

Til Departementet i Miljøministeriet

**Levering på bestillingen "Vurdering af drivhusgasreduktioner og uddybet beskrivelse af en række konkrete klimavirkemidler til foder, stald og lager" – Del vedr. Produktion af metan i gylle i stald og lager, Gyllekøling, Fast overdækning med flydelag, og Staldforsuring i nye og eksisterende anlæg"**

Departementet i Miljøministeriet har i en bestilling sendt d. 24. september 2020 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at *"levere en uddybet beskrivelse af seks konkrete virkemidler til reduktion af drivhusgasser, som både indeholder en beskrivelse af det praktiske og tekniske potentiale og tilknyttede kvantitative effekter"*. Nedenstående notat omhandler "Produktion af metan i gylle i stald og lager", "Gyllekøling", "Fast overdækning med flydelag" og "Staldforsuring i nye og eksisterende anlæg".

Der er indsendt et udkast til besvarelse til Departementet d. 25. februar 2021. Kommentarer fra Departementet og AUs adressering af disse findes via følgende link <https://bit.ly/3cwOk4x>

Besvarelsen er opdelt i fire kapitler, de to første er udarbejdet af seniorforsker Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, og fagfællebedømt af henholdsvis professor Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi og seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi. Det tredje kapitel er udarbejdet af professor Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi, og fagfællebedømmer har været seniorrådgiver Lise Bonne Guldborg, Institut for Bio- og Kemiteknologi. Det fjerde kapitel er udarbejdet af seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, mens fagfællebedømmer har været seniorforsker Anders Peter Adamsen fra samme institut. Alle fra Aarhus Universitet.

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet", "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2020-2023".

Venlig hilsen  
Klaus Horsted  
Specialkonsulent, Kvalitetssikrer DCA-centerenheden



# Vurdering af drivhusgasreduktioner og ud- dybet beskrivelse af en række konkrete kli- mavirkemidler til foder, stald og lager

## Produktion af metan i gylle i stald og lager

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

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

Det er oplagt at anvende modeller til at estimere produktion af metan i gylle, da gylle dels er forskelligt fra dyregruppe til dyregruppe i indhold og sammensætning af organisk materiale, og dels opbevares under vidt forskellige forhold. Produktion af metan fra gylle i stald og lager beskrives i Danmark med en model, hvor temperatur og organisk materiale er inputparametre:

$$F_T = (VS_d + 0,01 \cdot VS_{nd}) \cdot e^{\ln(A) - \frac{E_a}{R \cdot T}}$$

$F_T$  er metanproduktion ( $\text{mg CH}_4 \cdot \text{kg VS}^{-1} \cdot \text{time}^{-1}$ ),  $VS_d$  og  $VS_{nd}$  er henholdsvis nedbrydeligt (degradable) og tungnedbrydeligt (non-degradable) organisk stof,  $E_a$  er aktiveringsenergi ( $\text{kJ/mol}$ ),  $\ln(A)$  er en parameter der afhænger af substratet og dets potentiale for metanproduktionen og er særegen for den enkelte prøve,  $R$  er gaskonstanten og  $T$  er temperatur i gyllen i kelvin. Enheden for  $\ln(A)$  er  $\text{g CH}_4 \cdot \text{kg VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Temperaturen i gylle kan variere gennem året afhængig af lufttemperaturen og også ned igennem en gylletank eller -kumme, men kan som regel måles ret nøjagtigt. Organisk stof, især nedbrydeligt organisk stof,  $VS_d$ , er mere kompliceret at definere og måle end temperaturen.

Ved anvendelse af  $81 \text{ kJ/mol}$  og  $\ln(A)$  værdier på henholdsvis  $31,3$  og  $31,2 \text{ g CH}_4 \cdot \text{kg VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  for svin- og kvæggylle i stalde (Petersen et al., 2016) giver modellen en produktion på  $3,4$  og  $3,1 \text{ g CH}_4 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{kg VS}_d^{-1}$  ved  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sænkes temperaturen med én grad, falder metanproduktionen med  $11\%$ . Som tommelfingerregel man derfor antage, at én grad forskel i temperatur vil øge/sænke metanproduktionen med ca.  $10\%$ . Andelen af nedbrydeligt organisk stof ( $VS_d$ ) ud af total mængde organisk stof ( $VS$ ) i gylle udtaget i staldene varierer mellem  $0,45$  og  $0,57$  for svinegylle og  $0,29$  og  $0,36$  for kvæggylle (Petersen et al., 2016).

For gylle i gylletanke anvendes indtil videre en modificeret  $\ln(A)$ -værdi benævnt  $\ln(A)'$  på  $29,2$  og  $30,3 \text{ g CH}_4 \cdot \text{kg VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  for henholdsvis kvæg- og svinegylle (Olesen et al., 2020), idet der ikke foreligger data for fordelingen af  $VS_d$  og  $VS_{nd}$  i gylle i gylletanke. Anvendelse af disse modificerede  $\ln(A)$  værdier estimerer en produktion i kvæg- og svinegylle på henholdsvis  $0,42$  og  $1,3 \text{ g CH}_4/\text{kg VS}$ . Produktionen per dag er noget lavere i gylletanke end i stalde, men til gengæld er opholdstiden i gylletanke langt længere end i stalde, så der kan således stadig produceres store mængde  $\text{CH}_4$  i gylletanke.

Ved at beregne metanproduktionen i tidsstep, fx én dag, og ved at antage, at der i ikke-afgasset gylle produceres  $3 \text{ CO}_2$ -molekuler for hver metan-molekyle, og C-indholdet i organisk stof er  $0,45 \text{ kg C/kg organisk stof}$ , forbruges  $6,7 \text{ kg organisk stof per kg metan produceret}$ . Man kan modellere den akkumulerede produktion dag for dag ved at beregne metanproduktion, forbruget af organisk materiale, og dermed mængden af organisk materiale ved næste tidsstep. Næste skridt er at beregne opholdstid, dvs. hvor mange dage gylle opholder sig det pågældende sted. Her anvendes

gyllens hydrauliske opholdstid (HRT, Hydraulic Retention Time) gennemsnitlige opholdstid, som for en reaktor er defineres som  $HRT = V/Q$ , hvor V er volumen i reaktoren og Q er massestrøm. Dette gælder for en reaktor med konstant volumen, men i en gyllekumme- eller tank vil gyllen varieres i mængder, og desuden er der ofte en restgylle tilbage efter tømning, som dermed har en højere HRT end den gylle, der bliver tilført efterfølgende. I notatet "Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion" (Adamsen et al., 2021) blev der korrigeret for dette ved at beregne V som den gennemsnitlige mængde gylle og at indregne at der står en rest gylle tilbage efter udtømning. Endelig er der behov for at estimere andelen af nedbrydeligt organisk stof ( $VS_d$ ) i frisk gylle, da de tidligere nævnte værdier er for en gylle repræsenterer delvist omsat gylle udtaget i gyllekummer. Dette kan gøres ved at modellere forholdet i en tidsserie, og for svinegylle er der fundet en værdi på 0,7 kg  $VS_d/VS$  (Adamsen et al., 2016).

