

Statusrapport for slam Bruksområder

Aquateam - Norsk vannteknologisk senter A/S

Rapport nr:00-018

Prosjekt nr:00136

Prosjektleder: Siv.ing. Kjell Terje Nedland

Medarbeider: Siv.ing. Bjarne Paulsrud

aquateam RAPPORT

Postboks 6875 Rodeløkka
0504 Oslo
Telefon: 22 04 12 40
Telefaks: 22 04 12 10

Rapportnummer: 00-018
Tilgjengelighet: Åpen

Rapportens tittel Statusrapport for slam - Bruksområder	Dato 12.9.00
	Antall sider og bilag 27
Forfatter(e) sign. Kjell Terje Nedland	Ansv.sign. Bjarne Paulsrud
	Prosjektnummer O-00136
Oppdragsgiver NORVAR	Oppdr.givers ref. Steinar Nybruket

Ekstrakt

70% av norsk avløpsslam ble brukt i jordbruk og på grøntarealer i 1998. Det skulle være mulig å bruke over 75% av slammet i jordbruket, og det er et potensiale for bruk av over 40% av slammet på grøntarealer, slik at alt slam skulle kunne anvendes på disse områdene. Slam har mange positive egenskaper både for jordbruket og grøntarealer, og det er først og fremst markedsføring og veiledere som mangler for å få økt bruken av slam til disse formålene.

Aktuelle utredningsprosjekter for å få økt bruk av avløpsslam i jordbruk og på grøntarealer, er demonstrasjon av bruk av våtkompostert våtslam injisert i jordbruksjord, bruk av tørket råslam i jordbruket, fremstilling av organisk gjødsel basert på avløpsslam (og våtorganisk avfall), fosforgjødsling med kjemisk felt avløpsslam, gjødsling av energiskog, innarbeiding av slam for å lage vekstjord, bruk av vekstjord basert på avløpsslam istedenfor å bruke stedlig matjord på nye veianlegg, bruk av slam i resepter for "idrettsjord", bruk av slam til dekking av steintipper, forbygningsanlegg og nedlagte massetak, og bruk av avløpsslam ved ferdigplenproduksjon og produksjon av treplanter. Det vil også være nyttig å lage en sammenstilling av de erfaringene som er gjort med bruk av slam på grøntarealer de siste årene, og lage en veileder for slik slambruk.

Stikkord - norsk

Stikkord - engelsk

Slamdisponering	Sludge disposal
Jordbruk	Agriculture
Grøntarealer	Green land
Status	Status
Utredningsbehov	Research needs

1. Sammendrag og anbefalinger

Denne rapporten sammenstiller kunnskaper på feltene bruk av slam i Norge i dag, og peker på behov for mer kunnskap om bruk av slam i jordbruket, i skogbruket og på grøntarealer. 70% av norsk avløpsslam ble brukt i jordbruk og på grøntarealer i 1998. Det skulle være mulig å bruke over 75% av slammet i jordbruket, og det er et potensiale for bruk av over 40% av slammet på grøntarealer. Skogbruket kan eventuelt benytte alt tørket slam som produseres her i landet.

Avløpsslam tilfører jorda næringsstoffer, organisk stoff og kalk (gjelder kalkbehandlet slam), og bedrer jordstrukturen og jordas evne til å holde på vann og hindre erosjon. Slam kan spare bøndene for en utgift til handelsgjødsel på ca. kr 100 per dekar, og til kalk på ca. kr 200 per dekar. Interessante nye måter å bruke slam i jordbruket på er å spre stabilisert og hygienisert våtslam ved injisering i jorda, og bruke tørket råslam. På disse feltene kan det med fordel lages demonstrasjonsprosjekter.

Det trengs også mer kunnskaper om fosforets tilgjengelighet for plantevekst ved gjødsling med kjemisk felt slam, da de norske forsøkene på dette feltet ikke er gjort på steder hvor det har vært fosformangel i jorda. Resultatene fra de norske forsøkene er i følge utenlandske undersøkelser ikke representative så lenge de er gjennomført på steder med fosforoverskudd i jorda.

Det vil bli bygd et fullskala anlegg for produksjon av organisk gjødsel basert på avløpsslam og våtorganisk avfall i Moss i 2001. Dette er et meget interessant bruksområde, og her er det behov for mer utredningsarbeid i årene som kommer.

Avløpsslam egner seg også bra til bestanddel ved produksjon av vekstjord. På dette feltet er det mange erfaringer som kan sammenstilles i en veileder for bruk av slam i vekstjord. Vekstjord kan også lages ved innarbeiding av slam i annen jord, og her mangler vi så langt erfaringer i Norge. Et demonstrasjonsprosjekt vil være nyttig på dette feltet.

Det er brukt avløpsslam på en rekke veiprosjekter i Norge, og det kan lages en veiledning i bruk av avløpsslam på dette feltet basert på de erfaringene som er gjort så langt. Det samme gjelder for bruk av slam på grøntanlegg i næringsparker og på industriområder. På et veiprosjekt utenfor tettsted kan det være interessant å undersøke om bruk av vekstjord basert på avløpsslam til dekking av veifyllinger kan være billigere enn å skave av matjorden på stedet for deretter å legge denne tilbake igjen.

Det er også brukt en del slam i alpinanlegg og hoppbakker, og en sammenstilling av erfaringene her kan danne grunnlag for en veiledning. På idrettsbaner, fotballbaner og golfbaner lages det toppdekke etter spesielle resepter, og her bør man sette i gang et demonstrasjonsprosjekt for å finne ut hvordan man best kan bruke slam i slike jordblandinger.

Slam er også brukt til å dekke landskapssår, men på dette feltet kan man godt lage flere demonstrasjonsprosjekter for å få mer erfaring med dekking av nedlagte massetak, steintipper og forbygningsanlegg ved elver. Det har også vært gjort noen forsøk på å bruke avløpsslam til ferdigplenproduksjon, men her kan det også være nyttig med et demonstrasjonsprosjekt for å få mer kunnskaper om slik slambruk. Dette gjelder også til produksjon av treplanter.

I skogbruket vil det kunne bli aktuelt å bruke tørket slam i mengder på 40-50 tonn tørrstoff per ha som en engangsgjødsling i etablert furuskog, ca. 30 år før avvirking. Dette ligger også godt til rette for et demonstrasjonsprosjekt. Bruk av slam til å gjødsle energiskog (hurtigvoksende lauvtrær som høstes ca. hvert 3. år og brukes til energiformål) er også et interessant felt for et demonstrasjonsprosjekt.

2. Innledning

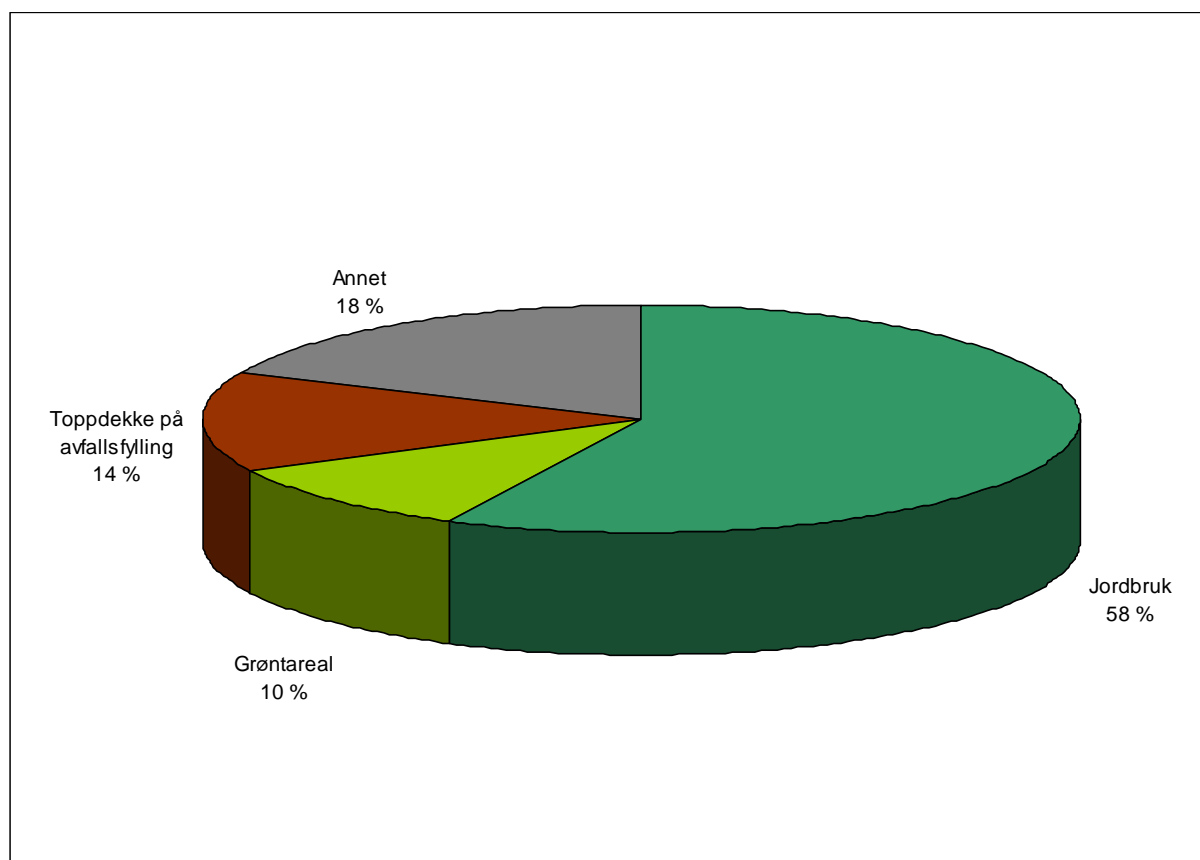
ORIO – Program for økt gjenvinning av våtorganisk avfall og slam, skal arbeide for at miljøproblemer forårsaket av våtorganisk avfall og slam reduseres og at næringsstoffer og det organiske materialet utnyttes og tilbakeføres til naturens kretsløp på en samfunnsøkonomisk og ressursmessig god måte. ORIO er et 5-årig utviklingsprogram opprettet av Miljøverndepartementet og Landbruksdepartementet. Målsettingen er bl.a. å utløse det potensialet som finnes for økt anvendelse av dette avfallet til et bredt spekter av formål; fôr, gjødsel og jordforbedringsmidler, energi og lignende. Programmets arbeidsoppgaver er bl.a.

