

# Final report

## 1.1 Project details

<b>Project title</b>	Præproces biogas til energi
<b>Project identification (program abbrev. and file)</b>	Journalnr.:64016-0015
<b>Name of the programme which has funded the project</b>	EUDP 2016 I
<b>Project managing company/institution (name and address)</b>	Aarhus Universitet, Nordre Ringgade 1, 8000 Århus C
<b>Project partners</b>	PlanEnergi
<b>CVR</b> (central business register)	31119103
<b>Date for submission</b>	30/11-2019

## 1.2 Short description of project objective and results

### *English version*

The project includes a combination of determination of the parameters that are important for the development of methane before the biogas process and development of technologies and decision support to minimize or exploitation of gas generated during storage in stables and in the tanks of the biogas plants. The project has contributed with knowledge reducing losses of methane and increasing the biogas production. Various technologies for collecting and utilizing methane have been studied and developed and there are several promising methods such as cooling the pre-tank, direct coupling to the gas system and purification with chemical gas scrubber

### *Danish version*

Projekt indeholder en kombination af bestemmelse af parametre der er af betydning for udviklingen af metan inden biogasprocessen og udvikling af teknologier og beslutningsstøtte til minimering eller udnyttelse af gas der udvikles under opbevaring i stalde og i for-tanke på biogasanlæggene. Projektet har bidraget med viden om hvordan tab af metan fra stalde og for-tanke kan minimeres samtidigt med at biogasanlæggene vil kunne øge deres biogasproduktion. Forskellige teknologier til at opsamle og nyttiggøre metanen er blevet undersøgt og udviklet og der findes flere lovende metoder som køling af for-tanken, direkte kobling til gassystemet og rensning med kemisk gas-scrubber.

## 1.3 Executive summary

Projektets har fokuseret på følgende områder:

- metan tab i stalde og for-tanke,
- udviklet teknologi til udvikling
- Demonstration af teknologi

Metantabet fra stalde og for-tanke er meget temperaturafhængigt og der er derfor udført et stort antal temperaturmålinger. I svinestalde har temperaturen i gennemsnit været 20-21 C og ved gyllekøling har det været muligt at reducere temperaturen med over 4 C. I for-tanke på biogasanlæg har temperaturen en afgørende betydning for udviklingen af metan og tabet af metan er derfor meget årstidsafhængigt eftersom tank temperaturen og ude temperaturen er stærkt korreleret. Tabene fra for-tankene kan være betydelige og i gennemsnit udgøre

>1% af den producerede gas. På nogle anlæg vil nyttiggørelse af denne metan have en værdi på over 500.000 kr.

Forskellige teknologier til at opsamle og nyttiggøre metanen er blevet undersøgt og udviklet og der findes flere lovende metoder som køling af for-tanken, direkte kobling til gassystemet og for-rensning af gas med scrubber. Anvendelse af gassen kan betyde at anlæggets gasoplag øges hvilket kan have konsekvenser for anlæggets godkendelse hvis gasoplaget overstiger 10 tons. Der er udviklet et beregningsværktøj til dette.

Udviklingen inden for biogasbranchen, med opførelse af nye og større biogasanlæg, samt udbygningen af eksisterende anlæg, medfører at flere anlæg vil komme over 10 tons gasoplag med deraf følgende behov for rådgivning opnået i projektet ligesom øget fokus på at reducere metantab fra biogasanlæg vil kunne gøre brug af den opnåede viden og den udviklede teknologi.

#### **1.4 Project objectives**

Projektet indeholder en bestemmelse af parametre, der er af betydning for udviklingen af metan inden biogasprocessen i hhv. stalde og for-tanke samt udvikling af teknologi til opsamling af gas fra for-tanke på biogasanlæg. Det vil ikke være den samme teknologi der skal anvendes på alle anlæg da teknologien afhænger af opbygningen af det enkelte anlæg og slutanvendelsen af gassen.

#### **1.5 Project results and dissemination of results**

Resultater fremgår af bilag 1.

##### **Formidling:**

Der er gennemført en del formidling af resultater på konferencer, følgende formidlinger er gennemført:

Møller, H. B. 2019. Future trends in increasing, optimizing and giving added value to biogasproduction, Nordic biogas conference, Oslo, Norway.

Møller, H. B, Veronica Moset Hernandez, Martin R. Weisberg, Radziah Wahid, Feng, L.. 2017 Biogas production by anaerobic digestion of cattle manure – impact of diet, temperature, pre-storage and co-digestion, The 15th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17/10/2017 → 20/10/2017

Feng, Lu, Møller HB. 2018. Methane emission during storage of manure, effect of storage temperature and addition. Annual International meeting of American Society of Agricultural & Biological Engineers, 2018.

Møller H.B., Moset V., Feng L., 2108. Increased gasproduction and reduction of GHG emissions by up front reduction and recovery of methane. Biogas science. International Conference on Anaerobic Digestion, Torino, Italy.

Der er udarbejdet 2 videnskabelige artikler:

Moset, Verónica; Wahid, R.; Ward, Alastair James; Møller, Henrik Bjarne. 2018. Modelling methane emission mitigation by anaerobic digestion: effect of storage conditions and co-digestion. I: Environmental Technology, 13.03.2018

Feng, L., Ward, A. J., Moset, V., & Møller, H. B. (2018). Methane emission during on-site pre-storage of animal manure prior to anaerobic digestion at biogas plant: Effect of storage temperature and addition of food waste. *Journal of Environmental Management*, 225, 272-279

## **1.6 Utilization of project results**

Projektet har været med til at igangsætte flere initiativer herunder et nyt projekt med hurtig udslusning af gylle fra stalde. Endvidere er en beregningsmodel og folder om "Gasoplag" publiceret på Planenergi's hjemmeside og udleveres i forbindelse med driftsleder seminar, kundebesøg etc.

Udviklingen inden for biogasbranchen, med opførelse af nye og større biogasanlæg, samt udbygningen af eksisterende anlæg, medfører endvidere at flere anlæg vil komme over 10 tons gasoplag med deraf følgende øget behov for rådgivning der vil drage nytte af de opnåede resultater.

## **1.7 Project conclusion and perspective**

Resultaterne fra projektet er meget vigtige for den videre biogas udbygning med stor fokus på at reducere metantab i hele kæden fra stalden, biogasanlægget og den endelige slutanvendelse af gødningsproduktet. Klimagevinsten ved biogasproduktion er således meget afhængig af tabet fra biogas reduceres til et minimum ligesom klimagevinsten ved anvendelse af husdyrgødning til biogas kan øges betydeligt ved hurtig udslusning af gylle. Der er igangsat initiativer med hurtig udslusning af gylle fra stalde som vil give øget viden og udvikling af teknologier.

## **Annex**

Bilag 1: Slutrapport

# Præ-proces biogas til energi

- Slutrapport

Energiudviklings- og demonstrationsprojekt

Oktober 2019

Udarbejdet af:

Henrik B. Møller<sup>1)</sup>, Karl Jørgen Nielsen<sup>2)</sup> og Anders H. Nedergaard<sup>2)</sup>

Aarhus Universitet<sup>1)</sup>

Institut for Ingeniørvidenskab

Blichers Allé 20

8830 Tjele

PlanEnergi Nordjylland<sup>2)</sup>

Jyllandsgade 1

9520 Skørping

## Indholdsfortegnelse

1. Indledning .....	3
2. Sammendrag - dansk .....	4
3. Resultater og data for arbejdspakke 2.....	5
3.1    Temperaturmålinger i stalde.....	5
3.2    Målinger på for-tanke på biogasanlæg .....	9
3.2.1    Målinger på Thorsø biogas og Måbjerg BioEnergi .....	10
3.2.1.1    Metan målinger på Måbjerg BioEnergi.....	11
3.2.1.2    Metan målinger på Thorsø Biogas .....	13
3.2.1.3    Metan målinger på Grøngas .....	15
4. Resultater og data for arbejdspakke 3.....	16
4.1    Direkte tilførsel til gassystem uden rensning .....	16
4.2    Direkte tilførsel til gassystem efter rensning for CO <sub>2</sub> og svovl.....	17
4.3    Afbrænding i gasfyr .....	19
4.4    Køling af for-tank .....	19
5. Resultater og data fra arbejdspakke 4.....	21

## 1. Indledning

Formålet med projektet er at reducere tab af metan fra stalde og for-tanke samtidigt med at biogasanlæggene vil kunne øge deres biogasproduktion. Projektet sigter både mod at kvantificere tab af metan før biogasprocessen samt at udvikle teknologi og management systemer således at metanen kan nyttiggøres og drivhusgasemissioner reduceres.

Projektet er delt op i 4 arbejdsplaner:

- Arbejdsplan 1: Projektledelse
- Arbejdsplan 2: Metan tab i stalde og for-tanke
- Arbejdsplan 3: Demonstration af teknologi
- Arbejdsplan 4: Lovkrav og rådgivnings værktøj

Projektdeltagere:

- Århus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab.
- PlanEnergi

Projektet er startet op d. 29/9 2016 og blev afsluttet 1/9 2019 under navnet Præ-proces biogas til Energi.

Energistyrelsen har støttet projektet via udviklingsprogrammet EUDP – Energiteknologi udvikling og demonstrationsprojekter.

Partnerne har bidraget med data eller tekst til denne rapport.

## 2. Sammendrag - dansk

Projektets har fokuseret på følgende områder:

- metan tab i stalde og for-tanke,
- udviklet teknologi til udvikling
- Demonstration af teknologi

Metantabet fra stalde og for-tanke er meget temperaturafhængigt, og der er derfor udført et stort antal temperaturmålinger. I svinestalde har temperaturen i gennemsnit været 20-21°C og ved gyllekøling, har det været muligt at reducere temperaturen med over 4°C. I fortanke på biogasanlæg har temperaturen en afgørende betydning for udviklingen af metan, og tabet af metan er derfor meget årstidsafhængigt eftersom tank temperaturen og ude temperaturen er stærkt korreleret. Tabene fra for-tankene kan være betydelige og i gennemsnit udgøre >1% af den producerede gas. På nogle anlæg vil nyttiggørelse af denne metan have en værdi på over 500.000 kr.

