

Surgörning av nötflytgödsel - effekt på ammoniakavgången vid spridning av rötad respektive icke-rötad gödsel i vall; SLF H1333101

Lena Rodhe, JTI, Sofia Delin, SLU och Kjell Gustafsson, Agroväst

Bakgrund

Flytgödsel är idag den dominerande formen av stallgödsel. Det finns dock problem förknippat med att utnyttja flytgödsel som växtnäringsresurser på ett helt optimalt sätt. Ett problem är att en betydande del av flytgödselns kväve riskerar att avdunsta i samband med spridningen. Det beror på gödselns innehåll av ammoniumkväve som vid högt pH och under varma och blåsiga dagar i samband med spridningen lätt kan avgå i form av ammoniak. Det råder en kemisk jämvikt mellan ammoniak och ammonium när de är lösta i en vätska som är beroende av pH och temperatur. Om pH sänks till 5,5 blir nästan allt lättlösligt kväve i form av ammonium, vilket i praktiken innebär försumbar ammoniakavgång (Nyord och Kristensen, 2011).

Rötad gödsel eller biogödsel från samrötningsanläggningar med rötning av stallgödsel, restprodukter eller odlade grödor har betydligt högre pH-värden än flytgödsel, pH 7,7 - 8,3 i rötrest jämfört med pH 6,7 - 7,0 i nötflytgödsel (Gustafsson, 2012). Studier visar på högre ammoniakavgång efter spridning av rötad jämfört med obehandlad nötflytgödsel (Clemens m.fl., 2006; Rodhe m.fl., 2013). Vid gödsling av vall kan större delen av ammoniumkvävet i flytgödseln avgå i form av ammoniak om det är ogynnsamma förhållanden (varmt och blåsigt väder, kort stubb) (Smith m.fl., 2000; Rodhe & Etana, 2003). För att förhindra det krävs speciell teknik, t.ex. speciella ytmyllningsaggregat som placerar flytgödseln i marken. Täckytmyllning dvs. när flytgödseln placeras i täckta fåror, förhindrar i stort all ammoniakavgång (Hansen m.fl., 2003; Rodhe m.fl., 2004). Det vanligaste är dock öppen ytmyllning, då flytgödseln placeras i öppna skåror. Med den tekniken har man i medeltal uppmätt en halvering av ammoniakavgången jämfört med bandspridning under svenska förhållanden (Rodhe & Etana, 2003).

Tillgången på rötad gödsel och biogödsel ökar då antalet biogasanläggningar kontinuerligt ökar. Svenska studier av rötad och ej rötad nötflytgödsel visar att det förhöjda pH-värdet i den rötade gödseln ökar risken för ökad ammoniakavgång vid spridning före sådd i vårbruket (Rodhe m.fl., 2013). Den rötade nötflytgödseln gav en kväveförlust i form av ammoniak som uppgick till 19 % av totalkväveinnehållet medan motsvarande förlust för ej rötad gödsel var 4 %. Eftersom en sänkning av pH både kan minska ammoniak- och metanavgången från flytgödsellager (Rodhe m.fl., 2005), är surgörning speciellt intressant för rötade produkter med högt pH. Även produkternas fosforeffekter är ibland svaga och det kan sannolikt förbättras med surgörning (Lemming et al., 2011).

I Danmark har man utvecklat en ny metod där man tillsätter syra till flytgödseln strax innan den sprids. Tekniken som kallas SyreN saluförs av det danska företaget BioCover A/S. I ett enskilt danskt höstveteförsök under 2011 uppnåddes en

skördeökning av 1 ton/ha för syrabehandlad svinflytgödsel (Oversigt over Landsforsøgene, 2011). I ett annat höstveteförsök rapporterade Kai et al. (2008) en minskning av ammoniakavgången på 67 % jämfört med utan syra, vilket gav 43 % högre kvävegödslingsvärde hos gödseln. Dessa nivåer är jämförbara med effekten av direktnyllning, där effekten också varierar beroende på nedmyllningsdjup (Nyord m.fl., 2008) och utformningen av myllningsbillarna vid spridning i vall (Rodhe & Etana, 2003; Rodhe m.fl., 2004).

