

Slutrapport av projektet:

KLIMATETS BETYDELSE FÖR AVGIVNING AV GASER

Sven Nimmermark, SLU, Lantbrukets byggnadsteknik (LBT), Alnarp

Bakgrund

I arbetet i ett stall exponeras skötaren för gaser och detta kan utgöra ett betydande arbetsmiljöproblem. Förutom ammoniak finns ett stort antal andra gaser som kan vara skadliga (Nimmermark, 2004b). De besvärande gaser som uppträder i djurstallar härrör främst från gödsel och urin (Carney & Dodd, 1989). Gaser från djur och foder är som regel begränsade och mindre besvärande. Ammoniak, som förekommer i stora koncentrationer påverkar den yttre miljön, men kan också påverka oss hälsomässigt. Ett mycket stort antal gasformiga ämnen förekommer i stallluften. Spoelstra (1980) identifierade upp till 150 olika ämnen i svingödsel, (O'Neill & Phillips, 1992) har gjort en sammanställning med 168 gasformiga ämnen som hittats i gödsel och luften runtomkring och ännu fler gaser har detekterats. Många av ämnena har dokumenterad förmåga att påverka oss hälsomässigt (Nimmermark, 2004a). Ammoniak, svavelväte och metan kan förekomma i höga koncentrationer medan de allra flesta andra ämnen uppträder i koncentrationer som är låga och långt under de hygieniska gränsvärdena (Schiffman *et al.*, 2001). Synergistiska effekter är en möjlig orsak till hälsomässig påverkan och förekomst av damm kan vara betydelsefullt i sammanhanget. Luktconcentrationen i inomhusmiljön kan utgöra ett mått på luftens kvalitet (Fanger, 1988). I vissa undersökningar (t.ex. Pain & Misselbrook, 1990) har man funnit ett samband mellan förekomst av ammoniak och förekomst av lukt medan man inte funnit sådana samband i andra undersökningar. I system med liten avgivning av ammoniak tycks däremot också avgivningen av luktande ämnen vara liten (Jongebreur *et al.*, 2003). Syretillgång och anaeroba förhållanden är med stor sannolikhet betydelsefulla i sammanhanget.

Faktorer som i ett antal undersökningar har ansetts ha betydelse för produktionen och avgivningen av olika gasformiga ämnen från gödsel är temperatur, luftväxling, TS-halt (torrsubstanshalt), pH-värde, kol/kväve-kvot (C/N-kvot), lufthastighet, gödselns lagringstid i stallet, förhållandet mellan exponeringsyta och volym, storleken på gödselbemängda ytor och foderstat (Gustafsson, 1992; Gustafsson, 1996; Andersson, 1995). Lösningar på problem med gaser i miljön måste vara realistiska och kostnadseffektiva om de skall kunna ha någon genomslagskraft. Modifiering av stallklimatet kan vara ett sätt att minska gasförekomsten och få en bättre arbetsmiljö. Stallklimatet går att styra med relativt enkla medel. En relativt nyligen genomförd studie tyder på att temperatur, men också luftfuktighet (vattenångstryck) har stor påverkan på avgivningen av ammoniak och andra gaser som vi kan uppfatta med vårt luktsinne (Nimmermark & Gustafsson, 2004).

Syfte

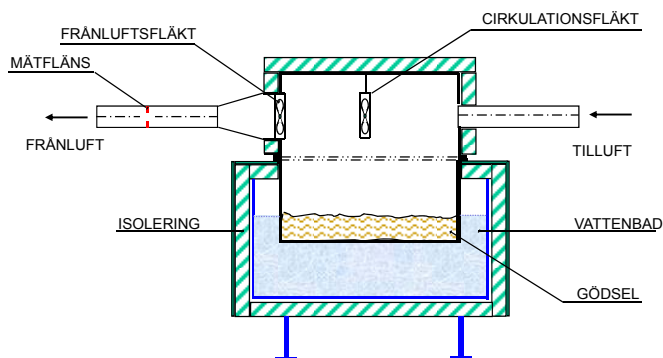
Med syfte att undersöka hur olika faktorer påverkar avgivningen av ammoniak och lukt från gödsel gjordes laboratorieförsök där avgivningen studerades vid varierande klimatförhållanden.

