

Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde

MEDDELELSE NR. 1105

Ved gyllekøling i to slagtesvinestalde med i gennemsnit 27 Watt pr. m² gyllekumme blev emissionen af ammoniak reduceret med i gennemsnit 19 pct. og lugt med 20 pct. Gyllegardin i kombination med gyllekøling gav ikke yderligere effekt på ammoniak og lugt.

INSTITUTION: SEGES SVINEPRODUKTION, DEN RULLENDE AFPRØVNING

FORFATTER: MICHAEL HOLM

KASPER BALSLEV SØRENSEN

MAI BRITT FRIIS NIELSEN

UDGIVET: 1. JUNI 2017

Dyregruppe: Slagtesvin

Fagområde: Miljø

Nøgleord: Slagtesvinestalde, gyllekøling, ammoniak, lugt

Sammendrag

Gyllekøling havde en statistisk sikker reducerende effekt på ammoniak- og lugtemissionen fra to slagtesvinestalde. Ammoniakemissionen blev reduceret med 19 pct. i besætning A og med 20 pct. i besætning B, mens lugtemissionen blev reduceret med henholdsvis 21 pct. og 20 pct. fra de to stalde.

Ammoniakemissionen blev målt over henholdsvis 165 dage i besætning A og 105 dage i besætning B, og måledagene var fordelt over henholdsvis 4 hold grise (12 måneder) og 5 hold grise (15 måneder). Kølingsniveauet ved målingerne af ammoniakemissionen var i gennemsnit 26 W/m² gyllekumme i besætning A og 28 W/m² gyllekumme i besætning B. Der blev udtaget lugtprøver på 18 måledage i besætning A og 12 måledage i besætning B. På dagene med lugtprøver var kølingsniveauet i gennemsnit 26 W/m² i besætning A og 27 W/m² gyllekumme i besætning B.

Formålet med afprøvningen var primært at eftervise den reduktion af ammoniakemissionen, der for nuværende beregnes i forbindelse med miljøgodkendelser, således at gyllekøling i stalde med vakuum rørudslusning kan blive endeligt optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste. Den nuværende beregning jf. teknologilisten er:

$$\text{Reduktion (\%)} = -0,004x^2 + x, \text{ hvor } x = \text{køleeffekten, W/m}^2,$$

Jævnfør ovenstående formel ville man således opnå en reduceret ammoniakemission på henholdsvis 23 pct. i besætning A og 25 pct. i besætning B ved de to kølingsniveauer. De målte reduktioner i besætning A og B var altså lavere end den teoretisk udregnede reduktion via ovenstående formel. Dog skal det tages i betragtning, at afprøvningen i besætning A blev udført i fire slagtesvinesektioner med 25 pct. fast gulv i stierne, og kølingen havde derved et mindre gylleareal at køle på, hvilket sandsynligvis har påvirket resultatet fra besætning A. Korrigeret for dette vil resultatet fra besætning A ligge 10 pct. højere, svarende til en sænkning af ammoniakemissionen med 21 pct.

I besætning A blev afprøvningen foretaget i fire identiske sektioner. Der blev opsat gyllegardiner med ca. 2 meters afstand i to ud af de fire sektioner, således at ammoniakmålingerne kunne udføres som et 2 x 2 faktor forsøg, dvs. $\pm$ køling og $\pm$ gyllegardin, mens lugtmålingerne kun blev udtaget i tre af sektionerne. Det var henholdsvis: uden køling og uden gyllegardin; med køling og uden gyllegardin; samt med køling og med gyllegardin. Der blev ikke fundet effekt af gyllegardin, hverken i forbindelse med måling af ammoniakemissionen, eller ved måling af lugtemissionen. Afprøvningen i besætning B blev foretaget i to identiske sektioner, og her blev der kun testet med eller uden køling.

Begge stalde var med vakuumudslusning af gyllen, og der var i gennemsnit 19 cm gylle i besætning A og 15 cm gylle i besætning B i gyllekummerne under måleperioderne for ammoniak i de to stalde, mens der var henholdsvis 19 cm og 18 cm gylle på lugtprøvedagene. Gyllen blev kølet via køleslanger indstøbt i gyllekummernes betonbund, hvilket er den metode der typisk anvendes i danske stalde. Temperaturen i gylleoverfladen blev sænket med henholdsvis 2,8 °C i besætning A og 2,4 °C i besætning B under måleperioderne for ammoniak, mens den blev sænket med 4,5 °C ved bunden af gyllekummen og 2,4 °C ved overfladen i begge stalde på lugtprøvedagene.

Baggrund

Flere afprøvninger har vist, at køling af gyllen i stalde reducerer emissionen af ammoniak [1], [2]. Gyllekøling tilkoblet en varmepumpe er derfor en miljøteknologi, der kan reducere ammoniak fra staldrum og samtidigt fremskaffe varme til ejendommen. Denne varme kan anvendes i de staldrum, hvor der kan være et behov for opvarmning, samt til evt. anden opvarmning på ejendommen. Dette gør samlet, at det kan være interessant at overveje at installere gyllekøling i forbindelse med en ombygning eller et nybyggeri.

I forbindelse med køling af gylle er flere systemer blevet afprøvet. I 1990'erne blev der i Danmark gennemført forsøg, hvor der blev placeret køleslanger på bunden af gyllekummen i en slagtesvinestald med fuldspaltegulv [2]. Her blev det imidlertid også vist, at gyllens temperatur steg op igennem gyllen, hvilket forventeligt ville reducere gyllekølingens effekt på ammoniakemissionen, som i denne undersøgelse blev fundet til 10 % ved en køling på 10 W/m². I Holland køles gyllen i overfladen ved at anvende kølelameller, der flyder i overfladen af gyllen, og i Holland er gyllekøling derfor godkendt til en højere effekt [3]. Den godkendte reduktion i Holland er dog gyllekøling i kombination med minimum 40 % fast gulv i stien samt støbejernsspalter i gødeområdet, og beregnes til en samlet reduktion på 70 pct. af ammoniakemissionen. I Sverige blev der afprøvet gyllekøling med nedstøbte køleslanger, og det blev her vist, at metoden kunne nedkøle kummebunden og dermed gyllen [1]. I Danmark er denne metode nu den mest udbredte, da det sikrer en god funktion af gyllesystemet.

På baggrund af ovennævnte undersøgelser blev gyllekøling optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste [4]. Den nuværende formel på Teknologilisten for reduktionen af ammoniakemission i stalde med vakuum-rørudslusning er fastsat til:

$$\text{Reduktion (\%)} = -0,004x^2 + x, \text{ hvor } x = \text{køleeffekten, W/m}^2 \text{ [4]}$$

Efterfølgende er gyllekøling blevet testet ved høj kølingseffekt i klimakamrene på Forsøgsstation Grønhøj [5], hvor effekten viste sig at svare til den beregnede effekt fra ovenstående formel. Undersøgelsen var dog med køleslangerne placeret på bunden af gyllekummen. Miljøstyrelsens ekspertudvalg vurderede, at undersøgelsen var et fint supplement til de tidligere undersøgelser, men for at bevare gyllekøling på teknologilisten, ønskede Miljøstyrelsens ekspertudvalg en test fra en almindelig produktionsbesætning, hvor køleslangerne er nedstøbt i kanalbunden i byggefasen. Der blev derfor lavet en afprøvning [6] med tre kølingsniveauer, henholdsvis 14, 24 og 34 W/m². Afprøvningen viste dog en begrænset reduktion ved de to højeste kølingsniveauer, hvilket tilskrives, at der blev vekslet imellem kølingsniveauerne hver 14. dag i sektionerne. Det blev derfor besluttet at teste kølingen ved et niveau på 25-30 W/m² i endnu to stalde.

Ammoniakemissionen afhænger især af overfladetemperaturen på gyllen, som ved gyllekøling er højere end gyllens temperatur ved betonbunden, hvori køleslangerne er indstøbt. Den højere

overfladetemperatur skyldes, dels den nye tilførsel af urin og fæces, dels ved varmeudveksling mellem luft og gylle, når staldluften bevæger sig hen over gylleoverfladen. Derved modvirkes nedkølingen af gyllens overflade [2], [6]. Det er sandsynligt, at gyllegardiner vil bremse luftstrømningerne over gylle, hvorved der opnås en mere stillestående luft over gyllen og der derfor overføres mindre varmeenergi fra staldluften til gyllen. En del af formålet var derfor at undersøge om gyllegardiner kunne øge effekten af gyllekølingen på ammoniakemissionen.

Når gyllen nedkøles vil der være en mindre mikrobiel omsætning af de organiske stoffer i gyllen, og gyllekøling forventes derfor at kunne reducere dannelsen af lugtstoffer og dermed lugtemissionen fra svinestalde. I en test på Forsøgsstation Grønhøj blev det således fundet, at der ved gyllekøling med i gennemsnit 55 W/m² var en reduktion af lugtemissionen på 35 % [5].

Formålet med denne afprøvning var, at eftervise effekten af gyllekøling på ammoniakemissionen med henblik på yderligere dokumentation for endelig optagelse på Miljøstyrelsens Teknologiliste. Det var endvidere formålet at undersøge, om gyllegardiner kunne øge effekten af gyllekøling på ammoniak- og lugtemissionen, samt at undersøge gyllekølingens effekt på lugtemissionen fra stalde.

Materiale og metode

Afprøvningerne blev gennemført i to besætninger, herefter benævnt besætning A og besætning B.

Staldindretning og produktion

Besætning A

Afprøvningen blev gennemført i fire ens staldsektioner i en nyere slagtesvinestald med i alt seks staldsektioner og to sygesektioner. Slagtesvinestalden blev drevet i ugedrift sammen med nogle ældre staldsektioner på ejendommen, således at der var 13 uger imellem hver indsættelse i sektionerne. De fire staldsektioner, der blev anvendt til afprøvningen var placeret efter hinanden i midten af stalden, dvs. gavlsektionerne var ikke med i afprøvningen. Grisene blev indsat med en uges mellemrum i de fire sektioner. Sektionerne var 11,7 x 19,2 m og loftshøjden 2,6 m. Sektionerne bestod af 16 stier og der blev indsat 16 – 17 grise pr. sti. Stierne målte 2,40 m x 5,35 m, og der var 1,35 m fast gulv, 1,20 m drænet gulv og 2,80 m spaltegulv. Stierne var med betonkrybber til restriktiv vådfoder. Under gangarealet var der ligeledes gyllekumme dækket af to lukkede spaltegulvselementer. Det samlede gyllekummeareal var 164 m² pr. sektion ud af sektionens bruttoareal på 225 m². Afprøvningen forløb over et år i perioden april 2015 til april 2016 med i alt 4 hold igennem.



