

SAMSPILSEFFEKT VED KOMBINATION AF PUNKTUDSUGNING OG GYLLEKØLING

Anne Lindstrøm Hansen, Stine Grønberg og Mai Britt Friis Nielsen

SEGES Innovation P/S, Den rullende Afprøvning

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Kombinationen af gyllekøling med 20 Watt pr. m² og 10 % punktudsugning sammenlignet med kun 10 % punktudsugning viste ikke nogen forskel på den procentmæssige opsamling af ammoniak-, metan- eller lugtemissioner i punktudsugning.

Sammendrag

Der blev ikke fundet nogen forskel på den procentuelle mængde af metan (CH₄), ammoniak (NH₃) eller lugt, der opsamles i punktudsugning ved kombinationen af gyllekøling med 20 Watt pr. m² (W/m²) og 10 % punktudsugning sammenlignet med brug af kun 10 % punktudsugning.

I kontrolsektionen med kun punktudsugning, lå NH₃-emissionen i gennemsnit på 0,212 g/gris/time for hele sektionen, 0,093 g/gris/time i punktudsugning og 0,115 g/gris/time i loftudsugget. Dermed udgjorde punktudsugning 49 % af opsamlingen af NH₃ i sektionen. I forsøgssektionen med samspil mellem gyllekøling og punktudsugning, lå NH₃-emissionen på 0,187 g/gris/time for hele sektionen, 0,087 g/gris/time for punktudsugning og 0,096 g/gris/time for loftudsugget. Den procentuelle opsamling blev derfor 51 %. Dermed var der ingen forskel på den procentuelle opsamling af NH₃, uanset om der var kombination af gyllekøling og punktudsugning eller kun punktudsugning.

For metanemissionerne, lå punktudsugning, loftudsug og hele sektionen på henholdsvis 0,144, 0,168 og 0,320 g/gris/time i kontrolsektionen og 0,121, 0,141 og 0,266 g/gris/time i forsøgssektionen. Den procentmæssige opsamling i punktudsugning udgjorde 48 % i både kontrol og forsøg. Der var ikke nogen statistisk signifikant forskel i den samlede metanemission imellem kontrol og forsøg.

Lugtemissionerne for kontrolsektionen lå på 6418, 2405 og 8823 sek⁻¹ for loftudsug, punktudsugning og total. I forsøgssektionen lå det på 4968, 2094 og 7061 sek⁻¹ for loftudsug, punktudsugning og total. Der var statistisk signifikant reduktion af den samlede lugtemission ved at anvende gyllekøling.

Samtidig kunne det måles, at 27 % af lugten blev opsamlet i punktudsugning i kontrolsektionen, mens 30 % blev opsamlet i punktudsugning i sektionen med kombination af gyllekøling og punktudsugning.

Emissionerne blev målt i to sektioner med slagtegrise med i gennemsnit 368 grise pr. sektion. Begge sektioner havde 10 % punktudsugning samt gyllekøling på skift pr. hold. Der blev i alt målt i 85 dage, fordelt på 8 måleperioder af 10 dages varighed hen over et kalenderår, fra juli 2021 til juli 2022.

Formålet med afprøvningen var primært at dokumentere samspilseffekten ved vekselvirkende teknologier til reduktion af emissioner. På nuværende tidspunkt udregnes den samlede reduktionseffekt fra teknologierne enkeltvis og der tages ikke højde for samspilseffekter ved teknologier, der reducerer på samme emissionskilde.

Det kunne konkluderes, at der ved kombination af gyllekøling og punktudsugning var en signifikant lavere lugtemission for hele sektionen. Der var signifikant lavere emission i loftudsug for metan og ammoniak, men ingen effekt på emissionen i punktudsugning.

Baggrund

Problemer med den nuværende mangel på dokumentation på samspilseffekter

For at få godkendt husdyrbrug i Danmark, er det typisk nødvendigt at implementere teknologier til reduktion af lugt- og ammoniakemissioner på bedriften, for at overholde lovfæstede krav om emissioner fra bedriften. For at reduktionsteknologierne kan tages i brug, skal disse godkendes til Miljøstyrelsens Teknologiliste. Det er imidlertid en begrænsning, at teknologiernes effekt kun er dokumenteret enkeltvis og ikke i samspil. Det betyder i praksis, at ved ansøgning om miljøgodkendelse skal reduktionen beregnes og fratrækkes trin for trin. Det vil sige, at ansøgeren først fratrækker reduktionen i fx ammoniak for teknologi nr. 1, for bagefter at fratrække reduktionen fra teknologi nr. 2. Denne "trin for trin" fremgang kan resultere i en beregnet emission fra bedriften, der er lavere end den faktiske emission. Denne potentielle metodefejl vil kunne opstå på flere sammensætninger af miljøteknologier. For at mindske denne underestimering af emissioner fra bedrifterne, bruges i det fleste tilfælde den teknologi med højest bidrag til at udregne reduktionspotentialet.

Udregning af reduktionsteknologier med vekselvirkende effekter

Miljøteknologier godkendt på Teknologilisten er alle angivet med en reduktionseffekt (R_t). Disse reduktionseffekter bruges til at udregne den afledte emissionsfaktor for en given bedrift. Udregningen foretages med ligningen [1]:

$$E_{s,t} = E_s * (1 - R_t)$$

$E_{s,t}$: den afledte emissionsfaktor ($\text{kg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$)

E_s : stald- og dyrespecifik emissionsfaktor for en given stald ($\text{kg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$)

R_t : reduktionseffekten af en given teknologi

Lidt anderledes er det, når flere miljøteknologier kombineres på samme bedrift. Kombinationen af miljøteknologier kan kategoriseres i tre forskellige grupper, baseret på teknologiernes indvirkning på hinanden: additiv, kædeeffekt eller vekselvirke (i appendiks 1 er de forskellige kombinationer yderligere beskrevet).

Sværest står det til med miljøteknologier, der vekselvirker. Datagrundlaget for disse kombinationer er begrænset og derfor bliver reduktionseffekten for bedriften udregnet ved kun at benytte reduktionseffekten fra den teknologi med højest effekt [1]. Denne procedure kan lede til potentielle over- eller underestimeringer af reduktionseffekten, afhængig af, hvilke typer miljøteknologier, der kombineres.

Gyllekøling

Gyllekøling er et system, hvor gyllen nedkøles ved hjælp af køleslanger. Disse køleslanger kan være placeret og monteret forskelligt i gyllekummerne, men i Danmark er det mest almindelige, at de er støbt ned i bunden af gyllekummerne, ligesom man kender fra gulvvarme. Vandet i køleslangerne køles med enten jordvarmesystem eller - mest gængs - en varmepumpe. Varmen fra gyllen kan også tilkobles en varmepumpe og bruges til at opvarme andre bygninger i bedriften.

Når gyllen nedkøles, hæmmes dannelsen af ammoniak, der fordamper fra gyllen, samtidig med, at det hæmmer bakterieaktiviteten i gyllen (se appendiks 2 for uddybende forklaring). Ved at køle gyllen kan man dermed hæmme både ammoniak-, lugt- og metanemissioner. Effekten er derudover dokumenteret ved tidligere undersøgelser foretaget af SEGES Innovation [2].

Punktudsugning

Punktudsugning er et ventilationsprincip, hvor en del af staldens luft trækkes ud i en ventilationskanal, der er placeret under spalten, tæt på dyrenes lejeareal.

Punktudsugning er godkendt på teknologilisten under betingelse af, at der er tilkoblet en godkendt luftrenser. Ammoniak og lugt renses dermed ud af luften og reduceres. Reduktionen er afhængig af den tilkoblede luftrensers effektivitet.

En mindre ulempe ved punktudsugning er dog, at det kan hæve mængden af ammoniak, der fordamper fra gyllen grundet det øgede luftflow hen over gyllen.

Sammenholdes gyllekølingens indvirkning på emissionerne fra gyllen med punktsugets potentiale for at kunne øge ammoniakemissionerne, bliver det vanskeligt at forudsige reduktionseffekten, når de bruges samtidig. Derfor var formålet med denne afprøvning at forsøge at klarlægge, hvordan de to teknologier påvirker hinanden og om samspillet mellem dem påvirker den mængde emissioner, der opsamles i punktudsugning.

Materialer og metoder

Besætningen

Dataindsamlingen blev gennemført i to sektioner i en slagtegrisebesætning, som bestod af 11 sektioner á 408 stipladser og 2 sektioner af 374 stipladser. De 11 sektioner havde målene 13,0 m i bredden og 27,6 m i længden, og afprøvningen blev udført i 2 af disse.

