



# Växthusgaser från rötad och orötad nötflytgödsel i lager och utspridd på mark

SLF projektnr: V0930019

*Lena Rodhe, Johnny Ascue, Marianne Tersmeden, Agnes Willén och Åke Nordberg*

## Bakgrund

Jordbrukets växthusgasutsläpp omräknat till koldioxidekvivalenter bestod till 33 % av metangasutsläpp från jäsning i tarm- och magkanal hos nötkreatur, 10 % av utsläpp från lagring av gödsel (NV, 2012) och ca 17 % av utsläpp från stallgödsel utspridd på mark inkl. indirekta lustgasemissioner (egen beräkning). Från lagrad flytgödsel avgår främst metan ( $\text{CH}_4$ ), medan det från lagrad fastgödsel och gödsel utspridd på mark främst avgår lustgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Då största delen av stallgödseln kommer från nötkreatur (84 % i Sverige enligt SCB, 2008) så har mjölk- och nötköttsproduktionen identifierats som en stor källa till utsläpp av växthusgaser från jordbruket (FAO, 2006; NV, 2012).

Många gånger antas att metangasutsläppen under lagring av rötrest ska vara lägre än från orötad flytgödsel, då rötningen förbrukat lättomsatt kol och minskar möjligheten för de metanbildande mikroberna att producera metan. Amon m.fl. (2006) erhöll lägre avgång av metan från lagrad mesofilt rötad nötflytgödsel (30-40 dagars uppehållstid) än från orötad flytgödsel vid samma lagringstemperatur. Metangasemissioner under lagring av flytgödsel är starkt relaterade till temperatur, främst vid temperaturer över 15°C enligt laboratorieexperiment av Sommer m.fl. (2007). Hög temperatur hos rötresten samt högt innehåll av aktiva metanbildande mikrober kan därmed tänkas orsaka högre metanemissioner från rötad gödsel. Täckning av gödsellager har visat sig kunna minska metanemissioner. Clemens m.fl. (2006) fann att trätak minskade metangasemissionerna från flytgödsellager av både rötad och orötad nötflytgödsel jämfört med utan täckning. Rodhe m.fl. (2008) visar att lagrad flytgödsel med plastduk gav signifikant lägre emissioner av metangas än utan täckning under perioden februari till oktober.

Metanemissionen efter spridning är låg och beror troligtvis på den  $\text{CH}_4$  som finns i gödseln bildad under lagring (Rodhe m.fl. 2005). Dock kommer  $\text{N}_2\text{O}$  emissionerna att vara mer omfattande p.g.a. att variation mellan aeroba och anaeroba förhållanden stimulerar bildning när kol och kväve tillförs marken (Clemens m.fl. 1997). Clemens m.fl. (2006) såg ingen skillnad i  $\text{N}_2\text{O}$  emission från utspridd orötad och rötad nötflytgödsel. Petersen (1999) däremot fann en signifikant lägre  $\text{N}_2\text{O}$  emission från rötad gödsel jämfört med orötad.  $\text{N}_2\text{O}$  emissioner påverkas av när och hur spridning sker. Myllning av flytgödseln i mark kan ge högre  $\text{N}_2\text{O}$  emissioner jämfört med att sprida på markytan (Dosch & Gutser, 1996; Rodhe m.fl., 2005). Andra studier har dock inte visat på några skillnader i  $\text{N}_2\text{O}$  och  $\text{CH}_4$  emissioner mellan myllad och flytgödsel utspridd på markytan (Sommer m.fl., 1996; Clemens m.fl., 1997).

Mot bakgrund av att gödselbaserad biogasproduktion sannolikt kommer att öka under de närmaste åren är det viktigt att hitta en lämplig hantering av rötad gödsel som medför låga utsläpp av såväl klimatgaser som ammoniak.

Syftet med denna studie var att kvantifiera emissioner av växthusgaserna metan och lustgas vid lagring och spridning av rötad respektive orötad nötflytgödsel.

Vid tidigare inlämnade lägesrapporter har redovisats att den ursprungliga planen, där vi avsåg

att driva den svenska studien parallellt med studier i Danmark, inte kunnat realiseras pga. att Dansk Kvaeg inte beviljat medel för den danska undersökningen. Därmed har vi fått begränsa samarbetet till att Søren O. Petersen ingått i vår referensgrupp.

Projektets delmål har därmed varit att:

- Kvantifiera utsläpp av växthusgaser från orötad och rötad gödsel under lagring under vinter respektive sommar, samt efter spridning vid två tidpunkter på året,
- Bestämma effekten av täckning av rötrestlager på emissioner av växthusgaser vinter respektive sommarlagring.

## Material och metoder

### Lagringstemperatur för orötad och rötad nötflytgödsel på gård

Mätningarna utfördes i lager med rötad gödsel vid två gårdsanläggningar, samtidigt med mätningar i två flytgödsellager (ej rötad) på två andra gårdar i närheten, Tabell 1. I Västergötland utfördes mätningarna vid Sötåsens biogasanläggning samt gården Göranstorp (10 km från Sötåsen) och i Småland utfördes mätningarna vid Odensviholms biogasanläggning samt gården Ogestad (5 km från Odensviholm). Temperaturen registrerades under ett år med hjälp av temperaturloggrar placerade 0,5 m och 1,5 m under gödselytan.

