



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Synergi i gyllekøling i kombination med biogas

Slutrapport

Kurt Hjort-Gregersen
Teknologisk Institut
Juli 2023



Miljøministeriet
Ecoinnovation - MUDP



Indhold:

1. Indledning
2. Test af adsorptionskøler
3. Methanpotentialebestemmelser
4. Økonomivurdering
5. Konklusion.

Partnere i projektet:

Thermonova A/S

Lundsby Biogas A/S

Martin Vestergaard

Teknologisk Institut



1. Indledning

Projektet blev til på den baggrund, at flertallet af de gårdbiogasanlæg, der blev etableret i perioden fra 1990 – 2012 var udstyret til el- og varmeproduktion. I nogle tilfælde blev varmeproduktionen fra motor-generatoranlægget anvendt til opvarmningsformål i bedriften, men ofte var der et betydeligt varmeoverskud. I det seneste tiår er der kommet øget fokus på kvaliteten af den rågylle, der tilføres biogasanlæggene, senest med en rapport fra PlanEnergi om hurtig udslusning af gylle. Kernen i den diskussion har været, at hvis gyllen ligger for længe under spalterne tabes der et vist methanpotentiale, som dels kunne være en økonomisk gevinst for biogasanlægget, hvorimod hvis det frigives fra gyllekanalerne, udgør det en klimabelastning.

En udredning fra Seges fra 20xx viste, at gyllekøling kan reducere både ammoniakfordampning og lugtemissioner med ca. 20 %. Hypotesen bag nærværende gyllekølingsprojekt var derfor, at gyllekøling kunne have en konserverende effekt, så methanproduktionen i biogasanlægget kunne øges med op til 20 %

Det særligt innovative ved projektet var at introducere en særlig kølertype til formålet, nemlig adsorptionskøleren, som produceres af det tyske firma Fahrenheit. Denne køler er nemlig i stand til at udnytte overskudsvarme fra en biogasmotor til at drive kølingen, som normalt drives med elektricitet.

I marts 2020 blev der som led i projektet udarbejdet en økonomisk analyse for etablering af et biogasanlæg hos Martin Vestergaard, der er partner i projektet, og som på daværende tidspunkt planlagde en større udvidelse af sin svineproduktion. Her ville det være nærliggende samtidig at etablere gyllekøling på basis af spildvarme fra et nyt biogasanlæg.

Analysen viste at investering i biogasanlæg med kraft-varmeproduktion og anvendelse af adsorptionskøling fremfor traditionel køling var rentabelt. På daværende tidspunkt var der usikkerhed om de fremtidige afregningsbetingelser for biogasbaseret elproduktion. Derfor blev afregningsprisen forsigtigt sat til 1 kr. pr. kWh, hvilket var 15 øre lavere end den hidtidige afregning. Siden skete der det, at der ikke længere kan opnås støtte til nyetableret biogasbaseret elproduktion. Man kan roligt sige, at det trak tæppet væk under den forretningsmodel, der lå til grund for projektet. På den anden side set er grundbetalingen for elektricitet steget kraftigt både før og efter udbruddet af krigen i Ukraine. Det vil nok vare mange år før prisen kommer ned på tidligere niveauer, men der er næppe udsigt til at ret mange vil etablere biogasbaseret elproduktion uden tilskud. Heldigvis er der andre varmekilder fra et moderne biogasanlæg.



2. Test af adsorptionskøler.

Det var den oprindelige plan, som led i projektet, at finde en landmand med biogasanlæg, der samtidig havde gyllekøling i sine stalde. Det viste sig imidlertid ikke at kunne lade sig gøre. Vi måtte derfor teste adsorptionskøleren ved brug af en anden varmekilde end spildvarmen fra en gasmotor. Varmen blev derfor skaffet ved hjælp af et oliefyr. Det viste sig, at Martin Vestergaard i den svinestald, der ligger ved familiens bolig i forvejen havde gyllekøling. Afkastvarmen herfra bliver anvendt til opvarmning af boligen.

Det viste sig muligt at leje en adsorptionskøler fra det tyske firma Fahrenheit. Thermonova stod for aftalerne herom, og for montering og test af køleren hos Martin Vestergaard.

Køleren blev installeret i april 2022, men testen kom først i gang i slutningen af året på grund af usædvanlig stor travlhed hos Thermonova. Som i mange andre industrier har det i 2022 været vanskeligt at rekruttere yderligere mandskab.