Forskellige teknologier til at opsamle og nyttiggøre metanen er blevet undersøgt, og udviklet, og der findes flere lovende metoder som køling af for-tanken, direkte kobling til gassystemet og for-rensning af gas med scrubber. Anvendelse af gassen kan betyde, at anlæggets gasoplag overstiger 10 tons, hvilket kan have konsekvenser for anlæggets godkendelse. Der er udviklet et beregningsværktøj til dette.

### 3. Resultater og data for arbejdsplan 2

Det er kendt at temperaturen har en stor indflydelse på tab af metan under opbevaring af husdyrgødning fra forskellige bedrifter. Temperaturen er blevet bestemt i svinestalde og i et enkelt tilfælde i en kvægstald. Til at supplere målingerne, er der blevet målt temperaturer i svinestald med gyllekøling.

På 4 biogasanlæg er metan udviklingen i for-tanke blive overvåget og målt over en længere periode for at se variation og indflydelse af biomasse og sæsonudsving. I laboratoriet er forholdene i en for-tank blive simuleret og indflydelsen af virkningerne af temperatur, biomasse sammensætning og hydraulisk opholdstid er bestemt.

#### 3.1 Temperaturmålinger i stalde

Der er gennemført temperaturmålinger i hhv. svine og kvæg stalde. Der er gennemført følgende målinger i svinestalde:

- a) Moderne slagtesvin stalde med hyppig udslusning i 2 sektioner.
- b) Moderne slagtesvin stalde sommerperiode
- c) Farestalde med og uden gyllekøling,
- d) Drægtighedsstalde med gyllekøling
- e) Løbeafdelinger med gyllekøling

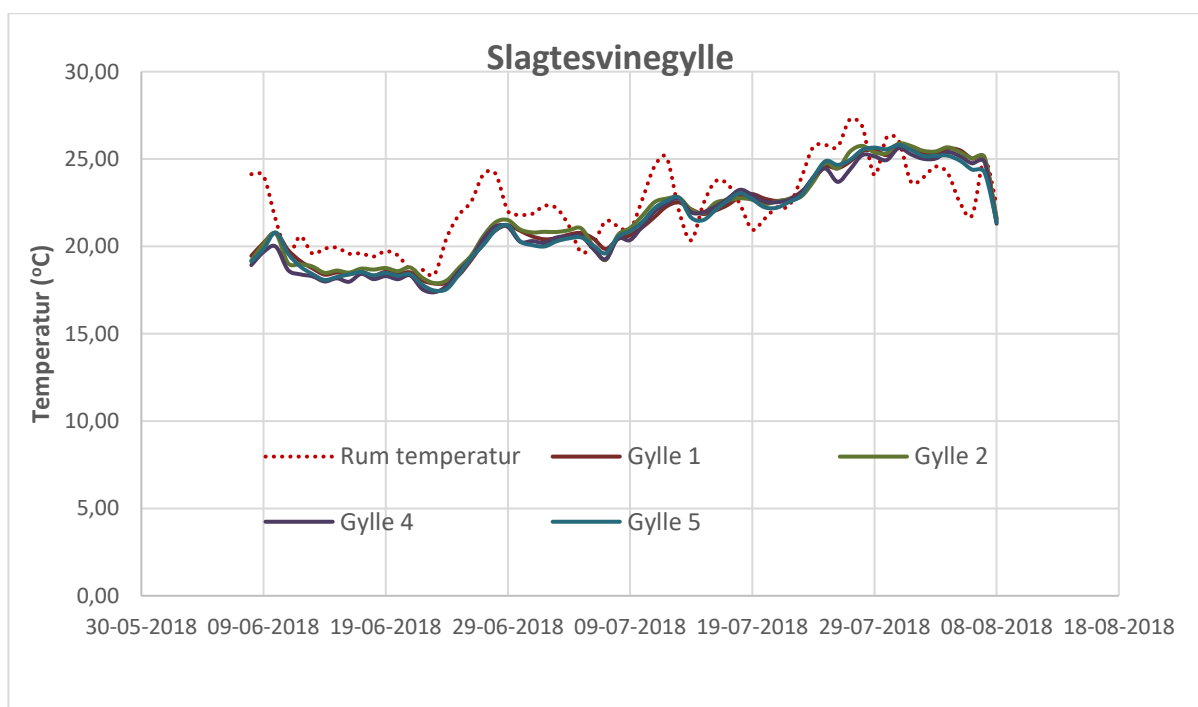
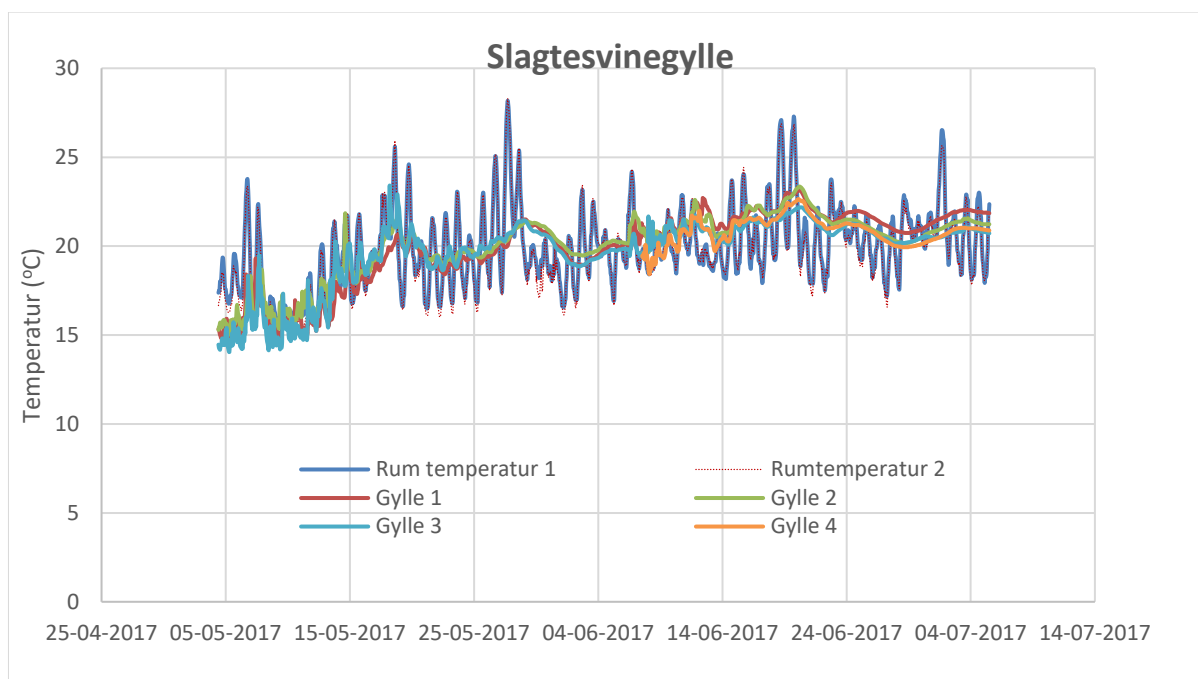
I kvægbesætning er der målt i traditionel stald med gyllekumme.

I 2 typer svinestalde (a og b) er der løbende udtaget prøver, der er inkuberet ved den samme temperatur som er målt i gyllen, og ved temperaturer over/under det målte for at vurdere effekten af, at hhv. hæve og sænke temperaturen.

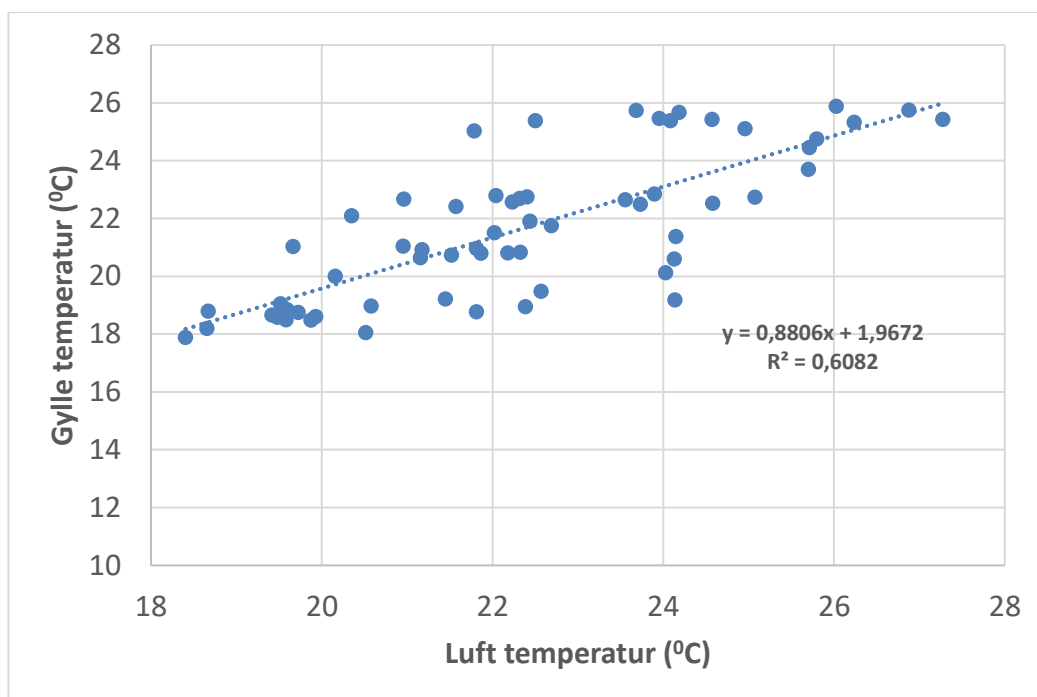
##### *Moderne stalde med hyppig udslusning*

I figur 1 er temperaturerne i 2 slagtesvinestalde med udslusning hver uge illustreret. Det fremgår at rumtemperaturerne varierer meget medens gylletemperaturerne er mere stabile med en stigende tendens. Både rumtemperaturer og gylletemperaturer har en stigende tendens mod slutningen af perioden. Sammenhængen mellem gylletemperaturen er illustreret i figur 2. Den gennemsnitlige gylletemperatur varierer mellem forsøgene og er i alle tilfælde over 20°C (tabel 1).