### Växthusgaser från lager med av orötad och rötad gödsel

Emissioner av CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O mättes vid lagring av orötad respektive rötad nötflytgödsel utomhus under sommarförhållanden (27 maj – 25 augusti 2010) och vinterförhållanden (16 december 2010 – 30 mars 2011). Försöket genomfördes vid JTI:s pilotanläggning, Ultuna, och bestod av nio behållare (1,5 m hög, 1,63 m diameter och en grundyta på 2,0 m<sup>2</sup>) halvvägs nedsänkta under marknivå som medger att förhållandena liknar de vid lagring i fullskala (Rodhe m.fl., 2008).

Tre led studerades under sommar- respektive vinterförhållanden, nämligen. orötad nötflytgödsel utan täckning (G), rötad nötflytgödsel utan täckning (RG) och rötad gödsel täckt med plasttak ca 5 cm ovanför gödselytan (RG-T). Försöket var uppbyggt som ett fullständigt randomiserat blockförsök med tre behållare per led. Försöket under sommarförhållanden pågick under 88 dagar och försöket under vinterförhållanden under 105 dagar.

#### *Fyllning av pilotlager*

Färsk och rötad nötflytgödsel hämtades från gården Odensviholm, som har biogasanläggning (Tabell 1). Den färska gödseln togs från en pumpbrunn med gödsel från mjölkko- och ungdjursstallar och den rötade nötflytgödseln från en lagerbehållare direkt efter uttagning från rötammaren. Efter sex timmars transport till Ultuna fylldes alla pilotlager upp med ca 1 m av respektive material. Innan fyllning togs representativa prover för analys av torrsbstans (TS), organisk substans (VS), total kväve (Tot-N), totalt ammoniumkväve (TAN), total kol (Tot-C), pH och satsvisa utrotningar för bestämning av den maximala metanproduktionen (B<sub>0</sub>) vid 37 °C under 100 dagar (Rodhe m.fl., 2008). Temperaturen i pilotlagren registrerades därefter varje timme med temperaturgivare (Intab Interface-Teknik AB, Stenkullen, Sweden) placerade 0,1 m från botten respektive 0,1 m under ytan.

#### *Gasmätningar*

Gasprovtagning för analys av gaskoncentrationer och beräkning av emissioner skedde enligt Rodhe m.fl. (2008), dvs. efter att ha placerat ett gastätt lock 0,2 m över gödselytan togs prover

direkt samt efter 15 respektive 30 minuter. Under sommarförsöket togs prover dag 1 (27 maj), 7, 14, 21, 40, 76 och 91 (25 augusti) efter fyllning. Under vinterförsöket togs prover med start dagen efter fyllning dvs. dag 1 (16 december), 6, 14, 20, 36, 64, 79 och 105 (30 mars). Gasproverna analyserades med avseende på CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O med gaskromatograf (HP 6890, Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA). Flux beräknades med linjär regression från koncentrationsförändring över tid. Emissionerna mellan två mättillfällen beräknades genom att ta medelvärdet för emissionerna vid de två mättillfällena och multiplicera med antalet dagar mellan mätningarna. Emissionerna summerades för hela tiden för att få kumulativa värden.

### **Spridning av orötad respektive rötad nötflytgödsel**

Försöken utfördes på Hushållningssällskapets försöksgård Fransåker utanför Märsta på en något mullhaltig lättlera, med 2,4 % mullhalt, 19 % ler, 58,5 % silt och 20,1 % sand och grovmo. Efter omrörning av gödseln och provtagning bandspreddes orötad gödsel (G) och rötad gödsel (RG) med en giva på 25 ton per ha i smårutor (12 m x 2 m). Det sommarlagrade materialet spreds före sådd av höstvet (28 september 2010) och det vinterlagrade materialet spreds före sådd av vårkorn (4 maj 2011). Vid höstspridningen skedde nedharvning av gödseln direkt och vid vårspridningen harvades gödseln ned fyra timmar efter spridning (harvningsdjup på 4 ± 1 cm). Direkt efter harvningen såddes respektive gröda. Försöket var upplagt som ett fullständigt randomiserat blockförsök med tre upprepningar (block). Ogödslade ytor (kontroll) ingick också i försöket.

Den orötade och rötade gödseln analyserades innan spridning med avseende på TS, VS, Tot-N, TAN (APHA, 1985) och Tot-C (SIS, 2000) samt pH. Givare för registrering av marktemperatur (Tiny Tag, Intab, Stenkullen, Sverige) och volymetrisk fukthalt (Theta Probe ML2x sensor, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) placerades i övre markskiktet (2-5 cm) för kontinuerlig registrering. Vidare togs prov från matjorden för bestämning av NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Tot-N, Tot-C och textur. En stationär meteorologisk station (Adcon 753) på gården registrerade temperatur (Adcon Combo 730R temperatursensor; 1,5 m höjd över marken) och nederbörd.

