

Metoder for luktkontroll i slambehandling

Av Aud-Inger Rasmussen,
Anette Æsøy og
Anne Mette Einarsen

Alle forfatterne er ansatt i HydroCare

Innlegg på fagtreff 23. mars 1998

Sammendrag

Slam og slambehandling medfører ofte vond lukt både på renseanlegg og i omgivelsene rundt. Luktkomponentene kan i tillegg være helseskadelige. Det er derfor nødvendig med en eller annen form for behandling av slam og eller luft. For å utføre en god behandling er det nødvendig å kjenne til hvilke komponenter som forårsaker lukt- og helseproblemer, hvordan de oppstår og hvordan de kan fjernes. Generelt kan man si at luktpoblemer relatert til kommunalt slam er forårsaket av biologisk aktivitet under oksygenfrie forhold (anaerobe forhold), og er ofte karakterisert ved dominerende lukt av sulfid (råtne egg). Det finnes en rekke metoder for behandling av luktpoblemer. Valg av metode må baseres på behov og problemstilling, samt en teknisk, prosessmessig og økonomisk analyse. Lillehammer RA hadde problemer med høye konsentrasjoner av sulfid som skapte luktpoblemer på renseanlegget. Ved å

tilsette Nutriox™ for septisitetskontroll, som inneholder nitrat, stoppes produksjonen av sulfid fordi forholdene blir ugunstige for sulfatreduserende bakterier. Man får istedet etablert en biologisk prosess der organisk stoff brytes ned til CO₂ og nitrat omdannes til nitrogengass, kjent som denitrifikasjon. Man oppnår også å fjerne sulfid fordi denitrifiserende bakterier omdanner sulfid til sulfat. I tillegg til å fjerne luktpoblemer, oppnår man gjerne at slammets avvanningsegenskaper blir forbedret ved å unngå at slammets utsettes for anaerob biologisk aktivitet og blir septisk eller råttent.

Hva er lukt?

Lukt er et vidt begrep, definert av det enkelte individs toleranse eller sensibilitet.

Avløpsvann og slam inneholder en rekke forbindelser som gir lukt. Tabell 1 viser forskjellige komponenter som avgir ubehagelig lukt. Karakteristisk for disse komponentene er en svært lav luktterskel.

Flesteparten av forbindelsene som lukter er gassformige under normale atmosfæriske forhold, eller de har en viss flyktighet som gjør at de lett kan stripes av til luft. Dette er komponenter med relativ lav molekylvekt, fra 30 til 150. Mange av disse komponentene er også helsefarlige ved innånding. Dette gjelder spesielt hydrogensulfid som vist i Figur 1. Man skal ikke ha mye sulfid i vann eller slam før man kommer opp

i helseskadelige nivåer i luft. Figur 2 viser teoretisk og observert sammenheng mellom sulfid i vann og luft. Årsaken til at observerte verdier er mye lavere enn teoretiske verdier skyldes bl.a. fortykning av gassen i luft.

Et slams innhold av luktfremmende komponenter kan variere mye fra sted til sted, avhengig av avløpsvannets sammensetning (kommunalt, industri, blanding), renseprosess og slambehandling.

Luktstoff	Lukterskel ppm	Lukt karakteristikk
Hydrogen sulfid	0,005	Råtne egg
Amyl merkaptan	0,0003	Ubehagelig - råtten
Allyl merkaptan	0,00005	Sterk hvitløk - kaffe
Benzyl merkaptan	0,00019	Ubehagelig - sterk
Crytol merkaptan	0,000029	Stinkdyr lignende
Etyl merkaptan	0,00019	Råtten kål
Metyl merkaptan	0,0011	Råtten kål
Propyl merkaptan	0,000075	Ubehagelig
Tertiær-butyl merkaptan	0,00008	Ubehagelig - stinkdyr
Dimetylsulfid	0,0001	Råtne grønnsaker
Difenylsulfid	0,0001	Ubehagelig
Indol	0,0001	Fekalt, kvalmende
Skatol	0,001	Fekalt, kvalmende
Trimetylamin	0,0004	Ram, fiskeaktig
Dimetylamin	0,34	Råtten, fiskeaktig
Metylamin	4,7	Råtten, fiskeaktig
Smørsyre	0,001	Ubehagelig, søtlig

Tabell 1. Lukstoffer i avløpsvann (modifisert etter "Odour Control in Wastewater Treatment Plants", 1995).

