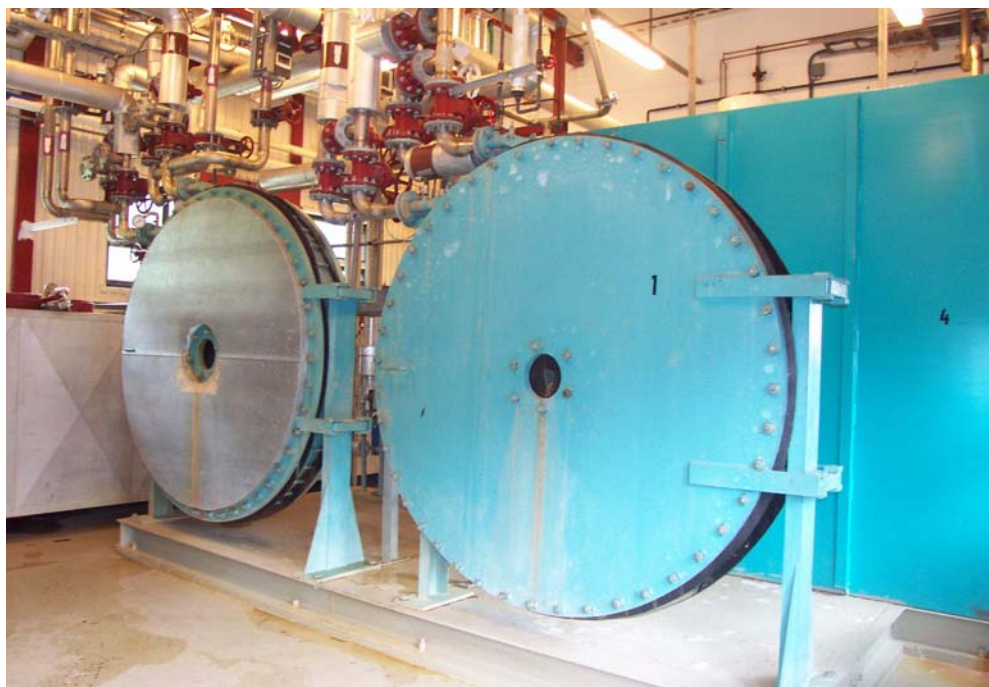


Erfaringer med hygienisering av slam i Norge

*Steinar Nybruket
Bjarne Paulsrud
Kjell Terje Nedland*



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Ola Burström, ordförande
Roger Bergström
Bengt Göran Hellström
Staffan Holmberg
Pär Jönsson
Peeter Maripuu
Stefan Marklund
Peter Stahre
Jan Söderström

Skellefteå
Svenskt Vatten AB
Stockholm Vatten AB
Haninge
Östersund
Vaxholm
Luleå
VA-verket Malmö
Sv kommunförbundet

Asle Aasen, adjungerad
Thomas Hellström, sekreterare

NORVAR, Norge
Svenskt Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Erfaringer med hygienisering av slam i Norge
Title of the report:	Experiences with sewage sludge disinfection in Norway
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2003-32
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-96-0
Författare:	Steinar Nybruket, NORVAR, Bjarne Paulsrud og Kjell Terje Nedland, Aquateam
VA-Forsk projekt nr:	22-118
Projektets namn:	Erfaringer med stabilisering og hygienisering av slam i Norge
Projektets finansiering:	VA-Forsk
Rapportens omfattning Sidantal:	64
Format:	A4
Sökord:	Slambehandling, hygienisering, driftserfaringer, kostnader
Keywords:	Sludge treatment, disinfection, operation experiences, costs
Sammandrag:	Rapporten sammenstiller norske erfaringer med ni forskjellige hygieniseringsmetoder for slam. På renseanlegg med eksisterende råtnetank(er) vil aerob, termofil forbehandling, pasteurisering eller termisk hydrolyse være driftssikre metoder. Termofil utråtning kan også hygienisere slam, mens termisk tørking trenger lang innkjøringstid og er forbundet med høye kostnader.
Abstract:	This report shows Norwegian experiences with nine methods for disinfection of sludge. Reliable methods for use at plants with existing digestion tanks are aerobic thermophilic pretreatment, pasteurization or thermal hydrolysis. Thermophilic anaerobic stabilization is also an alternative, while thermal drying needs a long running-in stage and has high costs.
Målgrupper:	Renseanleggseiere, konsulenter
Omslagsbild:	Varmevekslere ved et anlegg med pasteurisering, foto Steinar Nybruket
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2003
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Sammendrag

I Norge har man 10-15 års erfaringer med en rekke metoder for hygienisering av avløpsslam. I Sverige har man per 2002 ikke krav om hygienisering, men et forslag til nytt EU-direktiv legger opp til slike krav avhengig av bruksområder for slammet. I Norge er det i *Forskrift om avløpsslam* satt krav om at slam som skal brukes, ikke skal inneholde infektive parasittegg eller *Salmonella*-bakterier, og mindre enn 2.500 termotolerante koliforme bakterier per gram slamtørrestoff. Denne rapporten sammenstiller de norske erfaringene med ni forskjellige hygieniseringsmetoder for slam.

Våtkompostering (aerob, termofil stabilisering) av slam er en billig og velegnet stabiliserings- og hygieniseringsmetode på renseanlegg mindre enn ca. 15.000 PE.

Aerob, termofil forbehandling foran anaerob stabilisering er en hygieniseringsmetode med relativt lite problemer og lave driftskostnader. Alle anleggseiere som har erfaringer med metoden, anbefaler den.

Pasteurisering foran anaerob stabilisering har fungert bra på de tre norske renseanleggene som benytter denne hygieniseringsformen. Slammet fra anlegg med pasteurisering har hatt tendenser til å være "utflytende" etter avvanning, dvs. sprute ved opplastning (Sandefjord) og måtte tørkes opp i laguner (Øra) selv om tørrstoffinnholdet har vært høyt (25-30% TS).

Erfaringene med **termofil, anaerob stabilisering** i Norge er av relativt kort varighet. De to anleggene som har prøvd slik hygienisering, er fornøyd med metoden, og bakterieprøver viser at bakteriekravene i *Forskrift om avløpsslam* overholdes. Det er imidlertid mer usikkert om parasittegg drepes effektivt ved denne metoden. Det har ikke vært problemer med ustabil drift av prosessen, selv med store temperatursvingninger på ett av anleggene.

De fleste norske anlegg med **termisk tørking** av slam har hatt store innkjøringsproblemer. Tørking er en prosess som krever mye oppfølging og vedlikehold av mekanisk utstyr. Metoden vil derfor kun kunne anbefales på de største renseanleggene som satser på å lage høyverdige produkter som organisk gjødsel eller vekstjord av slammet. Vakuumbørking av slammet etter VEAS-metoden kan være et interessant alternativ for anlegg som allerede har råtnetanker og kammerfilterpresser for slamavvanning.

Termisk hydrolyse egner seg bra foran anaerob stabilisering dersom man ønsker et sterilt slam som kan brukes i alle sammenhenger. Det har vært lite driftsproblemer med anlegget og lite arbeid med oppfølging/kontroll.

Kalkbehandling av slam (Orsa-metoden) egner seg godt for mindre renseanlegg i områder hvor slammet kan brukes i jordbruket, men slammengde per arealenhet må tilpasses jordas kalkbehov. Det er lite driftsproblemer med metoden. Et interessant alternativ til metoden er å varme opp slammet med strøm i en termoblander for å redusere kalkforbruket og dermed få et slam med en kalkmengde som er bedre tilpasset jordbrukets behov.

Langtidslagring og **rankekompostering** av slam er metoder som kan benyttes i spredt bebygde områder der man har lagringsplasser som ligger langt fra naboer. Metodene medfører luktulempen, og det er derfor svært viktig å ta hensyn til dette i lokaliseringen av behandlingsstedet. Termotolerante koliforme og *Salmonella*-bakterier forsvinner i løpet av få måneder, men parasittegg kan overleve i mange år om temperaturen ikke blir høy nok (>55°C).

Reaktorkompostering kan benyttes dersom slammet primært skal brukes på grøntområder. Erfaringene med reaktorkompostering av slam er rimelig gode, men det er viktig med effektiv luktbehandling av avgassene fra reaktoren.

Summary

Norwegian WWTPs have 10-15 years experience with several sewage sludge disinfection methods. In Sweden there is no disinfection criteria until now, but a new EU directive proposal sets such standards depending on sludge use. The Norwegian *Sewage sludge regulation* claims that sludge for land application shall not contain infective helminth eggs or *Salmonella* bacteria, and less than 2,500 faecal coliforms per gram dry solids. This report summarises Norwegian experiences with nine different sludge disinfection methods.

Thermophilic aerobic digestion (liquid composting) is a cost-effective stabilisation and disinfection method at WWTPs with less than ca. 15.000 p.e.

Thermophilic aerobic pre-treatment (before anaerobic digestion) is a disinfection method with minor operational problems and with low operation costs. All owners of such plants in Norway recommend the method.

Pre-pasteurisation (before anaerobic digestion) has functioned well at the three Norwegian WWTPs that have this disinfection method. Sludge from pre-pasteurisation plants has the tendency to be “plastic” after dewatering, i.e. splash into lorries (Sandefjord) or needs to be dried in lagoons (Øra) even though dry solids content has been high (25-30 % DS).

Thermophilic anaerobic digestion has only been used in Norway for a short period. The two plant owners that employ this disinfection method are satisfied, and the Norwegian sewage sludge regulation regarding bacteria is complied with. It is, however, not verified that helminth eggs are effectively inactivated by the method. Large temperature variations at one plant have not caused process instability.

Most of the Norwegian WWTPs with **thermal drying** (after anaerobic digestion) have had starting problems. Thermal drying processes require a lot of monitoring and maintenance. This disinfection method therefore can only be recommended for large WWTPs that want to make superior organic fertilisers or soil amendment products from the sludge. Vacuum drying (the VEAS method) can be of interest for WWTPs that already have anaerobic digestion and membrane filter presses for sludge dewatering.

Thermal hydrolysis is well suited for sludge sterilisation before anaerobic digestion, and the treated sludge can be used on land areas without hygienic restrictions. There have been few operational problems with the plant, and plant monitoring has not been time consuming.

Lime treatment (addition of quicklime to dewatered raw sludge) is suitable for small WWTP:s in rural areas with a need for lime and organic fertilisers in agriculture. The application load (tonnes DS/ha/year) must be fitted to the soil's lime requirement. There have been few operational problems with this method. An interesting alternative is heating the sludge by electricity in a thermo mixer to reduce the lime dosage, and thereby having reduced lime content.

Long-term storage and **windrow composting** of dewatered sludge are methods for rural areas where the treatment can be done far away from nab ours. These methods give odour problems and the plant location is therefore essential. Faecal coliforms and *Salmonella* bacteria disappear from the sludge in a few months, but helminth eggs can survive for many years if the temperature is not sufficiently high (>55°C).

Reactor composting is mainly for sludge to be used on green areas. Norwegian experiences with this method are quite good, but effective odour treatment is essential.

Forord

I Norge har man 10-15 års erfaringer med en rekke metoder for hygienisering av avløpsslam. I Sverige har man per 2002 ikke krav om hygienisering, men et forslag til nytt EU-direktiv legger opp til slike krav avhengig av bruksområder for slammet. I Norge er det i *Forskrift om avløpsslam* satt krav om at slam som skal brukes, ikke skal inneholde infektive parasittegg eller *Salmonella*-bakterier, og mindre enn 2.500 termotolerante koliforme bakterier per gram slamtørrstoff. Denne rapporten sammenstiller de norske erfaringene med ni forskjellige hygieniseringsmetoder for slam:

- Våtkompostering (aerob, termofil stabilisering)
- Aerob, termofil forbehandling foran anaerob stabilisering
- Pasteurisering foran anaerob stabilisering
- Termofil, anaerob stabilisering
- Termisk tørking
- Termisk hydrolyse
- Kalkbehandling
- Langtidslagring og rankekompostering
- Reaktorkompostering

Vi håper rapporten gir en god oversikt over erfaringene med de ulike hygieniseringsmetodene for slam og et godt grunnlag for vurderinger for svenske forhold.

Oslo og Hamar i april 2003

Bjarne Paulsrud
Aquateam

Kjell Terje Nedland
Aquateam

Steinar Nybruket
NORVAR

Innholdsfortegnelse

1.	Bakgrunn.....	1
2.	Mål	1
3.	Kontrollopplegg for hygienisering av slam i Norge.....	2
4.	Erfaringer med ulike hygieniseringsmetoder i Norge	4
4.1.	Innledning	4
4.2.	Våtkompostering (aerob, termofil stabilisering).....	5
4.2.1.	Innledning	5
4.2.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	5
4.2.3.	Erfaringer fra Vårnes renseanlegg.....	6
4.3.	Aerob, termofil forbehandling foran mesofil, anaerob stabilisering	8
4.3.1.	Innledning	8
4.3.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	8
4.3.3.	Norske erfaringer med metoden	9
4.4.	Pasteurisering foran mesofil, anaerob stabilisering	15
4.4.1.	Innledning	15
4.4.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	15
4.4.3.	Norske erfaringer med metoden	16
4.5.	Termofil, anaerob stabilisering.....	20
4.5.1.	Innledning	20
4.5.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	20
4.5.3.	Norske erfaringer med metoden	21
4.6.	Anaerob stabilisering og termisk tørking	25
4.6.1.	Innledning	25
4.6.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	25
4.6.3.	Norske erfaringer med metoden	26
4.7.	Termisk hydrolyse og anaerob stabilisering.....	37
4.7.1.	Innledning	37
4.7.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	37
4.7.3.	Norske erfaringer med metoden	38
4.8.	Kalktilsetning til avvannet slam (Orsa-metoden).....	40
4.8.1.	Innledning	40
4.8.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	40
4.8.3.	Norske erfaringer med metoden	41
4.9.	Rankekompostering og langtidslagring	47
4.9.1.	Innledning	47
4.9.2.	Kort prosessbeskrivelse.....	47
4.9.3.	Norske erfaringer med metodene	47
4.10.	Reaktorkompostering	50
4.10.1.	Innledning.....	50
4.10.2.	Kort prosessbeskrivelse	50
4.10.3.	Norske erfaringer med metoden	50
5.	Kostnader for hygienisering av slam	55
6.	Forslag til videre arbeid	56
7.	Referanser	57

1. Bakgrunn

NORVAR gjennomførte i 1996 et forprosjekt der man sammenstilte erfaringer med ulike løsninger for stabilisering og hygienisering av avløpsslam. Utførende konsulent var Aquateam AS.

I Norge har man mange års erfaringer med de ulike metodene som rapporten fra 1996 beskriver. I Sverige har man per 2002 ikke krav om hygienisering av avløpsslam, men i et forslag til nytt EU-direktiv legges det opp til slike krav avhengig av bruksområder for slammet.

I Norge gjelder følgende krav til hygienisering av slam (uansett bruksområde) (*Forskrift om avløpsslam, 1995*):

§ 8. Krav om hygienisering og stabilisering av slam

Slam som skal brukes skal være hygienisert og stabilisert.

Hygienisert slam skal ikke inneholde salmonellabakterier eller infektive parasittegg, og innholdet av termotolerante koliforme bakterier skal være mindre enn 2500 per gram tørrstoff (TS).

Høsten 2001 ble det avholdt et møte mellom VAK-komiteén og representanter fra NORVARs faggruppestyrer. Her ble det drøftet aktuelle samarbeidsprosjekter mellom NORVAR og VAK/VAV.

Det ble besluttet at NORVAR i samarbeid med Aquateam AS skulle lage en rapport der erfaringer med ulike metoder for hygienisering av slam i Norge skal overføres til Sverige som grunnlag for kommende implementering av krav om hygienisering av slammet i Sverige.

2. Mål

Med utgangspunkt i innsamlede data fra anlegg med ulike hygieniseringsmetoder i Norge, er målet med prosjektet å lage en sammenstilling av erfaringene for bruk som grunnlag for svenske kommuner/anleggseiere under planleggingen av implementering av kommende EU-krav om hygienisering av avløpsslam.

3. Kontrollopplegg for hygienisering av slam i Norge

Forskrift om avløpsslam (Slamforskriften) har som mål å forebygge forurensningsmessige, helsemessige og hygieniske ulemper ved disponering av slam, og legge til rette for at slam kan benyttes som en ressurs. I forskriften er det stilt krav om at slam som skal brukes, skal være hygienisert og stabilisert. Hygienisert slam skal ikke inneholde *Salmonella*-bakterier eller infektive parasittegg, og innholdet av termotolerante koliforme bakterier (TKB) skal være mindre enn 2.500 per gram tørrstoff.

Slamforskriften inneholder ingen anvisninger eller råd for hvordan anleggseierne skal dokumentere om slammet overholder kravene til hygienisering. Dette er i motsetning til tungmetallkravene, hvor Slamforskriften angir at det skal utarbeides en innholdsdeklarasjon som skal følge med alle leveranser av slam til jordbruk eller grøntarealer. I en veiledning for prøvetaking av slam (Paulsrud, 1995), som ble utarbeidet i tilknytning til Slamforskriften, er det også beskrevet prøvetakingsopplegg for bakteriologiske analyser. Det fremgår av dette at det skal tas separate prøver (stikkprøver) av ferdig behandlet slam, og at disse skal analyseres så raskt som mulig etter prøveuttak. Prøvetakingsfrekvensen er foreslått til minimum en gang per måned, men i tillegg er det sterkt anbefalt at det etableres en prosess-orientert driftskontroll av hygieniseringstrinnet på anlegget. I denne driftskontrollen (internkontroll) bør det inngå en kontinuerlig registrering av temperatur, oppholdstider og evt. pH i hygieniseringstrinnet, slik at uttak av prøver for bakteriologiske analyser av ferdigbehandlet slam bare er et supplement til anleggets internkontroll, og primært skal avdekke om det skjer en rekontaminering av slammet etter hygieniseringstrinnet.

Tilsynet med at de hygieniske kravene i Slamforskriften overholdes, er lagt til helseetaten i kommunene, og i mange kommuner er dette en lavt prioritert oppgave. Dette har medført mange forskjellige rutiner på renseanleggene når det gjelder prøvetaking for bakteriologiske analyser. Ved flere renseanlegg blir frosne månedsblandprøver som primært lages for deklarasjon av innholdet av tungmetaller, organisk stoff og næringsstoffer i slammet, også brukt for bakteriologiske analyser. Det er også ofte uklare rutiner for å unngå bakteriologisk kontaminering av prøvene ved selve prøveuttaket.

I praksis er det de kommunale og interkommunale næringsmiddeltilsyn, med sine bakteriologiske laboratorier, som analyserer slamprøvene. Dette fungerer bra når det gjelder TKB- og *Salmonella*-analyser, men analyser av infektive parasittegg utføres kun av Veterinærhøgskolen i Oslo, og der er kapasiteten svært begrenset når det gjelder rutineanalyser av slam. I tillegg har man det problemet at parasittegg ofte forekommer i et lite antall og bare periodevis i det ubehandlede slammet, slik at for eksempel månedlige stikkprøver av hygienisert slam ikke vil gi noen sikkerhet for om hygieniseringsprosessen fungerer tilfredsstillende, selv om man ikke kan påvise infektive parasittegg i prøvene.

For å komme fram til bedre systemer for anleggseiernes kontroll og dokumentasjon på hvorvidt de overholder Slamforskriftens krav om hygienisering av slammet, ble det i regi av NORVAR gjennomført et forprosjekt i 2001 (Paulsrud & Storhaug, 2001). Basert på erfaringene fra slamregelverkene i USA og Tyskland (de eneste land som i likhet med Norge, har krav til fjerning av parasittegg), ble det her foreslått et kontrollopplegg som vil sikre anleggs-eierne en dokumentasjon i forhold til samtlige hygienekrav i Slamforskriften:

- Det må innføres et internkontrollsystem for slambehandlingen hvor man kontinuerlig registrerer/dokumenterer de faktiske driftsbetingelser som på forhånd er definert som kritiske for å få et hygienisert slam (for eksempel temperatur, oppholdstid og evt. pH i hygieniseringstrinnet).

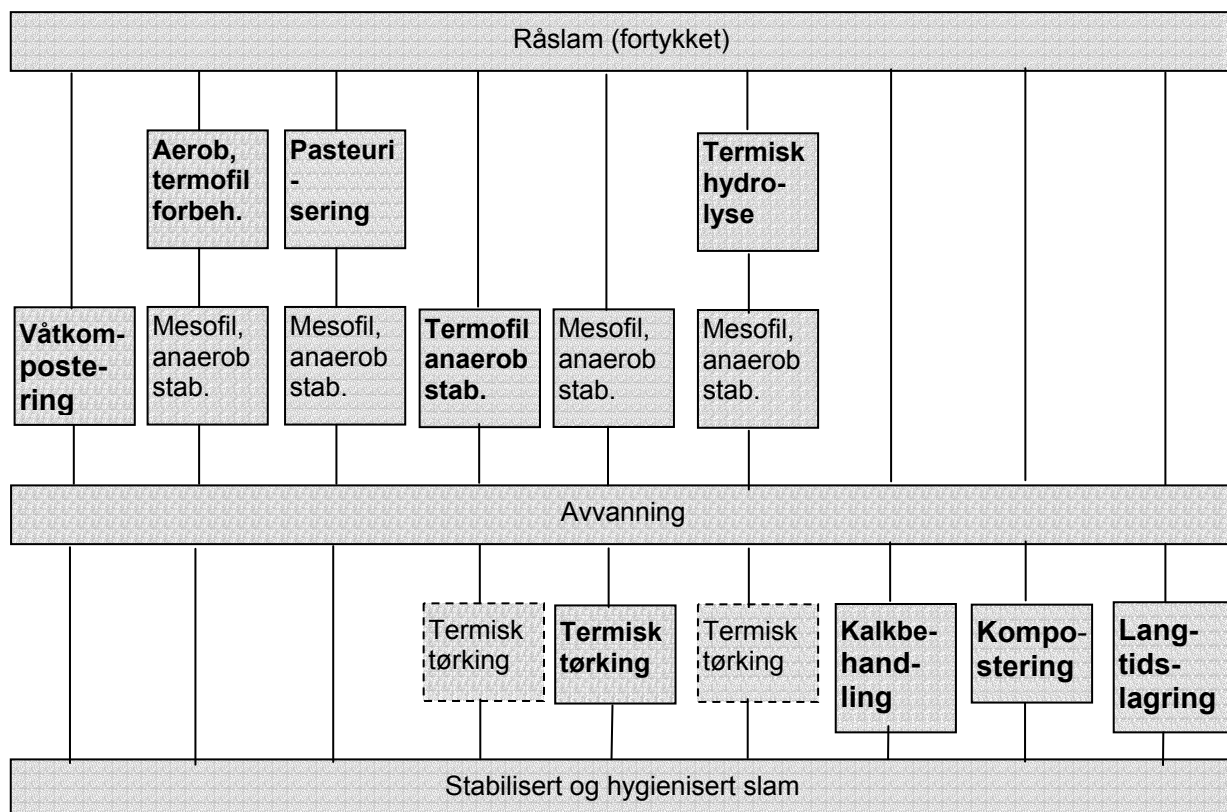
- Det må tas regelmessige prøver (minimum månedlige stikkprøver) av det ferdigbehandlede slammet før det forlater renseanlegget/slambehandlingsanlegget. Prøvene skal analyseres på termotolerante koliforme bakterier og *Salmonella*-bakterier. Dette vil gi en tilfredsstillende kontroll på om det forekommer rekontaminering av slammet etter at det har forlatt hygieniseringstrinnet.

NORVAR har videreført dette prosjektet i 2002, og det har da vært fokusert på å komme fram til de kritiske driftsbetingelsene for flere av hygieniseringsmetodene. Siden det "dimensjonerende" kravet til et hygienisert slam er at det ikke skal kunne påvises infektive parasittegg, er det gjennomført såkalte valideringstester ved fullskala anlegg som er representative for den hygieniseringsmetoden de benytter. Testene er gjort med *Ascaris*-egg (spolorm fra gris) i permeable poser som er blitt plassert inne i hygieniseringsprosessene under varierende, men kontrollerte driftsbetingelser. På denne måten har man kommet fram til kritiske driftsbetingelser for metodene pasteurisering, aerob, termofil forbehandling, vakuumbørking og kalkbehandling (Paulsrud, 2002). For sistnevnte metode vil det bli gjort supplerende laboratorietester for å fastlegge den kombinerte effekten av høy pH og høy temperatur. I 2003 vil man forsøke å skaffe finansiering for å gjøre tilsvarende eller andre tester for å kunne bestemme de kritiske driftsbetingelsene for hygieniseringsmetoder som termofil, anaerob stabilisering, kompostering og langtidslagring.

4. Erfaringer med ulike hygieniseringsmetoder i Norge

4.1. Innledning

Det finnes i prinsippet 9 forskjellige slambehandlingsmetoder i bruk i Norge som gir et stabilisert og hygienisert slam. Disse er vist i figur 1.



Figur 1. Slambehandlingsmetoder som gir et stabilisert og hygienisert slam. Hygieniseringstrinnet for hver metode er uthevet.

Norske erfaringer med disse hygieniseringsmetodene er gjennomgått i denne rapporten.

