

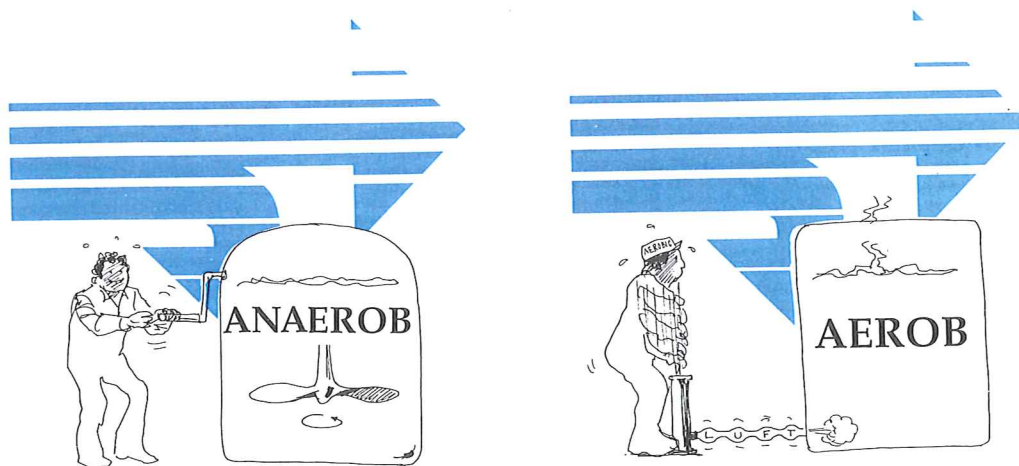
NORVAR NORVAR

20 A
1991

Prosjektrapport

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

Aerob og anaerob slambehandling



Norske VAR-selskapers forening

NORVAR-RAPPORT 20A

PROSJEKTET "SLAMBEHANDLING OG -DISPONERING VED STØRRE KLOAKK-
RENSEANLEGG". DELRAPPORT. AEROB OG ANAEROB SLAMBEHANDLING.

TRYKKFEIL

Side 19. Oppgitt råtnetankvolum FOA 1500 m³.
Skal være 2 x 2200 m³.

Side 42. Tilsvarende feil, vedlegg E, punkt 2 utvendig.
Råntetankvolum skal være 2 x 2200 m³.

EDB-ark.: 20A.SEM

NORVAR-RAPPORTER

NORVAR – Norske VAR-selskapers forening – har som formål å organisere samarbeide mellom norske VAR-selskaper i tekniske, økonomiske og administrative spørsmål og ivareta selskapers felles interesser.

Et ledd i arbeidet er utgivelsen av NORVAR-rapporter.

Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter/utredninger som er gjennomført og rapportert av en av medlemsbedriftene for eget bruk. NORVAR-rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet.
- Rapportering av prosjekter/utredninger som NORVAR har fått gjennomført.
- Rapportering av såkalte «spleiseprosjekter». Dette er prosjekter som to eller flere av NORVAR-medlemmene med felles problemstillinger har samarbeidet om for å få bedre utnyttelse av ressursene.

NORVAR-rapport

Norske VAR-selskapers forening

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

Rapportnummer:

20 A - 1991

Dato:

12. juli 1991

Antall sider (inkl. bilag)

53

Tilgjengelighet:

Åpen

Begrenset

Rapportens tittel:

Prosjektet "Slambehandling og -disponering ved større kloakkrense-
anlegg" AEROB OG ANAEROB BEHANDLING

Forfatter(e): Arbeidsgruppe bestående av Kjell Johnsen, Knut Lileng,
Leif Sigvaldsen, Ingar Næss, Olav Holdhus (sekretær)

Ekstrakt:

Prosjektet "Slambehandling og -disponering ved større kloakkrense-
anlegg" har som mål å sammenstille dagens kunnskap og erfaringer om
dette tema. Foreliggende rapoort er en av i alt 5 rapporter fra
prosjektet. Denne delrapporten beskriver kunnskap om aerob og
anaerob slambehandling samt pasteurisering. Det er blant annet gitt
tekniske og økonomiske data fra en del norske anlegg.

Emneord, norske: Kloakkslam
Aerob slambehandling
Anaerob slambehandling
Pasteurisering

Emneord, engelske: Sewage Sludge
Aerobic Treatment
Anaerobic Treatment
Pasteurizing

Andre utgaver:

82-414-0022-5

FORORD

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

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

Arbeidet har tatt utgangspunkt i

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

Prosjektet har vært organisert som vist i figuren nedenfor.

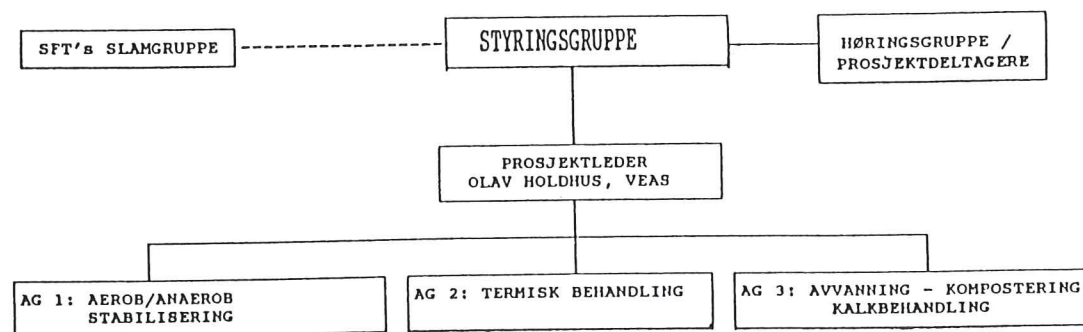


Fig. 1 Organisering av NORVAR-prosjektet P13 E. Utredning om slambehandling/-disponering ved større kloakkrenseanlegg

Styringsgruppen har hatt følgende sammensetning:

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

De 3 arbeidsgruppene har hatt følgende sammensetning:

Arbeidsgruppe for aerob/anerob behandling:

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

Arbeidsgruppe for termisk behandling:

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

Arbeidsgruppe for avvanning, kompostering, kalkbehandling:

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

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

Tabell 1. PROSJEKTDELTAGERE PR. 20.6.91

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

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

Det vil bli utgitt følgende rapporter fra prosjektet:

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

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

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

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

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

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

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

Ottestad, 12. juli 1991

Svein Erik Moen

INNHold

| | side | |
|----------|--|----|
| 1. | INNLEDNING | |
| 2. | <u>ANAEROB BEHANDLING</u> | 1 |
| 2.1. | PROSESS OG UTBREDELSE | 1 |
| 2.2. | FORMÅL MED BEHANDLINGSMETODEN | 1 |
| 2.3. | SLAM TIL BEHANDLING | 1 |
| 2.4. | SLAMKVALITET ETTER BEHANDLING | 2 |
| 2.5. | BEHANDLINGSTID OG DIMENSJONERING | 3 |
| 2.6. | UTFORMING AV ANLEGG | 3 |
| 2.6.1. | Råtnetanker | 4 |
| 2.6.2. | Inn- og utpumping | 5 |
| 2.6.3. | Oppvarming av slam til behandling | 5 |
| 2.6.4. | Omrøring | 6 |
| 2.6.4.1. | Sirkulasjonspumping | 7 |
| 2.6.4.2. | Gassomrøring | 7 |
| 2.6.4.3. | Propellomrøring | 8 |
| 2.6.4.4. | Kombinasjoner | 9 |
| 2.6.5. | Bufferlager | 9 |
| 2.6.6. | Anlegg for gasshåndtering | 9 |
| 2.7. | DRIFT OG KONTROLL AV PROSESS | 10 |
| 2.7.1. | Generelt | 10 |
| 2.7.2. | Surgjæring | 10 |
| 2.7.3. | Nitrogenhemming | 11 |
| 2.7.4. | Filleoppbygging | 11 |
| 2.7.5. | Flyteslam | 11 |
| 2.7.6. | Oppstart av utråtningsanlegg | 12 |
| 2.7.6.1. | Prøvekjøring og podemateriale | 12 |
| 2.7.6.2. | Igangkjøring etter lengere stopp | 12 |
| 2.7.7. | Bunnfall og flyteslam i tank | 13 |
| 2.7.8. | Avvanning | 13 |
| 2.7.9. | Termofil behandling | 13 |
| 2.7.10. | Utråtning av termisk behandlet slam | 14 |
| 2.8. | ENERGI | 14 |
| 2.8.1. | Energibehov | 14 |
| 2.8.2. | Gassproduksjon | 15 |
| 2.8.3. | Konvertering av gassenergi til varme | 16 |
| 2.8.4. | Konvertering av gassenergi til el. kraft | 16 |
| 2.8.5. | Varmevekslere | 16 |
| 2.8.6. | Energibalanse | 17 |
| 2.9. | ØKONOMI | 17 |
| 2.9.1. | Knarrdalstrand renseanlegg | 17 |
| 2.9.2. | FOA | 18 |
| 2.9.3. | SIA | 19 |
| 2.9.4. | Bekkelaget renseanlegg | 20 |
| 2.9.5. | Monserud renseanlegg | 21 |
| 2.9.6. | Gjernesmoen renseanlegg | 22 |
| 2.9.7. | VEAS | 23 |
| 2.9.8. | HIAS | 23 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3. | <u>AEROB BEHANDLING</u> | 25 |
| 3.1. | PROSESS OG UTBREDELSE | 25 |
| 3.2. | MER OM PROSESSENE | 25 |
| 3.3. | SLAMKVALITET FØR BEHANDLING | 26 |
| 3.4. | SLAMKVALITET ETTER BEHANDLING | 26 |
| 3.5. | BEHANDLINGSTID OG DIMENSJONERING | 27 |
| 3.6. | LUFT/OKSYGENBEHOV | 28 |
| 3.7. | OPPBYGGING OG UTFORMING AV ANLEGG | 28 |
| 3.8. | DRIFT OG KONTROLL AV PROSESS | 29 |
| 3.8.1. | Aerob stabilisering | 29 |
| 3.8.2. | Aerob termofil prosesser | 30 |
| 3.8.3. | Avvanning | 30 |
| 3.9. | ENERGIPRODUKSJON OG EFFEKTBEHOV | 30 |
| 3.10. | ØKONOMI | 31 |
| 4. | <u>PASTEURISERING</u> | 32 |
| 4.1. | PROSESS OG UTBREDELSE | 32 |
| 4.2. | FORMÅL MED PROSESSEN | 32 |
| 4.3. | SLAMKVALITET FØR BEHANDLING | 33 |
| 4.4. | SLAMKVALITET ETTER BEHANDLING | 33 |
| 4.5. | OPPBYGGING OG UTFORMING AV ANLEGG | 33 |
| 4.6. | DRIFT OG KONTROLL AV PROSESS | 33 |
| 4.7. | ENERGI | 34 |
| 5. | <u>KONKLUSJONER - NYE PROBLEMSTILLINGER</u> | 35 |
| 6. | <u>LITTERATUR, KILDER</u> | 36 |
| 7. | <u>VEDLEGG A - G</u> | 38 |

1. Innledning

Arbeidsgruppen innen aerob og anaerob slambehandling har bestått av:

Kjell Johnsen, Sarpsborgdistriktets interkommunale
(gruppeleder) avløpsselskap (SIA)

Knut Lileng, Fredrikstad og omegn avløpsanlegg
(FOA)

Leif Sigvaldsen, Knarrdalstrand kloakkrenseanlegg,
Porsgrunn/Skien

Ingar Næss, Oslo vann- og kloakkverk (OVA)

Olav Holdhus, Vestfjorden avløpsselskap (VEAS)
(prosjektkoordinator, rapportforfatter)

Arbeidsgruppen har i prosjektperioden avholdt alt 8 møter og befaringer.

Innenfor gruppearbeidets ramme har en ialt besøkt 5 norske renseanlegg samt et svensk anlegg. I tillegg har enkeltmedlemmer av gruppen besøkt andre anlegg.

I tillegg til aerobe og anaerobe slambehandlingsmetoder er tatt inn et eget kapittel om pasteurisering.

Selv om ikke stabilisering og hygienisering er entydige og klart definerte begreper, er dette nyttet i forbindelse med henholdsvis luktreduksjon og smitte/hygieneforhold.

Ts er nyttet som forkortelse for tørrstoffinnhold.

2. ANAEROB BEHANDLING (utråtning)

2.1. Prosess og utbredelse

Anaerob behandling av slam er en biologisk prosess uten tilgang på luft. Prosessen er betinget av lukkede rom og varmetilskudd (endoterm). Optimale temperaturer er 30-40 °C (mesofil) og 45-65 °C (termofil). Under prosessen brytes organisk materiale ned slik at muligheten for mikrobiologisk aktivitet med luktutvikling reduseres betydelig i behandlet slam (stabilisering). I prosessen dannes brennbar gass (biogass) med høyt innhold av metan. Det kan oppnås 30-55 % nedbryting av organisk materiale i prosessen eller i størrelsesorden 20-35 % reduksjon av totalt slamtørrstoff.

Den biologiske omsetningen starter ved at det dannes flyktige fettsyrer fra det organiske materiale. Etter en kjede med biologiske prosesser blir materialet til slutt brutt ned av metanogene bakterier som produserer metan og karbondioksyd.

Slambehandlingsmetoden fikk gjennomslag som stabiliseringsmetode i forbindelse med energikrisen i begynnelsen av 70-årene.

De aller fleste renseanlegg med anaerob behandling av slam har utråtning i det mesofile temperaturområdet.

En kjenner kun få anlegg med termofil behandling. Disse finnes i Los Angeles, Buffalo (5700 m³), Detroit (8500 m³), alle USA samt i Mogden (3800 m³), Storbrit., og i Moskva (1).

2.2. FORMÅL MED BEHANDLINGSMETODEN

Ved behandling i mesofilt område oppnås stabilisering (lukt-reduksjon) i disponeringssammenheng både i nylig behandlet slam og ved lagring.

I SFT's forslag til nye retningslinjer for behandling og disponering av slam settes det krav om minstemperatur på 30 °C for at behandlingsmetoden skal kunne kalles stabiliserende.

Ved behandling i det termofile området oppnås stabilisering og hygienisering. I følge forslaget over settes krav til oppholdtid på 10 timer ved 55 °C for hygienisering.

Biogassmengden som produseres er tilstrekkelig energikilde for oppvarming av slam til behandling i store deler av året ved mesofil behandling. I utlandet finnes flere eksempler på anlegg som går med energioverskudd hele året.

Et viktig formål ved behandlingen er vekt og volumreduksjon av slam til disponering.

2.3. SLAM TIL BEHANDLING

Innhold av lett omsettelig organisk materiale i slam er en forutsetning for prosessen. Dess høyere innholdet er av fett og andre lettomsettelig stoffer er, dess raskere går prosessen med til-

hørende økt gassproduksjon. Erfaring fra flere anlegg bekrefter dette. Ved et norsk anlegg har innmating av flyteslam vist økende gassproduksjon etter 5-6 timer (2). I et svensk anlegg har tilførsel av avfallsfett fra margarinfabrikk stor gunstig innflydelse for prosesessen (3).

Utenlandske erfaringer viser at tilføring av slam med toksisk innhold kan redusere prosessaktiviteten. En har foreløpig ikke slike erfaringer i Norge.

Ut fra driftsmessige hensyn bør slammet ha minst mulig innhold av materiale som lett gir bunnfall (sand, grus, m.v.) og materiale som kan føre til tilstoppinger samt flyteslam.

