

# Bruk av pelletert og granulert slam i landbruk og grøntanlegg

Lars T. Havstad & Åsmund Asdal

Planteforsk Apelsvoll forskingssenter avd. Landvik

E-post: [lars.havstad@planteforsk.no](mailto:lars.havstad@planteforsk.no), [aasmund.asdal@planteforsk.no](mailto:aasmund.asdal@planteforsk.no)

## Sammendrag

I årene 2004-2005 ble tørket og pelletert/granulert slam fra Arendal, Bekkelaget, Sentralanlegget for Nord-Jæren (SNJ), Gardermoen (kun i 2004), Gjøvik og Larvik (kun i 2004) undersøkt i ulike potte- og feltforsøk på Planteforsk Landvik, Grimstad. Det ble sett nærmere på slammets nedbrytningshastighet, slammets gjødselvirkning (N-effekt) og muligheten for å benytte vanlig spredeutstyr til å spre slammets.

Forsøk med innblanding av pelletert/granulert slam i jord (pottforsøk) viste at organisk materiale i slammets ble brutt gradvis ned i løpet av den første vekstsesongen etter slamtilførsel. Sammenlignet med slamkompost fra Norsk Jordforbedring, som var med som kontroll i forsøkene, var nedbrytningshastigheten til granulene/pelletsen fra alle rensaneanleggene på samme nivå eller raskere både i 2004 og i 2005. Nedbrytningshastigheten var størst i slam fra Arendal og SNJ, som også var de slamtypene som hadde størst pellets. Forsøkene indikerte at nedbrytningen av organisk materiale ikke går saktere i slam som er tørket og granulert/pelletert enn i slam framstilt på andre måter uten tørking.

Den fysiske strukturen til slammets ble også gradvis brutt ned i løpet av forsøksperioden. I løpet av 44 uker ble andelen av store pellets/granuler (> 4 mm) fra Arendal, SNJ og Bekkelaget redusert med mellom 40 til 60 %. Det faktum at pellets av tørkets slam kan beholde form og struktur i lang tid ser imidlertid ikke ut til å hemme frigjøring av plantenæring eller plantenes mulighet til å ta opp nitrogen fra slammets.

Det ble ikke påvist sikre forskjeller i nedbrytningshastighet av organisk materiale / fysisk struktur (kornstørrelse) eller frigiving av næringsstoffer (N-mineralisering) fra slam om det var innblandet i lett eller tung jord.

Undersøkelser av gjødselverdi /nitrogeneffekt av tørket slam i korndyrking (vårhvete) og forproduksjon av raigras er sammenholdt med etablerte metoder for å forutsi gjødselvirkning basert på kjemiske analyser av slammets. Resultatene viser at modellen beregner at 80% av mineralisert nitrogen og 10% av organisk bundet nitrogen utnyttes som plantenæring første året med stor grad av nøyaktighet kan brukes for tørket slam til dyrking av korn. Slamtypene ga ved tilførsel av 2 tonn slam-ts/daa kornavlinger på nivå med det som oppnås ved vanlig gjødslingspraksis i felt på lett og tung jord i 2005. På lettjordsfeltet var det en fordel å gi 3 kg N/daa i form av kalksalpeter sammen med slammets for å få maksimale kornavlinger.

I intensiv forproduksjon av raigras er perioden med aktiv vegetativ vekst lengre enn i korndyrkinga, og sammenlignet med korn har grasets større evne til å utnytte nitrogenet i slammets. Avlingsresultatene fra intensiv forproduksjon med tre høstinger av raigras viste av den grunn til dels større opptak av nitrogen enn modellens beregninger. I sum av tre høstinger gav slamtypene med høyeste innhold av totalnitrogen høyest tørrstoffavling ved tilførsel av 2 t slam-ts/daa. Modellen har således ikke hatt like stor treffsikkerhet for raigras som for korn.

Tilførsel av 2 tonn slam-ts/daa gav raigrasavlinger i førsteslåtten som stort sett var på nivå med vanlig gjødslingspraksis. For andre- og tredjeslåtten avtok gjødselvirkingen og i praksis vil det i mange tilfeller, spesielt i tredjeslåtten, være nødvendig å tilleggs gjødsle. Forsøkene med raigras viste at gjødselvirkingen av å tilføre slam var svært god på lett jord. I ett felt med næringsrik tung jord var tilsvarende avlingsgevinst av å tilføre 2 t slam-ts/daa betydelig mindre.

I ett lettjordsfelt med raigras ble andre års gjødsleffekt (ettervirking) undersøkt nærmere. Forsøket viste at det ved tilførsel av 2 t slam-ts/daa var mindre virkning av slamnitrogenet andre året enn beregnet i modellen når det året før var drevet intensiv forproduksjon. Datagrunnlaget er imidlertid for lite til å trekke sikre konklusjoner.

Resultatene viser videre at tørket slam frigir nitrogen raskt etter tilførsel, og gjødselvirkingen er dermed godt tilpasset plantenes utvikling og næringsbehov. Frigjøringen er imidlertid noe forsinket i forhold til mineralgjødsel, der alt N er plantetilgjengelig fra starten av, noe som er en fordel når det gjelder fare for avrenning, spesielt i nedbørrike år.

I forsøk hvor det tørka slammets ble spredd med vanlig spredeutstyr (sentrifugal- og pendelspreder) var maksimal spredemengde på mellom 60 til 140 kg/daa for de fleste slamtypene. Tatt i betraktning av at ønsket tilført mengde som oftest er på 2 t slam-ts/daa, indikerer forsøket at vanlig utstyr for spredning av handelsgjødsel, uten aktiv utmatingsmekanisme, er lite egnet til å spre granulert/pelletert slam i praksis.

Ved bruk av granulert/pelletert slam til grøntanlegg tilsier undersøkelsene at bruken må vurderes i forhold til slammets innhold av lettløselig nitrogen. Når den er så høy som i slamtypene undersøkt i dette prosjektet må mengdene slam til ferdige jordblandinger eller tilført og nedmoldet i grøntanlegg begrenses for å unngå overgjødsling og skade på planter eller nitrogenavrenning. Tørket og pelletert slam vil imidlertid egne seg godt til grøntanlegg i begrensede mengder som en letthåndterlig og næringsrik ingrediens til jord og jordblandinger, gjerne sammen med andre typer organiske avfallsprodukter med lavere gjødselverdi.

## Forord

I de senere åra har flere renseanlegg tatt i bruk metoder for tørking og pelletering av slam, og i 2003 ble om lag halvparten av alt norskprodusert slam tørket. Sett fra et behandlings- og brukersynspunkt har tørking av slam klare fordeler, f.eks. når det gjelder frakt, lagring og spredning.

For at tørket slam skal ha verdi som gjødsel/jordforbedringsmiddel i landbruk og grøntanlegg må produktet frigi næringsstoffer som tilfredsstiller plantenes behov for vekst og utvikling og ellers ha en jordforbedringseffekt, fortrinnsvis gjennom å tilføre jorda organisk materiale. For å undersøke dette nærmere ble prosjektet *Bruk av pelletert og granulert slam i landbruk og grøntanlegg* startet opp i 2004.

Prosjekt, som er støttet av ORIO-programmet og enkelte anleggseiere i "NORVAR's slamtørkeforum", har i prosjektperioden 2004-2005 hovedsaklig sett nærmere på slammets nedbrytningshastighet (delprosjekt 1), slammets gjødselvirkning (N-effekt) (delprosjekt 2) og muligheten for å benytte vanlig spredeutstyr til å spre slammets (delprosjekt 3).

Følgende renseanlegg har deltatt i prosjektet:

- Rambekk renseanlegg, Gjøvik
- Bekkelaget renseanlegg, Oslo
- Saulekilen renseanlegg, Arendal
- Sentralanlegget for Nord-Jæren (SNJ), IVAR, Randaberg / Stavanger
- Lillevik renseanlegg, Larvik
- Gardermoen Renseanlegg, Ullensaker

Prosjektet er administrert i samarbeid med NORVAR ved Steinar Nybruket. NORVAR's slamtørkeforum har fungert som prosjektets referansegruppe, og foreløpige resultater er presentert i møter her høsten 2004 og 2005.

Undersøkelsene i prosjektet er gjennomført ved Planteforsk Landvik i Grimstad etter at tørket slam til forsøkene er produsert ved deltagende renseanlegg. Ansvarlig for den praktiske gjennomføringen av forsøkene har vært forskningstekniker Åsmund Bjarte Erøy. Ansvarlige forskere har vært Lars T. Havstad og Åsmund Asdal.

Landvik, 25. november 2005

Lars T. Havstad / Åsmund Asdal

## INNHOOLD

SAMMENDRAG.....	1
1 INNLEDNING.....	4
2 MATERIALE OG METODER.....	5
2.1 Beskrivelse av slamtypene.....	6
2.2 Slammets nedbryting i jord (pottforsøk).....	6
2.3 Slammets gjødslingsvirkning (feltforsøk).....	7
2.3.1 Gjødselvirkning første året (raigras og vårhvete).....	7
2.3.2 Gjødselvirkning andre året (raigras).....	9
2.4 Spredning av granulert/pelletert slam .....	9
2.5 Statistiske analyser.....	10
3 RESULTATER .....	11
3.1 Slammets fysiske og kjemiske egenskaper.....	11
3.1.1 Kornfordelingsanalyse.....	11
3.1.2 Kjemisk analyse av slammets: .....	11
3.1.3 Slammets teoretiske gjødselvirkning.....	12
3.2 Slammets nedbrytning i jord (pottforsøk).....	12
3.2.1 Organisk materiale (glødetap).....	12
3.2.2 Fysisk struktur (kornstørrelse).....	14
3.2.3 N-mineralisering.....	16
3.3 N-opptak og gjødselvirkning første året (raigras) .....	17
3.3.1 Opptak av nitrogen i plantene.....	17
3.3.2 Tørrstoffavling.....	18
3.4 N-opptak og gjødselvirkning andre året (raigras) .....	20
3.4.1 Innholdet av mineralisert nitrogen i jorda før vekststart.....	20
3.4.2 N-opptak og tørrstoffavling.....	21
3.5 N-opptak og gjødselvirkning første året (vårhvete) .....	23
3.5.1 Kornavling og legde ved høsting .....	23
3.5.2 Halmavling .....	25
3.6 Bruk av vanlig spredeutstyr til å spre granulert/pelletert slam.....	26
4 DISKUSJON.....	27
4.1 Slammets nedbryting i jord.....	27
4.1.1 Organisk materiale.....	27
4.1.2 Fysisk struktur (kornstørrelse).....	29
4.1.3 N-mineralisering .....	29
4.2 N-opptak og gjødselvirkning i førproduksjon av raigras.....	29
4.2.1 Gjødslingsåret.....	29
4.2.2 Ettervirkningsåret.....	31
4.2.3 Nitrogeneffekt og økonomi ved bruk av slam i førproduksjon.....	31
4.3 N-opptak og gjødselvirkning ved korndyrking.....	33
4.3.1 Nitrogeneffekt og økonomi ved bruk av slam i korndyrking.....	34
4.4 Spredforsøket. ....	34
4.5 Egenskaper hos tørket slam i forhold til ulike bruksområder.....	35
5 KONKLUSJON.....	36
6 LITTERATUR.....	37

## 1. Innledning

I 2003 ble ca 50% av alt avløpslam produsert i Norge tørket. Sett fra både behandlings- og brukersynspunkt har tørking av slam klare fordeler, f.eks. når det gjelder frakt, lagring og spredning. Pelletert slam er imidlertid en relativt uprøvd slamtype innenfor landbruk og grøntanlegg, og prosjektet *Bruk av pelletert og granulert slam i landbruk og grøntanlegg* ble gjennomført for å skaffe data til dokumentert og kvalitetssikret bruk av tørkede slamtyper.

I prosjektet *Bruk av slam i landbruket* som ble gjennomført midt på 90-tallet, ble en generell modell for beregning av nitrogenvirkning av slam utviklet. Tørket slam fra IVAR/SNJ var den eneste typen av tørket slam som ble undersøkt i dette prosjektet, og det hadde mindre gjødseleffekt enn den generelle modellen skulle tilsi, og dermed mindre gjødselverdi enn øvrige slamtyper i undersøkelsen (Ugland m.fl. 1998). Tørket slam fra Arendal kommune, Bekkelaget renseanlegg og IVAR ble i perioden 2002-2004

undersøkt nærmere i prosjektet *Slam og kompost i grøntanlegg*, (Sæbø m.fl. 2005). Observasjoner av at pelletert slam har beholdt form og struktur i lang tid og samtidig at planterøtter er i stand til å trenge inn i slam pellets som ikke har mistet formen, har også ledet til behov for nærmere undersøkelser.

Observasjoner og resultater fra tidligere forsøk har vist at tørket og granulert / pelletert slam er et interessant og godt produkt både til jordbruk og grøntanlegg. Dokumentert og riktig bruk av tørket slam er imidlertid avhengig av god kunnskap om næringsverdi og nedbrytning, og prosjektet ble derfor satt i gang for å:

1. Klarlegge hvordan granulert og/eller pelletert slam brytes ned i jord
2. Undersøke frigjøring av næring fra tørket slam, med hovedvekt på nitrogen
3. Undersøke spredningsmetoder for tørket slam
4. Gi råd om aktuelle bruksområder for tørket slam



Figur 1. Utseende til de ulike slamtypene som var med i forsøket i 2004. Foto: L. Havstad



Det har vært viktig å undersøke frigjøring av plantenæring fra tørket slam for å:

- tilpasse mengder av slam til hva planter trenger og tåler av næringsstoffer og salter, og for å kunne dosere riktige mengder tilleggsjødsel, både i jordbruk og grøntanlegg.

- undersøke hvor store mengder slam som kan benyttes i jordlag og i vekstmasser til grøntanlegg, uten å risikere skade på planter og forurensende avrenning.
- finne optimale blandingsforhold i vekstmasser der pelletert slam inngår i jord til jordforbedring

Tabell 1. Opplysninger om mottak av eksternt slam, renseprosess og behandling av slam ved 6 renseanlegg som har levert slam til forsøk i prosjektet.

Anlegg	Renseprosess	Slambehandling	Mottak av eksternslam
Rambekk, Gjøvik	Kjemisk felling med aluminiumklorid.	Anaerob mesofil stabilisering med etterfølgende avvanning i sentrifuge, tørking og granulering (trommeltørke). Slammet har en oppholdstid i tørketrommelen på ca. 8-12 minutter. Temperaturen i brennkammeret før trommelens innløp er rundt 650°C, mens temperaturen ved trommelens utløp er rundt 112°C. Granulatets temperatur ved trommelens utløp er ca. 90°C.	Ca. 75 % av slammet kommer fra andre anlegg i regionen i avvannet form. Septikpåslipp ved innløpskanal.
Bekkelaget, Oslo	Biologisk (med nitrogenfjerning) og, i regnvær, kjemisk rensing med jernklorid på ca 1/3 av vannmengden. Dessuten brukes jernsulfat til simultanfelling i biotrinnet. Sandfilter som siste poleringstrinn.	Termofil, anaerob stabilisering med etterfølgende avvanning i sentrifuge, tørking og granulering (trommeltørke). Temperaturen i tørkeprosessen er ca 380 °C og ferdig tørket slam har en temperatur på ca 70 grader.	Ingen.
Lillevik i Larvik	Kjemisk felling med PAX 18.	Anaerob mesofil stabilisering med etterfølgende avvanning i sentrifuge, tørking og granulering (trommeltørke). Temperaturen i tørkeprosessen varierer fra 650 til 105°C fra start til slutt i trommelen. Oppholdstid i trommelen er 9-15 minutter.	Anlegget mottar septik som anslås å utgjøre 25% av slamproduksjonen (uten sandfang).
Saule-kilen i Arendal	Kjemisk felling med PAX.	Anaerob mesofil stabilisering med etterfølgende avvanning i silbånd-presse, tørking og granulering. Tørking i 2 steg (tynnfilm + spagettimaskin med etterfølgende tørking på bånd). Temperaturen er 95 °C i tynnfilmfordamperen og 140 i båndtørka.	Anlegget mottar kjemisk felt slam fra Narestø renseanlegg, tilsvarende 3-5% av total slammengde.
IVAR IKS Stavanger (SNJ)	Kjemisk rensing med jernklorid.	Anaerob mesofil stabilisering med etterfølgende avvanning i sentrifuge, tørking og pelletering. Tørken er basert på indirekte tørking. Temperaturen i tørkeprosessen er ca. 100 °C (min. oppholdstid 15-20 min. ved 99° C avgasstemperatur)	10 % av slammet kommer fra andre mindre anlegg i avvannet form. Tar også imot våtorganisk avfall fra storkjøkken og fiskeforedlingsbedrifter.
Gardermoen	Kjemisk felling med PAK 21 som fellingskjemikalium. Nitrogenfjerning ved bruk av Kaldnes-prosessen.	Anaerob mesofil stabilisering med etterfølgende avvanning i sentrifuge, tørking og granulering (trommeltørke). Slammet har en oppholdstid i tørketrommelen på ca 60 minutter. Temperaturen i brennkammeret foran trommelens innløp er ca 600 °C, ved utløp ca 120 °C. Granulatets temperatur ved trommelens utløp er ca 90 °C.	Anlegget mottar septik fra Nannestad og Ullensaker. Anlegget mottar avisingsvæske fra Oslo som består av glykolholdig vann.

