

Opsamlingseffektivitet af gas under teltdug på gylletanke

Anne Lindstrøm Hansen og Yijuan Xu

^a SEGES Innovation P/S, Den rullende Afprøvning

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden



Hovedkonklusion

Forsøgene med genfindning af sporgas under teltduge i forbindelse med fakkelaftænding af metan fra gylletanke viser, at fakkelaftænding har potentiale til at reducere klimabelastningen fra husdyrgødning betydeligt. Opsamlingseffektiviteten varierede med den procent af tankens luftrum, der blev udsuget pr. time (udsugningsflow) og teltdugens materiale. På traditionel, tætnet teltoverdækning blev 67 % og 32 % af sporgassen genfundet ved udsugningsflow på henholdsvis 2 % og 1 % per time. For en speciallavet, biogas teltoverdækning blev henholdsvis 103 % og 88 % af sporgassen genfundet ved henholdsvis 2 % og 1 % udsugningsflow. Det skal understreges, at 1 % udsugningsflow er lavere end det udsugningsflow, der i drift bruges på fakkelanlæggene. Det lave udsugningsflow er kun brugt i denne afprøvning for at undersøge sammenhæng mellem udsugningsflow og genfindingsraten af sporgas. Resultaterne viste, at beregningsmetoden til bestemmelse af sporgassens genfinding havde indflydelse på de opnåede genfindingsrater. Der blev anvendt to forskellige metoder, som gav forskellige resultater, hvilket understreger et behov for at fastlægge standardiserede måle- og beregningsmetoder for at sikre sammenlignelighed og repræsentativitet på tværs af målinger og forsøg.

Sammendrag

I arbejdet med at reducere klimabelastningen fra husdyrgødning, er der øget fokus på teknologier, der kan mindske metanemissioner fra gyllelagre. Fakkelaftænding, hvor metanholdig gas opsamles og afbrændes til kuldioxid, er en lovende teknologi. Undersøgelsen indgik som led i LESS (Low Emission Slurry Storages) - projektet, der er samfinansieret af GUDP og SAF, og inkluderede analyser af både effekten af udsugningsprocent (1 % og 2 %) og teltmaterialets egenskaber. Resultaterne viser, at højere udsugningsflow og biogastætte teltduge med specialluger

forbedrer opsamlingseffektiviteten. Beregningsmetoden påvirker også resultaterne, hvilket understreger behovet for standardiserede metoder. Samlet set kan fakkelaftbrænding bidrage til en betydelig reduktion af klimapåvirkningen fra gyllelagre, hvor reduktionsgraden blandt andet afhænger af teltematerialets tæthed og af, hvor stor en del af den metangas, der dannes i gyllelagrene, der overføres til faklen.

Baggrund

I arbejdet med at reducere klimabelastningen fra husdyrgødning er der øget fokus på teknologier, der kan mindske metanemissioner fra gyllelagre. Det anslås, at gødningshåndtering i svineproduktionen i 2025 vil bidrage med cirka 1,5 millioner tons CO₂-ækvivalenter om året [a]. Den primære drivhusgas i denne sammenhæng er metan (CH₄). En af de teknologier, der vurderes som lovende, er fakkelaftbrænding. Ved fakkelaftbrænding opsamles metanholdig gas under teltoverdækningen på gylletanke og afbrændes, hvorved der dannes kuldioxid (CO₂) i stedet for metan (CH₄). Da metan er en væsentlig mere potent drivhusgas end CO₂ – omtrent 28 gange kraftigere set over 100 år [b] – kan denne omdannelse bidrage til en betydelig reduktion af klimabelastningen fra husdyrgødning. For at teknologien kan fungere effektivt, er det nødvendigt at opnå en tilstrækkelig høj metankoncentration under overdækningen og sikre, at en stor andel af den dannede gas rent faktisk opsamles og føres til afbrænding. Dette stiller krav til overdækningens tæthed og konstruktion. Tidligere emissionsmålinger, blandt andet udført af SEGES Innovation, har vist, at gylletanke med standard teltoverdækninger kun muliggør begrænset opsamling af gas – blandt andet som følge af utætheder og naturlig ventilation under teltdugen [ikke publiceret data].

For at undersøge teknologiens potentiale under mere optimale forhold, er der i regi af LESS-projektet (Low Emission Slurry Storages, GUDP projekt-nr. 34009-21-1939) - gennemført to forsøg med modificerede overdækninger. Det ene forsøg anvender en traditionel teltdug med forbedret tætning, særligt omkring samlinger. Det andet forsøg benytter en teltdug af tykkere materiale, kombineret med ekstra tætning ved lågerne. Forsøgene har til formål at evaluere, hvordan varierende udsugning og varierende overdækning påvirker gasgenfindning, og derved bidrage til en mere kvalificeret vurdering af fakkelaftbrændingens potentiale som klimareducerende teknologi i landbruget. Specifikt blev der i denne afprøvning afsøgt besvarelse af følgende 3 hypoteser:

1) Effekten af udsugningsflowet på gasgenfindingen.

Mængden af gas, der genfindes i udsugningsluften under teltdugen, er proportional med udsugningsflowet. Jo højere udsugningsflow er, desto større bliver den genfundne mængde gas.

2) Effekten af teltdugens materiale på gasgenfindingen.

Mængden af gas, der genfindes, vil variere afhængigt af teltdugens materiale. En mere gastæt teltdug vil i højere grad tilbageholde gasen sammenlignet med en traditionel tætnet teltdug.

3) Beregningsmetodens effekt på den beregnede opsamlingseffektivitet.

Beregningsmetoden, specifikt valg af tidsintervaller i sporgassens henfaldsfase, har betydning for den beregnede opsamlingseffektivitet. Forskellige tidsintervaller i databehandlingen kan føre til variationer i den procentvise opsamlingseffektivitet.

Da der i gylletanke forekommer en relativt høj egenproduktion af metan fra gyllen, blev det vurderet uhensigtsmæssigt at anvende metan som sporgas. I stedet blev der valgt en alternativ gas med tilsvarende fysiske egenskaber. Valget faldt på lattergas (N₂O), da det tilgængelige måleudstyr (CRDS, Picarro G2509) kan måle denne gasart, samtidig med at gyllens egenproduktion af lattergas er begrænset. Den målte genfindingsprocent for lattergas kan dermed anvendes som et udtryk for den forventede genfindingsprocent for metan og indgå i den samlede beregning af fakkelaftbrændingens reduktionseffektivitet.

Materialer og metoder

For at undersøge ovenstående hypoteser, blev der designet et forsøg der kan sammenligne opsamlings-effektiviteten mellem to forskellige teltoverdækninger.

Tankbeskrivelser

Undersøgelserne blev gennemført på to forskellige gylletanke, benævnt Tank A og Tank B på to forskellige besætninger. Begge tanke indeholdt en blanding af so- og smågrisegylle. Da kun Tank A var udstyret med et etableret fakkelanlæg (Maskin-ID: 223003), blev der på Tank B monteret en pumpe, der kunne simulere et tilsvarende udsugningsflow, svarende til det på en tank med et etableret fakkelanlæg. Detaljer om pumpe og udsugningsflow kan findes i afsnittet "Gasmålinger og forsøgsopstilling – Pumpe og udsugningsflow".