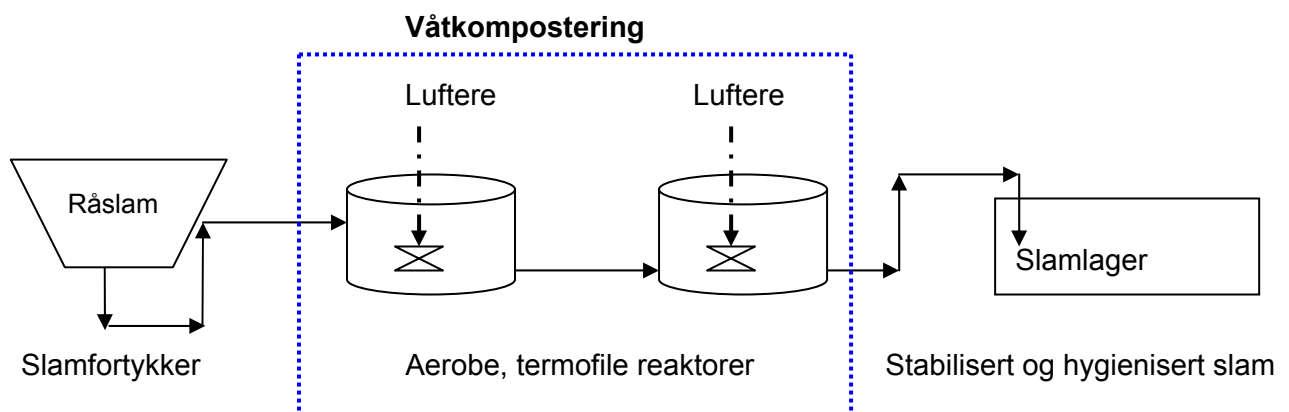
4.2. Våtkompostering (aerob, termofil stabilisering)

4.2.1. Innledning

Det er ett kommunalt renseanlegg i Norge som har tatt i bruk denne metoden, Vårnes renseanlegg i Stokke kommune. I tillegg er det et anlegg for slam fra biologisk-kjemisk rensing av avløpsvannet fra potetchipsproduksjon ved Maaruds anlegg på Disenå, og tre små anlegg for samkompostering av husdyrgjødsel og septikslam på gårdsbruk i Etnedal i Valdes, i Meldal i Sør-Trøndelag og i Aremark i Østfold.

4.2.2. Kort prosessbeskrivelse

Våtkompostering er basert på biologisk omsetning av organisk materiale i fortykket slam under tilgang på oksygen. (Paulsrud & Nedland, 1991). Prosessen utnytter varmen som aerobe bakterier utvikler ved nedbrytning av organisk stoff, slik at temperaturen i prosessen stiger, vanligvis til mellom 40 og 70°C, avhengig av omstendighetene. På grunn av de høye temperaturene i prosessen blir omsetningshastigheten høy. Med nok oksygen til stede vil oppholdstider på fra 5 til 10 døgn være tilstrekkelig til å oppnå et stabilisert slam. Dersom temperaturen holdes over 50-55°C, og det skjer en satsvis (batch) tilførsel av råslam, oppnås det også en hygienisering av slamm. For å opprettholde høy temperatur i prosessen samtidig som det blåses inn luft, benyttes det isolerte, lukkede prosesstanker og spesielle luftesystemer som ikke gir for stor luftgjennomstrømning med tilhørende varmetap. I figur 2 er vist en prinsippskisse av et våtkomposteringsanlegg som vil gi både hygienisering og stabilisering av slamm. Anlegg med våtkompostering av slam er mest utbredt i Tyskland og USA.



Figur 2. Prinsippskisse av et våtkomposteringsanlegg

Avtrekksluften fra våtkomposteringsanlegg lukter vondt, og avhengig av avstander til bebyggelse etc., vil det være behov for å installere luktfjerningsutstyr. Dette kan løses på mange forskjellige måter, men ved flere av de tyske anleggene har man enten ført avtrekksluften inn i det biologiske rensetrinnet (aktivslamanlegg), eller det er bygget separate kompostfiltre (jordfiltre) eller biofiltre (U.S. EPA, 1990).

Tyske retningslinjer for våtkomposteringsanlegg som skal gi et stabilisert og hygienisert slam, er (ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2, 1988):

- Minimum 2 reaktorer i serie.
- Hydraulisk oppholdstid: min. 5 døgn
- 50°C i minimum 23 timer, 55°C i minimum 10 timer eller 60°C i minimum 4 timer uten at det tilføres nytt råslam

Tilsvarende krav i USA:

- Minimum 55°C ved midlere slamoppholdstid på 10 døgn (U.S. EPA 1993, U.S. EPA, 1994).

I EUs forslag (3. utgave) til nytt EU-direktiv (EU, 2000) settes krav om minst 55°C i 20 timer for alle slampartiklene.

4.2.3. Erfaringer fra Vårnes renseanlegg

Vårnes renseanlegg er hovedrenseanlegget for Stokke kommune. Våtkomposteringsanlegget på Vårnes renseanlegg sto ferdig sommeren 1992, og har vært i drift siden. Det er av type Fuchs (tysk leverandørfirma) med to isolerte ståltanker med to spiralluftere og en sirkulasjonslufter i hver tank, samt skumkniver i reaktortaket. Avtrekksluften renses i et biofilter.

Anlegget ble nøye fulgt opp i 1993/94 (Nedland, 1994, Paulsrud & Nedland, 1994). Erfaringer fra driften av anlegget er også rapportert i Nedland & Paulsrud (1996) og Paulsrud & Nedland (1996).

Data for renseanlegget er vist i tabell 1. Data for slambehandlingsanlegget er vist i tabell 2, og hygieniske data i tabell 3. Kontaktperson med telefon er vist i tabell 4.

Tabell 1. Data for Vårnes renseanlegg.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (m ³ /år)
Vårnes	15.000	9.000*	Mekanisk-kjemisk	PAX-21	0

* I sommermånedene er det et tillegg på ca. 10.000 PE fra Brunstad leirsted.

Tabell 2. Data for våtkomposteringsanlegget ved Vårnes renseanlegg.

Anlegg	Startår hygieniserin g	Kapasitet (tonn TS/år)	Produsert slammengde 2001 (tonn TS/år)	Behandlet i våtkompo stering 2001 (tonn TS/år)	Volum våtkompos teringsreak torer (m ³)	Oppholdsti d (døgn)	Målt temperatur (°C)
Vårnes	1992	440	186	186	2 x 87	ca. 12	42,2 – 67,1

Tabell 3. Data for hygieniske parametre fra Vårnes renseanlegg år 2001.

Anlegg	Antall prøver	Etter våtkompostering		Etter avvanning	
		TKB (maks. antall/g TS)	Salmonella påvist?	TKB (maks. antall/g TS)	Salmonella påvist?
Vårnes	25	6.230	Ja	410	Nei

Det har vært mindre enn 500 termotolerante, koliforme bakterier (TKB) per g TS i alle prøvene ut av våtkomposteringsanlegget bortsett fra i slutten av april 2001, da det ble registrert over 6.000 TKB per g TS, og påvist Salmonella i to prøver. Dette skyldtes for lavt tørrstoffinnhold i slammet (<3%) slik at det ikke var tilstrekkelig mengde organisk stoff til å få høy nok temperatur i reaktorene. Paulsrud et. al.(2001) viser at 5 av 26 prøver i 2000-2001 ikke overholder kravene i *Forskrift om avløpsslam*. Bakteriekravene i *Forskrift om avløpsslam*

er overholdt for avvannet slam i alle årene anlegget har vært i drift, uten at man vet hvorfor bakteriene ikke blir påvist i disse prøvene. Det er ikke tatt prøver av parasittegg i slammet fra anlegget.

Så lenge innholdet av organisk stoff (flyktig tørrstoff) i fortykket slam holdes over ca. 25 kg/m³ (2,5% av TS), fungerer våtkomposteringsanlegget meget bra. Det har vært noe luktproblemer inntil man fikk installert et kompostfilter for avtrekksluften. I starten frøs noen ventiler som var montert ute, men da disse ble bygd inn, fungerte de bra.

Det er lite driftsproblemer med anlegget, og det har gått i ti år uten store vedlikeholds-kostnader. Det brukes to-tre timer per uke til rengjøring og vedlikehold. Lager og slidedeler på aeratorer og skumkniver skiftes etter 20-30.000 timers drift. På grunn av at det ikke er tak over anlegget, må man rekvirere kranbil for å få løftet ut og inn areatorene ved dette vedlikeholdet. Driftsoperatørene ønsker derfor tak over anlegget med traverskran.

Det er lite arbeid med oppfølging og kontroll av anlegget. Avvanning av våtkompostert slam krever store polymermengder (6-11 kg/tonn TS over 10 år).

Konklusjon

Våtkompostering av slam er en billig og velegnet stabiliserings- og hygieniseringsmetode på renseanlegg mindre enn ca. 15.000 PE hvor slammet kan brukes i jordbruket eller til revegetering av massetak, gruveområder osv. Dersom man skal lage jordblandinger av slammet, bør det ligge ute noen måneder og tørke før man blander det med andre komponenter.

Tabell 4. Kontaktperson ved Vårnes renseanlegg.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
Vårnes	Frank Løvvold	+4733337114	-

4.3. Aerob, termofil forbehandling foran mesofil, anaerob stabilisering

4.3.1. Innledning

Denne metoden var svært populær på begynnelsen av 1990-tallet for mellomstore renseanlegg (15.000 – 50.000 PE). Det ble bygd 8 anlegg med denne metoden, alle av type UTB (et sveitsisk leverandørfirma), som er den dominerende anleggstypen også på det internasjonale markedet. Ett av anleggene i Norge er senere ombygd til termofil, anaerob stabilisering av slam og våtorganisk avfall, og den aerobe forbehandlingen er tatt bort.

4.3.2. Kort prosessbeskrivelse

Den aerobe, termofile forbehandlingen er i prinsippet samme prosess som våtkompostering (aerob, termofil stabilisering, Paulsrud & Nedland, 1991). Oppholdstiden er imidlertid vesentlig kortere fordi hensikten bare er å få en hygienisering av slammet og ingen vesentlig nedbrytning av organisk stoff, da dette skal skje i den etterfølgende anaerobe stabiliseringen.

For å få tilstrekkelig høye temperaturer i prosessen for hygienisering ($> 60^{\circ}\text{C}$) ved de aktuelle oppholdstider, må det tilføres varme i tillegg til den som utvikles i prosessen, og det benyttes ulike typer varmevekslere for dette. Det må tilføres omtrent halvparten av varmebehovet ved UTB-prosessen (U.S. EPA, 1990), men dersom tørrstoffinnholdet i slammet inn økes (opptil ca. 7%), kan varmebehovet reduseres eller elimineres.

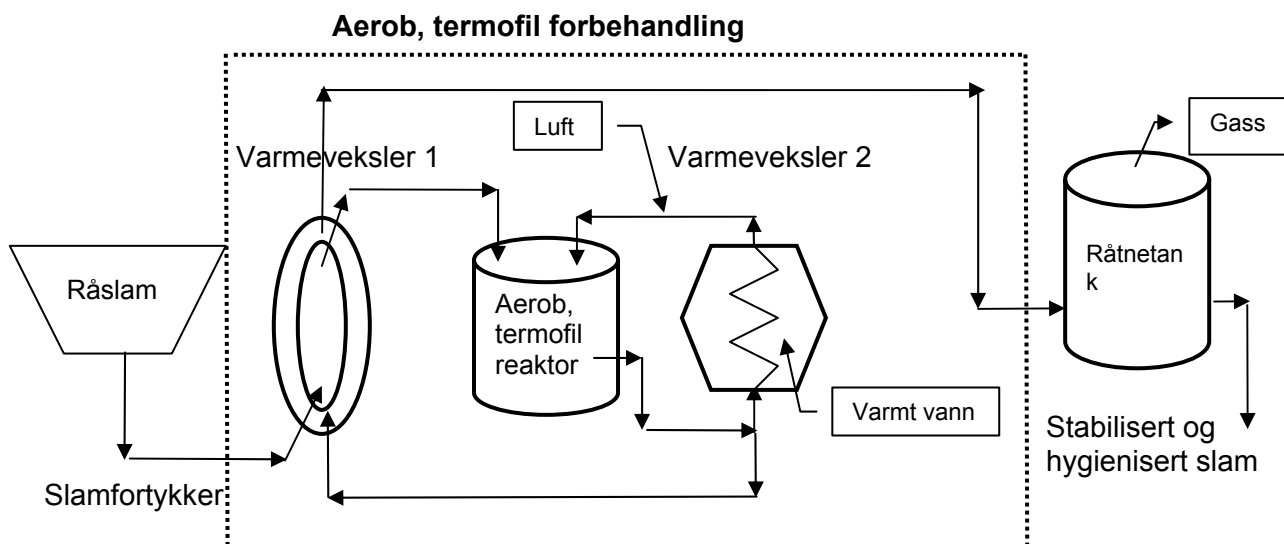
For den etterfølgende anaerobe stabiliseringen er det vanlig å dimensjonere råtnetankene for ca. 12 døgn oppholdstid i stedet for 15 døgn. Grunnen til dette er at det skjer en slamhydrolyse allerede i den aerobe, termofile forbehandlingen, og tiden som trengs for en tilfredsstillende stabilisering i råtnetanken, kan derfor reduseres.

Råtnetanker bør tilføres slam jevnt fordelt over hele døgnet, og det innebærer at den aerobe, termofile forbehandlingen også må ha ut- og innpumping av slam mange ganger i døgnet. Det er vanlig å benytte 10-15 innpumper per døgn, dvs. at det teoretisk sett blir kortere oppholdstid enn 4 timer mellom hver innpumping av råslam. Dette kan stort sett kompenseres for ved å øke reaktortemperaturen opp mot 65°C .

De fleste systemer for aerobe, termofil forbehandling benytter rundpumping i en ekstern rørsøyfe for omrøring, og en venturi på rørsøyfen for lufttilførsel. Ved noen av systemene (bl.a. UTB) blir noe av avtrekksluften fra reaktoren resirkulert til venturilufteren for å øke oksygeneringseffekten og redusere varmetapet via avtrekksluften. Skumproduksjon i reaktorene kontrolleres vanligvis ved bruk av skumkniver. Avtrekksluften fra reaktorene må behandles i luktfjerningsanlegg.

En normal driftssyklus starter med at varmt slam pumpes fra forbehandlingsreaktoren til slam-slam-varmeveksleren. Kaldt råslam pumpes så inn i det andre kammeret i varmeveksleren, og slammet får stå så lenge at temperaturen i det forbehandlede slammet reduseres til litt i overkant av 40°C , slik at det deretter kan overføres direkte til råtnetanken. Det forvarmete råslammet pumpes så til reaktoren, hvorfra det rundpumpes via vann-slam varmeveksleren for å oppnå ønsket temperatur.

Også avtrekksluften fra den aerobe, termofile forbehandlingen har en sterk lukt, og det kan være nødvendig å foreta de samme luktbegrensende tiltak som ved våtkomposteringsanlegg.



Figur 3. Prinsippskisse av et anlegg med aerob, termofil forbehandling og anaerob stabilisering.

Tyske retningslinjer for hygienisering ved aerob, termofil forbehandling er (ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2, 1988):

- $\geq 60^{\circ}\text{C}$ i minimum 4 timer eller som for pasteurisering
- $\geq 30^{\circ}\text{C}$ i etterfølgende råtnetank

I USA og i forslag til nytt EU-direktiv er det ikke angitt noe spesielt krav til aerob, termofil forbehandling.

I Norge ble det utført innpodet parasittegg (*Ascaris*) i aerob, termofil reaktor på Fuglevik renseanlegg (Paulsrud, 2002). Forsøkene viste at det ikke var infektive parasittegg igjen i slammet etter 45 minutters oppholdstid ved $61\text{--}62,5^{\circ}\text{C}$.

4.3.3. Norske erfaringer med metoden

Det er samlet inn erfaringer fra fem av de sju renseanleggene som fremdeles har denne slambehandlingsmetoden. Data for renseprosessene i disse renseanleggene er vist i tabell 5. I tabell 6 er vist data for slambehandlingsprosessene, og i tabell 7 data for bakterieinnhold i slammet fra anleggene i 2001.

Tabell 5. Data for renseanleggene.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (tonn TS/år)
Alvim	60.000	45.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	55
Fuglevik	50.000	45.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	5,4
Nordre Follo	40.000	38.000	Biologisk-kjemisk med nitrogenfjerning	PAX 21 + polymer	960
Monserud	35.000	19.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	790
Knarrdalstrand	80.000	55.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	135

Tabell 6. Data for anlegg med aerob, termofil forbehandling og anaerob stabilisering.

Anlegg	Startår hygieni- sering	Kapa- sitet (tonn TS/år)	Produsert slam- mengde 2001 (tonn TS/år)	Behandlet i aerob, termofil forbehand- ling 2001 (tonn TS/år)	Volum aerob, termofil forbe- handling (m ³)	Minimum oppholds- tid (timer)	Normal temperatur (°C) i aerob reaktor
Alvim	1989	2.630	1.250	1.250	100	1,9	63
Fuglevik	1993	2.600	1.312	1.312	90	2,2	62
Nordre Follo	1990	1.680	900	900	100	1,4	61
Monserud	1995	3.070	1.300	1.300	120	1,4	63-64
Knarrdalstrand	1991	2.500	1.200	1.200	100	1,4	60

Tabell 7. Data for hygieniske parametre fra renseanlegg med aerob, termofil forbehandling og anaerob stabilisering år 2001.

Anlegg	Antall prøver	Etter anaerob stabilisering		Etter avvanning	
		TKB (maks. antall/g TS)	<i>Salmonella</i> påvist?	TKB (maks. antall/g TS)	<i>Salmonella</i> påvist?
Alvim	11	-	-	500	Nei
Fuglevik	12	-	-	< 200	Nei
Nordre Follo	0	-	-	-	-
Monserud	1	ca. 100	Nei	ca. 100	Nei
Knarrdalstrand	0	-	-	Ikke data ^{*)}	Ikke data ^{*)}

^{*)} Det er tatt analyser på *Salmonella* tidligere, men er aldri blitt påvist.

Alvim

Alvim renseanlegg er hovedrenseanlegget for Sarpsborg kommune. Renseanlegget og slambehandlingsanlegget ble tatt i bruk i juli 1989. Det har ikke vært spesielle driftsproblemer med anlegget, bortsett fra at råtnetanken måtte tømmes helt etter 5 års drift, pga. avleiringer i bunn av tanken.

Anlegget hadde de første driftsårene en slamsil som aldri fungerte slik som forutsatt. Denne ble derfor byttet ut med en kvern (type Müncher CA 203EC W5B2). Kverna har fungert uten problemer, men driftsleder er noe usikker på om den er god nok. Under tømningen av råtnetanken i 2002 ble det kjørt vekk i alt 275 m³ med slam/avfall, hvorav Q-tips utgjorde en stor andel.

Temperaturen i hygieniseringstrinnet måles kontinuerlig og trendkurver kan kjøres ut.

Bakterieprøver tas ut etter avvanning, og det er innført internkontroll ved anlegget der uttak og analyse av bakterier inngår. Det tas ut prøver hver dag som samles til en månedsblandprøve som analyseres.

Det har vært problemer med for høyt innhold av termotolerante koliforme bakterier (TKB) pga. kontaminering i avvanningen. I slike tilfeller er rutinen at det tas ut nye stikkprøver av TKB i slammet etter en tids mellomlagring. Når slammet overholder kravet i *Forskrift om avløpsslam*, blir det brukt. I slambehandlingsanlegget blir det gjennomført desinfisering av sentrifuger og slamsiloer.

Aerob reaktor har et volum på 100 m³, og med dagens drift med 12-13 innpumper per døgn, gir dette en midlere oppholdstid i reaktor på 1,4 døgn. Tar en utgangspunkt i 12 batcher med slam per døgn og trekker fra tiden pumpingen av slam tar (oppgitt til 4-5 min), så får en at min. oppholdstid for en slampartikkel i reaktoren blir nesten 2 timer.

Driftsteknisk har det ikke vært problemer med hygieniseringstrinnet ved Alvim renseanlegg. Kommunen mener det er lite arbeid med selve hygieniseringsreaktoren, men den varme siden av varmeveksleren får et hardt belegg som er vanskelig å fjerne. I 2002 ble dette belegget fjernet med en svært sterk høytrykkspyler. Driftsleder har mistanke om at dette belegget (ca 3 cm tykt) også finnes i rørsystemene tilknyttet varmeveksleren, og at dette også burde vært fjernet.

Totalt sett er kommunen godt fornøyd med metoden og anbefaler andre å benytte denne. Driftsleder påpeker at han gjerne skulle hatt noe mer å gå på når anlegget skal tømmes og rengjøres. I slike perioder må slam lagres i slamlager og sedimenteringsbasseng i ca. 1 uke. Dersom anlegget hadde hatt 2 råtnetanker, kunne dette vært gjort uten problemer.

Fuglevik

Fuglevik renseanlegg er renseanlegg for søndre deler av Moss kommune og Rygge kommune. Det drives av MOVAR (et interkommunalt selskap) og ble tatt i bruk i 1993. Det har vært noe problemer med sandavleiringer i aerob reaktor ved regnvær. Det er satt inn tømmeventiler for å bøte på dette. Reaktoren rengjøres årlig, mens varmeveksleren foran reaktoren rengjøres halvårlig.

Foran hygieniseringstrinnet er det montert en slamsil (type Strainpress SP-3). Erfaringene med denne er gode. Slamsilen har i stor grad medvirket til at en unngår problemer med fiber o.l. i den videre behandlingen av slammet. Siden oppstarten i 1993 har det vært manuell fjærtrykksinnstilling på motholdet i silen, noe som er en tungvint løsning. I 2003 er det planer om å bygge om dette til pneumatisk regulering.

Normal oppholdstid i hygieniseringsreaktor er 1 døgn, og minimum oppholdstid for en slampartikkel er 2,2 timer. I råtnetankene er midlere oppholdstid ca. 19 døgn.

Det tas prøver for analyser på bakterier ved utkastet fra sentrifugen. Dette gjøres 1 gang per måned. Det er under utvikling et internkontrollsystem for slambehandlingen.

Det har vært problemer med for høyt innhold av bakterier pga. kontaminering etter hygieniseringstrinnet. I 1999 hadde anlegget for høye verdier på TKB ut fra den ene slamsiloen, mens det på den andre linjen ikke var tegn til kontaminering. Det viste seg at problemet var i sentrifuge nr 2, da en kunne konstatere at innløpet til sentrifugen fra slamlager også var rent. Sentrifuge 2 ble derfor fullstendig demontert, steamet, og alle komponenter ble vasket med klorin. Det samme ble gjort med slamsiloene. Resultatet ble TKB < 200 per g TS.

Årsaken til problemet er ikke avklart, men de har mistanke om at det har skjedd under service av sentrifugen fra leverandør – at verktøyet som ble brukt tidligere var benyttet på et anlegg der slammet ikke var hygienisert. Dette er nå tatt inn som et sjekkpunkt i internkontrollen.

Det er foreløpig ikke målt innhold av parasittegg i slammet som en del av internkontrollen. Imidlertid deltar Fuglevik renseanlegg i et prosjekt vedrørende kontrollsystem for parasittegg i slam (Paulsrud, 2002). Resultatet for Fuglevik renseanlegg var at alle parasittegg ble inaktivert ved en oppholdstid på 45 minutter ved 61-62,5°C.

Det har til tider vært skumdannelser i varmevekslere og reaktor. Dette problemet har blitt løst med nedspyling av skummet. I noen tilfeller er det brukt skumdemper tilsatt slammet i

bufferlager før aerob reaktor, med gode resultater. Årsaken til skumproblemet er trolig lang oppholdstid i fortykkerne.

Et annet problem er begroing på veggene i varmevekslere og reaktor. Anlegget benytter jernklorid i den kjemiske fellingen, noe som medfører beleggdannelser i tankene. Dette har god isolerende effekt og må fjernes for å opprettholde optimal drift av prosessen. Det er derfor viktig å overholde anbefalte temperaturer fra leverandør på varmekappe. Om en velger å sette temperaturen høyere, er risikoen stor for at slammet "brenner" seg fast på veggene i reaktoren.

Ved Fuglevik oppgir man at det i perioder er mye arbeid med rengjøring/vedlikehold. Det er viktig fra første stund å innføre rutiner for rengjøring for på den måten å slippe unna de helt store og tidkrevende arbeidene. Det er ikke mye arbeid med oppfølging og kontroll såfremt gode driftsrutiner innføres og følges.

Kommunen vil anbefale andre å ta i bruk hygieniseringsmetoden, da de anser den som en trygg og sikker prosess.

Nordre Follo

Nordre Follo renseanlegg er et interkommunalt renseanlegg for kommunene Oppegård, Ski og Ås. På Nordre Follo renseanlegg tas det ikke lenger prøver av bakterieinnhold i slammet, da man tidligere har erfaring for at slammet overholder kravene i *Forskrift om avløpsslam* til enhver tid. Det er laget internkontrollopplegg for drift av slambehandlingen, men bakterieinnhold i slammet er ikke med i internkontrollopplegget. Analyser fra 1991-92 etter UTB-reaktor, i slamsilo og i avvannet slam (Paulsrud et. al., 2001) viser at slammet ble rekontaminert i slamlageret etter hygienisering. Dette skyldtes at vaskevann fra vasking av septikbiler på den tiden ble ført til denne slamsiloen. Det er ikke tatt prøver av innhold av parasittegg i slammet.

Man har en Huber Strainpress slamsil foran den aerobe, termofile forbehandlingen på anlegget. Silen reduserer tilstopping av pumper, men det er kostbare slidedeler på den.

På dette anlegget har det vært mye problemer med styreprogrammet for prosessen, da det stadig oppstår uforklarlige stopper. Det er også mye elektriske feil, og feilsøking er vanskelig. Det er derfor nå laget et nytt PLS-program for prosessen, og det blir gjennomført en gjennomgang av og opprydding i elektriske tavler og kabelføringer.

