

[Overskrift 1]	Ansvarlig	MAKR
	Oprettet	23-01-2023
	Side	1 af 9

Projekt: 8539 – METAKS

Videnssyntese om udstyr til måling af metan på individ niveau

Martin Øvli Kristensen, Husdyr, SEGES Innovation P/S

Konklusion

Denne videnssyntese har vist at "Sniffer systemet" og "GreenFeed-systemet" er de bedste og mest præcise løsninger til måling af metan, når formålet er at måle på et større antal dyr og på kommercielle bedrifter. Litteraturgennemgangen har vist at GreenFeed-systemet generelt estimerer den daglig metanudledning med lille forskel sammenlignet med respirationskammer. Et enkelt studie fandt dog signifikant forskel i metanudledningen målt i henholdsvis respirationskammer og GreenFeed. Den numeriske forskel var imidlertid kun 5 gram CH₄/dag, svarende til 1,5 pct. forskel. Sniffer-systemet har en mere varierende performance og generelt større usikker sammenlignet med GreenFeed. Sniffer-systemet hvor metabolisk energiindtag anvendes til prædiktion af CO₂ er mere præcis sammenlignet med metoden som anvender mælkeydelse, levende vægt og dage i drægtighed.

Indledning

Kvægbruget står overfor en enorm udfordring på klimaområdet jf. folketingets målsætning om 70% reduktion i 2030 samt erhvervets egen målsætning om klimaneutralitet i 2050. Opgørelse på danske malkekøvsbedrifter fra SEGES viser, at metan fra omsætning af foder i vommen er langt den største 'post' og typisk udgør omkring 50% af mælkenes klimaaftryk.

Landbrugsaftalen lægger op til at danske mælkeproducenter skal anvende metan reducerende fodermidler og foderadditiver indenfor ganske få år. Der er således behov for metoder til måling af metanudledning på enkelt individ niveau for at kunne vurdere effekten af de forskellige foderadditiver, foderstrategier og fodermidler. Hvis de forskellige metan reducerende virkemidler samtidig skal kunne implementeres i den nationale opgørelse, så kræver det at effekten kendes under praksisforhold.

Formål

Denne videnssyntese sætter fokus på teknologier til at måle metanudledningen på individ niveau i praksis besætninger. Det klarlægges hvilke metoder der findes på markedet og hvad der er deres fordele og ulemper.

Metoder til måling af metan på individ niveau

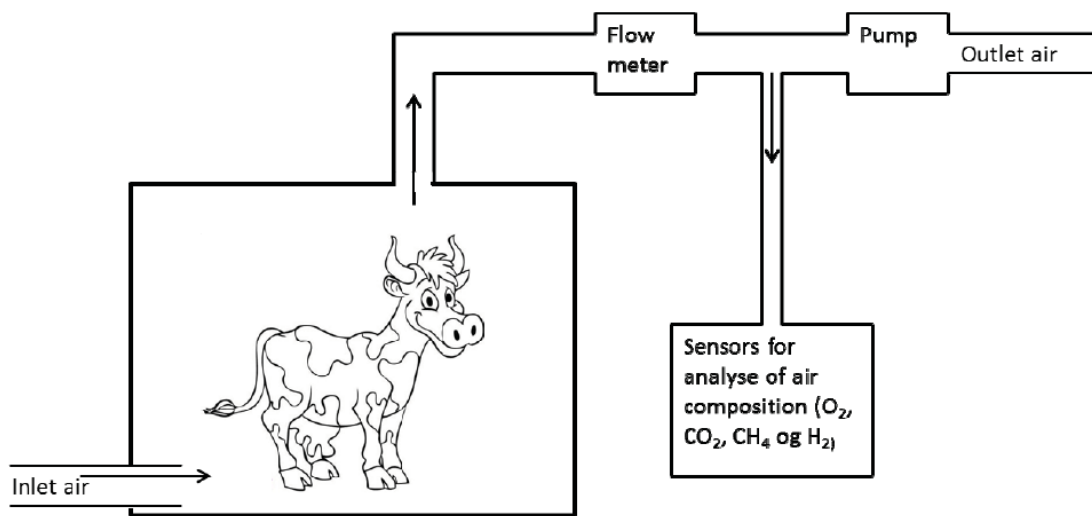
Der finder forskellige metoder til måling af metan. Nogle metoder henvender sig ikke til brug i kommercielle bedrifter og vil derfor ikke blive beskrevet i denne videnssyntese. Følgende metoder er fundet relevante at beskrive:

- 1) Respirationskammer (ikke relevant i praksis, men den mest anerkendte metode generelt)
- 2) Sniffer systemet
- 3) GreenFeed systemet
- 4) SF6
- 5) Håndholdt laser måler

Respirationskammer

Forskellige respirationskammer-systemer har været brugt gennem de sidste 100 år. Respirationskammer betragtes som "The Golden Standard" til estimering af metanudledning fra drøvtyggere, fordi miljøet kan kontrolleres og instrumenternes pålidelighed og stabilitet kan testes (Gardiner et al., 2015).

