

# OPSAMLING AF AMMONIAK OG METAN MED DELVIS MEKANISK VENTILATION I EN NATURLIGT VENTILERET KVÆGSTALD

Pernille Lund Kasper<sup>a</sup> og Maja Duus Dolriis<sup>b</sup>

<sup>a</sup> SEGES Innovation P/S

<sup>b</sup> Ansat ved SEGES Innovation og projektansvarlig under udførelsen af testen

STØTTET AF

**Kvæg**afgiftsfonden

STØTTET AF

**Mælke**afgiftsfonden

## Hovedkonklusion

Delvis mekanisk ventilation placeret over køernes opholdszone i en naturligt ventileret stald blev testet over et år med 5 måleperioder á ca. 14 dages varighed. Resultaterne viste, at den testede mekaniske ventilation, som var dimensioneret til at opsamle 242 m<sup>3</sup> pr. ko i timen, kunne opsamle op til 27,7 % og 30,2% af den samlede ammoniak- og metanemission i vinterperioden, hvor det naturlige luftskifte var lavest, mens andelen faldt til henholdsvis 8,6 % og 11,0 % i efterårsperioden, hvor det naturlige luftskifte var højest. Gennemsnitligt over året var opsamlingsgraden 15,7±8,1 % og 18,1±8,2 % for henholdsvis ammoniak og metan.

## Sammendrag

I denne afprøvning testes en kombination af naturlig og mekanisk ventilation, hvor det traditionelle miljø med forholdsvis åbne stalde kan bibeholdes, samtidig med at en del af luften fra stalden ventileres mekanisk og potentielt kan ledes til en luftrensner. Formålet med testen var at undersøge og dokumentere, hvor stor en andel af staldens samlede ammoniak- og metanemission der kan opsamles med delvis mekanisk ventilation og dermed potentielt reduceres ved luftrensning. Systemet blev testet i en kvægbesætning med fem måleperioder fordelt over ét år. Resultaterne viste, at den testede mekaniske ventilation kunne opsamle, hvad der svarer til 8-30 % af den samlede ammoniak- og metanemission. Gennemsnitligt over året var opsamlingsgraden 15,7±8,1 % og 18,1±8,2 % for henholdsvis ammoniak og metan. I alle perioder var opsamlingsgraden korreleret til den opsamlede andel af det

samlede luftskifte. Den mekaniske ventilation var dimensioneret til at opsamle ca. 50 % af køernes teoretiske ventilationsbehov (242 m<sup>3</sup> pr. ko pr. time) men opsamlede i testperioden kun gennemsnitligt 12,2±5,9 % af det samlede luftskifte. Det vurderes, at den mekaniske ventilation bør dimensioneres større, eller at en mere omfattende styring af den naturlige ventilation, end den, der er anvendt i indeværende test, vil være nødvendig for at opnå større opsamlingsgrader.

## Baggrund

Kvægsektoren står over for en stor udfordring i forhold til at reducere udledninger af ammoniak og metan til atmosfæren. Ammoniak bidrager til kvælstofdeposition og medfølgende tab af biodiversitet i følsomme naturområder samt eutrofiering af vandområder, mens metan er en kraftig drivhusgas, som bidrager til klimaforandringer. For at sikre en minimal effekt på miljø og klima samt opfyldelse af krav og regulering fra myndigheder og samfund, må metoder og teknologier, som kan nedbringe emissionerne fra kvægstalde, udvikles og optimeres.

Størstedelen af danske kvægejendomme består af naturligt ventilerede stalde med store sideåbninger samt åbninger i tag eller tagryg. Luftskiftet sikres af vind og termisk opdrift, idet varm luft omkring dyrene stiger opad, mens der i kolde perioder kan lukkes med gardiner. Denne ventilationsform er stort set drifts- og vedligeholdelsesfri og desuden vellidt af mange kvægproducenter, blandt andet på grund af et stort naturligt lysindfald og fornemmelsen af frisk luft i staldrummet. Naturlig ventilation kan dog i perioder være under- eller overdimensioneret i forhold til dyrenes faktiske behov. Specielt i sommermånederne kan det være svært at imødekomme dyrenes ventilationsbehov for at undgå varmemstress. Derudover vanskeliggør naturlig ventilation en opsamling af staldluften med henblik på reduktion af emissioner med for eksempel luftrensningsteknologier.

Hybrid ventilation med delvis mekanisk og delvis naturlig ventilation kan være en løsning, hvor det traditionelle miljø med forholdsvis åbne stalde kan bibeholdes, samtidig med at der er mulighed for at oprense en del af staldluften for at reducere emissionerne af f.eks. ammoniak. I denne sammenhæng er punktudsugning i kvægstalde, hvor en del af luften trækkes ud lige over gylleoverfladen, testet. Rong et al. (2014) [1] fandt, at 64-83 % af ammoniakemissionen kunne samles i punktudsugning. 50 % af metanemissionen i vinterperioden blev opfanget i punktudsugning, mens det om sommeren kun var 10 %. Det kan dog være vanskeligt at etablere punktudsug i eksisterende staldbygninger, og en alternativ løsning kan derfor være delvis ventilation i luftrummet over køerne.

Formålet med indeværende test var at implementere delvis mekanisk ventilation i en naturligt ventileret kvægstald samt at dokumentere, hvor stor en andel af staldens samlede ammoniak- og metanemissioner der kan opsamles i den mekaniske ventilation ved en ydelse svarende til ca. halvdelen af køernes teoretiske ventilationsbehov. Det bør bemærkes, at der på nuværende tidspunkt ikke er udviklet luftrensningsteknologier, som kan håndtere metan i de lave koncentrationsniveauer, som findes i kvægstalde. På den anden side er luftrensningsteknologier til reduktion af ammoniak veldokumenterede.

## Materialer og metoder

### Gennemførelse

Afprøvningen blev gennemført efter retningslinjerne i VERA-protokollen (ver 3:2018-09) [2] med 6 måleperioder af en varighed på 10-14 dage fordelt over ét år. Grundet udfordringer med måleudstyret i sidste periode er resultaterne herfra dog ikke præsenteret i denne rapport. Afprøvningen blev udført

som et forsøg/kontrollforsøg (case/control). Det vil sige, at hver måleperiode gennemføres i samme stald med først en forsøgsperiode med en kombination af naturlig og mekanisk ventilation og dernæst en kontrolperiode, hvor den mekaniske ventilation er slukket, og stalden forsynes alene ved naturlig ventilation.

### Besætningsbeskrivelse

Afprøvningen blev gennemført i en kvægstald med Dansk Holstein opført i 2003. Stalden var placeret med gavlender i nord-/sydlig retning og indrettet med malkekøer i østsiden og kvier samt goldkøer i vestsiden. Kviekalve blev flyttet til sengebåsestalden ved en alder på ca. 6 måneder. Køerne blev fodret morgen og aften med foderblandinger til henholdsvis lakterende køer, golde køer og kvieopdræt. Foderplanerne blev registreret i DMS (Dairy Management System).