## 2. Materiale og metoder

Det ble prøvd ut seks ulike slamtyper i 2004 (Arendal, Bekkelaget, Sentralanlegget for Nord-Jæren (SNJ), Gardermoen, Gjøvik og Larvik) og fire slamtyper i 2005 (Arendal, Bekkelaget, SNJ og Gjøvik). Bilder av de ulike slamtypene er gitt i figur 1.

Tørket slam til forsøkene er produsert ved deltagende behandlingsanlegg og fraktet til Planteforsk Landvik i Grimstad. Opplysninger om anleggenes renseprosess og slambehandling framgår av tabell 1.

## 2.1 Beskrivelse av slamtypene

I begge forsøksårene ble det foretatt en kornfordelingsanalyse ved at en prøve på 500 g av hver av de ulike slamtypene ble siktet gjennom en såldrister (Matest, diameter 200 mm). Prøvene ble siktet gjennom 12 ulike såld som varierte i maskevidde fra 0,063 mm til 20 mm.

Det ble utført kjemiske analyser av de ulike typene med granulert/pelletert slam, samt en slamkompost fra Norsk Jordforbedring som ble benyttet som kontroll i pottforsøket (se beskrivelse av pottforsøket nedenfor). Alle prøvene, både i 2004 og 2005, ble analysert for pH, glødetap og næringsinnhold. Analysen ble utført av Jordforsk Lab etter standard analysemetoder.

Den teoretiske gjødselvirkningen av de ulike slamtypene ble, både i (1) gjødslingsåret og (2) året etter slamtilførsel (ettervirkningsåret), beregnet etter følgende formel (Ugland m.fl. 1998):

1. Plantetilgjengelig nitrogen i første år = 10% av (Total N–Mineral N) + 80% av Mineral N

2. Plantetilgjengelig nitrogen i påfølgende år (ettervirkning) = 10 prosent av gjenværende organisk bundet nitrogen.

Formlene ble benyttet til å beregne teoretisk gjødsleffekt (kg N/daa) ved tilførsel av 2 t slamtørrstoff som er maksimal tillatte mengde ved bruk til jordbruksformål.

## 2.2 Slammets nedbryting i jord (pottforsøk)

Slammets nedbrytningstid ble undersøkt i pottforsøk under naturlige klimaforhold på Planteforsk Landvik både i 2004 og 2005.

Slam fra de ulike renseanleggene, samt slamkompost fra Norsk Jordforbedring (kontroll), ble blandet med siktet jord (maskevidde 10 mm) fra to ulike jordarter, siltig mellomsand (lett jord) og siltig leittleire (tung jord). En nærmere karakteristikk av jorda er gitt i tabell 2. I hver potte, som var 12 cm i diameter og hadde et volum på 1 l, ble innholdet av slam justert med hensyn til glødetap og pottestørrelse

Pottene ble satt ut i felt med siltig mellomsand med om lag 1-2 cm av potten over jordoverflata (figur 2) henholdsvis den 27. mai 2004 og 11. mai 2005. I første forsøksår ble det tatt ut prøver til analyse fra lettjordspottene etter 0, 2, 6, 17, 23 og 44 uker, og fra tungjordspottene 23 og 44 uker etter forsøksstart. I det andre forsøksåret ble tilsvarende prøver tatt ut etter 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 og 15 uker (lett jord) og etter 0, 2, 6, 10 og 15 uker (tung jord).

Tabell 2. Analyse av pH, glødetap og næringsinnhold i jorda som ble brukt i pottforsøkene begge forsøksåra.

Art, jordtype	Dybde cm	pH	Gløde- tap % av ts	NH <sub>4</sub> -N mg/100g	NO <sub>3</sub> -N Mg/100g	SUM N-MIN	P-AL mg/100g	K-AL mg/100g	K-HNO <sub>3</sub> mg/100g	Mg-AL mg/100g
Tung jord (Siltig leittleire)	0-20	6,5	6,2	0,4	2,2	2,6	13	23	112	7
Lett jord (Siltig mellomsand)	0-20	5,6	3,4	0,3	0,6	0,9	27	10	42	6



Figur 2. Utsetting av potter i felt 27. mai 2004. Foto: L. Havstad

Ved hvert uttak ble det tatt ut 3 potter (gjentak) av hver av de ulike slam/jordblandingene. Halvparten av slam/jordinnholdet i hver potte ble fryst ned og senere sendt til N-MIN analyse ved Planteforsk Kise. Den andre halvparten ble brukt til å bestemme kornfordeling (partikler større enn 4 mm) og glødetap (etter gløding i 3t ved 550 °C). Kornfordelingsanalysene var kun mulig å utføre på slamtypene med størst pellets/granuler (Bekkelaget, SNJ og Arendal).

## 2.3 Slammets gjødselvirkning (feltforsøk)

### 2.3.1 Gjødselvirkning første året (raigras og vårhvete)

Gjødselverdien til de ulike slamtypene i gjødslingsåret ble undersøkt i feltforsøk med vårhvete 'Zebra' (til sammen 3 felt) og Westervoldsk raigras 'Labelle' (til sammen 3 felt) på Planteforsk Landvik i 2004 og 2005. Forsøkene med raigras og hvete ble etablert i tidsrommene 19.-21. mai i 2004 og 25.-27. april i 2005. Feltene ble plassert både på lett og tung jord som vist i tabell 3. Analyse av pH, glødetap og næringsinnhold i de ulike jordtypene før anlegg av feltene er også beskrevet i tabell 3.

I feltene med hvete og raigras ble det i 2004 brukt samme forsøksplan. I tillegg til kontrollleddene med 0 og 10 kg N/daa (i form av kalksalpeter), ble det ved etablering av feltene tilført 2 og 6 t slamtørrstoff/daa av de seks ulike slamtypene (til sammen 14 ledd).

På bakgrunn av resultatene fra 2004 ble største slammengde i forsøkene i 2005 redusert fra 6 til 4 t slam-ts/daa. I 2005 ble det benyttet ulike forsøksplaner for de to artene, men både feltene med raigras og hvete fikk tilført 2 og 4 t slamtørrstoff/daa av de fire ulike slamtypene ved etablering. I hvetefeltene ble i tillegg alle slamtypene prøvd ut sammen med kalksalpeter som "startgjødsel". Både slam (2 t slamtørrstoff/daa) og kalksalpeter (3 kg N/daa) ble tilført samtidig ved etablering av feltet.

Tabell 3. Analyse av pH, glødetap og næringsinnhold i de ulike jordtypene før anlegg av feltene i 2004 og 2005.

Art, jordtype	Dybde Cm	pH	Gløde- tap % av ts	NH <sup>4+</sup> Kg/daa	NO <sub>3</sub> - Kg/daa	Total N Kg/daa	P-AL mg/100g	K-AL mg/100g	K-HNO <sub>3</sub> mg/100g	Mg-AL mg/100g
<b>2004:</b>										
Hvete, tung jord	0-20	6,5	6,2	0,4	2,2	2,6	13	23	112	7
(Siltig lettleire)	20-40	6,4	4,4	0,3	2,0	2,3	7	15	117	5
Raigras, tung jord	0-20	6,5	5,5	0,4	2,0	2,4	13	12	85	6
(Siltig lettleire)	20-40	6,4	3,9	0,4	2,5	2,9	7	11	106	5
Raigras, lett jord	0-20	5,6	3,4	0,3	0,6	0,9	27	10	42	6
(Siltig mellomsand)	20-40	5,7	3,1	0,3	1,1	1,4	26	10	49	7
<b>2005:</b>										
Hvete, tung jord	0-20	6,3	5,8	1,5	0,9	2,4	26	12	-	10
(Siltig lettleire)	20-40	6,4	4,0	1,3	0,8	2,1	15	7	-	5
Hvete, lett jord	0-20	5,9	3,2	0,5	0,3	0,8	25	10	-	5
(Sandjord)	20-40	5,5	2,8	0,3	0,2	0,5	22	8	-	6
Raigras, lett jord	0-20	5,6	3,8	0,4	0,2	0,6	27	4	-	8
(Sandjord)	20-40	5,7	3,3	0,3	0,1	0,4	22	3	-	5

Som i 2004 var det både i hvete- og raigrasforsøkene med ett ugjødsels kontrollledd. I motsetning til året før, hvor det kun ble tilført 10 kg N/daa i kalksalpeter både til hvete og raigras (Ugland m.fl. 1998), ble det i 2005 tatt med et kontrollledd med ulik anbefalt konvensjonell gjødslingsstrategi ("optimal gjødsling") til de to artene. Rutene med optimal gjødsling fikk i hvetefeltene tilført 10 kg N/daa i form av HYDRO-KAS® tidlig om våren og 4 kg N/daa i form av kalksalpeter ved begynnelsen av skyting. I raigras fikk rutene med optimal gjødsling tilført til sammen 23 kg N/daa (10 kg N/daa tidlig om våren + 8 kg N/daa etter 1. slått + 5 kg N/daa etter 2. slått). Nitrogenet ble gitt i form av Hydro-KAS® tidlig om våren og i form av kalksalpeter like etter 1. og 2. slått.

Både i 2004 og 2005 ble slammet i alle feltene tilført rutevis (1,5 x 5,5 m ruter) og moldet ned før såing. Såmengden var 5 og 4 kg/daa for raigras og 23 og 18 kg/daa for vårhvete i henholdsvis 2004 og 2005. Alle feltene ble anlagt med 3 gjentak.

Alle feltene ble ugrassprøytet med Ariane S (70 ml/daa) både i 2004 (17. juni) og i 2005 (7. juni).

For å unngå Mangan-mangel etter tilførsel av det kalkrike slammet ble alle feltene, både på lett og tung jord, bladgjødset med HydroPlus™ Mantrac 500 (100 ml/daa) den 15. juni i 2005. I tillegg ble de to hvetefeltene i 2005 soppsprøytet med Stratego (100 ml/daa) like før skyting (24. juni).



Tabell 4. Middeltemperatur (°C) og nedbør (mm), samt normalen for 1961-1990, ved Planteforsk Landvik i forsøksperioden 2004-2005.

	Temperatur, °C				Nedbør, mm		
	2004	2005	Normal		2004	2005	Normal
Jan		2.9	-1.6	Jan		83	113
Feb		0.2	-1.9	Feb		44	73
Mar		-0.1	1.0	Mar		49	85
Apr		6.1	5.1	Apr		39	58
Mai	12.1	9.7	10.4	Mai	45	130	82
Jun	13.9	14.2	14.7	Jun	110	57	71
Jul	15.3	17.7	16.2	Jul	80	100	92
Aug	17.2	15.5	15.4	Aug	246	104	113
Sep	12.8		11.8	Sep	99		136
Okt	8.2		7.9	Okt	338		162
Nov	3.6		3.2	Nov	74		143
Des	2.9		0.2	Des	116		102

Høstingen av raigraset ble utført tre ganger i løpet av vekstsesongen både i 2004 (6. juli, 10. august og 15-16. september) og i 2005 (27. juni, 1. august og 23. august). Like før hver høsting ble plantenes nitrogeninnhold bestemt ved hjelp av måleapparatet Hydro N-tester® (HNT). HNT-apparatet måler bladenes innhold av klorofyll, og siden klorofyllinnholdet er nært korrelert med nitrogeninnholdet, kan slike målinger være med å vurdere plantenes N-status. Målingene ble utført midt på plantens siste fullt utvikla blad på 30 tilfeldige planter pr rute.

Vårhveten ble tresket 6. september i 2004 og 21. august (lett jord) eller 30. august (tung jord) i 2005. Oppgitte kornavlinger er korrigert for vanninnhold (15%). I tillegg til kornavlingen ble halmavlingen (kg tørrstoff/daa) registrert i hver rute like etter tresking.

### 2.3.1 Gjødelsvirkning andre året (raigras)

Ettervirkningen av de ulike gjødselbehandlingene som var utført våren 2004 ble nærmere studert i et felt med raigras på lett jord i 2005.

I dette feltet ble det tidlig om våren (22. april) tatt ut jordprøver for N-MIN analyse for hver av de 14 ulike behandlingene (felles for 3 gjentak). Prøvedybden var 0-20 cm.

Det ble ikke tilført slam på noen av rutene i 2005, mens kontrollleddene ble gjødslet med 0 og 18 kg N/daa (10 kg N/daa 26. april + 8 kg

N/daa etter førstelåtten) i form av kalksalpeter.

Raigraset ble høstet to ganger i løpet av vekstsesongen (3. juni og 7. juli). På samme måte som i gjødslingsåret ble plantenes nitrogeninnhold bestemt ved hjelp av måleapparatet Hydro N-tester® like før hver av de to høstingene.

### 2.4 Spredning av granulert/pelletert slam

Muligheten for å spre slampelletet fra Arendal og SNJ og slamgranuler fra Bekkelaget, Gardermoen og Larvik med traktor og vanlig spredeutstyr ble undersøkt på Planteforsk Landvik 9. og 16. september 2004. Slammet fra Gjøvik var som tidligere nevnt lagret ute en periode før levering, og var for fuktig til spredning med slikt utstyr.

Spredeutstyret som ble brukt var sentrifugalspreder (Bøgballe) og pendelspreder (Vicon). Sprederne var ikke utstyrt med aktiv utmatingsmekanisme.

Testingen ble utført ved at oppsamlingskar (0,5 m x 0,5 m) ble plassert i linje, på tvers av kjøreretningen, fra midten (rett under sprederen) og til hver side av sprederen (figur 3). Traktorens kjørehastighet ved spredning var 6,1 km/t, og hastigheten på kraftoverføringsakselen var 540 o/min.

Forsøket ble utført med full (100 %) åpning ved testing av begge de to spredertypene. Mindre åpning gir så små mengder slam at det ikke er aktuelt å prøve ut nærmere.



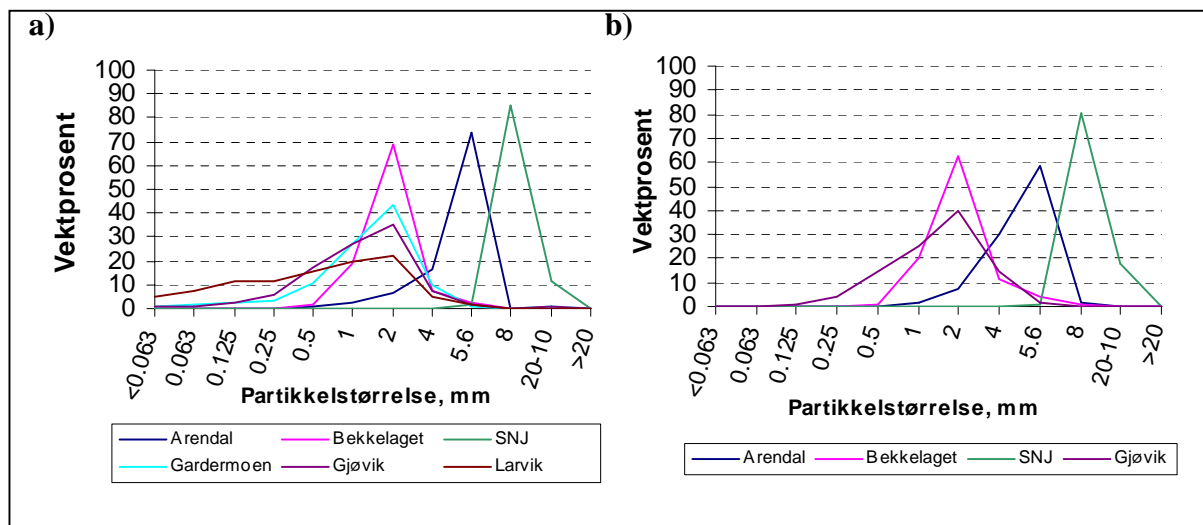
Figur 3. Spredning av Larvik-slam med pendelspreder 'Vicon' på Planteforsk Landvik 16. september 2004. Foto: L. Havstad

## 2.5 Statistiske analyser

I pottforsøkene ble det for hver slamtype, i pottes blanda med lett eller tung jord, utført en variansanalyse for å undersøke om det var forskjeller mellom de ulike uttakene med hensyn på glødetap, kornstørrelse over 4 mm og mineralisert N-innhold.

I feltforsøkene med raigras, både i gjødslings- og ettervirkningsåret, og med hvete ble det utført variansanalyser for vurdere forskjeller i Hydro N-tester (HNT) verdi og total tørrstoffavling (raigras) og legde ved høsting og korn- og halmavling (hvete) mellom de ulike behandlingene. Variansanalysene ble utført enten for enkeltfelt, eller som en felles variansanalyse for flere felt.

