

# Muligheder for at begrænse metan fra drøvtyggere

Metan dannes som følge af fermentering primært i vommen, og en malkeko producerer cirka 700 liter hver dag. Kvægets emission af enterisk metan er den største enkeltkilde i landbruget. Emissionen kan imidlertid reduceres ved ændringer i fodringen som f.eks. brug af fedt, brug af foderadditiver, som hæmmer de metan-producerende mikroorganismer, og avl for køer, som har en lavere emission.

PETER LUND, OLE HØJBERG, CHRISTIAN F. BØRSTING, METTE OLAF NIELSEN, TRINE VILLUMSEN & MARTIN R. WEISBJERG



## Indledning

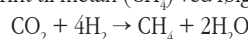
En højtstående malkeko producerer dagligt cirka 700 liter metan, og den udskilte metan er dels spild af energi for dyret og desuden et velkendt problem for klimaet. Emission af metan fra mavetarmsystemet (kaldet enterisk metan) fra kvæg udgør således omkring en tredjedel af udledningen af de direkte landbrugsmæssige drivhusgasser (metan og lattergas) i Danmark, og er dermed den klart største enkeltkilde i landbruget.

## Hvorfor producerer koen metan?

Drøvtyggere (kvæg) er i langt højere grad end enmavede dyr (grise) afhængige af mikroorganismer i mavetarmkanalen for at omsætte og udnytte deres foder. Vommen fungerer således som en bioreaktor, hvor mikroorganismene nedbryder svært tilgængelige, strukturelle kulhydrater (fibre) og mere let nedbrydelig stivelse til mindre sukkerenheder, der efterfølgende forgæres til organiske syrer – især eddikesyre, propionsyre og smørsyre. Disse kortkædede fedtsyrer optages så over vomvæggen og indgår i koens stofskifte.

Ved forgæringsprocesserne dannes der også kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og brint (H<sub>2</sub>). Med udgangspunkt i glukose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), kan følgende forgæringsligninger opskrives:

Ved dannelsen af propionsyre forbruges brint, mens der ved dannelsen af eddikesyre og smørsyre dannes både kuldioxid og brint. Hvis den dannede brint ophobes i vommen kan den, pga. termodynamiske forhold, hæmme visse forgæringsprocesser og dermed koens foderudnyttelse. En særlig gruppe bakterielignende mikroorganismer, såkaldte metandannende arkæer eller blot metanogener, kan imidlertid omdanne kuldioxid og brint til metan (CH<sub>4</sub>) ved følgende proces:



I modsætning til brint påvirker den dannede metan ikke processerne i vommen. Men den kan heller ikke omsættes og udskilles derfor gennem munden via opræbning eller udånding, mens en mindre del af det metan, der dannes ved forgæring i blind- og tyktarm, udskilles via anus. Den succesfulde symbiose mellem koen og forskellige typer af mikroorganismer, som igennem evolutionen har udviklet sig i vommen, har været til gavn for koen i forhold til at kunne udnytte svært nedbrydelige kulhydrater.

## Hvordan måler man emission af metan?

Når en række fodermidler eller foderadditiver skal evalueres for deres potentielle metan-reducerende effekt, vil dette ofte først ske i

laboratorieforsøg (in vitro), inden de afprøves i dyreforsøg (in vivo). I laboratorieforsøg efterlignes omsætningen i koens vom. Dette gøres ved, at en given mængde foder inkuberes sammen med vomvæske, buffer og eventuelt foderadditiv under iltfrie forhold og ved 39 °C i små glasflasker. Mængden af produceret metan registreres løbende, og denne metode giver mulighed for screening af mange forskellige fodermidler eller foderadditiver på én gang.

Den daglige produktion af enterisk metan fra dyr måles typisk i såkaldte respirationskamre, som f.eks. er beskrevet detaljeret for mere end 100 år siden af Mølgaard & Andersen (1917) /1/. Metoden er baseret på, at koen opbindes i et lukket kammer, som i vores udgave er en stor kasse beklædt med transparente polycarbonatplader (figur 1). Ud fra koncentrationen af metan i indsugnings- og afgangsluft samt mængden af luft, som suges ud af respirationskammeret per tidsenhed, er det muligt løbende at beregne produktionen af enterisk metan fra det pågældende dyr. Dette system giver mulighed for måling af enterisk metan fra fermentering både i vommen og i blind- og tyktarmen, samt beregning af tidsserier for produktionen af metan f.eks. henover døgnnet. Denne målemetode giver samlet set mulighed for meget præcise målinger, om end på et lille antal dyr, og betegnes som "Golden standard" indenfor måling af



Figur 1. Malkekøer i respirationskamre på Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Aarhus Universitet.

emission hos husdyr.