Hvordan oppstår lukt ? Dannelsesmekanismer.

Lukt kan oppstå når organisk materiale brytes ned under fravær av oksygen.

Fersk kloakk lukter søtlig, mens det vi definerer som septisk slam har en dominerende lukt av hydrogensulfid eller råtne egg. Hydrogensulfid er den gas-



ppm	Effekt
0.005-0.15	Lukterskel
10	Administrativ norm
10-20	Øyeirritasjon
50-100	Alvorlig øyeskade
150-250	Tap av luktesans
300-500	Alvorlige lungeskader
500-1000	Fare for død og alvorlig skade på sentralnervesystem
> 1000	Død

Fig.1 Helsekadelige effekter av hydrogensulfid (H_2S)

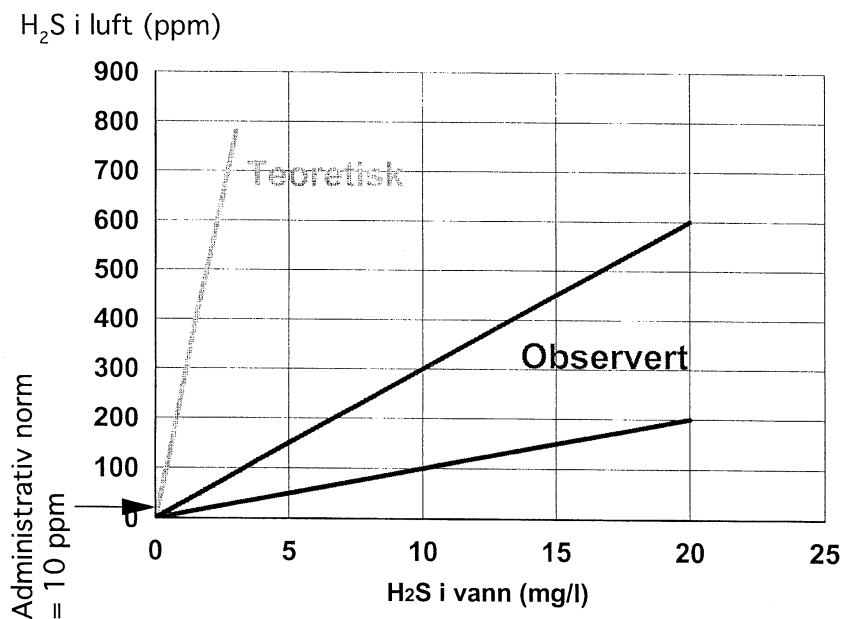


Fig.2 Teoretisk og observert sammenheng mellom hydrogensulfid i vann og luft.

