

Hygienisering og stabilisering av slam ved bruk av rent oksygen

Av Bjørn-Erik Haugan og Bjarne Paulsrud

Bjørn-Erik Haugan er siv.ing. fra NTH og ansatt som produksjef i NORGAS A/S.

Bjarne Paulsrud er siv.ing. fra NTH og ansatt som forskningsleder ved NIVA.

SAMMENDRAG

Forsøk i halvt teknisk målestokk ved Nordre Follo kloakkverk har vist at tilsetting av rent oksygen til kloakkslam er en aktuell metode for hygienisering og stabilisering av slamm. Metoden er en aerob slamstabilisering ved høy temperatur (også kalt våtkompostering). Ved en oppholdstid på ca. 5 døgn ble det oppnådd temperaturer i slamm på 50—65°C. Dette medførte en fullstendig utdøing av *Salmonella*-bakterier og en reduksjon av organisk stoff på ca. 20 prosent. Forsøkene indikerte et oksygenforbruk på ca. 1,5 kg pr. m³ slam pr. døgn under forutsetning av høy oksygenutnyttelse. Nødvendig energi-tilskudd for å hindre sedimentering i behandlingsvolumet er vel 100 W/m³. Prosjektet videreføres i 1983 ved fullskala forsøk på HIAS-renseanlegget ved Hamar.

INNLEDNING

Smitte og lukt er et problem ved disponering av slam fra kloakkrenseanlegg, septiktanker og slamavskillere. Statens forurensningstilsyn (SFT) har nylig utgitt retningslinjer for lagring og disponering av slam (1). Her er kravet til lav smittefare aktualisert ved det primære ønsket

om bruk av slamm på jordarealer. Faren for smitte av dyr og mennesker tiltar om ikke slamm passerer en hygieniseringsprosess før det spres. Alternativt kan man føre en restriktiv disponeringspolitikk, hvilket betyr at verdifulle næringsstoffer i slamm ikke blir nyttiggjort.

NORGAS AS og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har videreutviklet en prosess for hygienisering og stabilisering av slam fra kloakkrenseanlegg, basert på tilsetting av rent oksygen. Det ble utført forsøk i halvt teknisk skala ved Nordre Follo kloakkverk sommeren 1981, og disse videreføres nå i fullskala ved HIAS renseanlegg, Hamar. Rapport fra de innledende forsøk foreligger fra NIVA (2).

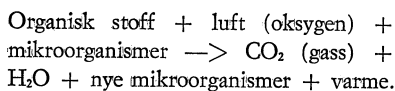
AEROB STABILISERING VED HØY TEMPERATUR GIR BÅDE HYGIENISERING OG STABILISERING AV SLAMMET

Stabilisering av slam betegner prosesser som har til hensikt å redusere luktproblemer forbundet med disponering av slam. Generende lukt skriver seg fra råtning, dvs. nedbryting av organisk stoff i fravær av oksygen. Dersom organisk stoff først brytes ned til stabile forbindelser i nærvær av oksygen, vil det senere ikke

gå i forråttelse, det vil si slammet er stabilt.

Stabilisering må ikke forveksles med *hygienisering* som har til hensikt å redusere smittefaren forbundet med bruk av kloakkslam. Ved enkelte prosesser (f.eks. kompostering) kan man dog oppnå både stabilisering og hygienisering.

Aerob stabilisering skjer ved at slammet tilføres oksygen. Mikroorganismer i slammet vil fortære organisk materiale. Kvalitativt kan prosessen skrives som:



Nedbrytning skjer altså under utvikling av varme. Dersom varmen kan beholdes i miljøet, vil det skje en temperaturøkning, som igjen fører til raskere omsetning og mer varmeutvikling. Omsetningen går raskere med økende temperatur inntil ca. 60°C. Ved enda høyere temperatur avtar antall arter som kan ta del i nedbrytningsprosessene, og omsetnings-hastigheten avtar.

Temperaturer rundt 60°C gir altså rask omsetningshastighet, og sykdomsfremkallende organismer kan bare overleve en kort tid. Vi får altså både hygienisering og stabilisering.

