



# Ammoniakavgång från nötflyt gödsel med olika förbehandling och spridningsteknik

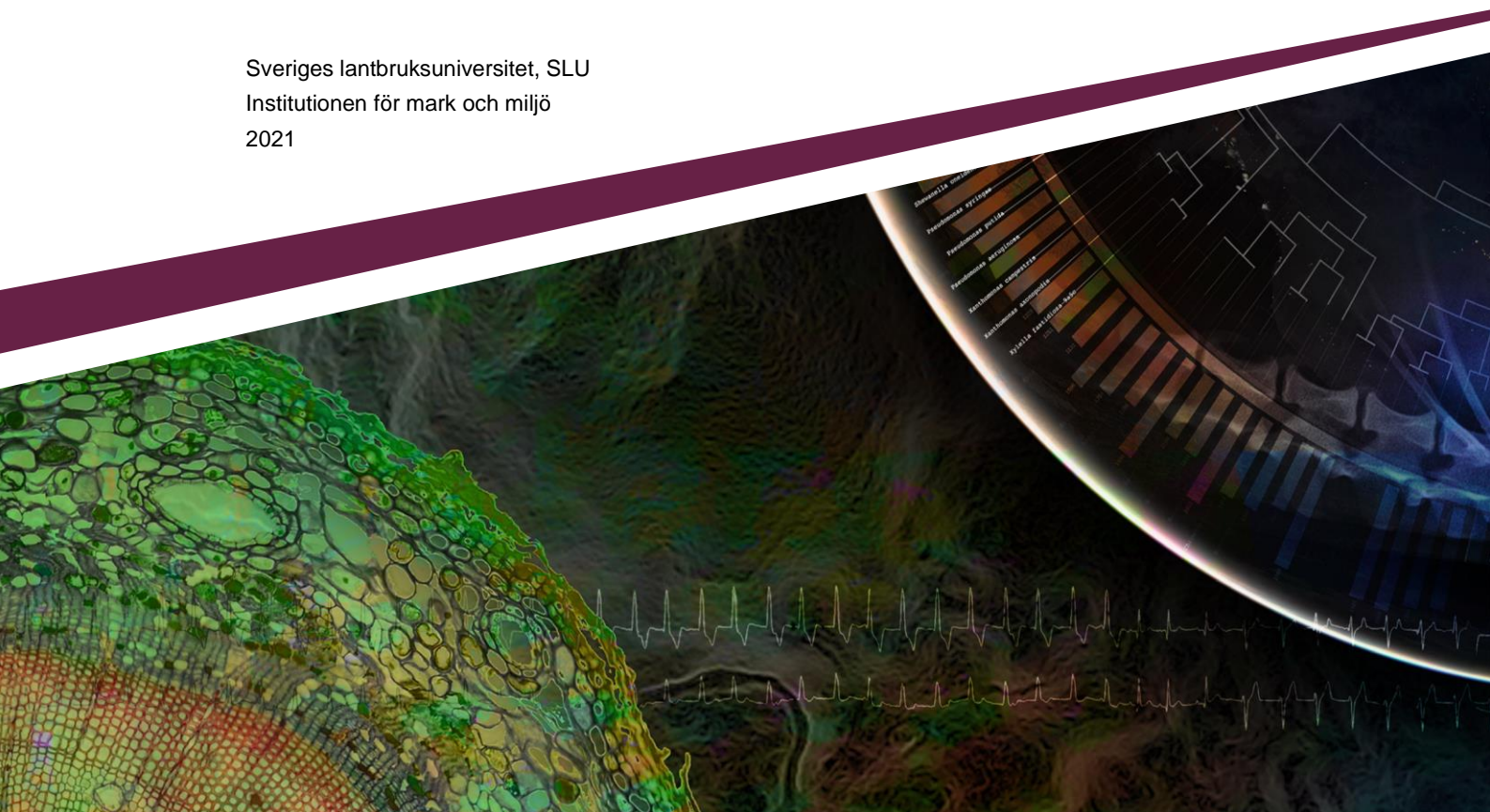
— Slutrapport till Nötkreaturstiftelsen Skaraborg

---

*Ammonia emissions from cattle slurry with different treatments and application methods*

Karin Andersson, Sofia Delin

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för mark och miljö  
2021



# Ammoniakavgång från nötflytgödsel med olika förbehandling och spridningsteknik – Slutrapport till Nötkreaturstiftelsen

Karin Anderson                      SLU, institutionen för mark och miljö  
Sofia Delin                              SLU, institutionen för mark och miljö

**Redaktör:**  
**Utgivare:**                              Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö  
**Utgivningsår:**  
**Utgivningsort:**  
**Illustration:**                          Sofia Delin  
**Serietitel:**  
**Delnummer i serien:**  
**ISSN:**  
**ISBN:**  
**Nyckelord:**