Stalden var indrettet med spaltegulv i gangarealerne og ringkanalsystem med rundskyl. I den nordvestlige del af stalden gik kviekalve i dybstrøelsesbokse. Her var desuden placeret et område med dybstrøelsesbokse til småkalve. I forbindelse med måleperioderne var dette område aflukket. I den nordøstlige side var der indrettet et separationsafsnit med spalter til køer samt et dybstrøelsesafsnit til nykælvere. I den nordøstlige side var der desuden indrettet et malkeafsnit, hvor køerne blev malket i 2 DeLaval-malkerobotter. Se evt. plantegning, Figur A1.1 (Appendiks 1).

På ejendommen var der to gyllebeholdere, som var placeret i en afstand, hvor det vurderes, at de ikke påvirkede emissionsmålingerne fra stalden. Se evt. Figur A1.2 (Appendiks 1).

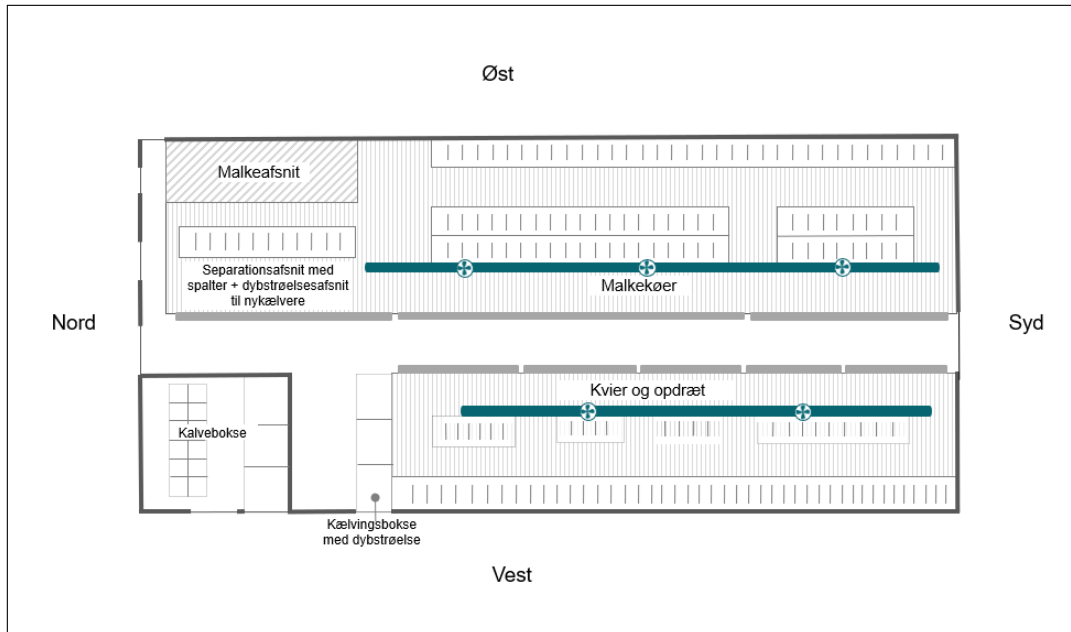
**Tabel 1.** Beskrivende parametre for afprøvningsstald.

Parameter	
Dimension af stalden (længde; bredde; højde, m)	66,5; 30,3; 11,5
Staldtype	Sengebåsestald med spaltegulv i gangarealerne, kælvningsbokse med strøelse
Bruttoareal af stalde, (m <sup>2</sup> )	1884 m <sup>2</sup> ekskl. 131 m <sup>2</sup> kalvestald
Indvendig volumen af stalde, (m <sup>3</sup> )	13282
Produktionsareal, sengebåseafsnit til køer (m <sup>2</sup> )	820
Produktionsareal, kælvningsbokse (m <sup>2</sup> )	42,0
Totalt produktionsareal, køer (m <sup>2</sup> )	862,6
Produktionsareal, sengebåseafsnit til ungdyr (m <sup>2</sup> )	
Produktionsareal, dybstrøelsesbokse (m <sup>2</sup> )	354,3
Totalt produktionsareal, ungdyr (m <sup>2</sup> )	
Totalt produktionsareal (m <sup>2</sup> )	1216,9
Forhold produktionsareal køer:ungdyr	71:29
Staldenes længderetning (°)	+8° i forhold til nord:syd-aksen
Antal koplader i sengebåseafsnit	118
Antal koplader i kælvningsbokse	8
Antal koplader i alt	126
Antal ungdyrpladser i sengebåseafsnit	81
Antal ungdyrpladser i dybstrøelsesbokse	-
Antal pladser til kvier i alt	81
Sengebåse, strøelse/måtte	Snittet halm
Malkning	AMS
Mælkeproduktion (kg dag <sup>-1</sup> ko <sup>-1</sup> )	33,3
Foder	TMR med >50 % grovfoder og et råproteinindhold på ca. 180 g/kg TS jf. aktuel foderplan

## Mekanisk ventilation

Den mekaniske ventilation blev dimensioneret, leveret og monteret af ROTOR A/S. Der blev opsat tre loftsudsugninger i den østvendte side med malkekøer og to loftsudsugninger i den vestvendte side med opdræt. Hver loftsudsugning var etableret med en hætte på taget for at undgå regnvand i ventilationssystemet. Placeringen af loftsudsugninger blev baseret på ventilationsbehovet og varmeproduktionen af dyrene i arealet under. I begge sider blev loftsudsugningerne monteret over overgangen mellem sengebåse og spalteareal. Figur 1 viser en skitse af stalden samt placering af loftsudsugninger.

Hver loftsudsugning blev forlænget med et isoleret PUR-rør med en dimension på Ø640, som var forlænget fra taget til ca. 4 meter over gulvkote i overgangen mellem sengebåse og spalteareal. Loftsudsugningsenhederne blev her samlet i et vandret PUR-rør med en dimension på Ø820, som strakte sig i staldens længderetning. Det vandrette rør var forsynet med sugpunktshuller, hvis størrelse afhang af afstanden til loftsudsugningsenheden for at sikre ens luftflow i staldens længderetning. Skitsetegninger af ventilationsenhederne kan ses i Figur A2 (Appendiks 2). Billeder af systemet og loftsudsugninger kan desuden ses i Figur 2.



Figur 1. Skitse af stald samt placering af loftudsugninger. (— = ventilationsrør, ⊕ = loftudsugningsenhed)



Figur 2. Ventilationssystem og loftudsugninger.

Hver loftudsugningsenhed var forsynet med en 230 V PM jævnstrømsmotor placeret ca. 2,8 m over det vandrette opsamlingsrør. Der blev i dimensioneringen regnet med, at 50 % af køernes teoretiske ventilationsbehov skulle opsamles i den mekaniske ventilation. Der blev antaget et teoretisk ventilationsbehov på ~ 500 m<sup>3</sup> pr. time pr. ko. Hver ventilator var dimensioneret til en kapacitet på ca. 10.000 m<sup>3</sup> pr. time (her er modstand til målevinge og hætte fratrukket, hvilket er estimeret til ca. 20 %), og den samlede ventilationskapacitet var således ~ 40.000 m<sup>3</sup> pr. time. Ventilationsydelsen svarede under forsøgene til 242 m<sup>3</sup> pr. ko pr. time.

