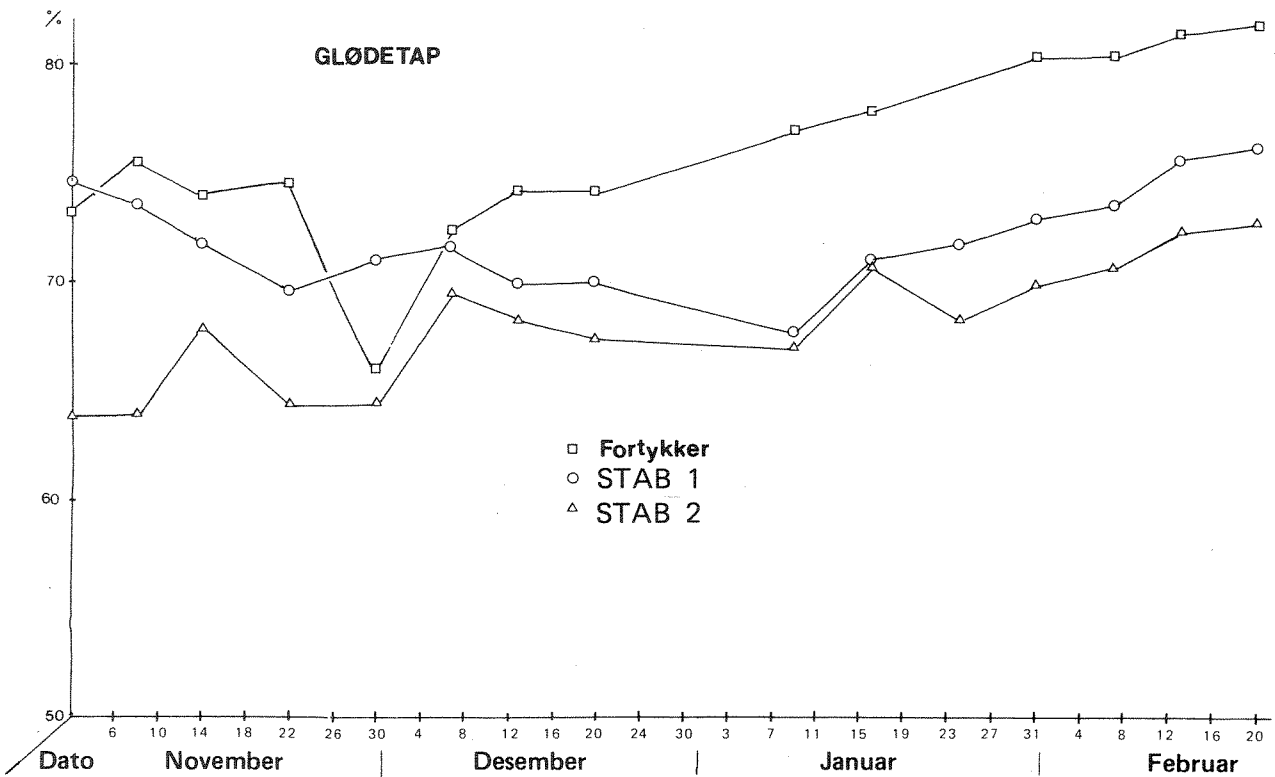


Fig. 7. Glødetap i % av tørrstoffkonsentrasjonen.

### Oksygeninnhold

Figur 8 og 9 viser oksygeninnholdet i stabiliseringsenhetene som funksjon av tiden. Selv om oksygeninnholdet kan variere relativt mye fra dag til dag, kommer det helt tydelig fram perioder med for lite oksygen. Særlig gjør dette seg gjeldende i STAB 1, hvor oksygen-konsentrasjonen lå under 1,0 mg O<sub>2</sub>/l i over en måned. Denne perioden fulgte umiddelbart etter en periode med høy vannføring og slamproduksjon. Årsaken er trolig en kombinasjon av dårlig omrøring og for liten oksygentilførsel.

En ser at STAB 1 og 2 har noenlunde parallelt forløp av oksygen-konsentrasjonene. To-trinns blåsemaskin ga ikke tilstrekkelig fleksibel regulering av lufttilførselen. Denne ble enten for høy eller for lav, indikert ved perioder med svært høyt eller altfor lavt O<sub>2</sub>-innhold.

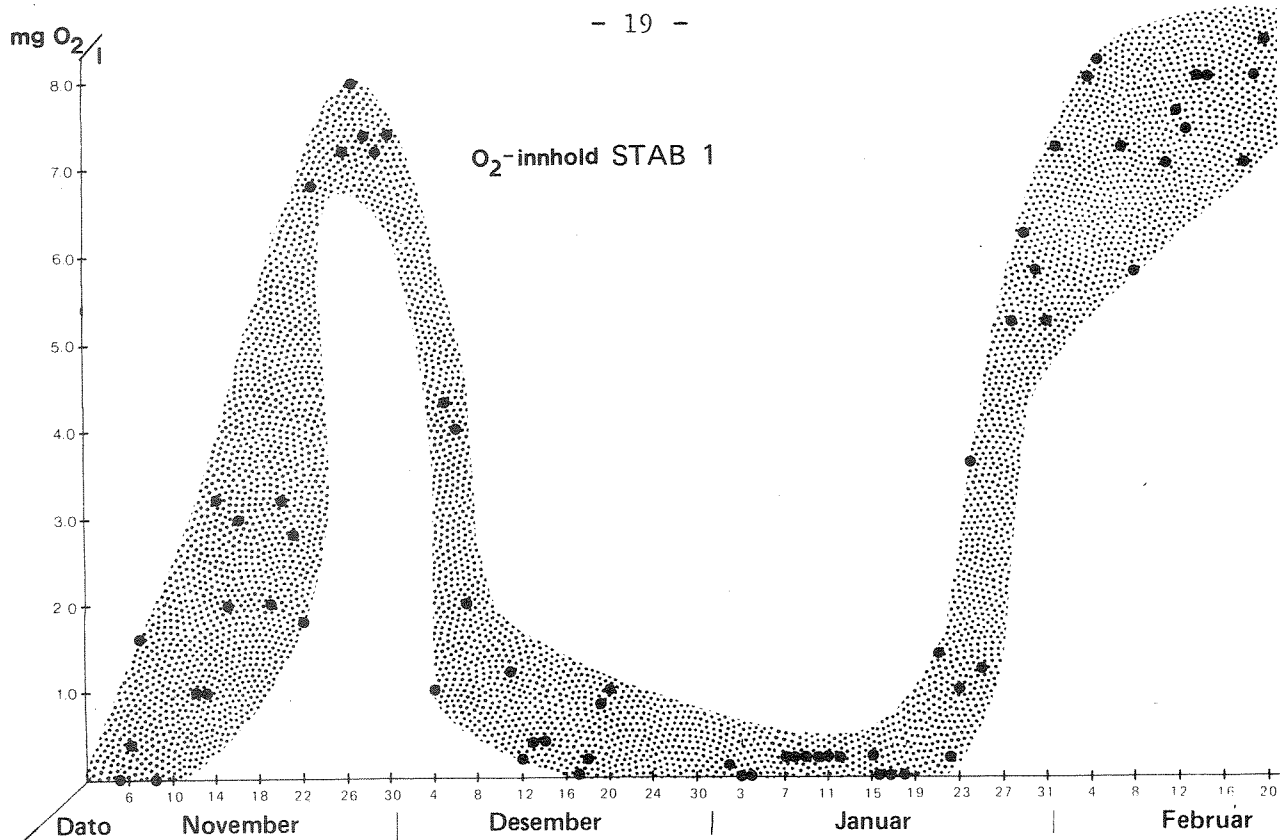


Fig. 8. Oksygenkonsentrasjoner i stabiliseringsbasseng 1.

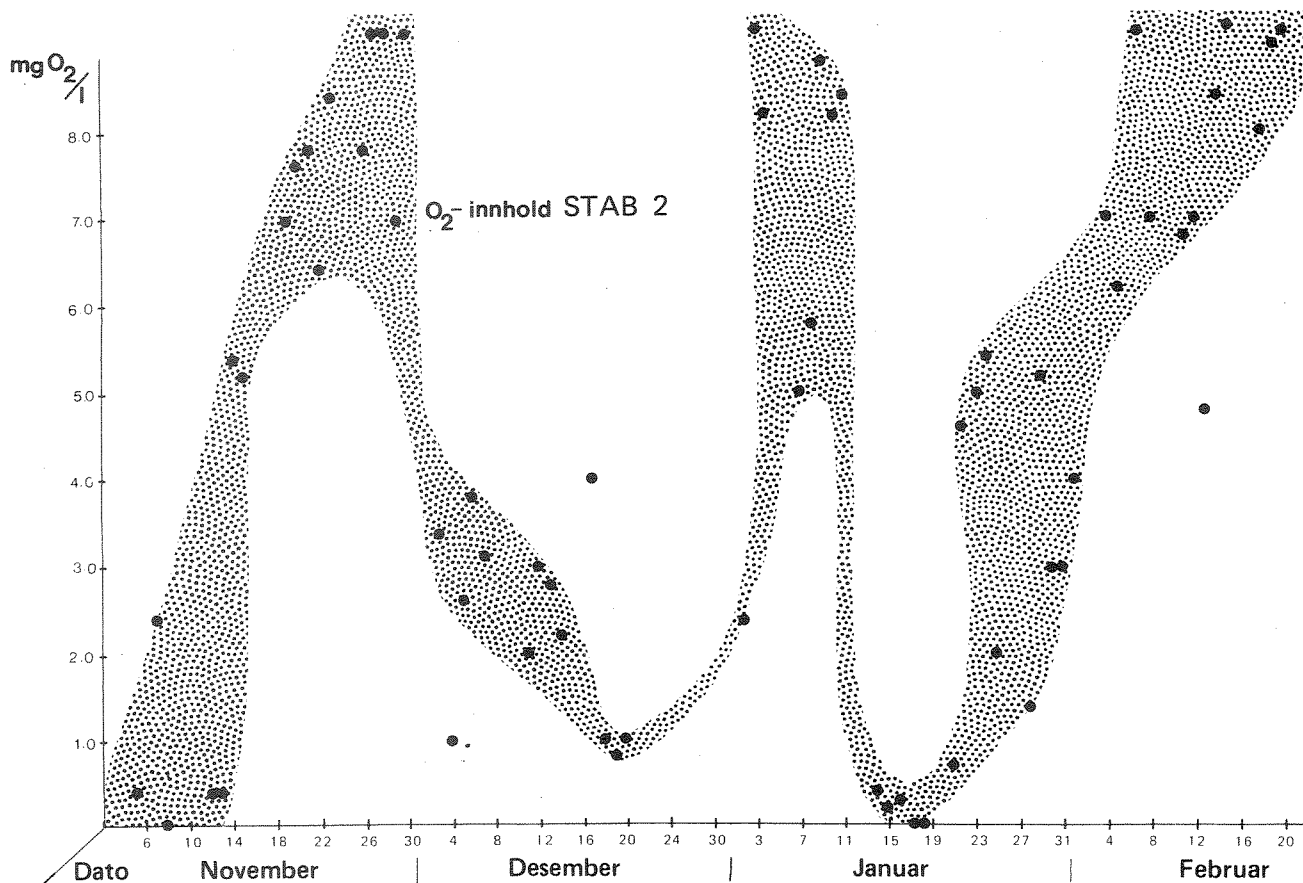


Fig. 9. Oksygenkonsentrasjoner i stabiliseringsbasseng 2.

