

Afdækning af potentiale, vidensbehov og metode til test ift. drivhusgasemissioner og reduktionseffekter fra udvalgte staldtyper og klimavirkemidler til stald og lager

Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Af Anders Peter Adamsen

Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet

Datablad

Titel:	Afdækning af potentiale, vidensbehov og metode til test ift. drivhusgas-emissioner og reduktionseffekter fra udvalgte staldtyper og klimavirkemidler til stald og lager
Forfatter:	Seniorforsker Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet
Fagfællebedømmelse:	Kap. 1: Seniorrådgiverne Michael J. Hansen og Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet. Kap. 2: Seniorrådgiverne Michael J. Hansen og Peter Kai samt Lektor Anders Feilberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet. Kap. 3: Professor Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. Kap. 4: Lektor Anders Feilberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Klaus Horsted, DCA Centerenheden
Rekvirent:	Departementet i Miljøministeriet
Dato for bestilling/levering:	24.09.2020 / 27.04.2021
Journalnummer:	2020-0166489
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 20.H6.04 "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2020-2023".
Ekstern kommentering:	Ja, Landbrugsstyrelsen har kommenteret på et udkast til besvarelsen. Kommentarer og AUs håndtering af disse kan findes via dette link: https://bit.ly/3sRbQOt
Citeres som:	Adamsen, A.P. 2021. Afdækning af potentiale, vidensbehov og metode til test ift. drivhusgasemissioner og reduktionseffekter fra udvalgte staldtyper og klimavirkemidler til stald og lager. 9 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 27. april 2021.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Afdækning af potentiale, vidensbehov og metode til test ift. drivhusgasemissioner og reduktionseffekter fra udvalgte staldtyper og klimavirkemidler til stald og lager

Af seniorforsker Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

1. Baggrund med gennemgang af relevante staldtyper og deres forventede drivhusgasudledning.

Fagfællebedømmer: Michael J. Hansen og Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

Vi har sparsomt kendskab til udledning af metan fra gødning i kvægstalde. Det skyldes bl.a. vanskeligheder ved at måle udledning fra åbne stalde og - ikke mindst - at den enteriske udledning af CH₄ fra køerne er langt højere end bidraget fra gødning. Gyllens gennemsnitlige opholdstid og temperatur er vigtige parametre for dannelsen af CH₄. I tabel 1 er der foreslået en prioritering for målinger ud fra væsentlighed og ønske om at måle på stalde med forventet høj eller lav udledning af CH₄. Bemærk at inddeling i staldtyper i Normtalssystemet er foretaget med henblik på udledning af NH₃, hvor det er overfladearealer, især af gylle i gyllekummer, der bestemmer udledning. Metan dannes ved nedbrydning af organisk tørstof under anaerobe (iltfrie) forhold i gylle. Da de metan-dannende bakterier vokser langsomt, bliver gyllens gennemsnitlig alder af betydning for produktionen af CH₄, idet der først skal vokse en population op efter udslusning. I drægtighedsstalder med delvis spaltegulve er der én type med gyllekummer og rørudslusning og en anden type med linespil, hvor der er hyppig fjernelse af gødningen. Der er en markant forskel på udledningen af CH₄ fra gødning i de to systemer. Linespil er målt til at udlede 2,6 kg CH₄/år/so, hvorimod stalde med gylle og rørudslusning 11 kg/so/år (Holm & Sørensen, 2019).

De forventede udledning af CH₄ fra stalde med slagtesvin er belyst i et notat om hyppig udslusning (Adamsen et al. 2021). Udledning fra øvrige svinestalde samt kvægstalde er vurderet som høj eller lav ud fra gyllesystemet.

Men hensyn til fremtidig udbredelse, så har vi ikke den fornødne viden til at vurdere dette.

