

Metanemission fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation

Søren Gabriel, Trine Lund Hansen og
Thomas Højlund Christensen
Danmarks Tekniske Universitet, Miljø & Ressourcer

Sven G. Sommer og Karsten Sørensen
Forskningscenter Bygholm, Afdeling for Jordbrugsteknik

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
1 INDLEDNING	9
2 MÅLING AF RESTMETANPOTENTIALE I BIOFORGASSET ORGANISK DAGRENOVATION	11
2.1 MÅLTE RESTMETANPOTENTIALER	11
3 SYSTEMER TIL LAGRING AF BIOFORGASSET ORGANISK DAGRENOVATION OG MÅLING AF OPBEVARINGSTEMPERATURER OG FYLDNINGSGRAD I UDVALGTE LAGERTANKE OG GYLLEBEHOLDERE	15
3.1 UDVÆLGELSE AF BIOGASANLÆG TIL VIDERE UNDERSØGELSER	15
3.2 TEMPERATURMÅLING I SYSTEMER TIL LAGRING AF BIOFORGASSET ORGANISK DAGRENOVATION	17
4 VURDERING AF METANPRODUKTION FRA LAGRING AF BIOFORGASSET ORGANISK DAGRENOVATION	19
4.1 FYLDNINGSMØNSTER I GYLLEBEHOLDERE	19
4.2 TEMPERATURFORHOLD, RESTMETANPRODUKTION OG –EMISSION FRA GYLLEBEHOLDERE	20
4.3 RESTMETANPRODUKTIONENS BETYDNING FOR DRIVHUSGASBALANCEN	21
4.4 GASPRODUKTIONENS AFHÆNGIGHED AF TYPEN AF VS.	22
5 REFERENCER	23
BILAG 1: BAGGRUNDSDATA FOR RESTMETANFORSØG	25
BILAG 2: BESKRIVELSE AF UDVALGTE SYSTEMER FOR GASOPSAMLING FRA LAGERTANKE OG OPBEVARING AF UDRÅDNET GYLLE OG DAGRENOVATION	33
BILAG 3: MÅLINGER AF OPBEVARINGSTEMPERATURER OG FYLDNINGSGRAD I UDVALGTE LAGERTANKE OG GYLLEBEHOLDERE	35

Forord

Dette projekt, der er gennemført i tilknytning til projekt om basisdokumentation for biogaspotential i organisk dagrenovation /1/, har haft som mål at etablere data om metandannelsen ved forskellige temperaturer i afgasset biomasse fra husholdninger samt at beskrive, hvorledes afgasset biomasse opbevares (systemer med og uden gasopsamling, kapacitet, opholdstider, temperatur). Herved kan det vurderes hvor meget metan, der kan opsamles i lagertanke med gasopsamling og hvor meget, der evt. frigives til atmosfæren.

Projekt er gennemført af en projektgruppe bestående af Danmarks Tekniske Universitet (Miljø og Ressourcer DTU, Thomas H. Christensen, Søren Gabriel, Trine Lund Hansen og Janus T. Kirkeby) og Danmarks Jordbrugsforskning (Afd. for Jordbrugsteknik, Forskningscenter Bygholm, Sven G. Sommer og Karsten Sørensen). Forskningscenter Bygholm, der har gennemført relaterede projekter vedrørende gylle, har primært været engageret i kortlægningen af lagringsforhold og tanktemperaturer for det afgassede materiale, mens DTU primært har varetaget målingen af metandannelsen i det afgassede materiale.

November 2002

Thomas H. Christensen

Jes la Cour Jansen

Sammenfatning og konklusioner

Opholdstiden i termofile, kontinuerte biogasreaktorer vil typisk være så kort (ca. 15 dage), at en væsentlig del af affaldets metanpotentiale ikke bliver realiseret. Der er derfor gennemført et projekt til belysning af hvor meget restmetan, der dannes ved efter- og slutlagring af afgasset organisk dagrenovation /10/. I projektet er temperaturforholdene målt i en række lagerbeholdere, mens restmetanproduktionen er analyseret i laboratoriet ved forskellige temperaturer.

I projektet er der gennemført en undersøgelse af restmetanpotentialet ved 7 temperaturer fra 5-55°C. Ved 55°C ophører metanproduktionen efter ca. 1500 timer. Ved denne temperatur realiseres ca. 50% af den del af metanpotentialet, der ikke blev udnyttet i pilot-biogasanlægget, hvorfra det afgassede materiale stammede.

Ved 35°C, der svarer til den temperatur, der findes i lagertankene på biogasanlæg, og 30 dages lagring, vil der i en overdækket lagerbeholder beregningsmæssigt blive produceret metan svarende til en forøgelse af metanudbyttet med godt 5%. Dette metanudbytte er lavt i forhold til den produktion, der i praksis findes på biogasfællesanlæg ved tilsvarende lagring af afgasset gylle. Denne forskel kan skyldes en forskel i omsættelighed og derved omsætningsgrad for VS i affald og i gylle.

Undersøgelsen viser yderligere, at det realiserede restmetanpotentiale er meget afhængig af temperaturen, således at metanproduktionen i praksis er meget lille ved de temperaturer, der findes i de gylletanke, der bruges til lagring af det bioforgassede materiale (< 22°C). I praksis er restmetanproduktionen fra bioforgasset organisk dagrenovation derfor både begrænset af temperaturen i gyllebeholderen og af omsætteligheden af VS.

Metanemissionen fra lagring af afgasset organisk dagrenovation i gyllebeholdere vurderes på baggrund af de gennemførte beregninger at udgøre ca. 8 promille af den metan, der produceres ved bioforgasning af det samme affaldsmængde i biogasreaktoren. Der vil ikke være nogen væsentlig energigevinst forbundet med at opsamle denne metan, men emissionen vil have nogen effekt på systemets drivhusgasbalance. For det samlede biogassystem svarer dette således til, at metanemissionen fra lagring af afgasset affald vil reducere den samlede besparelse på drivhusgasregnskabet med ca. 4%.

1 Indledning

Under Miljøstyrelsens "Program for renere produkter m.v." sker der i øjeblikket en stærk udbygning af datagrundlaget for vurdering af de energimæssige, miljømæssige og økonomiske forhold omkring disponeringen af den organiske dagrenovation, hvad angår indsamling af kildesorteret organisk dagrenovation, effekt af forbehandlingen, karakterisering, biogaspotentialer og biogasudbytte i kontinuert drevne reaktorer. I denne sammenhæng opstilles også en matematisk model for kvantificering af de energimæssige og drivhusgas-relaterede forhold ved affaldssystemer med bioforgasning af det organiske affald. De foreløbige resultater viser, at der i en kontinuert termofil biogasreaktor udnyttes ca. 75 - 80 % af det samlede biogaspotentiale fra den organiske dagrenovation. Energivirkningsgraden af de samlede systemer er følsom for, at så stor en andel som muligt af det samlede biogaspotentiale realiseres. Men endnu mere følsom er systemernes drivhusgasbalance, idet et tab af nogle få procent af metan til omgivelserne – fra bl.a. biogas, der dannes og emitteres til atmosfæren efter affaldet har forladt biogasreaktoren - vil have dramatiske konsekvenser for drivhusgasregnskabet på grund af metans store drivhusgaspotentialer (ca. 21 gange kuldioxid).

Denne rapport beskriver et mindre suppleringsprojekt, der har haft til formål at etablere et datagrundlag for vurdering af omfanget og betydningen af metanudslip fra lagring af afgasset organisk dagrenovation.

Ideelt set skulle dannelsen af restmetan fra lagring af afgasset organisk dagrenovation måles på lagerbeholdere, der kun indeholder dette produkt. Men selv på de biogassfællesanlæg, der modtager meget organisk dagrenovation, udgør affaldet kun op til 25 procent af det forgassede materiale. Samtidig er det kendt, at omsætningsgraden for organisk dagrenovation er større end for gylle ved bioforgasning under sammenlignelige betingelser. På den baggrund blev det vurderet, af potentialet for dannelse af restmetan fra kombineret lagring af afgasset gylle og affald ikke ville give et brugbart billede af affaldets bidrag til restmetandannelsen.

Projektets angrebsvinkel har derfor været at måle metandannelsesraten ved batchforsøg på afgasset organisk dagrenovation ved en række relevante temperaturer i intervallet 5 til 55°C og kombinere dette med en mindre kortlægning af efterlagertanke og tilhørende temperaturer henover en sæson. Ved at sammenholde disse data kan et typisk system til håndtering af den afgassede biomasse beskrives og både den opsamlede metan og evt. udslip af metan kan beregnes og anvendes i det overordnede modelarbejde.

Projektet skal således kvantificere potentialet for dannelse af metan i lagertanke med gasopsamling og i opbevaringstanke. Lagertanke med gasopsamling findes i flere tilfælde direkte i tilknytning til biogasanlægget, mens tanke hos landmændene benyttes i forskelligt omfang. Nogle af tankene er overdækket med opsamling af gassen, mens andre er åbne og uden kontrol over den dannede biogas. Tanke med afgasset gylle har intet naturligt flydelag og derfor lille evne til at oxidere den dannede metan. Dannelsen af metan forventes derfor at være styrende for frigivelsen af metan. Dannelsen vil derfor, udover udrådningsgraden af materialet og opholdstiden i tanken, især afhænge af

temperaturen i tankene. Temperaturen i tanken vil afhænge af udgangsmaterialets temperatur, omgivelsernes temperatur og tankens varmeafgivelse.

2 Måling af restmetanpotentiale i bioforgasset organisk dagrenovation

Formålet med projektets første fase har været at måle metandannelsesraten i afgasset dagrenovation. Metandannelsesraten er undersøgt for :

- 2 typer forbehandlet dagrenovation, dels fra rulsesigte og dels fra skrueseparator, idet partikelstørrelsen og dermed metandannelsesraten kan være forskellig. Materialet er udtaget som færdigafgasset materiale fra de reaktorer i Sjölanda/Malmö, efter 15 døgnsopholdstid ved 55°C. Herved har det været muligt at måle metandannelsesraten for et veldefineret materiale, der er termofilt udrådnat under kontrollerede betingelser
- 7 temperaturer dækkende fra vinterkulde (5°C) til sommervarme med termofilt udrådnat materiale, der endnu ikke er afkølet (55°C). Forsøgene er gennemført ved temperaturerne 5, 10, 15, 22, 28, 35 og 55°C.

Metandannelsesraten af det afgassede materiale er målt i 2 l batches og som triplikater. Opstillingen er den samme som den, der benyttes til måling af biogaspotentialet, som beskrevet i hovedprojektet /1/, bortset fra at reaktorerne ikke blev tilsat podemateriale.

I alt 42 batches plus 21 kontroller (podemateriale tilført ekstra substrat) blev opstillet. Målingerne blev gennemført over godt 100 dage (2500 timer). Indgangsmateriale såvel som udgangsmateriale til reaktorerne er tillige karakteriseret kemisk.

2.1 Målte restmetanpotentialer

Ved bioforgasning under kontinuerlige betingelser i Sjölanda er der opnået en omsætningsgrad af VS på ca. 75 procent og en metanproduktion på omkring 340 Nm³/t VS, svarende til ca. 75 procent af det realiserbare metanpotentiale, der er bestemt ved batchforsøg på det samme affald. Det betyder, at det kontinuerligt afgassede materiale fra Sjölanda potentielt indeholder et ikke realiseret metanpotentiale på omkring 100 Nm³/t VS indmadet affald. Dette vil altså være den højeste forventelige værdi for restmetanpotentiale for det afgassede affald.

Ved de gennemførte forsøg ses generelt:

- God overensstemmelse mellem triplikater af samme prøve ved samme temperatur.
- At det realiserede restmetanpotentiale er meget afhængig af temperatur, således at metanproduktionen i praksis er meget lille ved temperaturer under 15°C.
- En væsentlig del af restmetanpotentialet ved de lave temperaturer (<22°C) realiseres inden for de første timer – måske inden der er sket en fuld nedkøling.
- Ved temperaturer under 22°C er der herefter fundet en konstant metanproduktion i de 2500 timer, forsøget har forløbet. Noget tilsvarende gør

- sig gældende ved 28 og 35°C, hvor metanproduktionen dog har en faldende tendens med tiden.
- En lignende tendens ses for metanproduktionen fra kontrolreaktorerne ved temperaturer under 10°C. Ved højere temperaturer findes højere metanproduktion fra kontrolreaktorerne end fra det tidligere bioforgassede affald. Kontrolreaktorerne er tilsat podemateriale og cellulose.
 - Ved 55°C stopper metanproduktionen efter ca. 1500 timer. Her gælder det, at der er realiseret et restmetanpotentiale på ca. 50 Nm³ CH₄/t VS i det indmadede affald. Det svarer til, at der er realiseret ca. 50 procent af det metanpotentiale, der resterer i materialet efter kontinuert forgasning (differenten mellem det målte realiserbare metanpotentiale og det potentiale, der er bestemt ved kontinuert forgasning).

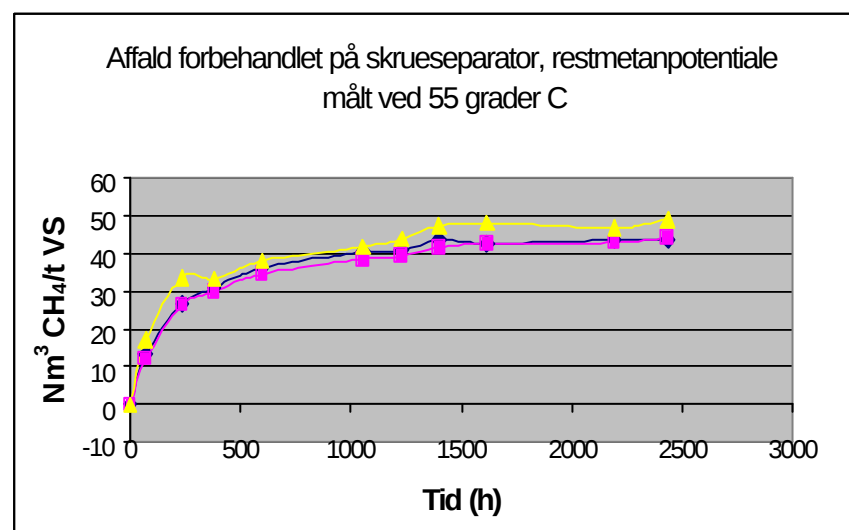
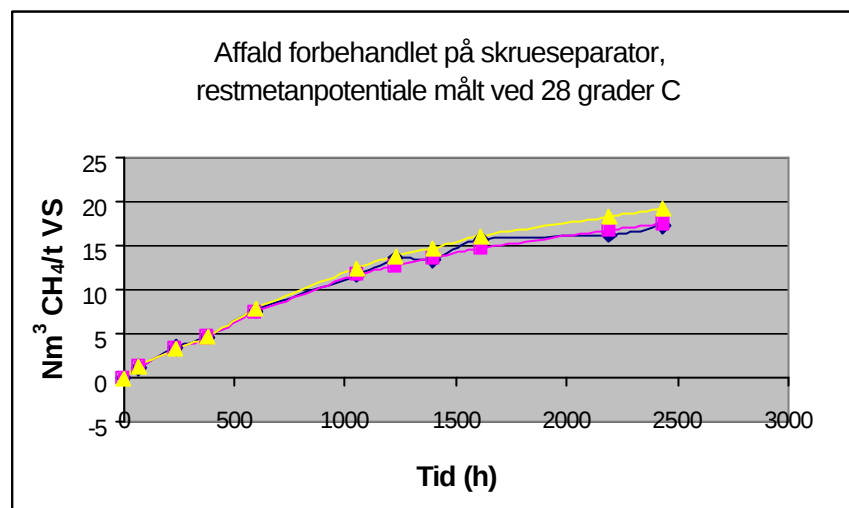
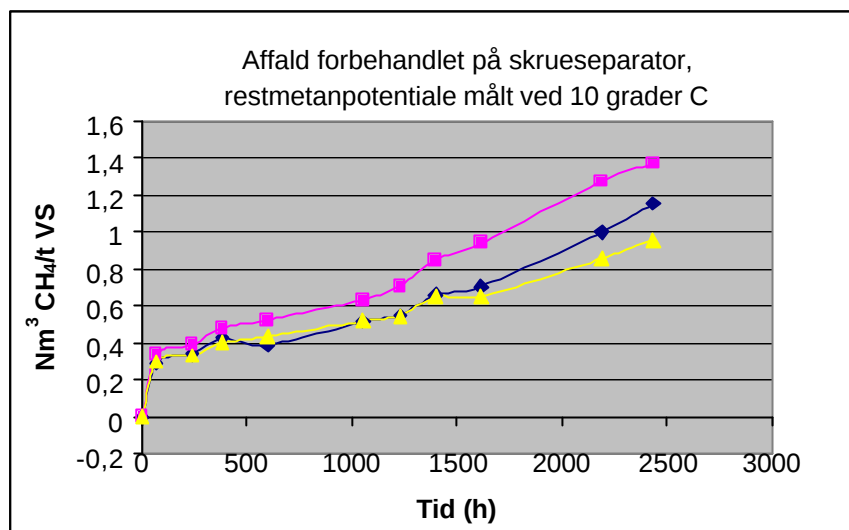
I resultatafsnittet (kapitel 6) diskuteres disse resultater i sammenhæng med de temperaturmålinger, der er gennemført på lagertankene.