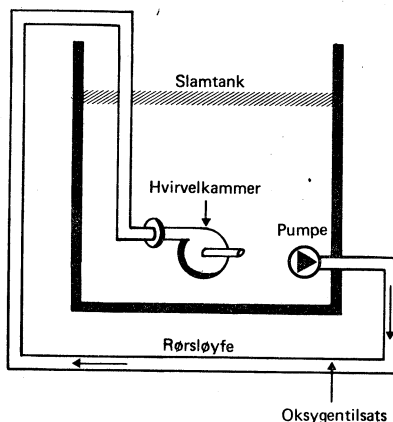
For at den biologiske reaksjonsvarmen skal makte å holde temperaturen rundt 60°C, må følgende betingelser oppfylles:

- nok organisk stoff, aktive bakterier og oksygen må være til stede
- varmetapet må holdes lavt.

Organisk stoff og bakterier finnes rikelig i slam. Varmekjære (termofile) bakterier vil utvikle seg på bekostning av andre arter ved høye temperaturer. Oksygen må tilføres fra luft eller i ren form, og oppløses i slammet.

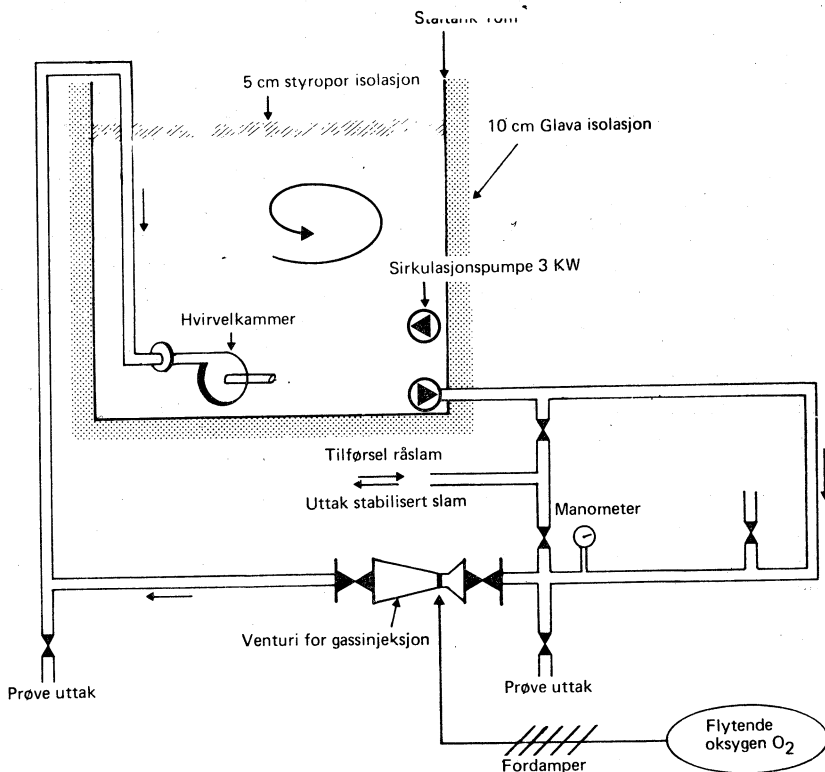
Ved konvensjonell aerob stabilisering tilføres 3—6 m³ luft pr. m³ slam pr. time. Luften tjener til omrøring av slammet og til oksygenforsyning. Ved å installere mekanisk omrøring og tilføre oksygen i ren form, kan gassmengdene reduseres til ca. 1 prosent av det ovennevnte. Varmetapet reduseres tilsvarende fordi innblåst luft fjerner varme fra slammet i form av fordampet vann og oppvarmet luft.

Fig. 1 viser en prinsippskisse av aerob slamstabilisering ved høy temperatur. En pumpe transporterer slam fra en tank og ut i en rørsøyfe. I røret blir slammet tilsatt oksygen. Oksygenet løses delvis i slammet innen dette føres tilbake til tanken. Oksygen som ikke blir løst i rørsøyfen, blir knust til fine bobler som oppløses i tanken. I tillegg må det sikres god omrøring i tanken for å hindre sedimentering. Oksygentilførselen må være tilstrekkelig til at den bakterielle aktivitet ikke blir begrenset. Ofte regnes et nødvendig oksygeninnhold i slammet på ca. 2 mg O₂/l.



