

# Åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från lager med rötad och orötad gödsel (år 1)

*Lena Rodhe, Mats Edström, Åke Nordberg, Marianne Tersmeden och Johnny Ascue, JTI*

## Motiv

Tidigare svenska studier visar att vid ogynnsamma förhållanden, som exempelvis under sommaren, var metanemissionerna ca tre gånger så höga per m<sup>3</sup> från rötad stallgödsel jämfört med orötad gödsel. Det innebär att klimatnyttan med rötning av stallgödsel riskerar att förminska eller i värsta fall, försvinna vid stora utsläpp. Kunskap om effektiva, funktionella och ekonomiska åtgärder krävs därför för att säkerställa små utsläpp av växthusgaser från lager. Det finns också ett stort behov av data avseende emissioner från lager med rötad gödsel, med och utan åtgärder för att kunna värdera klimatnyttan med gödselrötning t.ex. med LCA.

## Mål år 1

Under år 1 var huvudmålet att bestämma utrotningsgradens betydelse för metan- och lustgasemissioner från rötad gödsel i jämförelse med orötad gödsel. Dessa emissioner kopplas till driftförhållandena vid anläggningen varifrån gödsel och rötrest hämtats. Ett annat mål var att se temperaturens inverkan på gasproduktionen från orötad och rötad gödsel.

## Material och metod

Under år 1 utfördes studier främst i pilotskala, vilket ger möjlighet att jämföra olika gödselslag/åtgärder under samma förhållanden och som tillåter statistisk bearbetning. I pilotskalan mättes emissioner av växthusgaser under sommaren från försöksleden A) Orötad gödselblandning (flytgödsel och hackad djupströbädd), B) Rötad gödsel i ett steg, R1 med ca 24 dagars uppehållstid och C) Rötad gödsel i 2 steg, R2, med ca 48 dagars uppehållstid under lagring i pilotskala (Rodhe m.fl., 2008).

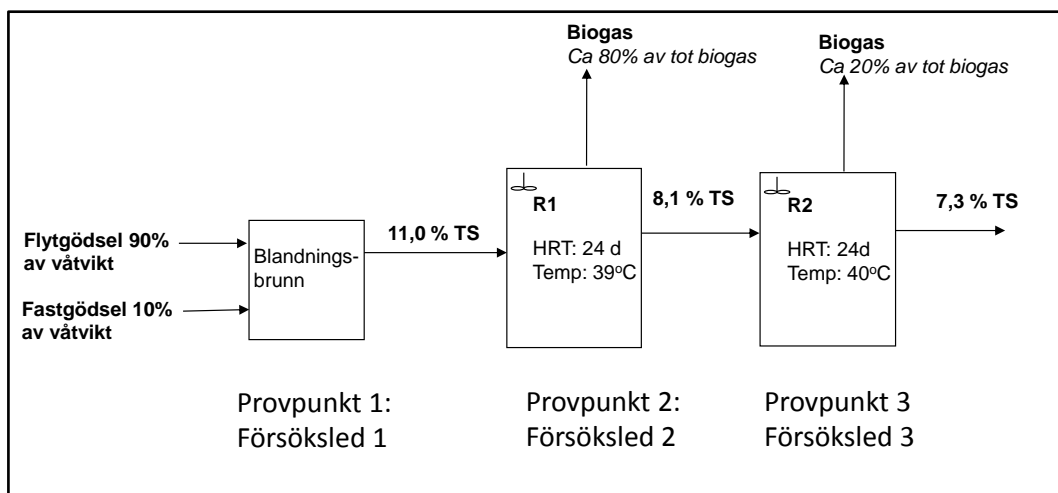
Under år 1 studerades A) Orötad gödselblandning (flytgödsel och hackad djupströbädd), B) Rötad gödsel i ett steg, R1 i ca 24 dagar och C) Rötad gödsel i 2 steg, R2, ca 48 dagar dels under lagring i pilotskala (Rodhe m.fl., 2008), dels i laboratoriumskala.

Parallellt med pilotskaleförsöket studeras i laboratorium temperaturens påverkan på metanbildningen vid olika konstanta temperaturer utan inympning. Den biogasanläggning vars gödsel och rötrest används i pilot- och laborieförsök karakteriseras utifrån tillgänglig driftsdata, vilka kompletterades med ytterligare analyser och beräkningar.

## Biogasanläggning och gödselslag

Gödsel och rötrest hämtades från en gårdsbaserad biogasanläggning som enbart rötar stallgödsel. Gården bedriver mjölkproduktion där all producerad stallgödsel från mjölkkor och rekrytering rötas. Driftsförhållandena hos anläggningen dokumenterades vid besök och kompletterande data erhöles av gårdens personal. Flytgödsel (90 % av våtvikten) och hackad djupströgödsel (10 % av våtvikten) blandades i en blandningsbrunn innan den matades in i första röttkammaren, Figur 1. Gödelblandningen rötades seriellt i två lika stora röttkammare. Uppehållstiden för respektive röttkammare var ca 24 dagar (beräknat på inflödet).