Trots att spridning med myllningsaggregat minskar ammoniakavgången, så spreder endast 2 % av flytgödseln i Sverige med myllningsaggregat år 2012/13 (SCB, 2014). Orsaker till detta kan vara högre investerings- och underhållskostnader och högre dragkraftsbehov jämfört med bandspridning eller bredspridning (Rodhe m.fl., 2004), lägre spridningskapacitet p.g.a. relativt smal arbetsbredd och att det är problematiskt när det finns mycket sten i marken. Körning med billar påverkar också vallgrödan, vilket kan innebära skördesänkningar (Rodhe & Halling, 2015).

För surgörning lyfter danska forskare fram fördelen med lägre dragkraftsbehov jämfört med direktnyllning (Nyord & Kristensen, 2011). Surgörning av flytgödseln vid spridning i vall kan därför vara ett bra alternativ för att uppnå en minskning av ammoniakavgången, utan att spridningskapaciteten minskar (samma arbetsbredder som vid bandspridning) och att den även fungerar på stenrika jordar. Hur surgörningen lyckas beror dock på mängden tillsatt syra, gödselns egenskaper såsom pH och gödselns buffrande förmåga.

Frågeställningar

Vilken effekt har surgörning av nötflytgödsel på ammoniakavgången vid spridning till vall?

Är det någon skillnad i reduktion av ammoniakavgång vid surgörning av ej rötad respektive rötad nötflytgödsel?

Har spridningstidpunkten någon betydelse för effekten av surgörning?

Hur stor påverkan har pH hos gödsel på ammoniakavgången relativt andra faktorer?

Är surgörning en lönsam metod för att reducera kväveförluster i form av ammoniak med tanke på skördeeffekt?

Mål

Målet var att bestämma effekten av surgörning av rötad eller ej rötad gödsel utspridd vid olika tidpunkter med avseende på ammoniakavgång och relatera ammoniakavgången till skörd. Målet var också att värdera faktorn pH hos gödseln genom att använda en ALFAM-modell för påverkande faktorer på ammoniakavgången efter spridning där bl.a. väderlek och markegenskaper ingår. Målet är också att beräkna de ekonomiska förutsättningarna för surgörning av gödsel. Resultaten erhållna från detta projekt kan vägleda vid bedömning om surgörning av gödsel kan rekommenderas ur miljösynpunkt och är ekonomiskt intressant för näringen.

Material och metoder

Fältförsökets design

Fältförsöken genomfördes på SLU:s försöksstation Lanna utanför Skara. I tabell 1 presenteras vallförsöket, där leden med ammoniakmätning har markerats med **X**. Försöket är upplagt som ett fullständigt randomiserat blockförsök med fyra block. I huvudprojektet mättes avkastning och kväveupptag vid tre skördar per år.

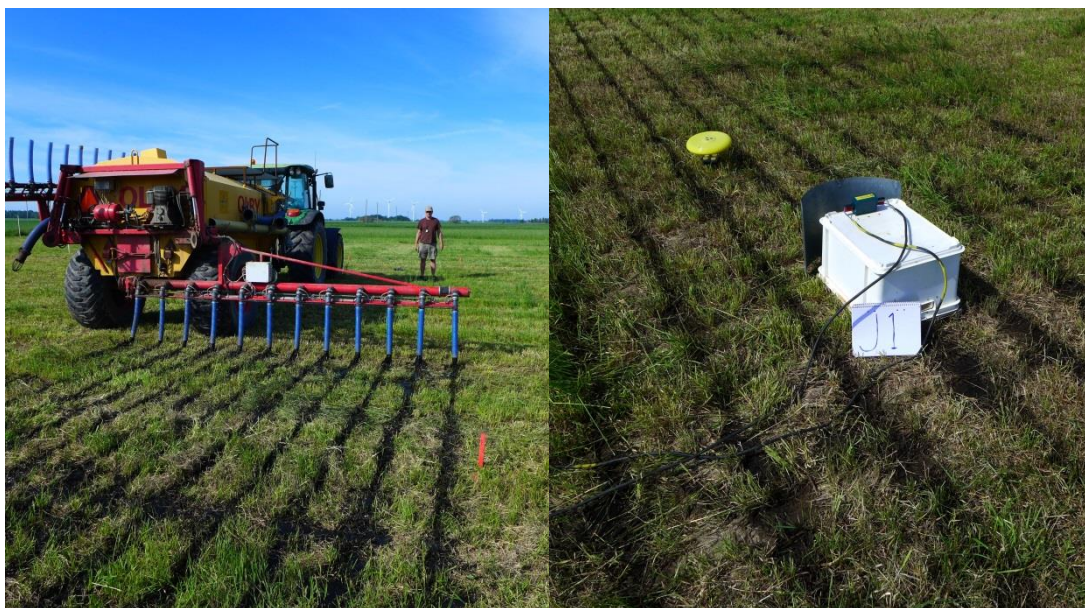
*Tabell 1. Försöksplan i vall med samtliga försöksled. Denna ansökan gäller ammoniakmätningar i försöksled markerade med **X**, vid spridning på våren eller till återväxten (efter första skörd).*

