



BIOGASPRODUKTIONS KONSEKVENSER FOR DRIVHUSGASUDLEDNING I LANDBRUGET

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 197

2016



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

BIOGASPRODUKTIONS KONSEKVENSER FOR DRIVHUSGASUDLEDNING I LANDBRUGET

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 197

2016

Mette Hjorth Mikkelsen
Rikke Albrechtsen
Steen Gyldenkerne

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 197
Titel:	Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget
Forfattere:	Mette Hjorth Mikkelsen, Rikke Albrechtsen & Steen Gyldenkærne
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Oktober 2016
Redaktion afsluttet:	September 2016
Faglig kommentering:	Pia Frederiksen, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet
Finansiel støtte:	Energistyrelsen
Bedes citeret:	Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R. & Gyldenkærne, S. 2016. Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 41 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 197 http://dce2.au.dk/pub/SR197.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I rapporten beskrives grundlaget for beregning af den såkaldte MCF faktor (metan konversions faktor), som anvendes for at kunne beregnes metanemissionen fra husdyrgødning i den danske opgørelse for drivhusgasemissioner fra landbrugssektoren. Datagrundlaget for denne beregning er baseret på resultater fra en række projekter iværksat af Biogas Taskforce og på baggrund heraf har det været muligt at estimere en national MCF for kvæg- og svinegylle for henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle. Derudover indeholder rapporten vurderinger af ændringer i emissionerne som følge af gyllekøling og reduceret opholdstid for gyllen i stalden, der kan medvirke til at danne et fagligt grundlag for værdisætning af biogasproduktionens positive eksternaliteter
Emneord:	Biogas, landbrug, emission, metan, metan konversion faktor, gylle
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
Foto forside:	Colourbox.dk
ISBN:	978-87-7156-227-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	41
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR197.pdf

Indhold

Forord	5
1 Introduktion	6
2 Mængden af afgasset husdyrgødning i Danmark	8
2.1 Biogasproduktionen i Danmark	8
2.2 Mængden af kvæg- og svinegylle til biogasproduktion i den danske emissionsopgørelse 1990 - 2014	12
3 Resultat - nationale MCF værdier for gylle	14
3.1 MCF – en vigtig parameter i beregning af metanemissionen fra husdyrgødning	14
3.2 Hvordan beregnes de nationale MCF-værdier	14
3.3 National MCF anvendt i den danske emissionsopgørelse	15
4 Beregningsmetode for national MCF	18
4.1 Beregning af metanemission fra ubehandlet gylle og afgasset gylle	19
5 Dokumentation for national beregning af metanemission fra husdyrgødning	24
5.1 Indhold af VS, VSd og VSnd i husdyrgødningen og afgasset biomasse.	25
5.2 Parametriseringen af Arrhenius-funktionen	26
5.3 Forholdet mellem CH ₄ og CO ₂ i afgangsluften fra gylle	26
5.4 Den gennemsnitlige opholdstid i stalden (HRT, Hydraulic Retention Time)	27
5.5 Gylletemperaturen i stalden	27
5.6 Gylletemperaturen for udendørs lagret biomasse	28
5.7 Udbringningstidspunktet for husdyrgødning og afgasset biomasse	30
5.8 Samlet model	31
6 Beregning af metanreduktion ved biogasproduktion samt gyllekøling og reduceret opholdstid for gylle i stald	32
6.1 Beregning af metanemission per ton ubehandlet gylle	32
6.2 Beregning af metanreduktion per ton afgasset gylle i biogasanlæg	33
6.3 Køling af gyllen	34
6.4 Reduceret opholdstid af gyllen i stalden	35
6.5 Opsummering af reduktion i emission som følge af tiltag	36
7 Referencer	38

[Tom side]

Forord

Formålet med denne rapport er, at beregne og dokumentere en såkaldt MCF faktor (metan konversions faktor), som skal anvendes for at kunne inddrage effekterne af reduktion i metanemissionen som følge af afgang af gylle i biogasanlæg, i de årlige danske opgørelser af drivhusgasser. I rapporten gøres rede for resultaterne fra en række projekter, som er iværksat og finansieret af Biogas Taskforce med henblik på at kunne dokumentere beregningen af MCF.

Emissionen af metan fra husdyrgødning afhænger af den måde, gødningen håndteres på og af gødningens temperaturforhold. MCF er generelt en faktor, som definerer den andel af den bionedbrydelige del af husdyrgødningen, der omdannes, og dermed producerer metan. I den aktuelle sammenhæng er MCF således et udtryk for tabet af metan fra husdyrgødningen i stald og lager. Den er derfor en afgørende faktor, når metanemissionen fra husdyrgødning beregnes. Resultaterne fra projektet har gjort det muligt at beregne en national MCF for henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle i biogasanlæg, gældende for danske klima- og landbrugsforhold. De i projektet beregnede MCF vil blive implementeret i den danske emissionsopgørelse for landbrug.

Derudover bidrager rapporten til at kunne danne et fagligt grundlag for værdisætning af biogasproduktionens positive eksternaliteter (gevinster for miljøet). Rapporten kan samtidig også bruges af Energistyrelsen og andre interessenter i forbindelse med økonomiske og emissionsmæssige beregninger af mulige drivhusgasreduktioner i landbruget.

Det er på sin plads at takke de mange, der har været involveret i projektet, og derved har gjort det muligt at opnå et resultat, som kan anvendes i den danske emissionsopgørelse. Særlig tak til fagligt bidrag og sparring med Henrik B. Møller fra Institut for Ingeniørvidenskab på Aarhus Universitet, Søren O. Petersen fra Institut for Agroøkologi på Aarhus Universitet, Peter Kai fra Teknologisk Institut og Torkild Birkmose fra SEGES. En stor tak til Bodil Harder som formand for Biogas Taskforce og for rollen som effektiv tovholder for de mange delprojekter. Sidst en tak til Bruno Sander fra Brancheforening for Biogas, Pia Frederiksen, Vibeke Vestergaard Nielsen og Ole-Kenneth Nielsen fra DCE, som alle har bidraget til kritisk gennemlæsning af rapporten.

1 Introduktion

Opgørelsen af de danske drivhusemissioner baserer sig på IPCC Guidelines (IPCC, 2006). Dog er der heri ikke beskrevet nogen standardmetode til at medregne den reducerede emission af metan (CH_4) fra afgasset gylle. I IPCC Guidelines er biogasanlæg listet som et gødningsbehandlingssystem, og det fremgår ikke helt klart, hvordan emissionerne herfra skal beregnes metode-mæssigt. I Guidelines er angivet et interval for MCF på 0-100 %, hvilket ikke giver mening og er ligeledes angivet som en ligning, som er vanskelig at anvende i praktisk beregning. Det betyder, at de enkelte lande selv skal beregne en emissionsfaktor for afgasset husdyrgødning. Såfremt nationale data og beregningsmetode er til rådighed, anbefales brugen af disse, men der stilles samtidig krav til dokumentation af, at den anvendte metode lever op til de kvalitetskriterier, der er fastsat af UNFCCC og IPCC.

Danmark har hidtil 2014 indregnet en reduceret drivhusgasemission fra afgasset husdyrgødning, men beregningen var behæftet med stor usikkerhed både relateret til aktivitetsdata – dvs. kvantificeringen af den afgassede mængde gylle - og til beregningen af den mindre metanemission fra afgasset gylle. Beregning af metan fra afgasset gylle var baseret på resultater fra en enkelt dansk artikel med en modelberegning fra 2001 (Sommer et al., 2001). På baggrund af resultaterne fra projekter iværksat af Biogas Taskforce har det været muligt at udvikle en model for beregning af metanemissionen for afgasset gylle såvel som ubehandlet gylle for henholdsvis kvæg og svin. Dette har muliggjort beregningen af en national MCF, som afspejler de faktiske klima- og produktionsforhold, som gør sig gældende i Danmark.

Endvidere har projektet skabt adgang til data for hvor meget husdyrgødning og anden biomasse, der leveres til de danske biogasanlæg. Modellen omfatter alene gylle fra kvæg- og svineproduktionen, som udgør langt størstedelen (91 %) af den gylle, der leveres til biogasanlæggene. Til beregning af metanemissionen fra fast staldgødning og dybstrøelse anvendes IPCCs metoder (IPCC, 2006). Der er et fremadrettet behov for et tilsvarende arbejde for at kunne inddrage effekten af afgasset gylle fra øvrige husdyrarter og øvrige gødningstyper.

Rapporten er opbygget med følgende disposition:

Kap. 2 omfatter en generel beskrivelse af biogasproduktionen i Danmark og hvor meget husdyrgødning, der anvendes i biogasproduktionen, samt angivelse af hvor stor en andel den samlede mængde gylle, der leveres til afgang i biogasanlæggene 1990 – 2014.

Kap. 3 indeholder en præsentation af det endelige resultat fra biogasprojektet med angivelse af MCF anvendt i tidligere emissionsopgørelser sammenholdt med den i projektet beregnede nationale MCF for 2014. MCF varierer over årene som følge af ændringer i sammensætningen af staldtyper. Det skyldes, at MCF blandt andet afhænger af opholdstiden for gyllen i stalden og denne varierer fra staldtype til staldtype.

Kap. 4 indeholder en beskrivelse af, hvordan den nationale MCF for henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle er beregnet. MCF er beregnet for kvæggylle og svinegylle. Først beregnes den reelle metanemission fra stald

og lager på baggrund af en udviklet model, som afspejler de danske forhold for gyllens temperatur og gyllens opholdstid i stald og lager. På baggrund heraf beregnes den nationale MCF ved at anvende IPCC's ligning for beregning af metan fra husdyrgødning.

Kap. 5 indeholder en mere detaljeret gennemgang og dokumentation af de variable, der er anvendt i den model, der er udviklet til beregning af metanemissionen i stald og lager i Danmark.

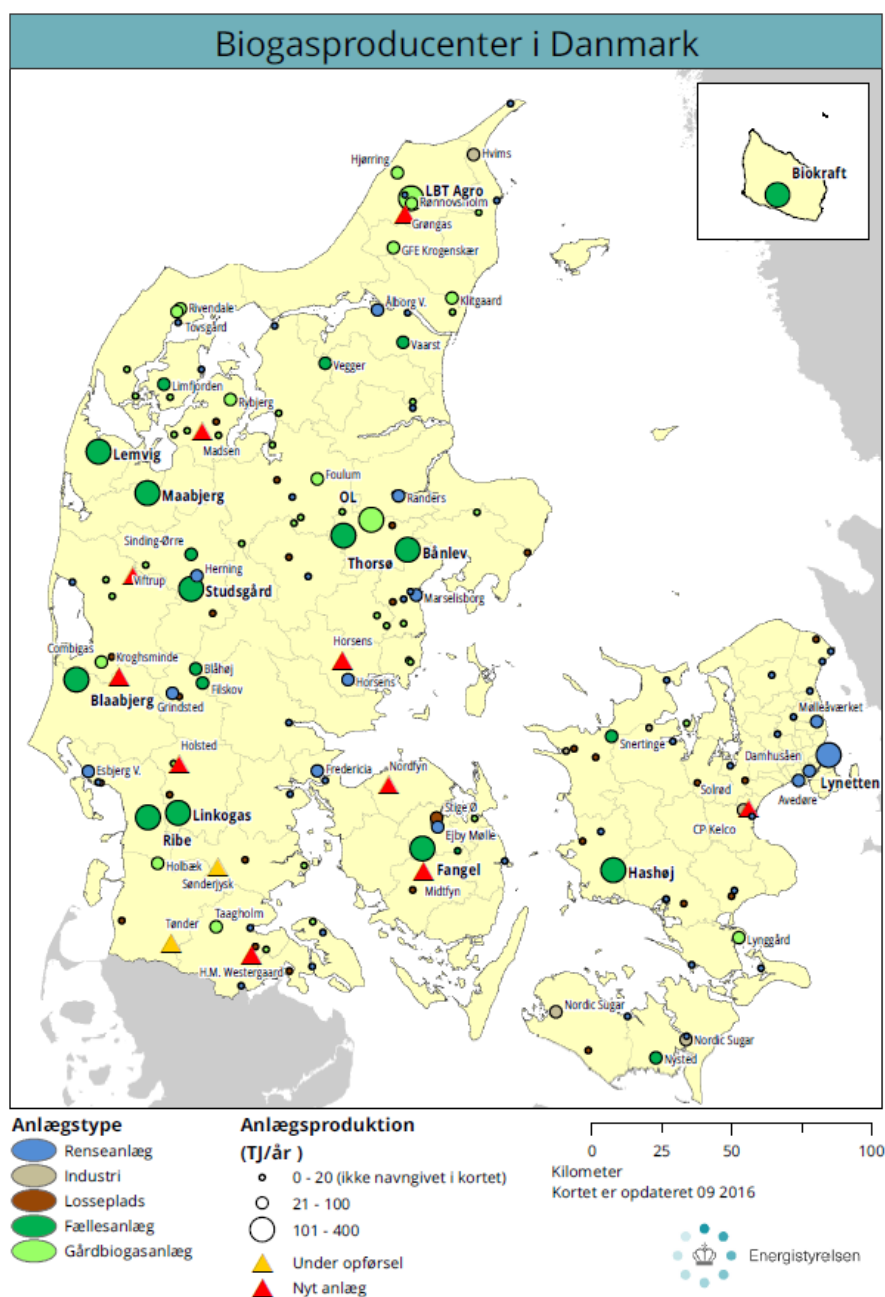
Kap. 6 indeholder nøgletal beregnet på baggrund af projektets resultater – f.eks. CO₂ reduktionen per tons gylle og per ton tørstof (TS), CO₂ reduktionen per PJ. Endvidere er der foretaget en vurdering af ændringer i metanemissionen som følge af en kortere opholdstid af gødningen i stalden samt effekt af en ændret temperatur af gyllen i stalden (gyllekøling).