Tank dimensioner

Nedenfor ses mål og dimensioner på de to tanke.

Tabel 1 - Mål og dimensioner på tanke og teltoverdækninger.

Mål på tanke	Tank A	Tank B
Højde (meter)	4	4
Diameter (meter)	32	30
Overflade areal (m ²)	804	706
Hældning telt (dgr.)	22	22
Tank, konstruktion volumen (fra bund til cement overkant) (m ³)	3200	2830
Tank, påfyldningsgrad (%)	90	50
Telt, volumen (fra cement overkant til top af teltoverdækning) (m ³)	1733	1428
Total volumen, tank + telt (m ³)	4933	4258

Teltoverdækninger

For at teste om forskellige typer teltoverdækninger havde en indvirkning på genfindingsprocenten, blev der bevidst valgt to tanke med forskellige typer teltoverdækning.

Materiale

Tank A (Figur 1) havde en traditionel teltoverdækning. Traditionelle teltoverdækningers materiale bestod typisk af polyethylenterephthalat (PES) behandlet med polyvinylklorid (PVC), samt en akrylbaseret lak som overfladebehandling (datablad på teltdug kan ses i Appendiks 1).

Tank B (Figur 2) var en biogas-teltdug. Samme PES-materiale, behandlet med PVC. PVC-laget var dog tykkere og uden porer i PVC'en (datablad på teltdug kan ses i Appendiks 2).

Konstruktion

Teltoverdækningen på Tank A var oprindeligt en traditionel gylleteltoverdækning med trekantluger og udluftningshuller i toppen. For at klargøre tanken til tilkobling til fakkelaftbrændingsanlæg, blev teltoverdækningen modificeret til at være mere tæt, for derved at muliggøre større opsamling af metan. Denne modificering involverede lukning af udluftningshuller i toppen af tanken, samt forlængelse af trekantsluger, så disse nu strakte sig længere ned langs gylletankens side for at formindske potentiel lækage af gas omkring gylletankens kant (Figur 3).

Der blev monteret en sugestuds, hvorfra gylleluften ledes til fakkelaftbrænding. Teltdugen omkring sugestudsen var svejset, hvilket forebygger lækager. Derudover blev der monteret en tophætte på spidsen af teltdugen for yderligere at forhindre lækager (Figur 1).



Figur 1 - Billede af Tank A. Det sorte rør langs teltdugen leder gylleluften til faklen. Nærbilledet af sugestudsens og tophætten ses til højre.

Teltoverdækningen på Tank B blev specialfremstillet til et forskningsprojekt, hvor gylletanken blev tømt i bunden, og der var derfor ikke krav til adgang til gyllen igennem teltoverdækningen på denne tank. Tanken blev i første omgang konstrueret med udluftningshuller i toppen af tanken, mens lugerne var 1 m² firkantede luger med velcrolukninger langs de tre sider. Inden denne undersøgelse startede, blev udluftningshullerne i toppen af tanken lukket med en påsvejset tophætte magen til Tank A's teltoverdækning. Derudover blev der lukket omkring rør til udsugning af tankluft til pumpen.



Figur 2 - Billede af Tank B med special teltoverdækning. De kvadratiske luger kan ses på billedet til højre.



Figur 3: Billede af forlængelse af trekantsluger for at minimere metan udslip langs gylletankens kant (Tank A).

Gasmålinger og forsøgsopstilling

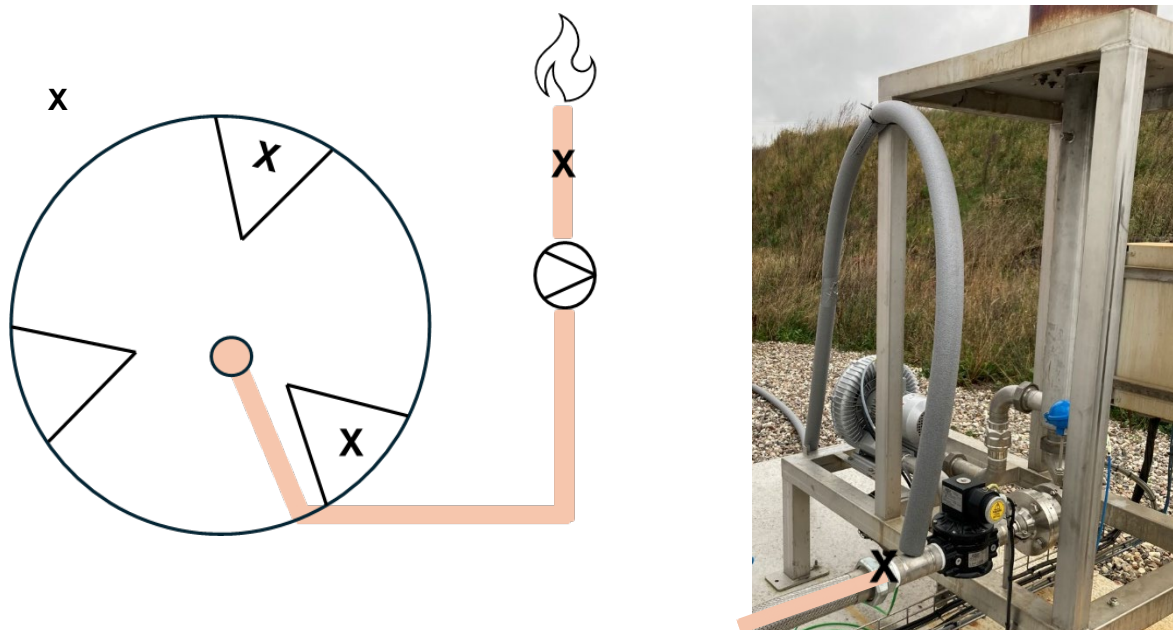
Målingerne blev foretaget i perioden fra oktober til slutningen af december 2024. Hver tank blev målt over en serie af målekampe. Hver målekampe indeholdt tre følgende perioder: i) Måling af sporgas med naturlig ventilering under teltoverdækning. ii)¹ Genfindning af sporgas ved udsug på 2 % af tankens luftvolumen under teltoverdækning (den samlede luft under teltoverdækning – luft fra betonkant op til top af teltoverdækning plus luft fra betonkant og ned til gylle) pr. time. iii)¹ Genfindning af gas ved udsug på 1 % af teltets luftvolumen pr. time.

Udsugningsflowet blev valgt med det formål at være relativt repræsentativt for det flow, der normalt anvendes ved udsugning af gas til fakkelanlæg, samt at inkludere et scenarie med et lavere luftflow end der normalt bruges ved udsug til fakkelanlæg.