Stierne målte 2,30 m i bredden og 6,0 m i længden, og havde delvist spaltegulv med 27 % fast gulv (se billede 2).



Billede 1. Billede af indretningen i én af de 13 slagtesvinesektioner.



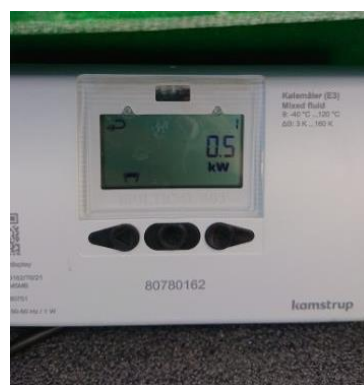
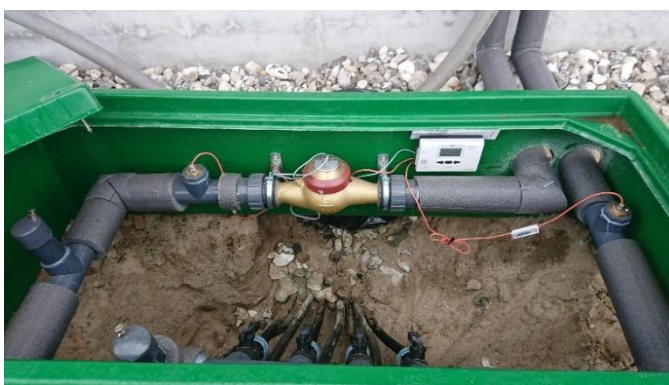
Billede 2. Billede af stindretningen, hvor der er etableret 27 % fast guld i stierne.

Der var etableret overbrusningsanlæg over gødearealet, og træpinde i holder udgjorde rode- og beskæftigelsesmateriale.

Der var etableret gyllekøling og punktudsugning i alle sektioner, som også blev anvendt under testen. For at kunne kontrollere effekten af gyllekølingen til forsøgssektionerne, blev der opstillet en buffertank fra Klimadan (mere om dette i afsnittet Gyllekøling).

Gyllekøling

Gyllekølingen var fra Klimadan, model Thermia Mega, HP-6209-120 og køleslangerne var placeret i bunden af gyllekummerne. Der blev tilstræbt en køleeffekt på 26 kW/m² gyllekumme. For at kunne kontrollere gyllekølingens effekt, uafhængigt af varmebehovet fra anlægget til at opvarme andre dele af stalden, blev der installeret en buffertank (model: LUMO 10063 buffer, 350 D65 H160) fra Klimadan. Buffertanken ville kunne nedkøle fremløbsvandet, uagtet varmebehovet i andre afdelinger af bedriften. Gyllekølingen var tændt i forsøgssektionen og blev slukket, når sektionerne roterede mellem hold og sektionen skulle agere kontrolsektion. Gyllekølingen blev styret manuelt uden for stalden, i den tilhørende brønd, der fungerer som tilgang til installationen (se billede 3).



Billede 3. Etablering af effektmåler på gyllekøling og brønd med tilgang til installationen.

Ventilation og punktudsugning

Ventilationsprincippet var combi-diffus ventilation med diffust luftindtag over loftet og ventilationsanlægget var fra SKOV A/S.

Loftventilationen bestod af tre ventilatorer, én on/off ventilator og to trinløse. Ventilationen blev styret med en DOL 634-2 klimastyring. Loftventilerne var af typen DA 1800 loftventil og var placeret i hver sti mellem 30 og 70 cm fra bagvæggen (varierede pga. placering af spær på loftet).

Punktudsugningskanalen var i hver stirække placeret under det faste gulv og sugepunkterne var derfor placeret i overgangen mellem spalter og lejeareal. I punktudsugningskanalen (ved overgangen til hovedkanal) blev luften reguleret med en flangeventil af typen DA 1911. Flangeventilerne var reguleret med en DA 74B motor. Hovedkanalen, hvor al punktudsugningsluft blev samlet, var etableret under den fælles forbindelsesgang. 10 % af maksimumventilationen (svarende til 10 m³/time/gris) blev ledt ud via punktudsugningsanlægget, svarede til 51.000 m³/time. En Bio Flex luftrenser fra SKOV A/S var tilkoblet punktudsugningen.

Gas- og lugtmålinger

Koncentrationerne af ammoniak, metan og kuldioxid blev målt med Cavity Ring Down Spectrometry (PICARRO 2508). Hvert målepunkt blev målt i 7 minutter og en stabiliseret måling blev kontrolleret. Ved hvert teknikerbesøg blev koncentrationen af ammoniak og kuldioxid desuden målt i de samme målepunkter med sporgasrør (Kitagawa 105 SD og 126 SF) som kontrolmåling af PICARRO. Målepunkterne var følgende for gasmålinger pr. sektion: et punkt i loftudsugget, kombineret af de to trinløst regulerede luftudsugninger; et punkt, kombineret af begge stirækker pr. sektion i punktudsugningen; og et punkt uden for staldbygningen.

Lugtemissionerne blev bestemt med metoden OAV (Odor Activity Values). Her antages, at lugtbidragene fra de enkelte lugtstoffer er additive, og et samlet lugttal (SOAV) kan angives ved summen af OAV for hvert enkelt stof.

Lugtmålingerne blev udført med PTR-TOF-MS (Proton Transfer Reaction – Time of Flight - Mass Spectrometry) med et TOF-1000 instrument (IONICON Analytik G.m.b.H) og med samme målepunkter som ammoniak og metan.

Gennemførsel og registreringer

Måleperioder

Dataindsamlingen blev foretaget over 8 målekampagner igennem et kalenderår, fra juli 2021 til juli 2022, svarende til 2 målekampagner pr. hold grise. Målekampagnerne blev planlagt i perioder, hvor grisene vejede omkring hhv. 50 og 90 kg. Én gang om ugen var en tekniker fra SEGES Innovation i besætningen for at foretage kontrolmålinger og registreringer.

Temperatur, luftfugtighed og luftmængde (loft- og punktudsugning)

Ventilationsydelsen i punktudsugningen blev målt kontinuerligt med en målevinge (Fancom AT (M) unit 80), som blev påsat med en specialkonstrueret kasse, påsat udgangen fra punktudsugningsluften fra sektionen til hovedkanalen, under sektionerne (billede 4). Data blev loggeret hvert 5. minut via PC-log (VengSystem A/S). Ventilationsydelsen i loftudsugningen blev målt via Dynamic Air og loggeret med FarmOnline.



Billede 4. Montering af målevinger på luftstrøm fra punktudsug.

Temperatur og luftfugtighed blev målt i målepunkterne ved luftudtag, data blev logget hvert 5. minut via PC-log (VengSystem A/S). Ved hvert teknikerbesøg blev der foretaget en kontrolmåling af temperatur og relativ luftfugtighed i målepunkterne med et multimeter (Testo 435).

Temperaturen på gyllen blev målt i bunden og gylleoverfladen i gyllekummerne via Vengsystem.

Manuelle registreringer

Effektforbruget til gyllekølingen blev løbende manuelt registreret vha. en MULTICAL® 603 fra Kamstrup (billede 3) tilkoblet gyllekølingssystemet. Energimålerens registrering blev noteret med dato og MWh forbrugt ved teknikerbesøg. Et gennemsnitlig forbrug pr. m² gyllekumme kunne beregnes ud fra intervaller imellem aflæsning af energimåler og det kendte areal af gyllekummerne (se udregning i appendiks 3).

Gyllehøjder, antal grise, svineri og vægt på grise blev registreret manuelt på besøgsdage, cirka en gang om måneden.

Andre hændelser i besætningen blev registreret i en afprøvningslogbog.

Statistik

Ammoniak- og metanemissioner blev beregnet ud fra de målte koncentrationer, ventilationsydelsen og antallet af grise i sektionerne. Lugtemissioner blev beregnet ud fra lugtkoncentrationer med SOAV metoden.

Koncentrationsmålinger på ammoniak og metan blev først udtaget, således at ingen målinger i indstillingsperioden imellem hvert målepunkt blev medtaget af de 7 minutters varighed pr. målepunkt. Efterfølgende blev der udregnet et døgnmiddel af emissionerne. Formel for beregning af emissioner

kan findes i appendiks 4. Emissionerne er analyseret i en generaliseret lineær model, hvor gruppe, sektion og målerunde indgår som systematiske variable og hold som tilfældige, samtidig med, at der korrigeres for udetemperatur og grisenes vægt.

