

JTI-rapport

Lantbruk & Industri

337

Täckt ytmyllning av flytgödsel i vall – teknikutveckling, ammoniakavgång, växthusgaser och avkastning.

Lena Rodhe
Mikael Pell



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

2005

Täckt ytmyllning av flytgödsel i vall

– teknikutveckling, ammoniakavgång, växthusgaser
och avkastning

Closed-slot injection of slurry into ley

Lena Rodhe
Mikael Pell

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning.....	7
Summary.....	8
Forskningsfronten inom området.....	9
Hypotes.....	11
Mål.....	11
Material och metod.....	11
Tillverkning av spridningsramp för täckt ytnylning.....	11
Fältförsök.....	12
Markegenskaper.....	13
Väderlek.....	14
Gödselns egenskaper.....	16
Spridningsteknik.....	16
Gödselns placering.....	16
Ammoniakavgång.....	17
Avgång av lustgas och metangas.....	17
Grönskador.....	19
Avkastning.....	19
Statistisk analys.....	19
Resultat.....	19
Funktionsstudier.....	19
Blockförsök.....	20
Gödselns placering.....	20
Ammoniakavgång.....	20
Avgång av lustgas och metan.....	21
Grönskador.....	22
Avkastning.....	23
Diskussion.....	25
Slutsatser.....	25
Referenser.....	26
Bilaga 1.....	29

Förord

I föreliggande studie har en prototypbill för täckt ytmyllning av flytgödsel i vall anpassats för produktion, mångfaldigats och monterats på en 4 m bred spridningsramp. I fältstudier har spridningstekniken utvärderats ur olika aspekter som funktion, ammoniakavgång, avkastning, grödsador, samt förändringar i avgången av växthusgaserna lustgas och metan vid övergång till ytmyllning jämfört med bandspridning av flytgödseln på markytan. Drivkraften bakom teknikutvecklingen är att söka reducera jordbrukets utsläpp av kväve i form av ammoniak och att minska risken för försämrad mjölk kvalitet till följd av förorenat grovfoder.

Studierna har varit möjliga tack vare finansiering från Stiftelsen Lantbruksforskning (mjölkprogrammet) och Ranaverken AB, som konstruerat och tillverkat spridarrampen samt ställt en spridningstankvagn till förfogande. JTI har satsat strategiska medel i metodikutvecklingen för mätning av växthusgasemissioner.

Vid JTI har forskare Lena Rodhe ansvarat för upplägg, genomförande av studierna och rapportering. I forskningsarbetet rörande växthusgasmätningar har JTI samarbetat med docent Mikael Pell vid Institutionen för mikrobiologi, SLU, och forskare Sirwan Yamulki vid Institute of Grassland and Environmental Research (IGER), Storbritannien. Provtagningsarbete och analyser av växthusgaser utfördes till största delen av laboratorieingenjör Johnny Ascue, JTI. Fältarbetet har främst utförts av JTI:s personal från Stallgödselgruppen. Försöket placerades på Hushållningssällskapetets försöksgård Fransåker söder om Uppsala där biträdande försöksledare Anders Gustafson hjälpt oss att sköta och skörda försöket. Projektet har haft en referensgrupp, bestående av mjölkproducent Bengt Erikson, Tånga gård, Alunda och fältforskningskoordinator Nilla Nilsson-Linde, som tillfört värdefulla synpunkter på upplägg och resultat.

Vi vill rikta ett stort tack till alla de som på olika sätt bidragit till genomförandet av studien.

Uppsala i april 2005

Lennart Nelson

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

En 4 m bred ramp med billar för täckt ytmyllning tillverkades efter en prototyp-bill, som placerar flytgödseln i täckta skåror i vallen. Billen kunde köras utan eller med efterföljande tryckhjul, som täpper till skåran med gödsel. I fältstudier utvärderades ytmyllning jämfört med bandspridning av flytgödseln på markytan ur olika aspekter såsom funktion, ammoniakavgång, avkastning, grödskador, samt avgång av växthusgaserna lustgas och metan. De övergripande målen är att reducera jordbrukets utsläpp av kväve i form av ammoniak och att minska risken för försämrad mjölk kvalitet till följd av förorenat grovfoder. Fältstudierna utfördes som randomiserade blockförsök under sommaren 2003 i Uppland på en styv lera. Vallen var s.k. uttagen areal enligt det stöd till jordbruket som Jordbruksverket administrerar, och vallen hade inte gödslats under de två föregående åren. Avsaknaden av tidigare gödsling var ett krav för att inte organiska rester från tidigare år skulle störa mätningarna av växthusgaser.

Resultaten visar att billarna placerade gödseln i marken på önskat sätt så att ammoniakavgången blev så låg att den inte kunde detekteras. Användningen av ett tryckhjul efter billen täppte till skåran, så att det inte blev någon synbar gödsel i markytan och minskade spåren efter billarna. Mätning av ammoniakavgången startades direkt efter spridningen och pågick under de följande fyra dagarna. Någon ammoniakavgång vid täckt ytmyllning gick inte att detektera oberoende av om det fanns tryckhjul eller inte. Efter bandspridning avgick 39,4 % av ammoniumkvävet i flytgödseln till luften som ammoniak eller 12,9 kg N/ha vid givan 25 ton nötflytgödsel per ha.

Efter spridningen togs kontinuerligt gasprover för analys av lustgas och metan från s.k. slutna kamrar. Tre uttag av gasprover för lustgas- och metangasanalys gjordes under försökets första period parallellt med ammoniakmätningarna och utfördes därefter med en veckas mellanrum, totalt 10 provomgångar. Det fanns signifikanta skillnader, med högst avgång av lustgas för täckt ytmyllning följt av bandspridning och ogödslat. Lustgasemissionerna motsvarade en kväveförlust av 0,75 kg N per ha efter den täckta ytmyllningen och 0,20 kg N per ha vid bandspridning. Från ogödslad mark avgick 0,06 kg N per ha som lustgas. Metangasemissionerna var obefintliga och marken konsumerade under större delen av tiden luftens metan och fungerade då som en kolsänka.

Avkastningsresultaten visade att körning med ytmyllningsbillarna utan gödselspridning orsakade en statistiskt säker skördesänkning jämfört med ogödslat led. Grödan betecknades som klen vilket förstärktes av den låga nederbörden under sommaren. Bandspriden flytgödsel medförde en liten skördeökning, ca 200 kg ts/ha, jämfört med ogödslat led. Skillnaden var dock inte signifikant. Myllningen av flytgödsel innebar en lägre skörd än vid bandspridning. Detta tyder på att billarnas design behöver finslipas så att grödskadorna minimeras. Grödan ska kunna ta upp det sparade kvävet till följd av minskad ammoniakavgång och på så sätt öka tillväxten. Det behövs också fler försök för att se långsiktiga effekter av ytmyllning av flytgödsel i vall och under skiftande markförhållanden och olika grödstatus.

Summary

A 4 m wide spreading boom for shallow injection of slurry into ley was manufactured. The tines were made according to a prototype tine ('tubulator'), which places the slurry in the grass sward in closed slots. Each tine was equipped with a removable press wheel that helped close the slots. In field experiments, the injection technique was compared with band spreading of slurry on the soil surface in terms of different aspects, such as function, ammonia emissions, yield response, crop damage and emissions of the greenhouse gases (GHG) nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄). The overall objective was to find a method to reduce the release of nitrogen as ammonia from agriculture, while at the same time decreasing the risk to milk quality caused by contamination of grass-based forage by slurry. The field experiments were conducted with a randomised block design on a heavy clay soil in the county of Uppland in summer 2003. The ley was EU set-aside land and had not been fertilised for the previous two years. The lack of previous manure supply was a prerequisite to avoid any background effects on the results of the GHG emission measurements.

The use of press wheels behind the tines contributed to the closing of the slots, so no slurry was visible on the soil surface after spreading. The visible tracks of the tines were also narrower with press wheels than without. The measurements of ammonia started directly after spreading and continued for four days. No ammonia emissions were detected after injection, regardless of whether a press-wheel was used. With band spreading, 39.4% of the nitrogen was lost as ammonia, which corresponded to 12.9 kg [N] ha⁻¹ at the application rate of 25 tonnes slurry ha⁻¹.

During the seven weeks following slurry spreading, gas samples were taken on ten occasions from closed chambers for analysis of the GHGs N₂O and CH₄. Three sampling occasions fell during the period of ammonia measurements, and thereafter sampling occurred once a week. There were significant differences in GHG emission between the treatments, with the highest release of N₂O after closed slot injection (0.75 kg [N] ha⁻¹), followed by band spreading (0.20 kg [N] ha⁻¹) and the lowest release for non-fertilised ley (0.06 kg [N] ha⁻¹). The methane emissions were nearly non-existent and most of the time the soil consumed methane from the air, so the soil acted as a carbon sink.

The use of the injector without fertilising reduced yields significantly compared with non-fertilised plots. In general, the grass crop was poor because of the lack of fertiliser in the previous two years and this condition was amplified by the low precipitation during summer. There was a small but non-significant yield increase (200 kg DM ha⁻¹) with band spreading of slurry compared with no fertiliser. Shallow injection gave a lower yield compared with band spreading, although the yield difference was not as big as between no fertiliser and the use of the injector without slurry. The conclusion was that the tine design needs further adjustments in order to minimise damage to the crop. This would allow the undisturbed crop to utilise the amount of nitrogen retained from the slurry in a better way, resulting in a yield increase. There is also a need to monitor yield levels after slurry injection for longer periods (several years), possibly with complementary irrigation in dry seasons.