Rötningstemperaturen i första röttkammaren (R1) var ca 39 °C och temperaturen i andra röttkammaren (R2) var ca 40 °C. Den organiska belastningen har för R1 beräknats till 3,85 kg VS/m<sup>3</sup> och dygn och för R2 till 2,53 kg VS/m<sup>3</sup> och dygn. Biogasen används huvudsakligen för kraftvärmeproduktion.



Figur 1. Schematisk bild över biogasanläggning som levererat gödsel och rötrest till försöket.

Biogasanläggningen saknade tillförlitlig gasmätare. För att kunna bedöma anläggningens effektivitet samt för att kunna relatera uppmätta metanemissioner i försöket till producerad metanproduktion vid anläggningen beräknades biogasproduktionen med en massbalansmodell baserat på uppgifter om producerad mängd elektricitet, den maximala metanbildningskapaciteten ( $B_0$ ), antagandet att 80 % av totala biogasproduktionen kommer från R1 och resterande 20 % från R2 (Castillo, 2012) samt gödselanalyser, Tabell 2.

## Gödselhämtning och fyllning behållare i pilotanläggning (och flaskor)

På morgonen mellan kl. 6-8.30 den 22 april hämtades de tre olika gödselslagen på gården med slambil, transporterades till JTI, där lagringsbehållarna fylldes på kvällen (kl. 18.15-20.25), figur 2. Samtidigt med behållarna fylldes även gastäta flaskor, som placerades i respektive behållare. Innan fyllning togs representativa prover för analys av torrsbstans (TS), organisk substans (VS), totalkväve (Tot-N), totalt ammoniumkväve (TAN), totalkol (Tot-C), pH och prov till satsvisa utrötningar för bestämning av den maximala metanbildningskapaciteten ( $B_0$ ) vid 37 °C under 105 dagar beskriven av Rodhe m.fl. (2008). Behållarna fylldes i två steg för att få mer representativ gödsel (eventuella skiktningar i slambilen). Nivån 1,1 m hade märkts ut, men det var inte helt lätt att få det jämnt.



Figur 2. Fyllning av behållare och placering av separata flaskor i stativ i behållarna på halva gödseldjupet, samt i laboratorium vid konstanta temperaturer.

### Emissionsmätning av klimatgaser i pilotskala (3 m<sup>3</sup> behållare)

Studierna utfördes från 22 april t.o.m. 10 september 2015 ("sommarförhållanden", ca 5 månader) i JTI:s pilotskaleanläggning för mätning av växthusgaser bestående av 9 behållare, delvis nedgrävda (Rodhe m.fl., 2008; 2013). Varje gödsel/rötrest-led upprepades tre gånger, dvs. tre behållare per led. Den experimentella designen var randomiserat blockförsök för att säkerställa den statistiska bearbetningen. Temperaturen i pilotlagren registrerades varje timme med temperaturgivare placerade 0,1 m från botten respektive 0,1 m under ytan.

Emissionerna av metan, koldioxid och lustgas mättes med s.k. slutna kamrar specifikt anpassade för denna pilotskaleanläggning (Rodhe m.fl., 2008). Ett gastätt lock placerades ca 0,2 m över gödselytan och gasprover togs ut direkt, samt efter 15 respektive 30 minuter efter förslutning i luftvolymen ovanför gödselytan. Gasproverna analyserades med avseende på CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> och N<sub>2</sub>O med gaskromatograf. Emissionerna beräknades med linjär regression från koncentrationsförändring över tid. Gasprovtagningarna upprepades 14 gånger under lagringsperioden, med start dagen efter fyllning. Provtagningen skedde något tätare i början ca en provtagning per vecka, men senare fördelades tidpunkten för provtagning relativt jämnt över tid, men mer sällan under kallare perioder. Emissionerna mellan två mättillfällen beräknades genom att ta medelvärdet för emissionerna vid de två mättillfällena och multiplicera med antalet dagar mellan mätningarna. Emissionerna summerades därefter för hela tiden för att få kumulativa värden.

### Laboratorieskala

Laboratoriestudier utfördes för att bestämma metanbildningen vid olika temperaturer för samma gödsel och rötad gödsel som användes i pilotförsöket, figur 2. I samband med fyllning av pilotskalebehållarna fylldes gödsel och rötad gödsel (R1 respektive R2) i 1 L- glasflaskor, vilka förslöts och inkuberades utan

inympling vid tre olika konstanta temperaturer (Tabell 2). Försöken genomförs med 3 paralleller för att säkerställa statistisk bearbetning.