Resultater og diskussion

Kølingseffekt og gylletemperatur

Der blev registreret energiforbrug på gyllekølingen 25 gange i løbet af afprøvningen. Gyllekølingen kørte med en effekt på gennemsnitlig $20,0 \text{ W/m}^2$ (std: $4,0 \text{ W/m}^2$). Dette er under det ønskede på 26 W/m^2 , men udfordringer med køleanlægget bevirkede desværre, at kølingen ikke har kørt med højere effekt.

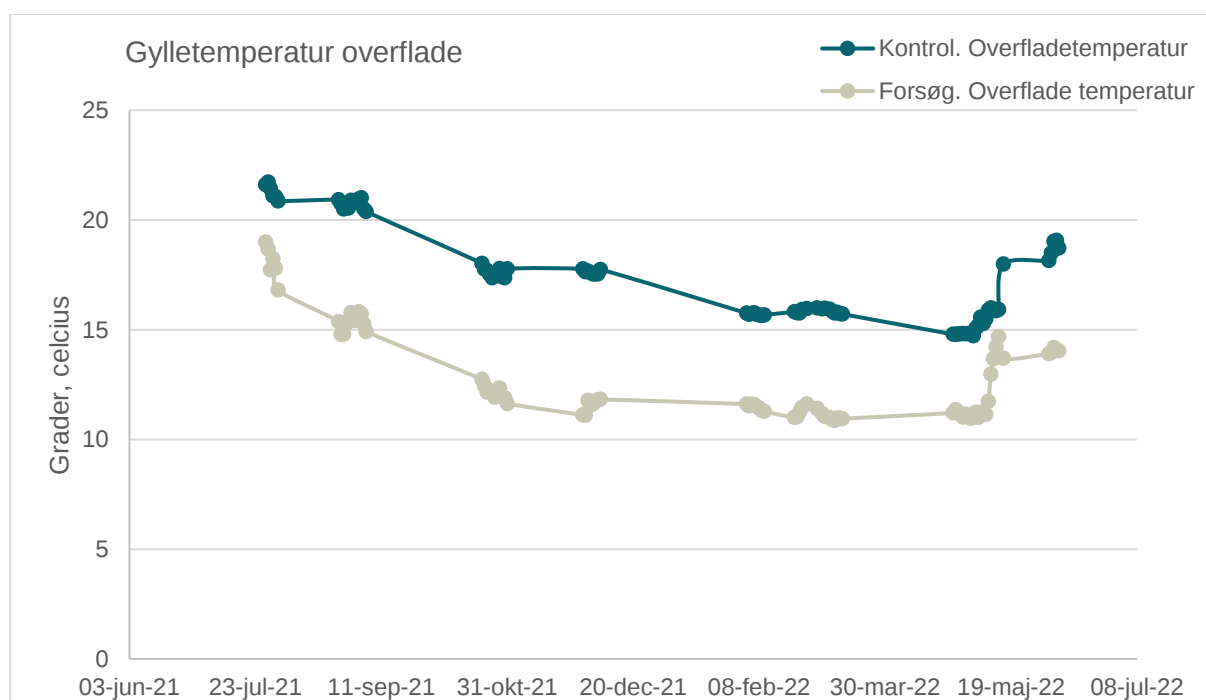
Temperaturen i gyllen var i gennemsnit $4,6^\circ\text{C}$ lavere i forsøgssektionen med gyllekøling end i kontrolsektionen uden gyllekøling. Temperaturmålinger på gyllen ses nedenfor i tabel 1.

Tabel 1. Gennemsnitlig gylletemperatur, for overflade og bund samt gennemsnit for kontrol og forsøgssektion (standardafvigelse angivet i parentes).

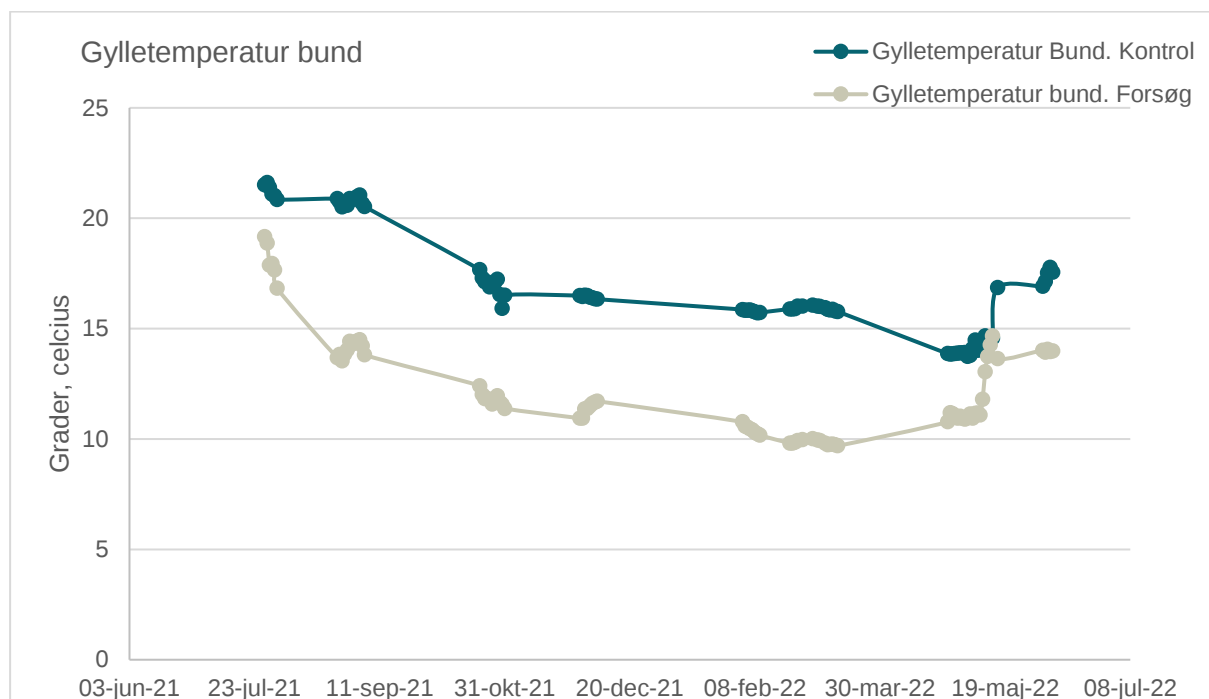
	Kontrol (u. gyllekøling)	Forsøg (m. gyllekøling)
Gennemsnitstemperatur, gylleoverflade (grader, celsius)	17,37 ($\pm 2,14$)	12,77 ($\pm 2,11$)
Gennemsnitstemperatur, gyllebund (grader, celsius)	16,84 ($\pm 2,36$)	12,19 ($\pm 2,22$)
Gennemsnitstemperatur, gylle (grader, celsius)	17,11 ($\pm 2,23$)	12,48 ($\pm 2,15$)

Gylletemperaturen for henholdsvis forsøgs- og kontrolsektion lå forholdsvis stabilt over afprøvningsperiode, men enkelte problemer opstod i foråret 2022, hvor gyllekølingen momentært var ude af drift i forsøgssektionen (graf 1). Denne periode er af samme grund ikke medtaget i den endelige emissionsopgørelse.

Graf 1. Gylletemperatur i overfladen over afprøvningsperiode for hhv kontrol- og forsøgssektion.



Graf 2. Gylletemperatur i bunden over afprøvningsperiode for hhv kontrol- og forsøgssektion.



Mindre udsving i gyllens temperatur i forsøgssektionen skyldes delvis det svingende varmebehov i resten af stalden og buffertankens kapacitet.

Staldregistreringer

Ventilationsydelse

Ventilationen i sektionerne var opdelt imellem punktudsugning og loftudsug. De gennemsnitlige ydelser over forsøgsperioden ses nedenfor.

Tabel 2. Årgennemsnit for ventilationsydelse (m³/time).

	Kontrol (u. gyllekøling)	Forsøg (m. gyllekøling)
Ventilation punktudsugning (m ³ /time)	3334 (153)	3345 (181)
Ventilation loftudsug (m ³ /time)	21246 (12330)	21111 (12929)

Gyllehøjder

Gyllehøjderne målt igennem de 8 måleperioder ses i tabel 3.

Tabel 3. Gyllehøjder i gyllekummer, registreret i måleperioder (standardafvigelse i parentes).

