

Minimering af klimapåvirkning fra lagret husdyrgødning

Udledning af metan fra lagring af husdyrgødning bidrager betydeligt til landbrugets klimapåvirkning. For at imødegå dette er der behov for effektive virkemidler, der kan realiseres på kort sigt som en del af en overordnet indsats rettet mod en markant lavere samlet udledning af metan. I artiklen gives eksempler på aktuel forskning, der bidrager til denne ambition.

ANDERS FEILBERG, FREDERIK RASK
DALBY, JESPER NØRLEM KAMP,
SØREN O. PETERSEN &
ANDERS PETER S. ADAMSEN

Husdyrgødningens betydning og hovedkilder

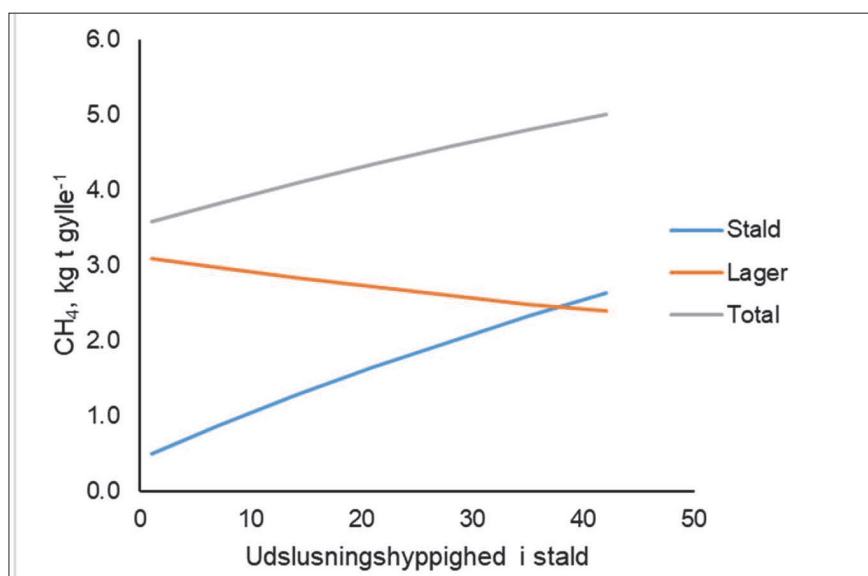
Husdyrgødning fra animalsk fødevareproduktion udgør en betydelig kilde til landbrugets samlede drivhusgas-udledning. En væsentlig del af udledningerne skyldes, at udskilt fæces og urin opsamles og lagres som gylle både indendørs i stalde og i udendørs lagertanke. Opsamling og lagring er en nødvendig del af den cirkulære udnyttelse af næringsstoffer, hvor gyllens gødningsværdi udnyttes til planteproduktion. Under lagringen produceres imidlertid metan under de iltfrie forhold i gyllen, hvor iltens indtrængning er ubetydelig. Metan dannes som et resultat af mikroorganismers nedbrydning af organisk materiale, der er til stede i rigelige mængder i husdyrgødningen.

I nylige rapporter fra bl.a. IPCC /1/ fremhæves betydningen af at reducere udledningen af metan. Dette hænger sammen med at metan er en såkaldt kortlivet drivhusgas med en atmosfærisk levetid på ca. 12 år som følge af en forholdsvis hurtig nedbrydning i atmosfæren. I øjeblikket overstiger udledningerne den atmosfæriske nedbrydning, hvilket øger kon-

centrationen af metan i atmosfæren. Der er derfor allerede på relativt kort sigt en betydelig gevinst ved at reducere udledningerne af metan for at stabilisere eller reducere koncentrationen af metan i atmosfæren. En sådan udvikling vil være et vigtigt bidrag til at nå Paris-aftalens ambitiøse mål om maksimalt 1,5 graders temperaturstigning i 2100.

Den samlede udledning af metan fra lagret husdyrgødning er opgjort til at udgøre ca. 20% af drivhusgasudledningen fra dansk landbrug, med et lidt højere bidrag fra svin (51%) end fra kvæg (47%) /2/. Metan-udledningen

fra gødnings håndtering (kvæg og svin) er opgjort til 2,4 mio. tons CO₂-ækvivalenter /2/. Til sammenligning svarer den enteriske metan-udledning fra kvæg og svin til 4,0 mio. tons CO₂-ækvivalenter /2/, og lagring af gylle udgør dermed 38% af den samlede metan-udledning fra kvæg- og svineproduktion. Udover metan er der et mindre drivhusgasbidrag fra dannelsen af lattergas under lagring, men de tilgængelige data /3/ tyder på, at lattergas bidrager med under 10% af den samlede belastning (beregnet som CO₂-ækvivalenter), og derfor giver det god mening at målrette indsatsen



Figur 1. Metan-emission som funktion af udslusningshyppighed (dage) i en svinestald med tilhørende lager. Kurverne er baseret på modelberegninger.

mod metan.

