

# Förlustkoefficienter över ammoniakavgivning från stallar för mjölkkor” (Dnr 25-10202/06)

## *Sammanfattande sakredovisning*

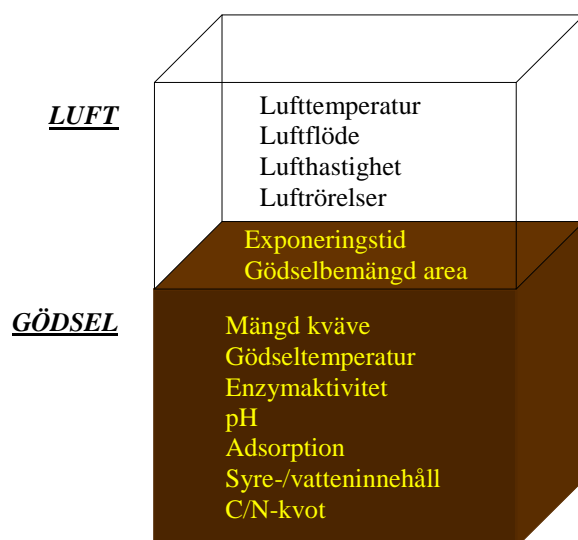
### **Sammanfattning**

Det övergripande målet med projektet var att förbättra kunskapen om emissioner av ammoniak samt växthusgaser från svenska inhysningssystem för mjölkkor. Emissionsfaktorer från djurstallar behövs av produktionsrådgivare, byggrådgivare och myndigheter vid värdering av olika produktions- och inhysningssystem. Projektet har genomfört kontinuerliga mätningar på emissionen av ammoniak, metan och lustgas i två lösdriftstallar med liggbås för mjölkkor. Båda stallarna hade daglig utgödsling varav ett med spaltgolv och ett med helt golv i gödselgångarna. Mätningarna har utförts med en fotoakustisk infraröd mätmetod. Kväveförlusterna via ammoniakemission var 6% respektive 4%. Emissionen av metangas var 344 respektive 317 g/ko och dag. Lustgasemissionen var inte mätbar. Fler mätningar och resultat från lösdriftstallar för mjölkkor i Sverige behövs för att ge säkrare emissionsfaktorer för ammoniak och växthusgaser från stallar med svenska utgödslingssystem som har daglig utgödsling. En mekanistisk modell över ammoniakemission från mjölkkostallar har konstruerats i dataprogrammet POWERSIM. Modellen visar god överensstämmelse mellan parametrar och ammoniakemission enligt samband beskrivna i den vetenskapliga litteraturen. Fortsatt utveckling och validering av modellen krävs emellertid för att ge ökad noggrannhet vid jämförelse mellan simulerad och verklig ammoniakemission från mjölkkostallar.

### **Bakgrund och syfte**

Utsläpp av ammoniak bidrar till övergödning och försurning av känsliga ekosystem via långväga transport i atmosfären. Ammoniakavgången från jordbruket är förutom en belastning för den yttre miljön även en förlust av kväve från gårdens växtnärbalans. Ungefär 20% av ammoniakemissionen från jordbruket släpps ut från djurstallarna.

Under de senaste 25 åren har kunskapen byggts upp kring ammoniakemission från jordbruket. Ett flertal forskare, både internationellt och nationellt, har undersökt hur olika faktorer påverkar avgivningen från stall, lager och vid spridning. Ammoniakemission från gödsel är en komplex process där ett stort antal faktorer inverkar. De faktorer som påverkar ammoniakavgivning från djurstallar är mängd kväve i gödseln, gödseltemperatur,



Figur 1. Faktorer som påverkar ammoniakavgivning från gödsel.

enzymaktivitet, pH i gödseln, strömedlens adsorptionsförmåga, syre- och vatteninnehåll i gödseln, C/N-kvot i gödseln, gödselbemängd area, exponeringstid, lufttemperatur, luftflöde, lufthastighet samt luftrörelser över gödseln (figur 1).