Slam etter mekanisk/kjemisk felling er som regel lettere å fortykke enn biologisk slam (4).

Ts-prosent i slam til behandling bør optimalisere ut fra behandlingsvolum, omrøring, skumdannelse, omrøring, varmeveksling m.v. Ideelt synes å være 6-7 % ts i innpumpet slam (5).

2.4. SLAMKVALITET ETTER BEHANDLING

Stabiliseringen innebærer at en stor del av organisk materiale brytes ned. Erfaring har vist at slam er godt stabilisert ved omlag 50 % nedbrytning av organisk materiale (5).

Erfaring har vist at slam felt med PAX, utrånnet etter aerob termofil behandling og avvannet, har umuliggjort disponering til jordbruket (6). Etter kort tids lagring har slammet dannet en hard struktur som har umuliggjort spredning. Ved overgang til jernklorid, opphørte problemene. Årsaken er ikke klarlagt.

Plantenæringstoffene i slammet tapes ikke ved behandling, men en viss omforming finner sted. Dette gjelder særlig nitrogen. Nitrogen i slam etter kjemisk felling er for en stor del bundet organisk. Under behandlingen går mye av dette over til fri ammonium. Denne bindingsformen øker nitrogentilgjengeligheten for planter. Nitrogen i ammoniumsform medfører større mulighet for tap til luft og vann enn organisk bundet nitrogen.

Det er lite som tyder på at fosforforbindelser etter kjemisk felling endres i særlig grad under anaerob behandling. Fosforet i slam etter kjemisk felling er sterkt bundet. Det er ikke vanlig å regne med særlig virkning av fosfor første året etter spredning i jordbruket (7).

Slammets jordforbedrende evne er for en stor del relatert til innholdet av organisk materiale. Etersom prosessen forbruker organisk materiale, tapes noe av denne effekten. Hovedsaklig forbrukes lettomsettelige stoffer. Hvorvidt jordforbedrende evne er mindre enn lagret råslam har en ikke grunnlag for å si noe om.

Omsetningen av organisk materiale øker konsentrasjon av ikke nedbrytbare stoffer som tungmetaller m.v. I forslag til nye retningslinjer skjerpes kravet til slikt innhold. Ved enkelte norske anlegg kan dette skape problemer med hensyn til cadmiuminnhold sett i lys av hoveddisponering til jordbruk.

Pga lang behandlingstid er det relativt små variasjoner i stofflig sammensetning.

Utråtnet slam er ikke luktfritt. Godt utråtnet slam lukter kun på nært hold.

2.5. BEHANDLINGSTID OG DIMENSJONERING

Med behandlingstid menes forventet tid fra innmating til uttak av en tenkt slammengde.

Behandlingstiden kan i det mesofile området være fra 12-30 døgn, avhengig av intensiteten i behandlingen, forbehandling samt ønsket nedbrytingsgrad. I det termofile området kan en regne halv behandlingstid (4), men her er motstridende oppfatninger.

I det mesofile området er det i den senere tid oppnådd tilfredstillende utråtning under 10 dager forutsatt: 1. Konstant temperatur i hele tanken, 2. Konstant høyt tørrstoffinnhold i alle deler av tanken, 3. Forvarming av fortykkerslam før innmating, 4. Samblending av fortykkerslam og utråtnet slam i forholdet 1:2 før innmating, 5. Fullstendig omrøring umiddelbart etter innmating, 6. Unngå kortslutningstrømmer og dødsoner i tanken (5).

Ved dimensjonering av et utråtningssanlegg teller slamtilførsel, variasjon i slammengde, tørrstoffinnhold i slam, variasjon i tørrstoffinnhold, behandlingstid m.v.

Et utråtningssanlegg dimensjoneres gjerne ut fra maksimal slammengde i 7-8 sammenhengende døgn (8). I tillegg må lokale forhold og størrelse på bufferkapasitet vektlegges.

Med hensyn til god volumutnyttelse og krav til oppvarmingsenergi er det ønskelig med høyt tørrstoffinnhold i inngående slam. Dette må imidlertid optimaliseres i forhold til andre funksjoner i et anlegg.

Skal det ledes inn tykt slam f.eks. med $ts > 8\%$ bør tanken utformes slik at væskeoveflata blir stor. På den måten blir gassgjennomgangen pr. arealenhet mindre slik at stor skumdannelse kan unngås (5).

Ved dimensjonering bør også opphoping av bunnfall og flyteslam vektlegges. Likeledes bør reservekapasitet ved avbrudd m.v. vurderes ved dimensjonering.

2.6. UTFORMING AV ANLEGG

I et utråtningssanlegg inngår:

1. Råtnetanker
2. Inn- og utpumping av slam
3. Oppvarmingssystem
4. Omrøringssystem

5. Bufferlager for slam før/etter behandling

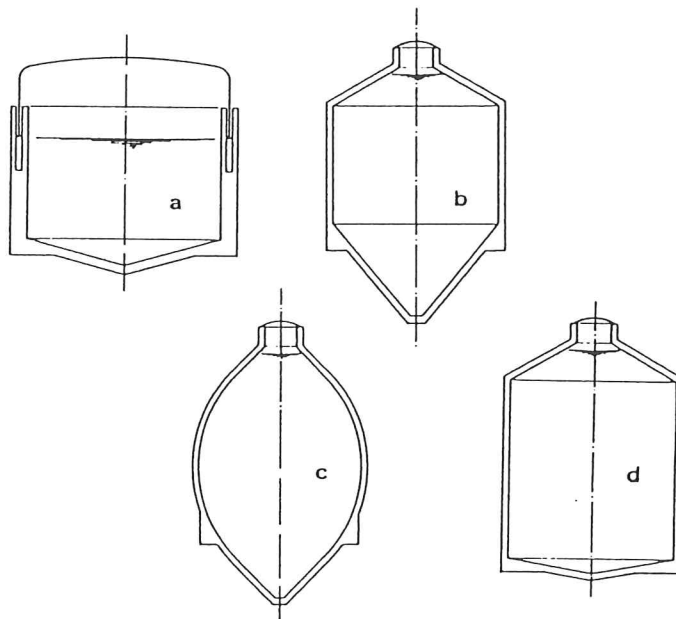
6. Anlegg for gasshåndtering
- gasslager
 - energiomforming av gass
 - gassfakkell

2.6.1. Råtnetanker

Det er vanlig med semi-kontinuerlig prosess dvs. porsjonsvis ut- og innpumping med jevne mellomrom.

Utråtningsanlegg kan bygges opp med serie- eller parallellkoblede tanker.

De fleste utråtningstanker er utformet som sirkulære opprettstående sylindere. Forholdet mellom diameter/høyde varierer. Utenlandske anlegg med flate brede tanker har sjelden større diameter enn 40 meter (9). Høye slanke tanker kan ha total byggehøyde på 40 meter.



Figuren viser ulike utforminger av råtnetanker (5).

- a = anglo-amerikansk
- b = konvensjonell europeisk
- c = eggformet
- d = europeisk flatbunnet

Tilgjengelig areal, grunnforhold, arkitektoniske forhold, kan ha betydning for utforming av behandlingsanlegget. Ved flere anlegg er vesentlige deler av tankvolumet nedgravd.

Utformingen i bunn og topp varierer. Kon topp gir mulighet for oppsamling av flyteslam i en liten flate. Dette gir god mulighet for fjerning av flyteslam, (f.eks. ved slusing) men også større fare for skumproblem. Kon utforming i bunn med brattere vinkel enn 60 gr. gir god mulighet for kontinuerlig uttak av slam uten opphopping (10).

Erfaring viser at anlegg med to seriekoblede tanker har størst omsetning/gassproduksjon i første tank. Gassproduksjonen i første tank kan være 80-85 % av total produksjon (11).

Utforming med seriekoblede tanker sikrer mot kortslutningseffekt dvs. utpumping av ubehandlet slam.

Med to tanker er behovet for reservekapasitet ivaretatt i fall avbrudd i en tank. Romslig dimensjonering gir også mulighet for å sette en av tankene ut av drift i perioder med liten slamtilførsel for ettersyn/kontroll.

Med tanker i parallell kan under gitte betingelser behandlingsskapasiteten økes noe. Ved et norsk anlegg koblet en om til paralleldrifft etter utvidelse med kjemisk rensetrinn (12). Målsettingen med dette var å oppnå tilstrekkelig behandling uten å foreta utvidelser av tankvolum.

Behandlingstanker bygges både i stål og betong. Et norsk anlegg med 25 år gamle betongtanker viste ved nylig inspeksjon små endringer i innvendig betongoverflate (12).

Ved utforming bør uttak for bunnfall og flyteslam vektlegges.

2.6.2. Inn- og utpumping

I en utråtningsstank vil det alltid være en liten andel ubehandlet slam. For at utpumpingen av ubehandlet slam skal bli minst mulig og faren for "kortslutning" bli minst mulig er vanligvis inn- og utpumping plassert henholdsvis i topp og bunn. En ytterligere sikring mot "kortslutninger" er å stoppe omrøringen under inn- og utpumping (6). Ved semikontinuerlig drift bør utpumping foretas før nytt slam tilføres.

Ved inn- og utpumping vil trykket i tanken variere. Dette betyr at det finnes en trykkutjevningssenheter for gass f.eks. gasslager. Det er registrert at gasslekkasjer kan oppstå via vannlåser, overløp etc. i tilfelle trykket i tanken varierer mye (6). Et ukontrollert gasstap kan skape brannfare.

Ved utpumping til atmosfæretrykk fra bunnen av tanken vil gass frigjøres fra massen. Dette betyr at slampumpen plasseres nært og i høyde med uttakspunktet. Det bør alltid være et system gassavskilling før avvanning (12,3).

Det har vist seg fordelaktig med en stempelpumpe for uttak av problematisk og seigt slam ved bunnskiktet (8).

2.6.3. Oppvarming av slam til behandling

Med de store energimengdene som kreves ved oppvarming av slam, må oppvarmingssystemet tillegges betydning.

Ideelt for den biologiske prosessen er at slammet har tilnærmet behandlingstemperatur ved innpumping i tanken.

Slam fester seg lett til varme flater ("brenner fast"). Temperaturgradienter vesentlig større enn 15 grader mot varme flater er derfor ikke ønskelig (13).

I prinsippet kan varmeenergi tilføres slammet på flere måter.

1. Oppvarming av slam til noe over behandlingstemperatur før innpumping i tank.
2. Oppvarming i sirkulasjonskrets
3. Ubehandlet slam tilsettes sirkulasjonskretsen før varmetrinn
4. Oppvarming direkte på tanken
5. Kombinasjonsløsninger av ovennevnte

Tilføring av energi kan skje direkte eller indirekte. Indirekte oppvarming foregår oftest med varmevekslere der vann er varmebærer. Det nyttes rørvarmevekslere, platevarmevekslere eller spiralvarmevekslere. Varmeveksling med slam setter store krav til styring og kontroll for å unngå fastbrenning. Likeledes er det viktig at slammet er mest mulig homogent med lavt innhold av uønsket materialer for å unngå tilstopping og slitasje. Enkelte varmevekslertyper har lett for å ta skade ved trykkstøtbelastninger (3).

For å redusere fastbrenning bør temperaturgradientene ved varmeveksling tillegges vekt. Slam bør ikke utsettes for høyere temperatur enn 65-70 °C (32). I varmeveksleren bør slammet være i bevegelse. Faren for fastbrenning øker med høyere tørrstoffinnhold. Erfaring fra et svensk anlegg tilsier at slam til varmeveksling ikke bør ha høyere ts-innhold enn 5 % (3).

Direkte oppvarming skjer ved innblåsing av damp rett i massen, før innmating eller direkte i tanken. Kondensert damp øker væskemengden i størrelseorden 3-5 % (8). Metoden innebærer forbruk av rent vann fra dampkjel.

Som regel nyttes utråtningsgass som energikilde for oppvarming av slam. Ved brenning i kjele kan 80-85 % av gassens brennverdi nyttes til oppvarming.

Med en stadig økende fokusering på energiforbruk har det etterhvert blitt vanlig med varmeveksling mellom inn- og utgående slam. Et effektivt varmevekslingsystem kan redusere energibehovet for oppvarming med 50-60 %.

2.6.4. Omrøring

Omrøringens funksjoner er å sørge for homogene forhold i tanken, hindre at partikler bunnfeller og sørge for tilstrekkelig innblanding av flyteslam. En indikasjon på dårlig omrøring kan være ujevn gassproduksjon. Uten omrøring dannes bunnfall på tanken og flyteslam i væskeoverflata. Bunnfallet blir etterhvert svært seigt og vil være vanskelig å ta ut. For å unngå bunnfelling bør hastigheten i slammet nær bunnen være 0,4-0,6 m/s (9). Bunnfelling er vanskelig å kontrollere. Flyteslamdannelse vil en kunne registrere via inspeksjonsvindu på toppen av tanken.

De mikrobielle prosessene i anlegget er ikke direkte avhengig av omrøring, men god omblending av massen vil skape jevne forhold og prosessene vil fremskyndes.

Valg av omrøringsystem er avhengig av tankens/tankenenes utforming, ts i slam, behandlingstid m.v. Erfaring tilsier at omrøringsbehovet ikke bør undervurderes (3,11,12).

Effektbehov ved ulike omrøringsystem ved forskjellige anlegg er gjenngitt i vedlegg A.

2.6.4.1. Sirkulasjonspumping

Ved sirkulasjonspumping pumpes slammet så og si kontinuerlig ut fra bunnen av tanken for å ledes inn ved toppen. Ved pumping av slam fra bunnskiktet bør det velges robuste pumper. Bevegelsen i massen på bunnen begrenses til suget ved innløpet til pumpeledning. Det er mye som tyder på at sirkulasjonspumping alene ikke er tilstrekkelig mht. opphoping av bunnslam. Erfaringer fra to norske anlegg tyder på dette (11,12).

Sirkulasjonspumping kombineres ofte med oppvarming. Kretsen utstyres da med varmeveksler(e).

Tanker med sirkulasjonspumping bør ha sterk konet bunn dvs. omlag 60° vinkel for å redusere opphoping av bunnfall (10).

Ved uttak av slam fra bunnen kan gass frigjøres når trykket i massen reduseres. Sirkulasjonspumpen bør derfor være plassert i nivå med uttaket.

Sirkulasjonspumping er forholdsvis energikrevende. En bør regne et sirkulasjonsbehov på 10 ganger tankvolumet pr. døgn (10).

Nyttes sirkulasjonspumping for oppvarming/vedlikeholdsvarme/ kontroll er vanligvis rundpumping av 1 tankvolum pr. dg nok (10).

2.6.4.2. Gassomrøring

Prinsippet går ut på å blåse inn produsert utråtningsgass ved bunnen i behandlingstanken. Produsert gass tas da fra gasslager, ledes til en gasskompressor/blåsemaskin for innblåsing ved bunnen via dyser (f.eks seksjonvis koblet).

Gassboblene inn vil pga. oppdriften stige til overflaten og sørge for bevegelse i slammassen. Med et godt dimensjonert anlegg er det mulig å oppnå betydelig omrøring i massen. Anlegget kan da kjøres i intervaller med f.eks. omrøring i 1 time og et opphold på 5 timer (10).

Gassomrøring krever mye effekt ved kontinuerlig drift, men ved intervalldrift vil effektbehovet være som for sirkulasjonspumping (eks. 5-6 W/m³) (10).

Ettersom gassen må sirkulere i egen krets via lager og kompressor/blåsemaskin m.v. stilles bestemte krav mht. brann- og eksplosjonsvern.