I de seneste få år har der været stigende fokus på at udvikle og dokumentere teknologier til at reducere udledningen af metan fra husdyrgødning som en del af vejen til et mindre klimabelastende landbrug. Virkemidler omfatter bl.a. gyllebehandling, optimeret gødningshåndtering og udnyttelse til biogasproduktion. Samtidig er der behov for robuste målemetoder til at opnå bedre dokumentation, og modeller til at estimere de specifikke udledninger under forskellige produktionsforhold.

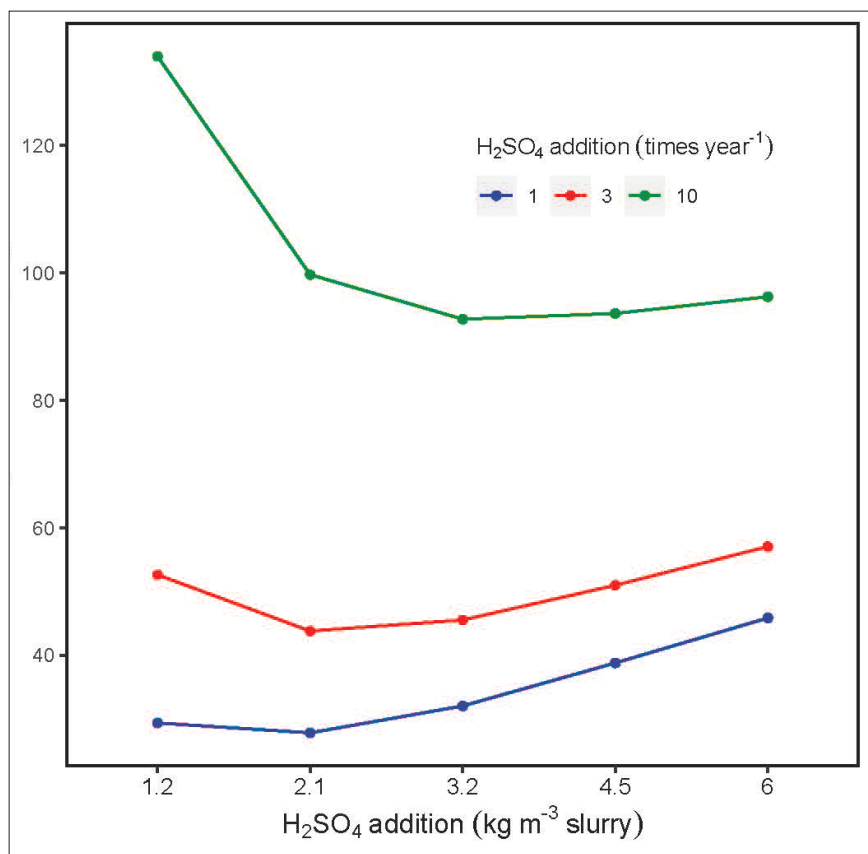
Overordnet strategi: hyppig udslusning og håndtering i lager

Gylle lagres i stalden i perioder fra dage til uger, hvorimod udendørs lagring sker over mange måneder fra gylletanken tømmes (typisk om foråret) og indtil næste gødningsudbringning, fx det efterfølgende år. De metan-producerende mikroorganismer vokser forholdsvis langsomt og kræver en vis temperatur for at kunne opbygge en væsentlig metanproduktion. Dette medfører, at udledningen af metan fra udendørs lagre fortrinsvis sker hen over sommeren og det tidlige efterår. Specielt for svinestalde er der en vis klimagevinst ved at reducere gyllens opholdstid i stalden. Med hyppig udslusning, fx hver 7. dag, opnås omtrent en halvering af udledningen fra stalden som følge af, at en større andel af det let-omsættelige kulstof overføres til lageret. Selv om metan-produktionen i lageret dermed øges, vil den lavere temperatur i lageret medføre, at den samlede metan-emission (fra stald og lager) bliver lavere. Figur 1 viser emissionen af metan som funktion af forskellige udslusningsfrekvenser (dage). For metan fra kvæggylle er der en mere ligelig fordeling mellem stald og lager, så for kvægstalde ændrer hyppig udslusning i sig selv ikke afgørende på metan-udledningen.