Respirationskammeret er en lukket enhed, hvor al udånding fra dyret opsamles og hvor gaskoncentrationer kan måles. De anvender "infrarød gas filter correlation analyser" til at måle gaskoncentrationerne i kammeret. Der findes forskellige udformninger på kammeret, men fælles er at omgivende luft suges ind i kammeret og mikses med gasudledningerne fra dyret. Herefter bliver luften sendt tilbage ud af kammeret til atmosfæren via en udluftningskanal. I udluftningskanalen måles luftstrømmen samtidig med at der udtages en prøve af luften, som sendes gennem en sensor, som analyserer luftens koncentration af gasser. Det varierer fra enhed til enhed hvilke gasser der kan måles, men de mest gængse der måles for, er CO_2 , CH_4 , H_2 og O_2 . I figur 1 er illustreret opbygningen af et respirationskammer. Respirationskammer er ikke anvendelige i praksis, da det kræver et kammer til hver enkelt ko. De bruges i stedet på forskningsinstitutioner hvor der køres mere intensive forsøg med få køer. Det er medtaget i denne videnssynthese, som reference til de andre metoder, da de måles op mod denne. En mere detaljeret beskrivelse af opbygningen af et respirationskammer og deres præcision vil ikke blive beskrevet i denne videnssynthese, men der henvises i stedet til Gardiner et al. (2015).



Figur 1: Illustration af et respirationskammer (Storm et al., 2012).

Sniffer – CO_2 teknik

Sniffer-systemet måler metanudledningen fra køer automatisk uden at forstyrre dem, som er nødvendigt ved et respirationskammer. De fleste sniffer-systemer opsættes i en allerede eksisterende kraftfoderautomat, fx i en AMS. Det giver mulighed for at måle metanudledningen når køerne besøger AMS enheden i forbindelse med malkning. Dette er imidlertid også en ulempe, da man er begrænset til antallet af malkninger og ikke kan få flere målinger. Der har også været forsøg hvor man har opsat sniffer systemer i kraftfoderautomater og i sengebåse, men med blandet succes (Jonker et al., 2020).

Sniffer-systemet gør det muligt at måle metanudledningen på et langt større antal dyr sammenlignet med respirationskammer, samt på kommercielle bedrifter. Sniffer-systemet måler gaskoncentrationen foran koens mule, når den står i malkerobotten eller kraftfoderautomaten, men den måler ikke et aktivt flow af luft samtidigt. Derfor er andelen af gasser, der opfanges af sniffer-systemet forholdsvis lav. Samtidig er målingerne mere udsatte for udefrakommende forstyrrelser som vind, hovedbevægelse eller nærtstående køer. Fordelen ved sniffer systemet er at det er forholdsvis billigt og nemt at flytte.

Der anvendes forskellige analysemetoder til at måle gaskoncentrationerne i forskellige sniffer-systemer, men den mest udbredte er en "infrarød detection", som kan måle metan koncentrationer ned til 0-1 % og CO_2 koncentrationer ned til 0-5% af luften. Luften opsamles via et rør som er placeret i kraftfoderautomaten ca. 50 cm over bunden, 14 cm fra siden og 5 cm fra bagkanten, men det skal tilpasses alt efter kraftfoderautomatens udformning. Førnævnte mål er de mest optimale i forhold til hvor koen har sit næseparti, når den står i en malkerobot. Denne opstilling sikrer den bedste opsamling af luft og den mest valide måling. Luften opsamles med en hastighed på 0,6-4 L/min og passere gennem et partikelfilter til

analyseinstrumentet, som måler gaskoncentrationer med 0,5-5 sekunders interval. Man skal være opmærksom på, at resultater fra forskellige sensortyper ikke nødvendigvis er sammenlignelige. Således vil opsætningen og hvilke materialer der er anvendt have betydning. For eksempel vil forskel i opsamlingsrørets tykkelse og hvilken hastighed luften opsamles med, påvirke resultatet. Nogle Sniffer systemer bruger CO₂ som en sporegas og beregner den daglige metanudledning på baggrund CH₄:CO₂ forholdet. Den daglige CO₂ produktionen prædikeres ud fra andre målbare egenskaber som energiindtag, EKM-ydelse, kropsvægt og drægtighedsstadiet.

