

Slutrapport SJV (25-10992/09), KSLA (09SLO005), PA (386/09/Anim)

Helhetskoncept för att lösa ammoniakproblematiken både inne och utanför befintliga grisstallar

Jos Botermans, Forskare, AgrD, Lantbrukets Byggnadsteknik och Djurhållning (LBT), SLU, Alnarp
Knut-Håkan Jeppsson, Tekn AgrD, Lantbrukets Byggnadsteknik och Djurhållning (LBT), SLU, Alnarp

Sammanfattning

En biologisk skrubber utvärderades i ett befintligt slaktgrisstall under två försöksomgångar (en vinter- och en sommaromgång). Femtiosex slaktgrisar (30-120 kg) inhystes i stallen. Den första delen av luftflödet (minimiventilation 10 m³/timme och sedan upp till 35 % av det maximala luftflödet) togs från gödselkylverten och sögs ut genom den biologiska skrubbern. Den sista delen av luftflödet (upp till maximiventilation) sögs ut via en fläkt i väggen (hög+låg evakuering). Mätningarna gjordes kontinuerligt, men bara mätperioder redovisades för slutet av omgångarna när skrubbern hade en bra funktion. Under kontrollbehandlingen (omkring 1 vecka, mitt under mätperioden som redovisades) sögs all luft ut via fläkten i väggen (hög evakuering).

Koncentrationerna av ammoniak inomhus var väldigt låga i båda försöksomgångar (0,9 – 4,7 ppm). Vid bearbetningen av siffrorna visade det sig att det totala luftflödet genom hela stallen var större än planerat, framför allt under perioder med gasutsug via gödselkylverten (hög+låg evakuering). Vi planerade 100 m³/timme per slaktgrisplats och utfallet blev 160 m³/timme som högst.

Under första försöksomgången (vintertid) hade skrubbern en verkningsgrad på 20 % för rening av ammoniak. Om man korrigerade för ammoniakkoncentrationen utanför stallen var verkningsgraden 25 %. Femtiotre procent av luftflödet skickades genom skrubbern och minskningen av ammoniakemissionerna från hela stallsystemet var 13 % jämfört med om man enbart hade tagit all luft ut via en fläkt i väggen utan skrubber (hög evakuering). Om man hade tagit ventilationsflödet via gödselkylverten utan att använda en skrubber hade emissionen varit 3 % högre än om man hade tagit all luft ut via en fläkt i väggen utan skrubber.

Under andra försöksomgången (sommartid) hade skrubbern en verkningsgrad på 50 % för rening av ammoniak. Om man korrigerade för ammoniakkoncentrationen utanför stallen var verkningsgraden över 100 %. Detta för att koncentrationen av ammoniak efter skrubbern var lägre än utanför stallen. Trots att enbart 35 % av stallluften skickades genom skrubbern var minskningen av emissionerna från hela stallsystemet 50 %. Detta för att den mest förorenade luften skickades genom skrubbern. Om man hade tagit ventilationsflödet via gödselkylverten utan att använda en skrubber hade emissionen varit 33 % högre än om man hade tagit all luft ut via en fläkt i väggen utan skrubber.

Att ta ut luft genom gödselkylverten ledde till lägre ammoniakkoncentrationer inomhus. Efter korrigerande för luftflödet var minskningen uppskattningsvis 24 %. Inga skillnader i dammkoncentrationer kunde påvisas. Om man tar ut minimiventilationen via gödselkylverten

och samtidigt vill avstå från att rena luften från gödselkylverten får man enligt våra mätvärde 64 g högre emission av ammoniak per slaktgrisplats/år (10 %) från hela stallsystemet i genomsnitt (medel sommar och vintertid) jämfört med enbart högevakuering. På sommaren var emissionen dock betydligt högre jämfört med enbart högevakuering (33 %). Sextiofyra gram högre ammoniakemission per slaktgrisplats/år är i absoluta tal inte mycket jämfört med system utomlands (2,4 - 3,0 kg) och tyder på att man kan använda utsug av luft via gödselkylverten utan luftrening om man kombinerar det med åtgärder som kylning av gödsel, daglig rengöring av gödselkylverten med skrapor, foder med låga råproteinhalter, och så vidare. Om man däremot vill minska ammoniakemissionen från stallet så mycket som möjligt är rening av frånluften från gödselkylverten en nödvändighet om man vill att ammoniakemissionen ska vara lägre jämfört med enbart högevakuering. Detta kan göras med olika typer av teknik. Biobäddar och bioskrubbar är baserade på att mikroorganismer bryter ned ammoniak och dessa tar delvis bort både ammoniak och lukt. Kemiska skrubbar använder syror och tar enbart bort ammoniak. En kombi-skrubbar består av ett filter med kemisk rening och ett filter med biofilm.

Denna undersökning visade dock på några nackdelar med en biologisk skrubbar, som oftast inte nämns i sammanhanget. I vår undersökning var elförbrukningen till fläktarna 3,75 gånger högre per producerad gris (40 kWh högre) när man skickar luften från gödselkylverten genom skrubbern jämfört att man tar all luft ur stallet genom fläkten i väggen utan skrubbar. I vår undersökning producerades även lustgas under andra försöksomgången (sommartid). Detta motsvarade 52 kg högre emission av koldioxid-ekvivalenter per grisplats/år jämfört med om man enbart hade ventilerat bort luften via högevakuering (beräknat med siffror från sommaromgången över hela året). Femtiotvå kg koldioxid-ekvivalenter per grisplats/år är mycket i förhållande till svenska inhysningssystem med spaltgolv och skraputgödsling under spalten. Femtiotvå kg koldioxid-ekvivalenter per grisplats/år är dock inte så mycket jämfört med inhysningssystem med gödsel förvaring under stallet (70 – 420 kg koldioxid-ekvivalenter från lustgas och metan per grisplats/ år), djupströsystem på halm (80 - 250 kg koldioxid-ekvivalenter från lustgas och metan per grisplats/år), eller djupströsystem på kutterspån (260 - 560 kg koldioxid-ekvivalenter från lustgas och metan per grisplats/år).

Konklusionen är att den biologiska skrubbern inte fungerade bra under den första försöksomgången (vintertid). Den biologiska skrubbern fungerade bättre under den andra försöksomgången (sommartid) och minskade ammoniakemissionerna från hela stallsystemet med 50 % trots att luftflödet genom skrubbern enbart var 35 % av det totala luftflödet. De negativa effekterna på miljön i form av en högre energiförbrukning och högre emission av lustgas kan dock ifrågasätta användandet av biologiska skrubbar och mer forskning behövs för att bekräfta våra forskningsresultat. Om man nu vill använda biologiska skrubbar inom grisproduktionen, pekar våra resultat på att man helst ska försöka minimera luftflödena genom skrubbern och utveckla inhysningssystem där man enbart tar 10 % av maximiventilationen (t.ex. 10 m³/slaktgris/timme) med hjälp av lågevakuering. Detta får då sättas i relation till andra åtgärder både ur ekonomisk- och från emissionssynpunkt, som oftast redan görs i Sverige såsom låg råproteinhalt i fodret, kylning av gödsel och daglig renskrapning av gödsel under spalten.