Figur 2.1 viser eksempler på målte restmetanpotentialer for kontinuert afgasset forbeholdt, kildesorteret organisk dagrenovation ved hhv. 5, 28 og 55°C. Øvrige målte potentialer findes i bilag 1. Restmetanpotentialet er opgjort i m³ CH₄/t VS i det affald, der er indmadet i de kontinuerlige bioforgasningsreaktorer.

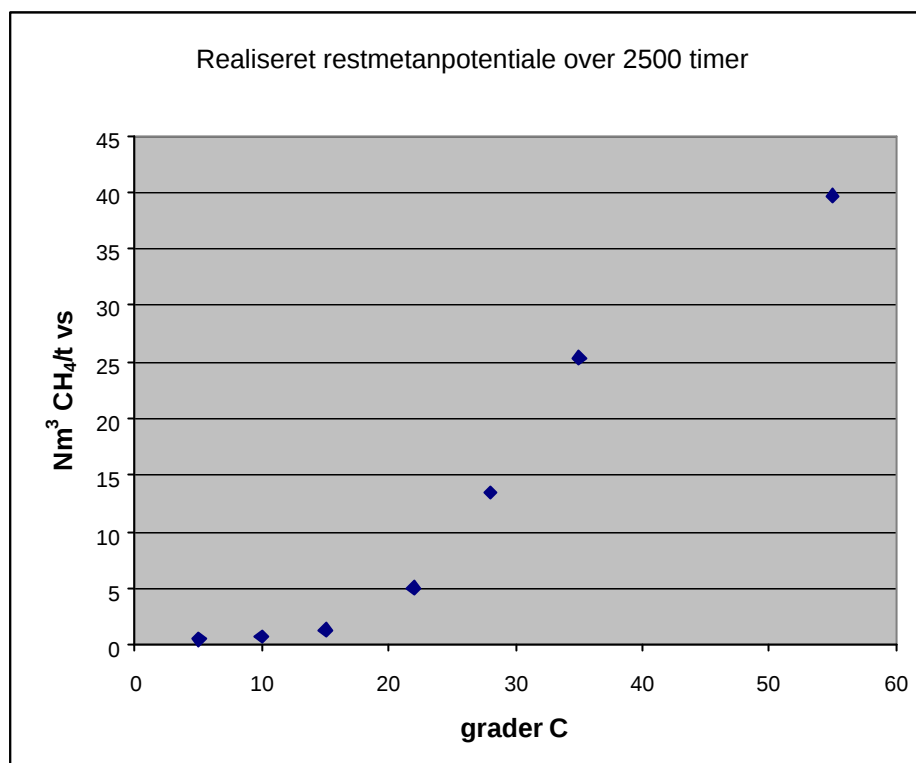
I figur 2.2 findes den akkumulerede restmetanproduktion (det realiserede metanpotentiale) efter 2500 timers fortsat bioforgasning i batchreaktorer af kontinuert bioforgasset materiale. Den fortsatte bioforgasning er sket ved temperaturerne 5, 10, 15, 22, 28, 35 og 55 °C. Ved 55 °C stoppede metanproduktionen efter ca. 1500 timer. Ved de øvrige temperaturer fortsatte metanproduktionen efter forsøgsperiodens udløb. Det ses tydeligt, at temperaturen er afgørende for dannelsen af restmetan. Restmetanpotentialet er også i dette tilfælde opgjort i m³ CH₄/t VS i det affald, der er indmadet i de kontinuerlige bioforgasningsreaktorer.

Figur 2.3 illustrerer restmetanproduktionsraten (Nm³ CH₄ pr. t VS pr. time) ved forgasning af kontinuert bioforgasset materiale ved temperaturerne 5, 10, 15 og 22°C. Efter en initialproduktion over de første timer, der ikke indgår i denne beregning, er metanproduktionen konstant, men lav, over tid. I det omfang, initialproduktion repræsenterer en metanproduktion, der er sket under forsøget inden affaldet blev kølet ned, kan det ikke forventes at finde denne produktion i en gyllebeholder, hvor den varme gylle kan blive afkølet ved kontakt med den kolde. Metanproduktionsraten er beregnet i forhold til VS i det affald, der er indmadet i de kontinuerlige bioforgasningsreaktorer.

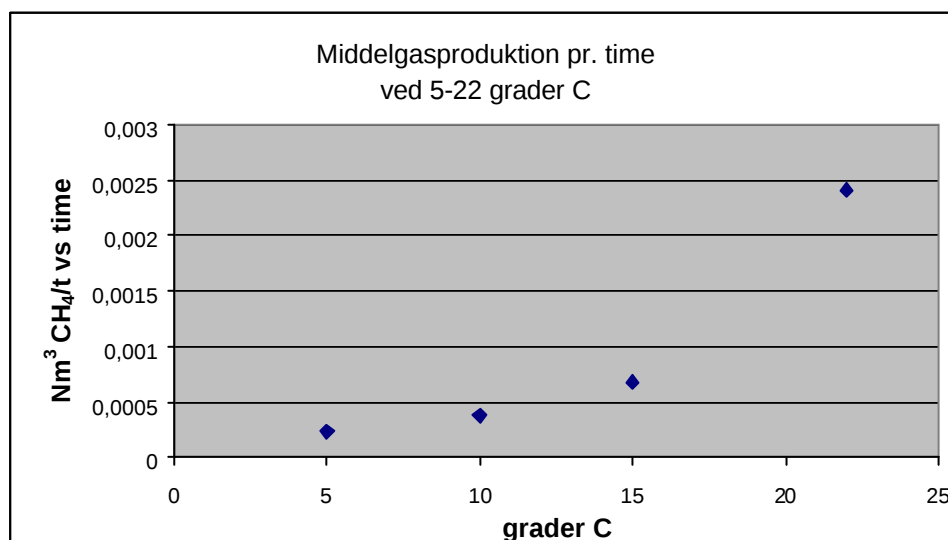
Med de metandannelsesrater, der findes ved temperaturer fra 5-22 °C, vil det VS, der resterer i det afgassede affald ikke blive omsat indenfor den periode på maksimum et år, som det afgassede affald lagres i gyllebeholdere.



Figur 2.1: Restmetanproduktion ved temperaturerne 10, 28 og 55°C for triplikater af samme kontinuert afgassede affaldsprøve (forbehandlet på skrueseparator og tidligere afgasset i kontinuert reaktor ved 55°C i 15 dage). Metanproduktionen er opgjort i forhold til det VS, der er indmadet med affaldet i den kontinuerte reaktor. Bemærk, at skalaen på den lodrette akse (metanproduktionen) er forskellig på de tre figurer.



Figur 2.2 : Akkumuleret metanproduktion efter 2500 timers fortsat bioforgasning i batchreaktorer af kontinuert bioforgasset materiale. Den fortsatte bioforgasning er sket ved temperaturerne 5, 10, 15, 22, 28, 35 og 55 °C. Ved 55 °C stoppede metanproduktionen efter ca. 1500 timer. Ved de øvrige temperaturer fortsatte metanproduktionen efter forsøgsperiodens udløb. Metanproduktionen er opgjort i forhold til det VS, der er indmadet med affaldet i den kontinuerte reaktor.



Figur 2.3: Restmetanproduktion af kontinuert bioforgasset materiale ved temperaturerne 5, 10, 15 og 22 C. Efter en initialproduktion over de første timer, der ikke indgår i denne beregning, er metanproduktionen konstant, men lav, over tid. Metanproduktionen er opgjort i forhold til det VS, der er indmadet med affaldet i den kontinuerte reaktor. Ved de målte temperaturer over 22 C er metanproduktionen markant højere, men til gengæld aftagende over tid.

3 Systemer til lagring af bioforgasset organisk dagrenovation og måling af opbevaringstemperaturer og fyldningsgrad i udvalgte lagertanke og gyllebeholdere

Formålet med projektets anden fase har været at fremskaffe viden om de typer af tanke, der benyttes til lagertanke med gasopsamling og opbevaring af udrådneth gylle, typiske opholdstider i tankene og typiske temperaturforhold. I denne fase er der således :

- Skabt et overblik over produktions- og lagerforhold på de eksisterende biogassfællesanlæg og taget kontakt til og aflagt besøg på biogassanlæggene Linkogas, Århus, Vaarst-Fjellerad, Studsgård, Filskov og Blåbjerg, hvor der er indsamlet yderligere information om lagertankens udformning, kapacitet, typiske opholdstider og systemer for tømning/udbringning af gyllen til landmændene.
- Besøgt en række typiske lagerbeholdere for afgasset og frisk gylle med og uden overdækning og opsamling af gas.
- Udvalgt tre biogassfællesanlæg (Linkogas, Studsgård og Århus) og en række typiske lagertanke med og uden overdækning, som indgår i et måleprogram omkring temperaturer.
- Gennemført et måleprogram for temperatur og fyldning i de udvalgte tanke.

3.1 Udvælgelse af biogassanlæg til videre undersøgelser

I bilag 2 findes en sammenstilling af oplysninger om biogasproces og volumen af reaktor og lagertanke på 20 danske biogassfællesanlæg. Tabellen, der er udarbejdet på baggrund af kommunikation med Energistyrelsen /2/, har dannet grundlag for udvælgelse af de anlæg, der er indgået i det videre projektforsløb. Det er Energistirelsens vurdering, at biogassfællesanlæg i fremtiden vil blive drevet termofilt. Anlæggene vil enten blive udformet som højteknologiske anlæg, hvor biomassen omsættes i en reaktor med flere trin og køles i en varmeveksler, før den ledes til en lagertank (med gasopsamling) med en relativt kort opholdstid, eller mere simple anlæg, hvor biomassen ikke køles, før den ledes til lagertanken (med gasopsamling), men hvor opholdstiden i lagertanken til gengæld er længere, så tanken i praksis fungerer som et ekstra reaktortrin.

På baggrund af sammenstillingen af anlæg i bilag 2 er Linkogas biogassfællesanlæg ved Ribe og biogassanlægget Århus Nord udvalgt til at indgå i projektet som højteknologiske anlæg, mens Filskov ved Grindsted blev valgt som eksempel på anlæg uden varmegenvinding, men med et stort efterlager. I tabel 3.1 findes en kort sammenfatning af driftsforholdene på disse anlæg. En mere detaljeret beskrivelse findes i bilag 2.

Tabel 3.1: Oversigt over driftsforhold mm. for de tre biogasfællesanlæg, der er indgået i undersøgelsen af temperatur- og fyldningsforhold i lagerbeholdere for bioforgasset gylle

Anlæg	Reaktor	Hydraulisk opholdstid	Lager	Biomasse
Linkogas (Lintrup, nordøst for Ribe)	Termofilt Med varmeveksler	12-13 dage i reaktor 4-5 dage i efterlager	2000 m ³ lager med låg på anlæg, tømmes hver uge. Slutlagre decentrale	Kvæg og svinegylle Organisk affald fra fødevareindustri og lidt opsamlet affald fra fedtfang
Filskov (nordøst for Grinsted)	Termofilt Uden varmeveksler	9-11 dage i reaktor 30 dage i efterlager	1000 m ³ på anlæg med låg. Slutlagre decentrale	Kvæggylle Slagteriaffald (mave- og tarmaffald)
Århus Kommune Værker	2 Termofile Med varmeveksler	14 dage i reaktor, efterlager	Slutlagre decentrale	Olie fra rapsoliefabrik Sorteret dagrenovation Affald fra fedtfang
Århus Kommune Værker	2 Mesofile Med varmeveksler	21 dage i reaktor, efterlager	Slutlagre decentrale	Olie fra rapsoliefabrik Sorteret dagrenovation Affald fra fedtfang

3.2 Temperaturmåling i systemer til lagring af bioforgasset organisk dagrenovation

Der er over en 7 måneders periode blevet målt temperaturfordeling i lager-tanke og gyllebeholdere, der modtager afgasset gylle fra de tre biogasanlæg, der indgår i undersøgelsen. Endvidere er der til sammenligning gennemført målinger af temperatur i en kvæggyllebeholder på Rugballegård og i en svinegyllebeholder på en ejendom nær Horsens. Disse beholdere modtager ikke varmt, bioforgasset materiale.

Temperaturen blev målt med fem temperaturfølere monteret på en 8 m lang stang. Målingerne blev gennemført ved at stikke stangen vertikalt ned i beholderen langs beholderens væg, ved at placere stangen horisontalt lige under gyllens overflade og ved at placere stangen skråt fra kanten og ned mod bunden i en vinkel på 45 grader så langt stangen rakte. Ved hver måling blev lufttemperaturen også målt.

Ved den første måling registreredes gyllebeholdernes dybde, diameter, overfladelag samt niveauet af gyllen. Ved de efterfølgende målinger registreredes niveauet af gyllen samt overfladelaget før temperaturmålinger. Målingerne blev påbegyndt i marts måned og afsluttet i september. Indledningsvis blev gylletemperaturen målt to gange om måneden i hver gyllebeholder, fra sommeren og frem ændredes målehyppigheden til 1 måling hver 3 uge.

Undersøgelsens resultater findes resumeret i det følgende, mens det gennemførte måleprogram findes mere detaljeret beskrevet i bilag 3.

I måleperioden indeholdt gyllebeholderne meget gylle ved de 2 til 3 første målinger i marts og starten af april. I april blev gyllebeholderne tømt og beholdere var tomme eller næsten tomme indtil juli måned. I en relativ lang periode er der derfor kun temperaturmålinger i et gyllelag af 0,1 til 1,1 m dybde. Målingerne af temperaturen af gylle fra den overdækkede efterbe-

handlingstank på Linkogas og i det overdækkede mellemlager på Filskov biogasanlæg udtrykker temperaturen i den gylle, der køres ud til de åbne gyllebeholdere på Blåkærvej, Lyngkærvej og Kolstrupvej. Beholderne på Søvind og Ruballegård er gyllebeholdere, der ikke modtager varm, afgasset gylle, men indeholder gylle direkte fra stald. På baggrund af de gennemførte målinger, kan følgende observationer fremhæves:

- Temperatur i lagerbeholder med gasopsamling (efter varmeveksling) på Linkogas er høj, 30-35 °C og relativt uafhængig af omgivelsestemperaturen
- Temperaturen i lagertanken i Filskov varierer (efter passage af varmeveksler) fra 25-40 °C og er i nogen grad afhængig af omgivelsernes temperatur
- Temperatur i lagerbeholder ved Århus er efter passage af varmeveksler 25-40 °C. Der ses ikke en klar sammenhæng med omgivelsestemperaturen.
- Temperaturen i åbne lagertanke/gyllebeholdere (Blåkærvej, Lyngkærvej, Søvind og Ruballegård) følger ændringerne i omgivelsestemperaturen med minimumtemperaturer i marts (ved start af målinger) på 5-8 °C og maksimumtemperaturer på 15-20 °C i juli-september. Temperaturer målt i beholderen på Kolstrupvej er generelt lavere med et niveau på 10-15 °C i sommermånederne.
- Der er ikke et fast mønster for opfyldning og tømning af åbne lagertanke/gyllebeholdere, men generelt har de åbne gyllebeholdere kun indeholdt små mængder materiale i sommermånederne. Dette stemmer overens med at størstedelen af landbrugets gylleproduktion køres ud i forårmånederne.
- Der er ikke stor forskel i gylletemperaturen mellem forskellige lag og ved forskellig afstand fra kanten af gyllelagre.
- Temperaturen i afgasset gylle fra biogasanlæg med efterbehandling af gyllen er på niveau med temperaturen i beholdere, der blot modtager gylle fra kvæg og svineproduktion.

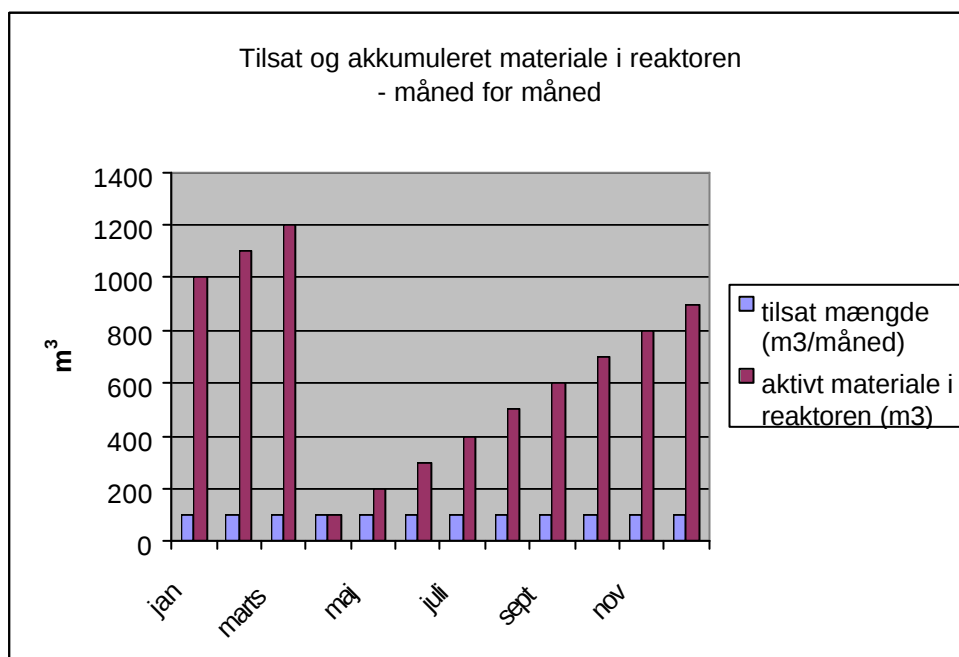
4 Vurdering af metanproduktion fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation

På baggrund af de gennemførte undersøgelser af restmetanpotentialets temperaturafhængighed og temperaturforholdene i lagertanke og gyllebeholdere er restmetanproduktionen fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation beregnet og vurderet. Beregninger og vurderinger hviler på en række forudsætninger, der sammen med beregningerne og vurderingerne præsenteres og kommenteres i det følgende.