2 Mængden af afgasset husdyrgødning i Danmark

I emissionsopgørelsen er der behov for viden om hvor stor en mængde gylle, der leveres til biogasanlæggene. Disse data indsamles ikke årligt, og derfor har mængden af afgasset gylle tidligere været baseret på biogasproduktionen opgjort i Energistatistikken og Energistyrelsens (ENS) kvalificerede skøn for hvor meget gylle, der skulle til for at producere den opnåede energiproduktion. Det har tidligere været forsøgt at underbygge Energistyrelsens skøn (Bioenergi, 2015; Birkmose et al., 2013; MST, 2014). Disse skøn er også præget af en stor usikkerhed. I forbindelse med projektarbejdet i Biogas Taskforce har ENS indsamlet data fra biogasanlæggenes rapportering for planåret 2014/2015. Disse giver for første gang en samlet oversigt over de reelle mængder, samt angivelse af hvilke typer af biomasse, der anvendes i biogasproduktionen. Resultaterne herfra bidrager derfor til et solidt fagligt funderet grundlag for udvikling af en model, som kan anvendes i emissionsopgørelsen.

2.1 Biogasproduktionen i Danmark

Den samlede energiproduktion (primær produktion) i Danmark i 2014 er af Energistyrelsen opgjort til 679.680 TJ (ENS, 2015a), hvoraf biogasproduktionen inklusive opgradering til naturnettet bidrager med 5.534 TJ, svarende til 0,8 % (ENS, 2015b). Biogasanlæggene kan opdeles i fem forskellige kategorier; renseanlæg, industri, losseplads og husdyrgødningsbaserede anlæg, som traditionelt har været opdelt i fællesbiogasanlæg og gårdbiogasanlæg. Energiproduktionen på de husdyrgødningsbaserede anlæg i 2014 stod for 73 % af den samlede biogasproduktion. Denne var produceret af 23 fællesanlæg og 48 gårdanlæg. Biogasproduktionen er i perioden 2011 – 2014 steget med 35 % og vil fortsat stige med opførsel af nye anlæg og udvidelse af eksisterende anlæg. Der bygges stadig større fællesanlæg, hvilket betyder, at den gennemsnitlige energiproduktion per fællesanlæg er steget fra 84 TJ i 2011 til 125 TJ i 2014.



Figur 2.1 Kort over eksisterende og planlagte biogasanlæg i Danmark udarbejdet af Energistyrelsen.

Energistyrelsen har på baggrund af indberetninger fra anlæggene samlet oplysninger om mængden af modtaget biomasse angivet i vådvægt, typen af biomasse og den samlede energiproduktion. Indberetningerne omfatter produktionsdata for planåret 2014/2015 svarende til landbrugets planlægningsår for anvendelse af gødning – dvs. fra 1. august 2014 til 31. juli 2015. Dette register er i det følgende angivet som BIB-registeret ("Biomasse I Biogasproduktion"). BIB-registeret omfatter indberetninger fra 93 ud af i alt 168 biogasanlæg, hvilket svarer til godt halvdelen af alle anlæg. Set i forhold til energiproduktion vurderer Energistyrelsen, at BIB-registeret udgør 78 % af den samlede produktion. Dertil er tillagt en energiproduktion fra de anlæg, der ikke er registreret i BIB-registeret, men som optræder i Energistatistikken (ENS, 2015b).

BIB-registret viser at biogasanlæggene i planår 2014/2015 modtog 7,9 mio. tons biomasse (vådvægt) og det fremgår ligeledes af BIB-registret, at den samlede energiproduktion er opgjort til 194,8 mio. Nm³ biogas. Ved omregning fra Nm³ til Joule, som er enheden, der anvendes i Energistatistikken, antages i denne beregning et metanindhold på 65 % og en nedre brændværdi for metan på 35,8 MJ per normal kubikmeter ved nul grader. Det resulterer i, at energiproduktionen for planår 2014/2015 på 194,8 mio. Nm³ biogas, svarer til 4.534 TJ.

Biogas er typisk sammensat af 55-70 % metan og 30-45 % kuldioxid og varierer afhængig af sammensætningen af biomassen, der anvendes i anlægget (Jørgensen, 2009). I faglitteraturen er et metanindhold på 65 % ofte anvendt som standardværdi. Seneste vurdering baseret på information fra Henrik Møller (2016), som arbejder med biogas på Institut for Ingeniørvidenskab på Aarhus Universitet indikerer, at metanindholdet i praksis vil være nærmere 62 % end 65 %. Såfremt metanindhold på 62 % anvendes i beregningen, vil det betyde en energiproduktion for planår 2015/2015 på 4 376 TJ svarende til 3 % lavere.

I tabel 2.1 er vist mængden af biomasse (angivet som vådvægt) leveret til biogasanlæg samt biogasproduktionen. Fællesbiogasanlæg og gårdanlæg modtager tilsammen 48 % af den samlede mængde biomasse, mens disse anlæg står for 79 % af den samlede biogasenergiproduktion.

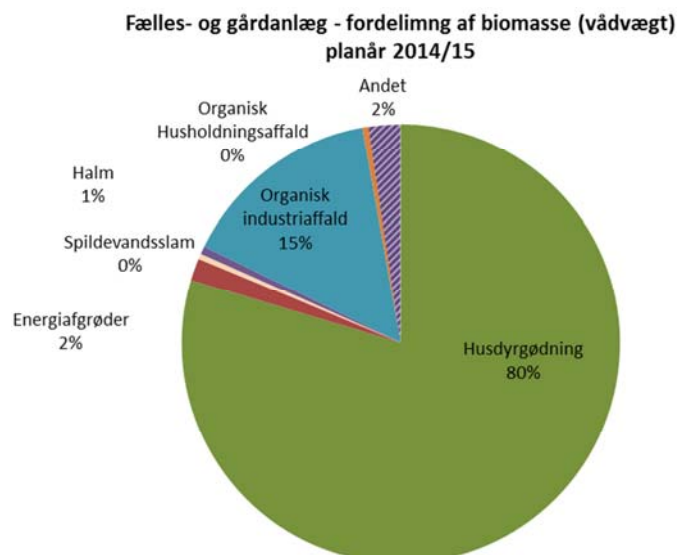
Tabel 2.1 Biomasse-input (vådvægt) og biogasproduktion, planåret 2014/2015.

Anlægstype	Biomasseinput, kt	%	Biogasproduktion, TJ*	%
Renseanlæg	2.277	29	714	16
Industri	1.871	24	151	3
Losseplads	-	-	70	2
Fællesanlæg	2.989	38	2.629	58
Gårdanlæg	761	10	971	21
Total	7.898	100	4.534	100

*Anvendt en brændværdi på 35,8 MJ/Nm³ og et metanindhold på 65 %

Stort set al husdyrgødning svarende til 99,6 % behandles på de husdyrgødningsbaserede anlæg, mens de resterende 0,4 % leveres til industrianlæg.

Figur 2.2 viser fordelingen af biomasse (vådvægt) leveret til fælles- og gårdanlæggene baseret på data fra BIB-registeret for planår 2014/2015. Her ses, at husdyrgødning udgør 80 % af det samlede biomasseinput til anlæggene. Organisk affald fra industrien udgør 15 %, mens de resterende 5 % af biomassen omfatter energiafgrøder, halm og afgrøderester fra planteproduktion. Biomasse fra spildevandsslam og organisk husholdningsaffald udgør mindre end 1 %.

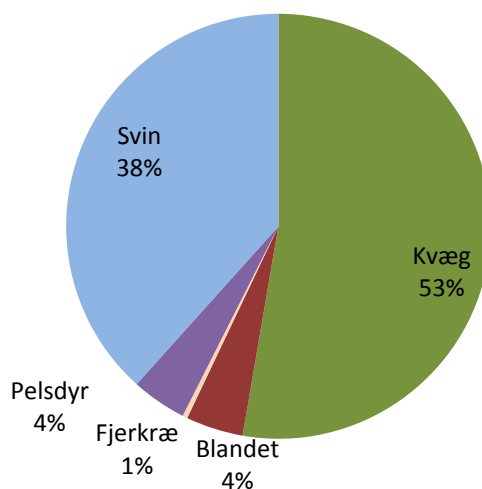


Figur 2.2 Fordeling af biomasse til fælles- og gårdanlæg.
Reference: BIB-registeret - Indberetning af biomasse i biogasproduktion 2014/2015 (ENS).

I planår 2014/2015 viser BIB-registeret, at der er leveret 3,0 mio. tons husdyrgødning (vådvægt) til biogasanlæggene, hvoraf gylle udgør langt størstedelen, svarende til 96 %. Dybstrøelse anvendes på nuværende tidspunkt i meget begrænset omfang i biogasproduktionen og udgør således 2 % af den samlede mængde husdyrgødning leveret til biogasanlæg. Langt størstedelen af husdyrgødningen leveres til fællesanlæggene, svarende til 78,3 % af vådvægten, mens gårdanlæggene modtager 20,3 % og industrianlæg modtager 1,4 %.

I figur 2.3 er vist den procentmæssige fordeling af gylle (vådvægt) fra de forskellige husdyrproduktioner. Det fremgår, at kvæggylle udgør 53 %, svinegylle 38 %, gylle fra pelsdyr hvilket fortrinsvis er mink, udgør 4 %, gylle fra fjerkræproduktionen udgør 1 %, mens de resterende 4 % er angivet som blandet gylle.

Gylle (vådvægt) leveret til biogasanlæg



Figur 2.3 Procentmæssig fordeling af gylle fra forskellige husdyrproduktioner.
Reference: BIB-registeret - Indberetning af biomasse i biogasproduktion 2014/2015 (ENS).

I den danske emissionsopgørelse er effekten som følge af afgasning af gylle fra svine- og kvægproduktionen indregnet. Det er ikke i BIB-registeret defineret, hvad blandet gylle omfatter, men det antages hovedsagligt at indeholde gylle fra kvæg- og svineproduktionen. Gylle fra kvæg, svin samt blandet gylle omfatter 95 % af den samlede mængde gylle leveret til biogasanlæggene. Effekten fra afgasset minkgylle, gylle fra fjerkræproduktionen og dybstrøelse er endnu ikke kvantificeret, og indgår derfor endnu ikke i emissionsopgørelsen.

2.2 Mængden af kvæg- og svinegylle til biogasproduktion i den danske emissionsopgørelse 1990 - 2014

Estimeringen af mængden af afgasset gylle i den danske emissionsopgørelse tager udgangspunkt i BIB-registeret, som indeholder data om mængden / typen af biomasse leveret til biogasanlæg og energiproduktionen på anlæggene. Data for perioden før planår 2014/2015 er ikke indsamlet. For at beregne mængden af bioafgasset husdyrgødning tilbage i tid, fra 1990 til 2014, er der derfor antaget en konstant sammenhæng mellem energiproduktionen og mængden af bioafgasset gylle.

I Energistatistikken opdeles biogasproduktionen i tre kategorier; ”deponi” som omfatter losseplads-anlæg, ”slam” som omfatter renseanlæg og ”andet” som omfatter fælles- og gårdanlæg samt industri-anlæg. I BIB-registeret er den samlede mængde gylle (kvæg, svin og blandet) leveret til bioafgasning til fælles- og gårdanlæg samt industrianlæg i planår 2014/2015 angivet til 2,73 mio. tons og den samlede energiproduktion på fælles- og gårdanlæg samt industrianlæg er opgjort til 3,75 PJ. Det betyder, at der i dette planår, er produceret 1,37 PJ biogas for hver million tons gylle, der er leveret til biogasanlæg – energi der er produceret fra gyllen og anden biomasse tilført til biogasanlæggene. På grund af manglende data tilbage i tiden, så anvendes denne faktor på 1,37 PJ per tons gylle for alle årene fra 1990 til 2014. Dermed antages, at der ikke er sket væsentlige ændringer i fordelingen af gylle versus øvrig biomasse, eller at der ikke er sket betydelige ændringer i energipotentialet for den øvrige biomasse, der er tilført til biogasanlæggene. Det kan tænkes, at teknologiudviklingen har været medvirkende til en effektivitetsstigning, således at sammenhængen mellem biomasseinput og energiproduktion ændres, men det har ikke været muligt for DCE at verificere dette.

Ifølge Energistatistikken har biogasproduktionen i 1990 fra husdyrbaserede anlæg (inkl. industri) bidraget med 266 TJ stigende til 4.271 TJ i 2014 (energiproduktionen er inklusiv opgradering til naturgasnettet) (ENS, 2015b). Den forholdsmæssige beregning medfører, at der blev afgasset 0,194 mio. tons gylle i 1990 stigende til 2,926 mio. tons i 2014. I 2014 er ca. 8 % af den samlede produktion af gylle leveret til biogasanlæggene, henholdsvis 10 % af kvæggyllen og 6 % af svinegyllen.

Tabel 2.2 Estimeret historisk gylle leveret til biogasproduktion, 1990-2014 (TJ).

	1990	1995	2000	2005	2010	2014
Biogasproduktion, TJ						
Total	752	1.758	2.912	3.830	4.279	5.534
Fælles- og gårdanlæg (inkl. Industri)	266	746	1.480	2.488	3.184	4.271
Gylle leveret til biogasproduktion, mio. tons						
Gylle fra kvæg, svin og blandet	0,194	0,543	1,050	1,731	2,320	2,926
Procent af total mængde gylle	<1	2	4	5	7	8

*BIB-register (ENS), ENS, 2015a og ENS, 2015b.

I BIB-registeret er den samlede energiproduktion fra biogas i planår 2014/2015 mindre end energiproduktionen opgjort i Energistatistikken for 2014. Det bekræfter, at BIB-registeret ikke omfatter alle anlæg. Dog vurderes det rimeligt at kunne anvende forholdet mellem biomasseinput og biogasproduktion fra de indrapporterede anlæg til tilbageskrivningen, fordi inkludering af flere anlæg både vil forøge den samlede gyllemængde til afgang og energiproduktionen.

3 Resultat - nationale MCF værdier for gylle

I IPCC Guidelines er der ikke angivet nogen specifik MCF-værdi for afgasset gylle, men der anbefales en værdi på "0-100 %". Det har således været en målsætning i projektet at beregne en national estimeret og dokumenteret MCF for henholdsvis ubehandlet gylle og afgasset gylle.

3.1 MCF – en vigtig parameter i beregning af metanemissionen fra husdyrgødning

MCF-værdien udtrykker, hvor stor en andel af den potentielt nedbrydelige organiske biomasse i ubehandlet gylle, der i praksis omsættes til metan, og udledes til atmosfæren. Metan, der opsamles i form af biogas, indregnes ikke i MCF-værdien, og produktion af biogas vil derfor give et fald i MCF-værdien, svarende til, at der udledes mindre metan til atmosfæren, når gyllen anvendes til biogasproduktion.