Som et alternativ til denne simple empiriske model arbejder forskere ved AU på at udvikle en ny model, der beskriver produktion af metan ud fra en lang række parametre, så som nedbrydningsrate af komplekse kemiske forbindelser, ammoniak- eller svovlbrintehæmning af bakteriel omsætning, temperaturer og meget mere (Dalby et al., 2020). Denne model vil blive videreudviklet i de kommende år, især efter en behørig parametrisering for de enkelte gylletyper.

## Referencer

- Adamsen, A. P., Hansen, M. J., & Møller, H. B., (2021). Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion, No. 2020-0166155, 10 p., Jan 12, 2021.
- Dalby, F., Hafner, S., Petersen, S.O., VanderZaag, A. Habtewold, J., Dunfield, K., E., Chantigny, M.H. & Sommer, S.G. (2020). A mechanistic model of methane emission from animal slurry with a focus on microbial groups. Preprint: DOI: 10.13140/RG.2.2.19888.79367.
- Olesen, J. E., Møller, H. B., Petersen, S. O., Sørensen, P., Nyord, T., & Sommer, S. G. (2020). Bæredygtig biogas - klima og miljøeffekter af biogasproduktion. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport No. 175. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1454>
- 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. P L o S One, 11(8), [e0160968]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160968>

## Gyllekøling

*Af seniorforsker Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet  
Fagfællebedømmer, seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi,*

### Beskrivelse af gyllekøling i svine- og kvægstalde

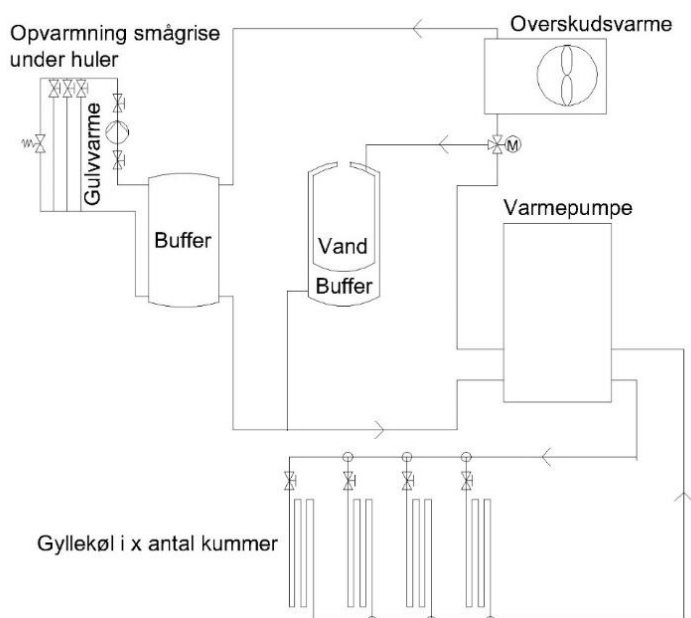
Ved at sænke temperaturen af gylle reduceres fordampningen af ammoniak, lugtstoffer og metan. Fordampningen af ammoniak fra gylle påvirkes især af temperatur og surhed (pH) i gyllens overflade, hvorimod gennemsnitstemperaturen i gylle påvirker dannelsen af metan og svovlbrinte, hvilket sker i hele gyllevolumenet i gyllekummen. Ud over fordampning fra gyllens overflade i kummen, så sker der også fordampning af ammoniak og lugt fra beskidte gulvoverflader i stierne, især spaltegulvet. Gyllekøling påvirker ikke denne fordampning, da gyllekøling sker i selve gyllekummen.

Da fordampningen af ammoniak kontrolleres af forhold ved gylleoverfladen, gælder det, at jo nærmere overfladen der køles, jo bedre virkning (Pedersen, 1997). I Nederlandene er køling i gylleoverfladen med flydende køle-elementer og anvendelse af grundvand undersøgt i svinestalde (slagtesvin, smågrise, søer), og der er opnået reduktioner i ammoniakemissionen på mere end 50 % afhængig af køleeffekt (RAV, 2019). Flydende køle-elementer anvendes ikke her i landet på grund af manglende national dokumentation samt frygt for nedsat driftssikkerhed ved anvendelse af strøm i stierne.

I Danmark etableres gyllekøling typisk ved nedstøbning af slanger af polyetylen (PE) i bunden af gylle- eller gødningskanalerne i stalden. Typisk udlægges køleslangerne oven på armeringsnettet (rionet) og overstøbes med beton. Der isoleres normalt ikke under betonlaget. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 40 cm. Slangerne kan også udlægges direkte oven på kanalbunden, hvorved der formodentlig kan opnås en større ammoniakreduktion men med risiko for problemer i forbindelse af udslusning af gylle i form af bundfældning og risiko for lækage ved mekanisk rengøring af kummerne, selvom Petersen (1997) bemærker, at "Placering af kølerør på bunden i gyllekummens længderetning ikke havde nogen negativ indflydelse på udslusning af gylle". Der er ikke os bekendt erfaringer fra andre stalde.

Køleslangerne fyldes med vand tilsat frostvæske og forbindes med en varmepumpe. Varmepumpen overfører energi (varme) fra kølevandskredsløbet (køleslangerne) til en varmvandsbeholder på varmepumpens varmeside. Det varmevand kan bruges til opvarmning af stalde, servicerum, vådfoder, vaskevand eller boliger. Overskydende varme må fjernes med en varmeblæser (luftkondensator) eller på andet vis for, at systemet kan fungere.

Det er almindeligt at dimensionere gyllekøling efter varmebehovet andre steder på bedriften, fx smågrisestalde. Det betyder, at der oftest kun køles i den periode, hvor der anvendes varme. Såfremt gyllekølingen skal anvendes ud over det antal timer, der er behov for varme, skal der tilføjes en luftkondensator til at bortskaffe overskydende varme.



Figur 1: Skitse af gyllekølingsanlæg med gyllekøling, varmepumpe og varmeafsætning i smågrisehuler i farestalden. Desuden er der vist en luftkondensator til afsætning af overskydende varme.

Der findes eksempler på kvægstalde, som har nedlagt køleslanger i gyllekanalerne med henblik på indvinding af varmeenergien fra gyllen (alternativ til jordvarme), men der foreligger ingen måledata i forhold til NH<sub>3</sub> og andre gasser. Gyllekøling er således kun optaget på miljøstyrelsens teknologiliste til brug i svinestalde.

