

# Biologisk behandling av kloakkslam

Av

Anne-Grete Buseth<sup>1)</sup>,  
Erik Norgaard<sup>2)</sup> og  
Petter D. Jenssen<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> JORDFORSK - Senter for jordfaglig miljøforskning

<sup>2)</sup> NIVA - Norsk institutt for vannforskning, avd. Sørlandet

<sup>3)</sup> Institutt for tekniske fag - NLH

## Sammendrag

Biologisk behandling av slam fra renseanlegg er en metode som ikke er utprøvd i Norge. Danske erfaringer med metoden er gode, og anleggene har stor driftssikkerhet og lave driftskostnader. Norge har et kaldere klima, og det er viktig å få dokumentert hvordan denne type anlegg vil fungere under forhold med snø og is.

Biologiske avvanningsanlegg består av tørkesenger tilplantet med takrør (*Phragmites australis*). Plantene etableres i et vekstlag over filtermassene. Under filtermassene er det drenering. Horisontale perforerte rør gjennom filtermassene sørger for lufting. Rejktvannet dreneres tilbake til renseanlegget.

Resultater fra danske anlegg viser at avvanningseffektiviteten er bedre enn hva som oppnås ved de fleste konvensjonelle slambehandlingsmetoder. Ved bruk av denne avvanningsmetoden akkumuleres slam i 8-10 år før videre disponering er nødvendig. Sluttproduktet egner seg godt som jordforbedringsmiddel. Den lange akkumulasjonsperioden gir en midlertidig løsning på sluttdisponeringen av slammet. Anleg-

get er mer arealkrevende enn konvensjonelle avvanningsmetoder. I Danske anlegg er det beregnet et behov på ca. 0.3-0.6 m<sup>2</sup> / p.e.

Rejktvannet fra et biologisk slamavvanningsanlegg har lavere konsentrasjoner av BOF<sub>7</sub> og NH<sub>4</sub><sup>+</sup> enn fra konvensjonelle avvanningsmetoder. Dette gir lavere internbelastning og dermed muligheter til å spare investeringskostnader for renseanlegget. Metoden bruker ikke kjemikalier. Biologiske avvanningsanlegg kan oppleves som positive element i landskapsbildet.

## Abstract Biological treatment of sewage sludge

Treatment of sewage sludge using reed beds has not been tested in Norway. In Denmark, there have been good results with this method treating sludge from biological and biological/chemical treatment plants. The method consists of drying beds planted with reed (*Phragmites australis*).

The Danish reed bed dewatering facilities have high reliability and low ope-

rating costs. Norway has a colder climate, and it is important to document how well this type of facility functions with snow and ice.

The results from the Danish facilities show so far that the final dry matter content can be higher than in most conventional facilities. The final product, which is removed after 8-10 years, is well mineralized and can be used as a soil amendment. The Danish facilities require more area than conventional facilities, a total of 0.3-0.6 m<sup>2</sup>/p.e. The 8-10 year-long dewatering process is itself a temporary solution to sludge disposal problems.

Drainage water from a biological dewatering facility has a lower concentration of BOD<sub>7</sub> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> than that from conventional methods, leading to a lower internal load on the sewage treatment plant, which can result in lower investment costs.

The method does not require chemicals for conditioning. Biological dewatering facilities can be a positive part of the landscape.

## Innledning

Det er nødvendig å etablere gode metoder og rutiner for behandling av slam fra renseanlegg. Slammet bør ses på som en ressurs mer enn et avfallsproblem, slik at en får en mer fornuftig håndtering og bruk av produktet. I Norge har man ingen praktisk erfaring med biologisk slambehandling. Anlegg i Danmark har imidlertid vist gode resultater.