Biologisk aktivitet under oksygenfrie forhold

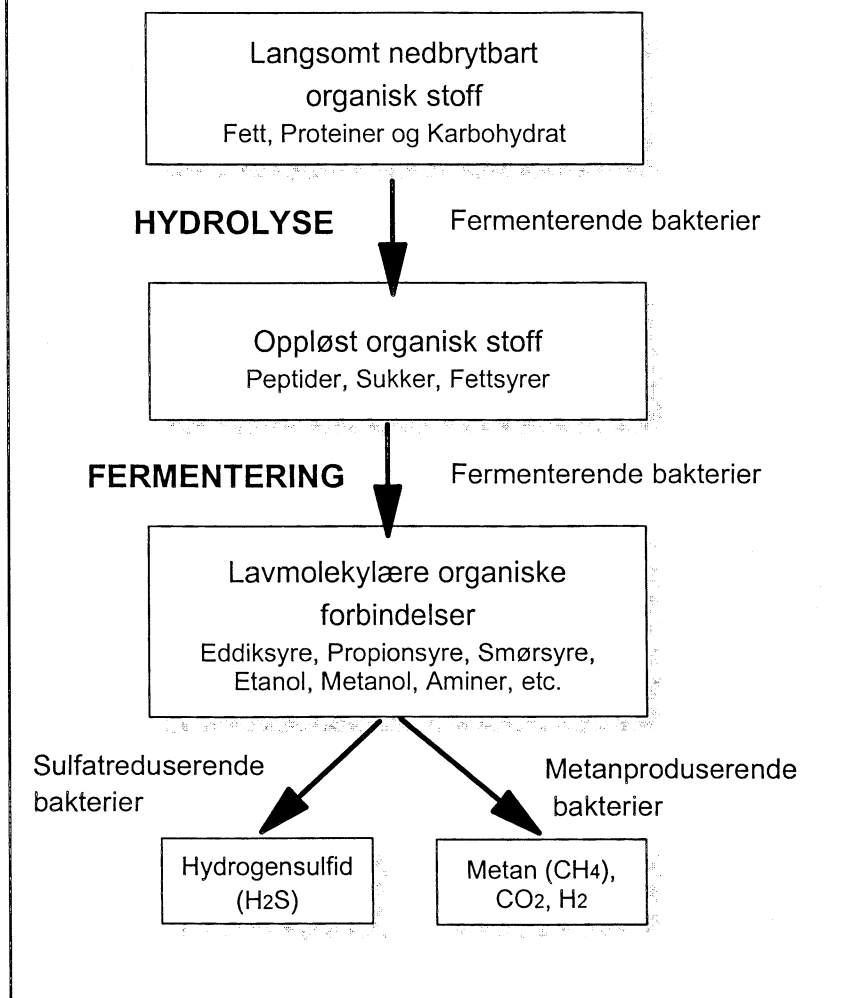


Fig. 3. Biologiske prosesser under oksygenfrie forhold.

sen som oftest detekteres i forbindelse med luktproblemer i avløpsindustrien. Den er vanligvis tilstede i større mengder, og er velkjent.

Under oksygenfrie (anaerobe) for-

hold oppstår mikrobiell aktivitet som illustrert i figur 3. Vi sier populært at slammet går i forråtnelse. Organisk materiale brytes ned (hydrolyseres) og omdannes av en gruppe bakterier som kal-

les fermenterende bakterier. Produktene fra denne prosessen er lavmolekylære forbindelser som eksempelvis eddiksyre, smørsyre og etanol som kan skape luktproblemer i seg selv. Hovedproblemet oppstår imidlertid når disse lavmolekylære forbindelsene brukes av sulfatreduserende bakterier som produserer sulfid. Det finnes normalt rikelige mengder både av organisk stoff, sulfat og sulfatreduserende bakterier i avløpssystemer, så der er alltid potensielle for sulfidproduksjon under oksygenfrie forhold. Som figur 3 viser, så konkurrerer metanproduserende og sulfatreduserende bakterier om det samme organiske stoffet. I dette selskapet vinner ofte sulfatreduserende bakterier fordi de er mer tolerant overfor variasjoner i miljø. Metanproduserende bakterier krever helt spesielle forhold for å kunne vokse.

De fleste luktforbindelsene i tabell 1 dannes av fermenterende bakterier. Organiske svovelholdige stoffer (merkaptaner, dimetylsulfid og difenylsulfid) og aminer dannes vanligvis ved anaerob dekomponering av proteiner.

Disse forbindelsene kan ofte være vanskelig å detektere p.g.a lave konsentrasjoner, men den lave luktterskelen gjør at de i mange tilfeller bidrar til det totale luktproblemet.

Avhengig av hva avløpsvannet inneholder, om det er vanlig husholdningskloakk eller om det også er blandet med avløp fra industri, vil luktelementene være forskjellige. Eksempelvis er avløpsvann og slam fra fiskeindustri ofte karakterisert ved sterk lukt av aminer p.g.a det høyt innholdet av protein.

Luktproblemer i slambehandling

På renseanlegg kan det være flere typer slam avhengig av behandlingsmetode og om anlegget er mottaker av septikslam. De forskjellige slamtypene er mer eller mindre potente når det gjelder dannelse av luktstoffer.

