

Til
Energistyrelsen

Dokumenttype
Rapport

Dato
August, 2021

MÅLRETTET INDSATS FOR AT MINDSKE METANTAB FRA DANSKE BIOGASANLÆG



MÅLRETTET INDSATS FOR AT MINDSKE METANTAB FRA DANSKE BIOGASANLÆG

Projekt navn **Målrettet indsats for at mindske metantab fra danske biogasanlæg**
Modtager **Energistyrelsen**
Dokumenttype **Rapport**
Version **4.0**
Dato **26-08-2021**
Udarbejdet af **Einar Gudmundsson, Anders Fredenslund, Julie Maria Falk (Rambøll)**
Charlotte Scheutz (DTU Miljø)
Jacob Mønster (FORCE Technology)
Jørgen Hinge, Sune Petersen (Teknologisk Institut)

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

INDHOLD

Sammenfatning	2
1. Indledning	4
1.1 Danske erfaringer	4
1.2 Europæiske erfaringer	5
2. Projektets formål	6
3. Oversigt over deltagende anlæg og aktiviteter	7
4. Metoder: måling af metantab, egenkontrolprogram og skitseprojekt	9
4.1 Lækagesøgning	9
4.2 Måling af anlægs totale metanemission	10
4.3 Måling af emission fra punktkilder	13
4.4 Beregning af metantab på anlægsniveau	13
4.5 Beregning af metanemissionsfaktorer til brug for den nationale indrapportering	14
4.6 Egenkontrolprogrammer	15
4.7 Skitseprojekt til reduktion af metantab	16
5. Forbedring og kvalitetssikring af målemetoder	20
5.1 Test af metode til egenkontrol	20
5.2 Validering af målefirmaer	23
5.2.1 Validering: måling af biogasanlægs totale metanemission	23
5.2.2 Validering: lækagesøgning	24
5.3 Særlige måleforhold	25
5.3.1 Sporgasmåling i nær afstand til biogasanlæg	25
5.3.2 Estimat af metanemission fra stalde	27
6. Resultater	28
6.1 Resultater af målinger	28
6.1.1 Lækagesøgninger	28
6.1.2 Måling af biogasanlægs totale metanemission	32
6.1.3 Måling af emission fra punktkilder	36
6.1.4 Måling af total metanemission før og efter udbedring af lækager	37
6.1.5 Variation af total metanemission over tid	39
6.2 Metantab på anlægsniveau	40
6.3 Metanemissionsfaktorer	42
6.4 Egenkontrolprogrammer	42
6.5 Skitseprojekter	43
7. Vejledningsmateriale	47
7.1 Best practice	47
7.2 BAT (Best Available Technology)	47
7.3 Erfaringsudveksling	48
8. Måling af metanudledning fra åbne tanke	49
8.1 Problemstilling og formål	49
8.2 Projektaktiviteter	50
9. Konklusion og perspektivering	52
10. Referencer	54

SAMMENFATNING

Projektet er gennemført over en periode på ca. 1,5 år, og bygger videre på danske erfaringer ift. at måle og mindske metanudledning fra biogasproduktion. I projektet er der fastlagt metoder til måling af biogasanlægs metanudledning, identifikation af lækager, udarbejdelse af egenkontrolprogrammer samt udarbejdelse af skitseprojekter til reduktion af metantab.

Projektet har overordnet haft til formål at reducere metantab fra biogasanlæg og dermed mindske drivhusgasudledningen. En reduktion af metantab fra de gyllebaserede anlæg vil mindske drivhusgasudledningen fra landbruget, og dermed bidrage til at nå regeringens klimamål. Herunder har der været formål, at kvantificere udledningen til brug i den nationale opgørelse af drivhusgasudledninger.

Projektet har været opdelt i to overordnede opgaver. Den ene opgave har været at rådgive anlæggene, og biogasbranchen som helhed ift. tekniske muligheder for at reducere metanudledning. Den anden opgave har været at måle metanudledning, samt at identificere de kilder til metanudledning, der er på anlæggene. Der har været udført tre typer af målinger på anlæggene: (1) lækagesøgning til identifikation af kilder til udledning, (2) kvantificering af udvalgte punktkilder til metanudledning og (3) bestemmelse af anlæggenes totale metanudledning.

Projektet er gennemført med deltagelse af 60 danske biogasanlæg ud af de i alt 144 anlæg, der eksisterer p.t. De deltagende anlæg repræsenterer et bredt udsnit af de danske anlæg mht. anlægstype (fællesanlæg, gårdanlæg, industrianlæg og renseanlæg), anlægsstørrelse, brug af biogas i fx motor- eller opgraderingsanlæg, samt anlæggenes alder. Anlæggenes gasproduktion svarer til 45% af den samlede produktion af biogas i Danmark. Derudover er der modtaget målerapporter fra yderligere ni anlæg, der har fået udført tilsvarende målinger af total metanemission, således at udregning af emissionsfaktor er gjort for i alt 69 anlæg, der repræsenterer 59% af biogasproduktion i Danmark.

Der ses en del spredning i metantab for de forskellige anlæg, der vurderes at være delvist teknologiafhængig. Anlæggenes totale metanemission inkl. emission fra gasmotorer og opgraderingsanlæg måles til under 1,0% af produktionen på 11 af de 69 anlæg. På 15 af de 69 anlæg målt metanemission til at svare til 10% eller mere af produktionen. Lagertanke til biomasse (herunder slamlagre på renseanlæg) uden gasopsamling vurderes at være en væsentlig kilde til udledning. Da der typisk ikke er gasopsamling på slamlagre, kan dette være en del af forklaringen på en målt generelt højere udledning af metan på renseanlæggene sammenlignet med de øvrige anlægstyper.