En overordnet strategi til at reducere klimaeffekten af husdyrgødningshåndtering er at kombinere hyppig udslusning med virkemidler til at reducere metan-emission før eller under lagring /4/. Jo hurtigere og mere effektivt det omsættelige kulstof eksporteres fra stalden, jo større bliver den potentielle klimagevinst ved denne strategi. I det følgende beskrives udvalgte tiltag, der kan bidrage til en høj samlet reduktion af metan-udledningen fra husdyrgødning.

Teknologiske løsninger

Effektive udslusningssystemer: I traditionelle staldsystemer er det ikke praktisk muligt at udsluse gylle oftere end ca. hver 7. dag. Der arbejdes derfor med at udvikle nye udslus-



Figur 2. Omkostning til lagerforsuring (per CO₂-besparelse) som funktion af syredosis ved hh. 1, 3 og 10 tilsætninger af syre /5/. (Gengivet med tilladelse fra forfatterne jf. copyright-aftale med American Chemical Society).

nings-systemer, hvor opholdstiden i stalden forkortes væsentligt. Dette kan bl.a. gøres med såkaldte gylletragte. Nye forsøg viser, at udledningen fra stalden isoleret set reduceres med 80-90 % med sådanne tragte, og hvis man samtidig kan eliminere metan-udledningen fra lageret med et passende virkemiddel, kan der opnås en meget høj klimagevinst. Udover tragte vil det også være muligt at opnå fx daglig udslusning ved at bruge såkaldte linespils-anlæg eller robotvaskere, der sikrer en effektiv tømning af gyllekummerne i stalden. Flere igangværende projekter har fokus på udvikling, optimering og dokumentation af nye udslusningssystemer.

Lagerforsuring: Hyppigt udsluset husdyrgødning, der opsamles i en lagertank, vil have et forholdsvis højt indhold af organisk kulstof, der kan omsættes til metan. Metan-produktionen hæmmes imidlertid kraftigt ved at tilsætte svovlsyre /5/. Forsøg i fuld skala har vist, at en enkelt forsuring kan minimere metan-udledningen i sommerperioden, hvor produktionen er størst. Samtidig vil forsuring reducere udledningen af ammoniak. Nye forsøg (figur 2) indikerer, at syremængden kan reduceres, hvis hovedformålet er at reducere metan-udledningen, og det vil i så fald være et omkostningseffektivt klimavirkemiddel /5/. Det sam-

lede potentiale ved at kombinere hyppig udslusning med lagerforsuring er betydeligt og vil kunne levere en positiv klimaeffekt på forholdsvis kort sigt.

Kontrolleret metan-oxidation i

flydelag: Under opbevaringen af gylle dannes ofte et naturligt flydelag af fibre og strøelse, eller et flydelag kan etableres/forstærkes ved iblanding af snittet halm. Hen over sommeren tørrer flydelaget delvist ud og bliver levested for mikroorganismer, der repræsenterer mange forskellige stofskiftetyper, herunder metan-oxiderende bakterier (metanotrofer). Metanotrofer har et potentiale for fjernelse af metan i flydelag gennem mikrobiel metan-oxidation, som er på niveau med vådområder og dækjorden over affaldsdepoter. Metan oxideres formentlig kun i begrænset omfang i en åben beholder, hvor metan primært udledes igennem sprækker i flydelaget og hurtigt fortyndes i atmosfæren. I overdækkede gyllelagre vil metan, som udledes, derimod have en længere opholdstid, og det kan stimulere metan-oxidationen. I øjeblikket undersøges en ny teknologi til at kontrollere luftskiftet med henblik på at optimere metan-oxidationen. Det sker i samarbejde med ventilationsfirmaet SKOV og vil i 2023 blive afprøvet i fuld skala.



Figur 3. Et af verdens største forsøgs-biogasanlæg (Aarhus Universitet, Foulum).

Fakkelaftænding af metan: Hvis en tilpas høj koncentration af metan akkumuleres under en gas-tæt overdækning, vil den producerede gas kunne brændes af i en gasfakkel. Teknikken er kendt fra bl.a. lossepladser. Aftænding af metan i fakler kræver videreudvikling af de eksisterende anlæg for at sikre en effektiv forbrænding og en lav udledning af kvælstofilte (NO_x). Fakkelaftænding er let at implementere, da teknologien (i) ikke kræver ombygninger i stalde, (ii) spiller fint sammen med gyllekøling eller hyppig udslus-