Mekanisk slam er suspendert stoff som er separert fra råkloakk ved sedimentasjon eller flotasjon uten tilsats av kjemikalier. Slammet er karakterisert ved at det inneholder mye organisk stoff som er lett nedbrytbart. Relativt høyt innhold av bakterier gjør at det går raskt i forråtnelse under oksygenfrie forhold. Dette innebærer dannelse av lavmolekylære flyktige organiske forbindelser og sulfid. Denne aktiviteten skaper ikke bare luktulemp, men kan også ha negative følger for videre behandling av slammet.

Biologisk slam har som navnet sier sitt opphav fra biologiske renseanlegg. Sammensetningen av dette slammet avhenger av prosessutforming (med eller uten forbehandling) og drift (slamalder, belastning). Generelt kan man si at slam fra høyt belastede anlegg og anlegg uten forbehandling er mest potent for luktproblemer. Disse slamtypene inneholder mye aktive bakterier og en del nedbrytbart organisk stoff både i form av suspendert stoff fra vannet og som biomasse. Slam fra lavt belastede prosesser og nitrifikasjonsprosesser er ofte langt på vei stabilisert ved at organisk materiale effektivt er brutt ned.

Ved anlegg som har biologisk nitrogenfjerning basert på etterdenitrifika-

sjon, er det viktig at tilsetningen av karbonkilde styres så optimalt som mulig. Overskudd av en lavmolekylær karbonkilde som ender opp i slammet stimulerer aktiviteten til sulfatreduserende bakterier.

Karakteren til mekanisk/kjemisk slam er avhengig av hvilke kjemikalier og doser som er benyttet i den kjemiske fellingen. Metallsalter gir et høyt innhold av uorganisk materiale (metallhydroksyd) samt en relativt lav pH som virker dempende på den biologiske aktiviteten. Bruker man jernsalter kan man unngå luktproblemer selv om det dannes sulfid fordi sulfid felles som jernsulfid.

Slam fra kalkfelling har ofte en så høy pH at mikroorganismene inaktiveres. Denne effekten varer så lenge pH er tilstrekkelig høy. Kalkbehandlet slam kan imidlertid ofte ha en lukt fra ammoniakk som frigis ved den høye pH-verdien.

I tilfeller der det benyttes en lav dose metallsalt i kombinasjon med polymer eller ulike prepolymerserte metallsalter, vil slammet ha karakter mer som et mekanisk slam.

Septikslam inneholder mye lett nedbrytbart organisk stoff. Komplekst organisk stoff har p.g.a oppholdstiden i septiktanken allerede blitt delvis nedbrutt til lavmolekylære forbindelser. Septikslam har en ubehagelig lukt, og inneholder normalt hydrogensulfid.

Hvor vil luktulempen oppstå?

De viktigste faktorene for å få forråtnelse av slam er:

- Oppholdstid/lagringstid
- Temperatur
- Innhold av lett nedbrytbart organisk materiale
- Innhold av sulfat/svovelforbindelser

Figur 4 viser en skisse av et renseanlegg med slambehandlingsanlegg (Lillehammer RA). Det første stedet lukt kan oppstå er i blandetanken hvor forskjellige typer slam blandes. I dette tilfellet blandes biologisk slam, kjemisk slam og septikslam. Årsaker til luktproblemer her kan være stripping av hydrogensulfid fra septikslam eller høy biologisk aktivitet p.g.a blanding av aktive bakterier med mye lett nedbrytbart organisk stoff. Septikslammet vil, dersom det ikke er blitt behandlet, definitivt gi lukt. Erfaringsmessig ser man at luktproblemer med dannelse av sulfid kan oppstå allerede i løpet av 2-4 timer i en blanding av biologisk og kjemisk slam.

I slamfortykkeren vil oppholdstiden variere fra anlegg til anlegg. Den er oftest så høy at det kan dannes svært høye konsentrasjoner av sulfid. Luktproblemer forårsakes hovedsakelig av hydrogensulfid som strippest av fra dekantvannet som går i overløp. Dette gjør at luktnivået ofte svinger i takt med driftssyklusen på fortykkere. Sulfid i returvann kan i neste omgang skape lukt- og driftsproblemer på renseanlegget. Stort overflateareal på fortykkere medfører også en del frigivelse av hydrogensulfid fra vann til luft.