Der er imidlertid ofte behov for måling på et betydeligt højere antal dyr, og til dette anvendes ofte et system kaldet GreenFeed. Det er en avanceret kraftfoderautomat, hvor koen tildeles en lille portion kraftfoder som lokkemad, og hvor mængden af produceret metan samtidig måles. Denne metode måler ikke produktionen af metan kontinuerligt som i respirationskamrene, men er afhængig af, at antallet af besøg er tilstrækkelig til, at målingerne af metan er repræsentative for et helt døgn emission. Metoden måler kun metan, udskilt gennem munden, og vil derfor svagt underestimere den samlede produktion af metan fra koens omsætningen af foderet.

Målinger på kvægbrug i forbindelse med avlsarbejde er en udfordring. Til dette formål er der derfor udviklet en særlig metode, som kan måle på tusindvis af dyr, om end med mindre præcision. Denne metode, kaldet sniffer-metoden, er baseret på måling af forholdet mellem koncentrationerne af metan og kuldioxid i koens udåndingsluft, når koen står i en malkerobot. Den udskilte mængde af metan beregnes derefter ud fra et estimat for koens produktion af kuldioxid, som estimeres ud fra koens energiindtag.

### Reduktion i enterisk metan via ændring i rationens sammensætning

Det er målet at sænke det samlede klimaaftryk fra mælkeproduktionen, så det er vigtigt ikke kun at reducere enterisk metanproduktion, men også at tage hensyn til klimaaftrykket ved produktionen af de fodermidler, der indgår i foderrationen, så man ikke taber på gyngerne, hvad man har vundet på karrusellerne.

#### Fedt

Fedtsyrer forgæres ikke i vommen, og ombytning af fermenterbart organisk stof som f.eks. stivelse eller fiber med fedt vil derfor direkte reducere produktionen af enterisk metan. Samtidig har fedt en inhiberende effekt på særligt de fibremedbrydende og metanpro-

ducerende mikroorganismer i vommen. Da fermentering af fiber hovedsageligt er koblet til produktionen af eddikesyre, vil denne hæmning medføre et fald i produktionen af brint og kuldioxid og dermed substrat for metanogenerne, jvf. ovenstående reaktionsligninger. På tværs af en række forsøg er det beregnet, at 20 g ekstra fedtsyrer pr. kg fodertørstof kan reducere produktionen af enterisk metan med ca. 8%. Om dette fedtniveau er økonomisk optimalt, afhænger af forholdet mellem prisen for tilskudsfeedt, mælk og i fremtiden også klimagasser. I Danmark anvendes bl.a. palmefedt og danskavlede rapskager. Klimaaftrykket af palmefedt er ca. det tredobbelte af rapskager, hvis klimaeffekten af regnskovsrydningen regnes ind. Ved brug af importeret palmefedt i stedet for danskavlede rapskager vil den nationale emission således reduceres væsentligt, mens den globale emission kun vil blive reduceret lidt eller evt. være uforandret, da reduktionen i produktionen af enterisk metan helt eller delvist modsvares af øgede emissioner ved dyrkning af palmefedt.

#### Grovfodertype

Som nævnt, hænger produktionen af enterisk metan bl.a. sammen med nedbrydning af foderets fibre i vommen. Hvis græs høstes på et tidligt udviklingsstrin og med et lavere indhold af fibre, så falder produktionen af enterisk metan pr. kg fodertørstof. Hvis græsensilage, som indeholder meget fiber, erstattes af majsensilage, som indeholder meget stivelse, så sker der en forskydning i forgæringsprocesserne i vommen, således at der produceres forholdsvis mere propionsyre og mindre eddikesyre, og dermed er der også mindre brint til rådighed for metanogenerne. Men når der også tages hensyn til at klimaaftrykket er lavere ved dyrkning af græs end majs, så bliver det samlede klimaaftryk nogenlunde det samme, omend det samlede klimaaftryk er meget afhængigt af udbytteforholdet mellem dyrkning af græs og majs.

### Forholdet mellem grovfoder og kraftfoder

En udskiftning af fiberrigt grovfoder med kraftfoder vil medføre, at produktionen af enterisk metan reduceres. Dette skyldes, at kraftfoder typisk indeholder mere fedt og stivelse end grovfoderet, hvorved forgæringsmønstret i vommen ændres mod en højere andel propionsyre og en mindre andel eddikesyre, hvilket jvf. ovenstående ligninger medfører mindre brint, som ellers ville indgå i dannelsen af metan. For at køerne kan opretholde deres normale drøvtygningsfunktion, er der dog grænser for, hvor høj kraftfoderets andel af rationen kan være.