4.1 Fyldningsmønster i gyllebeholdere

I de gennemførte beregninger forudsættes, at gyllebeholderne fyldes jævnt måned for måned og tømmes en gang årligt i april. Dette fyldningsmønster stemmer ikke helt overens med de registreringer af enkeltbeholdere, der indgår i projektet (se kapitel 5 og bilag 3). Det er dog valgt at anlægge denne gennemsnitsbetragtning, idet de gennemførte registreringer kun dækker nogle få beholdere og gyllen produceres jævnt over året. Set som et gennemsnit over de mange beholdere må der altså ske en jævn, løbende opfyldning. At beholderen kun tømmes en gang pr. år kan betragtes som en worst-case forudsætning.

Figur 4.1 illustrerer fyldningsforløbet af en tænkt gyllebeholder, der tilsættes 100 m³ bioforgasset materiale pr. måned og tømmes i april.



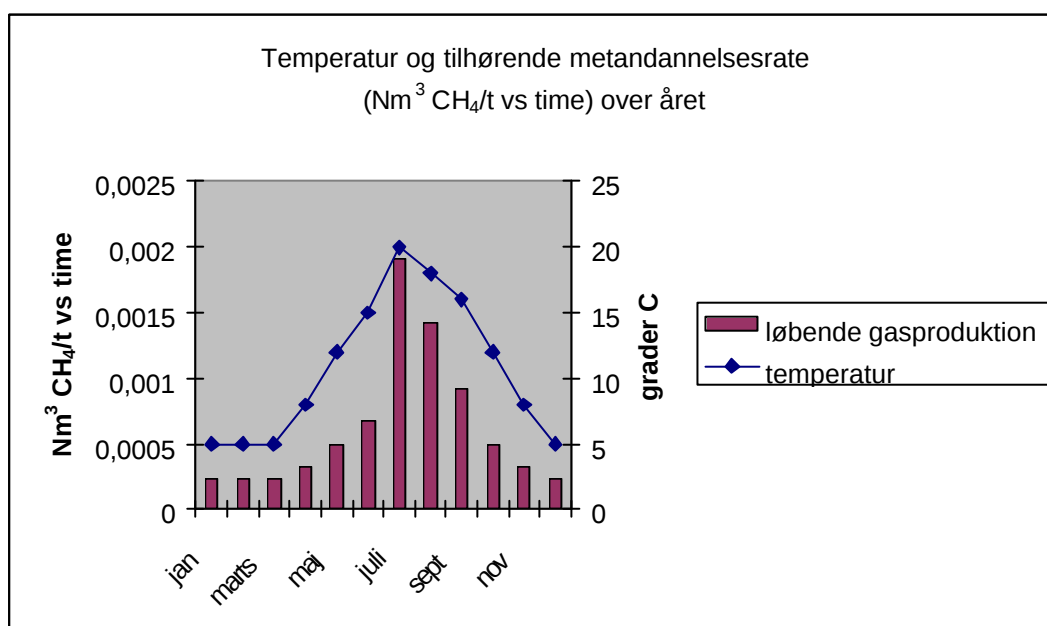
Figur 4.1: Teoretisk fyldningsforløb for en gennemsnitlig gyllebeholder. Gyllebeholderen tømmes i april, hvorefter der hver måned tilføres 100 m³ gylle (lyse søjler). Mængden af aktivt materiale (mørke søjler) bygges således op over året frem til næste tømning.

4.2 Temperaturforhold, restmetanproduktion og -emission fra gyllebeholdere

Det er gennem målinger vist, at temperaturforholdene i gyllebeholderne er homogene, og at der ikke findes lagdeling. Dette beskrives i kapitel 3 og bilag 3.

Med de metandannelsesrater, der findes ved de temperaturer, der er aktuelle i gyllebeholderne (<22°C) (se figur 2.2 og 2.3) vil det VS, der refterer i det bioforgassede affald ikke blive omsat indenfor den periode på maksimum et år, som det afgassede affald lagres i gyllebeholderne. Det antages derfor, at metanemission fra de gyllebeholderne, hvor det afgassede affald lagres, fortsætter indtil affaldet spredes på marken, hvor der hersker aerobe betingelser, så metanproduktionen stopper.

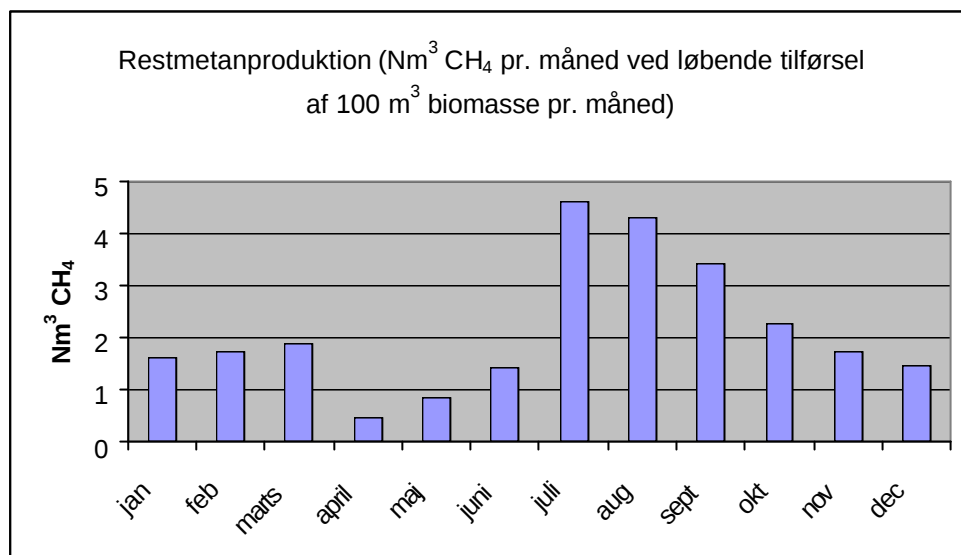
Figur 4.2 illustrerer det målte temperaturforløb i gyllebeholderne (se endvidere bilag 3) og den resulterende løbende metanproduktion (produktion pr. t VS pr. time) opgjort i forhold til VS i det affald, der er tilført de kontinuerte reaktorer.



Figur 4.2: Målte temperaturer og tilhørende metandannelsesrate (ml CH₄/g VS time) måned for måned over året. Metanproduktionen er opgjort i forhold til det VS, der er indmadet med affaldet i den kontinuerte reaktor.

Metanproduktionen fra gyllebeholderen, se figur 4.3, kan - måned for måned - beregnes som en initialproduktion for det affald, der tilføres beholderen plus produktet af metandannelsesraten ved den givne temperatur og den mængde af affald, der findes i gyllebeholderen. Beregningen bygger på figur 2.1, hvor initialproduktionen ved de lave temperaturer er illustreret, figur 2.2 og 4.2, hvor middelgasproduktionen pr. time fremgår og figur 4.1, hvor fyldningsforløbet for beholderen er illustreret. Den årlige restmetanproduktion beregnes herefter som summen af metanproduktionen over årets 12 måneder. I alle

tilfælde er metanproduktionen opgjort i forhold til mængden af VS i det affald, der er tilført de kontinuerte reaktorer.



Figur 4.3: Månedlig produktion af restmetan fra en 1200 m³ gyllebeholder under de givne forudsætninger om fyldningsmønster, temperatur og metandannelsesrater. Metandannelsen er opgjort i forhold til mængden af VS i det affald, der er tilført de kontinuerte reaktorer.

Opgjort i forhold til den mængde VS, der er tilført de kontinuerte reaktorer, findes en restmetanproduktion på 2,75 Nm³/CH₄/t VS.

Dette svarer til, at restmetanproduktionen udgør 0,8% af metanproduktionen fra den kontinuerte biogasproces eller ca. knap 3% af det målte restmetanpotentiale.

Ved ændring af tømningsskemaet, så gyllebeholderen tømmes i september frem for i april vil der være mere materiale i beholderen i de varme måneder. Dette vil jf. modelberegninger forøge den årlige restmetanproduktion med ca. 50 procent i forhold til tømning i april.

4.3 Restmetanproduktionens betydning for drivhusgasbalancen

Den beregnede restmetanproduktion sættes lig med metanemissionen fra gyllebeholderen, idet det forudsættes, at der ikke sker oxidation af metan ved passage af et eventuelt flydelag på toppen af beholderen. I praksis vil der ske en vis oxidation i et eventuelt flydelag, men den er ikke kvantificeret i dette projekt.

Restmetanproduktionens betydning for den samlede drivhusgasbalance ved bioforgasning af organisk dagrenovation findes på baggrund af beregning i den model, der findes beskrevet i /1/, at være ca. 4%.

4.4 Gasproduktionens afhængighed af typen af VS.

Gasopsamling i lagerbeholdere bidrager i praksis til biogasanlægs samlede gasproduktion. På Filskov biogASFællesanlæg udgør gasproduktionen fra lagerbeholderen, hvor opholdstiden er ca. 30 dage, således ca. 25 procent af anlæggets samlede produktion.

Da organisk dagrenovation adskiller sig fra gylle, både hvad angår metandannelsesraten og omsætningsprocenten for VS, kan betydningen af gasopsamling fra lagertanke for bioforgasset affald være en anden. På baggrund af de gennemførte forsøg med bestemmelse af restmetanpotentialer for bioforgasset organisk dagrenovation kan betydningen af en overdækket lagertank med gasopsamling vurderes.

Ved 30 dages lagring (750 timer) ved 35°C vil der således i den overdækkede lagerbeholder blive realiseret et restmetanpotentiale på ca. 20 Nm³ CH₄ pr. t VS tilført de kontinuerte bioforgasningsreaktorer eller en forøgelse af metanudbyttet på godt 5%. Restmetanproduktionen fra bioforgasset affald er altså lav i forhold til den produktion, der i praksis findes på biogASFællesanlæg. Denne forskel kan skyldes en forskel i omsættelighed og dermed omsætningsgrad for VS i affald og gylle.

Ved 55°C stopper metanproduktionen efter ca. 1500 timer. Her gælder det, at der er realiseret et restmetanpotentiale på ca. 50 Nm³ CH₄ pr. t VS i det affald, der blev indmadet i de kontinuerte bioforgasningsreaktor eller en forøgelse af metanudbyttet med ca. 15%. Dette svarer til at ca. 50 procent af det metanpotentiale, der refterer i den organiske dagrenovation efter kontinuert forgasning (differencen mellem det målte realiserbare metanpotentiale på frisk affald og det potentiale, der er bestemt ved kontinuert forgasning) er realiseret.

5 Referencer

- /1/ Basisdokumentation for biogaspotential af organisk dagrenovation, Thomas Højlund Christensen, Jes la Cour Jansen, Trine Lund Hansen, Janus T. Kirkeby, Åsa Svärd, Jens Kjems Toudal, Hans W. Rasmussen, Tore Huldgaard og Christopher Gruvberger, Miljøstyrelsen November 2002
- /2/ Personlig kommunikation med Søren Tafdrup, december 2001.

Bilag 1: Baggrundsdata for restmetanforsøg

De forsøg, der er gennemført for at bestemme restmetanproduktionen fra det kontinuert bioforgassede materiale, blev gennemført under konstante temperaturforhold ved syv temperaturer mellem 5 og 55°C. Der blev etableret tre 2 liters reaktorer ved hver temperatur. Reaktorerne blev tilsat en afmålt mængde bioforgasset materiale direkte fra de kontinuerte biogasreaktorer. Samtidig blev det bioforgassede materiale karakteriseret kemisk. Da biogasproduktionen allerede var i gang, blev reaktorerne ikke tilsat podemateriale.

Til sammenligning med restmetanproduktionen fra det bioforgassede materiale blev der opstillet kontrolreaktorer ved alle temperaturer. I disse reaktorer blev der tilsat podemateriale samt cellulose.

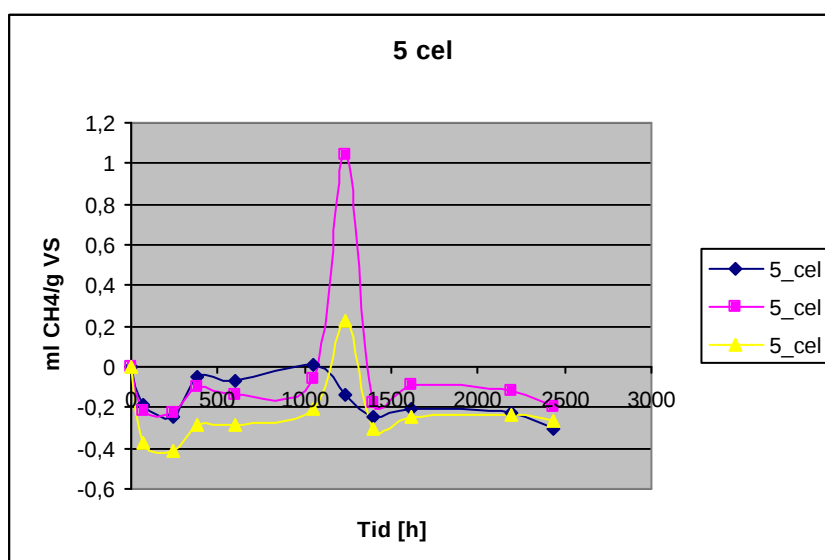
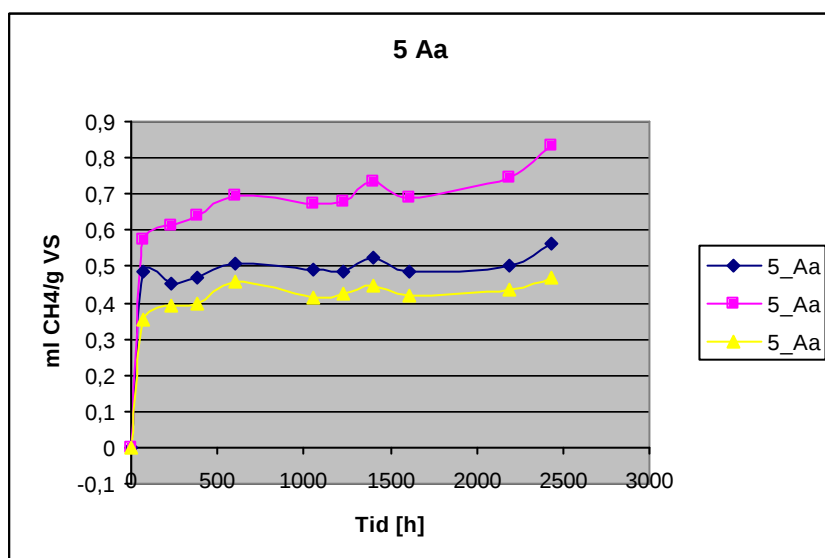
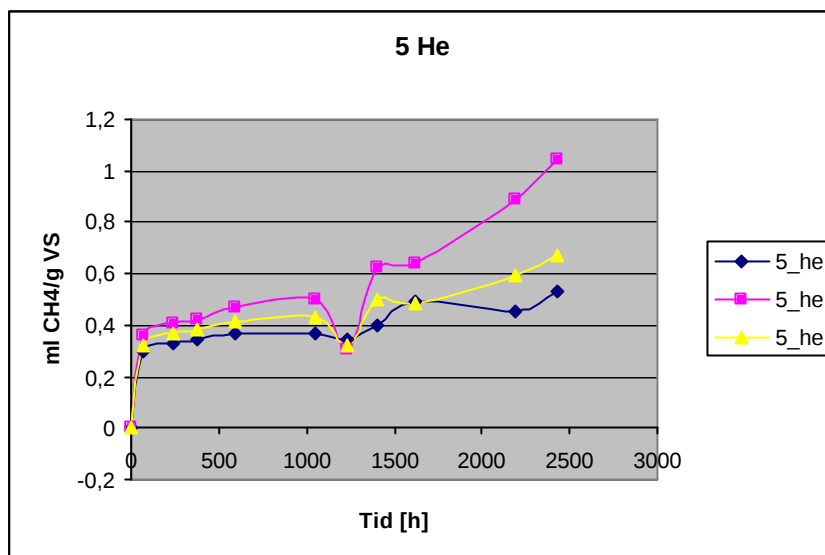
Opbygning og drift af opstillingen til bestemmelse af biogaspotentialer findes detaljeret beskrevet i /1/.