Led	Kvävegiva kg N/ha	Vår		Återväxt	
		Gödselmedel	NH ₃	Gödselmedel	NH ₃
A	0+0+0	PK	X	K	X
B	60+50+0	Axan + PK		Axan + K	
C	100+80 +0	Axan + PK		Axan + K	
D	60+50+0	Flytgödsel	X	Axan + K	
E	60+50+0	Flytgödsel+syra	X	Axan + K	
F	60+50+0	Axan + PK		Flytgödsel	X
G	60+50+0	Axan + PK		Flytgödsel+syra	X
H	60+50+0	Rötad gödsel	X	Axan + K	
I	60+50+0	Rötad gödsel+syra	X	Axan + K	
J	60+50+0	Axan + PK		Rötad gödsel	X
K	60+50+0	Axan + PK		Rötad gödsel+syra	X
L	100+80+0	Flytgödsel + Axan		Flytgödsel + Axan	
M	100+80+0	Flytgödsel +syra + N27		Flytgödsel +syra+ + N27	

Effekten av surgörning på ammoniakavgången studerades vid två spridningstidpunkter och mätningarna utfördes i tre block. Försöket var placerat på en gräsdominerad vall och nötflytgödsel hämtades från Vikens gård, som har både orötad och rötad nötflytgödsel från egen biogasanläggning.

Spridning

Spridningen utfördes med en flytgödselspridare anpassad för försöksändamål, Figur 1. Spridaren är försedd med rampspridare som är 8 m bred men där halva rampen kan stängas av för att gödsla i försöksrutor som är 4 m breda. Rampen är utrustad med släpslangar, tre stycken per m dvs. på ca 0,33 m c/c-avstånd mellan utloppen. Målet var att sprida 30 ton per ha på våren och 25 ton per ha till återväxten. Orienterande mätningar gjordes av faktisk giva med hjälp av utplacerade plåtar, som fångade upp gödseln vid spridningen. Vid vårspridningen blev givan betydligt högre i led D p.g.a. instabil inställning av flödesventil på spridaren, medan vid sommarspridningen låg givan runt 25 ton per ha för alla leden.



Figur 1. Till vänster spridning av försöksruta och till höger pågående ammoniakmätning i led med orötad nötflytgödsel.

Gödselns egenskaper

Flytgödseln hämtades från Vikens försöksgård, på vilken det finns en biogasanläggning. På gården rötas enbart nötflytgödsel. Innan spridning togs gödselprov från omblandad tank för analys av dess innehåll av torrsubbstans (ts-halt), pH, ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), 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 2.

Tabell 2. Gödselns torrsubbstanshalt och innehåll av växtnäring före eventuell tillsats av syra.

Spridnings- tidpunkt	Gödsel- slag	Ts-halt	Tot-N	NH ₄ -N	P	K	S	Tot-C	C/N- kvot
		%	kg/ton						
Vår	Orötad	8,52	4,08	2,13	0,42	2,26	0,31	39,61	9,7
Vår	Rötad	4,22	3,70	2,51	0,31	2,19	0,32	17,99	4,9
Sommar	Orötad	6,88	3,41	1,66	0,34	2,42	0,32	32,23	9,5
Sommar	Rötad	3,82	3,62	2,47	0,30	2,22	0,29	15,86	4,4

I försöken användes 96-procentig svavelsyra som surgörare, som tillsattes i spridartanken med hjälp av en doseringsutrustning strax innan spridning. Målet var att sänka pH till under 6,0. Den mängd svavelsyra som behövdes varierade beroende på gödselns pH och buffrande egenskaper. I tabell 3 visas faktiska mängder samt uppmätt pH före och efter tillsats. Med denna mängd svavelsyra tillförs svavel motsvarande grödans behov.