For opnå det bedst mulige forhold mellem den naturlige og mekaniske ventilation blev der etableret styring på gardinerne i staldens sideåbninger, som blev tilkoblet en vejstation. I perioder med mekanisk ventilation blev åbningen i gardinerne begrænset til højst 50 %, så en større del af luften kunne ledes ud gennem den mekaniske ventilation. I disse perioder var der en set-punkts-temperatur på 8° C. I perioder uden mekanisk ventilation var der ingen begrænsning på åbningen af gardinerne, og set-punkts-temperaturen blev sat til 5° C. Den faktiske temperatur i stalden under forsøg og kontrol fremgår af Tabel 3.

### Bestemmelse af luftydelse og ventilation

Den mekaniske ventilationsydelse blev bestemt med målevinger (Fancom) placeret ca. 1,8 m over det vandrette opsamlingsrør og ca. 1 m under motoren. Til bestemmelse af det naturlige luftskifte anvendes sporgas-ratiometoden. Som sporgas anvendtes den naturlige produktion af kuldioxid i stalden, dvs. kuldioxid produceret af dyrene og af gyllen, som er lagret i stalden.

### Opsætning af målesystem

Målinger af ammoniak, kuldioxid og metan blev foretaget gennem PTFE-slanger (8 mm o.d., 6 mm i.d.) trukket i staldens længderetning. På hver slange var der monteret en kritisk dyse (luftflow ca. 0,5 L/min) for hver 10. meter for at sikre ensartet luftindtag i hele staldens længde. Der blev trukket slange-træk i midten af stalden, ca. 4 meter over gulvkote, i hver side af stalden (ca. 0,5 m fra åbningen), 2,5 m over gulvkote samt i kippen. Uden for stalden blev to målepunkter placeret i 10 meters afstand og 2,5 meters højde øst og vest for stalden, ca. midt i forhold til staldens længde (Figur A3, Appendiks 3). I hver loftsudsugningsenhed var etableret et målepunkt ca. 1,5 m over det vandrette opsamlingsrør. Alle sugepunkter var forsynet med PTFE-filtre for at skille støv og vandmolekyler fra prøveluften. Disse blev skiftet før hver måleperiode. Mellem stald og målevogn med måleinstrumenter var slanger isolerede og opvarmede for at forhindre kondensdannelse.

### Gasmåling

Luft blev trukket fra perforerede slanger og målepunkter med PTFE-belagte pumper (Charles Austen Pumps Ltd.). Én gang i hver måleperiode blev der udført kontrolmålinger af pumpesystemet med en referencegas med kendt koncentration.

Koncentrationsmålinger af ammoniak, kuldioxid, metan og lattergas blev udført med Picarro-instrument G2508 (Picarro Inc.). Instrumentet er baseret på Cavity Ring Down Spectroscopy (CRDS, Picarro Inc.). Denne metode er en direkte absorptionsteknik, hvor der anvendes lysdiode til at bestemme henfaldsraten af lyset i et optisk hulrum. Den observerede tid anvendes til at beregne koncentrationen af det absorberende stof i gasblandingen i hulrummet. Ved at anvende et meget smalt lyspektrum mindskes risikoen for interferens fra andre stoffer i prøven. Metoden er valideret til ammoniakmålinger i kvægstalde [3].

Der blev under målingerne vekslet mellem de forskellige målepunkter ved hjælp af en multipositions-ventil (VICI Valco Instruments). Koncentrationen ved hvert målepunkt blev bestemt ved konstant måling over 7 minutter. Ved hvert besøg af tekniker fra Den Rullende Afprøvning blev koncentrationen af ammoniak og kuldioxid desuden målt med sporgasrør (Kitagawa 105 SD og 126 SF) som kontrolmåling af Picarro-instrument. Estimerede usikkerheder for målemetoder og instrumenter er opgivet i Tabel A4 (Appendiks 4).

## Temperatur, vindretning og fugtighed

Ude- og staldtemperaturen, ude- og stald-luftfugtighed samt vindretning og -hastighed blev logget hvert 5. minut via PC-log (VengSystem A/S). Herudover blev der i hver måleperiode foretaget en kontrolmåling af temperatur og relativ fugtighed i de enkelte målepunkter med et multimeter af typen Testo 435.

## Antal dyr, foderregistrering og mælkeproduktion

Antallet af dyr blev registreret af en tekniker én gang i hver måleperiode. Samtidigt blev der udtaget foderprøver og foretaget foderregistrering. Den specifikke fodersammensætning blev bestemt i Kvægbrugernes fodersystem (DMS). Foderanalyser er angivet i Tabel A5 (Appendiks 5). Mælkeproduktionsdata blev hentet i AMS-systemet. Oplysningerne blev anvendt til at bestemme dyrenes egen kuldioxidproduktion. Anvendte værdier er angivet i Tabel A6 (Appendiks 6).

## Gylleanalyser

Der blev udtaget to gylleprøver i hver måleperiode. Prøverne blev frosset ned for senere samlet at blive sendt til analyse for pH, tørstof, organisk tørstof, total S, N, P, K, TAN og C:N forhold. Disse er angivet i Tabel A7 (Appendiks 7). Derudover blev der målt gyllehøjde i kummerne under spalterne i hver måleperiode, og svineri i sengebåsene blev visuelt bedømt og registreret. Tømning af gyllekummer blev registreret.

## Forbrugstal og driftsstabilitet

Elforbruget i forbindelse med afprøvning blev registreret, og driftsstabiliteten blev vurderet i logbog.

## Databehandling og statistik

Databehandling og statistisk analyse er foretaget i henhold til retningslinjerne i VERA protokollen (ver. 3:2018-09) [2].

## Beregning af samlet og naturligt luftskifte og emission

Beregning af ammoniak- og metanemission fra stalden er baseret på sporgas-ratio-metoden, som angivet i VERA-protokollen [2]. Luftskiftet i stalden baseres på den naturlige frigivelse af CO<sub>2</sub> i stalden og fortyndingen heraf. CO<sub>2</sub>-udskillelsen fra dyrene i stalden er relateret til varmeproduktionen og afhænger af faktorer som størrelse, produktionsniveau og aktivitet [4].