Figur 1. Billede fra en sektion i besætning A.

I stalden var køleslangerne indstøbt i gyllekummernes betonbund. Det var Ø25 mm PEL-slanger (polyethylen), som var nedstøbt i to kredse pr. sektion. De lå på tværs af stiretningen og var placeret med 40 cm afstand. Langs staldens facade var placeret brønde, hvor kredsene med køleslanger var tilsluttet et Ø50 mm hovedrør, som var ført til varmepumpen. I brøndene i overgangen mellem hovedrør og køleslangerne blev for hvert kredsløb monteret en flowregulator samt en energimåler (Optuna H) fra firmaet Brunata A/S. Energimålerne blev logget hver 5. minut og kunne følges online på internettet. Der blev endvidere monteret en energimåler på hovedrøret. Varmepumpen var udlånt af firmaet Klimadan og havde en kapacitet på 12-13 kW på kølesiden og 16-17 kW på varmesiden.

Der blev til afprøvningen opsat gyllegardiner i 2 af de 4 sektioner. Der blev opsat to gyllegardiner pr. sti. Det første blev opsat 70 cm fra stiskillerummet til inspektionsgangen og det næste 170 cm før det faste gulv. Gyllekummerne var 60 cm dybe og gyllegardinerne var 55 cm høje og blev hængt således, at overkanten var i samme højde som underkanten af spaltegulvet. Gyllegardinerne hang således 5 cm over gyllekummens bund.

Der var kombi-diffus ventilation i staldene med supplerende luftindtag via en loftventil over hver sti, som blev åbnet, når udetemperaturen oversteg 20 °C. Udsugningen foregik via Ø600 ventilationspåstik fra sektionerne til en fælles kanal på loftet, hvorfra der var fælles udsugning gennem forhøjede afkast. Ventilationen i sektionerne blev styret via spjæld i ventilationspåstikkene til den fælles kanal. Der var fire ventilationspåstik pr. sektion, hvor den første var styret med egen spjældmotor, mens de tre andre var styret med fælles spjældmotor. Ventilationspåstikket med selvstændig spjældmotor ventilerer op til de første 25 % af maksimum ventilationen, hvorefter de tre øvrige blev koblet ind samtidigt.

Der var mulighed for tilsætning af gulvvarme i det faste gulv samt tilsætning af varme via Spiraflex-rør på væggen over det faste gulv. Der blev konsekvent anvendt gulvvarme de første to uger efter

indsættelse af grise. Varmetilsætningen blev anvendt efter behov ved indsættelse af grise.

Varmeforbruget i staldene blev målt med energimålere fra Kamstrup.

Afprøvningen blev udført som et to-faktor forsøg med +/- køling og +/- gardin, se tabel 1. Når der blev kølet i sektionerne, blev det tilstræbt at køle med ca. 25 W/m² gyllekumme, svarende til 4,0 kW/sektion. Den overskydende køling blev brugt i andre staldsektioner, og overskydende varme, der ikke kunne anvendes på ejendommen, blev forbrugt i en udvendig varmeblæser, således at varmepumpen kunne køre konstant. Der blev opsat elmåler til at registrere forbruget af el til varmepumpen samt energimåler fra Brunata A/S på hovedrøret til kølingen samt i en periode til varmtvandsbeholderen for at vurdere varmepumpens energieffektivitet.

Tabel 1. Oversigt over køleperioder i de fire sektioner i besætning A.

Sektion	1	2	3	4
Gyllegardin	+	–	–	+
Runde 1	+	–	+	–
Runde 2	–	+	–	+
Runde 3	–	+	–	+
Runde 4	+	–	+	–

Der blev indsat 17 grise pr. sti i tre produktionsrunder og 16 grise pr. sti i en produktionsrunde. I gennemsnit var indsættelsesvægten 28 kg. Grisene blev fodret fire gange om dagen med hjemmeblandet vådfoder, som var en enhedsblanding bestående af vand, hvede, byg, sojaskrå og vitaminer/mineraler. Foderet var optimeret til 145 g råprotein pr. FEsv.

Besætning B

Afprøvningen blev gennemført i en slagtesvinestald, som blev anvendt til polteproduktion. Stalden bestod af 6 sektioner á 26,0 meter x 10,7 meter, hver med 20 stier med 14 polte pr. sti (16 stipladser ved slagtesvin), og 4 sygestier pr. sektion. Stierne var indrettet med 50 % drænet gulv i lejeområdet og 50 % spaltegulv i gødearealet. Til afprøvningen blev anvendt sektion 4 og 5, således at gavlsektionerne ikke var med i afprøvningen. Grisene blev indsat i de to sektioner med en uges mellemrum. Afprøvningen forløb over 15 måneder i perioden marts 2015 til juni 2016 med i alt 5 hold igennem.

I stalden var indstøbt køleslanger i gyllekummernes betonbund. Det var Ø25 mm PEL-slanger (polyethylen), som var nedstøbt i tre kredse pr. sektion. De lå på tværs af stiretningen og var placeret med 40 cm afstand. Langs staldens facade var placeret brønde, hvor kredsene med køleslanger var tilsluttet et Ø50 mm hovedrør, som var ført til varmepumpen. Der var opsat en varmepumpe fra Klimadan i stalden, der ydede ca. 13 kW på kølesiden og 18-19 kW på varmesiden. Gyllekummen i en stald var 278 m² og det blev tilstræbt at køle med 7,0 kW i sektionen der blev testet, svarende til 25 W/m². Den resterende køling blev brugt i andre staldsektioner (sektion 1, 2 og 3), således at

varmepumpen kunne køre konstant. Der blev opsat en Kamstrup energimåler på hovedledningen umiddelbart før brønden til sektion 4. Der vil så være en lille optagelse/afgivelse af varme fra ca. 40 m fødeledning i jorden (til brøndene ved sektioner 4, 5 og 6) som energimåleren overestimerer/underestimerer kølingseffekten med. På grund af temperaturen i hovedledningen skønnes denne fejl at være beskeden, da fremløb (i gennemsnit 7,4 °C) var under jordtemperatur, mens returløb (i gennemsnit 11,6 °C) var over jordtemperaturen. Jordtemperaturen forventes at ligge på 8-10 °C.

Der var mulighed for tilsætning af varme til stalddrummet via Spiraflex-rør på væggen over det drænedes gulv. Varmetilsætningen blev anvendt efter behov ved indsættelse af grise.

Stalden var med diffus ventilation og der var 3 udsugninger pr. sektion. Den midterste ventilator var trinløs, mens de to andre var on/off.



Figur 2. Billede fra en sektion i besætning B.

I afprøvningen blev der kølet skiftevis i en af sektionerne 4 eller 5, mens den anden blev brugt som kontrol. Det blev gjort i den første halvdel af vækstperioden, hvorefter der blev byttet om på kølingerne i sektionerne i anden halvdel af vækstperioden, dvs. når grisene vejede 60 - 65 kg, se tabel 2.

Tabel 2. Oversigt over køleperioder i de to sektioner i besætning B.

Sektion		1	2
Runde 1	1. halvdel	–	+
	2. halvdel	+	–

Runde 2	1. halvdel	+	–
	2. halvdel	–	+
Runde 3	1. halvdel	–	+
	2. halvdel	+	–
Runde 4	1. halvdel	+	–
	2. halvdel	–	+
Runde 5	1. halvdel	–	+
	2. halvdel	+	–

Når der blev kølet i sektionerne, blev det tilstræbt at køle med ca. 25 W/m² gyllekumme. Der blev indsat 14 grise pr. sti og den gennemsnitlige indsættelsesvægt var 31 kg. Der blev anvendt ad libitum tørfodring med hjemmeblandet foder bestående af hvede, byg og tilskudsfoder fremstillet af sojaskrå og solsikkekrå samt vitaminer/mineraler. Foderets indhold af råprotein var optimeret til 145 g råprotein pr. FESv.

Registreringer

De primære registreringsparametre var kølingsniveau, koncentration af ammoniak og lugt, ventilationsydelse, temperatur samt antallet af grise i sektionerne og grisenes vægt. Grisenes vægt blev beregnet ud fra indsættelsesvægten og opholdstiden i stalden. De sekundære måleparametre var udetemperatur, koncentrationen af kuldioxid og metan, gylledybde, gylletemperatur samt i besætning A svineri på det faste gulv.

Ammoniak og kuldioxid

Koncentrationen af ammoniak og kuldioxid i staldluften blev målt kontinuerligt med Innova udstyr fra LumaSense Technologies A/S i Ballerup. I besætning A blev koncentrationerne målt under to af ventilationspåstikkene i hver af de fire sektioner. Det var under ventilationspåstikket, der ventilerede de første 25 pct. og under det midterste af de tre andre påstik. I besætning B blev koncentrationerne ligeledes målt under to afkast, dels under det trinløse afkast, og dels under det on/off afkast, der åbnede først. Koncentrationerne i det andet on/off afkast blev estimeret som samme koncentration som det første on/off afkast.

Luften blev, via PTFE-slanger (Teflonslanger; Ø6 mm/4 mm indre diameter) fra de to målepunkter i hver stald samt udeluft fra facaden under tagudhængen, ledt til Innova-udstyret, der var placeret i staldens teknikrum i besætning A og til en målevogn placeret langs staldens facade i besætning B. Et kontinuerligt flow i alle slangerne (min. 5 liter min⁻¹) blev sikret med pumper med PTFE-membran (Capex L2, Charles Austen Pumps) og monteret umiddelbart før Innova-udstyret. Overskydende luft blev ledt bort via et T-stykke mellem pumpen og Innova-udstyret. Slangerne var forsynet med PTFE støvfiltre (0,2 µm) ved selve målepunktet samt et 0,45 µm PTFE filter mellem pumper og Innova-udstyr. Filtrene blev udskiftet ved opstart af et nyt hold grise og i øvrigt efter behov, dvs. hvis ydelsen på pumperne var under 5 liter pr. min.

Selve målingerne blev foretaget med en Innova 1412 monitor (infrarød spektroskopi med fotoakustisk detektion, PAD) ved 941 cm^{-1} for ammoniak (filter UA0976 og UA0973). Data blev logget med software type 7860, der automatisk kompenserede for evt. interferens fra vanddamp (filter SB0527), kuldioxid (filter UA0983), metan (filter UA0969) samt lattergas (filter UA 0985). Luft fra målepunkterne blev ledt til monitoren via en Innova 1309 multiport sampler, skylletid ved hver måling var hhv. 10 sekunder for slanger og 40 sekunder for målekammeret og integrationstiden var 10 sekunder for ammoniak og 5 sekunder for de øvrige gasser. Der blev gennemført fem målinger på hver kanal, hvoraf kun den sidste blev anvendt i dataanalysen inden der blev skiftet til næste kanal. Det anvendte set-up betød, at der blev målt på hver kanal ca. hver 75. minut i besætning A og hver 40. minut i besætning B.