Gassblåserørene kan ledes inn slammassen på ulike måter. Velges en innføring ved tankens bunn kreves solide tilbakeslagordninger for å hindre at slam trykkes tilbake i blåserørene. Et alternativ til dette kan være et rørsystem ned fra toppen av tanken.

Ved gassomrøring kan en være mer utsatt for skumdannelse enn ved andre omrøringsprinsipper.

2.6.4.3. Propellomrøring

Prinsippet går ut på at slamassen settes i kontinuerlig bevegelse ved direkte påvirkning av propell inne i tanken.

En vanlig løsning er å ha to saktegående propeller montert på en sentrisk vertikal aksling. Akslingen drives av elektrisk motor på toppen av tanken og er fritthengende.

Den største propellen roterer et par meter over tankbunnen og en mindre propell like under slamoverflaten ved toppen for å hindre opphoping av flyteslam. Bladene på bunn- og topppropell har samme vridning.

Fra leverandører anbefales å installere s.k. bafler i tankveggen i høyde med nederste propell for å skape god bevegelse (14).

I nye anlegg med dette prinsippet er gjerne bunnen av tanken plan eller svakt konet med fall mot sentrum. Prinsippet er ikke særlig anvendbart i tanker med sterkt konet bunn. I slike tanker oppnås ikke tilstrekkelig hastighet i slammet nede i konen (3).

Prinsippet stiller krav til forholdet mellom tankens diameter og høyde, som bør være i området 1 - 1,3 (14).

I tillegg er det begrensninger i tankens høyde og volum. Det finnes eksempler på tanker med volum på 10.-12.000 m³ som har eller velger dette som hovedprinsippet.

Propellakslinger med lengde over 17-18 meter krever fordyrende spesialkonstruksjoner (3). Maksimal propelldiameter kan ligge i området 8-9 meter (15).

Produsenter opplyser at prinsippet er best egnet for ts-verdier i området 5-7 %, men kan godt produseres for ts-prosenter opp mot 10 (14,15).

Omrøringsprinsippet er basert på kontinuerlig drift og ikke tidvis kraftig omrøring. Stoppes propellen ved inn- og utpumping bør motoren forsynes med mykstartfunksjon (6). Det kan være en ulempe at prinsippet krever bevegelige tanker inne i tanken.

Propellomrøring krever lite effekt dvs. 2-3 W/m³ (2,3,6,16).

2.6.4.4 Kombinasjoner

Et svensk anlegg (3) installerte ved bygging tre ulike prinsipper for omrøring; propellomrøring med hurtiggående propell montert i sentrisk sirkulært rør, sirkulasjonspumping og gassomrøring. Første alternativ er nå forlatt til fordel for langsomtgående fritthengende propell. En mener her at kombinasjonen med kontinuerlig propellomrøring og temporær gassblåsing (1 time/dg) gir en god omrøring. Bunn- og flyteslam tømmes hvert 5. år.

Et annet svensk anlegg (16) bygger nå to tanker a 12.000 m³

som baseres på saktegående propellomrøring. I tillegg klargjøres anlegget med dysesystem for gassblåsing i den plane bunnen.

Et norsk anlegg (17) installerte ved bygging i 1975 sirkulasjons-pumping og gassomrøring. Det har ikke vært problemer med bunnslam, men i toppen som er et flytende gasslager mener en å ha registrert oppbygging av flyteslam.

2.6.5. Bufferlager

Med henblikk på stabile forhold i prosessen bør anlegget ha kapasitet for utjevning av slamtilførselen.

Behovet for bufferkapasitet er avhengig av dimensjoneringen av behandlingstanken og behandlingstid. Ved rikelig behandlingsvolum og lang behandlingstid kan mye av bufferkapasiteten ligge i behandlingstanken. En slik løsning innebærer at nivået i tanken vil variere noe som må vektlegges i gasslagersammenheng. Snever dimensjonering og kort behandlingstid betinger et bufferlager utenfor behandlingstanken.

Såfremt målsettingen er å oppnå en jevn eller programmessig avvanning/utkjøring av slam bør også bufferkapasitet etter utråtning vektlegges. Dette kan kombineres med gassavskilling og lufting for å stoppe biologisk omsetning.

2.6.6. Anlegg for gasshåndtering

De aller fleste anlegg har eget gasslager for utjevning av gassproduksjon og forbruk av gass trykk. Ved temporær kraftig omrøring f.eks. gassomrøring vil det frigjøre mye gass over et kort tidsrom noe som bør tas hensyn til ved dimensjonering av gasslager. Er det behov for å variere nivået i utråtningstanken bør dette også tas hensyn til ved dimensjonering av gasslager. Overtrykk i gasslager og utråtningstank kan være i området 20-40 mBar. Trykket på tanken er uten betydning for biologiske prosesser (18). Ut fra energiøkonomiske betraktninger har et gasslager svært begrenset interesse. Et stort gasslager er ikke lønnsomt ut fra dagens energipriser ettersom byggekostnadene blir urimelig store i forhold til energimessig besparelse.

I forbindelse med gasshåndteringen forutsettes en fakkell som gir mulighet for avbrenning av gass i perioder med større gassproduksjon enn energibehovet tilsier. Ettersom gassproduksjonen er kontinuerlig og ikke kan stoppes, har fakkelen også en viktig funksjon ved maskinelt avbrudd av ulik karakter.

Det er vanlig å nytte utråtningsgassen som brennstoff for fyrkjele. Ofte er brenneren i fyrkjelen en kombinasjonsbrenner for både olje og gass. I tillegg til slamvarming er fyrkjelen hovedvarmekilden for hele renseanlegget. En regner vanligvis at 80-85 % av gassens brennverdi kan omformes til nyttbar varmeenergi ved brenning.

I Norge finnes ennå ikke egne forskrifter for gasshåndtering i utråtningsanlegg. Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern har utarbeidet en veileder ved bygging av utråtningsanlegg.

Andel metan i luft i området 5,6-13,3 volumprosent gir eksplosiv blanding (5).

2.7. DRIFT OG KONTROLL AV PROSESS

2.7.1. Generelt (mesofilt temperaturområde)

Ved drift av anaerob prosess bør en legge vekt på jevn innmating av slam både m.h.t. mengde og tørrstoffinnhold. Dette er viktig for biologiske prosesser og effektiv utnyttelse av behandlingsvolumet.

Ved kontroll gir gassproduksjonen og gassens sammensetning en god indikasjon på hvordan prosessen fungerer.

Målinger direkte i slam til behandling kan være problematisk med hensyn til å ta ut representative prøver, men er den eneste måten å foreta god kontroll på.

Ved måling av slam bør pH, alkalitet og innhold av flyktige fettsyrer undersøkes. Ph bør ligge innenfor området 6,9-7,5, alkaliteten bør være i området 3000 mg HCO₃/l (2000 regnes som lavt), bikarbonatalkaliteten bør være over 1500 mg HCO₃/l og innholdet av innholdet av flyktige fettsyrer må ikke overstige 300 mg HAC/l (< 200 mg HAC/l regnes som bra) (19,20). En kjenner ikke til evt. forskjeller mellom kjemisk og biologisk slam. Ved drift og kontroll er det viktigst å følge med endringene i ovennevnte parametere (33).

I praktisk drift av utråtningsanlegg er det som regel temperaturen som blir fulgt opp. Endringer i temperaturen påvirker mikrobielle prosesser, viskositet, m.v. Ved temperaturfall registreres lavere gassproduksjon. Temperaturvariasjon på døgnbasis bør ikke være mer enn +/- 1 °C.

2.7.2. Surgjæring

Mates et utråtningsanlegg med for mye slam i forhold til "tålegrensen for biologiske prosessene, kan anlegget gå "surt". Dette kalles surgjæring og er forårsaket for lav pH. Surgjæring har vist seg vanskelig å påvise ved pH-målinger i slam (3).

Forenklet fremstilt skjer dette ved at første ledd i prosessen, hydrolysen, dvs. danning av flytende fettsyrer, skjer raskere enn det de metagonene bakteriene er i stand til å produsere gass. Blir syrenivået for høyt, synker pH og metanproduksjonen hemmes.

Bikarbonater som dannes i prosessen har en viss bufferevne. Denne bufferevnen er liten og tåler ikke store variasjoner i slamtilførselen. Ved surgjæring vil denne alkaliteten være oppbrukt. Er situasjonen oppstått kan det ta omlag en måned før prosessen igjen fungerer (6) uten kunstige tilsetninger. En metode for å få igang anlegget er å tilsette kjemikalier (kalk, lut, soda m.v.) for å regulere pH opp til riktig nivå (3).

Registreres lav pH samtidig med lav gassproduksjon uten temper-

raturendringer indikerer dette surgjæring. Innpumping av slam bør da stoppes og omrøringen intensiveres.

Det finnes eksempler på renseanlegg som tar jevn innmating såpass alvorlig at overskytende mengder blir avvannet uten behandling.

2.7.3. Nitrogenhemming

Nitrogenhemming ved anaerob behandling av organisk materiale er et kjent fenomen. Faren for nitrogenhemming øker med nitrogenmengden i materialet til behandling. Fenomenet er kjent fra behandling i termofilt område (21) og ved behandling av husdyrgjødsel (20). Det tillegges også noe vekt ved mesofil behandling av biologisk slam, men har neppe betydning ved behandling av kjemisk slam ettersom nitrogeninnholdet er lavt.

2.7.4. Filleoppbygging

Erfaring viser at pumping og annen mekanisk håndtering av slam medfører ansamling av "filler" ved og rundt bevegelige deler. Fillene består av lange fiber (f.eks. tøyrester, hår, etc.) som kittes sammen med den øvrige massen og danner "knuter" med harde strukturer. Dette være årsak til store driftsproblemer.

For å redusere faren for filleoppbygging bør slammet håndteres på en skånsom måte med et minimum av mekaniske påvirkninger.

En ytterligere sikring vil være å skille ut, kutte eller knuse uønsket materiale. Utskilling kan foretas med slamsil f.eks. montert ved utgang fortykker. Slamsilen bør tilpasses slik at hverken for lite eller for mye siles fra. Driftserfaring viser at slamsil med 2 mm åpning kan frasile opptil 20-25 % av ts målt i forhold til totalinnhold i slam (6).

En oppkutting eller knusing i h.h.v. slamkutter (Monomuncher) eller slamkvern reduserer også filleoppbyggingen.

2.7.5. Flyteslam

I vannrensingen tas som oftest flyteslammet av med egne avskrapere for siden å bli blandet inn i slam. Flyteslammet består av fett, plast, Q-tips og annet stoff som flyter i vann.

Ved å pumpe blandingen til utråtning vil fettene gi opphav til større gassproduksjon. De øvrige bestanddelene kan føre til flyteslamdannelse i tanken samt filleoppbygging.

Ideelt burde fettene vært fraskilt for disponering til utråtning uten medfølgende uønsket materiale.

Det finnes også anlegg med kvern el. kutter som behandler fortykkerslam og flyteslam under ett for deretter å lede alt til utråtning. En slik behandling sikrer at fettene i flyteslam utnyttes. Hvorvidt kutting eller knusing reduserer dannelsen av flyteslam dannelsen i utråtningstanken er ukjent.

Et norsk anlegg (2) mener å ha redusert oppbygging av filler

og flyteslam til et minimum ved å ta ut mest mulig av større bestandeler ved rist (Step-screen, 6 mm). Step-screen går med liten hastighet slik at det får bygge seg opp et dekke. Dette forsterker silfunksjonen. Videre har anlegget installert en slamkvern for fortykkeslam.

Et svensk anlegg (3) med gjenntettingsproblemer i varmeveksler og mye uønsket materiale i flyteslam installerte for noen år siden slamkutter. Resultatet var ikke tilfredstillende og utstyret er nå tatt ut av bruk. Det satses heller på slamsiling etter sedimentering. Det må presiseres at anlegget har maskinrister med 16 mm åpning.

2.7.6. Oppstart av utråtninganlegg

2.7.6.1. Prøvekjøring og podemateriale

Før oppstarting kjøres vanligvis behandlingsanlegget med vann. Det kan f.eks. nyttes rensset avløpsvann eller rejekt-/filtratvann. I vann med riktig behandlingstemperatur tilsettes utråtnet slam (podeslam) fra et annet anlegg for å etablere den riktige bakteriefloraen. Erfaringer fra middelstore norske anlegg viser at et tankbillass med podeslam er tilstrekkelig. Etter at podingen har funnet sted tilsettes etterhvert fortykkeslam. Full utråtning vil ikke være etablert før etter 3-4 måneder.

Under oppstart av et anlegg vil det være en blanding av biogass og luft i tanken. Denne gassblandingen er meget eksplosiv. Et tiltak for å redusere faren for eksplosjon kan være å fylle tanken med inertgass f.eks. nitrogen, karbondioksyd før oppstart. Det kan nevnes at Bekkelaget ved oppstart av en tank høsten 90 nyttet nitrogengass for omlag 60.000 kroner. Hvorvidt røykgasser fra forbrenning kan nyttes til dette formålet er ikke klarlagt.

Har anlegget hygieniseringsanlegg bør ikke infisert slam ledes i rør eller til tanker/lager som kan føre til gjennsmitting (kontaminering) av slammet. Enkelte nye norske anlegg (2,6) med hygienisering el. pateurisering før utråtning har problemer med kontaminering. Fullstendig årsakssammenheng og fullverdige motiltak er foreløpig ikke funnet.

2.7.6.2. Igangkjøring etter lengere stopp

Ved igangkjøring etter tømning av utråtningstank har det vist seg hensiktsmessig å fylle tanken med rejektvann etter avvanning av utråtnet slam. Dette forutsetter minst to utråtningstanker. Bekkelaget renseanlegg nyttet denne metoden ved oppstart etter tømning høsten 1990 med godt resultat.

På tilsvarende måte som ved oppstarting av et nytt anlegg bør inertgass tilføres tanken for å unngå eksplosjonsfare.

Erfaring viser at fulle utråtningstanker kan være ute av drift i lengere tid og likevel gassproduksjon på normalt nivå etter kort tid. Under ombygging av et norsk anlegg (17) var utråtningstanken ute av drift i 2 år uten omrøring og varming. Gassproduksjonen kom forholdsvis raskt igang.

2.7.7. Bunnfall og flyteslam i utråtningstank

Utover det materiale som følger med slammets til behandling, vil slammets under den biologiske omsetningen endres i struktur, noe som kan påvirke både flyteslamdannelse og bunnfall.

Oppbygging av bunnfall og flyteslam har klar sammenheng med omrøringsmetode samt styring av omrøringsfunksjon.

En hensiktsmessig måte å kontrollere oppbyggingen av flyteslam på er å installere inspeksjonsglass på toppen av tanken (3,6). Oppbygging av bunnfall kan ikke kontrolleres på annen måte enn ved lodde fra toppen.

I perioder har enkelte anlegg søkt å minimalisere omrøringen. Dette har gitt opphopinger som ikke har vært mulig å ta ut via eksisterende pumpe-systemer. Det har sogar ført til gjenntetting av viktige deler av omrørings-systemet med aksellerende oppbygging som resultat. Den eneste løsningen har vært å fjerne opphopningene ved direkte mekanisk inngrep inne i tanken. Dette er en omfattende og kostbar prosess.

Bunnfall og flyteslam som har samlet seg gjennom tid er meget vanskelig å ta ut av tanken. Det tales ofte om betongaktig struktur. Som sikring mot oppbygginger har enkelte anlegg innført rutiner for innvendig inspeksjon og tømning.