Figur 1.

Prinsipp for aerob slamstabilisering ved høy temperatur.



Figur 2. Forsøksanlegg for aerob slamstabilisering med rent oksygen.

FORSØKSOPPLEGG VED NORDRE FOLLO KLOAKKVERK

Nordre Follo kloakkverk er et mekanisk-kjemisk rensanlegg med Al-sufat som fellingsmiddel. Anlegget mottar også septikslam som blandes med internt slam i fortykkere. Slam til forsøkene ble tatt fra disse fortykkerne. Forsøksanlegget er vist i fig. 2.

Det besto av en åpen, sylindrisk ståltank. Tanken var kledd utvendig med 10 cm Glava isolasjon for å redusere

varmetap, og plastduk for å holde isolasjonen tørr. På overflaten av slammet fløt et 5 cm lag med styropor isolasjonsmateriale.

Slam ble pumpet ut av tanken ved hjelp av en Flygt senkepumpe. Pumpen sendte slam ut i en rørkrets og tilbake til tanken igjen. I en dyse (venturi) montert i rørkretsen, ble slammet tilsatt oksygen. Hvirvelkammeret ved enden av rørsøyfen sikret et visst trykk (ca. 1,4 bar) ved doseringsstedet. Økt trykk øker optaks-

hastigheten av oksygen i slammet. Ved rørsloyfens munning i slamtanken ble det kraftig turbulens ved at slamstrømmen roterte ut fra hvirvelkammeret. Turbulensen ved utløpet tjente til å knuse og finfordele gassbobler som ikke var oppløst i rørsloyfen.

Oksygen forelå i flytende form på en tank med kapasitet ca. 3030 l = 3450 kg. I tanken ble det holdt et trykk på 5,5 bar. Flytende oksygen gikk til en fordampner, og gassen derfra passerte gjennom et sett med kontroll-, sikkerhets- og reguleringsventiler før den ble tilsatt slamstrømmen i venturien omtalt ovenfor.

Det ble tappet ut behandlet slam fra forsøksanlegget og tilført nytt råslam fra fortykkerne én gang pr. døgn. Mengdene ble tilpasset den ønskede hydrauliske oppholdstiden for slammet, som var ca. 5 døgn i gjennomsnitt, dvs. man måtte

daglig tappe ut 1/5 av tankvolumet og etterfylle med råslam i samme mengde.

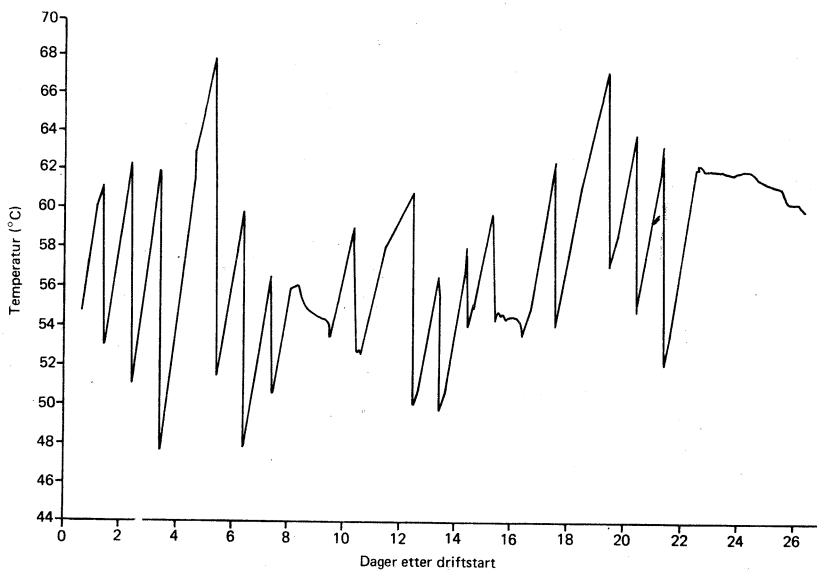
RESULTATER FRA FORSØKENE

Temperaturer

Fig. 3 viser gjennomsnitt av kontinuerlige temperaturmålinger fire steder i tanken. Driftstemperaturen varierte mellom 50 og 65°C. Kurvens sagtakkede form fremkommer ved den daglige tømning og etterfylling med kaldt råslam. Temperaturfallet ved etterfylling kompenseres ved energiomsetning og temperaturstigning til neste tømme/fyllesekvens.