Under danske klimatiske forhold foreslår IPCC Guidelines en MCF på 10 % svarende til, at ti procent af den potentielt nedbrydelige organiske biomasse i ubehandlet gylle omsættes til metan. Denne værdi anvendes for lande med en gennemsnitstemperatur på under 10 grader uanset landbrugspraksis.

Ifølge IPCC (2006) afhænger metanemissionen fra husdyrgødning i stald og lager af den totale mængde af organisk stof (VS) udskilt i gødningen, B_0 – den maksimale andel af organisk stof der kan omsættes til metan, MCF – den procentvise andel af B_0 , der faktisk omdannes til metan;

$$\text{CH}_4\text{-emissionen} = \text{VS} \times B_0 \times \text{MCF} \times 0,67 \quad (\text{Lign. 1})$$

hvor:

VS = volatile solid (VS) er mængden af total organisk stof i kg udskilt i gødningen. Denne er angivet, som andel af VS i tørstoffet. For både svinegylle og kvæggylle regnes der med, at VS udgør 80 % af tørstofindholdet, mens den resterende del af tørstoffet er sand og lignende.

B_0 = er den maksimale andel af det organiske stof, som omdannes til metan ($\text{m}^3 \text{CH}_4$ per kg VS) – dvs. en fraktion af VS som inden for 50-100 dage under optimerede laboratorieforhold omdannes til metan.

MCF = metankonversionsfaktoren (NCF) er den procentvise andel af den potentielle metanemission (B_0), der rent faktisk finder sted og denne afhænger primært af temperatur og lagringstid.

Fast faktor på 0,67 (massefylden af metan ved 20 grader) anvendes til omregning fra $\text{m}^3 \text{CH}_4$ til kg CH_4 . Enheden er kg CH_4 per $\text{m}^3 \text{CH}_4$.

3.2 Hvordan beregnes de nationale MCF-værdier

Opnået viden fra biogasprojektet har betydet, at det har været muligt at udvikle en model, som kan beregne metanemissionen, gældende for danske klima- og landbrugsforhold for;

- 1) Gylle fra stald og lagring af ubehandlet gylle – dvs. med lagring i gylletank.
- 2) Gylle fra stald og lagring af gylle, der leveres til biogasanlæggene.

På baggrund af den beregnede metanemission, er det muligt at beregne MCF ud fra IPCC's beregningsmetode angivet i ligning 1 fordi;

- a) biogasprojektet har gjort det muligt at beregne metanemissionen under danske forhold
- b) VS i gyllen er beregnet på basis af normtallene
- c) Fra BIB-registeret kendes mængden af gylle (og dermed mængden af VS), der leveres til biogasanlæggene
- d) B_0 baseres på IPCC's standardværdi, som for kvæggylle er angivet til $0,24 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ per kg VS for malkekvæg og $0,18 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ per kg VS for øvrige kvæg (der er for kvæggylle anvendt en vægtet værdi af disse) og $0,45 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ per kg VS for svinegylle.

Således er MCF den eneste ubekendte. Sagt på en anden måde; den nationale MCF anvendt i emissionsopgørelsen for både afgasset og ubehandlet gylle er beregnet på baggrund af en national beregning af metanemissionen fra stald og lager. Den nationale MCF er således teknisk beregnet ved at regne baglæns. Den nationale MCF er vigtig, fordi denne skal anvendes i emissionsopgørelsen og fordi afgasset gylle i IPPC 2006 Guidelines betragtes som et selvstændigt gødningssystem.

I afsnit 4 er nærmere beskrevet ligningsmæssigt, hvordan MCF er beregnet på baggrund af VS og modelberegningen for den danske metanemission.

3.3 National MCF anvendt i den danske emissionsopgørelse

De nationale MCF'er implementeres i den danske emissionsopgørelse for henholdsvis afgasset gylle (MCF_{Bio}) og ubehandlet gylle ($\text{MCF}_{\text{Ej biogas}}$)- se tabel 3.1. Resultatet fra projektet er, at den nationale MCF for ubehandlet kvæggylle er beregnet til 4,95 %. Afgasning i biogasanlæg af kvæggylle medfører et fald i MCF til 2,92 % svarende til en reduktion på 41 %. For svinegylle er der beregnet en MCF på 13,96 % for ubehandlet svinegylle faldende til 10,53 % ved afgasning. Det svarer til en reduktion på 25 %.

Tabel 3.1 Sammenligning af tidligere og nuværende værdi for MCF (%).

MCF i 2014, %	Tidligere anvendt MCF*	Ny $\text{MCF}_{\text{Ej biogas}}$	Ny MCF_{Bio}
Ubehandlet kvæggylle	10/17*	4,95	
Biogas behandlet kvæggylle	10/17*		2,92
Ubehandlet svinegylle	10/17*	13,96	
Biogas behandlet svinegylle	10/17*		10,53

*IPCC MCF-værdi for gylle med og uden flydelag.

IPCCs (2006) default værdi for MCF er angivet til 10 % for gylle med flydelag og 17 % for gylle uden flydelag. IPCC har således antaget, at der sker en metanoxidation i gyllens flydelag, som fører til en reduktion af metanemissionen på 40 %. IPCC's vurdering er baseret på et relativt sparsomt grundlag med få

målinger. Nyere undersøgelser (Petersen et al., 2016; Dong, 2013) har dog ikke kunnet bekræfte, at der forekommer en reduktion på 40 % i gyllens flydelag.

På baggrund af usikkerheden om der faktisk forekommer en metanoxidation i gyllens flydelag, er der i beregningen af den nationale MCF antaget samme MCF for gylle med og uden flydelag. Der er således ikke indregnet lavere metanemission for gylle med flydelag eller fast overdækning. De nationale MCF-værdier, der er angivet i tabel 3.1, er beregnet på baggrund af laboratoriemålinger af metan, kombineret med målinger af forholdet mellem CH₄ og CO₂ i den producerede biogas. Disse målinger er blevet udarbejdet i forbindelse med Biogas-projektet (Petersen et al., 2016).

For svinegylle har Møller og Moset (2015) påvist en hurtig nedbrydning af organisk stof i stalden som følge af relativt høje lufttemperaturer, hvilket fører til en høj emission af metan per kg VS. Dette stemmer overens med resultaterne i Petersen et al. (2016).

Situationen er omvendt for den nationalt beregnede MCF for kvæggylle. Denne er lavere end standardværdien angivet i IPCC Guidelines. Møller og Moset (2015) har undersøgt metanemission fra kvæg- og svinegylle under forskellige temperaturforhold og påvist lave emissioner fra kvæggylle, som opbevares i temperaturer lavere end 15° C. Det er sandsynligvis forårsaget af, at metanogenerne i gyllen ikke er særlig aktive ved disse temperaturer. I tilfælde hvor temperaturen i kvæggyllen var højere end 20° C, steg metanemissionen, men ikke med de samme vækstrater som for svinegylle. En lavere MCF for kvæggylle er også fundet i svenske undersøgelser (Rodhe et al., 2009, 2012 og 2015).

MCF afhænger af temperaturen hvorunder lagringen sker, og hvor lang tid gødningen opbevares i stald/lager. Håndtering af gyllen varierer i forskellige staldsystemer, og dermed varierer også lagringstiden. Det betyder, at MCF over tid varierer som konsekvens af ændring i staldsystemer. I tabel 3.2 er angivet de nationale MCF'er for henholdsvis kvæg- og svinegylle over tid under forudsætning af, at der ikke er sket ændringer i lagrings- og udbringningsforholdene. Den gennemsnitlige beregnede MCF for ubehandlet kvæggylle er fra 1990 til 2014 steget, fordi opholdstiden for gyllen i stalden i denne periode er steget. Der ses også visse ændringer fra år til år, som skyldes variationer i fordelingen af kvæg på forskellige underkategorier. Opholdstiderne for gødningen i kvægstalde kan variere fra 0 til 85 dage og relativ små ændringer i fordelingen af dyr og staldtyper kan derfor få betydning for ændringer i MCF.

Den gennemsnitlige beregnede MCF for ubehandlet svinegylle faldt i samme periode fra 11,96 % til 10,53 % som følge af flere svin opstaldet på delvis spaltegulv, hvor opholdstiden for gyllen er kortere end for fuldspaltegulv. Som nævnt ovenfor er der ikke taget hensyn til ændrede lagringstider i perioden fra 1990 og fremefter. Kravene til udbringning af husdyrgødning har ændret sig i perioden, hvor der i begyndelsen af halvfemserne var krav om 6-7 måneders lagringskapacitet. Skærpede krav til opbevaringskapacitet som følge af Vandmiljøplanerne har medført en forøgelse i lagringskapacitet og gyllen lagres derfor i gyllebeholderne i længere tid. Hvis der blev taget højde for længere lagringstider ville det alt andet lige medføre en lidt lavere emission i 1990'erne end beregnet med den udarbejdede metode. Dog vurderes effekten at være begrænset. Derfor findes det ikke nødvendigt at tilvejebringe oplysninger for at udarbejde et mere detaljeret regnskab.

Tabel 3.2 National MCF (%) for behandlet- og ubehandlet kvæg- og svinegylle, 1990 - 2014.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Kvæggylle									
MCF for biogasbehandlet gylle	2,69	2,63	2,92	2,83	2,84	2,85	2,92	3,01	2,92
MCF for ubehandlet gylle	4,86	4,78	5,06	4,96	4,93	4,95	4,96	5,04	4,95
Svinegylle									
MCF for biogasbehandlet gylle	15,20	15,13	14,96	14,21	14,19	14,10	14,04	13,99	13,96
MCF for ubehandlet gylle	11,96	11,82	11,59	10,77	10,76	10,67	10,61	10,55	10,53

4 Beregningsmetode for national MCF

Generelt afhænger metanemissionen fra husdyrgødning af hvor lang tid gyllen opholder sig i henholdsvis stald og lager, under hvilke temperaturer, mængden af metandannende bakterier (metanogener) samt fysiske parametre som pH, forekomst af flydelag, luftskifte hen over gylleoverfladen, osv. Eksempelvis er der større potentiale for metandannelse i en opvarmet stald end i et udendørs lager.

I et biogasanlæg accelereres nedbrydning af det organiske materiale i husdyrgødningen på grund af højere temperaturer, en podning med bakterier også kaldet aktive metanogener (inokulum) og tilsætning af let omsættelige substrater. Efter udrådning i biogasanlæggene transporteres den afgassede husdyrgødning og anden tilsat biomasse tilbage til bedrifterne, hvor det lagres indtil det udbringes på marken. I dette lager kan der ske en afgasning og videre nedbrydning, som dog forventes at være lav, da det primært er svært nedbrydeligt organisk materiale, som er tilbage. MCF omfatter både metanemission fra stald og fra lager. Metanemissionen er lavere fra afgasset gylle sammenlignet med ubehandlet gylle.

$$MCF_{ej\ biogas} = \left(\frac{E_{stald} + E_{lagring, ej\ biogas}}{VS_{stald}} \right) / (0,67 \cdot B_0) \quad (\text{Lign. 2})$$

hvor:

$MCF_{ej\ biogas}$ = metankonversionsfaktor for ubehandlet gylle, %

E_{stald} = CH₄-emission fra stald, kg CH₄, se ligning 4

$E_{lagring, ej\ biogas}$ = CH₄-emission fra lagring af ubehandlet gylle, kg CH₄, se lign. 5

VS_{stald} = mængden af organisk stof, kg VS baseret på VS udskilt

B_0 = maximal metanproduktionskapacitet, m³ CH₄ per kg VS baseret på IPCC-standardværdi

0,67 = massefylde af metan ved 20 grader, kg CH₄ per m³ CH₄

$$MCF_{biogas} = \left(\frac{E_{stald} + E_{lagring, biogas}}{VS_{stald}} \right) / (0,67 \cdot B_0) \quad (\text{Lign. 3})$$

hvor:

MCF_{biogas} = metankonversionsfaktor for afgasset gylle i biogasanlæg, %

E_{stald} = CH₄-emission fra stald, kg CH₄, se ligning 4

$E_{lagring, biogas}$ = CH₄-emission fra lagring af afgasset gylle, kg CH₄, se lign. 6

VS_{stald} = mængde af organisk stof, kg VS baseret på VS udskilt.

B_0 = maximal metanproduktionskapacitet, m³ CH₄ per kg VS

0,67 = massefylde af metan ved 20 grader, kg CH₄ per m³ CH₄

I afsnit 4.1 gennemgås, hvordan metanemissionen fra gylle i stald og ved lagring er beregnet. Denne beregning er baseret på det datagrundlag, som er tilvejebragt i Biogas-projektet, som bygger på nationale data svarende til de faktiske klima- og landbrugsforhold i Danmark.

4.1 Beregning af metanemission fra ubehandlet gylle og afgasset gylle

Afsnittet indledes med et overblik givet i ligningsform over beregningen af metanemissionen fra gylle i stald og ved lagring. Der skelnes mellem emissionen fra gylle lagret i gylletank og gylle, som leveres til biogasanlæg.

Metanemissionen afhænger af VS, som er beregnet som 80 % af tørstofindholdet. Den totale produktion af gylle og gyllens tørstofindhold er baseret på standardværdier for hver enkelt husdyrtype givet i normtallene. Afrapporterede data fra ni fællesbiogasanlæg indikerer, at tørstofindholdet i gylle, der leveres til biogasanlæggene, kan være lavere end standardværdierne i normtallene (Birkmose et al., 2013). Det har ikke været muligt indenfor projektets rammer at vurdere om lavere tørstofindhold i gyllen er generelt gældende for det gylle, der leveres til alle fællesbiogas- og gårdanlæg, eller om standardværdierne i normtallene generelt er for høje. Derfor er normtallene anvendt.

4.1.1 Metanemission fra stald

Metanemissionen fra stald beregnes som mængden af VS ganget med en årlig emissionsfaktor for henholdsvis kvæg- og svinegylle ganget med gyllens opholdstid i stalde.