Et kontinuerlig uttak av bunnfall betinger en kon utforming av bunnplaten med et fall på minst 60° mot uttakspunktet i bunnen av konen (10).

Med kon utforming i toppen vil flyteslammet samles i et begrenset område. Dette gir bedre kontroll og mulighet for mekanisk innarbeiding i den øvrige massen f.eks. med propell. Det finnes også på markedet anordninger for uttak av flyteslam via sluser (10).

2.7.8. Avvanning

Et godt utråtnet slam er lettere å avvanne enn råslam. Delvis utråtning gir vanskelig avvanning, ofte vanskeligere å avvanne enn ubehandlet fortykkeslam (4).

Før avvanning bør slammets luftes for frigjøring av gassblærer. Dette er viktig mht. faren for brann- og eksplosjon, arbeidsmiljø og fare for skumdannelse.

Avvanning vil bli fyldigere omtalt i rapport fra arbeidsgruppe 3.

2.7.9. Termofil behandling

Utråtning i termofilt område kan gi både stabilisering og hygienisering i et og samme anlegg.

Den høye temperaturen forbedrer slammets viskositet vesentlig mht. til pumping og omrøring (21,22). Ved eksempelvis å heve temperaturen fra 35 til 55 °C forbedres viskositeten med omlag 50 % (8). Dette gir forbedret situasjon med henblikk på innpumping av slam med høy ts.

Behandlet slam har vist seg å gi høye ts-verdier ved avvanning (21,22). Dette tilskrives en bedre nedbryting av langkjedete molekyllformer.

Ut fra litteratur er oppfatningene ulike mht. behandlingstid og gassproduksjon. En kilde nevner at går dobbelt så raskt som ved mesofil behandling (1). Fra annet hold hevdes at termofil ut-råtning hverken er raskere eller gir bedre utråtning (5). En annen kilde fastholder at gassproduksjonen fra organisk materiale ikke er vesentlig større enn for mesofil behandling (6).

Behandlingen krever nøye oppfølging og kontroll. Prosessen har vist stor følsomhet for variasjoner i temperatur og innmating av slam (21).

Sammenlignet med mesofil behandling krever metoden omlag 70 % mer energi til oppvarming uten varmeveksling (21) uten varmeveksling mellom inn- og utgående slam.

Ved Bekkelaget renseanlegg har en i to sommerperioder behandlet slammet termofilt. Forsøket ble utført ut fra tekniske og hygieniske målsettinger. Målinger mht. gassproduksjon ble ikke foretatt. En fant imidlertid gode resultater mht. forbedret hygiene.

VEAS utfører f.t. (primo 91) sammenlignende forsøk med termofil og mesofil behandling av en blanding mellom mek./kjemisk slam og biologisk slam.

2.7.10. Utråtning av termisk behandlet slam

VEAS gjennomførte i 1989/90 semikontinuerlige utråtningforsøk med termisk behandlet mekanisk/kjemisk felt slam. Slammet ble termisk behandlet i autoklav ved 180 °C i 30 minutter.

I forsøket ble oppnådd meget god gassproduksjon, 0,73 Nm³/kg v.s. tilført. Dette er omlag det dobbelte gassutbytte i forhold til direkte utråtning av fortykkeslam i forsøk. Metaninnholdet ble målt til 60 volumprosent.

Avvanningsforsøk i modell av kammerfilterpresse viste tilnærmet samme resultat som for avvanning av utråtnet slam uten termisk forbehandling. Forsøket ble gjennomført som et ledd i å kombinere slambehandling med bedre vannrensning.

2.8. ENERGI

2.8.1. Energibehov

Anaerob behandling av slam krever energi til oppvarming av slam og for varmetap under behandling. Det største energibehovet er knyttet til oppvarming av slam, vanligvis omlag 70-85 % av det totale energibehovet. Slamtemperaturen ved innmating har stor betydning mht. energibehov.

På de norske anleggene som gruppen har besøkt dekker gassproduksjonen det totale energibehovet i 6-8 måneder. I vintermånedene må tilskuddsenergi i form av olje tilføres brenneren. Det må poengteres at renseanlegg krever stor luftveksling ettersom

flere rom luktutvikling. I varme perioder midtsommers går mye av gassen unyttet til fakling.

I et svensk anlegg der rensfunksjonen og slambehandling er lagt til lukkede fjellrom dekkes alt energibehov ved gassbrenning i fyrkjel ved utetemperaturer ned til -20°C . Overskuddsenergi selges til et nærværende varmekraftverk for 1-2 mill.kr.pr.år. Den gode energibalansen forklares med lite fremmedvann og lavt varmetap i fjellanlegget (3).

Anlegg med tidvis store innslag av fremmedvann (smeltevann, nedbør, etc.) bør ha rikelig oppvarmingskapasitet for å kunne nå riktige behandlingstemperatur ved lave tempererturer i innløpsvann/fortykket slam dvs. i området $3-4^{\circ}\text{C}$.

Nybygde norske utråtningstanker har som regel god isolasjon. I kalde områder har dette stor betydning for energibalansen.

Bygges tankene ned i bakken, kan varmetapet reduseres til et minimum. Varmekapasiteten i massene omkring vil dessuten virke stabiliserende.

VEAS gjennomfører høsten/vinteren 90 temperaturmålinger av innløpsvann og slam fra fortykker. Temperaturforskjeller i området $1,5-2,5^{\circ}\text{C}$ ble målt. Hovedårsaken til høyere temperaturer i fortykket slam synes å være biologiske reaksjoner.

Energibehovet til omrøring kan som en grov håndregel settes til omlag 10 % av totalt energibehov for varming av slam fra vann-temperatur til behandlingstemperatur. Internt energibehov til transport av slam er ikke tatt opp i gruppen.

2.8.2. Gassproduksjon

Et normtall for gassproduksjon er 1 m^3 gass pr. kg nedbrutt organisk materiale. Gassproduksjonen måles også i produsert gass pr. kg tilført organisk materiale. Gassen består av metan (55-70 volum-%) og karbondioksyd (45-30 volum-%) i tillegg til små innslag av flere andre gasser bl.a. H₂S. En kjenner til at jern som fellingsmiddel reduserer H₂S-innholdet i biogassen.

Slam etter biologisk rensing har større andel organisk materiale i tørrstoffet enn kjemisk felt slam, og har følgelig større gassproduksjonspotensiale pr. tørrstoffenhhet.

Fett i slam gir opphav til stor gassproduksjon. Siling av slam før utråtning kan innebære et tap av fett (6). Flyteslam er også rikt på fett. Ut fra en målsetting om å produsere mest mulig energi i form av gass bør disse forholdene tillegges vekt. Det kan bl.a. vurderes å motta organisk avfall fra næringsmiddelindustrien for direkte innpumping til utråtning.

Ved et anlegg er det registrert store variasjoner i gassproduksjon noe som har ført til overløpsituasjoner (11). Problemene har tiltatt etter at bedre fortykket slam er ført til behandling. Omrør-ingen er basert på kontinuerlig sirkulasjonspumping. En mulig årsak kan være behov for mer effektiv omrøring.

Vedlegg B inneholder gassproduksjonverdier ved noen anlegg (23).

2.8.3. Konvertering av gassenergi til varme

De fleste anlegg benytter gassen som energikilde til varming av vann, som benyttes til oppvarming av slam og lokaliteter.

Ved brenning av metangass i regner en med at 85-90 % av gassens brennverdi konverteres til varme. Ved brenning av biogass i fyrkjel kan en regne opp mot 75-80 % utnyttelse av varmeenergien i gassen ved optimale forhold. Vanligvis brennes gassen i en kombinasjonsbrenner for både gass og olje.

2.8.4. Konvertering av gassenergi til el. kraft

Ved konvertering av gassenergi til el.kraft nyttes gass som drivstoff for gassmotordrift av generator. Ut fra gjeldende energipolitikk er dette kun lønnsomt for produksjon av egen energi ved mellomstore og store anlegg. Nyere norske anlegg som gruppen har besøkt, har satt av areal for el.produksjon.

Valg av motortype for drift av generatorer er avhengig av forventet produsert effekt. Ordinære gassmotorer er vanlig i området 10-500 kW, sparkling-diesel er vanlig i området 500- 1500 kW og gassturbin for større verdier.

Gassmotorer og sparkling-diesel-motorer har virkningsgrader i området 30-34 % av gassens brennverdi. Gassturbiner har noe lavere virkningsgrad.

Ved varmeveksling med motorens kjølevann og eksos har det vist seg å være mulig å utnytte ca. 50% av gassen brennverdi slik at samlet energitap ligger i størrelsesorden 15-20 % (24).

2.8.5. Varmevekslere

For overføring av varmeenergi til slam synes indirekte oppvarming i varmevekslere å være vanlig. Varmeveksler kan være installert for oppvarming av inngående slam og/eller oppvarming i sirkulasjonskrets. Energibærer i varmevekslere er som regel vann. Slam /slam-varmevekslere mellom inn- og utgående slam er sjeldne.

Slam på våt basis har lett for å brenne fast til varme flater. Dette bør vektlegges ved å unngå store temperaturforskjeller mellom slam og heteflater. Her har også gjennomstrømningshastighet, strømningskarakter og slammets ts betydning.

Av varmevekslere kjenner en til tre hovedtyper; rørvekslere, platevekslere og spirialvekslere. Ut fra slamtype bør velges vekslere uten særlig trange passasjer med henblikk på å unngå gjentetting og gode muligheter for rengjøring.

Varmegjenvinningsgraden kan teoretisk være 100 %. I praksis kan en oppnå et sted mellom 50 og maks. 70 %.

I rørvarmevekslere regnes vanligvis et varmeovergangstall for slam til 700-1200 W/m²h (4).

2.8.6. Energibalanse

Ved hjelp av et regneprogram har en beregnet varmebalanse for 3 anleggstørrelser under ulike forhold gitte forutsetninger.

Forutsetninger og tabelloppstilling finnes i vedlegg C.

Regneeksemplene viser at det er lettere å oppnå energibalanse ved store enn ved små tanker. I kalde perioder betyr isolasjon av utrånningstankene mer for energisituasjonen enn varmeveksling mellom ut- og inngående slam.

2.9 ØKONOMI

En målsetting med prosjektarbeidet har vært i å finne fram til kostnader ved ulike slambehandling og anleggstørrelser.

Ut fra det materiale som er innsamlet har det vært vanskelig å danne seg et godt og dekkende bilde av investeringskostnader for slambehandling. Dette beror i første rekke på at slambehandlingen som oftest inngår som en integrert del av nye anlegg.

Kartlegging av kostnader ved drift, vedlikehold og personale har også bydd på problemer ettersom dette ikke er skilt ut eller registrert separat. I avsnitt 2.9.5. er det tatt inn stipulerte drifts- og vedlikeholdskostnader for et mindre anlegg.

For å danne et grunnlag for vurdering av investeringskostnader har en foretatt en volum- og arealberegning av aktuelle anlegg.

2.9.1. Knarrdalstrand renseanlegg

Kommuner: Skien og Porsgrunn

Slambehandling: 1. Aerob termofil forbehandling
2. Anaerob mesofil - 12-15 dg

Kapasitet: 9,9 tonn t.s. pr. døgn med 8 % t.s.

Lokalisering: Som daganlegg separat fra hovedanlegg i fjell.
Avvanningsmaskiner og slamsiloer i fjellhall.

Nedenfor er gitt en sammenstilling av daganlegget:

A. Slambehandlingsbygningen inneholder:

Hygieniseringsrom, slamlager, gassmotorrom, kjelrom, silrom, gassrom, sentrifugerrom, polymerrom, kontrollrom, ventilasjonsrom, gangarealer, sanitærom.

Slambehandlingsbygning - størrelser:

| | | |
|----------------------|----------------------|-----------------|
| Grunnflate, utv.: | 228 m ² | |
| Grunnflate, inv.: | 200 m ² | |
| Eff.volum, inv.: | 1.796 m ³ | (ekskl. ganger) |
| Innvendig golvareal: | 272 m ² | (ekskl.ganger) |

I vedlegg D er gitt en detaljert oversikt over areal og volum.

B. Råtnetank

Råtnetanken er utført i isolert betongkonstruksjon.
Størrelser:

| | |
|------------------|---------------------|
| -volum: | 1500 m ³ |
| -diameter, innv. | 14 m |
| -høyde, eff. | 10 m |

C. Kostnader: (i 1000 kr. (90))

| | Bygning | Maskin, El., VVS |
|--------------------------------|---------|------------------|
| Slambehandlingsbygning: | 3.600 | 10.000 |
| Råtnetanker (ekskl. grunnarb.) | 1.400 | |
| Sum: | 5.000 | 10.000 |
| Totalt: | | 15.000 |

(ekskl. avvanning, slamsiloer m/bygning)

Kostnad for gassmotor med generator er beregnet til:

1.3 mill. kroner alt inkl.

2.9.2. FOA

Kommuner: Borge, Fredrikstad, Kråkerøy, Onsøy og Rolvsøy

Slambehandling: 1. Pasteurisering
2. Anaerob mesofil - 12 - 15 døgn

Kapasitet: 11-12 tonn t.s. i fortykkeslam pr. døgn
(Dim. for 120.000 p.e.)

Lokalisering: Som egen 2-etasjes fløy av hovedanlegg.

Slambehandlingsanlegget består av slambehandlingsfløy, 2 utråtningstanker, gasslager og fakkell.

A. Slambehandlingsfløyen inneholder:

Fortykkerrum, behandlingsrom, slamlager (utråtnet slam), avvanningsrom, slamsiloer, gassrom, fyrrom.

Slambehandlingsfløy - størrelser:

| | |
|---------------------|---|
| Grunnflate, utv.: | 640 m ² |
| Grunnflate, inv.: | 612 m ² |
| Bygningsvolum: | ca 5440 m ³ |
| Effektivt romvolum: | 2651 m ³ (ekskl. ganger, m.v.) |
| Golvareal: | 790 m ² (ekskl. ganger m.v.) |

I vedlegg E er gitt en detaljert oversikt over areal og volum.

B. Råtnetank og gasslager

Råtnetankene en utført i isolert betongkonstruksjon.
Størrelser:

- 2 stk i betong med utvendig isolasjon
- volum 1500 m³
- diameter 14,9 meter innvendig
- diameter 16,0 meter utvendig
- høyde effektiv ca 12,3 m

Gassklokke 50 m³
Gassfakkel

C. Kostnader (i 1000 kr. (89)):

| | <u>Bygning</u> | <u>Maskin</u> | <u>El.(ca)</u> |
|---------------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| Slamfortykker, buffertank, lager: | 3.100 | 370 | 510 |
| Pasteurisering: | 895 | 3.180 | 240 |
| Råtnetanker: | 4.200 | 275 | 535 |
| Gassanlegg, klokke, rør, fakkel, kjel | 460 | 1.250 | 105 |
| Polymeranl., avvanning, slamsilo | 2.350 | 3.225 | 725 |
| Utlasting slam: | 80 | 500 | 50 |
| Sum: | <u>11.085</u> | <u>8.800</u> | <u>2.165</u> |
| Totalt: | | <u>22.050</u> | |

2.9.3. SIA

Kommuner: Borge, Sarpsborg, Skjeberg, Tune og Varteig

Slambehandling: 1. Aerob termofil forbehandling
2. Anaerob mesofil, 12 - 15 døgn

Kapasitet: 7,2 tonn ts/dg (ca 80.000 p.e.)

Lokalisering: I separat slambehandlingsbygning og utvendig.

Anlegget består av slambehandlingsbygning og utråtningsstank.

