

# SVOVLSYREFORSURING I KVÆGSTALDE

Forfatter(e):

Pernille Lund Kasper, Maja Duus Dolriis, Andrea Fuchs<sup>a</sup>, Peter Kai<sup>a</sup> og Anders Leegaard Riis<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Aarhus Universitet, Institut for Bio- og Kemiteknologi

<sup>b</sup> Ansat i SEGES Svineproduktion under udførelse af testen

STØTTET AF

**Mælkeafgiftsfonden**

## Hovedkonklusion

Gylleforsuring med svovlsyre som middel mod ammoniakemission er testet i to kvægstalde. Der blev målt en ammoniakreducerende effekt på hhv. 33,7% og 26,2% sammenlignet med perioder uden forsuring svarende til en gennemsnitlig effekt på 30%. Ligeledes blev der målt en effekt af forsuring på metanemissionen som blev reduceret hhv. 14,0% og 10,7% i de to undersøgte kvæg-stalde. Emissionen af ammoniak og metan blev bestemt med CO<sub>2</sub> internal tracer ratio-metoden. I forbindelse med testen blev effekten af svovlsyreforsuring på CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen i stalden bestemt i laboratorieforsøg. Disse viste en reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen på 46%. Korrigere testresultaterne for denne effekt medfører det en forøgelse af den samlede reduktion i ammoniakemissionen for henholdsvis besætning A og B til 36,7% og 29,6%, svarende til en gennemsnitlig effekt på 33%. Ligeledes forøges den gennemsnitlige reduktion i metanemissionen til hhv. 18,0 og 14,8%, svarende til en gennemsnitlig effekt på 16%.

## Sammendrag

Gylleforsuring med svovlsyre er en kendt teknologi til at reducere ammoniakemissionen i husdyranlæg og i forbindelse med udbringning af gylle. Til kvægstalde er teknologien midlertidigt optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste efter særlig aftale med Miljøstyrelsen. I denne undersøgelse blev effekten af JH forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (kvæg) undersøgt i to kvægstalde for at indhente dokumentation til endelig optagelse på Miljøstyrelsens Teknologiliste.

Undersøgelsen blev udført i to kvægbesætninger over ét år. Testen blev udført som et case/control-studie, hvor hver test-stald var både case (forsuring) og control (ikke-forsuret). Der blev gennemført 5 måleperioder i hver besætning fordelt over ét år for at afdække effekter af årstidsvariation.

Ved anvendelse af CIGRs standard-beregning af CO<sub>2</sub>-emission fra kvægstalde med tillæg for CO<sub>2</sub> produktion fra gyllen (i alt 198 L CO<sub>2</sub>/time per varmeproducerende enhed), blev der målt en gennemsnitlig ammoniakemission på 2,8 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag ved forsuring og 4,2 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag ved kontrol i besætning A og 3,5 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag

og 4,6 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag i besætning B. Dette svarer til en ammoniakreducerende effekt af forsuring på hhv. 33,7% og 26,2% sammenlignet med perioder uden forsuring.

Ydermere blev der fundet en effekt af forsuring på metan. Der blev fundet en gennemsnitlig metanemission fra stalden på 38,1 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag ved forsuring og 44,4 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag ved kontrol i besætning A og 39,4 g per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag og 44,1 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag i besætning B. Dette svarer til, at svovlsyreforsuring reducerede metanemissionen med hhv. 14,0% og 10,7% i stald A og B. Køernes enteriske metanudledning udgør langt den største andel af kvægstaldes metanudledning, og da gylleforsuring kun påvirker gyllens udledning af metan, reducerer forsuringen en betydelig del af bidraget af klimagasser fra gyllen under lagring i stalden. Forsuringsteknologien kan derfor også spille en vigtig rolle i at reducere klimagasudledningen fra kvægstalde.

De målte resultater er opnået med CO<sub>2</sub> internal tracer ratio-metoden. Testen var ikke dimensioneret, så en eventuel ændring i CO<sub>2</sub>-emission fra gyllen i stalden kunne bestemmes. I forbindelse med testen blev der udført laboratorieforsøg, som viste en reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen på ca. 46%. Antages en tilsvarende effekt under testen, korrigeres emissionen efter forsuring til henholdsvis 2,6 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag og 3,3 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag, hvorved den ammoniakreducerende effekt øges til henholdsvis 36,7 og 29,6% for besætning A og B. Ligeledes korrigeres emissionen af metan efter forsuring til 36,3 g per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag og 37,6 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag. Dermed forøges den gennemsnitlige reduktion i metanemissionen til hhv. 18,0 og 14,8%.

## Forord

Indeværende rapport beskriver resultaterne fra en undersøgelse af teknologien JHforsuringNH4+ (kvæg) fra JH Agro A/S som anvendes til svovlsyreforsuring i kvægstalde. Testen blev udført i henhold til VERA protokollen for staldsystemer (ver. 3:2018-09) og teknologien blev testet i to malkekvægbesætninger. Testen blev udført gennem ét år. I besætning A forløb testen fra februar 2019 til november 2019. I besætning B løb testen fra november 2018 til juli 2019. Data fra begge lokationer er samlet i denne rapport. Testen blev udført af SEGES Svineproduktion.

### **Producent af JHforsuringNH4+ (kvæg):**

JH Agro A/S  
Lundholmvej 41  
7500 Holstebro

### **Testorganisation:**

SEGES  
Landbrug & Fødevarer F.m.b.a  
Axeltorv 3  
1609 København V  
Danmark

# Introduktion

Forsuring af gylle med svovlsyre er en teknologi til begrænsning af ammoniakemission fra gylle. Tilsætning af syre til gylle bevirker, at gyllens pH-værdi falder, hvorved gyllens indhold af TAN ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) i stigende omfang findes på dissocieret-form som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), der ikke fordamper.

JH forsuring  $\text{NH}_4^+$  (kvæg) er i dag midlertidigt optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste [1]. Effekten er fastsat til 50% ammoniakreduktion ved daglig forsuring af gylle. Da teknologien kun er midlertidigt optaget på teknologilisten, skal effekten af systemet dokumenteres for en endelig optagelse af teknologien på Teknologilisten.

Formålet med undersøgelsen var at dokumentere effekten af JH forsuring  $\text{NH}_4^+$  (kvæg) på ammoniakemissionen i to besætninger. Staldforsuringen foregik med forsuringsanlægget JH forsuring  $\text{NH}_4^+$  (kvæg) fra JH Agro A/S.

Systemets evne til at reducere støv blev ikke evalueret, da der ikke forventes effekt af gylleforsuring på støvemissionen. Ligeledes blev effekten på lugt ikke vurderet [2].

## Materialer og metoder

### Beskrivelsen af miljøteknologien

Anlægget til svovlsyrebehandling af gyllen er integreret med staldens ringkanalsystem og består af følgende komponenter: Syretilsætningsbrønd, omrører, syrebeholder, pH-loggere samt en styringsenhed. Syretilsætningen foregår på følgende måde:

1. pH elektroderne, som er placeret i omrørergraven, renses med trykluft. pH i gyllen registreres.
2. Omrøring af gyllen i stalden påbegyndes.
3. Efter 10-20 minutters omrøring tilsættes løbende syre fra syretanken til gyllen. Mængden af syre, som tilsættes, er afhængig af den forrige dags pH-niveau.
4. pH i gyllen registreres.
5. Omrøringen stopper efter 30-60 minutter og pH måles automatisk i omrørertanken efter ca. 10 minutters stilstand i gyllen.

Ved forsuring omrøres gyllen på sædvanligvis i staldens ringkanalsystem ved hjælp af kanalomrøreren, der sidder i omrørebønden. Efter kraftig omrøring tilsættes syre på omrørerens trykside. Ved normal drift, bliver al gylle i ringkanalen behandlet mindst én gang dagligt. Alle processer styres og overvåges automatisk. I figur A1 (Appendiks) ses en principskitse af teknologien. Alle pH-logninger gemmes i styringen, som kan tilgås med et login. Det er derfor løbende muligt at evaluere, om systemet kører optimalt.

Svovlsyren blev under testen opbevaret i palletanke på hver ejendom. Hver teststald var sin egen kontrolstald, idet case-control princippet (on-off approach) blev benyttet i forbindelse med testen i overensstemmelse med VERA-testprotokollen [4]. Dette var muligt, da ammoniakemissionen ved "ingen forsuring" (control) blev sammenlignet med "forsuring" (case) ved identiske fodrings-, management- og topografiske forhold og ved nær-identiske klimaforhold (temperatur, luftfugtighed, vindretning og vindhastighed).

## Beskrivelse af teststalde

Testen blev gennemført i to eksisterende kvægstalde, hvor JHforsuringNH4+ systemet blev tilkoblet staldens gyllesystem (ringkanal). De væsentligste oplysninger for besætning A og B ses i tabel 1 og med uddybning på de følgende sider.

**Tabel 1.** Karakterisering af teststalde

Parameter	Besætning A	Besætning B
Dimension af stalde (længde; bredde; højde, m)	108,0; 27,7; 8,3	66,5; 30,3; 6,5
Ventilationssystem	Naturlig ventilation med stort åbningsareal i facaderne med automatisk regulerbare gardiner. Naturlig ventilation med brædder med 20 mm lodrette spalter i stald side ved kælvningsbokse og små kvier	Naturlig ventilation med stort åbningsareal i facaderne med manuelt betjente gardiner
Staldtype	Sengebåsestald med spaltegulv i gangarealerne, kælvningsbokse med strøelse	Sengebåsestald med spaltegulv i gangarealerne, kælvningsbokse med strøelse
Bruttoareal af stalde, (m <sup>2</sup> )	3.073 bestående af 2.992 m <sup>2</sup> primært staldareal + 81 m <sup>2</sup> separationsområde	1.884 m <sup>2</sup> ekskl. 131 m <sup>2</sup> kalvestald
Indvendig volumen af stalde, (m <sup>3</sup> )	15.980	13.282
Produktionsareal, sengebåseafsnit til køer (m <sup>2</sup> )	1219	820
Produktionsareal, kælvningsbokse (m <sup>2</sup> )	65	42
Totalt produktionsareal, køer (m <sup>2</sup> )	1284	863
Produktionsareal, sengebåseafsnit til ungdyr (m <sup>2</sup> )	695	
Produktionsareal, dybstrøelsesbokse (m <sup>2</sup> )	50	
Totalt produktionsareal, ungdyr (m <sup>2</sup> )	745	354
Totalt produktionsareal af stalde (m <sup>2</sup> )	1.984	1.217
Forhold produktionsareal køer:ungdyr	63:37	71:29
Staldenes længderetning (°)	+5° i forhold til nord:syd-aksen	+8° i forhold til nord:syd-aksen
Antal koplader i sengebåseafsnit	157	118
Antal koplader i kælvningsbokse	13	8
Antal koplader i alt	170	126
Antal ungdyrpladser i sengebåseafsnit	149	81
Antal ungdyrpladser i dybstrøelsesbokse	33	0
Antal pladser til kvier i alt	182	81
Sengebåse, strøelse/måtte	Snittet halm	Snittet halm
Malkning	AMS <sup>1</sup>	AMS
Mælkeproduktion (kg dag <sup>-1</sup> ko <sup>-1</sup> )	35,1	33,3

<sup>1</sup> Automatisk malkesystem

Foder	TMR <sup>2</sup> med >50% grovfoder og et råproteinindhold på ca. 170 g/kg TS jf. aktuel foderplan	TMR med >50% grovfoder og et råproteinindhold på ca. 180 g/kg TS jf. aktuel foderplan
-------	---	--

## Besætning A

Besætningen stald A bestod af Dansk Holstein. Kvægstalden var om- og tilbygget af flere omgange og den seneste udvidelse var fra 2011. I figur A2 (Appendiks) ses hhv. indretningsplan og billeder af stalden. Kviekalve blev flyttet til sengebåsestalden, når de var ca. 5 måneder gamle. Stalden var indrettet med malkekøer og goldkøer i østsiden og opdræt i vestsiden af stalden. Køerne blev malket i 2 stk. Lely malkerobotter. I den sydvestlige del af stalden var kviekalvene opstaldet i dybstrøelsesbokse i et separat staldrum, som stod i forbindelse med malkekostalden via en port.

Køerne blev fodret én gang dagligt med én fuldfoderblanding til lakterende køer, én til goldkøer og én til kvieopdræt. Staldens længderetning fulgte næsten nord/syd-aksen, og stalden var indrettet med ringkanalsystem med rundskyl, det vil sige, hvor alle gyllekanaler i stalden er forbundne med hinanden via tværkanaler og ydermere forbundet med en omrørebrønd, der befinder sig udenfor stalden. Foderplanerne blev registreret i Dairy Management System (DMS). Køerne var ikke på græs.

Der var to gyllebeholdere på ejendommen, hhv. vest/nordvest og sydøst for teststalden. Gyllebeholderen mod vest/nordvest var overdækket. Der var ikke påvirkninger fra andre stalde, og ensilageoplaget mod vest vurderedes heller ikke at have betydning for målingerne.

Antallet af kvier i stalden oversteg VERA-protokollens krav til, at køerne skal lægge beslag på minimum 70% af staldarealet. Da case-control testprincippet blev benyttet, vurderes dette dog ikke at have betydning for testens resultat (sammenligning mellem ubehandlet gylle og forsuret gylle), ligesom ko/kvieforhold i stalden vurderes at ligge i normalområdet for Danmark.

Derudover opfyldtes kravet om belægningsgraden ikke som beskrevet i Annex B i VERA-protokollen for staldsystemer (ver. 3:2018-09) [4]. Belægningsgraden var på ca. 82% og derfor lavere end de påkrævede min. 90% jf. VERA-protokollen<sup>3</sup>.

## Besætning B

Teststalden i besætning B var fra 2003 og rummede en Dansk Holstein besætning. I figur A3 (Appendiks) ses billeder og indretningsplan for stalden.

Kviekalve blev flyttet til sengebåsestalden ved en alder på ca. 6 måneder, og stalden var indrettet med malkekøer i østsiden og kvier samt goldkøer i vestsiden. Køerne blev malket i DeLaval malkerobotter. I den nordvestlige del af stalden gik kviekalve i dybstrøelsesbokse, og i den nordøstlige side var der et separationsafsnit med gyllesystem til køer samt et dybstrøelsesafsnit til nykælvere.

Køerne blev fodret én gang dagligt med hhv. en fuldfoderblanding til lakterende køer, en til goldkøer og en til kvieopdræt. Foderplanerne blev registreret i DMS. Staldens længderetning var tæt på nord/syd-aksen. Stalden var indrettet med spaltegulv i gangarealerne. Under spaltegulvet var der et ringkanalsystem med rundskyl. Køerne var ikke på græs.

<sup>2</sup> Total mixed ration = fuldfoder

<sup>3</sup> Afvigelsen fra krav i VERA-protokollen blev forhåndsgodkendt af et medlem af MELT-udvalget. Dokumentation kan indhentes ved forespørgsel.

I den nordvestlige del af teststalden var et staldafsnit indrettet med dybstrøelsesbokse til småkalve. I forbindelse med måleperioder blev døren mellem småkalvestald og resten af stalden holdt lukket.

Der var to gyllebeholdere på ejendommen, som dog ikke forventes at påvirke baggrundsniveauet af kuldioxid og ammoniak i betydeligt omfang. Der var ikke påvirkninger fra andre stalde og gyllebeholdere i nærheden af stalden.