Mätning av växthusgaser skedde med slutna kammare enligt Rodhe m.fl. (2005). I varje småruta placerades slumpmässigt tre ramar (0,525 m x 0,33 m) med den långa sidan tvärs över två av de två mellersta gödselsträngarna och trycktes ned 5 cm i marken. Efter tillslutning av kamrarna enligt Rodhe m.fl. (2005) skedde provtagning med start mitt på dagen vid tidpunkterna 0, 0,5 och 1 timme efter start. Under höstförsöket togs prover dag 1 (29 september), 3, 5, 11, 17, 22 31 och 50 (17 november) efter spridning samt även den 14 april på våren efter tining (198 d efter spridning). Under vårförsöket togs prover dag 1 (5 maj), 2, 5, 8, 15, 22, 44, 65 och 72 (15 juli) efter spridning. Analys av CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O skedde med samma gaskromatograf som för lagringsförsöket. Emissionsfaktorerna MCF (methane conversion factor) och EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> (emissionsfaktor för N<sub>2</sub>O-N) för lagring och spridning beräknades enligt Rodhe m.fl. (2012). Vid beräkning av EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> för gödslad mark används nettoemissioner av N<sub>2</sub>O-N, dvs. N<sub>2</sub>O-N emissionerna från ogödslad mark är subtraherad från N<sub>2</sub>O-N emissionerna från gödslad mark.

Statistisk analys av interaktioner mellan behandling och tid för flux av N<sub>2</sub>O respektive CH<sub>4</sub> skedde med "mixad" linjär modell (PROC MIXED modul i SAS ver 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Vid signifikant samspel mellan behandling och tid gjordes även parvisa jämförelser mellan behandlingarna för samtliga mättidpunkter. Skillnader mellan kumulativa emissionsvärden analyserades med en-vägs ANOVA med block följd av parvis jämförelse med t-test (PROC GLM i SAS). I ett fullständigt randomiserat blockförsök är variation mellan blocken eliminerade vid jämförelse av behandlingar, men kan bidra till standardavvikelse för

individuella medelvärden. Istället för standardavvikelser redovisas därför sammanvägda medelfel (pooled standard errors).

## Resultat och diskussion

### Lagringstemperatur för orötad och rötad nötflytgödsel på gård

I Västergötland var medeltemperaturen i lagret med rötad gödsel vid Sötåsen 0,6°C högre än i lagret med orötad gödsel på Göranstorp. Motsvarande skillnad för lagren i Småland var 4,5°C (Tabell 1). På Sötåsen har de en efterrötkammare, i vilken en värmepåväxlare kyler den rötade gödseln och bortförd värme används för att värma upp inkommande gödsel i kammare 1. Det innebär lägre temperatur hos rötresten till lager jämfört med Odensviholm. Vidare har Sötåsen en betydligt mindre rötkammarvolym och därmed tillförs mindre mängd av varm rötrest till lagerbehållaren per dag än på Odensviholm. Om lagringsbehållaren på Odensviholm varit lika stor som på granngården hade temperaturskillnaden varit lägre, men istället hade temperaturen höjts hos en större gödselvolym.

Tabell 1. Presentation av lagerdata för nötflytgödsel på gårdar med och utan rötning av gödseln

Region, Gård	Rötkammare		Lagrings- period	Lager- volym, m <sup>3</sup>	Temperatur, °C			
	Temp, °C	HRT <sup>1</sup> , d			Gödsel 0,5 m	Gödsel 1,5 m	Gödsel två nivåer, medelvärde	Luft
<i>Västergötland</i>								
Sötåsen, Två serie- kopplade reaktor á 270 m <sup>3</sup>	Ca 37 resp. 30	30+ 30	7/9 2011 - 7/9 2012	1500	11,0	11,1	11,0	7,2
Göranstorp	-	-	7/9 2011 - 7/9 2012	2800	10,0	10,8	10,4	7,2
<i>Småland</i>								
Odensviholm Biogas- reaktor 2000 m <sup>3</sup>	38	30	12/8 2010 - 12/8 2011	2000	13,2	13,5	13,4	6,3
Ogestad	-	-	12/8 2010 - 12/8 2011	5000	8,9	9,0	8,9	6,3

<sup>1</sup> HRT: Hydraulisk uppehållstid

### Lagringsförsök

Egenskaperna hos orötad gödsel (led G) vid start skiljde sig mellan de två lagringsperioderna p.g.a. de aktuella förhållandena på gården (t.ex. produktion, proportion gödsel från ungdjurs- respektive mjölkostallar, rengöring av stall mm.) vid hämtning, Tabell 2. Egenskaperna för rötad gödsel (leden RG och RG-T) skiljde sig mindre åt mellan tidpunkterna eftersom en uppehållstid på 30 dagar i rötkammaren jämnade ut eventuella variationer i tid (Tabell 2). Den maximala metanproduktionen ( $B_0$ ) för orötad gödsel var vid start av sommar- och vinterlagringen 270 respektive 239 normal-ml CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> VS. För rötad gödsel var  $B_0$  121 normal-ml CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> VS både vid start av sommar- och vinterlagring, dvs. ca hälften av den orötade gödseln.