Når sniffer systemer måler gaskoncentrationerne under koens besøg omfatter det både koncentrationerne af gas udledt af koen og baggrundskoncentrationerne. Det er derfor vigtigt at få korrigeret for baggrundskoncentrationen så koens metanudledning ikke overestimeres. Der findes forskellige tilgange til at korrigere for baggrundseffekten i litteraturen. Enkelte bruger konstante værdier for baggrundseffekten. Dette giver imidlertid en usikkerhed, da baggrundskoncentrationerne ofte ændres over tid. Det er derfor en bedre løsning, at baggrundskoncentrationerne måles, når der ingen dyr er i nærheden af sniffer-systemet. Jonker og Waghorn (2020) har lavet et review af forskellige metoder til korrektion for baggrundskoncentrationer uden at de har fundet den perfekte metode. De to mest anvendte metoder er: 1) Daglig(e) målinger når der ingen dyr er til stede. 2) Minimums koncentrationen ved starten af hvert besøg. Resultaterne fra Jonker og Waghorn (2020) viser at metode 2 er mest robust og giver de bedste resultater. Den har dog udfordringer med overslæbseffekt, hvis to køer besøger sniffer-systemet hurtigt efter hinanden.

GreenFeed

GreenFeed systemet er opfundet af det amerikanske firma C-Lock Inc. Systemet består af en kraftfoderautomat hvorpå der er monteret udstyr, der måler udledning af klimagasser fra individuelle dyr når de besøger kraftfoderautomaten.

Når dyret besøger kraftfoderautomaten, suges luften omkring dyret ind i automaten og opsamlingsrøret. Luften analyseres i opsamlingsrøret hver sekund ved hjælp af "non-dispersive infrared analyser" hvorved koncentrationerne af de enkelte gasser bestemmes. GreenFeed-systemets protokol for "nondispersive near-infrared analyser" kræver at den kalibreres ved brug af en luftblanding (zero) og en kendt certificeret gaskoncentration (span). Zero blandingen bruges for at nulstille sensoren, mens span gassen bruges til at justere sensoren. Denne kalibrering gentages, for at sikre at sensoren ikke "driver" over tid.

En flowmåler er monteret på opsamlingsrøret og måler samtidig flowet af luft gennem røret. Opsamlingsrøret er opbygget så det sikrer et så ensartet flow og prøveudtagning så muligt. Når gaskoncentrationerne og flowet af luft kendes, er det muligt at beregne emissionen fra dyret mens den besøger kraftfoderautomaten. For at forbedre målingerne, er der i bunden af foderautomaten er indbygget en sensor, som måler afstanden ud til dyret. Dette sikrer at det kun er målinger, når dyret står med hoved i automaten der inkluderes.

Når dyret besøger GreenFeed automaten, vil den modtage en forudbestemt mængde kraftfoder (lokke-mad). Automaten aflæser dyret via RFID-tag. Systemet kan indstilles til hvor ofte dyret skal kunne få kraftfoder og på den måde styre hvor mange målinger man får per dyr per dag. Kraftfoderet tildeles for at sikre dyret bliver i automaten i 3 til 7 min. Det er nødvendigt at holde dyret i automaten, for at få tilstrækkelig med målinger. Et besøg bliver først godkendt når dyret holder hoved i automaten og tæt på afstandssensoren i minimum 2 min. For hvert besøg, hvor dyret har minimum 2 minutters godkendte målinger, estimeres dyret dagsudledning af kuldioxid og metan. Det er også muligt at få målinger af hydrogen og oxygen, hvis dette er tilkøbt.

GreenFeed giver mulighed for at få data i forskellige niveauer. Når GreenFeed-systemet har indsamlet data, behandles dataene automatisk og resultaterne beregnes for hver enkelt besøg. Disse data præsenteres i en rapport, som opdateres dagligt, med de nyeste resultater. Derudover er det muligt at hente rådata ud fra GreenFeed-systemet, som gør det muligt at lave egne beregning på baggrund af de målte koncentrationer. Derudover er GreenFeed -systemet udstyret med et IT-program, som gør det muligt at følge Greenfee'erne dagligt fra distancen.

Til beregning af metanudledningen anvender C Lock nedenstående formel:

Ligning til beregning af metan

$$CH_{4-volume} = F_c * C_r * \sum_{tp} [\Delta_t * (CH_{4avg} - CH_{4bkgrnd}) * Q_{air}]$$

Hvor:

- C_r = opsamlingshastighed for emissioner i opsamlingsrøret, %
- Δ_t = Tidsperiode hvor emissionerne måles, 1 sekund
- CH_{4avg} = Gennemsnitlig metan koncentration i opsamlingsperioden, %
- $CH_{4bkgrnd}$ = Baggrundskoncentrationen af metan, %
- Q_{air} = Luftstrøm gennem opsamlingsperioden, luftstrøm per tidsenhed
- F_c = Dimensionsfaktor