Ammoniakmätningar i fältförsök

Mätmetodik

Ammoniakavgången mättes med utrustning och metodik utvecklad vid JTI (Svensson, 1994) i tre av de fyra upprepningarna i markerade led, tabell 1.

Utrustningen i fält bestod av ventilerade kammare, s.k. kyvetter i vilka jämviktskoncentrationen av ammoniak mättes. Omgivande koncentration och s.k. överföringstal mäts med provtagare placerade utanför kyvetten. På varje ruta mättes med två kyvetter jämviktskoncentrationen för ammoniak och med en omgivningshållare omgivande koncentration av ammoniak. Antalet mätperioder efter spridning uppskattades till 5 för ej syrasatt flytgödsel, och 3 för surgjord gödsel under fyra dygn efter spridning och utfördes i tre rutor per led. Väderdata hämtades från närlägen väderstation Lanna (Mätstation nummer 25786, Fältforsk SLU;s databas LANTMET) förutom vindhastigheten på våren (station Bjertorp) och markytetemperatur mättes med separat sensor (TinyTag, Intab Interface AB, Stenkullen, Sweden) placerad ca 0,01 m under markytan.

Bearbetning av data

Erhållna emissionsdata relateras till utspridd kvävemängd och bearbetades statistiskt i en variansanalys för att se skillnader ($p < 0,05$) i ammoniakförluster mellan försöksleden. Vid analysen användes ”general linear model” (GLM) i programvaran Minitab version 16.

Syratillsatsens påverkan på ammoniakavgången analyserades med hjälp av funktioner för ammoniakavgång framtagna inom projektet ALFAM (www.ALFAM.dk). Funktionerna baseras på internationella studier inklusive svenska försöksdata från JTI och inkluderar bakgrundsdata som gödselegenskaper, väderlek och markdata.

Ekonomi

Ekonomi för olika system för att försura gödsel har tidigare jämförts med att ytmylla flytgödsel vid olika förutsättningar (mjölk- eller griskötsproduktion) under svenska förhållanden (Sindhøj m.fl., 2013). Urvalet av ekonomiska data kring försurning vid bandspridning av flytgödsel respektive ytmyllning presenteras här under ”Resultat och diskussion”. Förutsättningarna för beräkningarna (Sindhøj m.fl., 2013) var i stort att maskinstation anlitas för ytmyllning eller för bandspridning med försurning.

Mineralgödselvärde (del i ”huvudprojektet”)

I samtliga led uppmättes torrsubstansskörd och dess kväveinnehåll och från det beräknades kväveskörd. För att beskriva gödslingseffekten av de olika gödselbehandlingarna och även kunna jämföra dessa med andra försök, beräknades effekten av olika flytgödselbehandlingar på kväveskörd i relation till effekten av mineralgödsel. Det kan kallas för mineralgödselvärde (mineral fertilizer equivalent (MFE) (Delin m.fl., 2012; Jensen, 2013)). Det beskriver hur stor mängd mineralgödselkväve flytgödseln ersätter för att åstadkomma höjningen i kväveskörd och uttrycks i procent av tillfört totalkväve.

Resultat och diskussion

Spridning

Spridningstidpunkt, giva och tillsats av 96-procentig svavelsyra (Brenntag Nordic AB) för de olika försöksleden visas i tabell 3. Givan av gödsel utan syratillsats på våren blev högre än tänkt då spridarens ventil var instabil.

Tabell 3. Spridningstidpunkt, giva och syratillsats.

Led	Gödsel- slag	Spridningstidpunkt	Giva, ton/ha	Tillsats av svavelsyra		
				pH vid start av tillsats	pH, direkt efter tillsats	Tillsats syra, liter/m ³
D, E	Gödsel	Vår, 23 april 2014	37*/24	7,6	5,8	1,7
H, I	Rötad gödsel	Vår, 24 april 2014	24	7,35	5,9	6,2
F, G	Gödsel	Efter första skörd, 10 juni, 2014	25	7,4	5,8	3,0
J, K	Rötad gödsel	Efter första skörd, 10 juni, 2014	25	7,9	4,9	6,0