Tabell 2. Fysikaliska och kemiska egenskaper på orötad och rötad gödsel vid start av sommar- och vinterlagringsförsöken, samt vid höst- respektive vårspridning.

Försök	Gödsel- slag	TS, %	VS, % av TS	VFA, g l <sup>-1</sup>	pH	Kg per ton våtvara			
						Tot- N	TAN	Tot- C	Tot-C /Tot-N
Lagring, sommar	G	7,9	84	1,45	7,2	3,2	1,2	35,6	11,1
	RG /RG-T	5,0	76	<0,1	7,7	2,8	1,5	20,7	7,4
Lagring, vinter	G	3,3	76	1,10	7,4	1,9	1,0	15,0	7,9
	RG/ RG-T	4,1	72	0,15	7,9	3,0	1,9	17,0	5,7
Spridning höst 2010	G	5,7	81	1,04	6,8	2,5	1,1	25,8	10,3
Spridning höst 2010	RG	3,7	74	0,15	7,6	2,0	1,1	15,2	7,6
Spridning vår 2011	CS	2,4	74	1,44	7,5	1,7	1,1	10	5,9
Spridning vår 2011	RG	3,8	74	<0,1	7,9	2,7	1,7	16	5,9

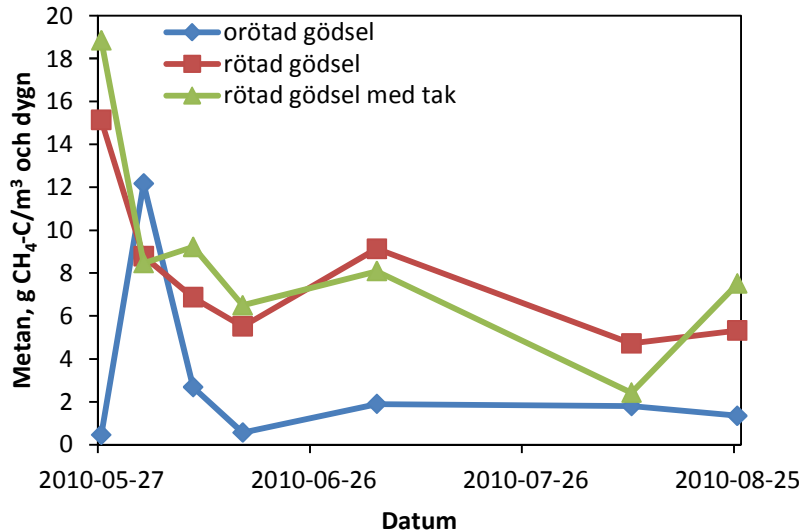
Temperaturförhållandena under sommar- respektive vinterlagring presenteras i Tabell 3. Sett över hela lagringsperioden skiljde det i medeltal endast 0,2°C mellan G och RG för båda lagringssäsongerna. Tre timmar efter start av sommarlagringen var dock RG ca 7°C varmare än G, men ganska snart minskade den temperaturskillnaden.

Tabell 3. Temperaturer i luft och gödsel vid lagring av gödsel, rötad gödsel utan tak och rötad gödsel med tak under sommar respektive vinterlagring

	Lufttemperatur	Medeltemperatur (tre behållare, två nivåer), °C			Temperatur- skillnad mellan G och RG/RG-T
		Gödsel, utan tak (G)	Rötad gödsel, utan tak (RG)	Rötad gödsel, med tak (RG-T)	
<i>Sommarlagring</i>					
Medel	16,4	14,2	14,4	14,4	-0,2
Max	34,9	20,8	22,7	23,8	-1,9
Min	1,9	6,7	10,8	11,0	-4,1
<i>Vinterlagring</i>					
Medel	-2,1	2,1	2,3	2,3	-0,2
Max	22,4	17,9	18,2	19,0	-0,3
Min	-27,5	-6,5	-5,1	-4,8	-1,4

#### Emissionsmätningar av metan

Under sommarlagringen var det dagliga medelvärdet för metanemissioner uttryckt som g CH<sub>4</sub>-C m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> ca 3 gånger högre för rötad gödsel med eller utan täckning än för orötad gödsel (Tabell 4). De kumulativa metanemissionerna per ursprunglig volym var 210, 702 och 615 g CH<sub>4</sub>-C/ m<sup>3</sup> för G, RG respektive RG-T. Beräknat per kg VS som tillförts lagren var de kumulativa emissionerna ca 5-6 gånger högre för rötad gödsel än orötad. De beräknade metanemissionsfaktorerna (MCF) var drygt 11 gånger högre för RG och RG-T än för G beroende både på högre metangasproduktion per kg VS för RG och RG-T och på att dess B<sub>0</sub>-värde var lägre än för G.