Tabel 1. Forslået stalde med betydning for udledning af klimagasser. Udvalgelse ud fra udbredelse, høj, mellem eller lav udledning af CH₄ og prioritering med hensyn til igangsættelse af målinger

Staldtype	Udbredelse i 2018 ¹ (%)	Udledning klimagasser fra gødning	Bemærkninger	Prioritering
Kvæg - sengestald med spalter (kanal, bagskyl eller ringkanal).	46	Høj CH ₄	Repræsenterer en stald med høj gennemsnitlig gyllealder	1

Kvæg – sengestald med spalter (kanal, linespil)	22	Lav CH ₄	Repræsenterer en stald med lav gennemsnitlig gyllealder	1
Kvæg - sengestald, fast drænet gulv med skraber og ajleafløb.	5	Lav CH ₄	Repræsenterer stalde med lav gennemsnitlig gyllealder, såfremt der ikke er kumme under det faste gulv. Dette kan kombineres med en on-off forsøg med hyppig udslusning	3
Slagtesvin – drænet gulv + spalter (33/67)	49	Høj CH ₄	Høj udledning da gyllekumme under hele stipladsen.	2
Slagtesvin – delvis spaltegulv med 25 – 49% spalter	18	Mellem CH ₄	Gyllekumme under spalterne, så hyppige udslusning..	2
Smågrise – toklimastald, delvis spaltegulv	79	?	Høj temperatur og let omsætteligt foder.	4
Farestalde – individuel opstaldning – delvis spaltegulv	83	?	Høj temperatur.	3
Drægtighedsstald – løsgående, delvis spaltegulv	58	?	Søer tilbringer den største del af deres levetid i drægtighedsstalde. Der forventes mere enterisk metan pga. mere fiberrigt foder.	3

¹Ifølge Nielsen et al. (2020), Annex 3D-1 Agriculture.

2. Videnshuller

Fagfællebedømmer: Michael J. Hansen, Peter Kai og Anders Feilberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

I det følgende er der beskrevet en række "videnshuller", hvor man med fordel kan igangsætte undersøgelser med det samme.

Måling af udledning fra gyllebeholdere

For gyllebeholdere er der behov for mere viden om udledning gennem hele året fra gylletanke med såkaldt tæt overdækning (naturligt flydelag, lag af halm, flydebrikker eller lignende godkendt metoder) eller fast overdækning (låg eller teltoverdækning).

Der er behov for at videreudvikle og validere metoder til måling af udledninger. For åbne gyllebeholdere er der behov for at finde metoder, som stiller færre krav til fysiske forhold omkring gyllebeholdere (dvs. jævnt terræn, passende afstand til andre kilder, bevoksninger mv.). Lige nu tester AU en metode med opsamling af gasser op- og nedstrøms gylletanken i opsamlingslinjer med hurtigt og nøjagtig måling med Cavity Ring-Down Spektrometry (CRDS). Baseret på oplysninger om vejrforhold omkring gylletanke simuleres udledning ved Backward Lagrangian Stochastic-modellering (BLS). Metoden stiller store krav til placering og forhold omkring gylletanken, vindretning, måleudstyr og er samtidig relativt arbejds- og regnekraftkrævende.

En alternativ metode kunne være at bruge en massebalancemetode koblet med Integrated Horizontal Flux-metoden (IHF). Denne metode er tidligere anvendt til måling af ammoniak med passiv opsamling, men til måling af metan, hvor der ikke findes metoder til passiv opsamling, kræves aktiv opsamling. En potentiel metode er at placere en lodret stang eller liner med prøveopsamlingspunkter i midten af gyllebeholderen. Der kan også opsættes flere opsamlingspunkter i randen af beholderen, eller der kan anvendes "open-path" laserinstrumenter. Derved bliver kravene til omgivelserne og vindretning væsentlig mindre, hvilke vil kunne give væsentlig flere data. Der vil derved kunne måles på et større antal gylletanke.

Seges tester en metode med tilsætning af sporgas i pulser i overdækkede gylletanke. Luftsiftet beregnes ud fra faldet i sporgaskoncentrationen, hvorefter udledning kan beregnes ved at måle på de relevante gasser i gylletanken. Metoden er som sådan ikke valideret, men bygger på et velkendt princip. Metoden bør valideres mod en anden metode (svært da eksempelvis BLS-metoden stiller store krav til omgivelserne). En alternativ metode vil være at tilsætte ekstra sporgas og følge udviklingen over tid eller brug af laser-Doppler anemometri til at måle lufthastigheder ved åbninger.

Måling fra åbne stalde (naturligt ventileret stalde, hybridstalde, stalde med adgang til udearealer)

Der er udviklet måleprotokoller i VERA-samarbejdet, men metoderne er ikke helt tilpasset danske stalde. Eksempelvis har vi i danske malkekvægsstalde ofte en opdeling på langs i staldene, malkekøer i en side, og kvier og goldkøer i den anden. Også gulv- og kummeudformningen kan være forskellige i de to sider. Stalde med adgang til udearealer udgør et særskilt problem, og disse målinger kræver nok brug af mikro-meteorologiske metoder, som stiller en lang række ekstra krav til måleudstyr og placering af bygninger og omgivelserne.