## Sammanfattning

Nötflytgödsel innehåller kväve (N), som är ett viktigt näringsämne i jordbruket. Endast en del av detta kväve blir tillgängligt för grödan efter spridning, delvis på grund av ammoniakavgång. Syftet med denna studie var att jämföra ammoniakförluster mellan olika flytgödseltyper och spridningstekniker från spridning av nötflytgödsel. De gödseltyper som studerades var obehandlad nötflytgödsel, flytande fraktion från separering av nötflytgödsel och rötrest från en biogasanläggning med en substratblandning innehållande 65 % nötflytgödsel. Spridningsteknikerna som studerades var spridning med släpslang, släpskor, djupare ytmullning och surgörning inför gödselspridning med släpslang. Ammoniakavgången efter gödselspridning mättes i små fältförsök med vindtunnlar i kombination med en Picarro G2103 gas concentration analyser, som mäter ammoniakkoncentrationen. Totalt genomfördes fem fältförsök. Det var ett försök för varje gödseltyp som jämförde de olika spridningsteknikerna och ett med alla tre gödseltyperna spridda med släpslang. I det femte försöket jämfördes släpslangspridning med direktmyllning i öppna fåror med två olika djup. I försöket som jämförde gödseltyper var andelen av gödselns ammoniumkväve som avgått som ammoniak efter 70 timmar 29 % lägre från separerad gödsel än från rötrest ( $p=0,015$ ), medan obehandlad gödsel intog en mellanposition, inte signifikant skild från någon av de andra gödseltyperna. För obehandlad flytgödsel minskades ammoniakavgången med 27 % med släpskor jämfört med släpslangar ( $p=0,036$ ), medan skillnaderna inte var statistiskt signifikanta för separerad gödsel och rötrest. Surgörning minskade ammoniakavgången med i genomsnitt 82 % ( $p<0,001$ ). Surgörningen reducerade till en början ammoniakavgången till ett minimum i både obehandlad och separerad gödsel. I den obehandlade gödseln syntes sedan en tydlig ökning av ammoniakavgången 48 timmar efter spridning som varade till att försöket avslutades.

*Nyckelord:* ammoniakförluster, nötflytgödsel, släpslangspridare, släpsko, direktmyllning, surgörning, gödselseparering, rötrest

## Abstract

Cattle slurry contains nitrogen (N), which is an important crop nutrient. Only a fraction of this N becomes available to the crop after land application, partly due to ammonia volatilization. The aim of this study was to compare ammonia losses between different slurry types and application methods from cattle slurry application. The slurry types included were untreated cattle slurry, liquid fraction from separation of cattle slurry and biogas digestate from a biogas plant with a substrate mix containing 65 % cattle slurry. The application techniques used were trailing hoses, trailing shoes, slurry injection and acidified slurry applied with trailing hoses. The ammonia emissions after slurry application was measured in small field experiments using wind tunnels in combination with a Picarro G2103 gas concentration analyser. In total, five field experiments were conducted. There was one experiment for each slurry type comparing the different application techniques, and one with all three slurry types applied with trailing hoses. In the fifth experiment, trailing hoses was compared with slurry injection in open slots at two different depths. In the experiment comparing slurry types, ammonia emissions as fraction of applied  $\text{NH}_4\text{-N}$  after 70 hours were 29% ( $p=0.015$ ) lower from separated slurry than from biogas digestate, while untreated slurry took an intermediate position, not significantly different from any of the other slurry types. For untreated slurry, application with trailing shoes reduced ammonia emissions by 27% ( $p=0.036$ ) compared with trailing hoses, while for separated slurry and biogas digestate the differences were not statistically significant. Slurry acidification reduced ammonia emissions by on average 82% ( $p<0.001$ ) compared to trailing hoses. Initially, acidification reduced the ammonia emissions to a minimum in both untreated and separated slurry. In untreated slurry, a subsequent increase in ammonia emissions was seen, starting 48 hours after slurry application and lasting until the end of the experiment.

*Keywords:* ammonia emissions, cattle slurry, trailing hoses, trailing shoe, slurry injection, acidification, slurry separation, biogas digestate

## Förord

Inom ramen för ett doktorandprojekt med grundfinansiering från Västra Götalandsregionen och SLU finansierades ett antal gödslingsförsök med nötflytgödsel till höstvet och vall av Jordbruksverket och några försök för ammoniakmätning av Nötkreaturstiftelsen Skaraborg. I denna rapport redovisas huvudsakligen försöken som gäller ammoniakmätning som utfördes under 2019 samt modellberäkningar som utfördes under 2020. Övriga resultat kommer att redovisas i separata publikationer och slutligen i en doktorsavhandling.

# Innehåll

<b>1. Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Material och metod</b>	<b>8</b>
2.1. Försöksplats	8
2.2. Vindtunnlar	8
2.3. Gödsel	9
2.4. Spridningsmetoder	9
2.5. Statistik	10
2.6. Modellberäkningar	10
<b>3. Resultat</b>	<b>11</b>
3.1. Ammoniakavgångens storlek och förlopp	11
3.2. Skillnader mellan gödselslagen	12
3.3. Effekt av spridningsteknik	12
3.4. Effekt av surgörning	13
3.5. ALFAM2-modellen	13
<b>4. Diskussion</b>	<b>15</b>
4.1. Begränsad effekt av släpsko	15
4.2. God effekt av surgörning	15
4.3. Skillnader mellan gödseltyper	16
4.4. Skillnad i emission mellan försök och mot modell	16
<b>5. Slutsatser</b>	<b>18</b>
<b>6. Referenser</b>	<b>19</b>