Det har ikke kunnet påvises, at bedrifter der leverer gylle til biogasanlæg, har en anden praksis for håndtering af husdyrgødning i stalden sammenholdt med bedrifter, som ikke leverer til biogasanlæg (Kai et al., 2015). Derfor vurderes metanemissionen fra stalden at være den samme uanset om gyllen efterfølgende afgasses i biogasanlæg eller ej.

$$E_{stald} = VS_{stald} \cdot EF_{stald} \cdot HRT / 365 \quad (\text{Lign. 4})$$

hvor:

$$E_{stald} = \text{CH}_4\text{-emission fra stald, kg CH}_4$$

$$VS_{stald} = \text{Mængden af organisk stof, kg VS.}$$

$$HRT = \text{Gyllens opholdstid i stalden, dage}$$

$$EF_{stald} = \text{emissionsfaktor for CH}_4, \text{ kg CH}_4 \text{ per kg VS per år, se tabel 4.1}$$

I modellen udviklet i biogas-projektet er metanemissionen i stald for kvæg-gylle beregnet til 66,92 g CH₄ per kg VS per år. For svinegylle er emissionsfaktoren meget højere og således beregnet til at være 569,50 g CH₄ per kg VS per år. For yderligere beskrivelse af datagrundlag og beregning af metanemissionsfaktor refereres til kapitel 5. Forskellen mellem kvæg- og svinegylle skyldes dels at metanemissionen i det forhold at kvæg-gylle er svært nedbrydeligt og at temperaturen i kvægstalde er noget lavere end i isolerede svinestalde.

4.1.2 Metanemission fra lagring af ubehandlet gylle

Størstedelen af gyllen, der udskilles i husdyrproduktionen, transporteres fra stalden ud til gylletanken, hvor det lagres, indtil den udbringes på marken. Udbringningen sker typisk i forårsmånederne. Metanemissionen fra lagring af gylle beregnes som mængden af VS ganget med en emissionsfaktor opdelt i nedbrydeligt VS (VSd, VS degradable) og svært nedbrydeligt VS (VSnd, VS non-degradable).

På baggrund af BIB-registeret er der beregnet, hvor stor en mængde gylle, der leveres til biogasanlæggene og dermed kan den totale mængde gylle fordeles på, hvor meget der afgasses, og hvor meget der lagres på almindelig vis i gylletankene.

$$E_{\text{lagring, ej biogas}} = \quad \quad \quad (\text{Lign. 5})$$

$$VSd_{\text{lagring, ej biogas}} \cdot EFd_{\text{lagring, ej biogas}} + VSnd_{\text{lagring, ej biogas}} \cdot EFnd_{\text{lagring, ej biogas}}$$

hvor:

$E_{\text{lagring, ej biogas}}$ = CH₄-emission fra lagring af ubehandlet gylle, kg CH₄

$VSd_{\text{lagring, ej biogas}}$ = mængden af let nedbrydeligt organisk stof i ubehandlet gylle, kg VSd, se tabel 4.2

$EFd_{\text{lagring, ej biogas}}$ = emissionsfaktor for CH₄ for let nedbrydeligt organisk stof, kg CH₄ per kg VSd per år, se tabel 4.1

$VSnd_{\text{lagring, ej biogas}}$ = mængden af svært nedbrydeligt organisk stof i ubehandlet gylle, kg VSnd, se tabel 4.2

$EFnd_{\text{lagring, ej biogas}}$ = emissionsfaktor for CH₄ for svært nedbrydeligt organisk stof, kg CH₄ per kg VSnd per år, se tabel 4.1

For kvæggylle er den årlige akkumulerede EFd beregnet til 12,02 g CH₄ per kg VSd og EFnd til 0,16 g CH₄ per kg VSnd ved ét års lagring og med den nuværende udbringningspraksis. Den endelige samlede emission fra lageret korrigeres ud fra opholdstiden i stalden. For svinegylle er EFd beregnet til 29,64 g CH₄ per kg VSd og EFnd til 0,63 g CH₄ per kg VSnd. Dvs. noget højere end for kvæggylle. For yderligere information refereres til kapitel 5.

4.1.3 Metanemission fra lagring af afgasset gylle

Metanemissionen fra lagring af afgasset gylle beregnes som mængden af VS ganget med en emissionsfaktor også opdelt i let og svært nedbrydeligt stof.

Metanemissionen fra den afgassede biomasse indeholder udover husdyrgødning også øvrig organisk biomasse. Som nævnt i afsnit 2.1 viser BIB-registret, at husdyrgødning udgør 80 % af den tilførte mængde biomasse til biogasfælles- og gårdbiogasanlæggene opgjort i vådvægt. De resterende 20 % omfatter hovedsageligt restprodukter fra fødevarevirksomheder, bl.a. biprodukter og rester fra den animalske produktion, afgrøderester fra planteproduktionen samt anden organisk affald fra erhverv. Den samlede mængde biomasse i vådvægt er således opgjort på baggrund af data fra BIB-registret.

Den afgassede biomasse er en samlet masse, og det er derfor ikke muligt at skelne mellem afgasset kvæg- og svinegylle, eller skelne mellem afgasset gylle og andet organisk materiale. I et af projekterne iværksat af Biogas Taskforce er der foretaget målinger af den samlede mængde returneret biomasse (Petersen et al., 2016) og på baggrund af disse er VS indholdet bestemt til 3,32 %. Der antages de samme emissionsfaktorer for al afgasset biomasse uafhængig af biomassetype.

$$E_{lagring, biogas} = \quad \quad \quad (\text{Lign. 6})$$

$$VSd_{lagring, biogas} \cdot EFd_{lagring, biogas} + VSnd_{lagring, biogas} \cdot EFnd_{lagring, biogas}$$

hvor:

$$E_{lagring, biogas} = \text{CH}_4\text{-emission fra lagring af afgasset gylle, kg CH}_4$$

$$VSd_{lagring, biogas} = \text{mængde af let nedbrydeligt organisk stof i afgasset gylle, kg VSd se tabel 4.2}$$

$$EFd_{lagring, biogas} = \text{emissionsfaktor for CH}_4 \text{ for let nedbrydeligt stof, baseret på målinger, kg CH}_4 \text{ per kg VSd per år, se tabel 4.1}$$

$$VSnd_{lagring, biogas} = \text{mængden af svært nedbrydeligt organisk stof i afgasset gylle, kg VSnd, se tabel 4.2}$$

$$EFnd_{lagring, biogas} = \text{emissionsfaktor for CH}_4 \text{ for svært nedbrydeligt organisk stof, kg CH}_4 \text{ per kg VSnd per år, se tabel 4.1}$$

Emissionsfaktorerne for den nedbrydelige VS (EFd) er estimeret til 10,13 g CH₄ per kg VSd, mens emissionsfaktoren for den svært nedbrydelige VS (EFnd) er estimeret til 0,19 g CH₄ per kg VSnd. For yderligere information refereres til kapitel 5.

Som nævnt udgør "øvrige biomasse" leveret til biogasanlæggene 20 % af den samlede biomasse opgjort i vådvægt og sammensætningen af denne biomasse er typisk lettere nedbrydeligt materiale end husdyrgødning. Henrik Møller (2016) antager, at der i den øvrige biomasse nedbrydes ca. 80 % af materialet i biogasprocessen i anlæggene. Den resterende del består af svært nedbrydeligt materiale og bidrager derfor til en meget begrænset andel af den samlede emission fra afgasset biomasse. Det betyder, at langt størstedelen af emissionen fra den afgassede biomasse formodentlig stammer fra den afgassede husdyrgødning.

4.1.4 Metanemissionsfaktorer

Metanemissionsfaktorerne (EF) angivet i tabel 4.1 er baseret på den viden, som er tilvejebragt i Biogas-projektet. De angivne EF er den beregnede emission for ét kg VSd/VSnd ved lagring i ét år under de givne temperaturforhold. Til beregningen af emissionen i stald er der ikke taget hensyn til en evt. nedbrydning af organisk materiale pga. den korte opholdstid, mens der for langtidslagring (udendørslagring) er nedbrydningen inkluderet.

Eksempel: For svin er EF_{stald} estimeret til 569,50 g CH₄ per kg VS per år – dvs. svarende til metanemissionen i ét år ved opbevaring i stald ved en gennemsnitstemperatur på 18,6 °C. Da de anvendte staldsystemer ændrer sig over tid vil gyllens opholdstid i stalden ligeledes ændre sig og konsekvensen er, at

metanemissionen per kg VS fra stald variere fra år til år. Oplysninger om fordelingen af staldsystemer er baseret på årlig opgørelse fra NaturErhvervsstyrelsen.

I den udviklede model er beregnet emissionsfaktorer baseret på danske klima- og landbrugsforhold. I kapitel 5 er nærmere redegjort for modellen.

Tabel 4.1 Beregnede CH₄-emissionsfaktorer.

Kvæg:	EF, g CH ₄ /kg VS/år
EF _{stald} , g CH ₄ per kg VS per år	66,92
EF _{dlagring, ej biogas} , g CH ₄ per kg VSd per år	12,02
EF _{ndlagring, ej biogas} , g CH ₄ per kg VSnd per år	0,16
EF _{dlagring, biogas} , g CH ₄ per kg VSd per år	10,13
EF _{ndlagring, biogas} , g CH ₄ per kg VSnd per år	0,19
Svin:	EF, g CH ₄ /kg VS/år
EF _{stald} , g CH ₄ per kg VS per år	569,50
EF _{dlagring, ej biogas} , g CH ₄ per kg VSd per år	29,64
EF _{ndlagring, ej biogas} , g CH ₄ per kg VSnd per år	0,63
EF _{dlagring, biogas} , g CH ₄ per kg VSd per år	10,13
EF _{ndlagring, biogas} , g CH ₄ per kg VSnd per år	0,19

4.1.5 Metanemission fra husdyrgødning 1990 - 2014

I tabellerne 4.2a-4.2c er vist den beregnede metanemission for årene 1990, 1995, 2000, 2005, 2010-2014. I tabellerne skelnes mellem metanemissionen fra kvæg- og svinegylle samt emissionen fra den afgassede biomasse. Ligeledes er der i tabellerne vist de variable, som emissionsberegningen er baseret på – dvs. mængden af VS udskilt i gyllen baseret på de danske normtal og HRT (den gennemsnitlige opholdstid for gyllen beregnet på baggrund af fordelingen af staldtyper det pågældende år). Metanemissionsfaktoren for stald varierer over årene som følge af ændringer i staldtypefordeling og dermed gyllens gennemsnitlige opholdstid i stalden.

Metanemissionen fra kvægstalde er beregnet til 3,62 kt CH₄ i 1990 stigende til 4,32 kt CH₄ i 2014 (Tabel 4.2a). Denne stigning skyldes primært at de ældre bindestalde med riste, hvor gyllen har en relativ lav opholdstid, er afløst af staldsystemer med løsgående dyr på spalter, hvor gyllens opholdstid i stalden er længere. En stigning i den totale mængde husdyrgødning, der håndteres som gylle fremfor fast gødning, er ligeledes medvirkende til stigning i metanemissionen over tiden.

Metanemissionen fra lagring af ubehandlet kvæggylle er opgjort til 4,22 kt CH₄ i 1990 og er stort set uændret i perioden frem 2014.

Emissionen af metan for ubehandlet svinegylle er i 1990 beregnet til 16,10 kt CH₄ fra stalden og 5,69 kt CH₄ fra lagring. Den store forskel mellem staldlagring og udendørs lagring skyldes primært den høje temperatur i stalden. Frem til 2014 ses en stigning i svineproduktionen og CH₄-emissionen stiger tilsvarende. I 2014 er den samlede emission opgjort til 25,26 kt CH₄ fra stalden og 9,95 kt CH₄ fra lagring.

Metanemissionen fra lagring af afgasset gylle samt øvrig biomasse er beregnet til 0,01 kt CH₄ i 1990 stigende til 0,21 kt CH₄ i 2014. Emissionen fra lagring af afgasset biomasse udgør en meget lille andel af den samlede emission.

Tabel 4.2a Beregnet metanemission fra stald og fra opbevaring af ikke afgasset kvæggylle.

Kvæg	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Stald:									
Gylle, tons VS per år	1.074.037	975.346	945.513	1.071.832	1.096.911	1.107.051	1.189.574	1.190.052	1.174.352
EF, g CH ₄ per kg VS per år	66,92	66,92	66,92	66,92	66,92	66,92	66,92	66,92	66,92
Gennemsnitlig HRT, dage	18,38	18,22	20,93	20,33	19,97	20,09	20,19	20,85	20,08
EF, g CH ₄ per kg VS	3,37	3,34	3,84	3,73	3,66	3,68	3,70	3,82	3,68
Emission, kt CH ₄ per år	3,62	3,26	3,63	3,99	4,02	4,08	4,40	4,55	4,32
Lagring:									
Ubehandlet gylle, tons VSd ab stald	341.186	304.018	285.261	314.328	316.624	320.605	348.874	347.096	337.301
Ubehandlet gylle, tons VSnd ab stald	716.790	638.604	600.779	661.609	666.212	674.665	734.230	730.955	709.798
EF, g CH ₄ per kg VSd per år	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
EF, g CH ₄ per kg VSnd per år	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Emission, kt CH ₄ per år	4,22	3,76	3,53	3,89	3,92	3,96	4,31	4,29	4,17

Tabel 4.2b Beregnet metanemission fra stald og fra opbevaring af ikke afgasset svinegylle.

Svin	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Stald:									
Gylle, tons VS per år	476.327	663.636	772.030	885.477	881.821	903.535	851.513	833.156	851.692
EF, g CH ₄ per kg VS per år	569,50	569,50	569,50	569,50	569,50	569,50	569,50	569,50	569,50
Gennemsnitlig HRT, dage	21,66	21,52	21,14	19,54	19,49	19,31	19,17	19,07	19,01
EF, g CH ₄ per kg VS	33,80	33,58	32,99	30,49	30,41	30,13	29,92	29,75	29,66
Emission, kt CH ₄ per år	16,10	22,29	25,47	27,00	26,82	27,22	25,47	24,78	25,26
Lagring:									
Ubehandlet gylle, tons VSd ab stald	186.988	258.872	299.351	346.669	341.441	351.681	330.199	322.138	327.305
Ubehandlet gylle, tons VSnd ab stald	231.949	320.534	368.815	418.364	411.767	423.153	396.608	386.393	392.308
EF, g CH ₄ per kg VSd per år	29,64	29,64	29,64	29,64	29,64	29,64	29,64	29,64	29,64
EF, g CH ₄ per kg VSnd per år	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Emission, kt CH ₄ per år	5,69	7,87	9,10	10,54	10,38	10,69	10,04	9,79	9,95

Tabel 4.2c Beregnet metanemission fra lagring af afgasset biomasse (gylle og øvrig biomasse).