### Stabilitet

Slammets stabilitet, som er vist i figur 10 er beregnet ved hjelp av følgende likning:

$$S = 100 A \left( 1 - \frac{\text{OUR}_{\text{målt}}}{\text{OUR}_{\text{maks}}} \right) \quad (1)$$

hvor

S = slammets stabilitet i prosent (se vedlegg 1)

A = 1,035 (konstant)

$\text{OUR}_{\text{målt}}$  = oksygenopptak målt i stabiliseringsbassenget  
(mg O<sub>2</sub>/g FSS · h)

$\text{OUR}_{\text{maks}}$  = oksygenopptak målt i luftebassenget (mg O<sub>2</sub>/g FSS · h).

$\text{OUR}_{\text{målt}}$  og  $\text{OUR}_{\text{maks}}$  ble justert til samme temperatur ved følgende likning:

$$\frac{\text{OUR}_{T_1}}{\text{OUR}_{T_2}} = \theta^{(T_1 - T_2)}$$

$\text{OUR}_{T_1}$  = oksygenopptak ved temperatur T<sub>1</sub>

$\text{OUR}_{T_2}$  = oksygenopptak ved temperatur T<sub>2</sub>

$\theta$  = 1,09 (temperatur-koeffisient) (1).

Figur 10 viser at anlegget stort sett produserer et slam med høy stabilitet. De lavere verdiene i begynnelsen av november og midten av januar i STAB 1 har sannsynligvis sammenheng med det lave oksygeninnholdet i STAB 1 i de samme perioder (fig. 8). Slammets oppholdstid 16 døgn i luftebassenget og vel 40 døgn i stabiliseringsbassengene. Høy stabilitet i slammets er derfor ikke overraskende ved dette anlegget. Slammets i STAB 2 har høyere stabilitet og er mindre påvirket av variasjoner i oksygeninnholdet enn slammets i STAB 1.

### Materialbalanse

Figur 11 viser et regnskap over materialstrømmene i Bjørnmyrdalen renseanlegg gjennom oppfølgingsperioden. Volumstrømmene er oppgitt i prosent av mengde avløpsvann. Hovedtyngden av dekantvannet forekommer som kontinuerlig strøm og gir jevn belastning på anlegget. Bemerke også den høye NO<sub>3</sub>-konsentrasjonen i utløpet sammenliknet med innløpet. Dette skyldes nitrifikasjon. En kan også bemerke at i råslammets er andelen organisk stoff 76% av tørrstoffet,

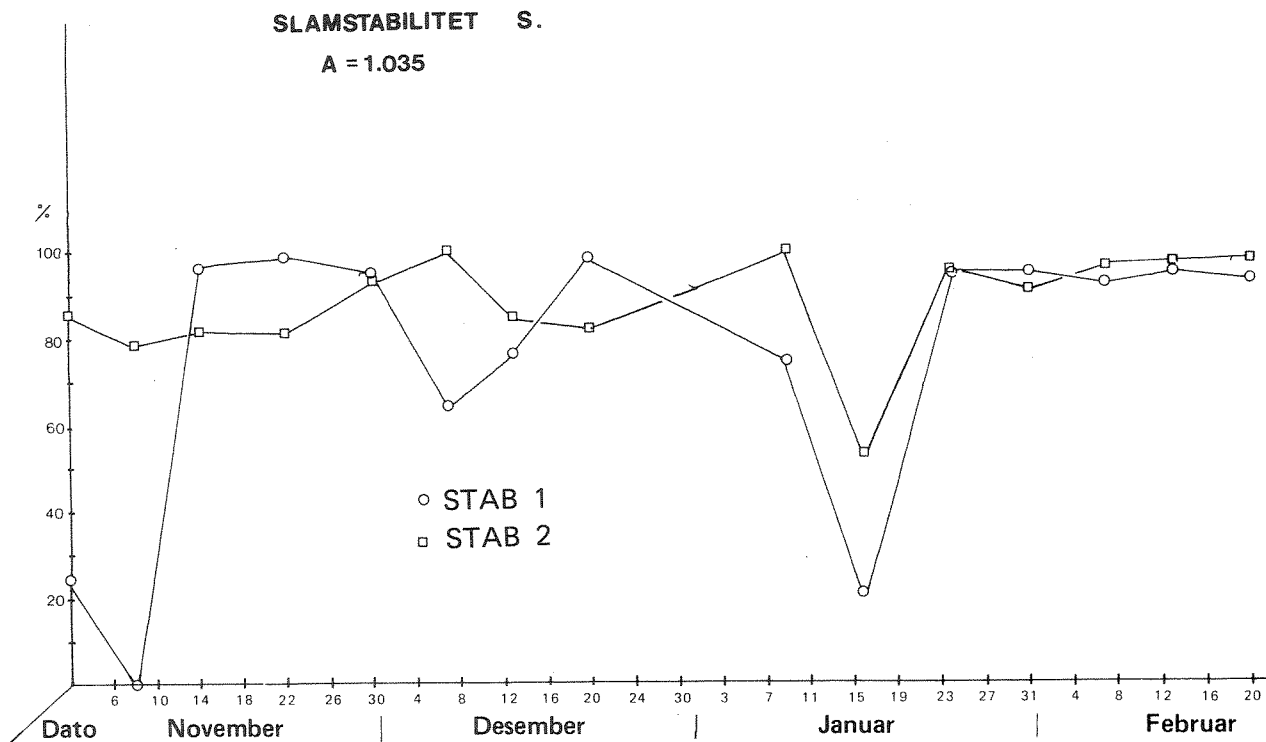


Fig. 10. Slammets stabilitet (S) ved Bjørnmyrdalen rensanlegg.

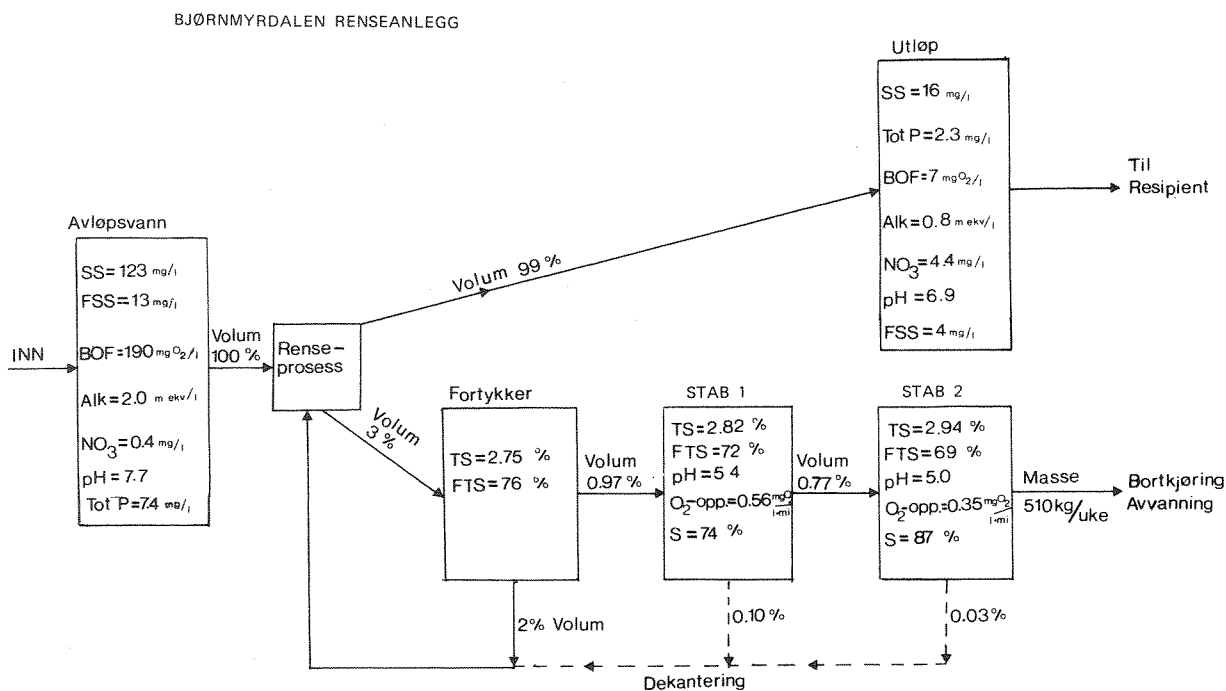


Fig. 11. Materialstrømmer i Bjørnmyrdalen rensanlegg. Alle verdier er basert på gjennomsnitt over oppfølgingsperioden.

mens i det suspenderte stoffet som tilflyter anlegget er andelen bare 11%. Dette skyldes opptak av løste biologiske forurensninger i biomassen (aktivslammet).