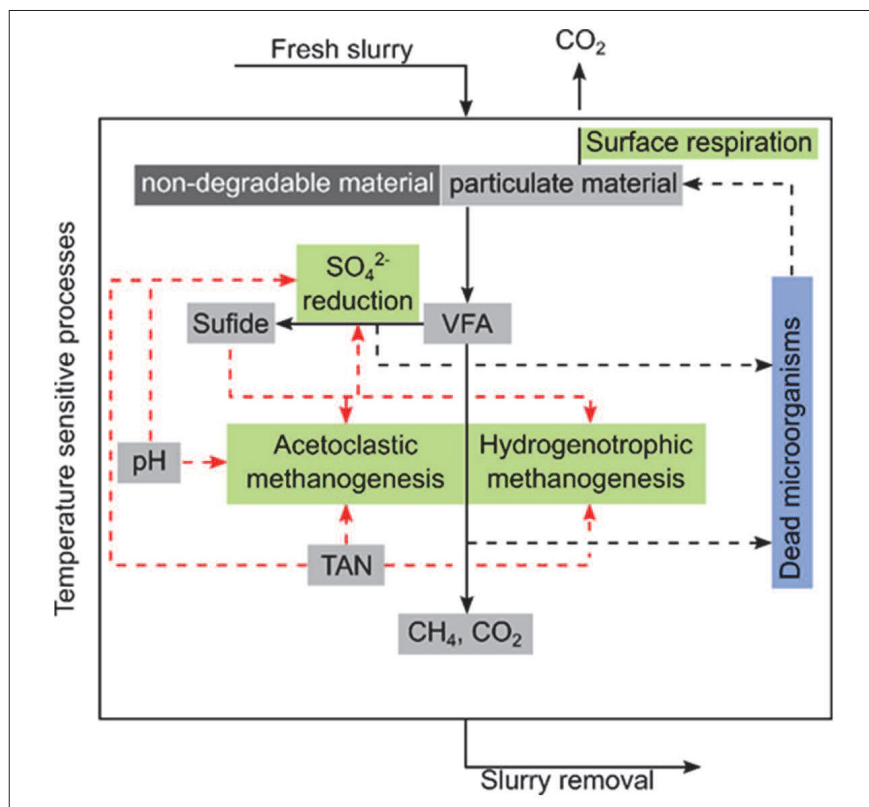
ning, og (iii) er let at kontrollere, da metanmængden kan måles før den ledes til faklen. Fakkelaftænding kan anvendes i tilfælde, hvor det ikke er muligt at udnytte metanproduktionen til biogas. I et nyt projekt finansieret af GUDP skal fakkelaftænding videreudvikles og dokumenteres.

Bioforgasning: Anvendelse af husdyrgødning til biogas er en effektiv teknologi til at reducere udledningen af metan under lagring af husdyrgødning samtidig med at den producerede metan kan erstatte fossile brændsler og

dermed reducere udledningerne af drivhusgasser yderligere /6/. I dag bliver ca. 25% af husdyrgødningen anvendt til biogas, og der er en forventning om en kraftig stigning i de kommende år på vejen mod at blive uafhængig af naturgas. I biogasanlægget omsættes typisk fra 40 til 60% af det organiske stof i husdyrgødningen, og det medfører, at der udledes væsentligt mindre metan ved den efterfølgende lagring, især hvis den afgassede gylle køles ned inden lagringen. De fleste biogasanlæg anvender i dag en blanding af husdyrgødning, halm og andre biprodukter fra samfundet, men det er især husdyrgødningen, der bidrager til at reducere metan-emission. Biogas kan med fordel kombineres med hyppig udslusning og transport til biogasanlæggene, hvorved der både opnås lavere emission fra stalden og et højere samlet energiudbytte i forhold til den producerede mængde husdyrgødning. For at opnå en høj klima-effekt af biogas er det imidlertid vigtigt, at metan-tab fra anlæggene minimeres, da selv små tab vil have stor negativ effekt.