## Effekt af gyllekøling på udledning af metan og ammoniak fra gylle

Der er en veldokumenteret sammenhæng mellem dannelse og udledning af metan ud fra temperatur af gyllen (fx Petersen et al., 2016), som beskrevet i indledningen. Ved at modellere produktion og det tilhørende forbrug af organisk stof med gyllens gennemsnitlig opholdstid kan man beregne den akkumulerede produktion, hvilket også er metoden for de nationale opgørelser (Mikkelsen et al., 2016). Men mange stipladser (det behøver ikke at være hele stalden) med gyllekøling er dimensioneret efter varmebehovet på gården, hvilket er størst om vinteren, og dels varierer betragteligt mellem de enkelte bedrifter.

I forhold til metanproduktion er udfordringen med gyllekøling dels at kende temperaturen i gyllesøjlen, at vurdere påvirkning af gyllerest efter udslusning på metanproduktion fra frisk gylle, omsættelighed af udskilt organisk materiale, pH osv. Men som tidligere nævnt kan man som tommelfingerregel regne med en reduktion på ca. 10% per grad reduceret gylletemperatur for metan. Eksempelvis har forsøg vist, at køling i slagtesvinestalde med 26 W/m<sup>2</sup> giver et temperaturfald i gyllen 10 cm over bunden på 2,4 °C og ved bunden på 4,5 °C i forhold til ingen køling, idet kølingen sker fra bunden da køleslangerne var støbt ind i betongulvet (data for temperatur fra Holm et al., 2017). Regnes der med, at der i gennemsnit er et temperaturfald for al gyllen på ca. 3,5 °C, så estimeres det med, at udledningen i stalden for slagtesvin på drænet gulv og tømning af gyllekumme ved en gyllehøjde på 35 cm falder fra 2,3 til 1,7 CH<sub>4</sub> kg/t gylle i stalden, men til gengæld vil udledningen stige fra 2,5 til 2,7 kg CH<sub>4</sub> kg/t gylle i gylletanken. Så medmindre gyllen efter køling i stalden hurtigt sendes videre til et biogasanlæg, så vil faldet i stalden bevirke en højere udledning fra gylletanken. Det skal nævnes, at disse estimater er med en del usikkerheder.

Samme undersøgelse viste en fald på ca. 2,4 °C i overfladen af gyllen ved køling med 26 W/m<sup>2</sup>, hvilket gav et fald på 20% i udledningen af ammoniak.

Metoden med at støbe køleslangerne ind i bunden er den mest udbredte i Danmark, så resultaterne beskrevet ovenfor vil dermed gælde for hovedparten af danske stalde med gyllekøling. Gyllekøling vil være sikrere for at reducere udledning af metan, idet denne dannes i hele gyllesøjlen, hvorimod udledning af ammoniak kontrolleres af processer i gyllens overflade, længst væk fra køleslangerne.

Stalde med linespil (tømning af kanaler under spaltegulve med skraber trukket af en stålwire el. lign.) har ikke gylle stående i gyllekanaler som ved rørudslusning. Gyllen muges typisk ud dagligt, hvilket kan give en betydelig reduktion i produktionen af metan. I en test af 6 drægtighedsstalde, hvoraf 3 stalde var med gylle og rørudslusning og andre 3 med linespil, blev der fundet en udledning af metan på 11 kg · so<sup>-1</sup> · år<sup>-1</sup> ved rørudslusning og 2,6 kg · so<sup>-1</sup> · år<sup>-1</sup> ved linespil. Den enteriske produktion blev estimeret til 1,7 kg CH<sub>4</sub> · so<sup>-1</sup> · år<sup>-1</sup>, så effekten fra gødningen er endnu mere udtalt (Holm et al., 2019). Gyllekøling kan også med fordel etableres i stalde med linespil, hvilket vil kunne give en yderligere reduktion i udledning af metan fra selve stalden.

## Effekt, energiforbrug og økonomi ved gyllekøling

Energiforbruget ved gyllekøling går primært til drift af cirkulationspumper og varmepumpe (kompressor). Typisk er køleeffekten ca. 2,5 gange varmepumpens effektoptag, og varmeeffekten er ca.

3,5 gange effektoptaget. Dette afhænger dog af lokale forhold som slangelængder, -tykkelser, antal ventiler, og ikke mindst tilbageløbstemperatur af kølevæsken.

Et gennemsnitligt elforbrug til slagtesvin på drænet gulv og spalter (33/67) er beregnet i teknologi-bladet til ca. 13 kWh/produceret slagtesvin ved en køling på 20 W/m<sup>2</sup>. Det vil reducere udledningen af metan fra gyllen i stalden fra ca. 2,3 kg til 1,7 kg, eller ca. 0,6 kg CH<sub>4</sub> per slagtesvin svarende til ca. 17 kg CO<sub>2</sub>-ækv. (dette forudsætter at gyllen sendes til et biogasanlæg eller at der er etableret teknologi til at eliminere metanproduktion i gylletanke). Produktionen af 13 kWh el medfører en udledning ifølge Energistyrelsen på 0,11 kg CO<sub>2</sub>-ækv/kWh el i 2020 (Energistyrelsen, 2021), hvilket giver ca. 1,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv. I langt de fleste tilfælde vil den producerede varme helt eller delvist erstatte varmemeforbrug på bedriften baseret på delvis fossile brændsler, så brug af varmepumpe vil reducere udledning af klimagasser med mindst en faktor 10. I 2030 forventes udledning per kWh el at være nede på 0,012 CO<sub>2</sub>, hvilket giver en faktor på mindst 100.

Økonomien i gyllekøling varierer betragteligt, idet den kan være positiv, hvis der er et stort varmebehov på bedriften eller i nærheden, og den kan være negativ hvis miljøkravet er køling hele året eller at varmen ikke kan udnyttes, og dermed skal bortkøles (Miljøministeriet, 2010). En værdiansættelse af reduktionen i udledningen af metan i stalden vil selvfølgelig forbedre økonomien i at etablere gyllekøling, men merudledning fra gylletanken, hvis gyllen ikke bioforgasses, skal modregnes. Der arbejdes med forskellige metoder til at reducere udledning fra overdækkede gylletanke, da teknologier som gyllekøling og hyppigere tømning af gyllekummer medfører højere udledning fra gylletanke.

## Udvikling af teknologi

Der arbejdes på at reducere energiforbrug ved bl.a. såkaldt frikøling, hvor den opsamlede varme fjernes ved direkte køling med en luftkondensator. Kravet til frikøling er, at udeluftens temperatur er 2 – 3 °C lavere end fremløbstemperaturen af kølevæsken. Med typiske fremløbstemperaturer på 11 – 13 °C i kølevandet, når det returnerer fra stalden, betyder at udetemperaturen skal være 9 °C eller lavere (Klimadan, 2020). Klimadan angiver at frikøling kan udføres med et energiforbrug på 10 – 15% af en varmepumpes energiforbrug. Frikøling er kun interessant, hvor varmen ikke kan nyttiggøres.

## Lagerkøling

Køling af gylle vil som vist under gyllekøling reducere udledning af metan med ca. 10% per grad per dag, men det vil modvirkes af de langt længere opholdstider i gylletanke.