- kartlegging av eksisterende kunnskap og kunnskapshull
- identifisere flaskehals
- initiere forsknings- og utredningsoppgaver
- delta i fullskala pilotprosjekter
- arbeide for økt utnyttelse innen dagens bruksområder
- bidra til utvikling av nye bruksområder og produktutvikling
- øke kunnskapen om produkters egenskaper og nytteverdi
- bidra til utvikling av skreddersydde, etterspurte produkter
- sørge for informasjon og kunnskapsformidling til så vel allmennhet, næring som bransje
- bidra til bedre dialog mellom produsent og mottaker.

ORIO har gitt NORVAR – Norsk VA-verkforening i oppdrag å lage en statusrapport for slam. NORVAR vil selv lage en rapport om rammeverk på området, og det er planlagt å lage en rapport om smitterisiko. Aquateam – Norsk vannteknologisk senter A/S har fått i oppdrag av NORVAR å lage denne statusrapporten om bruksområder for slam. Hensikten med denne er å peke på områder hvor vi mangler kunnskap innen ulike bruksområder for slam, som et første innspill til programmet. Rapporten er skrevet av siv.ing. Kjell Terje Nedland og kvalitetssikret av siv.ing. Bjarne Paulsrud.

3. Bruk av slam generelt

Tall fra statistisk sentralbyrå fra 1998 viser at det ble produsert 92.570 tonn slamtørrestoff på norske renseanlegg i 1998, tilsvarende ca. 350.000 tonn avvannet slam. Figur 1 viser at 57% av slammet i Norge ble benyttet i jordbruket, 13% på grøntareal, 14% ble deponert på avfallsfylling og 16% ble brukt til andre formål. I begrepet andre formål kan det skjule seg mange forskjellige bruksformål, men det meste av dette slammet har antakelig ikke blitt gjenbrukt. Hele produksjonen fra RKR i Kristiansand har blitt ført på "Annet" i offisiell statistikk for 1998, men dette er ført på "Grøntareal" i figur 1. I 1994 ble 62% av slammet brukt i jordbruket, 31% ble deponert og 7% håndtert på annen måte. Det har derfor skjedd en positiv utvikling i disse årene, hvor en stadig større del av slammet er blitt gjenbrukt. SFTs mål om 75% gjenbruk av slammet nesten oppfylt i 1998.



Figur 1. Mesteparten av norsk slam ble gjenbrukt i 1998 (Kilde: Statistisk sentralbyrå)

Det norske slamregelverket setter mange begrensninger for bruk av slam til forskjellige formål. Det er restriksjoner i bruk av slam både i jordbruket og på grøntarealer, og det har til nå ikke vært tillatt å bruke slam i skogbruket eller forbrenne det. Det vil nå også bli forbud mot å deponere slam som kan brukes til andre formål (som ikke overskrider slamforskriftens grenseverdier for bruk på grøntarealer). Alt i alt fører disse reglene til at en del anleggseiere har store problemer med å finne avsetningsmuligheter for slammet. I Bergen har man for eksempel verken kornarealer eller underskudd på vekstjord, og her har man etter mye frem og tilbake nå fått lov til å forbrenne slammet.

4. Bruk av slam i jordbruket

4.1. Bruk i dag og potensiale for fremtiden

I Norge går over halvparten av slammet til bruk i jordbruket, på tross av relativt strenge krav til denne anvendelsen av slam. Slammet leveres gratis som avvannet, stabilisert og hygienisert slam (bortsett fra de to største renseanleggene som foreløpig ikke hygieniserer slammet). Det har så langt vært forholdsvis enkelt å få bønder i Norge til å ta imot slam, men enkelte steder har man hatt problemer med å finne egnede jordbruksarealer for spredning av slammet.

Det er først og fremst på kornarealer (se figur 2) og ved gjenlegg av eng at slam egner seg i jordbruket, da slamforskriften setter forbud mot å bruke slam i eng eller på arealer der det dyrkes grønnsaker, poteter, bær eller frukt. Det er derfor først og fremst på Østlandet og i Trøndelag at slam blir brukt i jordbruket, da man på Sørlandet, Vestlandet og i Nord-Norge enten har nok husdyrgjødsel til tilgjengelige spredearealer eller mangler kornarealer. I Oslo og Akershus og Vestfold blir over 80% av slammet brukt i jordbruket, i Buskerud ca. 65%, mens Østfold, Oppland og Telemark ligger rundt 40%, og Hedmark, Møre og Romsdal, Nord-Trøndelag og Troms ligger rundt 30% andel til jordbruket. I Sør-Trøndelag brukes ca. 24% av slammet i jordbruket, mens de andre fylkene leverer under 5% av slammet til jordbruket.



Figur 2. Spredning av avløpsslam i jordbruket.

Det er likevel slik at mesteparten av befolkningen i Norge bor i nærheten av jordbruksarealer som egner seg til slamspredning. Så lenge bøndene er villige til å ta imot slam, vil nok bruk av slam i jordbruket være den viktigste avsetningsformen for avløpsslam. Denne avsetningsformen er normalt også den billigste for anleggseierne.

Hvis vi antar at det er mulig å disponere like stor andel av slammet i jordbruket og på grøntarealer (85%) i fylkene på Østlandet og i Nord-Trøndelag, som man i dag gjør i Oslo og Akershus, vil andelen slam brukt i jordbruket på landsbasis øke til over 75%. Det er mer enn nok kornarealer til å ta imot hele slamproduksjonen i disse områdene. Det skulle derfor være mulig å få økt slambruken i jordbruket betydelig ved økt markedsføring av slammet i fylkene Hedmark, Oppland, Buskerud og Nord-Trøndelag. I de andre fylkene på Østlandet brukes allerede over 80% av slammet enten i jordbruket eller på grøntarealer, og i Sør-Trøndelag hindrer nikkelinholdet i jorda at man kan bruke mer slam i jordbruket.

4.2. Positive aspekter ved bruk av avløpsslam i jordbruket

Avløpsslam inneholder mange positive komponenter som man har bruk for i jordbruket, som:

- næringsstoffer (først og fremst nitrogen og fosfor)
- mikronæringsstoffer
- organisk stoff
- kalk (i kalkbehandlet slam eller slam fra kalkfelling)

Bedret jordstruktur

Moderne jordbruk fører til at jordsmonnet utarmes og blir fattigere på organisk stoff og mikronæringsstoffer. Avløpsslam kan være med å bøte på dette forholdet. Det er påvist at slam spredt på åkermark bedrer jordstrukturen og øker jordas evne til å holde på vann og dermed hindre erosjon. Dette er spesielt viktig på skrinne leir- eller sandjord. I norsk jordbruk har man innsett at man trenger tilførsel av organisk stoff, og dette er derfor den viktigste grunnen til at bønder gjerne tar imot avløpsslam på jordene sine. I ressursperspektiv er det også viktig å få tilbakeført de næringsstoffene som forsvinner fra jorda med avlingen. 60-70% av fosforet som blir opptatt i plantene på jordbruksarealer, havner i slammet fra avløpsrensaneanlegg (Tidström et al., 2000).

Næringsinnhold

I et svensk prosjekt der man evaluerte slamspredning på jordbruksarealer fra 1981 til 1997 (Andersson & Nilsson, 1999) konkluderes det med at spredning av 1 tonn tørrstoff/ha og år (tilsvarende halvparten av lovlig mengde i Norge) gir en avlingsøkning på kr 50-80 per dekar. Slamspredningen har i hovedsak hatt positiv innvirkning på den mikrobiologiske aktiviteten i jorda, og har ført til økt tilvekst og bedret reproduksjon av meitemark i jorda.

Næringsverdien i norsk avløpsslam som er stabilisert og hygienisert er ca. kr 100 per dekar, om man reduserer mengden handelsgjødsel tilsvarende næringsinnholdet i slammet. I avvannings-, stabiliserings- og hygieniseringsprosessene forsvinner en del av det organiske stoffet og nitrogeninnholdet, samtidig som faren for utlekking av næringsstoffer og luktulempere reduseres og faren for smittespredning elimineres. På jordbrukshold ønsker man helst at slammet skal inneholde mest mulig organisk stoff og nitrogen. Man ønsker derfor enten å spre våtslam eller et ikke stabilisert, men termisk tørket slam.

På neste side er det satt opp et eget punkt om slammets fosforgjødselvirking.

Bruk av våtslam

Norges Landbrukshøgskole har gjort forsøk med spredning av uavvannet, våtkompostert slam ved injisering av slikt slam i jordsmonnet. Ved anaerob stabilisering og avvanning av avløpsslam vil mesteparten av ammoniumnitrogenet bli med rejektivannet tilbake til renseanlegget. Ved å spre slammet uavvannet vil dette næringsstoffet kunne tilføres jordbruksjorda istedenfor å havne i utløpsvannet fra renseanlegget, for renseanlegg uten nitrogenrensing. Slamforskriften anbefaler imidlertid ikke slik spredning av uavvannet slam, da det står i kommentarene til §11 at slam som skal brukes på jordbruksarealer bør avvannes til minimum

20% tørrstoff. Grunnen til denne anbefalingen er at man er redd for at uavvannet slam spredt på jordbruksareal skal forurense nærmeste vassdrag med oppløst ammonium. Det er derfor et interessant prosjekt å undersøke om våtkompostert slam fra mindre renseanlegg kan injiseres uavvannet på nærliggende jordbruksområder uten at vassdrag blir forurenset, og om denne slambehandlingsmetoden er økonomisk interessant. En svensk undersøkelse viser at lokal anvendelse av våtkompostert, ikke avvannet avløpslam fra mindre renseanlegg kan være økonomisk lønnsomt om det er lang transportavstand (>30 km) til et renseanlegg med avvanning, og det samtidig er jordbruksarealer like ved det lille renseanlegget (Algerbo & Dalemo, 1997). Det vil koste ca. kr 2.000 per tonn tørrstoff for en slik behandling, eksklusive våtkompostering (Tideström et al., 2000).