A. Slambehandlingsbygningen inneholder:

Fortykkerrom, bufferlager, slamlager, hygieniseringsrom, avvanningsrom, polymerrom, slamsiloer, utlastingshall for slam, gassrom, fyrrom, nødstrømsaggregatrom, gassmotorrom, disp.

Slambehandlingsbygning - størrelser:

| | |
|---------------------|---|
| Grunnflate, utv.: | 648 m ² |
| Grunnflate, inv.: | 606 m ² |
| Effektivt romvolum: | 5123 m ³ (ekskl. ganger, m.v.) |
| Golvareal: | 969 m ² (ekskl. ganger, m.v.) |

I vedlegg F er gitt en detaljert oversikt over areal og volum.

B. Råtnetank og gasslager

Råtnetank er utført i isolert betongkonstruksjon.
Størrelser:

| | | | |
|-------------|---------------------|-------------|--------------------|
| Råtnetank: | | Gasslager: | |
| - volum | 1200 m ³ | - volum: | 300 m ³ |
| - diameter: | 12 m | - diameter: | 7 m |
| - høyde: | 14 m | - høyde: | 12 m |

Gassfakkel

C. Kostnader: (i 1000 kr 89)

| Slambehandlingsbygning: | Teknisk utstyr: | Bygning: |
|-------------------------|-----------------|----------|
| Aerob termofil: | 3.233 | |
| Omrørere råtnetank: | 271 | |
| Gass | 580 | 1.220 |
| Gasstank | | 200 |
| Forøvrig: | 1.180 | 3.500 |
| Sum: | 5.264 | 4.920 |
| Sum: | | 10.184 |
| omkost. | | 2.189 |
| Tot.sum: | | 12.373 |

2.9.4. Bekkelaget renseanlegg, OVA

Kommune: Oslo Slambehandling: Anaerob 19-20 dg

Gjennomsnittlig belastning: 20-21 tonn ts/dg (205.000 p.e.)

Lokalisering: Slambehandlingen foregår i flere separate bygg.

A. Slambehandlingsanlegg ekskl. råtnetanker

Dette består av: Fortykkere, gasslager, sidebygning, fyrrom, slamlager, sentrifugerom, polymerrom, slamutlastingsrom, tavlerom, lager, disp.

Slambehandling ekskl. råtnetanker - størrelser:

| | |
|------------------|---------------------|
| Grunnflate, utv. | 813 m ² |
| Golvareal, inv. | 1745 m ² |
| Volum, inv. | 8845 m ³ |

I vedlegg G er gitt en detaljert oversikt over areal og volum.

B. Råtnetanker m/trappetårn

Råtnetankene en utført i isolert betongkonstruksjon.
Størrelser:

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 2 stk i betong med utvendig isolasjon | |
| - volum | 4500 m ³ pr. tank |
| - behandlingvolum | 8000 m ³ |
| - diameter | 17 m innv. |
| - diameter | 19 m utv. |
| - høyde | 20 m eff. |

| | |
|--------------------|----------------------|
| Trappetårn m.v. | |
| - grunnflate, utv. | 30,0 m ² |
| - golvareal | 74,0 m ² |
| - volum, inv. | 548,0 m ³ |

C. Kostnader

Kostnader er ikke vurdert ettersom anlegget er av eldre dato og er bygd ut etappevis.

2.9.5. Monserud rensanlegg, Ringerike

På grunnlag av forprosjektberegninger for slambehandling for rensanlegget er tatt kostnader for ulike alternativer (25).

Kapasitet: 3,5 tonn ts pr. dg (omlag 22.000 p.e.)
7-8 % ts fra fortykker (60 % org.mat.)

2.9.5.1. Anaerob behandling i 12 dager (38 °C).

Slambehandlingsbygning: Grunnflate: 35 m² Volum: 300 m³

1 råtnetank a 600 m³

Kostnader (i 1000 kr.(89)):

| | <u>Bygning</u> | <u>Maskin</u> |
|------------------------|----------------|---------------|
| Slambehandlingsbygning | 2.000 | 440 |
| inkl. råtnetank | | |
| Gassanlegg: | 100 | 130 |
| Gasslager: | 800 | |
| Slamlager: | 700 | 80 |
| Kjelrom: | <u>100</u> | |
| | 3.700 | 650 |
| Elektro, samlet: | | 750 |
| VVS, samlet: | | <u>500</u> |
| Sum: | | <u>5.600</u> |

2.9.5.2. Anaerob behandling i 20 dager (38 °C).

Slambehandlingsbygning: Grunnflate: 35 m²
Volum: 300 m³

2 råtnetanker a 520 m³

Kostnader (i 1000 kr.(89)):

| | <u>Bygning</u> | <u>Maskin</u> |
|------------------------|----------------|---------------|
| Slambehandlingsbygning | 3.330 | 650 |
| inkl. råtnetank | | |
| Gassanlegg: | 110 | 150 |
| Gasslager: | 880 | 30 |
| Slamlager: | 700 | 80 |
| Kjelrom: | <u>100</u> | |
| | 5.120 | 910 |
| Elektro, samlet: | | 750 |
| VVS, samlet: | | <u>500</u> |
| Sum: | | <u>7.280</u> |

2.9.5.3. Aerob termofil forbehandling i 1 dg. Anaerob behandling i 12 dager (38 °C).

Anlegget er foreslått med:

Slambehandlingsbygning: Grunnflate: 65 m²
 1 råtnetank a 600 m³ Volum: 560 m³

Kostnader (i 1000 kr.(89):

| | <u>Bygning</u> | <u>Maskin</u> |
|---|----------------|---------------|
| Slambehandlingsbygning inkl. råtnetank, aerobt rom | 2.350 | 2.120 |
| Gassanlegg: | 120 | 130 |
| Gasstank: | 930 | 20 |
| Slamlager: | 700 | 80 |
| Kjelrom: | <u>100</u> | |
| | 4.200 | 2.350 |
| Elektro, samlet: | | 850 |
| VVS, samlet: | | <u>500</u> |
| Sum: | | <u>7.900</u> |

Driftskostnader, personell:

| | |
|--------------------------|--------------|
| Alternativ pkt. 2.9.5.1. | 0,53 årsverk |
| Alternativ pkt. 2.9.5.2. | 0,80 årsverk |
| Alternativ pkt. 2.9.5.3. | 0,66 årsverk |

Vedlikeholdskostnader, % av investeringer: 1,5 - bygning
 3,0 - installasjon

2.9.6 Gjernesmoen renseanlegg, Voss

Slambehandlingsanlegget ved renseanlegget er under oppføring. Kostnadene som er oppført er entreprisekostnader (26). Etersom flere poster ikke er tatt med, er ikke oppsettet direkte sammenlignbart med de øvrige beregningene.

Kapasitet: 24 tonn t.s. pr. uke
 7-8 % ts fra fortykker (60 % org.mat.)

Behandling: Et-trinns anaerob i 12 dg

Slambehandlingsbygning: Grunnflate: 75 m²
 Volum, ca: 225 m³

Slambehandlingsbygningen rommer varmevekslere, måle- og rensutstyr for gass samt fyrkjeler.

1 råtnetank a 825 m³

Kostnader (i 1000 kr.(90):

| | <u>Bygning</u> | <u>Maskin</u> |
|--|----------------|---------------|
| Slambehandlingsbygning inkl. råtnetank, | 1.650 | |
| Utstyr for råtnetank | | 800 |
| Gassanlegg, inkl. gasslager | 350 | 650 |
| Slamlager: ikke medtatt | | |
| Kjelrom: ikke medtatt | | |
| | 2.000 | 1.450 |
| Elektro, samlet: | | 200 |
| VVS, samlet: ikke medtatt | | |
| Sum: | | <u>3.650</u> |

Planlegging, byggeledelse, igangkjøring, instruksjoner har i gjennomsnitt på hele renseanlegget vært 15 % av entreprisekostnader. Det er oppnådd meget gunstige priser på bygningsmessige arbeider.

2.9.7. VEAS

På grunnlag av et oppjustert forprosjekt fra har en søkt å stipulere kostnader for et utråtningsanlegg ved VEAS (27).

Anlegget var dimensjonert for en slammengde på 40 tonn/dg med 24 dg utråtning. 4 tanker (2 stk a 7800 m³, 1 stk 7600 m³, 1 stk a 4000 m³) var planlagt nedsprenget i fjell. De tre største tankene var planlagt som behandlingstanker mens den fjerde som lagertank. Det var planlagt et gasslager på 2000 m³.

Oppjusterte prisanslag for 1989 viser at totalprisen ville blitt 78,2 mill.kr.

Det er ikke sannsynlig at det vil bli bygd et anlegg med slike dimensjoner og såpass lang behandlingstid. Investeringskostnadene for et eventuelt nytt anlegg for VEAS's størrelse forventes derfor å bli mindre.

2.9.8. Hedemarken Interkommunale VAR-selskap - HIAS

På grunnlag av forprosjektberegninger fra 1989 for alternative slambehandlinger er tatt inn kostnadsammenstillinger (25).

Kapasitet: 5,8 tonn ts pr. dag
4 % ts fra fortykker

I beregningene er ikke tatt inn spesiell bygning for avvanning, men silo for avvannet slam og buffertank. Etersom HIAS dekker det meste av sitt varmebehov vha varmepumpe, er alternativer med gassproduksjon beregnet med gassmotor og generator.

Behandlingskostnad pr. tonn ts (inngående slam) omfatter drifts- og vedlikeholdskostnader inkl. slamtransport og energibesparing og kapitalkostnader etter 6 % realrente.

2.9.8.1. Anaerob behandling i 12 dager (38 °C).

Råtnetankvolum, en tank: 1730 m³

| | <u>Kostnader (i 1000 kr):</u> |
|----------------------|-------------------------------|
| Bygning, deponi: | 6.750 |
| Maskin, El., VVS: | 4.600 |
| Prosjektering m.v.: | 2.250 |
| Sum, anleggskostnad: | <u>13.600</u> |

Behandlingskostnad pr. tonn ts: 823 kr

2.9.8.2. Anaerob behandling i 20 dager (38 °C).

Råtnetankvolum, 2 tanker tilsammen: 2880 m³

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| | <u>Kostnader (i 1000 kr):</u> |
| Bygning, deponi: | 9.050 |
| Maskin, El., VVS: | 4.900 |
| Prosjektering m.v.: | 2.750 |
| Sum, anleggskostnad: | <u>16.700</u> |

Behandlingskostnad pr. tonn ts: 905 kr

2.9.8.3. Aerob termofil forbehandling i 1 dg. Anaerob behandling i 12 dager (38 °C).

Råtnetankvolum, 1 tank tilsammen: 1000 m³
Aerob reaktor: 83 m³

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| | <u>Kostnader (i 1000 kr):</u> |
| Bygning, deponi: | 6.350 |
| Maskin, El., VVS: | 9.700 |
| Prosjektering m.v.: | 3.550 |
| Sum, anleggskostnad: | <u>19.600</u> |

Behandlingskostnad pr. tonn ts: 938 kr

2.9.8.4. Aerob termofil stabilisering i 8 dg. 1 dg i varmeveksler. Temperaturer 52/62 °C .

Aerob reaktor, 2 tanker tilsammen: 1150 m³
Varmeveksler: 145 m³

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| | <u>Kostnader (i 1000 kr):</u> |
| Bygning, deponi: | 7.050 |
| Maskin, El., VVS: | 4.400 |
| Prosjektering m.v.: | 2.300 |
| Sum, anleggskostnad: | <u>13.750</u> |

Behandlingskostnad pr. tonn ts: 995 kr

2.9.8.5. Pasteurisering. Anaerob behandling i 20 dg (38 °C).

Pasteuriseringsreaktor, 3 stk tils. 9 m³
Råtnetankvolum, 2 tanker, tilsammen: 2880 m³

Pasteuriseringstrinnet er forutsatt lagt til ekst. bygning.

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| | <u>Kostnader (i 1000 kr):</u> |
| Bygning, deponi: | 8.100 |
| Maskin, El., VVS: | 8.900 |
| Prosjektering m.v.: | 3.750 |
| Sum, anleggskostnad: | <u>20.750</u> |

Behandlingskostnad pr. tonn ts: 1067 kr

3. AEROB BEHANDLING

3.1. PROSESSER OG UTBREDELSE

Med aerob behandling menes her tilsetning av luft til vått slam. Lufttilsetning igangsetter biologiske prosesser som bryter ned organisk materiale i slam til vann og karbondioksyd og en del andre stoffer i mindre kvanta. I tillegg er prosessen varmereproduserende. Aerob behandling kan foregå i et bredt temperaturintervall (ca 5-70 °C). Ut fra hensikten med behandlingsmetoden grupperes gjerne behandlingsalternativene slik:

1. Aerob stabilisering
2. Aerob termofil stabilisering (våtkompostering)
3. Aerob termofil forbehandling før anaerob stabilisering

Med aerob stabilisering menes behandling i temperaturområdet 10-20 °C. Hovedhensikten med behandlingen er å dempe lukt ved senere disponering av slam. Som oftest behandles slam med forholdsvis lavt tørrstoffinnhold i åpne utvendige bassenger slik at varmereproduksjonen knapt kan registreres. Behandlingstiden for å oppnå tilsiktet resultat kan være 2-3 uker. Aerob stabilisering hadde på verdensbasis økende utbredelse omkring 1960. Energikrisen i 1973 medvirket til at større anlegg valgte anaerob behandling ut fra gassproduksjonspotensialet. Ved mindre anlegg bygges fortsatt for prosessen. I Norge finnes flere mindre renseanlegg med såkalt luftet slamlager.

Aerob termofil stabilisering synes ut fra litteratur å ha liten utbredelse. Behandlingsmetoden setter bestemte krav til styring, kontroll og materialkvalitet. Metoden er dessuten energikrevende. Forutsetningene for å oppnå en god slamkvalitet med henblikk på stabilisering og hygienisering er gode.

Aerob termofil forbehandling før anaerob stabilisering er en prosess som har fått noe utbredelse i den senere tiden, bl.a. finnes 3 norske anlegg som nylig har valgt denne prosessen (6,11,33). Hovedhensikten med prosessen er å oppnå en fullverdig slambehandling kombinert med utråtning. Den korte aerobe behandlingen i termofilt område har gode forutsetninger for å gi fullverdig hygienisering. Den etterfølgende utråtningen gir stabilisering.

3.2. Mer om prosessene

Våtkompostering:

I følge forslag til nye retningslinjer for behandling og disponering av slam vil det settes et krav til minimum 7 døgns behandling for å oppnå stabilisering. For å oppnå hygienisering settes følgende krav til temperatur og oppholdstid:

| | |
|-------|------------|
| 55 °C | i 10 timer |
| 60 °C | i 4 timer |
| 65 °C | i 1 time |

For å sikre mot kontaminering settes krav til minimum 2 behandlingstanker koblet i serie. Norske forsøk med behandlingsmetoden har gitt gode resultater med hensyn til stabilisering og hygienisering både med injesering av luft og oksygen.

Aerob termofil forbehandling før utråtning:

For å oppnå hygienisering stilles de samme krav til oppholdtid og temperatur som ved våtkompostering, men nye retningslinjer stiller ikke krav om flere behandlingstanker.

3.3. Slamkvalitet før behandling

En kjenner ikke til bestemte krav til slammet ved aerob stabilisering. Det har vist seg at høyere temperaturer oppnås ved god fortykning på forhånd.