Hydrogensulfid vil finnes i både vann og slam fra fortykker. De høyeste konsentrasjonene finnes normalt i slammet som går til avvanning, gjerne via en

foravvanner. Normalt er luktprobleme-
ne størst her p.g.a effektiv stripping av
hydrogensulfid fra slam til luft. På grunn
av kapasitet på avvanningsmaskiner og
driftstid, er det behov for å lagre slam
før avvanning. I slamagertankene blir
ofte slammet liggende i flere døgn. Her
fortsetter den biologiske aktiviteten og
problemene vil forsterke seg.

Avvanningsegenskapene blir også
dårligere når slammet utsettes for stor
biologisk aktivitet under oksygenfrie
forhold. Dette skyldes bl.a. at struktu-
ren brytes ned og det dannes mye løst
og finpartikulært materiale.

Metoder for luktkontroll i slambehandling

Listen over markedsførte produkter for
behandling av lukt fra slam er lang og
omfatter alt fra gode metoder til mer
tvilsomme, for ikke å si ubrukelige,
metoder. Vi har her begrenset oss til
metoder som er mye brukt, og der en
kjenner effekter, fordeler og ulemper.
Her er det viktig å påpeke at valg av
metode er avhengig av de spesifikke
behov og problemer ved det enkelte
anlegg. Det er ikke mulig å utpeke en
metode som den beste basert på lister av
fordeler og ulemper.

Luktkontroll kan oppnås ved å be-
handle slam og/eller avtrekksluft. Ak-
tuelle metoder er gitt i tabell 2 på neste
side.

I tillegg til metodene beskrevet i ta-
bell 2, benyttes ulike deodorantstoffer
som kamuflerer vond lukt. Disse kan
være virkningsfulle, men det er viktig å
være oppmerksom på at man kan kamu-

flere lukten av en svært giftig gass. Det
anbefales derfor å være ytterst forsiktig
med anvendelse av luktkamuflerende
produkter.

Der er sju viktige faktorer ved vurde-
ring og valg av metoder for luktkon-
troll:

- √ Effekt
- √ Nødvendig reaksjonstid
- √ Praktisk løsning - teknisk installa-
sjon og kjemikaliehåndtering
- √ Prosesskontroll
- √ Driftsstabilitet - teknisk og pro-
sessmessig
- √ Tilleggs effekter - slamfortykking/
avvanning, returvannkvalitet
- √ Kostnader

En god vurdering krever at man trek-
ker fram flest mulig egenskaper ved de
ulike metodene. Vi har satt opp noen få
stikkord for de ulike faktorene i tabell 3.
Dette er kun ment som en veiledning
ved valg av metode for luktkontroll.
Hvilke faktorer som bør vektlegges mest
varierer med anleggstype, størrelse og
bemanning, i tillegg til problemomfang.

Erfaring fra Lillehammer RA med bruk av Nutriox™ for septisitetskontroll

Nutriox™ for septisitetskontroll benyt-
tes til en rekke applikasjoner for å hin-
dre lukt forårsaket av biologisk aktivi-
tet under oksygenfrie forhold. Ved å
tilsette Nutriox™ som inneholder nitrat
stoppes produksjonen av sulfid fordi
forholdene blir ugunstige for sulfatre-
duserende bakterier. Man får istedet
etablert en biologisk prosess der orga-

