

Metanreduktion ved hjælp af køling i lagertanken

Torben Jensen og Claus Vestergaard

SEGES Innovation P/S, Den rullende Afprøvning

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Resultaterne viste en stor variation i metanemissionen mellem måleperioder, og der var ikke en entydig sammenhæng mellem temperaturforskel og metanreduktion i den anvendte forsøgsopsætning. Der blev udvalgt tre måleperioder, hvor drift af kølemaskine og dataopsamling var acceptabel. I disse måleperioder blev der opnået en gennemsnitlig metanreduktion på 35 % ved en gennemsnitlig temperaturforskel i gyllen på 2,25 °C (15,54 °C vs. 13,29 °C).

Sammendrag

SEGES har undersøgt betydningen af at køle gyllen i lagertanken som middel til at reducere metanudledningen fra gyllelageret. Undersøgelsen blev gennemført på Forsøgsstation Grønhøj i to mindre gyllebeholdere med teltoverdækning på hver 28 m³, hvor der var lagt køleslanger i bunden af den ene beholder. Kølingen foregik ved hjælp af en luft til vand varmepumpe.

Resultaterne er opgjort for tre måleperioder i sommeren 2025, hvor begge beholdere var fyldt op med gylle og kølemaskinen var i drift. I disse måleperioder blev der opnået en gennemsnitlig metanreduktion på 35 %. Metanemissionen var 0,95 g CH₄/m³/time fra beholderen, hvor gyllen var kølet og 1,46 g CH₄/m³/time fra den ikke-kølede beholder. Der var måleperioder i vinterhalvåret, som måtte udelades, hvor emissionen var størst fra den kølede beholder, som i nogle perioder havde højere temperatur end den ikke-kølede, hvilket sandsynligvis skyldtes, at kølemaskinen ikke var aktiveret, idet temperaturen i gyllen lå under sætpunktet og hvor ydre påvirkninger (udetemperatur) samt omrøringen af gyllen sandsynligvis havde den største betydning for emissionen.

Der var stor variation i gylletemperaturen mellem de tre måleperioder, og der var ikke en entydig sammenhæng mellem temperaturforskel og metanreduktion. I den måleperiode, hvor den største procentvise metanreduktion blev opnået, var temperaturforskellen 2,35 °C, hvorimod i den måleperiode, hvor der blev set den største temperaturforskel mellem den kølede beholder og den ikke-kølede beholder, var metanreduktionen kun 3 %. Forventningen var, at jo større temperaturforskel, desto større forskel i metanemissionen, men det har ikke helt været tilfældet. Temperaturforskelle på over 3 °C gav

de mindste forskelle i emissionen, hvorimod temperaturforskelle på 2-2,5 °C gav de største forskelle. Dette indikerer, at andre faktorer har haft større betydning for metanemissionen end temperaturen.

Under antagelse af, at den fremtidige gennemsnitlige elpris vil være 0,80 kr. pr. kWh og at gyllen skal nedkøles gennemsnitligt 5 °C i 170 dage om året, vil omkostningen til køling af gylle bestemt ud fra energiforbruget i denne afprøvning være 116 kr. pr. m³ gylle pr. år. Dette energiforbrug vurderes at være urealistisk højt og er sandsynligvis en konsekvens af ydre påvirkninger af den lille forsøgsbeholder, som havde en stor beholderoverflade i forhold til mængden af gylle.

Baggrund

I landbrugsaftalen fra 4. oktober 2021 er det aftalt, at der skal opnås en klimagasreduktion på 0,17 mio. tons CO₂-ækvivalenter (CO_{2e}) ved at implementere hyppig udslusning i grisestalde. Der skal yderligere opnås 1 mio. tons CO_{2e} via gødningshåndtering inden 2030. Metan (CH₄) er en potent klimagas, som er 28 gange kraftigere end CO₂.

Ifølge DCE-rapport nr. 541, er griseproduktionens samlede danske emission af metan på 73,8 kilotons (kt) Det svarer til 2.070 kt CO_{2e}, hvilket svarer til ca. 17 % af landbrugets samlede udledning af klimagasser [1].