Denne artikkelen beskriver oppbyggingen av biologiske slamavvannings-

anlegg og illustrerer hvordan det kan tilpasses ulike terrengtyper. I Danmark har man erfaringer på bruk av denne type anlegg med avvanning fra fortykket slam (2-5% TS) og ubehandlet slam (0,5% TS). Danskene har også kjørt forsøk med septikslam. De aller fleste anleggene er etablert i kombinasjon aktivslamanlegg med kjemisk felling. Slamalderen er normalt høy (SRT > 15 døgn).

## Anleggsbeskrivelse

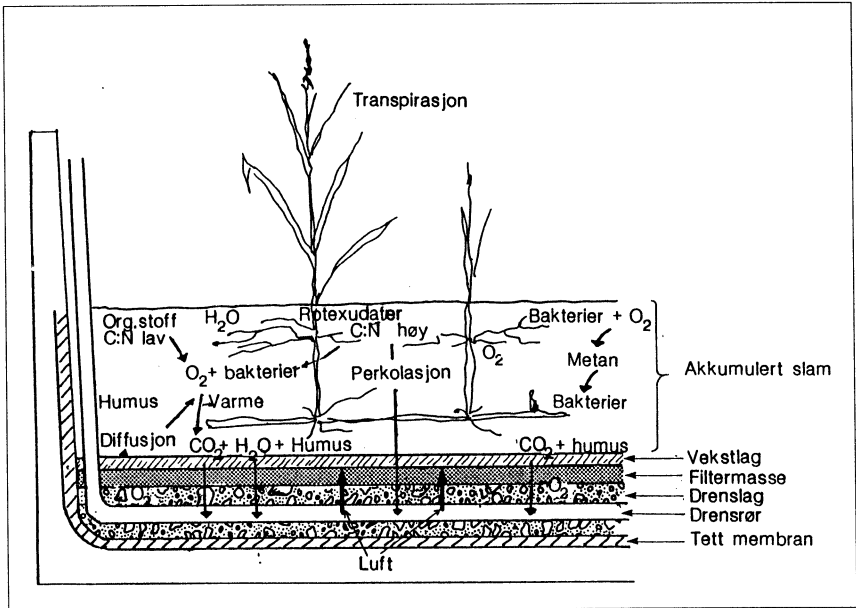
Figur 1 viser en prinsippskisse av et biologisk slamavvanningsanlegg og prosesser i et slikt anlegg. Filtermassen består av sand- og grusfraksjoner, leca-kuler eller en kombinasjon av nevnte filtermasser. Vannet dreneres vertikalt i filteret. Under filtermassene ligger drenerør. I tillegg til å lede bort vann, har dreneringssystemet en viktig funksjon med hensyn på gassdiffusjon opp i filteret. Luft er nødvendig for å sikre en effektiv mineralisering av det organiske materialet. Bassengene har tett bunn av geomembran, betong, leire eller annet egnet materiale. Bassenget er tilplantet med takrør, som har vist seg å være en egnet plante til denne type slamavvanningsanlegg. Planten har et kraftig rotsystem og arealrike plantedeler over bakken. Den tåler de høye næringskonsentrasjonene i slammet. Slamtilførselen må planlegges slik at vegetasjonen sikres best mulige vekstbetingelser. Dette gjelder spesielt den første vekstsesongen. I tillegg til å ta opp næringsstoffer har plantene følgende funksjoner i et biologisk slamavvanningsanlegg:

- De øker anleggets samlede fordampning.
- Røtter og rhizomeres vekst og mekaniske påvirkning skaper et porenett som fremmer permeabiliteten.
- Vind som blåser gjennom takrørplantene sørger for en mekanisk påvirkning.
- Slim og geléaktige stoffer fra røtter og rhizomer skilles ut. Dette aggregerer slam og gir en struktur som øker porøsiteten.