### 3.2 Hestvold renseanlegg

#### 3.2.1 Anleggsbeskrivelse

Hestvold renseanlegg i Råde kommune er et primærfellingsanlegg uten flokkuleringsbasseng. Anlegget er dimensjonert for en belastning på 3 000 pe ( $80 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Hydraulisk belastning i oppfølgingsperioden varierte fra  $3\,130 \text{ m}^3/\text{uke}$  til  $8\,120 \text{ m}^3/\text{uke}$  med et gjennomsnitt på  $4\,400 \text{ m}^3/\text{uke}$ . Det er tilknyttet en del industri til anlegget. Den organiske belastning kan på grunn av dette variere betydelig. I oppfølgingsperioden var tilknyttet personekvivalenter med hensyn på organisk stoff grovt regnet 2 500.

pH-overstyring blir benyttet i doseringen av aluminiumsulfat (AVR), med en fellings-pH på 6,0. Doseringen lå i oppfølgingsperioden på mellom 250 og  $400 \text{ g/m}^3$ , som må betegnes som meget høyt. En separat undersøkelse (3) samtidig med dette arbeid ble foretatt for å redusere kjemikalieforbruket. Det ble gjort forsøk med tilsetning av syre og også med jernklorid (12% Fe-III) mot slutten av oppfølgingsperioden. En konkluderte i undersøkelsen med at anlegget bør gå over til våtdosering av AVR, installere flokkuleringskamre samt eventuelt benytte syre til pH-justering.

Anleggets flyteskjema er fremstilt i figur 12. En bemerker at anlegget ikke har fortykker. Ved satsvis dekantering i stabiliseringsbasseng 1 oppnår en da også betydelige volumreduksjoner. Slammet pumpes til stabiliseringsenhetene direkte fra sedimenteringsbassengene. Disse er kvadratiske med fettskrape på overflaten og senterutmating fra roterende skraper på bunnen. Ved tømning av sedimenteringsbassengene har en registrert slamavleiringer i bassengene. Overpumping til stabiliseringsbassengene skjer satsvis én gang pr. dag. En registrerte stor variasjon i tørrstoffinnhold i slammet i løpet av en overpumping, og fra én dag til en annen.

Driftsrutinene og den tekniske løsning av overpumpingen til stabiliseringsenhetene er trolig årsaken til at tilførselen av tørrstoff og slamvolum til stabiliseringsbassengene varierer mer enn vannføringen på anlegget skulle tilsi.

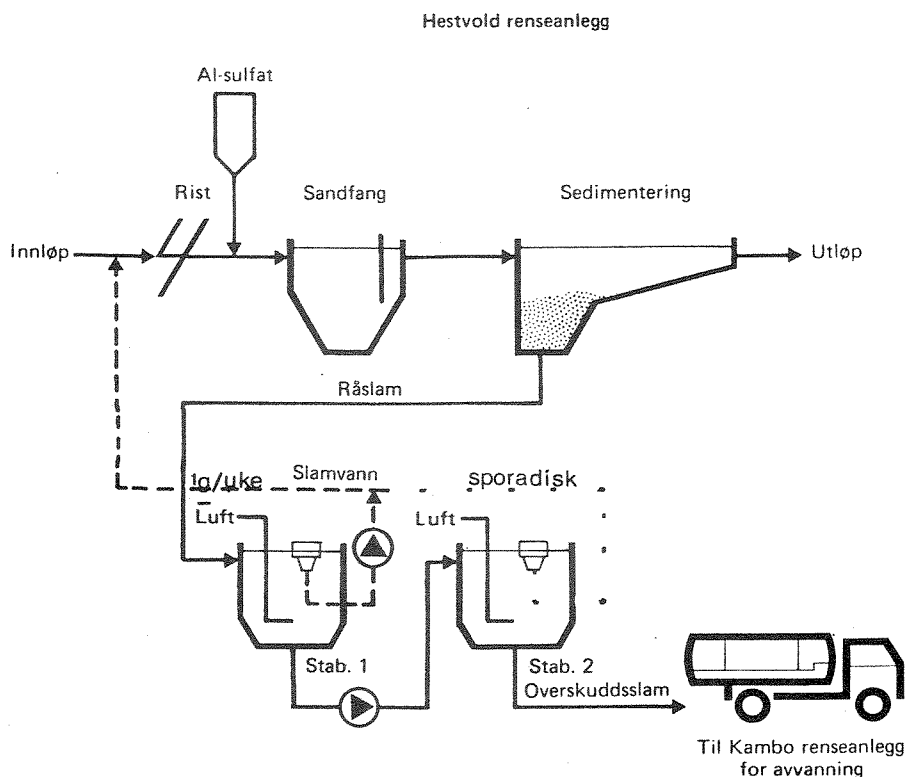


Fig. 12. Flyteskjema over Hestvold rensanlegg.

### 3.2.2 Stabiliseringsenheter

Hestvold rensanlegg er utstyrt med to aerobe stabiliseringsenheter i serie, med volum på henholdsvis 110 og 140 m<sup>3</sup>. Bassengene er rektangulære, ca. 10 m x 3 m, med dybder på henholdsvis 3,40 m og 4,50 m. De er videre utstyrt med diffusorluftere med en samlet kapasitet på 600 m<sup>3</sup>/h. Blåsemaskinene er felles for bassengene. Dette vanskeliggjør individuell kontroll av luftmengden i bassengene idet volumet i STAB 1 varierer mye.

Overpumping av slam fra sedimenteringsbassengene til første stabiliserings-trinn foregår manuelt én eller flere ganger om dagen. Mengden av overpumpet slam pr. døgn varierer forholdsvis mye, men som et gjennomsnitt lå slamproduksjonen i oppfølgingsperioden på ca. 50 m<sup>3</sup>/uke. Tørrstoffet i det overpumpede slammene varierte fra 1,7% til over 6%! Satsvis overpumping gir ujevn slamkonsentrasjon. Dekantering av første stabiliseringsbasseng (STAB 1) blir foretatt ca. én gang pr. 10. dag etter til-



setting av polyelektrolytt (Zetag 92). Polyelektrolytten tilsettes for å bedre sedimenteringsegenskapene og dermed øke volumet av slamvann som kan dekanteres. En benytter luftinnblåsing i bassengene til å røre ut polymerløsningen i slammet, og stenger deretter av luften i seks timer for å få sedimentering. Metoden har gitt betydelig redusert slamvolum ved anlegget.

Dekantert volum ligger på snaut 1/3 av volumet i STAB 1 (ca. 16 m<sup>3</sup>/uke). Overpumping av slam fra STAB 1 til stabiliseringsbasseng 2 (STAB 2) foregår manuelt, vanligvis like etter dekantering av STAB 1.

Slam fra STAB 2 blir kjørt til Kambo renseanlegg ved Moss for avvanning. På grunn av det høye kjemikalieforbruket ved Hestvold og derfor høy slamproduksjon, utgjør denne bortkjøringen av slam (ca. 4 lass á 8 m<sup>3</sup>/uke) en høy driftskostnad. Man har derfor drevet avvanningsforsøk med silbåndpresse i håp om å få installert dette utstyret ved anlegget senere.

### 3.2.3 Resultater

#### Avløpsvann og renseeffekt

Gjennomsnittlig registrerte en renseeffekter på 91% med henblikk på fosfor, 73% med henblikk på organisk materiale (BOF<sub>7</sub>) og 81% med henblikk på suspendert stoff (SS). Innkommende avløpsvann inneholdt gjennomsnittlig 5,1 mg P/l, 74,2 mg BOF<sub>7</sub>/l og 104 mg SS/l. pH var gjennomsnittlig 7,5 og alkaliteten 2,7 mekv/l. Hydraulisk belastning var i frostperiode med lite infiltrasjonsvann 3 911 m<sup>3</sup>/uke. Et vaskeri slipper avløpsvann inn på nettet.

#### Volum i stabiliseringsenheter

Figur 13 og 14 viser volumet i henholdsvis STAB 1 og STAB 2 gjennom oppfølgingstiden. Kurvene er basert på utskriften fra to limnografer (vannstandsmålere) som var installert i bassengene. I tillegg ble manuelle målinger foretatt flere ganger i uken. Fra figur 13 går det fram at STAB 1 blir nærmest tømt etter dekantering og overpumping av slam til STAB 2. Dette resulterer i at oppholdstiden i STAB 1 blir forholdsvis kort (1-2 uker), noe som igjen fører til vanskeligheter med å oppnå et stabilt slam. Tømming av STAB 1 betyr også at den aerobe bakteriekulturen må bygges opp på ny etter hver tømming. Riktig driftsmåte må være å etterlate noe slam i STAB 1 som "poding" av råslammet, spesielt i et anlegg uten biologisk rensetrinn. Figur 13 viser også at det ved overpumpingene fra sediment-

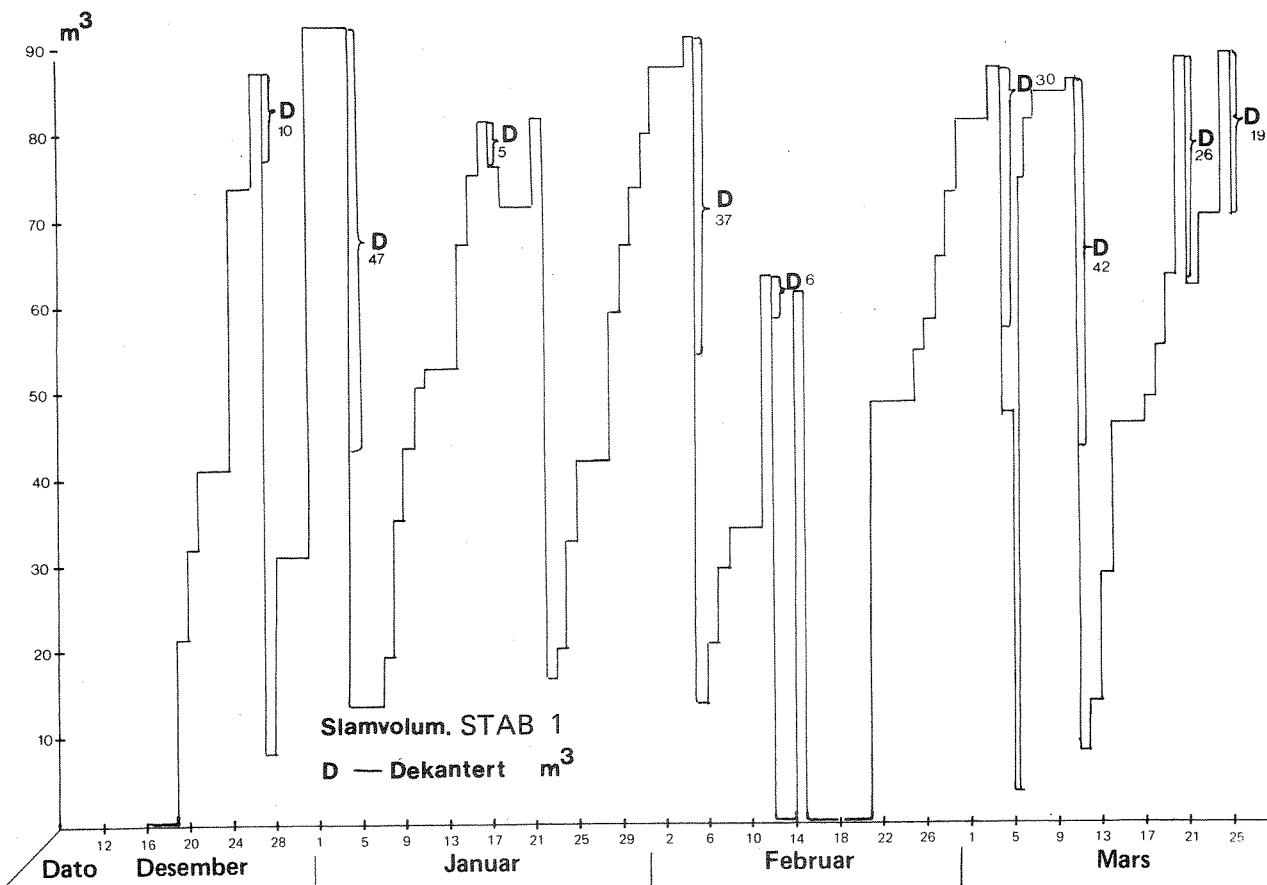


Fig.13. Volum slam i STAB 1 ved Hestvold rensesanlegg.