	Hold 1		Hold 2		Hold 3		Hold 4	
Måleperiode	1	2	1	2	1	2	1	2
Gyllehøjde (cm) kontrolgruppe u. gyllekøling	33 (1,4)	33 (4,5)	30 (4,9)	33 (1,7)	34 (1,4)	43 (7,8)	38 (5,7)	25 (1,2)
Gyllehøjde (cm) forsøgsgruppe m. gyllekøling	15 (0,8)	28 (0,47)	28 (7,3)	40 (2,9)	37 (2,2)	29 (2,8)	22 (1,6)	28 (1,4)

Gyllehøjderne lå derved inden for normalområdet ved, at gyllekummerne hverken har været helt tomme eller helt fulde.

Ammoniakemissioner

I tabel 4 er vist de beregnede middelværdier af ammoniakemissioner fordelt på de forskellige grupper samt placeringen for luftudtaget. Kontrolsektion: 10 % punktudsugning, forsøgssektion: 10 % punktudsugning i samspil med 20 W/m² gyllekøling. I appendiks 5 er ammoniakemissionernes dagsgennemsnit for måledagene plottet over afprøvningsperioden for henholdsvis kontrol og forsøgsgruppe vist for punktudsugning, loftudsug og sektionens totale emission. Der var en tendens til, at den samlede ammoniakudledning var reduceret ved kombination af gyllekøling og punktudsugning (p: 0,09).

Tabel 4. Middelværdier (standardafvigelse) af ammoniakemissioner, for loftudsug, punktudsugning og samlet pr. sektion.

		Kontrol	Forsøg
Antal måledage		85	85
Ammoniakemission, g NH ₃ -N/gris pr. time	Loftudsug	0,115 ^a (0,005)	0,096 ^b (0,005)
	Punktudsugning	0,093 (0,005)	0,087 (0,005)
	Samlet	0,212 (0,010)	0,187 (0,010)
% ammoniakemission opsamlet i punktudsugning		49 % (2)	51 % (2)

^{a,b} Værdier med forskellige bogstaver er signifikant forskellige fra hinanden (P=0,02).

Den totale ammoniakemission var en smule lavere for sektionen med gyllekøling (11,7 %), men ikke med statistisk signifikant forskel (P=0,09). Det kan herpå konkluderes, at gyllekøling ikke har en reducerende effekt på opsamling af ammoniak i punktudsugning.

Det er ikke muligt at konkludere, hvorfor den største reduktion i ammoniak ses i loftventilationen. Teoretisk burde gyllekøling bevirke en lavere emission fra gyllekummerne og derved påvirke mængden af emissioner i punktudsugningsluften. Det er vurderingen, at en yderligere redegørelse af denne observation vil kræve et større datagrundlag.

Metanemissioner

I tabel 5 er vist de beregnede middelværdier af metanemissioner fordelt på de forskellige grupper samt placeringen for luftudtaget. Kontrolsektion: 10 % punktudsugning, forsøgssektion: 10 % punktudsugning i samspil med 20 W/m² gyllekøling. Beregningerne er baseret på 85 måledage. I appendiks 6 er metanemissionernes dagsgennemsnit for måledagene plottet over afprøvningsperioden for henholdsvis kontrol- og forsøgsgruppe.

Tabel 5. Middelværdier af metanemissioner, for loftudsug, punktudsugning og samlet pr. sektion.

		Kontrol	Forsøg
Antal måledage		85	85
Metanemission, g CH ₄ -gris pr. time	Loftudsug	0,168 ^c (0,005)	0,141 ^d (0,005)
	Punktudsugning	0,144 (0,005)	0,121 (0,005)
	Samlet	0,320 (0,010)	0,266 (0,010)
% metanemission opsamlet i punktudsugning		48 % (2)	48 % (2)

^{c,d} Værdier med forskellige bogstaver er signifikant forskellige fra hinanden (P=0,11)

Det sås, at den samlede emission var reduceret med 17 % (p=0,11), mens der i emissionen fra punktudsugning var en reduktion på 16 % (p= 0,2).

Den samlede metanemission var lavere for sektionen med gyllekøling, men ikke med en signifikant forskel. Forskellen mellem kontrol og forsøgsgruppe er 16,8 %. Inklusiv i denne emission er det enteriske bidrag fra grisene, der estimeres til at udgøre i omegnen af 20 % [3] af den totale metanemission. Baseret på den observerede tendens til en reduktion i sektionens samlede metanemission, kunne det være af stor interesse at udbygge det eksisterende datasæt med yderligere målinger. Dette for at afdække i hvor høj grad, gyllekøling kan bidrage til en reduktion i metanudledningen fra stalden.

Lugtemissioner

I tabel 6 er resultaterne for de beregnede lugtemissioner vist.

Tabel 6. Lugtemissioner.

S ⁻¹	Kontrol (u. gyllekøling)	Forsøg (m. gyllekøling)
Loftudsug	6417,8 (1592,5)	4967,7 (970,0)
Punktudsugning	2405,0 (224,3)	2093,5 (240,8)
Total*	8822,8 (3674,3)	7061,2 (2692,4)

Der var en signifikant reduktion på 20 % i lugtemissioner på hele sektionen ved kombination af gyllekøling og punktudsugning. Der var en tendens på reduktion på loftudsug på 22 % (p: 0,05) samt en mindre reduktion på 13 % (p:0,22) i punktudsugning.

Der var ikke nogen signifikant forskel på lugtemissionerne, som samles i punktudsugning, når de to grupper sammenlignes, hvilket er i god overensstemmelse med viden om, at punktudsugning øger lugtemissioner fra gyllens overflade. Derfor ses der ikke den store forskel i effekt på gyllekølingen i denne del. Til gengæld giver kombinationen af punktudsugning og gyllekøling en samlet reduktion på 20 % for hele sektionen. For lugtemissionerne i loftudsug var reduktionen på 22,6 %.

Der kan derfor konkluderes, at samspilseffekten mellem gyllekøling og punktudsugning ikke har en negativ effekt på lugtemissionerne i denne afprøvning.

Konklusion

Det lykkedes i denne afprøvning at dokumentere samspilseffekten ved vekselvirkende teknologier til reduktion af emissioner. Kombinationen af gyllekøling og punktudsugning havde ingen statistisk negativ effekt på de respektive teknologiers evne til at reducere metan-, ammoniak eller lugtemissioner. Der vil derfor være grund til yderligere undersøgelser af, hvorvidt samspilseffekter skal medregnes positivt for griseproducentens emissionsregnskab, da der var tendenser til yderligere reduktion ved kombinationen af punktudsugning og gyllekøling end hvis en af dele blev brugt alene.

Referencer

- [1] Ligning og udregningseksempel fra rapport: Samspil mellem miljøteknologier - Vurdering af mulighederne for at kombinere miljøteknologier på Miljøstyrelsens teknologiliste, november 2016
- [2] "Ammoniak og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde", SEGES Innovation, meddelelse nr. 1105.
- [3] DCE rapport 372
- [4] Freney, J.R., J.R. Simpson & O.T. Denmead, 1983. Volatilization of ammonia. In: Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, The Hague, pp. 1-31
- [5] Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans & J.J.M.H. Ketelaars, 1994. Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry, (surface) applied to grassland. Netherlands Journal of Agricultural Science 42: 293-309.
- [6] Starman, D.A.J. & K.W. van der Hoek, 2007. Ammonia, the case of The Netherlands, Wageningen Academic Publishers, 201 pp

Deltagere

Tekniker: Thomas Lund Sørensen

Statistikker: Mai Britt Friis Nielsen

Afprøvning nr. 1694

NAV nr.: 1375

//jahp//

Dyregruppe: Grise, slagtegrise

Fagområde: Miljøteknologi

Nøgleord: Gyllekøling, punktudsugning, emissioner, ammoniak, metan, lugt, teknologiliste, reduktionsteknologier

Appendiks 1

Samspilseffekter, teori

Additive miljøteknologier har oftest samme virkningsmekanisme, men intet overlap. Teknologien er ikke afhængig af koncentrationerne af stofferne, der reduceres, og effekten af reduktionen er dokumenteret på grundlag af staldens samlede emission. Hvis disse kriterier er opfyldt, kan reduktionen i emissioner udregnes således:

$$\text{Reduktions effekt for additive teknologier: } R_{t1,2} = R_{t1} + R_{t2}$$

$R_{t1,2}$: den samlede reduktionseffekt

R_{t1} : reduktionseffekt, teknologi 1

R_{t2} : reduktionseffekt, teknologi 2

Majoriteten af teknologier med additiv reduktionseffekt er teknologier, der behandler emissionerne fra forskellige overflader i stalden, herunder flux (fordampning). Et eksempel kunne være gylleforsuring kombineret med spalteskrab i kvægstalde. Her reduceres emissionerne fra gylleoverfladen i gyllekummen, mens spalteskrab reducerer emissionerne fra spaltegulvet.