1 Inledning

Bakgrund

I Göteborgsprotokollet (CLRTAP, 1999) bestämdes att Sverige ska minska ammoniakutsläppet med 15 % år 2010 och med 75 % år 2020. År 1995 är referensåret. Målet med 15 % minskat utsläpp år 2010 är redan uppnått, dock helt genom minskning av animalieproduktionen i Sverige. Med andra ord: Sverige exporterar sin miljöpåverkan till andra länder (som t.ex. Danmark och Irland). Ett land som Sverige med stor yta och en liten befolkning borde resonera tvärtom och skulle egentligen ta ett större ansvar i framtidens matförsörjning både för Sverige och också övriga världen. Att minska sina ammoniakutsläpp genom minskning av produktionen är då förkastligt. Om Sverige istället bibehåller eller ökar sin produktion, då måste man minska ammoniakemissionen på andra sätt. Om Östersjön ska räddas, då är det egentligen inte bara i Sverige utan i alla länder i hela Östersjö-området (inkl. Danmark) som ammoniakemissionen behöver minskas. För att lyckas med detta behövs ny teknik.

Av ett totalt utsläpp på 44 300 ton ammoniak per år från animalieproduktionen (SCB, 2005), står grisproduktionen för 6 700 ton. Av dessa 6 700 ton kommer 47 % via utsläpp från stallarna, 25 % från gödsellagring och 28 % vid gödselspridning. Utveckling av teknik för att minska utsläpp vid spridning av gödsel pågår vid JTI och nermyllning eller spridning av rotad gödsel (biogastillverkning) kan vara en av framtidslösningarna. Möjligheterna att minska ammoniakemissionen från gödselbehållare är begränsade. Mycket är redan gjort för att minska ammoniakemissionen från gödselbehållare i form av svämtäcke eller tak på behållare. Möjligheterna att minska ammoniakemissionen med ytterligare 75 % vid spridning och lagring är därför begränsande och därför måste den största delen av minskningen göras i stallarna. Det finns många möjligheter för att göra detta:

- 1) Genom foder med låg råproteinnivå, tillsättning av mycket fiber och/eller försurande salter (Jongbloed et al., 2007).
- 2) Genom att kyla gödseln (Andersson, 1995; Myczko et al., 2007)
- 3) Genom att fånga upp gödseln i vatten eller en sur vätska under spalten (van Gastel et al., 1997).
- 4) Genom att rena frånluften från stallarna med en "skrubber" eller biofilter/bädd (Monteny & Hartung, 2007).

Frågan är om man kan minska ammoniakemissionen med 75 % genom fodret. Proteinhalterna är redan låga i Sverige jämfört med utomlands och det är tveksamt hur mycket man kan sänka dessa ytterligare. Genom att tillsätta fibrer kan man minska ammoniakavgången med 20-40 % (Jongbloed et al., 2007). Genom att blanda in försurande salter kan man minska ammoniakemissionen med 30–60 % (Jongbloed et al., 2007). Kylning av gödsel och vätskor under spalten kräver att grisarna gödslar på spalten och inte någon annanstans i boxen. Utomlands jobbar man mycket med helpaltgolv. Så är dock inte fallet i Sverige. I stället har svenska boxar stora fasta ytor med halm som kan bli nedsmutsade. Man kan få en stor ammoniakemission från både golvet och smutsiga djur, framförallt under sommarhalvåret. Därför är det tveksamt om system under spalten ger tillfredställande effekt under svenska förhållanden. Rening av all frånluft kostar mycket pengar, framförallt för att fläktarna drar mycket ström när de suger all frånluft genom en "skrubber" eller biofilter/bädd. Fördelen med luftrening med biofilter eller biobädd är att man även kan rena frånluften från lukt, något som är önskvärt när stallar ligger i närheten till en bebyggelse. Genom rening i var tredje skorsten (den som tar minimiventilationen), kan man minska ammoniakemissionen med minst 50 %

(Scanairclean, 2007). Det finns redan i dag ventilationssystem som tar ut minimiventilationen via gödselrännan. Gustafsson och Mårtensson (1988) minskade halterna av ammoniak i stallet med 70 % genom att ta ut luften via gödselrännan. Genom att ta ut luften den vägen och rena den delen kan man troligen minska ammoniakemissionerna mycket mer än de 50 % som finns beskrivet av Scanairclean (2007).

Olika typer av biobäddar och skrubbrar

Biobäddar och bioskrubbrar är baserade på att mikroorganismer tar delvis bort både ammoniak och lukt. Enligt litteraturen ligger verkningsgraden runt 70 % för ammoniak (Melse & Ogink, 2005). I en biobädd skickar man luften genom ett organiskt material som till exempel halm eller bark. I en bioskrubber skickar man luften genom ett filter som spolats med vatten hela tiden. På filtret växer en biofilm som bryter ned ammoniak. Kemiska skrubbrar använder syror och kan ta bort upp till 95 % av ammoniak (Melse & Ogink, 2005). De tar däremot inte bort lukt. Kemiska skrubbrar kräver förbrukning av syror (t.ex svavelsyra) på gårdsnivå. En kombi-skrubber består av ett filter med kemisk rening med syror och ett filter med biologisk rening med biofilm.

Målsättning

Målsättningen med forskningsprojektet var att minska ammoniakemissionen från befintliga grisstallar med 75 % enligt Göteborgsprotokollet samtidigt som man förbättrar inomhusklimatet. Det finns flera sätt att minska ammoniakemissionen från grisstallar. Luftrening av frånluften med bioskrubber är ett sätt som samtidigt kan ta bort en stor del av lukten. Luftrening av all frånluft kostar dock mycket pengar och energi. Processen är energikrävande eftersom fläktarna måste övervinna tryckskillnaden i luftreningssystemet. Därför måste vi i Sverige vara ”smartare” än andra och i stället för att rena all frånluft, bara rena den ”värsta”. Tidigare forskning på LBT från Gustafsson och Mårtensson (1988) har visat att man genom att ta ut luften via gödselrännan kan fånga upp mycket av den totala ammoniakemissionen om man istället hade skickat den genom någon form av luftrening. I deras försök blev luftkvaliteten i stallet mycket bättre och ammoniakhalterna i stallet minskade med över 70 % (Gustafsson och Mårtensson, 1988). Genom att bara rena frånluften från gödselrännorna (upp till 30 % av maximiventilationen) skulle man kunna fånga upp stora mängder ammoniak.