I Sverige og Danmark har feltforsøk vist at uavvannet, utrånnet slam egner seg godt som flytende gjødsel i jordbruket (Palm et al., 2000). Ca. 2/3 av nitrogenet foreligger på ammoniumform i utrånnet slam, og slammet inneholder også betydelige mengder fosfor, kalium og mikronæringsstoffer. Man får bedre utnyttelse av gjødselen om man sprer utrånnet slam før såing enn i etablert åker. En kombinasjon av startgjødsling med handelsgjødsel og spredning av utrånnet slam noe senere gir en bedre utnyttelse av nitrogenet i slammet enn om man kun tilsetter utrånnet slam.

Bruk av termisk tørket råslam

Et termisk tørket råslam (som ikke først er anaerobt stabilisert) er ennå ikke fremstilt i Norge. Det er imidlertid flere renseanleggseiere som har installert utstyr for termisk tørking av slammet etter at dette er anaerobt stabilisert, for å få et slamprodukt som er lett anvendelig og som gir lave transportkostnader. Stabiliseringsprosessen gir da også noe av energien som trengs til tørkingen av slammet i form av biogass. Forsøk med termisk tørking av norsk råslam har vist at det er mye fiber i slammet, og at det derfor er vanskelig å granulere. Det kunne være interessant å prøve tørking av råslam på et eller flere norske renseanlegg som har installert termisk tørking, for å få mer erfaringer med en slik prosess og med bruk av et slikt produkt i jordbruket. Det er imidlertid ingen enkel sak å skifte til råslam i et tørkeanlegg som er ferdig innkjørt. I tillegg vil lagringsproblematikken rundt avvannet råslam kunne vanskeliggjøre slike forsøk.

Produksjon av organisk gjødsel

Det finnes firmaer i Norge som har prosesser for å lage organisk gjødsel av avløpslam. Foreløpig er det bygget to pilotanlegg, ett for Agronova-prosessen og ett for BioPartner-prosessen (Nedland & Thoresen, 1998). Agronova bygger nå et fullskalaanlegg i Moss for 10.000 tonn avløpslam (ca. 2.800 tonn tørrstoff) og 8.000 tonn matavfall fra husholdninger, storkjøkken og avfall fra næringsmiddelindustri. Slammet som skal benyttes i første omgang, er råslam fra Kambo renseanlegg i Moss, og Agronova vil ta betaling for å motta avløpslammet. Anlegget vil koste 40-50 mill. kr og vil stå klart i april 2001, og det første halvåret vil man bruke på å teste ut gjødselprodukter basert på avløpslam og våtorganisk avfall.

HIAS (Hamarregionens Interkommunale Avløpssekskap) har også laget et pelletert gjødselprodukt basert på hydrolysert avløpslam og oppmalt avisfiber, og dette produktet er nå godkjent av Landbrukstilsynet uten slamforskriftens begrensinger til bruk. Det synes derfor som om anvendelse av avløpslam til gjødselprodukter er i ferd med å kunne bli et interessant satsingsområde fremover.

Fosforgjødsel

Fosfor i handelsgjødsel blir i dag utvunnet fra naturlige forekomster. Disse forekomstene vil ta slutt i løpet av 150 til 300 år med dagens forbruk. Det er derfor viktig å få resirkulert mest mulig av fosforet. Det foregår en diskusjon om slam som er felt med aluminium- eller jernsalter inneholder fosfor som er tilgjengelig for plantevekst. Vekstenes opptak av fosfor er en meget komplisert prosess. I jordsmonnet er det normalt mye jern- og aluminiumfosfat, men bare rundt 0,01% av fosforet foreligger som oppløste fosfationer i jordvæsken, og det er dis-

se samt organisk fosfor som er tilgjengelige for plantevekst. Det danner seg normalt en likevekt mellom fosforreservoaret i jorda og de oppløste fosforionene i jordvæsken, men omsetningen er en meget langsomtgående prosess.

I prosjektet "Bruk av avløpsslam i jordbruket" (Næss Ugland et al., 1998) konkluderes det med at kun en liten del av fosforet i kjemisk slam er tilgjengelig for plantevekst, og at fosfor som er bundet til jern eller aluminium fra fellingskjemikalier ikke ser ut til å bli mer plantetilgjengelige med årene. Plantetilgjengeligheten er størst i kalket slam, og i denne slamtypen vil også noe mer fosfor frigis over tid fra slammet. Alle forsøksfeltene i dette prosjektet hadde imidlertid mye tilgjengelig fosfor i utgangspunktet, og det er grunn til å anta at dette har begrenset avlingsutslagene i feltforsøkene.

I en svensk rapport (Linderholm, 1997) konkluderer man med at stort overskudd av fosfor i jorda gjør det vanskelig å si noe om fosfortilgjengeligheten i tilsatt fosfor. I dette prosjektet ble det tilsatt forskjellige slamtyper samt aske fra forbrenningsanlegg til fosforfattig jord. Konklusjonene fra dette prosjektet var at vekstenes opptak av fosfor i det lange løp er mer avhengig av en riktig helhetsbedømming av jordart – avling – gjødsling enn av hvilken form fosforet foreligger på i gjødselen. Kortsiktig kan imidlertid handelsgjødsel gi høyere avling om forholdene for plantevekst er vanskelige, som tørke i kombinasjon med lavt fosforinnhold i jorda og kort tid mellom gjødsling og planting. Fosfor i slammet er langsomtvirkende (det kreves tid for mineralisering i jorda), og fosfortilgjengeligheten øker når det er fosformangel i jordsmonnet. Fellingskjemikalier i slammet ser ikke ut til å binde fosforet som allerede finns i jorda i nevneverdig grad.

Prosjektet viste også at biobrenselaske var et egnet fosforgjødsel. Det er derfor mulig at man kan bruke siktet og pelletert aske fra et slamforbrenningsanlegg som fosforkilde i jordbruket i fremtiden, eller at fosfor kan utvinnes fra asken. Et forbrenningsanlegg i Danmark har utviklet en metode for utvinning av fosfor som fosforsyre fra forbrenningsaske (Tideström et al., 2000). Anlegget har vært i drift i fem år.

I et annet svensk forskningsprosjekt (Ottobong, 1997) ble det ved hjelp av karforsøk vist at ved lavt fosforinnhold i jorda vil jernfosfat i slam bli omdannet til organisk fosfor som kan utnyttes av plantene. Tilsetning av slam reduserte ikke lageret av labil fosfor i jorda, da dette lageret ved forsøkene økte eller forble uforandret ved tilsetning av avløpsslam. Fosfor i kjemisk felt avløpsslam kan ikke brukes som en hurtigvirkende gjødsel slik som superfosfat, men vil være mer nyttig som korrigerende fosforkilde på lang sikt.

4.3. Negative aspekter ved bruk av avløpsslam i jordbruket

Avløpsslam er også forbundet med en del negative aspekter:

- lukt
- fare for smittespredning
- tungmetaller
- organiske miljøgifter

De to første aspektene er på det nærmeste eliminert ved at alt slam som brukes i Norge er stabilisert og hygienisert.

Tungmetaller

Det stilles i tillegg strenge krav til innhold av tungmetaller i slammet for bruk i jordbruket og på grøntarealer. Det stilles også krav til tungmetallinnhold i jordsmonnet der slam skal spres, og i enkelte områder i Hedmark (for mye kadmium i jorda) og i Trøndelag (for mye nikkel i

jorda) begrenser dette mulighetene for å få avsetning på slammet i jordbruket. Tungmetallinnholdet i norsk slam er mer enn halvert for de fleste metaller i løpet av de siste 20 årene.

Organiske miljøgifter

Det er ikke satt krav til innhold av organiske miljøgifter i slam, men den norske slamforskriften setter strenge krav til bruk av arealer der slam er spredt, bl.a. når det gjelder type vekster, karenperiode før dyrking av andre vekster, rask nedmulding av slammet osv. De fleste organiske miljøgiftene brytes raskt ned i jordmonnet, og er dessuten svært lite vannløselige (dvs. lite opptak i plantene). I Andersson & Nilsson (1999) konkluderes det med at av de 70 organiske miljøgiftene som ble analysert i jorda, kunne bare noen få kvantifiseres. Analyse viste spor av PAH og DEHP (mykgjører i plast), mens PCB bare ble påvist i en av fire prøveår. Dioksin i jorda kunne ikke henføres til slamspredningen. Selv med slammengder på 12 tonn TS/daa hvert 4. år i en 16-årsperiode var innholdet av PAH og PCB i jorda svært lave. I avlingen var DEHP den av de 70 miljøgiftene som ble påtruffet og som kan relateres til slamtilførselen. PAH, nonylfenol og PCB ble ikke funnet i avlingen. Dioksininnholdet i avlingen var svært lavt og har ikke kunnet henføres til slamspredningen.