Material och metoder

Mätkyvett

Mängden gaser och lukt som emitterades från gödsel vid olika gödseltemperaturer och omgivande klimat uppmättes i ett modellförsök där gödsel placerades i en för ändamålet tillverkad mätkyvett (Figur 1 och 2). Kyvetten är byggd som en klimatkammare för gödsel. Den består av ett vattenbad med en container och en huv. Gödseln placeras i containern (bottenarea 0.25 m²) som sänks ned i vattenbadet. I försöken fylldes behållaren med gödsel till en höjd av 4-5 cm. Ovanpå container placeras en huv som sluter tätt över behållaren med gödsel. Huvens är utrustad med ett luftintag och en frånluftsfläkt som suger luft genom kyvetten. Den är också utrustad med en cirkulationsfläkt för omblandning av luften i huvens. I utloppet finns en strypfläns för uppmätning av ventilationssflödet. I försöken uppmättes tryckfallet över

mätfläsen med ett digitalt handinstrument och ventilationsflödet bestämdes med hjälp av uppmätta värden och ett kalibrerat diagram över förhållande mellan flöde och tryckfall. Gödseltemperaturen modifierades med hjälp av en värmepatron i vattenbadet. Tilluft till kyvetten hämtades utifrån med tanke på begränsning av mängden tillförda luftföroreningar. Modifiering av klimatet i kyvetten åstadkoms genom att tilluften konditionerades i en kammare innan den tillfördes i mätkyvettens luftintag.



Figur 1. Genomsnitt av mätkyvetten



Figur 2. Bild av mätkyvetten

Gas-, lukt och klimatmätningar

Uppmätning av koncentrationer av ammoniak och vattenånga (liksom koldioxid, metan och lustgas) gjordes med en foto-akustisk multigas-analysator, Innova 1412 och en multiplexer, Innova 1309 (Lumasense Technologies A/S) (Figur 3). Mätvärden (medelvärden från ett antal repeterade mätningar) registrerades ca varannan minut i en datafil. Låga koncentrationer kan detekteras med instrumentet (0.2 ppm NH₃, 0.03 ppm N₂O, 0.4 ppm CH₄ and 1.5 ppm CO₂). Mätnoggrannheten är enligt tillverkaren ±2–3% av den aktuella koncentrationen.



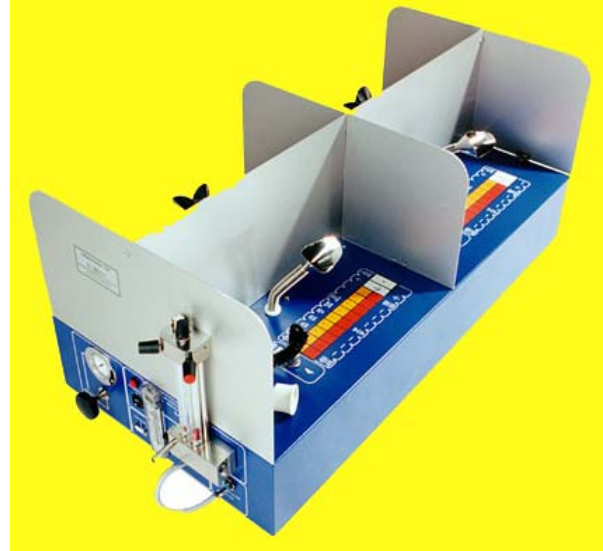
Figur 3. Foto-akustisk multigas-analysator, Innova 1412 och multiplexer, Innova 1309 (Lumasense Technologies A/S)

Luft från mät huvens frånlufts- och tilluftsanslutningar sögs till gasanalysatorn genom inerta polytetrafluorethylen (PTFE) slangar som var försedda med filter (Balston) för att fånga in partiklar. Några mätningar av ammoniakkoncentration gjordes också med Kitagawa detektorer och några mätningar av luftfuktighet gjordes med Assmanpsykrometer.

Prov för bestämning av luktkoncentration insamlades i nalophan-påsar genom att prov togs från huvens (mätkyvettens) frånluftsflöde med hjälp av en Ecoma vakuumprovtagare (se Figur 4). Luktkoncentrationen ($\text{OU}_E \cdot \text{m}^{-3}$) bestämdes sedan med hjälp av en olfaktometer (Ecoma T07; se Figur 5) och en kvalificerad luktpanel (CEN, 2003).



Figur 4. Vakuumprovtagare för luktprov (Ecoma).



Figur 5. Olfaktometer (Ecoma T07) för bestämning av luktkoncentration.

Temperaturer uppmättes med hjälp termoelementtråd och en logger som i sin tur var ansluten till en dator. Temperaturer i intagsluft, frånluft, luft i mätkyvetten och i gödseln registrerades med intervall på 10 sekunder.

Försöksutförande

Den gödsel som användes i försöken var färsk då den hämtades (huvudsakligen <1 dag). Gödsel från grisar hämtades från ett stall med slaktsvin och insamlades i en gödselkulvert under ett spaltgolv. Gödsel från mjölkkor hämtades från gödselrännan i ett stall med uppbundna kor. Prov togs för analys av gödselns TS-halt, C/N-kvot, pH, $\text{NH}_4\text{-N}$ och Kjeldahl-N. I försöken studeras inverkan av inblandning av strömedel i gödseln. Gödseln som hämtades vid en vis tidpunkt delades upp i två delar och till den ena delen tillsattes strömedel, dvs kutterspån (utom i ett fall då halm tillsattes).