Introduktion

Från lantbruket i Sverige avgick ca 53 800 ton ammoniak år 2001 (SCB, 2003), vilket utgör omkring 85 % av den totala ammoniakemissionen. Största delen av kvävet kommer från stallgödseln. Ammoniakavgången innebär en förlust av makronäringsämnet kväve, men bidrar också till försurning och övergödning. Vid spridning av flytgödsel till vall kan förlusterna bli höga (Smith *et al.*, 2000; Rodhe & Rammer, 2002). Genom att mylla ned gödseln vid spridning kan dock förlusterna begränsas (Döhler, 1991; Svensson, 1993). Andra fördelar med myllning på vall är förbättrad ensilagekvalitet (Lorenz & Steffens, 1997) och minskad lukt.

För vallar krävs speciella myllare, som är kapabla att få ned gödseln under hårda markförhållanden utan att skada grödan. I bild 1 visas arbetsprinciperna för öppen respektive täckt myllning. De myllare som finns på svenska marknaden importereras och är främst av principen öppen ytmyllning. Studier i fält har dock visat att de inte fungerar som önskat (Rodhe & Rammer, 2002; Rodhe & Etana, 2004). Det finns därför ett behov av att utifrån en utvecklad prototyp för täckt ytmyllning arbeta vidare för att få en ytmyllare anpassad till svenska förhållanden.

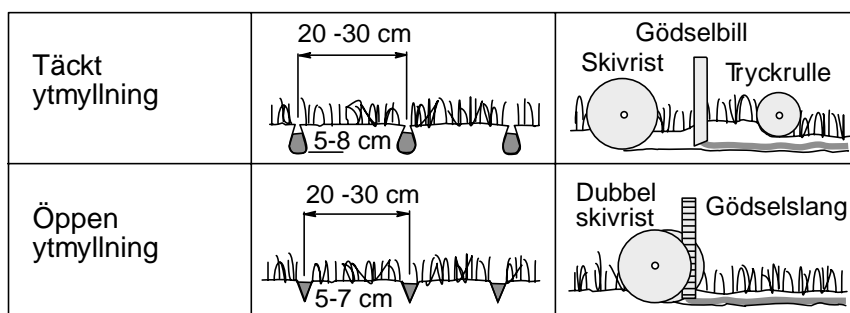


Bild 1. Principerna för täckt och öppen ytmyllning.

Forskningsfronten inom området

Studier under de senare åren visar att öppen ytmyllning endast ger en begränsad minskning av ammoniakavgången jämfört med bandspridning av gödseln på markytan, tabell 1. Hansen *et al.* (2003) uppmätte på sandjordar en minskad ammoniakavgång med 25-50 % vid öppen ytmyllning (6 olika mätningar/ytmyllare) och 80 % (vid täckt myllning 7 cm djupt) jämfört med bandspridning. Dessa minskade ammoniakemissioner motsvarade minskade kväveförluster med 3-7 kg N/ha vid öppen ytmyllning och med 19 kg N/ha vid täckt ytmyllning. Smith *et al.* (2000) fick varierande effekt i sina 16 olika försök.

Fullskalestudier av på svenska marknaden försålda ytmyllare, alla med öppen ytmyllning, visar för de första 2 åren att flera ytmyllare gav minst lika höga ammoniakemissioner som vid bandspridning (Rodhe & Rammer, 2002). Alla dessa ytmyllare var importerade. Den ytmyllare som myllade till acceptabelt djup minskade emissionerna med 25-50 % jämfört med förlusterna vid bandspridning. Dessutom visar resultat från ett av två försöksår att kvaliteten hos ensilage skördat från detta led hade en bättre hygienisk kvalitet jämfört med bandspriden gödsel (Pauly & Rodhe, 2002). Tidigare studier (Rodhe & Rammer, 2002) indikerade också detta, trots att ytmyllningen var mycket grund (endast ca 2,5 cm).

Tabell 1. Ammoniakavgång efter öppen och täckt ytmyllning jämfört med bandspridning.

Jordar	Minskning av kväveemissioner relativt bandspridning, %		Referens
	Öppen ytmyllning	Täckt ytmyllning	
Sand-, torv- och lerjordar	54	96	Huijsmans <i>et al.</i> , 1997
Lättlera, mellanlera; Torra till fuktiga jordar	32 (0*-73);		Smith <i>et al.</i> , 2000
Sandjordar	25-50	80	Hansen <i>et al.</i> , 2003
Lättlera, mellanlera	0-50		Rodhe & Rammer, 2002

*Små eller ingen minskning vid torra och hårda markförhållanden

En bill för täckt ytmyllning (bild 3) har utvecklats inom ett doktorandarbete (Rodhe, 2004). Billen bygger på en horisontell rundstav, som skapar en rund gödselkanal med ca 3 cm diameter under markytan. Vinkeln hos spetsen (jordsökningen) har varierats liksom dimensionerna hos rundstaven samt gödselns transport ned till billen. Vid experimentella studier med en enstaka bill har stora fördelar uppmätts för prototypbillen jämfört med öppen ytmyllning:

- Ammoniakförlusterna var mycket låga, 2 % av utspridd mängd ammoniumkväve (NH₄-N), med flytgödseln. Motsvarande förlust för öppen ytmyllning var 27 %.
- Dragkraftsbehovet för billen var lägre eller lika stort som för en bill med öppen ytmyllning.
- Ingen flytgödsel på markytan.

Användning av myllningsteknik kan dock leda till ökade förluster av kväve i annan form än ammoniak, nämligen emissioner av lustgas (N₂O). Lustgas är en kraftig växthusgas, som bidrar till den globala uppvärmningen samt nedbrytning av det skyddande ozonlagret. Det finns även risk för ökad avgång av växthusgasen metan (CH₄). Svenska data för avgång av lustgas i samband med spridning saknas helt och när det gäller metan rör känd kunskap främst metanbildning vid biogasframställning (Jordbruksverket, 2004). EU:s medlemsstater ska tillsammans minska sina utsläpp av växthusgaser med 8 % mellan år 2008 och 2012 enligt Kyotoprotokollet (EU:s webbplats, 2004). Jordbruket står för den största delen av Sveriges metan- och lustgasutsläpp (SNV, 2005). Idag kommer 14 % av jordbrukets metanemission från gödselhanteringen (främst nötgödsel) och motsvarande siffra för lustgas är 10 % (SNV, 2005). Lustgas- och metangasproduktionen styrs av mikrobiologiska processer. Lustgas kan bildas både under anaeroba (syrefattiga) och vid intermediära (övergång till syrerika) förhållanden medan metanbildningen sker under anaeroba förhållanden. Tillförsel av kväve och kol med stallgödsel ökar risken för lustgas- och metanbildning. Samtidigt som ytmyllningstekniken minskar ammoniakavgången kan den ge högre lustgasförluster jämfört med spridning på markytan (Thompson *et al.*, 1987; Svensson *et al.*, 1998).

Hypotes

Rätt utformad teknik för täckt ytmyllning av flytgödsel till vall ger ingen negativ påverkan på vallgrödan, mycket låga ammoniakförluster, begränsade växthusgasutsläpp och ingen nedsmutsning av vallgrödan.

Mål

De övergripande målen är att reducera jordbrukets utsläpp av kväve i form av ammoniak och att minska risken för försämrad mjölk kvalitet till följd av förorenat grovfoder. Vid flytgödselspridning i vall kan dessa mål uppnås genom att mylla flytgödseln i täckta skåror. Den utvecklade rampen ska uppfylla kraven god funktion, låg ammoniakavgång samt ingen nedsmutsning av grödan med gödsel. Vidare var målet med studien att mäta förändringar i avgången av växthusgaserna lustgas och metan vid övergång till täckt ytmyllning jämfört med spridning på markytan.

Material och metod

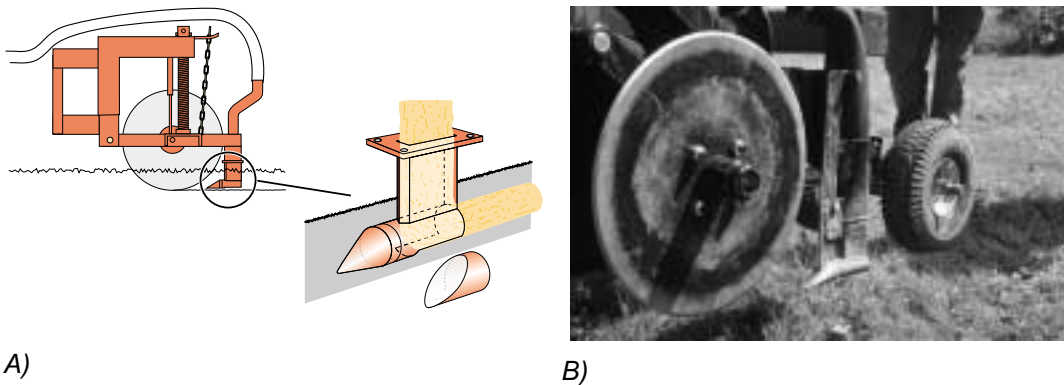
Tillverkning av spridningsramp för täckt ytmyllning

En 4 m bred ramp med billar för täckt ytmyllning enligt bild 2 tillverkades av Ranaverken AB efter prototypbillen (bild 3A) enligt Rodhe (2004). Förutsättningarna vid konstruktionen av denna andra prototyp var att billkonstruktionen skulle anpassas till den rampkonstruktion, som Ranaverken tillverkar med tallriksbillar och att billkonstruktionen skulle anpassas för serietillverkning. Billarna monterades parvis upphängda med avståndet 0,25 m (16 billar) och försågs med efterföljande tryckhjul. Tryckhjulen var fast monterade i förhållande till respektive bill. Detta läge kunde dock ändras i höjddled i steg. Lufttrycket i tryckhjulen anpassades så att markytan blir jämn utan att gödseln pressas upp ur skåran. Ett arbetsdjup av 5 cm eftersträvades. Rampens position i förhållande till marken känns av med en släpfoot monterad på rampen framför billraden. Givaren regler automatiskt dragarmarnas position i höjddled.