For afhentningstanke til biogasanlæg vil det kunne give mening at etablere køling, idet det både reducerer udledningen fra selve afhentningstanken, hvor gylle ofte har samme temperatur som i stalden, samt bevirker, at mere organisk stof vil være tilgængelig for biogasproduktion.

## Referencer

Energistyrelsen (2021). Basisfremskrivninger. <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/basisfremskrivninger>

Holm, M., K.B. Sørensen & M.B.F. Nielsen (2017). Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde. Meddelelse nr. 1105, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Holm, M. & K.B. Sørensen (2019). Ammoniak og metanemission fra drægtighedsstalde. Erfaring nr. 1910. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Kai, P. & A.P. Adamsen (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning. Del 2: Emissionsfaktorer. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet. Danmark..Technical report BCE-TR-12. 89 pp.

Byggeri & Teknik (2020). Materiale udleveret på møde om gyllekøling i svinestalde den 29. sept. 2020 mellem Peter Kai og Anders Peter Adamsen, AU, og Svinerådgivningen, Sagro og Byggeri & Teknik.

MELT (2017). Gyllekølings reducerende effekt på ammoniak og lugtemission.  
<https://mst.dk/media/169085/indstilling-af-gyllekoeling-mediarkiv.pdf>

Miljøministeriet (2010). Forudsætninger for de økonomiske beregninger ved gyllekøling. Søer og smågrise. Udarbejdet af NIRAS.

Pedersen, P. (1997). Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Landsudvalget for svin, Meddelelse nr. 357, 6 pp.

Pedersen, P. (2005). Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694, Landsudvalget for Svin og Videncenter for Svineproduktion.

RAV (2019). Regeling ammoniak en veehouderij. D 3 diercategorie vleesvarkens, opfokberen van ca. 25 kg tot 7 maanden, opfokzeugen van ca. 25 kg tot eerste dekking.  
<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltpen/3-diercategorie-0/>

## Fast overdækning med flydelag

af professor Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Fagfællebedømmer: seniorrådgiver Lise Bonne Guldborg, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet

Som del af bestillingen "Vurdering af drivhusgasreduktioner og uddybet beskrivelse af en række konkrete klimavirkemidler til foder, stald og lager" ønskes en bedømmelse af fast overdækning med flydelag, herunder krav til materialer, ressourceforbrug ved anvendelsen, og krav til en teknisk løsning. Der er tale om et klimavirkemiddel, som endnu er på forsøgsstadiet, og hvor effekten endnu ikke er dokumenteret. Derfor indledes notatet med en kort beskrivelse af den faglige baggrund for dette potentielle virkemiddel.

### Baggrund

Mere end 90 % af husdyrgødningen i Danmark håndteres som gylle (R. Albrechtsen, 2015; pers. medd.), hvoraf en stor del opsamles med henblik på udbringning det følgende forår. Under opbevaringen kan biologisk omsætning i gyllen føre til udledning af drivhusgasser, hvoraf metan udgør 80-90% (Petersen et al., 2013; Baral et al., 2018). Hvor meget metan der udledes, vil afhænge af en række faktorer, bl.a. fodring, behandling før lagring, og lagringstemperatur.

Ofte vil gylle i gylletanke danne et naturligt flydelag af strøelse og ufordøjede foderrester, der samler sig ved overfladen. Alternativt kan et flydelag etableres eller forstærkes ved iblanding af snittet halm. Der dispenseres fra et eksisterende krav om fast overdækning, hvis gyllelageret har et dækkende flydelag.

På baggrund af enkelte studier har det internationale klimapanel, IPCC, tidligere vurderet, at et flydelag generelt kunne fjerne 40 % af det metan, som produceres i gyllen under lagring (IPCC, 2006). I en nylig opdatering (IPCC, 2019) præciseres det, at denne effekt kun kan forventes, hvis der er tale om et tykt og tørt flydelag. Et dansk forsøg med lagring af svinogylle og flydelag af snittet halm fandt ikke en sådan effekt (Petersen et al., 2013), og med den nuværende viden er det fortsat usikkert, i hvilket omfang et flydelag uden yderligere overdækning bidrager til reduktion af metanudledningen fra lagret gylle. Den nationale opgørelse estimerer metanemissionen på baggrund af organisk tørstof i gyllen; der er i den aktuelle opgørelse ingen antagelser om metanfjernelse i flydelag (Nielsen et al., 2020).

### Mikrobiologi

Det er veldokumenteret, at flydelag af organisk materiale rummer populationer af aerobe (iltkrævende) metanoxiderende bakterier (bl.a. Petersen et al., 2005; Ambus & Petersen, 2005; Duan et al., 2014), og et stort potentiale for metanoxidation (Duan et al., 2013). Der er også beskrivelser af anaerob metanoxidation i litteraturen, men på nuværende tidspunkt er der ingen viden om, hvorvidt anaerob metanoxidation kan forekomme i gylle.

Potentialet for metanoxidation opbygges kun langsomt (Nielsen et al., 2013), og metanoxiderende bakterier (metanotrofer) er ikke nødvendigvis aktive hele året (Petersen & Ambus, 2006). Det kan skyldes, at metanotrofer hæmmes af mineralsk kvælstof (Duan et al., 2013), eller at aktivitet og vækst forudsætter en delvis udtørring af flydelaget på grund af kravet til ilt. Også i veletablerede flydelag kan aktiviteten være lav, f.eks. i perioder med lav temperatur eller ved vandmætning af flydelaget efter regn.



En anden sandsynlig årsag til lav aktivitet i åbne gyllebeholdere er, at udledningen af metan for en stor del sker via sprækker i flydelaget, hvor metan ikke får kontakt med metanotrofer i flydelaget, men i stedet fortyndes i atmosfæren over flydelaget.

### **Metanoxidation som virkemiddel til metan-reduktion**

Det var på baggrund af ny viden om metanoxidation i flydelagsmiljøer, at tanker om et klimavirkemiddel baseret på en kombination af flydelag og fast overdækning blev introduceret (Petersen & Miller, 2006). En fast overdækning vil stabilisere flydelagets vandbalance ved at forhindre nedbør og begrænse fordampning. Samtidig vil en fast overdækning gøre det muligt at kontrollere luftskiftet, og dermed at opretholde en højere gennemsnitskoncentration af metan i luften over flydelaget.

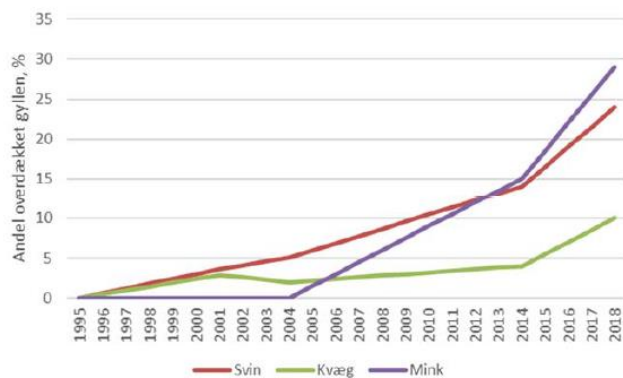
Laboratorieforsøg har vist, at metan-nedbrydningen vokser med stigende metankoncentrationer indtil et niveau, som er omkring 1000 gange højere end atmosfærisk niveau (Petersen & Ambus, 2006; Duan et al., 2013). Det har givet en forventning om, at fjernelsen af metan kan stimuleres ved at øge indholdet af metan i luften over flydelag.