Tabell 1. Laboratoriestudier av metanbildningen vid olika temperaturer för gödsel och rötad gödsel som användes i pilotförsöket år 1.

	A) Orötad gödsel	B) Rötad gödsel, R1	C) Rötad gödsel, R2
Temp	20°C	20°C	20°C
	15°C	15°C	15°C
	10°C	10°C	10°C
	Pilotlager	Pilotlager	Pilotlager

Laboratorieförsöken pågick i 141 dagar och provtagning samt analyser skedde med olika frekvenser (tätare i början och mer sällan i slutet av försöken). Gasproduktionen beräknades genom att trycket i flaskorna mättes med en digital tryckmätare (GMH 3110) utrustad med en trycksensor. Trycket konverterades därefter till normal gasvolym (1 atm och 0°C). Samtliga producerade gasolymer redovisas efter normalisering. Metanhalten analyserades med gaskromatograf (PerkinElmer ARNEL, Clarus 500).

## Resultat och diskussion

### Biogasproduktionen vid anläggning

Metanproduktionen beräknades vara 17,4 Nm<sup>3</sup>/ton gödselblandning efter passage av båda röt kamrarna, vilket ger ett metanutbyte på 190 Ndm<sup>3</sup>/kg tillförd VS. Metanproduktionen i R1 beräknades vara 13,9 Nm<sup>3</sup>/ton gödselblandning och metanproduktionen i R2 beräknades vara 3,5 Nm<sup>3</sup>/ton gödselblandning. Metanutbytet i R1 har beräknats till 151 Ndm<sup>3</sup>/kg tillförd VS via gödselblandningen, vilket ligger nära det värde som Castillo (2012) rapporterar på 148 Ndm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS (rötning av flytgödsel från mjölkcor vid 37 °C, 23 dagars uppehållstid och en belastning på 3,4 kg VS/m<sup>3</sup> och dygn). Metanutbytet i R2 har beräknats till 59 Ndm<sup>3</sup>/kg tillförd VS via den rötade gödselblandningen som lämnar R1.

Den totala biogasproduktionen har beräknats väga 3,9 % av vikten på tillförd gödselblandning, vilket innebär att utflödet från R2 utgör 96,1% av gödselblandnings vikt. Gödselblandningens VS-reduktion beräknades till 43 % efter passage av R1 och R2. Massbalansberäkningen över R1 gav att vikten på utflödet från R1 utgör 96,9% av vikten på inflödet till R1. Baserat på dessa beräkningar kan metanproduktionen också uttryckas som:

- 14,3 m<sup>3</sup> metan/ton utflöde från R1.
- 3,8 m<sup>3</sup> metan/ton utflöde från R2.

### Egenskaper hos gödsel och rötrest

Gödselns torrsubstanshalt (TS), glödförlust (VS) och innehåll av kväve, kol, fosfor och kalium samt flyktiga fettsyror (Volatile fatty acids, VFA) och pH visas vid start av lagring, tabell 2. Analyserna vid slutet av lagring är ännu ej erhållna.

Tabell 2. Gödselns torrsubstanshalt (TS), glödförlust (VS) och innehåll av kväve, kol, fosfor och kalium samt flyktiga fettsyror (Volatile fatty acids, VFA) och pH vid start och slut av lagring i pilotskalebehållare.

Gödselslag	Tid-punkt	TS, %	VS, % av TS	VFA, g l <sup>-1</sup>	pH	Kg per ton våtvara			Tot-C /Tot-N	B <sub>0</sub> <sup>*</sup> , Ndm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> kg VS <sup>-1</sup>
						Tot-N	TAN	Tot-C		
A) Orötad gödsel	Start	11,0	82,8	9,4	6,8	5,4	2,5	49,2	9,1	207
	Slut	10,6	82,9	12,6	6,5	4,0	1,5	48,7	12,2	-
B) Rötad gödsel, R1	Start	8,1	76,9	<0,1	7,4	5,3	3,1	33,7	6,4	74
	Slut	6,8	75,7	0,4	7,6	3,4	1,6	29,4	8,6	-
C) Rötad gödsel, R2	Start	7,3	74,3	<0,1	7,6	5,2	3,1	30,4	5,8	61
	Slut	6,5	74,2	0,3	7,8	3,5	1,7	27,5	7,8	-

\*Metanbildningskapaciteten är relaterad till respektive gödselslags VS-innehåll.