Modeller til at forudsige emissioner

Der findes mange modeller til beregning af metan-emissioner med stor variation i kompleksitet afhængigt af kontekst og formål. I de nationale opgørelser over metan-udledning fra lagret husdyrgødning (primært gylle) estimeres udledningen grundlæggende ud fra tre parametre: udskilt organisk materiale i fæces og urin, som kan omsættes af metanproducerende bakterier (metanogener), opholdstid i stald eller lager, samt temperatur /2/. Temperaturen er afgørende for hvor hurtigt det organiske materiale nedbrydes. Samme principper bruges i IPCCs anbefalinger /7/ med mulighed for større eller mindre detaljegråd. Mere komplekse modeller (se figur 4) forsøger at inkludere potentialet for mikrobiel aktivitet ved fx at tage højde for, at metan-dannende organismer vokser langsomt /8/. Det har derfor betydning, at en rest af gylle med tilpassede metanogener (et såkaldt inokulum med høj metanogen aktivitet) efterlades i gyllekummer ved tømning. Modeller med en bedre beskrivelse af metanogen aktivitet bliver specielt vigtige til beskrivelse af metanemissionen ved strategier med hyppig udslusning af gylle eller andre tiltag, som inaktiverer eller fjerner inokulum. Årsagen er, at metanogener tilpasning og vækst da i højere grad bliver den begrænsende faktor for metanemissionen. I tilfælde hvor metanogen vækst ikke er begrænsende, er det nedbrydningen (hydrolysen) af organiske komponenter, der begrænser metanemissionen. Hastigheden for hydrolyse afhænger dels af gyllens sam-



Figur 4. Principskitse af ABM-modellen (Anaerobic Biodegradation Model), der er udviklet til at forudsige metanproduktion i lagret husdyrgødningen /8/. Modellen beskriver bl.a. hydrolyse og populationsdynamik under indflydelse af varierende temperatur.

mensætning, men også af tilgængeligheden af let-nedbrydelige komponenter, som igen afhænger af fodersammensætning og dyrenes fordøjelse.

Den store variation i metan-udledninger, der typisk rapporteres fra husdyrgødning, skyldes sandsynligvis forskelle med hensyn til balancen mellem de to begrænsende faktorer, metanogeneres vækst og aktivitet, og hydrolyse-hastigheden. Modeller, som tager begge processer i betragtning, har derfor størst chance for nøjagtigt at beskrive emissionens tidslige udvikling og dermed også metanemission på gårdniveau.

Referencer

- /1/ IPCC, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L., C.P. Connors, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R., and T.K.M. Matthews, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou, Editors. 2021, IPCC: Cambridge, United Kingdom. 10.1017/9781009157896.
- /2/ Nielsen, O.-K., M.S. Plejdrup, M. Winther, M. Nielsen, S. Gyldenkærne, M.H. Mikkelsen, R. Albrektsen, M. Thomsen, K. Hjelgaard, P. Fauser, H.G. Bruun, V.K. Johannsen, T. Nord-Larsen, L. Vesterdal, I. Stupak, N. Scott-Bentsen, E. Rasmussen, S.B. Petersen, L. Baunbæk, og M.G. Hansen, DENMARK'S NATIONAL INVENTORY REPORT 2022 Emission Inventories 1990-2020 – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol, in Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. 2022, Aarhus University: Aarhus. <https://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>.
- /3/ Kupper, T., C. Hani, A. Nefel, C. Kincaid, M. Buhler, B. Amon, og A. VanderZaag, Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2020. 300.
- /4/ Adamsen, A.P., M.J. Hansen, og H.B. Møller. Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion. 2021; Available from: https://pure.au.dk/portal/files/207749759/Metanproduktion_og_hyppig_udslusning_af_gylle_i_stalde_120121.pdf.
- /5/ Ma, C., F. Dalby, A. Feilberg, B.H. Jacobsen, og S.O. Petersen, Low-Dose Acidification as a Methane Mitigation Strategy for Manure Management. *ACS Agricultural Science and Technology*, 2022. 10.1021/acscagstech.2c00034.
- /6/ Møller, H.B., P. Sørensen, J.E. Olesen, S.O. Petersen, T. Nyord, og S.G. Sommer, Agricultural Biogas Production-Climate and Environmental Impacts. *Sustainability*, 2022. 14(3).
- /7/ IPCC, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, E. Calvo Buendia, Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S., Editor. 2019, IPCC: Switzerland.
- /8/ Dalby, F.R., S.D. Hafner, S.O. Petersen, A. Vanderzaag, J. Habtewold, K. Dunfield, M.H. Chantigny, og S.G. Sommer, A mechanistic model of methane emission from animal slurry with a focus on microbial groups. *Plos One*, 2021. 16(6).

ANDERS FEILBERG (af@bce.au.dk) er lektor på Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet (AU-BCE), FREDERIK RASK DALBY (fd@bce.au.dk) er post doc på AU-BCE, JESPER NØRLEM KAMP (jk@bce.au.dk) er post doc på AU-BCE, SØREN O. PETERSEN (sop@agro.au.dk) er professor på Institut for Agro-økologi, Aarhus Universitet, og ANDERS PETER S. ADAMSEN (apa@bce.au.dk) er seniorforsker på AU-BCE.