Målepunkter

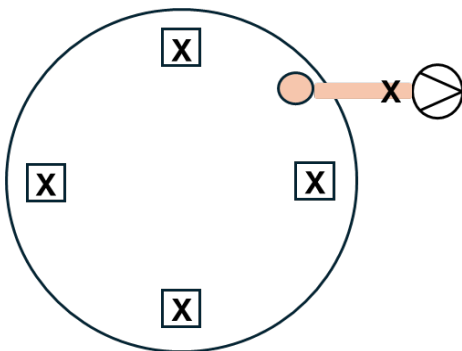
På Tank A, blev der i alt etableret fire målepunkter (Figur 4). To målepunkter i headspaceluften i tanken. Disse målepunkter blev lavet ved de allerede eksisterende trekantsluger, for at undgå beskadigelse på teltoverdækningen, da dette ville kunne påvirke genfindningen af gas. Et målepunkt til bestemmelse af koncentrationer af lattergas i udeluft, samt et sidste målepunkt på gasindføringen lige inden gassen afbrændes i faklen.

På Tank B (Figur 5), blev der etableret seks målepunkter i alt. Fire i headspaceluften i tanken under teltoverdækningen, et målepunkt i udeluften omkring tanken og et sjette målepunkt i indsug til en pumpe.



Figur 4 – Venstre: Skitse af målepunkter på Tank A. Kryds markerer målepunkter. Farvet linje markerer gasstrømmen fra gylletank til fakkelanlæg. Højre: Tilkobling på fakkelanlæg. Fakkelaftænding finder sted til højre for tilkoblingspunktet.

¹ Målt som duplikat



Figur 5 - Øverst til venstre: Pumpe med indsugningsluft fra tanken. Øverst til højre: Udsugningspunkt monteret på Tank B. Nederst: Skitse af målepunkter på Tank B. Kryds markerer målepunkter. Farvet linje markerer gasstrømmen fra gylletank til pumpe.

Gasmålinger

Koncentrationen af lattergas i tankene blev målt ved hjælp af Cavity Ring-Down Spectrometry (CRDS) med instrumentet Picarro G2509. For at bringe koncentrationerne inden for instrumentets måleområde blev tankluften fortyndet med udeluft i fortyndingsforhold fra 1:25 til 1:40 vha. Mass Flow Controllere (Bronkhorst). Koncentrationerne af metan, kuldioxid og ammoniak blev også målt.

Hvert målepunkt blev målt i 7 minutter, hvoraf de første 3 minutter og de sidste 30 sekunder blev kasseret for at undgå krydskontaminering mellem målepunkter. Den gennemsnitlige koncentration af gassen blev derefter beregnet på baggrund af de resterende 3,5 minutters måldata.

Lattergas tilsætning

Ren lattergas (99,9 %, leveret af Alpha Gas) blev tilført under teltoverdækningen, via en 8 mm teflonslange, som blev ført igennem lugerne med en dybde på cirka 30 cm, mens lugerne var så lukkede som muligt. Eftersom der forekommer naturlig produktion af lattergas i gylletankene, blev tilsætningen foretaget i så høje koncentrationer, at den tydeligt kunne adskilles fra det naturlige baggrunds niveau. Baggrundskoncentrationen af lattergas blev bestemt ved målinger cirka 2 timer før første tilsætning.

For at sikre pålidelige sporgasmålinger blev en minimumsgrænse fastlagt, hvor den tilførte koncentration skulle være mindst 3 gange højere end baggrunds niveauet. Lattergassen blev tilført over cirka 20 minutter med fastsatte

varierende intervaller for at muliggøre måling af genfinding ved både kort og lang tid mellem tilsætninger. For at sikre homogenitet af tankluften, blev udsugningen til fakkelanlægget slukket to timer efter tilsætningen af gassen og forblev slukket indtil måling af opsamlings effektivitet blev igangsat. Ingen gylle blev påfyldt tankene under sporgas målingerne.

Gasudsug fra teltoverdækning

På tank A blev gasudsug gennemført ved hjælp af en Roots-blæser, integreret i fakkelanlægget. Blæseren var udstyret med en masseflowmåler, hvilket muliggør logning af mængden af udsug luft fra tanken.

På Tank B blev gasudsug under teltoverdækningen udført ved anvendelse af en elektrisk sidekanalblæser (KLEEBlower KB-529, 3-faset, 2,2 kW, IP54, Brd. Klee A/S). Denne blæser var koblet til en frekvensomformer (Siemens, SINAMICS G120), som regulerede blæserens hastighed og dermed det volumetriske flow via justering af frekvensen (Hz). Gasvolumenet blev registreret ved hjælp af et Quantometer (QA40 25 G I, Elster GmbH), der måler det samlede gasflow i m³.

Registreringen af gasudsug fra Tank B blev udført manuelt ved aflæsning af Quantometeret ved opstart og afslutning af hver målekampagne. Timegennemsnit for gasudsug blev beregnet på baggrund af disse aflæsninger. For begge tanke var målet at opnå henholdsvis 1 % og 2 % udtræk af det samlede luftvolumen under teltoverdækningen pr. time. På Tank A blev udtrækket styret via fakkelanlægget, mens Tank B blev reguleret ved frekvensindstilling på frekvensomformeren.

Vindforhold

Vindforhold under målingerne blev efterfølgende udtrukket fra DMI vejarkiv for tættest beliggende vejstation.

Databehandling

For at bestemme koncentrationen af lattergas under teltoverdækningen, blev der taget gennemsnit af koncentrationer i målepunkterne (2 eller 4, henholdsvis) i luften under teltoverdækningerne. Grundet transiente stigninger og fald i koncentrationer over tid, blev koncentrationsmålingerne udglattet ved hjælp af polynomiel glidende gennemsnit (Savitzky-Golay).

For at udregne den ventilation, der finder sted under teltoverdækningen uden aktivt udsug, blev der brugt tracer-gas metode.

$$ventilation (m^3/time) = \frac{\ln(C_{start}) - \ln(C_{slut})}{tid(t)} * V_{headspace}$$

Der blev i denne afprøvning undersøgt om beregningsmetoden, specifikt valg af tidsintervaller i gassens henfaldsfase, ville påvirke den beregnede opsamlings effektivitet. Disse metoder (Beregningsmetode 1 og Beregningsmetode 2), beskrives nedenfor:

Genfindingen af sporgas i %, udregnes som andelen af N₂O, der opsamles i udsug til faklen/pumpen. ΔN₂O er forskellen i volumen (m³) af N₂O i headspace luften mellem T_{start} og T_{slut}. Opsamlingsprocenten udregnes for hvert luftflow som gennemsnittet af duplikatforsøget.

Til undersøgelse af hypotese 1 og 2, blev beregningsmetode 1 benyttet. Der blev bevidst ikke anvendt timevise datapunkter til undersøgelse af hypotese 1 og 2, da koncentrationerne, specielt på Tank A, udviste betydelige korttidsvariationer, som ville kunne forstyrre vurderingen af det overordnede henfaldsforløb. Valget af en bredere tidsmæssig afstand mellem målepunkterne blev dermed foretaget for at opnå et mere robust estimat af den generelle henfaldstendens.