Funktionen hos den färdiga spridningsrampen studerades med avseende på risk för fastsättning av jord till bill, synliga grödskador med respektive utan tryckhjul efter bill, djuphållning och stentlösning hos billar. Efter testkörningar under olika markförhållanden gjordes tekniska småjusteringar utav spridningsrampen. Det slutliga utseendet framgår av bild 2 och 3B.



Bild 2. Fullskaletankvagn med en 4 m bred ramp, prototyp 2. Foto: Lena Rodhe.



A)

B)

Bild 3. A) Prototypbill 1 bestående av skivrist och ihålig tubulararbill. B) Prototyp 2 med tryckhjul monterad på en 4 m bred ramp. Foto: Lena Rodhe

Fältförsök

I fältförsöket upplagt som randomiserat blockförsök ingick sex olika led, tabell 2. I led B och C kördes med tubulararrampen utan att någon gödsel spreds. I led D-F eftersträvas en giva av 25 ton/ha. I block 3 blev dock givan något lägre, 17,5 –18 ton/ha. Bandspridningen utfördes med ytmyllningsaggregatet upplyft något över markytan.

Tabell 2. Ingående försöksled i blockförsök utlagt efter andra skörd.

Led utan gödsel	Led med flytgödsel
A. Ogödslat, ingen körning	D. Flytgödsel, Bandspridning (ref)
B. Ogödslat, täckt ytmullning utan tryckhjul	E. Flytgödsel, täckt ytmullning utan tryckhjul
C. Ogödslat, täckt ytmullning med tryckhjul	F. Flytgödsel, täckt ytmullning med tryckhjul

Markegenskaper

Försöket placerades på en treårsvall (uttagen areal), som inte gödslats med stallgödsel eller mineralgödsel under sin tid. Marken klassificerades som något mullhaltig styv lera med 48,5 % ler (<0,002 mm), 40,5 % silt (0,002-<0,2) och 5,5 % sand (0,2-2 mm). Resterande del (5,5 %) var glödningsförlust. Mullhalten beräknades till 2,1%. Tabell 3 visar fysikaliska markegenskaper och stubbhöjd och tabell 4 markkemiska egenskaper.

Tabell 3. Markegenskaper uppmätta innan spridning. Vattenhalt, skrymdensitet, penetrationsmotstånd samt stubbhöjd. Standardavvikelsen presenteras inom parenteser.

Jordart	Vattenhalt, g H ₂ O/100 g torr jord		Skrymdensitet, Mg/m ³		Penetrations- motstånd, MPa		Stubb- höjd, m
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	3 cm	5 cm	
Styv lera	25,2 (2,25)	24,2 (1,37)	1,40 (0,11)	1,40 (0,05)	1,23 (0,40)	1,38 (0,45)	10,8 (1,9)

Tabell 4. Kemiska markegenskaper uppmätta innan spridning i matjordslagret ca 0-20 cm.

Tot-N	Tot-C	C/N-kvot	P-AL	P-HCl	K-AL	K-HCl
% av lufttorr jord			mg per 100 g lufttorr jord			
0,164	1,75	10,7	8,0	71	31,5	550

Det fanns en del torrt gräs i vallbotten, trots att vallen räfsats två gånger efter slåttarna. Ogräsinslaget i vallen var betydande med inslag av kvickrot och maskrosor.

Under gasprovuttagningen mättes kontinuerligt temperaturen i marken med en 14 cm lång mätsond och registrerades varje timme. Sonden var placerad snett i marken på djupet 3-5 cm med spetsen djupast ned och var kopplad till en logger av modell Tiny View Plus, 8 bit, W-502 (fabrikat INTAB Interface-Teknik AB). Temperaturen i marken var i medeltal 18,0°C för perioden 15 juni kl. 14.14 till den 30 juli kl.13.14. Det fanns en trend mot ökad marktemperatur under perioden, samtidigt som temperaturen varierade med 6 – 8°C under dygnet, bild 4.

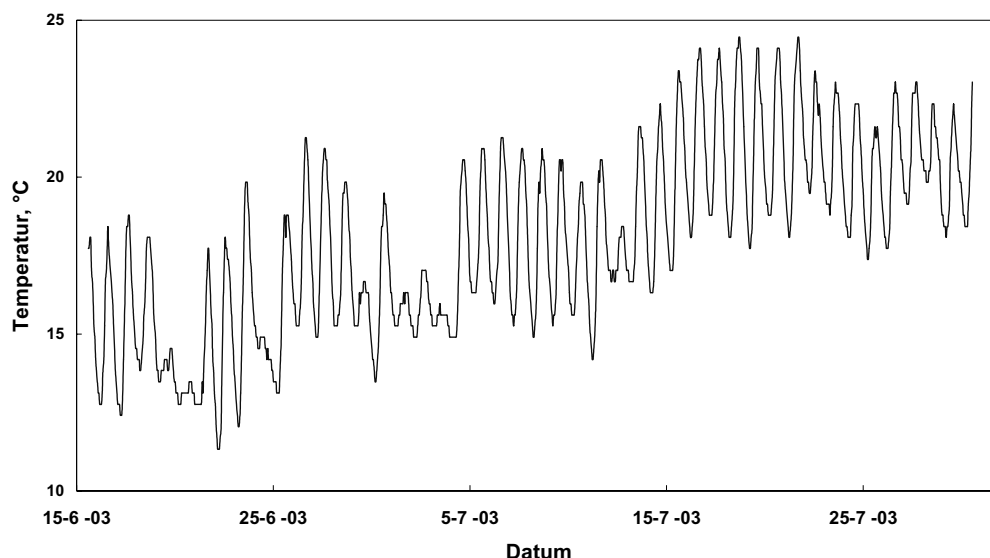


Bild 4. Temperaturen i marken mätt med en mätsond placerad snett i marken på djupet 3-5 cm med spetsen djupast ned kopplad till en logger.

Väderlek

Under emissionsmätningarna

I tabell 5 visas medelvärden för temperaturer, vindhastighet och total nederbörd under den tid då ammoniakmätningarna pågick samt under den period då prov av växthusgaser togs (16 juni – 30 juli). Det lilla regn som föll kom precis innan ammoniakmätningarna avslutades. Markytan vid väderstationen var beskuggad medan mätsonden i marken (3-5 cm djup) var nedgrävd under en solexponerad yta. I bilaga 1 visas dels hur temperaturen varierar i luft och markyta under tiden för ammoniakmätning, dels variationen i vind.

Tabell 5. Medelvärden för lufttemperatur, marktemperaturer och vindhastighet samt total nederbörd för tiden då ammoniakmätningar pågick (dag 0 – 5) och för perioden 15 juni – 30 juli 2003 då mättillfällena för växthusgaser inföll.

Tidsperiod	Temperatur, °C			Vindhastighet, m s ⁻¹	Total nederbörd, mm
	Luft	Markyta	I mark (3-5 cm djup)		
Under ammoniak- mätning	14,8	14,5	15,3	2,0	2,4
Under perioden då prov av växthusgaser togs	18,0	19,9	18,0	2,2	65,4*

Ytterligare 10 mm tillfördes i ramarna som simulerat regn innan sista växthusgasmätningen den 30 juli 2003

I tabell 6 visas temperaturer under respektive provtagningstillfälle för växthusgaser och nederbörden de tre dygnet före varje provtagningstillfälle. Medelvärdena för luft- och markytetemperatur skiljde sig inte så mycket mellan perioden som helhet

(tabell 5) respektive medel för de 10 provtagningstillfällena (tabell 6). Däremot var lufttemperaturen inne i kammaren i medeltal 4,7°C högre än utanför kammaren. Temperaturen vid kammarens utsida (ca 0,15 m ovan mark) var också mer än 5°C högre än vid 2 m ovan mark.

Tabell 6. Medelvärden för temperaturer i kammare, på kammarens utsida, i luft och i markyta under respektive provtagningstillfälle för växthusgaser och medelvärde för de tio mättillfällena samt ackumulerad nederbörd under de tre föregående dygnet innan varje provtagning.