Overdækning med kontrolleret ventilation vil også begrænse tilførslen af atmosfærens ilt til flydelaget. Det kan have betydning for metanoxidationsaktiviteten, specielt ved høj metantilgængelighed (Duan et al., 2017), og derfor skal det sikres, at der ved kontrolleret ventilation er et tilstrækkeligt indhold af ilt i luften over flydelaget.

Den eksisterende viden om metanoxidation i flydelag indikerer, at der er tale om metanotrofer, som også findes i vådområder, rismarker og på lossepladser (Le Mer and Roger, 2001), og hvor en væsentlig andel af den producerede metan nedbrydes, førend den når ud i atmosfæren. For eksempel fjernes typisk 30-60 % af metan fra lossepladser i dækjorden (Scheutz et al., 2009). Det er derfor en effekt i denne størrelsesorden, som er perspektivet i dette potentielle klimavirkemiddel.

### **Hvilke kendte og nye materialer vil være egnede til brug for hhv. fast overdækning og etablering af flydelag, når de to skal anvendes i kombination?**

Ifølge et notat fra DCE (Mikkelsen & Albrechtsen, 2020) er antagelsen, at 95% af al svinegylle, og 98% af al kvæggylle, aktuelt opbevares i lagre med flydelag. Notatet informerer desuden om udviklingen med hensyn til fast overdækning. Andelen af lagre med fast overdækning er i vækst (se Figur 2) og repræsenterede i 2018 omkring 10% af kvæggylle, og 25% af svinegylle. Der er enten tale om en teltoverdækning eller et betonlåg (jfr. Fig. 3); i begge tilfælde skal overdækningen kombineres med en teknisk løsning til kontrolleret ventilation. Eftersom der generelt er et potentiale for metanoxidation i veludviklede flydelag, og overdækningen udelukkende skal fungere som en barriere for gasudveksling med atmosfæren, vil det som udgangspunkt give mening af afsøge potentialet for metanoxidation i eksisterende flydelag, og muligheden for at anvende eksisterende tekniske løsninger til overdækning. Det kan spare udviklingsomkostninger, gøre teknologien billigere, og ikke mindst muliggøre en hurtigere implementering, hvis forsøgsresultaterne viser et potentiale for metanfjernelse.



Figur 2. Estimeret andel af gylle i gyllebeholdere med fast overdækning (gengivet efter Mikkelsen & Albrektsen, 2020).

## Flydelagsmaterialer

Der findes ingen nyere statistik vedrørende flydelagets sammensætning. En ældre opgørelse baseret på kommunernes miljøtilsyn oplyste, at på svinebrug var omkring halvdelen af gyllelagre med flydelag et naturligt flydelag, mens den anden halvdel blev tilført snittet halm uden omrøring (Miljøstyrelsen, 2005). På kvægbrug var der helt overvejende naturligt flydelag. Begge typer af flydelag rummer metanotrofe bakterier (Duan et al., 2017). I dag skal snittet halm tilføres under omrøring, hvilket burde fremme kolonisering og vækst af mikroorganismer på dette substrat.

Kan naturlige flydelag optimeres med hensyn til metanoxidation? Som nævnt vil mineralsk kvælstof indledningsvis hæmme aktiviteten, hvilket kan reducere den samlede effekt af metanoxidation som virkemiddel til metanreduktion. Udvikling af metoder til tømning, påfyldning og opblanding af gyllen uden at destruere flydelaget kunne sikre, at et potentiale for metanoxidation opretholdes året rundt.

Kan andre, syntetiske materialer udgøre et alternativ til naturlige flydelag? Det er allerede kendt, at en permeabel membran, der kan være lavet af genbrugsmaterialer som f.eks. polyethylen, kan være levested for mikrobielle samfund, herunder metanotrofer (Miner et al., 2003). De vigtigste krav for aerob metanoxidation er som nævnt, at der skal være adgang til ilt og metan, og lav tilgængelighed af mineralsk kvælstof. Det er muligt, at udviklingen af et potentiale for metanoxidation kan fremmes ved at pøde en syntetisk membran med en berigelseskultur, som indeholder metanotrofe bakterier - eventuelt fortyndet gylle.

Aktuelt er viden om effekten af naturlige og syntetiske flydelag begrænset, og der er således et videns- og udviklingsbehov.

### Materialer til overdækning af gyllelagre

Ifølge Mikkelsen & Albrektsen (2020) var der i 2018 i alt 3660 aktive gyllelagre med overdækning, svarende til 18% af alle benyttede lagertanke. Tre ud af fire overdækkede gyllelagre havde en telt-overdækning, og de øvrige betonlåg. Begge løsninger er ganske tætsluttende, se Figur 3, og derfor er det sandsynligt, at en teknisk løsning med kontrolleret ventilation vil kunne bygge på eksisterende løsninger til overdækning.

Der vil være behov for adgang til lageret med henblik på etablering eller udbedring af flydelag, hvilket ikke i dag er nødvendigt, eftersom der i dag ikke er krav om flydelag ved fast overdækning.



Figur 3. Eksisterende metoder til overdækning af gyllelagre, teltoverdækning og betonlåg.

### **Hvad forestilles det at kræve at opretholde de forhold der skal være til stede for at sikre en reducerende effekt på drivhusgasser, inkl. fx arbejdstid, materialer mv.?**

Den konceptuelle løsning, som skitseres i næste afsnit, bygger på en teknisk installation, der som udgangspunkt ikke involverer noget væsentligt tidsforbrug i lagringsperioden. Derimod kan der blive et ekstra tidsforbrug i forbindelse med etablering af flydelag, og ved påfyldning eller tømning af et lager; hvis dette skal ske uden at opbryde et eksisterende naturligt flydelag, kan det betyde langsommere arbejdsgange. Hvis der er tale om et syntetisk flydelag, kan der være andre tekniske udfordringer ved påfyldning og tømning. Disse udfordringer kan en fremtidig udvikling af tekniske løsninger til stabilisering af flydelaget formentlig afhjælpe.

### **Hvad er kravene til ventilation af gyllebeholdere, såfremt igangværende forskning bekræfter det tekniske potentiale for drivhusgasreduktion gennem metan-oxidation i flydelag?**

Som beskrevet ovenfor, kan metanoxidation fremmes ved at sikre et miljø med overskud af ilt og metan, og med lave koncentrationer af mineralsk kvælstof.