Beregningsmetode 1: Opsamlingen af sporgas i udsug til faklen udregnes som timegennemsnit og summeres for perioden fra T_{start} til T_{slut}.

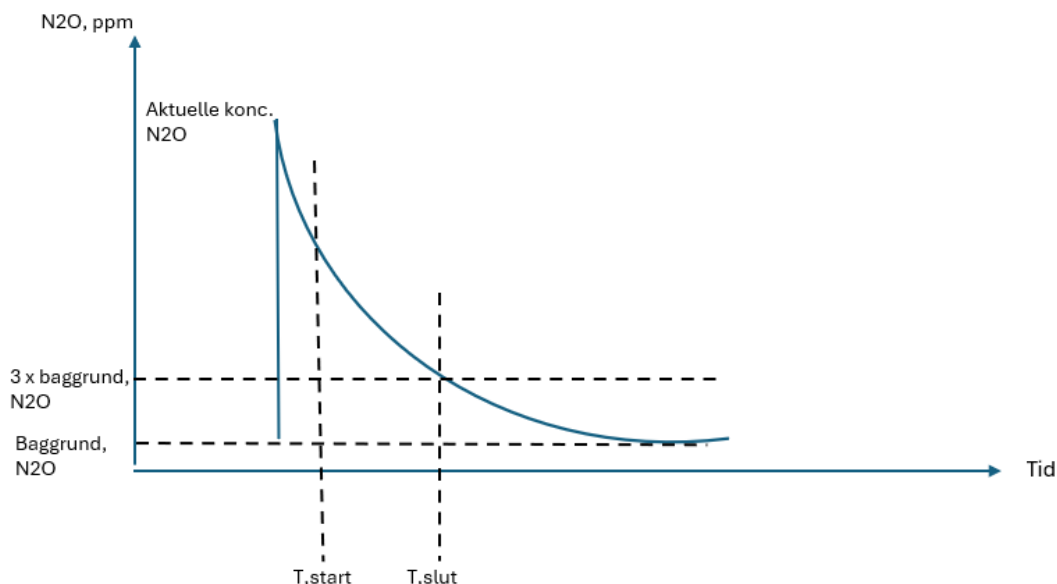
T_{start} registreres som tidspunkt for sporgas koncentrationer er +/- 10 % mellem målepunkter, og der derved er en tilnærmelsesvis homogen opblanding af gassen under teltoverdækningen. T_{slut} registreres, som tidspunkt inden næste sporgas tilsætning eller hvis sporgas koncentrationen er faldet til 3x den naturlige lattergas baggrund fra gyllen.

$$V_{\text{N}_2\text{O, headspace}} = \left(\frac{C_{\text{N}_2\text{O}}(\text{ppm})}{1.000.000} \right) * V_{\text{headspace}}$$

$$\Delta \text{N}_2\text{O} = \text{m}^3 \text{N}_2\text{O}_{t,\text{start}} - \text{m}^3 \text{N}_2\text{O}_{t,\text{slut}}$$

$$\text{m}^3 \text{N}_2\text{O, opsamlet i udsug} = \int_{t_{\text{start}}}^{t_{\text{slut}}} \frac{C_{\text{N}_2\text{O}}(\text{ppm})}{1.000.000} * Q (\text{m}^3/\text{time})_{\text{udsug til fakkel}}$$

$$\% \text{N}_2\text{O, opsamlet} = \frac{\text{m}^3 \text{N}_2\text{O, opsamlet til fakkel}}{\Delta \text{N}_2\text{O}} * 100$$



Figur 6 - Perioder for kvantificering af genfinding af sporgas, beregningsmetode 1.

Beregningsmetode 2:

For at kvantificere tabet af N₂O i tankens lufrum ($\Delta \text{N}_2\text{O}$), samt den procentuelle opsamling via udsugningen, anvendes en eksponentiel model for henfaldet af N₂O-koncentration over tid. Denne tilgang benyttes, da der observeres transiente tilstande i systemet, hvor koncentrationerne af sporgas i tankens lufrum stiger eller falder over tid.

Den eksponentielle funktion har formen:

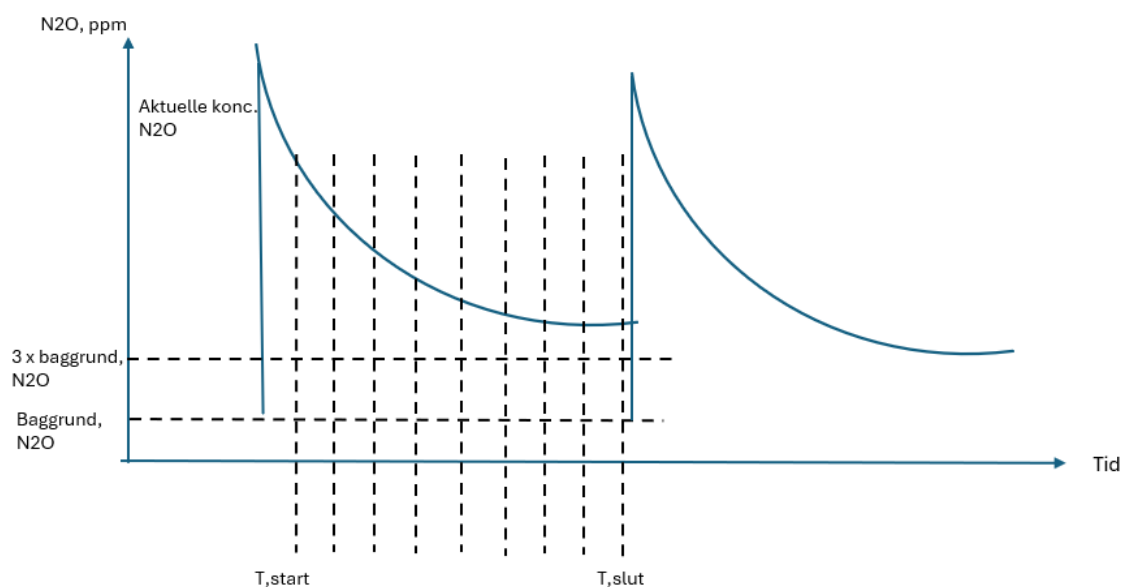
$$y = y_0 \cdot e^{-kt}$$

Hvor y_0 er mængden af N₂O i lufrummet (i m³) ved tidspunkt t_0 , y_0 er startmængden, og k er henfaldskonstanten (k -rate). Funktionen tilpasses de målte data, og k -værdien anvendes derefter til at beregne det teoretiske tab af N₂O fra lufrummet pr. time.

Den procentuelle opsamling af N₂O via udsugningen beregnes herefter time for time, som forholdet mellem den faktisk fjernede mængde N₂O (målt i udsugningskanalen) og den beregnede reduktion i tankens luftrum baseret på den eksponentielle henfaldsfunktion:

$$\%N_2O, \text{ opsamlet} = \frac{N_2O, \text{ fjernet via udsug (m}^3\text{)}}{\text{Beregnet tab i tanken (m}^3\text{)}} * 100$$

Dette beregnes for hver time i forsøgsperioden, hvorefter den samlede opsamlingseffektivitet for en given måleperiode opgøres som gennemsnittet af de timebaserede opsamlingsprocenter. Beregningen gentages for hver måleperiode.