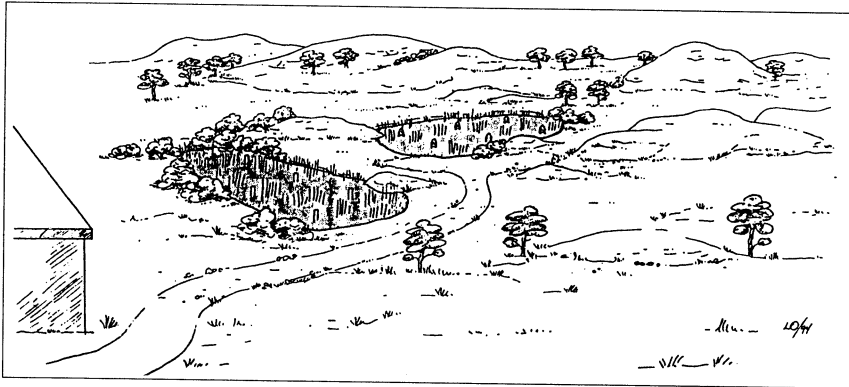
Vegetasjonen etableres i et vekstlag over dreneringslaget. Prinsippet for biologiske avvanningsanlegg er at slammet pumpes til de beplantede slambasengene via fordelingsrør. Det partikulære materialet avleires på overflaten.

Anlegget er mer arealkrevende enn konvensjonelle avvanningsmetoder. Ved en sammenligning av arealkravet til biologisk avvanning med konvensjonell avvanning, må man ta hensyn til samlet arealbehov etter sluttbehandling, f.eks. kompostering med mellomlager etc. ved konvensjonell avvanning. I danske anlegg er det beregnet et behov på ca. 0.3-0.6 m<sup>2</sup> / p.e. Dette gjelder slam fra aktivslamanlegg 0.5-5% TS. Det er viktig å se på om det er nødvendig å øke arealkravet i områder med kaldt vinterklima, som i Norge.

Utforming av biologiske avvanningsanlegg kan tilpasses ulike landskapstyper og framtre som positive elementer i landskapet. Figur 2 illustrerer hvordan det er mulig å tilpasse slamavvannings-



Figur 1. Prinsippskisse av en biologisk slamavvanningseng (modifisert etter Klein, 1988).

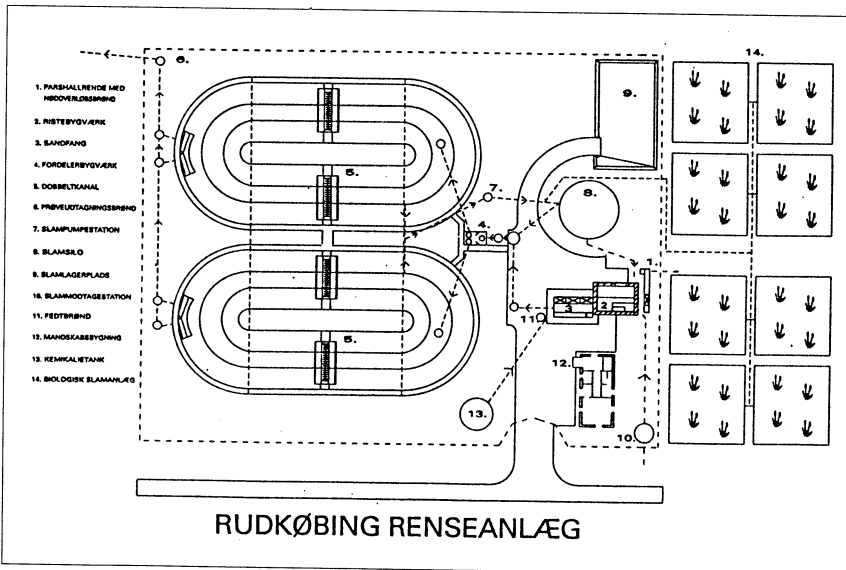


Figur 2 Eksempel på hvordan en kan tilpasse biologiske slamavvanningssenger til landskapet.

system til kupert terreng. En må vurdere om området må gjerdes inn grunnet hygiene og smittefare. I Danmark er alle anlegg åpne og ligger i områder så nær som 150 meter fra nærmeste bebyggelse. Erfaringer fra Galten renseanlegg viser at slamm fra takerørsbas-

sengene er hygienisk tilfredstillende (Nilsen, S., 1995, pers. med.).