Ved våtkompostering forutsettes at slammet har et visst tørrstoffinnhold før behandling for å oppnå tilsiktede temperaturer. Hele prosessen baseres på å utnytte varme fra den biologiske omsetningen av organisk materiale i slammet for å oppnå tilsiktet temperatur. Tørrstoffprosenten bør derfor være rimelig høy slik at en ikke unødig varmer opp store vannmengder og derved nedsetter effektiviteten i prosessen. Ettersom massen bør være lett pumpbar kan heller ikke tørrstoffinnholdet være for høyt. En kilde (4) setter som krav at ts bør være over 4 % uten ekstern varmetilførsel. Nyere referanser (34) viser at vellykkede resultater er oppnådd med 2,5 % ts i mek./biologisk slam. Ved at slammet før og etter behandling varmeveksles og behandlingstankene isoleres forbedres mulighetene for å oppnå ønskede temperaturer.

Ved aerob termofil forbehandling før utråtning er oppholdstiden i det aerobe trinnet ofte basert på minimumskravet for å oppnå hygienisering. Det første som skjer med slammet ved innpumping til aerob reaktor er at det lettest omsettelige organiske materialet danner flyktige fettsyrer som medfører at pH reduseres. Har slammet i utgangspunktet er lav pH, f.eks. etter kjemisk felling, kan biologiske nedbrytingsprosesser stoppe opp ved lavere pH enn 6,6/6,5 (4,6) ved de aktuelle temperaturer. Erfaring fra norsk anlegg har bekreftet dette (6). Forlenges behandlingstiden vil pH øke igjen (18).

Som ved anaerob behandling bør slam til behandling inneholde minst mulig materiale som kan gi filleoppbygging samt bunn- og flyteslam. Dette er omtalt i kap. 2.7.4., 2.7.5. og 2.7.7.

3.4. Slamkvalitet etter behandling

Aerob stabilisering gir god reduksjon for lukt ved disponering forutsatt riktig tid og temperatur ved behandling (9).

Riktig behandlingstid og temperatur er også en betingelse for å oppnå målsettingen med behandling både for våtkompostering og

aerob termofil forbehandling før utråtning.

Erfaring viser at kontaminering av slam etter hygienisering lett kan forekomme. I et anlegg med aerob termofil forbehandling før utråtning har i lengere tid hatt problemer med dette (6), noe som drøftes nærmere i kap. 3.6. Drift og kontroll.

Både aerobe og anaerobe behandlingsmetoder baseres på nedbryting av organisk materiale. Det vil da finne sted en oppkonsentrering av ikke nedbrytbare stoffer f.eks. tungmetaller. Ettersom kravene til stofflig innhold i slam relateres til konsentrasjon, bør en være oppmerksom på dette forholdet i fall slammet i utgangspunktet har høye tall for f.eks. tungmetaller.

Bortsett fra nitrogen medfører ikke behandlingen innholdsmessige endringer av plantenæringsstoffer. Under aerob behandling mineraliseres organisk bundet nitrogen til ammonium (som ved utråtning). Ved pH >8,5 og temperatur >30 °C kan en del nitrogen tapes i form av ammoniakk (36). Ved "unormal" lang behandlingstid vil nitrogen gå over til nitrat (9). Nitrat er vannløselig og lett plantetilgjengelig.

Slammets jordforbedrende evne mht innhold av organisk materiale vil ikke være vesentlig forskjellig fra utråtnet slam.

Sammenlignes våtkompostert slam med utråtnet slam kan en forvente større variasjoner i stofflig sammensetning av f.eks. tungmetaller i våtkompostert slam ettersom behandlingen gjennomføres på kortere tid i et mindre volum.

3.5. Behandlingstid og dimensjonering

Ved aerob stabilisering er det en klar sammenheng mellom temperaturen i slammet og nødvendig behandlingstid for å oppnå ønsket stabilisering. Ved lave temperaturer kan det kreves en behandlingstid på omlag 40 døgn. Eksempelvis kan en ved 30 °C (uvanlig høy temperatur) oppnå stabilisering etter omlag 10 dager (9). Dette viser at sikker stabilisering ved alle forhold krever behandlingsvolum med kapasitet for å oppta store variasjoner i slamtilførsel og temperatur.

Ved våtkompostering kan temperaturen kontrolleres mye bedre slik at dimensjonering for temperatur i inngående slam har mindre betydning. Målt i forhold til anaerob behandling må likevel våtkomposteringsanlegg dimensjoneres med større vekt på å oppta svingninger i slamproduksjonen ettersom behandlingstid og dermed gjennomsnittelig behov for behandlingsvolum er mindre.

Ved aerob termofil behandling før utråtning er det vanlig å regne 1 døgn behandlingstid. Behandlingsvolumet i hele prosessenheten er større enn 1 døgn slamproduksjon ettersom varmevekslere krever oppholdtid for å oppnå tilsiktet virkningsgrad.

3.6. Luft/oksygenbehov

Ved aerob behandling regnes oksygenbehovet å være 2 kg til nedbryting av 1 kg organisk materiale i slam. Oksygentilsettingen skjer vanligvis ved innblåsing av luft. Løseligheten for oksygen synker med stigende temperatur, men samtidig øker den biologiske aktiviten. Eksempelvis øker oksygenbehovet omlag 4 ganger ved temperaturstigning fra 10-15 °C til 50-60 °C (28). Forsøk med termofil behandling av mek./bio./kjem. slam har vist et behov for 10 kg O₂ (rent oksygen)/m³ slam ved behandling over 3 dager (29).

Ved aerob stabilisering er det vanlig å kombinere luftinnblåsing med omrøringsfunksjonen. Forsøk har vist at luftbehovet for sikker omrøring er større enn det som trengs til biologiske prosesser. Forsøkene viser følgende luftbehov (9):

| | |
|------------------------|---|
| Mekanisk/kjemisk slam: | 60 - 80 l/min og m ³ tankvolum |
| Biologisk slam: | 40 - 60 l/min og m ³ tankvolum |

Ved all aerob behandling av slam er det viktig å oppnå optimalt tilførsel av luft/oksygen. For lav tilsetting kan forlenge behandlingstiden og føre til bunnfelling mens for store mengder nedkjøler massen og kan føre til unødige skumdannelse.

3.7. Oppbygging og utforming av anlegg

Aerobe behandlingsanlegg har stort sett følgende oppbygging:

1. Inn- og utpumpingsenheter for slam
2. Evt. varmevekslere
3. Behandlingstank(er)
4. Blåsemaskin/kompressor
5. Innblåsingssystem for luft
6. Evt. egen omrøringsfunksjon
7. Skumdempingsutstyr
8. Evt. rensing av avgass

Aerob stabilisering foregår stort sett i åpne tanker med kombinert opplegg for luftinnblåsing og omrøring. Termofile prosesser betinger isolerte behandlingstanker for å oppnå tilsiktet temperatur. Ved termofil behandling er det hensiktsmessig å varmeveksle inn- og utgående slam med sikte på bedre effektivitet.

Som sikring mot kortslutningseffekter (dvs. blanding av ubehandlet og behandlet slam) foregår behandlingen porsjonsvis eller i seriekoblede tanker.

Tanker for aerob stabilisering bør utformes med henblikk på optimalisering mellom luftinnblåsing og omrøring. Ved luftinnblåsing i sidevegg ved bunnen i sirkulær tank anbefales et forhold diameter/høyde i område 0,7-1,0 (9).

For å oppnå best mulig virkning av innblåst luft mht. biologiske prosesser bør luftfordelingssystemet tillegges vekt. Virkningen øker med avtagende luftblærestørrelse. Det finnes flere systemer

for luftinnblåsing (dyser, injektorer m.v.). Ettersom luftbehovet må tillegges større vekt ved behandling i termofilt område settes følgelig større krav til god luftfordeling. Norske anlegg med aerob termofil behandling før utråtning injeserer luft i sirkulasjonspumpekretsen.

Blåsemaskiner/kompressorer dimensjoneres etter luftbehov og mottrykk. Ved aerob stabilisering nyttes som regel blåsemaskin. Overstiger mottrykket 3-3,5 bar vil det være behov for kompressor, noe som vil fordyre anlegget betydelig (30).

Behovet for skumdempingstiltak er betydelig større for termofile prosesser enn for behandling ved lavere temperatur (aerob stabilisering). Skumdempingststyr kan være i form av roterende skumkniver eller overisling med vann f.eks. renseavløpsvann.

Ved behandling i termofilt område kreves eget opplegg for behandling av avgass pga. av luktutviklingen. Dette kan være utformet som scrubber, filter etc. Ved et norsk anlegg med aerob termofil forbehandling før utråtning blandes avtrekkslufta med luftinnblåsing til sandfang med heldig resultat. Avtrekk fra sandfang og anlegget forøvrig behandles i eget luftrenseanlegg (6).

Materialkvaliteten i konstruksjoner og maskineri i anlegg for aerob behandling bør tillegges stor vekt. Forholdene ligger tilrette for stor korrosjon. Ulike fellingskjemikalier kan fremskynde korrosjon. Erfaring tilsier at rustfri/syrefast stålqualität bør nyttes ved termofil behandling (6,9).

3.8. Drift og kontroll av prosess

3.8.1. Aerob stabilisering

Driftserfaringer fra svenske anlegg viser at korte oppholdstider og lav ts i inngående slam kan være et problem. I et utvalg av anlegg ga kun 20 % av anleggene tilfredstillende stabilisering (19). Undersøkelsen understreket er større behov for fortykning før behandling.

Oksygeninnholdet i slam under behandling bør være 2-3 mg/l (19). Dette er mulig å måle kontinuerlig vha elektroder. Biologisk sett har ikke høyt oksygeninnhold negative effekter, men stor innblåsing av luft kan føre til mye skumdannelse. Luftmengden bør tilpasses belastningen på anlegget slik at den biologiske prosessen fungerer optimalt.

pH kan variere mellom 3,5-9,5 uten at dette virker inn på biologien. Driftserfaringer tilsier likevel at pH bør være omlag 7. Ved langvarig behandling kan pH synke ned mot 4, noe som indikerer nitrifikasjon. For å holde høy pH kan tilsetning av kalk vurderes (4).

Prosessten styres best ved å regulere lufttilførselen ut fra oksygeninnholdet i slammet. Ved høye verdier må en likevel sørge for tilstrekkelig omrøring. Den beste løsningen er å sørge for

jevn tilførsel av råslam uten store variasjoner i ts. Det finnes automatikk for regulering av lufttilførselen basert på oksygeninnholdet i slammet (4).

Skumming er et forholdsvis vanlig driftsproblem. Et aktuelt mottiltak kan være tilsetning av skumdempende olje. Skum i store mengder kan opptre ved lange oppholdstider, kraftig lufting og overbelastning av organisk materiale (4).

3.8.2. Aerob termofil behandling

Såvidt en kjenner til finnes ikke anlegg i Norge med våtkomposteringsanlegg. Flere forsøk er gjennomført med behandlingsformen uten at dette har ført til gjennomslag for metoden. Metoden har noe utbredelse ved behandling av husdyrgjødsel.

Kortvarig aerob termofil behandling før utråtning stiller bestemte krav til pH forat at de biologiske prosessene skal fungere etter intensjonene. Dette er nærmere omtalt i 3.9.

Et nytt anlegg med ovennevnte prosess har hatt problemer med kontaminering (6). Hygieniseringseffekten etter varmetrinnet har vært god, men gjennsmitting har funnet sted i senere behandlingstrinn. Den sannsynlige årsaken til problemene er at ubehandlet slam i innkjøringsfasen av anlegget har ført til infisering. Forholdene er betydelig forbedret etter at våtslamlager, sentrifuger og slamsilo er desinfisert. Rengjøringen av sentrifuger foretas nå med drikkevann og ikke med rensset avløpsvann som tidligere.

Mht. sikker hygienisering må oppbygging og drift av slike anlegg utføres slik at råslam ikke kommer i kontakt med deler av anlegget som behandler hygienisert slam. Alternativt kan råslam kun føres til avgrensede deler (by-pass) som kan rengjøres senere.

3.8.3. Avvanning

Aerobt behandlet slam er stort sett lett å avvanne. Litteraturen viser at 10 dagers våtkompostering gir betydelig bedre avvanning enn utråtning over samme tid (4).

Erfaring tilsier at aerob termofil forbehandling før utråtning gir bedre avvanning enn kun utråtning (6,20). Avvanning omtales nærmere i rapport fra Arbeidsgruppe 3.

3.9. Energiproduksjon og effektbehov

Varmeproduksjonspotensialet i slammet avhenger av innhold av organisk materiale. Denne verdien bestemmes ved bombekalorimetri som for bestemmelse av slammets brennverdi. Brennverdi for slam fra noen renseanlegg finnes i rapport fra arbeidsgruppe 2. Varmeproduksjonen avhenger dessuten av hvor mye av det organiske materiale som bli nedbrutt, vanligvis 45-55 %. Slam med 6 % ts

og 65 % organisk materiale i ts-fraksjonen vil ved 50 % nedbryting gi omlag 359 MJ (80.000 kcal) fra 1 m³ slam. I praksis går mye av energien til varming av væske og luft samt til fordampingsvarme og varmetap.

Ved aerob stabilisering tillegges ikke varmeproduksjonen vesentlig vekt. Ved termofil behandling er det nødvendig å optimalisere energimessige faktorer slik at ønsket temperatur oppnås. Dette stiller krav til høy ts i slammet, isolering av behandlingstanker, evt. varmeveksling av slam og optimale luftmengder.

Utenlandsk erfaring med 1 døgns aerob termofil forbehandling før utråtning tilsier en varmeproduksjon som er tilstrekkelig til dekking av all slamvarming. Dette beror på at omlag 10-15 % av det organiske materiale brytes ned i det aerobe trinnet (4). I et slikt tilfelle kan utråtningstiden reduseres ned til 8-12 døgn samtidig som biogassen kan nyttes til andre formål f.eks. produksjon av el.kraft. Lignende situasjoner er ikke oppnådd ved norske anlegg ettersom en har hatt problemer med å holde pH innenfor optimalt område.

Effektbehovet ved omrøring for aerob stabilisering er ifølge litteraturen svært variabelt. En kilde nevner 13-106 W/m³ tankvolum (8). Som det fremgår av 3.4. kan omrøring og luftbehov variere noe mellom slamtyper. Beregnet ut fra verdiene der er det omtrentelige effektbehovet i en 5 meter dyp tank 50 W/m³.

Et regneeksempel for våtkompostering av slam fra 10.000 p.e. viser et effektbehov på 100-115 W/m³ (31).

Ved aerob termofil behandling før utråtning regnes effektbehovet å være 5-8 kW/m³ slam (4). Ved SIA nyttes 15 kW til drift av 100 m³ reaktorvolum for omrøring og luftinjeksjon. Regnes en gangtid på 80 % blir effektbehovet omlag 125 W/m³ slam. Legges til effektbehov for skumkniver, pumper, mekanisk utstyr i slamvarmeveksler blir samlet effektbehov opp mot 200 W/m³ noe som fraviker vesentlig fra litteraturverdien.

3.10. Økonomi

I litteratur fra 1984 (4) blir ikke aerob stabilisering regnet som interessant annet enn for anlegg < 20.000 p.e. I Norge anses ikke behandlingsmåten å være aktuell annet enn for anlegg i størrelsesorden 1000-2000 p.e. (34).

Et kostnadsoverslag for våtkompostering med kapasitet for 10.000 p.e. (1,2 tonn slam med 5 % ts pr. dg) viser en investeringskostnad på 2,9, mill.kr. (31). Beregningen omfatter ikke investeringer til tankfundament, luktfjerningsanlegg og forbindelser til renseanlegget som kabling, rørledninger m.v. Årlige kostnader er beregnet til vel 0,5 mill. kr., derav 0,4 mill.kr. som kapitalutgifter.