**Figur 1.** a) Rum temperaturer og gylle temperaturer i 2 slagtesvinestalde fra indsætning af 30 kg grise til slagt ved 100 kg. Gylle 1 og gylle 2 er målt i rum 1 og gylle 3 og 4 er målt i rum 2. b) Rum temperaturer og gylle temperaturer i slagtesvine stalde fra indsætning af 30 kg grise til slagt ved 100 kg.



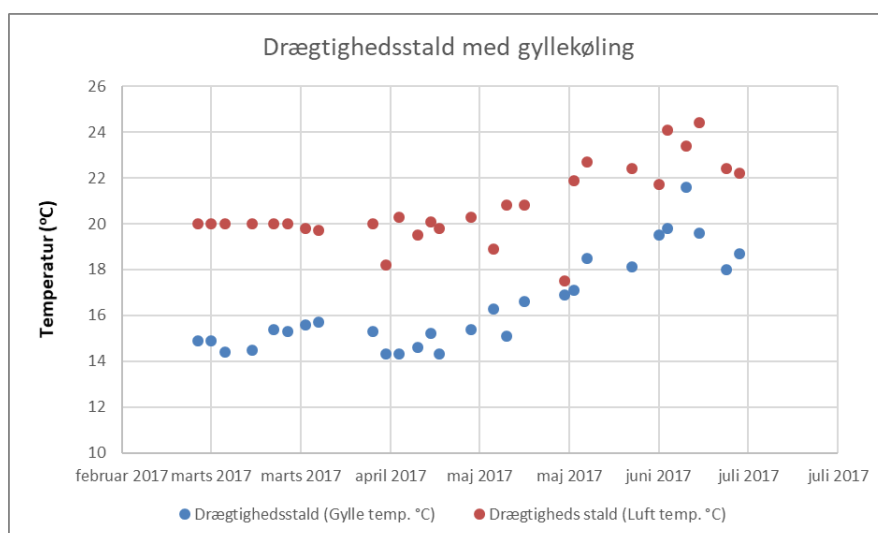
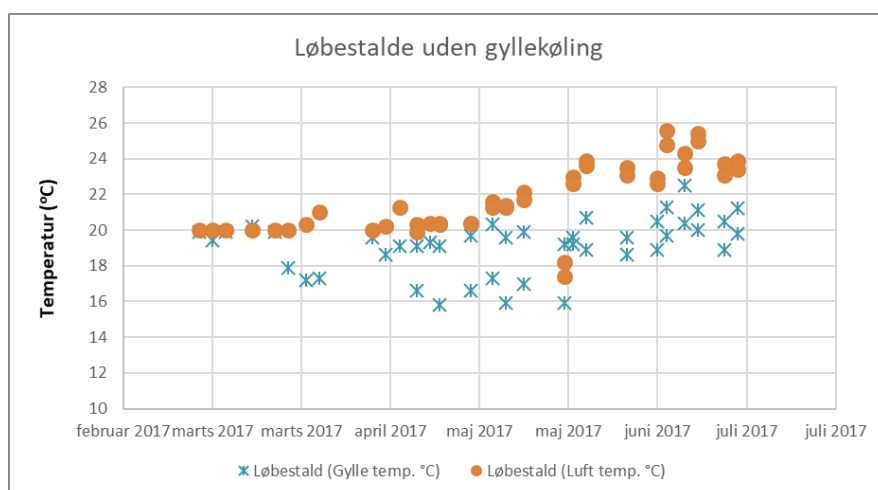
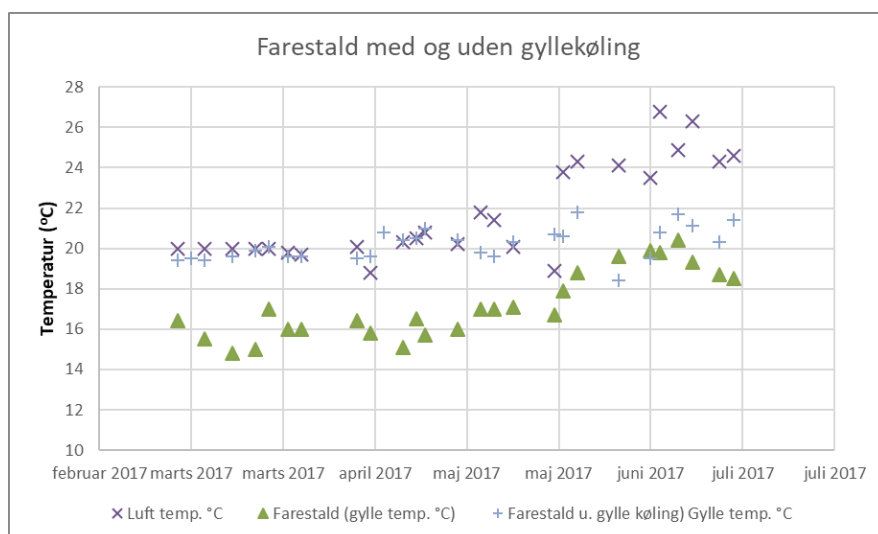
**Figur 2.** Korrelation mellem rum temperaturer og gylle temperaturer i slagtesvinestald fra indsætning af 30 kg grise til slagt ved 100 kg.

**Tabel 1.** Gennemsnits-, maksimum og minimum temperaturer.

	Rumtemperatur (GS)	Gylletemperaturer (GS)	Maks. Gylletemperatur	Min. Gylletemperaturer
<b>Stald 1 sektion 1</b>	<b>19,89</b>	<b>20,05</b>	<b>23,35</b>	<b>15,03</b>
<b>Stald 1 sektion 2</b>	<b>19,71</b>	<b>20,25</b>	<b>23,41</b>	<b>18,42</b>
<b>Stald 2</b>	<b>22,32</b>	<b>21,62</b>	<b>26,07</b>	<b>17,79</b>

### Stalde med gyllekøling

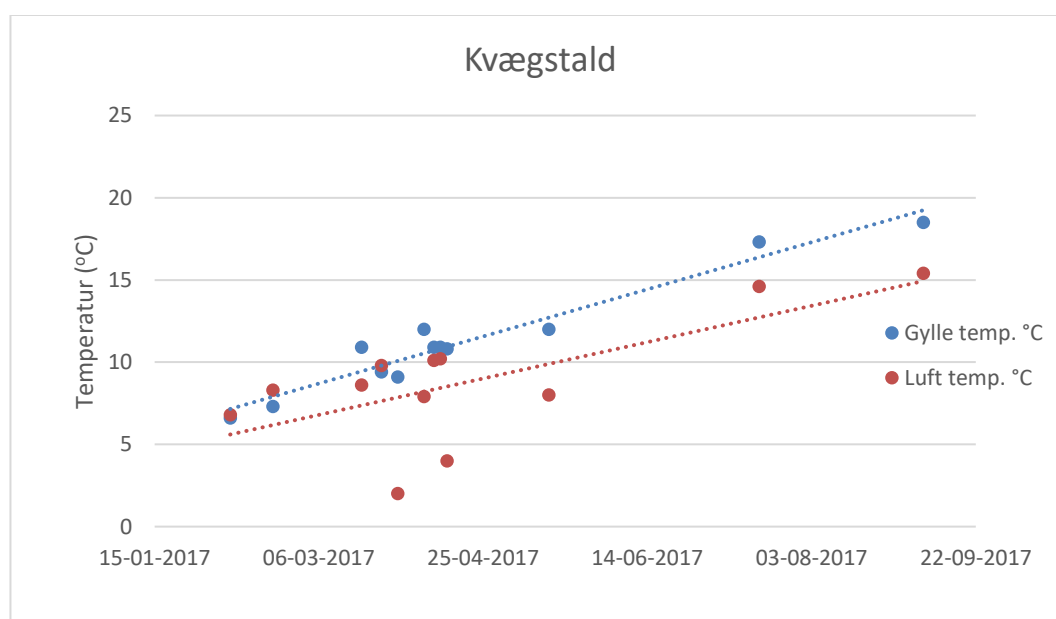
Der er udført temperaturmålinger i so stalde med gyllekøling i hhv. farestalde og drægtighedsstalder. Endvidere er der målt temperaturer i farestalde og løbestalde uden gylle køling. Resultaterne er vist i figur 3. I figur 3a fremgår det at gylletemperaturen generelt er ca. 4 grader lavere ved gyllekøling bortset fra den varme periode fra maj og fremefter, hvor det tilsyneladende ikke er muligt at sænke temperaturen mere end nogle få grader. Den mangelfulde gyllekøling i den varme periode kan skyldes, at kapaciteten på varmepumpen er for lav, eller at det grundet manglende varmekonsum fra varmepumpen er skruet ned. Det samme billede gør sig gældende i drægtigheds stalder, hvor det har været muligt at holde gylletemperatur mellem 14-16°C.



**Figur 3.** a) Rum temperaturer og gylle temperaturer i farestald med og uden gyllekøling. b) Rum temperaturer og gylle temperaturer i løbestald med gyllekøling. c) Rum temperaturer og gylle temperaturer i drægtighedsstald med gyllekøling.