Analysene ble utført ved hjelp av SAS-prosedyren PROC GLM (SAS Institute 1990). Signifikansnivået (forkortet sign. i tabeller) er oppgitt som prosent. I denne rapporten er sikre forskjeller mellom uttak (pottforsøk) og behandlinger (feltforsøk) påvist ved et signifikansnivå på 5 prosent eller lavere. Sikre forskjeller er oppgitt som LSD<sub>5%</sub> (Least Significant Difference)-verdier, dvs. minste sikre differanse som skiller de ulike uttakene/behandlingene fra hverandre



Figur 4. Vektprosentvis størrelsesfordeling hos ulike slamtyper som i a) 2004 og b) 2005.

### 3. Resultater

#### 3.1 Slammets fysiske og kjemiske egenskaper:

##### 3.1.1 Kornfordelingsanalyse

Analysen viste at 80-85 prosent av slampartiklene fra SNJ, både i 2004 (figur 4a) og i 2005 (figur 4b) var på mellom 8 til 10 mm, mens partikkelstørrelsen til pelletsen fra Arendal i hovedvekt (73 % i 2004 og 58 % i 2005) lå på mellom 5,6 til 8 mm. Mest finpartikler var det i slammet fra Larvik i 2004 (figur 4a).

##### 3.1.2 Kjemisk analyse av slammet:

Tabell 5 viser at slamkomposten fra Norsk Jordforbedring hadde det laveste tørrstoffinnholdet av samtlige slamtyper. På tørrstoffbasis var imidlertid innholdet av organisk materiale (glødetapet) høyest i slamkomposten både i 2004 og 2005.

Av typene med granulert/pelletert slam hadde Gjøvik det laveste tørrstoffinnholdet i 2004. Dette skyldtes at slammet i en periode før levering var lagret utendørs. Slammet fra Gjøvik skilte seg også ut dette året ved å ha lavere pH og mer lett-tilgjengelig nitrat enn de andre slamtypene. I 2005 var pH og tørrstoffinnhold i Gjøvik-slammet på samme nivå med de andre slamtypene.

Innholdet av organisk bundet nitrogen var høyest i slammet fra Bekkelaget og Gardermoen i 2004 og i slammet fra Gjøvik i 2005. Begge åra ble det laveste N-innholdet funnet i slamkomposten fra NJF. Slamkomposten hadde imidlertid høyere innhold av mineralisert N enn de andre slamtypene. Av typene med slampellets/granuler var det organiske N-innholdet lavest i slammet fra Gjøvik og Larvik i 2004 og i slammet fra SNJ i 2005. Sammenlignet med de andre pellets/granulat-typene var innholdet av en del andre næringsstoff lavt i slammet fra Larvik i 2004 (tabell 5).

Tabell 5. Kjemisk analyse av ulike slamtyper brukt i forsøkene i 2004 og 2005.

	pH	% Ts	Glødetap % av ts	Tot-N g/100g ts	NH <sub>4</sub> -N mg/100g ts	NO <sub>3</sub> -N mg/100g ts	P g/100g ts	K g/100g ts	Ca g/100g ts	Mg g/100g ts
<b>2004:</b>										
Arendal	7,76	89,7	55	2,86	156	<0,4	2,17	0,24	1,81	0,386
Bekkelaget	7,88	81,9	56,2	3,57	516	<0,3	3	0,3	2,01	0,465
SNJ	7,31	91,1	49,5	2,74	249	<0,3	2,65	0,2	2,03	0,475
Gardermoen	8,45	76,1	58,9	3,8	842	3	3,26	0,24	1,87	0,275
Gjøvik	6,05	59,4	51	2,51	71,2	281	2,43	0,22	2,13	0,329
Larvik	7,41	91,1	51,7	2,38	165	5,1	1,77	0,14	1,85	0,217
NJF (slamkompost)	6,21	38,6	61,6	1,91	414	129	1,88	0,16	1,07	0,212
<b>2005:</b>										
Arendal	8,09	86,4	58,1	3,24	214	0,5	2,2	0,2	1,56	0,3
Bekkelaget	7,42	94,7	55,1	3,14	455	0,4	2,98	0,27	1,94	0,45
SNJ	7,41	91,8	48,2	2,54	249	<0,4	2,12	0,2	1,78	0,42
Gjøvik	8,13	90,2	55,8	3,5	245	2,5	2,09	0,29	1,69	0,32
NJF (slamkompost)	7,52	39,6	60,1	2,24	892	4,3	1,97	0,213	1,03	0,205

### 3.1.3 Slammets teoretiske gjødselvirkning

Tabell 6 viser at teoretisk gjødselvirkning første året (år 1) ved å tilføre 2 t slam-ts/daa varierte fra 7,1 kg N/daa (Larvik) til 19,4 kg N/daa (slam fra Gardermoen) i 2004, og fra 8,6 (SNJ) til 17 kg N/daa (slamkomposten fra NJF) i 2005. Grunnen til at slamkomposten

kom så godt ut i 2005 skyldtes det høye innholdet av lettløslig ammonium (tabell 6)

Beregningen av teoretisk N-effekt i ettervirkningsåret (år 2) viste at slamkomposten, som hadde det laveste innholdet av organisk bundet nitrogen, kom dårligst ut (tabell 6).

Tabell 6. Beregning av N-gjødslingseffekten til ulike slamtyper i gjødslingsåret (år 1) og i ettervirkningsåret (år 2) (etter Ugland m.fl., 1998a).

Enhet	Tot-N g/100g ts	NH <sub>4</sub> -N mg/100g ts	NO <sub>3</sub> -N mg/100g ts	Sum N-min g/100g ts	Gjødsleeffekt g/100g ts	Teoretisk gjødsleeffekt (Kg N/daa av 2 t TS)	
						År 1	År 2
<b>2004:</b>							
Arendal	2,86	156	<0,4	0,156	0,395	7,9	4,9
Bekkelaget	3,57	516	<0,3	0,516	0,718	14,4	5,5
SNJ	2,74	249	<0,3	0,249	0,448	9,0	4,5
Gardermoen	3,80	842	3,0	0,845	0,972	19,4	5,3
Gjøvik	2,51	71,2	281,0	0,352	0,498	10,0	3,9
Larvik	2,38	165	5,1	0,17	0,357	7,1	4,0
Norsk Jordforbedring	1,91	414	129	0,543	0,5711	11,4	2,5
<b>2005:</b>							
Arendal	3,24	214	0,5	0,215	0,474	9,5	5,5
Bekkelaget	3,14	455	0,4	0,455	0,633	12,7	5,0
SNJ	2,54	249	<0,4	0,249	0,428	8,6	4,2
Gjøvik	3,5	245	2,5	0,248	0,523	10,5	6,0
Norsk Jordforbedring	2,24	892	4,3	0,896	0,851	17,0	2,8

## 3.2 Slammets nedbrytning i jord

### 3.2.1 Organisk materiale

Ved start av forsøket i 2004 var det små forskjeller i organisk materiale mellom de ulike blandingene med lett jord og slam. Glødetapet på tørrstoffbasis lå mellom 10,1% (Arendal) og 11,3% (NJF) (tabell 7).

I middel for hele materialet var det organiske innholdet 1,4 prosentpoeng lavere ved avslutning av forsøket (etter 44 uker) enn ved

start av forsøket. Størst var nedgangen (2,8-2,9 prosentpoeng) i jordblandingene med slam fra Arendal og SNJ. Reduksjonen var imidlertid ikke signifikant for SNJ. For Larvik og for slampelletsen fra Norsk Jordforbedring var det bare små og usikre forskjeller i glødetap mellom første og siste uttak (tabell 7).

I 2005 var innholdet av organisk materiale ved start av forsøket om lag dobbelt så stort for de fleste slamtyper sammenlignet med forsøksstart i 2004. Lavest var innholdet, både i lett og tung jord, i slamkomposten fra Norsk



Jordforbedring (12,6-12,7%), mens pottene med slam fra Arendal hadde det høyeste organiske innholdet med 20,9% (tung jord) og 22,9% (lett jord) (tabell 8).

I lettjordspottene var det for de fleste slamtyper en sterk nedgang i organisk materiale allerede etter 2 uker. Utover i forsøksperioden, fra 2 til 15 uker, var nedgangen mindre. I middel for alle slamtypene var det organiske innholdet i

lettjordspottene redusert med 3,5 og 4,3 prosent etter henholdsvis 2 og 15 uker (tabell 8). I tungjordspottene var tilsvarende nedgang i organisk materiale henholdsvis 1,8 og 3,4 prosentpoeng.

Størst reduksjon i løpet av forsøksperioden ble funnet i lettjordspottene med slam fra Arendal (8,4 prosentpoeng) og i tungjordspottene med slam fra SNJ (5,4 prosentpoeng).

Tabell 7. Prosent glødetap hos ulike blandinger av slam og lett jord (siltig mellomstrand) i pottes under naturlige klimaforhold. Uttak etter 0, 2, 6, 17, 23 og 44 uker etter start av forsøket 21. mai 2004.

	Glødetap (%) etter uttak til ulik tid						Sign., %	LSD <sub>0,05</sub>
	Ved start (27.5-04)	2 uker (10.6)	6 uker (7.7)	17 uker (20.9)	23 uker (1.11-04)	44 uker (29.3-05)		
Arendal	10,1	9,1	8,4	9,1	8,9	7,2	2	1,5
Bekkelaget	11,0	10,9	10,4	9,3	9,3	9,8	5	1,2
Gardermoen	11,2	11,0	10,2	10,5	10,8	9,9	2	0,8
Gjøvik	10,6	10,7	10,7	10,9	9,0	10,0	3	0,7
Larvik	11,2	11,0	10,6	11,2	11,0	9,8	>20	-
SNJ	11,1	9,9	11,3	14,0	6,0	8,3	>20	-
NJF	11,3	9,1	9,4	10,1	9,7	10,6	14	-
Middel	10,9	10,2	10,1	10,7	9,2	9,4	2	0,83

Tabell 8. Prosent glødetap hos ulike blandinger av slam og enten lett eller tung jord i pottes under naturlige klimaforhold. Uttak etter 0, 2, 4, 8, 10, 12 og 15 uker etter start av forsøket 11. mai 2005.

	Glødetap (%) etter uttak til ulik tid								Sign., %	LSD <sub>5%</sub>
	Ved start (11.5)	2 uker (25.5)	4 uker (8.6)	6 uker (22.6)	8 uker (6.7)	10 uker (20.7)	12 uker (3.8)	15 uker (24.8)		
<b>Lett jord:</b>										
Arendal	22.9	15.6	15.4	16.8	16.5	15.8	16.7	14.5	<1	3,4
Bekkelaget	20.4	16.0	15.4	16.2	16.7	15.3	15.2	15.7	<1	0,9
Gjøvik	19.2	16.1	15.7	15.5	15.9	14.2	15.1	15.6	2	1,4
SNJ	15.4	13.6	13.5	15.0	14.9	16.2	15.6	13.0	22	-
NJF	12.7	11.8	11.1	10.9	11.0	10.5	10.0	10.4	<1	0,5
Middel	18.1	14.6	14.2	14.9	15.0	14.4	14.5	13.8	<1	1,9
<b>Tung jord:</b>										
Arendal	20.9	19.3		17.4		17.7		17.0	>20	-
Bekkelaget	19.6	17.5		17.1		17.7		17.0	2	1,5
Gjøvik	20.3	18.2		17.0		16.4		16.3	1	2,1
SNJ	20.5	17.7		16.8		15.7		14.8	3	3,2
NJF	12.6	12.4		12.0		12.3		11.8	>20	-
Middel	18.8	17.0		16.0		16.0		15.4	1	2,0

### 3.2.2 Fysisk struktur (kornstørrelse)

Andelen av store pellets/granuler (> 4 mm) i lettjordspottene fra Arendal, Bekkelaget og SNJ ble i løpet av hele forsøksperioden (44 uker) redusert med henholdsvis 4.9, 1.1 og 7.9 vektprosent i 2004 (tabell 9).

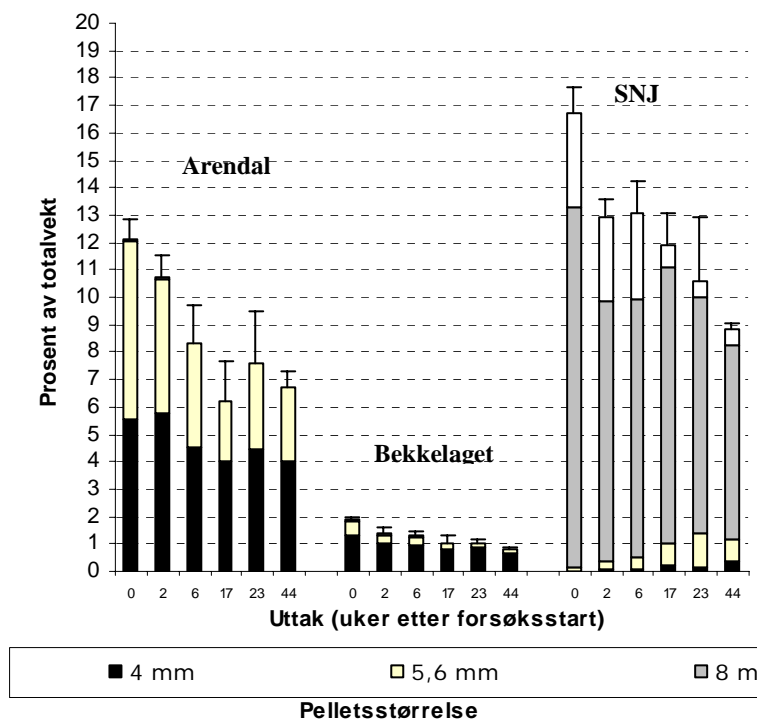
Andelen av den største kornfraksjonen hos SNJ (8-10 mm) ble redusert fra 16,6 til 7,7

vektprosent i løpet av forsøksperioden (figur 5). I samme periode ble andelen av største kornfraksjon hos Arendal og Bekkelaget (5,6-8 mm) henholdsvis redusert fra 6,6 til 2,7 og fra 0,6 til 0,1 vektprosent (figur 5). I tillegg til redusert kornstørrelse var pelletsen/granulene til de tre slamtypene tydelig lysere i farge etter endt forsøksperiode (figur 6a-c).

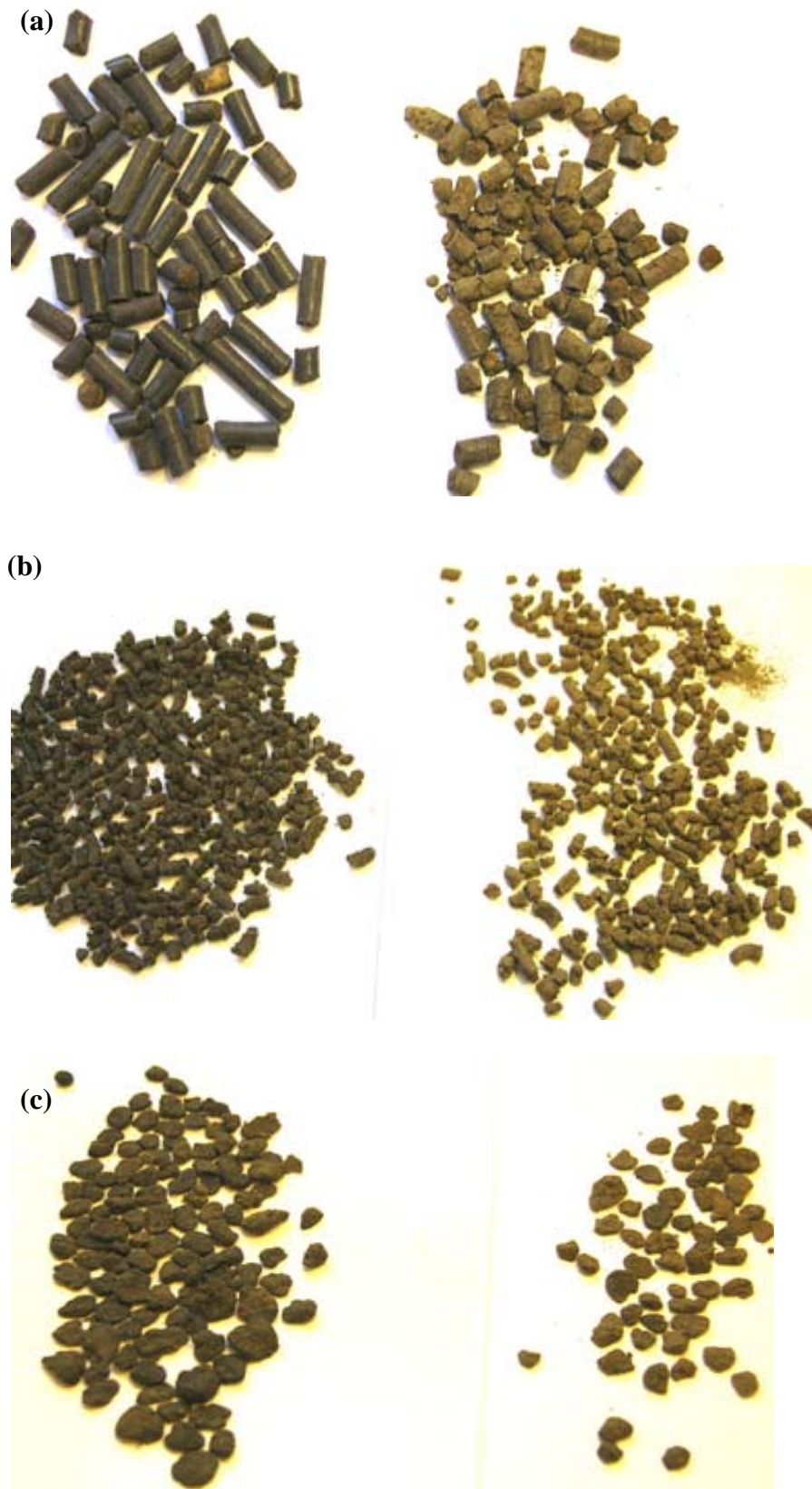
Tabell 9. Prosentvis andel av totalvekta hos ulike blandinger av slam og jord (lett og tung) som inneholdt pellets/granuler over 4 mm etter uttak til ulik tid i et potteforsøk ved Planteforsk Landvik i 2004.