På staldniveau bestemmes dyrenes CO<sub>2</sub> produktion ud fra varmeproduktionen ved [4]:

$$E_{\text{CO}_2} (\text{malkekøer}) = 0,2 \cdot \frac{5,6 \text{ m}^{0,75} + 22 \cdot Y_1 + 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot p^3}{1000}$$

$$E_{\text{CO}_2} (\text{golde køer}) = 0,2 \cdot \frac{5,6 \text{ m}^{0,75} + 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot p^3}{1000}$$

$$E_{\text{CO}_2} (\text{kvier, drægtige}) = 0,2 \cdot \frac{\left(7,64 \text{ m}^{0,69} + Y_2 \cdot \left(\frac{23}{M} - 1\right) \cdot \left(\frac{57,27 + 0,302 \cdot m}{1 - 0,171 \cdot Y_2}\right) + 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot p^3\right)}{1000}$$

$$E_{\text{CO}_2} (\text{kvier, ikke drægtige}) = 0,2 \cdot \frac{\left(7,64 \text{ m}^{0,69} + Y_2 \cdot \left(\frac{23}{M} - 1\right) \cdot \left(\frac{57,27 + 0,302 \cdot m}{1 - 0,171 \cdot Y_2}\right)\right)}{1000}$$

Den totale CO<sub>2</sub>-produktion fra stalden er givet ved summen af dyrenes CO<sub>2</sub>-produktion og CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen:

$$P_{CO_2} = \sum_{i=1}^2 N_i (E_{CO_2,d,i} + E_{CO_2,g,i})$$

Hvor:

$P_{CO_2}$  = Total CO<sub>2</sub> produktion i stalden [L CO<sub>2</sub> time<sup>-1</sup>]

$i$  = dyretype (malkekøer, kvier)

$N$  = antal dyr i hver kategori

$E_{CO_2,d,i}$  = CO<sub>2</sub> produktion relateret til dyrenes varmeproduktion [L CO<sub>2</sub> W<sup>-1</sup>]

$E_{CO_2,g,i}$  = CO<sub>2</sub> produktion fra gylle lagret i stalden [L CO<sub>2</sub> W<sup>-1</sup>]

CO<sub>2</sub>-bidraget fra gyllen antages at udgøre 10 % af bidraget fra dyrene [5, 6]:

Emissionen af ammoniak og metan kan herefter bestemmes ved:

$$E_{NH_3/CH_4} = P_{sporgas} \cdot \frac{[C_{NH_3/CH_4}]_{stald} - [C_{NH_3/CH_4}]_{ude}}{[C_{sporgas}]_{stald} - [C_{sporgas}]_{ude}} \cdot \rho_{NH_3/CH_4}$$

Hvor:

$E_{NH_3/CH_4}$  er ammoniak eller metanemissionen (g time<sup>-1</sup>),

$P_{sporgas}$  er produktionen af sporgas, CO<sub>2</sub> (L time<sup>-1</sup>),

$[C_{NH_3/CH_4}]_{stald}$  er ammoniakkoncentrationen målt i stalden (ppm),

$[C_{NH_3/CH_4}]_{ude}$  er ammoniakkoncentrationen i udeluft (ppm),

$[C_{sporgas}]_{stald}$  er sporgaskoncentrationen målt i stalden samme sted og på samme tid som ammoniak (ppm),

$[C_{sporgas}]_{ude}$  er sporgaskoncentrationen i udeluft målt samme sted og på samme tid som ammoniak (ppm),

$\rho_{NH_3/CH_4}$  er densiteten af ammoniak eller metan ved målt temperatur og lufttryk (g L<sup>-1</sup>).

## Databehandling

For udekonzentrationen af ammoniak og kuldioxid blev anvendt målepunkter placeret i vindretningen. Ude-målepunktet øst for stalden blev antaget at være repræsentativt ved vindretninger mellem 0°-180° C (relativ til staldretningen), mens ude-målepunktet vest for stalden blev antaget at være repræsentativt for vindretninger mellem 180°-360° C.

Beregningen af ammoniak- og metanemission foregik på følgende måde: For hver syv minutter måleperiode blev kun de sidste 3 minutter anvendt for at undgå adsorptionseffekt i slanger og måleinstrument. Derudover blev de sidste 10 sekunder frasorteret for at undgå eventuel effekt af overlap og trykudligninger ved ventilskifte. Således inkluderes kun målinger foretaget minimum 3 minutter fra målingens sluttidspunkt og maksimalt 10 sekunder fra målingens sluttidspunkt. Målinger, som faldt inden for dette interval, blev midlet. Emissionen blev beregnet ud fra hver enkelt målerunde på ventilen. Disse data blev midlet til timegennemsnit. Døgn gennemsnit blev derefter bestemt som summen af



timegennemsnit fra midnat til midnat. Dage med opsætning/nedtagning af måleudstyr samt dage, hvor ventilationen blev indstillet, blev ekskluderet. Målinger, hvor CO<sub>2</sub>-koncentrationen i målepunktet inde i stalden ikke oversteg baggrundsniveauet med mere end 3 gange standardafvigelsen på en blind prøve (kulfilter) for instrumentet, blev ekskluderet (CO<sub>2</sub> cut-off value). Kun måledage, hvor >80 % af de registrerede timegennemsnit indeholdt brugbare data, er medregnet.

Der findes endnu ingen standardiseret metode til måling af gaskoncentrationer i naturligt ventilerede kvægstalde [6, 7], og der er derfor i denne afprøvning målt på 4 måleslanger i stalden (Figur A3, Appendiks 3). I denne rapport er resultaterne præsenteret som koncentrationer beregnet ud fra koncentrationen målt i måleslangen midt i stalden [8]. Det er testet, hvorledes udvælgelse af måleslanger påvirker resultaterne, og det bør bemærkes, at ammoniakkoncentrationen med denne metode estimeres 6,4 % større, end hvis et gennemsnit af alle måleslanger benyttes, og 6,1 % højere, end hvis der anvendes et gennemsnit, hvor måleslangen på vindsiden fratrækkes [6]. For de beregnede resultater betyder det, at den opsamlede andel af ammoniak ville være 9,8 % større (gennemsnitligt 17 %), hvis et gennemsnit af alle måleslanger havde været benyttet, og 5,5 % større (gennemsnitligt 16,6 %), hvis et gennemsnit fratrukket måleslangen i vindsiden havde været benyttet. Tilsvarende forskelle findes for metanemissionen. Forskellen mellem målestrategier antages at have mindre betydning for konklusionerne i denne rapport men kan have betydning for de absolutte emissionsværdier. Der var i måleperioderne ikke statistisk signifikant forskel ( $p < 0,05$ ) på koncentrationen af CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> eller CH<sub>4</sub> målt i den mekaniske ventilation og i måleslangen placeret i midten af stalden.

## Resultater og diskussion

Tabel 2 viser de gennemsnitlige resultater for de første 5 måleperioder. Måleperiode 6 er udeladt, på grundet udfordringer med koncentrationsmålingerne.