Frågeställning

Frågeställningen är hur mycket man kan minska ammoniakemissionen från ett befintligt slaktgrisstall genom att ta ut luften via gödselrännan och sedan skicka den genom en reningsanläggning. Projektet ska också ge ett svar på hur mycket luftkvaliteten inomhus kan förbättras på detta sätt.

2 Material och metoder

Försöksupplägg

Under två försöksomgångar (98 dagar och 99 dagar i längd) studerades effekten av att suga ut den första delen av ventilationsflödet ($10 \text{ m}^3/\text{timme}$ / gris i minimiventilationen plus den första delen av ventilationsflödet upp till 35 % av maximiventilationen) via gödselkulverten genom en biologisk skrubber. Under varje försöksomgång sögs den första delen av luftflödet kontinuerligt genom skrubbern. Resten av ventilationsflödet (maximiventilationen) sögs genom en fläkt i väggen (hög + lågevakuering). Det fanns bara ett undantag: under en 4-dagars period under omgång ett och under en 7-dagars period under omgång två sögs all ventilationsluft genom fläkten i väggen (hög evakuering, kontrollbehandling).

Skrubbern och stallet

Skrubbern var en biologisk skrubber (SKOV, BIO 1-U). Den har en maximal kapacitet på $10\,000 \text{ m}^3/\text{timme}$. Luftflödet regleras med fläkten som sitter ovanför skrubbern. Det inställda maximum ventilationsflödet var omkring $2\,000 \text{ m}^3/\text{timme}$. Skrubbern består av två filter som hålls fuktiga genom att det kontinuerligt pumpas vatten som rinner ner över filtren (se Bild 1). Dessutom finns det en sprutanordning som sprutar ren filtren vid regelbundna tidpunkter. Firman som sålde skrubbern ställde in frekvensen på sprutanordningen baserad på ventilationsflödet i stallet. Det fanns en sensor som registrerade hur smutsigt spolvattnet var och när vattnet var för smutsigt pumpades allt vatten till gödselbassängen. Sedan togs det in nytt rent vatten.

Det fanns en fläkt ovanför skrubbern som sög luften genom skrubbern. Fläkten ventilerade ut minimi ventilationen ($10 \text{ m}^3/\text{gris}/\text{timme}$) och vid högre ventilationsbehov den första delen av det totala luftflödet (upp till 35 % av maximum luftflödet). Det fanns även en fläkt i väggen av stallet som sög ut resten av ventilationsflödet. Samma modell av fläkt var installerade i väggen på stallet och ovanför skrubbern. Dessa fläktar var energisnåla frekvensstyrda fläktar (SKOV, DOL 600), med diameter 650 mm. Fläktarna hade ett spjäll för att strypa luftflödet vid låga luftflöden.

Skrubbern installerades på försöksgården i anslutning till ett befintligt stall (se Bild 2). Huset för skrubbern var isolerat för att skydda skrubbern från frost (se Bild 3 och 4). Skrubbern kopplades till en redan befintlig kanal för utsugning av luft. Kanalen låg vid sidan om gödselkulverten och hade små öppningar till gödselkulverten fördelade över hela längden. Genom att bygga på detta sätt suges luften jämnt från hela gödselkulverten. Under varje försöksomgång sögs den första delen av luftflödet kontinuerligt genom skrubbern. Detta för att hålla den biologiska processen i gång (hög + låg evakuering). Under en period av 4 dagar under första försöksomgången och under en period av 7 dagar under andra försöksomgången, stängdes fläkten ovanför skrubbern av och kanalen till skrubbern stängdes med en skiva (enbart högevakuering kvar). Spolsystemet i skrubbern var dock hela tiden igång för att hålla den biologiska processen igång.



Bild 1: Första filtret som spolas kontinuerligt med vatten.



Bild 2: Stallet med det tillbyggda huset för skrubbern.



Bild 3: Ett isolerat hus med skrubber.



Bild 4: Skrubber med två filter.

Inhysning och skötsel

Stallet har 8 boxar med 7 platser per box samt en sjukbox (totalt 56 grisar per omgång), se Bild 5. Liggytan har fast golv med halm. Gödselytan är försedd med betongspalt. Under spalten finns skraputgödsling. Det finns två rader med boxar i stallet och därför två gödselkylvertar. Varje dag gödslades alla boxar ut manuellt och boxarna ströddes med halm. Det fanns en skiva mellan varje gödselkylvert och tvärkylverten (flytgödsel i tvärkylverten). Dessa skivor förhindrade att luft skulle sugas in i stallet via tvärkylverten. Dessa skivor togs bort efter den manuella utgödslingen och skraputgödslingen under spalten sattes i gång. Efter utgödslingen sattes skivorna mellan gödselkylverten och tvärkylverten på plats igen. Sedan pumpades gödseln från tvärkylverten (via pumpbrunnen) till gödselbassängen.

Grisarna utfodrades en gång om dagen (Lantmännen, Origo, råproteinhalt: 132 g/kg foder). Upp till 65 kg levande vikt fick grisarna fri tillgång till foder i en foderautomat (Groba). Efter 65 kg levande vikt fick grisarna en restriktiv mängd foder (2,65 kg foder/gris/dag). De fick 75 % av fodret i automaten och 25 % av fodret i ett tråg på framsidan av boxen. Detta för att alla grisar skulle kunna äta samtidigt i samband med tilldelningen av fodret. Alla grisar hade fri tillgång till vatten via en vattennippel på gödselgången.



Bild 5: Åtta boxar med 7 grisar per box.

Mätningarna

Under försöket (vinter/vår 2011 och sommaren 2011) gjordes följande registreringar:

1. Luftflöde mättes kontinuerligt (registrering varje minut) med mätfläktar (Fancom) både i trumman i väggen (se Bild 6) och i trumman ovanför skrubbern. Mätfläktarna blev kalibrerade under försöket.
2. Temperaturen utomhus och inomhus (1,5 m från golvet) registrerades varje minut.
3. Elförbrukningen av fläktarna mättes separat i trumman i väggen och i trumman ovanför skrubbern under hela perioden som grisarna var i stallet. Dessutom registrerades elförbrukningen från skrubbern (energi till runtpumpning av vatten). Under vinterperioden var en värmefläkt med elmätare kopplat till skrubbern.

Elmätare registrerade elförbrukningen för uppvärmning. Värmebläkten höll temperaturen uppe i huset där skrubbern fanns och skulle se till att ingen kondens skulle bildas i slangen av mätutrustningen för gasanalyserna.