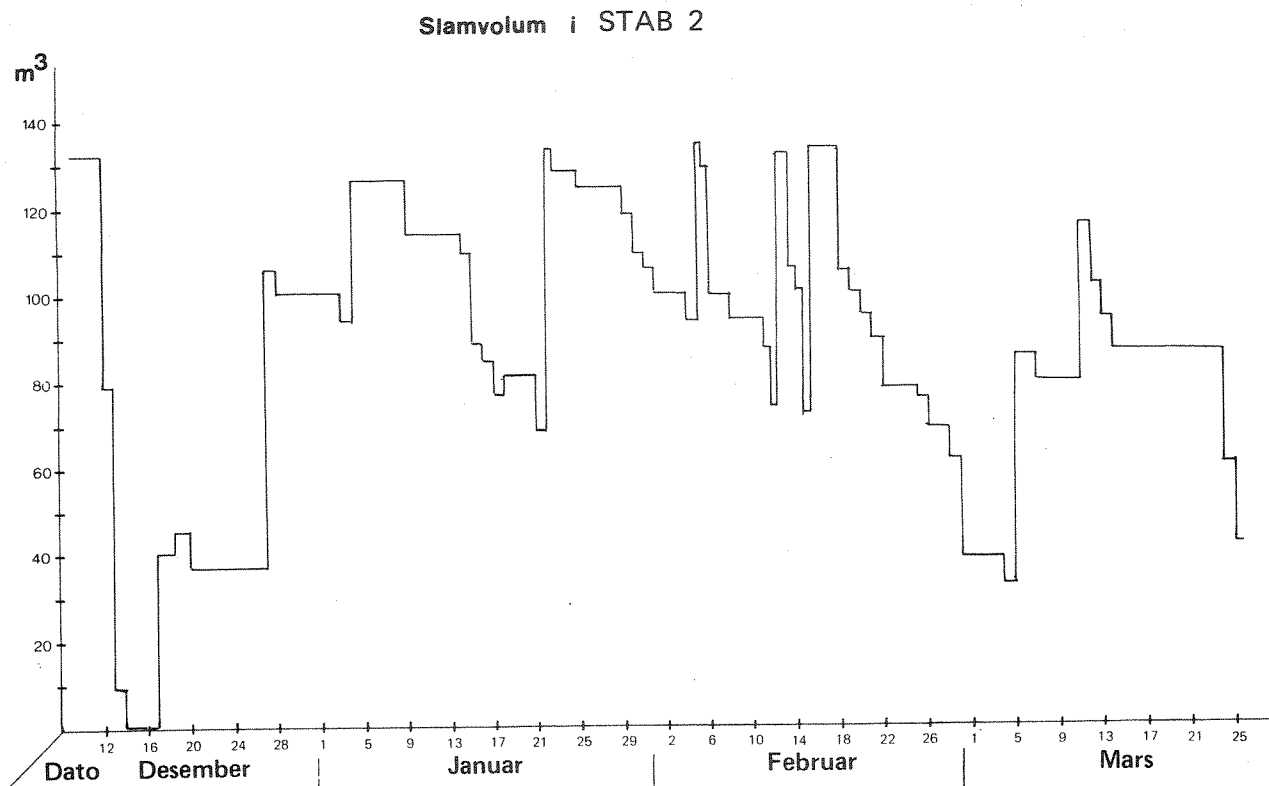


Fig. 14. Volum slam i STAB 2 ved Hestvold rensesanlegg.

ringen er store variasjoner i overpumpet volum, fra et par kubikkmeter helt opp til 70 m<sup>3</sup> pr. overpumping. Tørrstoffet i råslammet er derfor sterkt varierende, noe som forklarer den store variasjon i dekanteringsvolumer i figur 13. Oppholdstiden i STAB 2 var i gjennomsnitt i oppfølgingsperioden snaut 3 uker.

#### Tørrstoff i stabiliseringsenheter

Ukentlige tørrstoffmålinger av råslam og slam i stabiliseringsenheter ble foretatt av NIVA. I tillegg tok driftsoperatøren tørrstoffmålinger av råslammet ved hver overpumping fra sedimenteringen. Resultater er fremstilt i figur 15.

Varierende TS-innhold i råslammet gjennom en overpumping gjør bruk av disse TS-målingene vanskelig ved føring av nøyaktig massebalanse for stabiliseringsenhetene. Det er imidlertid på grunnlag av TS-målingene i stabiliseringsbassengene mulig å regne ut tilnærmedesvis hvor mye tørrstoff som tilføres pr. uke.

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Gjennomsnitt av TS i STAB 1                                     | = 2,7% (før dekantering)       |
| Totalt volum tilført STAB 1<br>fra uke 48, -79, til uke 12, -80 | = 723 m <sup>3</sup>           |
| Total masse tilført STAB 1                                      | = 19 200 kg, dvs. 1 371 kg/uke |
| Gjennomsnitt av TS i STAB 2                                     | = 3,3%                         |
| Totalt volum tilført STAB 2                                     | = 500 m <sup>3</sup>           |
| Total masse tilført STAB 2                                      | = 16 600 kg, dvs. 1 185 kg/uke |

Til sammenlikning kan nevnes at gjennomsnittlig kjemikalieforbruk i samme periode lå på 1 245 kg/uke. Anlegget har svært høy kjemikaliedosering og dårlige flokkuleringsforhold. Det høye kjemikalieforbruket gir hydroksydrikt slam med dårlige fortykkingssegenskaper. Dertil får en tap av fellingskjemikalie i form av løst og suspendert stoff i utløpsvannet.

#### Glødetap (organisk stoff)

Figur 16 viser mengden av organisk stoff i prosent av totalt tørrstoff for henholdsvis råslam, STAB 1 og STAB 2. Til tross for at det dreier seg om ukentlige stikkprøver, går det tydelig fram av figur 16 at det finner sted en markant reduksjon av organisk stoff fra råslam (høyest konsentrasjon)

Tørrstoff. Stabiliseringsenheter.

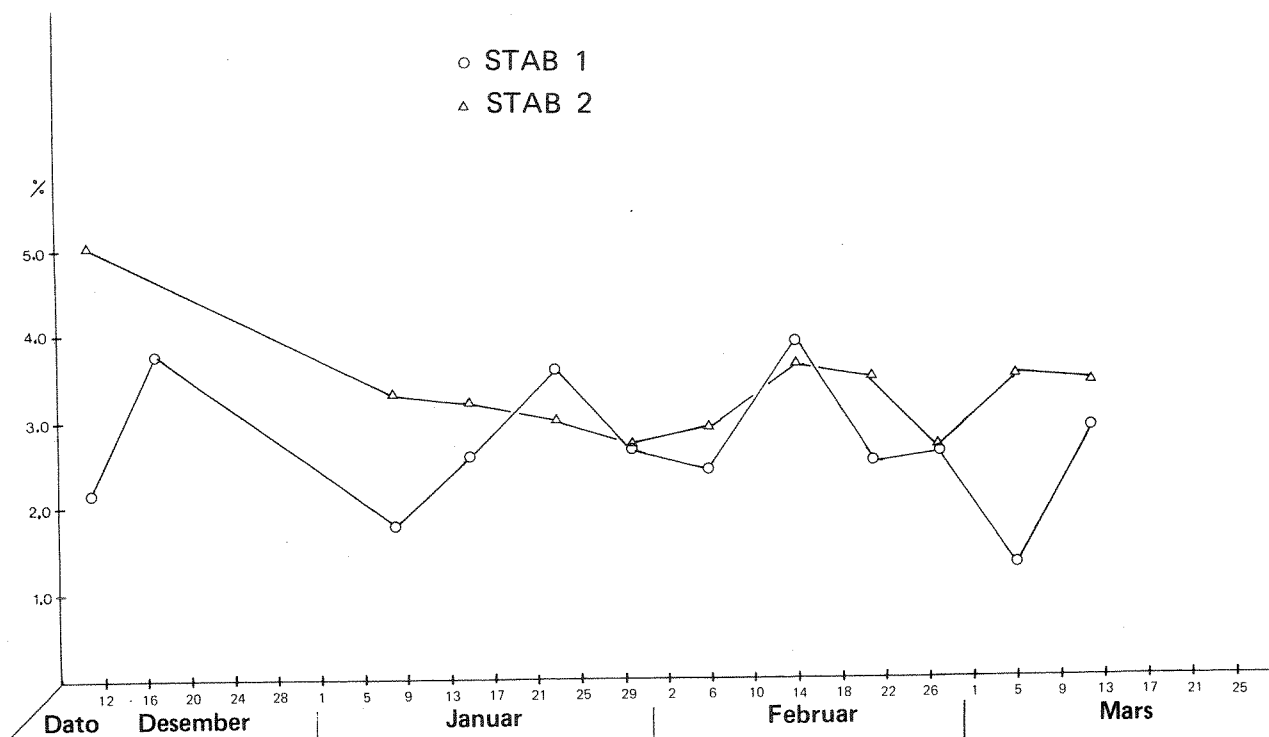


Fig. 15. Tørrstoffinnhold i stabiliseringsenheter.