Dagar efter spridning	Temp. °C				Nederbörd under de 3 föregående dygnet
	Luft, kammarens insida	Luft, kammarens utsida	Luft, 2 m höjd	Markyta	
1	28	21	16,7	16,3	0,7
2	29	21	17,1	16,6	0,2
4	15	13	13,4	14,1	1,2
8	35	30	22,3	17,4	1,6
12	30	32	22,9	20,6	4,0
17	22	20	18,4	16,4	0,7
24	38	30	23,4	18,8	0
31	37	34	29,6	21,9	0
38	39	31	23,4	21,4	15,3
45	36	30	27,7	22,1	3,9
<i>Medel</i>	<i>30,9</i>	<i>26,2</i>	<i>21,5</i>	<i>18,6</i>	

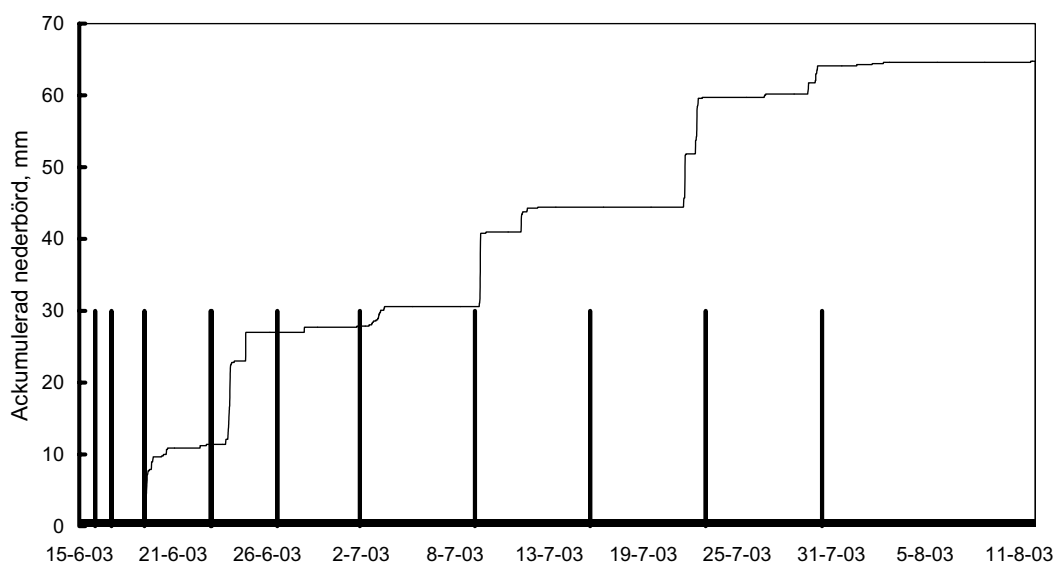


Bild 5. Ackumulerad nederbördsmängd (kurvan) under tiden 15 juni till 12 augusti 2003. Den sista provtagningen för lustgas- och metangasemissioner utfördes den 30 juli. Innan den sista mätningen tillfördes vatten motsvarande 10 mm i mätramarna (ej irriterat i bilden). De vertikala linjerna markerar tidpunkt för gasprovtagning.

Under växtsäsongen

Medeltemperaturerna under vårmånaderna april och maj var normala eller något högre och nederbörden översteg det normala, tabell 7. I juni föll det också en del regn men därefter följde en mycket torr juli månad och även augusti och september var torrare än normalt. Juli var mycket varm med en medeltemperatur på 20, 2°C. Även augusti och september var varmare än normalt.

Tabell 7. Väder under sommaren 2003 hämtat från SMHI:s väderstation i Uppsala (SMHI, 2003).

Månad	Temperatur, °C		Nederbörd, mm	
	2003	Normal 1961-90	2003	Normal 1961-90
April	4,2	4,1	43	29
Maj	11,3	10,4	65	33
juni	15,4	15,0	75	45
juli	20,2	16,4	20	75
Augusti	16,7	15,2	58	65
September	12,5	10,9	32	59

Gödselns egenskaper

Flytgödseln hämtades från en närbelägen mjölkko gård. Innan spridning togs gödselprov från omblandad tank för analys av dess innehåll av torrsubstans (ts-halt), pH, ammoniumkväve (NH₄-N), totalkväve (total-N), fosfor (P) och kalium (K). Dessa analyser utfördes enligt svensk standard (SIS, 2000) och American Public Health Association (APHA, 1985). Gödselns egenskaper visas i tabell 8.

Tabell 8. Gödselns torrsubstanshalt, pH-värde, fluiditet och innehåll av växtnäring.

År	ts-halt, %	pH	Fluiditet, s	Tot-N, kg/ton	NH ₄ -N, kg/ton	P, kg/ton	K, kg/ton	Tot-C, % av ts	C/N-kvot
2003	6,5	7,1	7,0	2,7	1,3	0,6	3,5	39	0,93

Spridningsteknik

Spridningen utfördes den 15 juni med Ranaverkens tankvagn med 4 m bred tubulerarramp. Vid körning utan tryckhjul demonterades tryckhjulen i mittsektionen (2 m brett). Vid bandspridning kördes rampen upplyft. Spridaren var försedd med ett automatiskt reglersystem som kalibrerades genom att gödselflödet från en bill uppsamlades under körning med upphissad ramp. Den relativt smala rampbredden (4 m) innebar att flödet till rampen ströps markant. För att få ett någorlunda stabilt flöde hölls en körhastigheten på 5,5 km/h.

Gödselns placering

I leden med gödselspridning (led D-F) mättes gödselns placering direkt efter spridning. På tre slumpvis utvalda platser per parcell gjordes ett snitt i marken tvärs gödselsträngen. Mätningarna utfördes utanför körspåren. Strängens eventuella bredd vid markytan och gödselns position i höjddled i markprofilen mättes.

Ammoniakavgång

Ammoniakavgången mättes i 3 av blocken med samma uppställning som i försöken redovisade av Rodhe & Etana (2003). Mätningarna utfördes med en mikrometeorologisk differensmetod utvecklad vid JTI (Svensson, 1994) i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet AB. På varje ruta användes två kyvetter och en omgivningsprovtagare. För att kunna bestämma lämpliga exponeringstider för diffusionsprovtagarna i de olika rutorna mättes momentant ammoniakkoncentrationen i kyvetterna vid utsättning av provtagarna. Detta utfördes med ett handinstrument (Kitagawa) försett med detektionstuber. I ledet med bandspridning används både provtagare av typ C och K (Svensson, 1994) i kyvetterna under alla mätperioder. I övriga led användes enbart C-knappar.

Mätningar av ammoniakavgång gjordes i:

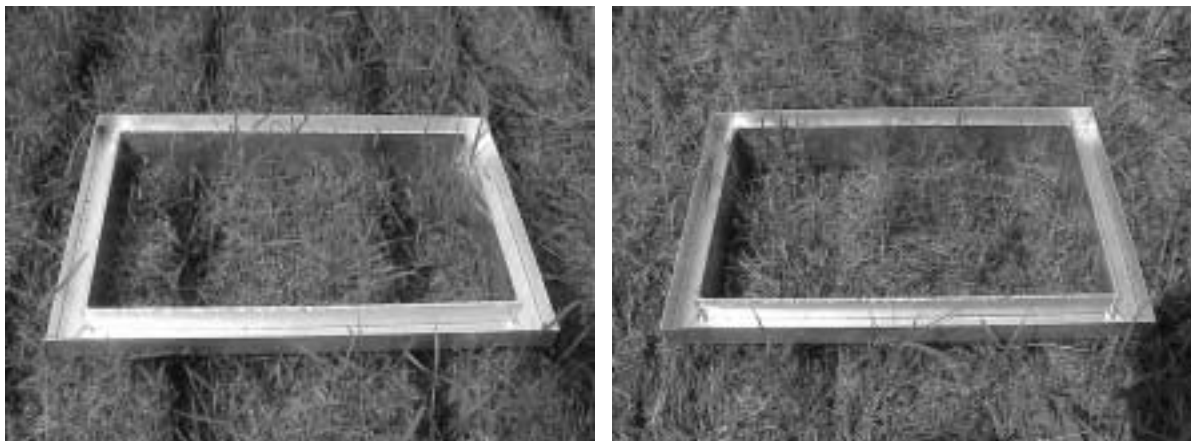
- en ruta (block 2) för det ogödslade ledet
- tre rutor (block 1-3) för leden med gödselspridning.

Vid utplacering av provtagarna eftersträvades placering på representativa ytor för de olika spridningsmetoderna. Platserna för kyvetternas placering slumpades i längdled och i sidled placerades de mellan traktorkörspåren. Omgivningsmätaren placeras sedan mellan dessa båda kyvetter också mellan körspåren. Vid rådande c/c-avstånd av 0,25 m mellan gödselutloppen placeras varje kyvett med långsidan parallell med strängarna täckande en sträng.

I det ledet med bandspriden flytgödsel genomfördes mätningar under fyra mättillfällen med en natts uppehåll mellan andra och tredje mättillfället. I ogödselat led mättes endast under en period. För de två leden med täckt ytmyllning mättes i följd under tre tillfällen.