# 1. Inledning

Nötflytgödsel innehåller kväve (N), som är ett viktigt näringsämne i jordbruket. Endast en del av detta kväve blir tillgängligt för grödan efter spridning. Detta beror delvis på att nötflytgödsel innehåller mycket organiskt material som gör att en stor del av kvävet är otillgängligt för grödan. Den växttillgängliga fraktionen kan ökas genom att avlägsna kol ifrån gödseln antingen genom rötning i en biogasanläggning eller genom att separera bort den fasta fraktionen där det mesta organiska materialet finns. Men den låga andelen kväve som kommer grödan till godo beror även på att en stor del av det kväve som kunde varit växttillgängligt lätt kan gå förlorat med ammoniakavgång vid spridning. Detta kan man begränsa genom att mylla ner gödseln i marken eller genom att sänka pH i gödseln inför spridning. Ammonium och ammoniak ( $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NH}_3$ ) står i kemisk jämvikt som förskjuts mot mer ammonium när pH sjunker. Genom att sänka pH från exempelvis 7,5 till 5,5 ändras andelen  $\text{NH}_3$  relativt till  $\text{NH}_4^+$  från 1,8% till 0,02%, vilket betyder att ammoniakavgången blir närmast obetydlig (Fangueiro *et al.*, 2015).

Syftet med studien var att undersöka skillnader i ammoniakförlust mellan olika kombinationer av förbehandling av nötflytgödsel och spridningsmetoder. Detta som en del av en större studie med syfte att hitta den optimala kombinationen av förbehandling och spridningsmetod för att få så bra kväveutnyttjande som möjligt av nötflytgödsel i växtodlingen. Förbehandlingarna var separering och rötning, som båda innebär en tunnare gödsel och där rötning även har en pH-höjande effekt. Spridning med släpslang ovanpå markytan jämfördes en yttlig myllning med släpsko som ska påskynda infiltrationen och därmed minska ammoniakförlusterna. En jämförelse gjordes även med hur mycket ammoniakavdunstningen kan minskas genom att sänka pH på gödseln i samband med spridning med släpslang.

## 2. Material och metod

### 2.1. Försöksplats

Totalt fem ammoniakförsök utfördes på Lanna försöksstation i Västergötland under sommaren 2019. Fältet är en styv lera med 43 % ler och 2,6 % mull och pH 7,0. De första fyra försöken utfördes under juni månad i en gräsvall som såddes in i september året innan och skördades ca en vecka innan första försöket startade. Det femte försöket utfördes i vårkorn som klipptes ner före försökets start i början på juli. Vädret var varmt under hela försöksperioden och jorden var torrare under de senare försöken (tabell 1).

Tabell 1. Temperatur och nederbörd under de olika experimenten.

För sök	Datum	Tempera- tur vid start (°C)	Medeltemp under 3 dagar (°C)	Nederbörd 3 dygn före start (mm)
1	5-10 juni	25,6	19,2	4,8
2	13-17 juni	21,8	17,9	5,8
3	18-24 juni	24,6	18,5	0
4	25-28 juni	22,1	19,1	0
5	2-5 juli	19,7	15,7	0

### 2.2. Vindtunnlar

Försöken utfördes med hjälp av vindtunnlar (figur 1) som lånades från Århus universitet i Danmark. Då vi hade tillgång till nio vindtunnlar kunde vi jämföra tre behandlingar med tre upprepningar åt gången. Behandlingarna utfördes på ytor som rymdes inom metallramar med innermått 29,3 x 67,4 cm (0,20 m<sup>2</sup>). Ramarna slogs ner i marken till 4 cm djup, för att hindra luft att komma in mellan ram och markyta. Vindtunnlarna placerades sedan uppe på ramarna och spändes åt så att skarvarna blev helt lufttäta. Luft släpptes in genom en (33,5 x 1,3 cm) springa i ena änden av tunneln och ett konstant luftflöde åstadkoms med en fläkt. Luften leddes genom teflonslangar till ett mätinstrument, Picarro G2103 gas concentration analyser, som mäter ammoniakkoncentration (Pedersen *et al.*, 2020). Bakgrundsemission mättes vid ingången av tre av vindtunnlarna samt vid en punkt 20 meter från försöket.





Figur 1. Vindtunnlar och utrustning för mätning av ammoniakförluster vid gödselspridning.

## 2.3. Gödsel

Tre olika flytgödsel undersöktes i fem olika försök (tabell 2). Dels en vanlig obehandlad flytgödsel, dels den flytande fraktionen från separerad nötflyt och till sist rötrest från en biogasanläggning som till 65 % använder nötflytgödsel som substrat. Den obehandlade nötflytgödseln togs från pumpbrunnen utanför ett mjölkstall. Den separerade gödseln togs från samma gård, men efter att 50 % av torrsubstansen frånskilts med en skruvpress (CRI-MAN SM 260/75 FA DM), för att sedan använda en del av torrfraktionen som strömmaterial till korna. Mängden gödsel som spreds i försöken var 35 ton per ha för obehandlad och separerad gödsel och 17,5 ton per ha för rötrest, vilket innebär 56-70 kg ha<sup>-1</sup> ammonium-N.

Tabell 2. Gödsel, spridningsmetoder samt gödselegenskaper i de olika försöken.