		Andel av totalvekta (%) med pellets/granuler over 4 mm					Sign., %	LSD <sub>5%</sub>	
		Ved start (27.5-04)	2 uker (10.6)	6 uker (7.7)	17 uker (20.9)	23 uker (1.11-04)			44 uker (29.3-05)
Lett jord	Arendal	12,1	9,9	8,3	6,2	6,9	7,2	7,0	-
	Bekkelaget	1,9	1,4	1,3	1,0	1,0	0,8	0,3	0,42
	SNJ	16,7	12,9	13,0	11,9	10,4	8,9	5,0	4,7
	Middel	10,2	8,1	7,5	6,4	6,1	5,6	>20	-
Tung jord	Arendal	12,1 <sup>1)</sup>				7,2	8,2	5	3,9
	Bekkelaget	1,9 <sup>1)</sup>				0,7	0,7	2	0,7
	SNJ	16,7 <sup>1)</sup>				8,9	8,6	1	4,5
	Middel	10,2 <sup>1)</sup>				5,6	5,8	13	-

<sup>1)</sup> Estimerte verdier (brukt de samme verdiene som funnet i pottene med lett jord ved start av forsøket)



Figur 5. Prosentvis andel av totalvekta hos ulike blandinger av slam og lett jord som bestod av pellets/granuler med ulik størrelse (4-10 mm) etter uttak til ulik tid i et potteforsøk ved Planteforsk Landvik i 2004-05. Standardfeil for totalsum oppgitt.



Figur 6. Pellets (> 4 mm) fra (a) SNJ, (b) Arendal og (c) Bekkelaget ved start av forsøket (til venstre) og etter uttak etter 44 uker (til høyre) i ett potteforsøk ved Landvik i 2004-05. Foto: L. Havstad

Tabell 10. Prosentvis andel av totalvekta hos ulike blandinger av slam og jord (lett og tung) som bestod av pellets/granuler over 4 mm etter uttak til ulik tid i et pottforsøk ved Planteforsk Landvik i 2005.

		Andel av totalvekta (%) med pellets/granuler over 4 mm			Sign.	LSD <sub>5%</sub>
		Ved start (11.5)	2 uker (25.5)	15 uker (24.8)		
Lett jord	Arendal	17.2	16.7	16.8	> 20	-
	Bekkelag	4.0	2.9	2.8	> 20	-
	SNJ	21.7	18.1	19.7	> 20	-
	Middel	14.3	12.6	13.1	> 20	-
Tung jord	Arendal	22.0	19.0	18.5	> 20	-
	Bekkelag	4.4	4.0	3.6	> 20	-
	SNJ	23.5	20.2	20.2	> 20	-
	Middel	16.6	14.4	14.1	> 20	-

I likhet med i 2004, ble kornstørrelsen hos de tre slamtypene redusert i løpet av forsøksperioden på 15 uker i 2005. Forskjellene var imidlertid ikke signifikante (tabell 10).

En separat analyse, enten ved uttak etter 23 eller 44 uker (2004-forsøket) eller etter 2 og 15 uker (2005-forsøket), viste ingen sikker forskjell i kornstørrelse ( $p > 20$ ) mellom slammet i lettjords- og i tungjordspottene. I middel for de tre slamtypene var forskjellen i kornstørrelse over 4 mm mellom lettjords- og tungjordspottene mindre enn 1 vektprosent ved endt forsøksperiode både i 2004 (tabell 9) og i 2005 (tabell 10).

### 3.2.3 N-mineralisering

Ved start av forsøket var innholdet av mineralisert nitrogen i lettjordspottene høyest i slammet fra Bekkelaget og Gardermoen

(154-175 kg/daa), og minst i slammet fra Larvik og Arendal (32-48 kg/daa) (tabell 11).

Analysene viste at innholdet av lett tilgjengelig nitrogen var høyere etter 2 uker enn ved start av forsøket for alle slamtypene bortsett fra Gjøvik (tabell 11). I fra 2 til 6 uker ble N-innholdet kraftig redusert i alle slamtypene. Størst var reduksjonen i pottene med slam fra Gjøvik (92%) og Gardermoen (71%) og minst i pottene med slam fra SNJ (24%). Til sammenligning var nedgangen i slamkomposten fra Norsk Jordforbedring, som var med som kontroll i forsøket, på 80 prosent.

Innholdet av lettløslig nitrogen fortsatte å synke i alle slamtypene utover i forsøksperioden, og etter 23 uker (1. 11-04) var det bare minimale mengder igjen (0-3 kg/daa). Ved avslutningen av forsøket etter 44 uker (29.3-05) var N-innholdet høyest i pottene fra SNJ (3,4 kg/daa).



Tabell 11. Mineralisert nitrogen (kg/daa) hos ulike blandinger av slam og jord (lett og tung) etter uttak til ulik tid i et potteforsøk under naturlige klimaforhold ved Planteforsk Landvik i 2004.

		Mineralisert nitrogen (kg/daa)						Sign., %	LSD <sub>5%</sub>
		Ved start (27.5-04)	2 uker (10.6 )	6 uker (7.7)	17 uker (20.9)	23 uker (1.11-04)	44 uker (29.3-05)		
Lett jord	Arendal	32.9	71.5	40.9	3.9	0.6	0.8	<0,1	11,0
	Bekkelaget	154.7	195.7	120.1	11.4	0.9	1.4	<0,1	25,8
	Gardermo	175.3	231.3	67.8	11.5	0.7	0.9	<0,1	17,3
	Gjøvik	77.9	62.8	5.0	5.7	0.3	0.6	<0,1	9,9
	Larvik	47.5	49.7	30.5	4.0	0.3	0.6	<0,1	7,1
	SNJ	135.5	167.2	127.5	18.5	2.5	3.4	<0,1	48,5
	NJF	113.1	138.5	27.9	3.8	0.4	0.7	<0,1	30,5
	Middel	105.2	130.9	60.0	8.4	0.8	1.2	<0,1	27,4
Tung jord	Arendal					0.6	0.9	>20	-
	Bekkelaget					0.7	1.3	>20	-
	Gardermo					0.4	0.7	>20	-
	Gjøvik					0.3	0.6	>20	-
	Larvik					0.4	0.6	>20	-
	NJF					0.7	1.0	>20	-
	SNJ					1.9	2.2	>20	-
	Middel					0.7	1.0	>20	-

I pottene med tung jord var det ingen sikre forskjeller mellom uttak etter 23 og 44 uker for noen av slamtypene (tabell 11).

I middel for alle slamtypene var det svært små forskjeller i mineralisert N-innhold (0,1-0,2 kg N/daa) mellom lettjords- og tungjordspottene både etter 23 og 44 uker (tabell 11).

### 3.3 N-opptak og gjødselvirkning første året (raigras)

#### 3.3.1 Opptak av nitrogen i plantene

I middel for tre høstetider var HNT-verdiene på ugjødsla ruter høyere i feltet anlagt på tung jord enn i begge de to lettjordsfeltene. Lavest var HNT-verdiene på ugjødsla ruter i lettjordsfeltet i 2005 (tabell 12).

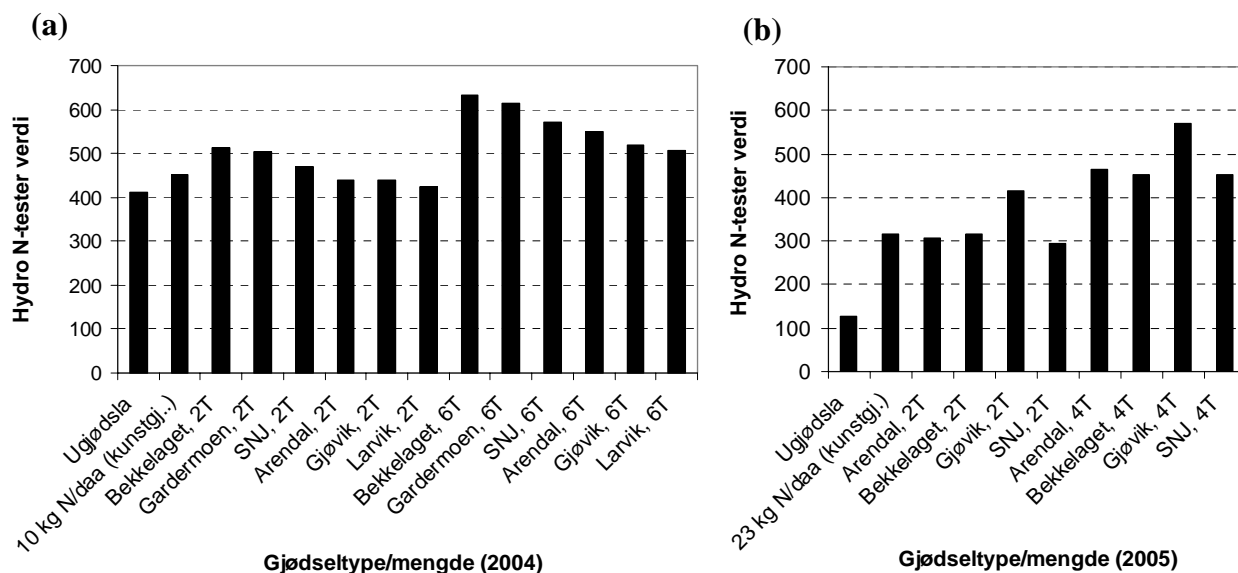
I middel for de ulike slamtypene førte tilførsel av 2 og 4 eller 6 t slam/daa til en økning av Hydro N-Tester (HNT) -verdiene sammenlignet med ugjødsla ruter i alle de tre feltene. Minst positive utslag for tilførsel av slam var det i feltet med tung jord i 2004 (tabell 12) .

HNT-verdiene på ruter tilført 2 t slam-ts/daa var, i middel for slamtyper, på nivå eller høyere enn ruter tilført mineralgjødsel (tabell 12).

Tabell 12. Effekt av ulike gjødselmengder/typer på HNT-verdier målt like før høsting av raigraset (middel av 3 slåttetider) i 2004 (to felt) og 2005 (ett felt).

Behandling	Hydro N-tester verdier (middel av 3 slåttetider)			
	Lett jord		Tung jord	
	HNT-verdi	Rel. tall	HNT-verdi	Rel. tall
<b>2004:</b>				
Ugjødsla	369	100	451	100
Mineralgjødsel (10 kg N/daa)	439	119	467	104
2 t slam-ts/daa <sup>1)</sup>	437	118	493	109
6 t slam-ts/daa <sup>1)</sup>	551	149	580	129
<b>2005:</b>				
Ugjødsla	127	100		
Mineralgjødsel (23 kg N/daa)	316	248		
2 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	333	262		
4 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	485	382		

<sup>1)</sup> Middel av seks ulike slamtyper i 2004, <sup>2)</sup> Middel av fire ulike slamtyper i 2005



Figur 6. Virkning av ulike gjødselmengder/typer på Hydro N-tester verdier i Westervoldsk raigras målt like før grashøsting. Middel av to felt og tre slåttetider i 2004 (a) og ett felt og tre slåttetider i 2005 (b).

I middel for to felt og tre slåttetider ble de høyeste HNT-verdiene i 2004 målt på ruter med raigras gjødslet med 6 t slam-ts/daa fra Bekkelaget og Gardermoen (figur 6a). Året etter (2005) kom rutene gjødslet med største slammengde (4 t slam-ts/daa) fra Gjøvik best ut (figur 6b).

### 3.3.2 Tørrstoffavling

Som vist i tabell 13 ble det på ugjødsla ruter i det næringsrike feltet med tung jord (2004) høstet mer enn to og fem ganger så høye tørrstoffavlinger som på tilsvarende ruter i de mer næringssvake lettjordsfeltene i henholdsvis 2004 og 2005.

Tabell 13. Effekt av ulike gjødselmengder/typer på total tørrstoffavling (kg/daa) av raigraset (sum av 3 slåttetider).

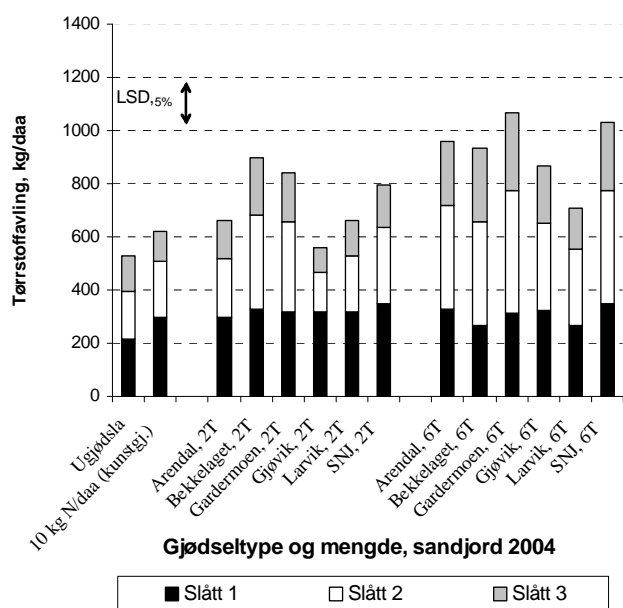
Behandling	Tørrstoffavling			
	Lett jord		Tung jord	
	kg/daa	Rel. tall	kg/daa	Rel. tall
<b>2004:</b>				
Ugjødsla	529	100	1108	100
Mineralgjødsel (10 kg N/daa)	622	118	1156	104
2 t slam-ts <sup>1)</sup>	735	139	1147	104
6 t slam-ts <sup>1)</sup>	926	175	1306	118
Middel	608		1213	
<b>2005:</b>				
Ugjødsla	220	100		
Mineralgjødsel (23 kg N/daa)	742	337		
2 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	884	402		
4 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	1109	505		
Middel	893			

<sup>1)</sup> Middel av seks ulike slamtyper i 2004, <sup>2)</sup> Middel av fire ulike slamtyper i 2005

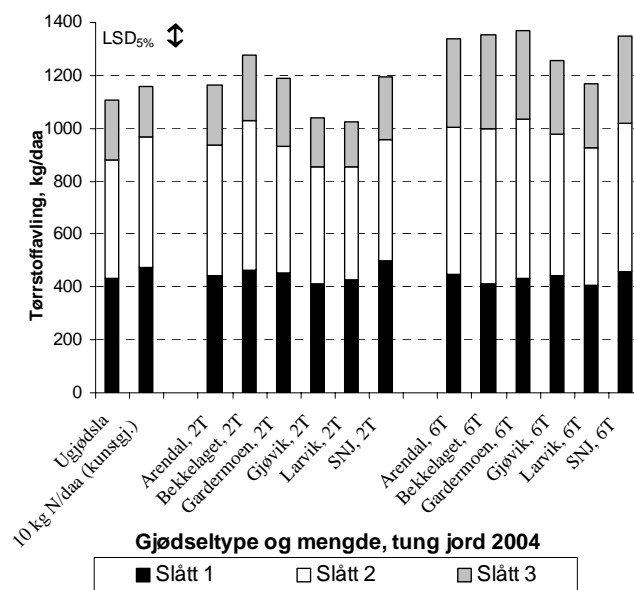
I middel for de ulike slamtypene førte tilførsel av 2 t slam-ts/daa til minimal økning i tørrstoffavlingene i tungjordsfeltet (4 prosent) sammenlignet med ugjødsla ruter, mens tilsvarende økning i lettjordsfeltene var på 39

og 302 prosent i henholdsvis 2004 og 2005. De største TS-avlingene i alle tre felt ble oppnådd på ruter gjødslet med største mengde slam (4 eller 6 t slam-ts/daa (tabell 13).

a)



b)



Figur 7. Virkning av ulike gjødselmengder/typer på tørrstoffavlingen (kg/daa) ved ulike slåttetider i Westervoldsk raigras i felt med lett jord (a) og tung (b) jord i 2004 og i ett lettjordsfelt (c) i 2005.