## Testprocedure

Testen blev konsekvent gennemført med en periode med ubehandlet gylle efterfulgt af en periode med forsuret gylle. Inden testen blev igangsat, blev den mindste gyllebeholder på hver ejendom fyldt med ubehandlet gylle (ikke-forsuret). Gyllen blev anvendt til at normalisere gyllen inde i stalden efter hver forsursingsperiode.

I begge besætninger var det planlagt at gennemføre 6 måleperioder svarende til en måleperiode ca. hver 8. uge fordelt over ét år for at undersøge effekten af årstidsvariation. I besætning A løb testen oprindeligt fra november 2018 til november 2019. Den første måleperiode blev dog sidenhen frasorteret grundet udfordringer med måleudstyret, og testen i besætning A dækker derfor perioden fra februar 2019 til november 2019, mens den i besætning B løb fra december 2018 til juli 2019.

Hver måleperiode var oprindeligt planlagt til at vare 14 dage og indeholdt hhv. kontrolperiode, nedforsuring af gyllen og forsuret periode. Dette var gældende for besætning A og B gennem måleperiode 1 – 5. Dog blev der ændret i proceduren, da der skete et uheld i besætning B i forbindelse med opstarten af forsuringen i den sjette måleperiode. Denne måleperiode blev ikke afsluttet, og landmanden valgte at udgå af testen efter uheldet, hvorfor der kun er data tilgængelig for fem måleperioder for denne besætning. Proceduren for nedforsuring blev ændret for måleperiode 4 og 5 i besætning A. Nedforsuringen blev udvidet til at vare mellem 10-15 dage for at forlænge perioden, hvor svovlbrinte fordampes fra gyllen. Ubehandlet gylle indeholder altid en vis mængde svovlbrinte. Ved tilsætning af syre til gyllen sænkes pH-værdien, hvilket bevirker, at svovlbrinten bliver mere flygtig. Hvis fordampningen sker inde i en stald, kan der opstå et uønsket kritisk niveau af svovlbrinte, og det skal derfor undgås. Hvor hurtigt svovlbrinte fordampes, er afhængig af, hvor hurtigt pH-værdien sænkes. Ved at forlænge perioden, det tager at sænke gyllens pH-værdi til den ønskede værdi på 5,5, forlænges også perioden, hvor svovlbrinten fordampes, og dermed sænkes risikoen for uønsket høj svovlbrintekonzentration i luften.

## Testdesign og -registreringer

Registreringerne blev foretaget efter retningslinjerne i VERA-protokollen (ver. 3:2018-09) [4]. Målinger og registreringer blev foretaget af en tekniker fra Den rullende Afprøvning og måleusikkerheden på de valgte metoder ses i tabel A1 (Appendiks).

Princippet til at kvantificere emissionen fra stalden bygger på koncentrationen af gassen i luften, som hhv. tilgår og forlader stalden, samt på luftskiftet i stalden. Luftskiftet kan ikke måles direkte i naturligt ventilerede stalde og bestemmes derfor indirekte ved brug af en tracer ratio-sporgasmetode (kuldioxid). Koncentrationen af kuldioxid samt ammoniak og metan blev kvantificeret ved kontinuerlige målinger af luft i og udenfor stalden. De indendørs målinger blev foretaget gennem PE-slanget i dimensionen 8/6 mm (udvendig/indvendig) diameter. Slangetrækket var monteret i en højde på ca. 4 meter over gulvkote og monteret med kritiske dyser for hver 10 meter slange for at sikre ensartet opsamling af luftprøver i hele staldens længde. I besætning A var der 8 målepunkter i staldens længde, mens der i besætning B var 6 målepunkter. I stalden med 8 målepunkter blev flowet i dysen monteret på måleslangen tættest på målevognen målt til 275 mL/min., mens flowet i dysen længst væk fra målevognen blev målt til 200 mL/min.

Udenfor staldene blev et målepunkt placeret i ca. 10 meters afstand øst og vest fra stalden ca. midt i forhold til staldens længde og i 2,5 meters højde. Ved besætning A lå der to gylletanke i tæt afstand til stalden, én i staldens nordvestlige hjørne og én tæt på staldens sydøstlige hjørne. Derfor blev baggrundsmålingerne i denne stald suppleret med yderligere ét målepunkt mellem stalden og hver gylletank. Placering af måleslanger og målepunkter ses i figur A4 og figur A5 (Appendiks).

Én gang for hver måleperiode blev der lavet kontrolmålinger af målesystemet med referencegas. Målingerne blev udført ved at sammenligne koncentrationen målt af måleinstrumentet og gaskoncentrationen i standardgassen. Der blev udført målinger to steder, hhv. i målepunkt længst væk fra den mobile målevogn og dernæst umiddelbart ved siden af måleinstrumenterne. Kontrolmålingerne blev udført for at identificere eventuel lækage i slangerne, tilstopning af filtre eller fejlmåling af instrumenter.

## Gasopsamling

Luften i og udenfor stalden blev opsamlet kontinuerligt i måleslangerne med CAPEX L2 membranpumper (PTFE membraner) (Charles Austen Pumps Ltd). På strækningen fra samlingspunktet og ud til den mobile målevogn med måleinstrumenterne var måleslangen isoleret og opvarmet for at forebygge kondensdannelse. Til at måle gaskoncentrationerne blev der anvendt et Picarro-målesystem (nærmere beskrevet nedenfor). Forbindelsen mellem måleslangerne og måleinstrumenterne blev kontrolleret med en multiposition ventil (VICI Valco Instruments).

Forskellige Picarro instrumenter blev anvendt til at bestemme ammoniak- og kuldioxidkoncentrationerne under testen. Den analytiske metode byggede på Cavity-Ring-Down Spektroskopi (CRDS) som er en direkte absorptionsteknik, hvor der anvendes lysdiode til at bestemme henfaldsraten af lyset i det optiske hulrum. Den observerede tid anvendes så til at beregne koncentrationen af det absorberende stof (ammoniak, kuldioxid og metan) i gasblandingen i hulrummet/målekammeret. Ved at anvende et meget smalt lysspektrum, mindskes risikoen for interferens fra andre stoffer i prøven. Metoden er valideret til ammoniakmålinger i kvægstalde [11].

## Ammoniak, kuldioxid og metan

Ammoniak var den primære måleparameter, og koncentrationen ved hver observation blev bestemt ved konstant måling over 7 minutter i hvert målepunkt. Picarro G2103 blev anvendt til målingerne. Kuldioxid- og metankoncentrationen blev ligeledes bestemt over 7 minutter i hvert målepunkt. I forsøgsperioden blev der vekslet mellem hhv. Picarro G2201-i og Picarro GasScouter™ G4301. 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. Usikkerhederne for målemetoder og instrumenter er opgivet i tabel A1 (Appendiks).

## Svovlbrinte

Svovlbrintekoncentrationen blev bestemt i hvert målepunkt med en svovlbrintemåler af typen Jerome 631 XE og Jerome J605 ved hvert teknikerbesøg. Der blev foretaget fire registreringer efter hinanden i hvert målepunkt, hvoraf den første måling konsekvent blev kasseret. Koncentrationen blev bestemt i hver kontrol- og forsuringsperiode.

## Temperatur, vindretning og fugtighed

Ude- og staldtemperaturen, ude- og staldfugtighed samt vindretning og -hastighed blev logget hver 5. minut via PC-log (VengSystem A/S). Herudover blev der i hver kontrol- og forsuringsperiode foretaget en kontrolmåling af temperatur og relativ fugtighed i de enkelte målepunkter med et multimeter af typen Testo 435. Grundet udfordringer med måleinstrumenter er meteorologiske parametre i enkelte måleperioder erstattet med data indhentet fra nærmeste vejrstation (DMI).



## pH

pH i gyllen blev kontrolmålt med et multimeter af typen Metrohm 913 pH Meter og pH-probe 6.0228.010 ved hvert besøg af tekniker i kontrol- og forsøringsperioder.

## Antal dyr, foderregistrering og mælkeproduktion

Antallet af dyr blev registreret af tekniker én gang i hver måleperiode (kontrol + forsuring). Samtidigt blev der også foretaget foderregistrering og den specifikke fodersammensætning blev bestemt i Kvægbrugernes fodersystem (DMS). Mælkeproduktionsdata blev hentet i AMS systemet. Oplysningerne blev anvendt til at bestemme dyrenes egen kuldioxidproduktion.

## Tømning af gyllekumme, gylleniveau og gylleprøve

Gyllekummerne i hver teststald blev tømt ned til 50 cm under spaltegulvet, inden opstarten af hver måleperiode. I måleperiode 6 og 7 i besætning A blev der tømt gylle ud flere gange i hver måleperiode, da nedforsuringen strakte sig over 12-14 dage. Gylleniveauet i kummen blev målt ved besøg af tekniker i hver kontrol- og forsuret periode. Derudover blev der også udtaget gylleprøver, som blev opbevaret på frost indtil analyse.

## Forbrugstal

Syre- og elforbrug blev registreret. Da teknologien er undersøgt ved en case-control metode er forbruget ikke repræsentativt for det reelle syre- og elforbrug under ikke-testforhold. Forbruget i testen er præsenteret sammen med forbrugsdata fra en tidligere test, som ligger grund for udarbejdelsen af en ETV-rapport for JH-Forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ver. 1-5, 08-03-2013) udarbejdet af AgroTech [5].

## Luftskifte

Som sporgas anvendtes den naturlige produktion af kuldioxid i stalden jf. [6], dvs. kuldioxid produceret af dyrene og af gyllen, som er lagret i stalden. Produktionen af kuldioxid fra dyrene afhænger af dyrenes størrelse, produktion og aktivitet. Dette kan udtrykkes i relation til dyrenes varmeproduktion med tillæg for produktion af kuldioxid fra gødningen i stalden [6]. Ligningerne som benyttes som grundlag for beregningen af dyrenes varmeproduktion ses i appendiks.

## Driftsstabilitet

Driftsstabiliteten af teknologien blev vurderet. Omstændigheder som påvirkede oppe-tiden blev noteret i en logbog af enten tekniker eller projektleder. De sikkerhedsmæssige foranstaltninger af forsøringsanlægget blev også vurderet.

## Databehandling og statistik

Databehandlingen og den statistiske analyse er foretaget på baggrund af 5 måleperioder i besætning A og B. Data blev behandlet i henhold til VERA protokollen (ver. 3:2018-09).

### **Beregning af emission**

Ammoniakemissionen for et givet tidspunkt blev beregnet ved sporgas-ratio-metoden som nævnt i VERA-protokollens afsnit 7.4.2.3., dog suppleret med gasdensitet faktor for omregning fra liter gas per time til masse per time.

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

hvor

$E_{NH_3}$  er ammoniakemissionen (g  $NH_3-N$  time<sup>-1</sup>),

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

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

$[C_{NH_3}]_{ude}$  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),

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

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

I Besætning A var der opsat to målepunkter udenfor på hver side af stalden på grund af gylletanke på hver side af stalden. Gylletankenes bidrag af kuldioxid og ammoniak blev vurderet til at være negligerbart. Ved gennemgang af forskellige metoder til vurdering af baggrundsniveauer blev forskellen i beregnet emission vurderet til at udgøre under to procentpoint. Alle emissioner blev desuden beregnet både med minimumsmetoden (det laveste baggrundsmålepunkt anvendes som baggrund) og vindbestemt baggrund (det baggrundsmålepunkt, som til enhver tid ligger i vindretningen anvendes som baggrund). Forskellen på disse metoder blev ligeledes vurderet at være negligerbar. De angivne resultater i denne rapport er baseret på den vindbestemte baggrundsmåling.

Beregningen af ammoniakemissionen foregik på følgende måde: For hver syv minutter måleperiode blev de første tre minutters koncentrationsmålinger frasorteret for at undgå adsorptionseffekt i slanger og måleinstrument. Derudover blev det sidste halve minut frasorteret for at undgå eventuel effekt af overlap og trykudligninger ved ventilskifte. De resterende 3,5 minutters målinger 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, hvor måleudstyret blev flyttet mellem besætningerne, blev ikke inkluderet. Målinger, hvor  $CO_2$ -koncentrationen i målepunktet inde i stalden ikke oversteg baggrundsniveauet med mere end 3 gange standardafvigelsen på en blind prøve (kulfilter) for instrumentet, blev ekskluderet ( $CO_2$  cut-off value). Kun måledage hvor > 80% af de registrerede timegennemsnit indeholdt brugbare data er medregnet.

Emissionen blev udtrykt dels som den totale ammoniakemission fra hver stald (kg  $NH_3-N$  pr. dag) og dels som ammoniakemissionen per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag. Produktionsarealet blev opgjort i henhold til beskrivelse i Kai & Adamsen (2017) [8].

For hver stald og måleperiode blev den proportionale effekt af gylleforsuring beregnet som:

$$R = \frac{E_{ubehandlet\ gylle} - E_{forsuret\ gylle}}{E_{ubehandlet\ gylle}} \cdot 100\%$$

Den repræsentative proportionale effekt af gylleforsuring blev beregnet som den gennemsnitlige proportionale effekt af alle måleperioder i stald A og stald B. Yderligere blev data fra hver stald og hver måleperiode uden henholdsvis med gylleforsuring analyseret med parvis t-test. Derudover blev besættningseffekt også analyseret.

Metanemissionen fra staldene blev beregnet med samme metode som ammoniakemissionen

### **Korrektion for ammoniakfordampning i staldarealer med dybstrøelse/strøede bokse**

I begge teststalde var der i tillæg til sengebåseafsnittene kælvningsbokse med strøet bund/dybstrøelse. Gylleforsuring har kun effekt på den del af staldsystemet, hvor husdyrgødningen håndteres som gylle, dvs. sengebåseafsnittene.

I besætning A udgjorde dybstrøelsesarealet 115 m<sup>2</sup> ud af staldens samlede produktionsareal på 1984 m<sup>2</sup> (tabel 1). I besætning B udgjorde dybstrøelsesarealet 42 m<sup>2</sup> ud af staldens samlede produktionsareal på 1217 m<sup>2</sup> (Tabel 1). Ifølge husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen (BEK nr. 2225 af 27/11/2021) er standard-ammoniakemissionen fra dybstrøelsesstalde til malkekøer, kvier og stude fastsat til 0,84 kg NH<sub>3</sub>-N/år per m<sup>2</sup> produktionsareal. Dette svarer til en ammoniakemission fra dybstrøelsesarealet i besætning A og B på henholdsvis 0,265 og 0,097 kg NH<sub>3</sub>-N/dag. Ved beregning af effekten af gylleforsuring er de målte ammoniakemissioner derfor korrigeret som følger:

$$E_{\text{korrigeret}} = E_{\text{målt}} - E_{\text{dybstrøelse}}$$

Hvor  $E_{\text{korrigeret}}$  er den korrigerede ammoniakemission, kg NH<sub>3</sub>-N/dag i hhv. besætning A og B.  $E_{\text{målt}}$  er den målte ammoniakemission fastlagt på hver måledag (kg NH<sub>3</sub>-N/dag) og  $E_{\text{dybstrøelse}}$  er den beregnede ammoniakemission fra dybstrøelsesarealerne (henholdsvis 0,265 kg NH<sub>3</sub>-N/dag i besætning A og 0,097 kg NH<sub>3</sub>-N/dag i besætning B).

### **Korrektion for reduceret frigivelse af kuldioxid fra gyllen**

Da kuldioxid er en svag syre, kan det forventes, at svovlsyreforsuring vil påvirke emissionen af kuldioxid fra gyllen. Dette kan have indvirkning på den beregnede naturlige kuldioxidfrigivelse fra stalden, som anvendes i sporgasmetoden. I indeværende rapport antages bidraget af kuldioxid fra gyllen at udgøre 10% af dyrenes kuldioxidproduktion.