Figur 7 - Interval inddeling af genfindingsrate med beregningsmetode 2.

Resultater og diskussion

Ventilation under teltoverdækning uden aktiv udsugning

Under forsøgsbetingelser, hvor den aktive udsugning under teltoverdækningen var deaktiveret, blev der observeret en markant forskel i den naturlige ventilation mellem de to tanke. På Tank A blev der målt en gennemsnitlig naturlig ventilation på 96 m³/time (±65,6), svarende til 4,6 % af luftvolumenet under teltoverdækningen. På Tank B var den tilsvarende ventilation betydeligt lavere med 4,7 m³/time (±4,0), svarende til kun 0,16 % af headspace-volumenet. De samtidige vindhastigheder var i gennemsnit 8,4 m/s (±0,2) ved Tank A og 6,2 m/s (±1,8) ved Tank B, til sammenligning ligger middelvindhastigheden i Danmark på omtrent 5 m/s (DMI). Grafer over henfald af tracergas kan findes i Appendiks 3.

Disse forskelle indikerer, at konstruktionen og tætheden af teltoverdækningen på Tank B i højere grad forhindrer uønsket udluftning sammenlignet med konstruktionen på Tank A. Det kan således konkluderes, at der under tilsvarende vejrforhold vil være mindre risiko for metantab gennem utilsigtede ventilationsveje på tanke med biogastætte overdækninger som den på Tank B, hvilket øger sandsynligheden for, at en større andel af metanen effektivt kan opsamles og ledes til fakkelafløbning.

Effekten af udsugningsflowet på gasgenfindingen

Resultaterne vedrørende opsamlingseffektivitetens afhængighed af udsugningsflowet fremgår af Tabel 2. De enkelte målekampanjer varierer i varighed (N, antal timer), idet der samtidig blev undersøgt, hvorvidt længden af opsamlingsperioden har indflydelse på den samlede opsamlingseffektivitet.

En af målekampanjerne på Tank A, udført med et udsugningsflow på 1 %, blev udelukket fra analysen, da en lækage i slangen mellem udsugningspunktet og måleudstyret gjorde, at målingen ikke var retvisende.

Ved de øvrige målinger, blev der for Tank A observeret en genfindingsprocent på henholdsvis 67 % ved 2 % udsug og 31,7 % ved 1 % udsug af headspace-luften under teltoverdækningen. På Tank B, blev der målt en genfinding på 102,5 % ved 2 % udsug og 87,5 % ved 1 % udsug. Det forhold, at genfindingsprocenten overstiger 100 % for tank B, tilskrives sandsynligvis opsamlingen af lattergas produceret naturligt i gylletanken, og som ikke stammer fra den tilførte mængde sporgas.

For at undersøge, om en eventuel reduktion i opsamlingseffektivitet kunne skyldes lave koncentrationer af sporgassen (N_2O) i headspace, blev de naturlige baggrunds niveauer vurderet. Før tilsætning af sporgas blev der målt baggrunds niveauer på 11,1 ppm i Tank A og 8,8 ppm i Tank B. Ved afslutningen af de lange målekampanjer blev koncentrationerne målt til 269 ppm (Tank A) og 300 ppm (Tank B), hvilket er væsentligt højere end baggrunds niveauerne. Det vurderes derfor, at lave koncentrationer af sporgassen ikke kan forklare den observerede reduktion i opsamlingseffektivitet.

Det kan således konkluderes, at udsugningsflowet har betydning for, hvor stor en andel af den dannede gas i tankens headspace der opsamles og overføres til fakkelafløbbrændingsanlægget.

Tabel 2 - Opsamlings effektivitetens påvirkning af udsugningsflow. ^aKun en gentagelse grundet fejl i måleslanger.

	Tank A			Tank B			
Måleperiode	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F4
t _{Starts} (dato/klok)	01-11-2024 19:00	02-11-2024 18:00	05-11-2024 05:00	06-12-2024 14:00	09-12-2024 15:00	12-12-2024 23:00	13-12-2024 23:00
t _{Slut} (dato/klok)	02-11-2024 05:00	04-11-2024 01:00	06-11-2024 03:00	09-12-2024 05:00	11-12-2024 12:00	13-12-2024 12:00	16-12-2024 18:00
Vindhastighed, m/s (std.)	4,6 (2,9)	4,1 (2,3)	1,4 (0,4)	4,6 (1,6)	3,2 (1,7)	2,4 (0,9)	5,9 (2,3)
N timer	10	31	22	63	45	13	67
Fakkeludsug % af headspace luft. (m3/time)	2% (40)	2% (40)	1% (20)	2% (60)	2% (60)	1% (30)	1% (30)
m ³ N ₂ O, headspace, tank t _{start}	1,59	1,53	2,27	1,54	1,66	1,13	2,07
m ³ N ₂ O, headspace, tank, t _{slut}	1,03	0,54	1,13	0,4	0,63	0,96	0,86
Δ N ₂ O, headspace, m ³	0,56	0,99	1,14	1,14	1,03	0,17	1,21
m ³ N ₂ O, opsamlet i udsug	0,34	0,7	0,36	1,16	1,06	0,15	1,02
% N ₂ O, opsamlet	63	71	32	102	103	91	84
% N ₂ O, opsamlet, gennemsnit pr. udsugningsflow	67*		(32) ^{a*}	102,5		87,5	

* En høj endogen gasproduktion i lagertanken kan føre til overtryk under teltdugen ved lav udsugning, hvilket medfører en fortynding eller fortrængning af den tilsatte sporgas. Dette kan resultere i, at en mindre andel af sporgassen genfindes i den opsamlede gasstrøm, idet en del af sporgassen kan undslippe gennem andre udvekslingsveje end det kontrollerede udsugningssystem.

Effekten af teltoverdækningen materiale på gasgenfindingen

For at muliggøre en retvisende sammenligning af opsamlingseffektiviteten mellem de to typer teltoverdækninger, blev analysen begrænset til måleperioder, hvor den procentvise luftudsugning fra tankene var ens. Én måleperiode måtte imidlertid ekskluderes fra analysen, grundet en utilsigtet lækage i måleslangen, hvilket kunne have kompromitteret datakvaliteten. Den efterfølgende sammenligning er således baseret udelukkende på de 2 måleperioder, hvor luftudsugningen var 2 %.

Ved en udsagningsprocent på 2 % fra Tank A – forsynet med en klassisk, men modificeret teltoverdækning – blev der registreret en gennemsnitlig opsamlingseffektivitet på 67 %. Til sammenligning viste målingen for Tank B – udstyret med en biogastæt dug, ligeledes modificeret og suppleret med specialudviklede luger – en gennemsnitlig opsamlingseffektivitet på 102,5 %. Som tidligere nævnt vurderes genfindingsprocenter over 100 % forklaret ved opsamling af lattergas, som naturligt produceres i gylletanken, og som ikke stammer direkte fra den kontrollerede tilførte gasmængde, sammenholdt med den måleusikkerhed, der kan være i systemet.