För-sök	Gödsel	Spridningsmetod*	Ts (%)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (kg ton <sup>-1</sup> )	pH	pH efter surgörning	Gödsgiva (kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N ha <sup>-1</sup> )
1	Separerad	A, B, C	4,8	1,8		6,0	63
2	Obehandl.	A, B, C	9,5	1,9		6,0	66,5
3	Rötrest	A, B, C	3,9	3,2	7,6	6,65	56
4	Obehandl.	A	9,0	1,9	6,8	-	66,5
	Separerad		4,6	2,0	7,1	70	
	Rötrest		4,4	3,4	7,8	59,5	
5	Separerad	A, B, D	4,5	2,0		-	70

\*A = släpslang, B = släpsko, C = surgjord gödsel (släpslang), D = ytmyllning, 5 cm

## 2.4. Spridningsmetoder

I försök 1-3 jämfördes spridningsmetoderna släpslang, släpsko och släpslang med surgörning i samband med spridning, med ett försök för var och en av de tre gödseltyperna obehandlad, separerad och rötrest (tabell 2). Svavelsyra (96 %)

användes för surgörningen. Mängden syra som tillfördes var 4,0 liter, 4,5 liter respektive 6,0 liter per ton för obehandlad, separerad och rötrest. Detta resulterade i ett pH på 6,0 för obehandlad och separerad gödsel och 6,7 för rötad gödsel. I försök 4 jämfördes de tre gödseltyperna, alla applicerade med släpslang. I försök 5 jämfördes släpslang och släpsko med en djupare myllning till 5 cm djup. Till detta experiment användes separerad gödsel. Med släpskor fick man en y-formad fåra endast 1 cm djup och med ett 4-5 cm brett band av lösare jord. Den djupare myllningen gjordes med en hacka och gav en v-formad fåra, 5 cm djup och 4-5 cm bred vid markytan. Innan varje försök klipptes gräset så att allt gräs var 5-7 cm högt. I leden med myllning gjordes fårorna i marken först, innan metallramarna sattes på plats. Sedan hölls gödseln i strängar med en vattenkanna försedd med en slang på pipen för att imitera släpslang.

## 2.5. Statistik

Beräkningar och statistik gjordes i programmet R. Statistik beräknades separat för varje försök samt även gemensamt för försök 1-3 tillsammans. Statistiken beräknades på kumulativ ammoniakavgång de första 24 respektive 70 timmarna.

## 2.6. Modellberäkningar

Ammoniakemissionerna som uppmättes i försöken jämfördes med modellberäkningar med modellen ALFAM2 (Hafner *et al.*, 2019). ALFAM2 är en semi-empirisk beräkningsmodell för att prediktera ammoniakförluster. Den baseras på data från fältförsök i sex länder med totalt över 500 försöksrutor i en databas. I modellen beräknas emissionerna utifrån information om gödselegenskaper, gödselgiva, spridningsmetod, lufttemperatur, vindstyrka och nederbörd. I vårt fall, då mätningar skedde inuti vindtunnlar, sattes nederbörden till noll och vindstyrkan till luftflödet inuti vindtunneln. Temperatur togs från Lannas väderstation. Gödselns pH noterades i surgjord gödsel från försök 1-3, och i icke surgjord gödsel i försök 4, och dessa pH-värden användes sedan för alla modelleringar. Genom att kalibrera modellen med data från våra experiment var det möjligt att följa emissionsmönstret över tid och se när de uppmätta värdena skilde sig från de förväntade från modellen.

## 3. Resultat

### 3.1. Ammoniakavgångens storlek och förlopp

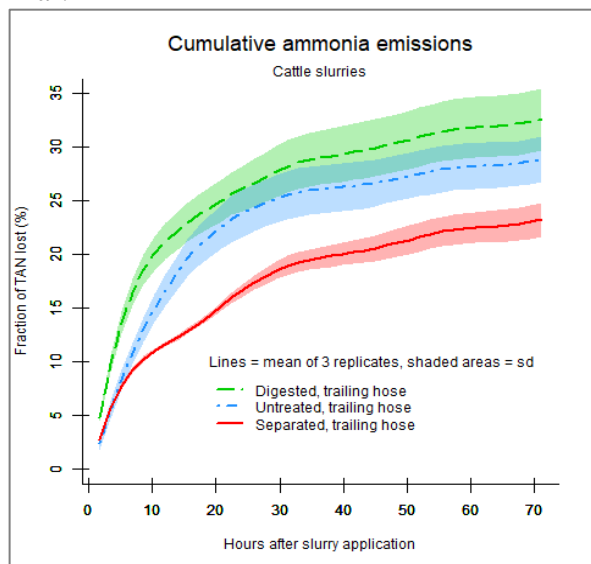
Sammanlagd ammoniakavdunstning inom 24 timmar efter spridning varierade mellan 0 och 26 % av ammoniuminnehållet i gödseln. Inom 70 timmar hade mellan 2 och 32 % av ammoniumkvävet avdunstat (tabell 3). Med rötrest och separerad gödsel skedde 50 % av förlusterna oftast inom 4-10 timmar, medan det tog längre tid från obehandlad gödsel (tabell 3).