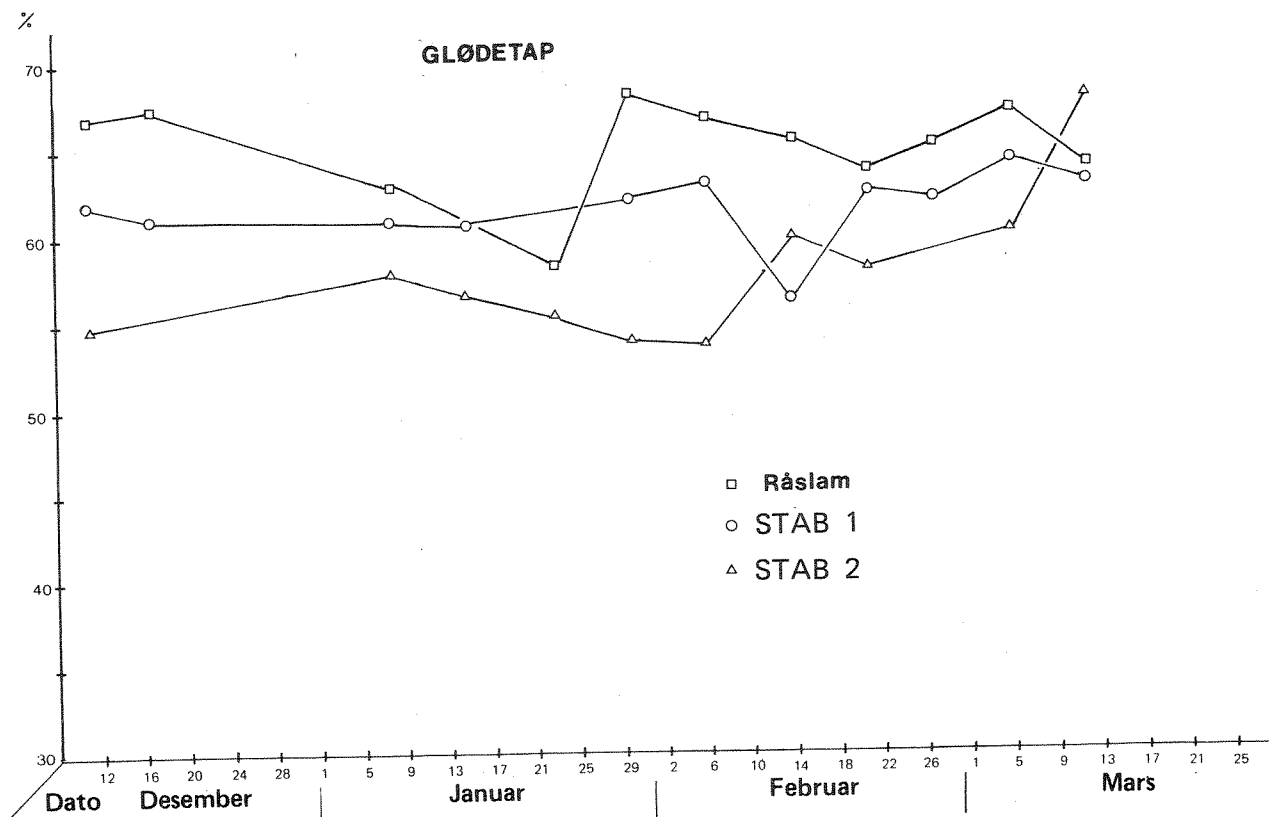


Fig. 16. Glødetap i % av tørrstoffinnhold.

til STAB 1 og STAB 2 (lavest konsentrasjon). Dersom en setter råslammets glødetap til 100%, ligger innholdet i STAB 1 på 95,9% og i STAB 2 på 87,1%.

### Oksygeninnhold

Figur 17 viser oksygeninnholdet i stabiliseringsbassengene. Registrerte konsentrasjoner viste store variasjoner, spesielt i STAB 1. Her varierer også volumet mest. I STAB 2 var volumet gjennomgående større, og dermed omrøring og oksygentilførsel dårligere. Registrert oksygenkonsentrasjon i STAB 2 var gjennomgående lavere enn i STAB 1. Slammet i STAB 2 var ofte svart og illeluktende. Utilstrekkelig omrøring og lufting kan gi avsetning av septisk slam i bassengene.

Kontrollen med lufttilførselen vanskeligjøres av flere forhold:

1. Ved at STAB 1 og 2 betjenes av samme blåsemaskin vil luften møte minst motstand og gå til det bassenget som har lavest vannstand. STAB 1 er hele tiden under oppfylling og dermed ikke fullt.
2. Totaldybden i STAB 2 er større enn i STAB 1, dvs. totalt volum som skal betjenes av lufterne er større. Motstanden mot luftinnblåsing er også større på grunn av bassengdybden.
3. Tørrstoffet i STAB 2 er høyere enn i STAB 1 på grunn av dekanteringene. Det trenges derfor mer luft for tilstrekkelig omrøring i STAB 2 enn i STAB 1.
4. Ved avstengning av lufterne i STAB 1 for dekantering registrerte en ved ett tilfelle økning i oksygeninnholdet ( $> 2 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) i STAB 2.  $\text{O}_2$ -innholdet i STAB 2 sank til  $0,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$  straks lufterne i STAB 1 ble satt i gang igjen. Samlet kapasitet på lufterne er  $600 \text{ m}^3/\text{time}$ . Med  $250 \text{ m}^3$  samlet stabiliseringsvolum blir luftmengdene maksimalt  $2,4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{time}$ . Dette er lavere enn angitt i retningslinjene (2) der en anbefaler luftekapasitet på  $3,6$  til  $4,8 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{time}$  for mekanisk/kjemisk slam.

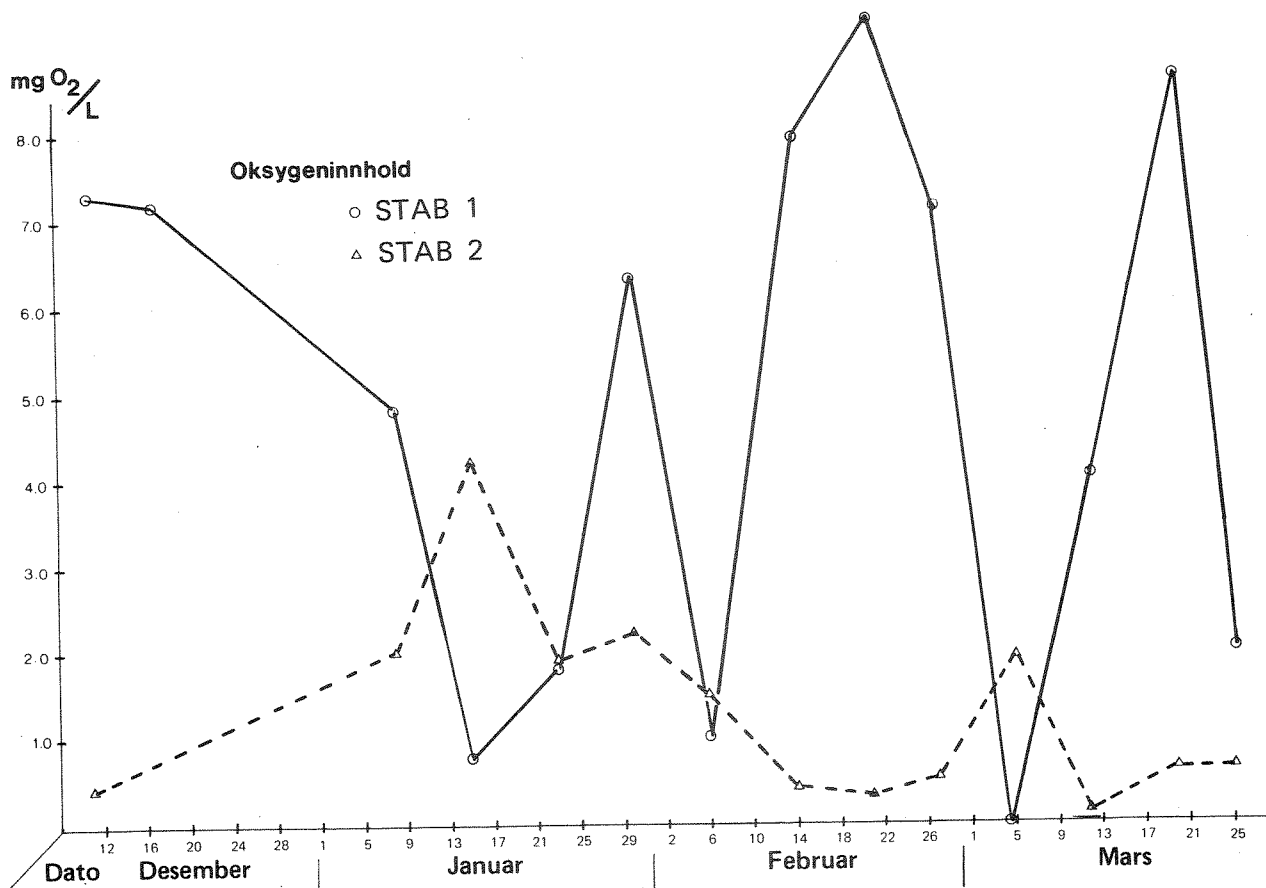


Fig. 17. Oksygeninnhold i stabiliseringsbassengene ved Hestvold rensanlegg.

### Stabilitet

Ved mekanisk/kjemiske rensanlegg må nødvendig konstant (A) beregnes én gang som anvist i vedlegg 1. Deretter kan en etter ønske finne stabiliteten ved å måle oksygenopptaket i slamprøver fra stabiliseringsbassengene. Konstanten A ble beregnet for Hestvold rensanlegg og funnet til 1,74. Maksimalt oksygenopptak ble funnet til 2,11 mg O<sub>2</sub>/g FSS · time. Målingen av stabilitet forutsetter at slammene har vært stabilisert under tilfredsstillende lufttilførsel. Figur 17 viste at oksygen-konsentrasjonen i STAB 1 var sterkt varierende, men gjennomgående ikke lavere enn 2 mg/l. I STAB 2 hadde en med få unntak for lavt oksygeninnhold. På grunn av disse ustabile forhold i stabiliseringsenhetene har det ikke vært mulig å fastlegge representative verdier for stabiliteten en kan oppnå i anlegget. Forutsetningene for en tilfredsstillende drift av enheten er at lufterne dimensjoneres opp. Volumet av stabiliseringsbassengene (250 m<sup>3</sup>) er stort nok til tilfredsstillende oppholdstid for slammene som produseres (50 m<sup>3</sup>/uke).