Avgång av lustgas och metangas

I leden ogödselat, bandspridning och täckt ytmyllning med tubulerare med tryckrullar mättes avgången av lustgas och metan med hjälp av slutna kamrar. I block 1-3 slogs vardera tre galvaniserade ramar (0,525 x 0,33 m innermått) med vattenlås ned ca 5 cm i marken. Ramarna fördelades jämnt över ytan i en diagonal, men så att två gödselsträngar täcktes av varje ram, bild 6. Innan mätning förslöts ytorna med hjälp av PVC-kamrar 0,215 m höga invändigt, försedda med för gasprovtagning ansluten spruta och trevägskran på respektive kammare, bild 7. Innan provet togs blandades gasen i kamrarna genom att fylla och tömma sprutan fyra gånger. Därefter togs ett gasprov (60 mL) ut. Provet injicerades i 12 mL glasvialer (gastäta glasampuller som evakuerats och fyllts med rent kväve) medan en kanyl var instucken för evakuering av överskottsgas. När 5 mL återstod i sprutan, togs kanylen bort och resterande 5 mL sprutades in i vialen så att det blev övertryck i vialen. Vid den första provtagningen togs prover ut ur kamrarna direkt efter förslutning (tid 0) och sedan efter 30 och 60 min. Då ett rätlinjigt förlopp av lustgasackumulation kunde konstateras efter första provtagningstillfället begränsades fortsättningsvis tidpunkterna för provtagning till tiden 0 och 60 min. vid de följande provtagningstillfällena. Uttagna gasprover analyserades därefter med gaskromatograf i laboratorium och utifrån koncentration och faktisk volym i respektive kammare beräknades emissionen.



a. Bandspridning

b. Täckt ytmyllning

Bild 6. Ram till kammare för mätning av koncentrationshöjningen hos gaserna lustgas och metan. Här har ramen placerats tvärs två gödselsträngar a) efter bandspridning, b) efter täckt ytmyllning.



Bild 7. Gasprov sugts ur den slutna kammaren vid förslutning (tid 0), 30 och 60 min efter förslutning. Utifrån koncentrationshöjningen i kammaren beräknas emissionen per yta och tidsenhet.

Grödskador

Grödskadans storlek efter billarna mättes vid tre tillfällen efter körning med tubulerare utan respektive med tryckrullar. Den första mätningen utfördes direkt efter spridning, andra tillfället ca 3 veckor efter spridning den 2 juli, samt tredje tillfället ca 3 veckor efter skörd (22 september). Synlig påverkan mättes inom en ram som motsvarade 0,25 m² och som placeras över två strängar på 3 slumpvis utvalda ställen i försöksparcellen. Rutan inramade två halvmeterlånga strängar utmed vilken skadans bredd mättes på 3 ställen per sträng (totalt 6 mätningar per ram). Skadans storlek dokumenteras dessutom med hjälp av digitalkamera i samma yta som används vid mätning av skadans bredd.

Avkastning

Rutorna i blockförsöket skördades med parcellskördare (arbetsbredd 1,5 m) av Hushållningssällskapet. Skörden bärgades så sent som möjligt eftersom den torra sommaren gjorde att grödan växte mycket långsamt. Grödan skördades den 2 september. Ett 8 m långt drag i mitten av varje parcell skördades och vägdes rutvis, varefter ett prov togs rutvis för bestämning av torrsbstanshalt (ts-halt) och kväveinnehåll (Kjeldahl-N). Proven vägdes (våtvikt) och förtorkades direkt därefter (torkning vid max 60 grad C i 24 h). Förtorkade prover skickades därefter för analys av ts- och N-innehåll. Kväveanalysen utfördes med metodik framtagen av nordisk metodikkommitté för livsmedel (NMKL, 1976), även officiell EU-metod (direktiv 93/199/EEG).

Statistisk analys

Vid den statistiska variansanalysen av skillnader mellan behandlingar användes ”general linear model” (GLM) i programvaran MINITAB (2000).

Resultat

Funktionsstudier

Vid testkörningar visade det sig att med den nya konstruktionen av tubulerare (bild 3B) fanns det risk för att jord fastnade mellan skivan och gödselbillen. Efter vissa förändringar (avskärning av nedre delen av fästjärnet för billen och spetsning av framkanten på billskافتet, flyttning av billar bakåt ca 3 cm i förhållande till skivan, samt att skruvförbandet som håller billen ersattes med svetsfog) gick billarna rent utan att jord fastnade mellan skiva och gödselbill. Gödselflödet genom billen fungerade bra.

Det hydrauliska systemet för stenulösning samt det elektroniska systemet för djuphållning av rampen fungerade inte tillfredställande. Här finns behov av mer driftsäkra system.

Blockförsök

Gödelsens placering

I tabell 9 visas bredd och höjder på gödselsträngarna för de tre spridningsteknikerna. När tubulatorbilen följdes av ett tryckhjul fanns det knappt någon synbar gödsel på markytan. Djupet från markytan ned till övre delen av gödselsträngen var också något djupare, i medeltal 25 mm jämfört med 18 mm då inget tryckhjul användes.

Tabell 9. Gödelsens placering efter spridning med olika teknik: bandspridning och täckt ytmyllning utan och med tryckrullar. I tabellen visas medelvärden (n=3) för bredden på gödselsträngen vid markytan och djup till övre delen av gödselsträngen respektive nedre delen av gödselsträngen. Standardavvikelser inom parenteser.

Spridningsteknik	Gödselsträngens placering på markytan/i marken		
	Bredd vid markyta, mm	Djup till övre delen, mm	Djup till nedre delen, mm
Bandspridning	60 (15)	-	-
Tubulator, utan tryckhjul	26 (1)	18 (5)	70 (13)
Tubulator, med tryckhjul	1 (3)	25 (11)	56 (11)

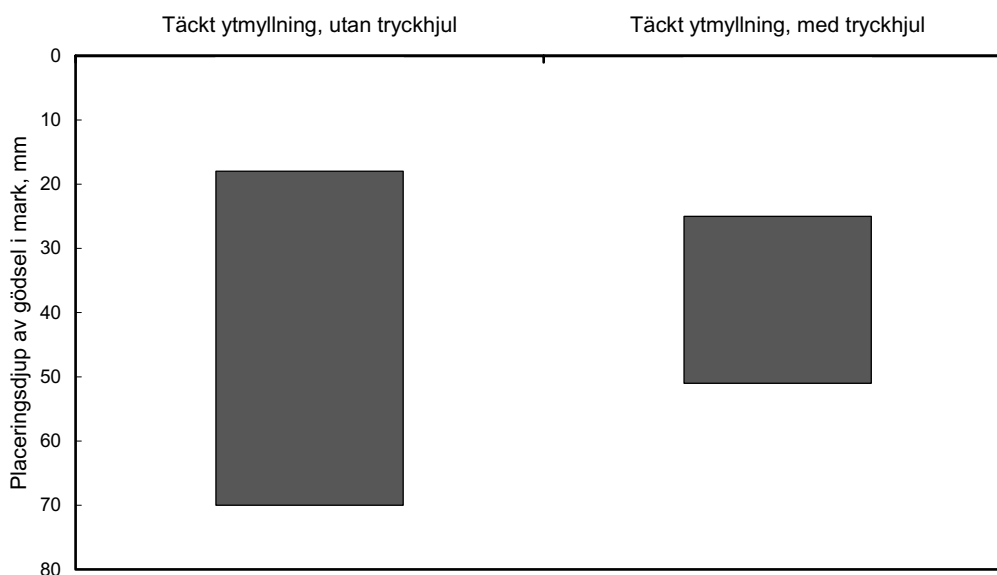


Bild 8. Gödelsens placering i marken vid täckt ytmyllning med tubulerarbillar utan och med tryckrullar. Siffrorna anger medeltal av djupet mätt från markytan.

Ammoniakavgång

Efter ytmyllning med tubulerare, utan eller med tryckhjul gick det inte att detektera någon ammoniakavgång. Efter bandspridning avgick 39,4 % av ammoniumkvävet i flytgödseln till luften som ammoniak eller 12,9 kg N/ha, bild 9.

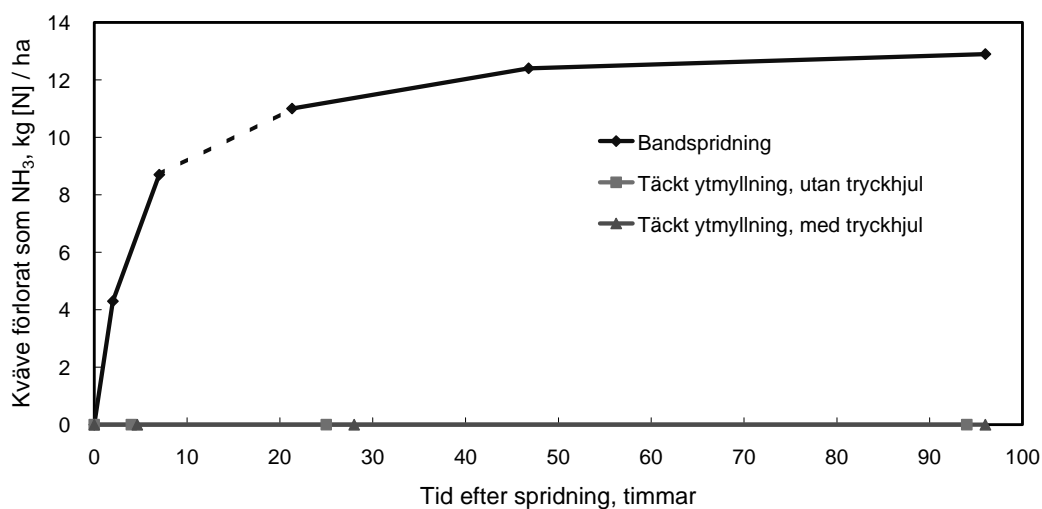


Bild 9. Kumulativ ammoniakavgång efter spridning av flytgödsel i vall med tre olika tekniker: bandspridning, täckt ytmullning med tubulerare utan respektive med tryckhjul.