Måleprotokollerne i VERA-samarbejdet er udviklet til at dokumentere en effekt af en anvendt teknologi mod en kontrol (referencesituation). Såfremt man ønsker at måle absolutte udledninger per produktionsareal eller per dyr, så bør der opstilles krav til udvælgelse af stalde og beskrivelse af produktionssystemer.

Et særskilt problem i stalde er produktionen af metan i dyrene – den enteriske metan. Der er behov for at udvikle og validere metoder til at måle bidraget fra gødning og fra dyrene separat. Da gødning jo er et restprodukt fra foderet, er det svært at bruge eksempelvis isotopmærkning. Man kan enten måle den enteriske produktion så nøjagtigt som muligt ved klimakammerforsøg, måle på den samlede udledning fra stalden og derefter vurdere bidraget fra gødning ved at fratække den forventede enteriske produktion. Eller at man fjerner dyrene eller afskærmer dele af staldarealet eller anvender fluxkamre til at bestemme bidraget fra gødningen. Disse metoder er alle behæftet med usikkerheder. Det foreslås at lave en vidensyntese og efterfølgende udvikle en eller to af de mest lovende metoder.

Produktion af metan i gyllebeholdere

I forbindelse med en tidligere redegørelsen er det nævnt at der arbejder på at skaffe bedre data om andelen af let-nedbrydeligt organisk stof og metanproduktion fra kvæg, svine og afgasset gylle til brug for den udviklede model (Petersen & Gyldenkerne, 2020). Endvidere peges der på behov for bedre data for temperaturer af gylle i gyllekummer og lagre samt forholdet mellem produceret CO₂ og metan, som bruges til at vurdere andel af omsat organisk stof i modellering.

Sammenlagt kan man sige at der er utilstrækkelig viden om produktionen af metan i gylletanke både ud fra gyllemængder, indhold af kulstofkilder, temperatur, effekt af andre elektron-acceptorer som O_2 , NO_3^- , og SO_4^{2-} , effekt af pH på toksicitet af NH_3 eller H_2S . Med hensyn til kulstofkilde, så anvendes i dag organisk stof (Volatile Solids, VS). Der er behov for at definere let-målelige kulstofgrupper (fx Neutral Detergent Fibre, NDF eller Non Starch Polysaccharides, NSP), som så vidt muligt allerede anvendes i forhold til husdyrnæring. I dag anvendes en lang række parametre som ikke umiddelbart kan sammenlignes. Omsætning af VS vil være afhængig af mængde af eksempelvis lignin, som vil stige forholdsmæssigt ved passage i dyrene ved at andre foderkomponenter omsættes, og ved efterfølgende omsætning i gødning i stald, lager og biogasanlæg. For afgasset gylle skal den mikrobielle biomasse i gyllen vurderes, idet den forventes at være forholdsvis let omsættelig.

Det anbefales at bruge og videreudvikle ABM-modellen (Anaerobic Biodegradation Model) som er udviklet på Aarhus Universitet (Dalby et al., 2020). Den model er udviklet i R, er transparent, sporbar, frit tilgængeligt på Github, og kan let videreudvikles.

Hyppig udslusning af kvægstalde med ringkanal eller bagskyl

Ved et ringkanalanlæg forstås et gyllesystem, hvor gyllen under spalterne dagligt sættes i bevægelse (Landbrugets Byggeblade, 2000). Omrøringen sker ved en omrørebrønd placeret uden for selve stalden for at forhindre udslip af giftige gasser, især svovlbrinte, inde i selve stalden. Af samme grund skal der være en vandlås mellem stald og omrørebrønd, således at giftige gasser ikke kan trænge ind i stalden. Det angives at der skal være mindst 0,40 m gyllehøjde og tilsvarende fra gylleoverflade og op til spaltegulvselementer. Kummen må maksimalt være 1,2 m dyb.

Ved stalde med bagskyl kan gylle pumpes fra fortanken tilbage til modsatte ende af gyllekummen. Ellers ligner stalde med bagskyl stalde med ringkanal, og de samme krav med gyllehøjde og sikkerhed er gældende.