Hver 14. dag blev koncentrationen af ammoniak og kuldioxid desuden målt i de samme målepunkter med sporgasrør (Kitagawa 105 SD og 126 SF) som kontrolmåling af INNOVA.

Lugtmålinger

I besætning A blev der udtaget lugtprøver fra tre staldsektioner samtidigt. Det var i kontrolgruppen (dvs. uden køling og uden gyllegardin), i forsøgsgruppen med køling og uden gyllegardin samt i forsøgsgruppen med køling og med gyllegardin. Der blev udtaget lugtprøver på i alt 18 måledage over et år, og der blev udtaget tre lugtprøver pr. sektion pr. måledag, kl. 11.30, 12.30 og 13.30.

Lugtprøverne blev opsamlet ved at føre en ny PFTE-slange (teflon) gennem et flexrør fra loftrummet og ind under ventilationspåstikket i staldrummet (0-25 %) i de tre sektioner lugtemissionen skulle måles. Dvs. i sektion 2 og 3 samt i den sektion (enten 1 eller 4), hvor der i runden blev anvendt gyllekøling sammen med gyllegardin, se tabel 1.

I besætning B blev der udtaget lugtprøver i kontrolgruppen samt i forsøgsgruppen med køling. Der blev udtaget lugtprøver på i alt 12 måledage over et år, og der blev udtaget tre lugtprøver pr. måledag, kl. 11.00, kl. 12.00 og kl. 13.00. Lugtprøverne blev opsamlet ved at der på loftrummet blev ført en teflonslange ind midt i ventilationsafkastet over spjæld og motor i det trinkløse afkast i hver af de to staldsektioner.

Teflonslangen blev forbundet med en 30 liter Nalophan®-pose, som var placeret i en tæt lukket kasse. Til kassen var der koblet en pumpe, som dannede vakuum i kassen, hvorved posen blev fyldt med luft fra ventilationsafkastet. Inden prøverne blev udtaget, blev poserne konditioneret, hvor poserne blev fyldt med staldluft og tømt igen før den endelige opsamling af prøver. Opsamlingsperioden var 30 minutter med et flow på 0,9 l pr. min. Kasserne med pumper blev placeret på loftet, så grisene ikke blev forstyrret under prøveudtagningen.

Luftprøverne blev udtaget efter den europæiske CEN standard [8]. Prøverne blev efterfølgende sendt til lugtlaboratoriet ved DMRI, Teknologisk Institut i Taastrup, hvor der dagen efter blev foretaget en olfaktometrisk bestemmelse af lugtkoncentrationerne med olfaktometeret Ecoma T08 dagen efter i henhold til samme standard [8].

Svovlbrinte

Målingen af svovlbrintekonzentrationen blev foretaget på de samme dage og samme tidspunkter, som der blev udtaget lugtprøver. Prøverne blev udtaget på loftrummet i ventilationspåstikket (0-25 %) imellem spjæld og fælleskanalen i besætning A, og på loftrummet i det trinkløse ventilationsafkast over spjæld og motor i besætning B. Hver måling var en middelværdi af tre på hinanden følgende målinger. Der blev ved hver måling foretaget fire målinger, men den første blev konsekvent kasseret. Der blev anvendt svovlbrintemåler af mærket Jerome 631 XE fra Arizona Instruments.

Temperaturer og luftmængder

Gennem hele afprøvningsperioden blev ventilationsydelsen i besætning A målt med målevinger af typen Fancor AT(M) unit 63 på ventilationspåstikkene. Ventilationsydelsen i besætning B blev målt med Dynamic Air fra SKOV A/S, som blev kontrolmålt med en kontrolleret Fancor målevinge. Hvert 5. minut blev ventilationsydelsen elektronisk logget via PC-log 8.0 fra VengSystem. Ude- og staldtemperaturen blev ligeledes registreret elektronisk hvert 5. minut med VE10 Temperatursensorer fra VengSystem. Herudover blev der hver 14. dag foretaget en måling af temperatur og relativ luftfugtighed med et multimeter af typen TSI VelociCalc 9555 i samme målepunkt som temperaturfølerne i stalddrummet.

Gylletemperatur

I besætning A blev temperaturen i gyllen målt midt under spaltegulvsarealet i den første sti til venstre indenfor sektiondøren i hver af de fire staldsektioner, mens den blev målt i to stier overfor hinanden midt i staldsektionerne i besætning B. Temperaturen blev målt med VE10 Temperatursensorer fra VengSystem. Temperaturfølerne, som var indstøbt i et rustfrit rør, var placeret i gylleoverfladen samt i højderne 0 cm og 10 cm over gyllekummens bund. Gylletemperaturerne blev logget hvert 5. minut via VengSystem. Gylletemperaturen blev kontrolmålt hver 14. dag med en temperaturprobe til TSI VelociCalc 9555.

Gylledybde, -udslusning og -prøver

Gylledybden blev registreret på besøgsdagene, som kunne være ugentlig eller hver 14. dag. I besætning A skulle gyllen leveres til biogas og blev derfor udsluset på de samme datoer i de fire sektioner. I besætning B blev gyllen udsluset i begge sektioner samtidigt, således at gyllekummen blev tømt 1 uge før måleperioderne samt i forbindelse med skift af køling i de to sektioner. Der blev udtaget en gylleprøve på nogle af lugtprøvedagene. Prøven blev suget op fra kummerne under inspektionsgangen og i gødeområdet i hver sektion. Gylleprøverne blev frosset ned ved -18 °C, og de

frosne prøver blev samlet sendt til analyse hos Eurofins Miljø i Vejen ved afprøvningens afslutning. Prøverne blev her analyseret for indhold af N, TAN, P, K, S, C, tørstof og aske samt pH.

Antal grise og vægt

Ved hvert teknikerbesøg, som var ca. hver uge i måleperioden, blev antallet af grise i sektionerne registreret. Grisenes vægt ved indsættelse blev vejjet i besætning A, mens den blev vurderet i besætning B. Vægten i måleperioderne blev herefter udregnet ud fra opholdstiden i sektionen og den gennemsnitlige tilvækst i besætningen.

Svineri

Andelen af svineri på det faste gulv blev registreret i besætning A ved hvert teknikerbesøg. Andelen af svineri blev registreret som henholdsvis 0, 0-25, 25-50, 50-75 og 75-100 pct. svineri på det faste gulv i stien på besøgsdagen. I besætning B var der drænet gulv i lejeområdet og der blev derfor ikke registreret svineri.

Statistik

Ammoniak- og svovlbrinteemissionen blev beregnet ud fra de målte koncentrationer, ventilationsydelsen og antallet af grise i sektionerne. Lugtemissionerne blev beregnet ud fra lugtkoncentrationen, ventilationsydelsen og grisenes vægt. Den beregnede lugtemission blev log transformeret inden den indgik i den statistiske analyse.

Målingerne af ammoniakemissionen blev samlet til døgnmidler og analyseret i en variansanalyse med proceduren MIXED i statistikprogrammet SAS med kovariaterne udetemperatur samt grisenes vægt, og et tilfældigt led af typen AR(1). I besætning A blev ammoniakemissionen endvidere analyseret for de to faktorer, +/- køling og +/- gyllegardin.

Punktmålingerne af lugt- og svovlbrinteemissionen blev ligeledes analyseret i en variansanalyse med proceduren MIXED i statistikprogrammet SAS under hensyn til gentagne målinger pr. dag og med kovariaterne udetemperatur samt grisenes vægt.

Formler for beregning af emissioner kan ses i appendiks 1.

Resultater og diskussion

Ammoniak

Nedenfor i tabel 3 er opgjort gennemsnitstallene for registreringerne af antal grise, temperaturen i stalden, vægten af grisene, ventilationsydelsen, den målte CO₂ koncentration samt kølingsniveauet angivet i perioderne med måling af ammoniak i henholdsvis besætning A og besætning B.

Afprøvningen i besætning A forløb fra maj 2015 til maj 2016 med i alt fire hold slagtesvin, og der blev

målt ammoniak med måleapparatet Innova i sammenlagt 165 dage. Afprøvningen i besætning B forløb fra marts 2015 til juni 2016 med i alt fem hold sogrise, og der blev målt ammoniak i sammenlagt 105 dage.

Tabel 3. Gennemsnit af registreringer fra de fire produktionsrunder i besætning A for 165 måledage og besætning B for 105 måledage med Innova. Minimum og maksimum er angivet i parentes.

	Besætning A				Besætning B	
Køling	Kontrol		Køling		Kontrol	Køling
Gyllegardin	+	-	+	-		
Antal grise, stk.	265 (225-289)	268 (250-291)	267 (242-297)	268 (253-294)	262 (226-277)	265 (236-278)
Vægt, kg	70,8 (33,7-108,6)	68,5 (46,3-93,1)	68,8 (40,0-96,0)	69,1 (40,0-99,4)	65,1 (50,0-90,0)	64,6 (45,0-85,0)
Temperatur i stalden, °C	18,0 (14,2-23,9)	17,9 (14,9-23,8)	17,4 (14,8-23,1)	18,0 (15,7-23,5)	17,9 (15,5-21,1)	18,1 (15,3-21,2)
Ventilationsydelse, m ³ / time	14.700 (2.660-27.300)	15.800 (3.200-27.900)	14.800 (2.940-26.600)	14.900 (2.650-28.100)	15.400 (5.570-25.800)	13.800 (6.030-26.600)
Ventilationsydelse, m ³ / gris/ time	56 (10-109)	60 (12-112)	55 (12-102)	56 (10-109)	59 (21-108)	52 (23-107)
CO ₂ , ppm	1.550 (790-3.000)	1.560 (910-3.300)	1.490 (970-3.000)	1.640 (860-3.100)	1.340 (760-2.100)	1.400 (780-2.300)
Køling, W/m ²	0	0	25,9 (23,9-28,1)	26,2 (25,0-30,2)	0	27,9 (18,9-31,0)
Udetemperatur, °C	10,2 (-2,6-21,4)				8,3 (1,5-16,7)	

Kølingsniveauet på de 165 lugtmåledage i besætning A lå i gennemsnit på 26 W/m², mens det på de 105 lugtmåledage i besætning B lå på i gennemsnit 28 W/m².