*Tabell 3. Sammanlagd ammoniakemission under 24 respektive 70 timmar efter spridning, där siffra inom parentes anger standardavvikelsen mellan replikat. Led med samma bokstav inom varje försök är inte statistiskt skilda från varandra ( $p < 0,05$ ).*

Försök	Gödsel	Spridningsmetod	Sammanlagd avgång (% av ammonium-N)		50 % av uppmätt avgång (timmar)
			24 timmar	70 timmar	
1	Separerad	Släpplang	12,1 (1,4) a	16,1 (2,0) a	10
		Släpsko	10,0 (0,7) a	13,5 (0,4) a	10
		Surgjord	0,6 (0,3) b	2,0 (0,8) b	39
2	Obehandlad	Släpplang	16,5 (1,0) a	23,8 (0,9) a	17
		Släpsko	10,8 (3,1) b	17,3 (4,1) b	20
		Surgjord	0,1 (0,1) c	5,9 (1,3) c	56
3	Rötrest	Släpplang	14,9 (1,5) a	17,0 (1,8) a	5
		Släpsko	13,0 (2,7) a	15,8 (3,8) b	8
		Surgjord	2,2 (0,8) b	2,5 (1,0) c	4
4	Obehandlad	Släpplang	23,9 (2,2) a	28,7 (2,1) ab	10
	Separerad	Släpplang	16,7 (0,6) b	23,1 (1,6) b	12
	Rötrest	Släpplang	26,2 (2,1) a	32,4 (2,9) a	7
5	Separerad	Släpplang	13,9 (0,3) a	22,7 (0,9) a	14
		Släpsko	12,5 (1,6) a	21,9 (2,6) a	18
		Ytmyllning	6,5 (0,6) b	14,2 (0,2) b	27
1-3	Medel av alla	Släpplang	14,5 (2,2) a	19,0 (3,9) a	11
		Släpsko	11,3 (2,5) b	15,5 (3,3) b	13
		Surgjord	1,0 (1,0) c	3,5 (2,1) c	32

## 3.2. Skillnader mellan gödselslagen

I försök 4, där gödselslagen jämfördes med varandra utan varken myllning eller surgörning, hade rötresten de största totala ammoniakförlusterna med 32 % av tillfört ammoniumkväve, motsvarande 19 kg N/ha. Motsvarande andel för obehandlad och separerad gödsel var 29 respektive 23 %. Emissionsmönstret skiljer sig åt mellan de olika gödselslagen (figur 2). Rötad gödsel har de snabbaste ammoniakförlusterna direkt efter gödselspridning, på grund av ett högre pH, och även de största förlusterna totalt sett efter 70 timmar. Obehandlad och separerad gödsel har en lägre förlusthastighet direkt efter spridning, och följer varandra till en början. För den obehandlade gödseln fortsätter dock ammoniakförlusterna på en högre nivå under längre tid, medan de för den separerade avtar markant efter ca 8 timmar.



Figur 2. Ackumulerade ammoniakförluster från rötad (grön), obehandlad (blå) och separerad (röd) nötflytgödsel i försök 4.

## 3.3. Effekt av spridningsteknik

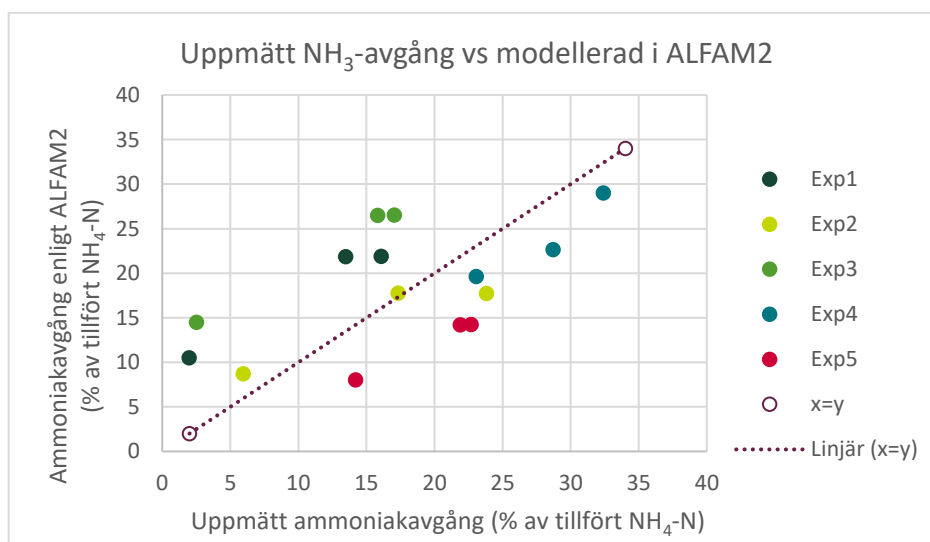
I försök 1-3 jämfördes de olika spridningsteknikerna, och i genomsnitt minskade ammoniakförlusterna med 18 % ( $p < 0,001$ ) vid spridning med släpsko jämfört med släpslang (tabell 3). Effekten av släpsko var störst för obehandlad gödsel (27 %,  $p = 0,036$ ), följt av separerad (16 %,  $p = 0,127$ ) och minst för rötad (7 %,  $p = 0,826$ ). I försök 5, som var en jämförelse mellan spridning med släpslang, släpsko och ytmyllning till 5 cm djup, syntes ingen tydlig effekt av släpskon, medan den djupare ytmyllningen minskade ammoniakförlusterna med 37 % ( $p = 0,006$ ) jämfört med släpslang.