Køleren viste sig straks at kunne præstere det den skulle i henhold til specifikationerne fra producenten, så testen blev gennemført med succes. Thermonova valgte i lyset af de gode resultater at afkorte testperioden, men også fordi der medgik en del fyringsolie til oliefyret, der skulle drive kølingen.



Figur 1. Adsorptionskøleren klar til at blive monteret.

Testen blev gennemført i november 2022, og køleren viste sig at køre upåklageligt fra start, ligesom forbrug og ydelser nøje stemte med producentens oplysninger.



Med til køleren hører også udstyr til bortkøling af varme på afgangssiden af adsorptionskøleren.



Figur 2. Udstyr til bortkøling af restvarme

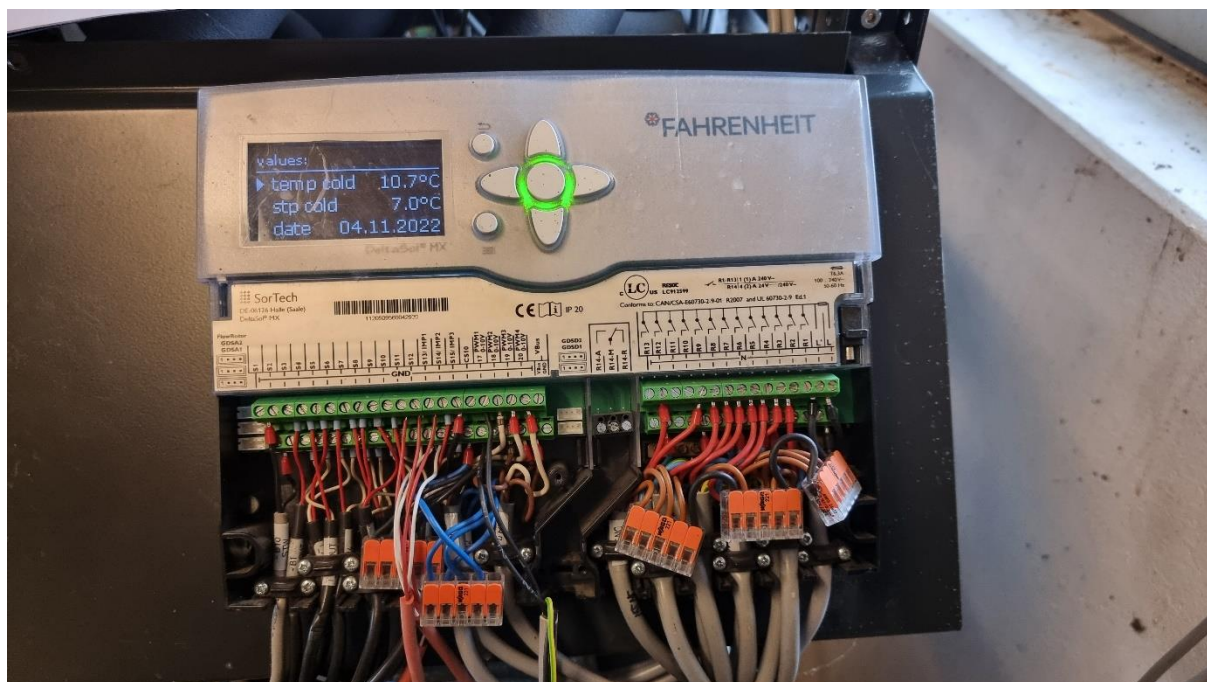
Som nævnt blev drivvarmen til køleren produceret i en gammel oliekedel, som normalt fungerer som back-up for den normale eldrevne køler på gården. Eftersom denne ikke havde tilstrækkelig kapacitet til at forsyne adsorptionskøleren, blev der installeret en elpatron i varmtvandsbeholderen som supplement til kedlen.

Temperaturen på drivvarmen blev målt til et gennemsnit på 72,5 grader. På nedenstående billede i Figur 3 er temperaturen dog en smule lavere.



Figur 3. Måling af temperatur på drivvarmen.

Ligeledes blev også fremløbstemperaturen i kølekredsen målt. I figur 4 herunder blev denne målt til 10,7 °C



Figur 4. Måling af fremløbstemperatur i kølekreds.



Tabel 1 viser måleresultaterne fra testen af adsorptionskøleren. Temperaturmålingerne er gennemsnit af 4 målinger.

Tabel 1. Testresultater.