### Kvægstalde

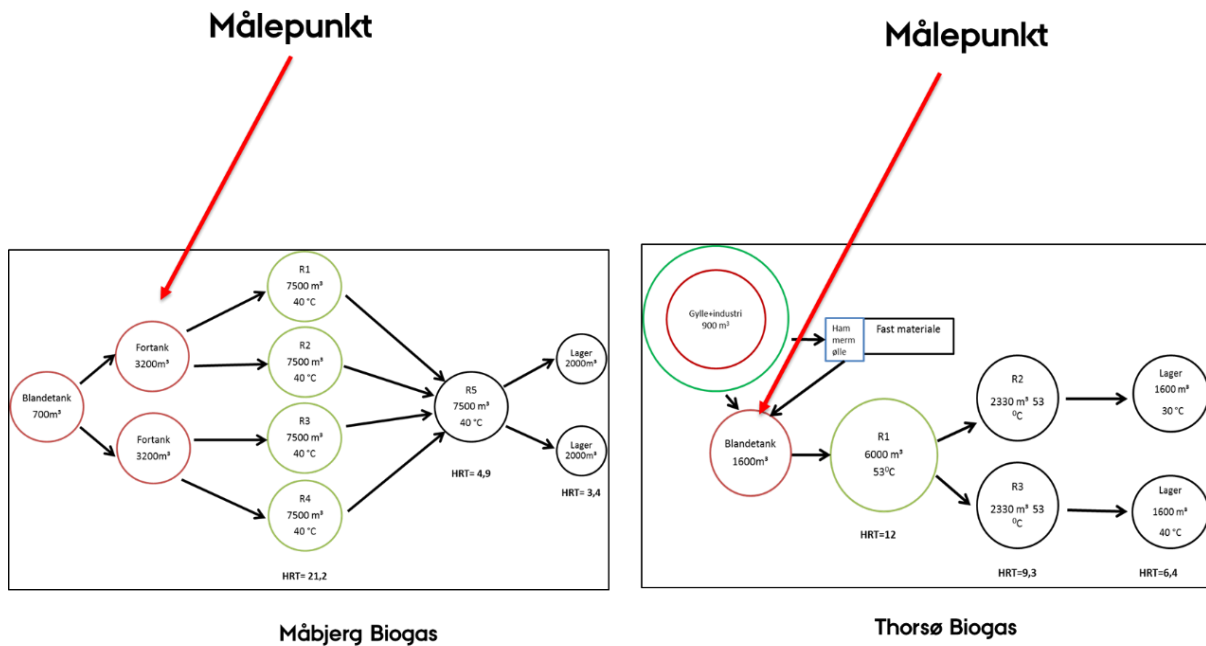
Der er målt temperaturer i en enkelt kvægstald med gyllekummer over 9 måneder (figur 4). Det fremgår at temperaturen indtil midt juni er under 15°C i en traditionel kvægstald, og tab af metan anses derfor af mindre betydning i kvægstalde i forhold til svinestalde. Fra juli måned og indtil temperaturen falder igen, kan der dog være risiko for et tab, der dog er mindre end i svinegylle da omstætteligheden er lavere i kvæggylle. Endvidere bygges en del kvægstalde i dag med skrubesystemer, hvor gyllen befinder sig mindre end 12 timer i stalden.



**Figur 4.** Rum temperaturer og gylle temperaturer i traditionel kvæg stald med gyllekumme.

### 3.2 Målinger på for-tanke på biogasanlæg

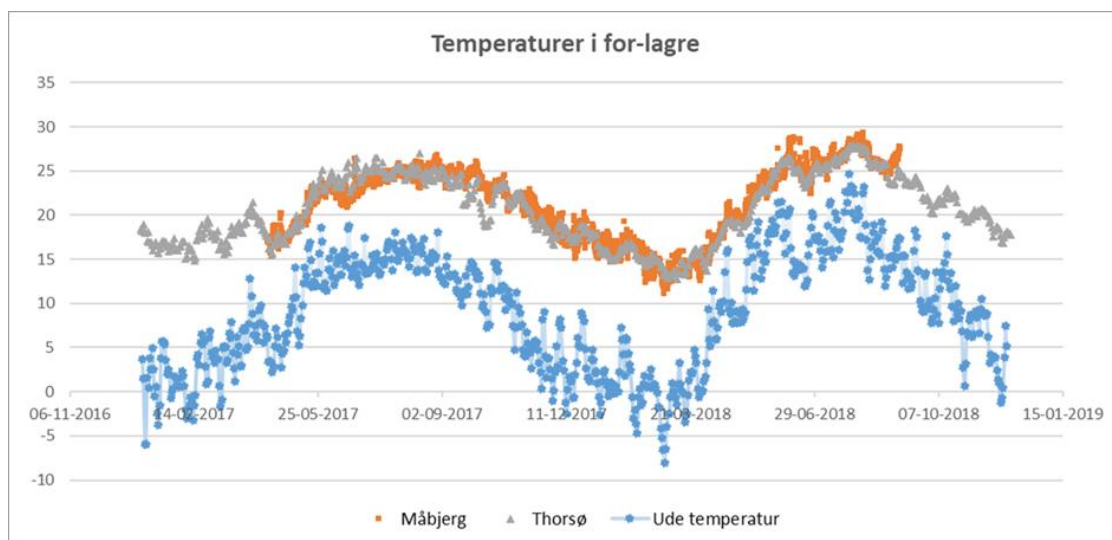
Gas flow, og målinger af gassammensætning, er igangsat fra for-tanke på 4 biogasanlæg (Thorsø, Foulum, Måbjerg og Grøngas Vrå) og alle data er logget i hhv. 6, 6, 12 og 12 måneder. På anlægget i Thorsø tilsættes forskellige biomasser (svine/kvæggylle, dybstrøelse og industriaffald), medens anlægget i Foulum udelukkende tilfører kvæggylle til for-tanken. På anlægget i Måbjerg tilføres ca. 20% affald og 80% gylle med en overvægt af kvæggylle. I laboratoriet er forholdene i for-tanke blevet simuleret ved forskellige temperaturer og med forskellige biomasser (kvæg, svin). Endvidere er betydningen af tilsætning af KOD (kildesorteret organisk dagrenovation) undersøgt.



**Billede:** Målepunkter for flow og gaskvalitet på Måbjerg- og Thorsø biogas

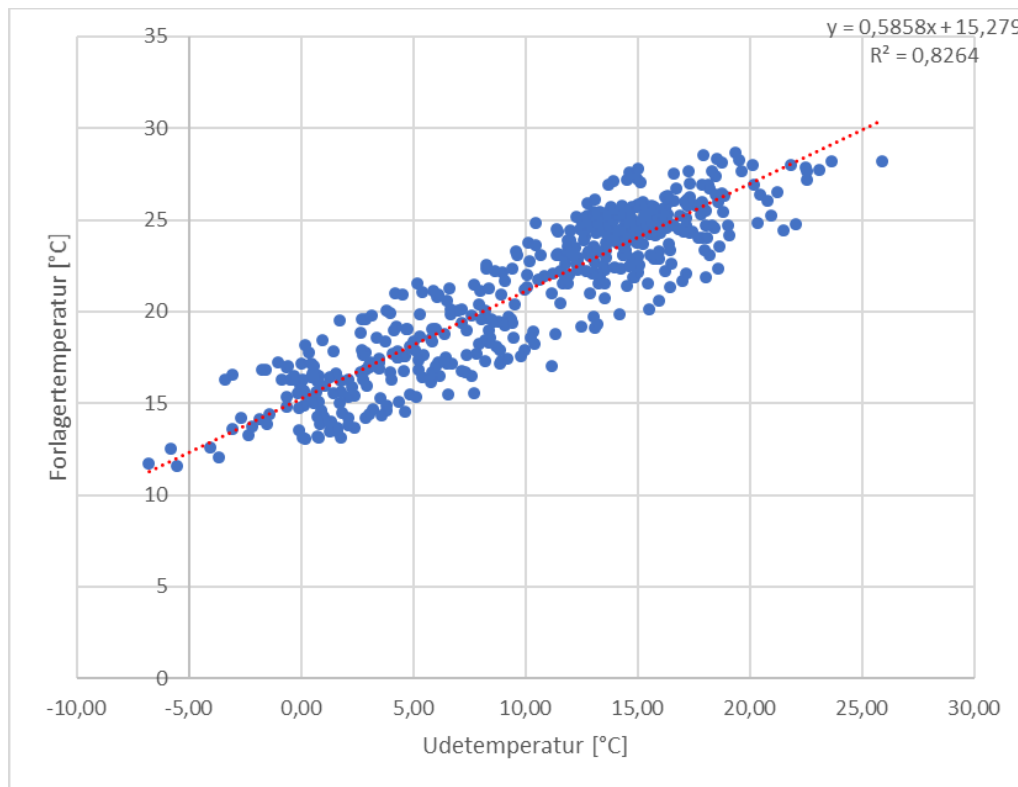
### 3.2.1 Målinger på Thorsø biogas og Måbjerg BioEnergi

Produktionen af metan fra forlager tanke på biogasanlæg forventes at være meget temperaturafhængig, og der er derfor indsamlet data for temperaturen i for-tanke. I figur 4 er temperaturen i forlager tankene på Thorsø og Måbjerg biogasanlæg illustreret. Det fremgår at temperaturen i tankene er stærkt årstidsafhængig. Temperaturen i forlager tankene på de 2 anlæg, følger den samme trend og er stort set identiske.



**Figur 4.** Temperaturer i forlagertanke og ude temperatur.

Temperaturen i for-tankene er meget påvirket af ude temperaturen, hvilket sikkert hænger sammen med, at de ikke er isoleret, og at temperaturen i den gylle der tilføres, er påvirket af temperaturen. I figur 5 er sammenhængen mellem temperatur i for-tanke og udetemperaturen vist, og det fremgår at der er en stærk korrelation. Temperaturen i for-tankene kommer meget sjældent under 15°C, og i en stor del af året er temperaturen over 20°C.



**Figur 5.** Korrelation mellem temperaturer i forlager og ude temperatur.

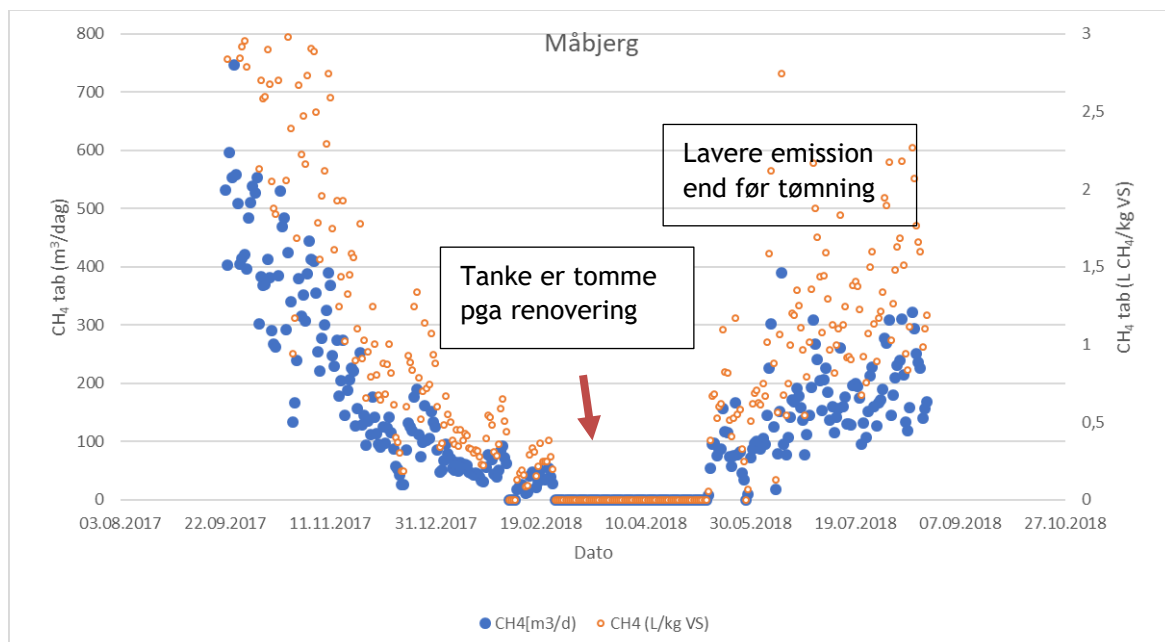
### 3.2.1.1 Metan målinger på Måbjerg BioEnergi

Der er udført løbende målinger på Måbjerg biogas af flow og sammensætningen af gas fra 2 fortanke. Opstillingen for målingerne er vist i nedenstående billede. Den producerede gas ledes til lugt behandlingsanlæg og afkast i skorsten.