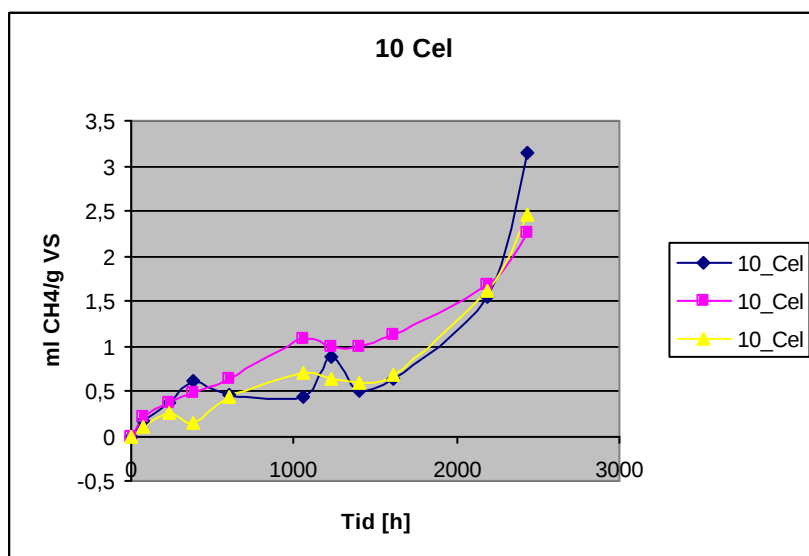
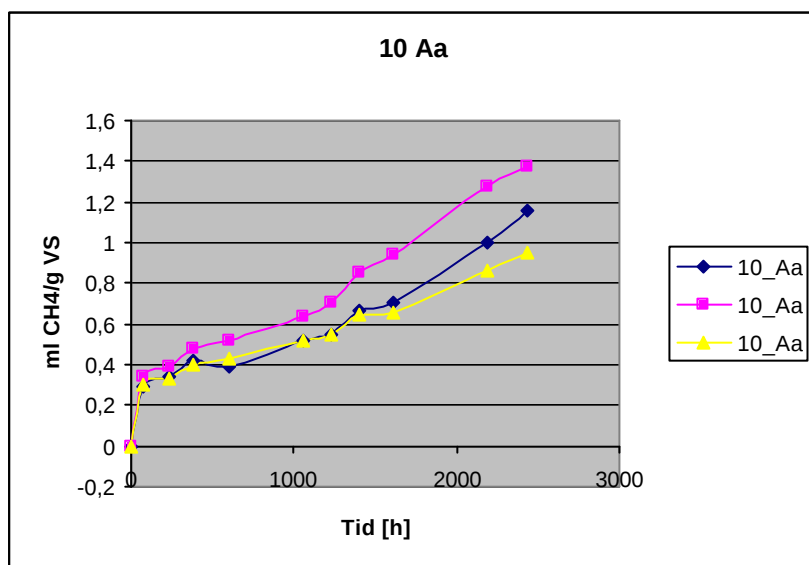
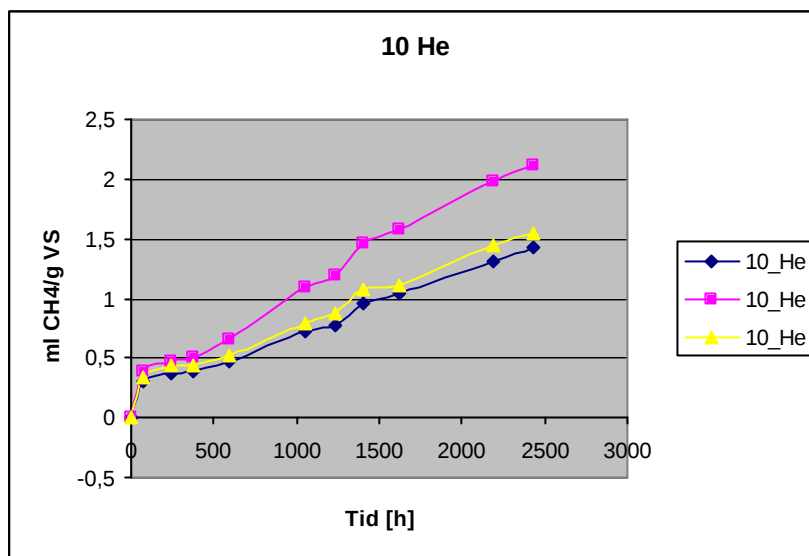
Nedenstående figurer illustrerer restmetanproduktionen fra det bioforgassede affald og de opstillede kontrolreaktorer. I alle figurerne er restmetanpotentialet opgjort i forhold til den mængde VS, der er tilført de kontinuerte bioforgassningsreaktorer. Da omsætningsgraden i de kontinuerte reaktorer er ca. 80%, vil restmetanproduktionen opgjort i forhold til den mængde VS der er tilført batchreaktorerne være ca. 5 gange højere end de værdier, der findes i figurerne.

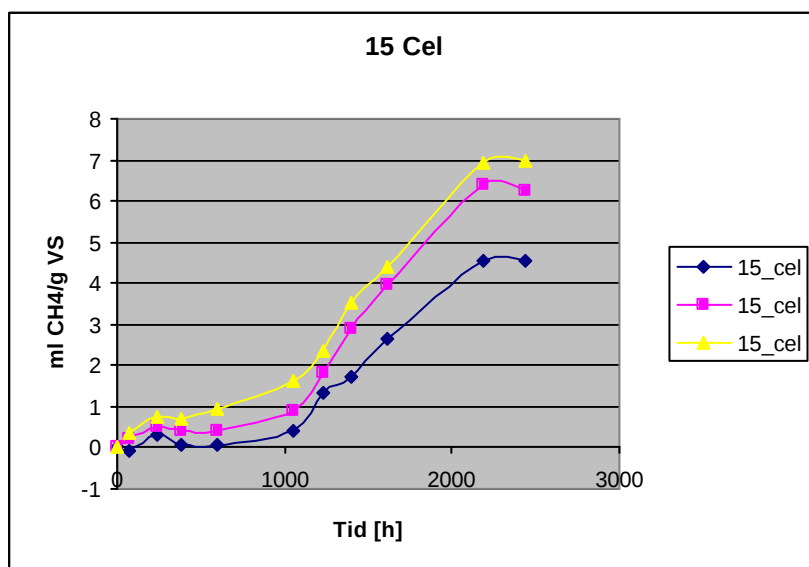
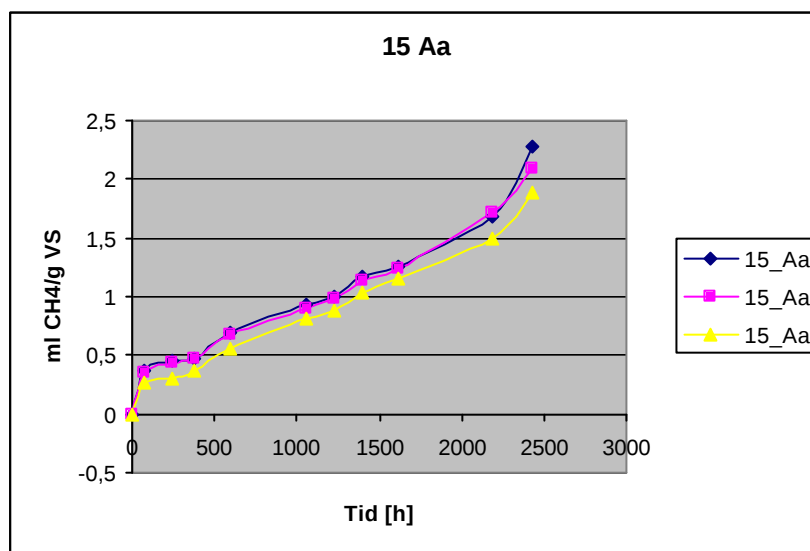
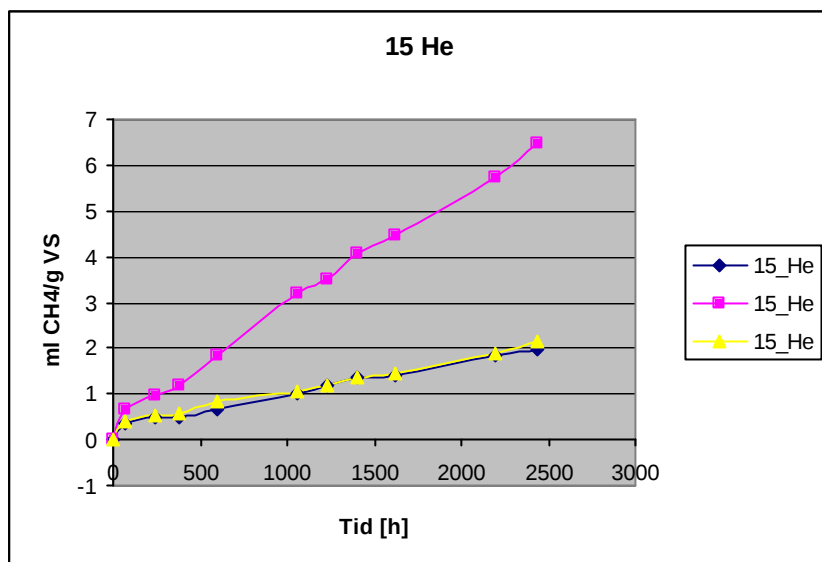
Grafernes navne (5 He, 5 Aa, 5 cel) indikerer reaktortemperaturen i °C og materialets oprindelse (He: Affald forbeholdt i Herning, Aa: affald forbeholdt i Aalborg og Cel: cellulose i kontrolreaktorerne)

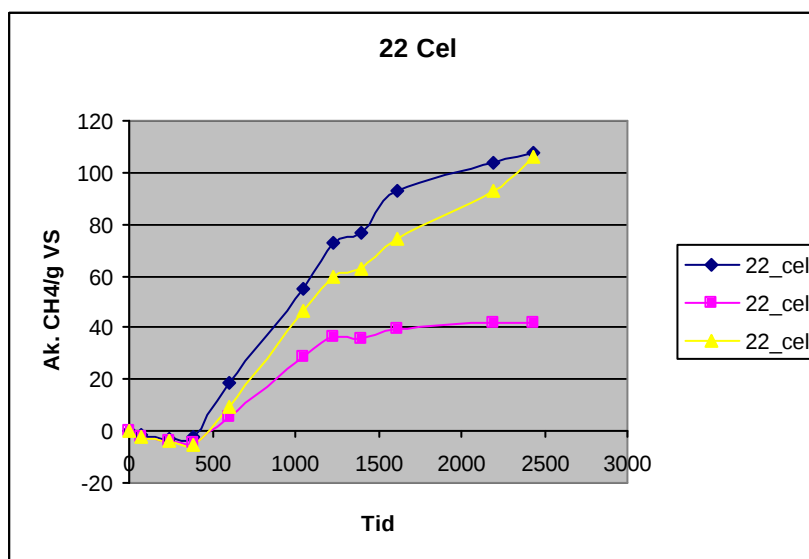
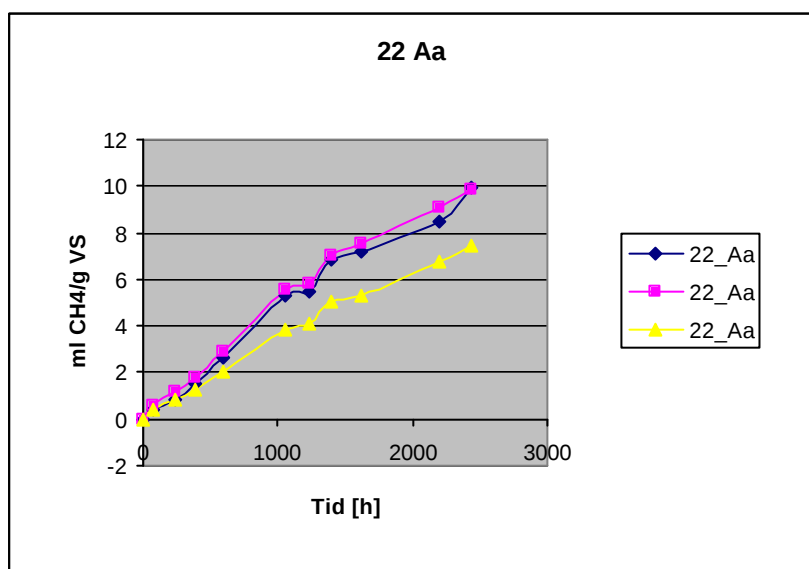
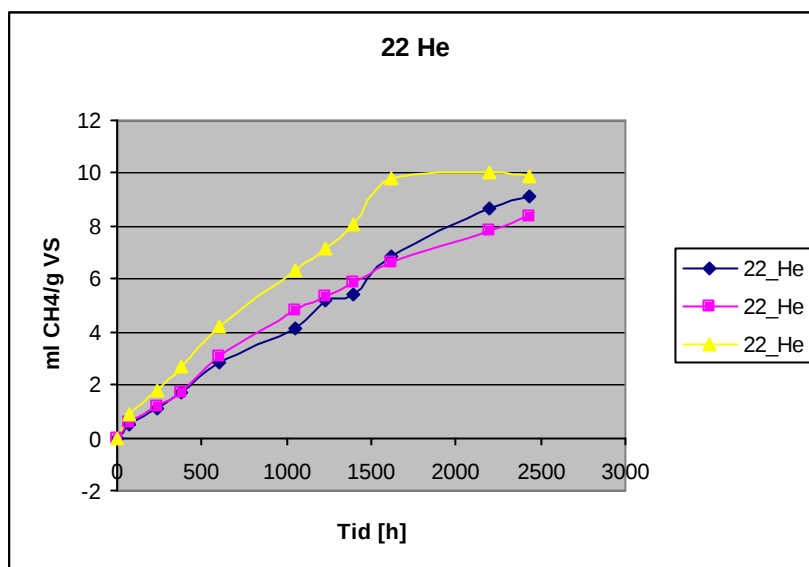
Det afgassede materiale, hvis restmetan potentialer bestemmes, har følgende karakteristika (data fra parallelle prøver, da alt tilgængeligt afgasset materiale var nødvendigt for at gennemføre forsøget):

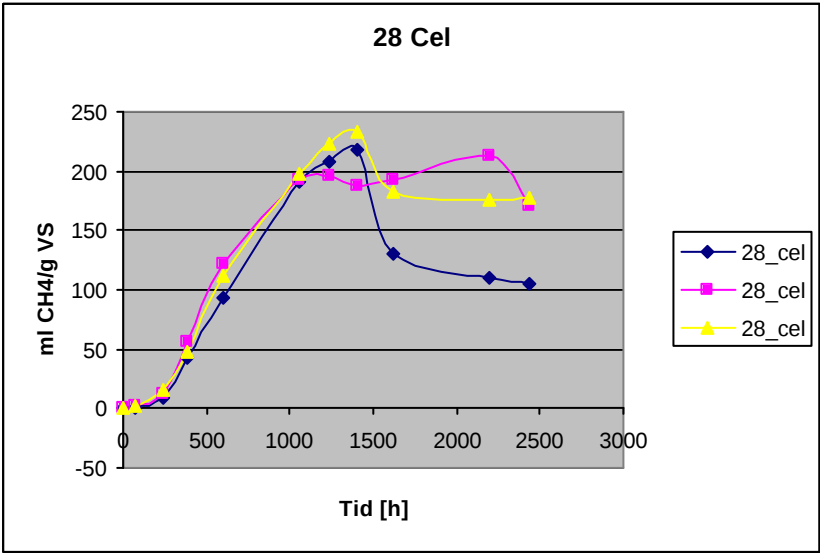
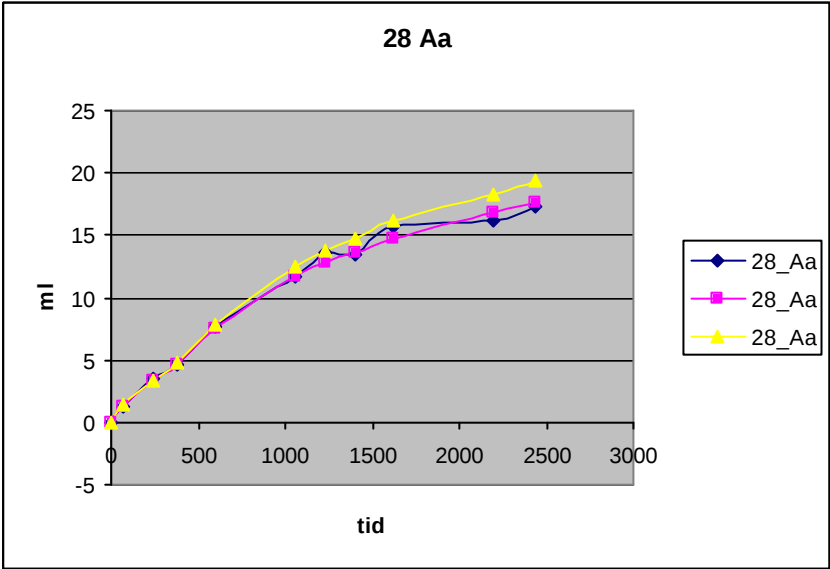
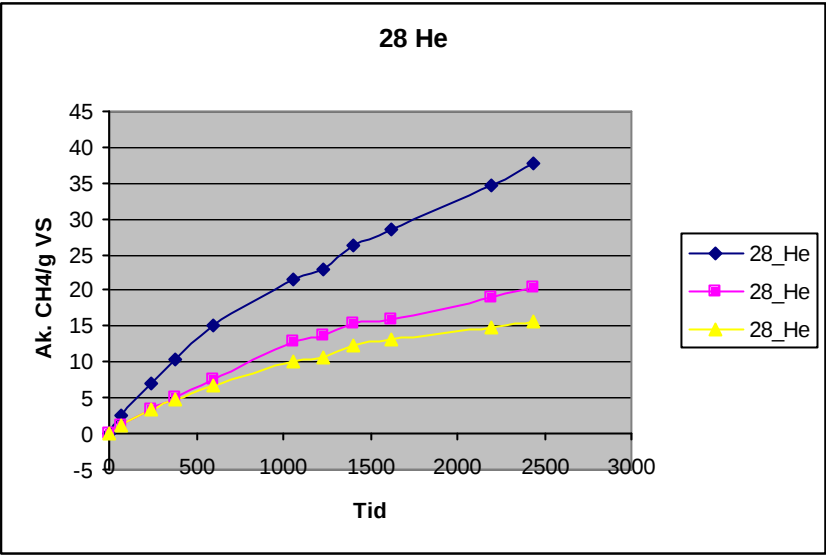
	He Biomasse fra Hovedstadsområdet efter forbehandling på rullesigte og bioforgasning ved 55°C	Aa Biomasse fra Aalborg efter forbehandling på skrueseparator og bioforgasning ved 55°C
TS %	1,6	1,3
VS % af TS	69	60,3
Protein, % af TS	23,9	19,7
Fedt, % af TS	4,5	4,1
Træstof, % af TS	16,1	9,0
EFOS, % af VS	46,2	56,5
N, % af TS	4,9	2,8
P, % af TS	0,66	0,97
K, % af TS	2,9	4,9