Drivvarme frem	72,5	°C
Temperatur fremløb	10,3	°C
Temperatur returløb	15,6	°C
Køleeffekt	11,0	kW
Køling	20	kWh
Varmeforbrug	95,5	kWh
Termisk virkningsgrad	21	%

Det fremgår af tabellen, at adsorptionskøleren har leveret 20 kWh køl, kølevand på 10,3 °C, og har dertil brugt 95,5 kWh varme. Dette svarer til næsten 10 liter fyringsolie. Så der skal altså noget varme til, men så kan køleren også levere det den skal. Med disse tal kan den termiske virkningsgrad beregnes til 21%. Det betyder, at adsorptionskøleren kun er relevant, hvis der er en betydelig mængde overskudsvarme til rådighed, som der ofte er på gårdbiogasanlæg. Men så er den til gengæld også rentabel.

3. Methanpotentialebestemmelser

For at kunne bestemme effekten af gyllekøling på gaspotentialet i gyllen, var det nødvendigt at udvikle et særligt forsøgssetup og skaffe helt frisk gylle. Gyllen blev hentet hos Peter Dreyer Christensen, der har en svineproduktion på Grynderupgård på Hobroegnen. Det særlige ved hans staldindretning er, at gyllen udtages fra stalden ved hjælp af et bånd, der kører under spalterne. Den udtagne gylle var derfor på afhentningstidspunktet kun 3 timer gammel.

Gyllen blev så hensat ved 3 forskellige temperaturer, nemlig 23, 15 og 10 °C. De 23 grader repræsenterende stuetemperatur, og de 15 °C hhv. 10 grader forskellig grad af gyllekøling. Dag 1, 5, 10, 15, 20 og 30 blev en prøve fra hver udtaget og nedkølet til 1-2 grader for at hindre utilsigtet biologisk omsætning. Efter at de sidste prøver var udtaget på dag 30 kunne methanpotentialebestemmelserne igangsættes på Teknologisk Institut i batch-reaktorer.

Der blev udarbejdet en fuldstændig analyserapport, som er vedlagt denne rapport som bilag.



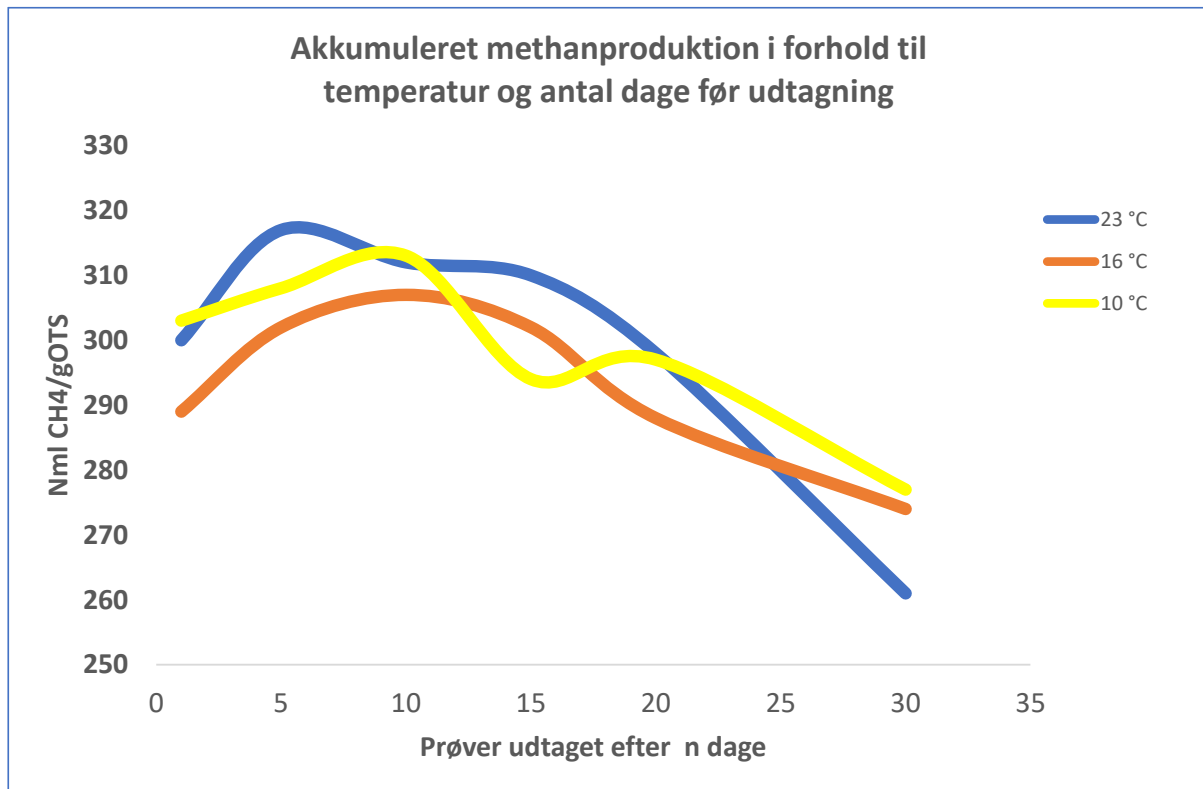
Tabel 1. Akkumuleret methanproduktion af de forskellige prøver, Nml CH₄/g OTS