Det har også vært luktproblemer fra anlegget. Man renser avtrekksluften i et kompostfilter, men det har likevel luktet mye rundt anlegget. Årsaken kan være at kompostfilteret er lagt helt inntil veifyllingen på Europaveien, og at noe luft siver ut i veifyllingen.

Det er lite arbeid med oppfølging, rengjøring og vedlikehold av hygieniseringstrinnet. Nordre Follo renseanlegg vil anbefale prosessen til andre anleggseiere.

Monserud

Monserud renseanlegg er hovedrenseanlegget for Ringerike kommune. På dette anlegget ble det bygget et slambehandlingsanlegg med aerob, termofil forbehandling og anaerob stabilisering i 1995 for slammet fra renseanlegget. Anlegget ble utvidet med et nytt trinn i 2002 med like stor kapasitet som det gamle trinnet, for at anlegget skulle kunne ta imot fortykket slam fra renseanlegg i nærliggende kommuner. Det tas også imot ca. 20.000 m³ septikslam ved anlegget, slik at det eksterne slammet utgjør en større andel enn det interne i slambehandlingsanlegget. Det pumpes 15 – 16 porsjoner slam gjennom aerob, termofil forbehandling per døgn (oppholdstid min. 1,4 timer), og oppholdstid i råtnetankene blir gjennomsnittlig ca. 14 døgn ved dagens belastning. Avvannet slam oppbevares i en tørr-slamsilo med kapasitet 60 tonn slam.

Det har ikke vært noen problemer med driften av anlegget. Man skifter lagre og foringer på en del komponenter en gang per år, og bruker ellers liten tid til oppfølging og rengjøring av anlegget. Det er innført internkontroll for slambehandlingsanlegget, og det tas bakterieprøver flere steder i slambehandlingsprosessen en gang per år. Det har aldri vært problemer med for mye bakterier i slammet. Man anbefaler metoden brukt også av andre renseanlegg.

Knarrdalstrand

Knarrdalstrand renseanlegg ble startet i desember 1990, og betjener store deler av Skien og Porsgrunn kommuner. Slambehandlingsanlegget ble tatt i bruk høsten 1991, og har fungert meget bra hele tiden. Det har ikke vært problemer med selve prosessen, men utløpet fra råtnetanken har stoppet seg til noen ganger, og man har måttet høytrykksspyle denne. Tidligere måtte man fjerne filler fra propellomrørerne i varmeveksleren og i den aerobe reaktoren, men etter at man installerte slamsil (type Strainpress) foran slambehandlingen, har ikke dette vært nødvendig. Slamsilen styres på tid og/eller innløpstrykk, og dette gir stabil drift.

Man har årlig måttet belegge hjulene på sentrifugalskruepumpene med slitebelegg. Det danner seg belegg på veggene mellom kamrene i varmeveksleren, og dette må høytrykksspyles bort årlig. Også på trykkfølerne (nivåmålerne) i varmeveksler og aerob reaktor har man tidligere måttet skrape av et belegg hver måned. I en periode ble jernklorid fra Hydrogas benyttet, og da forsvant beleggproblemet. Denne jernkloriden er ikke lenger på markedet. Anlegget har installert automatisk spyling av trykkfølerne (min 1 gang i døgnet) som sitter i varmeveksler- og rundpumpesystemet.

I år 2000 ble råtnetank og aerob reaktor tømt, da anlegget "gikk tett". Et 5 cm belegg (trolig forsteinet jernhydroksid, ifølge driftsansvarlig) ble da fjernet med bruk av kraftig høytrykksspyler. Da anlegget kun har en råtnetank, ble anlegget i ca. 1 uke kjørt kun med mekanisk rensing for å redusere slamproduksjonen.

De 2 varmevekslerne som ble levert av UTB viste seg ikke å ha tilstrekkelig kapasitet. Varmeveksleren består av 2 konsentriske sylindere, med omrøring i den indre og rundpumping i den ytre. Kontaktflaten mellom varmt og kaldt er på ca. 14 m² per stk, og anlegget har to av disse i parallell. Varmevekslingen tok for lang tid og anlegget fikk derfor kapasitetsproblemer.

I år 2000 ble anlegget modifisert med en ekstra spiralvarmeveksler fra GEA-Vanzler, levert av Heat-Con AS i Oslo. Kontaktflaten er her på 32 m². Tilhørende sirkulasjonspumper er 4 stk. Lobe-pumper (fortrengningspumpe som er enkel å vedlikeholde og som tar liten plass). Etter at varmeveksleren ble montert, har anlegget fungert tilfredsstillende og med tilstrekkelig kapasitet.

Oppholdstiden i aerob forbehandling er gjennomsnittlig litt over ett døgn, mens korteste oppholdstid for en slampartikkel er 1,4 timer. Oppholdstiden i råtnetanken er ca. 22 døgn.

Det har ikke vært driftsproblemer med hygieniseringstrinnet, men av og til er det problemer av styringsmessig og mekanisk art.

Hygieniseringstrinnet har 10 pumper og ca. halvparten av disse blir åpnet i løpet av året. Spiralvarmeveksleren åpnes 1-2 ganger per år.

Slammet avvannes etter utråtning til 35-40 % TS på silbåndpresse og lagres i 2 tørrslamsiloer. Slammet kjøres ut fra siloen 1 gang per uke.

Det er ikke problemer med avvanningen når fellingskemikaliet er jernklorid, men ved bruk av aluminium som fellingskemikalie, ble slammet mye bløtere (ca. 25% TS) og klissete. Silbåndpressene går uten problemer.

Det er ikke innført internkontrollsystem for slambehandlingen, men driftsansvarlig mener de har god kontroll med anlegget. Det er ikke tatt ut prøver for analyse på parasittegg.

Tidligere hadde anlegget krav fra helseavdelingen i Skien kommune om å analysere på *Salmonella*. Det ble aldri påvist *Salmonella* i uttatte slamprøver. Da verken Miljølab i Skien eller Næringsmiddellaboratoriet i Porsgrunn kan/vil måle termostabile koliforme bakterier (TKB), så leverer ikke anlegget slike prøver for analyse i dag. Det foreligger således ikke bakteriedata fra anlegget for 2001.

Kommunen mener totalt sett at denne hygieniseringsprosessen er enkel å drifte og at den er kostnadseffektiv. Ut fra dette vil de anbefale metoden overfor andre.

Konklusjon

Aerob, termofil forbehandling er en hygieniseringsmetode med relativt lite problemer og lave driftskostnader. Det har vært noe belegg i varmevekslere og reaktortanker på mekanisk-kjemiske anlegg som bruker jernklorid som fellingskjemikalie, slik at dette må fjernes med et halvt til to års mellomrom. Alle anleggseiere som har erfaringer med metoden, anbefaler den. Dersom man skal lage jordblandinger av slammet, bør det ligge ute noen måneder og tørke før man blander det med andre komponenter.

Tabell 8. Kontaktperson ved renseanleggene.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
Alvim	Øivind Andersen	+4769103490	oivind.andersen@sarpsborg.com
Fuglevik	Eric A. Stenberg	+4769262760	eric@movar.no
Nordre Follo	Bjørn Buller	+4764946148	nfrens@online.no
Monserud	Roar Brentebraaten	+4732113240	-
Knarrdalstrand	Leif Sigvaldsen	+4735547067	leif.sigvaldsen@porsgrunn.kommune.no

4.4. Pasteurisering foran mesofil, anaerob stabilisering

4.4.1. Innledning

Det ble bygd tre norske slambehandlingsanlegg med pasteurisering og anaerob stabilisering på begynnelsen av 1990-tallet: Øra renseanlegg (FREVAR) i Fredrikstad, Sandefjord renseanlegg og Ladehamneren renseanlegg i Trondheim.

4.4.2. Kort prosessbeskrivelse

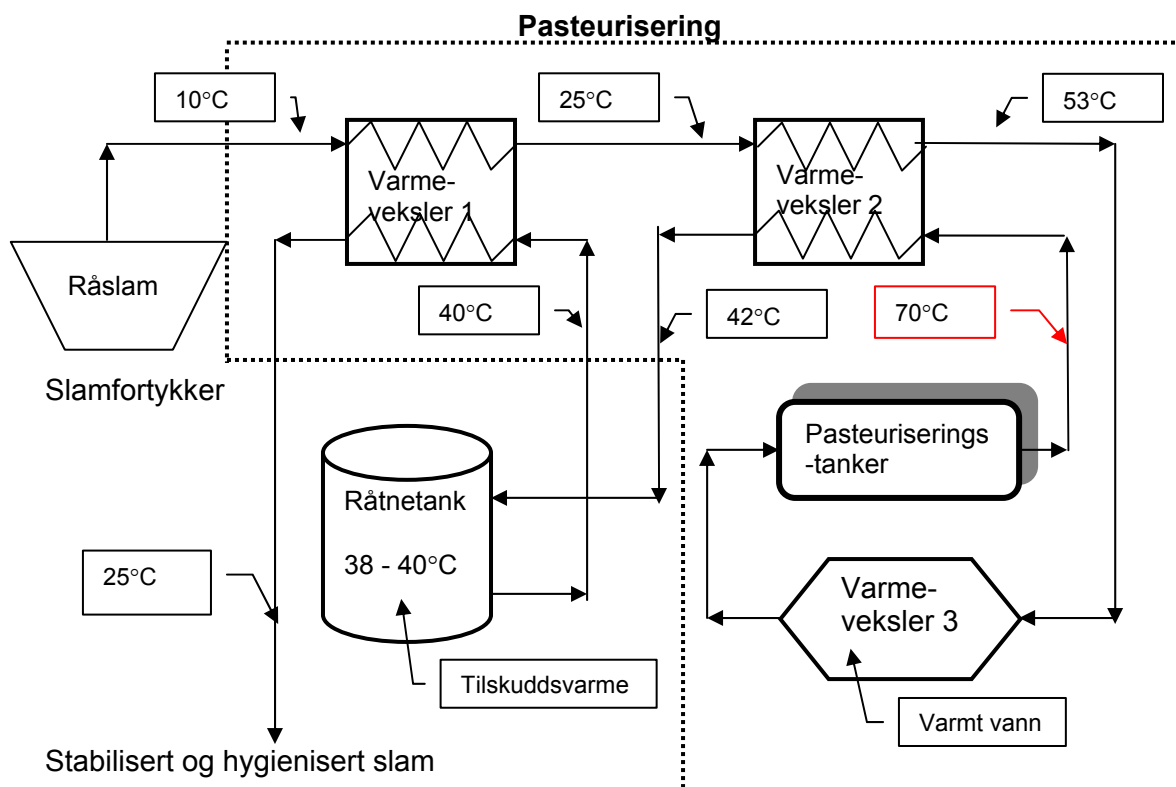
Pasteurisering betyr i denne sammenheng å utsette slammet for en viss temperatur (normalt 70°C) i så lang tid (normalt 30 minutter) at bakterier og parasittegg i slammet blir inaktivert (Paulsrud & Nedland, 1991). Slammet kan varmes opp ved hjelp av varmevekslere, ved lavtrykks damp som blåses inn i slammet eller ved hjelp av gassbrenner neddykket i slammet. I Norge brukes kun varmevekslere.

For å få minst mulig energitap i prosessen varmer man vanligvis slammet opp i tre trinn. I første trinn varmes kaldt råslam opp til 25-30°C ved å varmeveksle det mot utråtnet slam fra råtnetanken. I neste trinn varmes det opp til 50-60°C ved å varmeveksle det mot ferdig pasteurisert slam, slik at det pasteuriserte slammet også blir avkjølt til ca. 40°C før det tilføres råtnetanken. I det tredje trinnet varmes slammet ytterligere opp til ca. 70°C ved å varmeveksle det med varmt vann (80-95°C) fra en fyrkjele som benytter biogassen som energikilde.

Varmevekslerne kan være av type slam-slam eller vann-slam. Det brukes normalt plate varmevekslere av type slam-slam i de to første varmevekslertrinnene, og rørvarmevekslere der slammet pumpes i rør gjennom et varmt vannbad i det tredje varmevekslertrinnet.

Ved store anlegg (>ca. 100.000 PE) benytter man normalt helkontinuerlig drift av pasteuriseringsanlegget. På mindre anlegg produseres det ikke nok slam til at man kan pumpe det gjennom pasteuriseringen kontinuerlig uten å få for lave hastigheter i pumpeledningene. Ettersom råtnetankene helst skal mates jevnt over hele døgnet, vil det ikke være bra å kjøre pasteuriseringen bare en del av døgnet, og la den stå resten av døgnet. Dessuten er man redd for at slammet skal brenne seg fast på de varmeste varmevekslerne dersom det blir stående stille der. Ved diskontinuerlig innpumping av slam må man derfor rundpumpe slammet over de to varmeste varmevekslerne når det ikke pumpes nytt slam inn i systemet. Dette er gjort på Sandefjord renseanlegg.

Ettersom både pasteurisering og anaerob stabilisering er lukkede prosesser uten avtrekksluft, er det ikke nødvendig med separat luktbehandling ved disse prosessene.



Figur 4. Prinsippskisse av et anlegg med pasteurisering og anaerob stabilisering.

Gjeldende tyske krav til pasteurisering (ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2, 1988):

- Alle slampartikler < 5 mm (siling, kverning)
- 65°C i 30 minutter; 70°C i 25 minutter; 75°C i 20 minutter; 80°C i 10 minutter
- Minimum 10 minutter uansett temperatur

I USA er kravet til pasteurisering minimum 70°C i minimum 30 minutter (U.S. EPA, 1993, U.S. EPA, 1994). I forslag til nytt EU-direktiv (EU, 2000) er det satt krav om minimum 30 minutter ved 70°C etterfulgt av mesofil, anaerob stabilisering med en temperatur på minst 35°C ved en midlere oppholdstid på 12 døgn.

4.4.3. Norske erfaringer med metoden

Det er samlet inn erfaringer fra alle tre renseanleggene som har denne slambehandlingsmetoden. Data for renseprosessene i disse renseanleggene er vist i tabell 9. I tabell 10 er vist data for slambehandlingsprosessene, og i tabell 11 data for bakterieinnhold i slammet fra anleggene i 2001.

Tabell 9. Data for renseanleggene.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (m ³ /år)
Øra	120.000	97.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	0
Sandefjord	41.100	44.000	Mekanisk-kjemisk	PAX-21 + polymer (Nordfloc A-191)	130
Ladehamneren	115.000	75.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	-

Tabell 10. Data for anlegg med pasteurisering og anaerob stabilisering.

Anlegg	Startår hygienisering	Kapasitet (tonn TS/år)	Produsert slammengde 2001 (tonn TS/år)	Behandlet i pasteurisering 2001 (tonn TS/år)	Volum pasteurisering stanker (m ³)	Oppholdstid (minutter)	Normal temperatur (°C)
Øra	1989	7.000	1.880	1.880	20	45	70-72
Sandefjord	1990	2.220	1.145	1.145	14	30	65-67
Ladehamneren	1995	7.000	2.133	2.133	27	260	70-75

Tabell 11. Data for hygieniske parametre fra renseanlegg med pasteurisering og anaerob stabilisering år 2001.

Anlegg	Antall prøver	Etter pasteurisering		Etter avvanning	
		TKB (maks. antall/g TS)	Salmonella påvist?	TKB (maks. antall/g TS)	Salmonella påvist?
Øra	11	-	-	9.170	Nei
Sandefjord	43	19.900 (9 prøver over 2.500)	Nei	-	-
Ladehamneren	49	-	-	433	Nei

Øra (FREVAR)

Øra renseanlegg er hovedrenseanlegget for Fredrikstad kommune. Det drives av FREVAR. Renseanlegg og slambehandlingsanlegg ble startet i september 1989. Tidligere hadde man problemer med fibre som ballet seg rundt propellomrørere i pasteuriseringstankene. Senere er sirkulasjonspumpe med "kniver" montert foran pasteuriseringen, slik at dette problemet er løst. Anlegget hadde tidligere en maserator for å kutte/male opp slammet, men denne er ikke i bruk lenger. Slammet blir nå foravvannet i mekaniske fortykkere.

Oppholdstiden i råtnetankene er 26-29 døgn (ved dagens driftsopplegg med 150 - 170 m³/d til pasteurisering). Pasteuriseringsanlegget kjøres kontinuerlig.

Anlegget blir fulgt opp med månedlige bakteriologiske analyser av avvannet slam. I 2001 var det 11 prøver < 100 TKB/g TS og 1 prøve i oktober med 9170 TKB /g TS. *Salmonella* er ikke påvist i noen prøver. Det høye bakterieinnholdet i oktoberprøven skyldes rekontaminering i en sentrifuge. Denne ble desinfisert med natriumhypokloritt, og problemet forsvant. I juli-august 2002 oppsto det igjen. FREVAR arbeider fortsatt med å finne årsaken til problemet.

Det er innført internkontrollsystem for slambehandlingen der uttak av prøver og analysering på bakterieinnhold inngår. Bakterieanalysene inngår i anleggets årsrapportering.

Driftsansvarlig sier de ikke har hatt problemer med hygieniseringstrinnet, og at det er lite arbeid med oppfølging/kontroll og vedlikehold. Ut fra erfaringene FREVAR har etter mange års drift, vil de anbefale metoden for andre.

Sandefjord

Sandefjord renseanlegg har pasteurisering med varmeveksling av slammet i tre trinn (se figur 4). Innpumpingen av slam er diskontinuerlig på grunn av relativt små slammengder, slik at man pumper inn 2,5 m³ slam hver halvtime over de tre varmevekslerne til pasteuriseringstank 1. Samtidig pumpes det ut en like stor mengde fra pasteuriseringstank 2 over varmeveksler 2 til råtnetankene. Deretter rundpumpes slammet over varmeveksler 2 før 2,5 m³ slam pumpes over fra pasteuriseringstank 1 til pasteuriseringstank 2. Prosessen er designet slik at oppholdstiden ved 70°C i pasteuriseringstank 2 er minst 30 minutter.

På Sandefjord renseanlegg har det vært noen prøver med for høyt bakterieinnhold. 5 av ca. 100 prøver tatt i 1999-2001 hadde høyere innhold av TKB enn kravene i *Forskrift om avløpsslam* (Paulsrud et. al., 2001). Dette har skyldtes flere omstendigheter. Slamprøvene tas like før sentrifugene, og man hadde i 2001 problemer med at spylevann fra containerhallen rant ned i siloen for pasteurisert slam. Dette ble utbedret. Det har også vært problemer med et utett spjeld mellom de to pasteuriseringstankene, slik at noe råslam med for lav temperatur lekket inn i pasteuriseringstank 2. Det har også vært problemer med at prosessen etter utbedringsarbeider har vært kjørt manuelt, og at man da ikke har ventet lenge nok før nytt slam ble pumpet inn på pasteuriseringstank 2, slik at temperaturen i slammet har vært for lav.

Det er laget internkontrollopplegg for drift av slambehandlingen, men bakterieinnhold i slammet er ikke med i internkontrollopplegget. Når bakterieprøvene viser for høyt innhold av TKB, blir det tatt ekstra TKB-prøver på forskjellige steder i anlegget for å lokalisere årsaken. Slammet blir lagt på mellomlager til bakterieinnholdet er under grenseverdien.

Sandefjord renseanlegg har slam-slam spiralvarmevekslere fra Alfa Laval. På varmevekslertrinn 2 har man rundpumping av slammet når det ikke pumpes inn nytt slam, for å unngå beleggdannelse eller fastbrenning av slam i varmevekslerne. I trinn 1 er det ikke lagt opp muligheter for rundpumping fordi faren for fastbrenning av slam her er liten. Imidlertid viser det seg at det etter hvert legger seg et belegg av organisk stoff (fett) i vekslerne, og dette må skrapes av med jevne mellomrom (ca. hver måned). Da må varmeveksleren tas fra hverandre. Nivåfølerne i pasteuriseringstankene må rengjøres jevnlig.

Man har en Huber Strainpress SP4 slamsil foran pasteuriseringen på anlegget. Silen ble installert i 1999 og har fungert meget godt. Når man ikke hadde slamsil, måtte filler fjernes fra tankene ca. annenhver måned.

Sandefjord renseanlegg anbefaler også andre renseanlegg å ta i bruk prosessen, selv om det var en del innkjøringsproblemer med den, og selv om det kreves en god del oppfølging av anlegget.

Ladehammeren

Ladehammeren renseanlegg er ett av to hovedrenseanlegg for Trondheim. Anlegget ble startet vinteren 1994-95, og kjøres kontinuerlig. Den ene varmeveksleren ble sprengt i innkjøringsfasen da det er svært liten avstand mellom platene i spiralvarmeveksleren (12 mm). Slammet inneholder mye fiber, slik at det er helt påkrevet å forbehandle slammet i en slamsil. Det er derfor installert en slik sil, type Huber Strainpress. Erfaringene med denne er god, og det siles bort ca. 1 m³ fiber pr uke.

Oppholdstiden i pasteuriseringen er ca. 4 timer, og i råtnetankene ca. 31 døgn.

Temperaturen i pasteuriseringstankene logges kontinuerlig. Prøver for analyse av bakterier tas ut etter avvanning i sentrifuger. I 2001 ble det tatt ut i alt 49 prøver. Høyeste verdi for TKB er 433 /g TS. De fleste verdiene er under deteksjonsgrensen. Det er innført internkontroll på slambehandlingen og analyser av bakterieinnhold er med i internkontroll-opplegget. I årsrapporten fra anlegget rapporteres slammets innhold av bakterier. Det er ikke analysert innhold av parasittegg i slammet fra anlegget.

Kommunen oppgir at de har mye arbeid med manuell rengjøring av varmevekslerne. Oppfølging/kontroll av hygieniseringstrinnet medfører etter kommunens vurdering lite arbeid.

Følgende driftsproblemer rapporteres :

- Tilstopping av spiralvarmevekslere
- Slitasje i innløpsdelen i spiralvarmevekslere

Det planlegges utskifting av eksisterende varmevekslere med rørvarmevekslere, da spiralvarmevekslerne ikke har fungert tilfredsstillende. Kommunen anbefaler pasteuriseringsmetoden de bruker overfor andre, men da vil de anbefale at spalteåpningen i varmevekslerne må være min. 20-25 mm.

Konklusjon

Pasteurisering har fungert bra på de tre norske renseanleggene som benytter denne hygieniseringsformen. Det har vært noe problemer med belegg i slam-slam spiralvarmevekslere, mens man har hatt lite problemer med belegg i vann-slam varmevekslere. Slammet fra anlegg med pasteurisering har hatt tendenser til å være "utflytende" etter avvanningen, dvs. sprute ved opplastning (Sandefjord) og måtte tørkes opp i laguner (Øra) selv om tørrstoffinnholdet har vært høyt. Dersom man skal lage jordblandinger av slammet, bør det ligge ute noen måneder og tørke før man blander det med andre komponenter.

Tabell 12. Kontaktperson ved renseanleggene.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
Øra	Knut Lileng	+4769357300	knli@fredrikstad.kommune.no
Sandefjord	Stein Jørgensen	+4733466472	sandefjord.ra@vestfoldnett.no
Ladehammeren	Jerzy Wasilewski	+4772546545	jerzy.wasilewski@trondheim.kommune.no

4.5. Termofil, anaerob stabilisering

4.5.1. Innledning

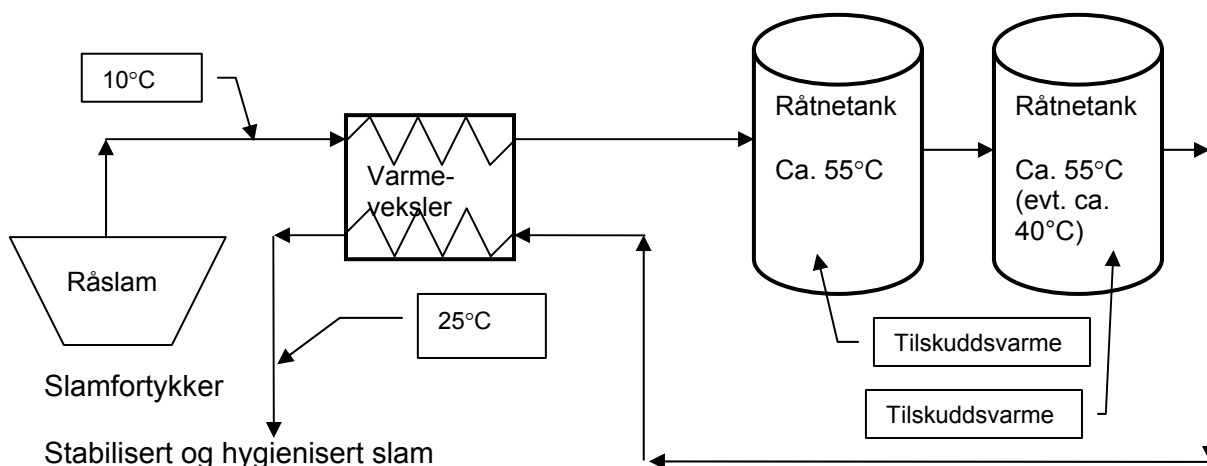
Denne metoden er tatt i bruk på to norske renseanlegg: Bekkelaget renseanlegg i Oslo og Sellikdalen renseanlegg i Kongsberg. Det siste anlegget sambehandler avløpsslam og våtorganisk avfall i felles råtnetanker.