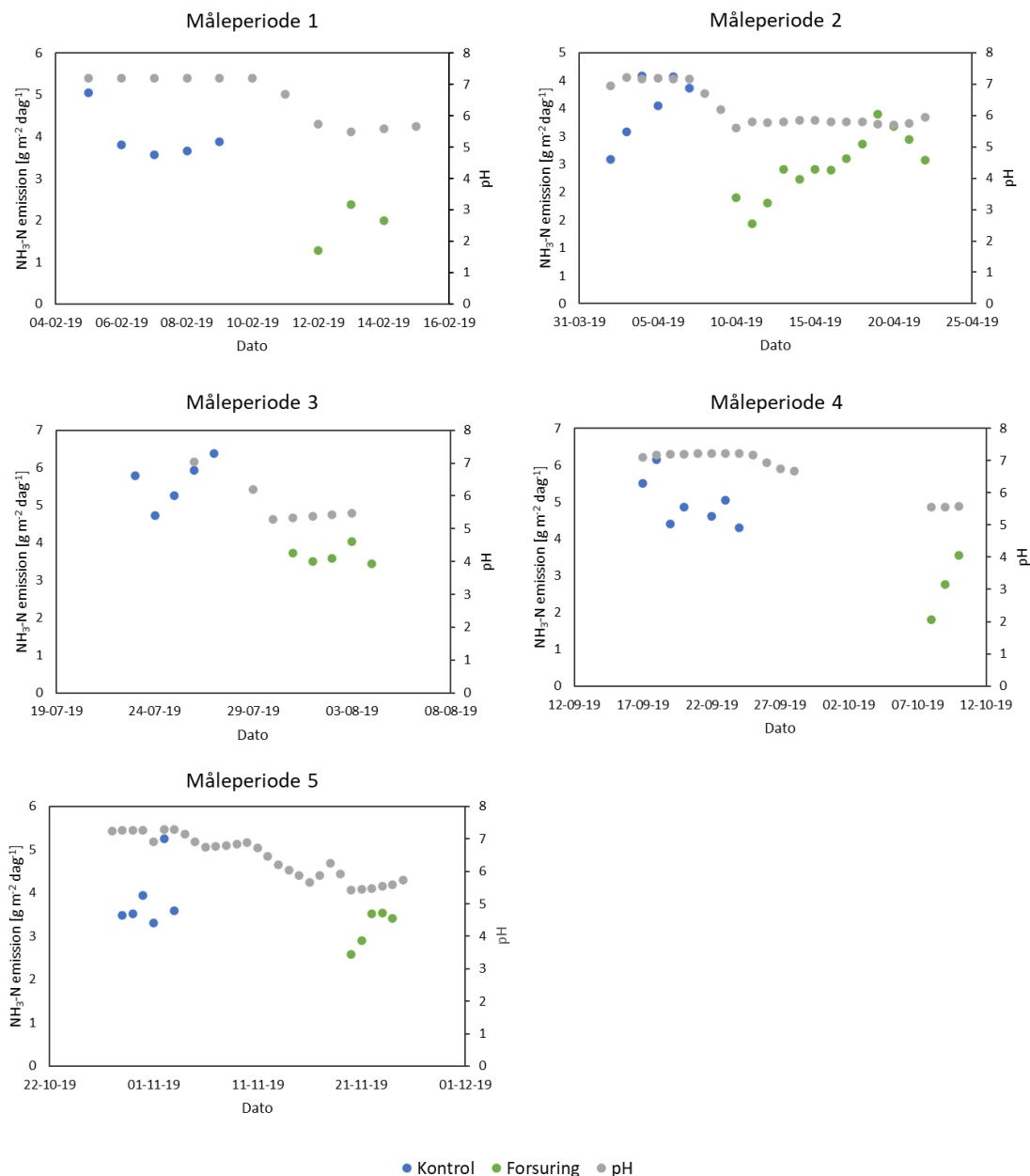
Den teoretisk forventede effekt af gylleforsuring vil være en umiddelbar frigivelse af kuldioxid efter tilsætning af syre som følge af pH-sænkningen og derefter potentielt en nedgang i kuldioxidfrigivelsen på grund af hæmning af den tilstedeværende mikrobiologi. Forsøget var ikke dimensioneret til at kunne observere ændringer i kuldioxidemissionen, herunder efter tilsætning af syre. Laboratorieforsøg udført i forbindelse med testen, viste en nedgang i kuldioxidemissionen fra kvæggylle på ca. 46% [12]. Resultaterne i denne rapport er angivet både som målte emissioner beregnet i henhold til VERA-testprotokollen [12] samt korrigerede emissioner, hvor emissionerne efter forsuring er beregnet med et 46% reduceret bidrag af CO<sub>2</sub> fra gyllen. Dvs. at der i kontrolperioder regnes med et bidrag fra gyllen på 10%, mens der i forsøgsperioder regnes med et bidrag på 5,4%

## Resultater og diskussion

### Ammoniak

#### Besætning A

Målinger af ammoniakkoncentrationen for besætning A blev udført over ét år mellem februar 2019 og november 2019 over hhv. 29 forsøgs- og 30 kontrol dage. I figur 1 nedenfor ses døgnmidler af ammoniakemissionen og gylle-pH for alle måledage i besætning A.



**Figur 1.** Ammoniakemission og gylle-pH i besætning A på hhv. 29 forsøgs- og 30 kontrol dage mellem februar 2019 og november 2019. Hver markering repræsenterer et døgnmiddel.

Ammoniakemission i de forsurede perioder lå gennemsnitligt på 2,8 g  $\text{NH}_3\text{-N}$  per  $\text{m}^2$  produktionsareal per dag. I kontrolperioderne lå emissionen på gennemsnitligt 4,2 g  $\text{NH}_3\text{-N}$  per  $\text{m}^2$  produktionsareal per dag. På årsbasis er emissionen fra stalden i forsøgs- og kontrolperioderne hhv. 1,0 kg og 1,5 kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  per  $\text{m}^2$  produktionsareal per år. Emissionsfaktoren for malkekøer, kvier og stude i sengestalde med spaltegulv og ringkanalsystem er fastsat til 1,16 kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  per  $\text{m}^2$  produktionsareal per år baseret på målinger foretaget i fire stalde efter normalisering af ammoniakemissionen, så optaget fodertørstof, protein-indhold i foderet samt mælkeydelse afspejler normalt for husdyrgødning 2017-18 [14]. Det er dermed en væsentlig højere værdi i kontrolperioden, som er fundet i indeværende undersøgelse.

Tabel 2 viser den gennemsnitlige ammoniakemission samt reduktionen opnået i hver måleperiode. Gennemsnitligt blev der målt en effekt på 33,7% reduktion i ammoniakemission sammenlignet med kontrolperioden (ikke-forsuret) ved anvendelsen af JHforsuringNH<sub>4</sub><sup>+</sup> (kvæg). I figur A6 (Appendiks) vises en følsomhedsanalyse af effekten af kuldioxidfrigivelse fra gyllen på den gennemsnitlige reduktion i ammoniakemissionen i besætning A. Den gennemsnitlige reduktion ved svovlsyreforsuring forøges til 36,7%, når den beregnes med 46% nedgang i CO<sub>2</sub>-emission fra gyllen.

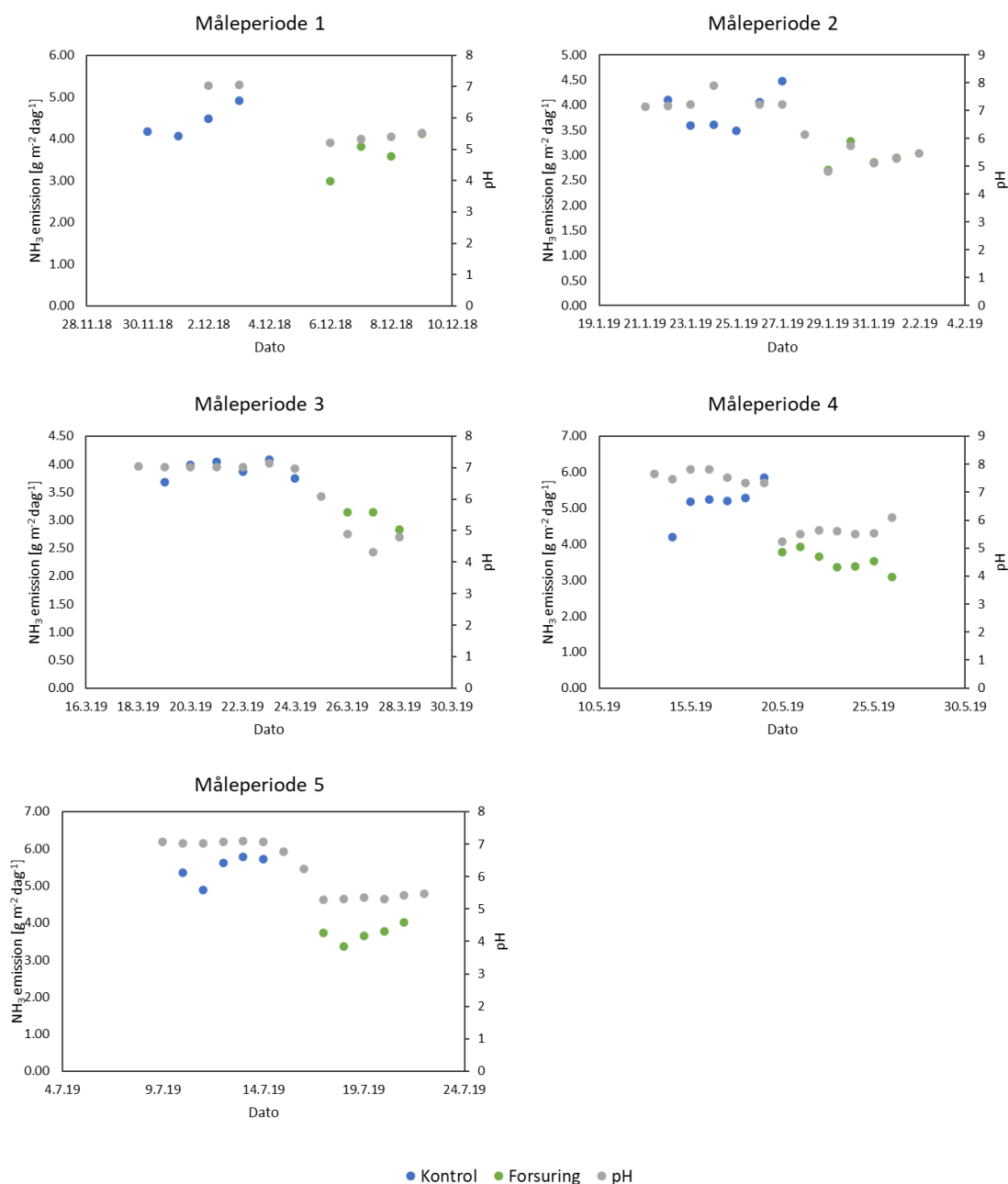
**Tabel 2.** Ammoniakemissioner målt i besætning A. Middelværdierne blev bestemt på baggrund af 59 måledage, hhv. 30 kontrol- og 29 forsøgsdage. Emissioner korrigeret for 46% reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen samt tilsvarende reduktion vises i parentes. Emissioner er angivet med 95%-konfidensintervaller.

	Måleperiode 1	Måleperiode 2	Måleperiode 3	Måleperiode 4	Måleperiode 5
Dato Kontrol	5.feb. 2019 - 9.feb 2019	2. apr.2019 - 7.apr. 2019	23 jul. 2019 - 27. jul. 2019	17. sep. 2019 - 24sep. 2019	29.okt. 2019 -3. nov. 2019
Dato Forsøg	12.feb. 2019 – 14. feb. 2019	10.apr. 2019 – 22. apr. 2019	31.jul. 2019 – 4. aug. 2019	8.okt. 2019 – 10. okt. 2019	20.nov. 2019 – 24. nov. 2019
N (kontrol/forsøg)	8 (5/3)	19 (6/13)	10 (5/5)	11 (8/3)	11 (6/5)
NH <sub>3</sub> emission – kontrol (g NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> /dag)	3,2 ± 0,4	3,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	5,0 ± 0,5	3,9 ± 0,6
NH <sub>3</sub> emission – forsøg (g NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> /dag)	1,9 ± 0,6 (1,8 ± 0,6)	2,5 ± 0,3 (2,4 ± 0,3)	3,7 ± 0,2 (3,5 ± 0,2)	2,7 ± 1,0 (2,6 ± 1,0)	3,2 ± 0,4 (3,0 ± 0,4)
Reduktion (%)	40,4 (43,1)	30,2 (33,4)	34,9 (37,9)	45,7 (48,2)	17,1 (20,9)

Der var i alle måleperioder statistisk signifikant forskel på ammoniakemissionen i henholdsvis forsørings- og kontrolperioder i besætning A (p<0.05).

### Besætning B

Ammoniakemission i besætning B blev bestemt over 24 forsøgs- og 27 kontroldage i perioden december 2018 og juli 2019. I figur 3 nedenfor ses døgnmiddel af ammoniakemissionen for alle måledage i besætning B.



**Figur 3.** Ammoniakemission og gylle-pH i besætning B for hhv. 24 forsøgs- og 27 kontrol-måledage mellem december 2018 og juli 2019. Hver markering repræsenterer et dagligt gennemsnit.

Ammoniakemissionen i de forsurede perioder lå gennemsnitligt på 3,4 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag. I kontrolperioderne lå emissionen på gennemsnitligt 4,5 g NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per dag. På årsbasis er emissionen fra stalden i forsøgs- og kontrolperioderne hhv. 1,2 kg og 1,6 NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per år. Den gennemsnitlige årlige ammoniakemission i besætning B i kontrolperioderne svarer dermed nogenlunde overens med den, der blev fundet i besætning A.

Tablet 3 viser den gennemsnitlige ammoniak-emission samt reduktionen opnået i hver måleperiode. Gennemsnitligt resulterede anvendelsen af JHforsuringNH4+ (kvæg) i 26,2% reduktion i ammoniak-emission sammenlignet med kontrolperioden (ikke-forsuret). I figur A6 (Appendiks) ses en følsomhedsanalyse for effekten af svovlsyreforsuring på CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen på reduktionen i

ammoniakemission i besætning B. Den gennemsnitlige reduktion ved svovlsyreforsuring forøges til 29,6%, når der regnes med 46% nedgang i CO<sub>2</sub>-emission fra gyllen.

**Tabel 3.** Ammoniakemissioner målt i besætning B. Middelværdierne blev bestemt på baggrund af 51 måledage, hhv. 27 kontrol- og 24 forsøgsdage. Emissioner korrigeret for 46% reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen samt tilsvarende reduktion vises i parentes. Emissioner er angivet med 95%-konfidensintervaller.