Et forslag til nytt EU-direktiv om slam inneholder krav til maksimalinnhold av flere organiske miljøgifter. De organiske miljøgiftene det er aktuelt å regulere er:

- Linære alkylbenzensulfonater (LAS)
- Nonylfenol + nonylfenoletoksilater (NPE)
- Di-2-etylheksylftalat (DEHP)
- Polyaromatiske hydrokarboner (Σ PAH)

Avsetningsproblemer i Sverige

I Sverige har man hatt større problemer med å få avsetning for avløpsslam i jordbruket, og man anvendte ikke mer enn ca. 30% av slammet på jordbruksarealer i 1995, mens Danmark anvendte 68% til dette formålet samme år. Det har i Sverige generelt vært en større skepsis til å ta imot slam blant bøndene. Både på slutten av 1980-tallet og i 1999 gjennomførte de slamboikott som følge av en debatt om slammets innhold av uønskede stoffer. Den siste boikotten skyldtes en debatt i svenske medier om slammets innhold av sølv og bromerte flammebeskyttere. Selv om innholdet av disse stoffene ikke på noen måte utgjør noen helsemessig risiko, tok bøndene ingen sjanser men vedtok å boikotte slammottak. Tilsvarende episoder kan også oppstå i Norge, da det skal svært lite til for å komme i miskreditt hos motakerne av slam. Flere bønder tør ikke motta slam i frykt for at det siden skal komme restriksjoner på arealene hvor det er spredd slam. Den største trusselen mot bruk av slam i jordbruket er derfor at man risikerer å miste dette markedet av følelsesmessige årsaker.

I Sverige har bøndenes interesseorganisasjon, LRF, inngått en overenskomst med VAV og Naturvårdsverket om spredning av slam i jordbruket. Det er her satt meget strenge krav til slammets innhold av tungmetaller og organiske miljøgifter, slik at kun ca. 60% av det svenske slammet overholder kravene. I tillegg har deler av næringsmiddelindustrien nektet å ta imot produkter fra jordbruksarealer hvor det er spredd slam. Nå har imidlertid også denne industrien godtatt overenskomsten mellom VAV, LRF og Naturvårdsverket, med en del tillegg. Det ville derfor ha vært mulig å få avsatt en del slam på jordbruksarealer nå om ikke den siste slamboikotten hadde blitt satt i verk.

4.4. Betingelser for leveranse av slam i jordbruket

Normalt tilbys norsk avløpsslam gratis levert til bøndene, og i de fleste tilfeller står anleggseier også enten for utlån av spredeutstyr, eller for selve spredningen av slammet. En del rensanlegg tilsetter kalk til slammet i avvannings- eller stabiliserings- og hygieniseringspro-

sessen, og dette sparer bøndene for kostnader til kalking av jordene (ca. kr 200/daa). De største norske renseanleggene tilbyr også bøndene betaling for å lagre slammet til de skal bruke det, for å unngå å måtte investere i store mellomlagerplasser for slammet. Selv med disse ekstra kostnadene og med lange transportavstander (opptil 150 km) er dette normalt billigere enn å lage jordblandinger av slammet eller tørke og forbrenne det. I en svensk utredning (Tideström et al., 2000) er kostnadene etter stabilisering (behandling, lagring, kvalitetssikring, transport 30 km og spredning) beregnet til ca. kr 800 per tonn tørrstoff for denne disponeringen. Bruk av slam i jordbruket vil derfor mest sannsynlig også i fremtiden bli den viktigste avsetningsformen for norsk avløpsslam, forutsatt at bøndene vil fortsette å ta imot slam.

4.5. Alternative avløpssystemer med jordbruksanvendelse av slammet

I Sverige har man forsket mye på alternative avløpssystemer, spesielt kildesortering av urin og fekalier i spesielle toaletter, der urinen samles til egen lagringstank og brukes som gjødsel uten videre behandling, mens fekaliene går til renseanlegg eller våtkomposteres med våtorganisk avfall og blir til kompostjord (Palm et al., 2000). Urin som er lagret 1 til 6 måneder holder høy hygienisk kvalitet når det gjelder bakterier og protozoer, men *Clostridium perfringens* og et *Salmonella* bakterievirus ikke ble drept ved 75 døgns lagring. Ved å kildeseparere urinen 100% i toalettet kunne man oppnå en reduksjon i nitrogenutslippet til vann tilsvarende 85% nitrogenrensing i et konvensjonelt renseanlegg. En litteraturstudie viste at urinens næringsinnhold trolig er lett tilgjengelig, hurtigvirkende, og at tungmetallinnholdet er meget lavt. Urinsortering fører normalt til at man sparer små mengder energi i forhold til et konvensjonelt avløpssystem.

Humanurin er god nitrogengjødsel der 90% av nitrogenet foreligger på ammoniumform. Om urinen lagres i minst 6 måneder anser man den for å være hygienisert i Sverige, hvilket gjør at man kan spre den i etablert åker. Feltforsøk i Sverige viste at humanurin gir en noe dårligere utnyttelse av nitrogenet enn handelsgjødsel, men at det ikke oppstår toksiske eller veksthemmende effekter ved spredning av dette i etablert åker.

En annen mulighet som har vært undersøkt i Sverige, er våtkompostering av svartvann (toalettavløp) fra tette tanker. Normalt må man tilsette våtorganisk avfall eller annet organisk materiale for å få nok tørrstoff til at svartvannet kan våtkomposteres (3-4% TS). Det er også nødvendig å bruke toaletter som bruker mindre enn 1 liter vann per spyling for at systemet skal kunne bli interessant økonomisk, energimessig og teknisk.

5. Bruk av avløpslam på grøntarealer

5.1. Bruk i dag og mulig potensiale for fremtiden

13% av avløpslammet i Norge ble brukt på grøntarealer i 1998, om vi regner at slammet fra Kristiansand ble brukt til dette formålet. Det har vært en betydelig økt interesse blant anleggseiere for å bruke slam til vekstjord, veianlegg, idrettsanlegg, landskapssår og til planteskoler eller ferdigplenproduksjon. I 1997 ble det laget en NORVAR-rapport om alternative områder for bruk av slam utenom jordbruket (Nedland & Paulsrud, 1997), og her ble det foreslått hvordan man kunne gå frem for å få til økt bruk av slam på grøntarealer. Det er etter dette flere steder inngått samarbeid med anleggsgartnere, veikontorer, idrettslag, eiere av massetak og andre aktører i markedet, slik at denne bruken av slam er voksende. Det er imidlertid i liten grad foretatt noen evaluering av prosjektene som er satt i gang på området, og det er ingen koordinert innsats for å motivere til økt bruk innenfor dette området.

Bruken av slam på grøntarealer varierer sterkt fra fylke til fylke. I 1998 ble over 70% av slammet i Vest-Agder, over 50% av slammet i Sør-Trøndelag, og ca. 45% av slammet i Østfold og Telemark benyttet på grøntarealer, mens 16% av slammet i Møre og Romsdal, 13% i Hedmark og 12% i Buskerud ble benyttet til dette formålet. I Hordaland, Sogn og Fjordane og Nord-Trøndelag ble rundt 10% av slammet brukt på grøntarealer, mens de andre fylkene har brukt lite slam til dette formålet. Renseanleggene i Sarpsborg, Fredrikstad, Moss, Lillestrøm, Hamar, Jevnaker, Mjøndalen, Porsgrunn, Kristiansand, Odde, Ålesund og Trondheim har satset på dette området, og står for mesteparten av leveransene av slam til denne sektoren. I Sarpsborg, Fredrikstad og Trondheim har man alliert seg med anleggsgartnere som lager vekstjord av slammet, og man har gode erfaringer med et slikt samarbeid (Nedland & Paulsrud, 1997).

Det er mulig å øke bruken av slam på grøntarealer i de fleste fylker. Nedland (1997) anslo at man kan bruke ca. 3.000 tonn tørrstoff (ca. 70% av årsproduksjonen) til grøntarealer i Østfold, mens man i 1998 brukte ca. 1.800 tonn tørrstoff (ca. 45%) til dette formålet. I Oslo og Akershus ble det beregnet at man kunne bruke ca. ¼ av årsproduksjonen av slam (10.000 tonn tørrstoff) til grøntarealer. I Skien og Porsgrunn er det brukt mye slam på grøntarealer, og behovet for vekstjord i området ble beregnet til ca. 1.000 tonn slam-tørrstoff per år i 1994, mens man i 1998 brukte 3.000 tonn tørrstoff til dette formålet.

I Stavanger og Bergen har det imidlertid vært vanskelig å finne avsetningsmuligheter for slam på grøntarealer, da det i disse områdene er overskudd på vanlig vekstjord. I Møre og Romsdal regner man imidlertid med at hele årsproduksjonen av slam kan brukes på grøntarealer om man markedsfører produktet godt nok. I Sør-Trøndelag ble det brukt ca. 1.500 tonn tørrstoff til grøntarealer i 1998, og potensialet burde være enda større. Totalt sett skulle grøntarealer kunne ta imot i størrelsesorden 40.000 tonn tørrstoff, eller over 40% av slamproduksjonen om forholdene ble lagt til rette for dette. I Finland anvendes ca. 30% av slammet på grøntarealer (Tideström et al., 2000)

5.2. Bruk av avløpslam til vekstjord

En blanding av ca. 30% slam i forskjellige mineraljordprodukter (sand, leire eller blandingsjord) gir en god vekstjord (Nedland & Paulsrud, 1997). Innblanding av noe torv vil kunne bedre produktet ytterligere. Blanding av produktene bør overlates til fagfolk på feltet, slik at man får jordblandinger som egner seg til de ulike formålene de skal brukes til. På enkelte spesielle bruksområder som fotballbaner og golfbaner lages produktene etter spesielle resepter. Jordproduksjon krever et stort asfaltert område og maskinelt utstyr som gravemaskin eller hjullaster, jordfreser, jordharpeverk og lastebiler. De ferdige produktene må søkes godkjent som dyrkingsmedie av Landbrukstilsynet, og produktet kan da legges ut fritt uten ytter-

ligere tillatelse. Å få godkjent et dyrkingsmedie av Landbrukstilsynet har imidlertid vist seg å være en langdryg prosess. Godkjent dyrkingsmedie kan legges ut i et lag som tilsvarer 5 cm rent slam (dvs. ca. 17 cm hvis det er blandet inn 30% slam). I private hager og parker kan det i henhold til gjødselvereforskriften ikke legges ut mer enn 4 tonn tørrstoff per dekar av slam i kvalitetsklasse I, og ikke legges ut slam igjen på samme sted på 20 år.