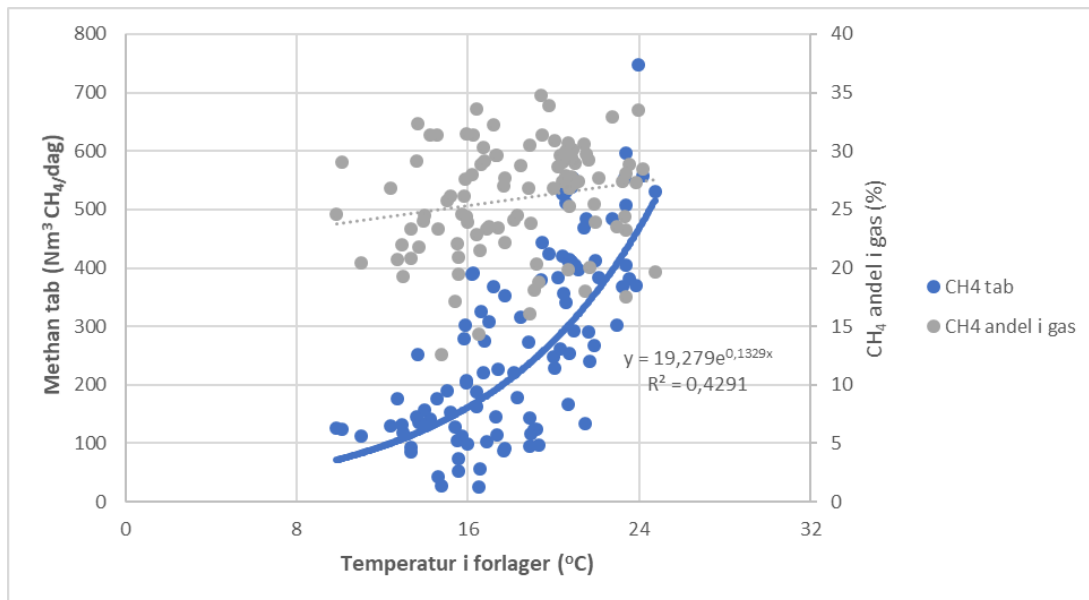
**Billede:** Opstilling af måleudstyr ved Måbjerg bioenergi.

Metanemissionerne på Måbjerg biogas er vist i figur 6, og det fremgår, at emissionerne er størst i det første halvår til trods for, at det er den kolde periode. Efterfølgende er der en periode, hvor der ikke kan måles gas som følge af at tankene bliver tømt og renoveret. Efter tømning er emissionerne lavere end før. Årsagen til dette er ikke helt klar, men kan skyldes, at der over tid opbygges en kultur af metan producerende bakterier, der tilpasses de specielle forhold i en fortank, og som ophobes i sedimentet og derved undgår at blive pumpet ud af tanken. Dette betyder, at hver gang en tank tømmes og renses, kan der forventes en periode med lavere produktion af metan.



**Figur 6.** Metantab på Måbjerg biogas

Metan tabet er meget temperaturafhængigt, og det fremgår af figur 7, at der er en eksponentiel sammenhæng mellem metan tab og temperatur. Andelen af metan i den producerede gas er 15-35%, og der er en tendens til at metanindholdet er stigende ved højere temperaturer. Tabet af metan i Måbjerg er ca. 250 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/døgn svarende til en værdi på ca. 550.000 kr./år (ved 6,00 kr./m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>).



**Figur 7.** Sammenhæng mellem temperatur og metantab.

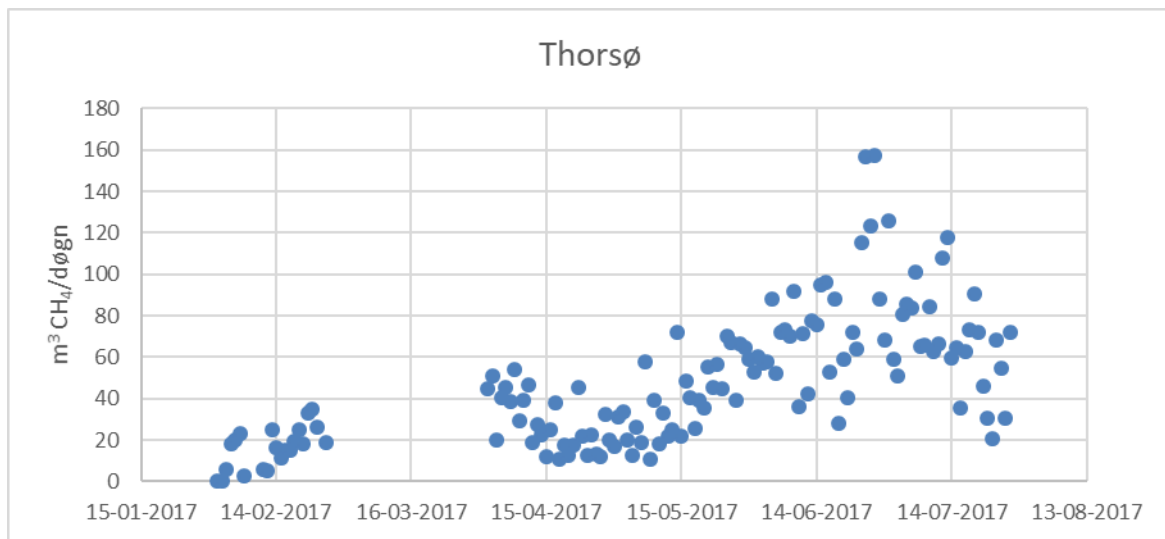
### 3.2.1.2 Metan målinger på Thorsø Biogas

Metanemissionerne på Thorsø biogas er vist i figur 8, og det fremgår at emissionerne er stigende i perioden, hvilket hænger sammen med at målingerne startes i vinterperioden og slutter om sommeren.



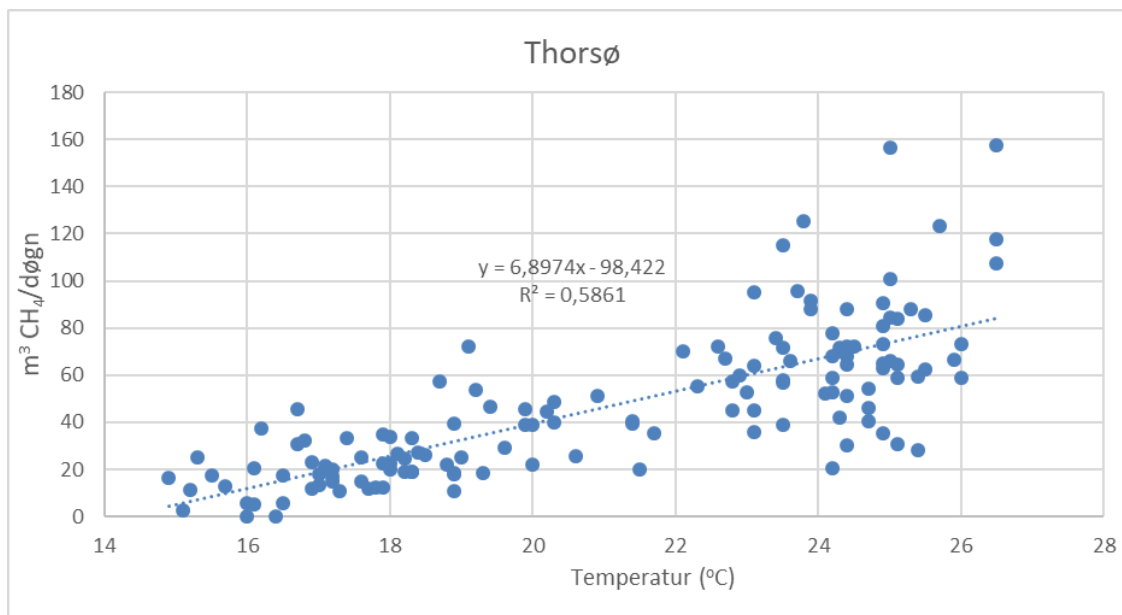
**Billede:** Blandetank og for-tank ved Thorsø biogas.