Gyllens overfladetemperatur

Da det er gyllens overfladetemperatur der har betydning for ammoniakemissionen fra gyllen, blev det i besætning A undersøgt hvordan gyllekøling og gyllegardinet indvirkede på gylleoverfladetemperaturen. Resultaterne kan ses i tabel 4. De registrerede temperaturer er for de samme dage som der blev målt ammoniakkoncentration med INNOVA.

Tabel 4. Den gennemsnitlige overfladetemperatur i gylle og gylledybde for de 165 måledage i besætning A. 95 % konfidensinterval i parentes. For gylledybde er angivet minimum og maksimum i parentes.

Køling	Kontrol		26 W/m ²		Effekt af ¹⁾ :	
Gyllegardin	+	-	+	-	Køling °C	Gyllegardin °C
Gyllens overflade-	20,0	19,2	17,0	16,6	-2,8***	0,6 ^{NS}

temperatur, °C	(19,0–20,9)	(18,3–20,2)	(16,1–17,9)	(15,7–17,6)		
Gylledybde, cm	17 (10-28)	19 (12-35)	20 (13-32)	20 (11-36)		

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: *** (p<0,001). Ikke statistisk sikre effekter er angivet med NS (p>0,05)

Resultaterne viser, at gyllekøling havde en signifikant effekt på gyllens overfladetemperatur. I de sektioner der blev kølet var temperaturen i gyllen i gennemsnit 2,8 °C lavere end i de sektioner, der ikke blev kølet. Effekten svarede til et fald på 1,1 °C pr. 10 W/m². Gylledybden i kontrolgruppen med gyllegardin var mindre end de øvrige gruppers gylledybde. Det vurderes at være uden betydning for resultatet på ammoniakemissionen, da gyllens temperatur i kontrolstaldene er ens op igennem gyllen.

Der var ikke signifikant effekt af gyllegardinerne på gyllens overfladetemperatur. Hypotesen med, at gyllegardinet kunne bremse luftstrømmene over gyllen, for på den måde at holde gyllen mere afkølet og dermed forstærke effekten af gyllekølingen, kunne altså ikke bekræftes.

I tabel 5 ses overfladetemperaturen, der blev målt i besætning B. Der er kun temperaturer fra 56 måledage grundet tekniske problemer med temperaturfølerne i en del af måleperioden.

Tabel 5. Den gennemsnitlige overfladetemperatur i gyllen og gylledybde for de 56 måledage i besætning B. 95 % konfidensinterval i parentes. For gylledybde er angivet minimum og maksimum i parentes.

Køling	Kontrol	28 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾ °C
Gyllens overflade-temperatur, °C	17,4 (17,0-17,8)	15,0 (13,7-14,3)	-2,4***
Gylledybde, cm	14 (5-24)	15 (5-23)	

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: *** (p<0,001).

Resultaterne viste, at gyllekøling også havde en signifikant effekt på gyllens overfladetemperatur i besætning B. Når der blev kølet i sektionen var temperaturen i gyllen i gennemsnit 2,4 °C lavere end når der ikke blev kølet i sektionen. Denne effekt svarede til et fald på 0,9 °C pr. 10 W/m². Der var ikke forskel på gylledybden i de to grupper.

Temperaturen i gyllen blev generelt registreret lavere i besætning B end i besætning A (grupperne uden gyllegardin). I sektionerne uden køling var overfladetemperaturen 1,8 °C lavere i besætning B, mens den var 1,6 °C lavere når der blev kølet. Gylletemperaturen blev kontrolmålt ca. hver 14. dag, og kontrollen blev foretaget med samme TSI-måler i de to besætninger. De registrerede temperaturer med temperaturfølerne er derefter korrigeret efter denne kontrolmåling. Af tabel 2 ses, at den gennemsnitlige staldtemperatur i staldene var ens i de to besætninger, og der er derfor ikke umiddelbart fundet nogen forklaring på temperaturforskellen i gyllen imellem de to besætninger.

Ammoniakemissionen

I tabel 6 ses den beregnede middelværdi af ammoniakkoncentration og -emission for besætning A og i appendiks 3 er ammoniakemissionen for enkeltdagene vist.

Tabel 6. De beregnede middelværdier af ammoniakkoncentration og -emission i besætning A for de 165 måledage med Innova. 95 % konfidensinterval i parentes.

Køling	Kontrol		26 W/m ²		Effekt af ¹⁾ : Køling Gyllegardin	
Gyllegardin	+	-	+	-		
Ammoniak-koncentration ² , ppm	5,91 (4,73-7,10)	6,03 (4,84-7,21)	4,90 (3,71-6,08)	5,01 (3,83-6,20)		
Ammoniakemission, g NH ₃ -N/time/gris	0,158 (0,137-0,179)	0,161 (0,140-0,182)	0,129 (0,108-0,150)	0,131 (0,110-0,152)	-19 %*	-2 % ^{NS}

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: * (p<0,05). Ikke statistisk sikre effekter er angivet med: NS (p>0,05).

²⁾ Ammoniakkoncentration er opgjort for det første afkast (0-25%).

Køling med i gennemsnit 26 W/m² gyllekumme reducerede statistisk sikkert ammoniakemissionen fra stalden med 19 pct. i besætning A. Dog betød stiindretningen med 25 pct. fast gulv i besætning A, at der var mindre gyllekumme og dermed mindre køleflade i forhold til en tilsvarende stald med et drænet gulv i lejet. Ifølge beregningen i appendiks 5 vil det betyde, at den målte effekt på ammoniakemissionen forventeligt vil være ca. 10 pct. lavere end den ville være hvis målingen var lavet i en tilsvarende stald med drænet gulv i lejet. Hvis der reguleres for dette betyder det, at gyllekølingen reducerede ammoniakemissionen med 21 pct. i besætning A.

Der blev ikke fundet effekt af gyllegardin på ammoniakemissionen, hverken som enkelt faktor eller i kombination med køling. Det skyldes formentligt, som det fremgår af tabel 4, at gyllegardinerne ingen effekt havde på gylleoverfladens temperatur, hverken når de blev anvendt i kombination med køling eller uden køling.

Ammoniakemissionen blev estimeret til 0,160 g NH₃-N/gris pr. time i besætning A, når der ikke blev kølet svarende til 320 g NH₃-N pr. produceret gris i vægtintervallet 31 – 110 kg og 950 g daglig tilvækst. Det stemte overens med normtallet for ammoniakemissionen, som var på 330 g NH₃-N pr. produceret gris i intervallet 31 – 110 kg [7], fra stalde med 25-50 % fast gulv i stien.

I tabel 7 ses den beregnede middelværdi af ammoniakkoncentrationen og -emissionen for besætning B og i appendiks 3 er ammoniakemissionen for enkeltdagene vist.

Tabel 7. Beregnede middelværdier af ammoniakkoncentration og -emission i besætning B for de 105 måledage med INNOVA. 95 % konfidensinterval i parentes.

Køling	Kontrol	28 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾
Ammoniak-	6,72	6,26	

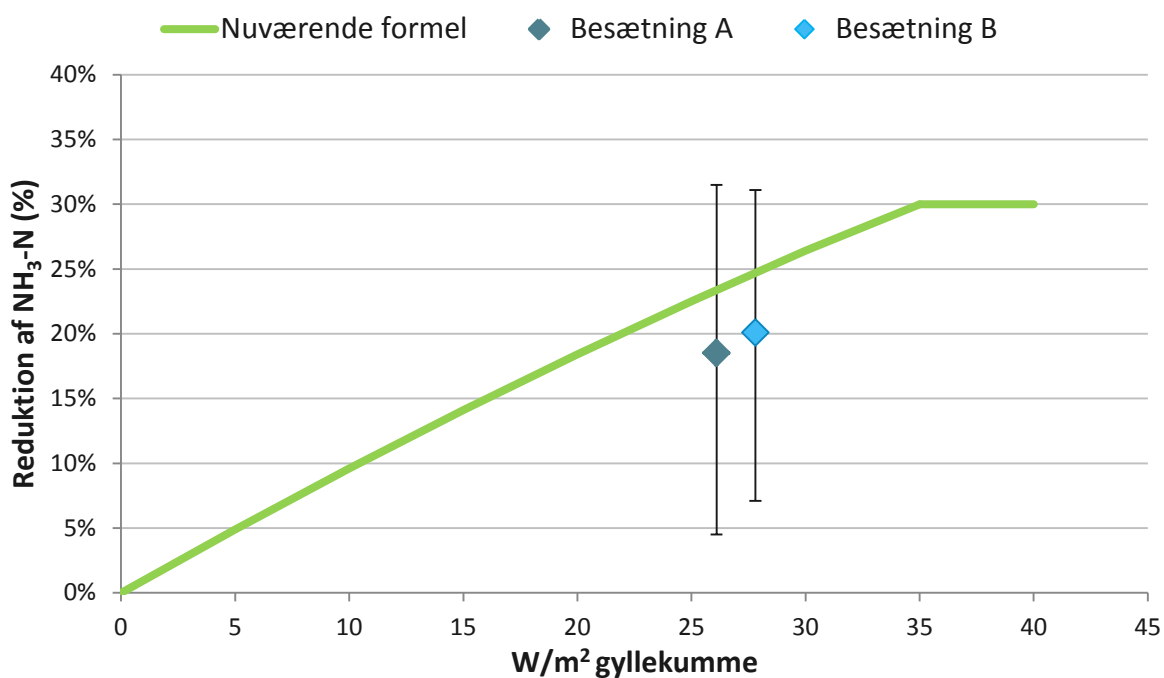
Koncentration ² , ppm	(5,89-7,54)	(5,44-7,08)	
Ammoniakemission, g NH ₃ -N/time/gris	0,219 (0,189-0,254)	0,175 (0,151-0,203)	-20%**

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: ** = $p < 0,01$. ²⁾ Ammoniakkoncentrationen er opgjort for det trinkløse afkast.

Køling med i gennemsnit 28 W/m² gyllekumme reducerede statistisk sikkert ammoniakemissionen fra stalden med 20 pct. i besætning B.

Ammoniakemissionen blev estimeret til 0,220 g NH₃-N/gris pr. time i besætning B, når der ikke blev kølet svarende til 440 g NH₃-N pr. produceret gris i intervallet 31 – 110 kg og 950 g daglig tilvækst. Det var 10 pct. over normtallet for ammoniakemissionen, som var på 400 g NH₃-N pr. produceret gris i intervallet 31 – 110 kg [8] fra stalde med drænet gulv i lejet. Det skyldes sandsynligvis den lavere belægning i stalden, da ammoniakemissionen hovedsageligt afhænger af gylleoverfladen. Der blev indsat 14 grise pr. sti, som dermed havde ca. 0,82 m² sti pr. gris til rådighed, hvor slagtesvin normalt ville have 0,65 - 0,71 m² sti pr. gris til rådighed, hvis der bliver indsat 16 - 17 grise i stierne.