Behov for opptørrking av slam til vekstjord

Avvannet våtkompostert eller hygienisert og anaerobt stabilisert slam vil ha en klinete konsistens fra renseanlegget, og vil i denne tilstanden være vanskelig å blande inn i mineraljord. Slikt slam bør lagres i minst et halvt år med et par vendinger, eller i minst ett år uten vendinger for at det skal kunne brukes i en jordblanding (Thorvik Helgen et al., 1993). Kompostert, kalkbehandlet eller tørket slam vil derimot kunne brukes direkte i jordblandinger. Kalkbehandlet slam kan normalt bare brukes i mindre mengder da jorda ellers vil kunne bli for basisk for en del planter. Tidestrøm et al. (2000) har beregnet kostnadene for produksjon av vekstjord til ca. kr 1.000 per tonn tørrstoff inklusive behandling (ikke stabilisering og hygienisering), lagring, transport og spredning. Kostnadsoverslaget er imidlertid basert på at man bruker ferskt slam som blandes inn i mineraljorda ved hjelp av en jordkvern med høy rotasjons hastighet. Kostnadsbildet i Norge vil kunne være helt annerledes enn i Sverige.

Innarbeidingsområder

Istedenfor først å stabilisere og hygienisere slammet og så lagre det før innblanding i mineraljord, kan man lage jord av slammet ved såkalt innarbeiding. Dette er utlegging av store mengder avvannet råslam og innarbeiding i jorda på en tilrettelagt plass i en begrenset tid. Innarbeidingen vil føre til nedbrytning av organisk stoff i slammet og vil kunne skape et stabilt jordprodukt som kan anvendes som vekstjord. I Malmö og Halmstad i Sverige har man gjort feltforsøk med studier av teknikk, miljøeffekter og sluttproduktets anvendbarhet gjennom flere år (Naturvårdsverket, 1998). Forsøkene har vist at innarbeiding er en metode som fungerer både teknisk, agronomisk og økonomisk. For å redusere metodens miljøvirkninger kreves at innarbeidingsområdet forsynes med behandling av sigevann fra området, ettersom dette inneholder betydelige mengder nitrogen og klorid (ved jernkloridfelt slam). Det var også noe utlekking av metaller fra feltet.

Jord som fjernes fra innarbeidingsområder egner seg bra på grøntarealer, men det høye nitrogeninnholdet i jorda kan føre til forhøyet nitrogeninnhold i marken og grunnvannet i området der jorda anvendes. Innarbeidet jord ga i dyrkingsforsøk jevnere tilvekst av gress enn vekstjord basert på blanding av fersk slam og sand. Imidlertid kan slik jord gi en altfor kraftig gressvekst på grøntarealer med behov for hyppig klipping av gresset. Innarbeiding av slam koster i Sverige i størrelsesorden kr 750 – 1.000 per tonn tørrstoff inklusive borttransport av jorda, og dette vil normalt være rimeligere enn annen stabilisering og hygienisering og bruk av slammet i jordbruket eller i vekstjord (Naturvårdsverket, 1998). Innarbeidingsområder for slam er foreløpig ikke anlagt i Norge.

5.3. Bruk av avløpsslam på veianlegg

På enkelte veianlegg er det brukt store mengder avløpsslam i støyvoller, på veiskråninger, rundt busslommer og i rabatter. Dette gjelder for eksempel Rv. 109 mellom Sarpsborg og Fredrikstad, E-18 gjennom Kobbervikdalen sør for Drammen og Rv. 354 gjennom Porsgrunn (Nedland & Paulsrud, 1997). Det ble brukt hygienisert og anaerobt stabilisert slam langs Rv. 109 og Rv. 354, mens det ble brukt frilandskompostert, kalkfelt slam langs E-18. I Kristiansand er det brukt en del reaktorkompostert slam i forbindelse med ny E-18 gjennom byen. Erfaringene fra disse prosjektene er meget gode, og det har ikke kommet klager på grunn av lukt eller andre ulemper. Man regner med mindre døde trær i vekstjord laget av slam, men

gress som er sådd i slik jord må antakelig klippes noe oftere enn normalt. Veivesenet var godt fornøyd med resultatet, og disse prosjektene kan brukes for eventuelt å overbevise andre veikontorer om at slam egner seg godt til bruk på veianlegg.

Bortsett fra slike enkeltanlegg er det ikke så mye slam som brukes på veianlegg. Det er imidlertid et stort potensiale for slik bruk av slam, dersom man går aktivt inn for å øke denne slambruken. Det viktigste tiltaket for å øke slik slambruk er å overbevise veikontorer og landskapsarkitekter og anleggsgartnere om at slam egner seg til bruk på veianlegg.

Til veiformål trengs normalt et lag med vekstjord som er lett å legge ut og som ikke inneholder for mye næringsstoffer, slik at man ikke må vedlikeholde anleggene mer enn nødvendig. Det er først og fremst på veianlegg i byer og tettsteder det trengs mye vekstjord, fordi man normalt på veianlegg utenfor tettsteder kan legge tilbake avskavet matjord fra anleggsområdet. Ved enkelte anlegg utenfor tettsteder vil det imidlertid også være behov for vekstjord, spesielt i områder med mye fjell i dagen. Det kan også tenkes at bruk av vekstjord basert på avløpsslam kan bli rimeligere enn å skave av matjorda på stedet for siden å legge dette tilbake igjen i veiskråningene. Dette vil kunne være grunnlag for et mulig utredningsprosjekt på området.

Det er ikke lenger store kunnskapshull når det gjelder anvendelse av slam til veiformål. De gjennomførte prosjektene viser at det kan lages produkter som egner seg utmerket til dette formålet. Det viktigste ved slik bruk er at man er nøye med kun å bruke slam som overholder kvalitetskravene som må settes til et slikt produkt, dvs. slammet må være oppsmuldret og jordaktig uten sjenerende lukt. Dersom det blir negative medieoppslag om at det blir spredt illeluktende slam på et veianlegg, vil dette kunne ha stor negativ betydning for fremtidig levering til bruksområdet. Det burde i utgangspunktet ligge godt til rette for leveranse av mye mer slam til veiformål enn det som brukes i dag, dersom det satses mer på markedsføring overfor sektoren. Kompostjord av våtorganisk avfall vil også kunne egne seg på slike områder.

5.4. Bruk av avløpsslam til grøntanlegg i næringsparker og på industriområder

I forbindelse av bygging av næringsparker og industriområder trengs normalt en del vekstjord for å opparbeide plener og blomsterbed. På Fornebu har Jordforsk utført forsøk for å finne det beste vekstjordproduktet basert på bruk av stedlige masser ved utbygging av den nedlagte flyplassen (NORVAR, 2000). Det viste seg at produkter med tilsetning av VEAS-slam egnet seg best til formålet. I enkelte kommuner som Sarpsborg, Moss, Kristiansand og Ålesund benytter man avløpsslam i vekstjord som benyttes til ulike formål. Det burde ligge godt til rette for å bruke slambasert vekstjord ved utbygging av nærings- og industriområder i kommunene, da kommunene selv ofte har hånd om utformingen av slike områder.

Potensialet for bruk av slam på slike områder er på langt nær utnyttet, så her bør man også kunne øke slambruken betraktelig om man satses på markedsføring overfor nøkkelpersoner på feltet (kommunenenes næringssetater, utbyggere, landskapsarkitekter). Slike parkanlegg vil kunne komme inn under gjødselvereforskriftens bestemmelser om at det ikke kan legges ut mer enn 4 tonn tørrstoff av slam i kvalitetsklasse I, og at det ikke må legges ut mer slam på stedet de første 20 årene etter etableringen. Dette fordi områdene i krisesituasjoner vil kunne benyttes til matproduksjon. Kompostjord av våtorganisk avfall vil også kunne egne seg på slike områder.

5.5. Bruk av avløpsslam til idrettsanlegg

Det er prinsipielt to ulike typer idrettsanlegg som trenger vekstjord:

1. Fotballbaner, tennisbaner (gressbaner) og golfbaner
2. Hoppbakker og alpinløyper

Bruk av avløpsslam på idrettsbaner

De første anleggstypene krever spesielle resepter for vekstjord i de øverste 40 cm av jorda. Anleggene er utsatt for store fysiske påkjenninger i form av høyt marktrykk og direkte mekanisk gresslitasje. Norsk klima setter i tillegg store krav til banearealets kvalitet, spesielt når man starter sesongen tidlig og strekker den langt utover høsten. Noen få firmaer har spesialisert seg på å lage resepter for slik "idrettsjord", og man leverer denne over hele landet. Jorda består normalt av torv og finsand. Skal avløpsslam få innpass på dette området, kreves det at man kommer i dialog med firmaene som sitter på slike resepter, eller med de respektive forbundene (Fotballforbundet, Tennisforbundet og Golfforbundet). Fotballforbundet og Golfforbundet er interessert i å benytte større mengder biologisk aktivt materiale for å få en bedre drenering og porøsitet i banedekket, slik at det burde være mulig å komme inn på dette markedet også.

Det er brukt avløpsslam på en del slike idrettsbaner i Norge. I Hå i Rogaland har man brukt 10-15% slampellets (termisk tørket slam) i et 30 cm vekstjordlag på en idrettsbane. I Ålesund kommune har man brukt kalkfelt, frilandskompostert slam til opparbeiding av en golfbane, i Enebakk kommune har man brukt aluminiumfelt, frilandskompostert slam og i Sarpsborg aluminiumfelt, aerobt forbehandlet og anaerobt stabilisert slam til samme formål.