Hygienisering

Slammet ble analysert for *Salmonella*-bakterier, termostabile koliforme bakterier (TKB) og fekale streptokokker (FS). Resultatene er vist i tabell 1.



Figur 3. Temperaturvariasjoner i slammet i forsøksperioden.

Tabell 1. Analyser av bakterier i råslam og stabilisert slam.

	Antall bakterier pr. gram tørrstoff	
	Råslam	Stabilisert slam
Termostabile koliforme bakterier (TKB)	10 ⁶ — 10 ⁸	0—10 ⁴
Fekale streptokokker (FS)	10 ⁵ — 10 ⁷	0—10 ³
<i>Salmonella</i> -bakterier	10—500	0

Det ble altså ikke funnet *Salmonella*-bakterier i det hygieniserte slamm, mens indikatorbakteriene TKB og FS ble påvist i noen av prøvene av det ferdig-behandlede slamm. Rapporterte undersøkelser i Norge (3) og (4) antyder at den oppnådde temperatur/tid dose skulle gi TKB og FS konsentrasjoner under påvisningsnivå. Spørsmålet om TKB og FS virkelig kan overleve slik temperatur-eksponering, må belyses videre ved forsøkene i full skala. Det kan videre stilles spørsmål ved metoden for prøveuttak i denne undersøkelsen. Ved stabilisering i ett trinn, som i disse forsøkene, vil noe av det uttappede slamm bare ha hatt ett døgn oppholdstid. Høyere hygienisk sikkerhet oppnås ved to eller flere serie-koblede reaktorer uten mulighet for kortslutning mellom innløp og utløp.

Det ble ikke gjort undersøkelse vedrørende drap av parasittegg ved disse forsøkene. Bergstrøm (5) undersøkte imidlertid overlevelse av spolorm-egg fra gris under kompostering. Han fant 100 pro-

sent drap av eggene ved 2—3 dagers oppholdstid ved 50°C. Høyere temperatur vil gi raskere drap av eggene. Spolorm-egg er blant de mest hardføre parasitt-egg. Ved en veldrevet komposteringsprosess antas at alle parasitt-egg drepes.

Reduksjon av organisk stoff

Tabell 2 viser innholdet av total tørrstoff og organisk stoff (målt som flyktig tørrstoff og kjemisk oksygenforbruk) før og etter stabilisering av slamm.

Reduksjon av organisk stoff gjennom anlegget var ca. 20 prosent som et gjennomsnitt for hele forsøksperioden.

FORBRUK AV OKSYGEN OF ENERGI

Oksygen

Oksygenforbruket bør holdes lavest mulig av hensyn til økonomi og varmetap. Samtidig må prosessen tilføres nok oksygen til å opprettholde omsetning av organisk materiale. I tillegg til oksydasjon av

Tabell 2. Tørrstoffinnhold og innhold av organisk stoff i råslam og stabilisert slam.

	Råslam		Stabilisert slam	
	Variasjon	Gj.snitt	Variasjon	Gj.snitt
Tørrstoff innhold, TS (%)	3,5— 7,0	5,0	3,1— 4,3	3,5
Flyktig tørrstoff (% av TS)	54,0—69,1	59,8	53,0—60,1	56,3
Kjemisk oksygenforbruk (g/m ³)		33200		26600

organisk materiale, forbrukes oksygen til oppbygging av nytt cellemateriale. Nitri-fikasjon forekommer ikke i temperatur-området over 55°C.