*Gödsel utan syra

Väderlek

Väderförhållandena under hela perioden med ammoniakmätningar visas i tabell 4. Vid vårspridningen var det relativt svalt, men under spridningsdagarna blåsig. Under spridningsdagen för örötad gödsel var vindhastigheten i medeltal 5,4 m/s de följande sex timmarna efter spridning (ammoniakmätningarna 1-3), och dagen därpå då rötade gödseln spreds var vindhastigheten i medeltal 3,7 m/s. Därefter mojnade det, så att medelvindhastigheterna blev betydligt lägre, speciellt under tiden då ammoniakavgången mättes från utspridd rötad gödsel, tabell 4. Vid sommarspridningen var det svag vind, men både luft- och marktemperaturen var betydligt högre än på våren.

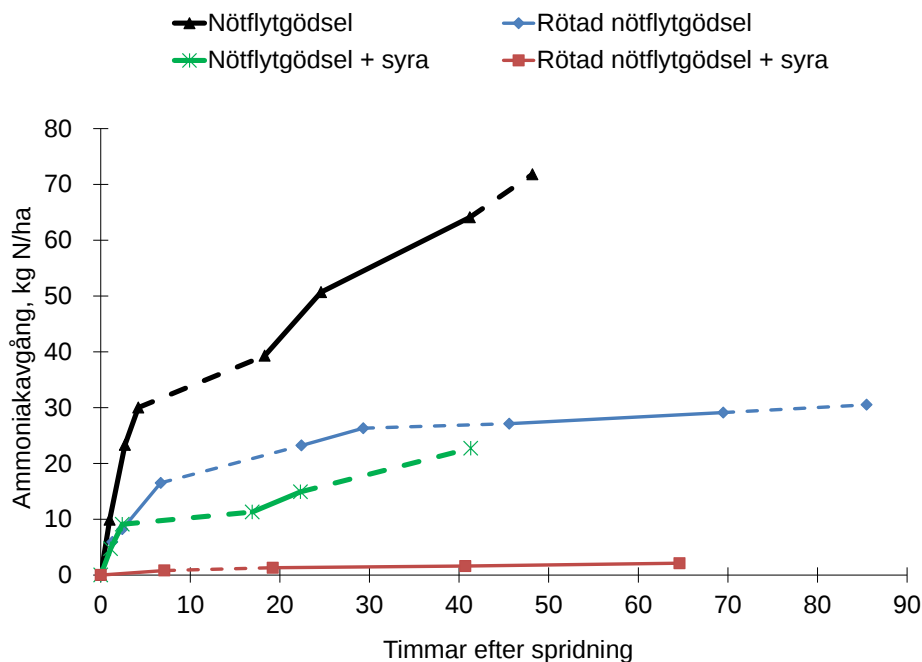
Tabell 4. Medelvärden för lufttemperatur, marktemperaturer och vindhastighet samt total nederbörd för tiden då ammoniakmätningar pågick efter vår- respektive sommarspridning.

Tidsperiod, gödselslag	Temperatur, °C			Vindhastighet, m s ⁻¹	Total nederbörd, mm
	Luft	Markyta	I mark (3-5 cm djup)		
Vår, örötad	7,7	8,3	8,4	2,7*	0,0
Vår, rötad	9,3	10,0	9,8	0,9*	0,0
Efter första skörd, örötad	17,9	18,2	17,6	2,9	0,0
Efter första skörd, rötad	18,7	18,8	18,0	2,9	0,0

*Hämtade från Bjertorp.

Ammoniakavgång

I Figur 1 och 2 visas ammoniakavgången vid vår- respektive sommarspridning.