Avgång av lustgas och metan

Det var signifikanta skillnader i lustgasemissioner mellan alla tre behandlingarna ogödslat, bandspridning och täckt ytmullning från första mätningen dagen efter spridning fram till och med mätningen 12 dagar efter spridning, bild 10. Därefter var skillnaden liten mellan ogödslat och bandspridning medan täckt ytmullning låg signifikant över även vid mätningen 17 dagar efter spridning. Under de följande mätningarna fram till 30 dagar efter spridning var det inga statistiskt säkra skillnader mellan leden.

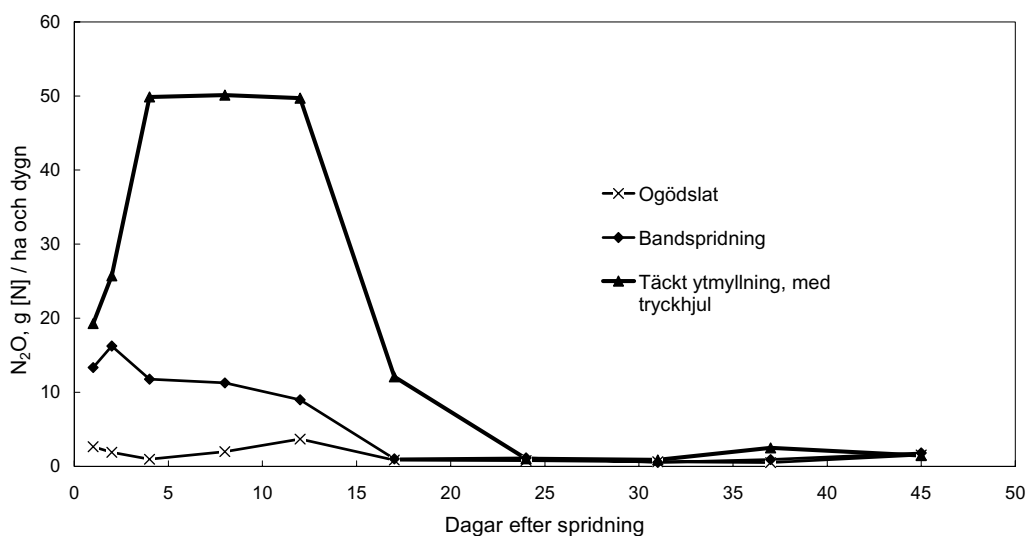


Bild 10. Mätningar under sju veckor efter spridning av flytgödsel i vall av kväveförlusten mätt som lustgas (N₂O) efter bandspridning respektive täckt ytmullning med tubulerare med tryckrullar samt även på ogödslat vall.

Mindre mängder av metan uppmättes under första och sjunde mätningen, bild 11. Däremellan konsumerade marken luftens metan. Marken tycks således verkat som en kolsänka.

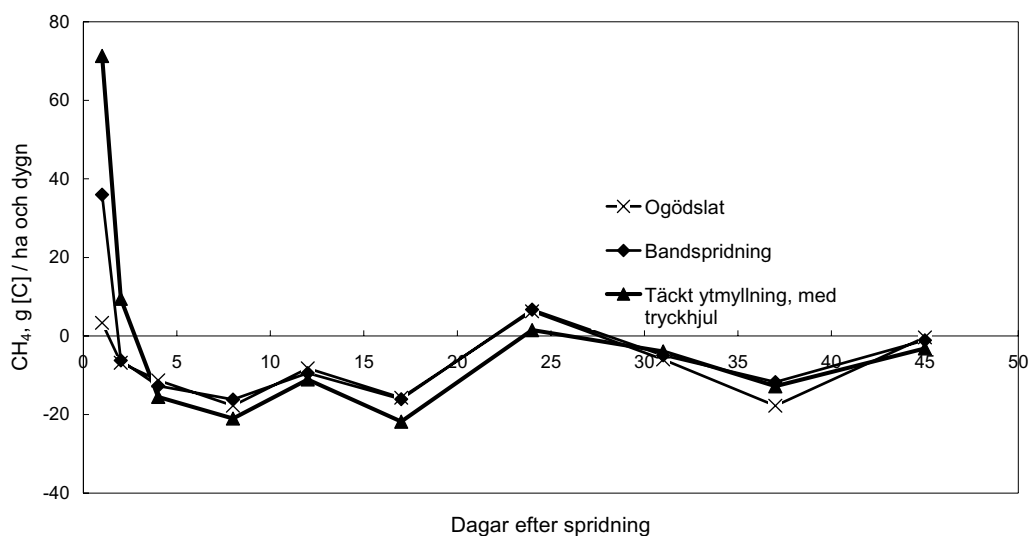


Bild 11. Mätningar under sju veckor efter spridning av flytgödsel i vall av metan (CH_4) efter bandspridning respektive täckt ytmyllning med tubulerare med tryckrullar samt även i ogödslad vall.

Grönskador

Efter ”torrkörning” (ingen gödsel spreds) med tubulerarrampen utan och med tryckhjul mättes synbar påverkan på markytan vid tre olika tillfällen. I bild 12 visas grönskador mätt som bredden hos de synbara körspåren i markyta vid körning utan och med tryckhjul efter billarna. Omräknat till andel påverkad grödyta i procent erhålls om spårbredden (cm) multipliceras med 4. Det betyder att utan tryckhjul var 10,6% av markytan synbart påverkad direkt efter spridning men att efter skörd syntes endast 4% påverkan på markytan. Tryckhjulen hjälpte till att försluta fåran och påverkan var mellan 6,4 och 1,6% av markytan för de tre tidpunkterna. I vissa fall var variationen stor runt medelvärdena. Vid den första tidpunkten var skadorna signifikant mindre med tryckhjul jämfört med utan tryckhjul. Skadorna tenderade att minska med tiden.

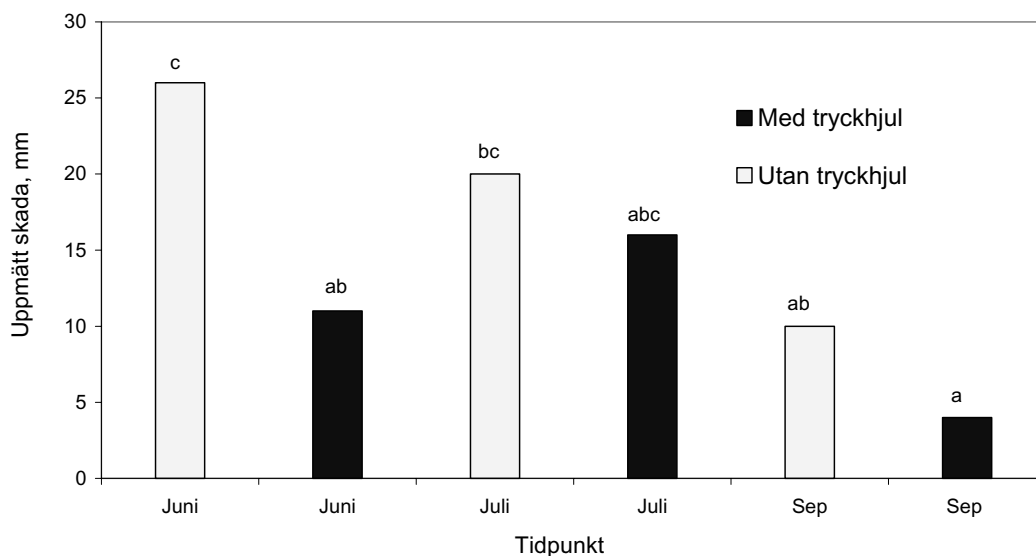


Bild 12. Synbara skador på vallen, uppmätt som bredden på körspåret, efter körning med tubulerarbil utan och med tryckhjul vid tre olika tidpunkter efter körning. Medelvärden med olika bokstäver är statistiskt signifikant skilda ($p < 0,05$).

Avkastning

Till följd av klen vallbestånd med ogräsinslag, torra och låg gödsling var avkastningen mycket låg, bild 13. Högst skörd blev det vid bandspridning av flytgödseln. Körning med tubuleraren utan gödsel gav signifikant lägre skörd jämfört med ogödsel, dvs. grödan har påverkats negativt av billarna under rådande förhållanden. Trots obefintliga förluster av ammoniak blev skörden efter den täckta ytmyllningen lägre än vid bandspridning. Den klena grödan i kombination med torra har inneburit att kvävet inte har varit den begränsande faktorn när det gäller avkastning.