	Måleperiode 1	Måleperiode 2	Måleperiode 3	Måleperiode 4	Måleperiode 5
Dato Kontrol	30. nov. 2018 -3. dec. 2018	22.jan. 2019 - 27. jan. 2019	19. mar. 2019 -24. mar. 2019	14 maj 2019 - 19. maj 2019	10. jul. 2019 – 14 jul. 2019
Dato Forsøg	6. dec. 2019 – 9. dec. 2019	29. jan. 2019 – 1. feb. 2019	27. mar. 2019 – 29.mar.2019	20.maj. 2019 – 26. maj. 2019	17.jul. 2019 – 21. jul. 2019
N (kontrol/forsøg)	8 (4/4)	10 (6/4)	9 (6/3)	13 (6/7)	11 (5/6)
NH <sub>3</sub> emission – kontrol (g NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> /dag)	4,4 ± 0,4	3,9 ± 0,3	3,9 ± 0,1	5,2 ± 0,8	5,5 ± 1,0
NH <sub>3</sub> emission – forsøg (g NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> /dag)	3,5 ± 0,5 (3,3 ± 0,5)	2,9 ± 0,2 (2,8 ± 0,2)	3,0 ± 0,2 (2,9 ± 0,2)	3,5 ± 0,2 (3,4 ± 0,2)	3,7 ± 0,2 (3,5 ± 0,2)
Reduktion (%)	21,6 (25,2)	24,3 (27,8)	22,1 (25,7)	31,6 (34,8)	32,3 (35,4)

Der var i alle måleperioder statistisk signifikant forskel på ammoniakemissionen i henholdsvis forsørings- og kontrolperioder i besætning B ( $p < 0.05$ ).

Samlet set er der i besætning A og B en effekt af svovlsyreforsuring på 29,9% reduktion i ammoniakemission. Antages en 46% nedgang i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen forøges denne til 33,2%. Den fundne effekt af forsuring er i samme niveau som præsenteret i tidligere publicerede studier. I et hollandsk studie, hvor der blev anvendt salpetersyre som forsøringsmiddel, blev der bl.a. fundet en reduktion af ammoniakemissionen på 30% [8]. Resultaterne i indeværende studie viser, at effekten af svovlsyreforsuring, er lavere end den midlertidige optagelse af teknologien på Miljøstyrelsens Teknologiliste (50% ammoniakreduktion) [1].

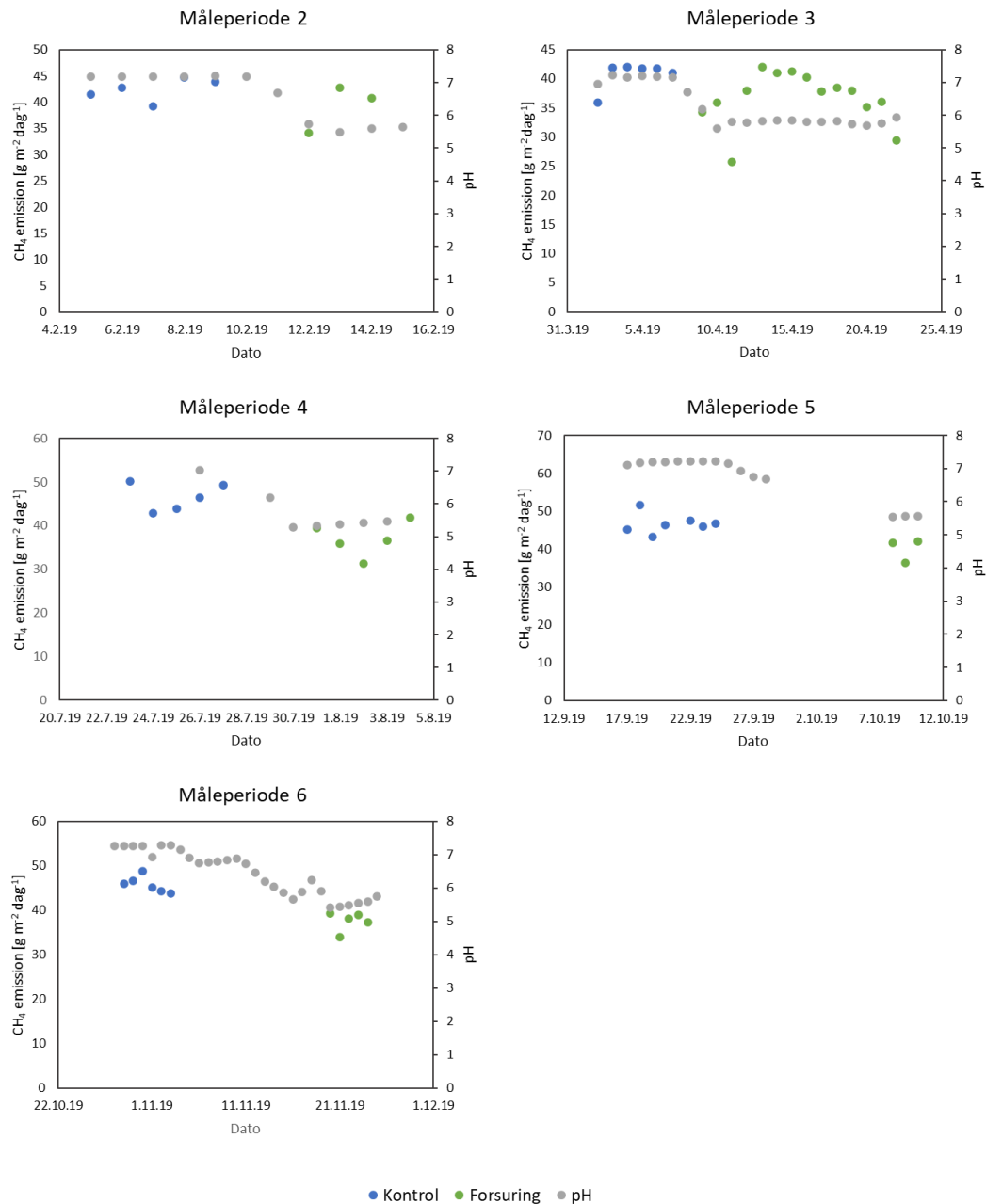
Der var statistisk signifikant forskel på både ammoniakemissioner i forsørings- og kontrolperioder samt den reducerende effekt af svovlsyreforsuring i de to besætninger ( $p > 0.05$ ).

# Metan

## Besætning A

Udover ammoniak, blev metanemissionen også bestemt i de to besætninger. Emissionen blev beregnet for de samme måledage som ammoniakemission.

Døgnmiddel af metanemissionen i besætning A ses i figur 4 for hhv. 29 forsøgs- og 30 kontrol dage. Metanemissionen i de forsurede perioder var gennemsnitligt 38,1 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal pr. dag. I kontrolperioden var den gennemsnitligt 44,4 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal pr. dag.



**Figur 4.** Metanemission og gylle-pH i besætning A på hhv. 29 forsøgs- og 30 kontrol dage mellem februar 2019 og november 2019. Hver markering repræsenterer et døgnmiddel.



Tabel 4 viser den gennemsnitlige metanemission samt reduktionen opnået i hver måleperiode. Gennemsnitligt resulterede anvendelsen af JHforsuringNH<sub>4</sub><sup>+</sup> (kvæg) i 14,0% reduktion i metanemission sammenlignet med kontrolperioden (ikke-forsuret). Ved korrektion af data tilsvarende 46% nedgang i CO<sub>2</sub>-emissionen forøges reduktionen til 18,0%.

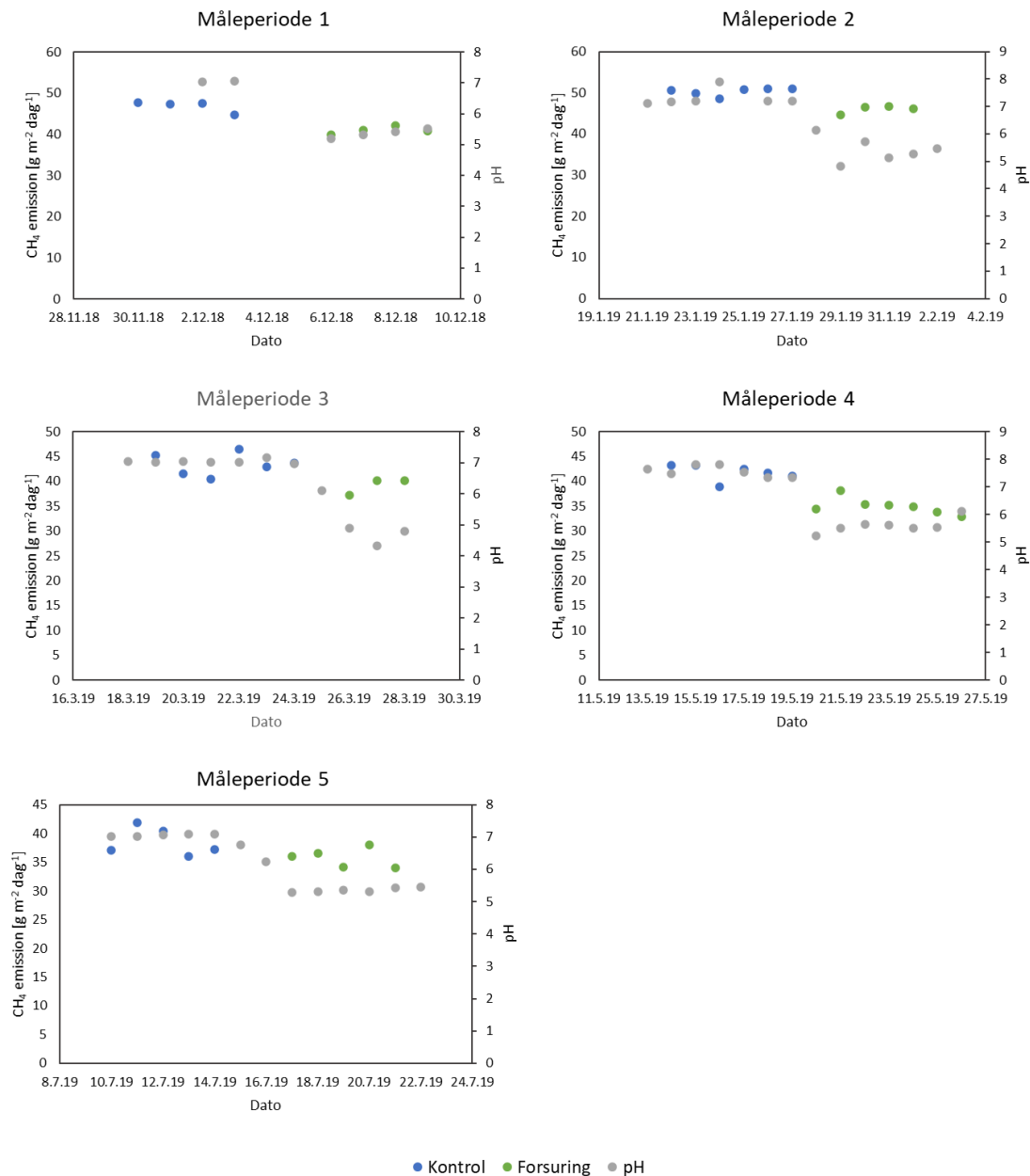
**Tabel 4.** Metanemissioner målt i besætning A. Middelværdierne blev bestemt på baggrund af 59 måledage, hhv. 30 kontrol- og 29 forsøgsdage. Emissioner korrigeret for 46% reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen samt tilsvarende reduktion vises i parentes. Emissioner er angivet med 95%-konfidensintervaller.

	Måleperiode 1	Måleperiode 2	Måleperiode 3	Måleperiode 4	Måleperiode 5
Dato Kontrol	5. feb. 2019 - 9. feb. 2019	2. apr. 2019 - 7. apr. 2019	23. jul. 2019 - 27. jul. 2019	17. sep. 2019 - 24. sep. 2019	29. okt. 2019 - 3. nov. 2019
Dato Forsøg	12. feb. 2019 – 14. feb. 2019	10. apr. 2019 – 22. apr. 2019	31. jul. 2019 – 4. aug. 2019	8. okt. 2019 – 10. okt. 2019	20. nov. 2019 – 24. nov. 2019
N (kontrol/forsøg)	8 (5/3)	19 (6/13)	10 (5/5)	11 (8/3)	11 (6/5)
CH <sub>4</sub> emission – kontrol (g CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dag)	42,4 ± 1,9	40,7 ± 1,9	46,6 ± 2,9	46,7 ± 1,9	45,7 ± 1,5
CH <sub>4</sub> emission – forsøg (g CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dag)	39,2 ± 5,1 (37,4 ± 4,9)	36,7 ± 2,4 (35,0 ± 2,3)	37,0 ± 3,5 (35,3 ± 3,3)	40,0 ± 3,5 (38,2 ± 3,3)	37,6 ± 1,9 (35,9 ± 1,8)
Reduktion (%)	7,5 (11,8)	9,8 (14,0)	20,6 (24,3)	14,3 (18,3)	17,7 (21,5)

Der var i alle måleperioder statistisk signifikant forskel på metanemissionen i henholdsvis forsørings- og kontrolperioder ( $p < 0.05$ ) i besætning A, med undtagelse af måleperiode 1 ( $p = 0,17$ ).

### Besætning B

Døgnmiddel af metanemissionen i besætning B ses i figur 4 for hhv. 24 forsøgs- og 29 kontrol dage. Metanemissionen i de forsurede perioder var gennemsnitligt 39,4 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal pr. dag. I kontrolperioden var den gennemsnitligt 44,1 g CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup> produktionsareal pr. dag.



**Figur 5.** Metanemission i forsøgs- og kontrolperiode i besætning B på hhv. 23 forsøgs- og 27 kontrol dage mellem december 2018 og november 2019. Hver markering repræsenterer et døgnmiddel.

Tabel 5 viser den gennemsnitlige metanemission samt reduktionen opnået i hver måleperiode. Gennemsnitligt resulterede anvendelsen af JHforsuringNH<sub>4</sub><sup>+</sup> (kvæg) i 10,7% reduktion i metanemission sammenlignet med kontrolperioden (ikke-forsuret). Ved korrektion af data tilsvarende 46% nedgang i CO<sub>2</sub>-emissionen forøges reduktionen til 14,8%.

**Table 5.** Metanemissioner målt i besætning B. Middelværdierne blev bestemt på baggrund af 50 måledage, hhv. 27 kontrol- og 23 forsøgsdage. Emissioner korrigeret for 46% reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen samt tilsvarende reduktion vises i parentes. Emissioner er angivet med 95%-konfidensintervaller.

	Måleperiode 1	Måleperiode 2	Måleperiode 3	Måleperiode 4	Måleperiode 5
Dato Kontrol	30. nov. 2018 -3. dec. 2018	22.jan. 2019 - 27. jan. 2019	19. mar. 2019 -24. mar. 2019	14 maj 2019 - 19. maj 2019	10. jul. 2019 – 14 jul. 2019
Dato Forsøg	6. dec. 2019 – 9. dec. 2019	29. jan. 2019 – 1. feb. 2019	27. mar. 2019 – 29.mar.2019	20.maj. 2019 – 26. maj. 2019	17.jul. 2019 – 21. jul. 2019
N (kontrol/forsøg)	8 (4/4)	10 (6/4)	9 (6/3)	13 (6/7)	11 (5/6)
CH <sub>4</sub> emission – kontrol (g CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dag)	46,8 ± 1,3	50,3 ± 0,75	43,4 ± 1,8	41,7 ± 1,3	38,5 ± 2,2
CH <sub>4</sub> emission – forsøg (g CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dag)	41,0 ± 0,89 (39,1 ± 0,85)	46,0 ± 0,92 (43,9 ± 0,88)	39,2 ± 2,0 (37,4 ± 1,9)	35,0 ± 1,2 (33,4 ± 1,1)	35,8 ± 1,5 (34,2 ± 1,4)
Reduktion (%)	12,2 (16,2)	8,5 (12,8)	9,7 (13,8)	16,1 (19,9)	7,0 (11,3)

Der var i alle måleperioder statistisk signifikant forskel på metanemissionen i henholdsvis forsørings- og kontrolperioder i besætning B ( $p < 0.05$ ).