Afgasset biomasse	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
VSd, tons	1.215	3.403	6.578	10.837	14.528	14.018	14.938	15.737	18.322
VSnd, tons	7.529	21.079	40.745	67.129	89.990	86.834	92.531	97.479	113.493
EF, g CH ₄ per kg VSd	10,13	10,13	10,13	10,13	10,13	10,13	10,13	10,13	10,13
EF, g CH ₄ per kg VSnd	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Emission, kt CH ₄ per år	0,01	0,04	0,07	0,12	0,16	0,16	0,17	0,18	0,21

5 Dokumentation for national beregning af metanemission fra husdyrgødning

Modellen som er udviklet til at beregne metandannelsen i henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle er baseret på mængden af organisk stof (VS, Volatile Substance) kombineret med en temperaturafhængig funktion for metandannelsen (Van't-Hoof/Arrhenius equation) (Sommer et al. 2004). Metanemissionen afhænger således af mængden af substrat og den aktuelle temperatur på et givent tidspunkt. I modellen beregnes metanemissionsfaktorer – opgjort som metanemission per VS for henholdsvis stald, lagring af ubehandlet gylle og lagring af afgasset gylle. Emissionsfaktorerne er angivet i tabel 4.1.

Modellen for lagring i stald er opbygget med udgangspunkt i den gennemsnitlige lagringstid (Hydraulisk Retentionstid, HRT). I modellen skelnes mellem nedbrydeligt VS og svært nedbrydeligt VS. Det antages at metanemissionen er den samme i stald uafhængig af om gyllen afgasses eller ej, fordi der i biogas-projektet ikke er fremkommet resultater, som giver anledning til at vurdere, om der er en forskel i den praktiske håndtering af gyllen leveret til biogasanlæg sammenholdt med fuld lagringsperiode i gylletanken.

Modellen for udendørs lagring er opbygget med et tidstep på 10 dage. Det højere tidstep for udendørs lagring har meget lille indflydelse på resultatet. For hvert tidsstep beregnes den aktuelle gyllemængde, nedbrydningen af VS og metandannelsen. For hvert tidsstep tilføres ny gødning eller fratrækkes gødning som udbringes på marken.

For svinegylle gælder det generelt, at det opbevares i stalden under grisene i et vist antal dage (40-50 dage) (Kai et al. 2015) indtil det sluses ud til en fortank, hvorfra det enten overføres til slutlagring i gylletanken eller bringes til et biogasanlæg. Den afgassede mængde returneres til gården (eller en anden gård) efter ca. 20-100 dages ophold i biogasreaktoren. Temperaturen i svinestalden er høj, typisk 18-20 grader °C (Holm, 2016, Petersen et al., 2016), hvorfor der sker en relativ høj nedbrydning af VS i stalden set i forhold til udendørs lagring, hvor lagringstemperaturen følger udetemperaturen. Den udskilte VS kan opdeles i to fraktioner afhængig af nedbrydeligheden - henholdsvis nedbrydeligt VS (VSd) og svært-nedbrydeligt VS (VSnd) (Sommer et al., 2001). For svinegylle gælder, at der er en forholdsvis høj mængde VSd i gyllen sammenlignet med kvæggylle (Sommer et al., 2004, Petersen et al. 2016), hvor der er mere halm og andre ligninholdige produkter i foderet. Det betyder alt andet lige, at mængden af substrat, som let kan omdannes i svinegylle og dermed mængden af dannet metan er højere per kg VS sammenlignet med kvæggylle.

For kvæg gælder det generelt, at dyrene går i åbne stalde, hvor temperaturen følger udetemperaturen (De Mol & Hilhorst, 2004; Groenenstein et al., 2012). Typisk er temperaturen i stalden plus ca. 5 °C i forhold til udetemperaturen. Kvæggyllen vil derfor følge årstidsvariationen i ude-temperaturen – dvs. lavere temperatur om vinteren og højere om sommeren. Det medfører en lavere metanemissionen om vinteren per kg VS sammenlignet med emissionen om sommeren. Langt hovedparten af de danske kvæg går på spalter med enten ringkanaler eller med bagskylningssystemer og ca. en meter dybe

gyllekanaler (NaturErhvervsstyrelsen, 2016). Systemet medfører, at der udsledes gylle ca. en gang om måneden til fortanken. For staldsystemer med skrabere er opholdstiden i stalden under ét døgn (Kai et al., 2015).

Under lagringen i stald og lager sker der en nedbrydning af det organiske materiale til CO_2 og CH_4 . Modellen tager højde for nedbrydningen af VS ved trinmæssigt at beregne den tilbageværende mængde organisk stof i hhv. stald og slutlageret i gylletanke. I målingerne er der kun foretaget målinger af CH_4 emissionen (Petersen et al., 2016), så for at estimere den samlede VS nedbrydning skal man kende forholdet mellem CH_4 og CO_2 , der afgasser fra gyllen (Dinuoccia et al., 2008).

Gylle, som afgasses i biogasanlæg, er opgjort via oplysninger i BIB-registeret. I biogasanlægget fortsætter nedbrydningen af VS og efter biogasprocessen leveres den afgassede biomasse tilbage til bedrifterne med henblik på efterfølgende udbringning på marken. Emissioner fra biogasproduktionen i form af lækager og utætheder er inkluderet i emissionsopgørelsen for affaldssektoren, mens emissioner fra forbrænding af den producerede biogas er inkluderet i emissionsopgørelsen for energisektoren.

Den afgassede biomasse (inkl. anden tilført biomasse end husdyrgødning) fra biogasanlæggene kan afgive små restmængder af metan indtil det udbringes. Dette beregnes ud fra mængden af biomasse og dets indhold af VSd kombineret med samme Arrhenius-funktion for metandannelse, som anvendes for husdyrgødning i stald og lager.

For at kunne estimere CH_4 -emissionen skal man derfor kende følgende:

- Indhold af VS, VSd og VSnd i husdyrgødningen og afgasset biomasse
- Parameteriseringen af Arrhenius-funktionen
- Forholdet mellem CH_4 og CO_2 i afgangsluften fra gylle
- Den gennemsnitlige opholdstid i stalden (HRT, Hydraulic Retention Time)
- Gylletemperaturen i stalden
- Gylletemperaturen for udendørs lagret biomasse
- Udbringningstidspunktet for husdyrgødning og afgasset biomasse.

I de følgende afsnit beskrives hvordan Biogas-projektet har bidraget til at fremskaffe data som har gjort det muligt at opnå viden om databehov listet ovenfor.

5.1 Indhold af VS, VSd og VSnd i husdyrgødningen og afgasset biomasse.

Den totale mængde VS i husdyrgødningen opgøres i forbindelse med de danske drivhusopgørelser på baggrund af normtallene fra DCA (Nielsen et al., 2016). Andelen af VSd og VSnd i henholdsvis kvæg- og svinegylle er udarbejdet af Petersen et al. (2016). For svinegylle gælder, at ca. 50 % af VS er svært nedbrydeligt (VSnd), mens andelen er højere for kvæggylle, hvor svært nedbrydelig VS antages at være ca. 68 % (Petersen et al., 2016).

Den afgassede biomasse fra biogasanlæg indeholder et mix af husdyrgødning og anden biomasse som f.eks. affald fra slagterier og energiafgrøder. Møller og Moset (2015) gennemførte målinger af den returnerede biomasse på otte forskellige større biogasanlæg. De konkluderede, at det gennemsnitlige tørstofindhold var 4,88 %, og at VS af TS i gennemsnit var 3,32 % (68 %).

Den lavere andel af VS sammenlignet med gyllen, der føres ind i biogasanlægget (80 %) skyldes, at biogasanlægget fjerner VS.

Målinger af Møller og Moset (2015) har vist, at størstedelen af den afgassede VS, svarende til 86,1 %, bestod af svært nedbrydeligt VS (VSnd), mens nedbrydeligt VS (VSd) blev estimeret til 13,9 %. På baggrund af den udviklede model, hvori der er taget højde for lagringstid og temperatur, er metanemissionsfaktoren for VSnd beregnet til 0,19 g CH₄ per kg VS per år, men emissionsfaktoren for VSd er beregnet til 10,13 g CH₄ per kg VS per år.

5.2 Parametriseringen af Arrhenius-funktionen

Parameteriseringen af Arrhenius funktionen er udarbejdet af Petersen et al. (2016) kombineret med data fra Elsgaard et al. (2016).

Beregning af metanproduktionen følger i store træk beskrivelsen fra Elsgaard et al. (2016). For at beregne temperaturfunktionen blev to temperaturer valgt på henholdsvis 10 og 20 °C (Petersen et al, 2016). I parameteriseringen indgår i alt 20 målinger fra svinegylle og 11 prøver med kvæggylle fra forskellige gårde. Den anvendte Arrheniusligning er gengivet herunder:

$$F(T) = VS_d * b_1 * \exp\left(\ln A - E * \left(\frac{1}{RT}\right)\right) + VS_{nd} * b_2 * \exp\left(\ln A - E * \left(\frac{1}{RT}\right)\right)$$

hvor:

F = CH₄ per kg VS

b1 og b2 = skaleringsfaktorer, 1 for VSd og 0.01 for VSnd (dimensionsløs)

A = Arrhenius parameter, g CH₄ per kg VS per h

E = den tilsyneladende aktiveringsenergi, J per mol

R = gaskonstanten, J per K per mol

T = temperatur, K.

Aktiveringsenergien (Ea) på 80,9 kJ per mol er baseret på Elgaard et al. (2016). I samme reference blev foretaget målinger på både svinegylle, kvæggylle og afgasset biomasse, og man fandt ingen statistisk forskel mellem de forskellige biomasser.

Tabel 5.1 Anvendte parametre.

	Ea, J mol ⁻¹ ^a	Ln(A), g CH ₄ kg ⁻¹ VS h ⁻¹	VSd, %	VSnd, %
Kvæggylle	80.900 ^a	29,96 ^b	32,63 ^b	67,37 ^b
Svinegylle	80.900 ^a	31,30 ^b	50,87 ^b	49,13 ^b
Afgasset biomasse	80.900 ^a	30,10 ^a	13,9 ^c	86,1 ^c

Referencer; a) Elsgaard et al. (2016), b) Petersen et al. (2016), c) Møller og Moset (2015)

5.3 Forholdet mellem CH₄ og CO₂ i afgangsluften fra gylle

Forholdet mellem CH₄ og CO₂ i afgangsluften fra gylle anvendes til at beregne nedbrydningsfunktionen af VS. Denne er baseret på litteratordata fra Dinuccioa et al. (2008) og Møller (2016). Her er tabet af C fra gødningslagre gennemsnitlig estimeret til en fordeling på 25 % CH₄-C og 75 % CO₂-C. For afgasset biomasse anvendes et forhold på 10 % CH₄-C og 90 % CO₂-C (Dong, 2013).

5.4 Den gennemsnitlige opholdstid i stalden (HRT, Hydraulic Retention Time)

Den gennemsnitlige opholdstid for gyllen i stalden (HRT, Hydraulic Retention Time) er defineret, som dage mellem udslusninger af gyllen, delt med 2. Produktionsrytmen i svinestalde er typisk relativt konstant. Som eksempel kan nævnes slagtesvin. Der indsættes grise i en nyvasket stald, hvor de opholder sig i ca. 90-100 dage. Ca. midtvejs i produktionsperioden udsluses gylle, fordi gyllekummen er fuld, og næste udslusning foretages, når svine- ne udtages fra stalden i forbindelse med slagting. Det medfører en opbyg- ning af gylle i gyllekummen over ca. 45 dage, og det betyder, at den gen- nemsnitlige opholdstid af gyllen er 22 dage. Ti danske landmænd, som leve- rer gylle til biogasanlæg, er blevet besøgt og interviewet om gylleudpump- nings- og afhentningsrutiner, men der er ikke på den baggrund fundet do- kumentation for at produktionssystemer, som leverer gylle til biogasanlæg, har andre opholdstider i stalden (Kai et al., 2015). Derfor er der i beregnin- gen antaget den samme opholdstid i stalden for både ubehandlet gylle og gylle, som leveres til biogasanlæg.

I forbindelse med denne opgørelse har Agrotech (Kai et al., 2015) undersøgt opholdstider i forskellige staldsystemer og på baggrund heraf vurderet op- holdstider for samtlige staldtyper, der indgår i det danske normtalssystem (DCA, 2016). Fordelingen af dyr på de forskellige staldtyper fås fra NaturEr- hvervstyrelsen. Alle danske landmænd skal årligt aflevere et gødningsregn- skab til NaturErhvervstyrelsen. I dette regnskab indgår hvilke staldtyper hver enkelt landmand har, og hvor mange dyr, der er produceret i hvert staldsystem. Disse oplysninger modtager DCE årligt fra NaturErhvervsty- relsen til brug for de nationale emissionsopgørelser. Tabel 5.2 viser udvik- lingen i den gennemsnitlige HRT fra 1990 til 2014.