Temperatur	Methanproduktion ifht. temperatur og udtagningsdag					
	1	5	10	15	20	30
23 °C	300	317	312	310	298	261
16 °C	289	302	307	302	288	274
10 °C	303	308	313	294	297	277

(OTS = organisk tørstofindhold)

Det springer her i øjnene, at alle prøver udtaget dag 1, ligger lavere end prøver udtaget dag 5 og 10. For de to "gyllekølede" prøver finder vi at prøver udtaget dag 10 viser den højeste akkumulerede produktion. Det er nærmest stik imod det forventede, eftersom den helt friske gylle jo gerne skulle have det højeste organiske tørstofindhold og dermed gasproduktion. Der er ikke fundet en god forklaring på dette. Det er dog ikke usædvanligt at processen i de enkelte batchreaktorer opfører sig lidt forskelligt uafhængigt af det testede materiale. På den anden side er forsøgene udført ved triple bestemmelse uden at det har givet den helt store variation. Men der er tale om små mængder og ret små forskelle. Det er desuden velkendt, at det er vanskeligt at udtage helt homogene prøver af gylle, måske især her, hvor gyllen i udgangspunktet havde et meget højt totalt tørstofindhold, nemlig knap 10 %, hvilket er det dobbelte af hvad man normalt regner med i svinegylle. Det er også velkendt at svinegylle ret hurtigt lagdeles ved henstand. Desuden skulle gyllen til disse forsøg først deles i 3 til henstand ved de tre temperaturer, og senere skulle der udtages prøver over 6 gange til methanpotentialebestemmelser fra hver af de tre dunke ved hver temperatur. Så uden at vide det præcist vurderes det, at de "skæve" resultater fra methanpotentialebestemmelserne muligvis skyldes, at der ikke har kunnet tages 100 % homogene prøver fra de tre dunke. Figur 5 viser endnu tydeligere de lidt overraskende resultater fra methanpotentialebestemmelserne.

Der blev som nævnt udtaget helt frisk gylle til forsøgene. Gyllen bliver ført ud af stalden ved hjælp af et bånd under spalterne. Det betyder at gyllen ikke, som det oftest er tilfældet, falder ned i en kanal, hvor den ligger indtil den bliver sluset ud. Det betyder, at gyllen ikke falder ned i et anaerobt miljø, hvor mikroorganismene ligger klar til at angribe det lettest omsættelige tørstof, så snart det kommer. Måske kan det være forklaringen på at tabet methanpotentiale viste sig så beskedent som tilfældet var. Hvis der i udgangspunktet var få methanproducerende bakterier til stede, har de måske ovenikøbet haft vanskeligt ved at opformere sig i den meget tykke gylle, der "stod stille" indtil prøverne blev udtaget, hvilket også kan være en årsag til den forsinkede methanproduktion, som resulterede i størst produktion ved dag 5 og 10 ift. dag 1.



Figur 5. Forløbet af akkumuleret methanproduktion for de tre temperaturer efter udtagning af prøver efter et bestemt antal dage.

Det er især de første 10-15 dage, at kurverne ikke ser ud som forventet. Dog er det i det mindste som forventet den akkumulerede produktion falder desto længere tid prøverne har stået ved hver sin temperatur. Det er også forventet at prøven, der har stået varmest i 30 dage, har en noget lavere produktion end de to kølede prøver. Men forskellen er så lille som 6 %, hvilket er meget overraskende. Derfor er det også beklageligt at det ikke har været muligt at gentage forsøgene for at validere resultaterne i figur 5. Det var forventet, at prøver udtaget ved dag 1 ville starte på samme niveau, som ville ligge med den højeste akkumulerede produktion af alle, hvorefter kurverne gradvist ville aftage, med størst fald for de prøver, der havde stået ved 23 hhv. 15 °C. Sådant er det også alt overvejende for prøver, der har henstået 10 dage eller mere, selvom der også her er lidt flimmer med den gule kurve repræsenterende gyllen, der henstod ved 10 °C.