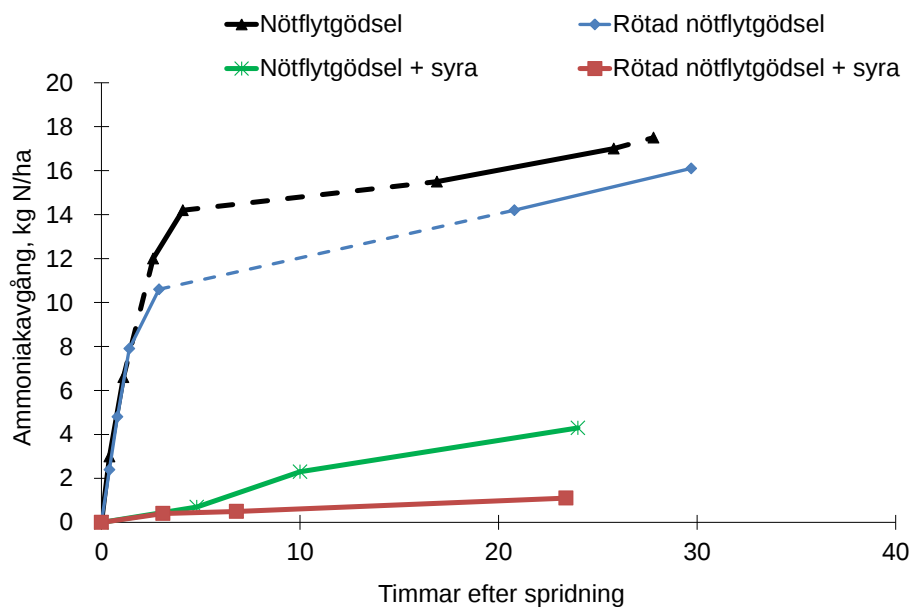
Figur 1. Kumulativa ammoniakavgången vid vårspridning.

Vid vårspridningen var ammoniakavgången relativt hög, främst för den orötade gödseln utan syra, som dock spreds i för hög giva (37 ton/ha), Figur 1. Kväveförlusten som ammoniak, ca 72 kg $\text{NH}_3\text{-N/ha}$, motsvarade för den orötade gödseln utan syra mer än 90 % av tillfört ammoniumkväve i flytgödseln eller ca 47 % av totalkväve, tabell 5. Med syratillsats halverades ammoniakavgången i procent av tillfört. Den rötade gödseln gav lägre ammoniakavgång och den relativt höga syratillsatsen (6 liter/ton) sänkte ammoniakavgången så den blev försumbar. För både orötad och rötad nötflytgödsel var ammoniakavgången statistiskt säkert ($p < 0,05$) lägre vid syratillsats jämfört med utan syratillsats, tabell 5.

Vid sommarspridning minskade syratillsatsen de procentuella förlusterna med ca 75 procent för den orötade gödseln och för den rötade gödseln med mer än 90 procent, Figur 2 och Tabell 5. En litteraturgenomgång visar liknande resultat, nämligen att ammoniakavgången minskade med 15-80 % vid surgörning av nötflytgödsel, och med 40 – 80 % vid surgörning av svinflytgödsel (Fangueiro m.fl., 2015).

Vid en jämförelse av ammoniakavgången från orötad och rötad gödsel efter spridning i vall, så var andelen som avgick som ammoniak något lägre från den rötade gödseln än den orötade gödseln, dock inte signifikant lägre ($p < 0,05$). Den rötade gödselns lägre torrsubstanshalt kan ha ökat gödselns infiltrationshastighet i marken och därmed minskat betydelsen av pH-värdet hos gödselns lagren utan syra.

I programvaran ALFAM ändrades olika parametrar som påverkar ammoniakavgången för att t.ex. se vilken temperatur- och vindhastighetssänkning som krävs för att uppnå samma reduktion i ammoniakavgång som vid syratillsats. Vid vårspridning av rötad gödsel var det svårt att få motsvarande reduktion (från 50,8 % till 3,5 % av tillfört $\text{NH}_4\text{-N}$) genom att sänka temperatur och vindhastighet mot 0, utan motsvarande reduktion kunde endast uppnås med effektiv nedmyllning. Detsamma gällde för sommarspridning trots att lufttemperaturen var relativt hög, 17-19 °C. För tillfället är ALFAM-modellen under revision (augusti 2015), vilket kan leda till förbättringar.



Figur 2. Kumulativa ammoniakavgången vid sommarspridning.

I tabell 5 presenteras även mineralgödselvärdet (medelvärde för fyra block), alltså hur stor del andel av tillfört totalkväve som haft samma effekt som mineralgödsel N. Mineralgödselvärdet ökade med 0-30 procentenheter efter surgörning.

Tabell 5. Givor, kväveförluster som ammoniak angivet som kg N/ha och som procent av tillfört ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) eller tillfört totalkväve (total-N), samt minskning av de senare med surgörning. S betyder tillsats av syra.