**Figur 8.** Metantab på Thorsø biogas

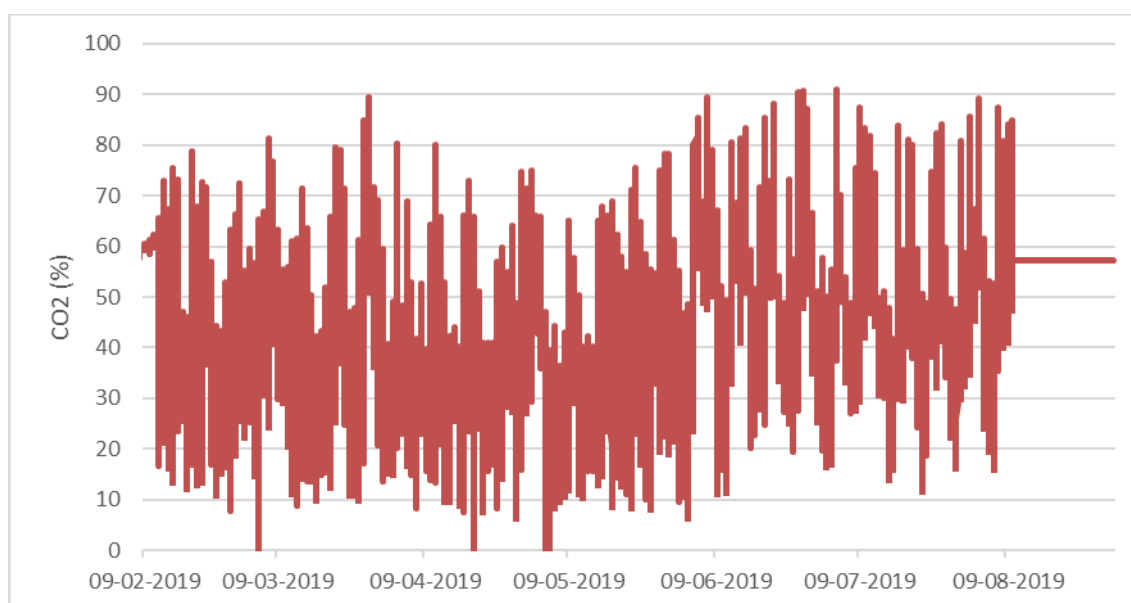
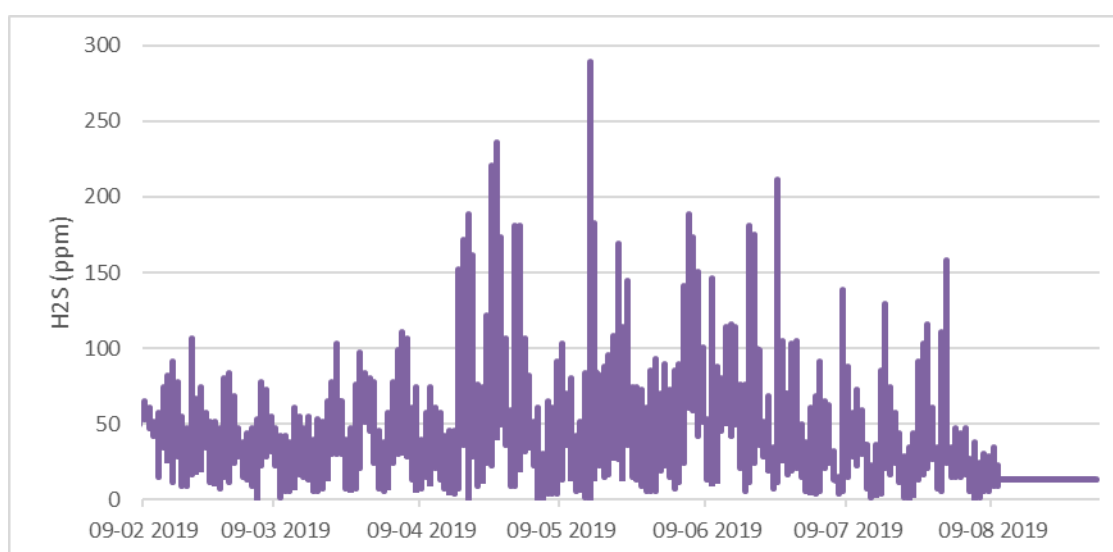
Metan tabet er temperaturafhængigt, og det fremgår af figur 9, at der er en sammenhæng mellem metan tab og temperatur. Andelen af metan i den producerede gas er 15-35% (figur 7), og der er en tendens til at metanindholdet er stigende ved højere temperaturer. Tabet af metan i Thorsø er i gennemsnit ca.  $60 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{døgn}$  svarende til en værdi på ca. 130.000 kr./år (ved  $6,00 \text{ kr./m}^3 \text{ CH}_4$ ).

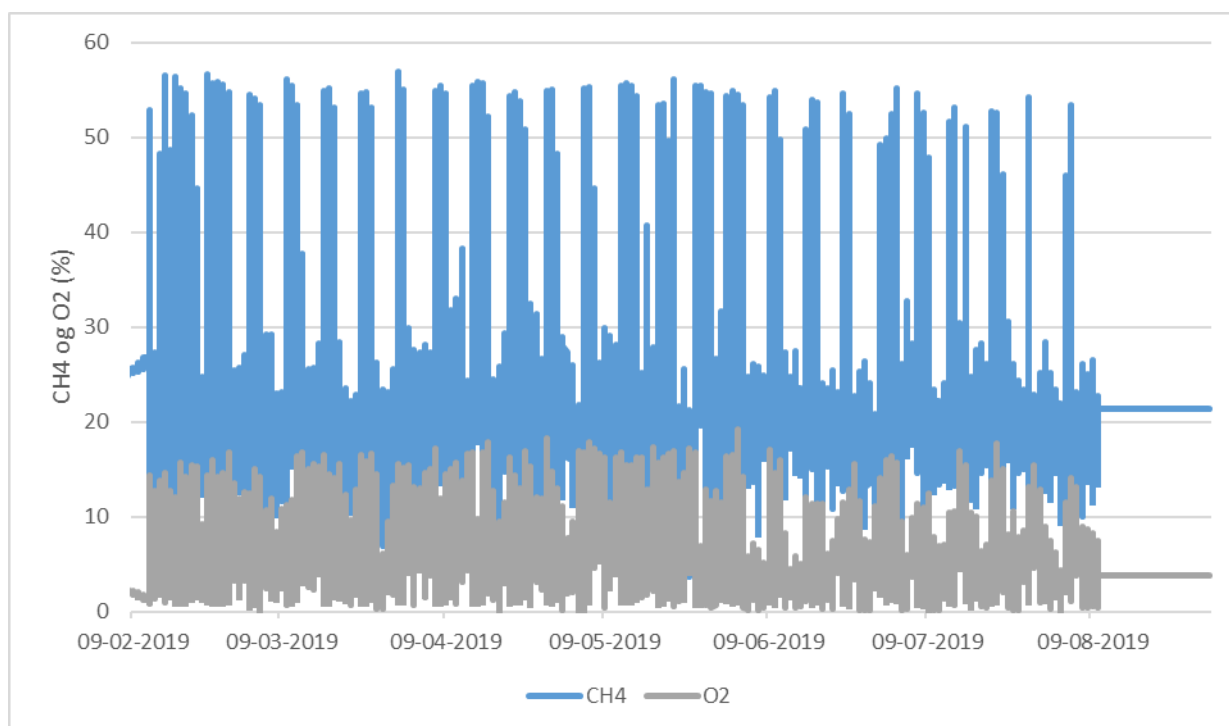


**Figur 9.** Sammenhæng mellem temperatur og metantab.

### 3.2.1.3 Metan målinger på Grøngas

På anlægget i Grøngas Vrå er for-tankene gastætte og tilsluttet det øvrige gassystem. I figur 10 er gaskvaliteten illustreret. Svovl indholdet i gassen er forholdsvis lavt med et gennemsnit på ca. 50 ppm, og meget lavere end det er målt på andre anlæg. Det lave indhold giver ikke problemer i forhold til den efterfølgende opgradering. Metan- og CO<sub>2</sub>-indholdet er hhv. ca. 45% og ca. 28 %, hvilket betyder, at der er væsentligt mere CO<sub>2</sub> tilstede end i "normal" biogas, og der vil derfor være øgede omkostninger til opgradering. Der er ligeledes en ilt indhold på ca. 8%, hvilket kan give lidt udfordringer i forhold til kvaliteten af det opgraderede gas, men da for-tank gassen kun udgør ca. 1% af den samlede gas er påvirkningen begrænset. Iltten som er tilstede i for-tanken er sandsynligvis medvirkende til at svovlen bliver oxideret, med et deraf følgende lavt H<sub>2</sub>S indhold i gassen.





**Figur 10.** Gas sammensætningen i for-tankene på Grøngas Vrå.

## 4. Resultater og data for arbejdsplan 3

Der er undersøgt en række metoder til at udnytte gassen fra for-tanke. Følgende metoder er blevet undersøgt:

1. Direkte tilførsel til gassystem uden rensning
2. Direkte tilførsel til gassystem efter rensning for CO<sub>2</sub> og svovl
3. Afbrænding i gasfyr
4. Anvendelse i biologisk svovlrenseenhed
5. Køling af for-tank

### 4.1 Direkte tilførsel til gassystem uden rensning

#### *Thorsø biogas*

Direkte tilførsel af gas fra for-tanke til hovedgas strømmen kræver, at for-tankene er forholdsvis tætte så både indtrængning af luft, og tab af metan kan undgås. På Thorsø biogas, og ved Grøngas Vrå, har disse betingelser været til stede. På Thorsø biogas resulterede tilledning af gassen, fra for tanken til hovedgas strømmen, dog en del udfordringer, da det medførte en svingende gaskvalitet, og derved problemer med at motoren driftsmæssigt kørte stabilt. Problemerne opstod, da den for-tank der fik tilført ca. 30 m<sup>3</sup>

ny biomasse pr. time i dagtimerne, medens der om natten udelukkende blev fjernet biomasse fra tanken. Dette medførte, at der i dagtimerne blev "fortrængt" en stor andel dårlig gas, der blev ledt til gassystemet, medens der om natten udelukkende blev suget gas tilbage i tanken, eftersom gasproduktionen i tanken var lavere, end mængden af biomasse der blev fjernet. Den svingende gaskvalitet, og udfordringen i forhold til motordrift, betød at løsningen ikke var mulig.

### Grøngas Vrå

På Grøngas Vrå praktiseres opsamling af gas fra for-tankene. Da anlægget opgraderer gassen efterfølgende, har udsving i gas kvaliteten mindre betydning, og da selve for-tanken består af en dobbeltmembran, kan indtrængning af luft helt undgås. Desuden har gaskvaliteten fra tanken vist sig at være god med et lavt svovl indhold.