4. Vattenförbrukningen samt mängden restvatten som pumpades till gödselbassängen registrerades under hela perioden som grisarna var i stallet.
5. Ammoniakhalten, koldioxidhalten och lustgashalten mättes med en gasanalysator var åttonde minut under hela försöksperioden på två ställen utomhus, mitt i stallet 1,5 m från golvet, i den utgående luften vid bläkten i väggen, före skrubbern och efter skrubbern. Gasanalysatorn är en Innova "Photo Acoustic Infrared Multigas Monitor" utvecklad av Brüel & Kjær i Danmark. Efter 8 veckor inkörning i första försöksomgången påbörjades registreringarna. Den första mätperioden med hög+låg evakuering var 2 dagar. Den andra mätperioden med enbart lågevakuering var 3 dagar och den tredje mätperioden med hög+låg evakuering var 10 dagar. Mellan varje byte till en ny mätperiod fanns en dag för aklimatisering som inte togs med i redovisningen. Efter 3 veckor inkörning i andra försöket påbörjades registreringarna. Den första mätperioden med hög+låg evakuering var 18 dagar. Den andra mätperioden med enbart lågevakuering var 6 dagar och den tredje mätperioden med hög+låg evakuering var 12 dagar. Mellan varje byte till en ny mätperiod fanns en dag för aklimatisering som inte togs med i redovisningen.
6. Damm mitt i stallet 1,5 m över golvnivå (2 prov per tillfälle) under en 4-dagarsperiod per omgång. Den totala dammhalten mättes gravimetriskt under en period av 4 dygn med milliporefilter med 37 mm filterkassetthållare och vid ett luftflöde av 1,9 l per minut. Dessutom mätte vi under samma period respirabla dammhalter med milliporefilter i filterkassetthållare med en SKC cyklon (avskiljning vid 5,0 μm) vid ett luftflöde av 1,9 l per minut. Institutionen för Yrkes- och Miljömedicin vid Lunds Lasarett kommer att analysera dammfilter för både totalt och respirabelt damm.



Bild 6: Mätfläkt utanför bläkten i väggen.

Jämförelse av olika inhysningssystem

I projektet ingick även en matematisk jämförelse av olika sätt att ta hand om frånluften. Olika kombinationer studerades med hänsyn till typ av luftrening (bioskrubber, kemisk skrubber, kombiskrubber eller inget) och mängd av rening (30 % rening av luften via gödsel kulvert, 100 % rening av luften via taket, eller ingen rening alls). Följande antagande gjordes: verkningsgrad bioskrubber 70 %, verkningsgrad kemisk skrubber 95 %, verkningsgrad kombi-skrubber 90 %, total emission per producerat gris i ett konventionellt stall i Sverige 1500 g/grisplats/år (Botermans et al, 2010)

3 Resultat

Gaskoncentrationer, temperatur och ventilationsflöde

Under den första försöksomgången var det vinter/vår och totalt indelades mätningarna i 3 perioder under denna försöksomgång. Period tre med hög+låg evakuering var något varmare (Tabell 1). Under perioder med hög+låg evakuering (perioder 1 och 3) var ventilationsflödet genom hela stallet något större än under perioden med enbart lågevakuering. Detta beror delvis på den något högre utomhustemperaturen, men också på att inställningarna på maximiflöde genom stallet inte exakt var detsamma för hög evakuering och hög+låg evakuering. Denna inställning gjordes av firman som installerade ventilationssystemet.

Koncentrationen av ammoniak mitt i stallet var lägre under perioder med hög+låg evakuering (period 1 och 3) jämfört med perioden med enbart högevakuering (period 2), se Tabell 1. Koldioxidkoncentrationen mitt i stallet var också lägre under perioder med hög+låg evakuering jämfört med perioden med enbart högevakuering. Under mätperioder med hög+låg evakuering var koncentrationen av ammoniak i luften från gödselkylverten högre än koncentration i luften i mitten av stallet.

Tabell 1: Temperatur, ventilationsflöde och gaskoncentrationer under perioder med hög+låg evakuering (period 1 och 3) och under perioden med enbart högevakuering (period 2).
Vintertid.

	Hög+låg evakuering (period 1)	Hög evakuering (period 2)	Hög+låg evakuering (period 3)
Temperatur, dygnsmedelvärde (°C)			
Utomhus	7,4	5,9	10,6
Inomhus (1,5 m över golvet)	16,8	17,2	18,8
Ventilationsflöde (m ³ /gris/timme)			
Via fläkten i väggen	35	49	26
Via skrubbern	24	-	46
Totalt	59	49	72
NH ₃ koncentration i luften (ppm)			
Utomhus	0,58	0,72	0,61
Inomhus (1,5 m från golvet)	3,04	4,71	2,66
Vid fläkten i väggen	2,76	3,91	2,30
Före skrubbern	3,80	-	3,23
Efter skrubbern	3,04	-	2,55
CO ₂ koncentration i luften (ppm)			
Utomhus	467	455	480
Inomhus (1,5 m från golvet)	1603	1835	1227
Vid fläkten i väggen	1431	1719	1081
Före skrubbern	1128	-	984
Efter skrubbern	1105	-	972
N ₂ O koncentration i luften (ppm)			
Utomhus	0,31	0,34	0,31
Inomhus (1,5 m från golvet)	0,22	0,28	0,24
Vid fläkten i väggen	0,24	0,29	0,26
Före skrubbern	0,28	-	0,28
Efter skrubbern	0,30	-	0,31

Under den andra försöksomgången var det sommar. Även under denna försöksomgång indelades mätningarna i 3 perioder. Under perioderna med hög+låg evakuering (period 1 och 3) var ventilationsflödet genom hela stallet högre än under perioden med enbart lågevakuering (period 2), se Tabell 2. Koncentrationen av ammoniak mitt i stallet var lägre under perioder med hög+låg evakuering jämfört med perioden med enbart högevakuering.

Koldioxidkoncentrationen mitt i stallet var dock också lägre under perioder med hög+låg evakuering jämfört med perioden med enbart högevakuering, på grund av det högre ventilationsflödet genom stallet. Koncentrationen av ammoniak i luften från gödselkulverten var högre än koncentration i luften vid fläkten i väggen (under mätperioder med både hög+låg evakuering).

Tabell 2: Temperatur, ventilationsflöde och gaskoncentrationer under perioder med hög+låg evakuering (period 1 och 3) och under perioden med enbart högevakuering (period 2). Sommartid.