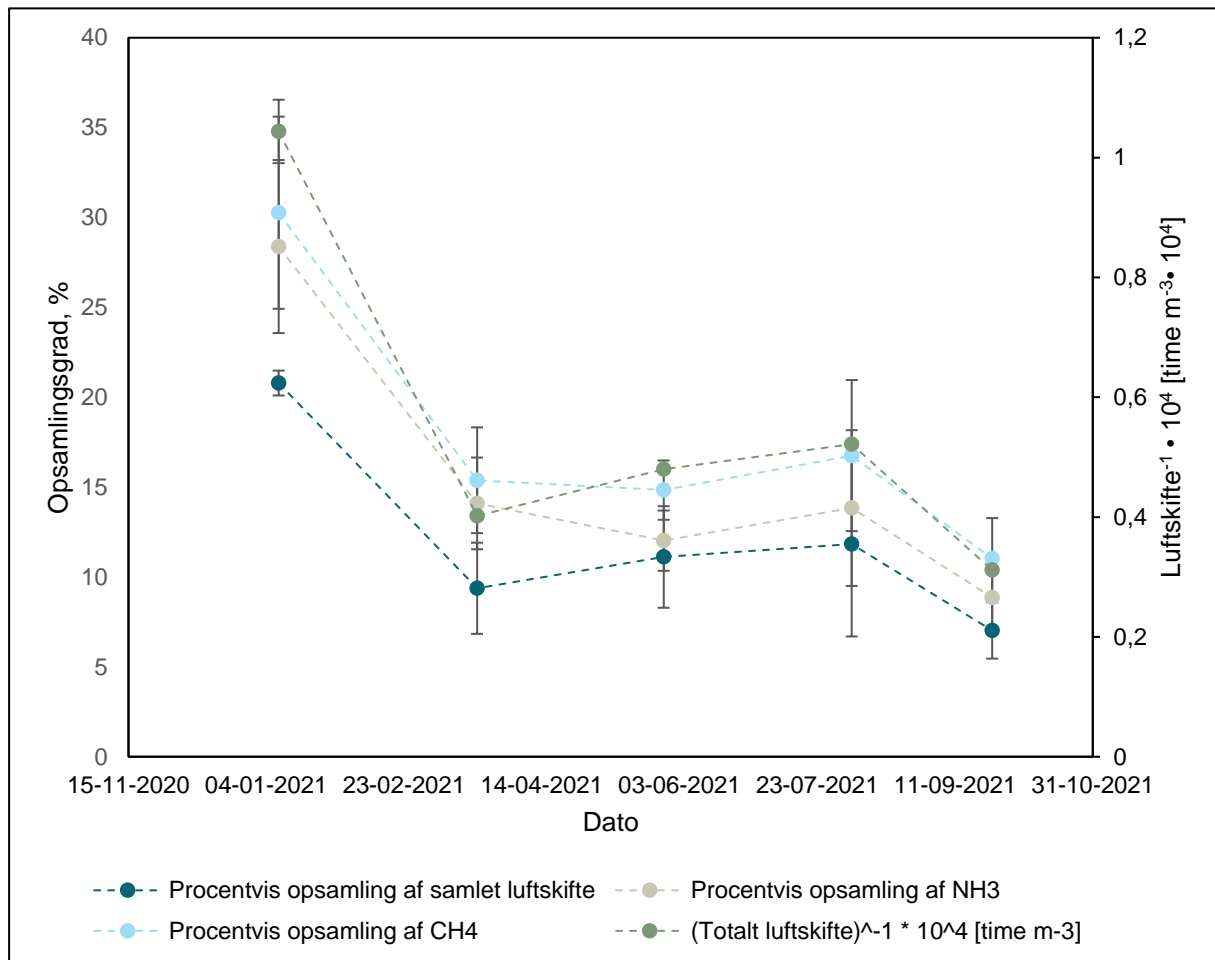
**Tabel 2.** Total og opsamlet ammoniak- og metanemission samt totalt luftskifte og mekanisk luftydelse.

Periode	Opsætning	Dato (start-slut)	Total NH <sub>3</sub> -N emission [g m <sup>-2</sup> døgn <sup>-1</sup> ]	Total CH <sub>4</sub> emission [g m <sup>-2</sup> døgn <sup>-1</sup> ]	Totalt luftskifte [m <sup>3</sup> time <sup>-1</sup> ko <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> -N emission opsamlet [g m <sup>-2</sup> døgn <sup>-1</sup> ]	CH <sub>4</sub> emission opsamlet [g m <sup>-2</sup> døgn <sup>-1</sup> ]	Ydelse - mekanisk ventilation [m <sup>3</sup> time <sup>-1</sup> ko <sup>-1</sup> ]
1	Forsøg	08.01.21-10.01.21	3,9 ± 0,4	43,4 ± 6,4	958 ± 240	1,1 ± 0,4	13,1 ± 5,4	199 ± 31,8
	Kontrol	12.01.21-14.01.21	3,9 ± 1,0	42,4 ± 2,9	1937 ± 839	-	-	-
2	Forsøg	20.03.21-23.03.21	5,4 ± 0,3	50,8 ± 2,7	2488 ± 587	0,7 ± 0,1	7,8 ± 1,3	233 ± 1,3
	Kontrol	25.03.21-28.03.21	5,2 ± 0,2	46,0 ± 2,4	2017 ± 496	-	-	-
3	Forsøg	26.05.21-30.05.21	4,6 ± 1,2	38,2 ± 10,2	2083 ± 455	0,6 ± 0,2	5,7 ± 1,4	232 ± 1,0
	Kontrol	01-06.21-06.06.21	5,7 ± 0,4	43,6 ± 1,9	1997 ± 470	-	-	-
4	Forsøg	03.08.21-06.08.21	5,5 ± 0,4	44,9 ± 0,9	1917 ± 701	0,7 ± 0,2	7,5 ± 2,0	227 ± 1,3
	Kontrol	14.08.2021-15.08.2021	5,8 ± 0,2	47,8 ± 1,3	2766 ± 134	-	-	-
5	Forsøg	22.09.21-27.09.21	5,8 ± 0,7	52,0 ± 3,8	3210 ± 610	0,5 ± 0,1	5,7 ± 1,1	225 ± 0,7
	Kontrol	29.09.21-03.10.21	5,6 ± 0,7	51,7 ± 4,3	2338 ± 440	-	-	-

Det ses af resultaterne, at den opsamlede mængde ammoniak svarede til gennemsnitligt  $15,7 \pm 8,1$  % af den totale ammoniakemission. Den højeste opsamling opnås i vinterperioden med 27,7 % opsamlet. Den laveste emission opnås i efterårsperioden med en gennemsnitlig opsamling på 8,6 %, mens den er en smule højere for forårs- og sommerperioden, hvor der opnås en opsamlingsgrad på henholdsvis 13,6 og  $13,0 \pm 0,9$  %. Den gennemsnitlige opsamlede mængde for metan var  $18,1 \pm 8,2$  %. Igen blev der opnået den højeste opsamlingsgrad i vinterperioden med 30,2 %, mens den var lavest i efterårsperioden, hvor den var 11 %. For metan var opsamlingsgraden i forårs- og sommerperioden henholdsvis 15,4 og  $15,8 \pm 1,7$  %.

For både ammoniak og metan følger opsamlingsgraden den procentvise opsamling af det samlede luftskifte. I vinterperioden, hvor det samlede luftskifte er mindst, ledes 20,8 % af det samlede luftskifte således ud igennem den mekaniske ventilation. I efterårsperioden, hvor luftskiftet er højest, er den procentvise opsamling af det totale luftskifte mindst og gennemsnitligt kun 7,0 %. I forårs- og sommerperioden er den lidt højere og ligger gennemsnitligt på henholdsvis 9,4 % og  $11,5 \pm 2,3$  %. Figur 3 viser

sammenhængen mellem opsamlingsgraden af ammoniak, metan og luftskifte, samt det samlede luftskifte.