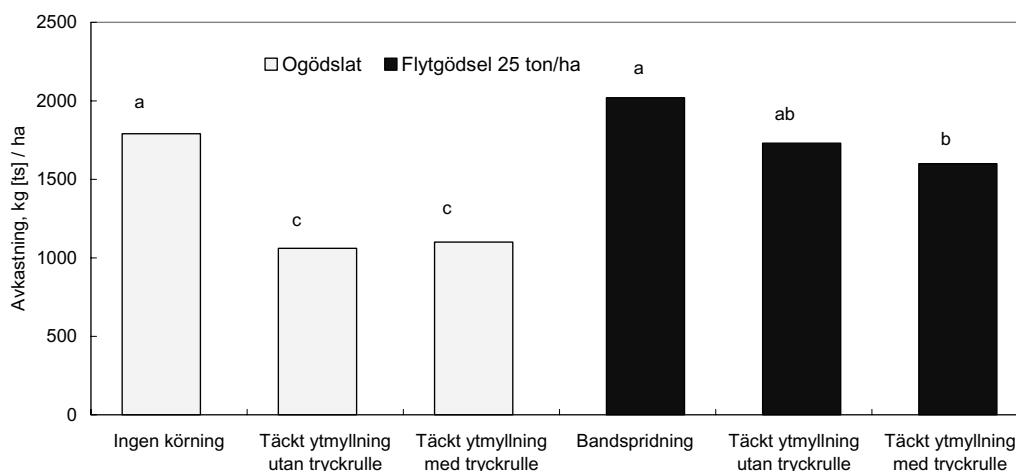


Bild 13. Torrsubstansskörd, kg ts/ha vid körning med och utan gödselspridning. Gödseln bandspreddes eller ytmyllades med tubulerare, utan och med tryckhjul. Staplar med olika bokstäver är statistiskt signifikant skilda ($p < 0,05$).

När det gäller upptag av kväve i skördade delar av grödan är bilden ungefär densamma som för torrsubstansskörden, bild. 14. I detta fall fanns det dock inga signifikanta skillnader.

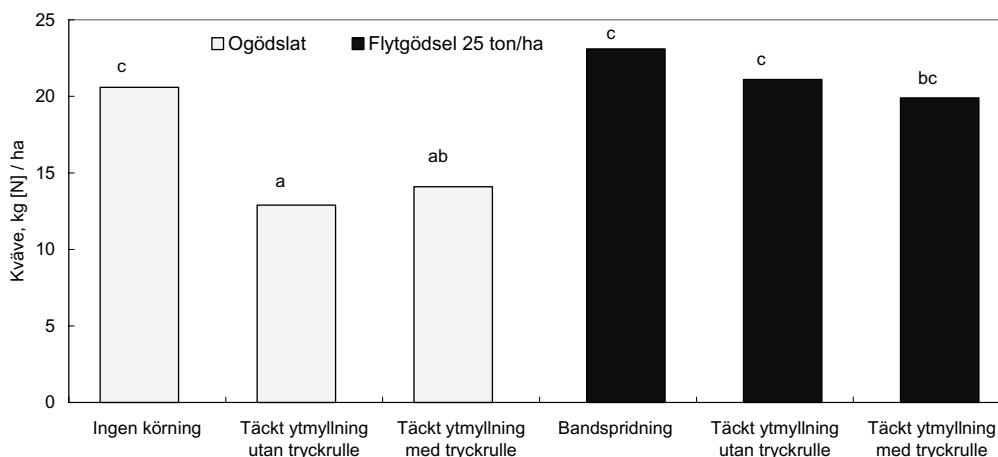


Bild 14. Kväveskörd i skördad vallgröda, kg N/ha, vid körning utan och med gödsel och med bandspridning, täckt ytmullning med tubulärer, utan och med tryckhjul. Staplar med olika bokstäver är statistiskt signifikant skilda ($p < 0,05$).

Kvävebalans

En enkel balans över tillförd mängd ammoniumkväve med flytgödseln och bortförd som ammoniak, lustgas eller med skördad gröda redovisas i tabell 10. Balansen visar i ogödslat led ett underskott av kväve med 20,6 kg/ha medan vid täckt ytmullning blir det ett överskott av 12 kg N/ha.

Tabell 10. Balans över tillförsel av ammoniumkväve med flytgödsel och bortförsel av kväve som ammoniak, lustgas eller med grödan. Vid negativ balans har kväve tagits från markförråd eller nedfall och vid positiv balans har det tillförts mer N som $\text{NH}_4\text{-N}$ än vad som bortförts i definierade former.

Försöksled	Tillförsel, kg [N]/ha	Bortförsel, kg [N]/ha			Balans	
	$\text{NH}_4\text{-N}$ i flytgödsel	Ammoniak-emission	Lustgas-emission	Upptag gröda	kg [N]/ha	% av tillfört $\text{NH}_4\text{-N}$ i flytgödsel
Ogödslat	–	Ej detekterbar	0,06	20,6	-20,6	–
Bandspridning	32,7	12,9	0,20	23,1	-1,5	-4,6
Täckt ytmullning, utan tryckhjul	32,7	Ej detekterbar	Ej mätt	21,1		
Täckt ytmullning, med tryckhjul	32,7	Ej detekterbar	0,75	19,9	+12,05	+36,8

Diskussion

I ett tidigare arbete togs det fram en tubulatorbill (prototyp 1) som placerar flytgödsel i vall i täckta skåror (Rodhe *et al.*, 2004) med minimerad ammoniakavgång. I detta andra steg tillverkade Ranaverken AB en fyra meter bred ramp med tubulatorbillar. I denna konstruktion (prototyp 2) inpassades billarna till en befintlig ramp samt vid konstruktionen av billarna togs viss hänsyn till aspekter viktiga vid en serieproduktion. Testkörningarna innan utläggningen av fältförsöket blev få på grund av tidsnöd men under dessa körningar framkom dock en del brister. Funktionen hos djupreglering och stenulösning var bristfällig och förbättrades till viss del. När det gäller billarna var de inte så ”spolformade” som man skulle kunna önska utan utskjutande skruvförband och för litet avstånd mellan skivrist och bill medförde grödskador och driftstörningar. Modifieringar gjordes så att fältförsöket gick att lägga ut men om mer tid funnits skulle ytterligare förbättringar för att minimera gröd- och markpåverkan gjorts.

Valet av försöksvall styrdes i hög grad av att vallen inte skulle ha gödslats under minst två år. Detta för att mätningarna av växthusgaser inte skulle störas av tidigare gödslingar. Vidare så skulle vallen vara gräsdominerad för att inte klöverinslag skulle maskera effekter av stallgödslingen. Den valda vallen uppfyllde dessa kriterier och arbetsmässigt var det dessutom en fördel att den låg på HS försöksgård Fransåker med närhet till försökspatrull. Vallen var uttagen areal som efter två år innehöll en hel del ogräs. Våren och senare delen av sommaren var mycket torra vilket bidrog till att grödan växte långsamt. Responsen på gödslingen blev svag medan körningen i vallen med billar medförde skördesänkning. Hur en kraftig vallgröda med god tillgång till vatten hade svarat på gödslingen och påverkats av billarna går inte att säga. Därför bör ytmyllningen studeras på en vall under en följd av år för att se mer långsiktiga effekter av körning med ytmyllningsaggregat i vall. Kommer växtnäringen grödan till godo vid efterföljande skörd? Påverkas grödan lika mycket av billarna under ett fuktigt år? Hur påverkar grödans artsammansättning resultatet?

Ammoniakmätningarna bekräftar tidigare resultat (Rodhe *et al.*, 2004) att när gödseln placeras i täckta skåror blir ammoniakavgången mycket liten, i detta fall under detektionsnivån. När det gäller lustgasemissioner visar försöket att det var signifikant högre emissioner vid täckt ytmyllning tiden närmast efter spridning än efter bandspridning. Ur växtnäringssynpunkt var dock förlusten av kväve liten. Under de 30 dagarna efter spridning förlorades ca 0,75 kg N/ha vid täckt ytmyllning och 0,20 kg N per ha efter bandspridning i form av N₂O. Det kan ställas i relation till kväveförlusten i form av ammoniak efter bandspridning, som var 39,4 % av ammoniumkvävet i utspridd gödsel, vilket i detta fall innebar en förlust av 12,9 kg N per ha. Metangasemissionerna var obefintliga och marken konsumerade under större delen av tiden luftens metan och fungerade då som en kolsänka.

Slutsatser

Med tubulerarbillen placerades gödseln i marken så att gödselsträngen täcktes av ett ca 2 cm tjockt jordlager. När billen var utrustad med efterföljande tryckhjul begränsades billens arbetsdjup och gödseln placerades mer samlat i höjddled än när tryckhjul saknades.

Den täckta ytmyllningen innebar att ammoniakavgången var låg, under detektionsnivå efter spridning med tubulerarbillar med eller utan tryckhjul. Detta ska jämföras med förlusterna vid bandspridning, då 39,4 % av ammoniumkvävet i flytgödseln avgick till luften som ammoniak.

Tubulerarbillen med tryckhjul gav också synbart mindre grödskador efter körning än billen utan tryckhjul. Det blev en avkastningssänkning både i ts-skörd och kväveskörd efter körning med billarna utan gödseltillförsel i jämförelse med avkastningen på ogödslad yta. Det gällde oberoende av om billarna var försedda med eller utan tryckhjul. Det tyder på att grödan stördes av körningen.

Bandspriden flytgödsel innebar en liten skördeökning, ca 200 kg [ts]/ha, jämfört med ogödslad led. Skillnaden var dock inte signifikant. Myllningen av flytgödsel innebar en något lägre skörd än vid bandspridning, men skillnaden var inte statistiskt säker. Avkastningen uppmätt i kg [N]/ha skiljde sig mellan leden ungefär på samma sätt som ts-skörden.

Det fanns signifikanta skillnader i lustgasemissioner mellan ogödslad, bandspridning och täckt ytmyllning från första mätningen dagen efter spridning och fram till 12 dagar efter spridning. Därefter var skillnaderna små mellan bandspridning och ogödslad medan täckt ytmyllning låg signifikant över även vid mätningen 17 dagar efter spridning. Under de följande mätningarna fram till 30 dagar efter spridning var det inga statistiskt säkra skillnader mellan leden. För lantbrukets del innebär inte lustgasemissionerna någon större förlust av kväve då det integrerat över tid motsvarade 0,75 kg N per ha efter den täckta ytmyllningen och 0,20 kg N per ha vid bandspridning.