	Hög+låg evakuering (period 1)	Hög evakuering (period 2)	Hög+låg evakuering (period 3)
Temperatur, dygnsmedelvärde (°C)			
Utomhus	17,8	17,0	18,7
Inomhus (1,5 m över golvet)	22,5	22,6	22,7
Ventilationsflöde (m ³ /gris/timme)			
Via fläkten i väggen	102	111	103
Via skrubbern	54	-	57
Totalt	156	111	160
NH ₃ koncentration i luften (ppm)			
Utomhus	0,64	0,75	0,67
Inomhus (1,5 m från golvet)	1,30	1,76	0,87
Vid fläkten i väggen	1,18	1,21	0,73
Före skrubbern	1,80	-	0,78
Efter skrubbern	0,59	-	0,53
CO ₂ koncentration i luften (ppm)			
Utomhus	465	471	466
Inomhus (1,5 m från golvet)	766	1127	680
Vid fläkten i väggen	753	1009	680
Före skrubbern	792	-	708
Efter skrubbern	795	-	711
N ₂ O koncentration i luften (ppm)			
Utomhus	0,31	0,33	0,31
Inomhus (1,5 m från golvet)	0,29	0,37	0,29
Vid fläkten i väggen	0,29	0,34	0,30
Före skrubbern	0,35	-	0,39
Efter skrubbern	0,59	-	0,52

Emissioner

Ammoniak

Under första försöksomgången (vintertid) var koncentrationen av ammoniak 20 % lägre i luften efter skrubbern än i luften före skrubbern (Tabell 1). Detta ger en verkningsgrad av 20 %. Om man skulle korrigera siffrorna för ammoniakhalten utomhus, då är verkningsgraden 25 %. Om man räknar på hela inhysningssystemet och korregerar för ammoniakkoncentrationerna i luften utanför stallet var emissionen 2,30 g per gris/dag med hög+låg evakuering (period 1 och 3), se Tabell 3. Detta motsvarar 839 g per slaktgrisplats/ år (baserat på 365 dagar). Detta är 130 g mindre än om man enbart hade ventilerat bort luften via högevakuering (Tabell 4). Emissionen var då 13 % lägre jämfört med högevakuering. Om man inte hade använt en skrubber vid hög+låg evakuering (fiktivt) då hade emissionen av ammoniak varit 155 g högre per slaktgrisplats/år jämfört med om skrubbern hade blivit använd. Om man jämför hög+låg evakuering utan skrubber med enbart högevakuering var emissionen 3 % högre (25 g per slaktgrisplats/år).

Tabell 3: Emissioner av ammoniak under vinterperioden

	Hög+låg evakuering (period 1)	Hög evakuering (period 2)	Hög+låg evakuering (period 3)
NH ₃ emission (g/gris/dag)			
Via fläkt i väggen	1,29	2,66	0,76
Via skrubbern	1,02	0	1,52
Totalt	2,31	2,66	2,29

Tabell 4: Emissioner av ammoniak under hela året under förutsättning att samma förhållanden skulle gälla som under mätperioden under vinterperioden

	Hög+låg evakuering		Hög evakuering
	Med skrubber	Utan skrubber (fiktivt)	Utan skrubber
NH ₃ emission			
Per gris och dag (g)	2,30	2,72	2,66
Per slaktgrisplats/år (g)	839	994	969

Under andra försöksomgången (sommartid) var koncentrationen av ammoniak 50 % lägre i luften efter skrubbern än i luften före skrubbern (Tabell 2). Detta ger en verkningsgrad av 50 %. Om man skulle korrigera siffrorna för ammoniakhalten utomhus, då är verkningsgraden över 100 %. Detta för att ammoniak-koncentrationerna efter skrubbern var något lägre än ammoniakkoncentrationerna utomhus. Om man räknar på hela inhysningssystemet och korregerar för ammoniakkoncentrationerna i luften utanför stallet var emissionen 0,42 g per gris/dag (Tabell 5). Detta motsvarar 158 g per grisplats och år (baserat på 365 dagar). Detta är 130 g mindre än om man enbart hade ventilerat bort luften via högevakuering (Tabell 6). Emissionen var då 50 % lägre jämfört med högevakuering. Om man inte hade använt en skrubber vid hög+låg evakuering (fiktivt) då hade emissionen av ammoniak varit 262 g högre per slaktgrisplats och år jämfört med om skrubbern hade blivit använd. Om man jämför hög+låg evakuering utan skrubber med enbart högevakuering var emissionen 33 % högre (103 g per grisplats/år).

Tabell 5: Emissioner av ammoniak under sommarperioden

	Hög+låg evakuering (period 1)	Hög evakuering (period 2)	Hög+låg evakuering (period 3)
NH ₃ emission (g/gris/dag)			
Via fläkt i väggen	0,94	0,87	0,11
Via skrubbern	-0,05	0	-0,13
Totalt	0,89	0,87	-0,03

Tabell 6: Emissioner av ammoniak under hela året under förutsättning att samma förhållanden skulle gälla som under mätperioden under sommaren

	Hög+låg evakuering		Hög evakuering
	Med skrubber	Utan skrubber (fiktivt)	Utan skrubber
NH ₃ emission			
Per gris och dag (g)	0,42	1,15	0,87
Per slaktgrisplats/år (g)	157,7	419,6	316,6

Om man räknar på hela året (genomsnitt vinter- och sommaromgång), då var ammoniakemissionen i systemet med hög+låg evakuering och skrubber kopplad till gödselkylverten 23 % lägre jämfört med enbart högevakuering utan skrubber. Om man räknar på hela året (genomsnitt vinter- och sommaromgång), då var ammoniakemissionen i systemet med hög+låg evakuering utan skrubber kopplad till gödselkylverten 10 % högre jämfört med enbart högevakuering utan skrubber.

Lustgas

Under vinterperioden fanns inga skillnader i lustgaskoncentrationer före och efter skrubbern. Däremot producerades lustgas i skrubbern under sommartid (se Tabell 2). Koncentrationen av lustgas var 52 % högre i luften efter skrubbern än i luften före skrubbern. Om man räknar på hela inhysningssystemet då var emissionen 0,52 g per gris/dag (Tabell 7 och 8). Om samma förhållanden skulle gälla för hela året som för sommaren, då skulle detta motsvara 191,3 g per slaktgrisplats/ år (baserat på 365 dagar) eller 57,4 kg koldioxid-ekvivalenter. Detta är 52 kg koldioxid-ekvivalenter mer per grisplats/ år än om man enbart hade ventilerat bort luften via högevakuering. Om man inte hade använt en skrubber vid hög+låg evakuering då hade emissionen på grund av lustgas varit 49 kg koldioxid-ekvivalenter lägre per slaktgrisplats/ år jämfört med om skrubbern hade blivit använd (se Tabell 8).