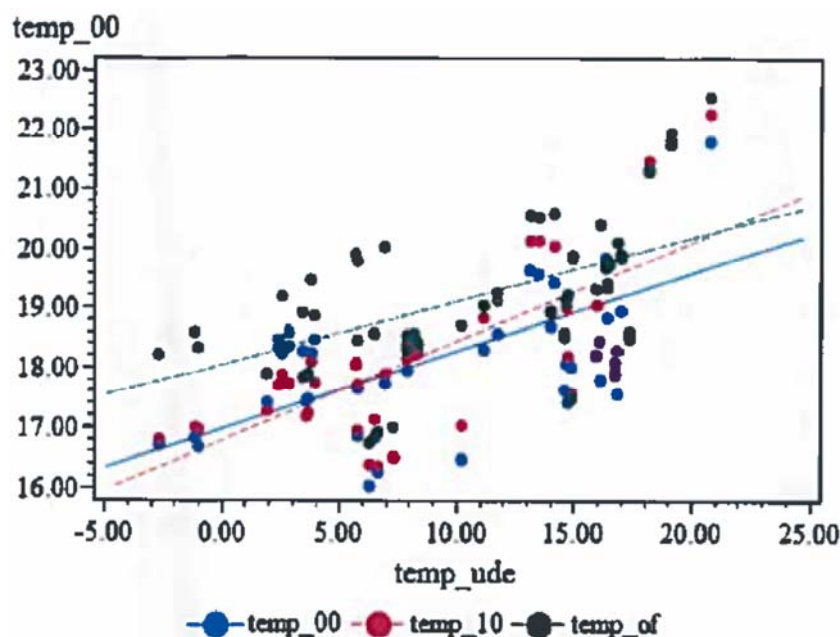
Tabel 5.2 Gennemsnitlig HRT for gylle i kvæg- og svinestalde fra 1990 til 2014, dage.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Kvæg	18,38	18,22	20,93	20,33	19,97	20,09	20,19	20,85	20,08
Svin	21,66	21,52	21,14	19,54	19,49	19,31	19,17	19,07	19,01

For kvæggylle ses en stigning i den gennemsnitlige opholdstid. Det skyldes primært udfasning af bindestald med riste til malkekøer til løsdriftssystemer med ring- og bagskylskanaler, hvor gyllens opholdstid i sidste nævnte er be- tydeligt højere. De senere års nybygninger af stalde med skrabere bevirker, at der fremadrettet forventes en lavere gennemsnitlig HRT for gylle i kvæg- stalde. For svin ses et jævnt fald. Det skyldes primært udfasning af fuldspal- tegulve til delvis spaltegulv, hvor der er en lavere volumen i gyllekanalen per svin.

5.5 Gylletemperaturen i stalden

Gylletemperaturen i svinestalde er bestemt ud fra målinger foretaget af Pe- tersen et al. (2016) og Holm (2015). Figur 5.1 viser målingerne foretaget af Holm (2015).



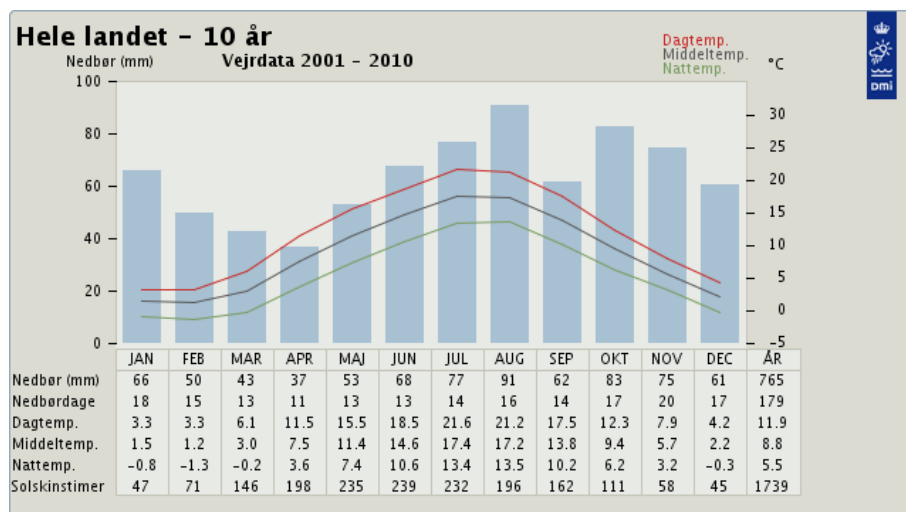
Figur 5.1 Målt gylletemperatur i slagtesvinstalde på forskellige tider af året. De forskellige farver indikerer forskellige gyllehøjder i kanalerne (Holm, 2015).

I svinestalde forsøger man at opretholde en jævn temperatur i stalden på omkring 18-20 °C. Lufttemperaturen styres oftest via mekanisk ventilation, men typisk vil temperaturen i praksis givetvis variere over året. På baggrund af variationer i gylletemperaturen vist i figur 5.1 baseret på Holm (2015), er der dog ikke grundlag for at udvikle en model med årstidsvariationer. I modellen er antaget en gylletemperatur på 18,6 °C gennem hele året baseret på målte data (Holm, 2015). Kvægstalde er oftest åbne stalde med naturlig ventilation og derfor vil gyllens temperatur i stalden variere i takt med ændringer i lufttemperaturen over året. Kun få målinger af temperatur i kvæggylle er fundet i litteraturen. Petersen et al. (2016) foretog 12 målinger i november og december 2014. Her blev den gennemsnitlige udetemperaturen målt til 5,2°C og den gennemsnitlige gylletemperatur målt til 9,8 °C. Dette bekræftes af målinger foretaget i hollandske stalde (De Mol & Hilhorst, 2004; Groenenstein et al., 2012). I modellen er antaget et konservativt estimat for gylletemperaturen svarende til den gennemsnitlige udendørs temperatur plus 5 °C.

5.6 Gylletemperaturen for udendørs lagret biomasse

Gylletemperaturen for udendørs lagret biomasse vil tilnærmelsesvis følge udetemperaturen korrigeret for en buffer pga. jordkontakten. Via litteraturstudie er indsamlet data for målinger af temperaturer i gyllen og på baggrund heraf udviklet en simpel korrelation mellem udetemperatur og gylletemperatur.

Som gennemsnitlig udetemperatur er anvendt månedlige gennemsnitstemperaturer for Danmark målt af Danmarks Meteorologisk Institut (DMI) for perioden 2001 til 2010. De angivne månedlige temperaturer er efterfølgende omregnet til en sinusfunktion for at modellen kan foretage beregninger i tidsstep på en dag.



Figur 5.2 Gennemsnitstemperature i Danmark 2001-2010 (Vang, 2013).

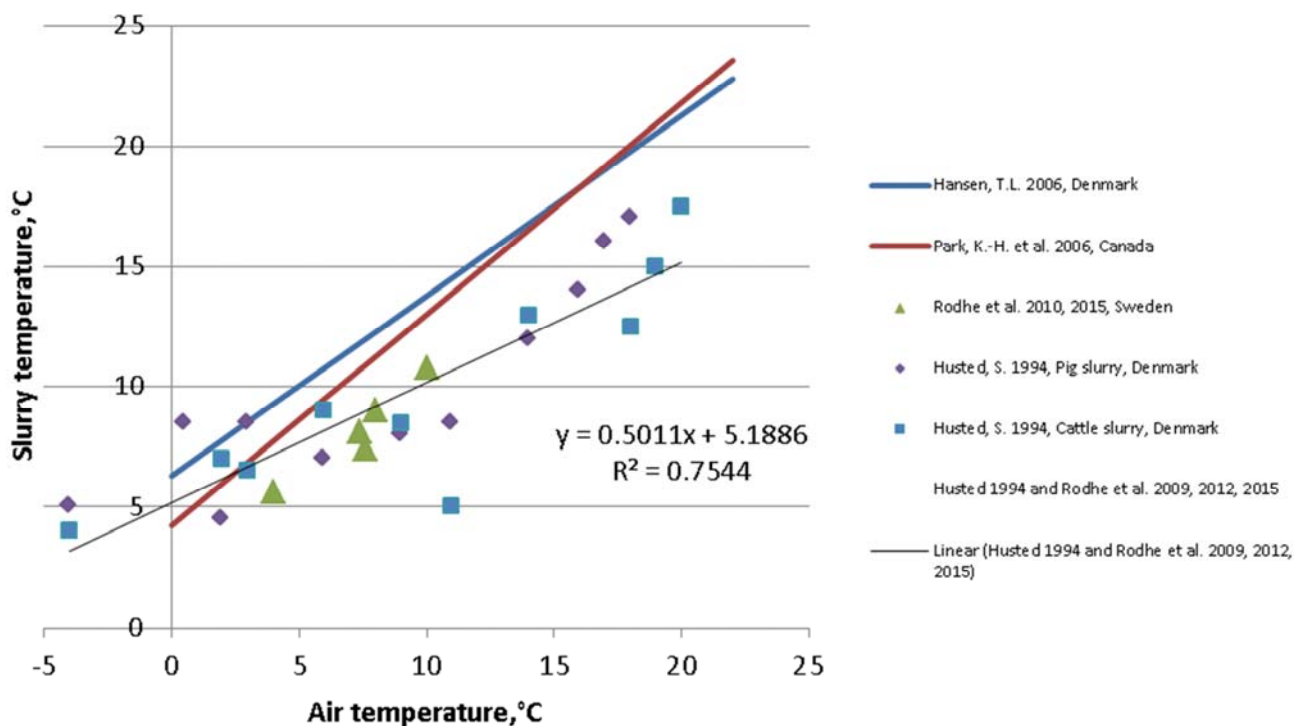
Tabel 5.3 viser parametrene for sinusfunktionen.

Tabel 5.3 Parametre for sinusfunktionen for lufttemperatur.

$R^2 = 0.994$

Parameter	Værdi	Std afvigelse	t-værdi	95% konfidens interval	
a	8,697	0,167	81,49	8,47	8,92
b	8,234	0,141	58,38	7,94	8,52
c	4,253	0,028	110,00	4,17	4,25
d	363,134	1,878	193,31	359,21	367,05

Den udendørs gylletemperatur er baseret på litteraturstudier med baggrund i danske og svenske målinger (figur 5.3).



Figur 5.3 Målte og modellerede temperature i gylle i gylletanke.

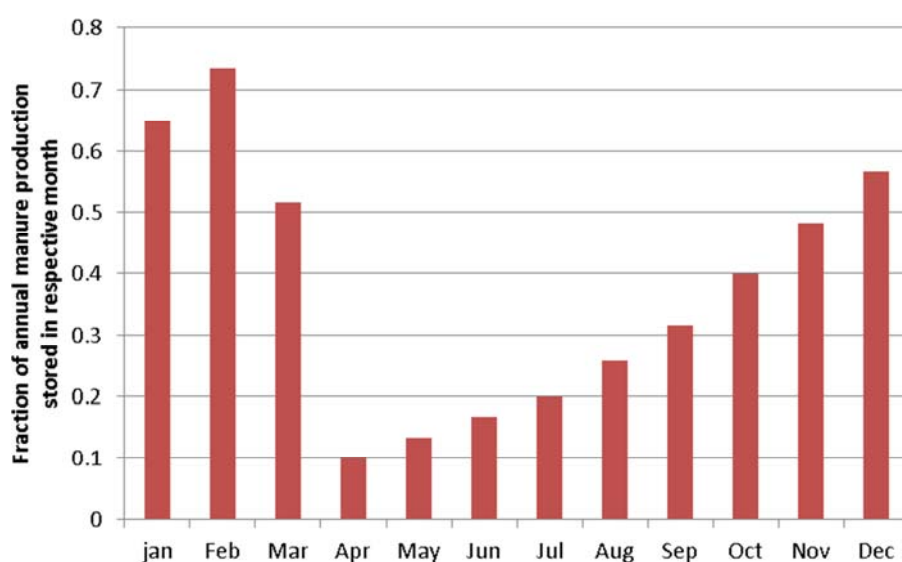
I litteraturen er endvidere fundet andre, som har forsøgt sig med parametrisering. I Hansen et al. (2006) rapporterer danske målinger i afgasset biomasse returneret til gårdene. Heri fremgår det, at temperaturen i afgasset biomasse er højere end hvad målingerne viser for ubehandlet gylle. En anden parametrisering er foretaget af Park et al. (2006) på baggrund af data fra det sydlige Ontario, Canada. Dette svarer til data fra Provence i Frankrig, hvor indstrålingen er højere. Derfor kan resultaterne ikke direkte overføres til de forhold, der gør sig gældende i Danmark. I biogas-modellen er anvendt to forskellige modeller;

For ubehandlet gylle er anvendt $T_{\text{gylle}} = 0,5011 \cdot A_{\text{temp}} + 5,1886$, som er baseret på målte temperaturer i Danmark (Husted, 1994) og Sverige (Rodhe et al, 2009, 2012, 2015), hvor: T_{gylle} = gylletemperatur, °C og A_{temp} = Lufttemperatur, °C.

For afgasset biomasse er antaget, at biomassen har en højere temperatur end normal gylle. Her er anvendt modellen fra Hansen et al. (2006), $T_{\text{gylle}} = 6,3 + A_{\text{temp}} \cdot 0,75$

5.7 Udbringningstidspunktet for husdyrgødning og afgasset biomasse

Udbringning af husdyrgødning er i Danmark reguleret via lovgivningen. Der må ikke udbringes husdyrgødning før 1. februar og husdyrgødningen må kun udbringes i afgrøder med en kvælstofnorm, samt i afgrøder der høstes i indeværende år (dog med meget små undtagelser). Det betyder, at der typisk er krav om minimum 10 måneders lagringskapacitet. Det medfører, at forårsudbringning er dominerende, dog udbringes en mindre andel i sommerperioden til græs samt til vinterraps i august måned. På baggrund af samtaler med fagfolk fra AgroTech er der udarbejdet en model for udbringningsmønstret i Danmark. Figur 5.4 viser den lagrede gyllemængde i forhold den samlede producerede mængde husdyrgødning. Disse oplysninger er indbygget i emissionsberegningerne.



Figur 5.4 Andelen af lagret husdyrgødning set i forhold til den samlede produktion. Ved starten af maj er den mindste andel lagret. Det er antaget, at gylletankene tømmes til 10 % af deres kapacitet, svarende til en restmængde på 40 cm. De opgivne andele er korregeret for gødning afsat på græs.

5.8 Samlet model

Den samlede model beregner metanemissionen for henholdsvis kvæg- og svinegylle. For stalde gælder at CH_4 , VSd og VSnd er baseret på målinger (Petersen et al. 2016). Målingerne er foretaget på et givet tidspunkt i stalden og ikke præcis på det tidspunkt, hvor husdyrgødningen er udskilt. Metanemissionen fra stald er derfor beregnet som en konstant emission per dag, uanset at der i staldperioden vil ske en nedbrydning af VS. Den specifikke metanemission i svinestalde ved 18,6 °C er ud fra dette beregnet til at være 569,5 g CH_4 per kg VS per år, svarende til 1,56 g CH_4 per kg VS per dag. Her er ikke foretaget en opdeling på VSd og VSnd , fordi den målte metanemission er relateret til VS. Den samlede mængde metanemission fra stald beregnes som den total mængde udskilt VS ganget med 1,56 g CH_4 per kg VS per dag og ganget med den beregnede gennemsnitlige opholdstid.