For begge stalde gælder, at den målte reduktion af ammoniakemissionen var lavere end den nuværende beregning fra Miljøstyrelsens Teknologiblod [4], hvor køling med 26 W/m² gyllekumme vil give en beregnet reduceret ammoniakemission på 23 pct., mens køling med 28 W/m² gyllekumme vil give en beregnet reduceret ammoniakemission på 25 pct., se figur 1. Resultatet fra de to besætninger lå altså under den nugældende beregning.



Figur 1. Den nuværende beregningsmetode for reduktion af ammoniakemissionen jf. Miljøstyrelsens Teknologiliste og de målte reduktioner af ammoniakemissionen (med 95 % konfidensintervallet) i besætning A og besætning B.

Lugt

Der blev udtaget lugtprøver på 18 dage i besætning A og 12 dage i besætning B. Nedenfor i tabel 8 er gennemsnitstallene for registreringerne af antal grise, temperaturen i stalden, vægten af grisene, ventilationsydelsen, den målte CO₂ koncentration, samt kølingsniveauet på lugtprøvedagene angivet for besætning A og besætning B. Lugtprøverne i besætning A blev udtaget i perioden maj 2015 til maj 2016 med i alt fire hold slagtesvin. Der blev ikke udtaget lugtprøver fra gruppen "uden køling med gyllegardin". Lugtprøverne i besætning B blev udtaget i perioden november 2015 til september 2016 med i alt fire hold grise. Lugtprøvedagene blev placeret, så der var flest måledage i sommerhalvåret, henholdsvis 9 prøvedage med udetemperatur over 16 °C i besætning A og 8 prøvedage i besætning B.

Tabel 8. Gennemsnit af registreringer i besætning A fra 18 lugtprøvedage og besætning B fra 12 lugtprøvedage. Minimum og maksimum er angivet i parentes.

	Besætning A			Besætning B	
	Kontrol	Køling		Kontrol	Køling
Gyllegardin	-	+	-		
Antal grise, stk.	265 (250-294)	267 (242-290)	265 (253-291)	234 (191-274)	234 (199-273)
Vægt, kg	70,2 (44-106)	67,5 (46-87)	70,0 (38-94)	69,3 (55-90)	69,1 (48-89)
Temperatur i stalden, °C	19,4 (14,2-28,1)	19,6 (15,0-27,8)	19,5 (14,4-28,2)	19,8 (15,4-24,9)	19,3 (15,0-24,6)
Ventilationsydelse, m ³ / time	19.700 (6.410-26.500)	18.200 (3.240-27.000)	18.600 (3.360-25.900)	20.900 (5.830-26.600)	21.600 (6.480-26.000)
Ventilationsydelse, m ³ / gris/ time	75 (24-104)	68 (11-100)	70 (13-100)	92 (21-131)	94 (27-124)
CO ₂ , ppm	1.120 (500-2.800)	1.230 (700-2.500)	1.200 (450-2.700)	1.120 (750-2.600)	1.060 (650-2.000)
Køling, W/m ²	0	25,9 (23,9-27,8)	26,2 (25,1-27,4)	0	27,0 (19,1-32,0)
Udetemperatur, °C	15,0 (2,0 – 25,7)			15,5 (3,2-25,7)	

Kølingsniveauet på de 18 lugtprøvedage i besætning A lå i gennemsnit på 26 W/m², mens det på de 12 lugtprøvedage i besætning B lå på i gennemsnit 27 W/m². I besætning B lå kølingsniveauet altså lidt lavere end i gennemsnit for de 105 måledage med Innova. Det ses at ventilationsydelsen pr. gris pr. time var høj i besætning B, hvilket skyldes at ventilationsanlægget var dimensioneret til slagtesvineproduktion med 16-17 grise pr. sti, hvor det i afprøvningen blev brugt til polteproduktion med 14 polte pr. sti.

Gyllens temperatur

Modsat ved ammoniakemission, hvor det er gylleoverfladens temperatur, der har betydning, forventes hele gyllens temperatur at have betydning for lugtemissionen fra gyllen. Det blev derfor undersøgt, hvordan gyllekøling indvirkede på gyllens temperatur på dagene, hvor der blev udtaget lugtprøver.

Gyllens temperatur og gylledybden på lugtprøvedagene fremgår af tabel 9 for besætning A og tabel 10 for besætning B. Der ses i begge stalde en stor temperatursænkning på bunden af gyllekummen når der køles, men at denne effekt hurtigt aftager op igennem gyllen, således at effekten 10 cm over bunden stort set er på niveau med effekten på gyllens overfladetemperatur.

Tabel 9. Den gennemsnitlige temperatur i gyllen og gylledybde for de 18 lugtprøvedage i besætning A. 95 % konfidensinterval i parentes. For gylledybde er angivet minimum og maksimum i parentes.

Køling	Kontrol	26 W/m ²		Effekt af ¹⁾ :	
		+	-	Køling °C	Gyllegardin °C
Gyllegardin	-	+	-		
Gyllens temperatur ved bunden (0 cm), °C	19,5 (18,7-20,3)	15,1 (14,3-15,9)	14,9 (14,1-15,7)	-4,5***	0,2 ^{NS}
Gyllens temperatur 10 cm over bunden, °C	19,1 (18,3-20,0)	17,2 (16,4-18,1)	16,7 (15,9-17,6)	-2,2***	0,5 ^{NS}
Gyllens overfladetemperatur, °C	19,7 (18,8-20,7)	17,6 (16,7-18,6)	17,1 (16,1-18,1)	-2,4***	0,5 ^{NS}
Gylledybde, cm	19 (8-36)	19 (7-37)	20 (11-33)		

¹⁾Statistisk sikre effekter er angivet med: *** (p<0,001). Ikke statistisk sikre effekter er angivet med NS (p>0,05)

Tabel 10. Den gennemsnitlige temperatur i gyllen og gylledybde for de 12 lugtprøvedage i besætning B. 95 % konfidensinterval i parentes. For gylledybde er angivet minimum og maksimum i parentes.

Køling	Kontrol	27 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾ °C
Gyllens temperatur ved bunden (0 cm), °C	18,6 (17,6-19,6)	14,0 (13,0-15,0)	-4,5***
Gyllens temperatur 10 cm over bunden, °C	19,1 (18,2-20,0)	16,4 (15,5-17,4)	-2,6***
Gyllens overflade-temperatur, °C	19,1 (18,1-20,2)	16,7 (15,7-17,7)	-2,4***
Gylledybde, cm	17 (12-27)	18 (12-25)	

¹⁾Statistisk sikre effekter er angivet med: *** (p<0,001).

Ved disse temperaturmålinger passede gylletemperaturerne bedre overens i de to besætninger end ved temperaturmålingerne i forbindelse med måledagene med ammoniak (tabel 4 og 5).

Lugtemission

I tabel 11 ses de beregnede middelværdier af lugtkoncentration og lugtemission fra de 18 lugtprøvedage i besætning A. Lugtemissionen for de enkelte lugtprøvedage er vist i appendiks 4.

Tabel 11. Beregnede middelværdier for lugtkoncentration og lugtemission i besætning A (med 95 % konfidensinterval i parentes). N angiver antallet af målinger fordelt på 18 prøvedage med tre målinger pr. dag pr. behandling.

Køling	Kontrol	26 W/m ²		Effekt af køling ¹⁾ %	
Gyllegardin	-	+	-	+	-
Antal målinger, N	54	54	54		
Lugtkoncentration, OU _E m ⁻³	432 (296-632)	364 (248-534)	370 (252-542)		
Lugtemission, OU _E / s/ 1.000 kg dyr	167 (102-275)	129 (78-212)	135 (82-222)	-23 ^{NS}	-19 ^{NS}
Lugtemission, OU _E / s/ 1.000 kg dyr	167 (102-275)	132 (79-222)		-21* ²⁾	

¹⁾ Ikke statistisk sikre effekter er angivet med: NS. Statistisk sikre effekter er angivet med: * (p<0,05).

²⁾ Grupperne "køling med gyllegardin og "køling uden gyllegardin" blev i denne analyse slået sammen.

I forhold til kontrolgruppen, dvs. gruppen "uden køling og uden gyllegardin" var der tendens til at lugtemissionen blev reduceret med 23 pct. (p=0,08) i gruppen "køling med gyllegardin", mens der ikke var effekt i gruppen "køling uden gyllegardin" (p=0,12). Der var ikke forskel på de to forsøgsgrupper "køling med gyllegardin" og "køling uden gyllegardin". Da gyllegardinet hverken havde effekt på gylletemperatur eller lugtemission blev de to kølingsgrupper i ovenstående analyse slået sammen, se nederst i tabel 11. Det betød at lugtemission blev statistisk sikkert reduceret med 21 pct. i de to grupper med køling i forhold til kontrolgruppen uden køling.

Sommermålinger er ifølge Vera protokollen defineret ved at udetemperaturen er over 16 °C på udtagningstidspunktet [8]. I løbet af afprøvningen blev der udtaget lugtprøver på 9 sommerdage i besætning A, dvs. halvdelen af lugtprøvedagene var sommerdage. Resultaterne af målingerne kan ses i tabel 12. Effekten af gyllekøling på lugtemissionen alene ved de 9 sommerdage var ikke statistisk sikker, men den numeriske reduktion var på samme niveau som reduktionen for hele årets målinger.

Tabel 12. Beregnede middelværdier for lugtkoncentration og lugtemission ved sommermålinger i besætning A (med 95 % konfidensinterval i parentes). N angiver antallet af målinger fordelt på 9 prøvedage med tre målinger pr. dag pr. behandling.

Køling	Kontrol	26 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾ %
Antal målinger, N	27	54	
Lugtkoncentration,	288	244	

OU _E m ⁻³	(178-466)	(157-379)	
Lugtemission, OU _E / s/ 1.000 kg dyr	153 (81-289)	125 (61-256)	-18 ^{NS}

¹⁾ Ikke statistisk sikre effekter er angivet med: NS (p>0,05).

I tabel 13 ses de beregnede middelværdier af lugtkoncentration og lugtemission fra de 12 lugtprøvedage i besætning B. Lugtemissionen for de enkelte lugtprøvedage er vist i appendiks 4. I forhold til kontrolgruppen uden køling blev lugtemissionen statistisk sikkert reduceret med 20 pct. i gruppen med køling.