Tabell 7: Emissioner av lustgas under sommarperioden

	Hög+låg evakuering (period 1)	Hög evakuering (period 2)	Hög+låg evakuering (period 3)
N ₂ O emission (g/gris/dag)			
Via fläkt i väggen	-0,09	0,05	-0,05
Via skrubbern	0,66	0	0,52
Totalt	0,57	0,05	0,48

Tabell 8: Emissioner av lustgas under hela året under förutsättning att samma förhållanden skulle gälla som under mätperioden under sommaren

	Hög+låg evakuering		Hög evakuering
	Med skrubber	Utan skrubber (fiktivt)	Utan skrubber
N ₂ O emission			
Per gris och dag (g)	0,52	0,08	0,05
Per slaktgrisplats/år (g)	191,3	28,8	17,8
Koldioxidekvivalenter (sommarförhållande)			
Per slaktgrisplats/år (kg)	57,4	8,6	5,3

Elförbrukning

På grund av att skrubbern var byggd utanför stallet och vattnet inte var frostsäkrat, behövde vi ställa en värmefläkt i huset där skrubbern fanns under vintertid. Vi hade en elmätare till värmefläkten, men det verkar som att den elmätaren var osäker och därför var det svårt att uppskatta energiförbrukningen av skrubbern under vintertid. Däremot under sommaromgången behövdes ingen värmefläkt och siffrorna var pålitliga. Under sommaromgången förbrukade skrubbern 4 kWh per dygn (mätperiod 96 dagar). Denna energiåtgång användes för att pumpa runt vatten över skrubbers filter och för att tvätta rent dessa.

Fläkten som sitter ovanför skrubbern måste dra luften genom skrubbern. Den stora tryckskillnaden före och efter skrubbern samt tryckskillnaden mellan kulverten och luften ovanför spalten gjorde att det behövdes relativt mycket energi i förhållande till den energi som behövs för att ventilerar bort luft via fläkten i väggen (se Tabell 9). Båda två fläktar (i väggen samt ovanför skrubbern) som användes i försöket var energisnåla. Detta gjorde att energiförbrukningen för fläkten i väggen var låg när man bara hade högevakuering (period 2, 12 kWh och 14,5 kWh per producerad gris under respektive vintertid och sommartid). Trots energisnåla fläktar var energiförbrukningen hög vid hög+låg evakuering. Under sommaromgången var elförbrukningen omkring 54 kWh per producerad gris (period 1 och 3).

Tabell 9: Elförbrukningen

	Hög+låg evakuering (period 1)	Hög evakuering (period 2)	Hög+låg evakuering (period 3)
Vinteromgång			
Antal dagar mätperiod	17	4	11
Elförbrukning fläkt i väggen (W/gris/dag)	68	104	110
Elförbr. fläkt ovanför skrubbern (W/gris/dag)	99	0	272
Elförbrukning totalt (W/gris/dag)	167	104	382
Fiktiv elförbrukning per gris i 115 dagar (kWh)	19,2	12,0	43,9
Sommaromgång			
Antal dagar mätperiod	34	7	55
Elförbrukning fläkt i väggen (W/gris/dag)	105	126	113
Elförbr. fläkt ovanför skrubbern (W/gris/dag)	370	0	356
Elförbrukning totalt (W/gris/dag)	475	126	469
Fiktiv elförbrukning per gris i 115 dagar (kWh)	54,6	14,5	53,9

Vattenförbrukning

Under vinteromgången var vattenförbrukningen i skrubbern 2,8 liter per gris/dag (mätperiod 32 dagar). Detta motsvarar 332 liter vatten per producerad gris (115 dagar). Restvattnet från skrubbern var 0,4 liter per gris/dag. Detta motsvarar 46 liter restvatten per producerad gris (115 dagar) som hamnade i gödselbrunnen. Under sommaromgången var vattenförbrukningen också 2,8 liter per gris/dag (mätperiod 96 dagar). Restvattnet från skrubbern var 0,2 liter per gris/dag. Detta motsvarar 23 liter restvatten per producerad gris (115 dagar) som hamnade i gödselbrunnen.

Inomhusklimat och dammkoncentrationer

Koncentrationen av ammoniak var högre i luften från gödselkylverten (före skrubberna) än i luften i mitten av stallet (Tabell 1 och 2). Detta visar att luftkvaliteten förbättras genom att ta ut luften via gödselkylverten. Luftflödet totalt genom hela stallet var 25 % lägre med enbart hög evakuering jämfört med hög+låg evakuering. Detta gör det svårt att jämföra koncentrationer av ammoniak i stalluften mellan dessa två olika behandlingar. Ett sätt att jämföra är genom att anta att emissionen via fläkten i väggen inte ändras och att minska luftflödet genom fläkten i väggen med 25 % (fiktivt). Om man gör denna korrigering för alla mätdata för vinteromgången, höjer detta koncentrationen av ammoniak vid fläkten i väggen från i genomsnitt 2,53 ppm (period 1 och 3) före korrigering till 3,24 ppm efter korrigering. Detta ger en 0,71 ppm högre ammoniak koncentration. Koncentrationen av ammoniak mitt i stallet höjs då också med 0,71 ppm till 3,56 ppm. Jämfört med enbart högevakuering (4,71 ppm, period 2) är detta 24 % lägre.

Ingen skillnad i dammkoncentration kunde påvisas mellan perioder med hög+låg evakuering (1,87 mg/m³) och perioden med enbart högevakuering (1,92 mg/m³). Inte heller kunde någon skillnad påvisas i respirabelt damm mellan perioder med hög+låg evakuering (0,38 mg/m³) och perioder med enbart högevakuering (0,39 mg/m³).

Jämförelse av olika sätt att rena luften

I projektet ingick även en matematisk jämförelse av olika sätt att ta hand om frånluften. Olika kombinationer jämfördes med hänsyn till typ av luftrening (bioskrubber, kemisk skrubber, kombi-skrubber eller inget) och mängd av rening (30 % via gödsel kylvert, 100 % via taket), se Tabell 10. Baserat på egna mätvärde har vi kalkylerat med att 50 % av emissionerna kommer från lågevakuering och 50 % av emissionerna kommer från hög evakuering.

Tabell 10: Ammoniakemission vid olika typer av luftrening och mängd av luftrening.