Tabell 2. Metoder for luktkontroll i slambehandling

Metoder	Reaksjon	Kommentar
<u>Behandling av slam</u>		
▶ Oksygen	$\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{SO}_4^{2-} \xrightarrow{\text{Sulfat red. bakterier}} \blacksquare \text{H}_2\text{S}$	Biologisk prosess. Bakterier oksiderer H ₂ S bl.a. fordi det er giftig for dem. Dannelse av H ₂ S hindres fordi forholdene blir ugunstige for de sulfatreduserende bakteriene. Andre luktkomponenter kan også bli fjernet.
▶ Nitrat	$\text{H}_2\text{S} + \text{NO}_3^- \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{N}_2$ $\text{SO}_4^{2-} \xrightarrow{\text{Sulfat red. bakterier}} \blacksquare \text{H}_2\text{S}$	Samme mekanismer som med oksygen.
▶ Jernsalter	$2\text{Fe}^{3+} + 3\text{HS}^- \longrightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3\text{H}^+$ $\text{Fe}^{2+} + \text{HS}^- \longrightarrow \text{FeS} + \text{H}^+$	Sulfid felles ut. Det forbrukes typisk 1.6-2.0 g Fe/g HS ⁻ . Fjerner kun lukt forårsaket av hydrogensulfid.
▶ Kalk/Lut	$\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{S}^{2-}$	H ₂ S som skaper luktproblemer løses som S ²⁻ ved å øke pH til > 11.
▶ Peroksyd	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{S}_0 + 2\text{H}_2\text{O}$	Hydrogensulfid oksideres kjemisk til elementært svovel. Andre luktkomponenter kan også fjernes.
▶ Ozon	$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{S}_0 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	Hydrogensulfid oksideres kjemisk. Oksygen som frigjøres vil redusere dannelse av sulfid. Andre luktkomponenter kan også fjernes.
<u>Behandling av avtrekksluft</u>		
▶ Kjemisk scrubber	$4 \text{HOCl} + \text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{HCl} + 2\text{H}^+$	Hydrogensulfid og andre luktkomponenter oksideres kjemisk. Hypokloritt er mest vanlig benyttet. Ozon og peroksyd benyttes også.
▶ Biofilter/ Barkfilter	$\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2/\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	Hydrogensulfid og andre luktkomponenter oksideres biologisk med oksygen eller nitrat.
▶ Aktivkull filter	$\text{H}_2\text{S} + \text{C}_n \longrightarrow \text{C}_n - \text{H}_2\text{S}$	Hydrogensulfid adsorberes på aktivkull. Varierende aktivitet på andre luktkomponenter.

Tabell 3. En vurdering av egenskaper ved ulike metoder for lukt-kontroll i slambehandling

Metode	Effekt	Reak-sjonstid	Praktisk løsning	Prosess-kontroll	Drifts-stabilitet	Tilleggs-effekter	Kost ¹⁾
Oksygen	Middels	Variere	Avansert	Begrenset O ₂ -innløsing	Teknisk god. Varierende sulfidkons.	Positiv effekt på slam og slamvann	Stor invest. + drift
Nitrat	God	Variere	Enkel	God pga forebyggende effekt	Teknisk god. Probl. med flyteslam kan begrense dose	Positiv effekt på slam og slamvann	Drift
Jernsalter	God	Kort	Enkel, men sterkt korrosive kjemikalier	Vanskelig pga kurerende effekt	Teknisk god. Varierende sulfidkons.	Korrosjon av betong og metall	Drift
Kalk, Lut	Middels	Kort	Mye utstyr og jobb til kjemikalie-håndtering	God innblanding en utfordring	Teknisk varierende. pH sensitiv	Stripping av ammoniakk. Dårlig avvanning og slamvannkval.	Invest.+ drift
Peroksyd/Ozon	Varierende	Kort	Noe avansert. Sikkerhet viktig	Vanskelig pga kurerende effekt. Dose begrenset.	Teknisk varierende. Varierende sulfidkons.	Oppløsning av slam. Dårligere avvanning.	Invest.+ drift
Scrubber (hypokloritt, ozon, peroxyd)	God	Kort	Avansert. Sikkerhet viktig	God ved optimal drift.	Teknisk varierende. Varierende sulfidkons.	Korrosjon i ventilasjons-system. Kan danne giftige komp.	Stor invest. + drift
Biofilter/Barkfilter	Middels	Lang	Plass- krevende	Vanskelig pga varierende belastn.	Som scrubber	Korrosjon i ventilasjons-system.	Stor invest. + drift
Aktivkull	Middels	Middels	Plass- krevende	Vanskelig pga varierende belastn.	Som scrubber	Som biofilter	Stor invest. + drift

1) Kostnader er svært situasjonsbetinget.

nisk stoff brytes ned til CO₂, og nitrat omdannes til nitrogengass, kjent som denitrifikasjon. Man oppnår også å fjerne sulfid fordi denitrifiserende bakterier omdanner sulfid til sulfat (ref. tabell 2).