Tabel 13. Beregnede middelværdier for lugtkoncentration og lugtemission i besætning B (med 95 % konfidensinterval i parentes). N angiver antallet af målinger fordelt på 12 prøvedage med tre målinger pr. dag pr. behandling.

Køling	Kontrol	27 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾ %
Antal målinger, N	36	36	
Lugtkoncentration, OU _E m ⁻³	326 (243-437)	246 (183-330)	
Lugtemission, OU _E / s/ 1.000 kg dyr	110 (82-149)	88 (65-119)	-20 ^{**}

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: ** (p<0,01).

I løbet af afprøvningen blev der udtaget lugtprøver på 8 sommerdage, og i nedenstående tabel 14 er resultaterne fra de 8 sommerdage opgjort. Effekten af gyllekøling på lugtemissionen alene ved de 8 sommerdage var statistisk sikker, ligeledes med 20 pct. reduktion.

Tabel 14. Beregnede middelværdier for lugtkoncentration og lugtemission ved sommermålinger i besætning B (med 95 % konfidensinterval i parentes). N angiver antallet af målinger fordelt på 8 prøvedage med tre målinger pr. dag pr. behandling.

Køling	Kontrol	27 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾ %
Antal målinger, N	24	24	
Lugtkoncentration, OU _E m ⁻³	274 (223-338)	213 (173-262)	
Lugtemission, OU _E / s/ 1.000 kg dyr	115 (90-147)	93 (72-118)	-20 [*]

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: * (p<0,05).

Den samlede analyse fra besætning A og B, hvor der kun indgik kontrolgruppen "ingen køling og uden gyllegardin" og gruppen "køling uden gyllegardin" fra besætning A viste, at der ikke var vekselvirkning imellem besætningerne. Dvs. der var ikke systematisk forskel på gyllekølingens effekt på lugtemissionen imellem de to besætninger. Den samlede effekt var statistisk sikker og kunne estimeres til 20 pct. lugtreduktion ved køling med i gennemsnit 26,5 W/m². Set i forhold til resultatet fra

den tidligere afprøvning [5], som var på 35 pct. lugtreduktion ved køling med 55 W/m² var resultatet som forventet.

Svovlbrinte

I tabel 15 og 16 ses de beregnede middelværdier af svovlbrintekonzentration og -emission fra de 18 lugtprøvedage i besætning A samt fra 12 lugtprøvedage i besætning B. Svovlbrintekonzentrationerne blev målt samtidig med lugtprøveudtagningen.

Tabel 15. Gennemsnitlig svovlbrintekonzentration og svovlbrinteemission i besætning A (95 % konfidensinterval er angivet i parentes). N angiver antallet af målinger fordelt på 18 måledage med tre målinger pr. dag pr. behandling.

Køling	Kontrol	26 W/m ²		Effekt af køling ¹⁾ %	
Gyllegardin	-	+	-	+	-
Antal målinger, N	54	54	54		
Svovlbrintekonzentration, ppm	0,47 (0,22-0,72)	0,37 (0,12-0,62)	0,39 (0,14-0,64)		
Svovlbrinteemission, mg H ₂ S/gris/time	36 (29-43)	30 (23-37)	33 (26-40)	-16*	-8 ^{NS}

¹⁾ Statistisk sikker forskellig fra kontrol: *= (p<0,05); Ikke statistisk sikre effekter med: NS

I besætning A blev svovlbrinteemissionen statistisk sikkert reduceret med 16 pct. i gruppen med "køling og gyllegardin", mens der ikke var statistisk sikker reduktion i gruppen kun med køling i forhold til kontrolgruppen. Der var ikke forskel på de to forsøgsgrupper, "køling" og "køling med gyllegardin".

Tabel 16. Gennemsnitlig svovlbrintekonzentration og svovlbrinteemission i besætning B (95 % konfidensinterval er angivet i parentes). N angiver antallet af målinger fordelt på 12 måledage med tre målinger pr. dag pr. behandling.

Køling	Kontrol	27 W/m ²	Effekt af køling ¹⁾ %
Antal målinger, N	36	36	
Svovlbrintekonzentration, ppm	0,44 (0,34-0,53)	0,29 (0,19-0,39)	
Svovlbrinteemission, mg H ₂ S/gris/time	46 (42-49)	32 (29-36)	-30***

¹⁾ Statistisk sikre effekter er angivet med: *** (p<0,001).

I besætning B blev svovlbrinteemissionen statistisk sikkert reduceret med 30 pct. i gruppen med køling i forhold til kontrolgruppen.

Der var således rimelig god overensstemmelse imellem reduktionen af svovlbrinteemissionen og reduktionen af lugtemissionen i de to besætninger. Dog var reduktionen i besætning A mindre end forventet, hvilket sandsynligvis var pga. målepunktet, som var over spjældet på ventilationspåstikkene og derfor tæt på hovedkanalen på loftet. Der kan derfor være sket en opblanding af luften fra hovedkanalen ved målepunktet.

Gylleprøver

Der blev udtaget gylleprøver i forbindelse med 14 af lugtprøvedagene. I tabel 17 ses de gennemsnitlige analyseresultater af gylleprøverne.

Tabel 17. Resultatet af gylleanalyser angivet som middelværdi af de målte parametre for besætning A og besætning B (med min. og maks. målinger i parentes). N angiver antallet af prøver.

	Besætning A			Besætning B	
Køling	Kontrol	26 W/m ²		Kontrol	27 W/m ²
Gyllegardin	-	+	-		
Antal prøver, N	6	6	6	8	8
pH	7,0 (6,8 – 7,4)	7,0 (6,9 – 7,2)	6,9 (6,7 – 7,1)	7,2 (7,0 – 7,6)	7,2 (6,9 – 8,0)
Tørstof (%)	5,8 (1,7-9,3)	4,5 (2,0-8,2)	6,0 (1,6-9,4)	3,4 (2,1-4,6)	3,8 (2,5-6,5)
Aske (%)	1,1 (0,9-1,6)	1,2 (0,5-1,7)	1,4 (0,8-1,8)	1,2 (0,9-1,6)	1,2 (0,9-1,6)
Kvælstof, N (g/kg)	4,0 (3,0-5,3)	4,2 (3,1-5,6)	4,6 (3,1-5,7)	3,5 (3,0-5,1)	3,7 (3,0-4,9)
Ammoniumkvælstof, TAN (g/kg)	2,9 (2,1-3,9)	2,9 (2,3-3,5)	3,0 (2,4-3,6)	2,8 (2,3-4,0)	2,8 (2,2-4,5)
Fosfor, P (g/kg)	0,7 (0,3-1,5)	0,8 (0,4-1,6)	0,9 (0,2-1,7)	0,6 (0,4-0,8)	0,7 (0,4-1,3)
Kalium, K (g/kg)	2,3 (1,8-3,1)	2,3 (2,2-2,5)	2,3 (2,0-2,7)	2,2 (1,9-3,3)	2,3 (1,7-3,4)
Svovl, S (g/kg)	0,3 (0,2-0,5)	0,3 (0,2-0,5)	0,4 (0,2-0,6)	0,3 (0,2-0,5)	0,3 (0,3-0,5)

Analyseværdierne var meget ens for grupperne, dog med nogen variation på indholdet af tørstof og de parametre, der følger tørstoffdelen, som fx fosfor. Men denne variation i det analyserede indhold forventes at skyldes, at det er vanskeligt at udtage en repræsentativ prøve af gylle, der har stået stille i gyllekummen i op til 5 uger. Der vil ske en lagdeling af gyllen, hvor en del af partiklerne dels er faldet til bunds og dels flyder ovenpå gyllen. For ammoniakemissionens vigtige parameter, ammoniumkvælstof, som følger væskefasen i gyllen, kunne der ikke konstateres en forskel imellem grupperne, hverken i besætning A eller i besætning B.

Svineri

I besætning A blev der foretaget registrering af svineri på det faste gulv i stierne på 25 besøgsdage, se tabel 18. Det faste gulv i gruppen med gyllegardin uden køling blev registreret som 75-100 % svinet flere gange end de øvrige grupper. Det var dog hovedsageligt i et hold, hvor grisene i 5 stier havde vendt stierne i en periode. Der blev ikke udtaget lugtprøver fra denne gruppe, da det var gruppen uden køling og med gyllegardin, men det kan ikke udelukkes, at det gav en marginal højere ammoniakemission i kontrolgruppen med gardin i tabel 6.

Tabel 18. Registreringer af svineri i stalden. Udtrykt som procent af observationerne, hvor der blev observeret svineri på det faste gulv. N angiver antallet af observationer i hver gruppe (25 dage x 16 stier pr. sektion).

Køling	Gardin	N	Andel af det faste gulv med svineri				
			0 %	0-25 %	25-50 %	50-75 %	75-100 %
			Observationer indenfor kategorien, %				
0 W/m ²	+	400	80	9	3	1	7
	-	400	86	9	2	1	2
26 W/m ²	+	400	85	11	1	1	2
	-	400	89	8	2	0	1

Observationerne er foretaget over et år, og indeholder således både sommer- og vinterobservationer. Som det fremgår af tabel 19 var det faste gulv uden svineri i 85 pct. af observationerne, mens 9 pct. af observationerne lå i kategorien 0-25 % tilsvining af det faste gulv. De sidste 6 pct. var med mere end 25 % tilsvining af det faste gulv.

Driftsstabilitet og forbrugsomkostning

Som led i afprøvningen blev driftsstabiliteten vurderet. Der blev ikke konstateret driftsstop på varmepumperne i afprøvningsperioden, og ud over almindelig vedligeholdelse blev der ikke tilkaldt service til varmepumperne. Oppetiden var 100 % og på den baggrund vurderes gyllekøling som værende meget driftssikkert.

Hen over 237 dage af afprøvningsperioden blev den samlede varmeoptagelse fra gyllen (kølingen) målt samtidig med elforbruget til varmepumpen i besætning A. Det viste, at der blev kølet med 2,5 kWh for hver kWh el der blev brugt. Derefter blev varmeleverancen fra varmepumpen målt over 56 dage samtidig med elforbruget til varmepumpen. Det viste, at der blev produceret 3,4 kWh varme for hver kWh el der blev brugt, dvs. effektiviteten på varmepumpen var i perioden 1:3,4.