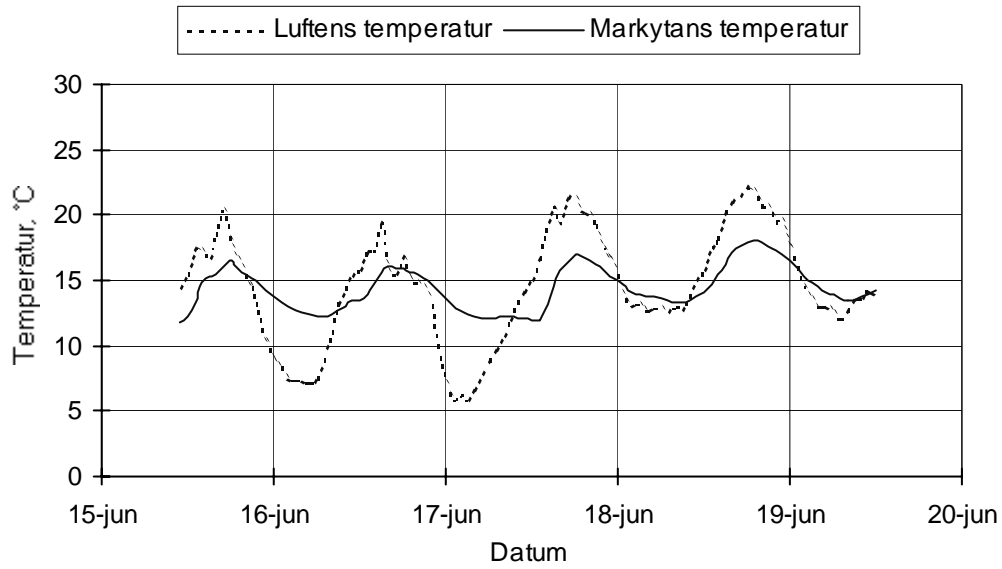
Metangasemissionerna var obefintliga och marken konsumerade luftens metan under större delen av tiden och marken tycktes således ha verkat som en kolsänka.

Sammanfattningsvis kan sägas att billarna placerade gödseln i marken på önskat sätt så att ammoniakavgången blev så låg att den inte kunde detekteras. Det sparade kvävet resulterade dock inte i en avkastningshöjning utan istället verkar billarna ha stört grödan. Billarnas design behöver därför finslipas så att grödskadorna minimeras och därmed gör att grödan kan tillgodogöra sig det sparade kvävet från flytgödseln så att avkastningen ökar jämfört med vid bandspridning.

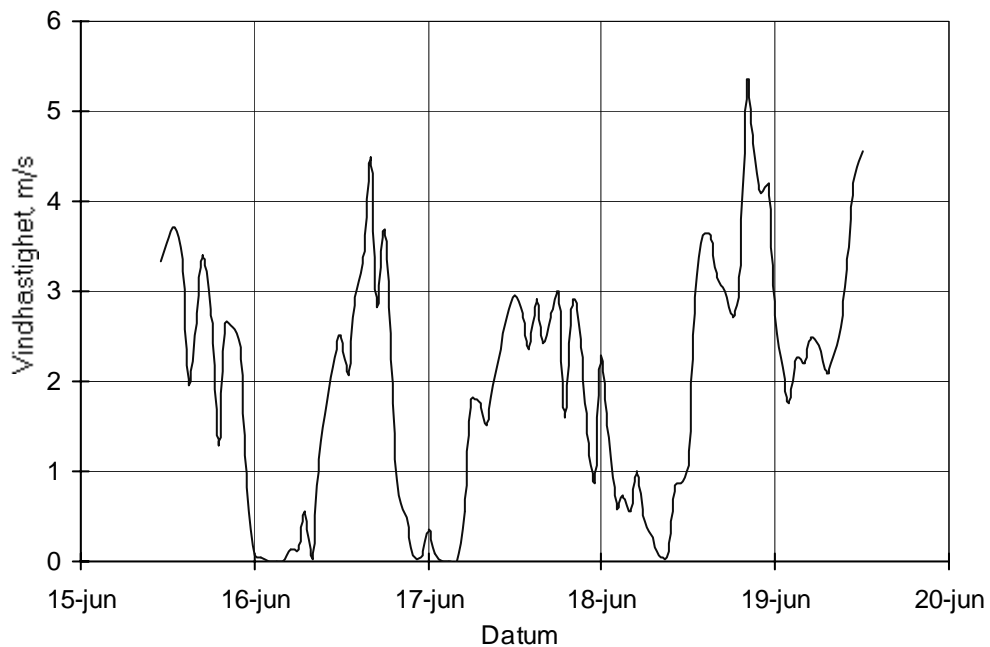
Referenser

- APHA 1985. Standard Methods (16th edition) 1985. American Public Health Association, *St. Meth. 417A+d*. Washington D.C., USA.
- Döhler, H., 1991. Laboratory and field experiments for estimating ammonia losses from pig and cattle slurry following application. In: Odour and ammonia emissions from livestock farming. (Eds: Nielsen V.C.; Voorburg J.H., L'Hermite P.). Proceedings of a seminar held in Silsoe, UK, 26-28 March, 132-140.
- EU:s webportal, 2004. Kyotoprotokollet om klimatförändringar. <http://europa.eu.int/scadplus/leg/sv/lvb/l28060.htm>
- Hansen, M.N., Sommer, S.G. & Madsen, N.P. 2003. Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: Injection efficiency and additional energy demand. *Journal of Environmental Quality* 32, 1099-1104.

- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. & Bussink, D.W. 1997. Reduction of ammonia emission by new application techniques on grassland. In: *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands* (Jarvis, S.C. & Pain, B.F. eds), 281-285. CAB International, UK. ISBN 0-85199-192-0.
- Jordbruksverket, 2004. Förutsättningar för en minskning av växthusgasutsläppen från jordbruket. Rapport 2004:1. Jönköping.
- Lorenz, F. & Steffens, G. 1997. Effect of application techniques on ammonia losses and herbage yield following slurry application to grassland. In: *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands* (Jarvis, S.C. & Pain, B.F. eds), 287-292. CAB International, UK.
- MINITAB 2000. Minitab™ Statistical software. Release 13 for Windows®, USA. ISBN 0-925636-44-4.
- NMKL (Nordisk Metodikkommitté för livsmedel) 1976. *NMKL-metod nr 6*. Nitrogen. Bestämning i livsmedel och fodermedel efter Kjeldahl, 3rd ed., Oslo, Norway.
- Pauly T.M. & Rodhe L., 2002. Slurry application on ley - Effect of application method on the hygienic quality of grass silage. In: Gechie L.M. & Thomas C. Proc. of the XIIIth Intern. Silage Conference, Scottish Agricultural College (SAC), Auchincruive/Ayr, Scotland. p.410-411. ISBN 1 85482 779 0.
- Rodhe L. & Rammer, C., 2002. A comparison of methods for applying cattle slurry to ley. *Biosystems Engineering*, 83(1), pp. 107-118, doi:10.1006/beng.2002.0097
- Rodhe L., 2004. Development and Evaluation of shallow injection of slurry into ley. Doctorial thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 482. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Rodhe L. & Ararso E., 2003. Ytmyllning av flytgödsel till vall – miljönytta och praktisk funktion på olika jordar. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 315, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- SCB 2003. Utsläpp till luft av ammoniak i Sverige 2001. *Statistics Sweden MI 37 SM 0201*, Stockholm, Sweden.
- SIS 2000. *Swedish standards: SS-EN 12176-1, SS 028113-1, SS 028101-1*. Swedish Standards Institute, Stockholm, Sweden.
- Smith, K.A., Jackson, D.R., Misselbrook, T.H., Pain, B.F. & Johnson, R.A. 2000. Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77(3), 277-287. Doi:10.1006/jaer.2000.0604.
- SNV, 2005. Trends in greenhouse gas emissions. Sweden's National Inventory Report Submission 2005.
- Svensson, L. 1993. A new dynamic chamber technique for measuring ammonia emissions from land-spread manure and fertilizers. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. B, Soil and Plant Science* 44(1), 33-46.
- Svensson, L., Gustafson, A., Klemendtsson, L., Lindén, B. & Weslien, P., 1998. Utilisation and losses of nitrogen following sub-surface application of pig slurry to a sandy soil. Paper no: 98-E-015 presented at AgEng '98 International Conference held in Oslo 24-27 August 1998, 9 s.
- Thompson, R.B., Ryden, J.C. & Lockyer, D.R., 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *Journal of Soil Science* 38, 689-700.



Luft- och markytetemperaturer under tiden när ammoniakmätningarna pågick.



Vindhastighet under tiden 15 – 19 juni, när ammoniakmätningarna pågick.

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på www.jti.slu.se

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

JTI-informerar, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4-5 teman/år).

JTI-rapporter, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):
tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00
e-post: bestallning@jti.slu.se*



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA

Besöksadress: Ultunaallén 4

Webbplats: www.jti.slu.se

Telefon: 018 - 30 33 00

Telefax: 018 - 30 09 56

E-post: office@jti.slu.se