Gylle skal omrøres dagligt for at modvirke bundfældning. Det bør undersøges om det faktisk er muligt at tømme stalde med ringkanal ugentlig, og hvad konsekvenserne vil være med hensyn til bundfældning mv. Det er selvfølgelig vigtigt at få vurderet de arbejdsmiljømæssige konsekvenser. En lavere gennemsnitlig opholdstid for gylle vil formentlig kunne reducere CH_4 -udledningen betydeligt fra stalden, men vil samtidig øge udledning fra lageret. Det skal derfor undersøges, hvor stor den samlede effekt er for stald og lager ved hyppig udslusning i en stald med ringkanal.

Udbredelse af staldd typer

Systemet med inddeling af stalde som anvendt i Normtal er baseret på at vurdere gødningsværdi af husdyrgødningen. Tab af kvælstof i form som udledning af NH_3 , lattergas (N_2O) og frit kvælstof (N_2) reducerer kvælstofindholdet i gødning. På det grundlag blev stalde inddelt i typer og med fokus på produktions- og gyllekummeareal, da udledning af NH_3 bl.a. er afhængig af overfladeareal.

CH_4 dannes ved omsætning af organisk stof under iltfrie forhold nede i gyllen og udledes fra gylle sammen med CO_2 bl.a. ved bobledannelse. Da metan-dannende bakterier gror langsomt, tager det noget tid før en metan-produktion tager til. Gyllens gennemsnitlige alder bliver derfor en vigtig parameter for dannelse af CH_4 (i modsætning til NH_3) og dermed gyllehøjde ved tømning. Der er behov for at få viden til en underinddeling eller ny-inddeling af normtalssystemet med beskrivelse af udformning af gødningssystemer (højde, tømninginterval etc.) samt installeret og brug af miljøteknologi (forsuring, gyllekøling) på stiplads- og produktionsarealsniveau.

I dag hentes data om staldsystemer fra indberetning af husdyrgødning under Landbrugsindberetning.dk, hvor landmænd og deres konsulenter indberetter staldtyper i forbindelse med gødningsregnskab. Fordelen ved dette system har været at data allerede forefindes. Ulempen er, at nogle af staldsystemer kan være svære at adskille for ikke-fagfolk. Men nogle af de store modtagere af landmænds produkter, fx Danish Crown, ønsker nu i stigende grad oplysninger om landmændenes produktionssystemer for at kunne beregne klimaaftryk. Disse data er ikke frit tilgængelige, men det bør bestemmes undersøges om der kan laves et samarbejde og deling af data, da disse brancher også vil have brug for at kunne dokumentere deres oplysninger med en uvildig part.

Certificerede og kvalitetssikrede målemetoder

I VERA-staldprotokol (VERA, 2018) er der opstillet krav til validering af målemetoder efter EN 14793 eller tilsvarende niveau. Denne standard er temmelig kompliceret, men der er senere kommet en publikation der viser, hvordan måling af ammoniak kan valideres med opsamling i en vaskeflaske med syre og efterfølgende kemisk analyse (Mosquera et al., 2019). Der arbejdes på en tilsvarende metode for metan – opsamling over et længere tidsrum i en gastæt pose og efterfølgende analyse med gaskromatografi.

Kontinuerlige målemetoder kan selvfølgelig også anvendes, men den hidtil mest anvendte metode, fotoakustisk infrarød spektrometri med instrumenter fra Innova er mindre velegnet til at måle metan og lattergas, da signalbidraget fra vanddamp er meget stort og der også er interferens fra andre gasser i staldluft (Adamsen, 2018; Christensen, 1990). Såfremt man har brugt eller vil bruge instrumentet i stalde med nogenlunde samme indhold af vanddamp og temperatur, kan data stadig være anvendelig, især med omhyggelig kalibrering og kontrolmålinger, eller hvis man fjerner vanddamp inden målekammeret fx med absorbent (men hvor man så også fjerner de vandopløselige gasser som fx NH_3). I dag har vi langt bedre instrumenter, bl.a. Cavity Ring-Down Spektrometri, som ikke har disse ulemper fx Kamp et al. (2019). Desværre er disse instrumenter dyre, og vi har ikke nok til at kunne foretage alle de ønskede målinger.