Projektet Life-Ammonik (Brogården, Skara) visade att ammoniakemissionen från ett mjölkstall med uppbundna mjölkkor och fastgödsel kan vara 24 g/ko och dag vilket motsvarar ca 6 % kväveförluster. Efter modernisering av stallet och ombyggnad till flytgödsel minskade ammoniakavgivningen till 15-18 g/ko och dag vilket motsvarar ca 4 % kväveförluster (Gustafsson *et al.*, 2005). Förutom dessa kontinuerliga mätningar i svenska mjölkstallar fanns före detta projekt endast ett par stickprovsmätningar utförda vid JBT som antyder att ammoniakavgivningen från ett lösdriftsstall med spaltgolv är 34 g/ko och dag vilket motsvarar ca 11 % kväveförluster. Detta projekt har utfört kontinuerliga mätningar på ammoniakemission i två lösdriftsstallar för mjölkkor med spaltgolv respektive helt golv.

I Holland har Monteny and Kant (1997) gjort en sammanställning av ammoniak från holländska mjölkstallar. Från ett stall med uppbundna mjölkkor och gödsellagring i en gödselkylvert är ammoniakförlusterna mellan 5 och 14 g/ko och dag. Från stall med uppbundna mjölkkor och fastgödselsystem är ammoniakförlusten 27 g/ko och dag. Ammoniakförlusterna från lösdriftsstallar är högre; mellan 26 och 45 g/ko och dag i ett stall med spaltgolv och lagring av gödseln under spaltgolvet; mellan 25 och 32 g/ko och dag med helt golv och lagring under golvet eller utanför stallet; samt ca 30 g/ko och dag från ett stall med mjölkkor på djupströbädd. Det är mycket osäkert att direkt överföra resultat från djurstallar i andra länder till svenska förhållanden eftersom vi har andra foderstater, utgödslingssystem samt ett annat klimat.

I Danmark har Zhang *et al* (2005) gjort mätningar på ammoniakemission från olika varianter på öppna lösdrifter för mjölkkor. Byggnaderna hade olika utformning på golv och gödselhanteringssystem. I lösdriфтstall med spaltgolv och skrapor var ammoniakemissionen 19 g/ko och dag vid 10 °C stalltemperatur och 36 g/ko och dag vid 20 °C stalltemperatur. Med helt golv och urindränning var ammoniakemissionen 19 g/ko och dag vid 6 °C stalltemperatur och 31 g per ko och dag vid 17 °C stalltemperatur. I denna undersökning togs ingen hänsyn till foderstat och mängden kväve i gödseln.

Förutom emissionen av ammoniak är det viktigt för framtiden att utforska emissionen av växthusgaser från animalieproduktionen. Fodersmältningen står för ca 80% av metanemissionerna från nötkreatursstallar med flytgödselhantering (Monteny *et al.*, 2001). Olika gödselhanteringssystem ger olika mängder växthusgaser. Liggbåssystem för nötkreatur med skrapad gödselgång alternativt spaltgolv och daglig utgödsling bör ge låga emissioner av lustgas och metangas från gödseln i stallet (Monteny *et al.*, 2006). Vid värdering av inhysningssystem angående ammoniakemission måste även produktionen av växthusgaser beaktas. I framtiden kommer produktionssystem förmodligen att värderas utifrån en helhetsbedömning av hur de påverkar miljön.

En metod att öka kunskapen kring avgivning av ammoniak och växthusgaser från gödsel är att bygga modeller som kan simulera avgivningen. Modeller som beräknar ammoniakemission kan delas in i empiriska och mekanistiska. Empiriska modeller bygger på korrelationer mellan olika parametrar från mätresultat. Mekanistiska modeller bygger på de fysiska, kemiska och biologiska processer som ingår när ammoniak avges från gödsel. De empiriska modellerna är enkla i sin uppbyggnad medan de mekanistiska är mer komplicerade men bidrar också mer till förståelsen av hur olika faktorer påverkar emissionen av ammoniak (Ni, 1999). I litteraturen finns ett stort antal modeller på ammoniakemission från gödsel i stall, lager eller vid spridning. Samtidigt som kunskapen ökar kring processerna vid ammoniakemission blir noggrannheten i modellerna bättre.

Syftet med detta projekt var att bestämma ammoniakemissionen från två lösdriftsstallar för mjölkkor med olika gödselhanteringssystem, dels med spaltgolv och dels med helt golv.

Dessutom var syftet att bygga en modell över ammoniakemission från mjölkstallar. På grund av klimatproblemen samt jordbrukets andel av producerade växthusgaser tillkom syftet att samtidigt bestämma emissionerna av metan- samt lustgas. Det övergripande målet med projektet var att förbättra kunskapen om emissioner av ammoniak samt växthusgaser från svenska inhysningssystem för mjölkkor.