Den maximala metanbildningskapaciteten (B<sub>0</sub>) för gödseln uppgick till 207 Ndm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg VS (19 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ ton gödsel). Metanutbytet vid anläggningen (190 Ndm<sup>3</sup>/kg tillförd VS) motsvarar alltså ca 92 % av B<sub>0</sub> från gödselblandningen, vilket är högt och kan delvis bero på att röt-kammarna drevs vid 39-40 °C medan bestämningen av B<sub>0</sub> gjordes vid 37 °C. Vid enstegsrötning var metanproduktionen från röt-kammare 1 ca 73 % av gödselblandningens B<sub>0</sub>-värde.

Motsvarande B<sub>0</sub> (även ibland även kallad restmetanpotentialen för rötrest) för R1 uppgick till 4,6 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton rötrest, vilket motsvarar ca 32 % av metanproduktionen från första röt-kammaren (14,3 m<sup>3</sup>/ton rötrest). För R2 var restmetanpotentialen 3,3 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton rötrest, vilket utgör 18 % av den totala metanproduktionen från båda röt-kammarna (18,1 m<sup>3</sup>/ton rötrest).

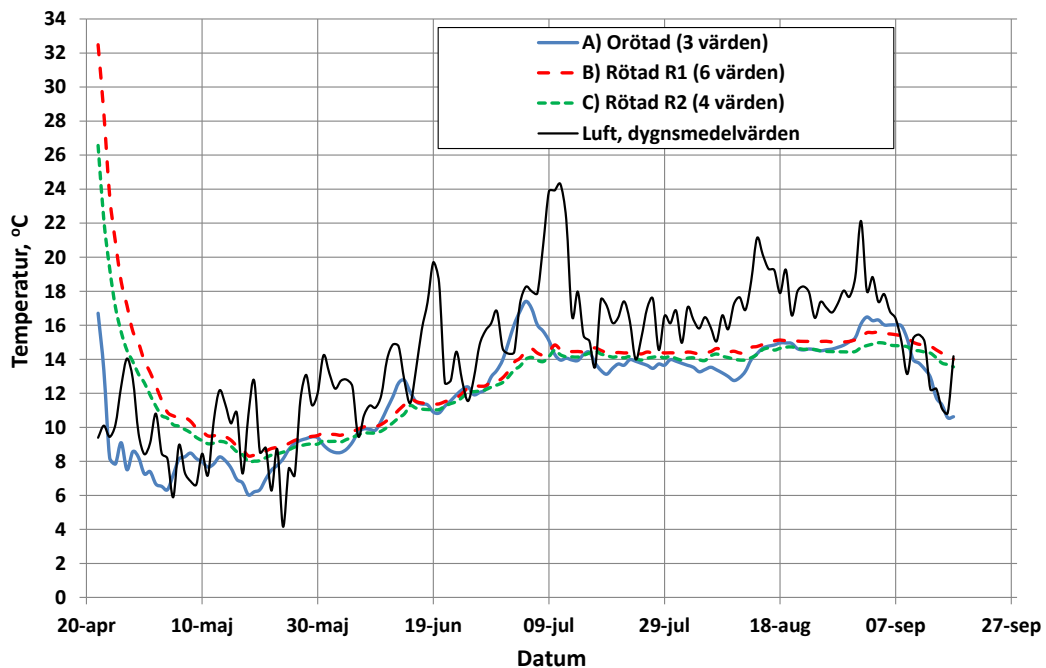
Svämtäcke på den orötade gödselblandningen, var ca 0,55 m tjockt och i behållarna med rötad gödsel i ett steg (R1), var svämtäcket ca 0,15 m tjockt. I tidigare studier av orötad gödsel under ett års lagring (Rodhe m.fl., 2008) var ts-halten i övre skiktet som högst 17,2 % på våren innan tömning dvs. ungefär som i övre skiktet för den orötade gödselblandningen.

## Emissioner från pilotskala

### Lagringsförhållanden

Våren och försommaren 2015 var relativt kalla och först i början av juli kom värmen. I figur 3 visas hur dygnsmedelvärdet på temperatur i luft samt medeltemperaturen för de tre olika gödsel/rötresterna. Initialt var lagertemperaturen högre i R1 och R2 jämfört med den orötade gödselblandningen, men efter ca 14 dagar var temperaturen desamma. Senare varierade den orötade gödseln något mer, antagligen för att övre temperaturgivaren låg i svämtäcket och hade eventuellt mer kontakt med luften. I ett storskaligt lager med kontinuerlig tillförsel av gödsel/rötrest hade det inte varit så stor temperaturskillnad initialt mellan orötad och rötade gödselslag, men däremot hade temperaturen hos de rötade gödselslagen legat högre under de efterföljande månaderna till följd av kontinuerlig tillförsel av varm rötrest (ca 1-4 °C högre enligt Rodhe m.fl. (2013).