3. Er IPCC-emissionsfaktorer repræsentative for danske forhold?

Fagfællebedømmer: Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Metan (CH_4) fra gylle bliver i Danmark beregnet efter IPCC trin 3-metode (tier 3) baseret på temperatur og indhold af organisk stof (Mikkelsen et al., 2016) baseret på konkrete målinger af metanproduktion i gylle (Petersen et al., 2016). Metoden valideres på grundlag af et større datamateriale i et igangværende projekt (<https://www.eragas.eu/en/eragas/Research-projects/M4Models.htm>).

For lattergas (N_2O) anvendes i Danmark IPCC standard-værdi (tier 1) for at vurdere den direkte udledning fra stalde og lagre. Det antages at der ikke dannes N_2O i gylle i stalde med gyllesystemer, så alt N_2O kommer fra gylletanke. IPCC (2006) angiver en udledning fra stalde- og gødningslagre på 0,005 (usikkerhedsinterval 0,025 – 0,01) $\text{kg N}_2\text{O-N/kg N}$ for ajle eller gylle med naturligt flydelag. Med ca. 4,6 kg N / ton gylle giver det en udledning på ca. 11 $\text{kg CO}_2 / \text{ton gylle}$.

Ifølge en ny, omfattende review-artikel (Kupper et al. 2020) udledes der 0,002 – 0,004 $\text{g N}_2\text{O/m}^2/\text{h}$ fra kvæggylle med flydelag af halm. Dette interval er tilsvarende udledninger som Petersen et al. (2013) har målt på små tanke under en vinter- og sommersituation. Udledninger af N_2O fra flydelag er forbundet med betydelig variation afhængig af flydelaget vandbalance, mikrobiologi og tilgængelighed af kvælstof (Sommer et al. 2000, Petersen et al., 2013). Hvis det antages at der i snit

over et år er 2 m gylle i en gylletank, så svarer det til en udledning på 9 – 18 g N₂O/m³/år som igen svarer til 4 – 8 kg CO₂-ækv./ton gylle.

Da disse tal er behæftet med en del usikkerheder, så vurderes det at brugen af IPCC trin 1-værdi for direkte udledning af N₂O er repræsentative for danske forhold. I kommende undersøgelser af udledning fra både stalde og lagre vil N₂O også blive målt.

4. Testprotokol

Fagfællebedømmer: Anders Feilberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

I VERA-samarbejdet er der allerede udviklet testprotokoller for stald, lagre, luftrensere og udbringningsteknologi. Det skal understreges at de udviklede protokoller er baseret på test af én teknologi mod en reference, således at det eneste man i princippet kan ændre i en testopstilling, er brug af den pågældende teknologi. I princippet skulle reference og teknologi være helt ens, dvs. samme udformning af eksempelvis stalde, samme antal dyr med samme antal størrelse, fodring, ventilering etc. Det har selvfølgelig været nødvendigt at indgå en række kompromiser, da disse krav sjældent er muligt at opnå under praksisnære forhold.

Men VERA-protokollerne er ikke udviklet til at bestemme udledning af gasser fra eksempelvis en stalddtype i forbindelse med nationale opgørelser. Det vil betinge en række yderligere krav eller i det mindste punkter som bør nøje overvejes:

1. Krav til statistik
2. Definition og afgrænsning af stalddypen
3. Udbredelse af stalddypen
4. Vurdering af udvikling i udbredelsen i stalddypen (er det en stalddtype der er ved at blive udviklet, fx bindestalde, eller er det omvendt en stalddtype som vurderes at få en større udbredelse fremover).
5. Hvor mange målinger (måledage) skal der udføres for at få et repræsentativt årsgennemsnit.
6. Hvordan adskilles produktion fra dyrene selv (enterisk metan) fra produktion fra gødning.
7. Mulighed for at lave korrektioner for temperatur, vind, belægningsgrad (antal dyr per stiplads).

Det foreslås, at udarbejde følgende protokoller (opdeling i flere protokoller for at gøre procedurerne mere overskuelige i forbindelser med efterfølgende test):

1. Udvælgelse af repræsentative stalde og lagre
2. Måling af udledning fra lukkede stalde med mekanisk ventilation
3. Måling af udledning af åbne stalde (inkl. stalde med hybridventilation)
4. Måling af udledning fra lukkede gyllebeholdere
5. Måling af udledning fra åbne gyllebeholdere

Ad 1. Det skal være en protokol for hvordan man udvælger stalde, således at de opsatte mål opfyldes bedst muligt. Det kan være krav til staldindretning og fordeling af dyr (fx lakerende køer, goldkøer og kvier).