### Reduktion i enterisk metan via brug af foderadditiver

#### 3-Nitrooxypropanol

3-Nitrooxypropanol (3-NOP) er et kemisk stof, som har vist sig effektivt til at reducere produktionen af enterisk metan med op til 30% hos malkekøer under danske forhold. Stoffet hæmmer et særligt enzymesystem, som kun findes i de metanogene mikroorganismer, og det vil derfor ikke hæmme de bakterier, der er ansvarlige for forgæringen i vommen. Stoffet er netop blevet godkendt i EU under navnet Bovaer og kan derfor nu tages i brug på konventionelle bedrifter, men det vil sandsynligvis ikke blive en accepteret mulighed i den økologiske produktion.

#### Nitrat

Nitrat er et andet kemisk stof, som kan reducere produktionen af enterisk metan. Her er den primære virkningsmekanisme imidlertid anderledes end for 3-NOP. Nitrat omsættes således af særlige bakterier i vommen til ammoniak ved en proces, hvor der forbruges brint, som dermed ikke er tilgængelig for de metanogene mikroorganismer. Den dannede ammoniak vil efterfølgende kunne indgå i den mikrobielle proteinsyntese i vommen. Brugen af nitrat kan føre til øget kvælstofudledning i gødningen hvis ikke rationens øvrige pro-

teinkilder reduceres tilsvarende. Desuden kan nitrat omdannes til nitrit, som potentielt kan hæmme hæmoglobins evne til transport af ilt i dyret. Vores forsøg tyder dog på, at denne bekymring er ubegrundet.

### Tang/makroalger

Der arbejdes forskellige steder i verden på at udvikle dyrkningssystemer til en tropisk makroalge ved navn *Asparagopsis*. Denne alge har i forsøg kunnet hæmme emissionen af metan fra vommen hos stude og får med op til 90%. Malkekøer er mere følsomme over for påvirkning af vommiljøet, og hos malkekøer har man ikke kunnet reducere emissionen af metan med mere end 30%, før det begyndte at give markant negative udslag på foderoptagelse og mælkeydelse. De bioaktive stoffer i *Asparagopsis*, der hæmmer dannelsen af metan i vommen, er såkaldte halometaner, som f.eks. bromoform og kloroform, som det ikke er specielt ønskværdigt at få ind i fødekæden. Det er imidlertid tilladt at anvende alger, herunder *Asparagopsis*, som foder til drøvtyggere i EU, og *Asparagopsis* er på nuværende tidspunkt reelt det eneste foderadditiv, bortset fra fedt, der vil kunne udnyttes i økologisk jordbrug til at reducere metan. Begrænsningen her og nu er at levere tilstrækkelige mængder til markedet. Dansk forskning har vist, at der findes andre arter af makroalger, der er naturligt forekommende, som kan dyrkes på vore breddegrader, og som har en vis metan-reducerende effekt, og som ikke indeholder førnævnte halometaner.

### Stof X

Danske foderstofvirksomheder arbejder på at få patenteret et stof, kaldet X, der har vist sig at kunne reducere aktiviteten af metanogenerne. Stof X virker sandsynligvis ved at blokere et nøgleenzym hos metanogenerne, der er nødvendigt for at danne metan ud fra kuldioxid og brint. Der er på nuværende tidspunkt udført tre intensive forsøg med malkekøer i

Danmark, og på den baggrund er det realistisk at forvente, at stof X vil kunne reducere emission af metan fra malkekøer med 30-40% uden at påvirke køernes mælkeydelse og foderoptagelse negativt. Der vil formodentligt gå et par år, før stoffet har været igennem den nødvendige godkendelsesproces. Der er dog stor optimisme i forhold til, at godkendelsen vil blive givet, da stoffet allerede er godkendt til brug i fødevarerindustrien, bare ikke som foderadditiv.

### Brint er en udfordring

En af udfordringerne ved flere af de meget potente metan-reducerende foderadditiver er, at reduktionen i metan er ledsaget af en markant øgning i produktionen af brint i vommen, og der forskes i, om dette har sammenhæng til de markante fald i foderoptagelse, som er set ved brug af flere af disse foderadditiver i høje koncentrationer. En hypotese er, at ophobningen af brint i vommen har en negativ effekt på den mikrobielle fermentering, som dermed går langsommere, hvorved også foderoptagelsen reduceres. En anden hypotese er baseret på, at metanogenerne omsætter 5 gasmolekyler (4 brint og 1 kuldioxid) til 1 gasmolekyle (metan), og når denne reaktion hæmmes, sker der rent volumenmæssigt en øget ophobning af gas i vommen, som måske kan være til gene for koen enten direkte fysisk eller fysiologisk via ændring i de fysiske og kemiske ligevægte i vommen.