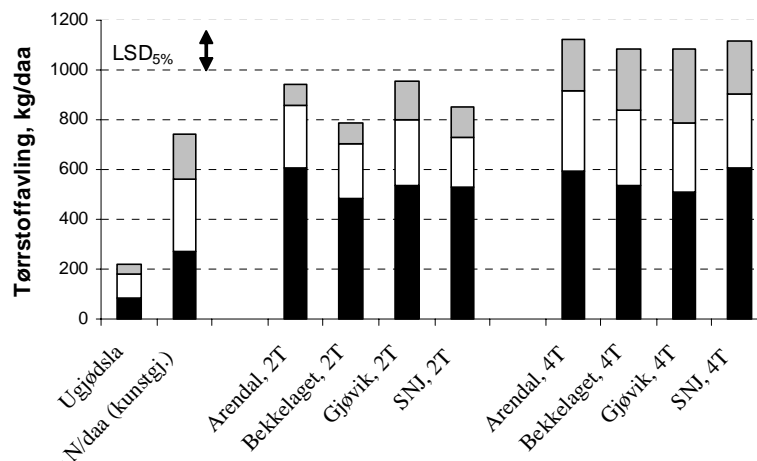
Av de ulike slamtypene kom naturlig nok ruter gjødslet med største slammengde (6 t slam-ts/daa) fra Gardermoen og SNJ best ut i begge feltene i 2004 (figur 7), mens de høyeste tørrstoffavlingene i 2005 ble høstet på ruter gjødslet med største slammengde (4 t slam-ts/daa) fra SNJ og Arendal (figur 8).

I middel for begge felt ble de laveste tørrstoffavlingene av de seks undersøkte slamtypene i 2004, både ved tilførsel av 2 og 6 t slam-ts/daa, oppnådd på ruter gjødslet med slam fra Larvik og Gjøvik. For disse to slamtypene var det ved laveste slammengde (2t slam-ts/daa) liten eller ingen avlingsgevinst å hente sammenlignet med ugjødsla ruter (figur 6). I lettjordsfeltet i 2005 var tørrstoffavlinger på rutene gjødslet med

minste slammengde (2 t slam-ts/daa) for alle slamtypene signifikant høyere enn på ugjødsla ruter (figur 7).

For ruter gjødslet med minste slammengde (2 t slam-ts/daa) fra Larvik og Gjøvik i 2004 ble om lag halvparten (45-49%) av den totale tørrstoffavlingen høsta ved første slåttetid. I de to siste slåttetidene var tilsvarende andel høyest på ruter gjødslet med største slammengde (6 t slam-ts/daa) fra Bekkelaget og Gardermoen (figur 7a og 7b).

Av de ulike slamtypene i 2005 ble det ved siste høstetid (slått 3) oppnådd størst tørrstoffavlinger, både ved tilførsel av 2 og 4 t slam-ts/daa, på ruter gjødslet med slam fra Gjøvik (figur 8).



Figur 8. Virkning av ulike gjødselmengder/typer på tørrstoffavlingen (kg/daa) ved ulike slåttetider i Westervoldsk raigras i et felt med lett jord i 2005.

### 3.4 N-opptak og gjødselvirkning andre året (raigras)

#### 3.4.1 Innholdet av mineralisert nitrogen i jorda før vekststart

Ved start av vekstsesongen 2005 var det små forskjeller i jordas N-innhold (0-20 cm dybde) mellom ugjødsla ruter og ruter som året før var gjødslet med 2 t slam-ts/daa (uansett

slamtype) eller med mineralgjødsel (tabell 14).

Høyest var N-innholdet på ruter som året før var gjødslet med største mengde slam (6 t slam-ts/daa) fra Bekkelaget og SNJ. På disse rutene var jordas N-innhold henholdsvis seks og tre ganger så stort som på ugjødsla ruter (tabell 14).



Tabell 14. Innholdet av mineralisert nitrogen ved vekststart i 2005 i jord (0-20 cm) som året før (2004) var tilført ulike gjødselmengder og typer.

Slam-/ gjødseltype tilført i 2004	Slammengde ( kg TS/daa) tilført i 2004	Mineralisert nitrogen (kg/daa)		
		NH <sup>4+</sup>	NO <sub>3</sub> -	Total N
Ingen gjødsling		0.16	0.16	0.32
Kalksalpeter (10 Kg N/daa)		0,20	0.19	0,39
Arendal	2	0.31	0.17	0.38
Bekkelaget	2	0.23	0.21	0.44
SNJ	2	0.18	0.12	0.29
Gardermoen	2	0.22	0.09	0.31
Gjøvik	2	0.10	0.11	0.21
Larvik	2	0.15	0.13	0.28
Arendal	6	0.65	0.20	0.85
Bekkelaget	6	1.13	0.73	1.86
SNJ	6	0.56	0.42	0.98
Gardermoen	6	0.42	0.18	0.59
Gjøvik	6	0.20	0.18	0.37
Larvik	6	0.22	0.15	0.37

### 3.4.1 N-opptak og tørrstoffavling

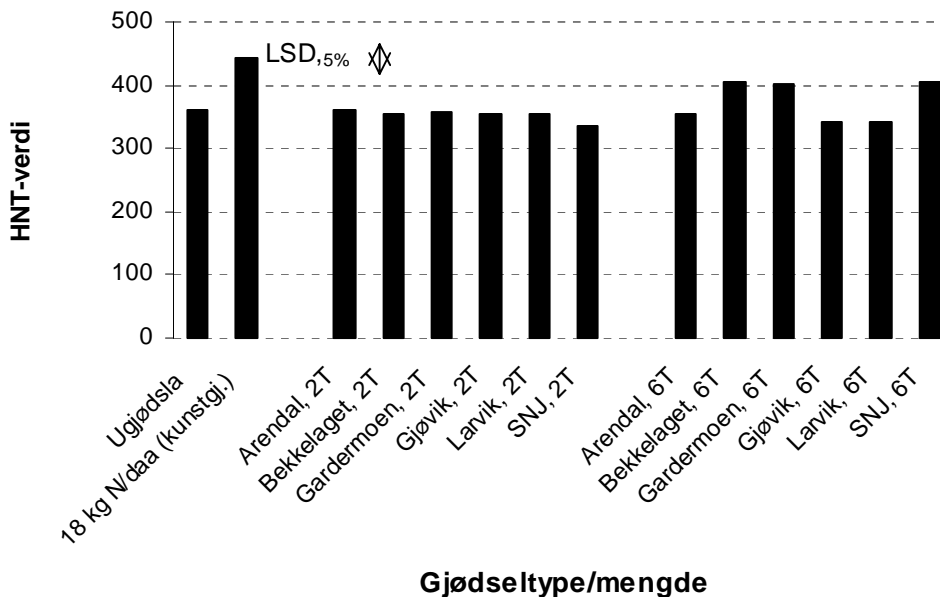
I middel for de seks slamtypene var det små forskjeller mellom ruter gjødsla med minste slammengde (2 t slam-ts/daa) og ugjødsla ruter både med hensyn til HNT-verdier og tørrstoffavling (tabell 15).

Ved å øke slammengden fra 2 til 6 t slam-ts/daa i 2004 økte gjennomsnittlig HNT-verdi og tørrstoffavling året etter med henholdsvis 6 og 54 prosent (tabell 15).

Tabell 15. Eftervirkning av ulike slamtyper/mengder tilført våren 2004 på HNT-verdier, som middel av 2 slåttetider, og tørrstoffavling, oppgitt som sum av to grashøstinger, av raigras i 2005.

Behandling	HNT-verdier		Tørrstoffavling	
	HNT-verdi	Rel. tall	Kg/daa	Rel. tall
Ugjødsla	360	100	190	100
Mineralgjødsel (18 kg N/daa)	444	123	382	201
2 t slam-ts/daa <sup>1)</sup>	353	98	197	104
6 t slam-ts/daa <sup>1)</sup>	375	104	301	158

<sup>1)</sup> Middel av seks ulike slamtyper tilført våren 2004

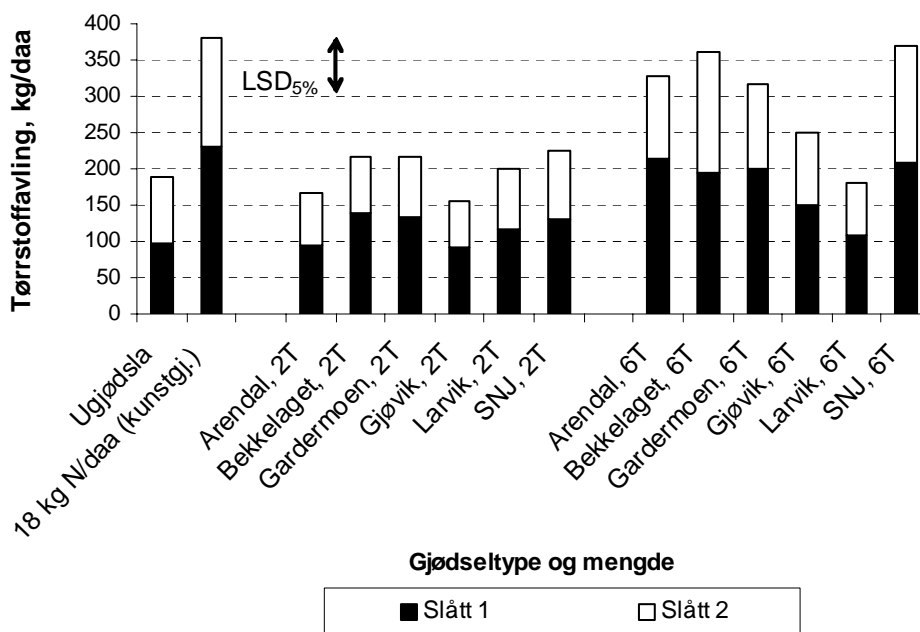


### Gjødseltype/mengde

Figur 9. Ettervirkning av ulike slamtyper/mengder tilført våren 2004 på Hydro N-tester verdier i Westervoldsk raigras målt like før grashøsting i 2005. Middell av 2 slåttetider.

Planter på kontrollrutene gjødslet med mineralgjødsel (til sammen 18 kg N/daa) oppnådde høyere N-opptak (HNT-verdi) og produserte mer tørrstoff enn planter gjødslet med 2 eller 6 t slam-ts/daa uansett slamtype. Nærmest kom rutene gjødslet med største slammengde fra Bekkelaget og SNJ både med

hensyn til N-opptak og tørrstoffproduksjon. I middel for de to slåttetidene var HNT-verdiene og tørrstoffavlingen for disse to slamtypene henholdsvis 8-9 prosent (figur 9) og 3-5 prosent (figur 10) lavere enn på mineralgjødsla ruter.



Figur 10. Ettervirkning av ulike slamtyper/mengder tilført våren 2004 på tørrstoffavlingen (kg/daa) i Westervoldsk raigras høstet i 2005. Middell av 2 slåttetider.

### 3.5 N-opptak og gjødselvirkning første året (vårhvete)

#### 3.5.1 Kornavling og legde ved høsting

I middel for hele forsøksmateriale (alle ledd) var kornavlingen mer enn dobbelt så høy i tungjordsfeltet i 2005 enn i feltene med tung

og lett jord i henholdsvis 2004 og 2005 (tabell 16).

I middel for ulike slamtyper var det en avlingsgevinst å hente ved å tilføre mineralgjødsel (3 kg N/daa) samtidig med minste slammengde (2 t slam-ts/daa) i lettjordsfeltet, men ikke i feltet med tung jord (tabell 16).

Tabell 16. Effekt av gjødsel/slamtype og mengde på kornavling (kg/daa) av vårhvete i 2004 (ett forsøk) og 2005 (to forsøk)

Behandling	Kornavling			
	Lett jord		Tung jord	
	kg/daa	Rel. tall	Kg/daa	Rel. tall
<b>2004:</b>				
Ugjødsla			333	100
Mineralgjødsel (10 kg N/daa)			293	88
2 t slam-ts <sup>1)</sup>			314	94
6 t slam-ts <sup>1)</sup>			317	95
Middel			315	
<b>2005:</b>				
Ugjødsla	199	100	568	100
Mineralgjødsel (10+3 kg N/daa)	363	182	865	152
2 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	398	200	839	148
2 t slam-ts/daa <sup>2)</sup> + startgj. (3 kg N/daa)	420	211	828	146
4 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	371	187	861	152
Middel	380		825	

<sup>1)</sup> Middel av seks ulike slamtyper i 2004, <sup>2)</sup> Middel av fire ulike slamtyper i 2005

I 2004 var det bare små og usikre forskjeller i kornavling mellom de ulike ledda. Størst avling ble oppnådd på ruter gjødslet med største slammengde (6 t slam-ts/daa) fra SNJ, mens kornavlingen var lavest på ruter gjødslet med minste mengde slam (2 t slam-ts/daa) fra Gjøvik (tabell 17). Det var ingen legde ved høsting i feltet i 2004.

I 2005 var det sikre forskjeller mellom de ulike behandlingene både i lett- og tungjordsfeltet ved at ugjødsla ruter kom signifikant dårligere ut enn de andre ledda. Det var ikke sikre forskjeller mellom kontrollledet med mineralgjødsel (10+3 kg N/daa) og de

ulike leddene med slamtilførsel med hensyn til kornavling verken i lett- eller i tungjordsfeltet (tabell 18).

I middel for begge felte i 2005 ble den høyeste kornavlingen oppnådd på ruter gjødslet med 2 t slam-ts fra Bekkelaget. Kornavlingen på disse rutene var 71 prosent høyere enn på ugjødsla ruter (tabell 18).

Mens det ikke var legde ved høsting i lettjordsfeltet, gav mange av behandlingene kraftig legde (> 50%) i tungjordsfeltet i 2005. Mest legde (62 prosent) ble notert på ruter gjødslet med største mengde slam fra Arendal (4 t slam-ts/daa) (tabell 18).

Tabell 17. Virkning av slam/gjødseltype og mengde på kornavling (kg/daa) i ett felt (tung jord) med vårhvete på Planteforsk Landvik i 2004. (Sign. >20%.)

Gjødsel-/slamtype	Kornavling (kg/daa)		
	Kontroll	2 t slam-ts/daa	6 t slam-ts/daa
Ugjødsla	333.2	-	-
Mineralgjødsla (10 kg N/daa)	292.5	-	-
Arendal	-	335.3	338.0
Bekkelaget	-	306.6	304.7
Gardermoen	-	325.2	322.2
Gjøvik	-	282.8	296.7
Larvik	-	340.3	290.2
SNJ	-	295.9	349.7

Tabell 18. Virkning av slam/gjødseltype og mengde på % legde ved høsting (ett felt) og kornavling (to felt) med vårhvete på Planteforsk Landvik i 2005.