Gödsel- typ	Giva			Ammoniakemissioner			Minsk- ning med surgör- ning ^B , %	"Mineral- gödsel- värde" ^C , % av Tot- N
	Ton/ ha	kg NH ₄ - N/ha	kg Tot- N/ ha	kg N/ ha	% av tillfört NH ₄ -N	% av tillfört Tot-N		
Vårspridning								
Orötad	37	78	152	71,9	92,5 ^a	47,4 ^a		25
Orötad S	24	50	98	22,7	45,1 ^b	23,1 ^b	-51	45
Rötad	24	60	89	30,5	50,8 ^b	34,3 ^{ab}		62
Rötad S	24	60	89	2,1	3,5 ^c	2,4 ^c	-93	63
Sommarspridning ^A								
Orötad	25	42	85	17,5	41,2	20,6		11
Orötad S	25	42	85	4,3	10,2	5,1	-75	20
Rötad	25	62	90	16,6	26,5	18,4		18
Rötad S	25	62	90	1,1	1,7	1,2	-94	51

^{a, b, c} Medelvärden med olika bokstäver inom samma kolumn och grupp är signifikant skilda ($p < 0.05$)

^A Signifikant samspel mellan behandling och block, inga parvisa jämförelser genomförda.

^B Enligt formel: $1 - (\% \text{ förlust } \text{NH}_3\text{-N gödsel S} / \% \text{ förlust } \text{NH}_3\text{-N gödsel})$; % av tillfört Tot-N.

^C Delin m.fl., 2012; Jensen, 2013.

I de försök som utfördes året innan ökades mineralgödselvärdet från ca 30 till 40-45 vid surgörning av örötad nötflytgödsel och från 30-50 % till 70 % i rötad flytgödsel (Gustafsson & Delin, 2014). Denna ökning stämmer ganska bra med en minskning ammoniakavgång med ca 20 procentenheter av tillfört totalkväve. Skörden kan också ha påverkats positivt av svavelgivan. I medeltal blev det ca en trefaldig ökning av mineralgödselvärdet vid både rötning och surgörning jämfört med obehandlad gödsel. Fangueiro m.fl. (2015) visar också att flytgödselns mineralgödselvärde ökar med surgörning, speciellt vid spridning på vall.

Ekonomi

I en uppdragsstudie utförd av JTI jämfördes bandspridning av surgjord flytgödsel (fabrikat SyreN BioCover) med att ytmylla flytgödseln för olika besättningsstorlekar och för mjölkfogårdar respektive slaktsvinsgårdar, prisnivå år 2012 (Sindhøj m.fl., 2013). Eftersom systemet med surgörning inte finns i Sverige, utnyttjades maskinstationstaxa enligt danska erfarenheter av 4,70 kr/ton utöver grundtaxa och syrapriset sattes till 2,70 kr/liter vid inköp i IBC-tank (volym ca 1 m³). I beräkningarna antogs en syraförbrukning på 2 liter/m³ gödsel, vilket är lägre än vad som krävdes enligt våra studier (3 respektive 6 liter per ton för örötad respektive rötad gödsel). I jämförelsen ingick förutom kostnader för spridning och markpackning också intäkter till följd av minskat inköp av kväve- och svavel-gödselmedel (upp till grödors behov). För ytmyllning användes maskinstationstaxa för tillägg av ytmyllning (6,36 kr/ton jämfört med bandspridning med släpslangsramp) och markpackningskostnaden baserades på 6 m arbetsbredd vid ytmyllning jämfört med 12 m arbetsbredd för bandspridning av surgjord gödsel. Under dessa förutsättningar var det lönsamt att surgöra flytgödseln istället för att ytmylla flytgödseln på både ko- och svingårdar. Investeringskostnaden var 640.000 kr (2012, BioCover A/S) och årliga avskrivningskostnaden 127.500 kr räknat med 7 års avskrivning och 6 % ränta.

Gustafsson & Delin (2014) drar slutsatsen att ur skördesynpunkt är det mer lönsamt att kompletteringsgödsla med mineralgödsel-N än att surgöra flytgödseln för att uppnå samma skörd, men det innebär miljöstörande ammoniakutsläpp.

Slutsatser

Surgörning av rötad eller örötad nötflytgödsel minskar effektivt ammoniakavgången efter spridning. Procentuella förlusterna av NH₄-N respektive total-N minskade med över 90 procent vid surgörning av den rötade gödseln både vid vår- och sommarspridning vid en syratillsats av ca 6 liter per m³ rötad gödsel.