Når methanpotentialebestemmelserne igangsættes måles det organiske tørstofindhold i prøven. Derfor har vi målt OTS indhold for alle prøverne. Det er i sagens natur det organiske indhold, der kan omsættes til methan, og derfor kan det organiske tørstofindhold også bruges til at sige noget om potentialet, eftersom det er samme type tørstof i alle prøverne.

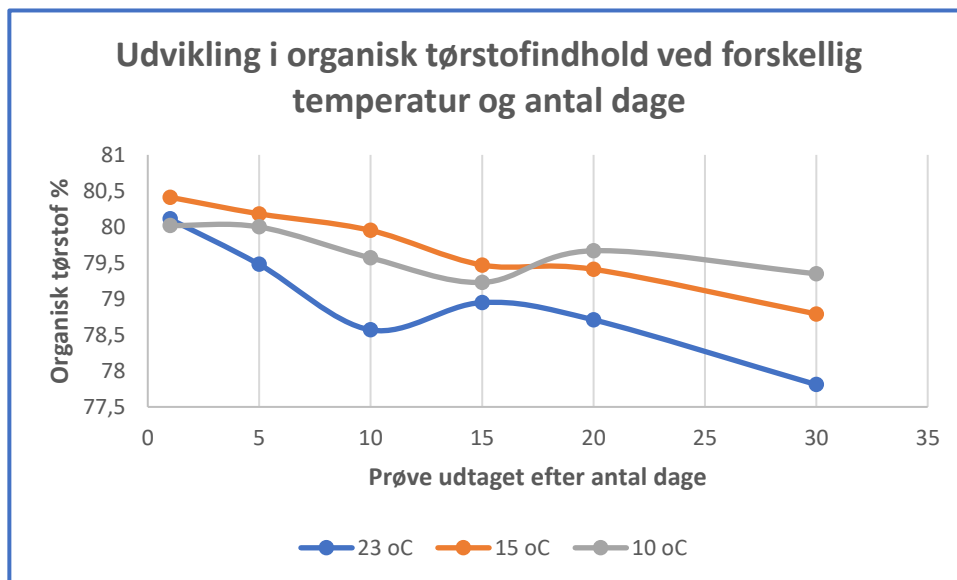
Tørstofindholdet i de undersøgte prøver fremgår af tabel 2.



Tabel 2. Organisk tørstofindhold i de udtagne prøver

	Organisk tørstofindhold i % i prøver udtaget ved dag nr.					
	1	5	10	15	20	30
23 oC	80,11	79,48	78,57	78,95	78,71	77,81
15 oC	80,41	80,18	79,95	79,47	79,41	78,79
10 oC	80,02	80	79,57	79,23	79,67	79,35

Det fremgår som nævnt ovenfor, at tørstofindholdet, og dermed methanpotentialet, gerne skulle være ens ved prøver udtaget dag 1. Derefter skulle det organiske indhold gradvist falde, hvilket da også stort set er tilfældet i de målte værdier. Målingerne af det organiske tørstofindhold fortæller derfor også en lidt anden historie end selve methanpotentialmålingerne, og passer betydeligt bedre til det forventede. Omsat til et diagram ser tallene ud som i figur 3