4. PASTEURISERING

4.1. Prosess og utbredelse

Pasteurisering er en fysisk prosess basert på oppvarming av slam til bestemte temperaturer over bestemte tidsintervaller. Vanlig behandling er oppvarming til 70 °C og oppholdstid ved denne temperaturen i min. 30 minutter.

Metoden kombineres med påfølgende utråtning. På den måten kan biogass inngå som energikilde til prosessen. Nedbryting av lettomsattelig organisk materiale i form av utråtning er også viktig mht. til å redusere muligheten for oppblomstring av bakterier i ferdigbehandlet slam.

Metoden betraktes å ha opphav i Sveits, som allerede i 1971 vedtok at slam disponert til beitearealer i vekstperioden skulle hygieniseres.

Utenom Sveits har metoden begrenset utbredelse. Her i landet finnes et anlegg i Fredrikstad (FOA,1990) og et annet er under oppføring i Sandefjord (Enga,1991).

4.2. Formål med prosessen

Den viktigste målsettingen er å redusere innholdet av smittestoffer for sykdommer på mennesker, dyr og planter. Viktig er også omfattende uskadeliggjøring av ugrasfrø.

Utenlandske erfaringer viser at innholdet av enterobacter reduseres fra 10^7 /g i råslam til 0 i behandlet slam. Denne bakteriearten gir et godt uttrykk for resultatet mht. koliformer og patogener (f.eks. salmonella). I Sveits opereres med en grense på 100 enterobacter /gram i behandlet slam.

Utenlandsk erfaring viser at bakterieinnholdet kan øke noe etter utråtning, men innholdet har klar margin til grenseverdiene.

Ettersom prosessen medfører oppvarming av slammet vil dette virke inn på etterfølgende utråtning. Japanske pilot- og laboratorieforsøk viser at forvarming av aktivslam ved 60-80 °C i to timer før innpumping til utråtning sammen med primærslam har gitt mer enn 30 % økning i gassutbytte (35). Utråtningsforsøkene ble utført med belastninger opptil 3 kg VS/m³.dg. Årsakene til økt gassutbytte/bedre nedbryting tilskrives dekomponering av fett til frie fettsyrer samt depolymerisering av fett og karbohydrater i organisk materiale i forvarming. Dette viser at oppvarming alene ved pasteurisering og muligens også aerob termofil behandling før utråtning kan medvirke til bedre effektivitet i utråtningen, noe som kan minske volumbehovet.

4.3. Slamkvalitet før behandling

Ettersom prosessen innebærer mye handtering i pumper, varmevekslere, omrørere m.v., må slammet ha minst mulig innhold av materiale som kan føre til gjenntettinger og filleoppbygging. Noen utstysrsløverandører stiller krav om at slammet ikke kan inneholde større partikler enn 5 mm (34).

Energiøkonomisk sett bør slammet ha relativ høy ts før behandling. Likevel bør ts-innholdet optimaliseres ut fra pumpbarhet og fare for gjenntetting (f.eks. ved sviing i varmeveksler).

4.4. Slamkvalitet etter behandling

Pasteurisering har forutsetninger for å gi en god hygienisering. Ved riktig drift gir ikke andre vanlige behandlingsformer for slam på våt basis bedre hygienisering enn pasteurisering.

Erfaring viser imidlertid at faren for kontaminering er stor. Ved FOA er oppnådd god hygienisering etter pasteuriserings-trinnet, men gjennsmitting har funnet sted ved avvanning og i tørrslamsilo. En sannsynlig årsak kan være at ubehandlet slam ble pumpet gjennom anlegget i innkjøringsperioden. Senere har innholdet av bakterier i utkjørt slam avtatt noe som bl.a. tilskrives rengjøring av tørrslamsilo. For å unngå slike problemer ved driftstans m.v. bør det finnes muligheter for å lede ubehandlet slam ut av anlegget uten at dette kommer i kontakt med deler av anlegget som er planlagt for hygienisert slam.

4.5. Oppbygging og utforming av anlegg

Pasteuriseringstrinnet ved FOA består av:

1. Slam/slam-varmeveksler mellom fortykkeslam og slam fra utråtningsstank (platevarmeveksler).
2. Slam/slam-varmeveksler mellom slam fra pkt. 1 og slam fra pasteurisering (platevarmeveksler).
3. Slam/vann-varmeveksler mellom slam fra pkt. 2 og oppvarmet vann fra fyrkjel (rørvarmeveksler).
4. Pasteuriseringskar i oppdelte beholdere med mekanisk omrøring.
- (5. Utråtningsstanker)

4.6. Drift og kontroll av prosess

Et ømfindtlig ledd er antatt å være varmevekslere. For å holde varmevekslere rene innvendig er det nødvendig med eget vaskeanlegg. Ved FOA er det installert utstyr for både lut- og syre-

vask. I tillegg er varmevekslertrinn 2 og 3 med forholdsvis høye temperaturgradienter, dubblisert for å unngå avbrudd i prosessen ved vasking. Hittil, etter 3/4 års drift har en kun benyttet varmt vann (85 °C) ved rengjøring og likevel oppnådd god vasking. Det må presiseres at anlegget hittil er kjørt med lave ts-verdier i slammet. Fra FOA understrekes behovet for gode innvendige klaringer i varmevekslere mht. rengjøring og fare for tilstopping.

4.7. Energi

Ettersom FOA så og si har fri tilgang på varmt vann fra søppel-forbrenningsanlegget på området, er ikke energibehovet ved pasteuriseringen nøye kartlagt.

Litteraturverdier tilsier at ca 10 % av brennverdien i biogassen går med til pasteuriseringen ved behandling av slam med 4 % ts. I tillegg kommer ekstra behov for el. kraft til drift av pumper, omrørere m.v.

5. KONKLUSJONER— NYE PROBLEMSTILLINGER

Gruppen ble tidlig klar over at vellykket slambehandling er et produkt av en serie faktorer. Det har vist seg å være klare sammenhenger mellom vann- og slambehandling. Funksjoner som rist, felling, fortykning, flyteslamhåndtering, knusing/siling av slam, pumping, omrøring m.v. har betydning for resultatet. Dette er belyst flere steder i rapporten.

Systematisk oppfølging ved problematisk drift er et punkt som bør prioriteres. Når vanskelige situasjoner oppstår, reguleres ofte flere funksjoner samtidig. Dette reduserer muligheten for å finne fullstendige årsakssammenhenger. En vektlegging her sammen med utveksling av erfaring anleggene imellom, burde gi bedre muligheter for å takle dette. I denne sammenheng bør trekkes frem at de fleste anlegg mangler en god del kompetanse for vurdering av biologiske spørsmål i den daglige drift. Dette kan løses ved bedre opplæring.

Anlegg med hygieniseringstrinn har i lang tid etter innkjøring hatt problemer med kontaminering. Selv om slam like etter hygienisering har hatt tilfredstillende kvalitet, har det i senere trinn blitt smittet. Det har vist seg ressurskrevende å bedre disse forholdene. For å unngå slike problemer knyttet til innkjøringsfase og senere avbrudd, vil gruppen rådte til at nye anlegg planlegges med røropplegg som gir mulighet for å transportere ubehandlet slam helt ut av anlegget uten å komme i kontakt med deler av anlegget som er planlagt å håndtere hygienisert slam.

Poenget bør også at utenlandsk slambehandlingsteknologi ikke uten videre fungerer etter oppgitte prinsipper ved behandling av kjemisk felt slam med lav pH, noe som er ganske vanlig i Norge. Teknologi som er basert på slam etter biologisk rensing, simultanfelling m.v. bør derfor vurderes nøye/utprøves før beslutning. Det er særlig forutsetningene for biologiske prosesser som her er viktige.

I arbeidet med å kartlegge kostnader har gruppen funnet det vanskelig å vurdere behandlingsteknologiene ved ulike alternativ opp mot hverandre ettersom slambehandlingen ofte ikke er spesifikt oppgitt i kostnadssammenstillinger, anbud m.v. Med henblikk på fremtidige vurderinger av denne art, kan det være hensiktsmessig at slambehandlingen trekkes frem som egen post og med definerte grenser til anlegget forøvrig.

Til slutt vil gruppen vektlegge betydningen av å foreta en helhetsvurdering før slambehandlingstiløsninger velges. Denne bør omfatte teknologi, biologi samt transport og ulike disponeringsalternativ. Det synes som om transport og disponering av slam kan ha vel så stor innvirkning på årlige kostnader som slambehandling ved anlegget.

6. LITTERATUR, KILDER,

1. "Kanalisering", 1969. Russisk lærebok i VA-teknikk.
2. Opplysninger fra FOA (90)
3. Opplysninger fra Keppalaverket, Stockholm (90)
4. VAV P51 "Slamhantering vid kommunala avloppsreningsverk", apr 1984
5. Roediger, Roediger, Kapp: "Anaerobe alkalische Schlammfaulung" 4. Auflage, 1990.
6. Opplysninger fra SIA (90)
7. Opplysninger fra Inst. for jordfag, NLH (90)
8. EPA, 1979: U.S. Environmental Protection Agency, "Process design manual for slugde treatment and disposal".
9. Eikum og Paulsrud, 1976: "Stabilisering av kommunalt slam". (NIVA), PRA-rapport nr. 10.
10. Opplysninger fra Roediger (90)
11. Opplysninger fra Nordre Follo kloakkrenseanlegg (90)
12. Opplysninger fra Bekkelaget renseanlegg, OVA (90)
13. Opplysninger fra Alfa-Laval (90)
14. Opplysninger fra Lightnin (90)
15. Opplysninger fra Scaba (90)
16. Opplysninger fra Ryaverket, Gøteborg (90)
17. Opplysninger fra Søndre Follo kloakkrenseanlegg (90)
18. Opplysninger fra Inst. for bioteknologiske fag, NLH (90)
19. VAV P 61: "Styrning av slambehandlingsprosesser" jan 1986
20. Opplysninger fra UTB (90)
21. Garber, Ohara, Colbaugh & Raksit. 1975. "Thermofilic digestion at the Hyperion treatment plant. Jour. Wat. Pollut. Control Fed. Vol. 47: 950-961
22. Inst. for bioteknologi, Danmark tekn. høyskole (90)
23. Snøhetta - Rapport for VEAS. (90)
24. VAV-nytt 2 90
25. Opplysninger fra Samfunnsteknikk a/s (90)
26. Opplysninger fra Østlandskonsult a/s (90)

27. Oppsett fra Grøner for VEAS (90)
28. VA-rapport 9/82: "Slamstabilisering under høy temperatur ved bruk av rent oksygen". NIVA, 1982.
29. VA-rapport 9/84: "Hygienisering av slam ved bruk av rent oksygen". NIVA, 1984.
30. Opplysninger fra Atlas Copco (90).
31. Opplysninger fra Allum Produkter a/s (90).
32. Opplysninger fra Berdal Strømme a/s (90).
33. Opplysninger fra Knarrdalstrand renseanlegg (90).
34. Opplysninger fra Aquateam (91).
35. Hiraoka, Takeda, Sakai og Yasuda: "Highly effecient anaerobic digestion with thermal pretreatment", Wat. Sci. Tech., Vol. 17, Amsterdam, 1984.
36. Småskrift 3/88: "Våtkompostering", Statens fagtjenste for landbruk.

7. VEDLEGG

VEDLEGG A

Omrøringsprinsipper og energibehov ved en del anlegg.

| Rense- anlegg | Tank- volum m ³ | Omrørings- prinsipp | T.s. i innmatet slam | Effekt pr. volumenhet W/m ³ |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| Seattle, Renton | 4x8.000 | Gass/ sirk. | 2-3 | - ¹ |
| Los Angeles Hyperion | 9.500 ² | Gass | - | 6 |
| Bekkelaget | 2x4.000 | Sirk. | 4 | 10 |
| Nordre Follo | 2x 750 | Sirk. | 4 | 24 tank 1 5 tank 2 |
| Søndre Follo | 500 | Sirk./ gass | 6-7 | 11 (sirk) 22 (gass) |
| Keppalaverket, Stockholm | | Prop./ gass | 3-4 | 3 (tot) |
| SIA, Sarpsborg | 1200 | Prop. | | 2 |
| FOA, Fredrikstad | 2x2.200 | Prop. | | |
| Anlegg under bygging: | | | | |
| Ryaverket, Gøteborg | 2x12.000 | Prop. | | 1 |

1.) Sirk.pumpe: 270 m³/time pr. tank
Gassblåsing: 20 m³/time pr. tank

2.) Gjelder en av flere tanke

VEDLEGG B

Gassproduksjon fra noen anlegg i Norden (21).

| Renseanlegg: | m ³ /tonn TS tilført | m ³ /m ³ tankvolum |
|------------------------------|------------------------------------|--|
| Bekkelaget | 417 | 0,95 |
| Nordre Follo kloakkverk | 366 | 0,62 |
| Søndre Follo kloakkrenseanl. | 461 | 0,40 |
| Keppala, Stockholm | 660 | 0,80 |
| Byholm, Helsingfors | 425 | 0,60 |

Vedlegg B.1

Gassproduksjon ved Alvim renseanlegg (SIA):

| | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Måned: | 9.90 | 10.90 | 11.90 | 12.90 | 1.91 | 2.91 | 3.91 |
| FTS inn %: | 59,3 | 60,6 | 67,3 | 63,9 | 56,9 | 59,9 | 55,8 |
| Slamprod. tonn ts: | 96,3 | 113,1 | 121,6 | 125,6 | 102,3 | 105,7 | 150,0 |
| Org.mat. tonn ts: | 57,1 | 68,5 | 81,8 | 80,2 | 58,2 | 63,3 | 83,7 |
| FTS ut %: | 52,2 | 52,0 | 54,8 | 52,2 | 47,0 | 47,0 | 48,7 |
| Slamprod. tonn ts: | 62,2 | 81,2 | 82,3 | 77,7 | 70,1 | 56,8 | 87,3 |
| Org.mat. tonn ts: | 32,4 | 42,2 | 45,0 | 40,5 | 33,0 | 26,7 | 42,5 |
| Diff. tonn ts: | 24,7 | 26,3 | 36,8 | 39,7 | 25,3 | 36,6 | 41,2 |
| Gassprod. 1000 m ³ | 28,7 | 33,0 | 33,3 | 35,6 | 24,5 | 26,5 | 38,0 |
| Gass/nedbr. org.mat. m ³ /kg nedbr: | 1,17 | 1,26 | 0,91 | 0,90 | 0,97 | 0,72 | 0,92 |

VEDLEGG C

Regneeksempler på energibalanse.

I prosjektperioden er det utarbeidet regnemodeller for energibalanse for utråtningsanlegg med tre ulike slammengder A, B og C.

- A. 15.500 tonn slam pr.år med 6 % ts
(omlag 20.000 p.e.)
1 tank a 750 m².
- B. 54.500 tonn slam pr.år med 6 % ts
(omlag 70.000 p.e.)
2 tanker a 1300 m²
- C. 350.000 tonn slam pr.år med 6 % ts
(omlag 450.000 p.e.)
3 tanker a 5120 m³

Felles forutsetninger:

| | |
|---|----------|
| Behandlingstid: | 16 dager |
| Andel org.materiale i tørrstoffraksjonen: | 65 % |

| | | |
|--|------|-------------|
| Nedbrytingsgrad, org. materiale: | 35 % | (lav verdi) |
| Andel metan i biogass: | 60 % | (lav verdi) |
| Andel av metans brennverdi til oppvarming: | 80 % | |
| Varmegjenvinningsgrad - slam/slam: | 50 % | |

Tankutførelse i stål med og uten isolasjon. Fritt plassert direkte på grunnen. Tanker med høyde/diameter-forhold - 1:1.