Cirka 19 % af griseproduktionens metanemission beregnes at stamme fra enterisk metan dannet i forbindelse med foderets fordøjelse, mens de resterende 81 % af metanemissionen dannes i forbindelse med opbevaring af gyllen i stald og lager. Metanen i gyllen dannes af mikroorganismer (arkæer), som nedbryder det organiske materiale i gyllen under iltfrie forhold. Mikroorganismernes aktivitet er lav ved en temperatur under 10 °C, men øges ved stigende temperatur. Hyppig/daglig gylleudslusning vil derfor have en indirekte effekt på metandannelsen, da gylletemperaturen i lageret i gennemsnit er lavere hen over året end gyllens temperatur i stalden.

Tidligere resultater viser, at den største metanemission fra gyllelager sker i sensommer/efterår, hvor gyllens temperatur i lageret er højest. I vinterperioden er emissionen pr. m³ gylle meget reduceret, men til gengæld er der en stor gyllemængde i lageret [2].

Ved hyppig/daglig udslusning kan det fermenterbare organiske stof, som ikke er blevet omdannet til metan i stalden, blive omdannet i gyllelageret efterfølgende. Modelberegninger viser, at medmindre gyllen leveres til et biogasanlæg, vil en del af den sparede metanemission fra stalden som følge af hyppig udslusning blive flyttet til lageret og halvere effekten af hyppig udslusning. Det er estimeret, at ca. 45-60 % af griseproducenterne stadig ikke leverer deres gylle til biogas i 2030. Der vil derfor stadig være en del husdyrbrug, som opbevarer gyllen på ejendommen indtil udkørsel. På disse ejendomme er der behov for at finde metoder til at reducere metanemissionerne fra gyllebeholderen på en omkostningseffektiv, bæredygtig og arbejdssikker måde.

Formålet med undersøgelsen var at afprøve aktiv køling af gylle i en lagertank under praktiske forhold og vurdere teknologiens effekt på metanemissionen samt sammenhængen mellem temperaturændringer og emission. Undersøgelsen skulle samtidig belyse driftsmæssige forhold, herunder køleeffekt, stabilitet og energiforbrug. Som udgangspunkt blev gyllen søgt nedkølet til omkring 10 °C, hvilket svarer til den omgivende jordtemperatur i ca. 2,5 meters dybde og dermed det realistiske niveau for passiv varmeudveksling med omgivelserne.

Materialer og metoder

Undersøgelsen blev gennemført i to forsøgsgyllebeholdere på Forsøgsstation Grønhøj.

Der var to forsøgsgrupper i afprøvningen:

- 1: Traditionel lagring af gylle i gyllebeholder (kontrol)
- 2: Lagring af nedkølet gylle

De to gylleholdere rummede hver 28 m³ (4 x 1,5² x π). Gyllebeholderne var delvist nedgravet, idet 2,5 m af gyllebeholderens volumen var under jordoverfladen. Begge gyllebeholdere var teltoverdækkede. For at reducere luftskiftet under overdækningen blev der monteret en ekstra overdækning i form af en presenningdug udenpå den eksisterende overdækning for at eliminere vindpåvirkningen og reducere luftudvekslingen med omgivelserne og gøre den mere stabil. Gyllebeholderen med køling og ekstra presenning er vist på figur 1.



Figur 1. Forsøgsgyllebeholder med ekstra presenningdug.

I tanken, hvor gyllen skulle køles, var der monteret køleslanger i bunden af gylletanken. Kølingen af gyllen skete ved hjælp af en varmepumpe (i teksten også betegnet som "kølemaskine"). Anlægget var opbygget med 5kW køleenhed forbundet med en 200 l kølebuffer, én cirkulationspumpe og ø25 PE-slanger i bunden af gyllebeholderen. Køleslangerne var bundet på RF rionet 6 mm, som var fastspændt på betonbunden. For at opnå en ensartet køling af gyllen og undgå lagdeling, blev der i beholderen med køling monteret en omrører fra firmaet LJM, som kunne omrøre gyllen langsomt (figur 2). Omrøreren var droslet ned til 40 omdrejninger pr. minut. Omrøringstiden var 15 minutter hver anden time. Køling blev igangsat i sommeren 2024 og første måleperiode var ultimo september. Køling blev igangsat med sætpunkt for kølevæsken på 10 °C, men blev 14 dage senere ændret til 5 °C.



Figur 2. Omrører monteret i tank med køling. De udlagte køleslanger ses i bunden af tanken.