I forsøksperioden ble det dosert ca. 40 kg oksygen pr. døgn (21 normal-liter/min). Gjennomsnittlig mengde omsatt oksygen i denne undersøkelsen er beregnet til 16—22 kg, dvs. en oksygenutnyttelse på 40—55 prosent. Med bortimot 100 prosent oksygenutnyttelse skulle dette tilsvare et oksygenforbruk på ca. 1.5 kg pr. m³ slam pr. døgn.

Tilført energi

Energiforbruket forbundet med prosessen har to formål:

- Omrøring i tanken for å hindre sedimentering
- Drift av oksygenoverførings-systemet.

Ved forsøkene hadde man følgende forhold:

Totalt tilført elektrisk energi (9 A):	3,05 kW
Tilført arbeid til rørsøyfen:	0,42 kW
	—————
Utviklet varme	~ 2,6 kK
	—————

Med unntak av varmetap fra rørsøyfen, vil all tilført elektrisk energi (3,05 kW) til slutt omdannes til varme som kommer prosessen til gode. Valg av egnet pumpe avgjør virkningsgraden, dvs. hvor mye som kan nyttiggjøres til arbeid i rørsøyfen.

Større senkepumper har normalt et effektforbruk på vel 100 W/m³ slam pumpet mot 15—20 m VS mottrykk. Ved rundpumping av f.eks. 1,5 x reaktorvolu-

met pr. time blir effektforbruket dermed 150 W/m³.

Biologisk energi-utvikling

Biologisk varmeproduksjon er også be- regnet ved en varmebalanse rundt reaktoren. Verdier fra 136—450 W/m³ ble funnet med middelerdi 235 W/m³. Den beregnede energiproduksjon (14 kJ/g oksygen forbrukt) ligger noe lavere enn fun- net i biokjemiske studier, ca. 16 kJ/g oksygen. Det totale energi-innholdet i rå- slammet var 20 kJ/g organisk stoff.

PRAKTISKE ERFARINGER FRA FORSØKSDRIFTEN

Følgende erfaringer har vært spesielt nyttige ved planleggingen av fullskala- forsøkene ved HIAS-anlegget.

Rundpumping

Senkepumper med stor gjennomløps- åpning er normalt egnet til formålet. Valg av pumpe må skje ut fra ønsket mottrykk i rørsøyfen, ønsket ytelse og virknings- grad. Senkepumper gir god varme-øko- nomi ved at motorvarmen forblir i slam- met og derved understøtter prosessen.

Driftsrutiner

Tilførsel og uttak av slam bør gjøres hyppig for å hindre store temperatursving- ninger ved tilførsel av kaldt råslam. For- varming av slammet ved varmeveksling er aktuelt.

Hygiene

Hygieniseringsanlegg bør innrettes med flere trinn i serie for å gi større sikkerhet mot kortslutning av smitteholdig slam fra innløp til utløp.

REFERANSER

1. *Statens forurensningstilsyn* (1982): Retningslinjer for lagring og disponering av kloakkslam, TA-573.
2. *Haugan, B.-E.* (1982): Slamstabilisering under høy temperatur ved bruk av rent oksygen. Delrapport 1, NIVA F-81430, VA-rapport 9/82.
3. *Langeland, G.* (1980): Kompostering kan gi kloakkslam av tilfredsstillende mikrobiologisk-hygienisk kvalitet. VANN 1 B, 1980 s. 34—38.
4. *Langeland, G.* (1981): Noen hygieniske forhold ved kloakkslam. Tidsskrift for Den norske Lægeforening nr. 23, 101 s. 1276—1278.
5. *Bergstrøm, K.* (1980): Kompostering av kloakkslam drep egg av innvollsorm. VANN 1 B, 1980, s. 39—44.

Til rensing av vann og kloakk:



**Svovelsyre, klor, natronlut
Kemiras polyelektrolytter, Fennopol
Cementas kalkprodukter**



Lysaker kemiske Fabrik
avdeling av Borregaard Industries Limited

Boks 2, 1324 Lysaker og boks 162, 1701 Sarpsborg
Telefoner: 02-55 69 95 og 031-51 120