## **Material och metoder**

### Mätningar i två lösdriftstallar för mjölkkor

Vid LBT används sedan 2007 en "Photo Acoustic Infrared Multigas Monitor" utvecklad av Brüel & Kjær i Danmark. Gasanalysatorn används av många internationella forskargrupper för bestämning av bl a gödselgaser (van der Peet-Schwering et al., 1999; Zhang *et al.*, 2005; Berg *et al.*, 2006; Hensen *et al.*, 2006; Philippe *et al.*, 2007). Instrumentet mäter kontinuerligt koncentrationen av ammoniak, koldioxid, metan, lustgas samt vatteninnehållet i luften. Med en "multiplexer" kan mätningarna utföras i 12 punkter. Luft sugas från mätpunkterna via ett dammfilter till instrumentet genom en 3.2 mm plastslang (PTFE). Detektionsgränsen för de olika gaserna är 0.2 ppm NH<sub>3</sub>, 1.5 ppm CO<sub>2</sub>, 0.4 ppm CH<sub>4</sub> och 0.03 ppm N<sub>2</sub>O. Mätnoggrannheten är ± 2.5% enligt Hinz & Linke (1998).

Mätningar på emissionen av ammoniak har utförts i två lösdriftstall för mjölkkor, ett med spaltgolv samt ett med helt golv. Mätningarna i det första mjölkkostallet pågick kontinuerligt från december 2006 till mars 2007 samt under en vecka i maj 2007. Mjölkkostallet hade liggbåssystem med spaltgolv och gödslades ut med skrapor två ggr per dag. Antalet kor var mellan 164-195 st och mjölkade 31-33 kg mjölk per ko och dag. Fullfodret bestod av ensilage, halm, HP-massa, spannmål och en proteinblandning. Stallet var isolerat och hade naturlig ventilation. Stalltemperaturen var mellan 10 – 18 °C under mätperioden.

Mätningarna i det andra mjölkkostallet varade från mars till maj 2008. Även detta stall hade liggbåssystem men hade helt golv och skrapades varje timme under dagtid och varannan timme nattetid. Tvärkulverten gödslades ut två gånger per dag. Antalet kor i stallet under mätperioden var mellan 106- 109 st och de mjölkade i medeltal 31.5 kg mjölk per ko och dag. Ett mixat grovfoder med gräs- och majsensilage utfodrades två gånger per dag. Kraftfodret (spannmål och proteinfoder) utfodrades med transpondrar dels i kraftfoderautomater dels i mjölkroboten. Stallet var oisolerat med naturlig ventilation. Medeltemperaturen i stallet under mätperioden var 10 °C.

Eftersom stallarna var naturligt ventilerade bestämdes luftflödet genom stallet indirekt med CO<sub>2</sub>-metoden kompletterat med spårgasmätningar. CO<sub>2</sub>-metoden innebär att djurens koldioxidproduktion och aktuell koldioxidkoncentration i stallet omräknas till luftföde. Djurens koldioxidproduktion beräknades utifrån djurens kroppsvikt, produktion samt eventuell dräktighet enligt CIGR (2002). Bestämning av ventilationsflöde med CO<sub>2</sub>-metoden är osäker och kan vara mellan 8-40% enligt Eren Ozcan *et.al.* (2007).

### Mekanistisk modell

En mekanistisk modell över ammoniakemission från mjölkstallar har konstruerats i dataprogrammet POWERSIM. Modellen består av tre moduler; ventilationsflöde, inneklimat, ammoniakemission (Tabell 1).

Tabell 1. Beskrivning av mekanistisk modell uppdelad i tre moduler

Modul	Beskrivning
Ventilationsflöde	Beräkning av min- och maxflöde enligt Svensk Standard (SS 951050, SS951051).
Inneklimat	Simulering av inneklimat med utgångspunkt från uteklimat och aktuellt ventilationsflöde samt stallets värme-, fukt- och koldioxidbalans.
Ammoniakemission	Beräkning av ammoniakemissionen beroende av gödseltemperatur, pH, kväveinnehåll i gödseln, lufttemperatur, lufttryck, lufthastighet, ventilationsflöde, ventilationseffektivitet, gödselbemängd area, stallets volym samt djurens aktivitet (se bilaga 1).