Figur 1. Lagring av orötad gödsel (G), rötad gödsel utan tak (RG) och rötad gödsel med tak (RG-T) under sommaren 2010. Medeltal metanemissioner (g CH<sub>4</sub>-C/m<sup>3</sup> och dygn) per mätillfälle.

Under vinterlagringen var emissionerna betydligt lägre än under sommarlagringen med det högsta värdet för G, även om skillnaden inte var signifikanta jämfört med RG och RG-T. De kumulativa metanemissionerna per ursprunglig volym var 15,6, 1,4 och -0,1 g CH<sub>4</sub>-C/ m<sup>3</sup> för G, RG respektive RG-T.

Tabell 4. Metanemissioner i medeltal per m<sup>3</sup> och dag, kumulativt per kg VS i ursprunglig gödsel samt beräknad MCF för lagrad gödsel (G), rötad gödsel (RG) och rötad gödsel med tak (RG-T) under sommar respektive vinter lagring

Försöksled	Metanemissioner				MCF	
	g CH <sub>4</sub> -C m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>		g CH <sub>4</sub> -C kg <sup>-1</sup> VS		%	
	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter
G	2,37 <sup>a</sup>	0,13	3,18 <sup>a</sup>	0,60	2,20 <sup>a</sup>	0,47
RG	7,79 <sup>c</sup>	0,01	18,58 <sup>c</sup>	0,05	28,63 <sup>c</sup>	0,07
RG-T	6,78 <sup>b</sup>	0,00	16,28 <sup>b</sup>	-0,005	25,13 <sup>b</sup>	-0,01
Sammanvägda medelfel	0,20	0,04	0,34	0,17	0,50	0,15

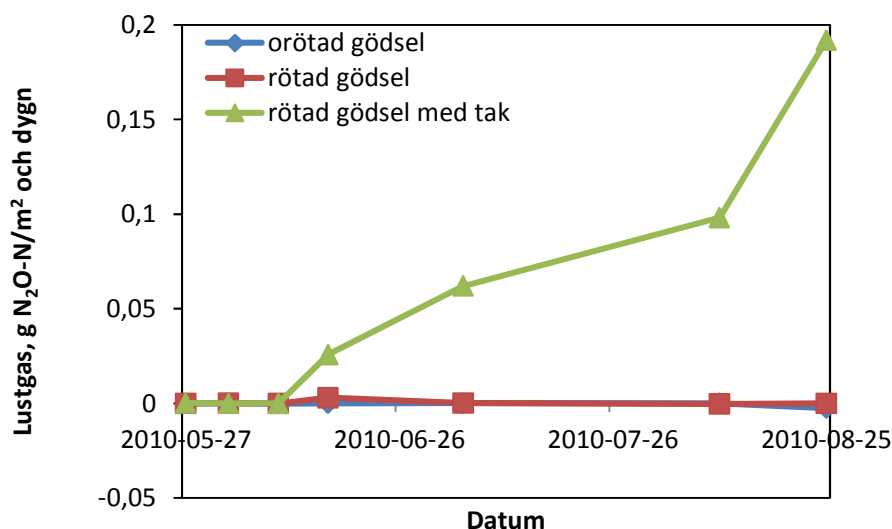
<sup>a, b, c</sup> Medelvärden med olika bokstäver inom respektive kolumn har en signifikant skillnad  $p < 0,05$  MCF för tre månaders sommarlagring av G var 2,2 % och för vinterlagring 0,5 %, vilket sammanvägt är något under tidigare medeltal av MCF under hela året (2,6 %) för tre månaders lagringstid (Rodhe m.fl., 2008). I medeltal för sommar- och vinterlagringarna var temperaturen ca 8 °C för G (14,2 respektive 2,3 °C, Tabell 3), ungefär detsamma som i studierna under ett år i försökslager. De uppmätta MCF-värdena för G visar dock igen att IPCC:s schablonvärde 17 % (utan täckning) (IPCC, 2006) är alldeles för högt för G lagrad under svenska förhållanden (Rodhe m.fl., 2008; 2012).

RG hade i försöken förmågan att generera större mängder metan i lager än G, trots att den maximala metanbildningsförmågan ( $B_0$ ) bara var hälften i RG jämfört med G. Högre produktion av CH<sub>4</sub> kan inte förklaras av högre temperatur, eftersom det endast var 0,2°C skillnad i gödseltemperatur mellan G och RG i studierna, utan snarare beror det på skillnader i antal metanbildare och dess aktivitet. Om RG varit varmare än G, som i fullskala, skulle det eventuellt varit ännu högre emissioner från RG än vad som uppmättes i pilotskalan. I

praktiken är det främst intressant att jämföra emissionerna per  $\text{m}^3$  mellan G och RG medan MCF-värdena i första hand kan användas då  $B_0$ -värdet är känt. Vid vinterlagring har uppenbarligen de kalla förhållandena stort metanbildningen i RG, så G gav då högre  $\text{CH}_4$  emissioner, men det var inte en statistiskt säker skillnad. Täckningen av lagret med RG under sommaren medförde signifikant lägre metangasemissioner än om RG inte var täckt. Det är känt att syretillgång i översta skiktet av gödseln kan minska metanemissionerna genom metanoxidation (metanet omvandlas till koldioxid) (Petersen m.fl., 2005).