### Medeltemperatur i behållare, uppmätt på 2 nivåer



Figur 3. Medeltemperaturen hos A) Orötad gödselblandning, B) Rötad gödsel, R1 och C) Rötad gödsel, R2 under lagring, 141 dagar samt lufttemperaturen (medeltal per dygn).

I tabell 3 redovisas medeltemperaturer för respektive gödsel, uppmätt i tre behållare och på två nivåer. Högre temperatur i början av lagringen hos rötade gödseln och isolerande halmsvämtdäcke hos orötad gödsel har påverkat så att i stort var medeltemperaturen lägst i den tvåstegsrötade gödseln, medan det inte var någon större skillnad mellan orötade gödselblandningen och den enstegsrötade gödseln. Temperaturen i behållarnas ytzon var från och med början av juni till mitten av augusti ca 2 grader högre än temperaturen i bottenzonen, därefter minskade differensen till ca 1 grads skillnad.

Tabell 3. Temperaturer i luft och gödsel vid lagring under 141 dagar i pilotskalebehållare.

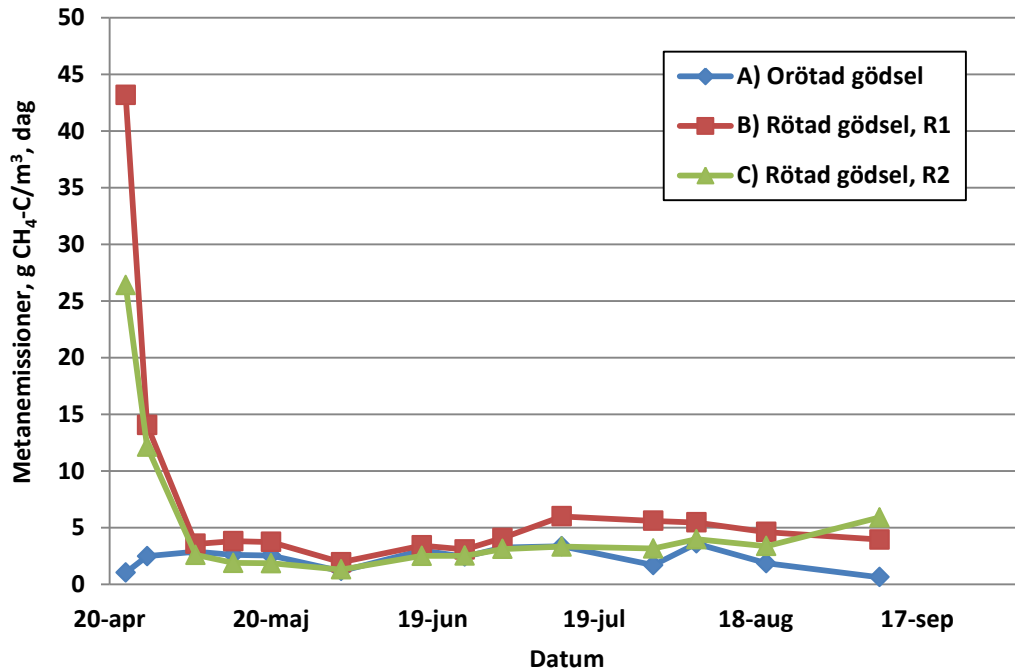
	Luft, °C	Medeltemperatur i behållare, °C			Medeltemperatur övre nivå, °C			Medeltemperatur, nedre nivå, °C		
		A)*	B)	C)	A)*	B)	C)	A)	B)	C)
Medeltal	14,5	11,9	13,1	12,5	14,1	13,7	13,6	9,7	12,5	11,5
Max	30,8	17,6	32,5	26,6	19,7	33,2	28,0	19,2	31,8	25,0
Min	-1,8	4,5	8,3	7,9	3,7	8,1	8,1	5,3	8,4	8,0

\*Övre temperaturgivaren i poröst svämtdäcke,

### Metan och koldioxid

I figur 4 visas metanemissionerna under studien. Högst emissioner var det i början av lagringen av den rötade gödseln. Det kan förklaras både med den initialt höga temperaturen, men också att det var metan som redan bildats i rötammaren, där metanproduktionen stimulerats. När temperaturen i gödselslagen låg under 10 °C (slutet av maj – början av juni) var emissionerna låga och det var ingen större skillnad mellan gödselslagen. I början av juli och senare i augusti ökade

temperaturen igen i lagren och då ökade emissionerna från den rötade gödseln medan emissionerna från den orötade snarare avtog. Under de första 15 dagarna avgick 11, 32 och 32 % av totala metanemissionerna för A, B respektive C.



Figur 4. Metanemissioner (g CH<sub>4</sub>-C per m<sup>3</sup> och dag) under lagring av A) Orötad gödsel, B) Rötad gödsel, R1 och C) Rötad gödsel, R2 under lagring, 141 dagar.