**Billede:** Grøngas Vrå hvor opsamling af gas fra for-tanke praktiseres.

## 4.2 Direkte tilførsel til gassystem efter rensning for CO<sub>2</sub> og svovl

Der er udviklet en kemisk scrubber, hvor svovl og CO<sub>2</sub> fjernes før gassen føres til gassystemet (billede). Der er udført test i en kemisk scrubber, der anvender kalium hydroxid, der er monteret på en 10 m<sup>3</sup> for-tank, hvor der anvendes kvæggylle. Resultaterne viser, at rensningen af både svovl og kuldioxid er meget effektiv. Det fremgår af figur 11 at gassen opnår en meget høj kvalitet med omkring 98% CH<sub>4</sub>, 2% CO<sub>2</sub> og 200 ppm H<sub>2</sub>S. Gassen vil uden videre kunne bruges i motor generator anlæg, og med en ekstra rensning i kulfilter eller lignende tilføres naturgasnettet.

Der er dog et betydeligt forbrug af lud, da næsten alt CO<sub>2</sub> bindes, og der vil derfor være en stor omkostning forbundet med det.

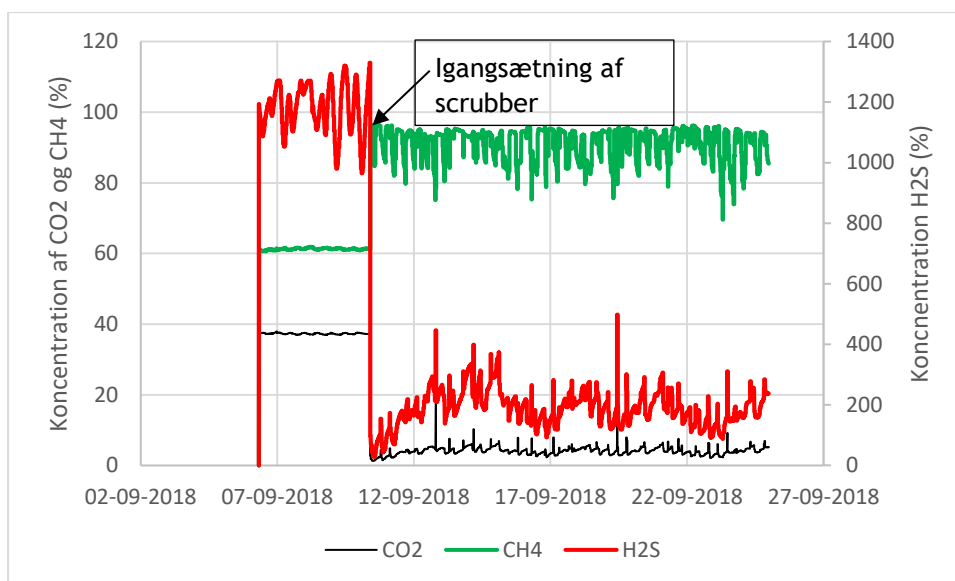


Udfældning af K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



**Billede:** Forsøgsopstilling af gas scrubber til fjernelse af CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S samt udfældningsprodukt.

Der sker ved rensningen, en udfældning af krystaller i form af K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, som vil kunne oparbejdes til et fast gødningsprodukt og dermed måske forbedre økonomien, hvis det kan afsættes. En anden måde at forbedre økonomien på, kunne være at anvende basiske affaldsstrømme eller alternativt aske efter afbrænding.



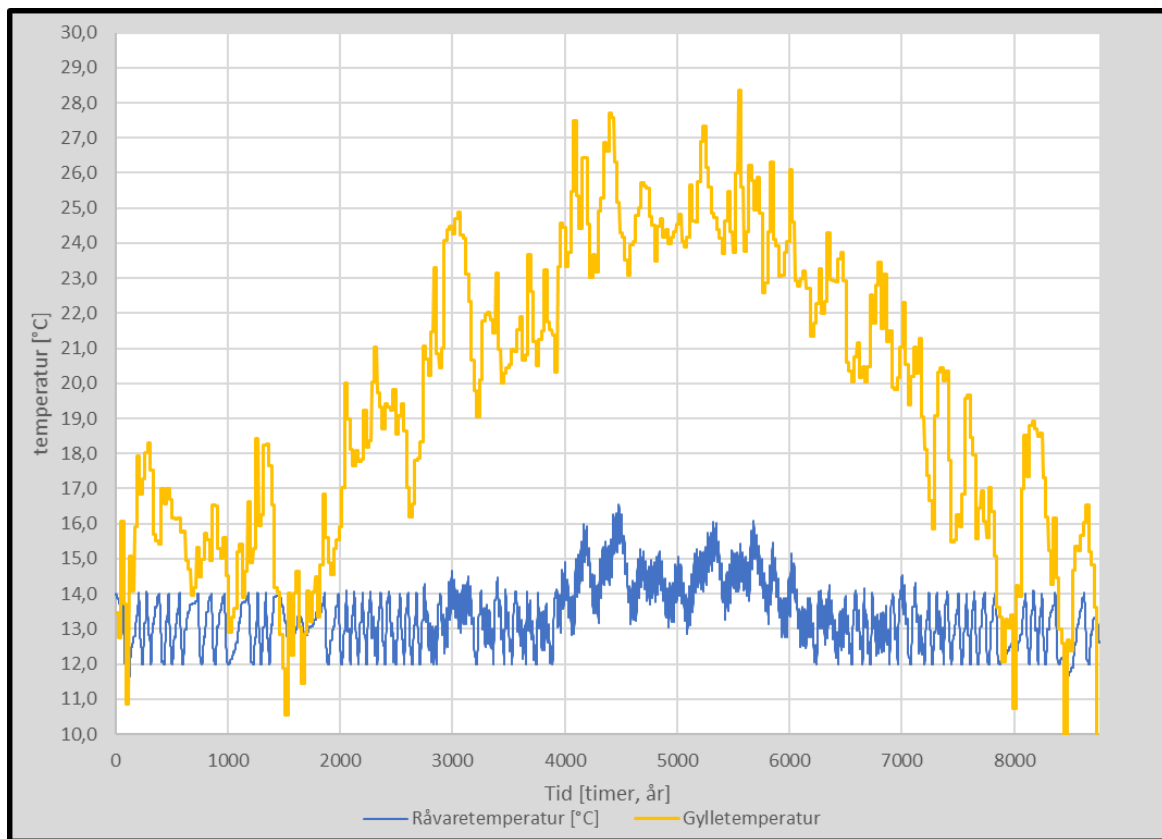
**Figur 11.** Koncentration af CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>S før og efter igangsætning af gas scrubber.

### 4.3 Afbrænding i gasfyr

Anvendelse af en speciel gasbrænder, der kan anvendes til afbrænding af gas med et lavt metan indhold, er blevet undersøgt. Der er indhentet tilbud på denne type brænder i forbindelse med Thorsø biogas og prisen vurderes til ca. 438.000 kr. uden varmeveksler enhed. At den er uden varmeveksler betyder, at den producerede varme ikke kan nyttiggøres, og den eneste funktion er derfor at afbrænde metan af hensyn til at mindske anlæggets metan emission. Anlægget har derfor ikke et direkte økonomisk incitament til at foretage investeringen.

### 4.4 Køling af for-tank

Det har vist sig, at metan produktionen i for-tanke afhænger af temperaturen i biomassen, som svinger mellem 15°C og 27°C henover året. Det har vist sig, at ved temperaturer på 15°C og derunder, er metan produktionen meget begrænset. Derfor vil metan produktionen kunne begrænses ved at installere en varmepumpe, der holder temperaturen på under 15°C. På anlægget i Måbjerg er der foretaget beregninger på en løsning med varmepumpe til køling af gyllen i for-tanken. I projektet er der udarbejdet et regneark, der kan beregne rentabiliteten ved etablering af køling af for-tanke med en varmepumpe. I figur 12 er temperaturen i for-tanken med og uden varmepumpe vist. Det fremgår, at det er muligt med den foreslåede varmepumpekapacitet at holde temperaturen under 14°C størstedelen af året, og det er kun i meget korte perioder at temperaturen overstiger 15°C.



**Figur 12.** Temperatur før (gylletemperatur) og efter afkøling med varmepumpe (råvaretemperatur).

Et eksempel på økonomien ved anvendelse af en varmepumpe på Måbjerg biogas fremgår af tabel 2. Der forudsættes en samlet investering på 6,8 mio. kr., hvilket med de givne forudsætninger giver en tilbagebetalingstid 4,9 år. Det vurderes, at installeringen af en varmepumpe vil være en meget fornuftig investering, samtidig med at der kan opnås en betydelig reducerende effekt på anlæggets metan udslip til omgivelserne. Der må ligeledes forventes en besparelse på lugt rensning.

**Tabel 2:** Resultater ved drift af varmepumpe for Måbjerg biogas. Det antages at anlægs alternative pris for opvarmning af biomasse er: 350 kr./MWh og at prisen for el er: 0,7 kr./kWh. Værdien af metan: 6,50 kr./Nm<sup>3</sup>.

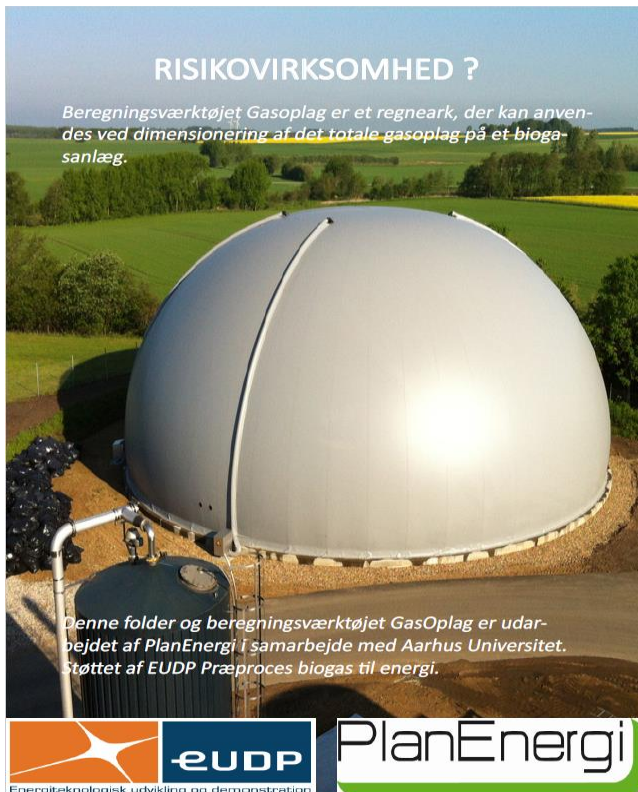
## RESULTATER

<b>Drift &amp; Produktion</b>	<b>Værdi Enhed</b>
Gennemsnitstemperatur gylle, år	13,4 °C
Timer over max. Temp	1826 timer
Antal fuld last timer	5269 timer
Total køleproduktion	3952 MWh
Total varmeproduktion	4841 MWh
<b>Økonomi for varmepumpeinvestering</b>	
COP-varm (årgennemsnit)	4,08 -
COP-kulde (årgennemsnit)	3,33 -
Varmepumpens gns. Marginalpris	229 kr./MWh-kulde
Varmepumpens gns. Marginalpris	187 kr./MWh-varme
Fuldlasttimer	5269 timer/år
Investering VP	5.512.981 kr.
Investering Varmeveksler	1.307.546 kr.
Nettoinvestering	6.820.527 kr.
Driftsomkostninger uden varmepumpe	6.475.000 kr./år
Driftsomkostninger med varmepumpe	5.684.383 kr./år
Driftsbesparelse m. øget biogasprod.	1.383.742 kr./år
<b>Simpel tilbagebetalingstid</b>	<b>4,9 år</b>
Intern rente	20% p.a.
1. årskapitalomkostninger	370.559 kr.
1. års nettobesparelse	1.013.183 kr.