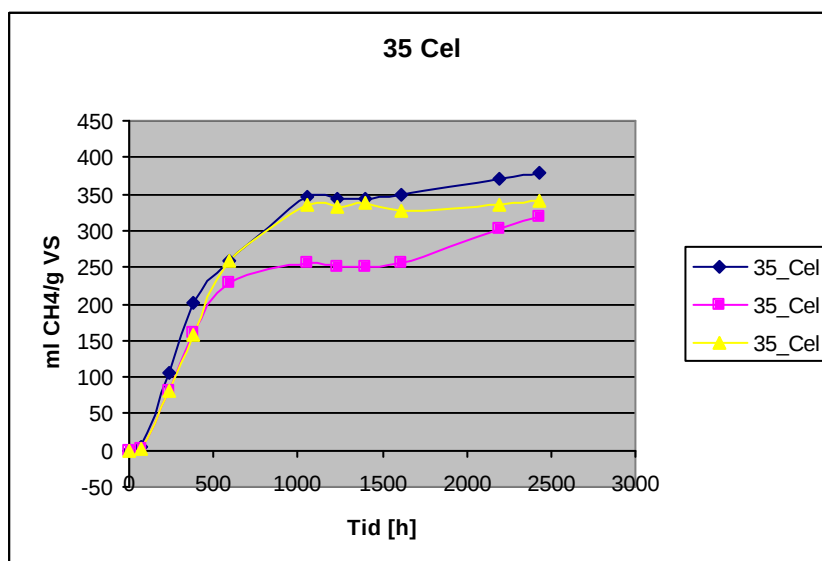
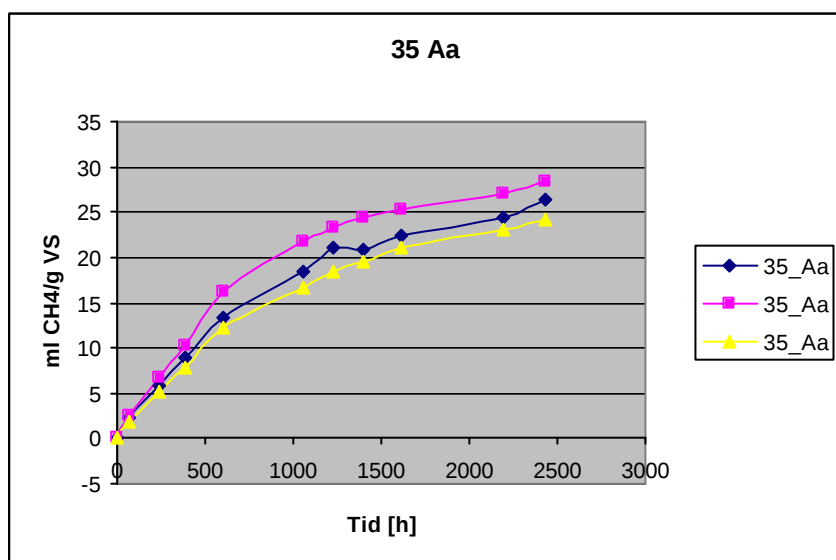
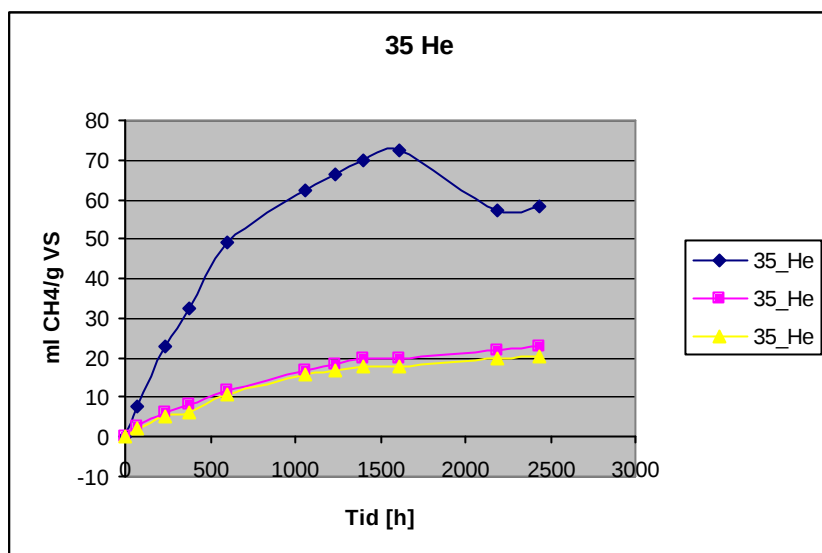


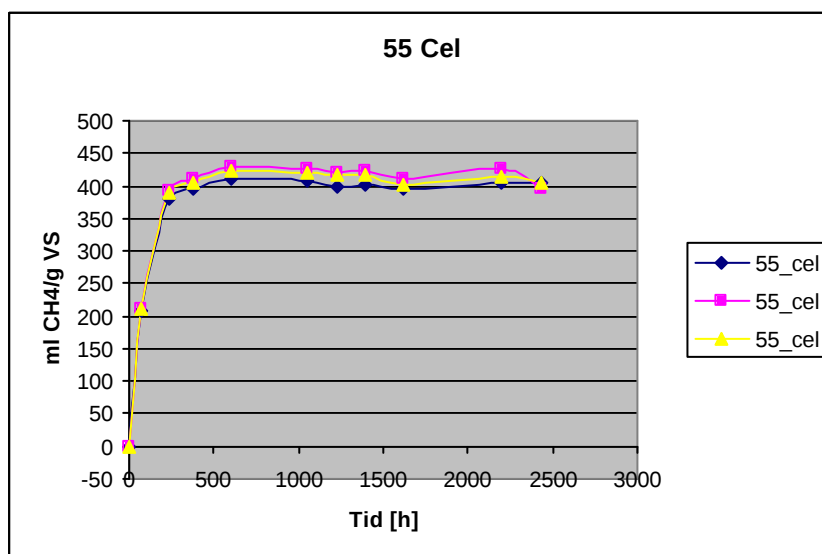
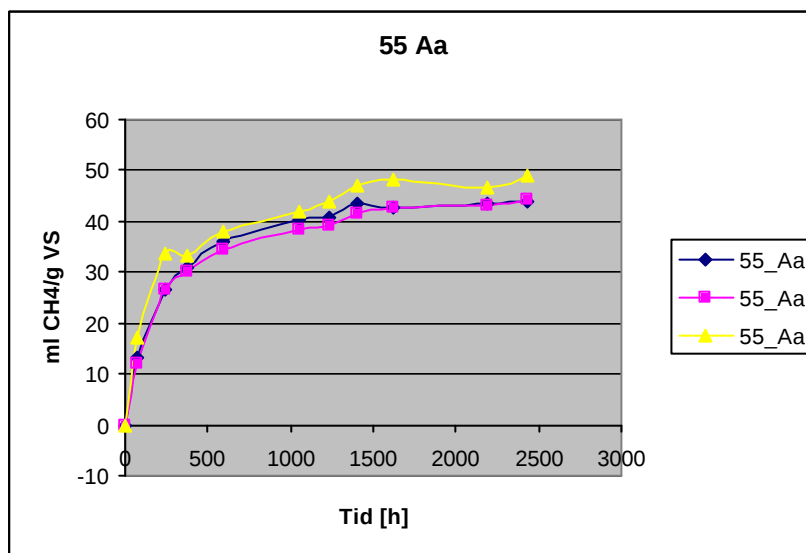
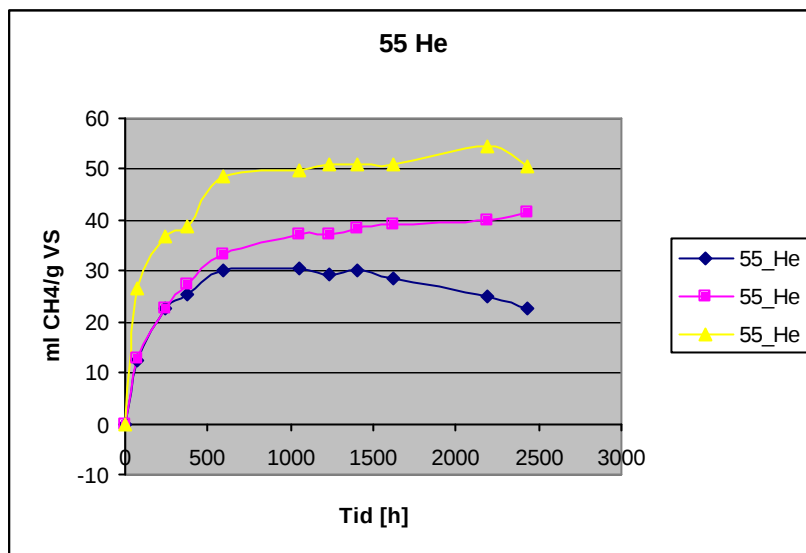












Bilag 2: Beskrivelse af udvalgte systemer for gasopsamling fra lagertanke og opbevaring af udrådnetsgylle og dagrenovation

Nedenstående tabel indeholder en sammenstilling af oplysninger om biogasproces og volumen af reaktor og lagertanke på 20 danske biogafællesanlæg. Tabellen, der er udarbejdet på baggrund af kommunikation med Energistyrelsen /2/ har dannet grundlag for udvælgelse af de anlæg, der er indgået i det videre projektforsøg.

Anlæg	Reaktor-volumen (m ³)	Efterlager-volumen (m ³)	Proces mv.
Vester Jermtslev	1500	2500	
Vegger	1400	2700	Termofil
Davinde	750	500-1000	Mesofil - ingen gasopsamling fra lager
Revninge	540	3000	Mesofil
Sinding	2100	12.000	Termofil - ingen gasopsamling fra lager
Fangel	3200	1600	Varmeveksler
Ribe	4700	?	Varmeveksler - ingen gasopsamling fra lager
Linkogas	9000 2 trin	4000	Tretrins varmeveksling
Lemvig	7000	?	Termofil - Varmeveksler - ingen gasopsamling fra lager
Husager	880	1000?	Mesofil
Hashøj	2900	1000-1500?	Termofil - varmeveksler
Thorsøe	4600	1600?	Termofil - varmeveksler
Århus	9000	Meget store, utætte	Termofil og mesofil (flere reaktorer) - varmeveksler
Filskov	880	3000	Termofil
Studsgård	6000	3000	Termofil
Blåbjerg	5000	2-3000?	Termofil
Snertinge	2500	2000	Termofil
Blokhøj	1300	1000?	Termofil
Vaerst Fjellerad	1900	9000?	Termofil
Nysted	5000	15-2000?	Termofil - Varmeveksler

Det er Energistyrelsens vurdering, at biogafællesanlæg i fremtiden vil blive drevet termofilt og enten vil blive udformet som mere højteknologiske anlæg, hvor biomassen omsættes i en reaktor med flere trin og køles i en varmeveksler, før den ledes til en lagertank (med gasopsamling) med en relativt kort op-

holdstid eller mere simple anlæg, hvor biomassen ikke køles før den ledes til lagertanken (med gasopsamling), men hvor opholdstiden i lagertanken til gengæld er længere, så tanken fungerer som et ekstra reaktortrin.

På baggrund af sammenstillingen af anlæg i tabellen blev Linkogas biogasfælle-anlæg og biogasanlægget Århus Nord udvalgt som højteknologiske anlæg, mens Filskov blev valgt som eksempel på anlæg uden varmegenvinding, men med et stort efterlager.

Århus Nord

Dagrenovation sorteres optisk og separeres på rullesigte, blandes med separat svinegylle og pumpes gennem en svea-separator, hvor den faste fraktion sendes til forbrænding inden materialet pumpes ind i biogasanlægget.

Biogasanlægget har to linier. Linie 1 er mesofil og modtager alene gylle og industriaffald. Det er hensigten at hæve temperaturen til termofil drift på denne linie i løbet af den kommende tid. Dagrenovation behandles på linie 2, der er termofil.

Fra reaktorerne ledes biomassen over vandbårne varmevekslere ind i en af fire efterlagertanke på i alt 15000 Nm³. Biomassens temperatur er 18 °C ved indløbet. Tankene fyldes en ad gangen og tømmes efter tur.

Der opsamles gas i efterlager ved at pumpe fra disse. Gasproduktionen kendes ikke, men det vurderes, at den er lav.

Linkogas

Linkogas er et termofilt biogasanlæg med tretrins afgang. På Linkogas er der et lager med overdækning og gasopsamling hvortil den afgassede gylle ledes direkte fra den termofilt drevne reaktor. Det er derved blevet undgået at man skulle etablere mere reaktor kapacitet for at kunne behandle en stigende mængde biomasse. Gyllen fra efterbehandlingslageret ledes gennem en varmeveksler før det køres til slutlager.

Filskov

Filskov er et termofilt biogasanlæg, hvor gyllen uden varmeveksling ledes til et efterbehandlingslager, der har en hydraulisk opholdstid på 30 dage. I efterbehandlingslageret opsamles 25% af det samlede gasudbytte på anlægget.

Bilag 3: Målinger af opbevaringstemperaturer og fyldningsgrad i udvalgte lagertanke og gyllebeholdere

Karsten Sørensen og Sven G. Sommer

Afdeling for jordbrugsteknik, Forskningscenter Bygholm, Postboks 536, 8700
Horsens, Tlf. 76296063, Fax. 76296100, E-mail
Sveng.sommer@agrsci.dk

Indledning

Metan produktion i lagret gylle afhænger bl.a. af populationen af mikroorganismer, indholdet af energirige og let omsættelige kulstofforbindelser, det kemiske miljø og temperaturen.

Undersøgelser har til vores overraskelse vist at lagre med nyligt afgasset gylle udsender mere metan end ubehandlet kvæggylle (Sommer et al. 2000). Det var ventet at udsendelsen af metan var lav fra afgasset gylle som følge af, at gyllen efter afgasning har et lavt indhold af let omsættelige kulstof-forbindelser. Det viste sig at emissionen var høj, fordi afgasset gylle frisk fra reaktoren har en relativ høj temperatur, hvilket medfører en høj emission. Det er kendt at metan produktionen stiger meget ved stigende temperatur indtil temperaturer på ca. 55°C. I erkendelse af at afgasset gylle producerer betydelige mængder biogas har de fleste biogasanlæg etableret en efterbehandlings beholder med låg, hvori de opsamler biogas svarende til op til ca. 20% af den mængde, der opsamles i reaktoren.

Danmarks Jordbrugsforskning beregnede i 2001 potentialet for at begrænse emissionen af drivhusgasser fra husdyrgødning og organisk affald ved sam-afgasning af gødning og organisk affald i biogasanlæg (Sommer et al. 2001). I beregningerne blev det forudsat, at der blev opsamlet biogas fra den afgassede gylle indtil temperaturen på gyllen var reduceret til et niveau svarende til temperaturen i lagre med ubehandlet gylle. Der findes imidlertid ikke målinger af temperaturer i gyllebeholdere indeholdende ”færdigbehandlet” afgasset gylle og ubehandlet gylle. Derfor var det ved modelberegningerne nødvendigt at antage at den opbevarede gylle havde samme temperatur som lufttemperatur (månedsgennemsnit) - en relativ grov antagelse.