## Resultat

Resultaten från mätningarna i lösdriftsstallet med spaltgolv visar att ammoniakemissionen i medeltal var 30 g/ko och dag under mätperioden. Ammoniakemissionen ökade från 29 g/ko och dag i december till 33 g/ko och dag i mars. I maj månad när korna var på bete under dagen var ammoniakemissionen från stallet 26 g/ko och dag. Värden på fodermängder, foderanalyser och mjölmängd gav att mängden kväve bakom svans var 0.43 kg/ko och dag. Kväveavgivningen från stallet var 25 g N/ko och dag. Under vintermånaderna var kväveförlusten från stallet ca 6% (Ngwabie *et al.*, 2009).

Metangasemissionen från stallet var i medeltal 344 g/ko och dag. Emissionen var mycket låg och gick inte att bestämma med ovanstående mätmetod. Koncentrationen av lustgas i stallet var lika stor som koncentrationen i uteluften (Ngwabie *et al.*, 2009).

Ammoniakemissionen från mjölkstallet med helt golv var lägre än från stallet med spaltgolv. Medeltalet över mätperioden var 24 g/ko och dag (Ngwabie *et al.*, 2009b) vilket motsvarar 20 g N/ko och dag. En beräkning av mängden kväve bakom svans utifrån fodermängder, foderanalyser och mjölmängd visade att mängden kväve i gödseln var 0.46 kg/ko och dag. Kväveförlusten från stallet var alltså ca 4%.

Även metangasemission var något lägre från stallet med helt golv jämfört med stallet med spaltgolv. Metangasemissionen var i medeltal 317 g/ko och dag för mätperioden. Lustgaskoncentrationen i stalluften var lika med uteluftens koncentration (Ngwabie *et al.*, 2009b).

En teknisk validering av modulen ”Ammoniakemission” har genomförts, dvs en kontroll av modellen mot de samband den är uppbyggd av, exempelvis samband mellan NH<sub>3</sub>-emission och luftflöde respektive gödseltemperatur. Den tekniska valideringen visade att funktions sambanden överensstämmer med teori och erfarenhetsmässiga antaganden i den vetenskapliga litteraturen.

Modulen ”Ammoniakemission” har också jämförts mot ammoniakemissionen från ett stall med uppbundna mjölkkor (LIFE-ammoniak, Brogården, Skara) samt mot resultaten i ovanstående mätningar från ett lösdriftsstall med spaltgolv samt från ett lösdriftsstall med helt golv. Simuleringarna visar att ingående värde för gödselns pH har mycket stor betydelse för utgående värde på ammoniakemission. Även noggrannheten i andra ingående parametrar, exempelvis innehåll av kväve i gödseln, behöver förbättras för att validera modulen.

## Diskussion

Ammoniakemissionen från lösdriftstallet med spaltgolv är något lägre än från lösdriftstallet med helt golv. Mätningar presenterade av Zhang *et al.* (2005) visar samma tendens. Även mängden ammoniak som avges stämmer överens med de danska värden som rapporterats av Zhang *et al.* (2005) men är något lägre än de holländska resultaten (Monteny & Kant, 1997) med lagring av gödseln under spalt. Mätningarna av Zhang *et al.* (2005) har gjorts vid två korta mätperioder (5 dagar per period) vid kall respektive varm utetemperatur. Ammoniakemissionen är betydligt högre vid den varma temperaturen. Vid mätningarna i detta projekt ökar ammoniakemissionen från december till mars med 4 g/ko och dag.

Metangasemissionen från de två lösdriftstallarna, 344 g/ko och dag från stallet med spaltgolv respektive 317 g/ko och dag från stallet med helt golv, motsvarar 129 respektive 119 kg/ko och år. En emissionsfaktor på 109 kg/ko och dag från fodermälningen har rapporterats för mjölkkor i Västeuropa (IPCC, 2006). Lustgasemissionerna från lösdriftstallarna var mycket små eftersom koncentrationen av lustgas var lika stor i stallet som i uteluften. Mycket låga emissioner av lustgas förväntas från gödselhanteringssystem med flytgödsel (Monteny *et al.*, 2006).