På grund af solopvarmningen af telldugen var forventningen, at temperaturen over væsken ville blive højere end temperaturen i gyllen. Der blev udlagt Hexa-cover (sekskantede plastelementer til overdækning af væskeoverflader) på begge tanke for at begrænse varmeoverførslen mellem luftrummet over gyllen og gyllen. Hexa-cover fordelte sig ikke så godt på kontroltanken, hvor flydelaget var tykkere end på tanken med køling, som blev omrørt, hvilket kan have påvirket flydelagets tykkelse. Der var dog også enkelte "huller" i Hexa-cover-laget på tanken med køling. De udlagte Hexa-cover er vist på figur 3 i hhv. beholderen med køling og beholderen uden køling.



Figur 3. Hexa-cover udlagt i tank med køling (til venstre) og tank uden køling (til højre).

Under omrøring var der ikke bevægelse i gylleoverfladen. Det eneste synlige bevis på omrøring var små bobler langs tankens inderside.

Der blev fyldt slagtegrisegylle i beholderne ad to omgange, med syv påfyldninger pr. omgang. Hver gang var det med netop udsluset slagtegrisegylle fra staldene på Forsøgsstation Grønhøj, som blev overført med en tankvogn. Der blev påfyldt 3 m³ gylle pr. tank pr. gang for at simulere forholdene i en gyllebeholder af traditionel størrelse, jf. tabel 1.

Tabel 1. Påfyldning af gylle.

Runde 1	Dato	Beholder 1	Beholder 2
1	25-07 2024	3 m ³	3 m ³
2	01-08 2024	3 m ³	3 m ³
3	08-08 2024	3 m ³	3 m ³
4	15-08 2024	3 m ³	3 m ³
5	22-08 2024	3 m ³	3 m ³
6	29-08 2024	3 m ³	3 m ³
7	05-09 2024	3 m ³	3 m ³

Runde 2	Dato	Beholder 1	Beholder 2
1	04-04 2025	3 m ³	3 m ³
2	11-04 2025	3 m ³	3 m ³
3	25-04 2025	3 m ³	3 m ³
4	02-05 2025	3 m ³	3 m ³
5	09-05 2025	3 m ³	3 m ³
6	16-05 2025	3 m ³	3 m ³
7	23-05 2025	3 m ³	3 m ³

Primære registreringer:

Gylletemperatur blev målt kontinuerligt hhv. i bunden af tankene og 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m, 1,75 m, 2,25 m, 2,75 m, 3,25 m og 3,75 m fra bunden. Temperaturmålerne var placeret på en stang af tentorstål monteret på stolpen i midten af tanken. Desuden blev temperaturen under overdækningen målt. Det blev kontrolleret, at temperaturen i de forskellige målepunkter stemte overens. Udetemperatur og fugt blev målt i målepunkter placeret i skygge på yderside af containeren, hvor måleudstyret var anbragt 5 meter fra forsøgsgyllebeholderen.

Metan- og ammoniakemissionen fra lagertanken blev målt med Picarro (G2509). Der blev målt på hver beholder i 11 målekampaner, hhv. seks gange i første runde og fem gange i anden målerunde. Placeringen af måleperioderne fremgår af tabel 2. Der blev etableret et luftskifte på ca. 40 l/minut for at have et kontrolleret luftskifte og eliminere det naturlige luftskifte under overdækningen i måleperioderne.

Tabel 2. Placering af måleperioder.

Målekampaner	Start – Slut
Runde 1	
1	081024 – 171024
2	311027 – 111124
3	021224 - 121224
4	020125 - 150125
5	100225 - 180225
6	170325 – 310325
Runde 2	
7	140425 - 220425
8	050525 – 120525
9	260525 – 100625
10	230625 - 300625
11	250825 – 010925

Energiforbruget til kølemaskine og omrører blev målt kontinuerligt med en Kamstrup energimåler.

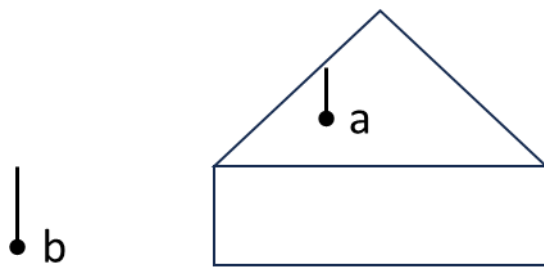
Gylleniveau i tanken blev målt med en laser-afstandsmåler fra kanten af beholderen og ned til væskeoverfladen.