**Figur 3.** Sammenhæng mellem opsamlingsgrad af ammoniak, metan og luftskifte.

Der var i måleperioderne ikke signifikant forskel på luftskifte, temperatur, fugt eller vindhastighed mellem perioder med mekanisk ventilation og perioder uden. Konditionelle parametre samt gylleanalyser for de enkelte måleperioder kan ses i Tabel 3 og 4. Kun i vinterperioden er der signifikant forskel på luftskiftet mellem forsøgs- og kontrolperioden. Der er dog ikke signifikant forskel ( $p < 0,05$ ) på ammoniak- og metanemissionen i forsøgs- og kontrolperioder i nogen af måleperioderne.

Det bør bemærkes, at resultaterne i denne rapport er baseret på to målekampagner i sommerperioden og kun én målekampagne udført i henholdsvis forårs-, efterårs- og vinterperioden. Den 6. målekampagne udført i vinterperioden er udgået grundet udfordringer med måleudstyr. De samlede resultater i denne rapport er derfor opgivet som et gennemsnit af målinger udført i hver vejr sæson (sommer, vinter, efterår og forår), hvor sommerperioden indgår som et gennemsnit af de to udførte målekampagner. Det antages ikke, at dette påvirker de overordnede konklusioner i denne rapport i særlig grad.

**Tabel 3.** Konditionelle parametre.

Periode	Opsætning	Dato (start-slut)	Temp ude [°C]	Fugt Ude [%]	Temp stald [°C]	Fugt stald [%]	Vindretning [°]	Vindhastighed [m s <sup>-1</sup> ]
1	Forsøg	08.01.21-10.01.21	1,8 ± 0,6	86,8 ± 2,3	3,7 ± 0,4	84,7 ± 0,7	264 ± 41	1,4 ± 1,0
	Kontrol	12.01.21-14.01.21	1,1 ± 1,3	84,4 ± 1,9	2,0 ± 0,3	83,4 ± 0,8	248 ± 110	3,3 ± 1,2
2	Forsøg	20.03.21-23.03.21	6,1 ± 1,0	76,9 ± 7,1	6,2 ± 1,1	78,3 ± 4,4	150,4 ± 33	2,1 ± 0,5
	Kontrol	25.03.21-28.03.21	7,5 ± 0,5	81,4 ± 3,6	8,0 ± 0,7	80,5 ± 2,1	188 ± 26	2,6 ± 0,7
3	Forsøg	26.05.21-30.05.21	13,4 ± 2,2	73,6 ± 7,8	13,3 ± 2,0	76,3 ± 4,7	143 ± 34	1,2 ± 0,5
	Kontrol	01.06.21-06.06.21	17,3 ± 1,4	67,6 ± 5,8	16,8 ± 1,3	73,4 ± 3,1	124 ± 34	1,0 ± 0,6
4	Forsøg	03.08.21-06.08.21	17,7 ± 0,5	69,4 ± 5,9	16,7 ± 0,4	73,9 ± 2,8	134 ± 28	0,9 ± 0,4
	Kontrol	14.08.21-15.08.21	18,1 ± 1,1	75,2 ± 3,2	17,3 ± 0,9	72,2 ± 1,0	185 ± 11	1,3 ± 0,5
5	Forsøg	22.09.21-27.09.21	15,1 ± 0,7	80,0 ± 4,1	14,3 ± 0,7	70,1 ± 3,4	162 ± 17	1,7 ± 0,7
	Kontrol	29.09.21-03.10.21	13,2 ± 0,7	86,7 ± 1,6	13,0 ± 0,6	69,4 ± 1,2	176 ± 30	1,5 ± 0,9

Der var i måleperioderne, som samlet udgjorde 57 dage, et samlet elforbrug på 3.280 kWh. Det svarer til 57,5 kWh pr. dag.

**Tabel 5.** Elforbrug til mekanisk ventilation.

Samlet forbrug [kWh]	Forbrug pr. dag [kWh dag <sup>-1</sup> ]	Forbrug pr. varmeproducerende enhed [kWh dag <sup>-1</sup> VPE <sup>-1</sup> ]
3.280	57,5	0,26

Der var ikke driftsforstyrrelser i testperioden.

## Konklusion

Delvis mekanisk ventilation placeret over køernes opholdszone i en naturligt ventileret stald blev testet over et år med 5 måleperioder á ca. 14 dages varighed. Formålet med testen var at undersøge og

dokumentere, hvor stor en andel af staldens samlede ammoniak- og metanemission der kunne opsamles i den mekaniske ventilation og dermed potentielt ledes til en luftrenser. Resultaterne viste, at den testede mekaniske ventilation, som var dimensioneret til at opsamle 242 m<sup>3</sup> pr. ko i timen, kunne opsamle op til 27,7 % af den samlede ammoniakemission i vinterperioden, hvor det naturlige luftskifte var lavest, mens andelen faldt til 8,6 % i efterårsperioden, hvor det naturlige luftskifte var højest. I vinterperioden blev der opsamlet 30,2 % af den samlede metanemission, mens andelen tilsvarende faldt i efterårsperioden til 11 %. Ligeledes faldt andelen af det samlede luftskifte i stalden, som blev ledt igennem den mekaniske ventilation fra 20,8 % til 7,0 %. I testperioden blev der samlet set opsamlet gennemsnitligt 15,7±8,1 % og 18,1±8,2 % af henholdsvis den samlede ammoniak- og metanemission. Der var igennem måleperioden korrelation mellem den opsamlede andel af ammoniak og metan og andelen af luftskiftet samlet i den mekaniske ventilation. Det vurderes derfor, at det enten vil være nødvendigt at dimensionere den mekaniske ventilation til et luftflow, som er større end det, der er testet her, eller at mere omfattende og restriktiv styring af den naturlige ventilation vil være nødvendig for at øge opsamlingsgraden til et niveau, som gør teknologien mere attraktiv.

## Referencer

- [1] Li Rong, Dezhao Liu, Erling F. Pedersen, Guoqiang Zhang, Effect of climate parameters on air exchange rate and ammonia and methane emissions from a hybrid ventilated dairy cow building, *Energy and Buildings*, Volume 82, 2014.
- [2] VERA test protocol for Livestock Housing and Management Systems (version 3:2018-09) [https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA\\_Testprotocol\\_Housing\\_v3\\_2018.pdf](https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf)
- [3] Kamp m.fl. Negligible influence of livestock contaminants and sampling system on ammonia measurements with cavity ring-down spectroscopy, *Atmospheric Measurement Techniques*, 12, 2837-2850, 2019
- [4] Pedersen S., Sällvik K. 2002. Climatization of Animal Houses. Heat and moisture production at animal and house levels. 4th report of working group. Int. commission of agricultural Engineering, section II.
- [5] Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haueussermann, A., Heetkamp, M.J.W., Aarnik, A.J.A., Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*, 2008
- [6] Kai, P.; Adamsen, A.P.S; Jensen, M.L.; Kasper, P.; Feilberg, A.; Ammonia Emissions from Danish Cubicle Barns for Dairy Cows – Effect of Floor Type and Manure Scraping, *DCA Report No. 110*, 2017.
- [7] Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Calvet, S., and Zhang, G. 2013. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement, Review. Special Issue: Emissions from naturally ventilated livestock buildings, *Biosystems Engineering* 116, 2013
- [8] Kasper, P.L., Dolriis, M.D., Fucks, A., Kai, P., Riis, A.L., Svovlsyreforsuring i kvægstalde, *Kvæginformationsrapport nr. 2616*.