Ordningsföljden för försök med olika gödselkonsistenser (med eller utan inblandning av strömedel), olika gödseltemperaturer (ca 15, 20 och 25 °C), olika lufttemperaturer (ca 15, 20 och 25 °C) och olika luftflöden (reducerat/ökat luftflöde) bestämdes slumpmässigt genom lottning. Tanken med detta var att undvika systematiska fel som annars skulle kunna påverka resultatet.

Vid försöken placerades gödseln i mätkyvetten och då balans åstadkommits vid de slumpmässigt valda förhållandena räknades medelvärden för de 4-5 min senaste mätningarna av gaskoncentrationer och temperaturer fram och ett prov för analys av lukt togs. I vissa fall kunde gasavgivning (ammoniak) och temperaturer ha nått en balans efter ca 30 minuter, medan det i andra fall krävdes 4-5 tim för att åstadkomma balans. Sammantaget genomfördes ca 120 sådana tester av ammoniakavgång och för ca 90 prov analyserades luktkoncentrationen.

Statistiska beräkningar

För statistiska beräkningar användes det datorbaserade statistikprogrammet MINITAB.

Resultat

En översikt över försöken med uppmätta gödsel- och klimatparametrar och uppmätta emissioner av ammoniak och lukt framgår av Tabell 1 och 2. I försöken var emissionen av ammoniak från gödsel hämtat från slaktsvinsstallet signifikant högre än emissionen från gödsel hämtad i stallet med mjölkkor (Kruskal-Wallis test; $p < 0,001$). Detsamma (signifikanta skillnader) gällde för emissioner av lukt där luktkoncentrationen i försöken med gödsel från mjölkkestallet var 50-100 gånger lägre än i försöken med gödsel från slaktsvinsstallet.

Både för slaktsvin och mjölkkor fanns signifikanta skillnader mellan ammoniakavgången i de olika försöksomgångarna där skillnader fanns i gödselns sammansättning (bl.a. högre $\text{NH}_4\text{-N}$ i svinggödseln: 3,2-4,9 kg/ton jämfört med 0,5-1,0 kg/ton i kogödseln). Beträffande lukt hittades ingen signifikant skillnad med försöksomgångarna då det gällde slaktsvin, utan endast för försök med gödsel från mjölkkor ((Kruskal-Wallis test; $p \leq 0,05$).

Tabell 1. Gödselslag, strömedelsinblandning, temperaturer och vattenångtryck i de olika försöksomgångarna

Test-omgång	Djurslag	Strömedel	Gödseltemp		TS-halt		Lufttemp		Vattenångtryck	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Nr		Inblandning ¹	°C	°C	%	%	°C	°C	Pa	Pa
1	Slaktsvin	Halm	21,6	26,7	17,2	23,1	21,0	22,0	1740	1929
2	Slaktsvin	Kutterspån	ca 15	ca 15	19,9	23,9	ca 20	ca 20	*	*
3	Slaktsvin	Kutterspån	14,1	29,6	17,5	20,6	15,1	25,3	752	1187
4	Slaktsvin	Kutterspån	14,6	26,4	20,2	24,8	15,2	25,1	850	1084
5	Slaktsvin	Kutterspån	15,9	26,4	15,4	23,4	15,8	25,3	685	991
6	Mjölkcor	Kutterspån	15,3	24,3	11,4	17,2	15,7	24,7	913	1163
7	Mjölkcor	Kutterspån	14,1	25,7	11,6	17,3	15,8	25,3	886	1321

¹ Avser strömedel som blandats in för att modifiera TS-halten

Tabell 2. Luftflöden och emissioner av ammoniak och lukt i de olika försöksomgångarna

Test-omgång	Luftflöde		NH ₃ -emission			Lukt-emission		
	Min	Max	Antal tester	Medel	SD	Antal tester	Medel	SD
Nr	m ³ /(m ² ·h)	m ³ /(m ² ·h)	N	mg/(m ² ·s)	mg/(m ² ·s)	N	OU/(m ² ·s)	OU/(m ² ·s)
1	146	183	9	0,179	0,065	8	151,0	70,0
2	171	173	2	0,025	0,009	0	*	*
3	99 ^a	141 ^a	22	0,290	0,098	0	*	*
4	96 ^a	141 ^a	24	0,207	0,094	22	194,7	163,8
5	96 ^a	138 ^a	21	0,284	0,095	21	309,3	262,6
6	94 ^b	145 ^b	21	0,011	0,006	21	2,7	0,9
7	91 ^b	143 ^b	22	0,067	0,021	21	3,8	1,8

^a I alla försök i omgången utom ett användes luftflöden av samma storlekordning som max flöde

^b I alla försök i omgången utom ett användes luftflöden av samma storlekordning som min flöde

Samband mellan torrsbstanshalt (TS-halt), klimatparametrar och emission av ammoniak och lukt framgår av Tabell 3. Ammoniakemissionen ökade med TS-halten, med gödseltemperaturen och med vattenånghalten i luften. Ett negativt samband fanns mellan skillnaden i temperatur i luft och gödsel och ammoniakavgång.