Ud fra ovenstående kan det beregnes, at elforbruget i besætning A var 13,5 kWh pr. produceret gris, når der blev kølet med 26 W/m², hvilket svarede til en omkostning til el på 10,50 kr. pr. produceret gris. En del af den producerede varme blev dog genbrugt i stalden, og i afprøvningsperioden blev der forbrugt 3,0 kWh varme pr. produceret gris til gulvvarme og rumvarme, hvilket ville svare til 1,50 kr. pr.

produceret gris, hvis staldene alternativt skulle opvarmes med oliefyr. Den reelle forbrugsomkostning udgør derfor 9,00 kr. pr. gris til gyllekøling i besætning A, som var med 25 % fast gulv.

Antager vi, at varmepumpen i besætning B havde samme effektfaktor, ville forbruget af el være 21 kWh pr. produceret gris. Det højere forbrug skyldes, at stalden var med 50 % drænet gulv og 50 % spaltegulv og der er regnet med køling med 28 W/m². I regnestykket er det forudsat, at belægningen var med 16 grise pr. sti. Det svarer til en omkostning til el på 16,00 kr. pr. gris. Selv om der ved normal drift antages, at der forbruges ca. dobbelt så meget varme i staldene pga. det fulddrænedes gulv (ikke målt) vil den reelle forbrugsomkostning være ca. 13,00 kr. pr. gris.

Gyllekøling er altså, med de kølingsniveauer, der blev anvendt i denne afprøvning, en dyr miljøteknologi i slagtesvinestalde medmindre en større andel af varmeproduktionen kan genanvendes. Omregnes forbrugsomkostningen til forbrugsomkostning pr. kg reduceret ammoniakkvælstof vil den i besætning A være 143 kr. pr. kg reduceret NH₃-N, mens den i besætning B vil være 163 kr. pr. kg reduceret NH₃-N. Men supplerende har gyllekølingen også reduceret lugtemissionen med 20 % fra de to besætninger.

Konklusion

Gyllekøling havde en statistisk sikker effekt på ammoniakemissionen fra to slagtesvinestalde. Ammoniakemissionen blev fra de to stalde reduceret med henholdsvis 19 pct. og 20 pct., hvor der blev anvendt køling med i gennemsnit 26 W/m² gyllekumme i besætning A og 28 W/m² i besætning B. I besætning A var stierne indrettet med 25 % fast gulv, og kølingen havde derved et mindre gylleareal at køle på. Det har sandsynligvis reduceret resultatet fra besætning A med 10 pct. i forhold til, hvis afprøvningen var blevet udført i en slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Besætning B var indrettet med drænet gulv i lejearealet. I forhold til den reduktion af ammoniakemissionen, der på nuværende beregnes i forbindelse med miljøgodkendelser når der anvendes gyllekøling, var reduktionen målt i disse to afprøvninger lavere.

Lugtemissionen blev ligeledes statistisk sikkert reduceret, når gyllekummens bund blev kølet. Lugtemissionen blev sænket med 21 pct. i besætning A og 20 pct. i besætning B og på lugtprøvedagene var kølingen i gennemsnit 26 W/m² gyllekumme i besætning A (18 lugtprøvedage) og 27 W/m² i besætning B (12 lugtprøvedage).

Der blev ikke fundet nogen yderligere effekt på hverken ammoniak- eller lugtemissionen fra stalden ved opsætning af gyllegardin med ca. 2 meters afstand i stierne. Denne del af undersøgelsen blev kun foretaget i besætning A.

Referencer

[1]	Anderson, M. (1998): Reducing ammonia emissions by cooling of manure in manure culverts. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51: p. 73-79.
[2]	Pedersen, P. (1997): Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Meddelelse nr. 357, Landsudvalget for Svin.
[3]	BWL 2010.19.V2. Koeldekstystem (200% koeloppervlak). RAV-liste fra Holland over godkendte miljøteknologier: http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/map-staltypen/alle-bb-bwl-nummers/#BWL2001tm2004
[4]	Miljøstyrelsen, 2015: Teknologilisten – Staldindretning. [hentet 01-11-2016] http://mst.dk/virksomhed-myndighed/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/staldindretning/
[5]	Jørgensen, M.; Riis, A.L. og Pedersen, P. (2013): Effekten af gyllekøling i slagtesvinestier med drænet gulv i lejeareal. Erfaring nr. 1312, Videncenter for Svineproduktion.
[6]	Holm, M.; Sørensen, K.B. og Nielsen, M.F. (2015). Afprøvning 1295: Ammoniakreduktion ved gyllekøling i en slagtesvinestald med 25 % fast gulv. Personlig meddelelse.
[7]	Poulsen, H.D., 2015. Normtal for husdyrgødning – 2015, pp. 35. http://anis.au.dk/normtal/
[8]	VERA (2011), Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, Version 2, 29. August 2011.

Deltagere

Tekniker: Sally Balle Josefsen, SEGES Svineproduktion

Statistikker: Mai Britt Friis Nielsen, SEGES Svineproduktion

Afprøvning nr. 1396 og 1408

Aktivitets nr.: 060-340140

//ANR//

Appendiks 1

Beregning af emissioner

Ammoniak- og svovlbrinteemissionerne blev beregnet ud fra koncentration, ventilationsydelse og antallet af grise i sektionerne ved følgende formler:

$$g \text{ NH}_3 - N \text{ pr. gris pr. time} = \frac{M \cdot V \cdot Q \cdot P}{R \cdot T \cdot N \cdot 1.000}$$

Hvor: M: Molvægten af NH₃, 14,007 g mol⁻¹
V: Koncentration, ppm_v = ml m⁻³
Q: Ventilationsydelsen, m³ h⁻¹
P: Tryk, 1 atm.
R: Gaskonstanten, 0,0821 l atm mol⁻¹ K⁻¹
T: Temperatur i Kelvin (K)
N: Antal dyr i sektionerne, stk.

$$mg \text{ H}_2\text{S pr. gris pr. time} = \frac{M \cdot V \cdot Q \cdot P}{R \cdot T \cdot N}$$

Hvor: M: Molvægten af H₂S, 34,080 g mol⁻¹
V: Koncentration, ppm_v = ml m⁻³
Q: Ventilationsydelsen, m³ h⁻¹
P: Tryk, 1 atm.
R: Gaskonstanten, 0,0821 l atm mol⁻¹ K⁻¹
T: Temperatur i Kelvin (K)
N: Antal dyr i sektionerne, stk.

Lugtemissionen (OU_E/s) pr. 1.000 kg dyr blev beregnet ud fra lugtkoncentration, ventilationsydelse samt gennemsnitlig vægt og antallet af grise i staldsektionerne ved følgende formel:

$$OU_E / s \text{ pr. } 1.000 \text{ kg dyr} = \frac{L \cdot Q \cdot 1.000}{W \cdot N \cdot 3.600}$$

Hvor: L: Lugtkoncentrationen, OU_E m⁻³
Q: Ventilationsydelsen, m³ h⁻¹
W: Gennemsnitsvægt pr. dyr på måledagen, kg
N: Antal dyr i sektionerne, stk.

De målte lugtkoncentrationer blev logaritme transformeret inden de indgik i den statistiske analyse.

Appendiks 2

Køling

Besætning A:

Tabel A.1. Kølingseffekt (W/m²) pr. hold og sektion under afprøvningen

Gyllegardin	+	-	+	-
Hold 1 (maj-15 – jul-15)	0	27,4	0	24,9
Hold 2 (aug-15 – okt-15)	27,8	0	25,2	0
Hold 3 (nov-15 – jan-16)	26,6	0	27,0	0
Hold 4 (feb-16 – maj-16)	0	25,5	0	24,9

Besætning B:

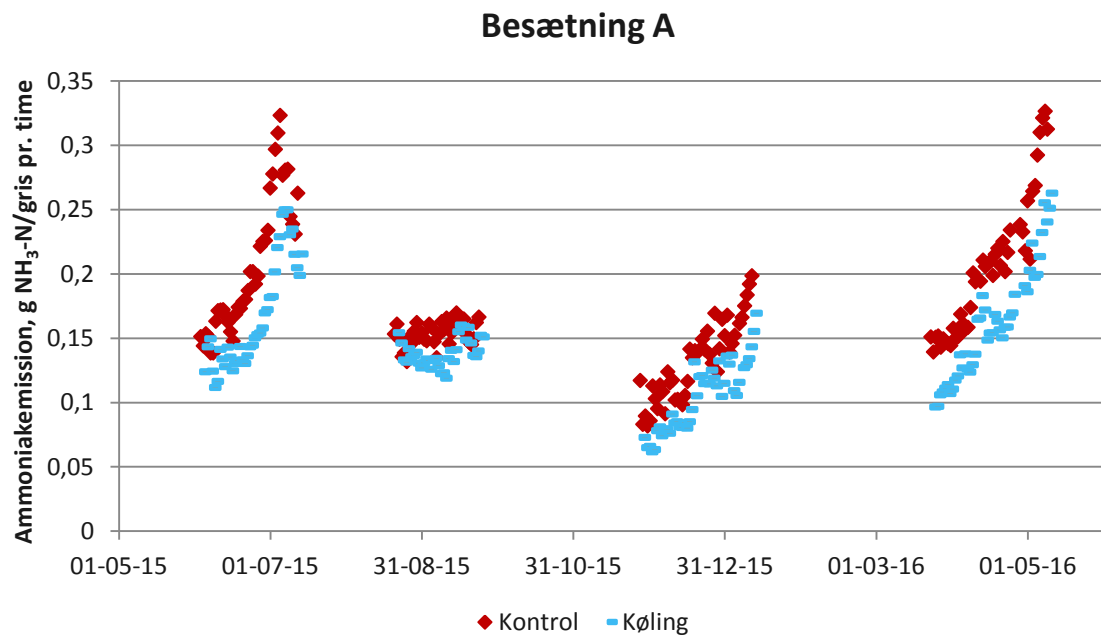
Tabel A.2. Kølingseffekt (W/m²) pr. hold og sektion under afprøvningen

	Vækstperiode	Sektion 4	Sektion 5
Hold 1 (feb-15 – apr-15)	1.halvdel	0	29,5
	2.halvdel	27,2	0
Hold 2 (maj-15 – jul-15)	1.halvdel	30,0	0
	2.halvdel	0	31,3
	Sidste del*	24,4	0
Hold 3 (sep-15 – nov-15)	1.halvdel	0	28,8
	2.halvdel	26,1	0
Hold 4 (jan-16 – mar-16)	1.halvdel	27,7	0
	2.halvdel	0	28,9
Hold 5 (apr-16 – jun-16)	1.halvdel	0	22,1
	2.halvdel	24,2	0