## Deltagere

Tekniker: Hans Peter Thomsen

Evt. andre deltagere: Malene Myllerup

Afprøvning nr. 1707

NAV nr.: 7867

Journalnr.: xxxx-x-xx-xxxxxx

//JAHP//

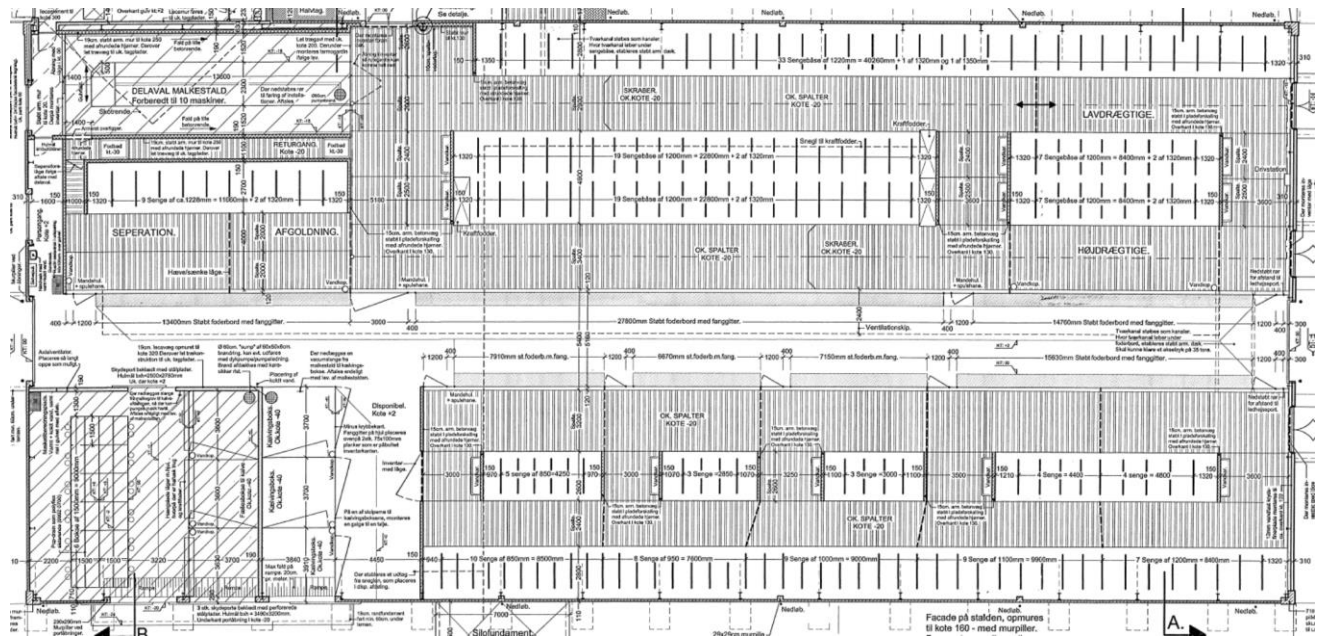
Dyregruppe: Kvæg

Fagområde: Miljø

Nøgleord: Kvæg, naturlig ventilation, mekanisk ventilation, ammoniak, metan

# Appendiks 1

## Indretningsplan og luftfoto af teststald



Figur A1.1. Plantegning.

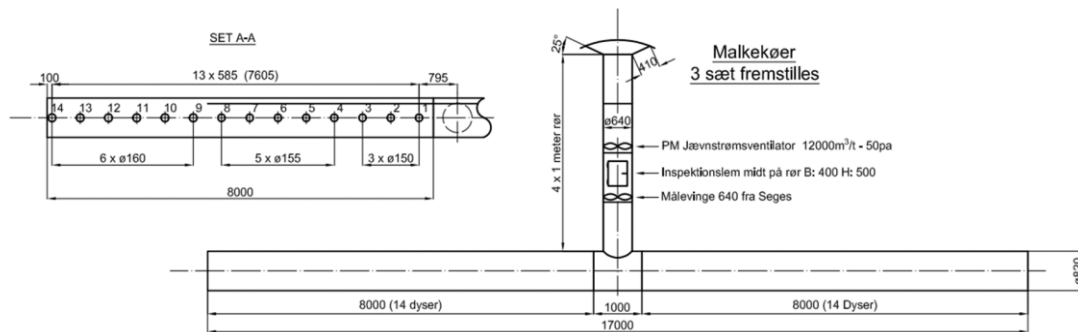


Figur A1.2. Placering af teststald og gyllebeholdere.

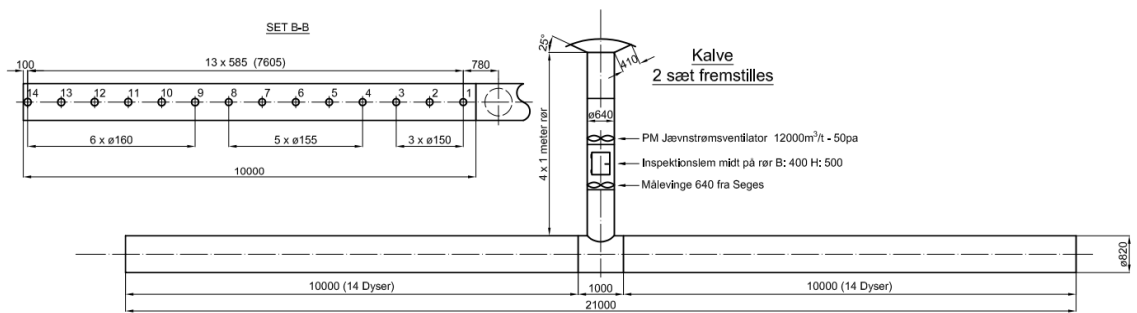
## Appendiks 2

### Skitsetegninger af loftsudsugningsenheder

Der blev til testen produceret tre loftsudsugningsenheder, som blev installeret i østsiden af stalden over malkekøerne, og to enheder, som blev installeret på vestsiden over kvier og opdræt.



**Figur A2.1.** Skitse af ventilationsenhed opsat over malkekøer. Inspektionslemmen blev under opsætningen placeret under målevingen.

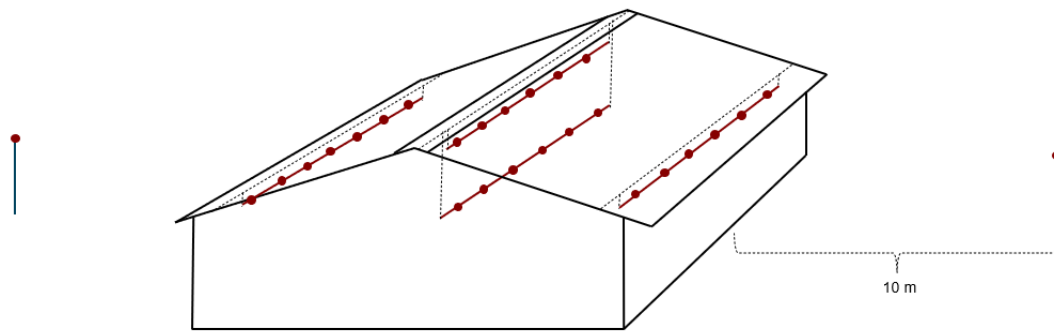


**Figur A2.2.** Skitse af ventilationsenhed opsat over kvier/opdræt. Inspektionslemmen blev under opsætningen placeret under målevingen.