Slammengde (t slam- ts/daa)	Gjødsel-/ slamtype	% legde	Kornavling (kg/daa)			
		Tung jord	Lett jord	Tung jord	Middel	Rel. tall
-	Ugjødsla	0	199	568	383	100
-	Mineralgjødsla (10+3 kg N/daa)	3	363	865	614	160
2	Arendal	3	365	817	591	154
2	Bekkelaget	10	443	866	655	171
2	Gjøvik	28	388	819	603	157
2	SNJ	0	396	853	625	163
2	Arendal+ startgj. (3 kg N/daa)	57	384	810	597	156
2	Bekkelaget+ startgj. (3 kg N/daa)	33	459	791	625	163
2	Gjøvik+ startgj. (3 kg N/daa)	58	434	842	638	166
2	SNJ+ startgj. (3 kg N/daa)	13	404	869	637	166
4	Arendal	62	384	854	619	162
4	Bekkelaget	33	383	899	641	167
4	Gjøvik	37	374	819	597	156
4	SNJ	50	343	872	608	159
Sign., %		<0,1	2	<0,1	<0,1	
LSD, 5%		32	112	103	82	



### 3.5.2 Halmavling

På ugjødsla ruter ble de minste halmavlingene høsta i feltet med lett jord i 2005. I middel for ulike slamtyper, førte tilførsel av 2 t slam-ts/daa til 85 prosent høyere halmavling sammenlignet med ugjødsla ruter på lettjordsfeltet. I de to tungjordsfeltene var tilsvarende gevinst av å tilføre 2 t slam-ts 12

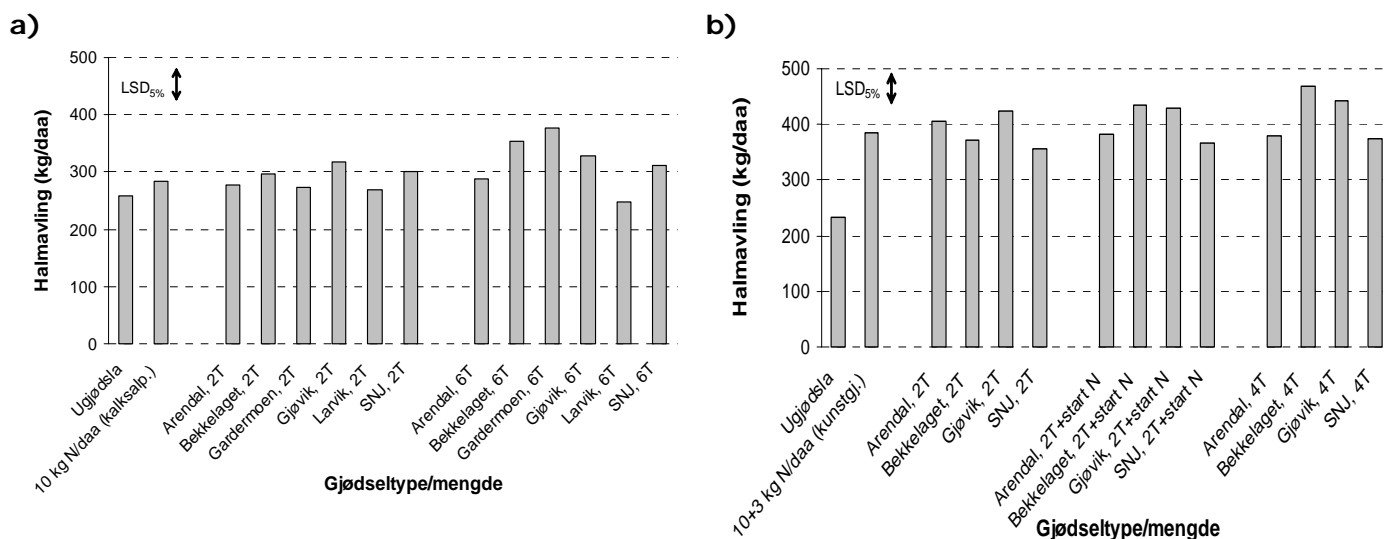
og 57 prosent i henholdsvis 2004 og 2005 (tabell 19).

De høyeste halmavlingene ble oppnådd på ruter gjødslet med største slammengde fra Bekkelaget og Gardermoen i 2004 (figur 11a) og Gjøvik og Bekkelaget i 2005 (figur 11b). Lavest halmavling ble oppnådd på ugjødsla ruter og på ruter gjødslet med slam fra Larvik (2004) og slam fra SNJ (2005).

Tabell 19. Effekt av gjødsel/slamtype og mengde på halmavling (kg TS/daa) i 2004 og 2005.

Behandling	Halmavling			
	Lett jord		Tung jord	
	kg/daa	Rel. tall	Kg/daa	Rel. tall
<b>2004:</b>				
Ugjødsla			259	100
Mineralgjødsel (10 kg N/daa)			283	109
2 t slam-ts <sup>1)</sup>			289	112
6 t slam-ts <sup>1)</sup>			318	123
Middel			299	
<b>2005:</b>				
Ugjødsla	179	100	285	100
Mineralgjødsel (10+3 kg N/daa)	335	188	432	152
2 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	331	185	447	157
2 t slam-ts/daa <sup>2)</sup> + startgj. (3 kg N/daa)	343	192	465	163
4 t slam-ts/daa <sup>2)</sup>	328	184	503	176
Middel	323		455	

<sup>1)</sup> Middel av seks ulike slamtyper i 2004, <sup>2)</sup> Middel av fire ulike slamtyper i 2005

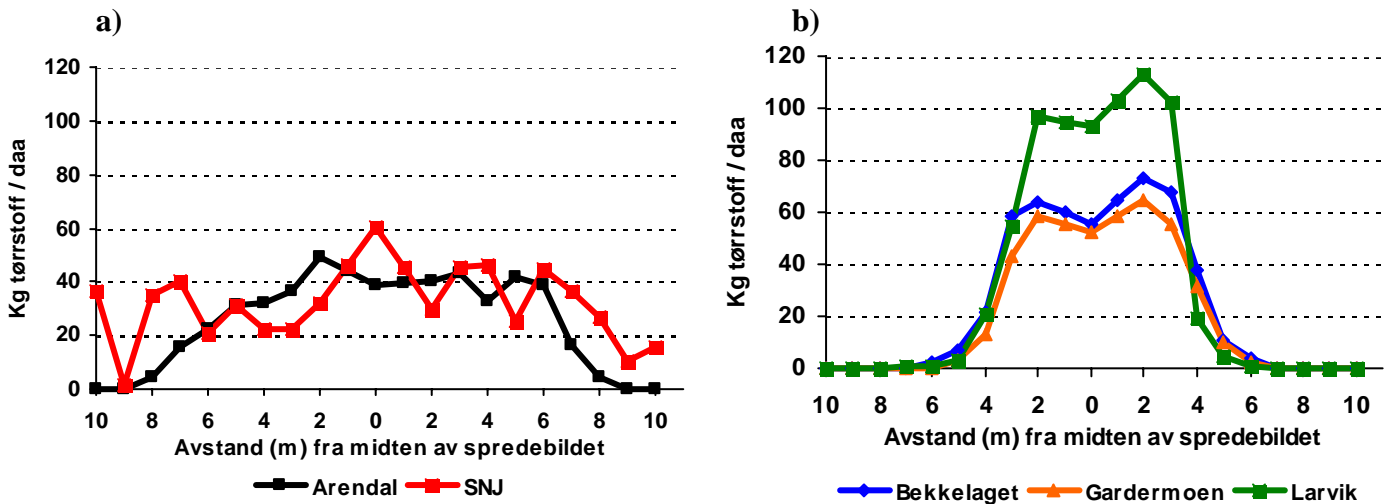


Figur 11. Virkning av ulike gjødsel-/slamtyper og mengder på halmavling (kg TS/daa) av vârhvete på Planteforsk Landvik i (a) 2004 (ett felt) og (b) 2005 (middel av to felt).

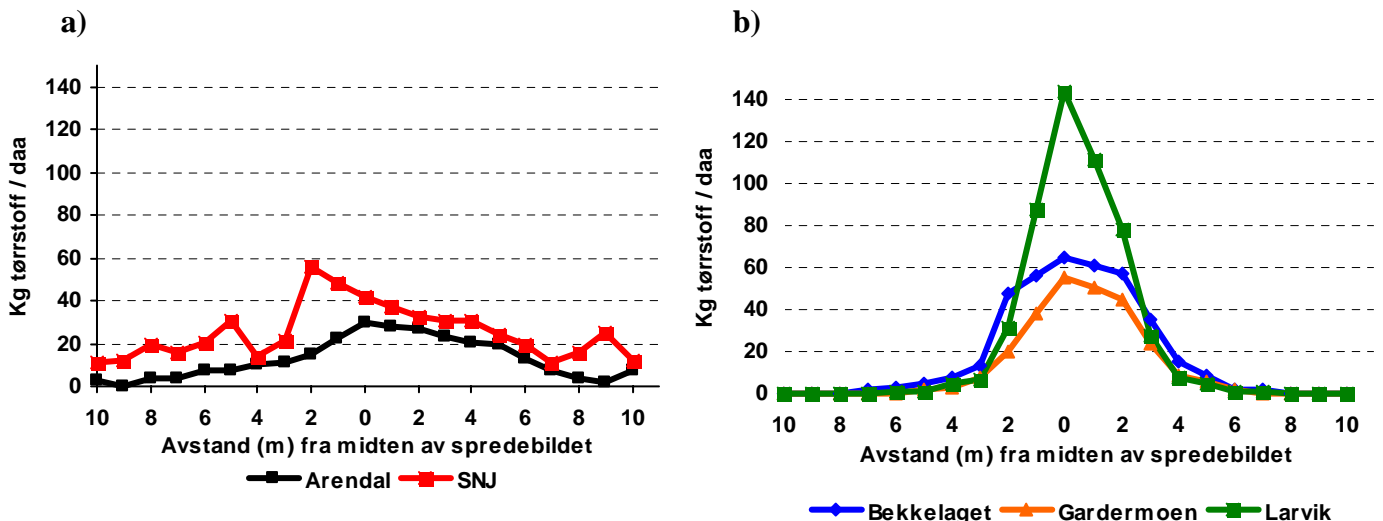
### 3.6. Bruk av vanlig spredeutstyr til å spre granulert/pelletert slam

For begge spredertypene var spredebredden ved full spredeåpning relativt stor for pellets fra Arendal og SNJ, men pelletsen ble noe tilfeldig fordelt innenfor spredebildet (figur 12a og

13a). Ved spredning av granulene fra Bekkelaget, Gardermoen og Larvik ble spredebredden sterkt innsnevret. Største mengde, 120 kg TS/daa ved bruk av pendelsprederen og 140 kg TS/daa ved bruk av sentrifugalsprederen, ble oppnådd ved spredning av slammene fra Larvik (figur 12b og 13b).



Figur 12. Spreddebildet ved spredning av slampellets (a) og slamgranuler (b) ved kjøring med pendelspreder (Vicon) ved full utmatingsåpning.



Figur 13. Spreddebildet ved spredning av slampellets (a) og slamgranuler (b) ved kjøring med sentrifugalspreder (Bøgballe) ved full utmatingsåpning.

#### 4. Diskusjon

Slamtypene som var med i prosjektet var framstilt ved hjelp av ulike prosesser (tabell 1) og hadde av den grunn ulike egenskaper, både med hensyn til størrelse, struktur (figur 1 og 4) og innholdsstoffer (tabell 5 og 6). Mens slampartiklene fra Arendal og SNJ var relativt store, med en typisk pelletstruktur, var slammet fra de andre rensanleggene mindre med en mer grynet/kornet struktur (granuler). Spesielt skilte slammet fra Larvik seg ut ved å bestå av svært små partikler (figur 1 og 4).

Kjemiske analyser av slam forteller mye om slammets gjødselverdi og kan brukes til å beregne gjødselverdi av slam og til å utarbeide gjødselplaner. "Ekebergs formel" om sammenhengen mellom innhold av organisk bundet og mineralisert nitrogen (referert i Kap. 2.1.) ble utviklet på 1990-tallet, blant annet gjennom forsøk med et betydelig antall slamtyper i prosjektet *Bruk av slam i jordbruket*. (Ugland m.fl. 1998).

Slamtypene som ble utprøvd i det prosjektet var i hovedsak utrånnet slam og ulike kalkbehandlede slamtyper. IVAR/SNJ hadde allerede den gang, som eneste anlegg, et tørket slam med i undersøkelsene.

En annen serie med slamtyper ble undersøkt i prosjektet *Slam og kompost i grøntanlegg* som ble avsluttet i 2004 (Sæbø m.fl. 2005). Her inngikk til sammen 11 typer slam, hvorav to typer tørket slam som også er undersøkt i dette prosjektet, nemlig fra SNJ og Arendal.

Når det gjelder totalt innhold av nitrogen så viste analyser av 15 ukalkede slamtyper som ble undersøkt i årene 1994 – 1996 et gjennomsnittlig innhold på ca 2,0 g N/100 g ts slam. Tørket slam fra SNJ i 1994 inneholdt 2,1 g N/100 pr 100 g ts slam (Ekeberg 2000).

Gjennomsnittlig innhold av nitrogen i tørket slam i dette prosjektet har vært 3,0 g N/100

pr 100 g ts slam, altså en betydelig økning fra slamtypene som ble produsert midt på 1990-tallet.

Analyser av ulike typer slam som ble undersøkt i prosjektet *Slam og kompost i grøntanlegg* i 2002 viste et gjennomsnittlig innhold av organisk materiale på 59,3% av ts og et innhold av totalnitrogen på 2,4%. Dette prosjektet omfattet imidlertid både kompostert og utrånnet slam i tillegg til tørket slam og datamaterialet varierte mye.

Totalinnhold av nitrogen henger nøye sammen med innhold av organisk materiale i slammet. Selv om datamaterialet ikke er stort, og selv om trenden ikke er bekreftet av slamprodusentene, ser det fra et brukersynspunkt ut til at tørket slam levert i 2004/2005 inneholder mer organisk materiale og mer nitrogen enn slam levert ti år tidligere. Utviklingen gjelder i alle fall slamprøver i dette prosjektet.

Dette har imidlertid ingen betydning for prosjektets hypotese om at Ekebergs formel for beregning av gjødselverdi også gjelder for tørket slam.

#### 4.1 Slammets nedbryting i jord

##### 4.1.1 Organisk materiale

Det organiske materialet i slammet blir brutt ned av forskjellige typer bakterier og sopp. Først blir som regel lett nedbrytbare forbindelser, som f. eks proteiner, brutt ned, mens for eksempel cellulose og andre tyngre nedbrytbare produkter blir brutt ned senere i prosessen.

Med tilgang på oksygen, vann og god temperatur vil nedbrytningen av organisk materiale gå raskt. I forsøk med lagring av slam i friluft fant Ekeberg (1991) at om lag halvparten av det organiske innholdet var brutt ned etter ett år.

Ved nedmolding i jord, med mindre luft og lavere temperatur, vil nedbrytingen gå saktere. I en forsøksserie hvor nedbrytingen av slam i jord ble fulgt gjennom flere år ble 30% brutt ned etter 3 år, 40% etter 5 år, 60 % etter 9 år og 80% etter 15 år (Ekeberg 2000).

Forsøkene med innblanding av pelletert/granulert slam i jord (tabell 7 og 8) viste en gradvis nedbryting av organisk materiale i løpet av den første vekstsesongen etter slamtilførsel. Nedbrytingshastigheten varierte imidlertid mellom de ulike slamtypene. I det første forsøket (2004-05) ble 25-30 prosent av det organiske materialet i pelletsen fra Arendal og SNJ brutt ned i løpet av forsøksperioden (etter 44 uker), mens tilsvarende nedbrutt andel i slammet fra Gjøvik og i slamkomposten fra SNJ var om lag 6 prosent (tabell 7). Ettersom Gjøvik-slammet var blitt lagret utendørs på renseanlegget i en periode kan den lave nedbrytingshastigheten skyldes at omsetningen av lett nedbrytbart materiale allerede var kommet i gang før forsøket startet. Som nevnt går nedbrytingsprosessene raskest til å begynne med (Ekeberg 1991).

Også i det andre forsøksåret (tabell 8) var nedbrytingen av organisk materiale ved endt forsøksperiode kommet lengst i slammet fra Arendal (lett jord) og SNJ (tung jord). Andelen av nedbrutt materiale i de to slamtypene etter 15 uker var henholdsvis 37 og 28 prosent. Den raske nedbrytingen av slammet med den mest markerte pelletsen indikerer at omsetningen av organisk materiale ikke ser ut til å hindres av robust struktur og stor kornstørrelse.

Sammenlignet med slamkomposten, som var med som kontroll i forsøkene, var nedbrytingshastigheten til granulene/pelletsen

fra alle renseanleggene på samme nivå eller raskere både i 2004 og i 2005. Dette forsterker inntrykket av at nedbrytingen av organisk materiale ikke går seinere i slam som er tørket og granulert/pelletert enn i slam framstilt på andre måter uten tørking.

Selv om trenden med nedbryting av organisk materiale over tid var klar, var det for SNJ-pelletsen noe varierende glødetapstall i løpet av forsøksperioden. Dette kan ha sammenheng med at mengden som ble brukt ved innveiling av prøven for bestemmelse av glødetap var relativt liten. For SNJ, som hadde de største enkeltpartiklene kan dette ha slått noe tilfeldig ut, avhengig av hvor mange av partiklene som kom med i prøveuttaket. Dette kan for eksempel trolig forklare hvorfor glødetapet i 2004 for SNJ var større etter 17 uker enn ved start av forsøket (tabell 7).

I middel for alle slamtypene var det etter endt forsøksperiode i 2005 brutt ned mer organisk materiale i pottene med lett jord (22 %) enn i pottene med tung jord (17 %). Enkelte av slamtypene ble imidlertid brutt raskere ned i tung jord (eks. SNJ), mens omsetningen av organisk materiale i Gjøvik-slammet var relativt likt i de to jordtypene (tabell 8). Ut i fra forsøket i 2005 er det derfor ikke grunnlag for å si at nedbrytingen generelt gikk saktere i tung enn i lett jord. En av grunnene til de små forskjellene kan være at lett- og tungjordspottene alle var tilfeldig plassert ved siden av hverandre i samme forsøksfelt. Jorda i forsøksfeltet var relativt lett (siltig mellomsand), med god drenering, slik at luft og temperaturforhold i de relativt små pottene (1 l) med ulike jordtypeblandinger trolig var ganske like. Under praktisk dyrking kan en ikke se bort fra at omsetningen av organisk materiale i slammet ville bli mer nedsatt i en tyngre, kald og vannmetta jord enn i en lett og varm jord med god lufttilgang.