Miljøteknologier med kædeeffekt skal udregnes efter saldoprincippet (forklaring nedenfor), men modsat additive teknologier er virkningsmekanismerne forskellige. Et eksempel ville være gyllekøling i kombination med en luftrenser. Her angriber man først fordampningen fra gyllen og bagefter renses lugt ud af afgangsluften. Ligesom additive teknologier, skal miljøteknologier med kædeeffekt ikke afhænge af koncentrationerne af stofferne, der reduceres, og effekten af reduktionen skal være dokumenteret på grundlag af staldens samlede emission. Er disse kriterier opfyldt, kan reduktionseffekten udregnes ved følgende formel:

$$\begin{aligned} &\text{Reduktions effekt for kædeeffekt teknologier:} \\ &R_{t1,2} = 1 - (1 - R_{t1}) * (1 - R_{t2}) \Rightarrow R_{t1} + R_{t2} - R_{t1} * R_{t2} \end{aligned}$$

$R_{t1,2}$: den samlede reduktionseffekt

R_{t1} : reduktionseffekt, teknologi 1

R_{t2} : reduktionseffekt, teknologi 2

Miljøteknologier med vekselvirkning har nogle gange samme virkningsmiddel og har overlap. Et eksempel vil være ligesom denne rapport, der omhandler gyllekøling kombineret med punktudsugning. Gyllekølingen reducerer ammoniakemissionen fra gyllen, punktudsugning reducerer ligeledes ammoniakemissionen, dog via den tilknyttede luftrenser. Reduktionseffekten af miljøteknologier med vekselvirkning kan derfor både være højere end hvis de to teknologier var additive (synergetiske), men de kan også fungere modsatrettede og modarbejde hinanden (antagonistisk).

$$\text{Reduktions effekt for vekselvirkende teknologier: } R_{t1,2} = f(t_1) + f(t_2) + f(t_1, t_2)$$

$R_{t1,2}$: den samlede reduktionseffekt

t_1 : teknologi 1

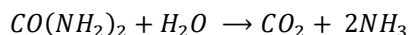
t_2 : teknologi 2

f: funktion, der vil skulle redegøres for ved hver kombination af vekselvirkende reduktionsteknologier

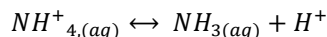
Appendiks 2

Gyllekølings effekt på emissioner

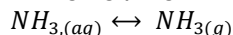
Ammoniakfordampning (NH_3) fra gyllen opstår, når urinstoffet urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) omdannes via en proces kaldet hydrolyse. Reaktionsmekanismen ser således ud:



Derudover er der i gylleoverfladen to forskellige kemiske ligevægt. En mellem ammoniak og ammonium [5]:



Og en mellem ammoniak som vandig opløsning og på gasform:



Disse kemiske ligevægte bliver påvirket af forskellige faktorer, herunder koncentrationen af ammonium, pH og temperaturen af gyllen [6]. Ved at køle gyllen, sænkes reaktionsraten, hvormed ammonium omdannes til ammoniak, samtidig med at ammoniaks omdannelse fra vandig opløsning til gasform og ammoniakens diffundering fra gyllen til den overliggende luft [6] undertrykkes.

Hvordan påvirker det lugten

Når gyllen nedkøles, vil det nedsætte den mikrobielle omsætning af organiske stoffer i gyllen. De stoffer, der blandt andet dannes ved denne proces, er de stoffer, der er reguleret i forhold til lugtemissioner. Derfor kan man ved at køle gyllen også reducere lugtemissionerne.

Appendiks 3

Udregning af køleeffekt, gyllekøling

Kølingseffekten i W/m^2 , blev ud fra registrerede målinger i MWh udregnet, gennem to trin, således:

$$\frac{\left(\frac{\text{MWh}(2) - \text{MWh}(1)}{I} * 1000 \right)}{24 \text{ timer}} = \text{KWh}$$

MWh(2): registrering i MWh, seneste dato

MWh(1): registrering i MWh, foregående dato

I: Interval mellem registreringer (dage)

$$\frac{\text{KWh} * 1000\text{w}}{A} = \text{Effekt W/m}^2$$

A: areal af gyllekumme (m^2)

Appendiks 4

Beregning af emissioner

Metan- og ammoniakemissioner blev beregnet ud fra koncentrationer, ventilationsydelse og antallet af grise i sektionen, ved følgende formel:

$$g / \text{gris} / \text{time} : \frac{M * V * Q * P}{R * T * N * 1000}$$

Hvor:

M: Molvægtens af NH_3 eller C i CH_4 (17,031 g/mol eller 16,04 g/mol)

V: Koncentration, ppm

Q: Ventilationsydelsen, m^3/time

P: Tryk, 1 atm
R: Gaskonstanten, 0,0821 L atm mol⁻¹ K⁻¹
T: Temperatur i Kelvin
N: Antal dyr i sektionen