Emissionen av lukt minskade i medeltal med TS-halten och ökade med gödseltemperaturen och med vattenånghalten i luften. Ett negativt samband fanns mellan skillnaden i temperatur i luft och gödsel och luktavgång.

Tabell 3. Korrelation mellan TS-halt, klimatparametrar och emission av ammoniak och lukt

Parameter	Ammoniak, emission ¹			Lukt, emission ¹		
	Slaktsvin ³	Mjölkkor	Alla	Slaktsvin ³	Mjölkkor	Alla
TS-halt, %	0,368 **	0,141 N.S.	0,191 *	-0,479 ***	0,250 N.S.	-0,177 N.S.
Gödseltemp., °C	0,644 ***	0,773 ***	0,686 ***	-0,045 N.S.	0,548 ***	0,132 N.S.
Luft temp., °C	0,074 N.S.	0,131 N.S.	0,096 N.S.	0,042 N.S.	-0,002 N.S.	0,028 N.S.
Temperatur, differens ² , °C	-0,504 ***	-0,563 ***	-0,522 ***	0,064 N.S.	-0,464 **	-0,090 N.S.
Luftflöde, m ³ /h	-0,063 N.S.	0,056 N.S.	-0,011 N.S.	0,319 *	0,094 N.S.	0,156 N.S.
Vattenångtryck, Pa	0,123 N.S.	0,468 **	0,215 *	-0,010 N.S.	0,458 **	0,104 N.S.

¹ Procentuell emission i förhållande till testomgångens medelvärde

² Differens mellan lufttemperatur och gödseltemperatur

³ Försöksomgångar med kutterspån

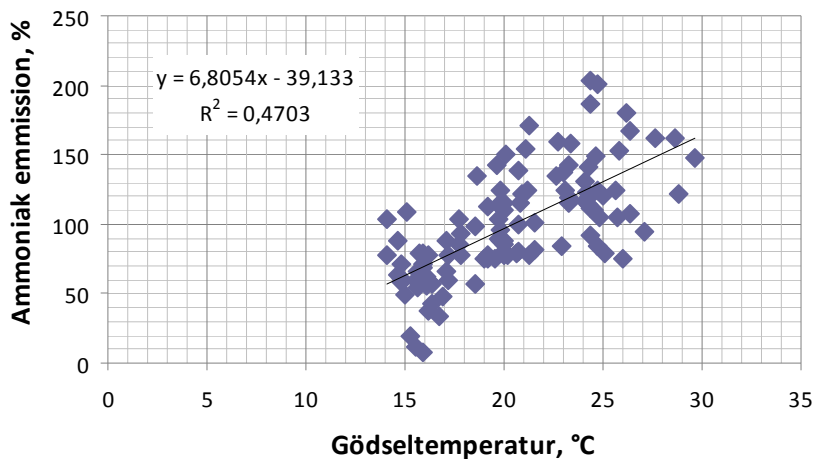
Signifikansnivåer: N.S. = ej signifikant, Tr. = P≤0,11, * = P≤0,05, ** = P≤0,01, *** = P≤0,001

Emission av ammoniak och lukt i försöksomgångar med och utan tillsats av strömedel framgår av Tabell 4. I medeltal för alla försöksomgångar var emissionen av ammoniak högre då strömedel tillsats. Det motsatta förhållandet gällde för lukt, där mindre lukt i medeltal emitterades från gödsel till vilken strömedel tillsats. Dessa skillnader var signifikanta för försöken med gödsel från slaktsvin (Kruskal-Wallis test; $p < 0,001$). För gödsel från mjölkkor, där emissionerna av både ammoniak och lukt var låga var skillnaderna inte statistiskt signifikanta.