Slammengde A: Energibalanse - varmeenergi
kWh/dag

| | | | |
|-----------------------|-------|------|------|
| Slamtemperatur, °C | 4 | 8 | 12 |
| Utetemperatur, °C | -10 | 0 | 10 |
| <u>Uisolert tank:</u> | | | |
| m/varmeveksling | -380 | 190 | 770 |
| u/varmeveksling | -1110 | -450 | 220 |
| <u>Isolert tank:</u> | | | |
| m/varmeveksling | 1520 | 1670 | 1820 |
| u/varmeveksling | 790 | 1040 | 1280 |

Slammengde B: Energibalanse - varmeenergi
kWh/dag

| | | | |
|-----------------------|-------|------|------|
| Slamtemperatur, °C | 4 | 8 | 12 |
| Utetemperatur, °C | -10 | 0 | 10 |
| <u>Uisolert tank:</u> | | | |
| m/varmeveksling | 6 | 1720 | 3440 |
| u/varmeveksling | -2570 | -520 | 1530 |
| <u>Isolert tank:</u> | | | |
| m/varmeveksling | 5510 | 6000 | 6500 |
| u/varmeveksling | 2940 | 3760 | 4580 |

Slammengde C: Energibalanse - varmeenergi
kWh/dag

| | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Slamtemperatur, °C | 4 | 8 | 12 |
| Utetemperatur, °C | -10 | 0 | 10 |
| <u>Uisolert tank:</u> | | | |
| m/varmeveksling | 17120 | 24340 | 31560 |
| u/varmeveksling | 570 | 9930 | 19280 |
| <u>Isolert tank:</u> | | | |
| m/varmeveksling | 37360 | 40080 | 42800 |
| u/varmeveksling | 20810 | 25670 | 30520 |

VEDLEGG D

Knarrdalstrand renseanlegg - detaljerte areal- og volumoppgaver.

Slambehandlingsanlegget består av:

1. 3-etasjes bygning i forblendet tegl

| | | |
|----------------------|----------------------|------------------------------|
| Grunnflate, utv.: | 228 m ² | |
| Grunnflate, inv.: | 200 m ² | |
| Eff.volum, inv.: | 1.796 m ³ | (ekskl. ganger) |
| Innvendig golvareal: | 333 m ² | (inkl.innv.vegger og ganger) |

2. Utvendig

Isolert råtnetank i betong

| | |
|-----------------|---------------------|
| Volum: | 1500 m ³ |
| Diameter, innv. | 14 m |
| Høyde, eff. | 10 m |

Slambehandlingsbygning består av:

| | | |
|--------------------|------------|---------------------|
| Hygieniseringsrom: | Golvflate: | 67,5 m ² |
| | Høyde: | 15 m |
| | Volum: | 1013 m ³ |

1.etg.

| | | | |
|------------|------------|---------------------|---------|
| Slamlager: | Golvflate: | 14,7 m ² | (innv.) |
| | Høyde: | 4 m | (eff.) |
| | Volum: | 59 m ³ | |

| | | |
|---------------|------------|---------------------|
| Gassmotorrom: | Golvflate: | 27,3 m ² |
| | Høyde: | 3,6 m |
| | Volum: | 98 m ³ |

| | | |
|----------|------------|-------------------|
| Kjelrom: | Golvflate: | 25 m ² |
| | Høyde: | 3,6 m |
| | Volum: | 90 m ³ |

| | | |
|---------|------------|---------------------|
| Silrom: | Golvflate: | 20,6 m ² |
| | Høyde: | 3,6 m |
| | Volum: | 74 m ³ |

| | | |
|----------|------------|---------------------|
| Gassrom: | Golvflate: | 10,9 m ² |
| | Høyde: | 3,6 m |
| | Volum: | 39 m ³ |

Gangareal og innvendige vegger:

| | |
|------------|-------------------|
| Golvflate: | 44 m ² |
|------------|-------------------|

2.etg.

| | | |
|----------------|------------|----------------------|
| Sentrifugerom: | Golvflate: | 36,8 m ² |
| | Høyde: | 4,0 m |
| | Volum: | 147,2 m ³ |

| | | |
|---------------------------------|------------|----------------------|
| Polymerrrom: | Golvflate: | 20,8 m ² |
| | Høyde: | 4,0 m |
| | Volum: | 83,2 m ³ |
| Kontrollrom: | Golvflate: | 21,4 m ² |
| | Høyde: | 4,0 m |
| | Volum: | 85,6 m ³ |
| Ventilasjonsrom: | Golvflate: | 26,8 m ² |
| | Høyde: | 4,0 m |
| | Volum: | 107,2 m ³ |
| Gangareal og innvendige vegger: | | |
| | Golvflate: | 17 m ² |

VEDLEGG E

Fredrikstad og omegn avløpsanlegg - detaljerte areal- og volumoppgaver.

1. Slambehandlingsfløy

| | |
|---|------------------------|
| Grunnflate, utv.: | 640 m ² |
| Grunnflate, inv.: | 612 m ² |
| Bygningsvolum: | ca 5440 m ³ |
| Effektivt romvolum (ekskl. ganger, m.v.): | 2651 m ³ |
| Golvareal (ekskl. ganger m.v.): | 790 m ² |

2. Utvendig

Råtnetanker, 2 stk i betong isolerte utvendig
 - volum 1500 m³
 - diameter 14,9 meter innvendig
 - diameter 16,0 meter utvendig
 - høyde effektiv ca 12,3 m

Gasslager 50 m³
 Gassfakkell

Slambehandlingsfløyen består av:

| | | |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| Rom for fortykkere: | Flateareal | 245,7 m ² |
| | Høyde, eff. | 5,0 m |
| | Volum: | 409,5 m ³ |
| | Slamfortykkervolum, eff. | 243 m ³ |
| Behandlingsrom: | Golvflate: | 229,8 m ² |
| m/pasteurisering | Høyde: | 3,7 m |
| varmeveksling | Volum: | 850,3 m ³ |
| vaskefunksjon | | |

- | | |
|--|----------|
| 1. Del av rom med pasteuriseringstank: | ca. 15 % |
| 2. Del av rom med varmevekslere: | ca 50 % |
| 3. Del av rom med vaskefunksjon: | ca 35 % |

| | |
|--|--|
| Slamlager: (etter utråtning) | Golvflate: 79 m ² Høyde, eff. 4,0 m Volum: 316 m ³ |
| Avvanningsrom, sentrifuger: m/sentrifuger, polymerbl. | Golvflate: 103,4 m ² Høyde: 4,7 m Volum: 486,0 m ³ |
| Rom for slamsiloer: (avvannet slam) | Golvflate: 98,0 m ² Høyde: 4,7 m Volum: 460,6 m ³ |
| Derav slamsilokap: | 260 m ³ |
| Gassrom: (regulering m.v.) | Golvflate: 12,9 m ² Høyde: 3,7 m Volum: 47,7 m ³ |
| Fyrrom: | Golvflate: 21,9 m ² Høyde: 3,7 m Volum: 81,0 m ³ |

Slamutlastingsfunksjon: Utvendig

VEDLEGG F

Sarpsborgdistriktets interkommunale avløpsselskap - detaljerte areal- og volumoppgaver.

Anlegget består av:

1. Slambehandlingsbygning

| | |
|--|-----------------------|
| Grunnflate, utv.: | 648,3 m ² |
| Grunnflate, inv.: | 606,3 m ² |
| Effektivt romvolum (ekskl. ganger, m.v.) | 5122,9 m ³ |
| Golvareal (ekskl. ganger m.v.) | 969,1 m ² |

2. Utvendig

| | |
|--------------------------|--|
| Råtnetank: (utvendig) | Grunnflate: 113 m ² Diameter: 12 m Høyde: 14,3 m Volum: 1200 m ³ |
| Gasstank:: (utvendig) | Grunnflate: 38,5 m ² Diameter: 7,0 m Høyde: 11,5 m Volum: 300 m ³ |
| Gassfakkel | |

Slambehandlingsbygningen består av:

| | |
|-------------------|--|
| Fortykkere: 2 stk | Golvflate: 2 x 42,3 m ² Høyde, eff. 4 m Volum: 338 m ³ |
|-------------------|--|

| | |
|--------------------------------------|--|
| Inspeksjon, fortykker: (2.etg.) | Golvflate: 93,5 m ² Høyde: 4 m Volum: 374 m ³ |
| Bufferlager: | Golvflate: 8 m ² Høyde: 3,5 m Volum: 28 m ³ |
| Slamlager: | Golvflate: 39 m ² Høyde, eff. 3,3 m Volum: 129 m ³ |
| Inspeksjon, bufferlager slamlager | Golvflate: 35,5 m ² Høyde: 3,6 m Volum: 127,8 m ³ |
| Aerob/termofil behandling: | Golvflate: 166,8 m ² Volum, samlet: 1612,2 m ³ |
| 1. Del av rom med lav høyde: | Golvflate: 106,9 m ² Høyde: 3,8 m Volum: 406,2 m ³ |
| 2. Del av rom med stor høyde: | Golvflate: 80,4 m ² Høyde: 15 m Volum: 1206 m ³ |
| Avvanningsrom, sentrifuger: | Golvflate: 95,5 m ² Høyde: 4,8 m Volum: 458,4 m ³ |
| Polymerrom: (lager og blanderrom) | Golvflate: 106,7 m ² Høyde: 4,5 m Volum: 480,2 m ³ |
| Rom for slamsiloer: | Golvflate: 95,5 m ² Høyde: 7,2 m Volum: 687,6 m ³ |
| | Derav slamsilokap: 125 m ³ |
| Utlastingsrom for slam | Golvflate: 88 m ² Høyde: 4,3 m Volum: 378,4 m ³ |
| Gassrom: (regulering m.v.) | Golvflate: 31,7 m ² Høyde: 3,6 m Volum: 114,1 m ³ |
| Fyrrom: | Golvflate: 44,3 m ² Høyde: 3,6 m Volum: 159,5 m ³ |
| Rom for nødstrømsaggregat: | Golvflate: 16,9 m ² Høyde: 3,6 m Volum: 60,8 m ³ |

| | | | |
|--|-------------|-------|----------------|
| Disponibelt: | Golvflate: | 16,9 | m ² |
| | Høyde: | 3,6 | m |
| | Volum: | 60,8 | m ³ |
| Gassmotorom: (gassmotor ikke inst.) | Grunnflate: | 31,7 | m ² |
| | Høyde: | 3,6 | m |
| | Volum: | 114,1 | m ³ |

VEDLEGG G

Bekkelaget renseanlegg, OVA - detaljerte areal- og volumoppgaver

1. Bygning med 1 fortykker og gasslager

| | | | |
|---------------|------------------|--------|----------------|
| | Grunnflate: | 181,5 | m ² |
| | Diameter, utv. | 15,2 | m |
| | Høyde: | 15,3 | m |
| | Volum, utv. | 2777,0 | m ³ |
| Fortykkerrom: | Golvareal, inv. | 164,7 | m ² |
| | Høyde: | 6,8 | m |
| | Volum: | 1110,0 | m ³ |
| | For.volum: | 630,0 | m ³ |
| Gasslagerrom: | Golvareal: | 164,7 | m ² |
| | Høyde: | 7,1 | m |
| | Volum: | 1169,4 | m ³ |
| | Gassl.volum: | 800,0 | m ³ |
| Sidebygning: | Grunnflate, utv. | 29,8 | m ² |
| | Grunnflate, inv. | 22,7 | m ² |
| | Golvareal, inv. | 75,0 | m ² |
| | Høyde, snitt: | 11,0 | m |
| | Volum: | 330,0 | m ³ |

2. Bygning med 1 fortykker

| | | | |
|--|----------------|--------|----------------|
| | Grunnflate: | 181,5 | m ² |
| | Golvareal: | 167,5 | m ² |
| | Diameter, utv. | 15,2 | m |
| | Høyde: | 10,4 | m |
| | Volum, utv. | 1887,6 | m ³ |
| | Volum, inv. | 1200,0 | m ³ |
| | For.volum: | 630,0 | m ³ |

3. Råtnetankanlegg:

| | | | |
|--------------------|------------------|-------|----------------|
| Råtnetanker, 2 stk | Grunnflate: | 267,4 | m ² |
| | Grunnflate, inv. | 227,0 | m ² |
| | Diameter, utv. | 18,5 | m |
| | Diameter, inv. | 17,0 | m |

| | | |
|------------------------------|-------------------|------------------------|
| | Høyde, tot. | 27,4 m |
| | Høyde, utv. | |
| | snittv. | 19,8 m |
| | Høyde, inv. | 18,5 m |
| | Volum, innv. | 4200 m ³ |
| | Volum, utv. | 5294 m ³ |
| | Behandlingsvolum: | 4000 m ³ |
| Samlet: | | |
| | Grunnfl. utv. | 535 m ² |
| | Volum, utv. | 10588 m ² |
| | Beh. volum: | 8000 m ³ |
| Trappetårn m.v. | Grunnflate: | 30,0 m ² |
| | Golvareal: | 74,0 m ² |
| | Høyde, utv. | 22,0 m |
| | Høyde, inv. | 21,1 m |
| | Volum, utv. | 660,0 m ³ |
| | Volum, innv. | 548,0 m ³ |
| Samlet for råtnetankanlegg: | | |
| | Grunnflate, utv. | 565,0 m ² |
| | Golvareal: | 74,0 m ² |
| | Volum, innv. | 11136,0 m ³ |
| | Volum, utv.: | 11248,0 m ³ |
| 4. Fyrrrom i kjellerom | Golvareal: | 85,0 m ² |
| | Høyde: | 4,4 m |
| | Volum: | 374,0 m ³ |
| 5. Slamlager med lufting | Volum | 1200,0 m ³ |
| 6. Avvanningsbygning, 2 etg. | | |
| | Grunnflate, utv. | 335,8 m ² |
| | Golvareal, sum | 560,0 m ² |
| | Høyde, utv. | 15,4 m |
| | Volum, utv. | 5171,0 m ³ |
| | Volum, innv. | 3616,0 m ³ |
| Sentrifugerom | Golvareal: | 180,2 m ² |
| | Høyde: | 6,2 m |
| | Volum: | 1117,3 m ³ |
| Polymerrom m.v. | Golvareal: | 66,7 m ² |
| | Høyde: | 6,2 m |
| | Volum: | 413,5 m ³ |
| Slamutlasting: | Golvareal: | 135,0 m ² |
| | Høyde: | 6,2 m |
| | Volum: | 837,0 m ³ |
| Tavlerom: | Golvareal: | 9,6 m ² |
| | Høyde: | 6,2 m |
| | Volum: | 59,5 m ³ |

| | | |
|-------------------|------------|----------------------|
| Disponibelt: | Golvareal: | 30,5 m ² |
| | Høyde: | 6,2 m |
| | Volum: | 189,1 m ³ |
| Lager m.v.: | Golvareal: | 118,0 m ² |
| | Høyde: | 6,2 m |
| | Volum: | 731,6 m ³ |
| Gangarealer m.v.: | Golvareal: | 20,0 m ² |
| | Høyde: | 13,4 m |
| | Volum: | 268,0 m ³ |

7. Gassfakkell