Ad 2. Det er den enkleste protokol idet udledning kan bestemmes ved at måle koncentrationer i udvalgte afkast og samtidig måle luftydelsen gennem afkast. Det kompliceres som regel af, at der

er flere afkast i en staldenhed, så det kan hurtigt blive til mange målinger. Det er vigtigt at få registreret produktionsforhold. Det er ofte ønskeligt med en række analyser af gødning.

For lukkede stalde med mekanisk ventilation og ensartet produktion over året, bør det vurderes om man kan afkorte testperioden, således at der måles ved udetemperaturer som er typisk for sommer, forår/efterår og vinter.

Ad 3. Ved åbne stalde kan man ikke direkte måle ventilation, så enten skal man måle udledning med mikro-meteorologiske metoder, hvor man måler koncentrationer af de ønskede gasser opstrøms (baggrund) og nedstrøms samt kombinere det med andre målinger af vindretning, -hastighed, temperatur, terrænforhold og nedbør. Det er under praktiske forhold uhyre besværligt. I praksis anvendes en metode kaldet sporgas-forholdsmetoden, hvor man tilsætter en sporgas (eller anvender dyrenes produktion af CO_2 som sporgas), og derefter måler forholdet mellem de ønskede gasser og sporgassen (Ogink et al., 2013). Det kan være vanskeligt at tilsætte sporgas på repræsentativ måde i produktionsstalde. Oftest anvendes dyrenes egenproduktion af CO_2 hvor der er behov for bedre data om produktionen fra dyrene, og dertil kommer at der også er en produktion af CO_2 fra gødningen. Nye og bredere stalde og stalde med hybridventilation (med både mekanisk ventilation, ofte via gulvudsugning og åbninger i selve stalden) udgør en særlig udfordring, idet de ofte har forskellige sektioner og mere kompliceret luftbevægelser inde i stalden.

Ad 4. Gylletanke med teltoverdækning kan måles ved puls-tilsætning af en sporgas, hvorefter man måler, hvor hurtigt gassen reduceres for at bestemme luftskiftet. Der skal helst anvende en sporgas, der ikke produceres i gylletanken, og som ikke opløses i gyllen eller klæber til overflade i en grad at det er problematisk. Metoden er ikke valideret i Danmark.

Teltoverdækninger er forsynet med ventilationsåbninger for at sikre et minimumsluftskifte, og en større åbning, som anvendes ved omrøring og tømning af tanken. Hvis der køres gylle ude i dagevis, er det sandsynligt at den store åbning ikke lukkes mellem pumpringer. Disse forhold skal indtages i en vurdering af målemetode.

Ad 5. Åbne gyllebeholdere, møddingspladser og markstakke kan kun måles med mikro-meteorologiske metoder. Tidligere har man målt udledning af NH_3 ved passiv opsamling (opsamling på overflade belagt med en syre) og vejrdato. Der er ikke umiddelbart nogen kendte metode til at opsamle CH_4 , så her skal aktive metoder anvendes. På AU er vi i gang med at anvende en metode kaldet BLS (Backward Lagrangian Stochastic modellering) hvor luft op- og nedstrøms opsamles og analyseres på instrumenter med høj tidsopløsning og følsomhed (fx Kamp et al., 2021). Denne metode stiller store krav til placering af gyllebeholdere, fravær af andre kilde i nærheden, og gerne plan terræn op- og nedstrøms. Der skal ikke være vegetation eller andet, der ændrer luftbevægelsen hen over gylletanken. Der opsamles prøver i en linje op- og nedstrøms, som ofte kræver en fast opstilling i hele testperioden, da det tager lang tid at opstille og nedtage.

Man vil også kunne anvende en metode, hvor der rejses en stang i midten af gyllebeholderen med opsamlingspunkter og anvender metoden IHF (Integrated Horizontal Flux) metoden (fx Kupper et al., 2021). Fordelen ved denne metode er, at den stiller færre krav til vindretning, da der altid vil måles fra kanten af gyllebeholderen og ind til midten, hvor opsamlingspunkterne er opstillet. Hvorvidt denne metode kan anvendes, vil blive vurderet senere.