Lillehammer renseanlegg er et kjemisk/biologisk anlegg med nitrogenfjerning. Anlegget er tidvis plaget av lukt som hovedsakelig skriver seg fra slambehandling, fig 4. Dette kan være til sjenanse og helsefare for ansatte på anlegget.

Lillehammer RA har et Pepcon anlegg (hypokloritt scrubber) som behandler avtrekksluft fra fortykker, foravvanner og sentrifuger. I perioder greier ikke dette anlegget å fjerne lukten, noe som bl.a. kan skyldes for høy belastning av hydrogensulfid. Lillehammer RA ønsket derfor å hindre at sulfid ble dannet i slammet. Dette kan oppnås ved å hindre oksygenfrie forhold (tilsette oksygen eller nitrat), eller ved å lage ugunstige forhold for biologisk aktivitet (høy pH). Sistnevnte alternativ var uaktuelt blant annet p.g.a den potensielle negative effekten på slamavvanningen. De valgte å teste Nutriox™ for septisitetskontroll av fire ulike årsaker; (1) positiv erfaring med tilsetning av Nutriox™ til septikslam, (2) enkel dosering og god innblanding, (3) enkel installasjon og (4) potensielle positive effekter på fortykking og slamavvanning. Positiv effekt på fortykking og avvanning skyldes endret biologisk aktivitet, samt at kalsium som tilsettes med Nutriox™ kan virke som en koagulant.

Ved Lillehammer RA blandes mekanisk, kjemisk/biologisk og septikslam. Det ble utført aktivitetstester i laboratoriet for å måle den biologiske aktiviteten i de ulike slamtypene med tanke på å velge riktige doseringspunkter og mengder. Effekten av å dosere for mye etanol til etterdenitrifikasjonsprosessen ble også studert.

Resultatene viste varierende, men høy aktivitet i alle slamtypene. De viste også at høye konsentrasjoner av sulfid (> 10 mg/l) ble fjernet raskt (< 10 min). Siden reaksjonstiden var såpass kort,

kunne Nutriox™ settes til slammet i eller like før de områdene hvor avstrippingen av hydrogensulfid var størst, dvs. i fortykker og i slamlagertanker før avvanning. Dette betyr at man tillater at det dannes sulfid der det ikke skaper problemer, og sørger for at det fjernes effektivt og hindrer videre dannelse der det skaper problemer. Dette vil redusere forbruket av nitrat. Resultatene fra aktivitetstestene viste at overskudd etanol gir stor økning i både dannelse av sulfid og forbruk av nitrat. Det er derfor viktig å kontrollere doseringen av etanol i denitrifikasjonsprosessen. Septikslammet tilsettes Nutriox™ for septisitetskontroll i septikbil, og er fritt for sulfid når det leveres renseanlegget.

Dosering av Nutriox™ i slamfortykker reduserte sulfidkonsentrasjonene effektivt både i vannfase og i slamfase (til <0,1-0,5 mg/l). I begynnelsen var doseringen for høy, noe som skapte store problemer med flyteslam p.g.a utvikling av mye nitrogengass. Etter optimalisering av doseringen er problemet minimalisert. Resultatene er en klar forbedring av lukt og arbeidsmiljø i fortykkerhallen, en relativt klar vannfase og et flokkulent slam som fortykker godt. Det ble oppnådd et økt tørrstoffinnhold i slam fra foravvanner, fra ca 3.5 til ca 4.5 % TS.

Doseringen av Nutriox™ til slamlagertankene kort tid før sentrifugering viste seg å gi for dårlig innblanding. Dette resulterte i for dårlig fjerning av sulfid, samt et tidvis stort overskudd nitrat i returvannet p.g.a kortslutningsstrømmer. Nå doseres Nutriox™ slik

at man effektivt fjerner og hindrer dannelse av sulfid i lagertankene uten overskudd av nitrat. Dette har gitt en klar forbedring av lukt og arbeidsmiljø i hele anlegget.

Litteratur

Odour Control in Wastewater Treatment Plants (1995). WEF Manual of Practice No. 22, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 82. Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers (ISBN 1-881369-95-1 og 0-7844-0085-7), USA.