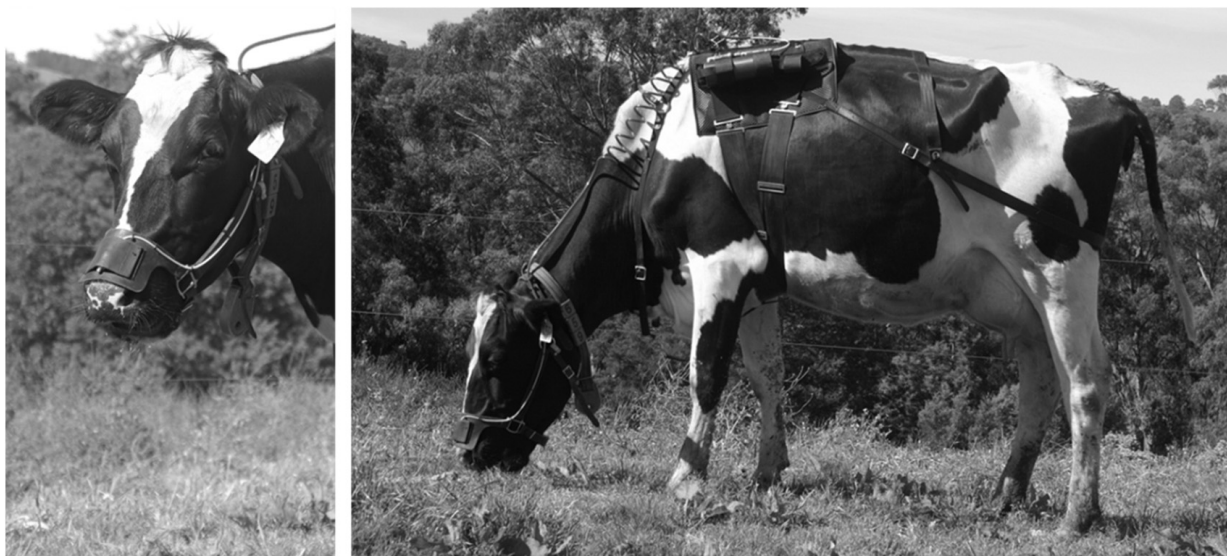
Når volumen af metan er beregnet, kan antallet af metan molekyler per tidsenhed beregnes ved hjælp af idealgasloven. Derefter kan massen af metan (CH_4) udledt per tidsenhed beregnes ved at gange med molekylvægten af metan (16,043 g/mol).

SF6

Hovedformålet med metoden var at undersøge energieffektiviteten hos fritgående kvæg, da der blev stillet spørgsmål til om resultaterne fra respirationskammer kunne overføres til fritgående dyr. Samtidig var metoden på daværende tidspunkt (opfundet i 1993) eneste metode, som gjorde det muligt at måle på et større antal dyr.

Metoden fungerer ved at en sporegas frigives med en kendt hastighed ind i vommen på dyret via et rør placeret i netmaven på koen. Derudover får dyret en grime på, hvorpå der sidder en opsamlingsbeholder, som i løbet af dagen opsamler metan udskilt fra koen og sporegas. Prøverne fra opsamlingsbeholderen skal indsamles manuelt og opbevares og analyseres med gaskromatografi, for at få bestemt gas-koncentrationerne. På baggrund af disse resultater, er det muligt at udregne dyrets daglige metanudledning.

I figur 2 ses en ko med SF6 udstyr. Som billedet illustrerer, er det et omstændigt system, hvis man vil måle på en række køer i praksis. Det vil således kræve store investeringer, for at kunne måle på de samme antal køer som med Sniffer- eller GreenFeed system.



Figur 2: Billede af en ko med SF6 udstyr til måling af metanudledning (Deighton et al. 2014)

Håndholdt laser måler

Det håndholdte laser måler apparat er udviklet for hurtigt at kunne måle koncentrationen af metan i luften. Den bliver mest brugt til at måle luftens koncentration omkring gasledninger, for at klarlægge om der er en lækage. Indenfor de seneste årtier er der blevet udviklet mindre enheder, som bliver brugt til at måle metan koncentrationen i luften omkring drøvtyggere. Fordelen ved enheden er at den ikke forstyrre dyret, da man måler på luften omkring dyret. Ulemper er at metoden ikke opsamler data automatisk og derfor skal dette udvikles ved siden af.

For at bestemme metan koncentrationen peges den grønne synlige laserstråle mod næsepartiet af det dyr som ønskes målt. I litteraturen er der stor variation i forudsætningerne til målingerne; Afstanden til dyret er mellem 1-3 meter, måleperioden er 1-10 minutter og gentages 3-60 gange per dyr over 2-15 dage. Dette betyder at det er svært at sammenligne resultater på tværs af studier, da overstående elementer vil have betydning for resultatet. Derfor bør man internationalt nå til enighed om måleafstanden til dyret, så man kan sammenligne data mellem institutioner og lande (Jonker og Waghorn, 2020).

Det er svært at få tilstrækkelig varighed af målingerne, når køerne kan bevæge sig frit rundt i stalden eller på marken. Derfor vil en stor andel af registreringerne være mislykket og vil ikke kunne indgå i dataopgørelsen.