På slike idrettsanlegg vil det ikke bare være behov for vekstjord ved etablering av anleggene, men også ved vedlikehold av disse. Det kreves normalt 1,5 cm toppdressing per år til vedlikehold av hardt belastede fotballbaner. Toppdressing som nå benyttes, består av 40 – 60 volumprosent torv og resten finsand. Det burde være mulig å prøve blandinger med ca. 20% avløpsslam, 30% torv og resten finsand. I utlandet har forsøk med bruk av organiske avfallsprodukter i slik toppdressing gitt gode resultater.

Det er et stort potensiale for mer bruk av avløpsslam også på dette feltet, men vi har ikke oversikt over hvor mye slikt materiale det produseres årlig. Svelviksand A/S har spesialisert seg på å lage slike produkter, og blander dem på Hønefoss, hvor det er mye finsand. Firmaet er positivt til å forsøke slam i blandinger sine.

Bruk av avløpsslam i hoppbakker og alpinanlegg

I hoppbakker og alpinløyper trengs vekstjord for å etablere et plantedekke som holder jorda på plass og som jevner ut ujevnheter i terrenget. Dersom det er jevne flater i bakkene kan man starte sesongen med 50-70% mindre snø enn om bakken er ujevn. Det er også viktig å få etablert et tett gressdekke som hindrer erosjon i bratte områder. I Sveits og Østerrike er det blitt mer og mer aktuelt å legge ut organisk materiale i alpintraséene, og det finnes eksempler på at man har spredt tørket slam med helikopter (Holdhus, 1996). I alpinbakker ligger det derfor meget godt til rette for å bruke avløpsslam, både som del av vekstjord eller som rent slam som blandes inn i jorda på stedet.

I Ålesund har man brukt 300 m³ slamkompost til å dekke 8 dekar av en slalåmbakke med ujevnt underlag (se figur 3). Slammet ble lagt ut oppå eksisterende torvlag med en traktor med henger, og ble blandet med eksisterende jord med en liten gravemaskin. Resultatet har vært meget bra. I en slalåmbakke på Svarstad i Vestfold ble det brukt ca. 100 tonn slam fra Sandefjord renseanlegg i 1999. I Vikersundbakken ble det lagt ut kalkfelt, frilandskompostert slam i unnarenet i forbindelse med utbyggingen av bakken til VM i skiflyging 2000. På grunn av uheldige omstendigheter ble ikke etableringen av gressdekke i denne bakken helt vellykket.



Figur 3. I en slalåmbakke i Ålesund ble det brukt slam til å jevne ut terrenget og få etablert et tett gressdekke.

I slike bakker er det ikke nødvendig med spesielle produkter for å etablere et vekstsjikt. Så godt som alle slamtyper som overholder slamforskriften, kan brukes, og slammet kan blandes inn i stedlige masser med tilgjengelig utstyr. Det kan brukes store mengder slam i alpinbakker, og de lokale idrettslagene vil være interessert i dette dersom de kan få tilkjørt slam gratis. Kompostjord av våtorganisk avfall vil også kunne egne seg på slike områder.

5.6. Bruk av avløpsslam til å dekke landskapssår

Slam kan brukes direkte til revegetering på steder der jorda av ulike årsaker ikke er bra nok til at man kan få etablert plantedekke. Slike områder kan være: nedlagte massetak (grustak, pukkverk), steintipper, gruveområder (dagbrudd), steintipper og forbygninger i forbindelse med vassdragsreguleringer, eller områder ødelagt av andre naturinngrep. Slammet kan legges ut oppå eksisterende masser, og blandes med disse på stedet, forutsatt at det er tilstrekkelig med egnet masse på stedet. Ellers kan man legge ut vekstjord med slam.

Nye naturinngrep skal behandles etter plan- og bygningsloven, og det stilles da som regel krav til revegetering når inngrepet er ferdig. Det er imidlertid en del gamle anlegg som ikke har fått slikt krav. Grunneieren har da normalt ikke penger til å kjøpe vekstjord til formålet, men det vil kunne være interessant å bruke gratis avløpsslam til å få etablert et plantedekke igjen. Det vil også kunne være interessant å bruke avløpsslam til å etablere vegetasjon på forbygningsanlegg ved vassdragsregulering, eller til å dekke steintipper fra for eksempel veianlegg.

Dueknipenprosjektet

I Kristiansand ble Dueknipen-området, et parkområde som var ødelagt av industrirøyk fra Falconbridge Nikkelverk, revegetert ved hjelp av kalkfelt, frilandskompostert slam (Andersen, 1990; Eik, 1992). Gressetableringen ble meget vellykket, og dette området ble etterpå lagt merke til fra skipsleia på grunn av et irrgrovt gressdekke. Treplantingen ble mindre vellykket på grunn av at sterk gressvekst og tørke ødela en del av treplantene. Det ble også målt noe mer organisk stoff, nitrogen, nikkel, kobolt, sink og mangan i avrenningsvannet fra området etter slamutleggingen.

Bruk av avløpsslam til revegetering av massetak

Det er også brukt noe slam til revegetering av Ringknuten Pukkverk i Kristiansand, Vinterbro Pukkverk i Ås, og i Oslo Pukkverk. Det avdekkes ca. 2.000 daa massetak i Norge hvert år, og like mye skal tildekkes etter endt masseuttak. Om alt dette ble dekket med 5 cm avløpsslam, ville ¼ av slamproduksjonen i Norge kunne brukes til dette formålet. Det er imidlertid ikke alle massetak som trenger slam for å revegetere områdene, men enkelte steder vil det kunne være en god løsning. Kompostjord av våtorganisk avfall vil også kunne egne seg på slike områder.

5.7. Bruk av avløpsslam til planteskoler og ferdigplenproduksjon

Avløpsslam skal ikke brukes i gartnerier i henhold til slamforskriften, men det kan brukes til å plante treplanter i eller til å lage ferdigplen av. Her blir det et definisjonsspørsmål om områder hvor det dyrkes treplanter og ferdigplen er jordbruksområder eller ikke. Landbrukstilsynet ser på ferdigplen som et produkt som kommer inn under grøntarealer, og man vil da kunne spre opptil 5 cm slam ved slik plenproduksjon.

Det produseres ca. 400.000 m² ferdigplen hvert år i Østlandsområdet av 5 store produsenter. I tillegg produseres det ferdigplen i Rogaland og i Sør-Trøndelag. Produksjon av ferdigplen foregår ved at man dyrker plenen på jordbruksarealer i to år, før man skjærer løs plenen i biter og selger den på rull. Det blir med 3 cm av jorda når plenen tas av, og det burde være mulig å legge på 3 cm slam og plante nytt gress i dette. Potensialet ville da være i størrelsesorden 15.000 m³ slam eller ca. 4.500 tonn tørrstoff (5% av norsk slamproduksjon) om man kunne bruke slam til all ferdigplenproduksjon.

Det er gjort forsøk med bruk av avløpsslam til ferdigplenproduksjon i Aurskog-Høland og i Halden (se figur 4). Slam egner seg i følge disse forsøkene bra til formålet.



Figur 4. Forsøksfelt fra Halden med etablering av ferdigplen på et område med avløpsslam.

6. Bruk av avløpsslam i skogbruket

6.1. Bruk av avløpsslam i tradisjonelt skogbruk

Slamforskriften nevner ikke bruk av slam i skogbruket i det hele tatt. I utgangspunktet ønskes ikke slam brukt i norsk skogbruk, ettersom det er fri ferdsel i norsk utmark, og slam vil kunne oppfattes som uestetisk og lite hyggelig å treffe på for folk på bær- eller soppstaking. Imidlertid finnes det etter hvert tørkede slamprodukter som vil kunne egne seg bra i skogbruket, og det er også behov for organisk gjødsel i skogbruket spesielt på steder hvor hele trærne fjernes fra området.

Tidligere forskning i Norge

Det ble gjennomført et forskningsprosjekt "Slam i skogbruket" i 1989-91 for å se nærmere på mulighetene for bruk av slam som gjødsel i skogbruket. Konklusjonene fra prosjektet var at det kan lages spesielt utviklede slamprodukter (for eksempel tørket slam) som egner seg godt i skogbruket, spesielt i furumarker med lav eller middels bonitet, og helst i skog med alder over 35 år (Øyen, 1991). Slam bør tilsettes som 40 – 50 tonn tørrstoff per ha ca. 30 år før sluttavvirkning. Slam bør ikke brukes i nyplantet skog, da det gir sterk vekst på et uheldig stadium i trærnes liv, og fører til dårligere kvalitet på trevirket (Solbraa, 1991). Slam er ypperlig egnet som gjødsel i skogbruket, da det gir gjødselvirking i mange år etter spredningen. Skogbruket ønsker seg et slam med høyt tørrstoffinnhold (minst 30%, helst tørket slam), nitrogen, kalsium og organisk stoff. Bruk av slam i skogbruket vil imidlertid kunne føre til protester fra friluftinteressenter, hvis det spres som avvannet slam i områder med mye ferdsel.

Biopell

Det er etter dette forskningsprosjektet gjennomført få forsøk med bruk av slam i norsk skogbruk. I Danmark og Sverige er imidlertid bruk av slam i skogbruket mer utbredt. I Lycksele i Västerbotten i Nord-Sverige har man bygget et anlegg for pelletering og tørking av slam og aske fra biobrenselanlegg etter Biopell-metoden (Nilsson, 2000). Avvannet slam presses gjennom en matrise i pelleteringsmaskinen og sprayes deretter med fin pulverisert treaske. Asken gjør at slamstrengen stivner og kan skjæres av i passelig størrelse. Asken legger seg som en hinne rundt slammet og motvirker at pelletsen kleber sammen i båndtørken der pelletsen tørkes ved direkte tørking med 150°C varmluft. Slampelletsen blir hygienisert i prosessen, og inneholder også kalsium, kalium og magnesium, som er stoffer som utarmes fra jorda i moderne skogbruk. Det kan brukes kalk istedenfor aske i prosessen.