### 3.4. Effekt av surgörning

Surgörning av gödseln minskade ammoniakförlusterna med i genomsnitt 82 % ( $p < 0,001$ ), och uppdelat på gödselslag var effekten 75, 85 och 88 % för obehandlad, rötad respektive separerad gödsel. Även tidigare studier har visat att surgörning till pH 6,0 eller lägre effektivt minskar ammoniakförlusterna (Fangueiro et al., 2017; Seidel et al., 2017). Efter surgörning betedde sig gödselslagen lite olika. För rötresten skedde hälften av ammoniakförlusterna redan under de första fyra timmarna efter spridning, på grund av ett högre pH (6,7), följt av minimala förluster under resten av försöket. Den obehandlade gödseln som surgjorts till pH 6,0 hade mycket låga förluster under de första två dyggen, varefter det skedde en tydlig ökning under resterande tid av försöket. Detta mönster har inte setts tidigare i försök, men tyder på att gödselns buffrande förmåga gör att effekten av surgörning avtar efter en tid. Separerad gödsel följde i stort sett samma mönster som obehandlad, ökningen i ammoniakförluster under senare delen av försöket var dock betydligt mindre.

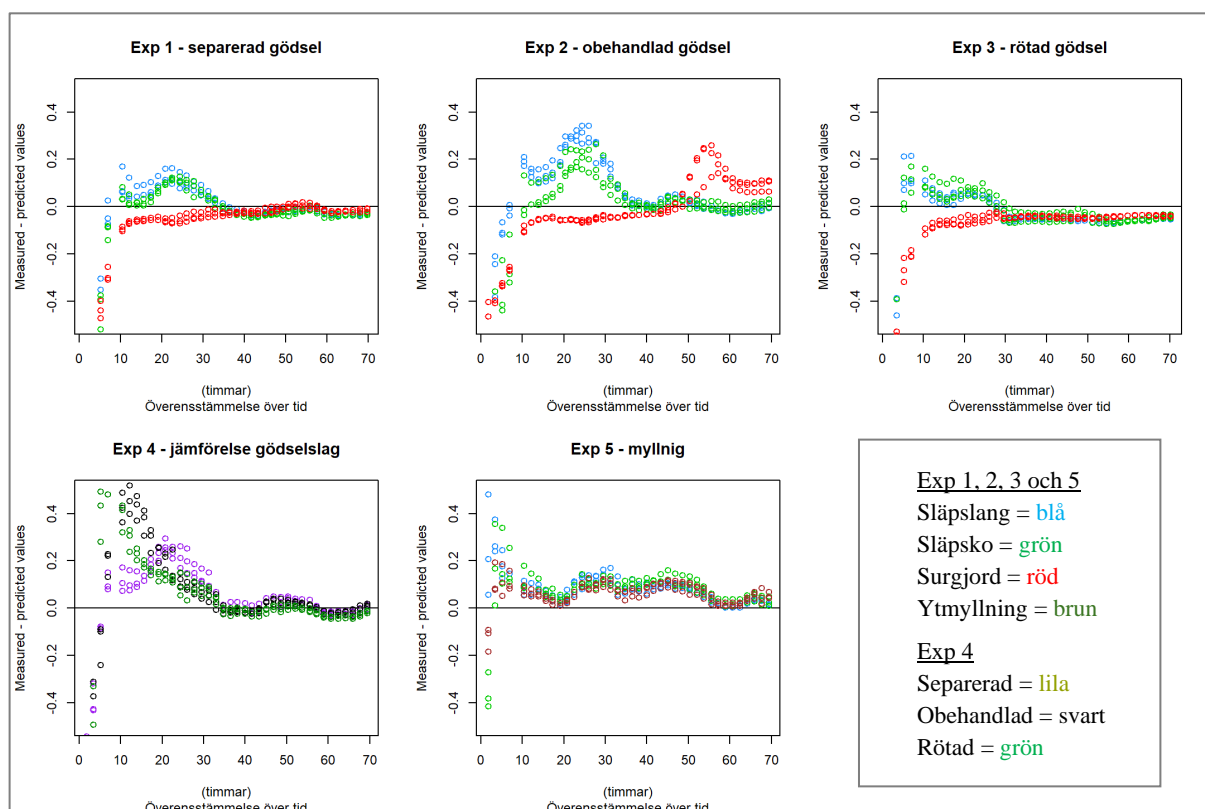
### 3.5. ALFAM2-modellen

När det gäller beräkningarna i ALFAM2-modellen så var ammoniakförlusterna generellt sett lägre än vad modellen predikterat i försök 1 och 3, på ungefär samma nivå i försök 2 samt högre än predikterat i försök 4 och 5 (figur 3). Om modellen hade förutsett ammoniakförlusterna 100 % korrekt så hade alla punkter legat på den streckade linjen. I modellen görs ingen skillnad på spridning med släpslang och släpsko, utan de förväntas ge lika stora ammoniakförluster.



Figur 3. Ammoniakavgång i försöken jämfört med i ALFAM2-modellen.