Svovlsyreforsuring reducerede metanemissionen med i gennemsnit 12,4% i de to stalde. Korrigeres data til en 46% reduceret CO<sub>2</sub>-emission fra gyllen forøges denne til 16,4%. Den tilsyneladende beskedne reduktion skal ses i forhold til, at gyllens andel af staldens samlede metanemission formodentlig udgør mindre end 25%, idet den enteriske metanproduktion fra dyrene bidrager med langt størstedelen (> 75%) fra malkekvægstalde [13]. Et laboratorieforsøg viste, at daglig forsuring af kvæggylle med svovlsyre eller eddikesyre reducerede metanemissionen med hhv. 89% og 97% [12]. Dette indikerer, at forsøgsdesignet, som er udviklet til at teste miljøteknologier i forhold til ammoniak og lugt, i mindre grad kan benyttes til at dokumentere effekt af gylleteknologier på metanemissionen fra kvægstalde.

Der var statistisk signifikant forskel på både metan-emissioner i forsørings- og kontrolperioder samt den reducerende effekt af svovlsyreforsuring i de to besætninger ( $p > 0.05$ ).

## Svovlbrinte

Koncentrationen af svovlbrinte blev målt i de samme målepunkter som brugt til at bestemme ammoniak- og metanemissionen. Tabel 6 viser de gennemsnitlige værdier af svovlbrintekoncentrationen gennem alle måleperioderne i besætning A og besætning B. Anvendelsen af JHforsuringNH<sub>4</sub><sup>+</sup> (kvæg) resulterede i en væsentlig lavere svovlbrintekoncentration sammenlignet med kontrolperioderne. Årsagen kan være at den daglige omrøring af gyllen forårsagede stor frigivelse af svovlbrinte i omrørertanken.

**Tabel 6.** Svovlbrintekoncentration målt i stald for forsøgs- og kontrolperioderne for 5 måledage i besætning A og 4 måledage i besætning B mellem december 2018 og november 2019. Standardafvigelse er angivet i parentes.

	Besætning A		Besætning B	
	Forsøg	Kontrol	Forsøg	Kontrol
Svovlbrintekoncentration, ppm	0,030 (±0,026)	0,080 (±0,089)	0,039 (±0,020)	0,142 (±0,175)

## Konditionelle måleparametre

### Luftskifte, kuldioxid og temperatur

Luftskiftet blev beregnet ud fra standardværdier for kuldioxidemission samt målte gaskoncentrationer som blev monitoreret i besætning A og B i hver enkelt måleperiode. I tabel 7 ses middelværdierne fra de to besætninger. Det ses, at luftskiftet i forsøringsperioderne i besætning A er lavere end for kontrolperioderne, men ikke signifikant forskellige. Det omvendte gjorde sig gældende for besætning B, men forskellen er ubetydelig.

**Tabel 7.** Gennemsnitsværdier af konditionelle luftrelaterede målinger gennem kontrol- og forsøgsperioderne i besætning A og B. Standardafvigelse er angivet i parentes.

	Besætning A		Besætning B	
	Kontrol	Forsøg	Kontrol	Forsøg
N	30	29	27	24
Luftskifte pr. VPE* (m <sup>3</sup> /h)	1160,5 (595)	919,8 (312)	1210,7 (595)	1237,2 (533)
Relativ fugtighed, stald (%)	82,6 (7,6)	70,3 (11,8)	79,1 (6,1)	79,1 (4,5)
Relativ fugtighed, ude (%)	80,2 (10,4)	73,1 (13,7)	82,2 (10,7)	82,8 (7,4)
Vindhastighed (m/s)	2,3 (1,2)	1,5 (0,6)	2,0 (0,9)	2,0 (0,8)
Kuldioxid, stald (ppm)	670 (131)	729 (74)	663 (115)	652 (116)
Kuldioxid, ude (ppm)	424 (18)	431 (15)	429 (13)	428 (10)
Temperatur, stald (°C)	12,6 (2,6)	11,3 (2,0)	11,9 (5,2)	13,0 (5,9)
Temperatur, ude (°C)	11,1 (6,7)	9,4 (5,1)	8,9 (6,5)	10,9 (6,6)

\* VPE=varmeproducerende enhed

Det bør bemærkes, at vindhastigheden, som er målt med en vejrstation opstillet ved hver besætning, ligger under den gennemsnitlige vindhastighed i Danmark i samme periode. Den gennemsnitlige vindhastighed i 2019 var 4.6 m/s. Dette kan skyldes, at vejrstationen har stået i læ af bygninger og i øvrigt målte vindhastigheden tættere på jorden end DMI. Vindhastigheden fra nærmeste vejrstation i Viborg (DMI) for hver måledag er angivet i tabel A4 og A5 (Appendiks).

På baggrund af værdierne i tabel 7, sluttet det, at der har været tilnærmelsesvis identiske forhold i hhv. forsøg og kontrolperioderne.

### Gyllehøjde og pH

Gyllehøjden blev målt ved hvert teknikerbesøg, hhv. inden opstart af måleperioden samt i kontrol- og forsøgsperioderne. Den gennemsnitlige gyllehøjde i besætning A var hhv. 67 og 78 cm i kontrol- og forsøgsperioderne (tabel 8). I besætning B var gyllehøjden 64 og 69 cm. Dermed var den gennemsnitlige gyllehøjde højere i forsøgsperioderne sammenlignet med de ikke-forsurede kontrolperioder.

pH-kravene for hhv. de forsurede og kontrolperioderne blev opfyldt i begge besætninger viser de håndholdte målinger (tabel 8). Der ses lidt større variation i pH-værdien i den forsurede periode for besætning B, og det skyldes, at der i én af måleperioderne blev forsuret ned til pH 4,35.

**Tabel 8.** Supplerende registreringer i forbindelse med målekampagnen.

	Besætning A		Besætning B	
	Forsøg	Kontrol	Forsøg	Kontrol
N	6	5	4	4
pH, gylle	5,6	7,3	5,1	7,2
Gyllehøjde, cm	78	70	70	64

Indledningsvist blev bundfaldsmængden målt i gyllekummen. I besætning A blev der inden testen målt 11,6 cm  $\pm$  12,7 bundfald, mens der ved testens afslutning blev målt 12,8 cm  $\pm$  15,9. I besætning B blev der målt hhv. 7,7 cm  $\pm$  13,9 og 4,8 cm  $\pm$  7,9 bundfald hhv. før og efter forsuring. Bundfaldsmængden blev ikke målt umiddelbart efter testens afslutning i besætning B, men i stedet 1,5 mdr. senere.

Tabel 9 viser gyllekompositionen af prøver taget gennem testperioderne i besætning A og B. For begge lokationer resulterede forsuringen af gyllen i en lavere pH-værdi sammenlignet med de ikke-forsurede kontrolprøver. I besætning B var den gennemsnitlige pH-værdi i forsøgsperioden lavere sammenlignet med besætning A, hvilket også blev fundet i de håndholdte målinger. I testen blev forsørings-anlægget flyttet fra den ene til anden besætning, hvorfor der ikke kan tilskrives nogen forskelsårsag til forsørings-anlægget. pH sensorerne i pH-logningen blev kalibreret af tekniker fra JH Agro A/S ved opstart af hver kontrolperiode. De loggede pH-værdier på måledagene ses i tabel A2 og A3.

Tørstofindholdet var højest i de forsurede prøver, mens der blev målt en mindre forskel i kvælstof-indholdet mellem forsurede og ikke-forsurede prøver. Det er generelt svært at udtage en repræsentativ gylleprøve fra gyllekanalerne og derfor svært at bestemme det nøjagtige tørstofindhold i prøverne. Den største variation i tørstofindhold blev observeret i prøver fra den forsurede periode. Det gennemsnitlige indhold af svovl var tilnærmelsesvis ens i de forsurede prøver fra de to besætninger.

**Tabel 9.** Analyser af gylleindhold gennem måleperioderne (kontrol- og forsøg) i besætning A og B. Standardafvigelser er angivet i parentes.

	Besætning A		Besætning B	
	Forsøg	Kontrol	Forsøg	Kontrol
N	6	6	5	5
pH	5,75 (±0,25)	7,14 (±0,08)	5,44 (±0,56)	7,25 (±0,10)
TS (%)	8,37 (±0,52)	7,60 (±0,20)	7,28 (±0,43)	6,98 (±0,27)
Organisk DM (% of DM)	38,83 (±0,69)	43,17 (±0,90)	37,60 (±1,52)	42,60 (±1,14)
Total N (kg/ton)	3,99 (±0,27)	3,91 (±0,18)	3,44 (±0,47)	3,72 (±0,16)
Ammonium-N (kg/ton)	2,12 (±0,16)	2,07 (±0,18)	1,88 (±0,42)	2,12 (±0,33)
Total P (kg/ton)	0,60 (±0,1)	0,53 (±0,09)	0,52 (±0,18)	0,44 (±0,15)
Total K (kg/ton)	3,45 (±0,39)	3,42 (±0,55)	3,46 (±1,12)	3,36 (±0,77)
Total S (kg/ton)	3,42 (±0,31)	0,85 (±0,30)	3,36 (±0,42)	0,76 (±0,21)
C:N	8,15 (±0,37)	8,42 (±0,37)	8,14 (±1,78)	8,02 (±0,70)

## Operationelle omkostninger

Testen blev udført så de eksperimentelle syre- og elforbrug ikke er repræsentative for almindelige driftsforhold i praksis. I tabel 10 er angivet forbruget af el og syre målt i indeværende test. Forbruget under normale driftsforhold målt over et år i fire lignende sengestalde var i gns. 5,7 kg konc. svovlsyre/m<sup>3</sup> gylle [6]. Det samme forsøringsudstyr blev anvendt både i besætning A og B. Under testen forestod JH Agro A/S opsætning og servicering af forsøringsanlægget, og i tabel 11 og 12 er datoer med operationelle udfordringer angivet.

**Tabel 10.** Forbrug af elektricitet og svovlsyre gennem måleperioderne.

	Besætning A	Besætning B
Elektricitetsforbrug, kWh	6613	1107
Syreforbrug, kg	51.630	23.721

**Table 11** Tidspunkter med operationelle udfordringer af forsøringsanlægget på besætning A

Dato	Problem	Handling/tid
09-04-2019	Nedforsøringsperiode forlænget grundet manglende syre	Syre bestilt og leveret
12-04-2019	Nedforsøringsperiode forlænget grundet manglende syre	Syre bestilt og leveret
29-07-2019	pH logningen ikke slået til i kontrolperiode	pH logningen tændes manuelt
06-10-2019	Syrepumpen slået fra på motoranlægget	Anlægget tændt igen.
15-11-2019	Problemer med syrepumpen	Syrepumpen skilt ad
16-11-2019	Syrepumpen slået fra på motoranlægget	Anlægget tændt igen.

**Table 12.** Tidspunkter med operationelle udfordringer af forsøringsanlægget på besætning B

Dato	Problem	Handling/tid
21-03-2019	Nedforsuring udsat grundet problemer med syrelevering	
29-03-2019	Lejring af partikulært materiale omkring pH-sensoren.	Manuel fjernelse af materialet
29-03-2019	Nedforsuret til pH 4,9	Obs på gylleniveau i kummen ved nedforsuring
24-05-2019	Fejlregistrering af pH grundet lejring af partikulært materiale	Manuel fjernelse af materialet

Hovedparten af de operationelle udfordringer var enkelttilfælde og blev håndteret efter få timer ved besøg af tekniker fra JH Agro A/S. Dog, i forhold til pH-sensorerne i forsøringsanlægget anbefales det at disse afskærms, så det ikke er muligt, at der lejres partikulært materiale omkring sensorerne, da dette kan give udslag i forkerte pH-værdier.

Da JHforsuringNH4+ forsøringsystemet forsurer én gang per dag, betyder det, at de nævnte problemer ikke gjorde systemet in-operativt i flere dage og dermed påvirkede testen negativt.

Den beregnede opetid for anlægget er ikke beregnet, da forsøgsdesignet ikke tillader at beregne dette.

## Andre problemstillinger

Denne test blev foretaget på to forskellige kvægbesætninger, og resultaterne reflekterer derfor effekten af JHforsuring NH4+ (kvæg) forsøringsanlægget specifikt for denne type gårdanlæg. Det antages, at systemet kan anvendes på andre lignende staldanlæg, og at der kan opnås lignende resultater for disse.

Der forventes ikke at forekomme korrosion i gyllekanaler med forsuret gylle, hvis betonen har en kvalitet svarende til miljøklasse (DS/EN 206 + DS2426).

Der opfordres til, at man ved opstart af forsøringsanlægget er særlig opmærksom på udviklingen af svovlbrinte. Der opfordres yderligere til, at der monteres svovlbrintedetektorer på udstyret, samt at alle aktører – også staldpersonel - bærer svovlbrintedetektorer ved opstart af anlægget.

## Konklusion

Formålet med testen var at bestemme effekten af svovlsyrebehandling af gylle i kvægstalde på ammoniakemissionen. Testen blev gennemført i henhold til VERA protokollen for stald- og produktionssystemer (ver. 3:2018-09). Forsuringsteknologien JHforsuringNH4+ (kvæg) blev testet i to kvægbesætninger gennem ét år med 5 måleperioder.

Ammoniakemissionen blev bestemt ved at anvende internal tracer ratio-metoden, hvor kuldioxid produceret af dyrene og gyllen blev anvendt som sporgas. Kuldioxid og ammoniak-koncentrationerne blev målt med Picarro måleinstrumenter. Forsøget var ikke dimensioneret til at kunne observere ændringer i kuldioxidemissionen, herunder efter tilsætning af syre. Laboratorieforsøg udført i forbindelse med disse tests, viste en nedgang i kuldioxidemissionen fra kvæggylle på ca. 46% [12].

Testen viste, at forsuring med svovlsyre i stalden medvirkede til at reducere ammoniakemissionen med 33,7% og 26,2% sammenlignet med uforsurede (kontrol) forhold. Antages det at svovlsyreforsuringen vil forårsage en reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen fra gyllen på 46% forøges den reducerende effekt til henholdsvis 36,7% og 29,6%.

Yderligere blev det vist at forsuring med svovlsyre i stalden medvirkede til at reducere metanemissionen med hhv. 14,0% og 10,7 % sammenlignet med uforsurede (kontrol) forhold. Ved antagelse af 46% nedgang i kuldioxidemissionen forøges effekten til hhv. 18,0% og 14,8%.

Forsuringen medførte 63% og 73% lavere svovlbrintekonzentration i de to besætninger.

## Referencer

- [1] Teknologilisten, <https://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/staldindretning/>
- [2] Miljøministeriet, Teknologiblade, Staldindretning – svovlsyrebehandling af gylle, 3. udgave, 23.05.2011
- [3] VERA verification statement, Technology: JH Forsuring NH4+, Jørgen Hyldgaard Staldservice
- [4] VERA test protocol for Livestock Housing and Management Systems (version 3:2018-09)
- [5] Andersen, M. 2013 JH forsuring NH4+. Jørgen Hyldgaard Staldservice A/S. ETV testrapport version 1-5. DANETV / AgroTech.
- [6] 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.
- [7] Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug BEK nr. 1261 af 29/11 2019. Hente fra: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=211472>
- [8] Kai, P., & Adamsen, A. P. (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning. Del 2: Emissionsfaktorer. *Technical Report Biological and Chemical Engineering*, 6(12). Hentet fra: <https://tidsskrift.dk/bce/article/view/25214>
- [9] Teknologilisten. Hentet fra: <https://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/staldindretning/>



- [10] Lent, A.J.H., Schils, R.L., Boxem, Tj., Zonderland, J., Verboon, M.C (1995). Aanzuren rundermest in stal en silo, Proefstation voor de Rundveehouderij, sSchapenhouderij en Paardenhouderij, Rapport nr, 156.
- [11] 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
- [12] Fuchs, A., Dalby, F.R., Liu, D., Kai, P., Feilberg, A (2021). Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid. Cleaner Engineering and Technology 4 (2021), 100263.
- [13] Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M. & Hansen, M.G. 2020. Denmark's National Inventory Report 2020. Emission Inventories 1990-2018 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 904 pp. Scientific Report No. 372.
- [14] Kai, P. 2018. Faglig vurdering af BAT-krav til sengestalde efter fremkomst af ny viden. DCA Nationalt center for Fødevarer og Jordbrug.