### Emissionsmätningar av $\text{N}_2\text{O}$

$\text{N}_2\text{O}$  emissioner kunde endast detekteras under sommarförsöket från ledet där rötad gödsel hade täckts (RG-T), vilket motsvarar ett dagligt medelvärde på  $0,07 \text{ g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Emissionerna pågick från tredje veckan till slutet av försöket och var signifikant ( $p < 0,05$ ) högre än för de övriga lagringsleden. De kumulativa emissionerna och  $\text{N}_2\text{O}$  emissionsfaktorerna visas i Tabell 5.



Figur 3. Uppmätta lustgasemissioner ( $\text{g N}_2\text{O-N/m}^2 \cdot \text{dygn}$ ) i medeltal för gödsel (G), rötad gödsel (RG) och rötad gödsel med tak (RG-T) per mätillfälle under sommarlagring.

Tabell 5. Kumulativa lustgasemissioner ( $\text{g N}_2\text{O-N/m}^2$ ) och emissionsfaktorer ( $EF_{\text{N}_2\text{O}}$ ) i procent av N i lager med gödsel (G), rötad gödsel (RG) och rötad gödsel med tak (RG-T) under sommar respektive vinter

Lagrings-period	Emissioner ( $\text{g N}_2\text{O-N/m}^2$ )				$EF_{\text{N}_2\text{O}}$ (%)			
	G	RG	RG-T	Sammanvägda medelfel	G	RG	RG-T	Sammanvägda medelfel
Sommar	-0,020 <sup>a</sup>	0,027 <sup>a</sup>	5,98 <sup>b</sup>	1,010	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,04
Vinter	0,006	-0,008	-0,006	0,006	0,00	0,00	0,00	0,02

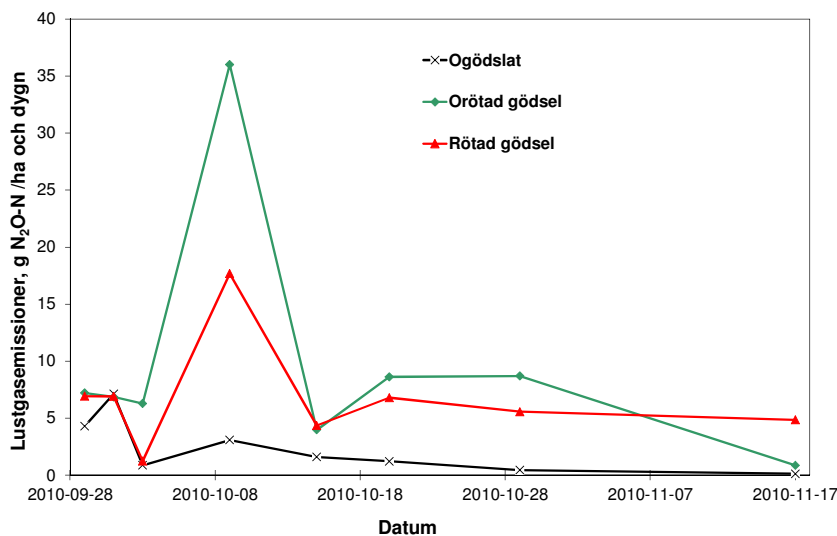
<sup>a, b</sup>Medelvärden med olika bokstäver inom respektive rad har en signifikant skillnad ( $p < 0,05$ )

Täckningen av lagret kan förutom att det gynnat metanoxidation också ha genererat  $\text{N}_2\text{O}$  genom att förhindra uppblötning av övre skiktet vid regn. Ammoniumkvävet kan därmed ha oxiderat till nitratkväve i övre skiktet, som i sin tur genererat  $\text{N}_2\text{O}$  (Sommer m.fl., 2000).

Den sammanvägda påverkan av CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O på globala klimatuppvärmningen (GWP<sub>100</sub>) var för G 7,0, för RG 23,4 och för RG-T 23,6 kg CO<sub>2</sub>ekv. per m<sup>3</sup> gödsel in i lagret under sommarlagring. Det innebär att takets hämmande effekt på CH<sub>4</sub> emissionerna har balanserats mot de högre N<sub>2</sub>O emissionerna med tak. För vintern var motsvarande klimatpåverkan för G 0,51, för RG 0,04 och för RG-T 0,0 CO<sub>2</sub>e per m<sup>3</sup> gödsel.