För den örötade gödseln hade syratillsatsen en mindre effekt, men då var också syratillsatsen lägre, närmare bestämt 1,7 vid vårspridningen respektive 3 liter per m³ gödsel vid sommarspridningen. På våren, då ammoniakavgången var mycket hög halverades de procentuella förlusterna med syratillsats jämfört med utan syra, medan vid sommarspridningen gav surgörningen ca 75 procent lägre emissioner.

Referenser

- APHA, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater (16th ed.). Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- Clemens, J., Trinborn, M., Weiland, P., Amon, B., 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112 171–177.

- Delin, S., Stenberg, B., Nyberg, A. och Brohede, L. 2012. Potential methods for estimating nitrogen fertilizer value of organic residues. *Soil Use and Management* 28, 283–291.
- Fangueiro, D., Hjort, M., Gioelli, F., 2015. Acidification of animal slurry – a review, *Journal of environmental management* 149, 46-56.
- Gustafsson, K., 2012. Utveckling av online-analys av växtnäringsinnehåll i flytgödsel och rötrest. Evalueringsrapport BioM-projektet.
- Gustafsson K. & Delin S., 2014. Surgörning av flytgödsel och biogödsel för bättre kväveutnyttjande. Vallkonferens 2014. Inst. VPE rapport nr 18, SLU.
- 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.
- Jensen, L.S., 2013. Animal Manure Fertiliser Value, Crop Utilisation and Soil Quality Impacts. In: Sommer, S.G. Christensen, M.L. Schnidt T. and Jensen. L.S. (eds). *Animal Manure Recycling: Treatment and Management* Wiley, 295-328
- Kai P., Pedersen P., Jensen, J.E., Hansen, M.N., Sommer S.G., 2008. A whole-farm assessment of the efficiency of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Europ. J. Agronomy* 28 (2008) 148–154.
- Lemming, C., Jens Petersen J., Gitte H. Rubæk G.H. & Sørensen P., 2011. Acidified Cattle Slurry as Starter Fertiliser for Maize — Investigation of Phosphorus Supply during early Growth. *NJF Rapport Vol 7, Nr 8*, 2011.
- Nyord T., Søgaard H.T., Hansen, M.N. & Jensen L.S., 2008. Injection methods to reduce ammonia emission from volatile liquid fertilisers applied to growing crops. *Biosystems Engineering* 100, 235–244.
- Nyord, T. & Kristensen, K. 2011. Analyse af ammoniakemission efter udspreddning af svinegylle med 4 forskellige pH værdier. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, 09-03-2011.
- Oversikt over Landsforsøgene, 2011. Syren-behandlet svinegylle til vinterhvede, 243-244. Videncentret for Landbrug 2011.
- Rodhe L. & Etana A., 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.
- Rodhe L., Rydberg T. & Gebresenbet G., 2004. The influence of shallow injector design on ammonia emissions and draught requirement under different soil conditions. *Biosystems Engineering* 89(2), 237-251.
- Rodhe L., Mathisen B., Wikberg A. & Malgeryd J., 2005. Tillsatsmedel för flytgödsel - litteraturoversikt och utveckling av testmetod. *JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 333*. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rodhe L. & Halling M.A., 2015. Grassland yield response to knife/tine slurry injection equipment – benefit or crop damage? *Grass and Forage Science* 70, 255–267, DOI: 10.1111/gfs.12106.
- 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.
- SCB., 2014. Gödselmedel i jordbruket 2012/13. Statistiska meddelanden MI 30 SM 1402. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- Sindhøj E., Oostra H., Adolfsson N. och Rodhe, L., 2013. Syrabehandling av stallgödsel – Lönsamhet på gårdsnivå. Uppdragsrapport, JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- SIS, 2000. Swedish standards: SS-EN 12176-1, SS 028113-1, SS 028101-1, SS – ISO 10694 (organic fertilisers), SS 027124-1, SS-ISO 11464, SS-ISO 10 390, ISO 11732, SS - ISO 10694, SS-ISO13878 (soil). 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.
- Svensson L., 1994. A new dynamic chamber technique for measuring ammonia emissions from land-spread manure and fertilizers *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 44, 35-46.