Det har derfor været vigtigt at der i dette projekt blev gennemført målinger af temperaturen i gyllebeholdere indeholdende afgasset gylle. Som reference har vi målt temperaturgradienterne i en kvæggyllebeholder samt en svinegyllebeholder.

Målingerne

Temperaturen blev målt med termocouple temperaturfølere der var monteret på en 8 m lang stang med følgende afstand fra fjerneste ende: 0,1 m, 1,1 m, 2,1 m, 3,1 m og 4,1 m. Temperaturen blev målt ved at stikke (1) stangen vertikalt ned i beholderen, (2) horisontalt lige under gyllens overflade og (3) skråt fra kanten og ned mod bunden i en vinkel på 45° så langt stangen rakte. Ved hver måling blev lufttemperaturen også målt.

Efter måleudstyret var monteret blev temperaturfølerne justeret i laboratoriet ved måling af vandtemperatur i termostateret vandbad med kendt temperatur. Halvvejs inde i måleperioden blev temperaturfølerne kontrolleret igen og det blev vist at de målte vandtemperaturen med et udsving på 0,5%.

Der blev målt temperaturgradienter i gyllebeholdere, der modtager afgasset gylle fra Linkogas biogasanlæg, fra Filskov biogasanlæg og fra Århus kommunale værker (Tabel 1). Endvidere er der gennemført målinger i en kvæggyllebeholder på Rugballegård og i en svinegyllebeholder på en ejendom nær Horsens. Ved den første måling registreredes gyllebeholdernes dybde, diameter, overfladelag samt niveauet af gyllen. Ved de efterfølgende målinger registreredes niveauet af gyllen samt overfladelaget før temperaturmålinger. Målingerne blev påbegyndt i marts måned og afsluttet i september. Indledningsvis blev gylletemperaturen målt to gange om måneden i hver gyllebeholder, fra sommeren og frem ændredes målehyppigheden til 1 måling hver 3 uge.

Biogasanlæg

På Linkogas er der et lager med låg og gasopsamling hvortil gylle ledes direkte fra den termofilt drevne reaktor (Tabel 1). Det er derved blevet undgået at man skulle etablere mere reaktor kapacitet for at kunne behandle en stigende mængde biomasse. Gyllen fra efterbehandlingslageret ledes gennem en varmeveksler før det køres til slutlager.

Reaktoren drives også termofilt på Filskov biogasanlæg, hvor gyllen i et efterbehandlingslager har en hydraulisk opholdstid på 30 dage. I efterbehandlingslageret opsamles 25% af det samlede gasudbytte på anlægget. Det er valgt at udelade en varmeveksler på anlægget fordi der gyllen, der ledes til efterbehandling skal være varm og gyllen fra efterbehandlingen er kold.

Århus biogasanlæg har 4 reaktorer hvor to drives termofilt og to mesofilt, i fremtiden vil alle reaktorer drives termofilt. Den afgassede biomasse hygiejniseres og ledes gennem varmeveksler til lagre med betonlåg på anlægget. Det er planen at der skal opsamles gas fra lagrene.

Gyllelagre og måling

På Linkogas biogasanlæg blev temperaturen af gylle fra efterbehandlingslageret målt i forbindelse med overførsel af gylle til tankvogne. Derudover blev temperaturgradienter målt i to decentrale gyllebeholdere (Tabel 2).

Tabel 1. Karakterisering af biogasanlæg

Anlæg	Reaktor	Hydraulisk opholdstid	Varmeveksler	Lager	Biomasse
Linkogas AMBA	Termofilt	12-13 dage i reaktor 4-5 dage i efterbehandling-lager	Ja	2000 m ³ lager med låg på anlæg, tømmes hver uge. Slutlagre decentrale	Kvæg og svinegylle Organisk affald fra fødevarerindustri og lidt opsamlet affald fra fedtfang
Filskov	Termofilt	9-11 dage i reaktor 30 dage i efterbehandling-lager	Nej	1000 m ³ på anlæg med låg. Slutlagre decentrale	Kvæggylle Slagteriaffald (mave- og tarmaffald)
Århus kommunale værker	2 Termofile 2 Mesofile	14 dages Termofil 21 dages Mesofil*	Ja	Slutlagre på anlæg	Olie fra rapsoliefabrik Sorteret husholdningsaffald Affald fra fedtfang

*I fremtiden forventes alle fire reaktorer at blive drevet termofilt.

Temperaturen af behandlet gylle lagret i mellemlagret blev målt på Filskov. Det var kun muligt at måle vertikalt, fordi beholderen var overdækket og lugen i overdækningen så lille at horisontale og skrå målinger ikke var mulige. Endvidere beholderen blev omrørt konstant så der ikke opstod temperaturgradienter. Der blev også målt temperatur på en decentral gyllebeholder.

Lagrene på Århus kommunale lagre var meget dybe (8-12 m) og udformet som en cylinder på en kegle. Lagrene er dækket af betonlåg. Gyllen blev omrørt kontinuert så der var ikke temperaturgradienter, desuden var. Der blev gennemført måling blev der målt 1 m og 7 m fra beholderens kant i de store gyllebeholdere (5000 m³, dybde 12 m).

Der blev målt temperaturgradienter i gyllebeholderen hos en svineproducent på Horsens egnen og i kvæg-gyllebeholderen på Rugballegård (Økologisk forsøgsstation tilknyttet Forskningscenter Bygholm).

Resultater

I måleperioden var der et højt indhold af gylle ved de 2 til 3 første målinger i marts og starten af april. I april blev gyllebeholderne tømt og løbende udkørsel i løbet af vækstsæsonen medførte at beholderne var tomme eller næsten tomme indtil juli august måned. I en relativ lang periode er der derfor kun målinger fra 0,1 og 1,1 m dybde. Det var ikke muligt, at lave meningsfulde skrå og horisontale målinger i gyllebeholdere med et lavt indhold af gylle. Ligeledes er Århus kommunale værkers gyllebeholdere så dybe at udstyret (8 m lang målestang) kun kunne måle overfladetemperaturer i en stor del af måleperioden og i dele af perioden kunne der ikke måles temperaturer i beholder 2 tilhørende Århus kommunale værker

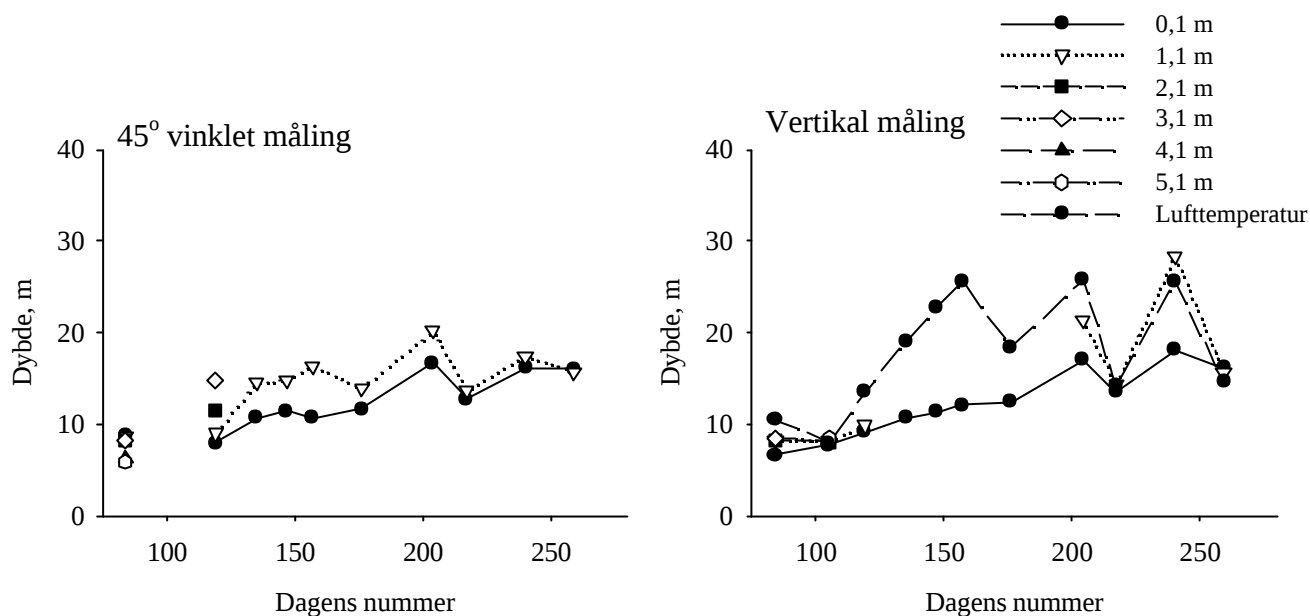
Målingerne af temperaturen af gylle fra efterbehandlingstanken på Linkogas og i mellemlageret på Filskov biogasanlæg udtrykker temperaturen i gyllen der køres på slutlager. Det ses at gyllens temperatur varierer mellem 30 og 40°C og mellem 25 og 40°C på henholdsvis Linkogas og Filskov. Temperaturen er efter varmeveksling (Linkogas) er således lige så høj som efter 30 dages lagring i et efterbehandlingslager (Filskov).

Tabel 2. Karakterisering af gyllebeholdere hvori temperaturgradienter vil blive målt

	Gyllebeholdere	Højde m	Diameter** m	Volumen m ³
Linkogas	Afløb efterbehandling			
	Blåkærvej	4	30,9 (i)	3000
	Lyngbjergvej.	4	35,7 (i)	4000
Filskov	Filskov 2	4	17,8 (i)	1000
	Kolstrupvej	4	10,3 (i)	2890
Århus kommunale værker	Lager 1 *	Cylinder: 4 Keglestub: 4	30,6 (y)	2500
	Lager 2 *	Cylinder: 6 Keglestub: 6	30,6 (y)	5000
	Lager 3 *	Cylinder: 6 Keglestub: 6	30,6 (y)	5000
Kvægproducent	Kvæggyllebeholder	5,0	16,7 (i)	1100
Svineproducent	Svine gylle beholder	4,0	25,6 (i)	2060

* udformet som en cylinder på en keglestub

** i=indre diameter, y=ydre diameter.



Figur 1. Temperaturmålinger fra marts til september 2002 i gyllebeholderen på Kolstrupvej. Beholderen indeholder "Filskov-gylle".

Der er ikke stor variation i temperaturen i forskellige lag af gyllen, hverken vertikalt eller skråt ind i lageret. Temperaturen i flydelaget er den måling der afviger mest fra de øvrige målingerne, dvs. temperaturerne i lag under flydelag/overfladelag. Resultatet kan formentlig tilskrives naturlig omrøring og omrøring som følge af tilløb og tømning samt aktiv omrøring ved tømning. Det burde således være muligt at få en repræsentativ måling af gyllens temperatur ved at måle få steder i beholderen under flydelaget ($> 0,5$ m fra overfladen). På Århus biogasanlæg blev den vertikale temperatur målt 1 m fra kant og 7 m fra kant (Tabel 3), disse målinger viser som ventet at der ikke er temperaturgradienter i omrørt gylle.

Tabel 3: Temperatur i gyllelageret på Århus biogasanlæg

Afstand fra overflade m	Temperatur, °C	
	1 m fra kant	6 m fra kant
5,1	10,2	10,0
4,1	10,2	10,2
3,1	10,1	10,7
2,1	10,4	10,2
1,1	10,2	10,4
0,1	10,0	10,2

Det ses at gylletemperaturen varierer med lufttemperaturen i lagre med gylle fra Linkogas, Filskov, svineproduktion og kvægproduktion. Gylletemperaturen er i disse beholdere lavere end lufttemperaturen. Ligeledes er temperaturen i gylle fra Filskov om sommeren lavere end temperaturen fra Linkogas. Forskellen skyldes givetvis, at der i sommerperioden er fyldt gylle på beholderen med Linkogasygylle, hvilket bl.a. ses af at indholdet stiger omkring dag 175 i de to Linkogasbeholdere; mens indholdet af gylle i Filskov beholderen er lavt fra dag 140 og til målingernes ophør.

I modelberegningerne (Sommer et al. 2001) blev det antaget at temperaturen i lagre med afgasset gylle, der var efterbehandlet, havde en temperatur på niveau med lagret gylle fra svine og kvægproduktion. Målingerne her har verifi-

ceret denne antagelse. I modelberegningerne blev det ligeledes vurderet at gylletemperaturen var på niveau med den gennemsnitlige lufttemperatur pr. måned. Månedets middel lufttemperatur vil være lavere end vores måling af lufttemperaturen midt på dagen, den benyttede månedsmiddeltemperaturen er derfor formentlig en god tilnærmelse til gylletemperaturen.

Gyllens temperaturen er mellem 25 og 40°C i beholder 1 og 3 på Århus kommunale værker. I de få målinger der findes fra beholder 2 på Århus kommunale værker er temperaturen på niveau med lufttemperaturen. Forskellene skyldes tilførsel og tømning af beholderne. Disse beholdere er overdækkede og metan produceret i gyllen vil blive opsamlet, det er således en fordel at gyllen er varm. Det må imidlertid anbefales, at beholderne fyldes sekventielt og først tømmes når temperaturen er faldet til omgivelsernes temperatur.

Konklusion

Der er ikke stor forskel i gylletemperaturen mellem forskellige lag og ved forskellig afstand fra kanten af gyllelagre. Undersøgelsen viser også, at temperaturen i afgasset gylle fra biogas anlæg med efterbehandling af gyllen er på niveau med temperaturen i gylle fra kvæg og svineproduktion. Gylletemperaturen er endvidere lavere end lufttemperaturen.

Litteratur

Sommer, S.G., Møller, H.B. & Petersen, S.O., 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF rapport - Husdyrbrug, 31, 53 pp. <http://www.agrsci.dk/jbt>

Sommer S.G., Petersen, S.O. and Søgaard H.T. 2000. Emission of greenhouse gases from stored cattle slurry and slurry fermented at a biogas plant. J. Environ. Qual. 29, 744-751.

Kalibreringsrapport.

Dato: 22-08-2002
Rapport: 22-08-2002 A

Side 1 af 2

Kontaktperson: Svend Sommer

Emne: 6 temperaturfølere (termoelementtråd type T) tilsluttet datalogger **Grant 1203 serienr. 1203-00381** temperaturfølerene er monteret på en stang og bruges til bestemmelse af temperaturprofiler i gyllebeholdere.

Kalibrerings- Procedure: Termoelementerne nedsænkes i et Heto kalibreringsbad sammen med en referenceføler tilkoblet referenceinstrument*

Resultat: Termoelementer tilsluttet Grant 1203:

Reference Temp ⁰ C	Føler Nr.	Visning Temp ⁰ C	Korrektion Temp ⁰ C
4.80	1	4.9	-0.10
	2	5.0	-0.20
	3	5.0	-0.20
	4	5.0	-0.20
	5	5.0	-0.20
	6	5.0	-0.20
9.69	1	9.9	-0.21
	2	9.9	-0.21
	3	9.9	-0.21
	4	9.9	-0.21
	5	9.9	-0.21
	6	9.9	-0.21
15.03	1	15.2	-0.17
	2	15.2	-0.17
	3	15.2	-0.17
	4	15.2	-0.17
	5	15.1	-0.07
	6	15.2	-0.17
20.00	1	20.2	-0.20
	2	20.3	-0.30
	3	20.2	-0.20
	4	20.2	-0.20
	5	20.1	-0.10
	6	20.2	-0.20

Side 2 af 2

Reference Temp ⁰ C	Føler Nr.	Visning Temp ⁰ C	Korrektion Temp ⁰ C
25.11		1 25.3	-0.19
		2 25.2	-0.09
		3 25.2	-0.09
		4 25.2	-0.09
		5 25.2	-0.09
		6 25.2	-0.09
30.59		1 30.7	-0.11
		2 30.7	-0.11
		3 30.7	-0.11
		4 30.7	-0.11
		5 30.8	-0.21
		6 30.7	-0.11

*Referenceinstrument: ASL Serienr. 1228 014 076 sporbar til D TI termometrilab.

23-05-2002 Cert. Nr. 200-T-10343.

Rumtemperatur: 26 ⁰C.

Udført af: Peter Ravn

Kalibreringsrapport.

Dato: 26-08-2002
Rapport: 26-08-2002 A

Side 1 af 2

Kontaktperson: Svend Sommer

Emne: 6 temperaturfølere (termoelementtråd type T) tilsluttet datalogger **Grant 1250 serienr. 125500235** temperaturfølerne er monteret på en stang og bruges til bestemmelse af temperaturprofiler i gyllebeholdere.