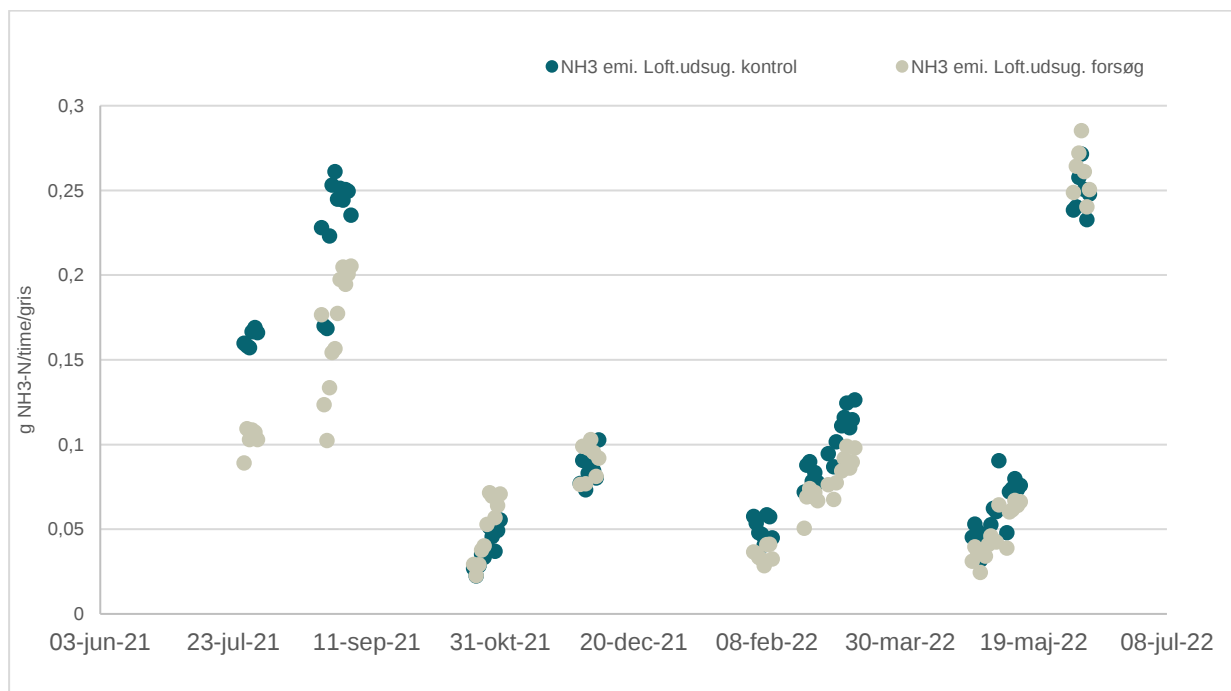
Appendiks 5

Ammoniakemissioner, dagsgennemsnit, grafer

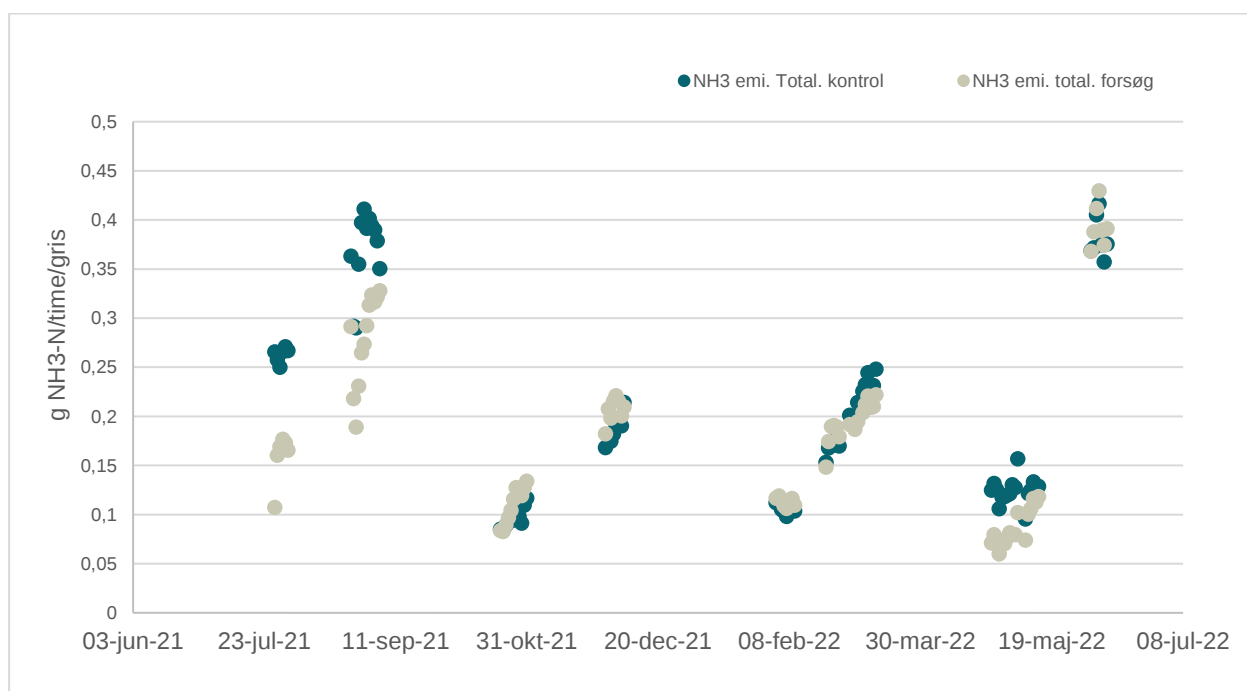
Graf 3. Ammoniakemission, dagsgennemsnit, punktudsugning.



Graf 4. Ammoniakemission, dagsgennemsnit, loftudsug.



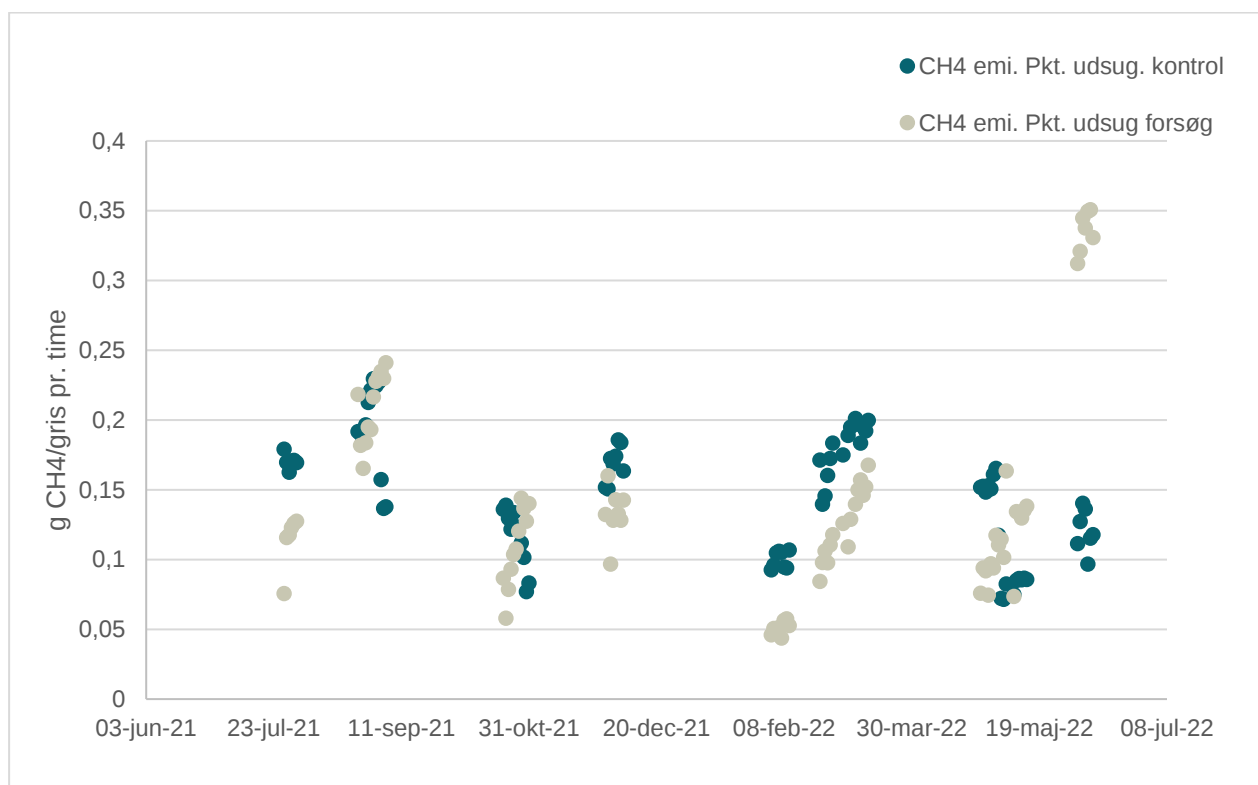
Graf 5. Ammoniakemission, dagsgennemsnit, total.