## Deltagere

Tekniker: Thomas Lund Sørensen, Nina Charles Christensen, Morten Lindegaard Jensen

Andre deltagere: Mai Britt Friis Nielsen

Afprøvning nr. 1626

NAV nr.: 4182

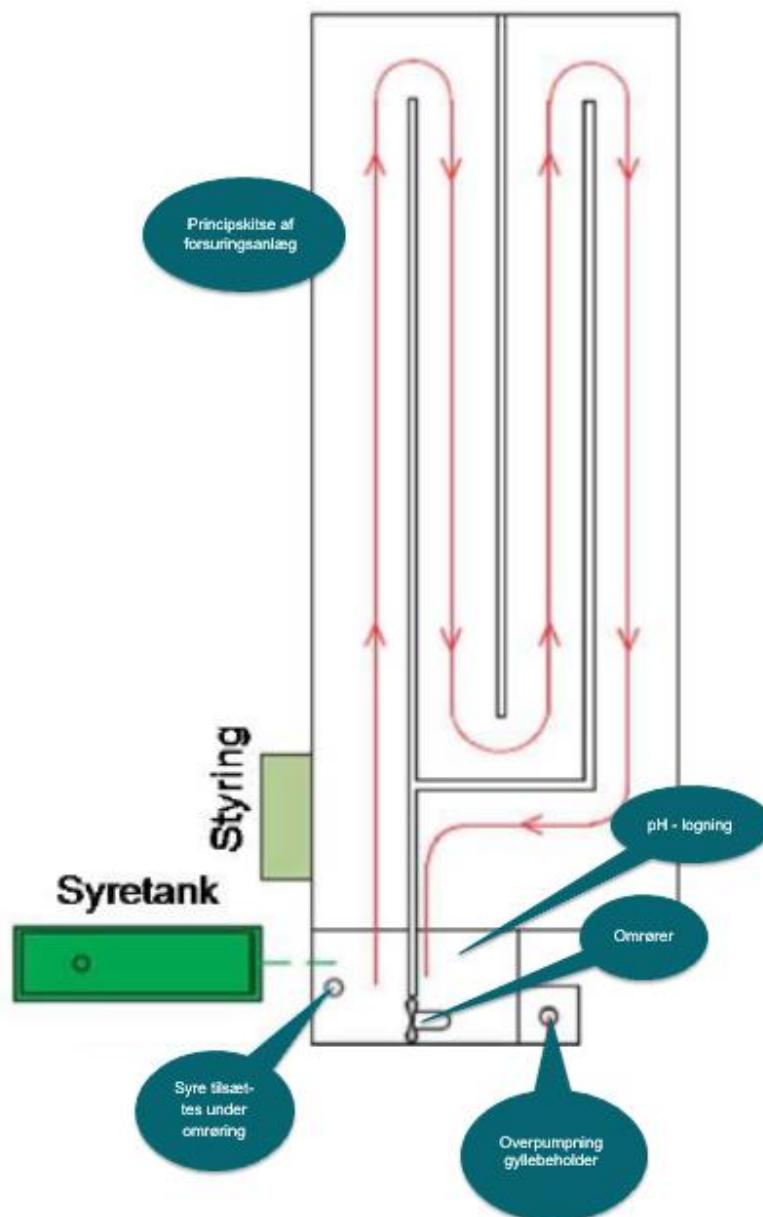
Dyregruppe: Kvæg

Fagområde: Miljøteknologi

Nøgleord: Ammoniakemission, gylleforsuring

# Appendiks

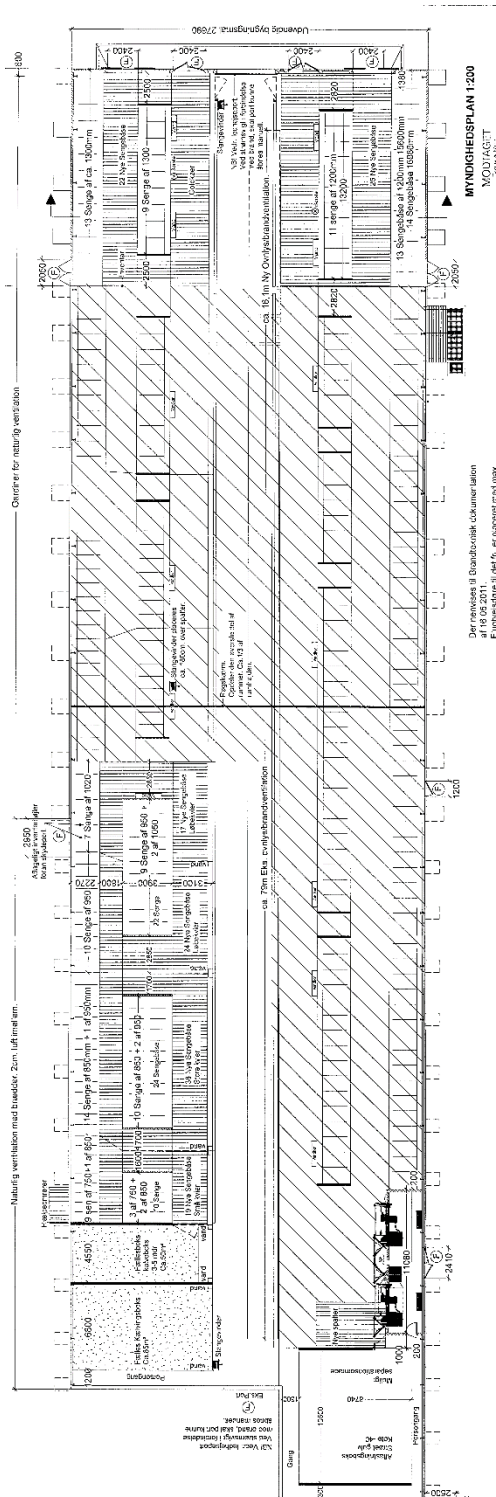
## Opbygning af forsuringsanlægget



Figur A1. Principskitse af forsuringsanlægget.

# Teststalden i teknologitesten

Opbygningen af teststalde i testen samt tilgængelige arealer er vist og beskrevet nedenfor.



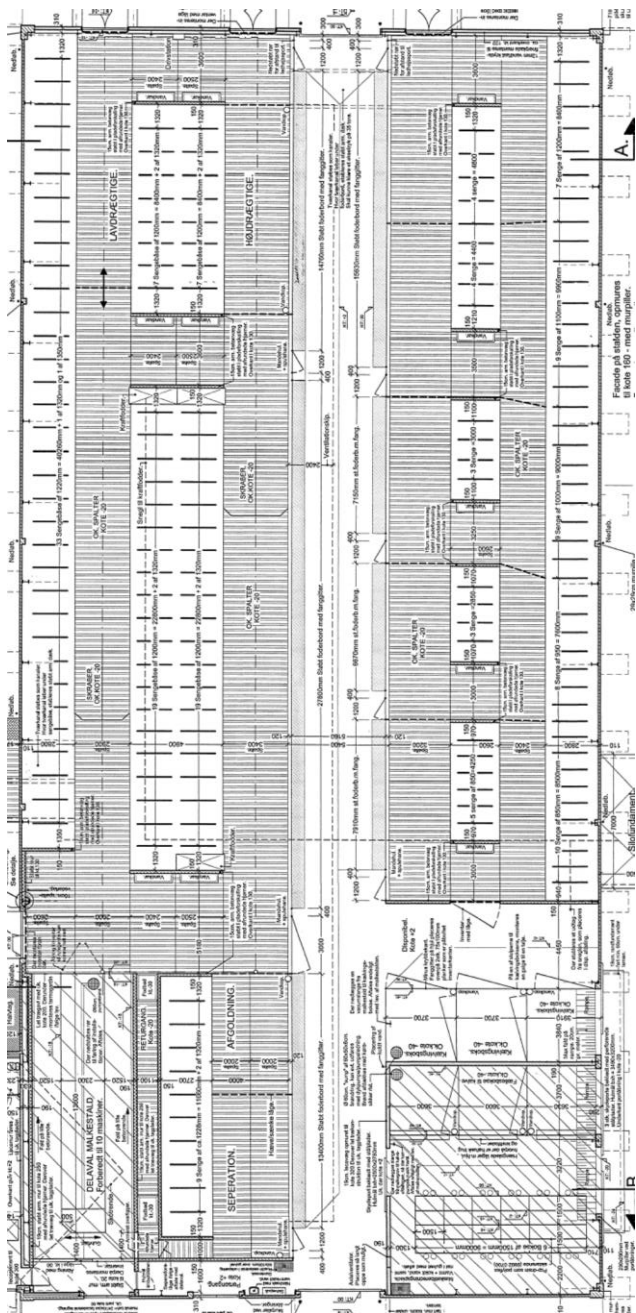
Figur A2. Indretningsplan for stalden i besætning A.



Figur A2. Teststalden er markeret med rødt. Nordretningen er angivet med pil.



Figur A2. Stalden set fra vest/nordvest.



**Figur A3.** Luffoto for teststalden i besætning B. Teststalden er markeret med rødt. Nord er angivet på figuren.

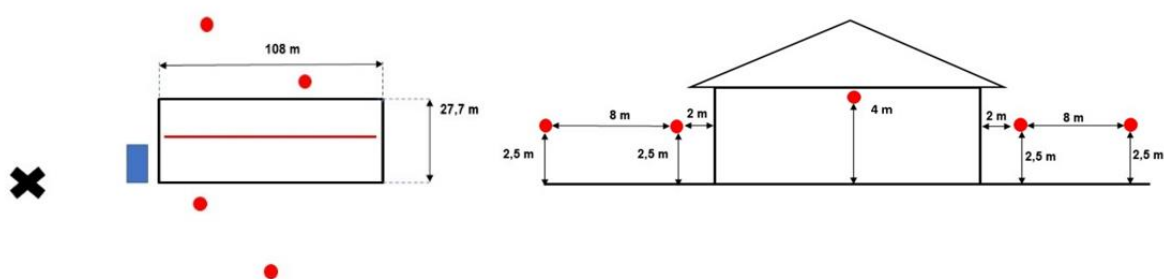
**Figur A3.** Indretningsplan for stalden i besætning B.

## Beskrivelse af måleprocedure i teststaldene

Nedenfor ses en skitse som viser placeringen af måleslanger samt andre monitoringsenheder for hver af teststaldene. Forholdene for besætning A er beskrevet og vist først og informationen fra besætning B følger derefter.

### Besætning A

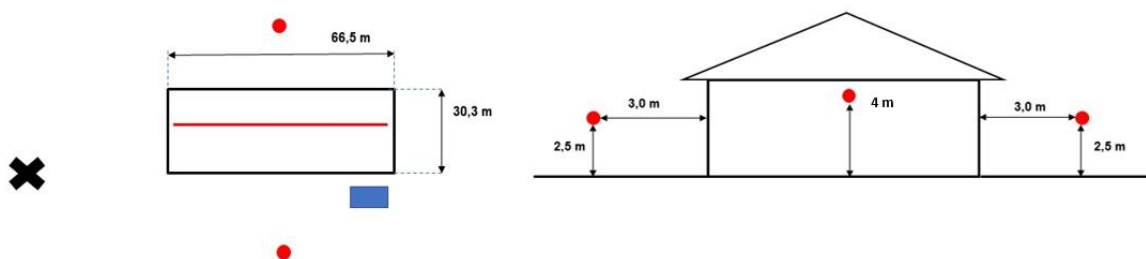
Figuren nedenfor viser placeringen af måleslanger i teststalden samt udemålepunkter (Figur A4). Til et andet forsøg blev der også trukket måleslanger i stalden i kip samt hver side af stalden. Disse slanger er ikke medtaget på figuren. Grundet placering af gyllebeholdere tæt på teststald A, blev der yderligere tilføjet to udemålepunkter på hver side af stalden. Placeringen af den mobile målevogn er vist som en blå firkant, mens placeringen er vejrstationen er markeret med et sort kryds.



**Figur A4.** Placering af måleslanger, vejrstation og mobil målevogn i besætning A. Placeringen af måleslanger er vist ovenfra (venstre) samt ved tværsnit af stalden (højre).

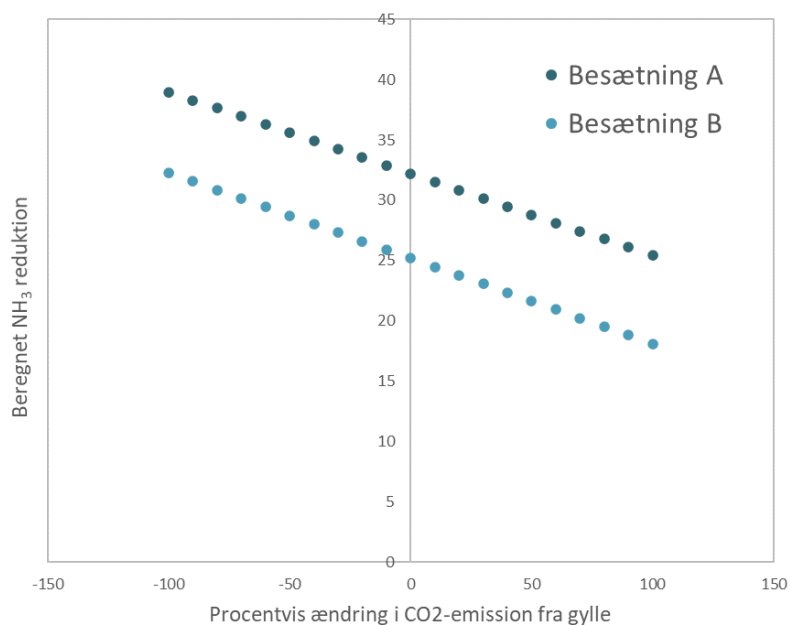
### Besætning B

Ligeledes viser figuren nedenfor placeringen af måleslanger i besætning B (figur A5). Placeringen af vejrstation samt den mobile målevogn er også angivet. De to gyllebeholdere øst for teststalden blev vurderet ikke at influere på målingerne, hvorfor der ikke blev etableret yderligere udemålepunkter.



**Figur A5.** Placering af måleslanger, vejrstation (X) og mobil målevogn. Placeringen af måleslanger er vist ovenfra (venstre) samt ved tværsnit af stalden (højre).

## Følsomhedsanalyse af kuldioxidfrigivelse fra gyllen på reduktion i ammoniakemission



**Figur A6.** Følsomhedsanalyse af reduktion i ammoniakemission som funktion af ændret frigivelse af CO<sub>2</sub> fra gyllen

## Målemetoder og måleusikkerhed

Nedenfor ses en oversigt over måleusikkerheder for måleudstyret som er blevet anvendt i testen.