Kalibrerings- Termoelementerne nedsænkes i et Heto kalibreringsbad
Procedure: sammen med en
referenceføler tilkoblet referenceinstrument*

Resultat: Termoelementer tilsluttet Grant 1250:

Reference Temp °C	Føler Nr.	Visning Temp °C	Korrektion Temp °C
4.86	1	4.8	0.06
	2	4.8	0.06
	3	4.7	0.16
	4	4.8	0.06
	5	4.8	0.06
	6	4.8	0.06
	7	4.8	0.06
10.05	1	9.9	0.15
	2	9.9	0.15
	3	9.9	0.15
	4	9.9	0.15
	5	9.9	0.15
	6	9.9	0.15
	7	9.9	0.15
14.90	1	14.7	0.20
	2	14.8	0.10
	3	14.7	0.20
	4	14.7	0.20
	5	14.7	0.20
	6	14.8	0.10
	7	14.8	0.10

Reference Temp °C	Føler Nr.	Visning Temp °C	Korrektion Temp °C	
20.24		1 20.0	0.24	
		2 20.1	0.14	
		3 20.1	0.14	
		4 20.0	0.24	
		5 20.0	0.24	
		6 20.1	0.14	
	7	20.1	0.14	
25.13		1 24.9	0.23	
		2 24.9	0.23	
		3 24.9	0.23	
		4	24.9	0.23
		5	24.9	0.23
		6 24.9	0.23	
		7 24.9	0.23	
30.27		1 30.1	0.17	
		2 30.0	0.27	
		3 30.1	0.17	
		4 30.1	0.17	
		5 30.0	0.27	
		6 30.1	0.17	
		7 30.1	0.17	
35.37		1 35.2	0.17	
		2 35.2	0.17	
		3 35.2	0.17	
		4 35.2	0.17	
		5 35.2	0.17	
		6 35.2	0.17	
		7 35.2	0.17	

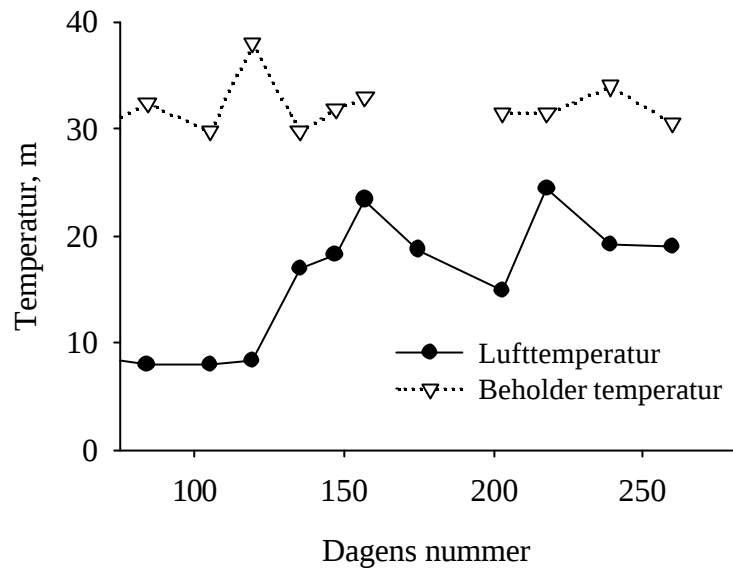
*Referenceinstrument: ASL Serienr. 1228 014 076 sporbar til D TI termometrilab.

23-05-2002 Cert. Nr. 200-T-10343.

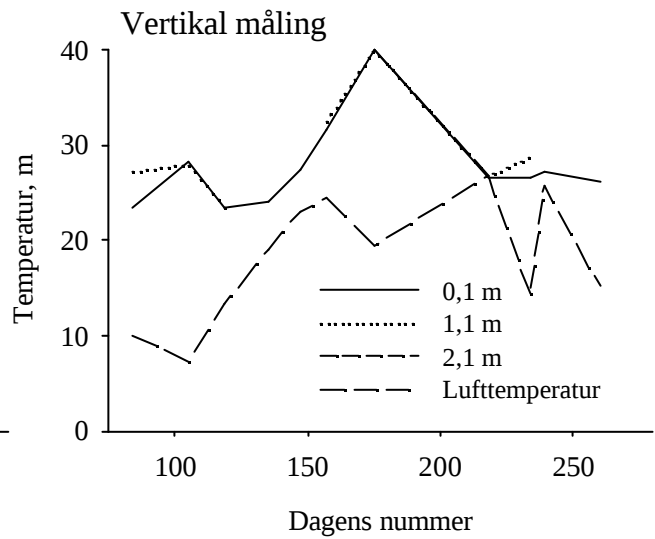
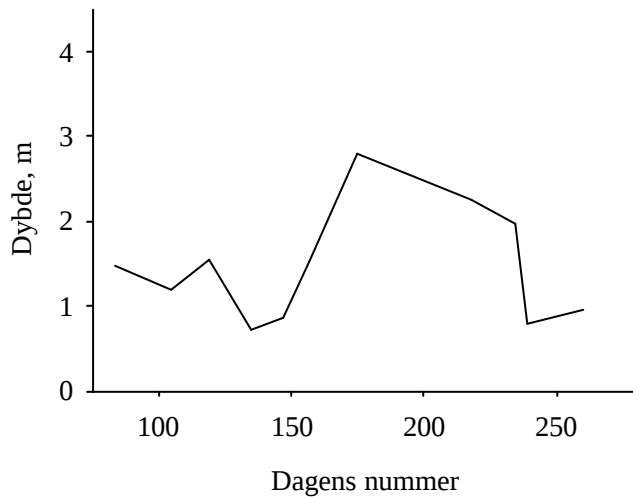
Rumtemperatur: 23 °C.

Udført af: Peter Ravn

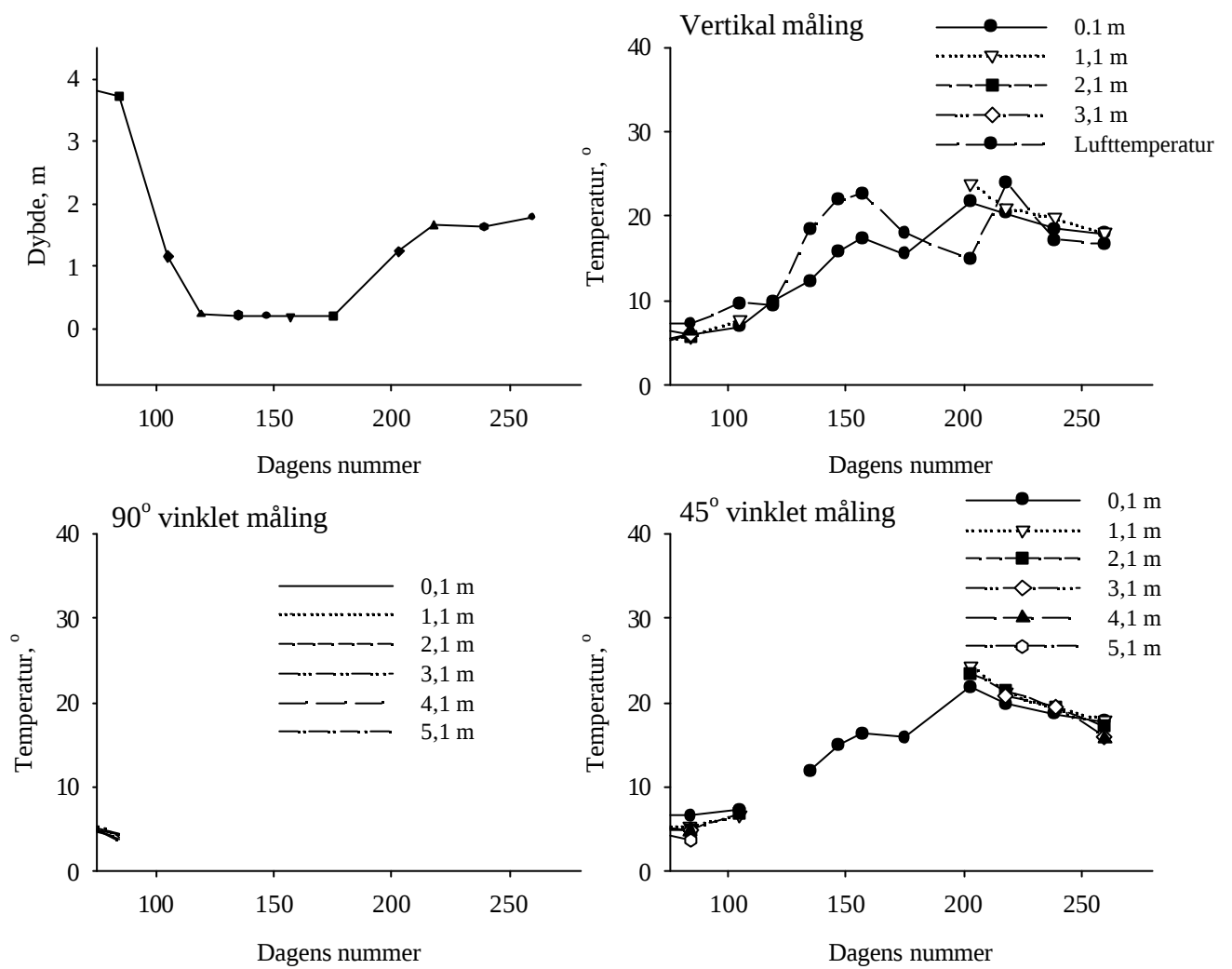
Linkogas - Udløb fra efterbehandlingsbeholder



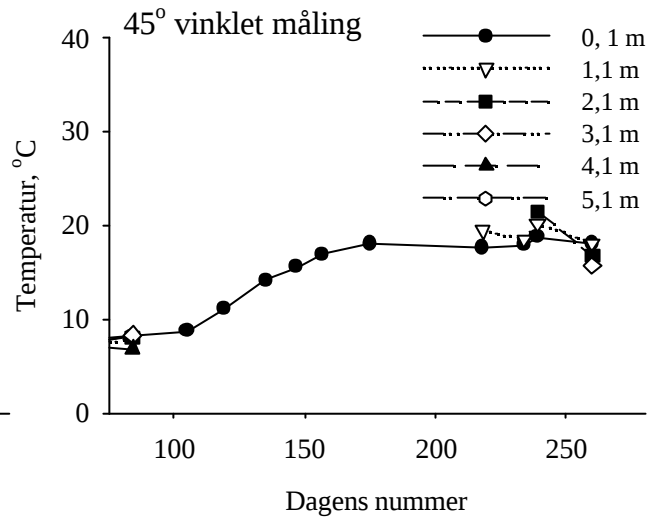
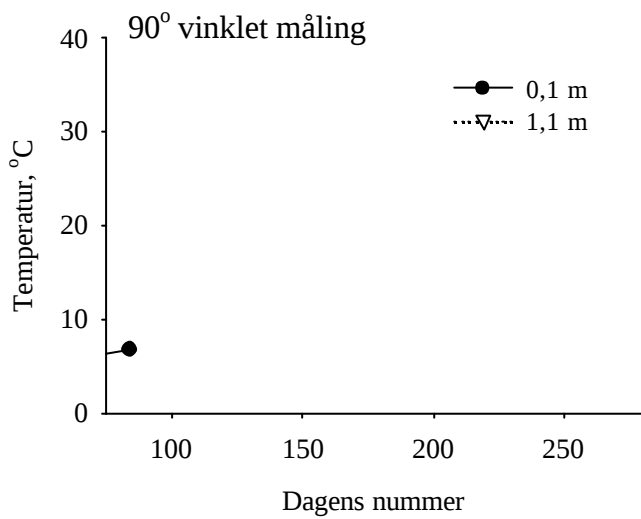
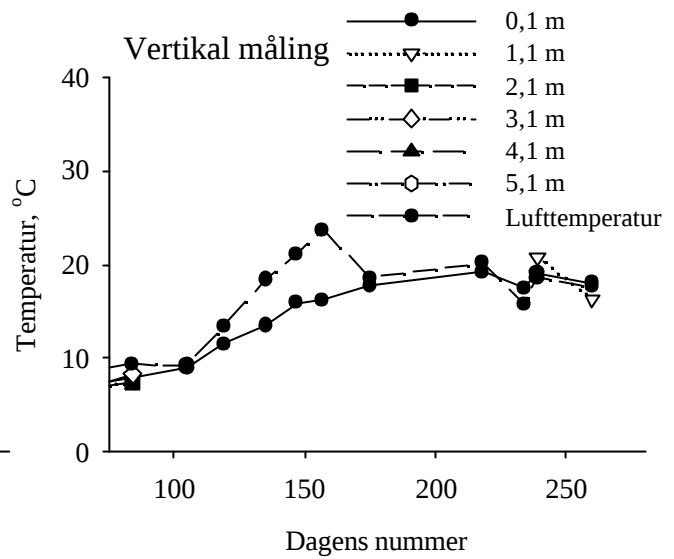
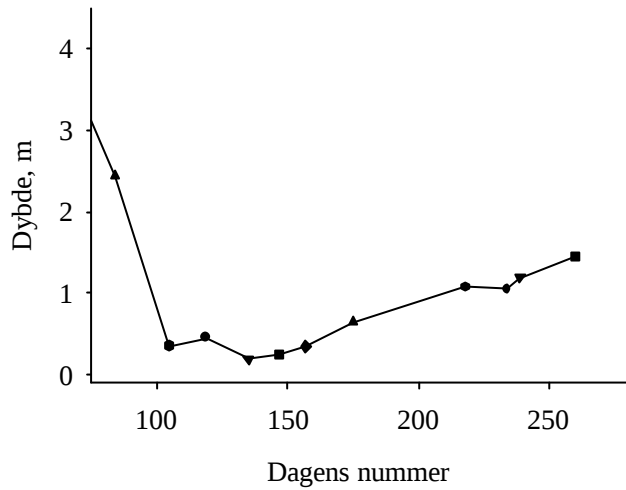
Filskov - beholder 2



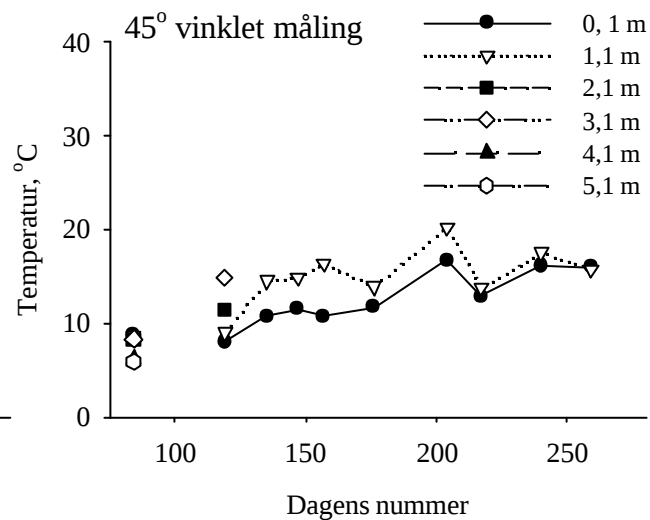
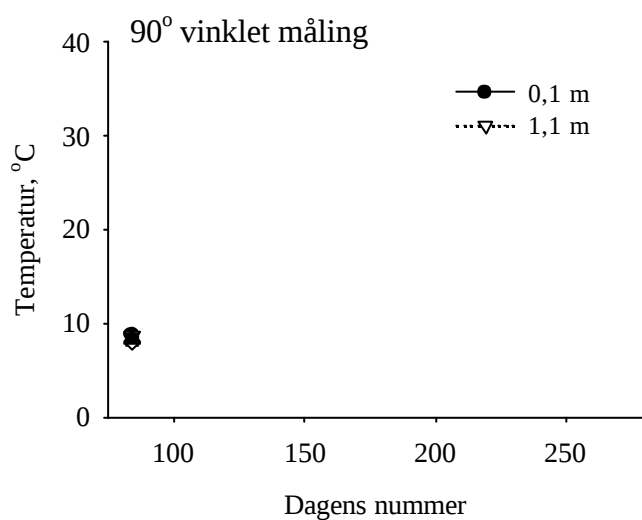
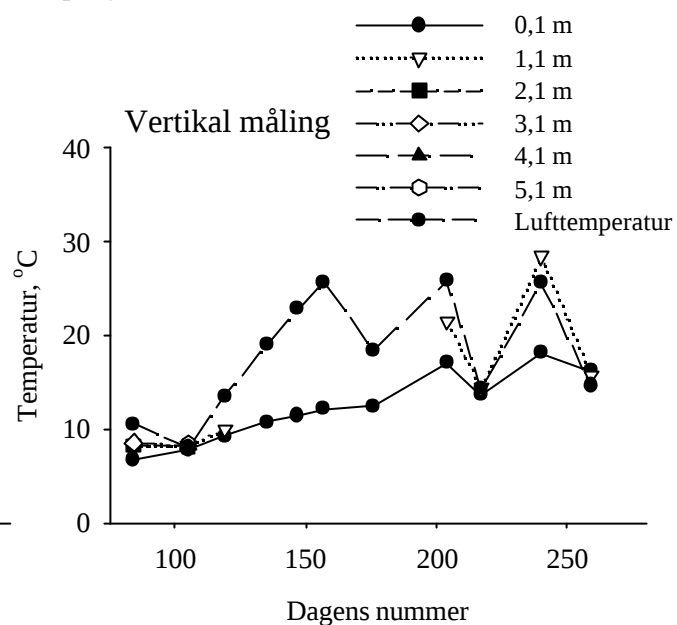
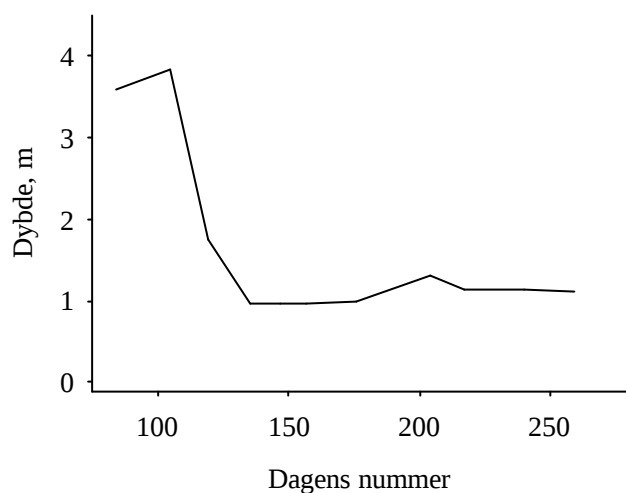
Linkogas - Blåkærsvej