## Spridningsförsök

Förhållandena under fältmätningarna av växthusgaser visas i Tabell 6. Markfukten var högre under hösten, men temperaturen lägre än på våren. I stort var emissionerna av N<sub>2</sub>O låga, med EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> under 0,6 %, både för höst- och vårspridning, Tabell 7, Figur 4. Tidigare studier har visat markfuktighetens stora betydelse (Rodhe m.fl., 2012) och det kan vara en bakomliggande förklaring till att N<sub>2</sub>O emissionerna blev högre på hösten jämfört med våren. Gödslingen gav signifikant högre N<sub>2</sub>O emissioner för både G och RG på hösten jämfört med ogödslat, men endast för G på våren. Vid vårspridning hade RG en signifikant lägre EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> jämfört med G. Vid höstspridningen uppmättes en topp i N<sub>2</sub>O emissioner i oktober, efter det att marken tinat efter några dagar med frost (Figur 4). Den efter höstspridningen gjorda mätningen på våren visade små emissioner från RG (1,86 g N/ha och dygn), medan det fortfarande var relativt höga N<sub>2</sub>O emissioner från G (28,9 g N/ha och dygn).



Figur 4. Lustgasemissioner från mark gödselad med örötad eller rötad nötflytgödsel samt ogödslad mark, hösten 2010.

Tabell 6. Medeltemperatur (°C) i luft och markyta (0,02-0,05 m djup), volymeterisk vattenhalt (vol. VH, %) (variation inom parentes) och total nederbörd (mm) under de två olika perioderna med gasprovtagning i fält

	Temperatur (°C)		Vol. VH, mark 0,02-0,05 m, %	Total nederbörd, mm
	Luft	Markyta (0,02-0,05 m)		
Höst (50 dagar) 29 sept – 17 nov	9,1 (-5,0-19,6)	3,0 (-3,1-12,1)	27,8 (20,5-35,7)	73,6
Vår (72 dagar) 5 maj-17 juli	15,5 (-2,2-28,2)	17,4 (4,6-28,5)	17,8 (15,4-27,6)	92,2



Emissionerna av CH<sub>4</sub> var som brukligt negligerbara eller t.o.m. negativa, dvs. marken absorberar en del CH<sub>4</sub> och är därmed en kolsänka, Tabell 7.

Tabell 7. Gödselgivor och kumulativa emissioner av lustgaskväve (N<sub>2</sub>O-N) och metan (CH<sub>4</sub>-C) dels som kg per ha, dels som nettovärden i procent av tillfört Tot-N (EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub>) eller Tot-C med nötflytgödsel (G) och rötad nötflytgödsel (RG) på hösten eller på våren

Tidpunkt	Led	Givor			Emissioner av N <sub>2</sub> O-N		Emissioner av CH <sub>4</sub> -C	
		Ton/ha	Tot-N, kg/ha	TAN, kg/ha	Kg N/ha	EF <sub>N<sub>2</sub>O</sub> , % av Tot-N	Kg C/ha	% av Tot-C
Höst	Ogöds-lat	ER	ER	ER	0,07 <sup>a</sup>	ER	0,013	ER
Höst	G	25	62,5	28,25	0,44 <sup>b</sup>	0,59	-0,017	-0,005
Höst	RG	25	50	27	0,29 <sup>b</sup>	0,44	0,011	0,000
Vår	Ogöds-lat	ER	ER	ER	0,07 <sup>a</sup>	ER	-0,217 <sup>ab</sup>	ER
Vår*	G	25	40,8 <sup>*</sup>	25,8 <sup>*</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,20 <sup>b</sup>	-0,279 <sup>a</sup>	-0,023
Vår**	RG	25	54,5 <sup>**</sup>	29,5 <sup>**</sup>	0,12 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>a</sup>	-0,187 <sup>b</sup>	0,007

\*Minskat med ammoniakavgången under fyra timmar efter spridning innan nedbrukning, 1,7 kg N/ha (Salomon m.fl., 2012); \*\* Minskat med ammoniakavgången under fyra timmar efter spridning innan nedbrukning, 13 kg N/ha (Salomon m.fl., 2012); ER; Ej relevant

<sup>a, b, c</sup>Medelvärden med olika bokstäver inom respektive kolumn är signifikant skilda ( $p < 0,05$ ).

## Slutsatser och rekommendationer

Vid lagring av örötad och rötad gödsel var emissionerna av växthusgaser betydligt högre under sommaren än under vintern. Under sommaren var metanemissioner ca tre gånger så höga per m<sup>3</sup> från den rötade gödseln jämfört med örötade gödseln, medan emissionerna under vintern var obetydliga från den rötade gödseln och något högre från örötade gödseln. Täckning av lager med rötad gödsel under sommaren minskade metanemissionerna, men innebar istället en del N<sub>2</sub>O emissioner, vilket omräknat i CO<sub>2</sub>e tog ut varandra. På vintern då emissionerna genomgående var låga hade täckningen ingen effekt på avgången av växthusgaserna CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O. Emissionerna av N<sub>2</sub>O från fält var måttlig efter gödsling med örötad eller rötad gödsel på hösten och mycket låga på våren. För båda tillfällena var emissionsfaktorn för N<sub>2</sub>O högst för örötad gödsel, och för våren var skillnaden signifikant.