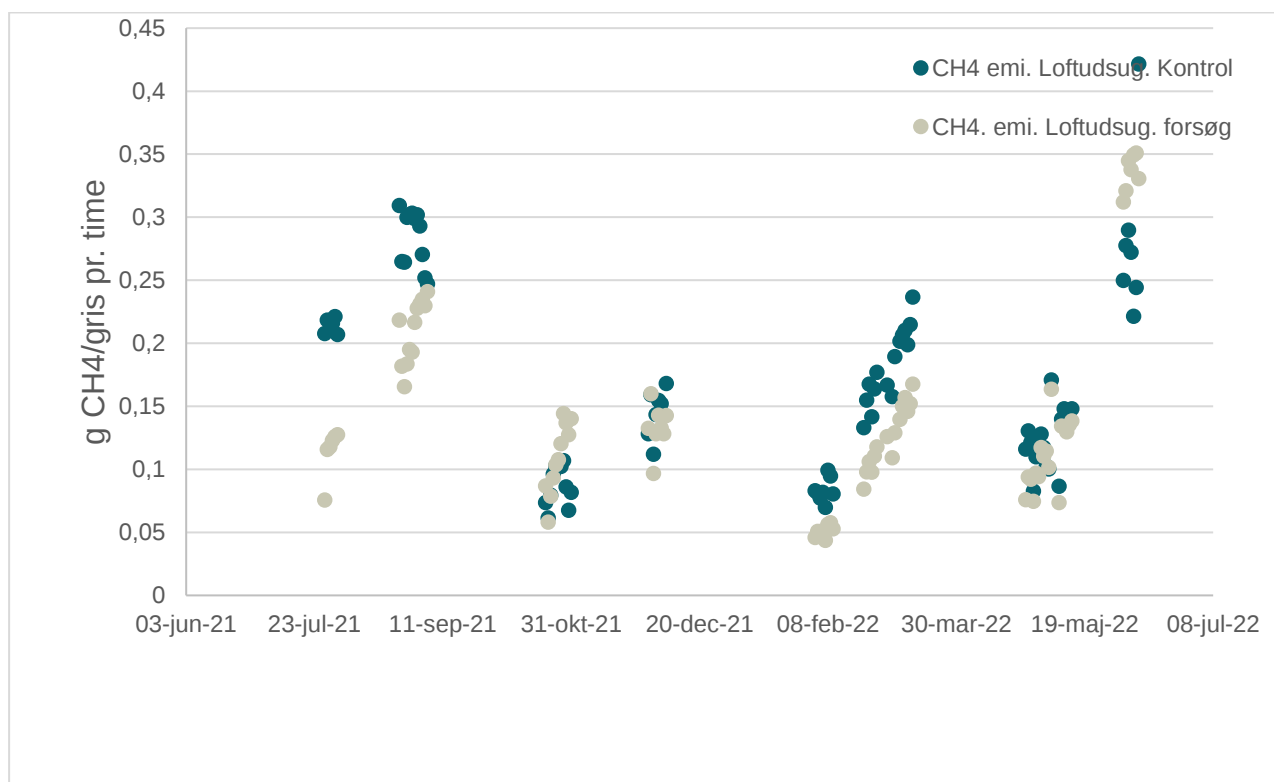
Appendiks 6

Metanemissioner, dagsgennemsnit, grafer

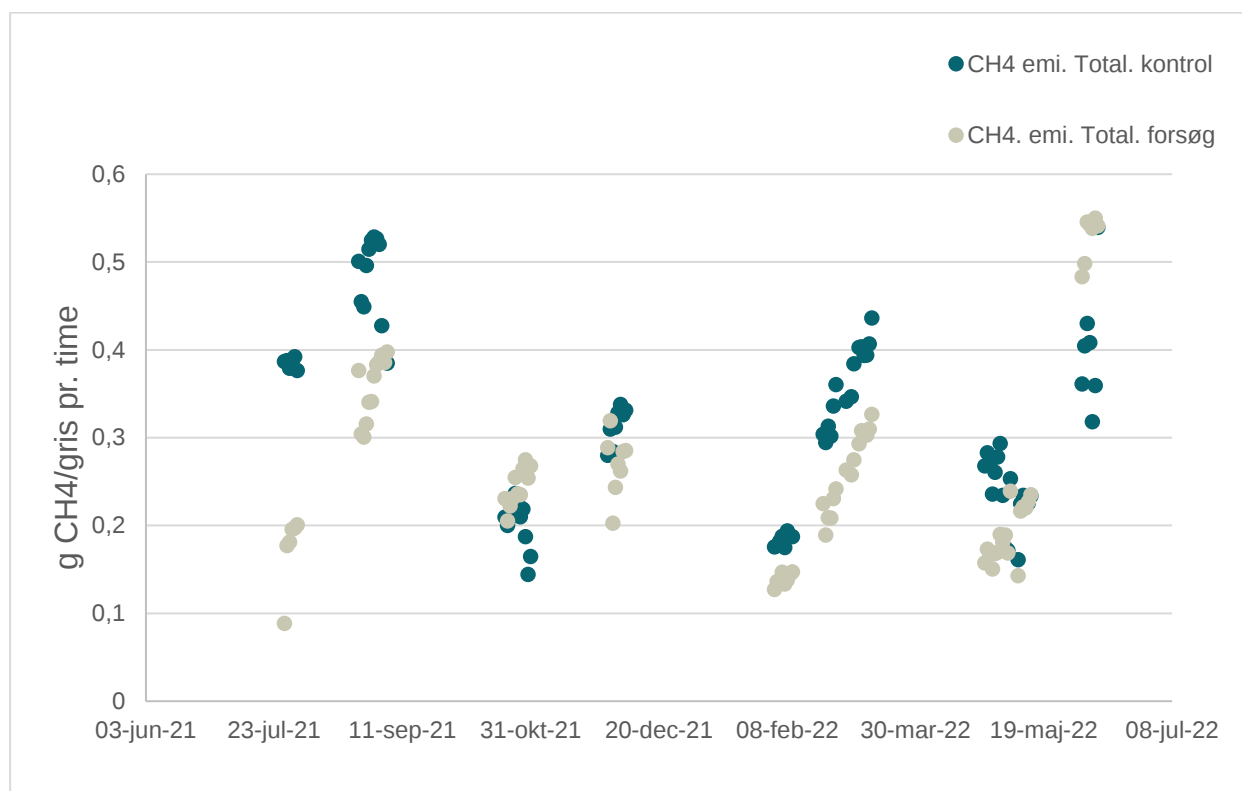
Graf 6. Metanemission, dagsgennemsnit, punktudsugning.



Graf 7. Metanemission, dagsgennemsnit, loftudsug.



Graf 8. Metanemission, dagsgennemsnit, total.



Appendiks 7

Lugtemissioner

Tabel 7. Lugtemissioner. Kontrol. Loftudsug.

Hold	Måle-runde	n		Svovl-brinte	Eddike-syre	Metan-thiol	Propan-syre	Trimethylamin	Smør-syre	Pentan-syre	P. cresol	Skatol	SOAV
1	1	5	Emission [s-1]:	2112,2	628,6	1347,68	167,7	988,62	3136,1	627,88	3658,92	1365,7	14033,46
			STD:	236,2	50,0	151,136	16,57	36,455	331,01	71,150	277,758	215,690	997,5523
			95% conf:	92,57	19,61	59,245	6,50	14,2902	129,76	27,891	108,881	84,550	391,0405
1	2	6	Emission [s-1]:	3379,6	283,1	1009,919	63,7	791,22	1075,4	196,89	1236,69	740,139	8776,707
			STD:	2814,1	186,5	547,119	44,8	347,710	769,12	127,409	619,720	117,904	5387,949
			95% conf:	919,3	60,9	178,7255	14,63	113,585	251,25	41,620	202,442	38,515	1760,063
2	1	11	Emission [s-1]:	729,6	165,0	498,1	50,3	416,6	771,1	150,6	711,3	379,2	3871,7
			STD:	196,4	75,9	194,8	25,7	184,3	397,2	76,7	236,6	151,0	1467,1
			95% conf:	77,0	29,8	76,4	10,1	72,2	155,7	30,1	92,7	59,2	575,1
2	2	1	Emission [s-1]:	1477,5	75,5	793,5	17,3	376,6	308,1	59,5	603,4	356,5	4067,9
			STD:	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
			95% conf:	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3	1	2	Emission [s-1]:	567,0	79,6	322,06	24,04	164,48	394,2	72,74	565,35	333,41	2522,859
			STD:	91,886	13,260	77,923	4,324	31,4298	83,3506	16,13184	150,29863	73,926	542,5295
			95% conf:	90,049	12,995	76,365	4,237	30,8012	81,6836	15,80920	147,29266	72,447	531,6789
3	2	8	Emission [s-1]:	891,6	96,4	344,85	27,8	292,45	501,61	97,27	949,80	360,46	3562,285
			STD:	237,6	14,01	50,654	4,273	45,086	83,074	17,421	187,917	94,342	706,1351
			95% conf:	58,21	3,432	12,4102	1,047	11,0461	20,353	4,2681	46,0398	23,114	173,0031
4	1	2	Emission [s-1]:	542,8	119,3	292,6	38,5	253,0	611,2	116,6	524,7	230,1	2728,9
			STD:	161,3	27,6	75,9	10,1	27,3	165,7	33,4	67,9	50,7	619,9
			95% conf:	63,2	10,8	29,8	4,0	10,7	64,9	13,1	26,6	19,9	243,0
4	2	7	Emission [s-1]:	3206,1	437,1	1725,6	101,1	1286,8	1769,8	315,3	2620,6	316,3	11778,7
			STD:	515,8	37,1	199,8	9,4	141,4	168,1	29,7	368,8	85,2	1426,3
			95% conf:	202,2	14,6	78,3	3,7	55,4	65,9	11,6	144,6	33,4	559,1

Tabel 8. Lugtemissioner. Kontrol. Punktdugning.