Figur 3 illustrerer hvordan et dansk renseanlegg med påfølgende avvanningssenger er bygd opp. I det flate danske landskapet er det enkelt å plassere avvanningssengene som kvadrater



Figur 3. Skisse av Rundkøbing renseanlæg, Danmark (13.000 p.e.)

i nærheten av renseanlegget. Anlegget er et mekanisk biologisk-kjemisk-renseanlegg. Anlegget er dimensjonert for 13 000 p.e. og belastes fra 10 000 p.e. Slamproduksjonen er på 230 tonn TS/år. Det biologiske slamavvanningsanlegget består av 8 senger med et samlet areal på 3 900 m<sup>2</sup>.

## Biologiske slamavvanningsanlegg - prosesser og erfaringer

### Avvanning av slam

Avvanningen skyldes naturlige prosesser som drenering, evapotranspirasjon og fordampning, samt frost og tining. Dreneringen optimaliseres gjennom valg av filtermateriale. Evaporasjon og fordampning avhenger av plantedekke og overflatearealet.

Takrør tar opp vann gjennom røttene og fordampner vannet gjennom de overjordiske delene. Rotnettet skaper et fint og tett poresystem som fremmer avvanningen. Fra røtter og rotstengler skilles det ut kjemiske stoffer som "kitter" slampartiklene sammen i uensartede klumper, og vannets evne til å renne gjennom substratet økes (Klein, T., 1988, Reiner, K., 1983).

Ved tradisjonelle avvanningsmetoder tilsettes det ofte kjemikalier (Andersen et al. 1992). I biologisk slamavvanning brukes ikke kjemikalier. Slammet kondisjoneres naturlig gjennom frost og tining som bidrar til å skille vann og tørrstoff. Rotxudater (kjemiske stoffer som skilles ut av planterøtter) kan ha en konditionerende effekt (Andersen et al. 1992). I biologisk avvanning er det tyngdekraften, sol- og vind-

energi, samt vegetasjon, som driver prosessene

**Tabell I** Tørrstoffprosent ved slamavvanning (Andersen et al. 1992).

Avvanningsmetode	Tørrstoff%
Sentrifuge	23 <sup>1)</sup>
Silbåndspresse	24
Tradisjonelle slambedd	20
Filterpresse	32 <sup>2)</sup>
Biologisk slamavvanning	40

<sup>1)</sup> På nye anlegg med råtnetank kan man oppnå en TS% på utråtnet slam (Paulsrud, B. 1995, pers. med.).

<sup>2)</sup> Opptil 45% TS er oppnådd i norske anlegg.

Erfaringer fra danske undersøkelser med biologisk slamavvanning viser at tørrstoffinnholdet i sluttproduktet er høyere enn ved de fleste andre metoder (tabell I). Avvanningseffektiviteten er invers av tørrstoffinnholdet i de ulike slamtypene. Andersen et al. (1992) viser at reduksjon i slamvolumet i biologiske slambehandlingsanlegg hovedsakelig skyldes avvanning, 98% for slam med 0.5% TS og 91% for slam med 3-4% TS. Slam med 0.5% TS ble avvannet med ca. 80% i løpet av et døgn, mens slam med 3-4% TS ble avvannet med 7-28% det første døgnet. Slambelastningen bør derfor reduseres når tørrstoffinnholdet øker.

Undersøkelser viser at avvanningseffektiviteten er uavhengig av slamlagets tykkelse i bassenget (Andersen et al. 1992). Dette begrunnes med vegetasjonens påvirkning av strukturen i slamlaget.