Potensiale

Dersom det blir akseptert at det brukes slam til gjødsling av skog i Norge, vil skogbruket kunne ta imot mesteparten av det tørkede slammet som produseres i dag. Det er i første rekke transportkostnadene som er begrensende for slik bruk av slammet. Det burde imidlertid ligge godt til rette for å utføre et demonstrasjonsprosjekt med tørket slam for å få mer erfaringer med dette slamproduktet i skogbruket. Det vil bli produsert ca. 23.000 tonn tørrstoff som tørket slam i Norge på renseanleggene som har bygd eller bygger tørkeanlegg, og dette vil kun rekke til gjødsling av 500 ha skog hvert år om alt det tørkede slammet blir brukt i skogbruket med 46 tonn tørrstoff per ha.

Kostnader

Kostnadene ved bruk av slam i skogbruket vil være større enn kostnadene ved bruk av slam i jordbruket, dersom slammet må tørkes før spredning. Tideström et al. (2000) anslår kostnadene for å bruke tørket slam i skogbruket til kr 1.400 per tonn tørrstoff, forutsatt 30 km transportavstand til bruksstedet. For anlegg som allerede har investert i tørkeanlegg vil imidlertid spredning av slammet i skogbruket kunne være like rimelig som spredning i jordbruket, om det er skogsområder som trenger gjødsling i rimelig nærhet til renseanlegget.

6.2. Bruk av avløpsslam til dyrking av energiskog

I våre naboland er dyrking av energiskog til produksjon av biobrensel blitt en ny vekstnæring. Hurtigvoksende lauvtrær plantes på et stort jordbruksareal, og veden brukes til energiformål (bioenergianlegg).

Forsøk i Malmö i 1980-årene

I Malmö gjorde man forsøk med bruk av anaerobt stabilisert slam i energiskogproduksjon i 1980-årene (Hasselgren, 1990, Edafoss, 1990). Det ble stort sett tilsatt avvannet slam, men i et forsøk ble det isteden tilsatt uavvannet slam, og dette ga enda bedre resultater. Konklusjonen fra forsøkene var at slamgjødning kan gi like bra avling som handelsgjødsel. Noe nitrat og fosfor ble vasket ut til grunnvannet i området, og det ble også høyere innhold av tungmetaller i grunnvannet.

Energiskogdyrking i Danmark

I Skagen i Danmark har man siden 1990 kjørt en vesentlig del av slammet fra kommunens to renseanlegg ut på en energiskogplantasje ved Hjørring (Skøtt, 1997). Slammet spres som fortykket slam i kjøreveier mellom radene med piletrær. 6 m³ slam per dekar spres to ganger per uke i vekstsesongen, og i vintermånedene lagres slammet. Hvert tredje år blir trærne høstet og brukt som flis til oppvarmingsformål.

Rensing av nitrogen i energiskog i Sverige

I Enköping i Sverige gjødsler man 80 ha energiskog med slam og utløpsvann fra renseanlegget som ligger like ved (Johansson, 2000). 30.000 m³ fortykket anaerobt stabilisert slam pumpes til lagerdammer utenfor renseanlegget. Sammen med 175.000 m³ utløpsvann fra renseanlegget og aske fra biobrenselanlegget brukes slammet til å gjødsle energiskogen gjennom et vanningsanlegg med lavtrykksspredere. Dammene og vanningsanlegget har kostet ca. 10 mill. SEK.. På denne måten slipper kommunen å bygge nitrogenrensetrinn, da nitrogenutslippet fra renseanlegget vil bli redusert med 50-60 tonn per år ved energiskogvanningen. Energiskog kan også brukes til å rense forurenset jord for tungmetaller, da piletrær tar opp mye tungmetaller fra jorda (5-10 ganger mer enn bartrær).

7. Bruk av avløpslam som råvare- eller energikilde

7.1. Forbrenning av avløpslam

Bergen kommune har nå etter mye frem og tilbake fått lov til å forbrenne avløpslammet sitt, da det ikke har vært mulig å finne andre anvendelsesområder for slammet. SFT ønsker imidlertid at mest mulig slam skal brukes i landbruk og på grøntarealer. Forbrenning av slam er i utgangspunktet en kostbar prosess (Tideström et al., 2000 anslår kostnadene for forbrenning av slam til ca. kr 3.200 per tonn tørrstoff ved separat slamforbrenning). Det er også mulig å forbrenne noe avvannet avløpslam i søppelforbrenningsanlegg, men slammet bør ha et tørrstoffinnhold på minst 40% for at energiutbyttet ved forbrenningen skal være positivt. Totalt sett går det normalt med mer energi til å fjerne vann fra slammet enn det man får igjen i energiutbytte ved forbrenningen. Ved forbrenning av slam benytter man derfor normalt energi fra anaerob stabilisering og forbrenning av slammet til å avvanne og tørke slammet til det nødvendige tørrstoffinnholdet for forbrenning (40-60% TS).

Forbrenning av slammet vil ikke resirkulere næringsstoffene til jorda. Man kan riktignok utvinne fosfor fra asken fra et forbrenningsanlegg (se kapittel 4.2), men dette er en kostbar prosess som ikke kan konkurrere med superfosfat. Forbrenning av slam bør derfor ses på som en nødløsning når man ikke har mulighet for å få brukt slammet på annen måte. Så langt har det ikke vært aktuelt å bygge separate slamforbrenningsanlegg i Norge.

7.2. Utvinning av produkter fra avløpslam

Det er også mulig å utvinne forskjellige produkter fra avløpslam. De mest aktuelle er næringsstoffer, fellingskjemikalier, biobrensel eller olje. Det er nå bygget et fullskala anlegg i Australia for utvinning av olje fra avløpslam ved hjelp av pyrolyse (Water Quality Int., 1997). Pyrolyse av avløpslam anses imidlertid ikke å være aktuelt for norsk avløpslam i nær fremtid, pga. høye kostnader og lite erfaringer med prosessen.

Hydrolyse av slammet er imidlertid allerede tatt i bruk på HIAS ved Hamar. Ved hydrolyse av slammet sprenges celleveggene ved oppvarming under høyt trykk, og næringsstoffene i slammet kan lettere frasepareres. Energiutbyttet fra slammet ved etterfølgende anaerob stabilisering øker ifølge leverandøren med ca. 30%, og det kan tas ut forskjellige produkter fra slammet etter hva man har behov for. Man kan for eksempel ta ut gjødningsmidler som jernfosfat eller ammoniumfosfat, eller man kan bruke rejektivann fra etterfølgende avvanning til karbonkilde ved eventuelt denitrifikasjonsteg på renseanlegget. Man kan også resirkulere fellingskjemikalier til renseanlegget, og ta ut fibermasse som kan brukes som biobrensel.

En annen hydrolyseprosess som er i drift ved et fullskalaanlegg, er KREPRO-prosessen ved Øresundsverket i Helsingborg. Her hydrolyseres slammet ved høy temperatur, høyt trykk og lav pH. Det er mulig å ta ut fosfor i slammet som jernfosfat eller organisk gjødsel, og man kan om ønskelig fjerne tungmetallene fra gjødselen. Dette er imidlertid en kostbar prosess. Man kan også resirkulere fellingskjemikalie til renseanlegget.

Hydrolyse av slam er en kostbar prosess (Tideström et al., 2000, anslår kostnadene til ca. kr 2.500 per tonn tørrstoff ved hydrolyse og fosforutvinning. Nedland & Thoresen, 1998, har beregnet kostnadene for levering av slam til en "slamfabrikk" basert på hydrolyse til mellom kr 300 og 2.500 per tonn tørrstoff). Man er derfor avhengig av å få solgt noen av produktene for at hydrolyse skal bli lønnsomt. Foreløpig har det ikke vært mulig å få dette til å bli lønnsomt ved norske anleggsstørrelser. Hydrolyse vil imidlertid bli brukt ved fremstilling av organisk gjødsel basert på avløpslam i prosessene som er omtalt i kapittel 4.2. (Agronova og BioPartner). Det kan derfor bli en interessant prosess dersom man lykkes i å fremstille salgbare gjødsel fra avløpslam.

8. Forslag til demonstrasjonsprosjekter for å øke bruken av slam

8.1. Prosjekter innen bruk i jordbruket

Det er forsket mye på feltet bruk av slam i jordbruket, og vi har mye kunnskap om tradisjonell utnyttelse av slam i jordbruket. I fremtiden må man forvente en økt konkurranse både mellom anleggseiere som leverer slam, og fra kompostert våtorganisk avfall som også trenger å avsettes i jordbruket. Det vil derfor være viktig å utvikle produkter som bøndene vil ha. På dette feltet er det fire produkter som kan være aktuelle å videreutvikle:

- uavvannet slam injisert i jorda
- tørket råslam
- tørket utråtnet slam
- organisk gjødsel basert på avløpslam

Våtslam injisert i åker og eng

Uavvannet slam (våtkompostert eller hygienisert og utråtnet) injisert i jorda på kornarealer og i eng er et interessant alternativ å utrede konsekvensene av. Spesielt interessant vil det være å undersøke hvor lange transportavstander det kan være hvis slik slambruk skal være økonomisk lønnsom. Forhold omkring avrenning fra injiserte områder og gjødselvirkning av slammet kan også være interessant å få demonstrert.

Bruk av utråtnet og tørket slam i jordbruket

Foreløpig er det ikke brukt særlig mye utråtnet og tørket slam i jordbruket bortsett fra i dyrkningsforsøk på små felt. Det bør derfor ligge til rette for å gjøre fullskala forsøk med bruk av dette slammet i jordbruket, for å erfarer med utlegging, gjødselvirkning, jordforbedrende effekt osv.

Bruk av tørket råslam i jordbruket

Det vil være teknisk vanskelig å tørke råslam i eksisterende tørkeanlegg tilpasset utråtnet slam. Det er imidlertid på markedet utstyr som er beregnet på tørking av råslam, som det svenske Biopell (fullskalaanlegg i Umeå for 300 kg TS/h) som tørker pellets fra avvannet råslam. Det kan være interessant å gjøre forsøk med korndyrking i slikt slam og i tørket utråtnet slam for å få en sammenligning av de to slamtypenes egnethet i jordbruket.