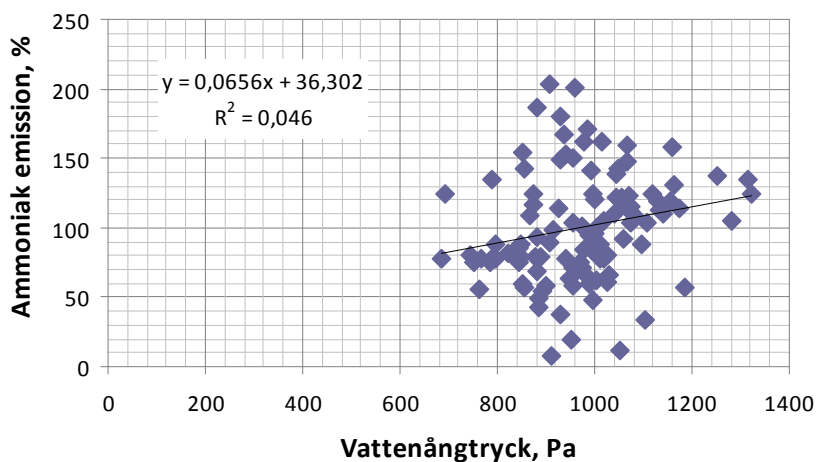
Tabell 4. Emission av ammoniak och lukt för prov med och utan tillsats av strömedel

Test-omgång	Strömedelstillsats		NH ₃ -emission			Lukt-emission		
	Ja	Nej	Antal tester	Medel	SD	Antal tester	Medel	SD
Nr			N	mg/(m ² ·s)	mg/(m ² ·s)	N	OU/(m ² ·s)	OU/(m ² ·s)
Alla	x		65	0,196	0,156	51	84,5	121,9
Alla		x	53	0,144	0,089	39	193,6	251,7
1	x		3	0,241	0,043	3	187,2	74,8
1		x	3	0,180	0,057	2	192,0	15,7
2	x		1	0,031	*	0	*	*
2		x	1	0,018	*	0	*	*
3	x		12	0,350	0,093	0	*	*
3		x	10	0,219	0,039	0	*	*
4	x		13	0,226	0,118	12	117,9	98,4
4		x	11	0,185	0,053	10	286,8	182,9
5	x		12	0,329	0,106	12	188,3	162,9
5		x	9	0,223	0,007	9	470,7	290,8
6	x		12	0,011	0,007	12	2,4	0,8
6		x	9	0,011	0,003	9	3,0	0,9
7	x		12	0,064	0,025	12	3,7	1,8
7		x	10	0,072	0,016	9	3,9	2,0

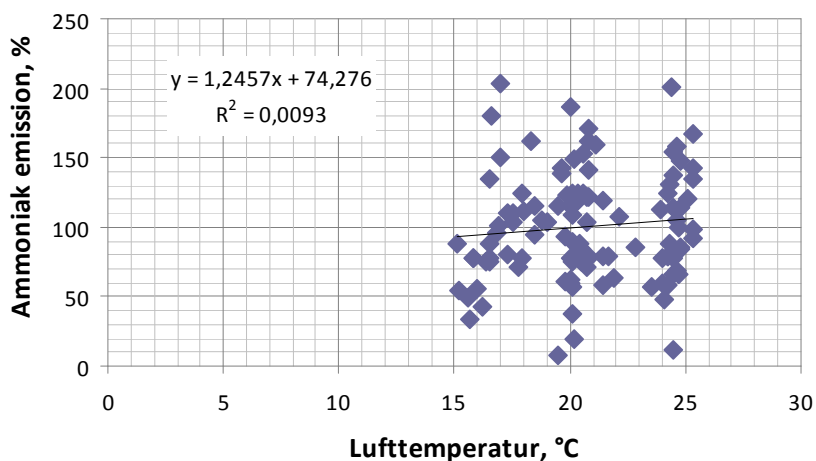
Sambandet mellan gödseltemperatur och ammoniakemission framgår av Figur 6 och samband mellan ammoniakemission och vattenångstryck respektive lufttemperatur framgår av Figur 7 och 8. Motsvarande samband för lukt framgår av Figur 9, 10, och 11.



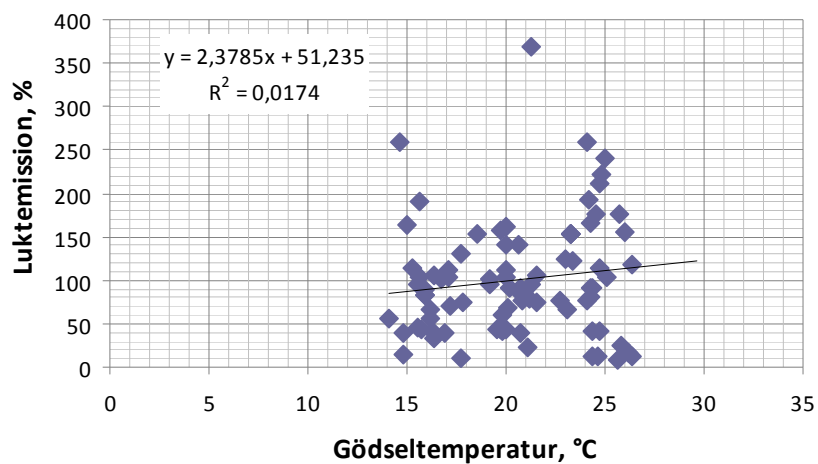
Figur 6. Samband mellan gödseltemperatur och ammoniakemission