Metoden med at bruge en håndholdt laser måler til at måle metan koncentrationerne fra dyr er meget tiltalende, da den er billig og nemt at anvende. Samtidig kan der nemt måles på flere bedrifter af gangen, da udstyret let kan transporteres mellem bedrifter. Det kan dog være udfordrende at opnå en god datakvalitet, da resultaterne påvirkes af en lang række variable faktorer, som fx afstand til dyret. Der er ikke lavet en standardiseret protokol for hvordan man skal måle enterisk metan koncentrationer fra drøvtyggere, og derfor kan resultater ikke sammenlignes på tværs af institutioner og forsøg (medmindre man har lavet en protokol og brugt den samme i flere forsøg).

Metaanalyse og review om sammenligning af metoder

Sammenligning mellem respirationskammer og GreenFeed under New zealandske forhold

Hammond et al. (2015) gennemførte to forsøg for at undersøge sammenhængen mellem respirationskammer og GreenFeed under New Zealandske forhold. Forsøg 1 bestod af 4 Holstein kvier, hvor rationen var enten majsensilage eller græsensilage suppleret med eller uden ekstruderet høfrø produkt. Forsøgsperioden var 33 dage, hvor der var 21 adaption og 7 dages opsamlingsperiode i GreenFeed (dag 22-28), hvorefter respirationskammer målinger blev gennemført over 4 dage (dag 29-33). Forsøg 2 bestod igen af 4 Holstein kvier, hvor der blev fodret fire forskellige græsensilager (rajgræs, kløver, kællingetand og "flowers"). Metan målinger blev gennemført som beskrevet i forsøg 1.

Tabel 1 viser resultaterne for foderoptag og metan produktion, målt med respirationskammer og GreenFeed for hhv. forsøg 1 og forsøg 2. Metan produktionen målt i respirationskammer for forsøg 1 var 215 g/dag og 28,3 g/kg TS, mens den var 209 g/dag og 27,7 g/kg TS i forsøg 2. I GreenFeed var metan produktionen 198 g/dag og 26,6 g/kg TS i forsøg 1 og 208 g/dag og 27,8 g/kg TS i forsøg 2.

Tabel 1: Foderoptag (kg TS/dag) og metan produktion (g/dag, g/kg TS) for forsøg 1 og forsøg 2 med holstein kvier hvor metan er målt i henholdsvis respirationskammer og GreenFeed. (Hammond et al. 2015).

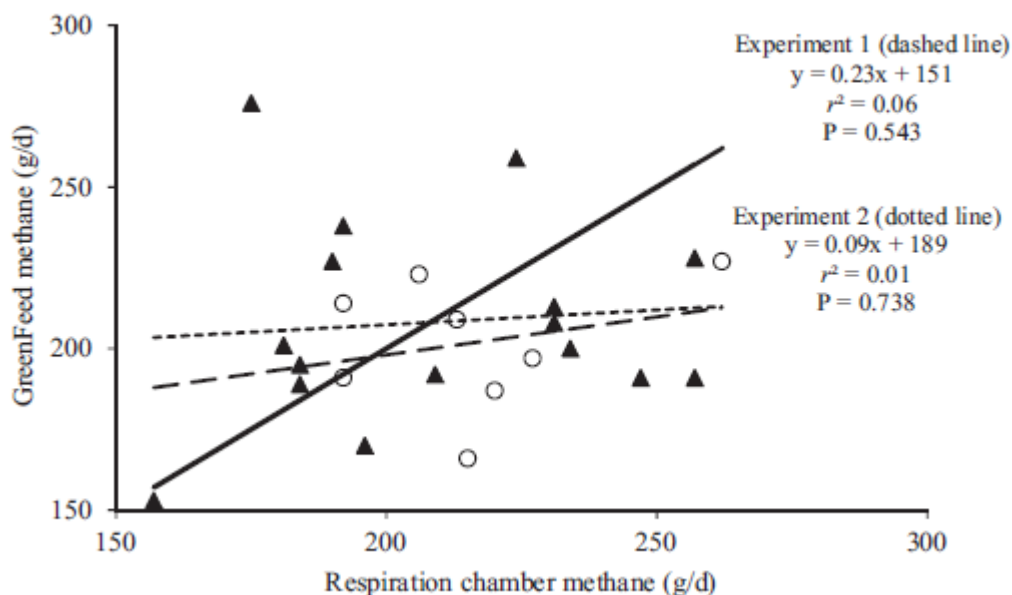
	Experiment 1 ^a	±SD	Experiment 2 ^a	±SD	Experiment 3 ^b	±SD
DMI, kg/day						
GF	7.62	0.81	7.60	0.81	9.15	2.67
RC ^a or SF ₆ ^b	7.66	0.59	7.54	0.94	9.15	2.67
n	8		16		136	
SEM	0.132		0.182		N/A	
P	0.799		0.747		N/A	
Methane, g/day ^c						
GF	198	20.4	208	31.5	164	51.0
RC ^a or SF ₆ ^b	215	22.3	209	30.9	186	57.3
n	8		16		136	
SEM	9.230		10.59		2.900	
P	0.170		0.940		<0.001	
Methane, g/kg DMI ^c						
GF	26.6	2.80	27.8	5.62	18.8	6.94
RC ^a or SF ₆ ^b	28.3	3.01	27.7	1.81	21.5	7.60
n	8		16		136	
SEM	1.365		1.459		0.349	
P	0.255		0.933		<0.001	

^a Experiments 1 and 2 used RC for measurement of methane from dairy heifers.