### Variation mellem køer

Koens produktion af metan påvirkes af faktorer såsom foderindtag, mælkeydelse og vægt. Men selv når alle ovenstående parametre er ens for to køer, kan den ene ko godt producere f.eks. 620 liter metan om dagen, mens den anden producerer 670 liter metan om dagen. Forskelle i metanproduktion mellem tilsyneladende identiske køer kan bl.a. forklares af forskelle i køernes gener. Disse nedarvede egenskaber har bl.a. indflydelse på

vommens kapacitet og foderets opholdstid i vommen og dermed fordøjelsen i vommen, og hvorledes forskellige typer af mikroorganismer klarer sig i vommen. Flere studier bl.a. i Danmark har vist, at der er en arvbahed på omkring 0,2 for metanproduktion hos malkekvæg. Dette betyder, at 20 % af den variation, man ser mellem køer, skyldes forskelle i deres gener. Indtil nu er de fleste metanstudier foretaget på baggrund af Holstein racen, men der forventes en tilsvarende variation indenfor racerne Jersey og Rød Dansk Malke race, hvilket er ved at blive undersøgt i igangværende studier.

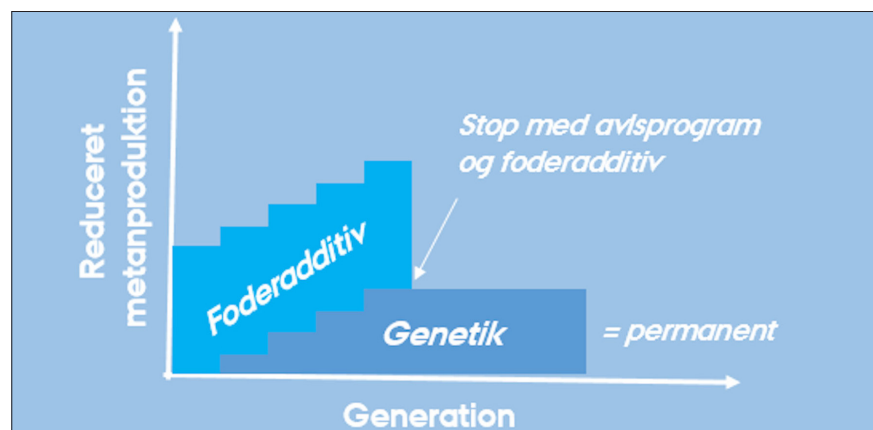
Med den betydelige arvbahed kunne det forventes, at der var en stor forskel mellem racer i metanproduktion. Imidlertid er der indtil nu ikke påvist betydelige forskelle mellem racer, men det er vist, at Holstein og Jersey reagerer forskelligt i metanproduktion, når man øger foderrationens kraftfoderandel betydeligt. Yderligere tyder det på, at der er forskel mellem køer indenfor den enkelte race i forhold til, hvordan køerne reagerer på en foderændring eller et foderadditiv til reduktion af metan. Der forskes for tiden i, hvorledes disse individuelle forskelle kan forklares og, hvorvidt de har ophav i koens genetik, vommikrobiom, eller andre træk, der skyldes nuværende management eller prægning i opvæksten.

Da produktionen af enterisk metan til dels er arvelig, betyder det, at man kan avle efter køer, der producerer mindre metan for hver kg mælk, de producerer. Hvor tilsætning af effektive foderadditiver giver en øjeblikkelig effekt på produktionen af enterisk metan, er avl efter køer, der producerer mindre metan, en langsommere proces. For hver generation rykkes blot et lille skridt mod mindre metan; til gengæld er effekten fra avl blivende selv, hvis man stopper med at avle efter mindre metan (figur 2)

### Referencer

/1/ Møllgaard, H. & A.C. Andersen (1917): Et pettenko-fersk respirationsapparat til forsøg med malkende kvæg. Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole Aarsskrift 1917, 195-307

Professor PETER LUND (Peter.Lund@anis.au.dk), Seniorforsker OLE HØJBERG (Ole.Hojberg@anis.au.dk), Seniorrådgiver CHRISTIAN F. BØRSTING (cfb@anis.au.dk), Professor METTE OLAF NIELSEN (mon@anis.au.dk), Professor MARTIN R. WEISBERG (Martin.Weisbjerg@anis.au.dk), Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU Viborg - Forskningscenter Foulum, Aarhus Universitet & seniorrådgiver TRINE VIL-LUMSEN (tmv@qgg.au.dk), Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning, AU Viborg - Forskningscenter Foulum, Aarhus Universitet



Figur 2. Effekt af brug af foderadditiv og avlsprogram til reduktion af enterisk metan hos malkekøer.