4.5.2. Kort prosessbeskrivelse

Anaerob stabilisering har tradisjonelt blitt drevet ved en temperatur på mellom 35 og 40°C (mesofil stabilisering). Det finnes imidlertid et høyere temperaturområde (53–58°C) hvor omdanningshastigheten og gassproduksjonen er spesielt høy (termofil stabilisering). Allerede på midten av 1970-tallet ble det etablert termofil, anaerob stabilisering ved Hyperion avløpsrenseanlegg i Los Angeles (Paulsrud & Storhaug, 1998).

Det er mange renseanlegg som bruker termofil, anaerob stabilisering i dag, bl.a. Kalmar renseanlegg i Sverige og 7-8 renseanlegg i Danmark (Paulsrud & Storhaug, 1998). Erfaringer fra disse anleggene tyder på at det ikke er mer ustabil drift ved termofil, anaerob stabilisering enn ved mesofil. Skal man være sikker på å få en tilfredsstillende hygienisering av slammet ved termofil, anaerob stabilisering, bør man imidlertid ha to råtnetanker i serie. Erfaringer fra to tyske anlegg (Paulsrud & Storhaug, 1998) har vist at en to trinns anaerob stabilisering hvor det første trinnet drives termofilt og det andre mesofilt, kan tilfredsstille de tyske hygieniseringskravene.

Det er ikke spesielle luktproblemer fra termofil, anaerob stabilisering, men slammet kan lukte sterkt under og etter avvanning dersom temperaturen ikke senkes før avvanningen. Dette har man erfart ved Bekkelaget renseanlegg.



Figur 5. Prinsippskisse av et anlegg med termofil, anaerob stabilisering.

Denne formen for hygienisering er ikke tatt med verken i det tyske eller amerikanske regelverket. I USA er metoden ikke godkjent som hygieniseringsmetode for å oppnå klasse A slam fordi det er stor risiko for kortslutningsstrømmer gjennom en råtnetank (Water Environment Federation, 1995). I forslaget til nytt slamregelverk for EU (EU, 2000) er følgende krav satt til metoden: Temperatur på minst 53°C i 20 timer for alle slampartikler.

I Danmark (Miljø- og Energiministeriet, 1996) er metoden godkjent så lenge hver slampartikkel oppholder seg i råtnetanken i:

- 10 timer ved 52°C
- 8 timer ved 53,5°C eller
- 6 timer ved 55°C

Samtidig er det stilt krav om minimum 7 døgn hydraulisk oppholdstid i råtnetanken. Det danske regelverket har ikke krav til inaktivering av parasittegg i slam.

4.5.3. Norske erfaringer med metoden

Det er samlet inn driftserfaringer fra de to norske renseanleggene som har denne hygieniseringsmetoden. Data for renseprosessene i disse renseanleggene er vist i tabell 13. I tabell 14 er vist data for slambehandlingsprosessene, og i tabell 15 data for bakterieinnhold i slammet fra anleggene i 2001.

Tabell 13. Data for renseanleggene.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (m ³ /år)
Bekkelaget	350.000	203.000	Biologisk-kjemisk med nitrogenfjerning	Jernsulfat og jernklorid	-
Sellikdalen	24.000	18.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	-

Tabell 14. Data for anlegg med termofil, anaerob stabilisering.

Anlegg	Startår hygienisering	Kapasitet (tonn TS/år)	Produsert slammengde 2002 (tonn TS/år)	Behandlet i råtnetanker 2002 (tonn TS/år)	Oppholdstid (døgn)	Normal temperatur (°C)
Bekkelaget	2001	10.950	6.000*	6.000*	6 (RT 1)	50-55
Sellikdalen	2002	850 (slam) + 625 (matavfall)	1.100*	1.100*	11 (RT 1)	53-58

* Antatt mengde. Anleggene var under ombygging i 2001. RT 1 = råtnetank 1

Tabell 15. Data for hygieniske parametre fra renseanlegg med termofil, anaerob stabilisering år 2001.

Anlegg	Antall prøver	Etter anaerob stabilisering		Etter avvanning	
		TKB (maks./g TS)	Salmonella påvist?	TKB (maks./g TS)	Salmonella påvist?
Bekkelaget	-*	-*	-*	-	-
Sellikdalen	2	-	-	<26	Nei

*Se under driftserfaringer fra Bekkelaget.

Bekkelaget

Bekkelaget renseanlegg drives av et privat selskap (Bekkelaget Vann AS), og får tilførsler fra Oslo og Oppegård kommuner. Anlegget ble totalt ombygd i 2001 med bl.a. nitrogenrensetrinn, og med nye råtnetanker og slamtørkeanlegg. Råtnetankene på 2 x 4.000 m³ drives i serie med retur fra tank 2 til tank 1. Det siste gjøres for å redusere problemet med filler i tankene. Det kom inn for mye fiber i oppstarten av det nye renseanlegget på grunn av at innløpsristene ikke fungerte som de skulle, og det sliter man med på anlegget fremdeles. Det er imidlertid installert slamkverner (Type TR-Muncher MK-2) som nå maler opp fibrene i

slammet før det kommer inn på råtnetankene. Disse kvernene går tette og må kunne kjøres baklengs for å få dem i gang igjen.

Den termofile utråtingen på anlegget har fungert meget bra. Det tas rutinemessig analyser av flyktige syrer i slammet hver uke. I tillegg måles gassproduksjon og metaninnhold i gassen kontinuerlig, og ved unormale verdier tas det ekstra prøver av flyktige syrer i slammet. Hvis flyktige syrer øker, blir det rutinemessig tilsatt natriumbikarbonat til råtnetankene, men det skjer sjelden. Temperaturen i prosessen styres manuelt pga. for mye filler i råtnetankene, og dermed får man noe temperatursvingninger (mellom 50 og 55°C), også på kort tid. At varmtvannet også brukes til termisk tørking av slammet etter avvanning, gjør at det blir ujevn temperatur på varmtvannet som skal holde oppe varmen i råtnetankene.

Det tas rutinemessig analyser av TKB og *Salmonella* hver annen uke. Så lenge temperaturen har vært over 51-52°C, overholder slammet bakteriekravene i *Forskrift om avløpsslam*. Det ser ikke ut til å være problemer med kortslutningsstrømmer i råtnetankene, ettersom kravet til bakterieinnhold i slammet overholdes bare temperaturen i råtnetankene har vært høy nok.

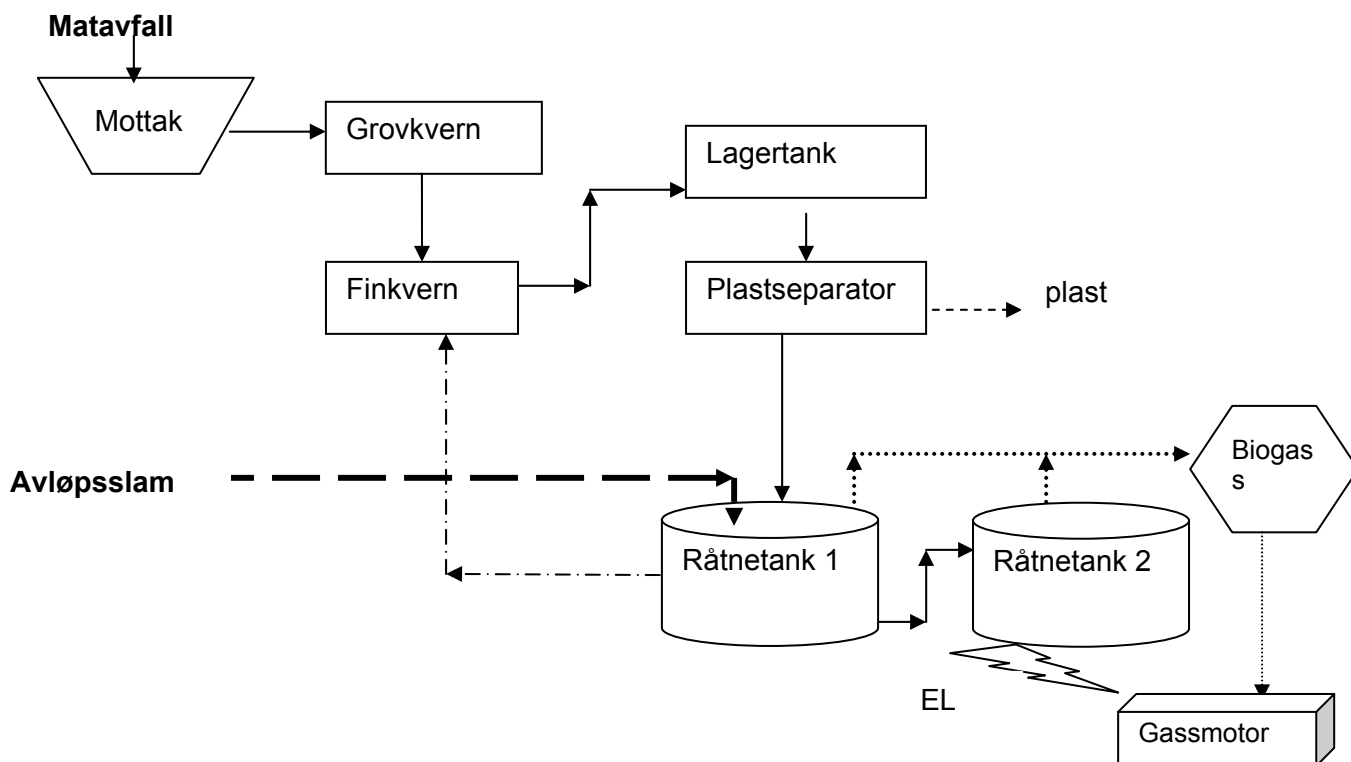
Termofil, anaerob stabilisering kan anbefales som hygieniseringsmetode for renseanlegg med råtnetanker med god kapasitet, dersom det ikke stilles krav til innholdet av parasittegg i slammet. Det er imidlertid vanskelig å dokumentere at innholdet av infektive parasittegg blir oppfylt ved denne metoden om ikke oppholdstiden i prosessen for alle slampartiklene er over ca. 20 timer.

Sellikdalen

Sellikdalen renseanlegg er hovedrenseanlegget i Kongsberg. Det opprinnelige slambehandlingsanlegget ble tatt i bruk i juni 1993 med aerob, termofil forbehandling foran anaerob stabilisering. Dette anlegget fungerte i hovedsak tilfredsstillende. I tilknytning til arbeidet med å finne en løsning for behandling av matavfallet i kommunen, ble det besluttet å bygge om slambehandlingsanlegget til termofil, anaerob stabilisering der oppmalt matavfall blandes med slammet.

Det er begrenset med erfaringer i Norge når det gjelder sambehandling av matavfall og slam. Anlegget i Kongsberg ble ferdigstilt ved årsskiftet 2001/2002 og er under innkjøring i 2002.

Figur 6 viser flytskjema for Sellikdalen renseanlegg – for behandlingsprosessene for slam sammen med matavfall. Denne delen av anlegget er levert av Hifo Tech AS.



Figur 6. Prinsippskisse av slam/matavfallsbehandlingen ved Sellikdalen rensanlegg.

En returstrøm fra råtnetank 1 kjøres inn på finkverna for å fortynne matavfallet og for å tine dette opp om vinteren.

Prosessen ved Sellikdalen rensanlegg kan beskrives slik:

- Totrinns råtneprosess, hvor det første trinnet er totalomblandet og det andre trinnet kjøres som en slamteppereaktor med sekvensiell tilbakeføring av slam fra bunnen av reaktor 2 til toppen av reaktor 1.
- Termofil drift (53–58°C) for å oppnå kort oppholdstid og hygienisering.
- Tilstrekkelig oppholdstid til å få en biologisk stabil råtnerest.

Oppholdstiden i råtnetankene er ved dimensjonerende mengde slam og matavfall ca. 17 døgn totalt i begge tankene, 10 døgn i tank 1.

Noen nøkkeltall for anlegget er gitt nedenfor (Knap, 2002):

Behandlingskapasitet avløpsslam, m ³ /år (4 % TS)	21.200
Behandlingskapasitet våtorganisk avfall, tonn/år (25% TS)	2.500
Lagringsvolum våtorganisk avfall, m ³	20
Volum råtnetank 1, m ³	650
Volum råtnetank 2, m ³	450
Forventet biogassproduksjon, Nm ³ /d (60 – 65% metan)	950 – 1.200
Elektrisitetsproduksjon/varmeproduksjon, kW	143/213

Spesielle utfordringer:

- Feilsortering av matavfallet (metallgjenstander, serveringsbrett, stein osv.)
- Folieplast fordi noe matavfall levers i vanlige plastposer og ikke såkalte "bioposer" (ledet til beslutning om å installere plastseparator)
- Ujevn gassproduksjon fordi det ikke er utjevningsvolum for matavfallet foran råtnetankene.

Tabell 16. Sammenligning av dimensjonerende og faktiske data ved Sellikdalen slambehandling-sanlegg

Parameter	Dimensjonerende:	Mengde i dag:
Behandlingskapasitet (tonn/h)	1,7	1,4
Behandlet avfall (tonn/d)	10	4 (alt som er tilgjengelig)
Behandlet mengde slam (m ³ /d)	58	58
Gassproduksjon (Nm ³ /d)	950-1200 (ved full belastning)	900 (ved 2/3 belastning)
Plast i råtnerest	All plast oppmalt til < 5 mm	~ 100 % fjernet
Tilgjengelighet – produksjon av EI	95%	97% (siden oppstart)

Status november 2002:

- Anlegget ble overtatt av kommunen i juni 2002 og behandler det avfallet som er tilgjengelig i området.
- Det er utført ombygginger på transportskruer og grovkvern som gjør at anlegget nå har veldig god driftsregularitet
- I finkverna (dissolver) fjernes tyngre komponenter som bestikk, blikkbokser o.l. I tillegg fjernes også den delen av beinrestene som ikke lar seg male opp
- Plastseparator fungerer veldig bra og fjerner all platen slik at ytterligere bearbeiding av råtneresten ikke er nødvendig
- Råtneresten har for høyt innhold av kobber, noe som begrenser bruksområdet for denne. Brukes i dag som dekkmasse på avfallsplassen. Det foreligger planer om å alkalisere drikkevannet slik at kobberkorrosjonen i vannledningsnettet reduseres. På denne måten regner kommunen med at råtneresten også etter hvert kan benyttes i jordbruket.

Når anlegget kommer i regulær og stabil drift i 2003, vil kommunen kunne rapportere driftserfaringer for hygieniseringen. Det foreligger noen bakterieanalyser fra 2002 som viser at anlegget overholder kravene i *Forskrift om avløpsslam*.

Konklusjon

Erfaringene med termofil, anaerob stabilisering i Norge er av relativt kort varighet. De to anleggene som har prøvd slik hygienisering, er fornøyd med metoden, og prøver viser at bakteriekravene i *Forskrift om avløpsslam* overholdes. Det er imidlertid mer usikkert om parasittegg drepes effektivt ved denne metoden. Det har ikke vært problemer med ustabil drift av prosessen, selv med store temperatursvingninger på ett av anleggene. Dersom ikke slammet kjøles før avvanning, kan dette skape store luktproblemer under og etter avvanningen.

Tabell 17. Kontaktperson ved renseanleggene.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
Bekkelaget	Helle Frodahl	+4723386306	helle@bvas.no
Sellikdalen	Roar Jarness	+4732866486	roar.jarness@kongsberg.kommune.no

4.6. Anaerob stabilisering og termisk tørking

4.6.1. Innledning

Nesten halvparten av slamproduksjonen i Norge behandles ved denne metoden ved åtte store renseanlegg: Søndre Follo (Vestby og Ås), Bekkelaget (Oslo og Oppegård), VEAS (Oslo, Asker, Bærum og Røyken), Gardermoen (Nannestad og Ullensaker), Rambekk (Gjøvik m. omegn), Lillevik (Larvik), Saulekilen (Arendal) og Sentralrenseanlegg Nord-Jæren (SNJ, Stavanger, Sandnes, Sola, Randaberg, Gjesdal og Klepp). De fleste anleggene har relativt kort driftserfaring. Det er bare SNJ som har lang erfaring med metoden.

4.6.2. Kort prosessbeskrivelse

Ved kombinasjonen anaerob stabilisering og termisk tørking får vi et slam som både er stabilisert, hygienisert, og med tørrstoffinnhold over 85% (Paulsrud & Nedland, 1991). Dette betyr at slammengdene (m^3/d) etter tørking utgjør bare 25-35% av slammengdene etter avvanning. Ved en anaerob stabilisering av slammet vil man også få biogass som kan brukes som energikilde for tørkeprosessen. Det kan både brukes mesofil og termofil, anaerob stabilisering foran tørkeprosessen. Ved termofil, anaerob stabilisering får man dobbel sikring av at hygieniseringen er tilfredsstillende (Bekkelaget renseanlegg), dvs. at slammet kan brukes på jordarealer selv om tørkettrinnet er ute av drift..

Ved termisk tørking fordampes mesteparten av det vannet som er igjen i slammet etter avvanning med maskinelt avvanningsutstyr. Vanligvis drives tørkeprosessen så langt at man oppnår 85-90% TS-innhold i slammet, men tørkingen kan også avsluttes ved et TS-innhold på 40-65% dersom slammet etterpå skal forbrennes. Ved lagring av tørket slam bør tørrstoffet i slammet være over 85% for å få god lagringsstabilitet.

Tørket slam (85-90% TS) vil foreligge som en relativt inhomogen masse bestående av alt fra finkornig pulver til større klumper, dersom det ikke benyttes utstyr for å pelletere eller granulere slammet. Ved nye tørkeanlegg er slikt utstyr tatt i bruk når det ferdige slamproduktet skal brukes som jordforbedringsmiddel/gjødsel på jordarealer. I enkelte tørkeanlegg sikter man det tørkede slammet, og resirkulerer det fineste og groveste materialet til prosessen.

Det finnes en rekke fabrikat av tørkeutstyr for avløpslam på det internasjonale markedet, men prinsipielt kan disse deles inn i to hovedgrupper:

- direkte tørking (konveksjonstørking)
- indirekte tørking (kontakttørking).

Ved direkte tørking føres varm luft, vanddamp eller forbrenningsgasser direkte i kontakt med slammet, og en stor del av slammets vanninnhold vil fordampe. I lukkede systemer som arbeider med damp som tørkemedium, vil overskuddsdampen fra slammet bli kondensert ut, mens i åpne systemer vil tørkemediet (damp eller forbrenningsgasser) forlate tørken sammen med partikler (støv) og illeluktende gasser fra det tørkede slammet. Direkte tørking av slam medfører derfor en relativt omfattende rensing av gassene for å kunne tilfredsstillende vanlige standarder for utslipp til atmosfæren. Det er imidlertid mulig å ha indirekte oppvarming av direkte tørker, men dette er mindre energieffektivt, selv om man da unngår ulempene med utslippene. Vanlige typer av direkte tørker er roterende trommeltørker (f.eks. Swiss Combi, Roediger/Moser), virvelsjikts ("fluidized bed") tørker (f.eks. Asea Brown Boveri) og båndtørker (f.eks. SEVAR-tørken).

Indirekte tørking er karakterisert ved at varmemediet (damp, evt. termoolje) og slammet holdes atskilt ved hjelp av en metalloverflate (jf. varmevekslere). Dette innebærer at mengden forurensede avgasser (damp) fra tørkeprosessen blir liten sammenlignet med den direkte tørkingen, og både gassrensing og varmegjenvinning kan gjøres enklere. Det største

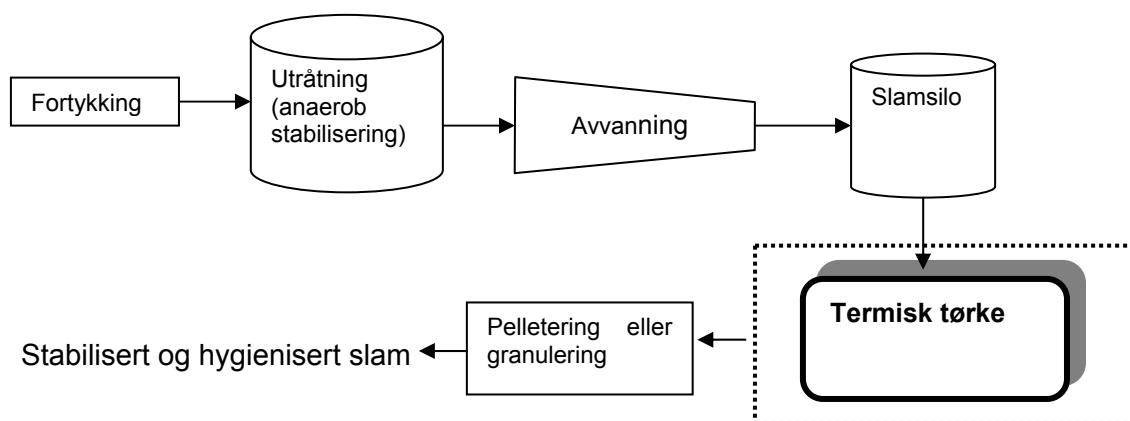
problemet med indirekte tørking er kanskje det avvannede slammets tendens til å klebe seg fast på varmeoverflaten i den første delen av tørkeprosessen (størst problem ved slam med TS-innhold mellom 50 og 65%). Dette problemet har noen fabrikanter løst ved å resirkulere en andel av ferdig tørket slam til innløpet av tørkeenheten. Vanlige typer av indirekte tørker er skivetørker (f.eks. Stord Rotadisc-tørker), tynnsjiktstørker og rørtørker.

Ved valg av prosess skal man være oppmerksom på at enkelte av prosessene er laget for å kjøres helkontinuerlig, og har svært lang igangkjøringstid (opptil 8 timer), mens andre prosesser egner seg bedre til intermittert drift (ca. 1/2 times igangkjøringstid).

Følgende parametre er viktige ved dimensjonering av tørkeutstyr for avløpsslam:

- Slamproduksjon, gjennomsnitt og variasjon
- Tørrstoffinnhold i slamm etter mekanisk avvanning
- Temperatur i inngående slam til tørken
- Tørrstoffinnhold i sluttproduktet
- Driftsmåte (kontinuerlig/diskontinuerlig)
- Slammets forhistorie/type slam
- Fremtidig slamproduksjon

På VEAS har man en spesiell form for tørking av slamm, idet fortykket slam tilsettes kalk (ca. 15% av tørrstoffet i slamm er Ca) og avvannes i spesielle kammerfilterpresser som tilføres varmt vann og opererer under vakuum. Slamm kommer ut av tørkene som "sponplater" med et tørrstoffinnhold på 55 - 70%. Platene blir malt opp til en grynet struktur før slamm kjøres ut til jordbruket.



Figur 7. Prinsippskisse av et anlegg med anaerob stabilisering og termisk tørking.

Termisk tørking er ikke tatt med som en godkjent hygieniseringsmetode i det tyske regelverket. I USA er det stilt krav til 90% tørrstoffinnhold i tørket slam, samt at temperaturen i tørket slam eller gass ved utløp av tørke skal være minimum 80°C. I forslaget til nytt slamregelverk for EU (EU, 2000) er kravet til termisk tørking at man skal sikre at temperaturen i slampartiklene er over 80°C, og at tørrstoffinnholdet i slamm er over 90%.

4.6.3. Norske erfaringer med metoden

Det er innhentet driftserfaringer fra alle de åtte renseanleggene som har denne slambehandlingsmetoden i bruk. Data for renseprosessene i disse renseanleggene er vist i tabell 18. I tabell 19 er vist data for slambehandlingsprosessene, og i tabell 20 data for bakterieinnhold i slamm fra anleggene i 2001.

Tabell 18. Data for renseanleggene.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (tonn TS/år)
Søndre Follo	25.000	17.000	Mekanisk-kjemisk	PAX-21	696
Bekkelaget	350.000	203.000	Biologisk-kjemisk med nitrogenfjerning	Jernsulfat og jernklorid	-
VEAS	?*	437.500	Biologisk-kjemisk med nitrogenfjerning	PAX XL-61 og jernklorid samt polymer	294
Gardermoen	50.000	30.000	Biologisk-kjemisk med nitrogenfjerning	PAX 21, polymer A120, Nordfloc C110, Nordfloc C330	215
Rambekk	45.000	32.000	Mekanisk-kjemisk	Ekomix 1091	Ca. 2.400
Lillevik	65.000	30.000	Mekanisk-kjemisk	PAX 18	Ingen representative data tilgjengelig
Saulekilen	60.000	35.000	Mekanisk-kjemisk	PAX 18	20
SNJ	250.000	200.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	600

* VEAS har ikke oppgitt dimensjonerende kapasitet.

Tabell 19. Data for anlegg med anaerob stabilisering og termisk tørking.

Anlegg	Startår hygienisering	Kapasitet (tonn TS/år)	Produsert slammengde 2001 (tonn TS/år)	Behandlet i tørkeanlegget 2001 (tonn TS/år)	Oppholdstid (minutter)	Normal temperatur i utgående slam (°C)
Søndre Follo	1999	1.575	950	0	Ca. 30	Ca. 90
Bekkelaget	2001	30.000	6.000***	?	-	-
VEAS	1998	?*	16.513	?**	Ca. 60	80 - 85
Gardermoen	2002	3.730	728	0	Ca. 30	Ca. 90
Rambekk	2000	4.035	3.087	833	Ca. 30	Ca. 90
Lillevik	2001	2.200	1.000***	?	Ca. 30	Ca. 90
Saulekilen	2002	2.000	570***	?	Ca. 30	85 - 100
SNJ	1994	9.425	5.100	2.550	15-30	98-102

* Det er foreløpig ikke beregnet kapasitet på vakuumpressene.

** I 2002 er alt slam avvannet i vakuumpressene.

*** Omtrentlig tall fra 2002.

Tabell 20. Data for hygieniske parametre fra renseanlegg med anaerob stabilisering og termisk tørking.