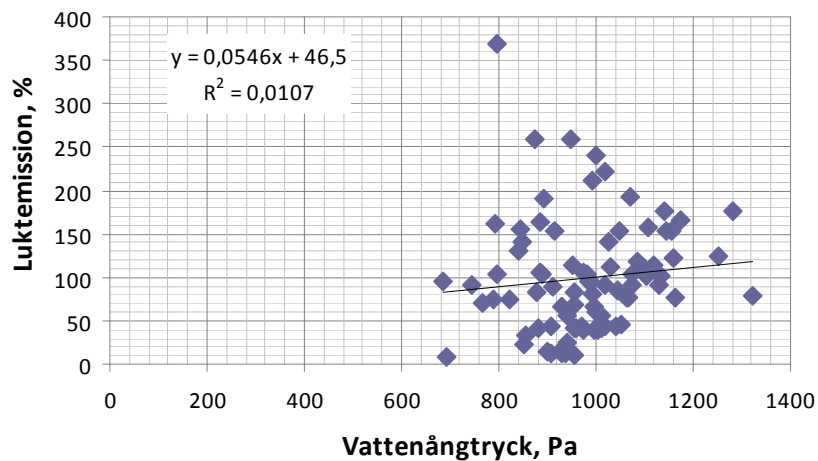
Figur 7. Samband mellan vattenångstryck och ammoniakemission



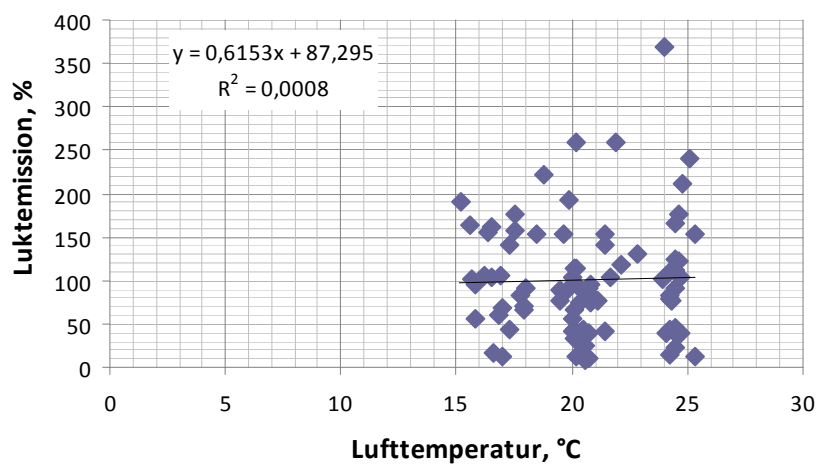
Figur 8. Samband mellan lufttemperatur och ammoniakemission



Figur 9. Samband mellan gödseltemperatur och luktemission



Figur 10. Samband mellan vattenångstryck och luktemission



Figur 11. Samband mellan lufttemperatur och luktemission

Diskussion och slutsatser

I studien uppträdde stora skillnader mellan emission av gaser från olika gödselslag, men också från gödsel hämtad vid olika tillfällen. Gödsel från svin avgav betydligt mer gaser än gödsel från kor. Jämfört med gödsel utan strömedelstillsats var avgången av ammoniak i medeltal högre för gödsel med inblandat strömedel (kutterspån), men denna gödsel luktade i medeltal mindre. Vidare var emissionen av gaser (ammoniak men även luktande ämnen) starkt beroende av gödseltemperaturen och gasavgivningen ökade kraftigt med ökande gödseltemperatur. Gasavgivningen ökade också med luftfuktighet (vattenångstryck) och i begränsad mån även med lufttemperaturen.

Skillnader mellan olika gödselslag och gödsel hämtad vid olika tillfällen beror med stor sannolikhet på dess olika sammansättning och olika innehåll av ammoniumkväve, pH etc. Förekomsten av urin och gödselns innehåll av urin är en betydande faktor och en god urindränering kan reducera ammoniakhalterna i ett stall avsevärt. Även i andra undersökningar har man funnit att svinggödsel avger mer ammoniak. Intressant i sammanhanget är att gödseln från kor emitterade 50-100 gånger mindre lukt än gödseln från slaktsvin. Då strömedel tillsattes förändrades karaktären på gödselns lukt och vid presentation för luktpanelen (i mycket små koncentrationer) menade några i panelen att vissa prov mest luktade ”som hö etc” medan andra ansågs lukta ”rejält dåligt”. Sådana skillnader i luktkaraktär som förbättrar upplevelsen av lukt från gödsel med strömedelstillsats finns inte med i de värden på luktkoncentration som presenteras. I försöken emitterade gödsel med högre TS-halt mindre lukt men mer ammoniak. Detta beror med stor sannolikhet på bättre syretillgång som reducerar bildandet av illaluktande ämnen, men som å andra sidan även stimulerar bildandet av ammoniak. Även pH som var högre (ca 8,2) då kutterspån tillsats kan ha ökat ammoniakavgivningen.