Overskud af ilt og metan til flydelaget kræver 1) ventilation, som styres på grundlag af ilt- og metan-koncentrationer i afkast-luften, og 2) kontinuert opblanding af luften under overdækningen (headspace) for at sikre stabile randbetingelser ved flydelagets overflade. En sådan teknisk løsning er udviklet ved AU (samarbejde mellem Institut for Agroøkologi og Institut for Ingeniørvidenskab) som led i et klimaforskningsprojekt. Ventilationsfirmaet SKOV har bidraget med udvikling af en styringsenhed, der kontrollerer ventilation på grundlag af metan- og iltmålinger efter styringsprincipper, som AU har defineret på baggrund af kendskabet til den underliggende mikrobiologi. Yderligere optimering forventes at ske i forbindelse med anvendelsen.

Med henblik på afprøvning i pilotskala blev der i efteråret 2020 importeret et seks mdr. gammelt flydelag fra en gyllebeholder ved Kvægbrugets Forsøgscenter (Figur 4 t.v.) til to gyllelagre med kvæggylle. Der er efterfølgende etableret en styring med sensorer til overvågning af temperaturer i luft og gylle, relativ luftfugtighed, og koncentrationer af ilt og metan (Figur 4 t.h.). Desuden registreres position af spjæld og ydelse af ventilator. Opstillingen omfatter to lagre, hvoraf den ene fungerer som reference og ventileres med en høj rate svarende til en åben beholder (dvs. med en koncentration af metan, som kun er lidt større end baggrundsluftens). Den anden beholder reguleres efter principper, som løbende skal minimere udledningen af metan.

Den tekniske løsning er næsten på plads, men med de lave temperaturer og en delvist omsat kvæggylle vil det først være muligt at indlede forsøg til dokumentation af effekten fra foråret 2021. Her vil udskiftning af kvæggyllen uden af destruere flydelaget blive afprøvet.

Blandt tekniske udfordringer er valg af metan-sensor. I det metanoxidation reagerer positivt på koncentrationer op til 1-2% metan i atmosfæren, er der brug for en sensor, der kan måle metankoncentrationen i dette område. Der findes robuste metansensorer til industrielle formål, som kan måle i dette område. Skal effekten af metanreduktion dokumenteres, kræver det dog også dokumentation af den indgående ventilationslufts metanindhold. Det er udenfor måleområdet for den type metansensorer, som anvendes i det høje koncentrationsområde, og i stedet er der behov for at anvende en målemetode, som normalt anvendes til forskningsformål, dvs. gas-chromatografi eller laser-spektroskopi. Det er ikke en realistisk mulighed på bedriftsniveau, da disse måleteknikker kræver løbende tilsyn og vedligeholdelse af specialuddannet personale.

Eftersom den forventede forskel på ind- og udgående luft forventes at være en faktor 100-1000, er dette primært en problemstilling, som har betydning ved kvantificering af metanreduktionen med denne teknologi. Hvis målet blot er at dokumentere metanemissionen fra en individuel lagertank, kan løbende dokumentation af metanindholdet i afkastluften være tilstrækkelig, og dokumentation af baggrundsluftens metanindhold kan ske efter andre kriterier, såsom stikprøvekontrol eller et regelmæssigt tilsyn med målinger på stedet.

Ventilationsløsningen, som indgår i forsøgsopstillingen, omfatter en radialventilator af plast. En tilsvarende ventilator har været anvendt ved pilotlagrene siden 2007, og har vist sig robust. Der anvendes standard-ventilationsrør svarende til de komponenter, som har været anvendt til pilotlagrenes ventilationsløsning. Her kan det dog ikke udelukkes, at et meget lavere ventilationsflow og potentielt højere koncentrationer af ammoniak har større korrosiv virkning på ventilationsrør. Endelig bygger ventilationskontrollen på en volumenstrømsmåler, der anvender ultralyd til måling af luftflowet. Også her er der tale om en standardkomponent.

I forsøgene vil emissioner af metan, såvel som lattergas og ammoniak, blive kvantificeret fra både reference-behandling og behandling med ventilationskontrol. Målsætningen for forsøg i 2021 er en afklaring af, om metanemissionen fra gylle kan reduceres under semi-realistiske lagringsforhold gennem stimulation af mikrobiel metanoxidation.



Figur 4. Import af intakt flydelag fra fuldskala-gyllelager (t.v.), og installation af separat ventilation på pilotskala-gyllebeholdere (dybde: 2 m) (t.h., de to nærmeste beholdere).

## Afsluttende bemærkninger

Der er her beskrevet et virkemiddel, som er identificeret på baggrund af viden om aerob metanoxidation i flydelagsmaterialer, herunder forekomst, biologi og kinetik, som er indsamlet over en længere årrække. Denne viden indikerer, at det vil være muligt at stimulere metanoxidaionsaktivitet i gyllelagres flydelag. Et igangværende projekt vil for første gang afprøve en teknisk løsning under betingelser, som vil kunne integreres i eksisterende gyllelagre.

Det er tænkeligt, at der er grundlag for optimering af processen gennem udvikling af metoder til stabilisering af flydelag, eller anvendelse af syntetiske membraner. Med hensyn til omkostningseffektivitet og tidsramme for implementering, vil en løsning på basis af kendt teknologi og naturligt flydelag dog indebære fordele.

Der arbejdes med alternative løsninger til fjernelse af metan fra gylle andre steder i verden, herunder Canada og Holland (Melse & Van der Werf, 2005; Huang et al., 2011), hvor princippet er baseret på aktiv ventilation gennem en filtermatrice, som kan være nedgravet. Her synes udfordringen at være identifikation af procesparametre som opholdstid, forsyningen med vand og næringsstoffer. Aktiv ventilation vil ofte udtørre det miljø, hvor de metanoxiderende bakterier lever. Mulige fordele ved den tekniske løsning, som nu skal afprøves ved AU, er dels, at den kan etableres i tilknytning til eksisterende lagre, og dels af den ikke opererer med prædefinerede procesparametre, men med løbende optimering af metanoxidaionsaktiviteten på grundlag af den beregnede metanemission, hvilket minimerer risikoen for udtørring.

Et sidste perspektiv ved den tekniske løsning beskrevet her er, at den ikke involverer additiver. Virkemidlet vil dermed være til rådighed også for økologiske bedrifter, såfremt afprøvningerne bekræfter et potentiale for at øge metanoxidation i flydelag.