For kvægstalde anvendes en varierende temperatur hen over året. Emissionsfaktoren på 66,92 g CH_4 per kg VS, som er angivet i Tabel 4.1, er den gennemsnitlige metanemission hen over året. Denne kombineres så med den gennemsnitlige opholdstid ud fra en antagelse om, at der sker en konstant VS udskillelse per dag i stalden. I beregningerne er der således ikke taget hensyn til afgræsning om sommeren, som betyder, at der udskilles en mindre mængde gylle i stalden. Det antages, at effekten af afgræsning kun har en meget lille indflydelse, fordi malkekvæget i Danmark i de større bedrifter typisk holdes opstaldet året rundt.

Metanemissionen fra udendørslagring af ubehandlet gylle er beregnet i en matrice, som henholdsvis tilfører og frafører gyllen med et tidskridt på 10 dage. Matricen summerer den samlede metanemission indtil der stort set ikke længere forekommer en omsætning af VS til metan (ca. 2 år). Mængden af VS, der tilføres udendørslaget, er den samlede VS-udskillelse fra dyrene samt strøelse korregeret for VS-tab i stalden. For hvert tidskridt fjernes VSd og VSnd fra lageret og en ny metanemission beregnes. Samlet giver det for kvæggylle en emission på 12,02 g CH_4 per kg udskilt VSd og 0,16 kg CH_4 per VSnd (Tabel 4.1). For svinegylle er parametrene 29,64 g CH_4 per kg udskilt VSd og 0,63 kg CH_4 per VSnd (Tabel 4.1).

Til beregning af metanemissionen fra udendørslagring af afgasset gylle anvendes mængden af afgasset gylle som leveres til biogasanlæggene baseret på BIB-registeret. Samme model som anvendes for ubehandlet gylle anvendes i emissionsberegningen, dog anvendes en højere temperatur for slutlageret. Den tilbageførte biomasse har et højt indhold af VSnd og afgiver derfor kun meget lidt metan. På grund af den lave aktivitet er der antaget et $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ -forhold på 0,1, dvs. lavere end i ubehandlet gylle (Dong, 2013).

6 Beregning af metanreduktion ved biogasproduktion samt gyllekøling og reduceret opholdstid for gylle i stald

Metanemissionen fra afgasset gylle er lavere end for ubehandlet gylle, fordi gyllens organiske materiale (VS) gennemgår en anaerob nedbrydningsproces, hvorved der dannes biogas – en blanding af metan og kuldioxid. Biogassen erstatter fossil energi og den afgassede gylle tilbageleveres til bedriften og anvendes som gødning på marken. VS-indholdet i gyllen er reduceret og dermed vil også metanemissionen være reduceret sammenlignet med ubehandlet gylle.

I Biogas-projektet er fremskaffet data, som har gjort det muligt at beregne en national MCF for afgasset og ubehandlet gylle for henholdsvis svin og kvæg. I det følgende er beregnet hvor meget af metanemissionen, der er reduceret som følge af afgang i biogasanlæg. Det vil sige forskellen mellem metanemissionen fra afgasset gylle og metanemissionen fra ubehandlet gylle. Energistyrelsen har udtrykt ønske om, at reduktionen opgøres som reduceret emission i CO₂-ækvivalenter per ton gylle, som er afgasset, og som reduceret emission i CO₂-ækvivalenter per produceret PJ. Dernæst følger en beregning af ændringer i metanemissionen ved køling af gylle i stalden og kortere opholdstid for gyllen i stalden, som begge er tiltag, der medvirker til en lavere metanemission.

6.1 Beregning af metanemission per ton ubehandlet gylle

I beregningen af metanemissionen fra ubehandlet gylle skelnes mellem kvæggylle og svinegylle. Metanemissionen varierer afhængigt af dyretype og staldsystem, og i de følgende beregninger er der taget udgangspunkt i gødningsproduktion og metanemissionen for de mest udbredte staldsystemer - baseret på 2014 data.

Malkekvæg og kvier bidrager med langt størstedelen af den samlede mængde gylle fra kvæg og beregningen tager derfor udgangspunkt i disse to kvægggrupper. Malkekvæg i sengestald med spaltegulv er den mest udbredte staldtype og udgør 58 % af den samlede malkekvægsproduktion. For kvier er spaltegulvbokse den mest anvendte staldtype og udgør 27 % af den samlede produktion af kvier. Metanemissionen er beregnet per dyr og er baseret på data fra emissionsopgørelsen for 2014. Her er gødningsproduktion og VS (80 % af tørstof indholdet) baseret på normtallene, B₀ er baseret på IPCC-standardværdi og den beregnede nationale værdi for MCF. Metanemissionen for ubehandlet gylle er således beregnet til 0,80 kg CH₄ per tons gylle for malkekvæg og 0,50 kg CH₄ per tons gylle for kvier. Vægtes dette i forhold til fordelingen af samlet mængde gylle i emissionsopgørelsen – dvs. med en fordeling på 90 % for malkekvæg og 10 % for kvier, så fås en vægtet emission på 0,77 kg CH₄ per tons kvæggylle.

Tilsvarende beregning er udarbejdet for svin, som omfatter gylle fra henholdsvis søer, smågrise og slagtesvin, hvis gødningsproduktion og fordeling ligeledes er baseret på emissionsopgørelsen 2014. Her er estimeret en vægtet metanemission for svinegylle på 2,49 kg CH₄ per tons gylle.

Tabel 6.1 Beregning af metan emissionen per tons kvæg- og svinegylle.

Ubehandlet	Mest udbredte stald-	Staldtype	Tons gylle ab	Fordeling af gylle	Emission, tons	Kg CH ₄ per tons
Malkeko	Sengestald m.	58	30,41	90	0,024	0,80
Kvie, fra 6 mdr.	Spaltegulvbokse	27	7,28	10	0,004	0,50
Kvæg, vægtet						0,77
Søer	Individuel opstaldning,	60	4,01	29	0,008	2,11
Smågris	Toklimastald, delvis	74	0,13	19	0,0003	2,03
Slagtesvin	Fuldspaltegulv	44	0,55	52	0,002	2,86
Svin, vægtet						2,49

6.2 Beregning af metanreduktion per ton afgasset gylle i biogasanlæg

På baggrund af resultater fra Biogas-projektet er der beregnet en national MCF for henholdsvis ubehandlet og afgasset kvæg- og svinegylle (se tabel 3.1). Det betyder, at hvis et tons kvæggylle ikke lagres i gylletanken frem til udbringning på marken, men i stedet leveres til biogasanlæg, så vil metanemissionen være 41 % lavere. Reduktionen i metanemissionen for kvæggylle vil således være 0,32 kg CH₄ per tons afgasset gylle, hvilket omregnet i CO₂-ækvivalenter svarer til 7,88 kg CO₂-ækv. per tons afgasset kvæggylle.

Tilsvarende beregning er lavet for svinegylle, hvor der opnås en lidt større reduktion på 0,61 kg CH₄ per tons afgasset gylle eller omregnet til 15,32 kg CO₂-ækv. per tons afgasset gylle.

I BIB-registeret for planår 2014/2015 fordeler kvæg- og svinegylle, leveret til biogasanlæggene, sig med henholdsvis 58 % og 42 %. Anvendes denne fordeling, fås en vægtet reduktion på 11,00 kg CO₂-ækv. per tons afgasset gylle.

I beregningen antages samme forhold mellem gylle og anden biomasse som opgjort i BIB registeret i planår 2014/2015. Som tidligere nævnt omfatter beregning af den nationale MCF en metanemission fra den afgassede biomasse, der består af såvel husdyrgødning som anden biomasse. Denne metanemission er baseret på målinger, og det er derfor ikke muligt at fastslå hvor stor en del af emissionen, der kommer fra henholdsvis husdyrgødning og fra anden biomasse. Det vurderes, at størstedelen af det organiske materiale i den øvrige biomasse leveret til biogasanlæg er på en nedbrydelig form. Det betyder, at metanemissionen fra afgasset øvrigt biomasse må antages at være stærkt begrænset. Således vil den metanemission, der sker i den afgassede biomasse, hovedsagelig stamme fra husdyrgødningen.

Der er implicit i beregningen af den reducerede metanemission per tons afgasset gylle antaget, at der ikke sker væsentlige ændringer i fordelingen mellem husdyrgødning og øvrig biomasse.

Tabel 6.2 Beregning af reduceret emission.

	Ubehandlet	Reduktion i MCF	Reduktion i emission	Reduktion i emission
	kg CH ₄ per tons gylle	%	kg CH ₄ per tons gylle	kg CO ₂ -ækv. per tons gylle
Kvæg	0,77	41	0,32	7,88
Svin	2,49	25	0,61	15,32
Blandet gylle				11,00

* Vægtet med 58 % kvæggylle og 42 % svinegylle baseret på fordeling i BIB-registeret planår 2014/2015

I BIB-registeret for planår 2014/2015 er den samlede energiproduktion på husdyrgødningsbaserede anlæg angivet til 3.600 TJ (tabel 2.1), og disse biogasanlæg har modtaget 2,854 mio. tons gylle til afgang. Under antagelse af at forholdet mellem husdyrgødning og anden biomasse er fastholdt, så kræves der 0,7928 mio. tons gylle til afgang for at opnå en energi produktion på 1 PJ $= (2,854 \text{ mio. tons gylle} / 3,600 \text{ PJ})$.

Afgang af 1 tons blandet gylle betyder en reduktion på 11,00 kg CO₂-ækv. (tabel 6.2). Heraf følger, at en stigning i biogas produktionen på 1 PJ vil medføre en reduktion i CO₂ emissionen i landbruget på 8,72 kt CO₂-ækv. Denne faktor er behæftet med relativ stor usikkerhed, og vil ændre sig ved relativt små ændringer i de underliggende data for gyllemængder, energiproduktion mv. Faktoren omfatter alene reduktionen i metanudledningen fra gylle.

6.3 Køling af gyllen

Metanemissionen afhænger af omsætningen af VS i gyllen som igen afhænger af gyllens temperatur. Omsætningen kan reduceres/forsinkes ved at afkøle gyllen. I det følgende beregnes reduktionen i MCF som følge af en sænkning af gyllens temperatur i stalden med 10 grader.

Gyllekøling er mest relevant i svinestalde som under danske forhold skal være opvarmet. Den indvundne varme kan genanvendes til anden opvarmning, hvilket typisk vil være gældende i stalde, som også har produktion af søer- og smågrise (Halberg, 2016).

Gyllekøling er mindre interessant i kvægstalde. Etablering af køleslanger i kanalbund er relativt dyrt som tiltag for at begrænse ammoniakemissionen, fordi overskudsvarmen ikke på samme måde nødvendigvis kan anvendes andre steder i produktionen. Der arbejdes på udvikling i muligheden for at sænke temperaturen af kvæggyllens overflade, men der er endnu ikke udviklet et kølingssystem, som kan bringes i anvendelse (Hansen et al, 2011). I følgende beregning er derfor alene set på reduktionen i metanemissionen for gyllekøling i svinestalde.

6.3.1 Gyllekøling i svinestalde

Som beskrevet kapitel 5 (punkt 5) varierer svinegyilles temperatur i stalden lidt over året, men en gennemsnitlig gylletemperatur på 18,6 °C for hele året anvendes i den udviklede model til beregning af metanemissionen under danske produktionsforhold. I den følgende beregning anvendes samme modelberegning, men med en gennemsnitlig gylletemperatur i stalden, som er 10 °C lavere – dvs. svarende til 8,6 °C.

En 10 °C temperatursænkning i gyllen har en stor effekt på metanemissionen. Modelberegningen viser, at MCF reduceres fra 13,96 % (tabel 6.3) til 7,81 % alene for ubehandlet gylle, hvilket svarer til en reduktion på 44 %. For afgasset gylle reduceres MCF fra 10,53 % til 3,70 %. Den lavere temperatur i gyllen i stalden vil reducere metanemissionen fra stalden og dermed vil en større mængde VS forblive i gyllen i lageret. I relation til biogasproduktion, betyder øget VS indhold i gyllen et øget energipotentiale.

Tabel 6.3 MCF for svinegylle ved normal temperatur og gyllekøling med 10 °C sænkning, %.

	Normal temp. (18,6 °C)	Sænket temp. (8,6 °C)
Afgasset	10,53	3,70
Ubehandlet	13,96	7,81

6.4 Reduceret opholdstid af gyllen i stalden

Omsætningen af VS i gyllen påbegynder allerede i gyllekanalen, og især for svinegylle omsættes betydelige mængder af gyllen inden den sluses ud af stalden og bringes videre til gylletanken eller leveres til biogasanlæg. En reduktion i gyllens opholdstid i stalden vil betyde, at en mindre del af VS i gyllen omsættes, og dermed vil metanemissionen ligeledes blive reduceret. I det følgende beregnes reduktionen af MCF, som følge af reduktion af gyllens opholdstid i stalden svarende til, at der for alle stalde foretages en ugentlig udslusning.

6.4.1 Reduktion af gyllens opholdstid i kvægstalder

I kvægstalder er det ikke muligt/rentabelt at sluse gyllen på ugentlig basis for alle staldd typer. Kai (2016) har vurderet, at for malkekvæg vil ugentlig udslusning af gylle være mulig for sengestalde med kanal og bagskyld, hvor opholdstiden er estimeret til 30-40 dage. For staldanlæg med kvier, antages at ugentlig udslusning af gylle er muligt for spaltegulvbokse, som har en opholdstid på 50 dage. Ved at reducere gyllens opholdstid i stalden til 7 dage, for de staldd typer hvor dette er muligt, bliver den gennemsnitlige opholdstid (vægtet HRT) i 2014 reduceret fra 20,08 dage (se tabel 5.2) til 7,34 dage.

Når den lavere værdi for vægtet HRT anvendes i beregningsmodellen, resulterer det i et lavere tab af metan og dermed en lavere MCF. Det betyder, at reduktion i gyllens opholdstid i stalden til ugentlig tømning vil betyde, at MCF for ubehandlet gylle vil blive reduceret fra 4,95 % til 3,47 %. Ligeledes vil MCF for afgasset gylle reduceres fra 2,92 % til 1,40 % som følge af reduceret HRT.

Tabel 6.4 MCF for kvæg ved normal og reduceret opholdstid af gyllen i stalden, %.