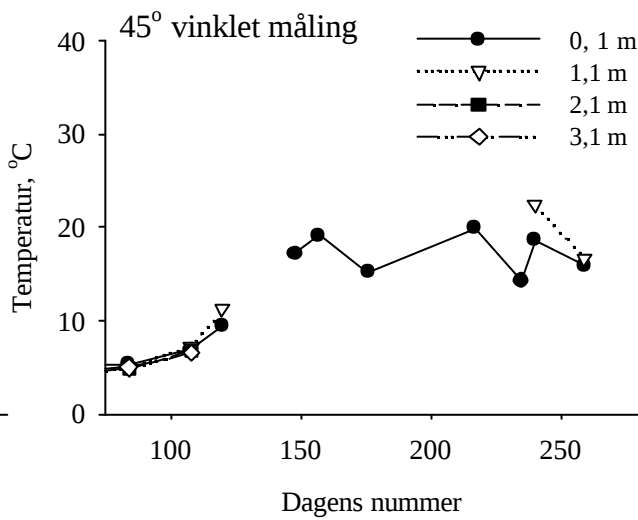
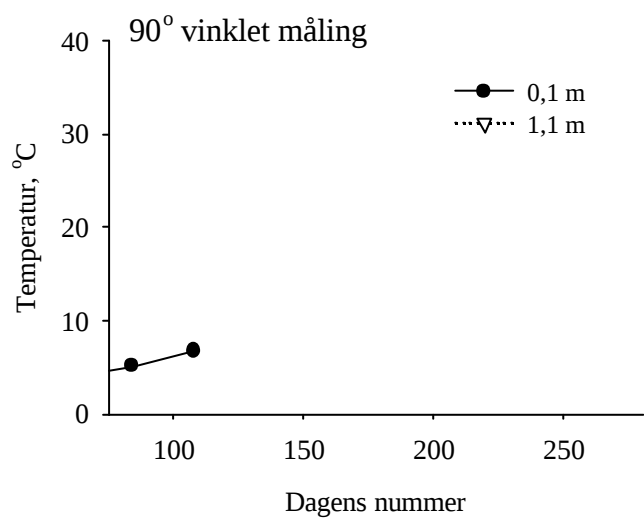
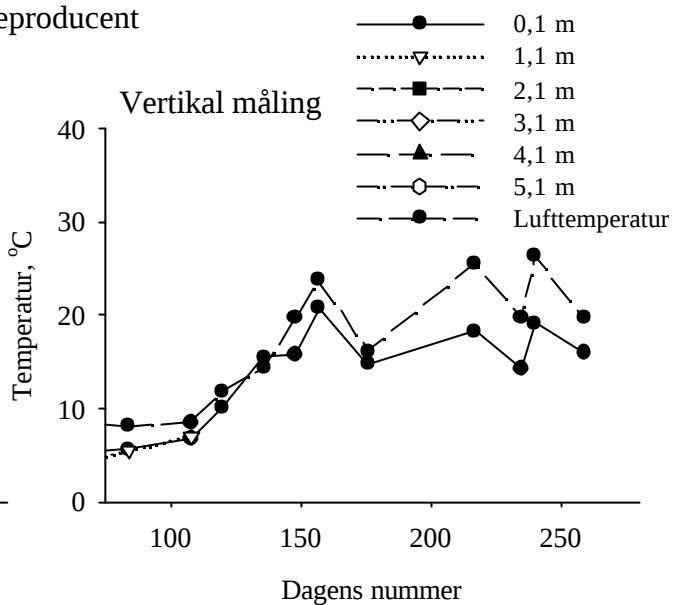
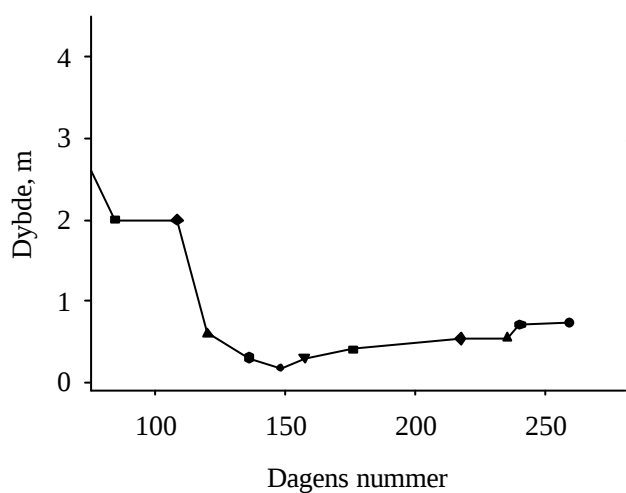
Linkogas - Lyngkærvej



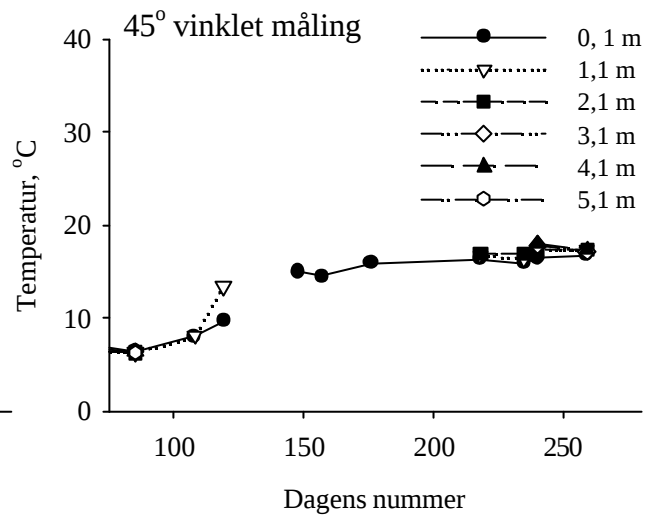
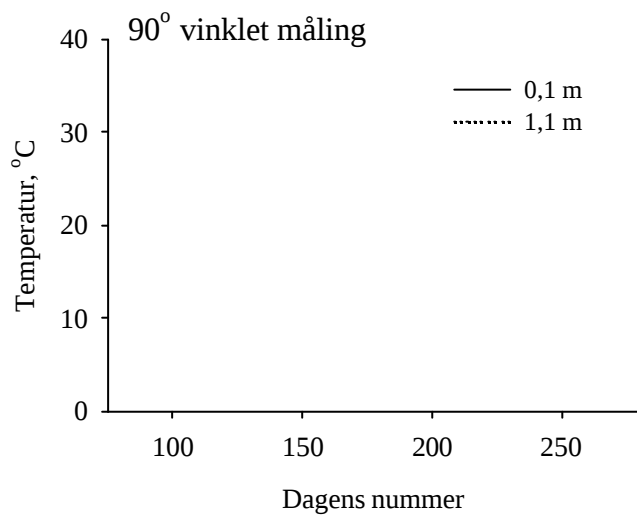
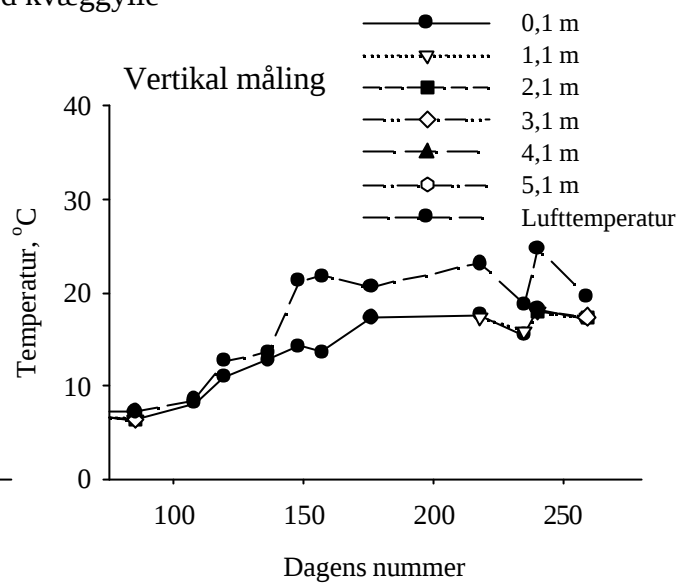
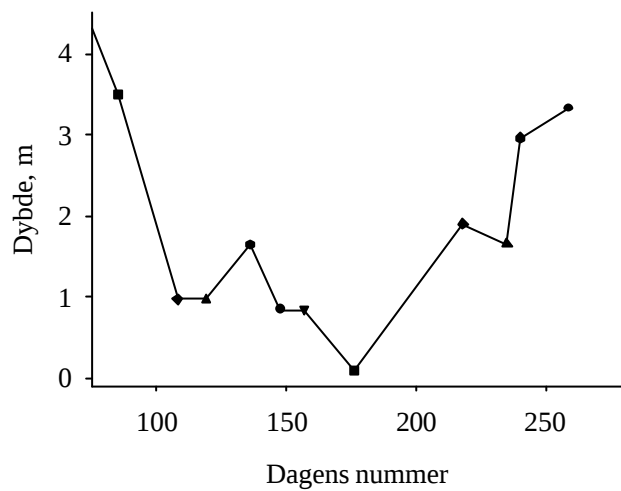
Filskov-Kolstrupvej



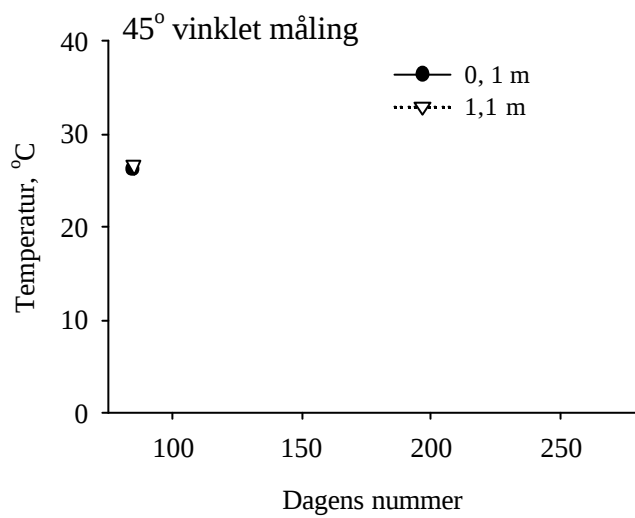
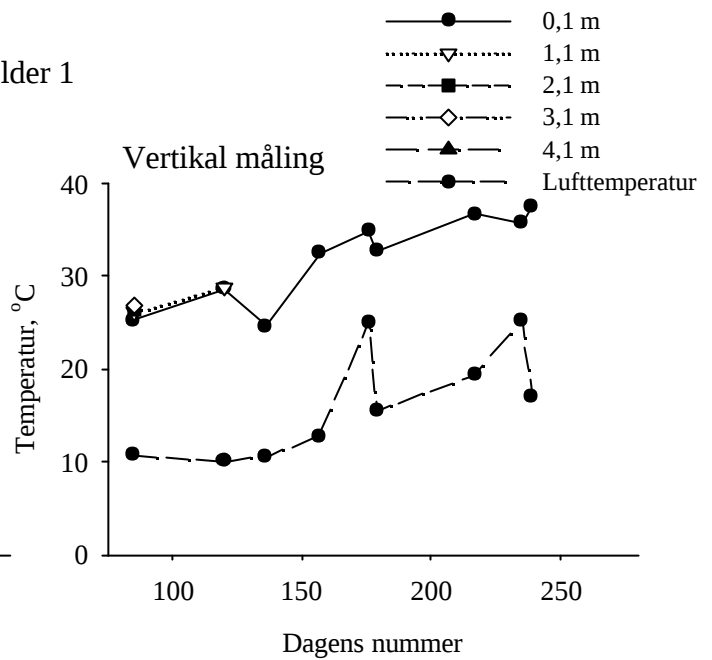
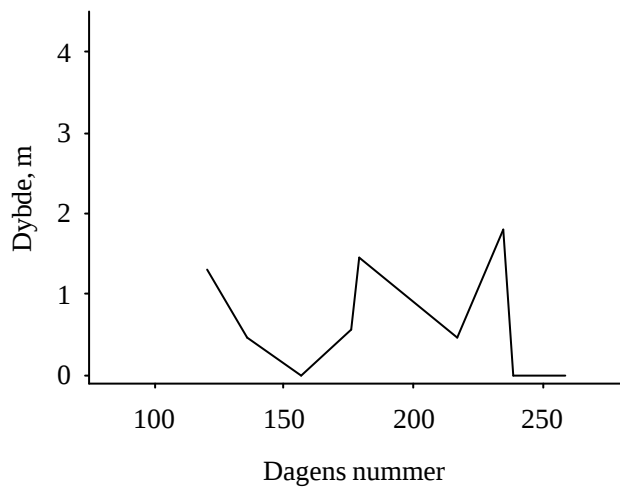
Søvind svineproducent



Rugballegård kvæggylle

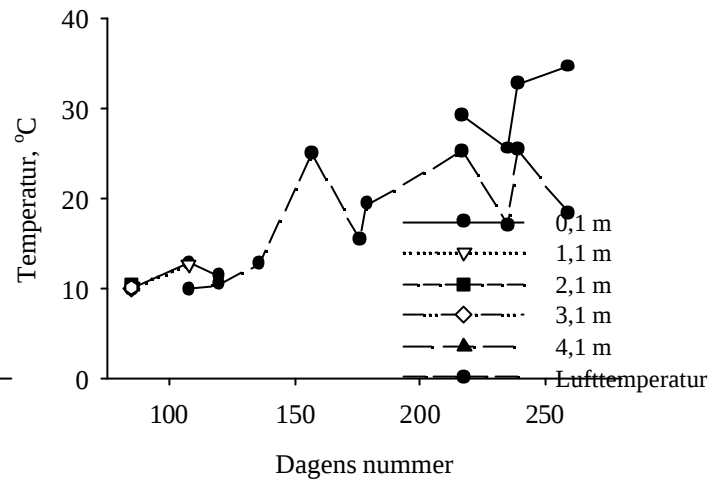
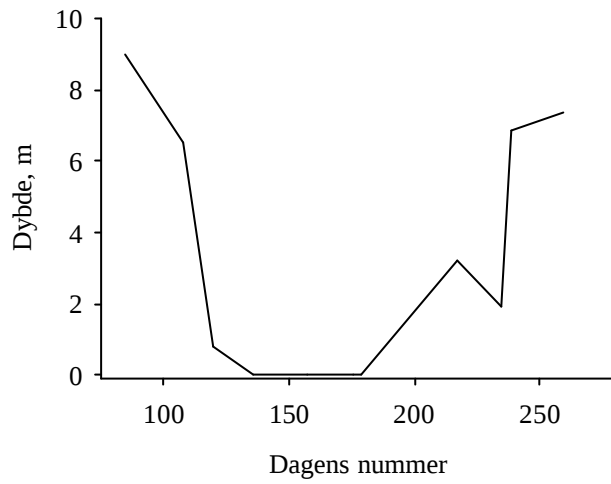


Århus-Beholder 1

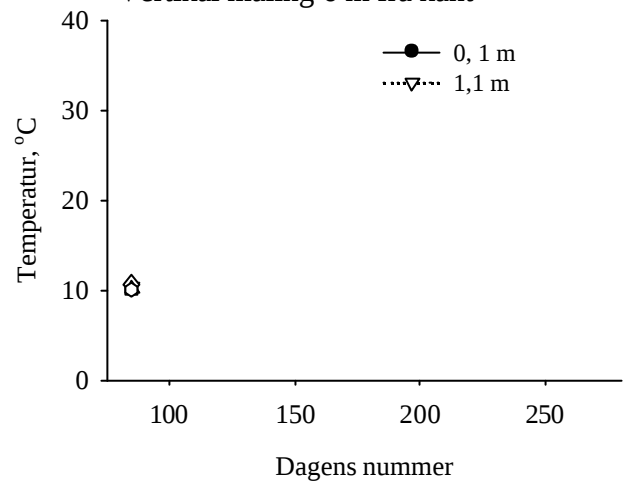


Århus-Beholder 2

Vertikal måling 1 m fra kant



Vertikal måling 6 m fra kant



Århus-Beholder 3