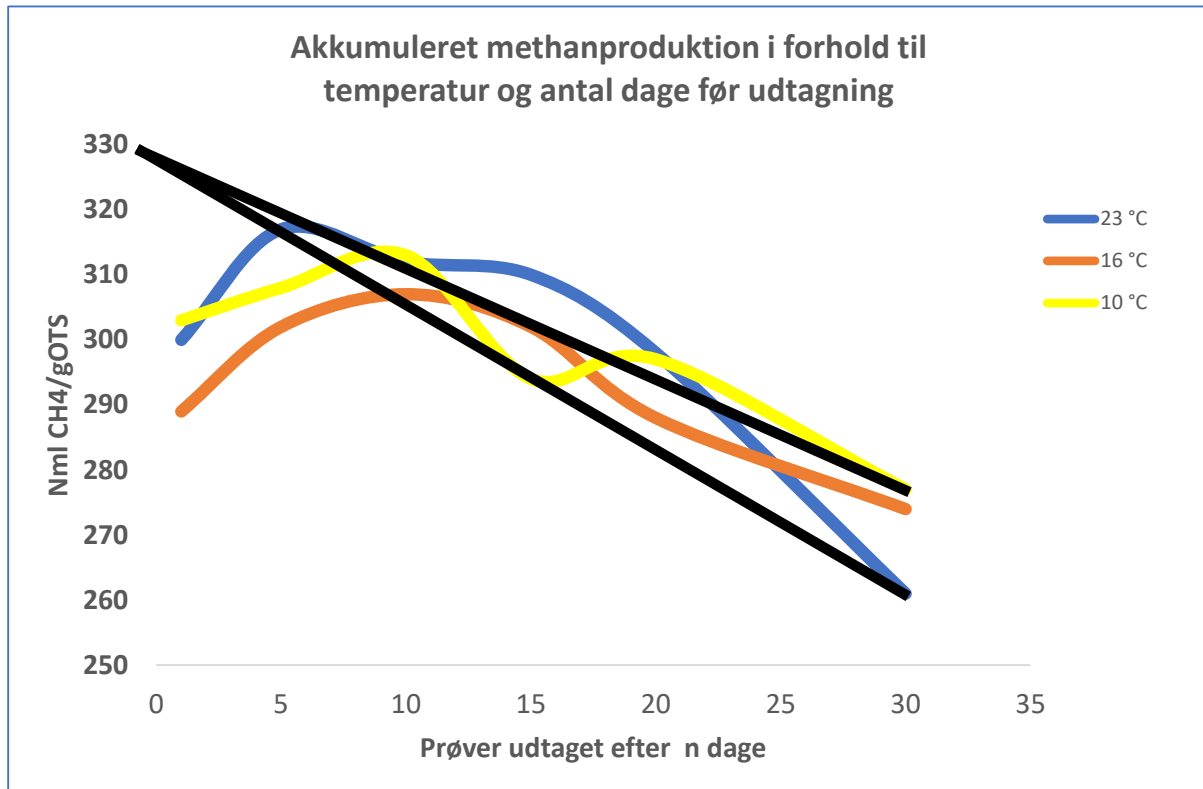
Figur 6. Udvikling i tab af organisk tørstof afhængigt af temperatur og udtagningsstidspunkt.

Figur 6 viser et mere forventeligt forløb i tabet af organisk tørstof, og dermed methanpotential, end det der fremgik af figur 5. Bortset fra enkelte små hop, kan der med god vilje tegnes næsten rette linjer langs de enkelte kurver.

Ikke desto mindre er det relative tab i organisk tørstof begrænset. For 1-30 dage ved 10 °C er tabet 0,67 procentpoint, ved 15 °C er det 1,62, og ved 23 °C er tallet 2,3 procentpoint. Tendensen i disse tal er som ventet, om end formodningen var at tabet ville være større ved stuetemperatur.



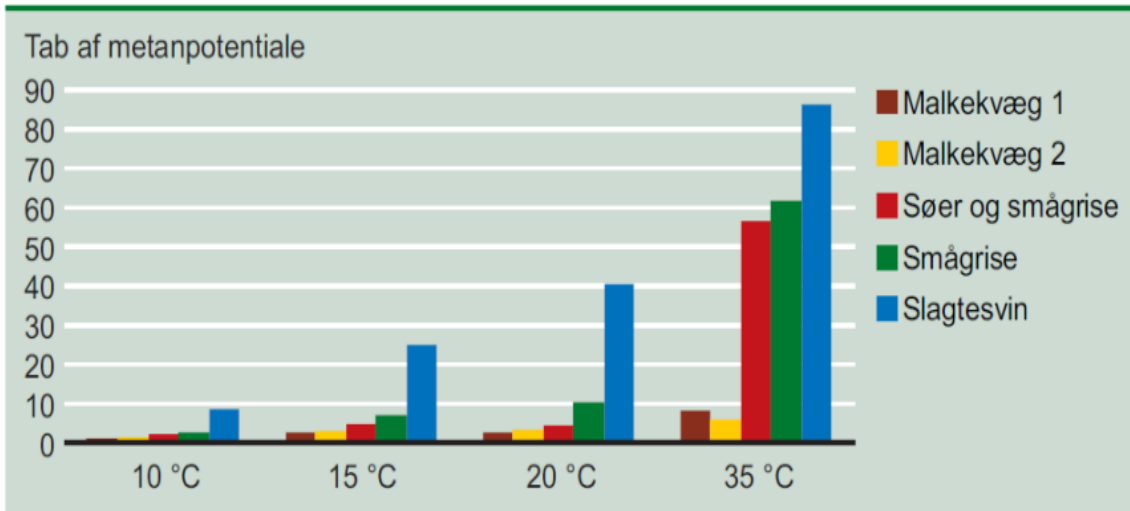
Hvis vi med denne analyse tør vove det ene øje, og indtegne en ret linje for gylle henstået ved henholdsvis 10 °C og 23 °C i en figur tilsvarende figur 5, som udtryk for hvad gaspotentialet burde være, som følge af gyllekølingen, fås denne figur 7.