Förlustkoefficienterna i Jordbruksverkets växtnäringsprogram STANK anger 7% som normtal från lösdriftsstall för mjölkkor. Detta överensstämmer väl med projektets resultat från lösdriftsstallet med spaltgolv som hade 6% kväveförluster. Kväveförlusterna från lösdriftsstallet med helt golv var endast 4% vilket är i samma nivå som från ett stall med bundna kor (Gustafsson *et al.*, 2005).

Internationella undersökningar är i flertal fall gjorda i stallar med gödselhanteringssystem där gödseln lagras en tid inne i stallet. Gödselhanteringssystem med daglig utgödning till täckt gödsellager är vanligt i Sverige och bör ge låga emissioner av både ammoniak och växthusgaser. Internationella resultat har visat en stor variation i emission mellan olika stallar med samma inhysningssystem. Den stora variationen innebär att det behövs fler mätningar och resultat från lösdriftsstallar för mjölkkor i Sverige för att ge säkrare emissionsfaktorer för ammoniak och växthusgaser från stallar med svenska utgödningssystem som har daglig utgödning. På grund av variationen mellan olika stallar bör mätningarna göras i ett flertal stallar under korta perioder fördelade under olika årstider.

Modellen över ammoniakemission behöver ytterliggare utveckling samt validering. Sambanden mellan ingående parametrar och ammoniakemission stämmer överens med teori och vetenskapliga mätningar. Jämförelse mellan simulerad ammoniakemission och uppmätt ammoniakemission från stallar beror emellertid på noggrannheten i de ingående parametrarna. Simuleringarna har bland annat visat att modellen är känslig för ingående värde på gödselns pH. Under 2010 kommer mätningar att utföras i två mjölkkostallar varav ett med bundna kor och ett lösdriftstall. Mätningarna kommer att utföras vid tre tillfällen med olika uteklimat. Dessa mätningar kommer att kompletteras med viktiga ingående parametrar i modellen och användas för att validera modellen mot resultat från fler stallbyggnader för mjölkkor. Detta projekt är finansierat av SLF (S0830432).

## Slutsatser

Ammoniakemissionen från ett lösdriftstall med daglig utgödning och spaltgolv i gödselgångarna var 30 g/ko och dag, vilket motsvarade 6% kväveförluster.

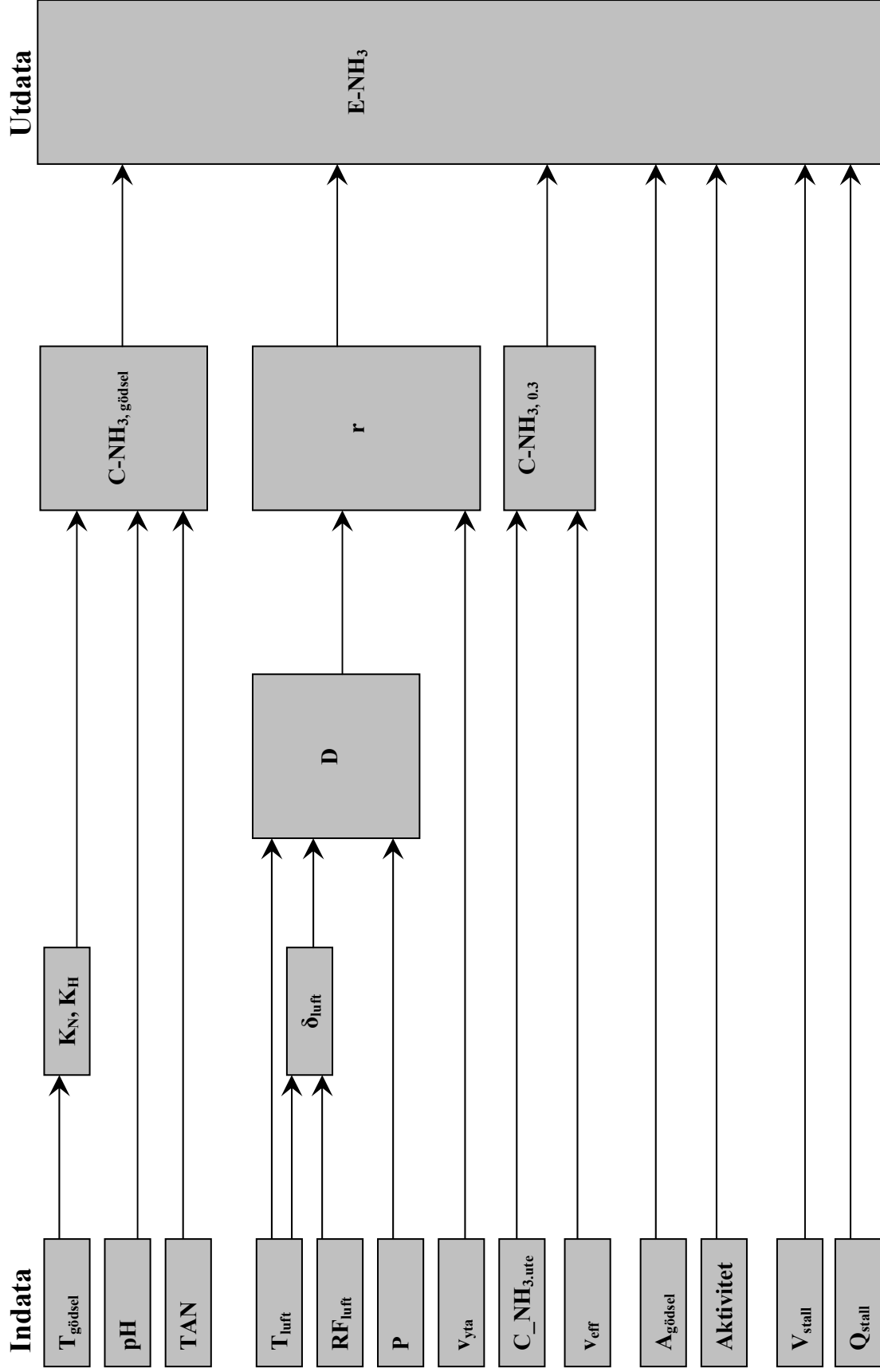
Ammoniakemissionen från ett lösdriftstall med daglig utgödning och helt golv i gödselgångarna var 24 g/ko och dag, vilket motsvarade 4% kväveförluster.