Det kan på baggrund heraf konkluderes, at overdækningen med biogastæt teltdug og specialluger, demonstrerer en markant forbedret opsamlingseffektivitet, sammenlignet med den konventionelle overdækning. Denne forbedring i performance underbygges yderligere af resultaterne fra målekampagne F4 for Tank B. Trods væsentligt højere vindhastigheder, og en lavere udsagningsprocent end ved måleperiode F2 for Tank A, blev der i F4 stadig opnået en højere genfinding af gas. Dette tyder på en betydelig robusthed i systemets evne til at opretholde en effektiv opsamling, selv under ugunstige vejr- og driftsforhold.

Beregningsmetodens effekt på den beregnede opsamlingseffektivitet

Tabel 3 præsenterer de beregnede genfindingsprocenter for N_2O ved anvendelse af henholdsvis beregningsmetode 1 og 2. For beregningsmetode 2 blev der udført eksponentiel regressionsanalyse på de grafiske datapunkter. På baggrund heraf blev henfaldsraten (k) for N_2O samt tilhørende determinationskoefficient (R^2) estimeret, hvilket giver et kvantitativt mål for modellens tilpasning.

De mest markante forskelle i genfindingsprocent mellem de to beregningsmetoder observeres ved de korteste måleperioder, defineret som værende under 15 timer. Denne forskel gør sig særligt gældende for måleperiode F1 i Tank A og F3 i Tank B. Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at fastslå en entydig årsag til disse forskelle. Yderligere undersøgelser med gentagne målinger under kontrollerede forhold, med identisk luftflow og opsamlingsperiode, er nødvendige for at kunne afklare disse variationer.

Et særligt afvigende forhold blev identificeret under måleperiode F1 i Tank A, hvor der forekommer en forskel i henfaldsraten mellem koncentrationen af N_2O i selve tankluften og den N_2O , der transporteres til fakkelanlægget via udsugningssystemet. Eftersom denne afvigelse kun observeres i en enkelt måling, vurderes det at være en outlier. Denne outlier kan potentielt have medført en undervurdering af den reelle opsamlingseffektivitet. Det er værd at bemærke, at denne måling også repræsenterer den største afvigelse i genfindingsprocent blandt samtlige syv målekampaner.

Eksponentiel regressionsanalyse for $m^3 N_2O$ under teltoverdækninger og i udsug fra tanken kan findes i Appendiks 6.

Tabel 3 - Opsamlings effektivitet for Tank A og B, udregnet for hver beregningsmetode. Henfaldsrate for N₂O i luften under teltoverdækningen og for gassen i udsug.

	Tank A			Tank B			
Måleperiode	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F4
t _{Starts} (dato/klok)	01-11-2024 19:00	02-11-2024 18:00	05-11-2024 05:00	06-12-2024 14:00	09-12-2024 15:00	12-12-2024 23:00	13-12-2024 23:00
t _{Slut} (dato/klok)	02-11-2024 05:00	04-11-2024 01:00	06-11-2024 03:00	09-12-2024 05:00	11-12-2024 12:00	13-12-2024 12:00	16-12-2024 18:00
N timer	10	31	22	63	45	13	67
Fakkeludsug % af headspace luft. (m ³ /time)	2% (40)	2% (40)	1% (20)	2% (60)	2% (60)	1% (30)	1% (30)
% N ₂ O, opsamlet, Beregningsmetode 1	63	71	32	102	103	91	84
% N ₂ O opsamlet, Beregningsmetode 2	53	68	35	101	103	81	83
Henfaldsrate N ₂ O, Tank (R ² , eksponentiel)	0,038 (0,9757)	0,032 (0,9687)	0,027 (0,9629)	0,021 (0,9996)	0,021 (0,9996)	0,013 (0,9975)	0,013 (0,9991)
Henfaldsrate N ₂ O, Udsug (R ² , eksponentiel)	0,026 (0,9506)	0,032 (0,9816)	0,025 (0,9652)	0,021 (0,9995)	0,021 (0,9996)	0,013 (0,997)	0,013 (0,9985)

Konklusion

Forsøgene med genfinding af lattergas under teltoverdækning på gylletanke viser, at en gastæt, modificeret teltoverdækning kan muliggøre opsamling af størstedelen af det metan, der produceres i en gylletank. Resultaterne indikerer, at både udsugningsflow og materialevalg for teltoverdækninger, har væsentlig betydning for opsamlingseffektiviteten. Særligt biogastætte teltoverdækninger med specialudviklede, tætsluttende luger demonstrerer en markant forbedring i forhold til konventionelle løsninger.

Samtidig viser analyserne, at den valgte beregningsmetode har betydning for den estimerede opsamlingseffektivitet, hvilket understreger behovet for standardiserede og reproducerbare beregningsmetoder. Overordnet set bekræfter forsøgene, at anvendelse af sporgas er en egnet metode til vurdering af systemets tæthed og effektiviteten af gasudsugningen – begge afgørende for, at efterfølgende fakkelafbrænding kan fungere som en effektiv miljøteknologi til reduktion af metanemissioner fra gyllelagre.

For at sikre, at den ønskede reduktionseffekt realiseres i praksis og stemmer overens med myndighedskrav, vil det dog være nødvendigt at indføre standardisering af teltoverdækningers materiale og udformning i forbindelse med implementeringen af fakkelteknologien.

Referencer

[a] Klimaministeriet (2024). *Kapitel 18 – Landbrugsprocesser*. Del af Danmarks nationale opgørelse over drivhusgasser. Hentet fra <https://www.kefm.dk/Media/638822882206541974/Kapitel%2018%20Landbrugsprocesser.pdf>

[b] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland.

Deltagere

Tekniker: Hans Peter Thomsen

Statistikker: Søren Kjærgaard Boldsen

Andre deltagere: AgroGas og Aarhus Universitet, BCE

Øvrig information

Afprøvning nr. 1920

NAV nr.: 1402

//LATO//

Dyregruppe: Grise

Fagområde: Miljø og klima

Nøgleord: Fakkelaftænding, miljøteknologi, metan, emissioner.

Appendiks 1 – Datablad på standard dug til teltoverdækning.

ELLEGAARD.