Sekundære registreringer:

- Gyllens pH, tørstofindhold, VS (organisk tørstof)
- Dato for påfyldning af gylle
- Mængde af gylle tilført pr. gang

Målepunkter

Der var etableret ét målepunkt til bestemmelse af sporgas og metan i hver beholder (a). Desuden blev baggrundskoncentrationen i udeluft målt i et målepunkt ca. 5 meter fra beholderen (b). Placering af målepunktet er skitseret i figur 4.



Figur 4. Oversigt over målepunkter (a-b).

Instrumentets baggrunds niveau blev målt ved hjælp af kulfilter.

Fortyndingssystem

Luften fra tankene blev fortyndet med baggrundsluft inden den blev ledt ind i måleinstrumentet, da koncentrationen oversteg måleområdet for Picarro. Luften blev fortyndet 1:20 (MFC 1: 100 ml/min; MFC 2: 2000 ml/min).

Statistisk behandling af data

Gyllen i kølebeholderen blev nænsomt omrørt (for at sprede nedkølingen - i det omfang der var nogen - til hele tanken), uanset om køleanlægget var aktivt eller ej. Dette betød, at enhver effekt, der herfra beskrives som en nedkølingseffekt, teoretisk set lige så godt kan være en omrøringseffekt. Kølingen var kun aktiv, når temperaturen i kølevæskens buffertank var under 5 °C.

På trods af udfordringerne med køling, og for at kunne evaluere på effekten af køling, blev målerunder klassificeret som aktive køleperioder, når middeltemperaturen i en kølet tank var lavere end kontrolltanken. Disse kriterier opfyldte målerunde 9, 10 og 11. Dermed er vinterperioder, hvor kølemaskinen ikke var i drift, udeladt og dermed også perioder, hvor den koldeste af de to beholdere gav den største emission.

Afrapporteringen tager to formater. For det første en tabel med udledninger fra hhv. køle- og kontrolltank, med en differens, en P-værdi og den beregnede procentvise reduktion. Dette for hver målerunde for sig, og for de tre perioder tilsammen. For det andet et plot, der viser reduktion i udledning som funktion af temperaturforskellen i de to tanke samt en lineær trend.

Regressionerne for de enkelte målerunder er simple lineære regressioner, hvorimod de overordnede resultater stammer fra mixed effects regressioner med målerunde som tilfældig effekt.

Resultater og diskussion

Dataindsamlingen var ramt af en række udfordringer.

Kølesystemet fungerede ikke efter hensigten. En meget lav køleeffekt blev observeret, og i de fleste målerunder var der enten ingen forskel mellem tankene eller endda en negativ forskel, dvs. gylleopvarmning. Dette var især tilfældet i kolde perioder, dvs. de tidlige målerunder, og tilskrives primært, at gylletemperaturen var lav og i nogle perioder under sætpunktet for igangsætning af kølemaskinen. I de kolde perioder var det dermed de ydre påvirkninger, såsom udetemperaturen og det faktum, at omrøreren også kørte i vinterperioderne, som var bestemmende for gyllens temperatur og metanemissionen. Der var kun meget lille sammenhæng mellem gyllens temperatur og hvornår kølesystemet var aktivt, og aktiviteten så ud til at have større sammenhæng med udetemperaturen end gylletemperaturen.

I visse målerunder observeredes højere udledning i den kolde af de to beholdere (uagtet om den kolde tank i den periode var den tank, der var forsøgt kølet ned). Dette stred mod almindelig teori om, at højere temperatur fører til højere biologisk aktivitet, som medfører større emission.

Tabel 3 viser resultaterne for tre måleperioder i sommeren 2025, hvor begge beholdere var fyldt op med gylle og kølemaskinen var i drift. I disse måleperioder blev der opnået en gennemsnitlig metanreduktion på 35 %. Metanemissionen var 0,95 g CH₄/m³/time fra beholderen, hvor gyllen var kølet og 1,46 g CH₄/m³/time fra den ikke-kølede beholder. Reduktionen blev opnået ud fra en forskel i gylletemperatur på 2,25 °C mellem de to beholdere. I analyserne anvendtes det målepunkt, der var placeret nærmest midten af gyllen (dvs. ½ x den målte gyllehøjde).

Det kan undre, at der ikke kunne opnås en større forskel i gylletemperatur, idet temperaturen i kølevæsken som blev ledt ind i bunden af den kølede beholder, var sat til 5 °C og gyllen i den kølede beholder samtidig blev omrørt 15 minutter hver anden time. Alligevel var det ikke muligt at få overført større køleeffekt til gyllen.