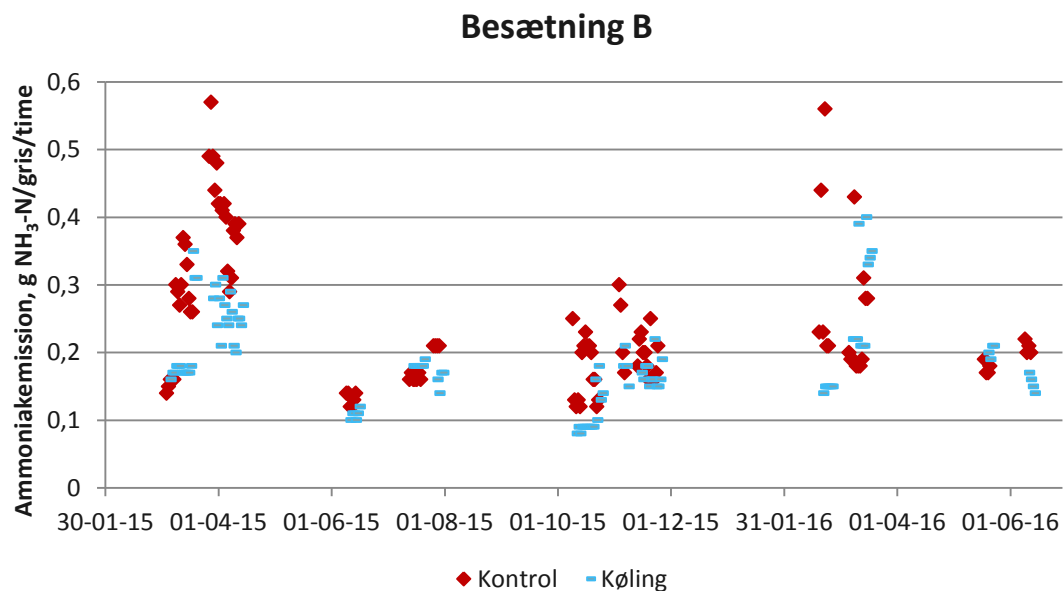
*) Der blev kørt en ekstra periode i dette hold, da måleperioderne var korte.

Appendiks 3

Ammoniakemission



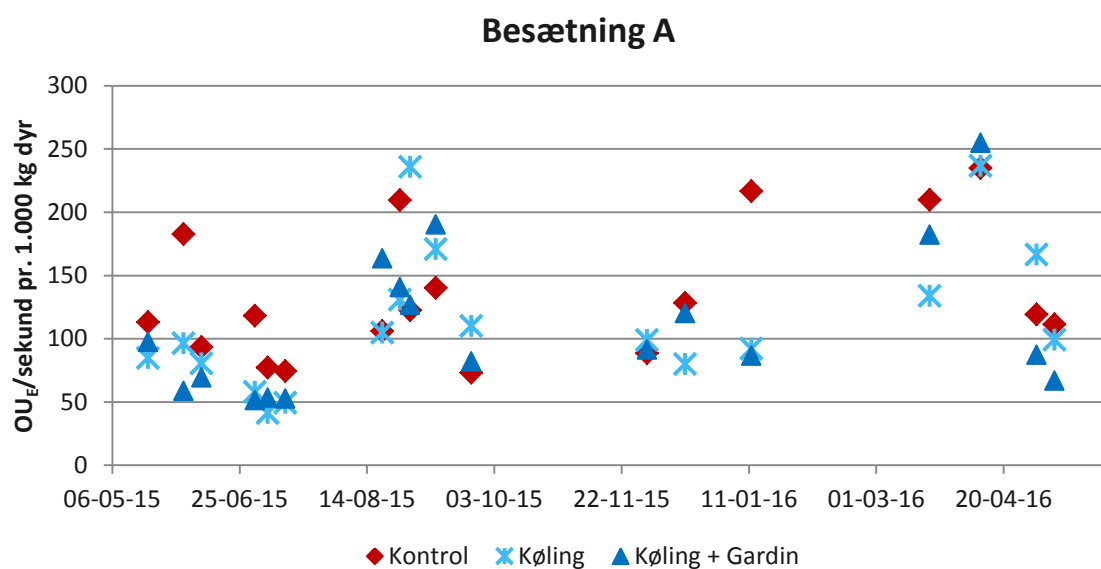
Figur A.1. Den målte ammoniakemission i g pr. gris pr. time over måleperioden på 165 dage i besætning A. De enkelte punkter illustrerer middelværdien for de enkelte dage.



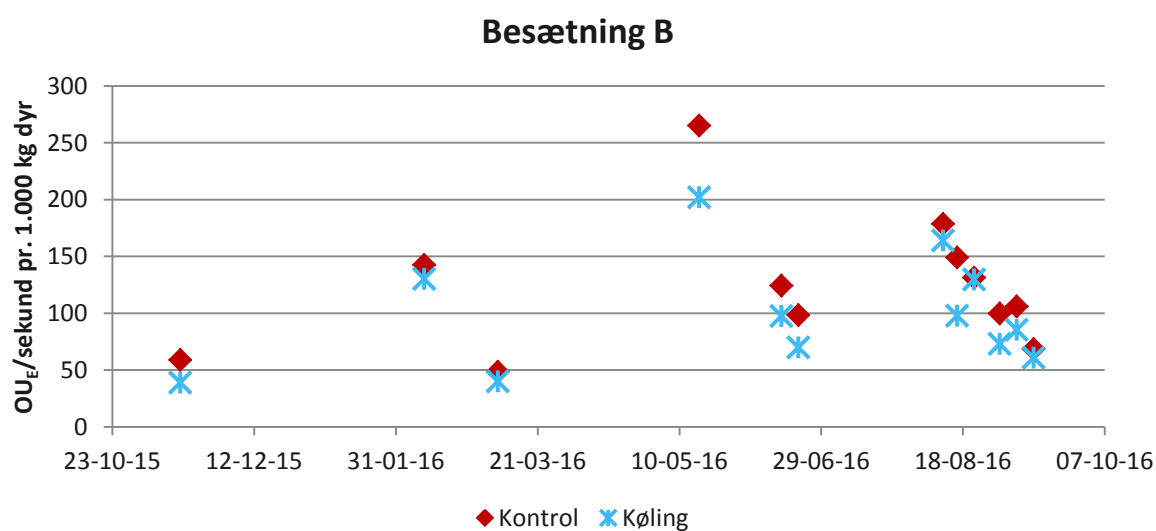
Figur A.2. Den målte ammoniakemission i g pr. gris pr. time over måleperioden på 105 dage i besætning B. De enkelte punkter illustrerer middelværdien for de enkelte dage.

Appendiks 4

Lugtemission



Figur A.3. Resultater af lugtmålingerne over måleperioden i besætning A. Der var tre analyser pr. gruppe pr. dag, dvs. et punkt er gennemsnittet af tre målinger på dagen.



Figur A.4. Resultater af lugtmålingerne over måleperioden i besætning B. Der var tre analyser pr. gruppe pr. dag, dvs. et punkt er gennemsnittet af tre målinger på dagen.

Appendiks 5

10 pct. mindre effekt af gyllekøling i stalde med 25 % fast gulv

I vurdering af resultaterne bør medtages, at 25 % af stien i besætning A var med fast gulv, hvilket reducerede gyllens overflade og dermed køleoverfladen i stalden. Det må forventes at reducere gyllekølingens effekt på ammoniakemissionen fra staldrummet.

Ammoniakemissionen fra slagtesvinestalde med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv er 400g NH₃-N pr. produceret gris jf. normtal 2015, men da teststalden i test 1 og test 2 var med 25 % fast gulv vil gyllekølingen virke på en mindre gylleoverflade. Der kan derfor forventes en højere effekt i stalde med drænet gulv i lejeområdet. Det antages at ca. 70-75 pct. af staldens fordampning stammer fra gylleoverfladen i stalde med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv. Baggrunden for denne antagelse er, at ved afprøvninger med gylleforsuring, har de seneste afprøvninger vist en effekt på 64 pct. reduktion af ammoniakemissionen. I disse stalde sænkes pH i gyllen dagligt til pH 5,5 - 5,6 for så at stige 0,1 - 0,2 enheder pga. tilførsel af gødning og urin inden pH næste dag atter sænkes med svovlsyre. Det forventes, at ved pH 5,6 - 5,8 er fordampningen af ammoniak fra gylleoverfladen stort set stoppet. Resten af fordampningen kommer derfor fra stioverflader. Hvis antagelsen om at 70 pct. af ammoniakemissionen stammer fra gylleoverfladen får vi:

Normtal 2015 ved 1/3 drænet og 2/3 spaltegulv = 400g NH₃-N pr. produceret gris

1/3 drænet, 2/3 spaltegulv => 400g * 70 %	= 280g NH ₃ -N/gris fra gyllekumme
400g * 30 %	= 120g NH ₃ -N/gris fra spaltebjælker
I alt:	= 400g NH ₃ -N/gris

25 % fast gulv => 75 % * 400g * 70 %	= 210g NH ₃ -N/gris fra gyllekumme
400g * 30 %	= 120g NH ₃ -N/gris fra gulv + spaltebjælker
I alt:	= 330g NH ₃ -N/gris

Forudsætningen er, at fordampningen fra det faste gulv er lig med fordampningen fra bjælkerne på drænsaltegulvet. Reduktionen på 70 g NH₃-N/gris ved 25 % fast gulv svarer til 17,5 pct. reduktion i forhold til 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv. Gyllekølingens effekt på gylletemperaturen i overfladen og dermed ammoniakemissionen fra stalden kan kun forventes at påvirke fordampningen fra gylleoverfladen. Antager vi dernæst, at køling med 35 W/m² gyllekumme medfører 43 pct. reduktion af ammoniakemissionen fra gyllekummen vil reduktionen være henholdsvis 43 pct. af 280g = 120g NH₃-N når stien er med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv, og 43 pct. af 210g = 90g NH₃-N når stien er med 25 % fast gulv. Det svarer til en ammoniakreduktion på henholdsvis 120g / 400g = 30 pct. fra stalden og 90g / 330g = 27 pct. fra stalden. Effekten af gyllekøling på staldens ammoniakemission er således ca. 10 pct. lavere, når stierne er med 25 % fast gulv.



Tlf.: 33 39 45 00

svineproduktion@seges.dk

Ophavsretten tilhører SEGES. Informationerne fra denne hjemmeside må anvendes i anden sammenhæng med kildeangivelse.

Ansvar: Informationerne på denne side er af generel karakter og søger ikke at løse individuelle eller konkrete rådgivningsbehov.

SEGES er således i intet tilfælde ansvarlig for tab, direkte såvel som indirekte, som brugere måtte lide ved at anvende de indlagte informationer.