^b Experiment 3 used SF₆ for estimate of methane from grazing dairy heifers.

^c DMI was measured using Calan gates for individual animals in experiments 1 and 2, however for experiment 3, DMI was estimated by pre- and post-herbage mass (hence same DMI for animals where both GF and SF₆ were used simultaneously).

Hammond et al. (2015) gennemførte en "Lin's concordance correlation coefficient, som tester overensstemmelsen mellem en ny måling (GreenFeed) og en "golden standard"-måling (respirationskammer). Resultatet af testen viste ingen signifikant forskel mellem respirationskammer og GreenFeed. Dette forklares imidlertid med døgnvariation i metan produktionen målt i respirationskammer og GreenFeed. Baseret på metan målinger i respirationskammer og GreenFeed, var der mindre variabilitet med respirationskammer målingerne (g/dag) fra begge forsøg. Dette skyldes at målingerne for GreenFeed var med en lavere frekvens og færre målinger end for respirationskammer. Dette er illustreret i figur 3 og 4, hvor man kan se at der ikke er god sammenhæng mellem den målte metan produktion på ko niveau i respirationskammer og GreenFeed. I figur 4 ses en større variation i GreenFeed målinger over døgnet sammenlignet med respirationskammer.



Figur 3: Sammenhæng mellem metan produktionen (g/dag) målt i respirationskammer og GreenFeed for hhv. forsøg 1 og forsøg 2. (Hammond et al. 2015). (åbne cirkler = forsøg 1, sorte trekanter = forsøg 2)

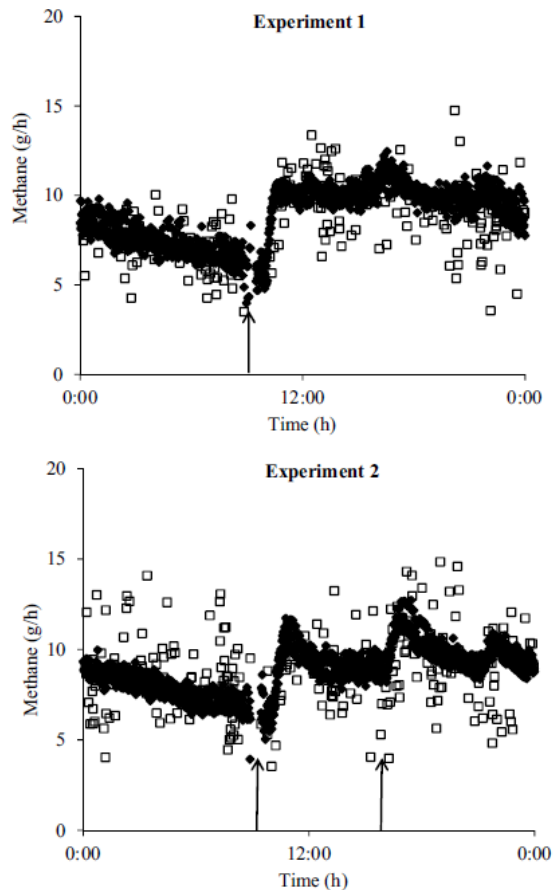


Fig. 2. Comparison of methane emission rate (g/h; minute average) measured using GreenFeed (GF; open square symbol) and respiration chambers (RC; closed diamond symbol) for all dairy heifers in experiments 1 ($n=8$) and 2 ($n=16$). There were 56 days GF and 32 days RC measurements for experiment 1, and 112 days GF and 64 days RC for experiment 2. Arrows indicate time of feeding.

Figur 4: Sammenligning af metan produktion (g/time) målt i GreenFeed (åbne firkanter) og respirationskammer (sorte punkter) for hhv. forsøg 1 og forsøg 2. (Hammond et al. 2015).

På baggrund af den gennemførte concordance test konkluderede Hammond et al. 2015, at der var en dårlig sammenhæng i metan målingerne fra hhv. respirationskammer og GreenFeed, selvom den gennemsnitlige metanproduktion per dyr var ens mellem de to metoder. De modstridende resultater kan forklares med den store variation 1:1-linjen (figur 1), hvorfor gennemsnittet mellem de to målemetoder er ens, men har en lav concordance korrelation. Det konkluderes, at GreenFeed i deres forsøg ikke kunne vise signifikante behandlings- og enkelt dyrs forskelle i metanproduktion, mens det var muligt i respirationskammer. Dette skyldes primært det begrænset antal målinger i GreenFeed sammenlignet med respirationskammer, og at succesfuld brug af GreenFeed er afhængig af et stort antal målinger og tidspunktet for målingerne i forhold til døgnvariation i metanudledning.