Tabel 3. Opnåede reduktioner som følge af kølingen af gylle

Måle- runder	Gas	Antal måledage	Kølet gylle	Ikke kølet gylle	Forskel	P-værdi	Reduktion %
9-11	Gylletemperatur, midt beholder, °C	21	13,29	15,54	2,26	< 0,0005	14,5
9-11	Metan, CH ₄ , g m ⁻³ t ⁻¹	21	0,95	1,46	0,51	< 0,0005	34,7
9-11	Lattergas, N ₂ O, mg m ⁻³ t ⁻¹	21	2,627	3,075	0,448	0,916	14,6
9-11	Ammoniak-N, NH ₃ -N, mg m ⁻² t ⁻¹	21	0,8412	0,0331	-0,8081	0,106	+2442
9-11	Samlet Ventilation, m ³ t ⁻¹	21	2,30	2,21	-0,09	< 0,0005	-3,9

Der var desuden stor variation i gylletemperaturen mellem de tre måleperioder og der var ikke nødvendigvis en entydig sammenhæng mellem temperaturforskelle og metanreduktion. I den måleperiode, hvor den største procentvise metanreduktion blev opnået, var temperaturforskellen 1,36 °C, hvorimod den måleperiode, hvor der blev set den største temperaturforskelle mellem den kølede beholder og den ikke-kølede beholder, var metanreduktionen kun 3 %. Resultaterne er vist i tabel 4.

varmetab til omgivelserne. I hvilket omfang denne temperaturstigning akkumuleres i væsken eller tabes til omgivelserne, er vanskeligt at vurdere.

I forsommeren 2025 under måleperiode 9 blev det observeret, at kølemaskinen var ude af drift, idet temperaturen i den kølede beholder steg. På grund af sammenfald med helligdage gik der nogle dage før kølemaskinen blev sat i gang igen. Da der ikke var løbende overvågning af kølemaskinens drift, kan der have været andre perioder, hvor dette kan have været tilfældet.

Gylleanalyser

Analysen af gylleprøver, se tabel 5, viste god overensstemmelse mellem prøverunderne. Gylleprøverne blev udtaget umiddelbart før tømning af beholderne efter gennemførelse af hhv. runde 1, som forløb fra september 2024 til ultimo marts 2025 og runde 2, som forløb fra april 2025 til september 2025. Resultaterne viste et lavere tørstofindhold i prøverne fra den ikke-kølede beholder end fra den kølede beholder. Den største forskel blev set mellem prøverne i runde 2, som blev opbevaret i beholderne hen over sommeren 2025. Det lavere tørstofindhold indhold i den ikke-kølede gylle kunne ses som et tegn på et større kulstoftab i den ikke-kølede gylle end i den kølede gylle, idet gyllen, der blev fyldt i beholderne, kom fra samme oprørte fortank og blev transporteret med samme transportvogn til lagertankene.

Tabel 5. Resultat af gylleanalyser.

Beholder	Kølet gylle	Ikke-kølet gylle
Tørstof, runde1, prøve1, %	2,1	1,5
pH, runde1, prøve 1	7,6	7,8
Tørstof, runde1, prøve 2, %	2,1	1,4
pH, runde1, prøve 2	7,7	7,7
Tørstof, runde 2, prøve 1, %	4,7	2,6
pH, runde 2, prøve 1	7,6	7,7
Tørstof, runde 2, prøve 2, %	4,7	2,6

Energiforbrug til køling og omrøring samt omkostning til metanreduktion

Energiforbruget til køling og omrøring er vist i tabel 6 for de tre målerunder, som indgik i dataopgørelsen. Under antagelse af, at energiforbruget til omrøring er nødvendigt for at opnå en ensartet køling af gyllen, blev der brugt 0,17 kWh/°C/tons/dag.

Table 6. Energiforbrug til køling og omrøring.