## Litteratur

- Ambus, P. & Petersen, S.O., 2005. Oxidation of <sup>13</sup>C-labeled methane in surface crusts of pig- and cattle slurry. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 41, 125-133.
- Baral, K. R., Jégo, G., Amon, B., Bol, R., Chantigny, M. H., Olesen, J. E., & Petersen, S. O., 2018. Greenhouse gas emissions during storage of manure and digestates: Key role of methane for prediction and mitigation. *Agricultural Systems*, 166, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.07.009>
- Duan, Y.-F., Elsgaard, L. & Petersen, S. O., 2013. Inhibition of methane oxidation in slurry surface crust by inorganic nitrogen: an incubation study. *Journal of Environmental Quality* 42, 507-515. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0230>
- Duan, Y.-F. K., Abu Al-Soud, W., Brejnrod, A.D., Sørensen, S.J., Elsgaard, L., Petersen, S. O., & Boon, N., 2014. Methanotrophs, methanogens, and microbial community structure in livestock slurry surface crusts. *Journal of Applied Microbiology* 117, 1066-1078. <https://doi.org/10.1111/jam.12584>
- Duan, Y.-F., Reinsch, S., Ambus, P., Elsgaard, L. & Petersen, S. O., 2017. Activity of Type I methanotrophs dominates under high methane concentration: Methanotrophic activity in slurry surface crusts as influenced by methane, oxygen, and inorganic nitrogen. *Journal of Environmental Quality* 46, 767-775. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.02.0047>
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol 4. Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES, Hayama, Kanagawa, Japan

- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC, Switzerland.
- Le Mer, J. & Roger, P., 2001 Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology* 37:25-50.
- Melse, W.R., Van der Werf, W.A., 2005. Biofiltration for mitigation of methane emission from animal husbandry. *Environmental Science and Technology* 39, 5460–5468.
- Mikkelsen, M.H. & Albrektsen, R., 2020. Forbedring af datagrundlaget for opgørelse af ammoniak-emissionen fra landbruget. Notat af 29. januar 2020. DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 26 pp.
- Miljøstyrelsen, 2005. Miljøtilsyn 2003-2004. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 8.
- Miner, J.R., Humenik, F.J., Rice, J.M., Rashash, D.M.C., Williams, C.M., Robarge, W. et al., 2003. Evaluation of a permeable, 5 cm thick, polyethylene foam lagoon cover. *Trans ASAE* 46, 1421–1426.
- Nielsen, D.A., Schramm, A., Nielsen, L.P. & Revsbech, N.P., 2013. Seasonal methane oxidation potential in manure crusts. *Applied and Environmental Microbiology* 79, 407-410.
- 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., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L. & 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 from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 372. <http://dce2.au.dk/pub/SR372.pdf>
- Petersen, S.O. & Ambus, P., 2006 Methane oxidation in pig and cattle slurry storages, and effects of surface crust moisture and methane availability. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 1-11.
- Petersen, S.O. & Miller, D.N., 2006. Perspective. Greenhouse gas mitigation by covers on livestock slurry tanks and lagoons? *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, 1407-1411. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2543>
- Petersen, S.O., Dorno, N., Lindholst, S., Feilberg, A., & Eriksen, J., 2013. Emissions of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> and odorants from pig slurry during winter and summer storage. 95, 103-113.
- Petersen, S.O., Amon, B. & Gattinger, A. 2005. Methane oxidation in slurry storage surface crusts. *Journal of Environmental Quality* 34, 455-461.
- Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, J.E., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H.A., Huber-Humer M. & Spokas, K., 2009. Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions. *Waste Management & Research* 27, 409-455.



## Staldforsuring i nye og eksisterende anlæg

*Af seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi*

*Fagfællebedømmer: seniorforsker Anders Peter Adamsen, institut for Bio- og Kemiteknologi*

### Indledning

Efterfølgende beskrivelse af teknologien er fra teknologiblade om Svovlsyreforsuring af gylle i svine-stalde, udkast 3. feb. 2020.

Tilsætning af stærk syre til svinegylle bevirker, at gyllens pH-værdi falder, hvorved gyllens opløste indhold af ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) omdannes til ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Sidstnævnte er en positiv ladet ion som let opløses i vand, hvorimod ammoniak er en gas med lav opløselighed i vand og som derved let afgasses.

Der findes pt. to fabrikater af forsøringsanlæg i danske svinestalde, henholdsvis INFARMS "NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Staldforsuring" og JH Agros "JH forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup>", der begge ejes af JH Agro A/S. De to fabrikater fungerer principielt ens, hvorfor der ikke er grund til at tillægge dem forskellige effekt. Det er dog pt. kun JH forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, der forhandles, idet INFARM ikke længere markedsføres, men eksisterende anlæg serviceres af JH AGRO A/S.

JH Agros forsøringsanlæg "JH forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup>" virker ved, at alt gyllen i stalden dagligt føres ud til en ekstern procestank, hvor gyllen under omrøring tilsættes syre til en pH-værdi på 5,5. Der anvendes 93-96 % koncentreret svovlsyre. Efter forsuring pumpes en del af gyllen tilbage i stalden, så der er en gyllehøjde på ca. 20 cm i gyllekummerne. Overskydende gylle pumpes til lagertank. Tømning og fyldning af gyllekummerne og procestanken foregår via et ventilarrangement, der er plc-styret (dvs. computerstyret). Ifølge JH Agro, den eneste producent i Danmark, kan forsøringsanlægget behandle gyllen fra 800 – 1500 m<sup>2</sup> gyllekumme per ventil. Procestanken dimensioneres efter den maksimale mængde gylle, der kontrolleres af en given ventil.

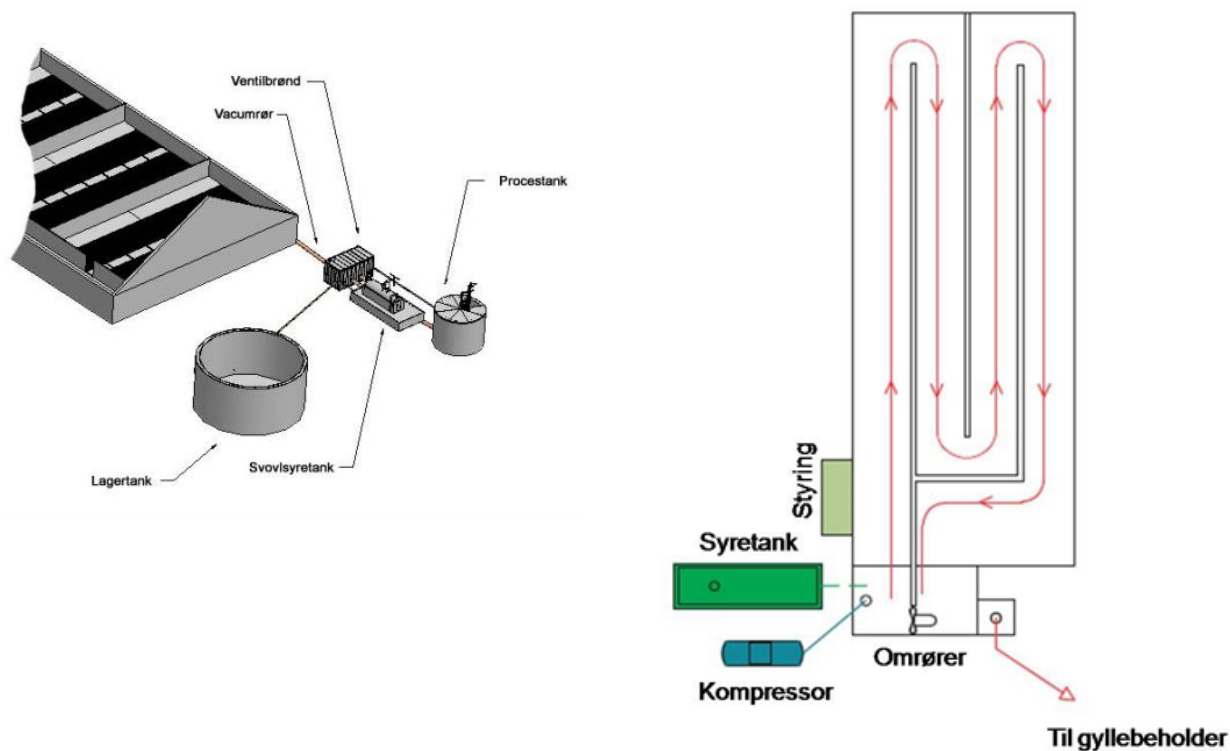
Der anvendes 10 – 13 kg syre per ton svinegylle afhængig af tørstofindhold mv. (Riis, 2016; Riis og Jonassen, 2018). Det er undersøgt, om man kunne nøjes med at forsure to gange om ugen. Det medførte ikke et lavere syreforbrug, men til gengæld faldt reduktionseffektiviteten for ammoniak fra 62 % til 38 % (Riis & Jonassen, 2018).