Referencer

- Adamsen, A.P. (2018). Måling af klimagasser fra stalde med infrarød fotoakustisk spektrometri. Rapport fra SEGES. 20 p.
- Adamsen, A. P. S., Hansen, M. J., & Møller, H. B., (2021). Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion. Notat fra DCA, 10 p., Jan 12, 2021.
- Christensen, J. (1990). Optical filters and their use with the type 1302 & type 1306 photoacoustic gas monitors.. Brüel & Kjær Technical Review, No. 2.
- Dalby, F., Hafner, S., Petersen, S., Vanderzaag, A., Habtewold, J., Dunfield, K., Chantigny, M. & Sommer, S. (2020). A mechanistic model of methane emission from animal slurry with a focus on microbial groups. 10.13140/RG.2.2.19888.79367
- EN 14793 Stationary source emissions – Demonstration of equivalence of an alternative method with a reference.
- Holm, M. & Sørensen, K. B. (2019). Ammoniak- og metanemissioner fra drægtighedsstalder. Seges Svineproduktion. Erfaring nr. 1910.
- IPCC (2006). The Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10. Emission from livestock and manure management. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf
- Landbrugets Byggeblad. (2000). Udenomsfaciliteter, forbeholder, pumpebrønd. Ringkanalanlæg i kvægstalde – anlægs- og driftsvejledning.
- Kamp, J. N., Chowdhury, A., Adamsen, A. P. S., & Feilberg, A. (2019). Negligible influence of livestock contaminants and sampling system on ammonia measurements with cavity ring-down spectroscopy. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(5), 2837-2850. <https://doi.org/10.5194/amt-12-2837-2019>
- Kamp, J. N., Häni, C., Nyord, T., Feilberg, A., & Sørensen, L. L. (2021). Calculation of NH₃ Emissions, Evaluation of Backward Lagrangian Stochastic Dispersion Model and Aerodynamic Gradient Method. *Atmosphere*, 12(1), 102. <https://doi.org/10.3390/atmos12010102>
- Kupper, T., Häni, C., Neftel, A., Kincaid, C., Bühler, M., Amon, B. & VanderZaag, A. (2020). Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage – A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 300, 106963. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106963>
- Kupper, T., Eugster, R., Sintermann, J. & Häne, C. (2021). Ammonia emissions from an uncovered dairy slurry storage tank over two years: Interactions with tank operations and meteorological conditions. *Biosystems Engineering*, 204, 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.01.00>
- Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R., & Gyldenkerne, S. (2016). Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy.
- Mosquera, J., J.P.M, Ploegaert, J.P.M. & Kupers, G.C.C. (2019). Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems; Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research, Report 1187.
- Ogink, N. W. M., Mosquera, J., Calvet, S., & Zhang, G. (2013). Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives

for improvement. *Biosystems Engineering*, 116, 297 - 308. <https://doi.org/10.1016/j.biosystem-seng.2012.10.005>

Nielsen, O-K., Plejdrup, M. S., Winther, M., Mikkelsen, M. H., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K. H., Bruun, H. G., & Thomsen, M. (2020). Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE: Emission inventories from the base year of the protocols to year 2018. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy. Scientific Report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy Nr. 369 <https://dce2.au.dk/pub/SR369.pdf>

Petersen, S. O., Dorno, N., Lindholst, S., Feilberg, A., & Eriksen, J. (2013). Emissions of CH₄, N₂O, NH₃ and odorants from pig slurry during winter and summer storage. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 95(1), 103-113. <https://doi.org/10.1007/s10705-013-9551-3>

Petersen, S. O., Olsen, A. B., Elsgaard, L., Triolo, J. M., & Sommer, S. G. (2016). Estimation of Methane Emissions from Slurry Pits below Pig and Cattle Confinements. *PLoS One*, 11(8), [e0160968]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160968>

Petersen, S. O., & Gyldenkærne, S., (2020). Redegørelse omkring forventede justeringer i beregning af metan-emission fra husdyrgødning - med bilag, No. 2020-0066332, 10 p., Apr 18, 2020.

Sommer, S. G., Petersen, S. O., & Søgaard, H. T. (2000). Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. *Journal of Environmental Quality*, 3(29), 744-751.

VERA. (2018). VERA Test protocol for Livestock Housing and Management Systems. Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production.