Materialbalanse

Figur 18 viser en oversikt over materialstrømmer i Hestvold renselanlegg. Dekantvannet (0,38%) kommer som en sjokkbelastning på renselanlegget hver 10. dag. Dekanteringen tar noen få timer. Dekantvannet representerer primært en hydraulisk belastning idet kvaliteten etter dekantering med polyelektrolytter er meget god.

HESTVOLD RENSEANLEGG.

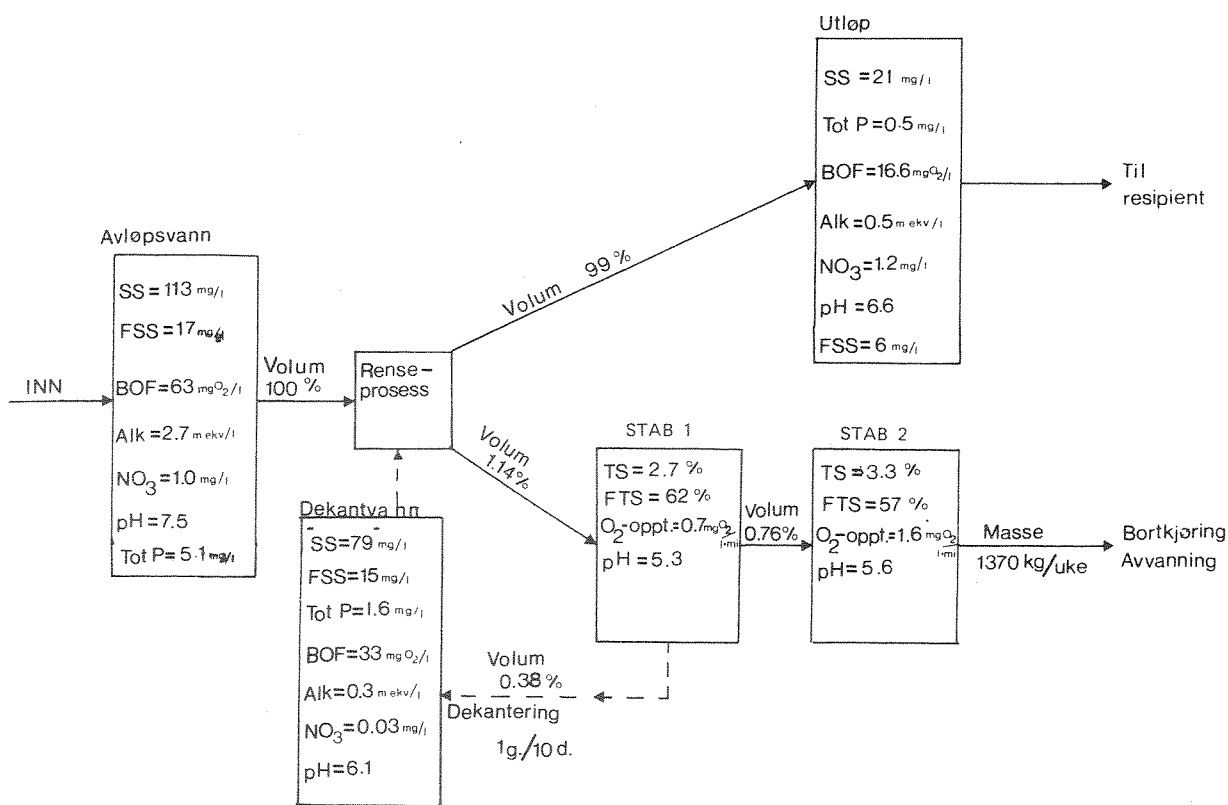


Fig. 18. Materialstrømmer i Hestvold renselanlegg. Alle verdier er basert på gjennomsnitt gjennom oppfølgingsperioden.

## 4. Driftsundersøkelse av renseanlegg med aerob slamstabilisering

For å se de praktiske erfaringer og resultater noen norske renseanlegg har med aerob stabilisering, ble det foretatt åtte kortvarige anleggsbesøk. Tabell 1 viser renseanleggene som ble besøkt. Ett anlegg var mekanisk, ett var mekanisk/kjemisk (sekundærfelling), fire hadde simultanfelling, og to anlegg hadde etterfelling. Alle anleggene var relativt små (< 2 300 pe) og dertil lavt (< 60%) belastet. Nedenfor følger noen kommentarer til driftsmåten av aerob stabilisering ved hvert anlegg. Noen observasjoner finnes i tabell 2.

### 4.1 De enkelte anleggene

Andebu sentrum renseanlegg er et simultanfellingsanlegg der kjemikaliene (AVR) tilsettes ved utløpet av luftebassenget. Fra sedimentering går slammet til aerob stabilisering fulgt av luftet silo (to-trinns aerob stabilisering). Stabiliseringen har grov-luftere som forsynes med luft fra en blåsemaskin. Denne betjener alle luftede bassenger i anlegget. Luftmengdene styres ved struping av ventiler i hvert basseng. Hver ettermiddag stoppes lufting i silo for dekantering med en lensepumpe. Det dekanteres normalt ikke i trinn 1 (stabiliseringsenheten). Stabiliseringsvolumet er  $156 \text{ m}^3$  pr. 1000 pe. Alle bassenger hadde høyt  $\text{O}_2$ -innhold, og slammet hadde lavt  $\text{O}_2$ -opptak (var stabilt). Slam kjøres til Tønsbergfjordens avløpsutvalg (TAU) for avvanning, normalt én gang pr. 14. dag. Operatøren, Torfinn Sukke, oppga ingen vesentlige driftsproblemer med stabiliseringen, og brukte  $\text{O}_2$ -konsentrasjonen til styring av luftmengdene.

Bekkevika renseanlegg er et mekanisk renseanlegg. Anlegget er belastet med meget varierende vannføring ( $10 - 160 \text{ m}^3/\text{h!}$ ). Slam pumpes hver fjerde time fra sedimentering til stabiliseringstrinnet (ett-trinns). Anlegget har lite stabiliseringsbasseng i forhold til størrelsen ( $34 \text{ m}^3/1\ 000 \text{ pe.}$ ). Slam tømmer fra anlegget hver fjerde måned. Ved besøket én måned etter siste tømning var slamvolumet allerede  $990 \text{ ml/l}$ , og oksygeninnholdet i bassenget meget lavt ( $0,15 \text{ mg } \text{O}_2/\text{l}$ ). Grov-lufterne gir mindre enn  $0,02 \text{ m}^3$  luft pr.  $\text{m}^3$  slam pr. min., hvilket er for lavt med så tykt slam. Slammet var septisk



Tabell 1. Renseanlegg med aerob slamstabilisering

| Renseanlegg | Kommune    | Prosess              | Fellingskjemi-<br>kalium  | Kjemikalie-<br>forbruk, g/m <sup>3</sup> | Dim/pe<br>tilknyttet | Vannføring,<br>l/s | Aerob<br>stab. |
|-------------|------------|----------------------|---|--|----------------------|--------------------|----------------|
| Andebu      | Andebu     | Simultan-<br>felling | AVR   | 200                                      | 1250/600             | 2                  | 2 trinn        |
| Bekkevika   | Tjøme      | Mekanisk             | -   | -  | 1600/                |                    | 1 trinn        |
| Borgen      | Ullensaker | Simultan-<br>felling | FeSO <sub>4</sub>   |  | 5000/200             | 0,3                | 1 trinn        |
| Kodal       | Andebu     | Simultan-<br>felling | AVR   | 150                                      | 800/200              | 0,6                | 2 trinn        |
| N.Kisa      | Ullensaker | Simultan-<br>felling | FeSO <sub>4</sub>   | 150                                      | 250/100              | 0,15               | 1 trinn        |
| Trøgstad    | Trøgstad   | Sekundær-<br>felling | AVR   |  | 2300/1300            | 3                  | 2 trinn        |
| Underdal    | Våle       | Etterfelling         | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub><br>(Lyšaker) <sup>2</sup> |  | 250/150              |                    | 1 trinn        |
| Østerbo     |            | Etterfelling         | AVR + kalk  |  | 600/350              | 1,6                | 2 trinn        |

Tabell 2. Noen observasjoner ved åtte renseanlegg med aerob stabilisering

| Renseanlegg | Volum          |        | Oppgitt<br>slamvolum<br>m <sup>3</sup> /uke | Omtrentlig<br>opphold i<br>aerob stab.<br>uker |     | O <sub>2</sub> -innhold |        | O <sub>2</sub> -opptak      |        | Slamvolum |        | Stabl.volum<br>pr. 1000 pe | Merknader  |
|-------------|----------------|--------|---|--|-----|-------------------------|--------|-----------------------------|--------|-----------|--------|----------------------------|--|
|             | STAB 1         | STAB 2 |   | 1  | 2   | STAB 1                  | STAB 2 | STAB 1                      | STAB 2 | STAB 1    | STAB 2 |                            |  |
|             | m <sup>3</sup> |        |   |  |     | mg/l                    |        | mg O <sub>2</sub><br>SVSS·h |        | ml/l      |        |                            |  |
| Andebu      | 87             | 38     | 15  | 4 > 1 uke                                      |     | 8,9                     | 7,9    | 1,07                        |        | 560       | 980    | 156                        | Høyt O <sub>2</sub> -innhold og<br>lavt O <sub>2</sub> -opptak i alle<br>basseng. Stabilt slam                           |
| Bekkevika   | 55             | -      | 4   | 8  |     | 0,15                    | -      | -                           |        | 990       | -      | 34                         | Store mengder slam i<br>anlegget. Meget lavt<br>O <sub>2</sub> -innhold og<br>råttent slam                               |
| Borgen      | 45             | -      | -   | -  |     | 8,9                     | -      | 1,11                        |        | 170       | -      | 225                        | Høyt O <sub>2</sub> -innhold og<br>lavt O <sub>2</sub> -opptak i<br>alle basseng   |
| Kodal       | 32             | 21     | 5   | 4  | 4   | 10,6                    | 7,0    | 1,30                        | 1,68   | 630       | 405    | 275                        | Lavt O <sub>2</sub> -innhold og<br>høyt opptak i LT.<br>Høyt O <sub>2</sub> -innhold og<br>lavt opptak i<br>stab.basseng |
| N. Kisa     | 23             | -      | 1   | 10   |     | 0,3                     | -      | -                           |        | 990       |        | 230                        | Lavt O <sub>2</sub> -innhold   |
| Trøgstad    | 108            |        | 80  | < 2  |     | 0,25                    | 0,55   | 3,15                        |        |           |        | 83                         | Lavt innhold av O <sub>2</sub> i<br>STAB I OG II. Høyt<br>O <sub>2</sub> -opptak, kort opp-<br>holdstid. Kjem. slam      |
| Underdal    | 14             | -      | 4   | 2  |     | 0,25                    | -      | -                           |        | 975       | -      | 93                         | Nye lufftere i LT, men<br>ikke i stab. Lavt O <sub>2</sub> -<br>innhold i stab.<br>Mye slam                              |
| Østerbo     | 38             | 28     | 10  | 2  | 1,5 | 10,3                    | 5,2    | 1,02                        |        | 490       | 980    | 188                        | Høyt O <sub>2</sub> -innhold og<br>lavt opptak i alle<br>basseng. Infiltrasjon   |

(svart) og illeluktende. Anlegget må tømmes for slam oftere enn hver fjerde måned. Operatøren dekanterer en gang pr. uke etter at lufterne har vært avstengt ett døgn. Anlegget har ikke utstyr for måling av oksygen-konsentrasjon, eller pH-meter. Anlegget har hatt problemer med tette diffusorer (skiftet ut til grov-luftere) og under tiden med skum.