**Tablet A1.** Måleusikkerhed på anvendte målemetoder

Målemetode	Usikkerhed
Ammoniak – Kitagawa gas detektorrør 105SD	5%
Ammoniak – Picarro (G2103)	5%
Kuldioxid - Kitagawa gas detektorrør 126SF	10%
Kuldioxid – Picarro (G2201-i)	< 5%
Kuldioxid – Picarro (G4103)	< 5%
Metan – Picarro (G2201-i)	< 5%
Metan – Picarro (G4103)	< 5%
Hydrogensulfid – Jerome 631-XE	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%

## Beregning af luftskifte med sporgas-ratio-metoden

Som sporgas anvendes den naturlige produktion af CO<sub>2</sub> i stalden, dvs. CO<sub>2</sub> produceret af dyrene og af gødningen, som er lagret i stalden. Produktionen af CO<sub>2</sub> fra dyrene afhænger af dyrenes størrelse, produktion og aktivitet, hvilket kan udtrykkes i relation til dyrenes varmeproduktion med tillæg for produktion af CO<sub>2</sub> fra gødningen i stalden.

Følgende ligninger benyttes som grundlag for beregning af dyrenes varmeproduktion:

$$\text{Lakterende køer: } \phi_{\text{tot}} = 5.6 \cdot m^{0.75} + 22 \cdot Y_1 + 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot p^3$$

$$\text{Goldkøer: } \phi_{\text{tot}} = 5.6 \cdot m^{0.75} + 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot p^3$$

$$\text{Kvier, drægtige: } \phi_{\text{tot}} = 7.64 \cdot m^{0.69} + Y_3 \cdot (23/M-1) \cdot (57.27+0.302 \cdot m) / (1-0.0171 \cdot Y_3) + 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot p^3$$

$$\text{Kvier, ikke-drægtige: } \phi_{\text{tot}} = 7.64 \cdot m^{0.69} + Y_3 \cdot (23/M-1) \cdot (57.27+0.302 \cdot m) / (1-0.0171 \cdot Y_3)$$

Hvor,

$\phi_{\text{tot}}$  = Total varmeproduktion per dyr, W

$m$  = dyrenes gennemsnitlige levendevægt, kg

$Y_1$  = mælkeydelse (kg dag<sup>-1</sup> dyr<sup>-1</sup>)

$P$  = dag i drægtighed

$M$  = Energiindhold i foder (MJ kg<sup>-1</sup> tørstof; gns.: 10 MJ kg<sup>-1</sup> tørstof)

$Y_3$  = tilvækst (kg dag<sup>-1</sup>)

Dyrenes CO<sub>2</sub>-produktion er relateret til varmeproduktionen og beregnes ved anvendelse af følgende ligning:

$$P_{CO_2}(\text{dyr}) = 0.180 \cdot \phi_{\text{tot}}$$

Hvor

$P_{CO_2}$  (dyr) = dyrets CO<sub>2</sub>-produktion (L h<sup>-1</sup> W<sup>-1</sup>).

Den samlede CO<sub>2</sub>-produktion i stalden beregnes således som:

$$P_{CO_2} = P_{CO_2}(\text{dyr}) + P_{CO_2}(\text{gødning})$$

idet gødningens bidrag til CO<sub>2</sub>-produktion i stalden beregnes som en fast andel (10%) af dyrenes CO<sub>2</sub>-produktion.

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

**Tabel A2.** Antal dyr, vægt, varme- og CO<sub>2</sub>-produktion bestemt i hver måleperiode i besætning A

Målerunde	Dyr	Belægnings- grad	Antal	Vægt	Mælke- produktion (kg/ko/d)	Varme- produktion (W)	CO <sub>2</sub> production (L/h)
1	Køer:		131	682	39.2	1.675	
	Goldkøer:		20	771		990	
	Kvier:		105	362		809	
	Kælvekvier						
	Total:	0.72	256	142.772	39.2	324.170	64.205
2	Køer:		130	671	36.6	1.609	
	Goldkøer:		16	754		976	
	Kvier:		111	346		710	
	Kælvekvier		6	660		1115	
	Total:	0.74	263	141.660	36.6	310.286	61.442
3	Køer:		132	651	35.9	1.577	
	Goldkøer:		11	740		965	
	Kvier:		119	359		728	
	Kælvekvier		4	656		1.113	
	Total:	0.75	266	139.417	35.9	309.863	61.354
4	Køer:		132	658	33.9	1.539	
	Goldkøer:		21	745		969	
	Kvier:		127	363		734	
	Kælvekvier		2	657		1.111	
	Total:	0.79	282	149.916	33.9	318.937	63.135
5	Køer:		127	664	33.9	1.544	
	Goldkøer:		22	750		973	
	Kvier:		127	378		754	
	Kælvekvier		2	655		1.108	
	Total:	0.78	278	150.144	33.9	315.468	62.459



**Table A3.** Antal dyr, vægt, varme- og CO<sub>2</sub>-produktion bestemt i hver måleperiode i besætning B

Målerunde	Dyr	Belægnings- grad	Antal	Vægt	Mælke- produktion (kg/ko/d)	Varme- produktion (W)	CO <sub>2</sub> production* (L/h)
1	Køer:		106	653	31,9	1.491	
	Goldkøer:		12	785	0	1.001	
	Kvier:		59	513	0	932	
	Total:	0.86	177	108.905	31,9	224.993	44.549
2	Køer:		107	660	34,3	1.549	
	Goldkøer:		6	768	0	987	
	Kvier:		59	513	0	932	
	Total:	0.83	172	105.495	34,3	226.668	44.880
3	Køer:		100	673	35,2	1.580	
	Goldkøer:		9	764	0	984	
	Kvier:		59	513	0	932	
	Total:	0.81	168	104.443	35,2	221.811	43.919
4	Køer:		100	685	35,2	1.590	
	Goldkøer:		11	792	0	1.006	
	Kvier:		59	513	0	932	
	Total:	0.82	170	107.479	35,2	225.012	44.552
5	Køer:		102	682	35,8	1.600	
	Goldkøer:		12	781	0	998	
	Kvier:		40	507	0	924	
	Total:	0.74	154	99.216	35,8	212.179	42.012

\* inklusiv 10% bidrag fra gylle

## Konditionelle værdier og ammoniakemission

På de følgende sider ses oversigt over først de konditionelle værdier for hver enkelt måledag i besætning A og B. Derefter følger oversigter for de målte kuldioxid-, metan- og ammoniakkoncentrationer, samt de beregnede emissioner af ammoniak og metan for hver enkelt måledag.

**Table A4:** Konditionelle værdier (døgngennemsnit) for hver enkelt måledag for besætning A.

Måleperiode	Behandling	Dato	Relativ fugtighed Ude %	Relativ fugtighed Stald %	Temp. Stald °C	Temp. Ude °C	Vind retning °	Vind - Veng hastighed m/s	Vind - DMI* hastighed m/s
1	kontrol	05-02-19	90.7	89.7	6.4	4.3	321.8	3.3	6.3
	kontrol	06-02-19	95.4	93.1	7.3	3.8	239.0	1.7	3.8
	kontrol	07-02-19	92.7	91.5	7.5	5.1	220.0	3.2	6.2
	kontrol	08-02-19	90.8	90.7	8.2	6.5	248.0	3.8	7.5
	kontrol	09-02-19	89.8	90.1	8.9	7.0	251.4	4.6	8.6
	forsuring	12-02-19	80.0	83.3	6.1	3.1	303.7	2.2	4.0
	forsuring	13-02-19	89.2	88.7	9.4	7.2	302.9	3.2	5.3
forsuring	14-02-19	91.9	91.0	9.7	6.5	266.5	2.3	4.1	
2	kontrol	02-04-19	67.8	68.7	7.8	7.4	153.9	2.7	6.0
	kontrol	03-04-19	74.8	75.5	11.1	10.5	133.9	1.5	3.5
	kontrol	04-04-19	72.7*	N.D.	N.D.	8.5	88.0	N.D.	4.7
	kontrol	05-04-19	70.0*	N.D.	N.D.	9.4	78.9	N.D.	4.4
	kontrol	06-04-19	70.0*	N.D.	N.D.	10.3	87.8	N.D.	3.5
	kontrol	07-04-19	77.9	N.D.	N.D.	8.8	52.0	N.D.	5.7
	forsuring	10-04-19	72.0	72.8	4.2	3.1	132.5	2.2	3.3
	forsuring	11-04-19	62.0	67.2	5.7	4.2	96.3	1.2	2.8
	forsuring	12-04-19	57.7	62.5	5.5	3.8	61.0	1.4	3.1
	forsuring	13-04-19	62.2	65.7	5.5	3.1	94.8	1.3	3.3
	forsuring	14-04-19	60.0	64.3	6.6	5.8	71.8	1.6	4.1
	forsuring	15-04-19	61.9	65.5	6.7	5.2	78.2	1.4	3.8
	forsuring	16-04-19	67.9	69.8	6.9	5.7	96.5	1.6	4.4
	forsuring	17-04-19	55.5	60.1	9.7	9.7	98.3	1.4	4.6
	forsuring	18-04-19	57.4	59.9	12.1	10.8	97.8	1.1	3.4
forsuring	19-04-19	56.3	58.7	13.9	12.1	112.0	0.7	2.2	
forsuring	20-04-19	56.4	58.1	13.8	10.6	252.7	0.9	1.6	
forsuring	21-04-19	58.0	58.6	14.6	11.3	333.9	0.9	1.7	
forsuring	22-04-19	54.5	56.4	13.6	11.9	228.1	1.4	4.3	
3	kontrol	23-07-19	76.9	N.D.	22.6	20.4	341.5	1.9	3.8
	kontrol	24-07-19	70.2	N.D.	24.2	22.7	213.3	0.8	2.2
	kontrol	25-07-19	63.2	N.D.	26.9	26.3	237.9	1.4	3.4
	kontrol	26-07-19	60.2	N.D.	25.7	26.2	198.5	1.0	3.3
	kontrol	27-07-19	65.5	N.D.	22.6	23.3	174.7	1.3	4.8
	forsuring	31-07-19	81.5	N.D.	21.0	19.6	217.3	1.5	3.0
	forsuring	01-08-19	80.4	N.D.	19.2	18.0	287.0	1.0	2.5
	forsuring	02-08-19	70.4	N.D.	21.7	18.7	272.1	0.5	1.3
	forsuring	03-08-19	74.4	N.D.	21.6	18.5	219.5	1.1	2.0
forsuring	04-08-19	77.6	N.D.	18.6	16.1	167.3	1.2	2.4	
4	kontrol	17-09-19	74.9	76.3	10.8	9.6	313.8	3.7	6.6
	kontrol	18-09-19	73.9	75.3	11.7	10.4	305.1	2.7	5.3
	kontrol	19-09-19	73.9	75.3	11.7	10.4	291.9	2.7	2.9
	kontrol	20-09-19	80.8	81.1	14.1	13.4	272.4	2.8	5.4
	kontrol	21-09-19	79.9	79.3	16.1	13.6	280.8	1.6	3.0
	kontrol	22-09-19	79.5	79.0	16.4	14.7	130.7	0.7	2.6
	kontrol	23-09-19	82.4	84.6	14.8	14.2	81.6	3.3	5.2
	kontrol	24-09-19	86.8	88.6	14.7	14.2	72.1	0.8	2.4
	forsuring	08-10-19	83.4	82.4	13.4	11.1	211.4	1.7	4.2
	forsuring	09-10-19	87.6	85.1	14.0	11.2	224.0	1.7	3.4
forsuring	10-10-19	87.8	85.1	13.7	10.5	208.9	1.4	3.6	
5	kontrol	29-10-19	83.9	N.D.	2.9	2.9	123.0	N.D.	1.3
	kontrol	30-10-19	90.8	N.D.	3.3	2.9	264.4	N.D.	2.2
	kontrol	31-10-19	87.4	N.D.	7.0	5.5	348.1	N.D.	2.3
	kontrol	01-11-19	87	N.D.	6.4	4.0	243.9	N.D.	3.3
	kontrol	02-11-19	97.5	N.D.	8.2	6.8	196.4	N.D.	3.9
	kontrol	03-11-19	97.4	N.D.	11.1	8.7	204.2	N.D.	2.3
	Forsuring	20-11-19	94.7	N.D.	5.2	5.2	227.9	N.D.	2.1
	Forsuring	21-11-19	90	N.D.	7.3	5.6	188.6	N.D.	3.5
	Forsuring	22-11-19	86.5	N.D.	9.3	7.5	211.6	N.D.	4.2
Forsuring	23-11-19	91.1	N.D.	8.6	7.3	187.7	N.D.	6.2	

\* Data indhentet fra vejrstation Viborg, DMI

**Table A5:** Konditionelle værdier (døgngennemsnit) for hver enkelt måledag for besætning B.

Måle- periode	Behand- ling	Dato	Relativ fugtighed Ude %	Relativ fugtighed Stald %	Temp. Stald °C	Temp. Ude °C	Vind retning °	Vind - Veng ha- stighed m/s	Vind - DMI* ha- stighed m/s
1	kontrol	30-11-18	90.8	83.4	9.8	8.1	93.6	3.5	5.9
	kontrol	01-12-18	91.0	83.2	8.7	6.0	96.6	2.0	3.6
	kontrol	02-12-18	93.9	86.2	9.6	7.4	80.0	2.8	4.3
	kontrol	03-12-18	92.6	85.6	10.9	8.9	123.6	3.1	5.2
	forsuring	06-12-18	93.8	85.8	8.3	5.5	88.4	2.0	7.6
	forsuring	07-12-18	93.3	86.5	10.7	8.9	112.7	2.5	2.5
	forsuring	08-12-18	91.1	84.2	8.7	6.9	120.8	4.0	3.6
	forsuring	09-12-18	89.5	83.0	7.6	6.1	217.3	2.4	4.5
2	kontrol	22-01-19	91.1	84.0	3.6	0.4	175.7	1.9	3.7
	kontrol	23-01-19	86.7	81.4	2.1	-0.9	157.2	1.5	3.3
	kontrol	24-01-19	82.8*	N.D.	N.D.	-3.7*	162.8*	N.D.	2.3
	kontrol	25-01-19	80.3*	N.D.	N.D.	-2.2*	184.0*	N.D.	3.1
	kontrol	26-01-19	92.6	85.5	3.5	0.3	149.8	1.4	3.4
	kontrol	27-01-19	94.0	86.7	5.8	2.5	104.9	1.6	4.5
	forsuring	29-01-19	89.0	82.6	4.1	0.3	219.8	1.9	2.3
	forsuring	30-01-19	89.8	82.8	4.1	0.7	144.2	1.8	3.8
	forsuring	31-01-19	88.9	81.8	4.6	0.6	124.1	2.7	5.0
forsuring	01-02-19	86.5	80.9	4.3	1.3	52.8	1.9	3.6	
3	kontrol	19-03-19	70.9	71.9	9.0	7.1	221.1	2.2	2.5
	kontrol	20-03-19	86.5	81.2	10.2	7.8	204.7	2.6	4.8
	kontrol	21-03-19	89.7	81.7	11.8	9.7	177.9	3.6	5.9
	kontrol	22-03-19	88.5	82.7	10.3	7.8	214.0	2.2	3.8
	kontrol	23-03-19	81.0	77.9	9.7	7.9	161.6	2.5	5.8
	kontrol	24-03-19	83.0	77.8	7.9	5.7	215.6	3.8	5.3
	Forsuring	26-03-19	73.6	72.2	9.1	8.4	218.4	2.6	6.1
	Forsuring	27-03-19	88.3	82.8	10.3	8.5	120.4	2.0	6.2
Forsuring	28-03-19	85.2	80.5	12.1	10.0	153.0	1.9	5.4	
4	kontrol	14-05-19	60.9	68.4	14.7	12.8	278.1	0.8	1.8
	kontrol	15-05-19	59.7	68.1	14.7	13.7	157.6	0.8	1.7
	kontrol	16-05-19	55.2	64.6	16.1	15.6	220.4	2.3	4.1
	kontrol	17-05-19	82.4	80.0	12.6	10.6	154.7	2.5	5.1
	kontrol	18-05-19	85.6	81.8	14.7	13.1	83.6	1.9	3.6
	kontrol	19-05-19	82.0	77.8	18.0	16.0	78.5	1.5	3.2
	forsuring	20-05-19	74.0	77.0	20.2	19.3	337.4	1.4	2.8
	forsuring	21-05-19	83.5	82.1	18.8	17.7	327.9	1.3	3.0
	forsuring	22-05-19	84.1	77.2	14.4	11.9	158.5	1.8	5.1
	forsuring	23-05-19	69.9	69.9	17.2	14.6	201.8	3.3	4.5
	forsuring	24-05-19	84.7	77.5	13.4	10.7	164.9	2.7	5.5
	forsuring	25-05-19	78.8	75.4	14.6	13.0	127.6	2.2	6.0
forsuring	26-05-19	79.5	76.3	14.5	12.1	161.8	2.3	4.5	
5	kontrol	10-07-19	66.6	71.3	18.6	18.8	162.4	1.3	4.0
	kontrol	11-07-19	84.9	81.5	16.4	14.4	165.6	1.0	2.1
	kontrol	12-07-19	84.9	82.5	20.5	17.2	359.5	0.5	1.9
	kontrol	13-07-19	79.4	75.8	19.3	18.1	164.7	1.2	3.6
	kontrol	14-07-19	81.3	75.3	18.7	16.6	178.5	1.4	3.3
	Forsuring	17-07-19	70.4	73.6	20.7	20.0	217.3	0.9	2.3
	Forsuring	18-07-19	71.8	73.6	20.3	19.6	223.1	1.0	2.3
	Forsuring	19-07-19	75.7	75.7	21.5	19.8	246.8	0.6	2.0
	Forsuring	20-07-19	80.1	77.9	19.5	17.5	172.5	1.3	3.2
Forsuring	21-07-19	84.1	81.0	19.2	17.2	180.0	1.8	4.3	