Anlegg	Antall prøver	Etter termisk tørking	
		TKB (maks. antall/g TS)	Salmonella påvist?
Søndre Follo	0	-	-
Bekkelaget	_*	_*	_*
VEAS	12	<2	Nei
Gardermoen	0	-	-
Rambekk	0	-	-
Lillevik	9	800	Nei
Saulekilen	0	-	-
SNJ	12	< 10	Nei

* Se teksten om driftserfaringer på Bekkelaget.

Søndre Follo

Søndre Follo renseanlegg er et interkommunalt renseanlegg for Ås og Vestby kommuner. På dette renseanlegget er det et mottaksanlegg for avvannet slam fra andre kommuner, og en plogskjærmikser som mikser dette slammet med slamvann fra renseanlegget, slik at tørrstoffinnholdet i slammet som går til råtnetankene er ca. 5%. Oppholdstiden i råtnetankene er ca. 29 døgn. Det er ikke slamsil på anlegget, men man vurderer å installere dette. Avvannet slam oppbevares i en silo slik at man kan samle opp en del slam før man starter tørkeanlegget. Dette er en indirekt tørke av type Kværner Eureka Multicoil, og man har ennå ikke fått den til å fungere som den skal, selv etter fire år.

Problemet er at det er mye fiber i mekanisk-kjemisk slam, og at det derfor ikke har vært mulig å få et granulat som ikke går i stykker. Man har derfor måttet installere en pelleteringsmaskin, og selv denne har hatt problemer med å lage pellets som ikke støver. Dessuten har det vært store driftsutgifter med pelleteringsmaskinen, da matriseplate og ruller slites fort ned. Denne slitasken vil kunne medføre en ekstra driftsutgift på NOK 350.000 per år. Man vil også bruke olje for ca. NOK 300.000 per år, ettersom det ikke er nok gass fra råtnetankene til driften av tørken. Tørken må kjøres døgnkontinuerlig når den settes i drift, og man regner å kjøre den fra mandag morgen til fredag morgen, og rengjøre og vedlikeholde den på fredagen. Det trengs en mann på full tid til tørkingen, om man ikke får dispensasjon fra en forskrift for kjeleanlegg som angir at disse ikke kan kjøres ubemannet. Hvis man ikke får dispensasjon, må det være tre skift på anlegget fra mandag til fredag.

Anleggseieren vil ikke anbefale andre å tørke slam, da det er svært dyrt og mye problemer med prosessen. Slammet fra Søndre Follo renseanlegg er i stedet blitt avvannet og lagt ut på langtidslager. For å unngå luktproblemer med utkjøring av slammet fra lageret, er slammet vendt noen ganger under lagringen. Det er også prøvd å blande inn avisfiber for å redusere luktulempene. Slammet er bl.a. brukt som sikringsvoller langs en motorvei.

Bekkelaget

Bekkelaget renseanlegg drives av et privat selskap (Bekkelaget Vann AS), og får tilførsler fra Oslo og Oppegård kommuner. Anlegget ble totalt ombygd i 2001 med bl.a. nitrogenrensetrinn, og med nye råtnetanker og slamtørkeanlegg. Det er hygienisering i to trinn på Bekkelaget, først termofil, anaerob stabilisering og så termisk tørking. Termisk tørking foregår i en svensk indirekte tørke levert av AB Torkapparater, med varmluft som varmemedie. Slammet kommer ut som et granulat, og for store eller for små granuler returneres til tørken. Det har vært en del problemer med støv, spesielt når slammet blir for tørt. Man ønsker et ferdig slam med ca. 90% tørrstoffinnhold. Siste måned (november 2002) har ca. 70% av slammet blitt tørket, mens målet er ca. 95%.

Tørkeanlegget ble startet i oktober 2001, og ble garantitestet november 2002. Det har vært en del ombygginger for å få tørkeanlegget til å fungere som det skal. Fremdeles er det flaskehalser i systemet, som gjør det vanskelig å klare å tørke 95% av slammet med en bemanning på ett årsverk. Det kreves kveldsarbeid og helgearbeid for å ha en så høy driftsstabilitet, fordi det oppstår problemer underveis.

Det tar også lang tid å lære seg å kjøre et tørkeanlegg. Det er mange innstillinger som skal læres, og det er høyteknologi som krever høy kompetanse blant driftspersonalet. Opplæring er derfor viktig, men det er også viktig å få lærdommen i blodet ved å kjøre anlegget mye. Det er mye oppfølging av et tørkeanlegg, men anlegget på Bekkelaget går også automatisk utenom vanlig arbeidstid når det bare har kommet i stabil drift i løpet av arbeidsdagen. Skjer det problemer utenom arbeidstid, må imidlertid driftspersonalet være til stede en god stund etter oppstart igjen.

Tørken på Bekkelaget styres etter en fuktighetsmåler som man er meget godt fornøyd med. Likevel oppstår det problemer når ikke slammet blir godt nok tørket, fordi transportskruer tetter seg og siloer går fulle når slammet ikke er tørt nok. Det kan også by på store problemer å få slammet ut igjen av siloen hvis det ikke har blitt tørt nok, og har stått noen dager.

Kapasiteten på tørkeanlegget er 3.500 kg TS/h når det mates fra sentrifugene, mens tørken pga. kapasitetsproblemer ved mating fra siloene for avvannet slam kun klarer 2.500 kg TS/h. Dette fører til at man ved topper i slammengdene ikke klarer å få tørket alt slammet uten at folk er til stede utenom normal arbeidstid.

Tørken på Bekkelaget brukes ikke til hygienisering av slammet, så det tas ikke rutinemessige bakterieanalyser av tørket slam. Hygieniseringen foregår i termofil utråtning, slik at tørkeanlegget kun blir en ekstra sikkerhet for at alt slammet er hygienisert.

Det er lite forbruk av olje ved denne tørketypen. Stort sett klarer man å tørke alt slammet, varme opp administrasjonsbygget og holde temperaturen på råtnetankene i det termofile området ved hjelp av biogassen som anlegget produserer, bortsett fra i ekstreme kuldeperioder eller når gassproduksjonen av en eller annen grunn ikke er normal.

Bekkelaget Vann AS anbefaler andre å bruke denne typen tørke. Man må imidlertid være klar over at tørking krever lang innkjøringstid, og at man må regne med noe større bemanning til driften enn det leverandøren i utgangspunktet angir.

Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS)

VEAS har biologisk hydrolyse av slammet i én av fire råtnetanker. Oppholdstiden i denne tanken er 1-3 døgn. Oppholdstiden i de tre andre tankene er gjennomsnittlig ca. 20 døgn ved mesofil utråtning. Det er installert i alt 5 slamsiler (type Rotostrainer) mellom sedimenteringsbasseng og fortykkermaskiner, og mellom råtnetanker og vakuumpresser. På de to slamsilene før fortykkermaskinene tok det minst ett år før innjusteringen var tilfredsstillende.

VEAS-prosessen for tørking og hygienisering av slammet er unik. Det benyttes kalk og polymer til kondisjonering av slammet før det pumpes inn i pressene. Under innpumping avvannes slammet til et tørrstoffinnhold på 20-30% TS. Deretter settes det trykk på membranene, og dette øker TS-innholdet til 35-40%. Mot slutten av denne prosessen sirkuleres varmtvann (82°C) i aluminiumsplater slik at slammet oppnår samme temperatur, og til slutt settes systemet under vakuum. Under disse betingelser fordampes vann ved 42°C. Ferdig tørket slam har en pH på 10,5 og TS-verdien er 55-70%. Behandlingstiden for en presse-/tørkesyklus er om lag 4 timer. Slammet blir på denne måten hygienisert, og det er ikke funnet TKB eller *Salmonella* i slammet. Det er også gjort forsøk som dokumenterer at parasittegg (*Ascaris*), potetcystenematode og floghavre uskadeliggjøres gjennom denne behandlingen (Paulsrud, 2002, Magnussen et. al., 2000).

Det måles temperatur på varmtvannet inn til og ut av vakuumpressene, og vakuum, temperatur og tid logges i anleggets PLS. Driftskontrollsystemet varsler dersom temperaturen ut av varmtvannsplatene ikke har vært over 80°C, og vakuum bedre enn -0,92 bar i min. 50 minutter. Det tas i tillegg prøver av bakterieinnhold (TKB og *Salmonella*) i slammet ved utkjøring fra anlegget en gang i måneden. Bakterieinnholdet i slammet rapporteres sammen med tungmetallinnhold på slamdeklarasjonen som følger med slammet til mottakerne.

Alt slam er behandlet gjennom denne prosessen de siste 2 årene. Det er fortsatt et betydelig forbedringspotensiale.

Vakuamtørking av slam er en energiøkonomisk svært gunstig prosess sammenlignet med konvensjonell tørking, og VEAS anbefaler andre anleggseiere å bruke prosessen, selv om det har vært mye problemer med innkjøringen på VEAS. Spesielt for anlegg som allerede har råtnetanker og kammerfilterpresser vil denne formen for hygienisering kunne egne seg godt.

Gardermoen

Renseanlegget er interkommunalt for Nannestad og Ullensaker kommuner og ble satt i drift høsten 1998. Det er mottaksanlegg for septikslam og avvannet slam fra andre renseanlegg. Septikslam og internt slam fra renseanlegget fortykkes i fortykkermaskiner til ca. 7% TS. Eksternt avvannet slam utspedes til ca. 7% og blandes med det andre slammet i en blandetank. Alt slammet stabiliseres i råtnetanker og avvannes. Avvannet slam lagres i en tørrslamsilo dersom tørkeanlegget ikke er i drift.

Tørkeanlegget for slam er en trommeltørke fra Roediger/Moser som gir et granulert slam. Det har indirekte oppvarming slik at utslippene fra avgassene er små. Tørkeanlegget er ikke i automatisk drift ennå (november 2002), men forventes å være i normal drift i løpet av 2002. Det har vært store problemer med å få utstyret til å fungere som forutsatt, hvilket i stor grad skyldes for dårlig kompetanse hos den norske leverandøren. De mekaniske delene av tørkeanlegget krever mye vedlikehold med tilsvarende høye driftskostnader. Ut fra dagens erfaringer må en til to dager hver uke brukes til vedlikehold av utstyret. Tre mann er i full jobb i slambehandlingsbygget, og det kan være snakk om ytterligere arbeidskraft ved full drift av tørken (døgntkontinuerlig bemanning). Man anbefaler ikke andre renseanlegg å ta i bruk denne slambehandlingsmetoden ut fra alle startproblemene man har hatt på anlegget.

Det er installert en Huber Strainpress slamsil foran råtnetankene. Man har problemer med at denne tetter seg, og den slår ofte ut på trykkvakt.

Rambekk

Rambekk er hovedrenseanlegget for Gjøvik. Rambekk tar imot slam både i avvannet form og som våtslam fra flere av nabokommunene (Lillehammer, Gausdal, Østre Toten, Vestre Toten, Øyer, Nordre og Søndre Land).

Slambehandlingen består av: slambuffertank – kvern - mekaniske fortykkermaskiner, slamblandetank (eksternslam går via slamsil og mikses med internslam) – utråtning – slamlager – avvanning i sentrifuger – mellomlager avvannet slam - termisk tørking (granulat som sluttprodukt). kommune. Tørkeanlegget for slam er en trommeltørke fra Roediger/Moser som gir et granulert slam.

Rambekk renseanlegg har vært under utvidelse og ombygging i flere år for å kunne behandle eget slam samt slam fra nabokommuner. Det har vært relativt store problemer med å få tørkeanlegget i ordinær, stabil drift. Det har bl.a. vært en støveksplasjon (støvfilter) samt diverse problemer med utstyr før/etter selve tørkeanlegget.

Per november 2002 er status for anlegget at en rekke ombygginger nå er gjennomført, men at det fortsatt gjenstår å løse problemer med bl.a. støvfilter, kondensatorer/kjøling og utmating fra slamsilo.

Driftsansvarlig i kommunen synes det er mye arbeid med rengjøring og vedlikehold av tørkeanlegget. Dette skyldes hovedsakelig støvlekkasjer i tørkeanlegget, dels ved utlasting av granulát til container. Anlegget er forholdsvis vedlikeholdskrevende pga. mange bevegelige komponenter som trenger regelmessig ettersyn. Det må jevnlig tas TS-prøver av slam på flere punkter for å holde kontroll med at prosessen fungerer optimalt.

I den lange perioden med oppstartvansker og driftsproblemer har slammet etter utrátning og avvanning blitt kjørt til interkommunalt avfallsdeponi.

Ved anlegget er det installert slamsil (Strainpress) på eksternslammet. Etter en periode med innjusteringer og tilpassninger fungerer denne bra.

Det er kontinuerlig logging/registrering av temperatur i tørkeprosessen. Slamtørka er fortsatt under innkjøring. I perioder med stabil drift på tørka ligger temperaturen på slammet i tørketrommelen på ca 90°C. Oppholdstiden i tørka er ca. 30 minutter. Midlere oppholdstid i råtnetankene er nesten 40 døgn ved nåværende belastning.

Det tas per november 2002 ikke ut prøver for analysering på bakterier ved anlegget, men rutiner for dette er under utarbeidelse, som en del av eksisterende internkontrollsystem. Det er ikke tatt ut prøver for analyse av parasittegg i det tørkede slammet, men det vil bli gjort med det første.

Rambekk renseanlegg har boligbebyggelse nært inntil anlegget og det er helt påkrevet å rense avtrekkslufta fra slamtørka og eksternslammottaket. Luften fra tørkeprosessen går via en befukter til et overbygget biofilter (Nybruket, 2002). Biofilteret fungerer nå tilfredsstillende. Lufta fra mottaksanlegget for eksternslam blir behandlet i UV-fotooksidasjon med etterfølgende kullfilter. Også denne luktbehandlingen fungerer tilfredsstillende.

Kommunen vil, til tross for alle oppstartsproblemer mv., anbefale andre kommuner å ta i bruk termisk tørking for slamhygienisering.

Lillevik

Lillevik renseanlegg er et helt nytt hovedrenseanlegg for Larvik, satt i drift i 2001. Slamtørken ved Lillevik renseanlegg er av samme type som ved Gardermoen renseanlegg og Rambekk renseanlegg, levert av Goodtech AS. Ut fra erfaringer fra disse anleggene ble Lillevik-anlegget på en del punkter endret, slik at det har vært mindre startproblemer her. Man har likevel brukt ca. ett år før anlegget har kommet i stabil drift.

Følgende driftsproblemer med tørkeanlegget er rapportert:

- Utløpet fra tørka har gått tett slik at slammet gikk i overløp
- Et filter før kompressor har tettet seg
- Det har vært for mye støv i tørket slam

I perioder med driftsstans/problemer over lengre tid er slammet blitt kjørt til annet anlegg for slambehandling.

Oppholdstiden i tørken er ca. 30 minutter. I den mesofile anaerobe stabiliseringen har slammet en midlere oppholdstid på ca. 32 døgn.

Det er innført internkontrollsystem for slambehandlingen (hele anlegget er ISO-sertifisert) der også bakterieanalyser er ivaretatt. Dataene i tabell 20 er fra både 2001 og 2002. Data om slammets kvalitet mht. bakterieinnhold inngår i kommunens årsrapportering.

Anlegget har forbehandling av slammet før stabiliseringen ved bruk av Huber Strainpress. Erfaringene med denne har vært mindre gode. Slamsilen har ofte gått tett, slik at det har medført mye arbeid med å få den i drift igjen. Slamsilen er nå bygget om slik at den ikke går på automatisk spyling, men blir styrt manuelt, dvs. spylingen skjer etter behov. Etter denne ombyggingen fungerer den med mindre vedlikehold enn tidligere.

Driftsansvarlig mener det ikke er mye arbeid med oppfølging og kontroll, da det meste ivaretas av styringssystemet. Det er heller ikke mye arbeid med rengjøring og vedlikehold. Kommunen anbefaler andre kommuner å velge tørke, men ikke nødvendigvis den tørketypen de har ved Lillevik renseanlegg.

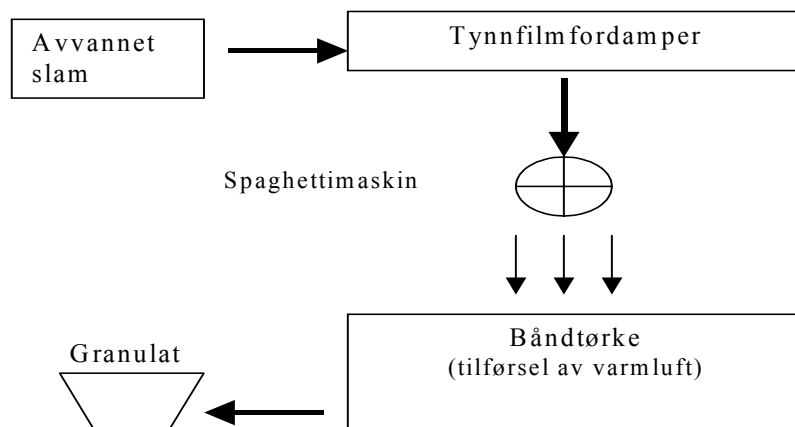
Saulekilen renseanlegg, Arendal kommune

Saulekilen avløpsrenseanlegg er helt nytt og ble igangsatt ca. 1 februar 2002. Slambehandlingen skjer ved anaerob stabilisering, avvanning i en Belmer slampresse og hygienisering i etterfølgende tørkeanlegg. Det foreligger ikke bakterieanalyser for slammet i 2001 og heller ikke for 2002, da tørken ikke er i ordinær drift ennå.

Dette er den første installasjonen av Innoplana-tørken i Norge. Den har en noe spesiell oppbygging sammenlignet med andre typer slamtørker. Slammet behandles først i en såkalt tynnfilmfordamper, og går deretter via en "spaghettimaskin" til en båndtørke (se figur 8).

Fra Belmer slampressen går slammet til en slamsilo, eventuelt direkte til slamtørka. Under siloen er det plassert en gliderammeutmatning som fører det avvannede slammet til en turtallsregulert utmatningsskrue. Med denne føres slammet til tynnfilmfordamperen med oppholdstid ca. 15 minutter. Veggene har en ytterkappe som det flyter oppvarmet olje i. Spaghettimaskinen presser ut pastalignende strimler med ca. 6 mm diameter på et transportbånd som fører dem inn i båndtørken. Pastaen er i denne fasen fremdeles fuktig og helt støvfri, med ca. 50% TS.

På det langsomtgående tørkebåndet forblir de spaghettiformete strengene liggende helt i ro, mens de blir tørket med varmluft til tørrstoffinnholdet er over 90%. Siden granulatet ligger helt i ro, vil det ikke være støvproblemer i anlegget. Restvarmen fra tynnfilmfordamperen blir tilført varmluften i båndtørken.



Figur 8. Prinsippskisse av termisk tørking på Saulekilen renseanlegg.

Fordelene med dette tørkeprinsippet skal ifølge leverandøren bl.a. være:

- Slammet ligger helt i ro (mht. støv/eksplosjonsfare)
- Ingen direkte kontakt mot varme flater
- Slammet er over "limfasen" (> 50% TS) pga. tynnfilmfordamperen
- Lav porøsitet, lav tørketemperatur (< 85°C), lav sluttemperatur (< 40°C)
- Krever liten plass
- Startes opp i løpet av 20 min
- Stoppes direkte uten behov for nedkjøling

Oppholdstiden i hygieniseringstrinnet:

- ca. 10-15 min i tynnfilmfordamperen (temperatur ca. 95 -100°C)
- ca. 20 min (avhengig av driftsmodus) i båndtørken ved maks 110°C lufttemperatur.

Det er ingen behandling av slammet i slamsil e.l før det går til tynnfilmfordamperen.

Anlegget ble satt i gang med prøvedrift i februar 2002. Følgende igangkjøringsproblemer er rapportert fra anlegget:

- Det ble høyere temperatur på granulatet enn oppgitt (10°C høyere), noe som medførte behov for en ny ventilator.
- Noen igangkjøringsproblemer med spaghettimaskinen, da denne var en helt ny prototyp.
- Problemer med brodannelse i slampumpen fra Belmerpressen
- Problemer med styringssystemet for tørka – ikke tilfredsstillende samkjørt med hovedanlegget for renseanlegget
- Problemer med styring av gass-/oljekjeler

Etter oppstart i februar ble det raskt konstatert at lukta fra tørken ikke ble rensert godt nok i ozon-skrubberen på hovedanlegget. Selv om tørken har fungert som den skal omtrent fra første dag, har lukten stoppet driften av anlegget. Det har vært bygget Innoplana-tørker i flere europeiske land, men det er i Norge og Sverige (Umeå) og tildels i Frankrike at lukt er et problem. I Sverige (Umeå) er det forsøk på gang nå (november 2002) for å se hvilken rolle polymeren som brukes til avvanning på anlegget, har på dannelse av lukt (problemene er i første rekke ammoniakk, merkaptaner og H₂S), og resultatene så langt viser en klar sammenheng mellom type polymer og luktproblemer (Broch Olsen, 2002).

Luktbehandlingen er per november 2002 under komplettering ved at det bygges et 2-trinns scrubberanlegg der første trinn er vasking med vann, mens det andre trinnet er med bruk av ozon.

I 2002 er det kun blitt produsert ca. 10 tonn ferdig produkt (granulat).

Arendal kommune har per november 2002 ikke grunnlag for å vurdere omfang av nødvendig oppfølging/kontroll og vedlikehold av anlegget. På tilsvarende måte er det ikke grunnlag for å kunne anbefale/ikke anbefale denne slambehandlingen overfor andre kommuner ennå. Driftsansvarlig ved anlegget sier imidlertid at så vel slampresse som slamtørke fungerer tilfredsstillende og at slamtørken synes å være enkel å drive. Så snart luktforholdene ved anlegget er utbedret (årsskiftet 2002/2003), vil man begynne ordinær drift, og driftserfaringer vil være tilgjengelige i løpet av 2003.

Sentralrenseanlegg Nord-Jæren (SNJ)

Renseanlegget er interkommunalt for Stavanger, Sandnes, Sola, Klepp, Gjesdal og Randaberg kommuner, og drives av IVAR (Interkommunalt vann-, avløps- og renovasjons-selskap). Det har til nå hatt rensekrav som tilsier kjemisk felling, men disse kravene er nå endret. Kravene innebærer at anlegget må tilfredstille grenseverdiene for sekundærrensing innen 2005. IVAR er derfor i gang med fullskalaforøk med kompakte biologiske prosesser for å undersøke hvordan anlegget kan tilpasse seg nye krav.

Endringene i renseprosess vil ha stor betydning for slamproduksjonen og type slam som skal behandles i råtnetanker og termisk tørkeanlegg. Erfaringene som rapporteres her er basert på mekanisk-kjemisk slam.

På SNJ har det siden 1995 vært et mottak for ulike slamtyper. Det tas imot septikslam, fortykket slam fra mindre renseanlegg og fett, fiskeensilasje og meieriavfall på mottaksanlegget.

Slambehandlingen består i mesofil, anaerob stabilisering, avvanning, tørking og pelletering. Før slammet går til utrætning blir det behandlet i en slamsil (type Huber Strainpress). Erfaringene med denne er blandet. Mengden fiber i råtnetankene og buffertankene ble imidlertid redusert. Problemene med slamsilen har i hovedsak bestått i slitasje på skrue, problemer med justering av reguleringsområdet for motorstrømmen og konens mottrykk (kompressortrykk) og justering av reguleringsområdet for trykket som overstyrer silen.

Tørkeanlegget består av en Stord Rotadisc tørke (indirekte tørke) med etterfølgende Jesma Matador pelleteringsmaskin. Slammet avvannes normalt til et tørrstoffinnhold på ca. 30-32% TS. Tørkeanlegget ble formelt overtatt 1.7.94 etter mye innkjøringsproblemer. I resten av 1994 var det gjennomsnittlig 2,5 stopp/måned. Gjennomgående innledende driftsproblemer var blant annet:

- hyppige havarier på pelleteringsmaskin med skifte av lager, rulle og matrise
- problemer med å regulere undertrykket i tørken og dermed støvansamlinger i avtrekkssystemet, herunder sykron, pelletskjøler og vasketårn.
- styringsproblemer med innmatingsventilene som følge av varierende lufttrykk på magnetventilene og påbrenning av støv i kuleventilene
- svikt i magnetventiler for "heating" på transportinnretninger
- gjentetting og havari på skruetransportører, elevatorer og pelletskjøler
- støynivå fra pelleteringsmaskin
- sporadiske tilfeller av ulmebranner

Tørkeanlegget viser nå stabil og tilfredstillende drift etter at innledende problemer ble løst. Driftserfaringene er nå hovedsakelig knyttet til mye slitasje i pelleteringsanlegget med hyppig skifte av matrise, ruller og lagre. Det arbeides derfor med tiltak for å redusere tilførselen av sand i slammet (ombygging av sandfang, installasjon av sandvaskere og optimalisering av luftinnblåsning i sandfangene). Produksjonen av pellets (8-10 mm) utgjør ca 10 t / døgn og har et tørrstoffinnhold på 85–92%.

Driftsproblemer med pelleteringsanlegget ble vesentlig redusert etter at matrisegeometrien ble tilpasset slammet, og at slitasjeforløpet ble kontrollert. Slitasje og støvproblemer synes å øke dersom TS-innholdet i det tørkede slammet er større enn ca. 85%.