Værdier	Målerunde 9	Målerunde 10	Målerunde 11	Hovedtotal
Min af m ³ gylle	21	21	21	21
Maks af m ³ gylle	21	21	21	21
Sum af Forbrug el køling, kWh	94	48	41	182,5
Sum af Forbrug omrøring, kWh	29	15	10	54,4
Antal af Dato	16	8	8	32
Min af Dato2	26-05-2025	23-06-2025	25-08-2025	26-05-2025
Maks af Dato2	10-06-2025	30-06-2025	01-09-2025	01-09-2025
Gennemsnit af Køletank, celsius	12,32	13,79	13,55	12,995
Gennemsnit af Kontroltank, celsius	13,65	16,14	17,05	15,1225
Headspacetemperatur i Køletank, celsius	15,40	17,03	16,49	16,08
Headspacetemperatur i Kontroltank, celsius	15,95	18,20	17,91	17,00
Udetemperatur, celsius	13,95	16,32	17,48	15,42
Brugt Kwh	122,9	62,5	51,5	236,9
Gns. kwh dag	7,68	7,81	6,43	7,40
Kwh energi per m ³ gylle/dag	0,37	0,37	0,31	0,35
Temperatur ændring	-1,33	-2,35	-3,50	-2,13
Kwh/°C /m ³ /dag	0,28	0,16	0,09	0,17

Under antagelse af, at den fremtidige gennemsnitlige elpris vil være 0,80 kr. pr. kWh og at gyllen skal nedkøles gennemsnitligt 5 °C i 170 dage om året, vil omkostningen til køling pr. m³ gylle være:
 $0,17 \text{ KWh}/^{\circ}\text{C}/\text{m}^3/\text{dag} \times 5 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 170 \text{ dage} \times 0,8 \text{ kr./kWh} = 115,6 \text{ kr./m}^3$.

Elforbruget er 144,5 kWh/tons gylle i dette regnestykke. At køle 1 tons gylle ned med 5 °C forbruger i sig selv kun 1,16 kWh/grad, dvs. 5,8 kWh. I forsøget må der altså være brugt betydelige mængder energi på konstant at holde temperaturen nede pga. omgivelsernes påvirkning (opvarmning) af gyllen i gyllebeholderen. Desuden udgjorde elforbruget til omrøring 23 % af det samlede elforbrug. Hvorvidt omfanget af omrøring var nødvendigt, eller det kunne have været reduceret og køleeffekten og metanreduktionen alligevel være opnået, er ikke muligt at afklare.

Med ovenstående forudsætninger vil det koste 116 kr. pr. m³ gylle at reducere gylletemperaturen med 5 °C i 170 dage. Det antages, at 1 m³ gylle vejer 1 ton. Der regnes med en omregningsfaktor på 28 fra metan (CH₄) til CO_{2e}.

Under antagelse af, at metanemissionen reduceres med 0,23 g CH₄/ton/time pr. grad, temperaturen sænkes i gyllen, vil den samlede metanreduktion omregnet til ton CO_{2e} være:
 $5 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 170 \text{ dage} \times 24 \text{ t/dag} \times 0,23 \text{ g CH}_4/\text{ton}/\text{time}/^{\circ}\text{C} \times 28 \text{ CO}_{2e}/\text{CH}_4 \times 10^{-6} \text{ t/g} = 0,1314 \text{ t CO}_{2e}$

Omkostningen pr. ton CO_{2e}: $116 \text{ kr.}/\text{m}^3/0,1314 \text{ t CO}_{2e}/\text{m}^3 = 883 \text{ kr. pr. t CO}_{2e}$. Dette er kun den løbende omkostning til energi. Omkostninger til forrentning og afskrivning af køleanlægget er ikke medregnet. Omkostninger til etablering af køleanlægget til denne afprøvning kan ikke benyttes som model for etableringsomkostningerne til et gårdanlæg, da udgifterne til kølemaskine og omrører udgjorde en uforholdsmæssig stor andel af anlæggets pris.

Omkostningen er behæftet med stor usikkerhed, idet måleresultaterne var behæftet med stor usikkerhed. Sammenlignet med andre klimavirkemidler, vurderes omkostningen til at være temmelig høj og på niveau med gyllekøling, som koster 971 kr. pr ton CO_{2e}, hvorimod virkemidler som lavdosisforsuring i lageret og linespil koster hhv. 147 og 281 kr. pr. t CO_{2e} [4]. I disse tal er indregnet kapitalomkostning til forrentning og afskrivning af anlægget.