I tabell 5 visas kumulativa förlusterna av metan och koldioxid. Koldioxidförlusten var störst från gödselblandningen, vilket säkert berodde på den stora inblandningen av djupströgödsel. I svämtäcket har det antagligen varit en hel del aerob mikrobiologisk aktivitet, som genererat koldioxid (CO<sub>2</sub>), tabell 4.

Tabell 4. Metanemissioner i medeltal per m<sup>3</sup> och dag, kumulativt per m<sup>3</sup> och kg VS i ursprunglig gödsel, samt beräknad andel av ursprungligt innehåll av kol (C) för lagrad (A) orötad gödsel, (B) rötad gödsel ett steg R1 och (C) rötad gödsel i två steg R2 under lagring 141 dagar under april-september 2015. Även emissioner av koldioxid (CO<sub>2</sub>).

Försöks- led	Metanemissioner				Koldioxid		Förlust av kol (C), % av Tot-C	
	g CH <sub>4</sub> -C m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	g CH <sub>4</sub> -C m <sup>-3</sup>	g CH <sub>4</sub> -C kg <sup>-1</sup> VS	kg CO <sub>2</sub> ekv. m <sup>-3</sup>	g CO <sub>2</sub> -C m <sup>-3</sup>	g CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> VS	CH <sub>4</sub> -C	CO <sub>2</sub> -C
A)	2,33 <sup>c</sup>	328,7 <sup>c</sup>	3,62 <sup>c</sup>	11,0 <sup>c</sup>	2468,2 <sup>a</sup>	27,22 <sup>a</sup>	0,7	5,0
B)	5,53 <sup>a</sup>	779,5 <sup>a</sup>	12,51 <sup>a</sup>	25,8 <sup>a</sup>	946,2 <sup>b</sup>	15,28 <sup>b</sup>	2,3	2,8
C)	3,92 <sup>b</sup>	553,3 <sup>b</sup>	10,16 <sup>b</sup>	18,4 <sup>b</sup>	721,0 <sup>b</sup>	13,24 <sup>b</sup>	1,8	2,4
Samman- vägda medelfel	0,17	24,0	0,31	0,84	122,6	1,49		

<sup>a, b, c</sup> Medelvärden med olika bokstäver inom respektive kolumn har en signifikant skillnad p<0,05.

### Metangas från lager i förhållande till biogasproduktion, sommar

I tabell 5 redovisas metanemissionerna från lager under sommaren i relation till beräknad metanproduktion från gårdsanläggningen vid en- respektive tvåstegsrötning. Det kan vara en typ av nyckeltal för att visa klimateffektiviteten hos anläggningen. Anläggningens klimatpåverkan per producerad biogasmängd blir betydligt lägre vid två-stegsrötning jämfört med enstegsrötning. På årsbasis bör relationstalen vara ca hälften, eftersom emissionerna under vintern är mycket låga, men metanproduktionen från reaktorn bör vara densamma som under sommaren.

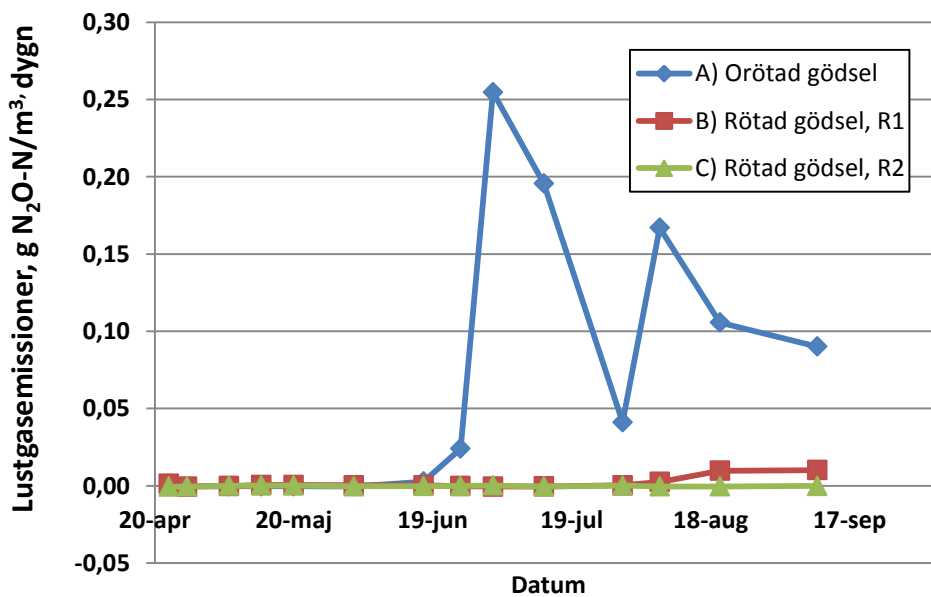
Tabell 5. Emissioner av metan ( $CH_4$ ) från pilotlager med rötrest (R1 respektive R2) relativt beräknad metanproduktion från gårdsanläggning vid en- respektive tvåstegsrötning.