DATA SHEET Polytarp PT 900

Product description	Value	Unit	Norm / Standard
Base fabric	100% PES		DIN 60 001
Yarn Type	2230 DTEX	POLYESTER	DIN EN ISO 2060
Total weight	900	gram/M2	EN ISO 2286-2
Weaving construction	12x12	PANAMA	
Tensile strength warp/weft	4300/4000	N/5cm	DIN EN 1421/V1
Tear strenght warp/weft	500/500	N	DIN EN 53363
Temperature resistance	-30	° C	DIN EN 1876-1
Temperature resistance	70	° C	DIN EN1876-1
Light fastness	>6		EN ISO 105 B2
Adhesion	20	N/cm	EN ISO 2411
Bending Resistance	≥100.000	Nº	DIN 53359

ADDITIONAL INFORMATION

Type of coating	PVC
Finishing	Acrylic laquer on both sides
Flamability	NO FR
Special features	UV resistance, waterproof, phthalate free

ELLEGAARD COMPONENTS A/S
VENNERSHÅVEJ 4 · 8800 VIBORG · DENMARK
WWW.ELLEGAARD.COM
PE@ELLEGAARD.COM

TOGETHER
WE CAN COVER MOUNTAINS
+45 8020 8020

Appendiks 2 – Datablad på gastæt teltdug



Produktdatenblatt

Product datasheet

B71180 Classic 800 AS für Biogasanwendungen *B71180 Classic 800 AS for biogas installations*

Faserstoff des Trägergewebes DIN 60001 PES
Support cloth
Tissu

Beschichtungsart versiegeltes PVC
Type of coating sealed PVC
Nature de l'enduit PVC sigillé

Flächengewicht DIN EN ISO 2286-2 800 g/m²
Total weight
Masse totale

Höchstzugkraft K/S DIN EN ISO 1421 3400 / 3000 N/5 cm
Tensile strength warp/weft
Resistance à la traction en chaîne/en trame

Weiterreißkraft K/S DIN 53363 350 / 300 N
Tear Resistance
Resistance à la déchirure en chaîne/en trame

Haftung DIN 53357 140 N/5 cm
Adhesion
Adhésion

Oberflächenwiderstand bei 23°C/30% rel. Luftfeuchtigkeit ≤5x10¹⁰ Ω
Surface resistivity @23°C/30% rel. humidity

Gasdurchlässigkeit (Methan) ISO 7229 < 450 ml / (m²·d·atm)
Permeability to methane
Perméabilité à méthane

Brandverhalten DIN 4102 B1
Fire behaviour
Réaction au feu

Temperaturbeständigkeit DIN EN 1876-1 (Kälte/cold) – 30°C – + 70°C
Temperature resistance IVK/Pkt. 5 (Wärme/heat)

Haftungsausschluss: Änderungen, die dem technischen Fortschritt dienen, behalten wir uns vor. Werte ohne Toleranzangaben sind Nennwerte mit einer Toleranz von ± 5%. Die Angaben entsprechen unserem heutigen Kenntnisstand und sollen ohne Rechtsverbindlichkeit informieren.

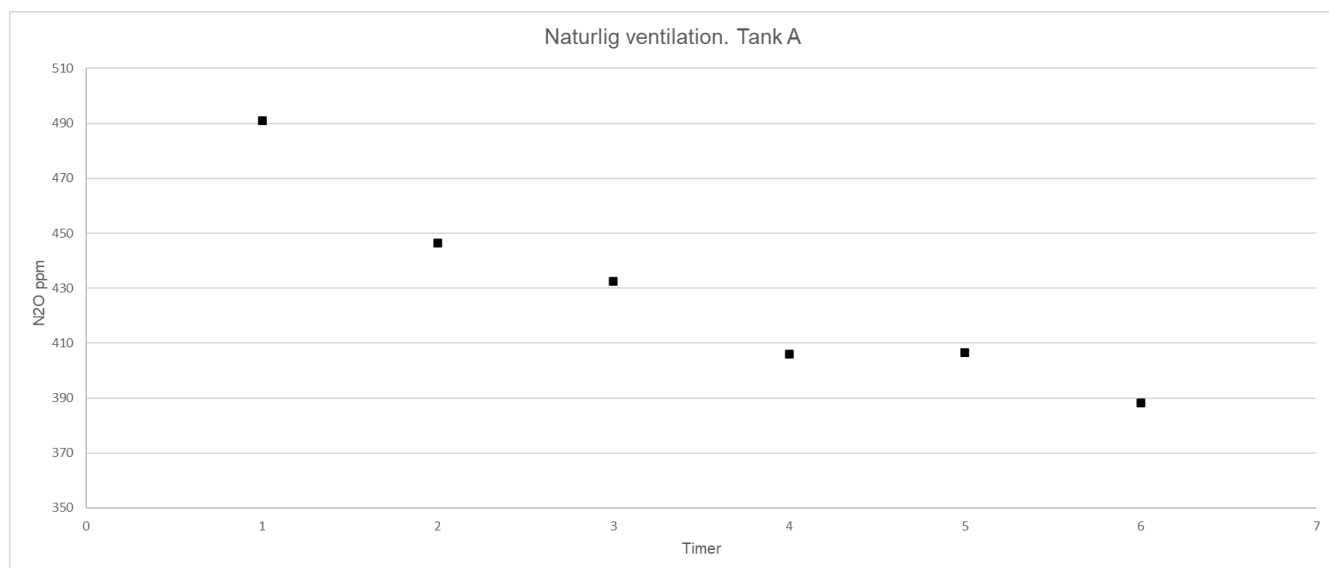
Disclaimer: We reserve modifications of the mentioned values for technical reasons. Values without tolerance statements are values with a tolerance of ± 5%. The information corresponds with our latest knowledge and is offered without liability.



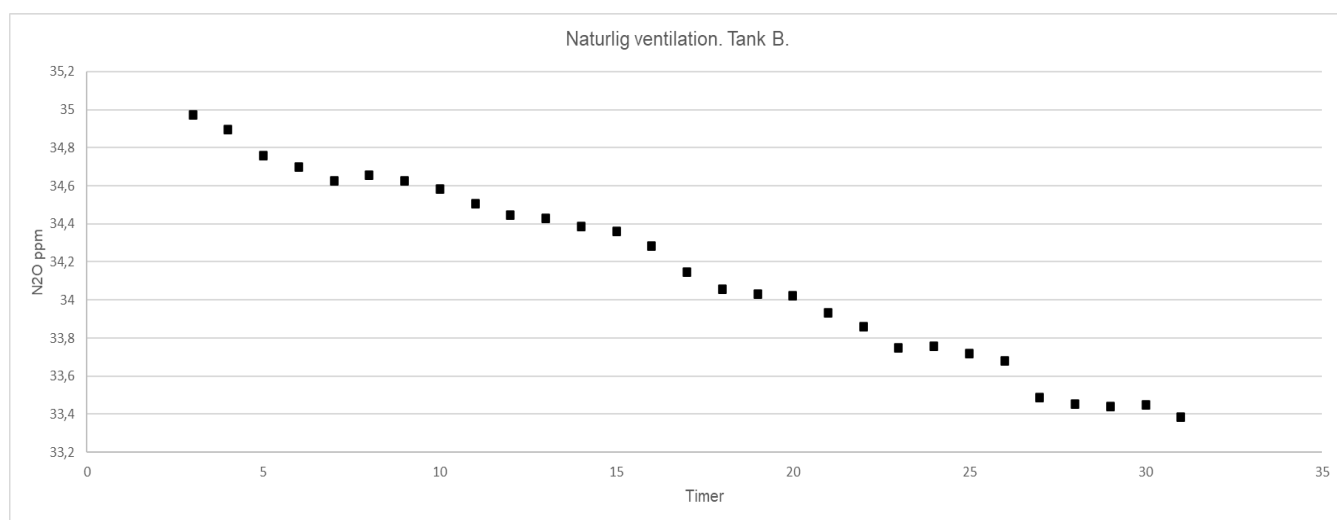
Appendiks 3 – Naturlig ventilation plot

Ventilation under teltoverdækninger uden aktiv udsugning – plot over sporgas koncentrationer over tid.