Figur 7. Delvist skønnet udvikling i methanpotentiale for gylle henstået ved stuetemperatur (23 °C) og ved 10 °C.

I Figur 7 er indtegnet med sort et forløb af methanpotentialiet ved gylle henstået ved 10 °C og 23 °C og udtaget efter forskelligt antal dage delvist skønnet på baggrund af methanpotentialebestemmelserne og måleresultater for organisk tørstofindhold. Tabet for gylle henstået ved 23 °C er således 20 % og ved 10 °C 16 %. Dette er særdeles overraskende i forhold til hvad der normalt regnes med, nemlig at halvdelen af gaspotentialet kan være forsvundet allerede efter 14 dages ophold i gyllekanaler under stalden.

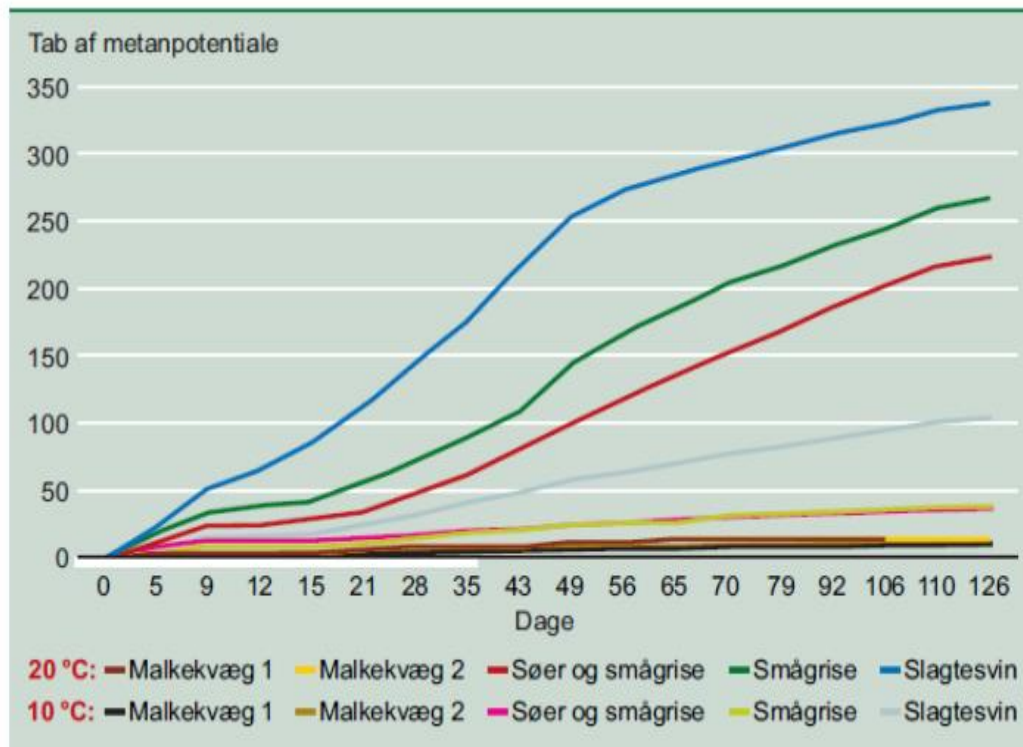
Dette underbygges i en undersøgelse udført af Henrik B. Møller fra Århus Universitet, publiceret i en artikel i FIB nr. 31, december 2010. Her blev der målt på gylle fra traditionelle gyllekanaler, og her fundet helt anderledes, betydelige tab af gaspotentialer.



Figur 8. Tab af methanpotentiale i % under opbevaring ved forskellig temperatur, 28 dages opbevaring.

Kilde: Henrik B. Møller, Århus Universitet, FIB nr. 34, 2010

Det fremgår af figuren at slagtesvinegylle har langt det største tabspotentiale ved alle temperaturniveauer, og dermed det største potentiale for reduktion af tabet ved gyllekøling. Ved 20 °C er tabet målt til 40 % medens det ved 10 °C er under 10 %, altså et langt større reduktionspotentiale end der blev fundet i methanpotentialebestemmelserne udført i nærværende projekt.