Röttnings-process gård	$CH_4$ -gasproduktion biogaskammare, $Nm^3/ton$	$CH_4$ -emissioner lager rötrest, $g CH_4-C m^{-3}$	$CH_4$ -emissioner lager rötrest, $Nm^3/ton^*$	$CH_4$ från lager, % av $CH_4$ producerat från röttkammare
Enstegsrötning	14,3	779,5	1,46	10,2
Tvästegsrötning	18,1	553,3	1,03	5,7

\*Omräknat från resultat i tabell 4.

### Lustgas

Efter ca 65 dagar började det avgå lustgas från den orötade gödseln, som hade ett tjockt svämtäcke, figur 5. Det förekom lustgasemissioner ända fram till sista mätningen. Under senare delen av lagringen var det också små lustgasemissioner från rötade gödseln R1, som också hade ett svämtäcke, men betydligt tunnare än den orötade gödseln.



Figur 5. Lustgasemissioner ( $g N_2O-N$  per  $m^3$  och dag) från lager med A) Orötad gödsel, B) Rötad gödsel, R1 och C) Rötad gödsel, R2, under 141 dagars lagring.



I tabell 6 visas kumulativa lustgasemissionerna. Den örötade gödseln med tjockt svämtäckte gav signifikant högre lustgasemissioner än de två rötresterna. Den sammanvägda påverkan av CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O på globala klimatuppvärmningen (GWP<sub>100</sub>) var signifikant högre för B) rötad gödsel, R1 än för A) örötad gödselblandning respektive C) rötad gödsel, tabell 7. Det gick dock inte att påvisa signifikanta skillnader mellan den örötade gödselblandningen och tvåstegsrötad gödsel.

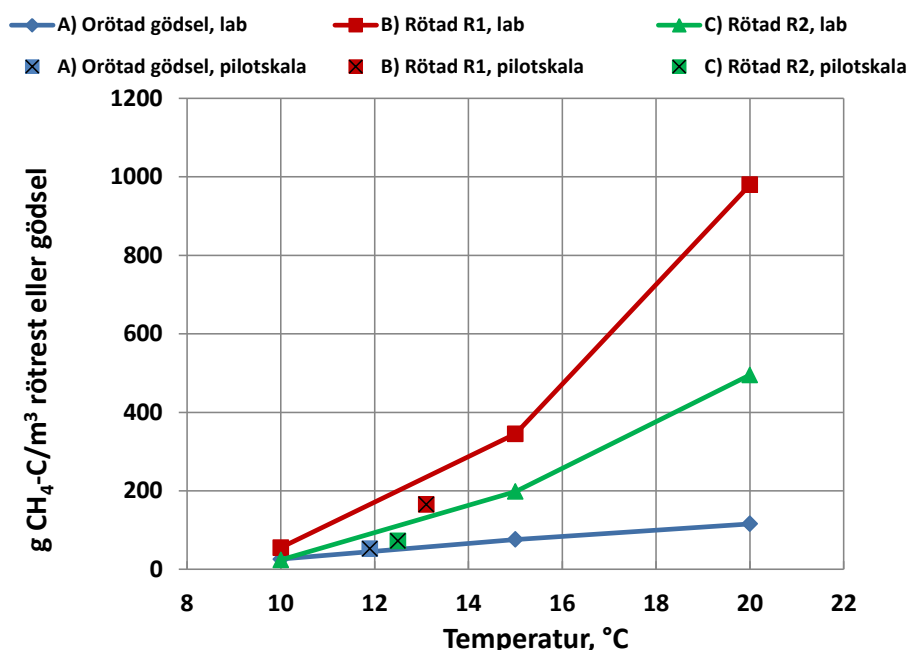
Tabell 6. Kumulativa lustgasemissioner (g N<sub>2</sub>O-N/m<sup>2</sup> respektive g N<sub>2</sub>O-N/m<sup>3</sup>) och emissionsfaktorer (EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub>) i procent av N i lager vid start lagring, samt sammanlagda klimatpåverkan (GWP<sub>100</sub>) från metan och lustgas i kg CO<sub>2</sub>ekv./m<sup>3</sup>.