\* Data indhentet fra vejrstation Viborg, DMI

**Tabel A6:** Kuldioxid-, metan- og ammoniakkoncentrationer (døgngennemsnit) samt beregnede emissioner for hver måledag i besætning A.

Måleperiode	Dato	CO <sub>2</sub> baggrund ppm	NH <sub>3</sub> baggrund ppb	CH <sub>4</sub> baggrund ppm	CO <sub>2</sub> Stald ppm	CH <sub>4</sub> Stald ppm	NH <sub>3</sub> Stald ppb	NH <sub>3</sub> * g/(dag*m2)	CH <sub>4</sub> g/(dag*m2)	pH
1	05-02-19	409.6	15.8	1.9	637.0	21.2	2129.5	4.2	41.4	7.2
	06-02-19	422.5	33.4	2.2	1009.6	49.3	3850.1	3.1	42.8	7.2
	07-02-19	419.0	32.3	2.1	927.1	42.8	3338.1	2.9	39.2	7.2
	08-02-19	413.9	18.9	2.0	839.3	38.3	2419.3	3.0	44.7	7.2
	09-02-19	411.0	15.1	1.9	768.0	31.6	2344.5	3.2	43.8	7.2
	12-02-19	413.6	10.5	2.2	928.0	31.6	1245.3	1.4	34.2	5.7
	13-02-19	409.1	12.9	1.9	648.2	20.8	1195.9	2.5	42.7	5.5
	14-02-19	414.2	14.8	2.0	830.6	33.7	1835.1	2.1	40.8	5.6
2	02-04-19	413.6	93.7	2.0	599.3	17.4	1340.2	2.7	35.9	7.0
	03-04-19	417.0	56.8	2.0	668.9	22.5	1736.6	3.2	41.9	7.2
	04-04-19	415.8	54.2	1.9	586.6	15.9	1514.7	4.2	42.0	7.2
	05-04-19	424.2	67.1	2.6	624.3	18.7	1545.2	3.7	41.8	7.2
	06-04-19	415.7	56.0	2.0	611.7	17.9	1764.2	4.2	41.8	7.2
	07-04-19	441.0	121.7	2.9	765.6	29.5	2886.3	4.0	41.0	7.2
	10-04-19	421.7	40.2	2.2	704.0	22.8	1300.6	2.0	35.9	5.6
	11-04-19	446.0	43.6	4.1	712.6	25.3	1442.7	1.6	25.7	5.8
	12-04-19	432.2	102.2	3.2	761.8	29.5	1474.9	1.9	37.9	5.8
	13-04-19	450.1	96.2	4.5	693.4	24.5	1271.8	2.5	42.0	5.8
	14-04-19	422.9	43.6	2.4	647.4	20.2	1050.5	2.4	41.0	5.8
	15-04-19	438.1	63.6	3.1	685.5	23.0	1202.6	2.5	41.3	5.9
	16-04-19	432.3	57.1	3.0	655.9	20.6	1157.8	2.5	40.3	5.8
	17-04-19	416.4	38.2	2.0	622.4	18.0	1230.4	2.7	37.8	5.8
18-04-19	429.0	67.1	2.3	735.2	25.6	1780.3	3.0	38.5	5.8	
19-04-19	447.7	128.7	3.9	733.4	25.4	1979.0	3.5	38.0	5.7	
20-04-19	453.0	107.2	4.1	749.9	25.8	2091.5	3.3	35.2	5.7	
21-04-19	432.4	54.5	3.7	777.9	28.3	2216.5	3.1	36.0	5.8	
22-04-19	431.0	40.9	3.0	695.1	22.0	1706.5	2.7	29.4	5.9	
3	23-07-19	416.1	30.0	2.1	592.0	19.6	2217.7	5.9	50.3	N.D.
	24-07-19	465.8	164.2	4.3	785.5	32.0	3480.0	4.9	42.8	N.D.
	25-07-19	415.4	154.6	3.0	633.9	23.0	2855.1	5.4	43.9	N.D.
	26-07-19	434.8	155.5	3.2	657.5	24.2	3081.3	6.1	46.5	N.D.
	27-07-19	430.4	124.8	2.4	625.8	21.5	2461.0	6.5	49.3	7.0
	31-07-19	418.8	104.0	2.5	702.7	25.4	2362.1	3.9	39.5	5.3
	01-08-19	421.3	125.7	4.5	685.8	24.4	2475.9	3.6	35.9	5.3
	02-08-19	448.6	66.5	9.9	849.8	34.6	3211.6	3.7	31.4	5.4
03-08-19	437.7	80.3	9.7	713.7	27.0	2205.3	4.2	36.6	5.4	
04-08-19	435.3	85.1	2.6	731.1	27.3	2258.4	3.6	41.8	5.5	
4	17-09-19	398.0	23.1	2.3	478.4	10.0	1009.8	5.6	45.2	7.1
	18-09-19	397.9	24.6	2.6	480.8	10.6	1144.3	6.3	51.7	7.2
	19-09-19	402.7	29.0	2.5	508.6	13.1	1289.9	4.5	43.1	7.2
	20-09-19	403.0	30.0	2.1	500.7	12.6	1258.3	5.0	46.3	7.2
	21-09-19	450.9	40.8	2.6	588.0	19.8	2109.3	4.9	46.9	7.2
	22-09-19	452.8	93.9	2.6	714.7	27.0	2714.9	4.7	47.5	7.2
	23-09-19	402.8	62.7	1.9	524.0	12.6	1418.1	5.2	45.9	7.2
	24-09-19	412.5	77.1	1.9	595.1	18.4	1818.2	4.4	46.8	7.2
	08-10-19	411.9	43.0	1.9	798.3	32.5	2700.4	1.9	41.6	5.6
	09-10-19	417.7	37.5	1.9	762.6	28.9	2553.0	2.9	36.3	5.6
10-10-19	471.2	37.9	2.1	767.4	29.1	2745.6	3.7	42.0	5.6	
5	29-10-19	447.9	98.4	5.9	786.3	35.1	2469.0	3.6	45.9	7.3
	30-10-19	450.3	59.4	3.1	797.5	33.4	2525.5	3.7	46.6	7.3
	31-10-19	420.1	35.3	2.0	676.8	25.8	2270.1	4.1	48.8	7.3
	01-11-19	430.1	90.0	3.0	705.2	27.7	2149.3	3.4	45.2	6.9
	02-11-19	432.5	89.1	2.5	578.0	14.7	1556.1	5.4	44.2	7.3
	03-11-19	439.9	149.8	3.3	838.7	37.1	3199.7	3.7	43.7	7.3
	20-11-19	432.5	98.2	2.8	858.4	34.4	2295.7	2.7	39.3	5.4
	21-11-19	428.1	115.7	2.4	685.2	20.9	1756.8	3.0	34.0	5.4
	22-11-19	440.4	129.4	3.0	705.8	22.6	2012.5	3.7	38.2	5.5
	23-11-19	431.6	117.1	2.6	592.7	14.6	1354.5	3.7	38.9	5.5
	24-11-19	426.0	101.5	2.6	566.6	13.1	1195.8	3.5	37.4	5.6

\* Ammoniakkoncentration er ikke omregnet til NH<sub>3</sub>-N eller korrigeret for areal med dybstrøelse eller ændring i CO<sub>2</sub>-produktion ved forsuring

**Tabel A7:** Kuldioxid-, metan- og ammoniakkoncentrationer (døgngennemsnit) samt beregnede emissioner for hver måledag i besætning B.

Måle- periode	Dato	CO <sub>2</sub> bag- grund ppm	NH <sub>3</sub> bag- grund ppb	CH <sub>4</sub> bag- grund ppm	CO <sub>2</sub> Stald ppm	CH <sub>4</sub> Stald ppm	NH <sub>3</sub> Stald ppb	NH <sub>3</sub> * g/(dag*m2)	CH <sub>4</sub> g/(dag*m2)	pH
1	30-11-18	426.5	196.0	2.9	665.5	21.6	2084.5	4.3	47.7	7.1
	01-12-18	431.5	237.8	3.8	750.3	28.6	2630.9	4.1	47.4	N.D.
	02-12-18	426.2	210.8	2.9	703.9	24.5	2536.6	4.6	47.5	7.0
	03-12-18	433.5	251.3	4.0	659.3	21.0	2267.9	5.0	44.8	7.1
	06-12-18	437.5	152.6	2.8	776.7	24.2	1894.2	3.1	40.0	5.2
	07-12-18	432.4	164.8	3.5	601.2	14.9	1383.6	3.9	41.0	5.3
	08-12-18	423.1	120.5	3.1	610.2	16.0	1303.1	3.7	42.2	5.4
	09-12-18	424.6	85.5	2.9	550.3	11.2	1026.5	4.2	40.8	5.5
2	22-01-19	425.1	51.9	2.2	761.3	29.0	2431.0	4.2	50.7	7.2
	23-01-19	434.9	53.7	2.4	805.4	31.6	2393.6	3.7	49.8	7.2
	24-01-19	425.7	45.8	2.4	887.0	38.2	3126.8	3.7	48.6	7.9
	25-01-19	425.4	45.9	2.3	849.5	36.7	2780.5	3.6	50.8	N.D.
	26-01-19	438.7	64.9	2.7	736.6	27.2	2145.0	4.1	50.9	7.2
	27-01-19	428.3	76.0	2.8	643.5	20.3	1831.0	4.6	51.0	7.2
	29-01-19	428.3	82.1	2.9	862.7	34.2	2273.8	2.8	44.6	4.8
	30-01-19	423.4	51.7	2.4	698.8	23.2	1672.5	3.3	46.5	5.7
	31-01-19	432.1	65.4	2.7	835.8	32.9	2109.1	2.9	46.7	5.1
	01-02-19	441.0	92.5	3.1	791.4	28.9	1957.7	3.0	46.2	5.3
3	19-03-19	443.3	231.4	4.1	723.2	24.9	2089.5	3.8	45.1	7.0
	20-03-19	436.5	221.2	4.0	547.3	11.6	1039.7	4.1	41.5	7.0
	21-03-19	414.8	113.8	2.4	501.2	8.6	800.6	4.1	40.4	7.0
	22-03-19	442.3	261.6	4.4	643.4	20.1	1676.4	3.9	46.5	7.0
	23-03-19	416.3	95.0	2.4	516.4	9.5	864.1	4.2	42.9	7.0
	24-03-19	422.8	107.3	2.8	542.6	11.4	948.7	3.8	43.7	7.2
	26-03-19	421.3	46.4	2.2	603.7	11.0	844.4	3.2	37.2	4.9
	27-03-19	407.8	38.9	1.9	507.2	8.5	633.0	3.2	40.2	4.3
	28-03-19	408.8	66.0	2.0	541.4	11.1	782.9	2.9	40.2	4.8
4	14-05-19	452.5	138.5	4.2	800.4	30.0	3070.7	4.3	43.2	7.5
	15-05-19	450.6	131.9	4.0	818.2	31.3	3726.5	5.3	43.2	7.8
	16-05-19	438.8	102.3	3.6	736.5	24.5	3150.9	5.3	38.8	7.8
	17-05-19	429.4	81.7	3.4	615.8	16.8	1943.5	5.3	42.4	7.5
	18-05-19	427.1	107.6	3.6	579.9	14.6	1692.1	5.4	41.6	7.3
	19-05-19	431.9	150.0	3.8	651.8	19.4	2543.6	5.9	41.1	7.3
	20-05-19	446.2	141.2	3.7	911.5	30.6	3475.5	3.9	34.5	5.2
	21-05-19	430.4	117.3	3.7	761.1	25.8	2751.0	4.0	38.1	5.5
	22-05-19	423.4	54.1	3.3	576.8	12.8	1130.4	3.7	35.4	5.6
	23-05-19	441.3	171.1	4.4	643.3	16.6	1488.1	3.4	35.3	5.6
	24-05-19	431.3	104.5	3.7	551.6	10.9	894.0	3.5	34.9	5.5
	25-05-19	419.2	30.2	3.0	541.2	10.1	879.6	3.6	33.7	5.5
26-05-19	422.0	55.6	3.3	620.2	15.9	1302.5	3.2	32.9	6.1	
5	10-07-19	407.6	81.0	2.3	490.5	8.0	980.4	5.4	37.1	7.0
	11-07-19	442.6	280.0	3.6	636.7	17.9	2118.5	5.0	41.9	7.0
	12-07-19	431.4	234.2	3.2	624.1	17.0	2321.7	5.7	40.4	7.1
	13-07-19	400.6	91.8	2.1	522.1	10.1	1524.8	5.9	36.0	7.1
	14-07-19	403.0	131.0	2.7	513.8	10.3	1389.1	5.8	37.2	7.1
	17-07-19	423.0	127.9	3.1	580.4	13.5	1335.6	3.8	36.0	5.3
	18-07-19	442.8	247.7	3.8	631.5	17.2	1734.8	3.4	36.5	5.3
	19-07-19	436.2	189.9	3.2	660.2	17.3	1859.4	3.7	34.2	5.4
	20-07-19	430.0	153.2	2.8	617.5	15.7	1530.1	3.9	38.1	5.3
	21-07-19	423.2	225.2	3.3	525.3	9.7	1061.2	4.1	34.0	5.4

\* Ammoniakkoncentration er ikke omregnet til  $\text{NH}_3\text{-N}$  eller korrigeret for areal med dybstrøelse eller ændring i  $\text{CO}_2$ -produktion ved forsuring