#### 4.1.2 Fysisk struktur (kornstørrelse)

I likhet med andelen av organisk materiale ble kornstørrelsen (over 4 mm) til granulene/pelletsene gradvis redusert i løpet av forsøksperioden (tabell 9 og 10). Etter endt forsøksperiode (44 uker) var reduksjonen for alle slamtypene mellom 40 og 60 prosent (tabell 9). Naturlig nok var vekttapet spesielt stort av den største kornfraksjonen (figur 5).

Selv om andelen av store pellets/granuler (> 4 mm) ble redusert utover i forsøksperioden viser figur 6 at partiklene var godt synlig selv etter 44 ukers nedbryting.

#### 4.1.3 N-mineralisering

I de første to ukene var det lite nedbør (12 mm), og analysene viste en signifikant økning i mineralisert nitrogen for de fleste slamtypene bortsett fra Gjøvik (tabell 11). Grunnen til at N-mineraliseringen var annerledes i Gjøvik-slammet enn i de andre slamtypene kan ha sammenheng med høyere fuktighet på grunn av utendørs lagring.

Utover i forsøksperioden, fra 2 til 6 uker, var det mye nedbør (101 mm) slik at forholdene for utvasking av næringsstoff var til stede. I middel for alle slamtypene var reduksjonen i innhold av mineralisert N hele 54 prosent i løpet av disse 4 ukene. N-innholdet fortsatte å minke videre utover i forsøksperioden, så ved avslutningen av vekstsesongen etter 23 uker (1. nov 2004) var det svært lite mineralisert nitrogen igjen i pottene (tabell 11).

Forsøket bekrefter tidligere forsøk (Ekeberg 1991) som også klart viste at der det er brukt store mengder slam blir det stor avrenning av mineralnitrogen. Miljømessig vil en slik situasjon være spesielt uheldig i de tilfellene hvor en ikke har planter i vekst, med et godt utbygd rotsystem, som kan fange opp næringsstoffene.

I løpet av vinteren, fra 1. november 2004 til 29. mars 2005 ble det for alle slamtypene registrert en liten økning av mineralisert N i jorda (tabell 11). Unormalt høye temperaturer for årstida og lite nedbør i januar og februar

2005 (tabell 4) kan ha vært en medvirkende årsak til N-mineraliseringen i denne perioden.

Det var ingen forskjell mellom lett- og tungjordspottene med hensyn til utvasking av næringsstoffer etter 23 eller 44 uker. Som tidligere nevnt var lett- og tungjordspottene alle tilfeldig plassert ved siden av hverandre i samme forsøksfelt. Siden jorda i forsøksfeltet var relativt lett (siltig mellomstrand), med god drenering, var forholdene for nedvasking av næringsstoffer tilstede i pottene med begge typer jordblanding.

#### 4.2 N-opptak og gjødselvirkning i fôrproduksjon av raigras

##### 4.2.1 Gjødslingsåret

Det var en god sammenheng mellom opptatt mengde nitrogen i plantene ved høsting, målt ved hjelp av HNT-apparatet, og oppnådd tørrstoffavling (tabell 12 vs. tabell 13). Minst utslag for gjødsling, både med hensyn til nitrogenopptak i plantene og høstet tørrstoffavling, ble oppnådd på tungjordfeltet i 2004. Dette skyldes at jorda i utgangspunktet var svært fruktbar med et høyt næringsinnhold.

På den relativt næringsfattige sandjorda var gjødselvirkningen svært god både med tanke på nitrogenopptaket i plantene og høstet tørrstoffavling. I middel for alle slamtypene gav tilførsel av 2 tonn slam-ts om lag 39 og 302 prosent høyere tørrstoffavling enn uggjødsla ruter og 18 og 19 prosent høyere tørrstoffavling enn mineralgjødsla ruter henholdsvis i 2004 og 2005.

Selv om rutene med mineralgjødsel på lettjordfeltet i 2005 ble gjødslet optimalt med til sammen 23 kg N/daa var det totale avlingsnivået på disse rutene lavere enn på ruter gjødsla med slam (både 2 og 4 t slam-ts/daa) fra samtlige renseanlegg (figur 8). Avlingsnivået på mineralgjødsla ruter var imidlertid lavere kun ved første slåttetid (figur 8). De små avlingene i førsteslåtten har trolig sammenheng med de unormalt store nedbørsmengdene som kom tidlig i vekstsesongen (mai), og som nok førte til

sterk nedvasking av næringsstoffer på den lette sandjorda (tabell 4). Resultatene tyder på at nitrogenet blir vasket lettere ut i fra mineralgjødning enn i fra slam. Det kan dermed se ut som bruk av slamgjødning får mindre negative konsekvenser enn bruk av mineralgjødning når forholdene for utvasking er til stede.

Av de seks slamtypene som var med i forsøket i 2004 hadde slammet fra Larvik og Gjøvik lavest gjødslingsverdi, og slammet fra Bekkelaget og Gardermoen høyest gjødslingsverdi ved tilførsel av 2 t slam-ts/daa, både med hensyn til N-opptak i plantene (figur 6a) og tørrstoffproduksjon (figur 7a). Resultatene samsvarer godt med de kjemiske analysene, som viste at slammet fra Larvik/Gjøvik og slammet fra Bekkelaget/Gardermoen henholdsvis hadde det laveste og høyeste innholdet av totalnitrogen dette året (tabell 5).

Med hensyn til beregna gjødselverdi i 2004 (tabell 6) kom slammet fra Gjøvik, spesielt ved lavest slammengde (2 t slam-ts/daa), noe dårligere ut avlingsmessig enn det som var forventet. Som det framgår av figur 7a var det særlig ved de to siste høstetidene at tørrstoffavlingene var lave. Dette skyldtes nok i stor grad at Gjøvik-slammet, som var lagret utendørs en periode før forsøksstart, inneholdt mye lett tilgjengelig mineralisert nitrogen som raskt ble tatt opp av plantene. Det lett-tilgjengelige nitrogenet var også utsatt for utvasking, spesielt på sandjordsfeltet gjennom vekstsesongen. Ved beregning av slammets gjødselverdi til fôrproduksjon bør det nok derfor tas hensyn til at slam med en stor andel av lett-tilgjengelig mineralisert nitrogen kan gi en noe dårligere gjødselverdi enn forventet når det foretas mer enn en fôrslått i løpet av vekstsesongen (intensiv fôrproduksjon).

I 2005 var slammet fra Gjøvik lagret under normale tørre forhold før forsøksstart, og de kjemiske analysene (tabell 5) viste at dette slammet hadde det høyeste totale N-innholdet av samtlige slamtyper som var med i feltforsøket. På grunn av mer lettløslig tilgjengelig nitrogen ble imidlertid slammet fra

Bekkelaget beregnet til å ha størst gjødselverdi i 2005 (tabell 6). I praksis viste beregningene ikke helt å holde stikk. Ved tilførsel av 2 t slam-ts var nemlig både N-opptaket i plantene og tørrstoffproduksjonen lavere på ruter gjødslet med slam fra Bekkelaget enn på tilsvarende ruter fra Gjøvik. Resultatene bekrefter dermed vurderingen fra året før om at slam med en stor andel av lettløslig nitrogen, samlet over hele sesongen, kan gi en noe dårligere gjødselverdi enn forventet ved bruk i intensiv fôrproduksjon, spesielt ved sein slåttetid.



Figur 14. Raigrasplante med rotsystem "infiltrert" i slampelletts fra SNJ. Foto: L. Havstad

SNJ, som i utgangspunktet var beregnet til å ha forholdsvis lav gjødselverdi, gjorde det bra avlingsmessig begge forsøksåra (figur 7). Selv om mye av den fysiske strukturen var intakt gjennom vekstsesongen (jmf. potteforsøkene) førte sprekkdannelser til at planterøttene lett klarte å trenge inn i pelletsen og ta til seg næring etter behov (figur 14). Både ved minste (2 t slam-ts/daa) og største slammengde (4 eller 6 t slam-ts/daa) var rutene gjødslet med SNJ-slam avlingsmessig fullt på nivå med ruter gjødslet med slammet med størst beregnet gjødslingsverdi både i 2004 (Gardermoen) og 2005 (Bekkelaget).

Selv om det i forsøkene i 2004 normalt ble oppnådd høyere tørrstoffavlinger på ruter gjødslet med 6 t slam-ts/daa enn med 2 t slam-ts/daa korresponderte ikke avlingsøkningen, selv ikke i sandjordsfeltet, med den økte gjødseltilførselen. Dette skyldtes trolig at gjødslingen ble for sterk til at plantene klarte å nyttiggjøre seg av nitrogenet fullt ut. Faren for utvasking av næringsstoff vil også være større ved så sterk gjødsling. Det ble derfor valgt å bruke 4 t slam-ts i stedet for 6 t slam-ts som største slammengde i 2005. Resultatene fra lettjordsfeltet i 2005 tyder på at dette var et riktig valg med hensyn til å oppnå best mulig nyttiggjøring av nitrogenet.

#### 4.2.2 Ettervirkningsåret

Westervoldsk raigras er i naturen normalt en ettårig vekst, men trolig på grunn av at plantebestandet ble holdt nede på et vegetativt stadium gjennom hele vekstsesongen 2004 ved stadige fôrhøstinger ble "livssyklusen forlenget", og det var fortsatt et godt plantedekke ved vekststart våren 2005. I tillegg var vinteren relativt mild slik at overvintringsmulighetene for raigrasplantene var gode. Plantebestandet om våren var tynt, men jevnt fordelt med planter i forsøksfeltet, og det ble derfor valgt å utføre forsøket i ettervirkningsåret på eksisterende plantebestand av Westervoldsk raigras.

Jordprøvene tatt før vekststart i 2005 (tabell 14) viste at det var lite tilgjengelig nitrogen igjen i jorda på rutene der det året før var gjødslet med 2 t slam-ts/daa. Av den grunn var det heller ingen sikker gjødslingseffekt på disse rutene, uansett slamtype, sammenlignet med ugjødsla ruter verken med hensyn til N-opptak i plantene eller tørrstoffproduksjon

Ingen av rutene gjødslet med største slammengde (6 t slam-ts/daa) oppnådde høyere N-opptak i plantene eller større tørrstoffproduksjon enn mineralgjødsla kontrollruter. Best ut kom rutene gjødslet med største slammengde fra Bekkelaget og SNJ, som verken med hensyn til N-opptak i plantene eller tørrstoffproduksjon med sikkerhet kunne skiller fra mineralgjødsla ruter.

Heller ikke ruter gjødslet med største mengde slam fra Arendal og Gardermoen kunne med sikkerhet skiller fra mineralgjødsla ruter med hensyn til tørrstoffproduksjon. Resultatene viser at det på disse sterkt gjødsla rutene med 6 t slam-ts/daa var relativt store mengder med nitrogen igjen i jorda som plantene ikke hadde klart å nyttiggjøre seg i løpet av det første forsøksåret.

For rutene som var tilført største slammengde var som ventet, i følge beregningene av gjødslingsverdi (tabell 6), N-innholdet i jorda før vekststart, samt HNT-verdiene og tørrstoffproduksjonen, lavest for slamtypene Gjøvik og Larvik.

#### 4.2.3 Nitrogeneffekt og økonomi ved bruk av slam i fôrproduksjon

I fôrproduksjonsforsøkene med raigras i 2004 ble den målte nitrogeneffekten, både etter 1. høsting og totalt (sum av tre høstinger), for alle slamtypene kalkulert på grunnlag av avlingsnivået til ugjødsla kontrollruter og mineralgjødsla kontrollruter som var tilført 10 kg N/daa ved start av forsøket (tabell 19).

Kalkulasjonene viste at nitrogenvirkningen på ruter hvor det var tilført slam fra Gjøvik og Larvik var lavere etter tre høstinger (totalt) enn etter første høsting. Dette skyldes at slammet ikke hadde gjødselverdi i andre og tredjeslåtten. Tvert i mot var avlingen i de to siste høstingene lavere på ruter med Gjøvik- og Larvikslam enn på ugjødsla ruter. I sum av tre høstinger ble dermed den totale ts-avlingen (figur 7), og følgelig nitrogeneffekten (tabell 19), omtrent som ugjødsla ruter. Vice versa oppnådde rutene gjødsla med slam med god gjødselvirkning i de to siste høstingene (eks. Bekkelaget og Gardermoen) klart høyere N-virkning etter tre høstinger (totalt) enn etter første høsting (tabell 19).

Størst gjødselvirkning (N-effekt) oppnådde slammet fra SNJ og Bekkelaget etter 1. høsting og slammet fra Bekkelaget og Gardermoen etter tre høstinger (totalt).

Tabell 19. Beregna og målt nitrogeneffekt etter gjødsling med 2 t slam-ts/daa av ulike slamtyper. Middel av to felt med Westervoldsk raigras i 2004.

Slamtype	Teoretisk N-effekt (kg /daa av 2 t TS)	Målt N-effekt (kg N/daa)	
		1. høsting	Totalt (3 høstinger)
Arendal	7,9	7,2	13,1
Bekkelaget	14,4	11,9	38,2
SNJ	9,0	16,3	24,8
Gardermoen	19,4	10,0	27,8
Gjøvik	10,0	6,3	0,0
Larvik	7,1	7,6	3,3

I 2005 ble den målte nitrogeneffekten for alle slamtypene kalkulert på grunnlag av avlingsnivået til ugjødsla kontrollruter og mineralgjødsla kontrollruter som var tilført 10 kg N/daa ved start av forsøket, 8 kg N/daa etter førsteslått og 5 kg N/daa etter andreslått (tabell 20).

Som tidligere nevnt var avlingsnivået på mineralgjødsla ruter svært lavt i førsteslått på grunn av nedvasking av næringsstoffer etter store nedbørsmengder tidlig i vekstsesongen. Det lave avlingsnivået på mineralgjødsla kontrollruter førte til at den kalkulerte nitrogeneffekten av slammet i

førsteslått ble unormalt høy (20-26 kg N/daa) for alle slamtypene. Trolig var den reelle nitrogeneffekten om lag 10-15 kg N/daa lavere. Av den grunn er det skjønsmessig i tabell 20 valgt å redusere N-virkningen i førsteslått med 12 kg N/daa for alle slamtypene for å få mer realistisk tall for gjødselvirkningen. Størst N-virkning i førsteslått oppnådde slammet fra Arendal.

Slammet fra Gjøvik, som ut fra de kjemiske analysene hadde høyest totalt N-innhold (tabell 5), oppnådde best N-effekt i de to siste høstingene.

Tabell 20. Beregna og målt nitrogeneffekt etter gjødsling med 2 t slam-ts/daa av ulike slamtyper i ett felt med Westervoldsk raigras i 2005.

Slamtype	Teoretisk N-effekt (kg /daa av 2 t TS)	Målt N-effekt (kg N/daa)			Total (sum av 3 høstinger)
		1. slått	2. slått	3. slått	
Arendal	9,5	13,9	6,5	1,5	21,9
Bekkelaget	12,7	8,9	5,1	1,7	15,7
SNJ	8,6	11,2	4,4	2,8	18,4
Gjøvik	10,5	11,6	7,1	4,1	22,8

Som vist i tabell 19 og 20 klarte ikke den teoretiske modellen helt å forutsi gjødselvirkningen av de ulike slamtypene, verken ved første slått eller totalt av tre høstinger, i forsøk med intensiv forproduksjon av raigras. Blant annet var gjødselvirkningen av slammet med størst pellets (eks. SNJ) bedre i forsøket enn modellen tilsa. Flere forsøk er imidlertid nødvendig for å undersøke gyldigheten av modellen ytterligere, evt. å gjøre tilpasninger i forhold til intensiv fordyrking.

I intensiv forproduksjon er perioden med aktiv vegetativ vekst relativt lang, og forsøket viser at graset har en svært god evne til å utnytte tilgjengelig nitrogen i slammet. Ved tilførsel av 2 t slam-ts/daa var det i sum av tre høstinger slammet med høyest totalinnhold av nitrogen som oppnådde best nitrogenvirkning både i 2004 (Gardermoen og Bekkelaget) og i 2005 (Gjøvik og Arendal).



Erfaringene så langt er at slammet frigir nitrogen raskt etter tilførsel, og alle slamtypene gir stort sett tilfredsstillende N-effekt i førsteslåttene ved tilførsel av 2 t slam-ts/daa før såing. Ved senere høstinger vil nitrogenvirkningen av slammet avta. For å oppnå fullgode foravlinger i andre, og særlig tredjeslåttene, må en derfor gjerne i praksis supplere med mineralgjødning. Mengden som må suppleres avhenger av slammets totale N-innhold. Som oftest vil slam som i utgangspunktet har et høyt totalinnhold av

nitrogen ha størst N-virkning i andre og tredjeslåttene (jmf. tabell 20).

Ved en slik intensiv forutnytting vil det året etter (ettervirkningsåret) være lite nitrogeneffekt igjen av slammet. I forsøket var det ingen påvisbar nitrogenvirkning av slammet fra Gjøvik og Arendal, mens slammet fra SNJ og Gjøvik oppnådde størst nitrogenvirkning med om lag 3 kg N/daa, i sum av to høstinger, i ettervirkningsåret når det året før var tilført 2 t slam-ts/daa (tabell 21).