Försöksled	Lustgasemissioner				N <sub>2</sub> O och CH <sub>4</sub>
	g N <sub>2</sub> O-N m <sup>-2</sup>	g N <sub>2</sub> O- N m <sup>-3</sup>	Kg CO <sub>2</sub> ekv. m <sup>-3</sup>	EF <sub>N<sub>2</sub>O</sub> , %	Kg CO <sub>2</sub> ekv. m <sup>-3</sup>
A) Örötad gödsel	11,2 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>	4,8 <sup>a</sup>	0,19	15,7 <sup>b</sup>
B) Rötad gödsel, R1	0,3 <sup>b</sup>	0,3 <sup>b</sup>	0,1 <sup>b</sup>	0,01	26,0 <sup>a</sup>
C) Rötad gödsel, R2	0,0 <sup>b</sup>	0,0 <sup>b</sup>	0,0 <sup>b</sup>	0,00	18,4 <sup>b</sup>
Sammanvägda medelfel	0,46	0,35	0,16		0,89

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

### Metanproduktion i laborieförsök, inverkan av temperatur

Temperaturens betydelse för metanproduktionen från de tre materialen (gödsel, R1 och R2) framgår tydligt av figur 6, som visar den kumulativa produktionen efter 141 dagar vid olika temperaturer.



Figur 6. Kumulativa metangasproduktionen från örötad gödsel, rötad gödsel i ett steg (R1) och i två steg (R2) vid inkubering i flaskor i laboratorium vid temperaturerna 10, 15 och 20 °C, samt i pilotskalebehållarna med rådande temperatur.

R1 påverkas mest av temperaturen följt av R2 och gödsel. Detta beror sannolikt på att rötresten innehåller en större andel metanbildande mikroorganismer som aktiveras vid stigande temperatur. Vid 10 °C är skillnaderna försumbara, vilket indikerar att lagringstemperaturer ned mot 10 °C ger mycket låga emissioner oavsett om det är orötad eller rötad gödsel. I figuren finns även den kumulativa metanproduktionen för de flaskor som inkuberats i pilotlagren, där medeltemperaturen var ca 12-13 °C (Tabell 3).

## Slutsatser

*Pilotförsöket visade att:*

- Rötning i två steg under 48 dagar jämfört med ett steg under 24 dagar minskade metanemissionerna från lager med ca 30 procent under sommarhalvåret (ca 5 månader).
- Metanemissionerna från rötad gödsel i ett steg var ca 2,5 ggr högre än från ej rötad gödselblandning och vid två-stegsrötning gav den rötade gödseln ca 1,7 ggr högre emissioner under sommarlagring.
- Lustgas avgick efter ca 65 dagars lagring från den orötade gödselblandningen, där det bildats ett tjockt sväntäcke under sommarförhållanden.
- Den sammanvägda påverkan av CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O på globala klimatuppvärmningen (GWP<sub>100</sub>) vid sommarlagring var lägst för orötad gödselblandning (15,7 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>3</sup> gödsel in i lagret), högst för rötad gödsel i ett steg, (26,0) och rötad gödsel i två steg, R2 låg däremellan (18,4).

*Laboratorieförsöket visade att:*

- Även i denna skala utförd vid samma temperaturer erhöles högst metanemissioner från rötad gödsel i ett steg, följt av rötad gödsel i två steg och lägst från orötad gödsel.
- Metanproduktionen vid lagring av rötrest från både R1 och R2 var starkt beroende av lagringstemperaturen. Vid temperaturen 15 °C var metanproduktionen ca 5 ggr och vid 20 °C ca 20 ggr högre än metanproduktionen vid 10 °C.
- Metanproduktionen vid lagring av orötad gödselblandning var mindre beroende av lagringstemperaturen än den rötade gödseln. Vid 15 °C temperatur var metanproduktionen ca 2 ggr och vid 20 °C ca 5 ggr högre än metanproduktionen vid 10 °C.

Studierna år 2 bör fokuseras på effektfulla åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från rötrestlager nämligen 1) Påverkan av sväntäcke för att minimera lustgasemissioner (kan ev. även minska metanoxidation), 2) Åtgärder för att sänka temperaturen i lager, samt 3) Uppsamling av metangas från lager.

## Referenser

- Castillo M. d. P., 2012. Ökad biogas produktion från flytgödsel. [www.lantbruksforskning.se](http://www.lantbruksforskning.se)
- Rodhe L., Ascue J., Tersmeden M., Ringmar A. & Nordberg Å., 2008. Växthusgasemissioner från lager med nötflytgödsel. JTI - rapport *Lantbruk & Industri* nr 370. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rodhe L., Ascue J., Tersmeden M., Willén A., Nordberg Å., Salomon E. & Sundberg M., 2013. Växthusgaser från rötad och orötad gödsel i lager och utspridd på mark samt ammoniakavgång och kornskörd. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 413. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.