Rejektvannet fra biologisk avvanning av aktivslam belaster renseanlegget mindre enn rejevtvannet fra mekaniske avvanningsmetoder. Andersen et al. (1992) fant at Tot.-N, BOF<sub>5</sub> og KOFt-konsentrasjonene var henholdsvis ca. 13, 76 og 22 ganger lavere enn konsentrasjonene for de tilsvarende parametrene i rejevtvannet fra mekanisk avvanning (sentrifuge). I Danmark har biologiske slamavvanningsanlegg gitt muligheter for besparelser på dimensjoneringen av renseanlegg som funksjon av lavere intern belastning.

### **Mineralisering**

God mineralisering er viktig for et anvendelig sluttprodukt. Mineralisering innebærer at mikroorganismer omdanner og bryter ned organisk materiale til vann, karbondioksid og mineralske stoffer. Ved mineralisering av slammet tjener slammets innhold av partikulært og oppløst organisk stoff som næring for de mikroorganismene som finnes i avvanningssengene (Green, M. B., 1983, Miljøstyrelsen, 1979). Mikroorganismenes levevilkår og evne til å bryte ned slammet, forbedres betydelig ved plantenes tilstedeværelse i avvanningssengene. Rotexdatene er utsøkt næring for mikroorganismene. Dette medvirker til å optimere C/N-forholdet i slammet, noe som fremmer omsetningen (Reddy et al. 1980). Ved diffusjon av oksygen fra røttene og ut i slammet skapes det muligheter for at oksygenkrevende mikroorganismer kan eksistere (Armstrong et al., 1990, Lawson O. J., 1985). Hovedsakelig foregår de mikrobielle aktiviteter i anlegget i tilknyt-

ning til biofilmdannelse på partikler og røtter (Klein, T., 1988).

Slamtilsetningen resulterer i en lagdeling av det avvannede slammet. Mineraliseringen vil hovedsakelig ha en vertikal gradient med det mest mineraliserte slamlaget på bunnen. Slammet tilføres på overflaten så den etablerte strukturen ikke forstyrres. Det er nødvendig med intervaller mellom hver slamtilførsel for å sikre optimal avvanning.

Slam som er avvannet over lang tid gir et godt stabilisert produkt som tilfredstiller de fleste krav hos brukerne. Når det gjelder hygienisering er erfaringer fra Galten renseanlegg i Danmark at slammet i takerørssengene er hygienisk målt etter grenser i de norske forskriftene etter kun 2-3 måneders henstand i februar-april 1995<sup>3)</sup>. I de biologiske avvanningsanleggene foregår det en vesentlig omdanning og en relativt kraftig mineralisering.

### **Fjerning av næringssalter fra rejevtvannet**

Fosfor finnes enten absorbert i slampartiklene, adsorbert til partikkeloverflatene eller fritt i jordveska. Sannsynligvis vil ikke løst fosfor fjernes, men slambeddets vil fjerne fosfor som er bundet til slampartikler. De viktigste nitrogenfjerningsprosesser er nitrifikasjon med påfølgende denitrifikasjon, samt opptak i biomasse. Planterøttene avgir oksygen til slammet, noe som stimulerer

<sup>3)</sup> Fekale streptokokker < 20 bakterier /g TS, E.Coli < 100 bakterier /g TS (NB ! ikke termotolerante streptokokker), *Salmonella* spp n.d.

rer den aerobe nitrifikasjonsprosessen. Nitratet kan deretter denitrifiseres i anaerobe soner. Det vil alltid foregå en viss denitrifikasjon i filteret, men omfanget er ikke undersøkt. Plantene binder nitrogen i egen biomasse (plantene tar opp nitrogen som  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$ ), men dette er ubetydelig i forhold til tilført nitrogen.

### **Lukt**

Danske erfaringer tyder på at avvanning av aerobt slam fra aktivslamanlegg med 0.5-8% TS ikke gir luktproblemer. Danskene har kjørt forsøk med septikslam, men det er ingen anlegg som har normaldrift med septik som påslag. Det har vært luktproblemer i forbindelse med mottak av septikslam.