Figur 9. Tab af methanpotentiale som funktion af oplagringstid ved henholdsvis 10 °C og 20 °C

Kilde: Henrik B. Møller, Århus Universitet, FIB nr. 34, 2010

Denne figur viser med tydelighed at store dele af methanpotentialet mistes, hvis gyllen henligger i kanalerne ved stuetemperatur i mere end ganske få dage. Som vist ovenfor er det især svinegyllen, der er problematisk, især hvis gyllen henligger mere end 2 uger. Figuren viser også, at gyllekøling til en temperatur på 10 °C vil have overordentlig stor betydning for om methanpotentialet mistes, så det i stedet kan nyttiggøres i et biogasanlæg.

4. Økonomivurdering.

Som nævnt i indledningen var det en streg i regningen for forretningsmodellen for projektet, at der, indtil for nylig, ikke længere kunne etableres biogasbaseret elproduktion. Siden det i 2012 blev muligt at distribuere opgraderet biogas via naturgasnettet, er stort set alle nye biogasanlæg etableret siden blevet udstyret med opgraderingsanlæg til biogas. Der findes en række teknologier til opgradering af biogas, og der findes da også flere af disse repræsenteret på anlæg rundt omkring. I relation til nærværende projekt er især det såkaldte aminanlæg interessant. Det er det fordi aminanlæggene forbruger en del varme i form af damp, og på bagsiden afleverer varmt vand på +/- 85 grader. Noget af dette bruges typisk til opvarmning i biogasanlægget, men overskydende varme har en perfekt temperatur



til anvendelse til adsorptionskøling. Adsorptionskøleren afgiver i øvrigt også varme på bagsiden, som ligeledes kan anvendes til opvarmning i anlægget, enten i varmevekslere eller ved hjælp af en varmepumpe. Nu er det selvfølgelig langt fra alle nyere gårdanlæg, der etableres med opgradering med aminanlæg. Faktisk har mange af dem membranlæg til opgradering. Men det kommer efter alt at dømmes til at ændre sig. Der er nemlig kommet øget fokus på de, om end små, methantab der forekommer i forbindelse med opgradering af biogassen. Her har aminanlægget vist sig at ligge i den lave ende, når det kommer til disse utilsigtede udslip. Og eftersom anlæggene givetvis i fremtiden vil blive økonomisk straffet for disse udslip i form af afgifter, vil det sandsynligvis trække i retning af at vælge aminanlæg til opgradering af biogas. Det betyder, at dersom biogasanlægget ligger i tilknytning til en større svineproduktion, vil adsorptionskølerne fint kunne anvendes som kuldekilde til gyllekøling.

Endelig er rammebetingelserne for biogas under forandring, så der indføres et udbudssystem for nye anlæg. Her vil der være mulighed for også at byde ind med elproducerende anlæg. Disse anlæg vil i givet fald kunne drage nytte af gyllekøling ved hjælp af en adsorptionskøler drevet af overskudsvarme fra en gasmotor.

5. Konklusion.

Adsorptionskøleren fra det tyske firma Fahrenheit blev som led i projektet testet til brug for gyllekøling. Den oprindelige plan var at den skulle forsynes med overskudsvarme fra en gasmotor, men det lykkedes ikke at finde en landmand med både biogasanlæg og gyllekøling. I testen blev drivvarmen produceret i en oliekedel suppleret med en elpatron. Testen forløb uden problemer, og køleren levede fuldt op til producentens anvisninger.

Det kan derfor konkluderes, at adsorptionskøleren fortrinligt kan anvendes til gyllekøling i tilfælde, hvor der er rigelig med overskudsvarme til stede, som fx ved et elproducerende gårdbiogasanlæg. Det kunne også være med varme fra et halmfyr.

Det andet formål i projektet var at eftervise at methantabet i gyllekanalen kan reduceres med 20 %, som så efterfølgende kan udvindes i biogasanlægget. Denne del lykkedes ikke. Vi fandt en reduktion i methantabet, men ikke i nærheden af 20 %. Vi syntes jo ellers vi havde lavet en god forsøgsplan, hvor vi anvendte helt frisk gylle fra en stald med kildeseparering. Det står ikke klart hvad der gik galt i forsøgene, der var ikke en klar tendens i resultaterne, selv om der trods alt blev konstateret methantab fra start til slut.

Der refereres imidlertid i rapporten til tidligere undersøgelse udført af Henrik B. Møller fra Århus Universitet, hvor der blev fundet markante reduktioner af methantabet under opbevaring af især svinegylle ved forskellige temperaturer. Vi har således ikke i selve projektet kunne eftervise et reduceret methantab, og dermed øget gaspotentiale, på 20 %, men vurderer fortsat, med henvisning til Henrik B. Møllers forskning, at det er indenfor rækkevidde.