Konklusion

I de tre udvalgte måleperioder blev der opnået en gennemsnitlig metanreduktion på 35 %. Metanemissionen var 0,95 g CH₄/m³/time fra beholderen, hvor gyllen var kølet og 1,46 g CH₄/m³/time fra den ikke-kølede beholder. Der var måleperioder i vinterhalvåret, som måtte udelades, hvor emissionen var størst fra den kølede beholder, som i nogle perioder havde højere temperatur end den ikke-kølede. Det skyldtes sandsynligvis, at kølemaskinen ikke var aktiveret, idet temperaturen i gyllen lå under sætpunktet og hvor ydre påvirkninger (udetemperatur) samt omrøringen af gyllen sandsynligvis havde den største betydning for emissionen.

Der var stor variation i gylletemperaturen mellem de tre måleperioder og der var ikke en entydig sammenhæng mellem temperaturforskelle og metanreduktion. I den måleperiode, hvor den største procentvise metanreduktion blev opnået, var temperaturforskellen 2,35 °C, hvorimod i den måleperiode, hvor der blev set den største temperaturforskelle mellem den kølede beholder og den ikke-kølede beholder, var metanreduktionen kun 3 %. Forventningen var, at jo større temperaturforskelle, desto større forskel i metanemissionen, men det har ikke helt været tilfældet. Temperaturforskelle på over 3 °C gav de mindste forskelle i emissionen, hvorimod temperaturforskelle mellem 2-2,5 °C gav de største forskelle. Dette indikerer, at andre faktorer end temperatur har haft betydning for metanemissionen.

Under antagelse af, at den fremtidige gennemsnitlige elpris vil være 0,80 kr. pr. kWh og at gyllen skal nedkøles gennemsnitligt 5 °C i 170 dage om året, vil omkostningen til køling af gylle bestemt ud fra energiforbruget i denne afprøvning være 116 kr. pr. m³ gylle pr. år. Dette energiforbrug vurderes at være urealistisk højt og er sandsynligvis en konsekvens af ydre påvirkninger af den lille forsøgsbeholder med en stor beholderoverflade i forhold til mængden af gylle. Omregnes omkostningen energi til en pris for klimagasreduktion baseret på afprøvningens metanreduktion, vil omkostningen blive 883 kr. pr. t CO_{2e}, hvilket vurderes som en relativt høj pris sammenlignet med prisen på andre klimavirkemidler.

Referencer

- [1] Nielsen, O.K et al (2023) Nr. 541: Danmarks Nationale Opgørelsesrapport 2023. Emissionsopgørelser 1990-202, [DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi](#), 933 pp.
- [2] Kasper, P.L og Holm, M (2026) Ammonia and Methane Emissions from Farm-Scale Tent Covered Slurry Storage Tanks determined with the Tracer Decay Method, Biosystems Engineering (submitted), 49 pp.
- [3] Dalby, F. R., Hafner, S. D., Kamp, J. N., & Feilberg, A. (2024). *Methane emission in slurry tanks as influenced by spatial and temporal temperature and slurry organic matter composition*. Abstract from International symposium on gas and dust emissions from livestock (2024), Valencia, Spain.
- [4] Christiansen, M.G (2025) Rentabilitetsberegning, version. 1.05, SEGES Innovation

Deltagere

Tekniker: Thomas Lund Sørensen, Henry Kousgaard Aalbæk

Statistikere: Søren Kjærgaard Boldsen

Andre deltagere: Michael Holm

Øvrig information

Afprøvning nr. 1970

BC nr.: 101470

Besætningen/besætningerne, som denne afprøvning er gennemført i, er godkendt i DANISH-ordningen i 2024.

//LATO / JAHP//

Appendiks

Opvarmningseffekt af omrører:

- Motorens effekt: $P = 3 \text{ kW} = 3000 \text{ W}$
- Driftstid: $t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$
- Væskemængde: $V = 21 \text{ m}^3$
- Væskens starttemperatur: $T_0 = 5^\circ\text{C}$
- Antag væsken er vand (densitet $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$, specifik varmekapacitet $c \approx 4186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$).

1. Beregn tilført energi

Motoren afgiver varme svarende til sin effekt i driftstiden:

$$Q = P \cdot t = 3000 \text{ W} \cdot 900 \text{ s} = 2,700,000 \text{ J} = 2,7 \text{ MJ}$$

2. Beregn væskens masse

$$m = \rho \cdot V = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 21 \text{ m}^3 = 21,000 \text{ kg}$$

3. Temperaturstigning

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} = \frac{2,700,000}{21,000 \cdot 4186} \approx 0,0307^\circ\text{C}$$

Resultat

Motoren vil opvarme væsken med **ca. 0,03 °C** efter 15 minutters drift.