Sammenligning mellem respirationskammer, sniffer, SF6 og GreenFeed

Gansworthy et al. (2019) lavede en metaanalyse hvor de undersøgte respirationskammer, sniffer-system, SF6 og GreenFeed-system og deres præcision i metan måling.

Resultaterne kan ses i tabel 2 og viser at respirationskammer var den mest præcise metode. Samtidig viser resultaterne at de forskellige metoder havde en høj korrelation til respirationskammer, men at ingen havde en korrelation over 0,9. Korrelationen er sandsynligvis underestimeret, da ingen af metoderne har målt udledningen samtidig, men har været overkrydsningsdesign.

De konkluderede at respirationskammer var den mest nøjagtige og præcise sammenlignet med GreenFeed, SF6 og sniffer. GreenFeed havde en højere korrelation (0,81) til respirationskammer sammenlignet med sniffer (0,72). I Huhtanen et al. (2015) konkluderede man at sniffer målingerne ikke var pålidelige og at resultaterne var influerede af om koen bevægede hovedet og dermed afstanden til måleren.

Gansworthy et al. 2019 konkluderede at sniffer systemet kun kan anvendes til genetisk evaluering, men at en forsat udvikling mod at forbedre systemet vil være positivt.

Tabel 2: Sammenligning af metoder til måling af metanudledning fra malkekøer (Gansworthy et al., 2019)

Alternate Methods ¹ Versus Respiration Chambers								
Method	N Cows	N Obs	Mean S.E.	Rep S.E.	Between-Cow CV ²	Total CV	Correlation ³ (S.E.)	CCC ⁴ (S.E.)
SF ₆	33	97	471 (14.3)	0.44 (0.13)	11.6	17.4	0.87 (0.08)	0.30 (0.17)
Respiration Chambers	33	97	437 (10.7)	0.36 (0.08)	8.4	14.0		
GreenFeed	27	63	433 (8.7)	0.64 (0.08)	12.8	15.9	0.81 (0.10)	0.41 (0.12)
Respiration Chambers	27	63	459 (6.5)	0.51 (0.09)	8.1	11.3		
NDIR Peaks	12	12	376 (12.1)	N/A	N/A	11.1	0.89 (0.07)	0.88 (0.10)
Respiration Chambers	12	12	377 (10.7)	N/A	N/A	9.4		
NDIR CO ₂ t1	20	60	573 (16.8)	0.58 (0.11)	10.1	13.1	0.72 (0.11)	0.38 (0.21)
Respiration Chambers	20	60	521 (13.7)	0.61 (0.12)	9.1	11.7		
PAIR CO ₂ t2	21	21	555 (21.3)	N/A	N/A	11.3	0.80 (0.08)	0.70 (N/A)
Respiration Chambers	21	21	585 (14.1)	N/A	N/A	17.1		
Alternate methods ¹ versus Alternate methods								
SF ₆	48	144	405 (22.5)	N/A	N/A	38.5	0.40 (0.18)	0.34 (N/A)
GreenFeed	48	144	373 (13.9)	N/A	N/A	25.8		
LMD	11	88	432 (24.8)	0.21 (0.11)	19.4	42.7	0.77 (0.23)	0.18 (0.23)
GreenFeed	11	88	423 (18.5)	0.49 (0.12)	11.4	16.8		
NDIR CO ₂ t1	27	63	586 (19.4)	0.59 (0.13)	13.2	17.2	0.64 (0.18)	0.14 (0.19)
GreenFeed	27	63	453 (9.8)	0.75 (0.08)	9.7	11.2		
NDIR CO ₂ t1	39	118	365 (8.3)	0.66 (0.11)	13.9	17.1	0.60 (0.11)	0.18 (0.19)
LMD	39	118	363 (10.3)	0.14 (0.09)	7.5	19.6		
FTIR CO ₂ t2	34	68	315 (12.3)	0.77 (0.13)	21.3	24.3	0.57 (0.25)	0.20 (0.22)
LMD	34	68	299 (6.1)	0.27 (0.15)	7.5	14.5		
NDIR CO ₂ t1	45	90	383 (8.7)	0.85 (0.04)	14.0	15.2	0.58 (0.15)	0.14 (0.19)
NDIR Peaks	45	90	393 (8.1)	0.59 (0.09)	10.7	13.9		
FTIR CO ₂ t1	43	103	392 (8.1)	0.81 (0.05)	14.1	15.3	0.97 (0.02)	0.79 (0.12)
NDIR CO ₂ t1	43	103	382 (8.9)	0.86 (0.04)	12.2	13.6		
FTIR CO ₂ t1	45	90	392 (7.9)	0.81 (0.05)	12.2	13.6	0.53 (0.17)	0.15 (0.19)
NDIR Peaks	45	90	382 (8.2)	0.60 (0.09)	10.8	14.0		

¹ SF₆ = Sulphur hexafluoride tracer gas technique, LMD = Laser methane detector; NDIR = Nondispersive Infrared; FTIR = Fourier Transform Infrared; PAIR = Photoacoustic Infrared. CO₂ t1 method uses CO₂ predicted from milk yield, live weight and days pregnant; CO₂ t2 method uses CO₂ predicted from metabolisable energy intake.