## 5. Resultater og data fra arbejdsplan 4

Opsamling af gassen fra for-tankene vil i mange tilfælde kræve godkendelse af myndighederne, da det samlede gasoplag derved vil blive øget, og der kan være risiko forbundet med at have en lille mængde luft i gasstrømmen. Der er udarbejdet en folder, samt et beregningsværktøj til beregning af den mængde gas, der vil komme fra for- tanke og øvrige tanke. Værktøjet er udviklet af PlanEnergi i samarbejde med Århus Universitet. Denne folder og værktøjet GasOplag kan findes Planenergi's hjemmeside: <http://planenergi.dk/>





**Billede:** Folder udarbejdet i projektet

## 5.1 Folder og beregningsværktøj "Gasoplæg"

I forbindelse med beregninger af hvor store mængder af biogas, der kan være til stede på et biogasanlæg, skal der regnes med den mulige fysiske volumen eller lagerkapacitet.

Det betyder, at den fysiske mulige volumen af biogas i alle tanke, beholdere, rørføringer og teknisk udstyr skal medregnes i opgørelsen over gasoplægets størrelse.

I beregningerne for den enkelte anlægsdel, skal der tages udgangspunkt i den fysiske barriere. Det vil sige den barriere, der bestemmer om en anlægsdel kan fyldes mere eller den har nået sit maksimum.

En teknisk barriere, f.eks. maksimum niveau-alarm, betragtes ikke som en fysisk barriere, idet en niveau-alarm kan fejle. Se definitionen i risiko- håndbogen, side 7: [Link til risiko- håndbogen](#)

Hvis der findes andre oplag end biogas som er omfattet af risikobekendtgørelsen på anlægget (f.eks. flydende gas, metanol eller kemikalier) skal anmeldelsen også indeholde en opgørelse over disse stoffer.

Miljøstyrelsen har udarbejdet et regneark, der kan anvendes som supplement til værktøjet GasOplæg i forhold til reglerne om brug af en sumformel.

Værktøjet GasOplag giver mulighed for at beregne gasoplaget i tons ved forskellige temperaturer, indholdet af metan og geometrier af de enkelte fysiske gasoplag på et biogasanlæg.

Regnearket er bygget op omkring gaskonstanten og variationen i gassers volumen ved forskellige temperaturer ved 1 atm tryk. Ved væsentlige afvigelser fra 1 atm tryk (101,325 Pa, standardtrykket) kan regnearket ikke anvendes.

Regnearket kan derfor ikke anvendes til beregning af gasoplagets størrelse i særligt udstyr som f.eks. et opgraderingsanlæg eller andet særligt trykbærende udstyr. Her bør i stedet anvendes producentens opgørelser med de faktiske trykforhold i dette udstyr.

Gasvolumen i dette udstyr vil skulle lægges til beregningerne i regnearket GasOplag. Biogasanlæg med et oplag på over 10/50 tons biogas er omfattet af [Risikobekendtgørelsen](#) kolonne 2/ kolonne 3.

Miljøstyrelsen har, i samarbejde med de myndigheder der i fællesskab administrerer reglerne, udarbejdet en Risikohåndbog. Risikohåndbogen er en vejledning, der henviser sig til virksomheder, myndigheder og borgere, der ønsker at vide mere om, hvordan arbejdet med at vurdere risikovirksomheder udføres, og hvem der deltager i det. Du kan finde en Risikohåndbogen på miljøstyrelsens hjemmeside under: <https://risiko-haandbogen.mst.dk/virksomheder/>

Godkendelsen af en risikovirksomhed foregår i et tæt samarbejde mellem forskellige myndigheder, der arbejder med forskellige typer af ansvar:

- Miljømyndigheden (kommunen eller miljøstyrelsen)
- Planmyndigheden
- Det kommunale beredskab
- Arbejdstilsynet
- Sikkerhedsstyrelsen
- Beredskabsstyrelsen
- Politiet

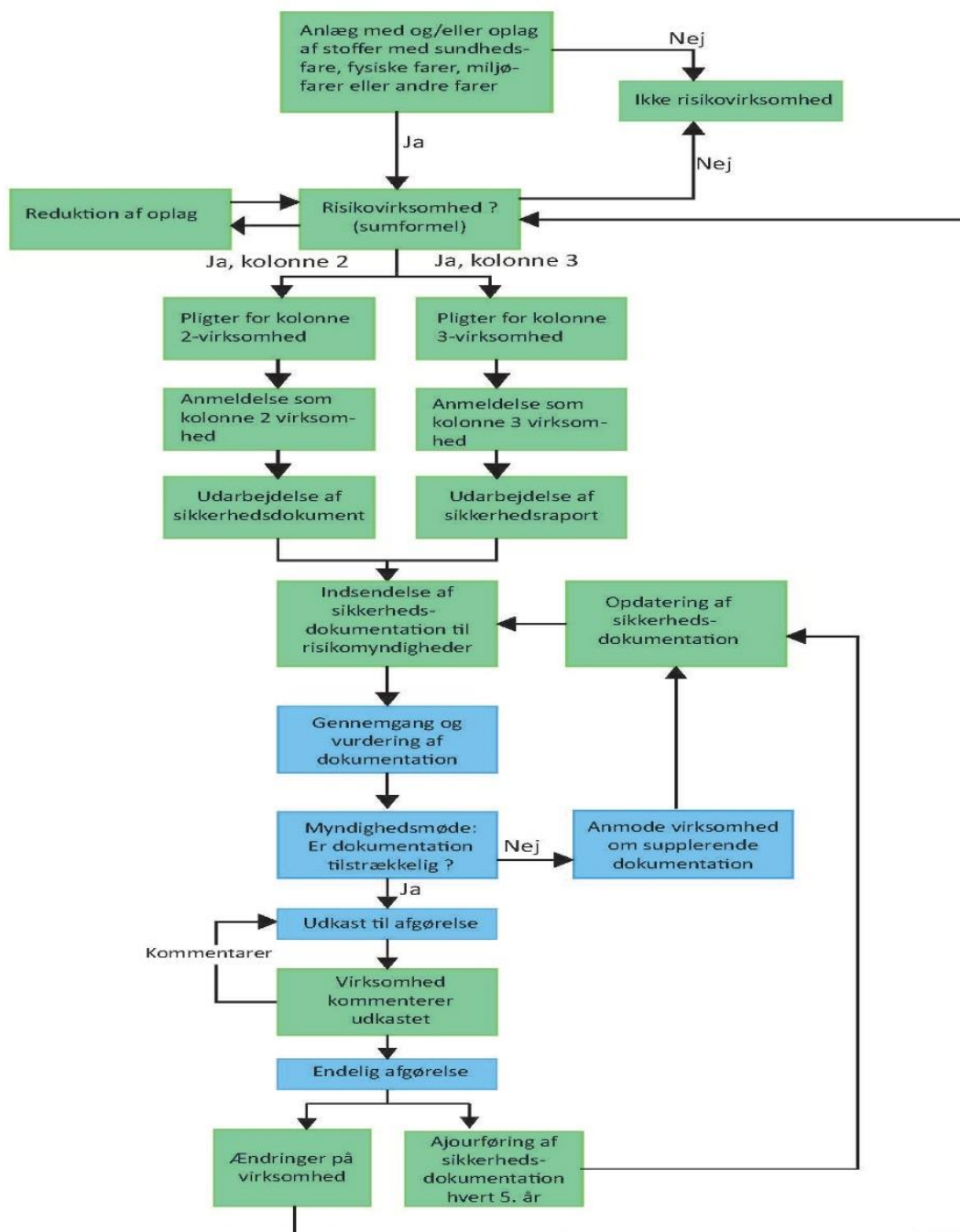
Det er miljømyndigheden, der står for koordinationen med de andre myndigheder der er involveret i godkendelse af en given risikovirksomhed. Selve godkendelsen udstedes af miljømyndigheden i samarbejde med beredskabsstyrelsen.

Undervejs i processen høres det kommunale beredskab, sikkerhedsstyrelsen, arbejdstilsynet og politiet i forhold til hver deres ansvarsområder. Selve anmeldelsen af en risikovirksomhed skal indsendes til miljømyndigheden. Anmeldelsen skal indsendes på samme tid som ansøgningen om miljøgodkendelse.

Planmyndigheden skal inddrage hensynet til risikoen for større uheld i planlægningen forud for udarbejdelse af en kommune- og lokalplan for en risikovirksomhed.

Reglerne gælder for arealer, der ligger inden for en afstand på 500 meter eller inden for en større *passende sikkerhedsafstand* fra en risikovirksomhed. Planmyndigheden

skal f.eks. tage hensyn til afstanden fra en risikovirksomhed til offentlige arealer, rekreative områder, boligområder, offentlige bygninger, andre bygninger hvor der samles mange mennesker, samt områder, som er svære at evakuere og lignende. Figur 13 nedenfor viser godkendelsesproceduren i skematisk form. På miljøstyrelsens hjemmeside kan læses mere om de enkelte trin i proceduren.



**Figur 13:** Godkendelsesproceduren vist i skematisk form.