### **Kvalitet og anvendelighet av slamresten**

Slammet oppbevares i tørkesengene i 8-10 år og er derfor godt omsatt når det taes ut. Ved uttak av slammet fjernes også plantene. Disse kan kvernes opp sammen med slammet. Slammet kan anvendes til energiskog, som vekstmedium langs veikanter, i jordbruket, selges til bruk i hagen, etc.

## **Utprøving av biologiske slamavvanningsanlegg i Norge**

I Danmark har man svært gode erfaringer med biologisk slamavvanning. Det er fattet kommunevedtak på at Tvedestrand kommune vil prøve ut biologisk slamavvanning i tilknytning til det nye renseanlegget i Tvedestrand. Metoden

kan være et interessant alternativ til konvensjonelle metoder for avvanning av slam også fra norske renseanlegg.

I Danmark har man kommet fram til følgende fordeler med biologiske slambehandlingsanlegg:

- God driftssikkerhet.
- Lave driftskostnader.
- Høy avvanningseffektivitet.
- Redusert internbelastning.
- Godt mineralisert sluttprodukt.
- Driftssykluser over 8-10 år.
- God kvalitet på sluttproduktet.
- Unødvendig å bruke kjemikalier til kondisjonering av slammet.

Driftskostnader ved biologiske avvanningsanlegg forventes å være lave. I danske anlegg opereres det med et driftstilsyn på ca. 1 time pr. uke for anlegg dimensjonert for 10 000 p.e. (Nielsen S., 1993, pers. med.). Når det gjelder drift i vinterklima foreligger ingen dokumentasjon i Europa, men frysing som kondisjonering metode enten alene eller i kombinasjon med biologiske anlegg benyttes i bl. a. Canada. Vinter og frost kan derfor ha en positiv effekt dersom anlegget er dimensjonert for at en viss mengde av tilført slam fryser.

Norske klimaforhold og slamkvaliteter er ulike fra de danske. For å kunne bruke metoden i Norge er det nødvendig å få erfaringer med slike anlegg.

## **Litteratur**

Armstrong, W., Armstrong, J., Bechett, P. M. (1990). Measurement and modelling of oxygen release from roots of

*Phragmites australis*. Constructed Wetlands in Water Pollution Control Proceedings of the International Conference on the use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control, held in Cambridge, UK, 24-28 September 1990. Editors: P. E. Cooper and B. C. Finlater, Wrc Swindon, Wilshire, UK.

Andersen, K., L. B. Christensen, S. Nielsen, (1992). Biologisk slambehandling. Undersøkelser av tåkrørsbeplantede slamavvannings og mineraliseringsanlegg. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen nr.38.

Green, M. B. (1983). The macrofauna of Sludgedrying Beds, Ecological Aspects of Used Water Treatment 1983. Vol 2. Chapter 6. Ed. Curds, C. R. and Hawkes, H. A. Academic Press.

Klein, T. (1988). Som jord skal det atter genopstå, VÆKST nr 3/88, s.10-12.

Lawson, O. J. 1985. Cultivating Reeds (*Phragmites australis*) for rootzone treatment and Sewage. Institute of Terrestrial ecology, Contract report to the Water Research Centre ite Project 965.

Miljøstyrelsen (1979). Jord som recipient for spildevann.

Reddy, K. R., Sacco, P. D., Graetz, D. A. (1980). Nitrat Reduction in an Organic Soil Water System. J Environ Qual., vol 9, no. 2, 1980.

Reiner, K., (1983) Rodzonemetoden. Et alternativ til konventionel spildevandsrensning,

### **Personlige meddelelser**

Nilsen, S., (1993). Det danske Hedeselskab.

Nilsen, S., (1995). Det danske Hedeselskab.

Paulsrud, B., (1995) Aquateam, Norsk vannteknologisk Senter A/S.