² Coefficient of variation (%). ³ When repeated measures per cow were made the repeated measures correlation was reported, when single measures per cow were made Pearson's correlation was reported, N/A not available, due to single measurements. ⁴ Lin's concordance correlation coefficient [48].

Sammenligning af GreenFeed og respirationskammer

McGinn et al. (2021) sammenlignede i Canada, GreenFeed og respirationskammer. Dette blev gjort ved at man opsatte en GreenFeed inde i et respirationskammer og sendte udådningsluften fra GreenFeed ud i respirationskammeret. Der blev ikke anvendt køer i testen, men i stedet blev der frigivet kendte mængder og koncentrationer af CO₂ og CH₄ ind i GreenFeed-enheden.

Resultaterne fra forsøget viste, at der var god sammenhæng mellem målingerne i GreenFeed-systemet og respirationskammeret, selvom forskellene var signifikante. Forskellen i CO₂-udledning var signifikant forskellig (8,035 vs 7,850 g/d, P=0,007) svarende til 2 % højere i GreenFeed-systemet, og blev tilskrevet tilfældig fejl. Forskellen i CH₄ var også signifikant om end forskellen kun var på fem gram per dag (328 vs 323 g/dag, P=0,019) med GreenFeed-systemet værende højest.

Sammenligning af GreenFeed og respirationskammer

Velazco et al. (2016) opstillede to forsøg til at teste GreenFeed mod respirationskammer. I begge forsøg blev der foretaget målinger af metan i både GreenFeed og respirationskammer, men ikke samtidig. I forsøg 1 blev der først målt i GreenFeed i to dage og derefter 1 dag i respirationskammer. Dette blev gentaget seks gange og 18 dage. I forsøg 2 øgede man antallet af dage i GreenFeed til 3 og brugte således 24 dage. I forsøg 1 indgik der fire ikke lakterende kødkvæg, mens der i forsøg 2 indgik 10 kødkvæg. Resultaterne viste ingen forskel i den daglige metanudledning fra køerne. Den daglige metanudledning i GreenFeed blev målt til 209,7 g CH₄/dag, mens den i respirationskammer blev målt til 215,1 g CH₄/dag.

De konkluderede på baggrund af de to forsøg, at GreenFeed systemet er en valid metode til måling af metanudledning fra drøvtyggere i deres produktionsmiljø.

Litteraturliste

- Gardiner, T. D., M. D. Coleman, F. Innocenti, J. Tompkins, A. Connor, P. C. Garnsworthy, J. M. Moorby, C. K. Reynolds, A. Waterhouse, og D. Wills. 2015. Determination of the absolute accuracy of UK chamber facilities used in measuring methane emissions from livestock. *Measurement* 66:272-279.
- Garnsworthy, P. C., G. F. Difford, M. J. Bell, A. R. Bayat, P. Huhtanen, B. Kuhla, J. Lassen, N. Peiren, M. Pszczola, D. Sorg, M. H. P. W. Visker, og T. Yan. 2019. Comparison of Methods to Measure Methane for Use in Genetic Evaluation of Dairy Cattle. *Animals* 9(10):837.
- Hammond, K. J., D. J. Humphries, L. A. Crompton, C. Green, og C. K. Reynolds. 2015. Methane emissions from cattle: Estimates from short-term measurements using a GreenFeed system compared with measurements obtained using respiration chambers or sulphur hexafluoride tracer. *Anim. Feed Sci. Technol.* 203:41-52.
- Huhtanen, P., E. H. Cabezas-Garcia, S. Utsumi, og S. Zimmerman. 2015. Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. *Journal of Dairy Science* 98(5):3394-3409.
- Jonker, A., G. Difford, P. Garnsworthy, E. Negussie, M. Pszczola, og S. Roman-Ponce. 2020. Chapter 4 'Sniffer' methane measurement systems to determine methane concentrations in air emitted by cows. Pages 27-40.
- Jonker, A. og G. Waghorn. 2020. Guidelines for estimating methane emissions from individual ruminants using: GreenFeed, 'sniffers', hand-held laser detector and portable accumulation chambers.
- McGinn, S. M., J. F. Coulombe, og K. A. Beauchemin. 2021. Technical note: validation of the GreenFeed system for measuring enteric gas emissions from cattle. *J Anim Sci* 99(3).
- Storm, I., A. Hellwing, N. Nielsen, og J. Madsen. 2012. Methods for Measuring and Estimating Methane Emission from Ruminants. *Animals* 2:160-183.
- Velazco, J. I., D. G. Mayer, S. Zimmerman, og R. S. Hegarty. 2016. Use of short-term breath measures to estimate daily methane production by cattle. *Animal* 10(1):25-33.

STØTTET AF

Mælkeafgiftsfonden