## Appendiks 3

### Oversigt over opsætning af måleslanger



**Figur A3.** Placering af måleslanger i stald og ude.

## Appendiks 4

### Måleusikkerheder

**Tablel A4.** Estimerede måleusikkerheder på målemetoder og analyser.

Målemetode	Usikkerhed
Ammoniak – Kitagawa gas detektionsrør 105SD	10 %
Ammoniak – Picarro (G2103)	5 %
Kuldioxid – Kitagawa gas detektionsrør 126SF	10 %
Kuldioxid – Picarro (G2201-i)	< 5 %
Kuldioxid – Picarro (G4103)	< 5 %
Metan – Picarro (G2201-i)	< 5 %
Metan – Picarro (G4103)	< 5 %
Temperatur – Testo 435-4	0,3 °C
Relativ fugtighed – Testo 435-4	N.D.
pH - Metrohm 913 pH Meter (pH-probe 6.0228.010)	N.D.
Tørstof (gylle) – EU 152/2009 mod.	4 %
Nitrogen (gylle) – EF 152/2009 mod.	4 %
Ammonium-N (gylle) – EF152/2009 mod	4 %
Totalt kulstof (gylle) – DS 259:2003	15 %
Fosfor (gylle) – DS 259:2003	20 %
Kalium (gylle) – DS 259:2003	20 %
Svovl (gylle) – DS 259:2003	20 %

## Appendiks 5

### Foderanalyser

**Tabel A5.** Foderanalyser.

	Måleperiode 1			Måleperiode 2			Måleperiode 3			Måleperiode 4			Måleperiode 5		
	Kvier	Goldkøer	malkekøer	Kvier	Goldkøer	Malkekøer	Kvier	Goldkøer	Malkekøer	Kvier	Goldkøer	Malkekøer	Kvier	Goldkøer	Malkekøer
Tørstof, g kg <sup>-1</sup>	376	396	343	-	407	384	380	419	391	385	434	422	358	342	345
Råprotein, g kg TS <sup>-1</sup>	139	133	148	-	133	157	134	121	153	132	108	145	143	137	149
Opl. Råprot, g kg TS <sup>-1</sup>	75	61	55	-	61	65	80	54	63	79	54	59	83	64	63
Stivelse, g kg TS <sup>-1</sup>	11	166	217	-	197	214	66	182	235	73	193	200	60	164	193
NDF, g kg TS <sup>-1</sup>	423	420	315	-	407	305	426	451	284	426	447	318	393	445	308
Træstof, g kg TS <sup>-1</sup>	259	213	162	-	222	168	249	236	154	250	240	164	227	226	169
Råfedt, g kg TS <sup>-1</sup>	25	29	41	-	31	48	31	32	52	32	31	48	34	34	50
FK org stof [%]	75	75	81	-	75	81	79	74	80	79	76	81	82	76	84
NEL20, MJ/10 kg TS	56	56	65	-	57	67	57	55	66	58	55	66	60	56	66
AAT20, g kg TS <sup>-1</sup>	75	86	101	-	83	96	74	83	94	74	82	96	77	82	94
FE skand./100 kg TS	80	86	99	-	86	100	87	81	99	87	84	100	93	86	104
TMR score	3	3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3
Græsbolde	1	1	1	-	1	3	1	1	2	3	1	1	3	1	1
Partikeltab	1	2	3	-	3	3	1	3	2	1	3	3	1	2	4
Sukker, g kg TS <sup>-1</sup>	92	38	12	-	16	23	45	19	22	54	24	46	71	32	31
Aske, g kg TS <sup>-1</sup>	90	51	69	-	60	75	85	67	68	86	66	67	88	74	70
CAB, meq./kg TS	294	137	178	-	146	215	172	-18	202	204	-53	167	236	-57	177
pH ekstrakt (x10)	43	42	48	-	43	47	43	43	46	44	43	48	46	45	48
Mælkesyre g kg TS <sup>-1</sup>	63	48	43	-	58	54	79	52	57	77	54	46	72	42	49

## Appendiks 6

### Antal dyr, vægt, varme- og CO<sub>2</sub>-produktion

**Tabel A6.** Antal dyr, vægt, varme- og CO<sub>2</sub>-produktion bestemt i hver måleperiode.

Målerunde	Dyr	Belægnings-grad	Antal	Vægt	Mælke- produktion (kg/ko/d)	Varme- produktion (kW)	CO <sub>2</sub> production (L/h)
1	Køer:		103	658	31,9	153,9	
	Goldkøer:		13	754		12,7	
	Kvier:		52	651		60,3	
	Total:	0,83	168		31,9	226,8	44911
2	Køer:		105	672	32,6	157,9	
	Goldkøer:		10	754		9,8	
	Kvier:		45	651		49,7	
	Total:	0,77	160		32,6	219,3	43425
3	Køer:		100	674	38,9	166,3	
	Goldkøer:		10	790		10,0	
	Kvier:		46	654		53,2	
	Total:	0,77	156		38,9	229,5	45437
4	Køer:		102	683	35,2	162,0	
	Goldkøer:		11	788		11,0	
	Kvier:		48	654		52,8	
	Kælvekvier						
	Total:	0,78	161		35,2	225,8	44715
5	Køer:		102	683	35,2	161	
	Goldkøer:		9	788		10,5	
	Kvier:		48	654		52,7	
	Kælvekvier						
	Total:	0,77	159		35,2	224,3	44317,5

## Appendiks 7

### Gylleanalyser

**Tabel A7.** Gylleanalyser.

Måleperiode (start-slut)	TS [%]	Total N [kg ton <sup>-1</sup> ]	NH <sub>4</sub> -N [kg ton <sup>-1</sup> ]	pH [-]	Totalt kulstof [%]	P [kg ton <sup>-1</sup> ]	K [kg ton <sup>-1</sup> ]	S [kg ton <sup>-1</sup> ]	C/N forhold
08.01.21-14.01.21	8,0	4,3	2,3	7,3	43	0,64	3,5	0,56	8,0
20.03.21-28.03.21	6,6	4,0	2,3	7,3	42	0,58	3,2	0,57	6,9
26.05.21-06.06.21	8,0	3,8	1,8	7,1	43	0,77	2,6	0,56	9,1
03.08.21-15.08.21	11,2	4,5	1,9	7,2	43	1,0	3,0	0,69	10,8
22.09.21-03.10.21	8,2	3,9	2,2	7,1	44	0,73	3,2	0,55	9,2



Tlf.: 87 40 50 00

[info@seg.es.dk](mailto:info@seg.es.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.