Tabell 21. Beregna og målt nitrogeneffekt i ettervirkningsåret (2005) etter gjødsling med 2 t slam-ts/daa av ulike slamtyper våren 2004.

Slamtype	Teoretisk N-effekt (kg /daa av 2 t TS)	Målt N-effekt (kg N/daa)		
		1. høsting	2. høsting	Totalt
Arendal	4,9	0,0	0,0	0,0
Bekkelaget	5,5	3,2	0,0	3,2
Gardermoen	5,3	2,7	0,0	2,7
Gjøvik	3,9	0,0	0,0	0,0
Larvik	4,0	1,5	0,0	1,5
SNJ	4,5	2,5	0,5	3,0

Med utgangspunkt i gjødselverdien til slammet i forsøket i 2005 (gjødslingsåret), hvor det ble målt N-effekt av alle tre slåttetidene (tabell 22), og en kostnad for rimeligste mineralgjødning (kalksalpeter) på 8,9 kr pr kg N, ville besparelsen på å bruke 2 t slam-ts/daa vært fra 79 (Bekkelaget) til 124 (Arendal) kr/daa i førsteslåttene, fra 39 (SNJ) til 69 (Gjøvik) kr/daa i andreslåttene, og fra 13 (Arendal) til 36 (Gjøvik) kr/daa i tredjeslåttene. Med et areal på 70 daa ville dyrkeren følgelig i sum av tre høstinger ha spart fra 9781 kr til 14204 kr ved bruk av slamtypene med henholdsvis minst (Bekkelaget) og størst (Gjøvik) nitrogenvirkning.

#### 4.3 N-opptak og gjødselvirkning ved korndyrking

Mens det var små og usikre forskjeller i kornavling mellom ugjødslede ruter og de andre behandlingene i tungjordsfeltet i 2004, var det tilsvarende sikre utslag både i lett- og tungjordsfeltet i 2005.

Feltet i 2004 lå ved siden av tungjordsfeltet med raigras hvor ugjødslede ruter oppnådde en

total tørrstoffavling på hele 1108 kg/daa (figur 7b). Jorda var derfor svært fruktbar, noe som kan være med å forklare hvorfor ugjødslede ruter kom så godt ut kornavlingsmessig sammenlignet med de andre ledda.

Selv om de høyeste halmmengdene i 2004 ble produsert på rutene som var gjødslet med største slammengde (6 t slam-ts/daa), var det ikke legde i feltet ved tresking. Siden jorda i utgangspunktet var svært fruktbar indikerer mangelen på legde, selv ved tilførsel av største slammengde (6 t slam-ts/daa), at plantene ikke klarte å nyttiggjøre seg nitrogenet som ble tilført i slammet. Grunnen til dette er ikke kjent, men i motsetning til i 2005 ble ikke feltet i 2004 sprøytet mot sopp eller bladgjødslet med HydroPlus™ Mantrac 500 for å motvirke mangan-mangel. I forsøk i Vestfold har gjødsling med kalkrikt slam gitt reduserte kornavlinger på grunn av redusert tilgjengelighet av mangan i jorda (J. I. Øverland, pers. informasjon 2005). Ulike vekstforhold de to sesongene kan også ha virket inn på opptaket av nitrogen. Det var

blant annet forsommertørke i mai og første halvdel av juni 2004, mens forsommeren i 2005 var svært fuktig (tabell 4). På grunn av de usikre utslagene i 2004 vil resultatene fra de to forsøkene i 2005 bli mest vektlagt.

I 2005 var det for alle fire slamtypene en klar positiv gjødselvirkning av å tilføre 2 t slam-ts/daa, sammenlignet med ugjødsla ruter, både i lett- og tungjordsfeltet. I middel for de to felte produserte ruter gjødsla med slam fra Bekkelaget både høyest korn- og halmavlinger. Resultatene samsvarer godt med den teoretiske modellen (Ugland m.fl. 1998), som viste at slammet fra Bekkelaget hadde størst beregna gjødselverdi (tabell 6).

I begge de to felte i 2005 var gjødselverdien til de ulike slamtypene på ruter gjødslet med 2 t slam-ts/daa fullt på høyde med mineralgjødsla kontrollruter både med hensyn til korn- og halmavling.

I middel for alle slamtypene og de to forsøksfelte i 2005 var det liten eller ingen avlingsøkning av å øke slammengden fra 2 til 4 t slam-ts/daa. I ett år med fuktige værforhold, i hvert fall i den første delen av vekstsesongen, ser det altså ut som frigivingen av næringsstoffer fra 2 t slam-ts/daa har vært tilstrekkelig for å dekke næringsbehovet til vårhveten.

Tabell 22. Beregna og målt nitrogeneffekt etter gjødsling med 2 t slam-ts/daa av ulike slamtyper i to felt med vårhvete på lett og tung jord i 2005.

Slamtype	Teoretisk N-effekt (kg /daa av 2 t TS)	Målt N-effekt ( kg /daa av 2 t TS)		
		Lett jord	Tung jord	Middel
Arendal	9,5	10,1	8,4	9,3
Bekkelaget	12,7	14,9	10,0	12,5
SNJ	8,6	11,5	8,5	10,0
Gjøvik	10,5	12,0	9,6	10,8

Med utgangspunkt i den målte gjødselverdien til slammet, i middel av de to forsøkene i 2005 (tabell 22), og en kostnad for rimeligste mineralgjødsel (kalksalpeter) på 8,9 kr pr kg N, ville besparelsen på å bruke 2 t slam-ts/daa i forsøket vært fra 83 (Arendal) til 111 (Bekkelaget) kr/daa. Med et areal på 70 daa ville dyrkeren tilsvarende ha spart fra 5810 til 7770 kr.

I lettjordsfeltet ble det for alle slamtypene oppnådd meravling når det i tillegg til minste slammengde (2 t slam-ts/daa) ble tilført 3 kg N/daa i form av kalksalpeter som "startgjødsel". Den positive virkningen av startgjødslinga var ikke tilstede i feltet med tung jord. Dette skyldes nok at den tunge jorda var mer næringsrik og hadde et høyere innhold av lett tilgjengelig nitrogen enn den lette jorda ved start av forsøket (tabell 3). Problemene med legde i tungjordsfeltet var også betydelig større på ruter med enn uten startgjødsling (tabell 18).

#### 4.3.1 Nitrogeneffekt og økonomi ved bruk av slam i kornproduksjon

I de to kornforsøkene i 2005 ble den målte nitrogeneffekten for alle slamtypene kalkulert på grunnlag av kornavlinga på ugjødsla kontrollruter og mineralgjødsla kontrollruter som var tilført 10 kg N/daa ved start av forsøket (tabell 22).

Tabell 22 viser at det stort sett var godt samsvar mellom den teoretiske modellen og den målte N-effekten av de ulike slamtypene. I likhet med modellen oppnådde ruter gjødslet med slam fra Bekkelaget best gjødselvirkning både i lett- og tungjordsfeltet.

#### 4.4 Spreddeforsøket.

Tatt i betraktning av at ønsket tilført mengde som oftest er på 2 t slam-ts/daa, indikerer forsøket at vanlig utstyr for spredning av handelsgjødsel, uten aktiv utmatingsmekanisme, er lite egnet til å spre granulert/pelletert slam i praksis.

Hvis det skulle være aktuelt å spre en mindre mengde slam årlig (for eksempel 100-200 kg slam-ts/daa pr år) vil imidlertid bruk av vanlig spredeutstyr være en aktuell metode.

Støvproblemene i forbindelsen med spredningen av slammet økte med minkende kornstørrelse på slammet. Mest støvplager var det av den grunn ved spredning av slammet fra Larvik, mens spredningen av slammet fra Arendal og SNJ foregikk nærmest uten støvutvikling.

#### 4.5 Egenskaper hos tørket slam i forhold til ulike bruksområder

Ulike bruksområder stiller ulike krav til kvalitet og egenskaper, både i forhold til regelverk og forhold som vedrører jord, planter og praktisk håndtering av produkter på det aktuelle bruksområde.

I jordbruket ønskes generelt et høyt innhold av organisk materiale, høy og forutsigbar gjødselvirkning og bruksegenskaper som er tilpasset jordbrukets driftsforhold (Refsgaard et al. 2004). Maksimal tillatt mengde er 2 tonn ts/pr dekar over 10 år. Denne mengden tilføres i praksis gjerne i et og samme år, og nokså grovt kan en si at denne mengden er rimelig godt tilpasset gjødselkravet til korn eller grovfôr. Den aktuelle nitrogenvirkningen kan beregnes og evt. tilleggsgjødsel doseres i henhold til dette. Det er sjelden at 2 tonn ts slam gir så mye nitrogen at problemer med avrenning oppstår.

Regimet for bruk av slam i landbruket kan dermed sies å være godt tilpasset plantenes behov og andre miljøhensyn, og resultatene fra dette prosjektet bekrefter at tørket slam i det store og hele har samme egenskaper som andre slamtyper og kan benyttes på samme måte som disse.

Jordforbedringseffekt av slam er ikke godt undersøkt og har heller ikke vært spesielt tema for dette prosjektet. Det er imidlertid klart at organisk materiale har stor betydning for jordas fruktbarhet, og tilførsel av organisk materiale via slam bidrar til god jordstruktur, god vannholdning og evne til å lagre plantenæring. Om tørket slam har samme effekt som andre slamtyper er ikke undersøkt nærmere. En kan imidlertid anta jordforbedringseffekten av slammet er godt korrelert til mengden organisk materiale, og når denne er omtrent lik i ulike slamtyper er også effekten på jordas egenskaper nokså lik. Dette prosjektet har påvist at pellets av slam kan beholde strukturen lenge (mer enn et år). Den positive effekten som oppnås når slam og mineraljord blandes kan dermed kanskje bli noe forsinket, men dette betyr sannsynligvis lite eller ingenting i praktisk jordbruk.

For bruk i grøntanlegg må andre vurderinger gjøres. Grøntanlegg er et mer mangfoldig og variert bruksområde og det er andre mengdebegrensninger som gjelder. I motsetning til i jordbruket er det i hovedsak organisk materiale og jordforbedringseffekt som etterspørres i grøntanlegg. Stabilitet av organisk materiale og lavt innhold av tilgjengelig plantenæring er et generelt ønske, og i tillegg har ulike typer grøntanlegg mer spesifiserte krav. Spesialiserte produksjoner vil f.eks. kreve jevn og godt dokumentert kvalitet og spesielle bruksegenskaper (Refsgaard et al. 2004).

Det kan brukes større mengder slam i grøntanlegg enn i jordbruket og hvilke mengder som brukes er et viktig element i vurderingen av tørket slam til grøntanlegg. Avhengig av slammets kvalitetsklasse kan slam tilføres grøntanlegg i lag på 5 eller 10 cm, for deretter å bli moldet inn i jorda. I jordblandinger kan 30 volumprosent av blandingen bestå av slam. Slike mengder slam på et jordareal vil gi svært store mengder letttilgjengelig nitrogen.

Blandinger med 30 volumprosent av de mest næringsrike slamtypene undersøkt i dette prosjektet vil inneholde opp til 200 kg lettløselig nitrogen pr dekar når de benyttes i masselag på 10-15 cm (Tabell 11). Slik bruk av slam må frarådes, både av hensyn til mulig skade på planter og av hensyn til fare for avrenning.

Dette forsøket synes dermed å bekrefte tilrådingen som er gitt i Nedland (2004) om at man for jordblandinger til grøntanlegg bør lage trekomponent blandinger av mineraljord, tørket slam og en annen type slam eller kompost. Tørket slam bør blandes inn i henhold til en beregning av innholdet av lettløselig nitrogen, mens andre mindre næringsrike slam- eller komposttyper kan benyttes for å øke innholdet av tyngre nedbrytbart organisk materiale i blandingen.

I moderate mengder vil imidlertid tørket slam generelt være velegnet til alle typer grøntanlegg.

Det faktum at slampellets beholder strukturen lenger enn annet slam kan være positivt for enkelte typer grøntanlegg, f.eks. til grasdekke i idretts- og golfanlegg, der det er en fordel at det organiske materialet har en stabil struktur (Refsgaard et al. 2004). Det kan imidlertid være negativt for bruk i jordblandinger der en vil ønske at den blandingen som selges har optimal struktur og egenskaper straks den er ferdigblandet. Dette har imidlertid ikke vært tema i dette prosjektet og bør undersøkes nærmere sikrere konklusjoner trekkes.

## 5. Konklusjon

Tørket slam som er granulert og pelletert har god gjødselvirkning ved bruk i jordbruk og

grøntanlegg. Størst vil den positive virkningen av slammet være ved tilførsel på lett jord med liten næringstilgang.

Hastigheten på nedbrytingen av organisk materiale og frigivingen av nitrogen fra slam som er tørket og granulert/pelletert går ikke saktere enn i tilsvarende slamtyper framstilt på andre måter uten tørking. Den generelle formelen for N-gjødsleffekt sier at første års gjødsleffekt er 10% av organisk N + 80% av Mineral N, og når tørket slam brukes i korn kan denne formelen brukes med stor grad av nøyaktighet.

Ved intensiv fôrproduksjon, med flere høstinger i løpet av vekstsesongen, vil gjødselverdien avhenge av totalinnholdet av nitrogen i slammet. Størst tørrstoffproduksjon ved tilførsel av 2 t slam-ts ble oppnådd på ruter som var gjødslet med nitrogenrikt slam fra Gardermoen og Bekkelaget i 2004 og fra Gjøvik og Arendal i 2005. Nitrogenrikt slam gav mer nitrogen som plantegjødsel enn det som ble beregnet teoretisk ut fra formelen nevnt ovenfor.

Ved slik intensiv fôrproduksjon er det lite igjen av tilgjengelig nitrogen fra slammet i jorda i det påfølgende året, og i disse forsøkene mindre enn det som beregnes i den generelle formelen som sier at 10% av gjenværende organisk bundet nitrogen frigjøres som næring i ettervirkningsåret. Flere undersøkelser må imidlertid gjennomføres for evt. å tilpasse beregningsmetodene til intensiv fôrproduksjon.

Undersøkelsene har vist at lettløselig nitrogen fra tørket slam ikke vaskes like lett ut som nitrogen fra mineralgjødsel, noe som er positivt både i forhold til agronomi og miljø.



Når resultatene fra undersøkelsene skal overføres fra landbruk til grøntanlegg er det viktig å vurdere bruken i forhold til slammets innhold av lettløselig nitrogen. Når den er så høy som i slamtypene undersøkt i dette prosjektet må mengdene slam til ferdige jordblandinger eller tilført og nedmoldet i grøntanlegg begrenses for å unngå overgjødsling og skade på planter eller nitrogenavrenning. Tørket og pelletert slam vil imidlertid egne seg godt til grøntanlegg i begrensede mengder som en letthåndterlig og næringsrik ingrediens til jord og jordblandinger, gjerne sammen med andre typer organiske avfallsprodukter med lavere gjødselverdi.

Tatt i betraktning at ønsket tilført mengde som oftest er 2 t slam-ts/daa, viser forsøkene at vanlig utstyr for spredning av handelsgjødsel, uten aktiv utmatingsmekanisme, er lite egnet til å spre granulert/pelletert slam i praksis.

## 6. Litteratur

Ekeberg, E. 1991. Virkning av kloakkslam brukt i jordbruket. Forsøk i perioden 1977-1990. Norsk landbruksforskning. Supplement Nr. 12. 120 s.

Ekeberg, E. 2000. Forsøk med avløpsslam 1994-1998. Planteforsk Rapport nr. 4/2000. 27 s.

Nedland, K.T. 2004. Erfaringer med bruk av avløpsslam på grøntarealer. Aquateam – Norsk vannteknologisk senter A/S. Rapport nr: 03-036.

Refsgaard, K., Å. Asdal, K. Magnussen og Asbjørn Veidal. 2004. Organisk avfall og slam anvendt i jordbruket. Egenskaper, kvalitet og potensial – holdninger blant bønder. Norsk Institutt for Landbruksøkonomisk Forskning. NILF – rapport 2004-5.

SAS Institute. 1990. SAS/STAT User's Guide. Version 6. Fourth edition. 890 s.

Sæbø, A., Å. Asdal, I.S. Fløistad, H.M. Hanslin, T.K. Haraldsen, J. Netland, H. Sjursen og P.A. Pedersen. 2005. Sluttrapport for ORIO-prosjektet "Slam og kompost til grøntanlegg". Planteforsk.

Ugland, T. N., E. Ekeberg & T. Krokstad. 1998a. Bruk av avløpsslam i jordbruket. Grønn forskning 04/98. 13 s.

Ansvarlig redaktør:  
Forskningsdirektør Nils Vagstad

Fagredaktør denne utgaven:  
Forskningsjef: Hans Stabbetorp