Gödseltemperaturen hade en mycket stor inverkan på avgivningen av ammoniak. I försöken var avgången 2-3 gånger större vid 25 °C jämfört med vid 15°C. Detta kan jämföras med värden från en modell för ammoniakavgivning från urinpoler där man erhållit en 3,4 gånger större avgivning vid 30 °C jämfört vid 10 °C (Cortus et al., 2008). Då det gäller lukt var gödseltemperaturens inverkan nästan lika stor som för ammoniak i försöksomgången med gödsel från kor, men detta inte kunde ses i värden från försök med grigödsel. Möjligen kan några enstaka höga värden i mätresultaten från gödsel från svin ha haft stor inverkan.

Emissionen av ammoniak liksom av lukt minskade med ökande temperaturdifferens mellan lufttemperatur och gödseltemperatur, men några säkra slutsatser angående detta kan inte dras då gödseltemperatur och temperaturdifferens inte var oberoende (i datamaterialet uppträdde låga skillnader då gödseltemperaturen var hög och tvärtom). Värt att notera är emellertid att man då det gäller simhallar funnit att ju högre rumstemperaturen är i förhållande till vattentemperaturen desto lägre blir avdunstningen och att hög avdunstning också innebär hög avgivning av skadliga ämnen i vattnet till luften (STTV, 2008; Dantherm A/S).

I försöken ökade gasavgivningen med temperaturen, men lufttemperaturen (frånluftstemperaturen) hade betydligt mindre inverkan på avgivningen av gaser än vad gödseltemperaturen hade. Lufttemperaturen påverkar emellertid också gödseltemperaturen genom det energiutbyte som sker, vilket kan ha stor betydelse i ett stall. I ett stall påverkar lufttemperaturen också djurens beteende och man menar att kallare luft kan minska ammoniakavgivningen genom att mer urin och gödsel hamnar på spaltgolvet och nedsmutsningen av det fasta golvet reduceras (Aarnink et. al., 1997). I försöken ökade avgivningen av ammoniak och lukt med luftfuktigheten (vattenångkoncentration). Detta samband kan ha sin orsak dels i att avgivningen av ammoniak och

lukta ämnen är positivt korrelerade med avdunstningen av vatten, men också i att luftfuktigheten påverkar ytstrukturen hos gödseln. Tänkbart är att en ytskorpa bildas i högre grad vid låg luftfuktighet och att denna reducerar avgivningen av ammoniak på motsvarande sätt som biofilter och svämtäcken. I danska försök har man uppmätt låga ammoniakemissioner från svingödsel till vilken små mängder halm tillsatts (TS-halt 6%) och en möjlig förklaring ansågs vara täcket av flytande material som emellertid också kan öka avgivningen av lustgas (Blanes-Vidal et. Al., 2008).

I de mätvärden som togs fram fanns inget klart samband mellan luftflöde (luftomsättning) och avgivning av ammoniak och lukt. Lufthastigheten över en yta är en faktor som kan förväntas ha stor inverkan på avgivningen av gaser enligt de teoretiska samband som tagits fram. Då det fanns en omrörningsfläkt i mätkyvetten bör luftrörelserna över gödselytan ha varit ungefärligen lika även då luftflödet ökats eller minskats.

Följande slutsatser kan dras av studien:

- Beroende på gödselns sammansättning kan avgivningen av ammoniak och lukt variera avsevärt. God urinavskiljning tycks ha stor betydelse för möjligheten att erhålla liten ammoniakavgång i stallet
- Avgivningen av lukt från gödsel från mjölkkor kan vara betydligt lägre än från slaktsvinsgödsel och i försöken uppmättes 50-100 gånger lägre avgivning från kogödseln
- Gödseltemperaturen är en mycket viktig faktor för avgivning av lukt och ammoniak. I försöket uppmättes 2-3 gånger större avgivning av ammoniak då gödseltemperaturen var 25 °C jämfört med då temperaturen var 15 °. I försöken uppmättes också en avsevärd ökning av emissionen av lukt vid ökande gödseltemperatur. En låg temperatur i stallet kan ha en avsevärd inverkan på gasavgivningen och minska den betydligt.
- I försök med inblandning av strömedel (kutterspån) i gödseln minskade avgivningen av lukt sannolikt beroende av förbättrade syreförhållanden, men avgivningen av ammoniak ökade. En reduktion av många illaluktande och presumtvt skadliga ämnen tycks med andra ord ske på bekostnad av en ökad ammoniakavgång.
- I försöken ökade avgivningen av ammoniak och lukt med luftfuktigheten (vattenångkoncentrationen).
- Resultaten från försöken tyder på att avgivningen av ammoniak och lukt i ett stall kan reduceras avsevärt genom ökad kylning med kall ventilationsluft förutsatt att lufthastigheterna över förorenade och gödselbemängda ytor kan begränsas.