Det ferdig tørkede slammet vil ha en temperatur på 98-102°C, mens slammet inn i tørken vil ha et tørrstoffinnhold på ca. 70% og temperatur på 90-95°C. Teoretisk oppholdstid i tørken er over en time. Slammet beveger seg imidlertid ikke jevnt igjennom maskinen. Flere målinger med fargestoffer, salter eller radioaktive isotoper viser en typisk minimum oppholdstid for slammet i tørken på 15 minutter. Midlere oppholdstid i råtnetankene er ca. 16 døgn.

Det er kontinuerlig logging av temperaturforløpet i tørka ved bruk av 3 stk temperaturmålere. Foreløpig er det ikke lagt inn tidsserier/trendkurver, men dette vil bli utført i forbindelse med utvidelsen av anlegget.

SNJ har innført et internkontrollsystem for slambehandlingen, og bakterieinnholdet er med i internkontrollen. Bakterieanalysene inngår i anleggets interne årsrapport.

I 1995 var det ett tilfelle av *Salmonella* i det tørkede slammet. Etter en omfattende undersøkelse ble det konkludert med at prøvene sannsynligvis ble infisert under prøvetaking. Etter nærmere ett års kontroll og oppfølging for statistisk å kunne friskmelde anlegget, er det ikke senere påvist *Salmonella* i slammet. Det er ikke målt innhold av parasittegg i slammet.

Det er ukentlig rengjøring og vedlikehold av anlegget. IVAR mener at det ikke er spesielt mye arbeid med oppfølging og kontroll av anlegget, men kan ikke uten videre anbefale denne type anlegg til andre anleggseiere. Dette vil være avhengig av en rekke faktorer som for eksempel rammevilkår for slamdisponering og bruk av slammet, slambehandling, energikostnader, slamegenskaper etc.

I utgangspunktet kan alt slammet ved renseanlegget tørkes, men pga diskontinuerlig driftsform, begrenset bufferkapasitet og lav fleksibilitet ved vedlikehold og driftsstanser ble bare 50% av slammet tørket i 2001. Ny parallell tørke, tørrslampumpe og sentrifuge inklusive oppgradering av pelleteringsanlegg og varmesentral er derfor under bygging og skal stå ferdig i april 2003. Anlegget skal da tørke 100% av slamproduksjonen.

Slammet som ikke blir hygienisert, blir i dag kjørt til deponi på fyllplass.

I forbindelse med utvidelsen av tørkeanlegget er det lagt vekt på erfaringer fra tilsvarende tørkeanlegg i England og Italia. Dette gjelder spesielt utstyr for transport av tørket og pelletert slam og instrumentering for kontinuerlig drift, ettersom det ofte rapporteres om problemer med transport av slam. Det nye anlegget er i prinsippet bygd på eksisterende prosessløsning med følgende vesentlige endringer:

- kontinuerlig driftsform (ubemannet)
- lukkede sirkulasjonskretser på avgassene for tørker og pelletering,
- kjøleskruer for tørket slam,
- utnyttelse av energien i dampkondensatet
- forbedringer på brenner/kjelanlegget.

Eksisterende Stord Rotadisc tørke er levert av tidligere Stord International AS, mens ny tørke leveres av Stord Bartz AS.

SNJ har hatt store luktproblemer på grunn av tørkingen av slam (Nybruket, 2002). I 1992 var anlegget kun utstyrt med et enkelt aktivt kullfilter for lukttrensing, og dette var ikke nok. I 1993 ble det installert et totrinns scrubberanlegg, men dette var heller ikke godt nok. Man gikk derfor over til termisk oksidasjon i eksisterende gasskjel/gassbrenner. Etter innledende problemer med hyppige flammesvikt i kjelen, ble anlegget modifisert slik at det oppnås bedre inngangstrykk på biogassen samtidig som gasskjelen alltid vil brenne på en min. verdi som sikrer forbrenning av avgassene fra tørkeanlegget. Dette anlegget har fungert meget tilfredsstillende de 3-4 siste årene.

Konklusjon

Det har vært store innkjøringsproblemer med de fleste norske anlegg med termisk tørking av slam. To anleggseiere vil ikke anbefale andre å ta i bruk metoden etter svært mye innkjøringsproblemer og høye driftskostnader (bl.a. høyt oljeforbruk). Det er derfor kun på de største renseanleggene som satser på å lage høyverdige produkter som organisk gjødsel eller vekstjord av slammet, at metoden kan anbefales brukt. For disse anleggene er også

den store volumreduksjonen viktig. Man må regne med lang innkjøringstid fordi tørking er en prosess som krever høy kompetanse hos driftspersonalet. Man må også regne med en del arbeid utenom ordinær arbeidstid fordi tørkeanleggene av og til stopper under automatisert drift.

Tabell 21. Kontaktperson ved renseanleggene.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
Søndre Follo	Arild Norum	+4764955176	-
Bekkelaget	Solveig Alvik	+4723386329	sa@bvas.no
VEAS	Arne Haarr	+4766798660	arne.haarr@veaswwtp.com
Gardermoen	Tore Nyborg	+4763927602	tore.nyborg@uniavlop.net
Rambekk	Kjell Eng	+4761189732	kjell.eng@gjovik.kommune.no
Lillevik	Mike Halmer	+4733173910	mike.halmer@larvik.kommune.no
Saulekilen	Odd Kjølrsrud	+4737097780	-
SNJ	Oddvar Ternes	+4751810409	oddvar.ternes@ivar.rl.no

4.7. Termisk hydrolyse og anaerob stabilisering

4.7.1. Innledning

På ett norsk renseanlegg (HIAS, Hamar) har man bygget et anlegg for termisk hydrolyse av slammet før anaerob stabilisering og avvanning. Anlegget er levert av Cambi AS.

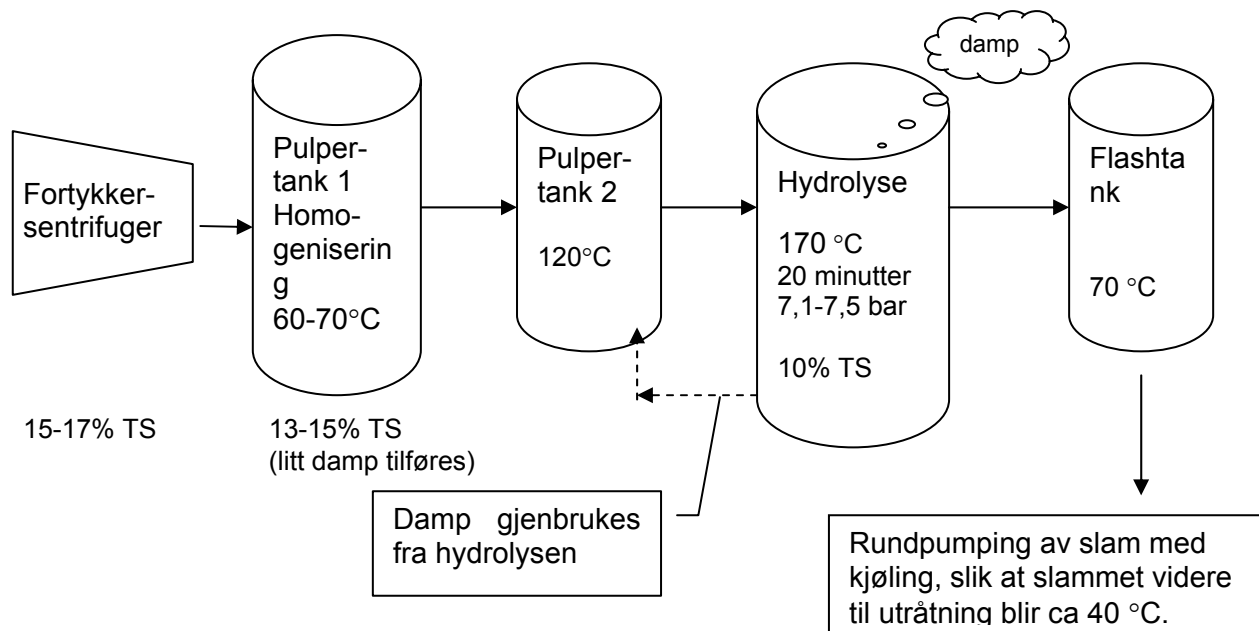
4.7.2. Kort prosessbeskrivelse

Slam fortykkes med sentrifuger til 15-17% TS., før det pumpes til pulpertank 1, homogeniseringstanken. Her ligger TS på ca 15%, det tilsettes litt damp her. Temperaturen er 60-70 °C.

Fra homogeniseringen (pulper 1) pumpes slammet til pulpertank 2. Dette er en trykktank hvor temperaturen er ca. 120 °C. Denne tanken er der for å utnytte dampen som er i etterfølgende hydrolysetank (gjenbruk av damp/energi). Etter pulpertank 2 går slammet til selve hydrolysen.

I hydrolysetanken tilsettes damp, og her er temperaturen på ca. 170°C , TS ca 10%. Trykk 7-7,5 bar. Temperaturen holdes i ca. 20 minutter. Dette dreper alle patogene organismer og organismer som kan forårsake plantesykdommer. TS % går ned grunnet damptilførsel samt produksjon av flyktige syrer. Damp kjøres i retur fra hydrolysetanken til pulpertank 2 - og trykket går fra 7-7,5 bar ned til ca 1,5 bar.

Etter hydrolysetanken kommer det som kalles flashtank. Gjenstående trykk i hydrolysen (1,5 bar) benyttes til å få slammet inn i flashtanken. Dette er en trykløs tank hvor det står slam som er kaldere enn slammet som kommer fra hydrolysen. Temperaturen dropper ned til ca 70°C. Før slammet pumpes til utråtning, rundpumpes slammet med kjøling, slik at temperaturen går ned til ca 40°C før råtnetank.



Figur 9. Prinsippskisse av et anlegg med termisk hydrolyse og anaerob stabilisering.

I pulpertank 1 logges temperaturen hele tiden (trendkurver). I pulpertank 2 og hydrolysen logges trykk hele tiden (trendkurver). I flashtank og råtnetank logges temperaturen.

Den termiske hydrolysen fører til at slammet blir sterilisert. Statens Landbrukstilsyn har derfor gitt tillatelse til at det ferdige produktet kan benyttes fritt uten restriksjoner (bortsett fra krav til tungmetallinnhold), og HIAS betegner det ferdige produktet som "biomasse".

4.7.3. Norske erfaringer med metoden

Det er innhentet driftserfaringer fra HIAS, som er et interkommunalt renseanlegg for Hamar med omegnskommuner. Data for renseprosessen i anlegget er vist i tabell 22. I tabell 23 er vist data for slambehandlingsprosessen. Det foreligger ingen bakteriologiske analyser for slammet i 2001.

Tabell 22. Data for renseanlegget.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (tonn TS/år)
HIAS	90.000	75.000	Biologisk-kjemisk	Aluminiumsulfat	422

Tabell 23. Data for anlegg med termisk hydrolyse og anaerob stabilisering.

Anlegg	Startår hygienisering	Kapasitet (tonn TS/år)	Produsert slammengde 2001 (tonn TS/år)	Behandlet i hygienisering 2001 (tonn TS/år)	Oppholdstid (minutter)	Normal temperatur (°C)	Normalt trykk (bar)
HIAS	1995	3.500	2.011	2.011	20	160	7,1

HIAS-renseanlegget mottar avvannet slam fra andre renseanlegg i eget mottak for dette. Det mottas også septikslam ved renseanlegget. Slammet pumpes gjennom en maserator før termisk hydrolyse.

Når det gjelder vedlikehold/utbedringer av anlegget, har dette vært begrenset siden oppstarten i 1995. I år 2002 ble polyesterbelegg innvendig i flashtank (der trykket etter hydrolysereaktoren slippes) utbedret. Slambehandlingsanlegget var i drift mens skaden ble utbedret ved å etablere en forbiføring rundt tanken.

Det er innført internkontrollsystem for slambehandlingen, men uttak av prøve og analyse på bakterieinnhold inngår ikke her da prosessen (høyt trykk/temperatur) innebærer at slammet som kommer ut, er sterilt.

Det periodiske vedlikeholdet består av årlig kontroll av trykksatt utstyr. Når det gjelder slitedeler i anlegget, så vedlikeholdes statorer i pumper etter 4.000 – 15.000 timer, avhengig av hvilken type slam de pumper.

Cambi-prosessen gir en lukt som det er viktig å ta hensyn til under planleggingen. Ved HIAS-anlegget er dette løst ved at illeluktende gasser først vaskes og deretter blir tilført blås maskinene i biologisk rensetrinn og derved blir oksidert i aktivslamanlegget. Dette fungerer tilfredsstillende.

Gassproduksjonen på anlegget er ca. 140 Nm³/h med 72% metan, som gir ca. 1.000 kW varme. Av dette brukes ca. 300 kW til hydrolyseprosessen, mens det er et overskudd på 700 kW, som brukes til oppvarming av anlegget om vinteren. Det skal installeres gassgenerator i 2003.

I tilknytning til hydrolyseanlegget på HIAS ble det opprinnelig også installert et tørkeanlegg for slammet. Dette er ikke lenger i bruk, da den ga et produkt som var svært støvete, og da driftskostnadene var høye.

HIAS er godt fornøyd med Cambi-prosessen. Det har ikke vært spesielle driftsproblemer av betydning. Anlegget går døgkontinuerlig, uten tilsyn utenom normal arbeidstid. Det er lite arbeid med oppfølging/kontroll av anlegget. HIAS vil med grunnlag i sine erfaringer anbefale andre kommuner å bruke prosessen.

Konklusjon

Termisk hydrolyse egner seg bra dersom man ønsker et sterilt slam som kan brukes i alle sammenhenger. Det har vært lite driftsproblemer med anlegget og lite arbeid med oppfølging/kontroll. Det er viktig å ta hensyn til luktproblematikken ved bygging av nye anlegg.

Tabell 24. Kontaktperson ved renseanlegget.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
HIAS	Ove Sander	+4762543707	ove.sander@hias.no

4.8. Kalktilsetning til avvannet slam (Orsa-metoden)

4.8.1. Innledning

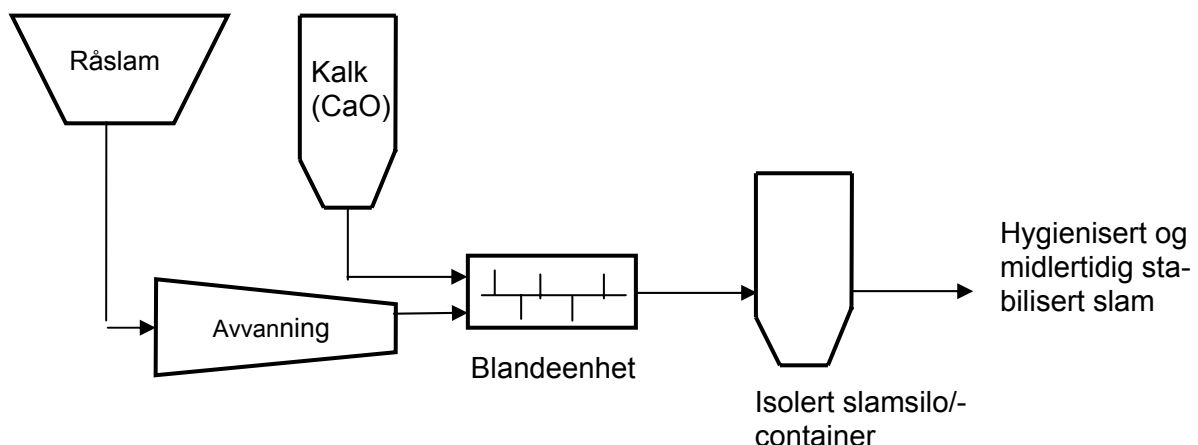
Tilsetning av ulesket (brent) kalk til avvannet slam ble først tatt i bruk ved Orsa renseanlegg i Sverige på slutten av 1960-tallet. I Norge er metoden tatt i bruk på mange mindre og noen få store renseanlegg: AHSA (Askim), RA-2 (Lillestrøm), Innbygda (Trysil), Frya (Sør-Fron), Bårud (Modum), Geilo (Hol), Nord-Jarlsberg Avfallsselskap (Holmestrand), TAU (Tønsberg), Elstrøm (Skien) og Høllen (Søgne).

4.8.2. Kort prosessbeskrivelse

Ved tilsetning av ulesket kalk til avvannet slam vil man i tillegg til økning i pH også få en kraftig temperaturstigning i slammet (Paulsrud & Nedland, 1991). Dette skyldes den energien som frigjøres når ulesket kalk kommer i kontakt med vann. Temperaturøkningen i slammet vil i første rekke avhenge av tilsatt kalkmengde og TS-innholdet i det avvannede slammet. I tillegg vil isoleringen av lagertanken for det kalkbehandlede slammet avgjøre hvor raskt temperaturen faller igjen under lagring. Det er laget en teoretisk beregning av hvor mye temperaturen og TS-innholdet i slammet øker ved økende kalkmengder (Roediger, 1987). Et slam med for eksempel 25% TS etter avvanning trenger en kalktilsetning på ca. 550 kg CaO/tonn TS for å oppnå en temperatur på over 60°C (forutsatt 15°C i slammet før kalktilsetning). Sammen med kalkens pH-effekt (inkl. ammoniakkeffekten) vil en slik temperaturøkning gi en god hygienisering av slammet.

En del av vannet i slammet vil bindes kjemisk til kalken, og samtidig vil noe vann fordampe pga. temperaturøkningen. Dette vil, sammen med den tørrstofftilførselen som kalken representerer, medføre at man får en betydelig økning av TS-innholdet i slammet. Slam med TS-innhold på 25% før kalktilsetning vil for eksempel oppnå bortimot 40% TS ved en kalkdosering på ca. 550 kg CaO/tonn TS (Roediger, 1987).

I figur 10 er vist hvordan et kalktilsetningsanlegg i prinsippet kan se ut. Tidligere brukte man bare toakslede skruer som blandeenhet, men nå har man også tatt i bruk tørrslampumper til dette formålet. Man kan enten bruke en isolert tørrslamsilo eller containere i et isolert rom til hygieniseringen. Hos Veidekke Gjenvinning Vestfold (VGV) blandes kalken i en termoblander hvor slammet også varmes opp med strøm, for å redusere nødvendig kalkdosering.



Figur 10. Prinsippsskisse av et anlegg med kalktilsetning til avvannet slam (Orsa-metoden).

I henhold til det tyske slamregelverket (ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2,1988) skal pH i slammet være 12,5 rett etter kalkinnblanding, og temperaturen i slammet skal være minst 55°C i minimum 2 timer etter kalkinnblanding. Det er ikke angitt krav til en slik metode i det

amerikanske slamregelverket. I EUs forslag til nytt slamdirektiv (EU, 2000) er det satt krav om pH 12 eller mer og en temperatur på minst 55°C i minimum 2 timer etter kalkinnblanding.

4.8.3. Norske erfaringer med metoden

Erfaringsmateriale om Orsa-metoden ble samlet inn fra 8 norske renseanlegg av en student ved Norges Landbrukshøgskole i januar 1995 (Skrindo, 1995). På denne tiden var det kun toakslede blandeskruer for blanding av kalk og slam. Orsa-metoden fungerte stort sett bra på de 8 anleggene. Andre erfaringer fra rapporten: Kalkforbruket er ofte vanskelig å styre, og her er det muligheter for å optimalisere prosessen. Kalkskruen eller veieceller for kalktilsetning burde kunne reguleres i forhold til pumpen for avvannet slam. Kalkdoseringen bør styres av temperaturmålinger i kalkslamsilo eller –container. Blandeskruen bør være lett å ta av lokket på for rengjøring. Det må være riktig ventilasjon i blandeskruen slik at ikke damp kommer opp i kalkskruen og reagerer med kalken her. Rørbend på transportrør for brent kalk bør lett kunne skiftes da den grove kalken (0-3 mm) sliter hull i bendene. Eventuelt kan man i bendene ha T-rør med en blind-ende som fylles med kalk, slik at kalken sliter på kalken istedenfor på stålet. Gummiforinger er også en mulighet.

Det har vært problemer med vanndamp i isolerte kalkslamsiloer, slik at disse må dreneres. I tillegg bør man ha en hette som senkes over bilen ved utlasting. Under hetten må det være avtrekk, og bilen må kunne fylles ved hjelp av automatikk, uten at man må løfte på hetten og kikke om bilen er full. Det lukter sterkt ammoniakk av avtrekksluften, og denne bør vaskes med vann i en skrubber dersom det er naboer i nærheten av anlegget.

Containere kan brukes istedenfor silo på mindre renseanlegg, men da bør man ha et bevegelig nedslipp til containeren, slik at man slipper å flytte containeren under prosessen. Det bør også være god ventilasjon av containeren. Lagring i haug utendørs gir ikke tilfredsstillende temperatur i hele haugen.

For å redusere kalkforbruket kan man enten forvarme slammet eller avvanne det til høyere tørrstoffinnhold før kalktilsetningen. Forvarming av slammet kan også skje ved at slamrøret går gjennom slamsiloen, men dette er foreløpig ikke prøvd i praksis i Norge.

I dette prosjektet er det innhentet data fra 6 renseanlegg med Orsa-metoden: AHSA (Askim), Innbygda (Trysil), Frya (Sør-Fron), Bårud (Modum), TAU, (Tønsberg) og VGV (Holmestrand). Data for renseprosessene i disse renseanleggene er vist i tabell 25. I tabell 26 er vist data for slambehandlingsprosessene, og i tabell 27 er vist data for bakterieinnhold i slammet fra anleggene.

Tabell 25. Data for renseanleggene.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemethode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (tonn TS/år)
AHSA	30.000	18.300	Mekanisk-kjemisk	AVR	-
Innbygda	7.000	5.300	Mekanisk-kjemisk (flotasjon)	Ekofloc 90	105
Frya	9.000	4.430	Biologisk-kjemisk	PAX 21 + Jernklorid	340
Bårud	4.000	2.877	Mekanisk-kjemisk	PAX 21	130
TAU	60.000	90.000	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	675
VGV	120.000	40.000	-*	-*	950

* VGV er et rent slambehandlingsanlegg som mottar slam fra flere renseanlegg.

Tabell 26. Data for anlegg med kalktilsetting til avvannet slam.

Anlegg	Startår hygien- ise- ring	Kapa- sitet (tonn TS/år)	Produsert slammeng- de 2001 (tonn TS/år)	Behandlet ved Orsa- metoden 2001 (tonn TS/år)	Volum silo/con- tainer (m ³)	Opphol- dstid (timer)	Normal tempe- ratur (°C)	Normal pH i kalket slam
AHSA	1999	1.000	930	930	100	4-5 dager	Ca. 55	12,0
Innbygd a	1999	700	491	?	2 x 4,5	20	40-60	12,0
Frya	1990	700	572	572	2 x 8 (ikke isolert)	2	55-60	ca. 12,5
Bårud	1991	500	210	210	100	1-3 uker	ca. 50	12,4
TAU	1993	6.000	3.900	3.900	150	2 – 72	34-80	12,0 - 12,5
VGV	1998	3.000	950	950	-*	0,7	55-70	10,5

* Etter kalktilsetting pasteuriseres slammet på et innelukket transportbånd med oppholdstid 30 minutter. Deretter lagres det ute i hauger.

Tabell 27. Data for hygieniske parametre fra renseanlegg med kalktilsetting til avvannet slam.

Anlegg	Antall prøver	Etter silo/i container		
		TKB (maks./g TS)	Salmonella påvist?	Parasittegg påvist?
AHSA	0	-	-	Ja, før prosessen var skikkelig innkjørt
Innbygda	12 (år 2000)	Ikke påvist	Nei	Kun døde parasittegg
Frya	1 (per år)	Ikke påvist	Nei	-
Bårud	6 (år 1999)	Ikke påvist	-	Kun døde parasittegg
TAU	12 (år 2001)	Ikke påvist	Nei	-
VGV	4 (per år)	Ikke påvist	Nei	Kun døde parasittegg

Askim, Hobøl og Spydeberg avløpsrenseanlegg (AHSA)

AHSA er et interkommunalt renseanlegg for Askim, Hobøl og Spydeberg kommuner. På AHSA ble det i 1999 bygd et slambehandlingsanlegg basert på Orsa-metoden med kalkinnblanding i en Seepex tørrslampumpe og etterfølgende lagring i en isolert Saxlund-silo hvor oppholdstiden normalt er 4–5 dager. Deretter lagres kalkslammet på et mellomlager utenfor renseanlegget.

Temperaturen i siloen registreres med en temperaturføler, men denne viser normalt ikke samme temperatur som man har inne i det kalkbehandlede slammet. Det er derfor en utfordring å få målt temperaturen i det ferskeste slammet når fyllingshøyden i siloen varierer så mye. Det er også vanskelig å bestemme faktisk oppholdstid for hver slampartikkel ved de ulike temperaturnivåer.