Sett över tid så är skillnaden mellan faktisk ammoniakavgång i försöken och värdena från ALFAM2-modellen störst i början (figur 4). Från 30 timmar efter start är skillnaderna små, vilket hänger samman med förlusterna så lång tid efter gödselspridning överlag är låga. Undantaget är experiment 2, där emissionerna från den surgjorda gödseln visar en plötslig topp drygt två dygn efter start, samt försök 5 där emissionerna är högre än i modellen under större delen av försöket (figur 4). I många fall överskattar modellen ammoniakavgången under de första timmarna efter spridning, men lyckas inte förutsäga storleken på emissionerna dag två, vilket syns på det genomgående mönstret med högre emissioner i försöken jämfört med modellen 20-30 timmar efter start.



Figur 4. Uppmätt ammoniakavgång i försöken i förhållande till beräknade värden från ALFAM2-modellen. Värden över noll innebär högre emissioner i försöken än i modellen.

Många faktorer påverkar ammoniakavgångens storlek, och man kan inte utifrån modelleringarna dra några slutsatser om varför emissionerna i fältförsöken ibland blir högre och ibland lägre än vad modellen förutspår.

## 4. Diskussion

### 4.1. Begränsad effekt av släpsko

Spridning med släpsko fanns med i fyra av fem försök. Alla försöken genomfördes på lerjord, och markytan var hård och kompakt, vilket ledde till att spåren efter släpskon blev grunda (ca 1 cm), och med väldigt lite lös jord. I idealfallet skulle spåren varit djupare (ca 3 cm) och fyllda med lös jord för att underlätta en snabb infiltration av gödseln. Om spåren efter släpskorna är för grunda för att rymma all gödsel, så att gödseln svämmar över och sprids ut, leder det till högre ammoniakförluster. I försöken var effekten av släpskon jämfört med släpslang mycket varierande, från 3 % till 27 % minskning av ammoniakförlusterna. Den största effekten sågs i obehandlad gödsel, troligtvis på grund av dess höga TS-halt, vilket gjorde att den i högre grad stannade kvar i de grunda spåren efter släpskon. Eftersom spåren gjordes för hand och gödseln hälldes dit efteråt, kan en del av variationen också bero på hur väl den som hällde dit gödseln lyckades pricka rätt i fåran. Den obehandlade gödseln som var lite mer trögflytande var lättast att placera helt rätt.

Tidigare studier (t.ex. Misselbrook *et al.*, 2002) har visat stora variationer i effekt av gödselspridning med släpskor, med de sämsta effekterna i försök med kort gräs, höga gödselgivor och gles gröda. Även när det gäller effekten av ytmyllning så är variationerna stora (Nicholson *et al.*, 2018; Rodhe & Etana, 2005; Hansen *et al.*, 2003). Hansen *et al.* (2003) konstaterar att potentialen att minska ammoniakförlusterna är direkt relaterad till volymen på fårorna i marken som gödseln sprids i. För att uppnå en tillfredsställande minskning av ammoniakförlusterna så måste fårorna ha tillräckligt stor volym för att rymma all gödsel.

### 4.2. God effekt av surgörning

Den kraftiga reduktionen av ammoniakavgång på 75-88 % som observerades för obehandlad och separerad gödsel överensstämmer väl med andra studier (Fangueiro *et al.*, 2018; Fangueiro *et al.*, 2017; Seidel *et al.*, 2017), där surgörning till pH 6,0 eller lägre effektivt minskade emissionerna. Minskningen med 85% för rötrest var däremot större än förväntat, med tanke på det högre pH-värdet pH 6,7. Att vi surgjorde till pH 6,7 för denna gödsel och inte till 6,0 som i de andra gödseltyperna, var för att pH inte kom lägre än så i de större växtodlingsförsöken, trots att vi där tillförde så mycket syra som vi tidigare hade titrerat oss fram till att vi behövde.

Problemet i växtodlingsförsöken var den enorma skumbildningen och att mycket av syran fastnat i skummet. Möjligen kan det vara så att skummet vid surgörning i samband med ammoniakförsöken blandade sig bättre med resten av gödseln efter en tid och att pH faktiskt var något lägre vid spridning än vad vi mätte upp strax efter surgörning. Vid pH 6,0 är emissionerna teoretiskt sett reducerade med över 98 % (Fangueiro *et al.*, 2015), och lägre pH bör inte ha några emissioner att tala om.

### 4.3. Skillnader mellan gödseltyper

Att rötresten hade högre emission i början berodde sannolikt på dess högre pH. Att det sedan avtog snabbare kan ha berott på snabb infiltration, både p.g.a. en mindre mängd som skulle infiltrera, samt för att den var lättflytande. Även i andra studier, t.ex. Amon *et al.* (2006), har man fått högst ammoniakförluster från rötad gödsel, följt av obehandlad och lägst från separerad. Även i ett annat försök, som utfördes med samma gödsel och på samma jord som i våra experiment, fick man lägst förluster separerad gödsel. Det var dock ingen skillnad i ammoniakavgång mätt i % av tillförd  $\text{NH}_4\text{-N}$  mellan rötrest och obehandlad gödsel. I detta experiment tillfördes samma volym gödsel oavsett kvävekoncentration, vilket sannolikt gjorde att infiltrationen skedde ungefär lika fort för båda gödseltyperna. Det är därför troligt att skillnaden i ammoniakavgång mellan rötrest och separerad gödsel till stor del beror på deras olika pH-värde.