Vidare studier i fullskala i stallar behöver göras för att bekräfta resultaten i modellförsöken. Inverkan av vattenångkoncentrationen på emissionen av lukt och ammoniak behöver studeras ytterligare för att förklara inverkan och vilka mekanismer som är involverade i påverkan.

Litteratur

- Aarnink, A. J. A., Swiestra, D., van den Berg, A. J., Speelman, L. 1997. Effect and type of floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66, 93-102.
- Andersson, M. 1995. Ammonia volatilization from cow and pig manure - results from laboratory studies with a new climate chamber technique. *Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Biosystems and Technology, Rapport, 98*, Lund, Sweden. 66 pp.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M. N., Pedersen, S., Rom, H. B. 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture Ecosystems & Environment* 124(3-4), 237-244.
- Carney, P.G. & Dodd, V.A. 1989. The Measurement of Agricultural Malodours. *J. Agricultural Engineering Research* 43, 197-209.
- CEN 2003. *EN 13725, 2003. Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry*. CEN European Committee for Standardization. Brussels.
- Cortus, E. L., Lemay, S. P., Barber, E. M., Hill, G. A., Godbut, S. 2008. A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. *Biosystems Engineering* 99, 390-402.
- Dantherm A/S, Projektering och dimensionering, Projektering av simhallsventilation.
- Fanger, P.O. 1988. Olf og decipol – de nye enheder for oplevt luftkvalitet. *Dansk VVS* 24(2), 6-8. (In Danish)
- Gustafsson, G. 1992. Technische Massnahmen zur minderung von Geruchs- und Schad-stoffemissionen aus Tierproduktionsanlagen. *KTBL*, Germany. pp. (In German)
- Gustafsson, G. 1996. Ventilation and air cleaning systems in agricultural buildings. In *NIVA-course on occupational health, May 6 - 10*, Sem, Norway, Nordic Institute for Advanced Training in Occupational Health, Helsinki.
- Jongebreur, A.A., Monteny, G.J. och N.W.M Ogink. 2003. Livestock Production and Emission of Volatile Gases. In *International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities. 1-4 June 2003*, Scandic Hotel, Bygholm Park, Horsens, Denmark, 11-30. CIGR, EurAgEng, NJF.
- Nimmermark, S. 2004a. *Odour impact. Odour release, dispersion and influence on human well-being with specific focus on animal production*. Doctoral thesis. Acta Universitatis agriculturae Suecia, Agraria 494. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. 154 pp.
- Nimmermark, S. 2004b. Odour influence on well-being and health with specific focus on animal production emissions. *Ann Agric Environ Med* 11, 163-173.
- Nimmermark, S. & Gustafsson, G. 2004. Odor and ammonia release at different climatic conditions in a loose housing system for layers. In *2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1 - 4 August 2004*, Fairmont Chateau Laurier, The Westin, Government Centre, Ottawa, Ontario, Canada, Paper No. 04 4154. ASAE, St. Joseph Mich.
- O'Neill, D.H. & Phillips, V.R. 1992. A Review of the Control of Odor Nuisance from Livestock Buildings. 3. Properties of the Odorous Substances Which Have Been Identified in Livestock Wastes or in the Air around Them. *Journal of Agricultural Engineering Research* 53, 23-50.
- Pain, B.F. & Misselbrook, T.H. 1990. Relationships between odour and ammonia emission during and following the application of slurries to land. In *Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming*, 2-9. Elsevier Applied Science Publishers, New York.
- Schiffman, S.S., Bennett, J.L. & Raymer, J.H. 2001. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology* 108, 213-240. Elsevier Science Bv
- Spoelstra, E.F. 1980. Origin of objectionable odorous compounds in piggery wastes and the possibility of applying indicator compounds for studying odour development. *Agriculture and Environment* 5, 241-260.
- STTV Handböcker 3:2008, *Sanitära anvisningar om inomhusluft och ventilation i simhallar och badanläggningar*.

Publikationer

En rapport i SLUs LTJ-rapportserie som detaljerat beskriver försöken och dess resultat är under utarbetande. Rapporten läggs ut på nätet så att den finns tillgänglig för allmänheten. Vidare kommer ett vetenskapligt ”paper” att skrivas. ” Resultaten från projektet presenteras för studenter som läser kurser i djurmiljö och installationsteknik.