	Frånluft 30 % via gödselkylvert				Frånluft 100 % via taket			
	Bio-skrubber	Kemisk-skrubber	Kombi-skrubber	Ingen rening	Bio-skrubber	Kemisk-skrubber	Kombi-skrubber	Ingen rening
Verkningsgrad skrubber	70 %	95 %	90 %	0 %	70 %	95 %	90 %	0 %
Ammoniakemission via gödselkylvert (g per grisplats/år)	248 g	41 g	83 g	825 g	-	-	-	-
Ammoniakemission via fläkten i taket (g per grisplats/år)	825 g	825 g	825 g	825 g	450 g	75 g	150 g	1500 g
Total ammoniakemission (g per grisplats/år)	1073 g	866 g	907	1650 g	450 g	75 g	150 g	1500 g
Minskning/ökning i ammoniakemission	- 28 %	- 42 %	- 40 %	+ 10 %	-70 %	- 95 %	- 90 %	0

4 Diskussion

Koncentrationerna av ammoniak inomhus var väldigt låga i båda försöksomgångar. Vid bearbetningen av siffrorna visade det sig att det totala luftflödet genom hela stallet var högre än planerat, framför allt under perioder med gasutsug via gödselkulverten. Det var inte lätt för ventilationsfirman att programmera ventilationssystemet, eftersom undertrycket kan variera mycket och tryckmotståndet (kanaler och skrubbern) var okänt. Ventilationsfirma hade ingen tillgång till luftflödesmätningarna. All mätdata från luftflödesmätningarna blev först tillgängliga efter båda försöksomgångar i samband med att all data blev bearbetad. De låga gaskoncentrationerna gjorde att emissionsmätningarna blev lite osäkra, framförallt under sommarperioden när det var väldigt låga gaskoncentrationer i luften. Det hade varit lättare att beräkna emissionerna med lägre luftflöde genom stallet och högre koncentrationer i luften. Oavsett de något höga luftflödena genom stallet, kan det konstateras att det var låga halter ammoniak i luften och låga emissioner i båda försöksomgångar. Jämfört med data från utländska studier var det mycket lägre. I detta försök skrapades gödselrännorna en gång om dagen rena med gödselskrapor under spalten. Boxarna gjordes rena och ströddes med halm dagligen. Fodret innehöll en låg råproteinhalt. Mätdata från andra länder är oftast baserade på inhysningssystem med mer spaltgolv, ibland gödsel förvaring under stallet samt foder med högre råproteinhalter.

Under första försöksomgången (vintertid) hade skrubbern en verkningsgrad på 20 % för rening av ammoniak. Femtiotre procent av luftflödet skickades genom skrubbern och minskningen av ammoniakemissionerna från hela stallsystemet var 13 % jämfört med om man hade tagit all luft ut via en fläkt i väggen utan skrubber (kontroll). Om man hade tagit ventilationsflödet via gödselkulverten utan att använda en skrubber hade emissionen varit 3 % högre än om man hade tagit all luft ut via en fläkt i väggen utan skrubber (kontroll). Skrubbers låga verkningsgrad kan förklaras på olika sätt: 1) Trots att det stod i beskrivningen att nerbrytningen av ammoniak skulle börja fungera efter några veckors inkörning, fanns det ingen tydlig biofilm på det första filtret efter 8 veckors inkörning. Kanske skulle skrubbern därför ha varit i gång ännu längre innan man började med mätningarna, men i så fall hade vi redan slaktat ut hela omgången. 2) De låga halterna av ammoniak i luften påverkar troligtvis skrubbers verkningsgrad negativt. Om halterna av ammoniak hade varit högre i luften, hade skrubbern troligtvis haft en bättre verkningsgrad. Utomlands har man i många fall en ammoniakkoncentration i stallet som ligger mellan 10 och 30 ppm. Detta gör det troligtvis enklare att få en högre verkningsgrad i den biologiska skrubbern. 3) Trots att vi hade en värme fläkt i huset där skrubbern fanns, var temperaturen något lägre än under sommaren. En lägre temperatur påverkar troligtvis den biologiska nedbrytningen negativt. Å andra sidan körde vi bioskrubbern på ungefär 20 % av kapaciteten, något som skulle gynna skrubbers verkningsgrad.

Under andra försöksomgången på sommaren hade skrubbern en verkningsgrad på 50 % för rening av ammoniak. Om man tar hänsyn till ammoniakhalterna i luften utomhus, då var verkningsgraden över 100 %. Trots att enbart 35 % av stalluften skickades genom skrubbern var minskningen av emissionerna från hela stallsystemet 50 %. Detta för att den mest förorenade luften skickades genom skrubbern. Om vi hade haft skrubbern i gång ännu längre hade verkningsgraden troligtvis blivit bättre med tiden. Det hade också varit bra om vi hade haft ett lägre luftflöde (med högre halter av ammoniak i luften) genom skrubbern, så att verkningsgraden hade varit högre. Om man hade tagit ventilationsflödet via gödselkulverten utan att använda en skrubber hade emissionen av ammoniak varit 33 % högre jämfört med om

man hade tagit all luft ut via en fläkt i väggen utan skrubber (kontroll). Detta visar att man kanske får vara försiktig med lågevakuering under sommartid.

Att ta ut luft genom gödselkulverten ledde till lägre halter av ammoniak inomhus. Under vinteromgången var ammoniakkoncentrationerna uppskattningsvis 24 % lägre. Inga skillnader i dammkoncentrationer kunde påvisas. Om man tar ut minimiventilationen via gödselkulverten och samtidigt vill avstå från att rena luften från gödselkulverten får man 64 g högre emission av ammoniak (10 %) från hela stallsystemet i genomsnitt per slaktgrisplats/år (både sommar och vintertid) jämfört med enbart högevakuering. På sommaren var emissionen dock betydligt högre jämfört med enbart högevakuering (33 % högre). Sextiofyra gram högre ammoniak per slaktgrisplats/år är i absoluta tal inte mycket jämfört med system utomlands (2,4 - 3,0 kg) och tyder på att man kan använda utsug av luft via gödselkulverten utan luftrening om man kombinerar det med åtgärder som kylning av gödsel, daglig rengöring av gödselkulverten med skrapor, foder med låga råproteinhalter, och så vidare. Om man däremot vill minska ammoniakemissionen från stallet så mycket som möjligt är luftrening av frånluften från gödselkulverten en nödvändighet. Detta kan göras med olika typer av skrubbrar eller med biobädd. Om man använder en biobädd skickar man frånluften genom att biologisk material. Reningen av luften från ammoniak är en biologisk process som kräver rätt temperatur, luftfuktighet osv. Det är inte alltid så lätt att styra dessa parametrar och om någon av dessa parametrar inte är optimala minskar verkningsgraden. Dessutom tar biobäddar relativt mycket plats. Kemiska skrubbrar har en högre verkningsgrad för att ta bort ammoniak från stallet än vad biologiska skrubbrar har. Nackdelarna med kemiska skrubbrar är att syror (oftast svavelsyra) behöver hanteras på gården och att de inte minskar emissionen av lukt från stallet. Biologiska skrubbrar har en lägre verkningsgrad för att ta bort ammoniak från stallet än vad kemiska skrubbrar har. fördelarna med biologiska skrubbrar är att man slipper hantera syror på gårdsnivå och att de även tar bort en del lukt från stallet. En kombi-skrubber består av ett filter med kemisk rening och ett filter med biologisk rening.