Emissionen från obehandlad och separerad gödsel var lika under de första timmarna, men sedan avtog avgången från den separerade, medan den fortgick från den obehandlade (figur 2). Detta kan förklaras med att medan den separerade infiltrerar i marken, så ligger den obehandlade kvar på ytan. Även Balsari *et al.* (2008) uppmätte lägre emissioner från separerad gödsel jämfört med obehandlad.

### 4.4. Skillnad i emission mellan försök och mot modell

Temperatur och vindhastighet är viktiga faktorer för ammoniakemission (Balsari *et al.* 2008). Eftersom vindhastigheten i tunnlarna varit konstant så borde det varit temperaturen som varit avgörande för skillnader mellan försök som inte beror på behandlingarna. Även om vi lagt in lufttemperaturerna i ALFAM2 så var emissionerna i våra experiment lägre än vad modellen förutspådde i försök 1 och 3 och högre i försök 4 och 5.

En ny studie (Pedersen *et al.*, 2021b) visar att ammoniakförlusterna inte ökar lika mycket med ökande temperatur som man tidigare trott. I den studien ökade förlusterna väldigt lite vid temperaturer över ca 14°C, beroende på att gödselytan torkar ut snabbare och det bildas en skorpa som saktar ner avdunstningen av ammoniak. Temperaturen vid gödselspridning i våra försök var relativt hög, 20-26°C, med de högsta temperaturerna i försök 1 och 3, vilket troligtvis är en del av



förklaringen till att det skiljer mellan den uppmätta ammoniakavgången och modellberäkningarna.

Marken torkade gradvis ut under perioden och var som torrast under de två sista försöken. Men det finns ingen uppenbar förklaring hur detta skulle kunna ha orsakat högre emissioner i försök 4 och 5. Men på något sätt verkar omständigheterna ha gjort så att emissionerna pågått under längre tid i dessa försök jämfört med i försök 1 och 3, vilket resulterat i högre totala förluster.

## 5. Slutsatser

- Surgörning minskar effektivt ammoniakförlusterna vid spridning av nötflytgödsel.
- Effekten av släpsko är i hög grad beroende av markförhållandena, vid torr och hård markyta blir effekten liten.
- För rötrest, som har ett högt pH, sker den största delen av ammoniakförlusterna under de första timmarna efter spridning, vilket gör den extra känslig för ogynnsamma väderförhållanden.

## 6. Referenser

Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2), pp. 153-162.

Balsari, P., Dinuccio, E., Santoro, E. & Gioelli, F. (2008). Ammonia emissions from rough cattle slurry and from derived solid and liquid fractions applied to alfalfa pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), pp. 198-201.

Fangueiro, D., Hjorth, M. & Gioelli, F. (2015). Acidification of animal slurry—a review. *Journal of Environmental Management*, 149, pp. 46-56.

Fangueiro, D., Pereira, J.L.S., Macedo, S., Trindade, H., Vasconcelos, E. & Coutinho, J. (2017). Surface application of acidified cattle slurry compared to slurry injection: Impact on NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions and crop uptake. *Geoderma*, 306, pp. 160-166.

Hafner, S.D., Pacholski, A., Bittman, S., Carozzi, M., Chantigny, M., Générmont, S., Häni, C., Hansen, M.N., Huijsmans, J., Kupper, T., Misselbrook, T., Neftel, A., Nyord, T. & Sommer, S.G. (2019). A flexible semi-empirical model for estimating ammonia volatilization from field-applied slurry. *Atmospheric Environment*, 199, pp. 474-484.

Hansen, M.N., Sommer, S.G. & Madsen, N.P. (2003). Reduction of Ammonia Emission by Shallow Slurry Injection. *Journal of Environmental Quality*, 32(3), pp. 1099-1104.

Misselbrook, T.H., Smith, K.A., Johnson, R.A. & Pain, B.F. (2002). SE—Structures and Environment: Slurry Application Techniques to reduce Ammonia Emissions: Results of some UK Field-scale Experiments. *Biosystems Engineering*, 81(3), pp. 313-321.

Nicholson, F.A., Bhogal, A., Rollett, A., Taylor, M. & Williams, J.R. (2018). Precision application techniques reduce ammonia emissions following food-based digestate applications to grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), pp. 151-159.

Pedersen, J., Nyord, T., Feilberg, A. & Labouriau, R. (2021b). Analysis of the effect of air temperature on ammonia emission from band application of slurry. *Environmental Pollution*, 282, p. 117055.

Pedersen, J.M., Feilberg, A., Kamp, J.N., Hafner, S. & Nyord, T. (2020). Ammonia emission measurement with an online wind tunnel system for evaluation of manure application techniques. *Atmospheric Environment*, 230, p. 117562.

Rodhe, L. & Etana, A. (2005). Performance of Slurry Injectors compared with Band Spreading on Three Swedish Soils with Ley. *Biosystems Engineering*, 92(1), pp. 107-118.

Seidel, A., Pacholski, A., Nyord, T., Vestergaard, A., Pahlmann, I., Herrmann, A. & Kage, H. (2017). Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N<sub>2</sub>O emissions and crop N uptake. *Agriculture, Ecosystems*