Metangasemissionen var 344 g/ko och dag från lösdriftstallet med spaltgolv och 317 g/ko och dag från lösdriftstallet med helt golv.

Mycket låga koncentrationer av lustgas i stalluften uppmättes vilket indikerar att lustgasemissionen var obefintlig från de två lösdriftstallen med flytgödselsystem.

Det behövs fler mätningar från lösdriftstallar för mjölkkor i Sverige för att ge säkrare emissionsfaktorer för ammoniak och växthusgaser från stallar med svenska utgödslingssystem som har daglig utgödsling. På grund av variationen mellan olika stallar bör mätningarna göras i ett flertal stallar under korta perioder fördelade under olika årstider.

Modul: Ammoniakemission



**Beteckningar:**

$T_{\text{gödsel}}$	Gödseltemperatur	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{luft}}$	Lufttemperatur	$^{\circ}\text{C}$
pH	pH i gödsel	
TAN	NH <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N i gödsel	mg/m <sup>3</sup>
RF <sub>luft</sub>	Relativ luftfuktighet i luft	%
P	Luftryck	atm
$V_{\text{yta}}$	Lufthastighet över gödselytan	m/s
$C\text{-NH}_{3,\text{ute}}$	NH <sub>3</sub> -koncentration i uteluft	ppm
$C\text{-NH}_{3,\text{gödsel}}$	NH <sub>3</sub> -koncentration vid gödselyta	ppm
$C\text{-NH}_{3,0.3}$	NH <sub>3</sub> -koncentration 0.3 m över gödselyta	ppm
$V_{\text{eff}}$	Ventilationseffektivitet	relativtal
$A_{\text{gödsel}}$	Gödselbemängd area	m <sup>2</sup>
Aktivitet	Djurens aktivitet	relativtal
$V_{\text{stall}}$	Stallvolym	m <sup>3</sup>
$Q_{\text{stall}}$	Ventilationsflöde	m <sup>3</sup> /h
$K_{\text{N}}$	Dissociationskonstant, NH <sub>3</sub> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
$K_{\text{H}}$	Henry´s konstant	
$\delta_{\text{luft}}$	Luftens densitet	kg/m <sup>3</sup>
D	Diffusion av ammoniak i luft	m <sup>2</sup> /s
r	Massöverföringsmotstånd	s/m
E-NH <sub>3</sub>	Ammoniakemission	g/h