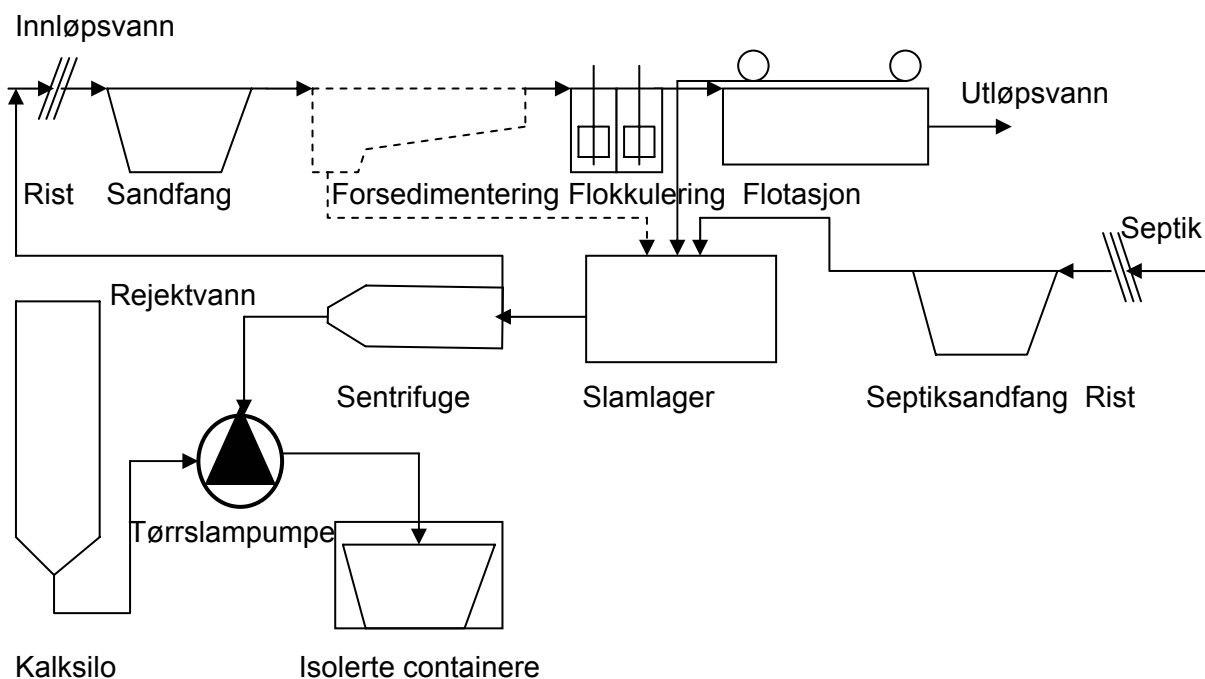
Ved garantitest av anlegget ble det tatt prøver av parasittegg i slammet. I første prøven ble parasittegg påvist, men da var heller ikke driftsbetingelsene slik de skulle. Ved de andre prøvene var det ingen infektive parasittegg i slammet.

Da man startet anlegget, ble slammet avvannet til ca. 30% tørrstoffinnhold før det ble tilsatt kalk. Tørrslampumpen klarte imidlertid ikke å presse så tørt slam til siloen, så hele pumpen havarerte. Etter at tørrstoffinnholdet i avvannet slam ble senket til 23–24%, fungerer prosessen uten driftsproblemer. Man bruker 400–600 kg brent kalk per tonn TS. Det er lite

arbeid med oppfølging/kontroll, rengjøring og vedlikehold, og prosessen anbefales overfor nye anleggseiere.

Innbygda

Innbygda renseanlegg er hovedrenseanlegget i Trysil kommune. På Innbygda renseanlegg ble det bygd et slambehandlingsanlegg basert på Orsa-metoden med kalkinnblanding i en Seepex tørrslampumpe og etterfølgende lagring i isolerte containere. Det ble gjennomført et miljøteknologiprojekt ved anlegget, hvor formålet var å finne ut om man kunne få blandet kalken så godt inn i slammet at man kunne redusere kalkbehovet i forhold til vanlig innblanding med toakslet skrue (Nedland, 2000). Flytskjema for anlegget er vist i figur 11.



Figur 11. Flytskjema for Innbygda renseanlegg.

Resultatet fra oppfølgingen av anlegget var at dersom tørrstoffinnholdet i kalkbehandlet slam kommer over 33%, klarer normalt ikke tørrslampumpen å pumpe kalkslammet til containerne. På Innbygda renseanlegg måtte man skifte pumpen en gang, og bygge den om en annen gang før man klarte å få utstyret til å fungere tilfredsstillende. Det tilsettes også polymer og hjelpeluft til kalkslammet for å redusere friksjonen i slamrøret.

Oppfølgingen av anlegget viste at man oppnår temperaturer over 55°C med ca. 440 kg brent kalk/tonn TS når tørrstoffet i avvannet slam er ca. 23%. Dette er litt lavere enn det som er normalt kalkforbruk ved innblanding med toakslet skrue, men resultatene sprikte såpass mye at man ikke kunne konkludere sikkert. De siste forsøkene som ble gjort på Innbygda i år 2000 tyder på at man kan spare ca. 25% kalk ved metoden i forhold til å bruke toakslet skrue.

Det er ikke mye arbeid med rengjøring, vedlikehold og oppfølging/kontroll ved drift av anlegget etter at det ble ferdig innkjørt. Driftsoperatøren anbefaler andre å bruke samme slambehandlingsmetode.

Frya

Frya renseanlegg er et interkommunalt renseanlegg for Sør-Fron, Nord-Fron og Ringeby kommuner. På dette anlegget mottar man avvannet slam fra andre renseanlegg i medlemskommunene foruten slammet fra eget anlegg. Kalken blandes inn i en toakslet skrue, og kalkslammet går til to uisolerte containere som står inne i en containerhall. Dette forårsaker mye ammoniakk-gass i containerhallen, spesielt når man tilsetter kalk til eksternt slam.

Bortsett fra dette fungerer kalkbehandlingen meget bra. Det tas bare prøver av bakterier i slammet en gang i året, og det har aldri vært påvist bakterier i slammet. Slambehandlingsmetoden anbefales overfor andre anleggseiere som har jordbruksjord med lav pH i nærheten. På Frya renseanlegg må man kjøre slammet til dyrkingsfelter på fjellet, fordi pH i dyrkingsjorda i lavlandet er høy nok.

Bårud

Bårud renseanlegg er det største renseanlegget i Modum kommune. Her mottar man septikslam og fortykket slam fra 4 andre renseanlegg i kommunen. Slammet avvannes til rundt 20% tørrstoff i en sentrifuge og pumpes opp på toppen av den isolerte tørrslamsiloen med en tørrslampumpe. På toppen av siloen blandes slammet med kalk i en toakslet skrue. Det tilsettes ifølge kommunen ca. 600 kg per tonn TS til avvannet slam, og tørrstoffinnholdet i kalkslammet blir rundt 30%. Temperaturen i slammet i siloen blir rundt 50°C. Det er termurmålere i flere høyder i siloen. Slammet blir tømt hver 3. uke og kjørt på mellom-lager i et grustak.

Det ble analysert på TKB i 6 prøver av slammet i 1999, uten at det ble påvist bakterier. Det er innført internkontroll for drift av slambehandlingsanlegget, men måling av bakterieinnhold i slammet inngår ikke i internkontrollen. Det er også tatt prøver av parasittegg i slammet, og det ble heller ikke funnet infektive parasittegg.

Det har ikke vært driftsproblemer med anlegget. Det lukter ammoniakk rundt anlegget under tømning av siloen, og det har vært klager fra naboer på dette. Kommunen mener slambehandlingsmetoden er kostbar, men vil på grunnlag av driftserfaringer kunne anbefale metoden.

Tønsbergfjordens avløpsutvalg (TAU)

TAU er et interkommunalt renseanlegg for Tønsberg, Nøtterøy, Tjøme, Stokke og Re kommune. På TAU avvannes slammet til ca. 25% TS, og det brukes ca. 300 kg kalk/tonn TS til kalkbehandlingen. Tørrstoffinnholdet i kalkbehandlet slam ligger på ca. 37%. Kalken blandes inn i slammet i en toakslet skrue, og kalkslammet oppbevares i en isolert tørrslamsilo før det kjøres til mellom-lager. Det har vært noe problemer med kondens i denne siloen, og luktproblemer ved fylling av biler fra siloen. Man har derfor bygd en hall under siloen, slik at slambilen kan stå inne under fyllingen samtidig som hallen ventileres kraftig. Avsugsluften gjennomgår luktreising. Det måtte settes inn temperaturfølere i flere høyder i siloen, og likevel får man ikke alltid målt korrekt temperatur. Selv om temperaturen av og til kan måles til under 40°C på temperaturfølerne i veggene av siloen, har det aldri vært målt mer enn 10 TKB/g TS, og *Salmonella* er heller ikke påvist i slammet. Bortsett fra nevnte problemer fungerer metoden meget bra, og den anbefales overfor andre anleggseiere.

Veidekke Gjenvinning Vestfold (VGV)

Veidekke Gjenvinning Vestfold, Slambehandlingsanlegget (tidligere Nord-Jarlsberg Avfallsselskap) mottar og behandler avløpsslam (i hovedsak mekanisk-kjemisk slam med PAX 21) fra følgende anlegg: Holmestrand renseanlegg (Holmestrand), Falkenstein og Åsgårdstrand renseanlegg (Horten), Søybyholmen renseanlegg (Våle), 3 mindre renseanlegg i Hof og 5 i Tinn kommune

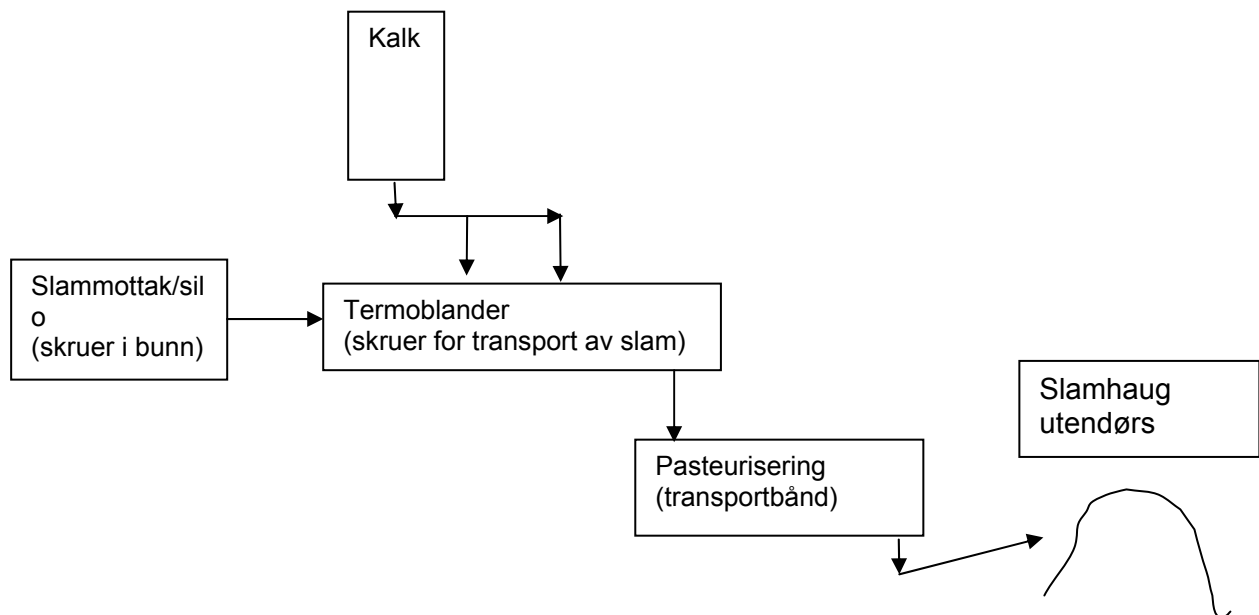
Slammet blir kjørt fra renseanleggene i avvannet form og blir tippet ned i et slamlager på behandlingsanlegget. Det er satt krav om at slammet skal ha min. 22 % TS av hensyn til lagringen og videre behandling.

Hygieniseringen ved slambehandlingsanlegget er basert på tilsetting av kalk i en såkalt termoblander og etterfølgende oppvarming til ca. 70°C. Dette er det eneste anlegget i Norden, men i USA er metoden brukt for behandling av biologisk slam. Ved Veidekkes anlegg behandles kjemisk slam, noe som har medført et havari på skruen i termoblander

forårsaket av organiske syrer som tærte opp stålet. Skruen er nå skiftet ut med materialer i syrefast stål.

I den såkalte termoblanderen, som er en lukket kasse med en skrue/blander som sørger for at slam og kalk blir godt blandet, tilføres det varme for å få opp temperaturen på slammet før det går videre til neste trinn. Varmen tilføres ved bruk av strøm samt at kalken utvikler varme.

Oppholdstid i termoblanderen er 15 minutter, og oppholdstiden på det lukkede transportbåndet med temperatur ca. 70°C er 30 min. En forenklet prinsippskisse for prosessen er vist i figur 12.



Figur 12. Forenklet flytskjema for kalkbehandlingen på VGV.

Anlegget var i utgangspunktet manuelt, men er nå fullautomatisert. Når det er mer enn 5 tonn slam i mottaksbunkeren, starter anlegget automatisk, og stopper automatisk ved 1 tonn slam igjen i bunkeren. Temperaturen i slammet stiger til ca. 55°C i termoblanderen, og videre til mellom 62 og 70°C i utløpsenden av transportbåndet. Hvis det er for bløtt slam, slik at temperaturen i pasteuriseringsenheten blir lavere enn normalt, tilsettes det mindre mengde slam fra bunkeren, mens strømtilførselen til termoblanderen blir brutt hvis det blir for høy temperatur i pasteuriseringen.

Slammet blir liggende ute i ranker til man har fått tungmetallanalysene som gjelder for slammet. Det er høy temperatur i slammet i mange uker etter kalktilsetningen. Det har aldri vært målt bakterier eller infektive parasittegg i slammet. I starten tok man intensive prøver ved forskjellige kalkmengder, og det var ingen bakterier eller infektive parasittegg i slammet selv ved tilsetning av bare halvparten av den kalkmengden man i dag bruker. I dag tar man kun 4 bakterieprøver per år.

Man tilsetter ca. 220 kg CaO per tonn TS i slammet. Denne kalkmengden er benyttet fordi man da kan spre 2 tonn TS per daa i henhold til *Forskrift om avløpsslam*, og få spredt en kalkmengde som står i forhold til behovet i jordbruket. Denne kalkmengden vil ifølge Jordforsk heve pH i jorda med 0,33 pH-enheter. Strømforbruket som må til for å øke temperaturen i slammet, koster anleggseieren langt mindre enn den økte kalkmengden som måtte til for å heve temperaturen tilsvarende (man kan tåle strømpriser helt opp i ca. 3 NOK/kWh).

Det har vært problemer med lukt inne i anlegget, og man har installert scrubber med svovelsyre (opprinnelig anlegg) og fotolyseoksidasjonsenhet (UV-rør, nytt i 2001) (Nybruket, 2002) for avtrekksluften fra termoblander og pasteuriseringsenhet. Det er nå bra forhold i hallen.

Veidekke har gode erfaringer med driften av anlegget. Man tar opp termoskruen og rengjør den annenhver måned. Utenom dette er det lite renhold og vedlikehold av utstyret. Det brukes lite tid på driften av anlegget etter at det ble automatisert. Veidekke anbefaler også andre å ta i bruk dette prinsippet for kalktilsetting til slam.

Konklusjon

Kalkbehandling av slam egner seg godt for mindre renseanlegg i områder hvor slammet kan brukes i jordbruket. Slammet egner seg ikke så bra på grøntarealer, da pH i slammet er for høyt for de fleste grøntanleggsplanter. Det er lite driftsproblemer med metoden. Skal man blande inn slammet i en tørrslampumpe, bør tørrstoffinnholdet i kalkslammet være lavere enn ca. 30%. Containere eller tørrslamsilo bør isoleres for å sikre høy nok temperatur i slammet i minst to timer.

Et interessant alternativ til metoden er å tilføre strøm i en termoblander for å redusere kalkforbruket og dermed driftskostnadene, samtidig som man får et slam med en kalkmengde som er bedre tilpasset jordbrukets behov.

Tabell 28. Kontaktperson ved renseanleggene.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
AHSA	Emil Haugland	+4769819100	-
Innbygda	Dag Woldmo	+4790631534	-
Frya	Halvor Melgårdshagen	+4761280630	fryara@sensewave.com
Bårud	Tor-Ivar Paulsen	+4732789400	tor.ivar.paulsen@modum.kommune.no
TAU	Dagfinn Fremstad	+4733326100	dagfinn.fremstad@tau.no
VGV	Per Martin Aakerøy	+4733066060	per.martin.aakeroy@veidekke.no

4.9. Rankekompostering og langtidslagring

4.9.1. Innledning

NORVAR gjennomførte i 1999 en undersøkelse av langtidslagring og rankekompostering av slam som grunnlag for utarbeidelse av en veiledning for disse slambehandlingsmetodene (Nedland & Paulsrud, 1999). Det ble sendt ut et spørreskjema til 187 anlegg. 53 anleggs-eiere svarte. Det ble avlagt besøk på 14 av anleggene for å få et bedre grunnlag for vurdering av løsningene.

4.9.2. Kort prosessbeskrivelse

Avvannet slam legges ut i hauger eller ranker. Det er mange forskjellige praktiske løsninger på anleggene, fra utlegging av slammet i hauger uten mer bearbeiding, til utlegging av slam i ranker med vending 3 ganger i uken i 4-6 uker. For enkelhets skyld er anleggene inndelt i tre kategorier i veiledningen:

- Enkel langtidslagring (uten vending eller strukturmateriale), EL
- Langtidslagring med vending (uten strukturmateriale), LV
- Rankekompostering (med strukturmateriale og vending), RK

Enkel langtidslagring (EL) vil si å legge slammet ut i hauger og la det ligge til det skal brukes. Nedbrytningen av organisk stoff i slammet vil stort sett foregå anaerobt, og normalt vil temperaturen i slike hauger ikke komme over 25-30°C. Slammet bør ligge i minst et halvt år (inklusive sommermånedene) for å overholde kravet til bakterieinnhold. Det er usikkert hvor lenge slammet må ligge for å inaktivere parasittegg. Slammet vil lukte når det skal brukes, selv om det har ligget i flere år.

Langtidslagring med vending (LV) vil si å legge ut slammet i hauger eller ranker som vendes en sjelden gang (normalt 1 til 2 ganger i året). Det blir ikke temperaturutvikling i slammet, men etter noen år med årlige vendinger vil slammet bli luktsvakt og få jordkonsistens.

Rankekompostering med tilsetning av strukturmateriale og vending (RK) vil si å blande inn 30–70% bark eller flis og legge komposten ut i ranker som vendes regelmessig (fra ukentlig til annenhver måned). I Nord-Norge har man gode erfaringer med å tilsette sand istedenfor strukturmateriale. Ved tilsetning av strukturmateriale og vending skjer det en aerob nedbrytning av slammet og strukturmaterialet, og denne prosessen avgir varme, slik at temperaturen i komposten øker til 50-70°C. Normal komposteringstid er fra 3 til 6 måneder, med ca. 6 måneders ettermodning uten vendinger. Komposten siktes normalt i et jordharpeverk slik at strukturmaterialet kan brukes om igjen.

4.9.3. Norske erfaringer med metodene

Erfaringene fra prosjektet er at kravene til bakterieinnhold i slammet overholdes etter at slammet har ligget over sommeren (i ca. 6 måneder). Kravet til parasittegg er det derimot vanskeligere å overholde. Slam fra 11 av anleggene ble analysert for egg fra parasittene *Ascaris* og *Toxocara*. *Ascaris* er innvollsorm hos gris og mennesker, mens *Toxocara* er innvollsorm hos rev, hund og katt. Resultatene er vist i tabell 29.

Tabell 29. Antall infektive parasittegg av type *Ascaris* og *Toxocara* som ble funnet i prøver hentet i langtidslagret og rankekompostert slam (Nedland & Paulsrud, 1999).

Behandlings-metode	Alder av slam ved prøvetaking	Antall parasittegg funnet	Antall infektive parasittegg funnet
EL	2 måneder*	1 dødt <i>Toxocara</i> -egg	Ingen
EL	5 måneder	1 delvis embryonert (med larve inni) og levende <i>Toxocara</i> -egg	1 <i>Toxocara</i> -egg
EL	3 år	1 embryonert (med larve inni) og levende <i>Toxocara</i> -egg	1 <i>Toxocara</i> -egg
EL	5 år	Ingen	Ingen
RK	5 uker	Ingen	Ingen
RK	1 år	2 døde <i>Toxocara</i>	Ingen
RK	1 år	Ingen	Ingen
RK	1,5 år	Ingen	Ingen
RK	2 år	1 dødt <i>Ascaris</i> -egg, 3 mulig levende <i>Toxocara</i> -egg	Ingen sikkert påvist
RK	2,5 år	Ingen	Ingen
RK	6 år	1 dødt <i>Ascaris</i> -egg, 1 mulig levende <i>Toxocara</i> -egg	Ingen sikkert påvist

* Slammet hadde ligget lenge i en slamlagune før langtidslagringen begynte.

Tabellen viser at det kan være infektive parasittegg i slammet etter 3 til 6 års langtidslagring eller rankekompostering. Dette tilsier at man ved langtidslagring og rankekompostering ikke kan garantere at det ikke er infektive parasittegg i slammet, selv etter mange års lagring.

Plasser for langtidslagring og rankekompostering bør ligge langt fra nærmeste bebyggelse. I kommentarene til *Forskrift om avløpsslam* er det angitt en minimums avstand til nærmeste bebyggelse på 500 m. Det har imidlertid kommet klager på lukt fra naboer som ligger flere km fra slike plasser. Skog rundt plassen vil effektivt kunne dempe luktproblemene.

Hvilken metode man bør benytte (EL, LV eller RK) avhenger av hvor stor lagringsplass man har, og hva slammet skal brukes til. Om slammet skal brukes til overdekking av fyllplass eller i jordbruket der det ikke er naboer som utsettes for luktsjenanse, kan man benytte enkel langtidslagring. Dette er klart den billigste løsningen fra små anlegg. Skal slammet brukes til overdekking av fyllplass eller på jordbruksområder der naboer kan bli sjenert av lukt, bør man velge langtidslagring med vending (LV). Dersom slammet skal brukes på grøntarealer bør man rankekompostere det. Nedbrytning av strukturmateriale stjeler nitrogen fra slammet, slik at rankekompostering ikke bør benyttes dersom slammet skal brukes til gjødsel i jordbruket.

Rankekompostering er vanskelig å drive utendørs om vinteren i Norge. Kaldt regn og snø fører da til at temperaturen i rankene synker, og komposteringsprosessen kan stoppe helt opp om man vender rankene når de er fuktige av regn eller snø om vinteren. Noen anlegg legger slammet opp i store hauger og vender dem sjelden om vinteren, og lar heller komposteringstiden bli lenger. Andre bruker mer strukturmateriale om vinteren for å få bedre lufttilgang og dermed høyere temperatur. Enkelte anlegg har bygget tak over komposteringsplassen for å unngå vinterproblemene. Ved sikting bør komposten være varm og tørr for å unngå at sikten tetter seg.

Plassbehovet avhenger av hvor høye ranker man velger og om man tilsetter strukturmateriale og/eller vender rankene. Ved enkel langtidslagring trenger man i størrelsesorden 2 m² per m³ avvannet slam per år ved 1,5 meter høye ranker, og 0,5 m² ved 4 meter høye ranker. Ved rankekompostering vil plassbehovet øke til ca. 4 m² per m³

avvannet slam per år ved 1,5 meter høye ranker, og tilsvarende 1,5 m² per m³ avvannet slam per år ved 4 meter høye ranker.

På grunnlag av erfaringene som ble samlet inn av Nedland & Paulsrud (1999) laget NORVAR en anbefaling overfor kommuner som ønsker å bruke disse slambehandlingsmetodene:

- Ved langtidslagring bør slammet lagres i min. 3 år
- Ved rankekompostering bør temperaturen i slammet være min. 55 °C i minst 3 uker

for at kravene i *Forskrift om avløpsslam* skal overholdes.

Konklusjon

Langtidslagring og rankekompostering av slam er metoder som egner seg i spredt bebygde områder der man har lagringsplasser som ligger langt fra naboer. Metoden medfører luktulempet, og det er derfor svært viktig å ta hensyn til dette i lokaliseringen av behandlingsstedet. Det er ikke avklart hvor lenge slam må langtidslagres eller rankekomposteres (når ikke temperaturen har vært over 55°C i tre uker med flere vendinger) for å være sikker på at parasittegg er uskadeliggjort. Termotolerante koliforme og *Salmonella*-bakterier forsvinner imidlertid i løpet av få måneder.

4.10. Reaktorkompostering

4.10.1. Innledning

Reaktorkompostering er kompostering av avvannet slam og strukturmateriale i en lukket prosess hvor driftsbetingelsene kan holdes optimale, slik at ferdig kompost er både stabilisert og hygienisert. I Norge er det i dag seks anlegg for reaktorkompostering av slam: Vaa Bio Miljø AS (Hjartdal i Telemark, trommel), Gangdalen (Grimstad, trommel), Støleheia (Kristiansand, bing), Erikstemmen (Flekkefjord, trommel), Bio Plan AS (Eidfjord i Hordaland, bing) og Oppdal sentrum (Oppdal i Sør-Trøndelag, trommel).

4.10.2. Kort prosessbeskrivelse

Ved reaktorkompostering foregår første del av komposteringsprosessen i en lukket beholder eller komposteringshall med behandlingstid på vanligvis mindre enn to uker (Paulsrud & Nedland, 1991). I Norge er det to typer komposteringsreaktorer som brukes: Trommel eller bing.

Trommelreaktorene er normalt liggende ståltromler som roterer langsomt og skyver komposten gradvis inn i trommelen. Bingereaktorene er støpte haller eller binger hvor en vendemaskin vender slammet og flytter det gradvis fra innløpsenden til utløpsenden av bingen.