Organisk gjødsel basert på avløpslam

Å fremstille organisk gjødsel av avløpslam er en interessant mulighet som vi snart vil få fullskala erfaringer med. Utredninger om bruk av slam i gjødselprodukter kan lages i samarbeid med firmaene som utvikler prosesser for å lage organisk gjødsel av avløpslam.

Fosfortilgjengelighet

Andre mulige felter som kan være interessante å undersøke nøyere, er tilgjengelighet av aluminium- og jernfelt fosfor på jordbruksarealer med fosformangel og strategi for fremtidens fosforgjødsling. Det er helt åpenbart at man på sikt må resirkulere fosfor til jordbruksjorda for å unngå fosforutarming av jorda når de konsentrerte fosforkildene tar slutt.

8.2. Prosjekter innen bruk på grøntarealer

Det er gjort en del forsøk med bruk av slam på grøntarealer, men disse erfaringene er ikke samlet og systematisert. For å unngå at man gjør de samme feilene på flere steder, vil det være nyttig å samle de erfaringene som finnes på feltet. I tillegg kan det være interessant å lage nye demonstrasjonsprosjekter innenfor områdene:

- innarbeidingsområder
- veiformål
- idrettsanlegg
- grøntanlegg i næringsparker og på industriområder
- landskapssår
- planteskoler
- ferdigplenproduksjon

Innarbeidingsområder

Det vil kunne være interessant å gjøre et fullskala forsøk med innarbeiding av slam for produksjon av vekstjord. Både kvalitetsmessige forhold rundt det ferdige produktet, forurensningsmessige forhold og teknikk for utlegging av slam og uttak av jord, er aspekter som bør undersøkes i et slikt prosjekt.

Veianlegg

Her er det gjort mange forsøk etter hvert. Erfaringene bør samles. I tillegg bør man få i gang en sammenligning av bruk av avskavet matjord på stedet, mot bruk av vekstjord basert på avløpsslam. Dersom det viser seg at vekstjord basert på avløpsslam er konkurransedyktig med den tradisjonelle metoden med avskaving og tilbakelegging av matjordlaget, bør man informere veikontorene om dette.

Grøntanlegg i næringsparker og på industriområder

Man kan oppsummere de erfaringene som er gjort til nå ved slik slambruk, og eventuelt etablere et nytt demonstrasjonsprosjekt der man måler effekten på planter og avrenning fra feltet.

Idrettsanlegg

På idrettsbaner bør man gjøre forsøk med vekstjord med avløpsslam som en ingrediens. Eventuelle demonstrasjonsprosjekter bør fokusere på hvor mye slam som bør brukes i slike blandinger, hvilke slamtyper som egner seg, om banene blir bedre ved slamtilsettingen (bedre gressvekst, bedre slitestyrke, bedre porøsitet i jorda og bedre evne til å tåle tørke), og om det er negative forhold knyttet til bruk av slam i jorda (for eksempel sleip bane i regnvær, lukt).

For å øke anvendelsen av slam i alpinanlegg og hoppbakker kan det lages en veileder for slik bruk basert på de erfaringene som er gjort, eventuelt kombinert med erfaringer fra et nytt demonstrasjonsprosjekt der man i større grad måler effektene av slamspredningen.

Revegetering av landskapssår

Også på dette feltet kan det med fordel lages demonstrasjonsprosjekter der man for eksempel dekker et nedlagt massetak, en steintipp og et forbygningsanlegg med slam eller vekstjord basert på slam, og rapporterer avrenning fra området. Med utgangspunkt i demonstrasjonsprosjektene kan det lages en veileder for bruk av slam til revegetering av landskapssår.

Bruk i planteskoler

Det bør etableres et demonstrasjonsprosjekt på området for å få erfaringer med forskjellige typer slams egnethet til formålet.

Bruk i ferdigplenproduksjon

Vi mangler demonstrasjonsprosjekter som rapporterer erfaringer med bruk av slam i ferdigplenproduksjon, og som kan danne utgangspunkt for en veileder på området. Det bør undersøkes hva slags slamtyper som egner seg til ferdigplen, hvordan gressproduksjonen blir ved ulike slamtyper og slammengder, og om det blir opphopning av næringsstoffer og tungmetaller i jorda ved slik ferdigplenproduksjon.

8.3. Prosjekter innen bruk i skogbruket

Tradisjonelt skogbruk

Det er nå kommet så mange nye slamprodukter på markedet at det er på tide å se på slambruk i skogbruket på nytt. Demonstrasjonsprosjekter for bruk av forskjellige slamprodukter (spesielt tørket slam) i tradisjonelt skogbruk bør være interessante. Man bør da også se på forurensningsmessige forhold og ulemper for allmennheten som tradisjonelt har tilgang til skogsarealer for rekreasjon og matauke. Begrensningene som ligger inne i nytt slamdirektiv for EU må også tas hensyn til.

Bruk til dyrking av energiskog

Energiskogproduksjon har ikke slått an i Norge foreløpig. Dette kan ha sammenheng med at elektrisk energi er såpass billig i Norge, og at det er mye tilgjengelig "ren" energi fra vasskraft. Det finnes også mye "avfall" fra tradisjonelt skogbruk som allerede i dag benyttes til produksjon av biobrensel.

Et demonstrasjonsprosjekt som vurderer praktiske løsninger for bruk av slam til gjødsling av energiskog i Norge, burde imidlertid være interessant. Et slikt prosjekt bør avklare hva slags tresorter som egner seg best, hvor ofte trærne skal hogges, hva slags slam (uavvannet, avvannet, tørket) man skal gjødsle med, hvor ofte man skal gjødsle og hvor mye avrenning av næringsstoffer og tungmetaller man får fra et slikt felt.

9. Referanser

- Andersen, D.O., 1990: Kartlegging av kjemiske og bakteriologiske forhold i avrenningsvannet fra et forsøksfelt der det er lagt ut kloakkslam som jordforbedringsmiddel. Dueknipenprosjektet. Miljø- og bruksmessige forhold ved bruk av kompostert slam. Rapport 1. Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvern-avdelingen, Kristiansand.
- Andersson, P-G. & Nilsson, P., 1999: Slamspridning på åkermark. Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981 – 1997. VA-forsk rapport 1999.22. VAV AB, Stockholm.
- Algerbo, P-A. & Dalemo, M., 1997: Lokalt omhändertagande av icke avvattnat avloppsslam. JTI-rapport, Kretslopp & Avfall nr. 7, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Edafoss, 1990: Miljöpluss och energiskog. Försöksodling med energiskog på Näsholms Gods 1983-89. Slutrapport. Edafoss AB, Kivik.
- Eik, K., 1992: Kartlegging og vurdering av kompostert kloakkslam som vekstmedium for ulike plantetyper, herunder bartrær og lauvtrær samt ulike grasarter. Dueknipenprosjektet. Bruks- og miljømessige forhold ved bruk av kompostert slam. Rapport 2. Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvern-avdelingen, Kristiansand.
- Hasselgren, K., 1990: Användning av kommunalt avloppsslam i energiskogsodling. Slutredovisning av prosjektet Avloppsbasert energiskogsodling, 1982-88. Avdeling for VA-teknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Holdhus, O, 1996: Alternativ bruk av avløpslam. Jordforsk-rapport, Norges Landbrukshøgskole, Ås.
- Johansson, B., 2000: Kvävekrav blev startskott för långsiktig slamlösning. VAV-Nytt 2/2000. VAV AB, Stockholm.
- Linderholm, K., 1997: Fosforns växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska. VA-forsk rapport 1997.6. VAV AB, Stockholm.
- Naturvårdsverket, 1998: Inarbetning av avloppsslam – en metod att tilverka jord. Rapport 4823. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Nedland, K.T., 1997: Alternativ slamdisponering i Østfold. Rapport 1/97. Fylkesmannen i Østfold, Moss.
- Nedland, K.T. & Paulsrud, B., 1997: Alternative områder for bruk av slam utenom jordbruket. Forprosjekt. NORVAR-rapport 77/1997. Norsk VA-verkforening, Hamar.
- Nedland, K.T. og Thoresen, H.H., 1998: Vurdering av "slamfabrikk" for Østfold. NORVAR-rapport 91/1998. Norsk VA-verkforening, Hamar.
- Nilsson, U.E., 2000: Slam och aska ska gödsla Västerbottens skogar. VAV-Nytt 2/2000. VAV AB, Stockholm.

NORVAR,2000: <http://www.norvar.no/webhotell/norvar/Framel.nsf/>

Næss Ugland, T., Ekeberg, E. & Krokstad, T., 1998: Bruk av avløpsslam i jordbruket. Grønn forskning 04/98. Planteforsk, Norsk institutt for planteforskning, Landvik, Grimstad.

Palm, O., Löwgren, M. & Wittgren, H.B., 2000: Sluttrapport från FoU-programmet: Organisk avfall som växtnäringsresurs. VA-forsk rapport 2000.9. VAV AB, Stockholm.

Skøtt, T., 1997: I Skagen er slammet ikke noe problem. Dansk Bioenergi, februar 1997.

Thorvik Helgen, B., Skaug, Aa., Paulsrud, B. & Nedland, K.T., 1993: Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt. NORVAR-rapport 28/1993. Norsk VA-verkforening, Hamar.

Tideström, H, Starberg, K., Ohlsson, T., Camper, P-A. & Ek, P., 2000: Användningsmöjligheter för avloppsslam. VA-forsk rapport 2000.2. VAV AB, Stockholm.

Water Quality International, 1997: News from Water Quality International, January/February 1997.

Øyen, O., 1991: Kloakkslam i skogbruket – status for norske og utenlandske arbeider pr. mai 1991. Cambi – Utviklingsselskapet for skogbruk – skogindustri, Elverum.