I kvægstalde kan gylleforsuring anvendes i sengebåsestalde, der i køernes motions-/gangarealer har spaltegulv med underliggende gyllekanaler. Gyllekanalerne er opbygget med ringkanalsystem eller med bagskylsanlæg. Der formodes at være langt flere ringkanalstalde end stalde med bagskylsanlæg.

Bagskylsanlæg er opbygget, så der fra fortanken kan returpumpes gylle ind i den ene ende af gyllekanalen samtidig med, at gyllen i modsatte ende af gyllekanalen løber ud i fortanken. Forsøringsanlæg til stalde med bagskylsanlæg er principielt opbygget på samme måde som svinestalde.

Ved ringkanalsystemet er gyllekanalerne i stalden forbundne med en omrørebrønd udenfor stalden. En pumpe i omrørebrønden bevirker, at gyllen i stalden dagligt omrøres. Der kan dog stadig være døde områder i bl.a. hjørner af gyllekanalerne og ved mellemgange i stalden, hvor gyllen ikke sættes i bevægelse og derved reelt ikke omrøres. Ligeledes kan der opstå problemer med bundfald, når gyllen efter passage gennem smalle tværkanaler ledes over i brede langsgående kanaler, med deraf følgende reduktion i flowhastigheden. Ved gylleforsuring kobles forsøringsanlægget direkte til omrørebrønden, og fungerer derfor som et gennemløbsanlæg med kontinuerlig

forsuring i modsætning til svinestalde, hvor en vis portion gylle behandles ad gangen. Forsuringsanlæg i ringkanalstalde kræver derfor ingen særlig proces tank, som det er tilfældet med svinestalde. Syreforbruget er i en test i fire kvægstalde opgjort til mellem 5,4 og 6,3 kg/ton – dvs. noget lavere end i svinestalde (Andersen, 2013).



Figur 5. Skitse af forsuringsanlæg. T.v.: svinestald. T.h.: kvægstald med ringkanalsystem.

## Effekt af staldforsuring på drivhusgasser

Forsøg med staldforsuring i slagtesvinestalde har vist en reduktion af udledning af metan fra stalden med 50-60% (Petersen et al., 2016; Holm, 2016). Forsøg i pilot-skala gyllebeholdere har vist en reduktion af udledning af metan med ~99% ved staldforsuret gylle lagret over 83 dage (Petersen et al., 2014). Et laboratorieforsøg har vist, at udledning af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var op til 87 % lavere end fra den ubehandlede kontrolgylle ved lagring over 95 dage (Petersen et al., 2012). Forsøgene peger således på en reduktion af udledning af metan ved staldforsuring, både i stald og under lagring af gylle, idet det dog er vanskeligt at angive en størrelsesorden med sikkerhed.

## I hvilke specifikke staldsystemer kan der installeres staldforsuringsanlæg på eksisterende bedrifter?

I kvægstalde med ringkanalsanlæg er der installeret forsuringsanlæg på eksisterende bedrifter, idet forsuringsanlægget kan placeres ved en udvendig omrøringsbrønd. Det kræver ikke ombygning af stalde eller lignende.



Eksisterende kvægstalde med bagskyl bør også kunne etablere forsøringsanlæg uden større omkostninger sammenlignet med implementering i nye stalde, men det skal sikres, at svovlbrinten er afgasset, inden den forsurede gylle pumpes tilbage i stalden.

I svinestalde kan der også monteres staldforsøringsanlæg i eksisterende stalde, men det kræver en ombygning, idet der skal laves rørføringer, der kan lede den forsurede gylle tilbage til de enkelte sektioner. Der er en markant størrelsesøkonomi i forsøringsanlæg, så jo større stalde, jo bedre. For beregninger af økonomien, henvises til teknologiblade om svovlsyreforsuring af gylle (Miljøministeriet, 2010). Teknologibladet er under opdatering.

I nye stalde vil de nødvendige rørføringer kunne laves i forbindelse med etablering af forsøringsanlæg, hvilket vil reducere omkostningerne.

## Referencer

Andersen, M. (2013): JH-FORSURING NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Jørgen Hyldgård Staldservice A/S Test report version 1-5. AgroTech A/S. 55 p.

Holm, M. (2016): Daglig udslusning af gylle. Notat udarbejdet i forbindelse med GUDP-netværksprojektet "Månegrissen. Partnerskab om fremtidens bæredygtige og effektive svinestalde".

Pedersen, P. & Albrechtsen, K. (2012): JH forsøringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 932, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning, 23 pp.

Petersen, S.O., Højberg, O., Poulsen, M., Schwab, C & Eriksen, J. (2014): Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. J. Appl. Microbiology 117, 160-172.

Riis, A.L. (2016): Effekt af JH forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i slagtesvinestalde med drænet gulv. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning, meddelelse nr. 1078, 22 p.

Riis, A.L. & Jonassen, K.E.N. (2018): Test af forsøringshyppighed i svinestalde. SEGES Svineproduktion, Meddelelse nr. 1130, 12 p.

## Lagerforsuring af gylle i lagertanke

AU udfører pt. en projekt om "Landtidsforsuring i lager", hvor der tilsættes svovlsyre kort tid efter tømning af gylletanke. I afrapportering af dette projekt vil spørgsmål om anvendelsesmuligheder og effekter blive forsøgt besvaret.