Ved reaktorkompostering bør tørrstoffinnholdet i slam pluss strukturmateriale være over 30% før det tilføres reaktoren. C/N-forholdet i slam pluss strukturmateriale bør være mellom 20 og 35, oksygeninnholdet 5 - 15% metning, og ideell temperatur er 55 – 65°C. Den reelle oppholdstiden i reaktoren skal etter tyske retningslinjer (ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2, 1988) være minst ti døgn ved en temperatur på minst 55°C, og med en varmesone hvor temperaturen er minst 65°C og oppholdstiden minst 48 timer. Etter reaktorkomposteringen må komposten ettermodnes i minst to uker med minst én vending av haugene. I USA (U.S. EPA, 1993) er det nok å ha 55°C i minst 3 døgn ved reaktorkompostering for å dokumentere at hygieniseringskravene er overholdt.

4.10.3. Norske erfaringer med metoden

Det er innhentet erfaringer fra tre slambehandlingsanlegg med reaktorkompostering: Gangdalen i Grimstad, Støleheia i Kristiansand og Oppdal sentrum i Oppdal. Data for renseprosessene i disse renseanleggene er vist i tabell 30. I tabell 31 er vist data for slambehandlingsprosessene, og i tabell 32 er vist data for bakterieinnhold i slammet fra anleggene.

Tabell 30. Data for renseanleggene.

Anlegg	Kapasitet (PE)	Belastning (PE)	Rensemetode	Fellingskjemikalie	Mottak av eksternt slam (tonn TS/år)
Gangdalen	16.000	16.000	Mekanisk-biologisk*	-	255
Støleheia	100.000**	80.000	Mekanisk-kjemisk	Forskjellig***	3.000
Oppdal	10.000	5.500	Mekanisk-kjemisk	Jernklorid	61

* Groos renseanlegg

** 10.000 tonn våtorganisk avfall og 10.000 tonn avvannet slam med 30% TS.

*** Det er mange renseanlegg i området som leverer slam til komposteringsanlegget.

Tabell 31. Data for anlegg med reaktorkompostering.

Anlegg	Startår hygien- ise- ring	Kapa- sitet (tonn TS/år)	Tilført slammengd e 2001 (tonn TS/år)	Behandlet i komposterin- gen 2001 (tonn TS/år)	Volum reaktor (m ³)	Opp- holdstid (døgn)	Normal temperat- ur (°C)
Gangdalen	1998	330**	289	255	210	min. 10	40 - 75
Støleheia	1996	3.000*	3.000*	3.000*	1.200*	18 – 21*	55 - 60
Oppdal	1995	370**	194**	194**	86	10 - 12	39 - 48

* Gjelder slam. Total kapasitet på anlegget er 25.000 tonn avfall/slam.

** Slamtørrestoff. Strukturmateriale kommer i tillegg.

Tabell 32. Data for hygieniske parametre fra renseanlegg med reaktorkompostering.

Anlegg	Antall prøver	Etter reaktorkompostering		
		TKB (maks./g TS)	Salmonella påvist?	Parasittegg påvist?
Gangdalen	7	10	Nei	-
Støleheia	52	110	Nei	Nei
Oppdal	5	<1.000	Nei	-

Gangdalen

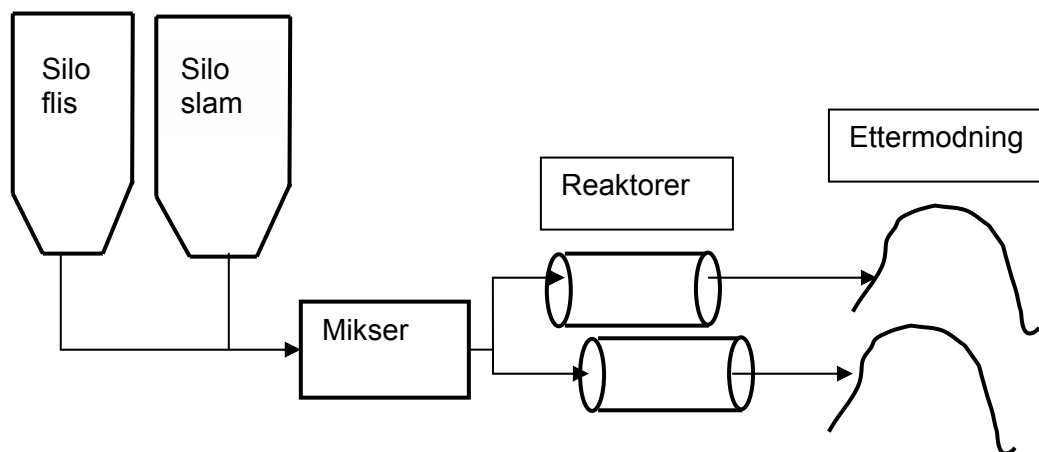
Gangdalen komposteringsanlegg mottar slam fra Groos renseanlegg (hovedrenseanlegget i Grimstad) som har biologisk fosfor- og nitrogenfjerning. Slammet utgjøres av ca. 30% primærslam og 70% biologisk slam. Reaktorkomposteringsanlegget i Gangdalen ble levert av Kværner Eureka AS.

Slam/slambehandling:

- 2 isolerte reaktorer med et volum på 105 m³ hver, totalt 210 m³.
- hydraulisk styrt rotasjon av reaktorene
- tilsetting av luft på flere steder
- oppholdstiden i reaktoren er min. 10 døgn (240 timer)
- temperaturen i reaktorene er på 40-75 °C.
- som strukturmateriale benyttes flis
- kompostering av flis og slam (blandingen har ca. 35% TS). Det tilsettes gjennomsnittlig 1 tonn flis til 3,7 tonn slam, men variasjonene er store pga. stor forskjell i tørrstoffinnhold i slammet.

Reaktorene roterer under innblanding ved hjelp av hydrauliske sylindere som jekker denne rundt (1 runde/ 5 min). Ellers roterer reaktoren en runde hver tredje time. Mellom rotasjonene er seks innblåsingsrør tilkoblet reaktoren for tilførsel av luft. Reaktorene har en fyllingsgrad på 50% med masse. Oppholdstiden er ca 10 døgn og temperaturen er oppe i 70°C i ett til to døgn. Utmatingen skjer samtidig med innmatingen ved at reaktorens rotasjon løfter massen opp i utmaterskruen. Massen mates ut i et innelukket rom hvorfra det fraktes med hullaster ut til ranker. I rankene ligger slammet til ettermodning i min. 10 uker før slammet legges i hauger på lagerplass. Dette var rutinen i 2001. I løpet av 2002 er denne rutinen endret i den forstand at ettermodning og lagring ikke lenger gjøres ved anlegget. Dette av hensyn til luktklager fra nærmeste naboer over lengre tid.

Figur 13 viser hvordan anlegget i prinsippet er bygget opp.



Figur 13. Prinsippskisse av Gangdalen komposteringsanlegg.

Temperaturforløpet i reaktorene logges og trendkurver lagres i 13 måneder.

Bakterieanalyser tas ut etter at slammet kommer ut av reaktoren. Det er innført internkontroll ved slambehandlingsanlegget, men dette er i følge driftsansvarlig ikke helt oppdatert. Uttak av bakterieprøver inngår i internkontrollsystemet. Bakterieprøvene rapporteres i årsrapporten for anlegget.

Trommelkompostering synes å gi gode resultater med hensyn til hygienisering av slammet, og har en først fått slammet inn i trommelen og mekanisk utstyr for rotering og luftinnblåsing samt styringssystemer fungerer, så går prosessen greit og resultatet blir bra. Det er imidlertid nok å gjøre på anlegget, særlig i forbindelse med innmating av slam og flis (skruene tetter seg til stadighet). Vedlikehold og utskifting av mekaniske komponenter samt problemer med styringssystemet tar også en del tid. Leverandøren antydte at tilsynsbehovet var ca. 1 dag per uke, mens driftsoperatøren i dag benytter ca. 90% av sin tid på anlegget (100 % stilling). Kværner Eureka, som leverte anlegget, har trukket seg ut av dette markedet, og denne type anlegg leveres derfor ikke lenger.

På dette anlegget ble det valgt for dårlige mekaniske og elektriske/styringsmessige komponenter på en del områder – og dette har gitt og gir fortsatt kommunen mange driftsproblemer. Alt i alt er kommunen av den oppfatning at anlegget var relativt kostbart å bygge, og det er relativt kostbart å drive pga mye transport, mye tilsyn/vedlikehold og høye fliskostnader.

Ved Gangdalen komposteringsanlegg har de slitt med luktproblemer helt siden anlegget ble satt i drift i 1997. Anlegget ligger i et dalsøkk, og ved ugunstige vindretninger og temperaturforhold blir vond lukt spredt mot bebyggelsen nedenfor anlegget. Enkelte av operatørene klager på lukt og hodeverk og naboene har fått erstatning etter rettssak mot kommunen pga. lukt fra anlegget.

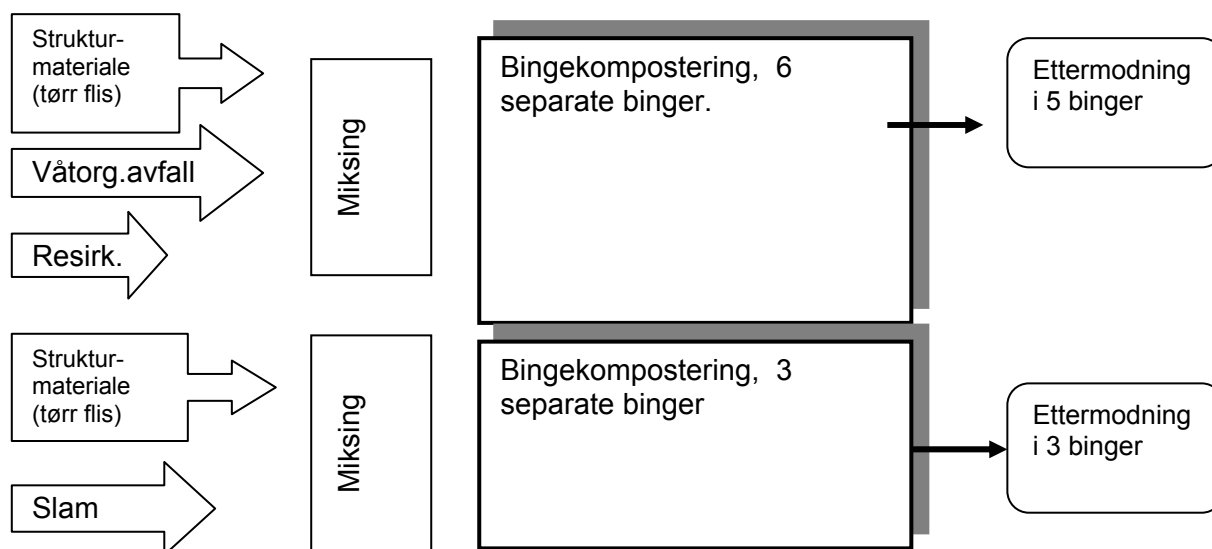
Ved levering av anlegget var det forutsatt bruk av et biofilter for luktfjerning, men på grunn av for mye ammoniakk i luften fungerte ikke dette tilfredsstillende (Nybruket, 2002). Det måtte i stedet bygges fotooksidasjon og kullfilter med utslipp av lufta 220 meter opp i heia. Likevel måtte man flytte ettermodningen til et annet komposteringsanlegg.

Støleheia

Renovasjonsselskapet for Kristiansandsregionen (RKR) behandler våtorganisk avfall (matavfall og hageavfall) og slam fra 100.000 mennesker i Kristiansand, Songdalen, Søgne og Vennesla kommuner på Støleheia Avfallsanlegg, komposteringsanlegget.

Komposteringsprosessen er basert på såkalt bingekompostering, der bioavfall og avvannet slam blir blandet med strukturmateriale (tørr høvelflis) og blir vendt med vendemaskin. Kompostering av slam og bioavfall skjer i separate linjer. Massen vannes og luftes under prosessen etter behov, og dette styres automatisk. Anlegget ble satt i drift i 1996 og ble levert av Moos Maskin AS (LMC-system fra USA). Siden den gang er anlegget blitt ombygget/modifisert en del. Styringssystemer er skiftet ut og diverse andre mekaniske utbedringer er utført for å sikre mer stabil drift og bedre arbeidsmiljø inne i anlegget.

Figur 14 viser en forenklet skisse av anlegget.



Figur 14. Forenklet skisse av Støleheia komposteringsanlegg.

Ved Støleheia-anlegget blir luft blåst inn gjennom bunnen av komposteringsbingene og dras av til biofilteret i et avsugssystem under taket i hallen (positiv lufting).

- På Støleheia tilføres vann daglig til komposteringsprosessen via dyser over bingene.
- Våtorganisk : 21-28 dager i komposteringsbinger, 3-4 uker i ettermodning
- Slam: 18-21 dager i komposteringsbinger, 2-3 uker i ettermodning.
- Ettermodningsbingene er på ca. 250 m³ hver.

Volumet per bing er på 400 m³. Anlegget har 3 binger av denne størrelsen til slam og 6 til matavfall. Hver er 64 meter lang og er inndelt i 5 soner hvor temperaturforløpet logges kontinuerlig.

Det er kontinuerlig registrering/logging av temperaturforløp i prosessen. Temperaturmålerne sitter i veggene på bingene, og ifølge driftsansvarlig er temperaturen i massene 5-10°C over de registrerte verdiene.

Prøver for bakterieinnhold tas hver uke (ukebatcher av 250 m³) etter at slamkomposten har ettermodnet ca 1 måned.

Det er innført internkontroll for driften av anlegget, og bakterieinnholdet i slamkomposten er med i denne. Bakterieinnholdet rapporteres ikke i noen årsrapport. Eventuelle avvik rapporteres til miljømyndighetene (Fylkesmannens miljøvernavdeling).

RKR mener det ikke er mye arbeid med rengjøring og vedlikehold av anlegget og det samme gjelder oppfølging og kontroll av prosessen. RKR anbefaler andre kommuner å benytte metoden.

Oppdal sentrum

Oppdal sentrum renseanlegg er hovedrenseanlegget i Oppdal kommune. Komposteringsreaktoren er en Mjølner trommel fra Vaa Biomiljø. Det har vært noe problemer med innmater for flis, som er svært ømfintlig for flisstørrelse. Det er derfor foreløpig ikke mulig å bruke oppmalt kvist til strukturmateriale, men man arbeider med å få malt kvisten bedre. Man må derfor kjøpe relativt kostbarhøveflis. Det har også vært mindre driftsforstyrrelser med utmater fra reaktoren. Reaktoren fungerer imidlertid bra. Oppholdstiden er på 10–14 døgn. Deretter etterlagres komposten ute til den blir brukt. Foreløpig har man ikke brukt så mye kompost, så den er som jord når den først har blitt kjørt bort.

Metoden er relativt kostbar, og kommunen vil bare anbefale andre anleggseiere å ta i bruk metoden om det er gode avsetningsmuligheter for høyverdig kompost. Ettersom man ikke har behov for fullverdig kompost i Oppdal, vurderer man å gå over til rankekompostering for å få ned kostnadene.

Konklusjon

Reaktorkompostering er en kostbar metode som først og fremst kan benyttes dersom slammet primært skal brukes på grøntområder, og der mulighetene for rankekompostering er begrensede (for eksempel på grunn av naboer nær anlegget). Erfaringene med kompostering av slam er rimelig gode, men det er viktig med riktig luktbehandlingsanlegg ved reaktorkompostering av slam. Også etter reaktorkomposteringen lukter det av slammet, slik at ettermodning må foregå på et sted hvor ikke naboer blir sjenert av lukt fra plassen.

Tabell 33. Kontaktperson ved renseanleggene.

Anlegg	Kontaktperson	Telefon	e-mail
Gangdalen	Monica Fredvik	+4737250111	monica.fredvik@grimstad.kommune.no
Støleheia	Britt Gunhild Iversen	+4738177070	bgi@rkr.no
Oppdal	Torleif Jacobsen	+4772401643	thorleif.jacobsen@oppdal.kommune.no

5. Kostnader for hygienisering av slam

Ved valg av hygieniseringsmetode bør man i første omgang finne ut hvilke avsetningsmuligheter som finnes for slammet, og så velge hygieniseringsmetode ut fra dette. Det er også viktig å ta hensyn til hvor slambehandlingsanlegget skal plasseres i forhold til naboer, da enkelte av hygieniseringsmetodene medfører luktplager. For små kommuner som ikke allerede har råtnetanker, vil enkle slambehandlingsmetoder som langtidslagring, rankekompostering og kalkbehandling (Orsa-metoden) kunne være gode løsninger. Dette betinger imidlertid at jordbruket i området vil ta imot slammet, eller at det er mulig å bruke det til revegetering av jord. Slike slamprodukter egner seg dårlig i grøntanlegg.

Når man skal sammenligne kostnader for forskjellige hygieniseringsmetoder for slam, må man ta i betraktning både investeringskostnader og driftskostnader, ettersom noen behandlingsmetoder har lave investeringskostnader, men høye drifts- og vedlikeholdskostnader, mens andre har det motsatte forholdet. Når metoder skal sammenlignes, bør man derfor ta utgangspunkt i årskostnader (investeringskostnader fordelt over anleggets levetid inklusive rentekostnader pluss drifts- og vedlikeholdskostnader). Å overføre kostnader fra ett land til et annet må gjøres med stor forsiktighet. Vi har derfor ikke fokusert så mye på kostnader i denne rapporten, men vi skal her vise hvordan de forskjellige metodene har kommet ut kostnadsmessig i Norge.

På de fleste svenske renseanlegg er det allerede råtnetank(er). Disse anleggene vil kunne hygienisere slammet til lavest kostnad enten ved å gå over til termofil, anaerob stabilisering med to eller flere råtnetanker i serie, eller ved å bygge aerob, termofil forbehandling, pasteurisering eller termisk hydrolyse foran råtnetanken(e). Ved termofil, anaerob stabilisering vil man kunne drive den første råtnetanken med en oppholdstid på 7 døgn. Med termisk hydrolyse og aerob, termofil forbehandling vil oppholdstiden i råtnetanken(e) kunne settes ned til henholdsvis 10 og 12 døgn, mens man bør ha minimum 15 døgns oppholdstid ved pasteurisering. Kostnadene for disse metodene vil grovt kunne rangeres slik:

Termofil, anaerob stabilisering < aerob, termofil forbehandling = pasteurisering < termisk hydrolyse (Paulsrud & Nedland, 1991).

Termisk tørking etter anaerob stabilisering er også et alternativ for renseanlegg som allerede har råtnetanker. Denne metoden er imidlertid kostbar både i investering og drift, så det er først og fremst hvis man skal lage spesialprodukter av slammet (jordblandinger eller gjødselprodukter) at en så stor investering vil kunne lønne seg. Dette vil også være aktuelt dersom slammet skal gå til forbrenning.

På renseanlegg som ikke allerede har råtnetanker, vil metoder som våtkompostering, kalkbehandling, langtidslagring eller kompostering være aktuelle. Langtidslagring og rankekompostering egner seg kun i utkantkommuner der anleggene kan legges i god avstand til naboer. Langtidslagring blir her det billigste alternativet. Ved kompostering vil man få høyere kostnader, men også mer anvendelige sluttprodukter, jo mer avansert utstyr man bruker. Mest kostbart er reaktorkompostering.

Paulsrud & Nedland (1991) viste at på nye anlegg uten eksisterende råtnetanker vil metodene våtkompostering og kalkbehandling være prismessig gunstig i forhold til aerob, termofil forbehandling eller pasteurisering i kombinasjon med anaerob stabilisering, opp til anleggsstørrelse ca. 15–20.000 PE. Ved større anlegg vil metodene med anaerob stabilisering være rimeligst. Når det allerede er råtnetank(er) på renseanlegget, vil selvfølgelig kostnadsbildet bli et helt annet.

6. Forslag til videre arbeid

Basert på de erfaringer som vi har i Norge med 9 ulike metoder for hygienisering av slam, vil vi anbefale at det blir arbeidet videre med følgende:

- Det bør gjennomføres en test for å få avklart hvorvidt parasittegg blir drept i slambehandlingsmetodene:
 - termofil, anaerob stabilisering
 - langtidslagring
 - rankekompostering.Slike tester er gjennomført i et NORVAR-prosjekt for et utvalg andre metoder (se kap. 3 om kontrollopplegg for hygienisering av slam i Norge).
- Når en forsøker å få tak i data om kostnader for de ulike hygieniseringsmetodene i dag, spriker forutsetningene for oppgitte data mye. Det bør derfor utvikles et enhetlig system for dokumentasjon av kostnader for slamhygienisering, slik at kostnader (investeringskostnader og driftskostnader) kan sammenstilles og rapporteres.

7. Referanser

- ATV/VKS-Arbeitsgruppe 3.2.2, 1988: "Entseuchung von Klärschlamm". Dritter Arbeitsbericht, Korrespondenz Abwasser 12/88.
- Broch Olsen, S., 2002: Personlig meddelelse fra medarbeider i VAR-prosjekt, Oslo.
- EU, 2000: http://europa.eu.int/comm/environment/sludge/sludge_en.pdf 25.09.2002
- Forskrift om avløpsslam, fastsatt av Sosial- og helsedepartementet og Miljøverndepartementet 2. januar 1995 med endringer av 27. september 1996. T-1152 Saksnr. 92/4841 VA. ISBN 82-457-0117-3. <http://www.lovdata.no/for/sf/md/td-19950102-0005-002.html#8>
- Knap, A.H., 2002: Personlig meddelelse fra medarbeider i Hifo Tech AS.
- Magnussen, C., B. Hammeraas, J. Netland & A. Folkedal, 2000: Survival of potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, (PCN) and wild oat, *Avena fatua*, in the production of VEAS-Biosolids. Planteforsk rapport 22/2000, Planteforsk, Ås.
- Miljø- og Energiministeriet, 1996: Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål. Bekendtgørelse nr. 823 av 16. desember 1996, København.
- Nedland, K.T., 2000: Evaluering av kalkbehandling av avvannet slam ved Innbygda renseanlegg, Trysil. Aquateam-rapport 00-042. Aquateam – Norsk vannteknologisk senter AS, Oslo.
- Nedland, K. T., 1994: Våtkompostering av slam ved Vårnes renseanlegg, Stokke i Vestfold. Aquateam-rapport 94-085. Aquateam AS, Oslo.
- Nedland, K. T. & B. Paulsrud, 1996: Driftserfaringer fra anlegg for stabilisering og hygienisering av slam i Norge. Forprosjekt. NORVAR prosjektrapport 64/1996. Norsk VA-verkforening, Hamar.
- Nedland, K. T. & B. Paulsrud, 1999: Driftserfaringer fra anlegg med rankekompostering og langtidslagring av avløpsslam. Veiledning. Aquateam-rapport 99-038. Aquateam AS, Oslo.
- Nybruket, S., 2002: Erfaringer med rensing av ventilasjonsluft fra avløpsrenseanlegg og anlegg for behandling av våtorganisk avfall. <http://www.norvar.no>
- Paulsrud, B, 1995: Veiledning for prøvetaking av slam. SFT-rapport 95:10, Statens forurensningstilsyn, Oslo.
- Paulsrud, B., 2002: Hvordan dokumentere hygienekravet om parasittegg i slam uten å måtte ta ut prøver for analysing? Resultater fra et gjennomført NORVAR-prosjekt. Foredrag på NORVARs møte i slamgruppen 6.-7.11.02. <http://www.norvar.no>.
- Paulsrud, B. & K. T. Nedland, 1991: Slambehandling og –disponering ved større kloakkrenseanlegg. Hovedrapport. NORVAR-rapport 20/91. Norsk VA-verkforening, Hamar.
- Paulsrud, B. & K. T. Nedland, 1994: Full Scale Experiences with Thermophilic Aerobic Digestion. In: Chemical Water and Wastewater Treatment III, R. Klute & H. H. Hahn (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- Paulsrud, B. & K. T. Nedland, 1996: Full Scale Experiences with Processes for Stabilization and Disinfection of Primary – Chemical Sewage Sludge. In: Chemical Water and Wastewater Treatment IV. H.A. Hahn, E. Hoffmann and H. Ødegaard (Eds.) Springer Verlag. Berlin – Heidelberg.
- Paulsrud, B. & R. Storhaug, 1998: Hygienisering av slam ved Bekkelaget renseanlegg. En vurdering av metodene "Etterpasteurisering av avvannet slam" og "Termofil anaerob stabilisering". Aquateam-rapport 98-102. Aquateam AS, Oslo.
- Paulsrud, B. & R. Storhaug, 2001: Kontrollopplegg for parasittegg i slam – forprosjekt. Foreløpig rapport til NORVAR. Aquateam AS, Oslo.
- Paulsrud, B., K.T. Nedland & S. Nybruket, 2001: Control of pathogens in sewage sludge in Norway – full scale experience with different sludge treatment technologies. Presented at the 6th European Biosolids and Organic Residuals Conference Pre-Conference Workshop and Exhibition, Wakefield, UK, 11. – 14. November 2001
- Roediger, H., 1987: Using quicklime. Hygienization and solidification of dewatered sludge. ROEDIGER Pittsburgh Inc.
- Skrindo, M., 1995: Bruk av brent kalk for behandling av kommunalt slam. Prosessløsninger og driftserfaringer på norske kloakkrenseanlegg. Hovedoppgave 1995 ved Institutt for tekniske fag, Norges landbrukshøgskole, Ås.
- U.S.EPA, 1990: Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Wastewater Sludge. Office of Research and Development, EPA/625/10-90/007, Washington DC 20460.
- U.S. EPA, 1993: 40 CFR Parts 257, 403, and 503: Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge. Fed. Register 58, No. 323, 9248-9415.
- U.S. EPA, 1994: A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, EPA/832/R-93/003, September 1994, Washington DC.
- Water Environment Federation, 1995: Wastewater Residuals Stabilization. Manual of Practice FD-9, Alexandria, Virginia.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se