Borgen renseanlegg er et simultanfellingsanlegg med ett-trinns aerob stabilisering. Stabiliseringsbassenget er rikelig dimensjonert,  $225 \text{ m}^3/1\ 000 \text{ pe.}$  Ved besøk var slammene i stabiliseringsbassenget tynt, oksygeninnholdet meget høyt ( $9 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ). Slammene var stabilt. Anlegget har diffusorluftere. Det dekanteres normalt ikke i anlegget, hvilket forklarer det lave slamvolumet i stabiliseringsbassenget ( $170 \text{ ml}/\text{l}$ ). Slammene avvannes ved et annet renseanlegg, og dekantering ville spare driftsutgifter ved transporten. Anlegget har ikke utstyr til å måle oksygen-konsentrasjonen i bassengene, men regulerer luftmengden mer skjønnsmessig. En har registrert skumproblemer i anlegget.

Kodal renseanlegg er et simultanfellingsanlegg med 2-trinns stabilisering. Ved besøket registrerte en lavt oksygeninnhold ( $0,6 \text{ mg}/\text{l}$ ) i luftetanken, men høyt ( $7-10 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) i stabiliseringsbassengene. Tilsvarende hadde slammene i luftetanken høyt oksygenopptak, mens slammene i stabiliseringsbassengene hadde lavt oksygenopptak. En prøve av råslammene ble satt til lufting i 14 dager. En registrerte et høyt oksygenbehov som raskt avtok når råslammene ble stabilisert under tilstrekkelig lufttilførsel. Anlegget har grov-luftere, og bassengene er rikelig dimensjonert ( $275 \text{ m}^3/1\ 000 \text{ pe.}$ ). En dekanterer i begge stabiliseringsbassengene. Lufttilførselen reguleres skjønnsmessig. En har ikke oksygenmåler ved anlegget.

Nord-Kisa renseanlegg er et simultanfellingsanlegg med ett-trinns stabilisering. Ved besøket målte en relativt lave oksygen-konsentrasjoner i både luftebasseng og stabiliseringsbasseng. Anlegget har diffusorer som må renses 1-2 ganger pr. år. Operatøren oppga at  $20 \text{ m}^3$  slam kjøres til Jessheim renseanlegg 2-3 ganger pr. år. Dette vil tilsi gjennomsnittlig 10 ukers oppholdstid i stabiliseringen. På tross av relativt lavt  $\text{O}_2$ -innhold og mye slam i bassengene registrerte en et moderat oksygenopptak. Dette henger trolig sammen med den uvanlig lange oppholdstiden som sikrer en stabiliserings-virkning i slammene på tross av mangelfull lufting. Luftmengde og slamtilførsel til stabiliseringen er oppgitt å bli regulert på basis av

henholdsvis  $O_2$ -konsentrasjon og slamvolum i bassengene. En har registrert skum i bassengene, noe som trolig skyldes den høye slamalderen.

Trøgstad renseanlegg har sekundærfelling. Slammet som pumpes til stabiliseringsbassengene, har dermed ikke en bakterieflora som er tilpasset aerob stabilisering. Undersøkelse av råslammet viste høyt oksygenbehov. Grov-innblåsere i anlegget klarte ikke å holde tritt med oksygenforbruket i stabiliseringsbassengene. En registrerte lavt  $O_2$ -innhold og septiske tilstander. Slammet har kort (< 2 uker) oppholdstid i stabiliseringsenhetene.

Undrumsdal renseanlegg har etterfelling. Anlegget har vært plaget av dårlig lufttilførsel til bassengene. Man hadde skiftet luftere i luftetanken og kunne registrere tilfredsstillende (3,9 mg/l)  $O_2$ -innhold. I stabiliseringsbassenget hadde en gamle diffusorer, og oksygeninnholdet ble målt til 0,25 mg/l. Utilstrekkelig lufting gav sedimentering i stabiliseringsbassenget og dårlig lukt når slammengdene ble store. Ved besøket registrerte en slamvolum på 975 ml/l.

Østerbo renseanlegg har etterfelling og to-trinns stabilisering.

Alle luftede bassenger hadde høyt (> 5 mg/l) oksygeninnhold, og slammet lavt (0,05-0,15 mg/l.min) oksygenopptak. Stabiliseringsbassengenes volum var  $188 \text{ m}^3/1000 \text{ pe}$ . En registrerte nitrifikasjon og lav pH (ca. 5,0) i bassengene. Anlegget har grov-luftere. Overpumping fra sedimenteringsbasseng til stabilisering skjer automatisk etter at lufterne i stabiliseringsbassengene har vært avskrudd en tid. En har ikke registrert nevneverdige driftsproblemer i forbindelse med stabiliseringen.

## 4.2 Oppsummering av inntrykk fra åtte anlegg

### 4.2.1 Anleggenes utforming

Stabiliseringsenhetenes volum varierte fra ca. 35 til  $275 \text{ m}^3/1000 \text{ pe}$ . tilknyttet renseanleggene. Anleggene var gjennomgående lavt belastet, noe som gir lav slamproduksjon og lang oppholdstid i stabiliseringsenhetene.

I tre anlegg med volumer henholdsvis 34, 83 og 93 m<sup>3</sup>/1000 pe. registrerte en ustabil slam, lavt oksygeninnhold og høyt oksygenopptak i slammet. Ved samtlige anlegg hadde en felles blåsemaskin (-er) for alle luftede bassenger. Dette systemet vanskeliggjør kontroll med lufttilførselen til bassengene. Spesielt vil reduksjon av vannstanden i ett basseng føre til mindre motstand og økte luftmengder på bekostning av de andre bassengene. Motsatt er virkningen av økt vannstand, som vil føre til redusert lufttilførsel i bassenget. Anleggene hadde oftest kontroll med luftmengden gjennom struping av ventiler på hver lufte.

Lufternes utforming varierte noe. De fleste anleggene hadde en form for grov-lufte. Ved avstenging av lufte ved driftsstans, dekantering e.l. vil slammet trenge inn i lufte og opp i tilførselsrørene. Dersom åpningene i lufte er små, vil det være vanskelig å blåse slammet ut igjen ved start av blåsemaskinene.

#### 4.2.2 Driftsmåter

Ingen av operatørene hadde noen klar målsetting med aerob slamstabilisering utover at en måtte unngå lukt i anlegget og tømme slam når en ikke fikk dekantert mer slamvann. Ikke ved noe anlegg foretok man registrering av slamkvaliteten "før/etter" for å vurdere effekten i stabiliseringen. Operatørene var gjennomgående ukjente med parametre som kan brukes som mål for stabilisering.

Tre av de besøkte anleggene var utstyrt med oksygenmålere til kontroll av luftmengdene. Gjennomgående ble imidlertid lufttilførselen justert skjønnsmessig av operatørene. Ved de tre anleggene med oksygenmålere var operatørene ikke instruert i bruken av dem!

Slammets oppholdstid i stabiliseringsbassengene vil foruten bassengstørrelsen bero på hvorvidt slammet kan fortykkes gjennom rutinemessig dekantering. De fleste anleggene praktiserte dekantering. Ved to-trinns stabilisering skjedde dekanteringen helst i det første bassenget, fulgt av overpumping til det andre bassenget. Bare ett anlegg dekanterte i begge bassengene. Ved dekantering ble lufttilførselen vanligvis stengt av natten over, før dekantering om morgenen. Tømming av slam skjedde når en ved dekantering ikke kunne trekke av mer slamvann. Ved ett anlegg

benyttet en polymerer til å bedre slammets sedimenteringsegenskaper. Herved hadde en kunnet redusere tømmingshyppigheten og dermed også transportkostnadene. Slammet får også lengre oppholdstid, og en kan oppnå bedre stabilisering.

#### 4.2.3 Driftsresultater

Som tidligere nevnt var 5 av 8 anlegg romslig dimensjonert (lavt belastet), og slammet hadde 4-10 ukers oppholdstid i stabiliseringsbassengene. Slammet i alle disse anleggene hadde lavt ( $< 2 \text{ mg O}_2/\text{g FSS.time}$ ) oksygenopptak. Ved to anlegg med stabiliseringsvolumer mindre enn  $100 \text{ m}^3/1000 \text{ pe.}$  registrerte en høyt oksygenopptak i slammet, som dertil var svart og illeluktende. Ved alle de 5 anleggene en fant med godt stabilisert slam, lå pH mellom 5,0 og 6,0. En påviste nitrat i dekantvannet fra stabiliseringen. Dersom en setter glødetapet i råslammet til 100% lå glødetapet i STAB I gjennomsnittlig på 95% og STAB II på 85%. Variasjonene her var imidlertid store.

#### 4.2.4 Driftsproblemer

Et vanlig forekommende driftsproblem var sedimentering og avleiring av slam i stabiliseringsenhetene. Typisk maktet ikke lufterne å virvle opp alt slam som sedimenterte under dekanteringen. Mange anlegg hadde også dødsoner der turbulensen var utilstrekkelig.