Tabel 4 - Vindhastighed middel 8 m/s ($\pm 0,21$)



Tabel 5 - Vindhastighed middel 6 m/s ($\pm 1,75$)



Appendiks 4 – Data Tank A

Felter tomme, hvis måleperiode slut. Måleperioder har forskellige længder.

Timer	F1		F2		F3	
	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug
0	1,59	0,029	1,52	0,032	2,27	0,021
1	1,44	0,028	1,41	0,032	2,13	0,019
2	1,38	0,026	1,31	0,031	1,97	0,018
3	1,35	0,026	1,34	0,030	1,92	0,018
4	1,33	0,025	1,31	0,028	1,85	0,017
5	1,31	0,025	1,32	0,029	1,81	0,018
6	1,24	0,024	1,28	0,027	1,78	0,017
7	1,16	0,023	1,27	0,028	1,78	0,017
8	1,09	0,023	1,21	0,026	1,73	0,016
9	1,07	0,023	1,16	0,025	1,73	0,015
10	1,03	0,022	1,19	0,026	1,72	0,016
11	0,98	0,021	1,18	0,024	1,68	0,014
12	0,99	0,020	1,12	0,024	1,54	0,015
13	1,06	0,021	1,04	0,023	1,44	0,014
14			1,05	0,023	1,43	0,015
15			1,01	0,021	1,45	0,013
16			1,01	0,022	1,48	0,014
17			0,97	0,021	1,40	0,013
18			0,94	0,021	1,30	0,013
19			0,87	0,019	1,18	0,011
20			0,85	0,019	1,19	0,012
21			0,83	0,017	1,21	0,011
22			0,83	0,018	1,22	0,012
23			0,77	0,016	1,13	0,011
24			0,73	0,016		
25			0,69	0,015		
26			0,64	0,014		
27			0,60	0,013		
28			0,59	0,013		
29			0,61	0,013		
30			0,59	0,013		
31			0,56	0,012		
32			0,54	0,011		

Appendiks 5 – Data Tank B

Felter tomme, hvis måleperiode slut. Måleperioder har forskellige længder.

Timer	F1		F2		F3		F4	
	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug	m ³ N ₂ O, headspace	m ³ N ₂ O, udsug
0	1,541	0,033	1,66	0,036	1,13	0,0120	2,07	0,0224
1	1,507	0,032	1,62	0,035	1,12	0,0118	2,06	0,0221
2	1,473	0,031	1,57	0,034	1,11	0,0117	2,04	0,0219
3	1,443	0,030	1,54	0,034	1,10	0,0115	2,02	0,0217
4	1,411	0,030	1,52	0,033	1,08	0,0113	1,99	0,0215
5	1,381	0,029	1,49	0,032	1,06	0,0112	1,97	0,0212
6	1,350	0,029	1,46	0,031	1,05	0,0111	1,95	0,0207
7	1,314	0,028	1,42	0,031	1,04	0,0109	1,92	0,0204
8	1,287	0,027	1,40	0,030	1,02	0,0107	1,90	0,0202
9	1,265	0,027	1,37	0,029	1,01	0,0106	1,89	0,0199
10	1,246	0,026	1,34	0,029	1,00	0,0105	1,86	0,0197
11	1,211	0,026	1,30	0,028	0,99	0,0104	1,82	0,0195
12	1,183	0,026	1,27	0,027	0,97	0,0103	1,80	0,0192
13	1,156	0,025	1,26	0,027	0,96	0,0101	1,78	0,0190
14	1,139	0,024	1,23	0,026			1,77	0,0188
15	1,116	0,024	1,20	0,026			1,75	0,0185
16	1,092	0,023	1,17	0,025			1,73	0,0183
17	1,062	0,023	1,15	0,025			1,69	0,0180
18	1,044	0,022	1,12	0,024			1,67	0,0179
19	1,026	0,022	1,10	0,024			1,65	0,0176
20	1,002	0,021	1,07	0,023			1,63	0,0174
21	0,978	0,021	1,06	0,023			1,61	0,0172
22	0,964	0,021	1,04	0,022			1,58	0,0170
23	0,953	0,020	1,02	0,022			1,56	0,0168
24	0,933	0,020	1,00	0,021			1,54	0,0165
25	0,921	0,019	0,98	0,021			1,53	0,0163
26	0,903	0,019	0,95	0,020			1,51	0,0162
27	0,880	0,019	0,93	0,020			1,49	0,0160
28	0,854	0,018	0,91	0,020			1,47	0,0158
29	0,839	0,018	0,89	0,019			1,46	0,0156
30	0,824	0,018	0,87	0,019			1,44	0,0154
31	0,807	0,017	0,85	0,018			1,42	0,0153
32	0,786	0,017	0,83	0,018			1,40	0,0151
33	0,770	0,016	0,81	0,018			1,39	0,0148
34	0,756	0,016	0,80	0,017			1,37	0,0146
35	0,743	0,016	0,79	0,017			1,35	0,0144
36	0,725	0,015	0,77	0,017			1,34	0,0143
37	0,704	0,015	0,76	0,016			1,33	0,0141
38	0,689	0,015	0,74	0,016			1,32	0,0138
39	0,678	0,014	0,72	0,016			1,30	0,0137
40	0,671	0,014	0,71	0,015			1,25	0,0137

41	0,657	0,014	0,70	0,015			1,21	0,0135
42	0,645	0,014	0,68	0,015			1,20	0,0134
43	0,629	0,013	0,67	0,014			1,19	0,0131
44	0,612	0,013	0,65	0,014			1,18	0,0131
45	0,599	0,013	0,64	0,014			1,17	0,0129
46	0,585	0,012					1,15	0,0127
47	0,572	0,012					1,13	0,0124
48	0,562	0,012					1,12	0,0123
49	0,552	0,012					1,10	0,0121
50	0,536	0,011					1,08	0,0120
51	0,522	0,011					1,07	0,0118
52	0,512	0,011					1,05	0,0115
53	0,502	0,011					1,04	0,0113
54	0,488	0,010					1,03	
55	0,478	0,010					1,03	0,0112
56	0,468	0,010					1,02	0,0110
57	0,460	0,010					1,01	0,0108
58	0,448	0,009					0,99	0,0107
59	0,438	0,009					0,98	0,0104
60	0,426	0,009					0,97	0,0104
61	0,417	0,009					0,95	0,0102
62	0,409	0,009					0,94	0,0102
63	0,400	0,009					0,92	0,0100
64							0,91	0,0100
65							0,89	0,0096
66							0,88	0,0095
67							0,86	0,0093

Appendiks 6 – Eksponentielle regressioner