Sammanfattningsvis så är riskerna för höga emissioner av metan från lager störst på sommaren, speciellt från den rötade gödseln. Rekommendationer för att reducera metanemissionerna är att säkerställa en god utrotning, t.ex. lång uppehållstid med efterrötkammare och/eller att samla upp gasen från gastätt lager. Generellt kan åtgärder som kylning och syratillsats minska metanbildningen i lager. Vid rekommenderade gödselgivor om 25 ton/ha var N<sub>2</sub>O emissionerna efter spridning relativt små för båda gödselslagen och för tidpunkterna.

## Publikationer och övrig resultatförmedling till näringen

Ett referensgruppsmöte hölls i september 2012, då vi ingående diskuterade resultaten med experterna Seniorforskare Søren O. Petersen, Aarhus University, Professor Mikael Pell, samt Professor Jan Bertilsson, båda från SLU.

Resultat från lagringsstudierna har presenterats vid växthusgaskonferensen EmiLi Emission of

gas and dust from livestock, 2012-06-10- -13 i Saint-Malo, Frankrike. Resultat har också presenterats vid ett biogasseminarium ”SP biogasar – häng med!” i Lund (2012-05-24) där biogasbranschen fanns representerad. Presentation av preliminära resultat i samband med sjösättningen av SLU:s biogasanläggning vid Lövsta försöksgård (2012-10-03) där lantbrukare, forskare och representanter från näringen deltog. Vidare har resultat från studierna presenterats för rådgivare inom Greppa näringen (2012-11-21).

## Referenser

- Amon B., Kryvoruchko V., Amon T., Zechmeister-Boltenstern S., 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric. Ecosys. Environ.* 112, 153-162.
- APHA. 1985. *Standard methods for the examination of water and wastewater* (16th ed.). Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- Clemens J., Vandr  R., Kaupenjohann M. & Goldbach H. 1997. Ammonia and nitrous oxide emissions after landspreading of slurry as influenced by application technique and dry matter reduction. II. Short term nitrous oxide emissions. *Z. Pflanzenern hr. Bodenk.* 160, 491-496.
- Clemens, J., Trinborn, M., Weiland, P., Amon, B., 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agric. Ecosys. Environ.* 112, 171–177.
- Dosch P. & Gutser R. 1996. Reducing N losses (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) and immobilization from slurry through optimized application techniques. *Fert. Res.*, 43, 165-171.
- FAO, 2006. *Livestock's long shadow. Environmental issues and options.* (By H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan), 390 pp. Rom, Italien.
- IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Eds: Eggleston m.fl. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Intergovernmental Panel on Climate Change. IGES, Japan.
- NV, 2012. *Sweden's National Inventory Report 2012.* Naturv rdsverket, Stockholm, Sweden.
- Petersen, S.O., 1999. Nitrous oxide emissions from manure and inorganic fertilizers applied to spring barley. *Journal of Environmental Quality*, 28, 1610–1618.
- Petersen, S. O., Amon, B., & Gattinger, A., 2005. Methane oxidation in slurry storage surface crusts. *Journal of Environmental Quality*, 34, 455-461.
- Rodhe L. & Pell M., 2005. Täckt ytmyllning av flytgödsel i vall – teknikutveckling, ammoniakavgång, växthusgaser och avkastning. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 337. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rodhe, L., Ascue, J., Tersmeden, M., Ringmar, A., Nordberg,  ., 2008. Växthusgasemissioner från lager med nötflytgödsel. JTI-rapport Lantbruk & Industri 370, JTI, Uppsala.
- Rodhe L., Abubaker J., Ascue J., Pell M. & Nordberg  ., 2012. Greenhouse gas emissions from pig slurry during storage and after field application in northern European conditions. *Biosystems engineering* 113, 379-394.
- Salomon E., Sundberg M., Rodhe L., & Tersmeden M., 2012. Ammoniakavgång och sk rderespons från rötad och icker tad nötflytgödsel till vårkorn. Slutrapport, SLF projektnummer: H1033126 Kst: 330.
- SCB, 2008. Gödselmedel i jordbruket 2006/07. Mineral- och stallgödsel till olika grödor samt hantering och lagring av stallgödsel. Statistiska meddelanden MI 30 SM 0803, Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SIS. 2000. *Swedish standards: SS-EN 12176-1, SS 028113-1, SS 028101-1, SS – ISO 10694.* Stockholm, Sweden: Swedish Standards Institute.
- Sommer S.G., Sherlock R.R. & Khan R.Z. 1996. Nitrous oxide and methane emissions from pig slurry amended soils. *Soil Biol. Biochem.* 28, 1541-1544.
- Sommer S.G., Petersen, S.O., S gaard, H.T., 2000. Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. *J. Environ. Qual.* 29, 744-751
- Sommer, S.G., Petersen S.O., S rensen, P., Poullsen H.D. & M ller, H.B., 2007. Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr Cycl Agroecosyst* 78, 78:27-26.