Utilstrekkelig lufttilførsel forekom i tre av 8 anlegg. Årsakene var delvis for knapp dimensjonering, delvis valg av uegnede luftere og delvis vanskeligheter med kontroll av lufttilførselen til bassengene. Disse anleggene hadde også noe lukt fra stabiliseringsbassengene. Rutinemessig rengjøring av diffusorer og luftere skjedde på de fleste anlegg. Anleggene må ha lett adgang til å ta diffusorer opp for rengjøring, fortrinnsvis uten å stenge av resten av lufterne.

Skum var et mindre problem i stabiliseringsbassengene enn i luftetanken i de fleste anleggene. Ingen operatører angav at dekantvannet skapte problemer for renseprosessen.

## 5. Rundspørring om aerob slamstabilisering hos norske konsulentfirmaer

I alt 15 norske konsulentfirmaer innen VA-bransjen har returnert et spørreskjema om aerob stabilisering. Undersøkelsen skulle avklare planleggenes vurdering og dimensjonering av prosessen. 13 av 15 firmaer vurderte prosessen ved prosjektering. Prosessen er mest aktuell ved små og middelstore anlegg idet 11 av 13 ville vurdere prosessen om renseanlegget var mindre enn 2 000 pe., 10 dersom anlegget var mellom 2 000 og 5 000 pe. og bare fem konsulentfirmaer ville anta prosessen aktuell dersom anlegget var større enn 5 000 pe.

Dersom en betrakter de ulike rensemethodene, mente syv konsulentfirmaer at aerob stabilisering var aktuelt for mekanisk slam, 12 vurderte metoden for biologisk slam og ni for kjemisk (Al-sulfat og Fe-klorid) slam. Ett firma vurderte metoden ved kalkfelling.

80 prosent av konsulentene anbefalte to bassenger i serie (2-steps stabilisering). Dimensjonerende bassengstørrelse ble gjennomsnittlig oppgitt til å være ca. 80 l pr. pe. tilknyttet anlegget. En opererer med gjennomsnittlig hydraulisk belastning på vel 15 døgn og nødvendig oppholdstid for slammet på 20 døgn. Nødvendig minste tørrstoff-innhold i slammet ble angitt til gjennomsnittlig to prosent. Nødvendig oksygeninnhold i reaktorene ble gjennomsnittlig angitt til 2 mg O<sub>2</sub>/l.

Blåsemaskinenes nødvendige kapasitet ble i gjennomsnitt angitt til 0,04 m<sup>3</sup> luft/m<sup>3</sup> slam · minutt. Minste driftstemperatur ble angitt til ca. 10 °C. Som luftesystem foretrakk de fleste (6 av 10) middels-grove luftere for å hindre gjentetting.

## 6. Referanser

1. Eikum, A.S. og B. Paulsrud (1979):  
Stabilisering av kommunalt slam. PRA rapport nr. 10. NIVA Oslo.
2. Statens forurensningstilsyn (SFT) (1978):  
Retningslinjer for dimensjonering av avløpsrenseanlegg.
3. Damhaug, T. m. fl. (1980):  
Hestvold renseanlegg, Råde kommune. Teknisk assistanse.  
Forsøksresultater. NIVA O-80033.

# Vedlegg 1

Beregning av stabilitet ved mekanisk/kjemiske renseanlegg



## VEDLEGG 1

### BEREGNING AV STABILITET VED MEKANISK/KJEMISKE RENSEANLEGG

For å beregne slammets stabilitet (S) benyttes likning(1), side 20. Ved mekanisk/kjemisk slamtype må  $OUR_{maks}$  og konstanten A bestemmes en gang ved langtidslufting. Dette ble gjort ved Hestvold renseanlegg ved at en 20 liters prøve av råslammet ble luftet under kontrollerte betingelser. Slammet ble plassert i en plastdunk som igjen ble plassert i et vannbad med nær konstant temperatur. Temperaturen i slammene varierte fra 17,5 °C til 21,2 °C i løpet av de 40 dagene luftingen pågikk. Oksygeninnholdet i slammene varierte fra 4,0 til 8,2 mg  $O_2$ /l. Tørrstoff- og glødetap-prøver ble tatt daglig. Til tross for at lufteren gav god omrøring av slammene, fikk man sedimentering på bunnen av dunken. Dette ser man av tørrstoffmålingene som sank fra 4,18% i begynnelsen av luftingen helt ned til 1,78% på slutten. Tre målinger av oksygenopptaket ble foretatt daglig, og gjennomsnittet av disse ble benyttet. Resultatene er vist i fig.19. Glødetapet ble redusert fra 66,4% til 57,4% under luftingen.

$$OUR_{maks} \quad 2,11 \text{ mg } O_2/\text{g FSS.h}$$

$$OUR_{min} \quad 0,90 \text{ mg } O_2/\text{g FSS.h.}$$

Konstanten A kan beregnes (likning b) ved å anta at slammene er 100% stabilt ved et oksygenopptak på 0,9 mg  $O_2$ /g FSS.h (etter 40 dager).

$$S = 100 \times A \left(1 - \frac{OUR_{m\ddot{a}lt}}{OUR_{maks}}\right) \quad (a)$$

$$100 = 100 \times A \left(1 - \frac{0,9}{2,11}\right) \quad (b)$$

$$A = \underline{1,74}.$$

Slamstabiliteten på anlegget beregnes så på grunnlag av de ukentlige målinger av temperatur og oksygenopptak i hvert av stabiliseringsbassengene. Man setter da den målte verdien (OUR) inn i likningen

$$S = 100 \times 1,74 \left(1 - \frac{OUR}{2,11}\right)$$

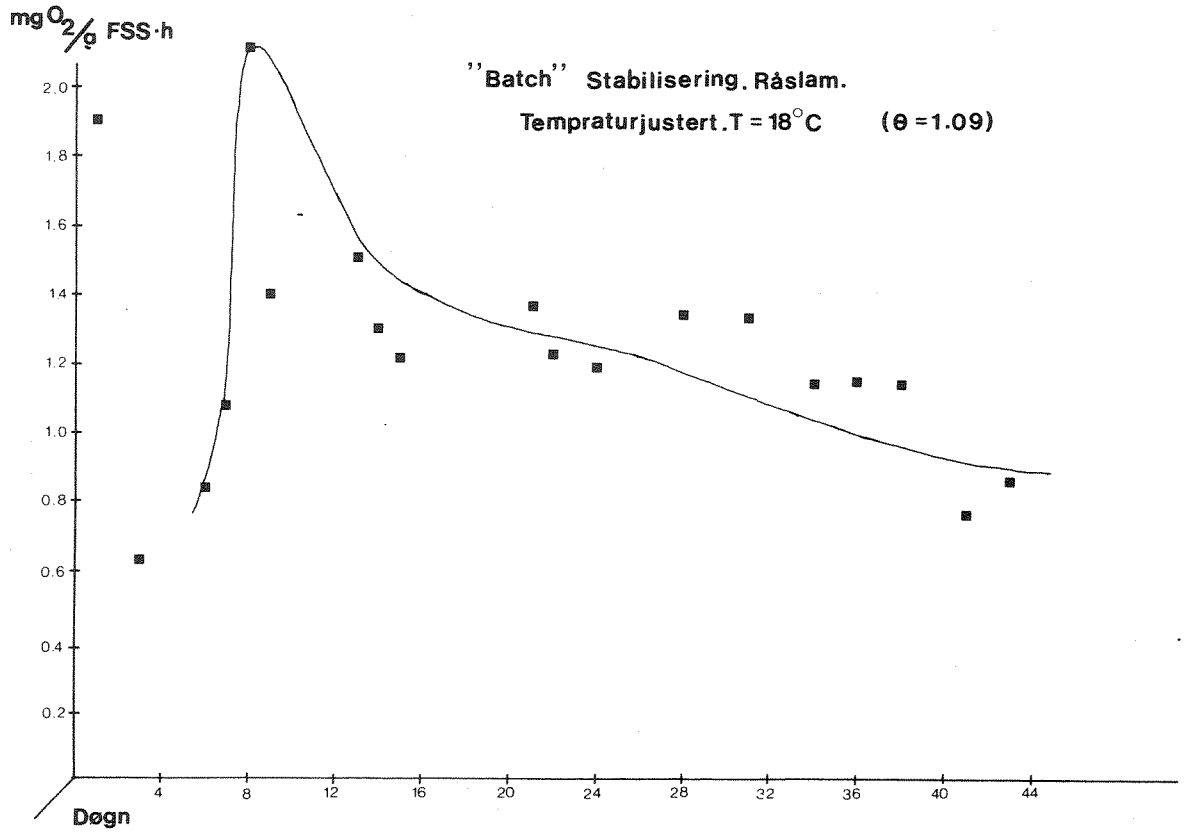
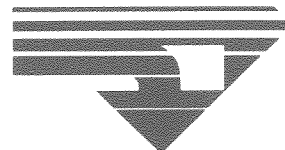


Fig. 19. Oksygenopptak i slamprøve ved 44 dagers opphold i luftet miljø.

# NTNF's UTVALG FOR DRIFT AV RENSEANLEGG



Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

|                         |   |                    |   |
|-------------------------|---|--------------------|---|
| <b>B-nr.</b>            | <b>Forsk.inst. navn</b>   | <b>NTNF-gruppe</b> | <b>Åpen/Foreløpig konfidensiell/Konfidensiell</b> |
| 1521.5969               | Utvalg for<br>drift av renseanlegg<br>P.b. 333 Blindern, Oslo 3 | 15                 | Åpen  |
| <b>Tittel</b>           | AEROB SLAMSTABILISERING<br>Driftserfaringer<br>Slamstabilitet   |                    |   |
| <b>Internt rapp.nr.</b> | HPD-07/76   |                    |   |
| <b>Forfatter(e)</b>     | Sivilingeniør Bjørn-Erik Haugan                                 |                    | <b>Antall sider</b><br>41                         |
|                         |   |                    | <b>Dato</b><br>Februar 1981                       |
| <b>Oppdragsgiver</b>    | NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg                           |                    |   |

## Referat, maks. 40 ord

Det er foretatt en driftsundersøkelse av 8 renseanlegg for å kartlegge praktiske erfaringer med aerob slamstabilisering. Videre er det foretatt en driftsoppfølging av to renseanlegg for å koble driftsdata sammen med slamkvaliteten. Det er foretatt materialbalanse gjennom stabiliseringstrinnet.

## 4 Emneord a maks. 23 karakterer

|                   |
|-------------------|
| Slamstabilisering |
| Driftserfaringer  |
| Stabilitetsmåling |
| Materialbalanse   |