	2014	Reduceret HRT
Afgasset	2,92	1,40
Ubehandlet	4,95	3,47

6.4.2 Reduktion af gyllens opholdstid i svinestalde

Den praktiske håndtering af ugentlig udslusning af gylle i stalden vurderes af Kai (2016) at være mulig i alle typer af svinestalde. For stalder med slagtesvin og smågrise er gyllens opholdstid estimeret til mellem 10 – 30 dage, mens variationen er større for stalder med søer. En reduktion i opholdstiden til HRT på 7 dage for alle stalder, vil betyde en reduktion af den gennemsnitlige HRT fra 19,01 dage (se tabel 5.2) til 6,88 dage. Den gennemsnitlige HRT er lavere end 7, fordi visse staldd systemer som bindestald og sengestald med fast gulv og 2 % hældning har HRT på henholdsvis 4 og 6 dage. I beregningsmodellen vil anvendelse af den gennemsnitlige HRT på 6,88 dage resultere i en lavere metanemission og dermed også en lavere MCF. For ubehandlet svinegylle vil MCF således blive reduceret fra 13,56 % til 8,31 %, mens MCF for afgasset svinegylle reduceres fra 10,53 % til 4,25 %.

Tabel 6.5 MCF for svin ved normal og reduceret opholdstid af gyllen i stalden, %.

	2014	Reduceret HRT
Afgasset	10,53	4,25
Ubehandlet	13,56	8,31

6.5 Opsummering af reduktion i emission som følge af tiltag

I tabel 6.6 er vist de i Biogas-projektet beregnede MCF-værdier for 2014 for kvæg- og svinegylle for henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle. Disse MCF'er er sammenholdt med de beregnede MCF-værdier for to tiltag; en sænkning af gylletemperaturen med 10 °C og en reduktion i gyllens opholdstid i stalden. En temperatursænkning af gylle i kvægstalde er som nævnt i afsnit 6.3 ikke relevant før en relevant teknologi er udviklet, og derfor er MCF den samme, som angivet for 2014.

Begge tiltag medvirker til en reduktion af MCF. For ubehandlet kvæggylle vil reduktion i HRT således betyde, at MCF reduceres med 30 %. For svinegylle er effekten af temperatursænkning af gylle en reduktion af MCF på 44 % - dvs. en anelse større end effekten af reduktion i gyllens opholdstid i stalden, hvor MCF reduceres med 40 %.

Tabel 6.6 Estimeret MCF for 2014 sammenholdt med tiltag; reduceret temperatur i stald og reduceret opholdstid for gylle i stald.

	2014	Reduceret temperatur	Reduceret HRT
Kvæg			
Ubehandlet gylle	4,95	-	3,47
Afgasset gylle	2,92	-	1,40
Svin			
Ubehandlet gylle	13,96	7,81	8,31
Afgasset gylle	10,53	3,70	4,25

I tabel 6.7 er vist beregningen af metanemissionen opgjort per tons gylle. Emissioner for 2014 er sammenlignet med emissionerne som følge af de to tiltag; temperatursænkning af gyllen i stald og reduceret HRT. Metanemissionen for et tons ubehandlet kvæggylle i 2014 er beregnet til 0,77 kg CH₄. Hvis HRT reduceres til ugentlig udslusning for de staldsystemer, hvor det vurderes muligt, vil metanemissionen for et tons kvæggylle blive reduceret til 0,54 kg CH₄.

Tabel 6.7 kg CH₄ emission per ton gylle.

	2014	Reduceret temperatur	Reduceret HRT
Kvæg			
Ubehandlet gylle	0,77	-	0,54
Afgasset gylle	0,45	-	0,22
Svin			
Ubehandlet gylle	2,49	1,39	1,48
Afgasset gylle	1,88	0,66	0,76

I tabel 6.8 følger en beregning af den reducerede metan som følge af afgasning af gylle og som følge af reduceret gylletemperatur og reduceret HRT. Den reducerede metanemission er opgjort som CO₂-ækvivalenter ved anvendelse af et GWP (Global Warming Potential) på 25 (UNFCCC, 2014).

Metanemissionen for ubehandlet svinegylle er for 2014 beregnet til at være 2,49 kg CH₄ per ton gylle og ved afgangning reduceres emissionen til 1,88 kg CH₄ per ton gylle (tabel 6.6). Det betyder en reduktion på 0,61 kg CH₄ hvilket svarer til en reduktion på 15,32 kg CO₂-ækv. for hvert ton svinegylle, der afgasses (0,61 kg CH₄ x 25). Såfremt et ton svinegylle både afgasses og at der ydermere sker en temperatursænkning i gyllen, så opnås en reduktion på 1,83 kg CH₄ (2,49 – 0,66) svarende til 45,81 kg CO₂-ækv. per ton svinegylle.

I tabellen er vist reduktionen i CO₂-ækvivalenter per ton gylle for henholdsvis kvæg og svin, men der er også angivet en beregning for blandet gylle, hvor kvæggylle udgør de 58 % og svinegylle 42 % svarende til fordelingen i BIB-registeret for planår 2014/2015.

En øget energiproduktion i biogasanlæggene på 1 PJ på de husdyrgødningsbaserede biogasanlæg, vil kræve afgangning af 0,7928 mio. tons gylle (jf. Afsnit 6.2). Afgasning + reduktion i gylletemperatur af 1 tons blandet gylle betyder en reduktion på 23,81 kg CO₂-ækv. Heraf følger at en stigning i biogasproduktionen på 1 PJ vil medføre en reduktion i CO₂ emissionen på 17,35 kt CO₂-ækv. (23,81 x 0,7928).

Tabel 6.8 Reduceret mængde CO₂-eqv per ton gylle og per produceret PJ.

kg CO ₂ -eqv. per:	ton kvæggylle	ton svinegylle	ton blandet gylle ¹	kt CO ₂ -eqv pr PJ
Afgasning af gylle	7,88	15,32	11,00	8,72
Afgasning + reduceret temp	7,88	45,81	23,81	18,88
Afgasning + reduceret HRT	13,75	43,33	26,18	20,75

¹ Blandet gylle består af 58 % kvæggylle og 42 % svinegylle.

7 Referencer

Bioenergi, 2015: [http: Produktionsdata er angivet for fælles biogasanlæg på månedsbasis. Tilgængelig via: http://www.bioenergi.dk/produktionsdata](http://www.bioenergi.dk/produktionsdata)

Birkmose, T., Hjort-Gregersen, K. & Stefanek, S., 2013: Biomasse til biogasanlæg i Danmark - på kort og langt sigt. AgroTech nov. 2013.

Biogas Taskforce 2016. Rapporter / data udarbejdet i Biogas Taskforce projektet med henblik på at skabe data grundlag for at estimere en national MCF for henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle for kvæg- og svin;

- a) Elsgaard, L., Olsen, A. B. & S.O. Petersen, 2016: Temperature response of methane production in liquid manures and co-digestates, *Sci. of the Total Env.* 539, pp 78-84.
- b) Kai, P. Birkmose, T. & Petersen, S. 2015: Slurry volumes and estimated storage time of slurry in Danish livestock buildings. Report by AgroTech to the Danish Energy Agency, pp 32.
- c) Møller, H.B. & Moset, V., 2015: Methane emissions from liquid manure storage – influence of temperature, storage time, substrate type and anaerobic digestion. Draft Final report 2015, Biogas Taskforce. Aarhus University, Department of Engineering.
- d) Møller, H.B. & Nielsen, K.J., 2015. Biogas Taskforce - Udvikling og effektivisering af biogasproduktionen i Danmark. Faglig rapport udarbejdet af Henrik B. Møller, Seniorforsker, Inst. for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet og Karl Jørgen Nielsen, Projektleder, PlanEnergi
- e) 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. *PLoS ONE* 11(8): e0160968. doi:10.1371/journal.pone.0160968
- f) Regneark udarbejdet af ENS, indeholdende data for indberetninger fra biogasanlæg for planår 2014/2015 for biomasse i biogasproduktion (BIB-registeret)

DCA, 2016. Normtal husdyrgødning. Tilgængelig via: <http://anis.au.dk/forskning/sektioner/husdyrernaering-og-fysiologi/normtal/>

Dinuccioa, E, Berg, W. & Balsari, P. 2008: Gaseous emissions from the storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atm. Env.* 42, 2448-2459.

de Mol, R.M. & Hilhorst, M.A. 2004, Emissiereductieopties voor methaan uit mestopslagen, Agrotechnology & Food Innovations B.V., rapportnr. 165, ISBN-nr. 90-6754-780-8.

Dong, H., 2013: Pers. Comm. Dr. Hongmin Dong, medforfatter til IPCC Guidelines og ansat i CAAS - Chinese Academy Of Agricultural sciences, Beijing.

Elsgaard, L., Olsen, A.B. & S.O. Petersen, 2016: Temperature response of methane production in liquid manures and co-digestates, *Sci. of the Total Env.* 539, pp 78-84.

ENS, 2015a. Energistatistik 2014. Udgivet i november 2015 af Energistyrelsen, Amaliegade 44, 1256 København K.

ENS, 2015b: Data for biogasproduktion i Danmark 2000 – 2014. Tilgængelig via;
http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/biogas/biogasproduktion_2000_til_2014.pdf

Groenestein, K. Mosquera, J. & Van der Sluis, S., 2012: Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options, *Journal of Integrative Environmental Sciences*, Vol. 9, Supplement 1, November 2012, 139–146.

Halberg, N, 2016: Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 24. januar 2016, revideret 31. maj 2016.

Hansen, M.N., Kai, P., Hansen, P., Petersen, M.B. & Tellerup, H.J., 2011: Gyllekøling i kvægstalde – modelforsøg med overfladekøling i simuleret gyllekanal.

Hansen, T.L., Sommer S.G., Gabriel S. & Christensen T. H. 2006: Methane production during storage of anaerobically digested municipal organic waste. *J. Environ. Qual.*, 35, 830-836.

Holm, M., 2015: Personal Communication. Unpublished data recorded in SEGESs Pig Research Centre, Vinkelvej 11, 8620 Kjellerup, Denmark.

Husted, S., 1994: Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *J Environ Qual* 23:585–592
Jørgensen, P.J., 2009: Biogas – Grøn energi. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus.

Jørgensen, P.J., 2009: Biogas – Grøn energi. PlanEnergi. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet.

IPCC, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. & Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Tilgængelig via:
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Kai, P., 2016: Personlig kommunikation (mail pr. 16.08.2016). Teknologisk Institut.

Kai, P. Birkmose, T. & Petersen, S. 2015: Slurry volumes and estimated storage time of slurry in Danish livestock buildings. Report by AgroTech to the Danish Energy Agency, pp 32.

MST, 2014. Miljøprojekt nr. 1529, 2014. Organiske restprodukter - vurdering af potentiale og behandlet mængde. Civ. Ing Claus Petersen, cand. scient. Ole Kaysen og BSc. Julie Priess Hansen, Econet A/S.

Møller, H.B., 2016: Personlig kommunikation. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet.

Møller, H.B., 2013: Final Report: Biogas potentials in manure and effects of pre-treatment (2009-1-010294). Report to the Danish Energy Agency.

Møller, H.B. & Moset, V., 2015: Methane emissions from liquid manure storage – influence of temperature, storage time, substrate type and anaerobic digestion. Draft Final report 2015, Biogas Taskforce. Aarhus University, Department of Engineering.

NaturErhvervstyrelsen, 2016: Landbrugsindberetningen.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Møller, I.S., Schou, E., Suadicani, K., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L. & Hansen, M.G. 2016b. Denmark's National Inventory Report 2015 and 2016. Emission Inventories 1990-2014 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE –Danish Centre for Environment and Energy, 943pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. Tilgængelig via: <http://dce2.au.dk/pub/SR189.pdf>

Park, K.-H., Thompson, A.G., Marinier, M., Clark, K. & Wagner-Riddle, C., 2006: Greenhouse gas emissions from stored liquid swine manure in a cold climate. *Atm. Env.* 618-627.

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. *PLoS ONE* 11(8): e0160968. doi:10.1371/journal.pone.0160968

Rodhe, L., Ascue, J. & Nordberg, Å., 2009: Emissions of greenhouse gases (methane and nitrous oxide) from cattle slurry storage in Northern Europe. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 8, 012019.

Rodhe, L.K.K., Abubaker, J., Ascue, J., Pell, M. & Nordberg, Å., 2012: Greenhouse gas emissions from pig slurry during storage and after field application in northern European conditions. *Biosyst. Eng.* 113, 379–394.

Rodhe, L.K.K., Ascue, J., Willén, A., Persson, B.V. & Nordberg, Å. 2015: Greenhouse gas emissions from storage and field application of anaerobically digested and non-digested cattle slurry.

Sommer S. G., Petersen S. O. & Møller H.B. 2004: Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 69, 143-154.

Sommer, S.G., Møller, H.B. & Petersen, S.O. 2001: Reduktion af drivhusgas-emission fra gylle og organisk affald ved Biogasbehandling. *DJF rapport - Husdyrbrug*, 31, 53 pp.

UNFCCC, 2014. UNFCCC reporting guidelines, Decision 24/CP.19 Annex III. Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013, Part two: Action taken by the Con-

ference of the Parties at its nineteenth session. Tilgængelig via:
<http://unfccc.int/documentation/decisions/items/3597.php?such=j&vollte xt=24/CP.19>

Vang, P.R, 2013: Referenceværdier: Døgn-, måneds-og årsværdier for regioner og hele landet 2001-2010, Danmark for temperatur, relativ luftfugtighed, vindhastighed, globalstråling og nedbør. DMI. Tilgængelig via:
<http://www.dmi.dk/laer-om/generelt/dmi-publikationer/2013/#c10659>

BIOGASPRODUKTIONS KONSEKVENSER FOR DRIVHUSGASUDLEDNING I LANDBRUGET

I rapporten beskrives grundlaget for beregning af den såkaldte MCF faktor (metan konversions faktor), som anvendes for at kunne beregnes metanemissionen fra husdyrgødning i den danske opgørelse for drivhusgasemissioner fra landbrugssektoren. Datagrundlaget for denne beregning er baseret på resultater fra en række projekter iværksat af Biogas Taskforce og på baggrund heraf har det været muligt at estimere en national MCF for kvæg- og svinegylle for henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle. Derudover indeholder rapporten vurderinger af ændringer i emissionerne som følge af gyllekøling og reduceret opholdstid for gyllen i stalden, der kan medvirke til at danne et fagligt grundlag for værdisætning af biogasproduktionens positive eksternaliteter.