Hold	Måle-runde	n		Svovl-brinte	Eddike-syre	Metan-thiol	Propan-syre	Trimethylamin	Smør-syre	Pentan-syre	P. cre-sol	Skatol	SOAV
1	1	5	Emission [s-1]:	1725,8	34,7	505,45	10,7	225,09	196,1	43,10	1071,27	355,4	4167,618
			STD:	101,1	5,2	73,846	1,49	10,925	31,36	7,726	51,630	44,119	284,4088
			95% <u>conf.</u>	39,64	2,05	28,948	0,59	4,2827	12,29	3,029	20,239	17,295	111,4883
1	2	6	Emission [s-1]:	183,7	19,7	65,283	4,1	48,87	69,7	12,63	88,32	53,444	545,7766
			STD:	147,1	12,1	40,054	2,8	17,642	53,14	8,550	47,351	4,381	329,68609
			95% <u>conf.</u>	48,1	3,9	13,0842	0,93	5,763	17,36	2,793	15,468	1,431	107,69746
2	1	11	Emission [s-1]:	1325,0	33,2	389,1	10,6	267,2	165,7	33,9	650,9	223,8	3099,5
			STD:	259,4	4,0	30,2	1,4	26,9	23,9	4,5	71,2	19,1	330,3
			95% <u>conf.</u>	101,7	1,6	11,8	0,6	10,5	9,4	1,8	27,9	7,5	129,5
2	2	1	Emission [s-1]:	809,9	47,8	430,6	11,6	248,2	199,0	39,6	345,9	210,6	2343,3
			STD:	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
			95% <u>conf.</u>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3	1	2	Emission [s-1]:	872,7	11,8	218,71	3,74	75,43	65,5	14,64	514,62	191,01	1968,146
			STD:	5,788	0,351	16,228	0,083	2,1849	0,0985	0,02401	8,01050	3,988	19,74559
			95% <u>conf.</u>	5,672	0,344	15,903	0,082	2,1412	0,0965	0,02353	7,85029	3,909	19,35067
3	2	8	Emission [s-1]:	1210,7	16,9	273,53	5,3	173,72	95,80	20,71	815,19	166,09	2777,943
			STD:	133,0	0,52	16,775	0,244	5,263	4,652	1,164	82,440	27,122	227,6852
			95% <u>conf.</u>	32,59	0,127	4,1098	0,060	1,2893	1,140	0,2852	20,1978	6,645	55,7829
4	1	2	Emission [s-1]:	1677,4	31,4	329,4	10,8	226,5	170,2	33,2	742,0	145,4	3366,3
			STD:	69,0	6,7	4,2	2,7	26,0	46,9	9,7	52,7	42,6	260,5
			95% <u>conf.</u>	27,0	2,6	1,6	1,1	10,2	18,4	3,8	20,6	16,7	102,1
4	2	7	Emission [s-1]:	246,9	43,2	154,2	10,2	83,5	184,1	31,8	197,9	19,6	971,5
			STD:	44,7	3,7	24,6	0,6	6,8	14,0	2,2	25,2	4,6	117,8
			95% <u>conf.</u>	17,5	1,4	9,6	0,2	2,7	5,5	0,8	9,9	1,8	46,2

Tabel 9. Lugtemissioner. Forsøg. Loftdugug.

Hold	Måle-runde	n		Svovl-brinte	Eddike-syre	Metan-thiol	Propan-syre	Trimethylamin	Smørsyre	Pentan-syre	P. cresol	Skatol	SOAV
1	1	4	Emission [s-1]:	285,9	24,5	394,8	7,6	223,0	137,0	29,1	271,7	147,7	1521,1
			STD:	117,9	6,5	180,4	2,2	76,2	41,0	7,9	82,6	38,2	544,3
			95% <u>conf.</u>	46,2	2,6	70,7	0,9	29,9	16,1	3,1	32,4	15,0	213,4
1	2	5	Emission [s-1]:	335,3	34,7	122,0	7,7	76,4	133,8	23,4	142,2	66,2	941,7
			STD:	96,0	10,8	21,1	2,3	13,9	43,4	7,1	32,4	5,5	206,8
			95% <u>conf.</u>	37,6	4,3	8,3	0,9	5,5	17,0	2,8	12,7	2,1	81,1
2	1	5	Emission [s-1]:	1568,2	33,1	388,35	11,7	203,00	186,2	35,68	403,92	162,59	2992,766
			STD:	95,29	4,0	29,484	1,72	16,860	25,35	4,807	31,650	19,969	156,9900
			95% <u>conf.</u>	37,35	1,56	11,5578	0,67	6,609	9,936	1,884	12,407	7,828	61,5401
2	2	1	Emission [s-1]:	798,5	27,3	447,59	7,9	174,16	128,7	24,44	314,60	179,48	2102,632
			STD:	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
			95% <u>conf.</u>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3	1	2	Emission [s-1]:	1345,6	30,6	472,8	9,7	158,1	162,5	31,9	433,6	341,4	2986,1
			STD:	57,7	2,4	57,7	0,4	1,5	1,5	0,2	32,7	8,4	151,0
			95% <u>conf.</u>	22,6	0,9	22,6	0,1	0,6	0,6	0,1	12,8	3,3	59,2
3	2	3	Emission [s-1]:	1233,9	25,1	416,4	8,0	244,2	138,9	28,8	590,0	234,1	2919,4
			STD:	189,3	2,9	15,2	1,0	4,4	16,4	3,2	62,8	9,2	294,2
			95% <u>conf.</u>	74,2	1,1	6,0	0,4	1,7	6,4	1,3	24,6	3,6	115,3
4	1	2	Emission [s-1]:	976,0	33,4	639,59	11,6	129,55	189,7	37,02	374,26	84,20	2475,213
			STD:	79,70	7,4	80,087	2,81	14,824	50,37	10,266	38,544	30,379	314,3520
			95% <u>conf.</u>	78,11	7,2	78,485	2,75	14,528	49,36	10,060	37,773	29,771	308,0650
4	2	3	Emission [s-1]:	237,6	30,8	116,567	7,3	84,27	129,1	23,38	161,93	17,70	808,7324
			STD:	6,223	1,46	1,2451	0,47	7,798	8,97	1,266	9,081	2,6020	17,66534
			95% <u>conf.</u>	4,066	0,96	0,81346	0,310	5,094	5,863	0,827	5,933	1,7000	11,54136

Tabel 10. Lugtemission. Forsøg. Punktudsugning.

Hold	Måle- runde	n		Svovl- brinte	Eddike- syre	Metan- thiol	Propan- syre	Trimethylamin	Smør- syre	Pentan- syre	P. cre- sol	Skatol	SOAV
1	1	4	Emission [s-1]:	702,4	502,4	1145,2	146,5	1042,3	2639,9	522,4	1789,3	932,2	9422,5
			STD:	66,7	40,1	51,7	8,1	55,2	137,5	38,0	142,5	74,1	398,1
			95% <u>conf.</u>	26,1	15,7	20,3	3,2	21,6	53,9	14,9	55,9	29,0	156,1
1	2	5	Emission [s-1]:	1110,3	157,0	709,3	32,2	647,3	533,4	109,4	937,2	640,2	4876,3
			STD:	864,2	105,5	410,1	22,9	292,1	393,3	69,7	565,3	72,4	2755,6
			95% <u>conf.</u>	338,8	41,4	160,8	9,0	114,5	154,2	27,3	221,6	28,4	1080,2
2	1	5	Emission [s-1]:	511,0	118,5	324,38	38,1	245,75	575,1	105,50	353,35	190,07	2461,786
			STD:	113,02	26,3	83,172	9,85	60,418	142,05	26,683	81,275	64,218	597,7872
			95% <u>conf.</u>	44,30	10,32	32,6036	3,86	23,684	55,682	10,460	31,860	25,174	234,3326
2	2	1	Emission [s-1]:	3054,6	84,9	1118,26	21,4	542,83	365,1	72,36	781,94	570,00	6611,375
			STD:	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
			95% <u>conf.</u>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3	1	2	Emission [s-1]:	418,7	72,4	258,0	22,1	128,1	372,3	69,5	347,2	296,4	1984,7
			STD:	75,5	2,4	53,7	0,8	16,7	23,4	6,2	75,9	42,5	297,2
			95% <u>conf.</u>	29,6	0,9	21,0	0,3	6,6	9,2	2,4	29,7	16,7	116,5
3	2	3	Emission [s-1]:	276,0	57,3	177,0	16,5	144,9	283,4	53,5	335,0	171,5	1515,2
			STD:	239,0	49,8	155,7	14,3	126,2	245,7	46,3	290,4	150,9	1313,8
			95% <u>conf.</u>	93,7	19,5	61,0	5,6	49,5	96,3	18,2	113,8	59,2	515,0
4	1	2	Emission [s-1]:	531,0	134,9	614,48	42,1	256,13	686,8	127,52	450,31	182,60	3025,832
			STD:	118,19	20,9	143,598	7,67	12,075	132,10	25,093	30,717	19,350	509,6913
			95% <u>conf.</u>	115,82	20,5	140,726	7,51	11,833	129,46	24,591	30,102	18,963	499,4975
4	2	3	Emission [s-1]:	3025,3	339,2	1651,996	72,9	1026,91	1299,7	243,38	1942,04	242,20	9843,69
			STD:	185,888	41,82	142,9592	8,15	208,913	155,79	27,448	193,580	42,5592	917,5812
			95% <u>conf.</u>	121,447	27,32	93,40001	5,322	136,490	101,784	17,933	126,472	27,8054	599,4864



Tlf.: 87 40 50 00

info@seges.dk

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