Denna undersökning visar några nackdelar med en biologisk skrubber, som oftast inte nämns i sammanhanget. I vår undersökning var elförbrukningen till fläktarna 3,75 gånger högre per producerat gris (40 kWh högre) när man skickar luften från gödselkulverten genom skrubbern jämfört att man tar all luft ur stallet genom fläkten i väggen utan skrubber. Om vi hade haft fler grisplatser per skrubber och skickat en mindre mängd luft genom skrubbern per grisplats, då hade energiförbrukningen per grisplats varit något lägre. Men våra data visar ändå att den höga energiförbrukningen är ett bekymmer. I vår undersökning producerades även lustgas i skrubbern under andra försöksomgången. Denna produktion av lustgas motsvarade 52 kg koldioxid-ekvivalenter högre emission per grisplats/år jämfört med om man enbart hade ventilerat bort luften via högevakuering (baserat på data från sommaromgången). Femtiotvå kg koldioxid-ekvivalenter per grisplats/år är mycket i förhållande till svenska inhysningssystem (spaltgolv med skraputgödsling) (Jeppsson, 2011). Femtiotvå kg koldioxid-ekvivalenter per grisplats/år är dock inte så mycket jämfört med inhysningssystem med gödsel förvaring under stallet (70 – 420 kg koldioxid-ekvivalenter från lustgas och metan per grisplats/år), djupströsystem på halm (80 - 250 kg koldioxid-ekvivalenter från lustgas och metan per grisplats/år), eller djupströsystem på kutterspån (260 - 560 kg koldioxid-ekvivalenter från lustgas och metan per grisplats/år) (Jeppsson, 2011).

5 Slutsats

Konklusionen är att den biologiska skrubbern fungerade under den andra försöksomgången på sommaren och minskade ammoniakemissionerna från hela stallsystemet med 50 %. De negativa effekterna på miljön i form av en högre energiförbrukning och högre emission av lustgas kan dock ifrågasätta användandet av biologiska skrubbrar och mer forskning behövs för att bekräfta våra forskningsresultat. Mer forskning behövs innan man kan rekommendera användning av biologiska skrubbrar inom animalieproduktionen. Om man nu vill använda biologiska skrubbrar inom grisproduktionen, pekar våra resultat på att man helst ska försöka minimera luftflödena genom skrubbern och utveckla inhysningssystem där man enbart tar 10 % av maximiventilationen (t.ex. 10 m³/slaktgris/timme) genom skrubbern. Detta får då sättas i relation till andra åtgärder ur både ekonomisk- och från emissionssynpunkt, som oftast redan görs i Sverige såsom låg råproteinhalt i fodret, kylning av gödsel och daglig renskrapning av gödsel under spalten.

6 Relevans för näringen

Grisbesättningarna blir allt större och allt fler besättningar får problem med sina tillstånd (MKB) för att bedriva sin verksamhet i närheten av bebyggelse. Detta p.g.a. ammoniakemissioner och luktproblem från grisstallarna. Frågan är om man kan minska ammoniak- och luktemissioner genom rening av luften från gödselkylverten. Att rena all frånluft skulle bli för kostsam (45 Skr per producerad slaktgris, Bosma & Ellen, 2005). Att däremot bara rena 20-30 % av all frånluft, som möjligen står för 70-90 % av utsläppen, skulle vara effektivare (9-14 kr per producerad slaktgris) samtidigt som inomhusklimatet förbättras. Vårt forskningsprojekt visades att man kan minska en stor andel av ammoniakemissionen samtidigt som man förbättrar inomhusklimatet. Den biologiska luftreningen hade dock, i vår undersökning, andra negativa effekter på miljön som behöver beaktas. Elförbrukningen var betydligt högre och dessutom producerades lustgas i den biologiska skrubbern. Det behövs därför mer forskning innan man kan rekommendera användningen av biologiska skrubbrar inom hela animalieproduktionen.

7 Publicering

Resultatet av studierna kommer att redovisas som en forskningsrapport, som ett LTJ-faktablad och på en konferens utomlands.

8 Litteratur

- Andersson, M. 1995. Cooling of manure in manure culverts. Special report 218. JBT. Sveriges lantbruksuniversitet. Lund.
- Bosma, B. & Ellen, H., 2005. Fikse kostenreductie luchtwasser door beperken capaciteit. V-focus, AgriMedia BV, box 42, 6700 AA Wageningen, the Netherlands, pp 42-43.
- Botermans, J., Gustafsson, G., Jeppsson, K-H., Brown, N. & Rodhe, L. 2010. Measures to reduce ammonia emissions in pig production - Review. Report 2010:12, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, Alnarp.
- CLRTAP, 1999. The Gothenburg protocol.
- Gustafsson, G. & Mårtensson, L. 1988. Gasreducerande åtgärder i svinstallar. Rapport 57, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Lund.
- Jeppsson, K-H. 2011. Greenhouse gas emissions from pig housing. In: Emissionen der Tierhaltung. Kloster Banz, Bad Staffelstein, 6-8 december 2011. KTBL-Schrift nr. 491, pp. 178-191.
- Jongbloed, A.W, Aarnink, A.J.A. & van der Peet-Schwering. 2007. Nutritional options to reduce ammonia emission from excreta of pigs. in: Ammonia emissions in agriculture. Edited by Monteny, G-J & Hartung, E. Wageningen Academic Publishers, 69-71.
- Melse, R. W. & Ogink, N. W. M. 2005. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. Transactions of the ASAE 48, 6: 2303-2313.
- Monteny, G-J., Hartung, E. 2007. Ammonia emissions in agriculture. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Myczko, R., Jugowar, J.L. & Myczko, A. 2007. The reduction in ammonia emission by cooling the surface of liquid manure in slurry chanel. in: Ammonia emissions in agriculture. Edited by Monteny, G-J & Hartung, E. Wageningen Academic Publishers, 153-154.
- Scanairclean, 2007. Webservice: <http://www.scan-airclean.dk/>
- SCB, 2005. Statistiska centralbyrån.
- van Gastel, J.P.B.F, Verdoes, N. & Beurskens-Voermans, M.P. 1997. Euralclar slurry flushing and slurry treatment system. Research reports 1997, P5.5. Rosmalen, the Netherlands, 20-21.
- van Wagenberg & Hoofs, A. 2000. Monitoring van het energieverbruik in vleesvarkensstallen bij toepassing van frequentieregelaars op ventilatoren. Rapport 240, Praktijkonderzoek varkens, Sterksel, the Netherlands, 1-23.
- van Wagenberg, V. & Vermeij, I. 2001. The use of a central extraction ventilation system for pig facilities, energy savings and economic consequences. Paper 01-4050 ASAE meeting presentation, 1-10.
- van Wagenberg, V. 2002. Energiebesparing en duurzame energie. Praktijkonderzoek No. 1: 16-17. Praktijkonderzoek veehouderij Lelystad.