Der er i projektet anvendt gaskamera til lækagesøgning på biogasanlæggene. Denne metode synliggør lækager med brug af et optisk filter, der viser metanudslip som en mørk "sky" på anlægget. Herved kan utætheder ofte ret præcist identificeres med henblik på udbedring. Dette er gjort på 49 af de deltagende anlæg. Der blev observeret flest lækager på fællesanlæggene (15,7 i gennemsnit), mens der for gårdanlæggene og renseanlæggene blev observeret hhv. 10,6 og 4,4 lækager i gennemsnit. Den oftest sete lækage er metan fra tryk/-vakuumentiler. Dette er et kendt problem, og et nyligt tysk studie har vist, at der kan tabes ca. 0,6-1,8% af produktionen grundet utætte ventiler.

Et delformål med projektet har været at bestemme emissionsfaktorer til brug i de nationale emissionsopgørelser mv. Hertil er anvendt en sporgasmetode, der måler anlæggenes totale

metanudledning på måletidspunktet. Samme målemetode har været anvendt i det frivillige måleprogram i regi af Biogas Danmark. Ved brug af denne metode er der observeret en gennemsnitlig total metanudledning på 2,5% af produktionen for alle anlægstyper defineret som summen af målt emission for alle anlæg divideret med summen af gasproduktion for alle anlæg. Den laveste gennemsnitsudledning ses for biogafællesanlæggene (1,9%), mens den højeste er målt for renselanlæggene (7,7%).

I projektet er der for seks af de deltagende anlæg udført målinger af total metanudledning før og efter udbedringer af utætheder. Disse målinger viser, at den totale udledning faldt med ca. 120 kg CH₄/time for de seks anlæg til sammen. Dette er en væsentlig reduktion, der svarer til 29.400 tons CO₂-ækv./år.

Der er udført skitseprojekter for 18 anlæg til reduktion af metanudledning. Et skitseprojekt er et tilbud biogasanlæggene fik til, at Rambøll kort beskrev projektet, evaluerede økonomien og miljøforbedringen (reduktion af metan udslip) ved gennemførelse af et tiltag på anlægget. Estimerede effekter ift. reduktion af drivhusgasser er ofte ret væsentlige, hvor der i et af projekterne er en estimeret effekt på 34.200 tons CO₂-ækv./år. Økonomien for gennemførelse af de forskellige projekter varierer. Nogle af projekterne er økonomisk rentable, idet et øget energisalg kan finansiere investering og drift.

1. INDLEDNING

Der blev i forbindelse med finansloven for 2019 aftalt at afsætte midler til en indsats for at mindske metanudledning fra danske biogasanlæg, som led i at reducere drivhusgasemissioner fra landbruget. Dette har ført til, at Energistyrelsen i 2019 udbød to opgaver under overskriften "Målrettet indsat for at mindske metantab fra danske biogasanlæg mv." – hhv. Opgave 1: Videnopbygning og erfaringsudveksling om forebyggelse af metantab på biogasanlæg mv., og Opgave 2: Måling af metantab fra biogasanlæg mv.

Rambøll har for Energistyrelsen udført Opgave 1 alene, mens Rambøll i samarbejde med DTU Miljø, Teknologisk Institut og FORCE Technology har udført Opgave 2. I projektforslaget blev følgende virksomheder endvidere godkendt som leverandører af måleydelser, og har udført målinger på en række biogasanlæg i forbindelse med Opgave 2: COWI, Dansk Biogas Rådgivning samt Dansk Gasteknisk Center.

Denne rapport er en samlet afrapportering af de to ovennævnte opgaver, med undtagelse af aktiviteten "Måling af metanudledning fra åbne tanke", der er en udløber af projektet, der er planlagt færdiggjort i løbet af 2021. Rapporten er skrevet, så den kan offentliggøres, hvorfor de anlæg, der har deltaget, er anonymiserede af hensyn til vilkår om fortrolighed.

Biogas består i væsentlighed af gasserne metan (CH_4) og kuldioxid (CO_2), hvor metan er et brændsel, der kan anvendes til en række energiformål. Fremstilling af biogas fra husdyrgødning og organiske restprodukter har flere fordele ift. miljø og klima. De væsentligste er erstatning af fossile brændsler samt nedbringelse af drivhusgasser fra husdyrgødning, der skyldes at afgasset husdyrgødning har en væsentlig mindre udledning, når den opbevares inden udspreddning på marker sammenlignet med ikke afgasset husdyrgødning (Sommer et al., 2001, 2004; Clemens et al., 2006; Møller & Moset, 2015). En anden meget væsentlig fordel ved biogasproduktion i relation til klimaet er, at biogas er lagerbart. Ved lagring af biogas i den danske gasforsyning, medvirker biogas til at sikre forsyningsikkerheden i et energisystem med en høj andel af vind- og solenergi.

De ovennævnte fordele i relation til klimaet bør betragtes i forhold til de udledninger, som biogasproduktionen medfører – både direkte og indirekte udledninger. Dette er gjort i flere studier af dansk biogasproduktion, der viser, at de udledninger, der skyldes anlæggenes energiforbrug og transport af biomasse, er relativt beskedne i sammenligning med de reduktioner, der kan opnås, når biogas erstatter afbrænding af fossile brændsler og reduceret metanudledning fra oplag af gylle (Naturstyrelsen, 2014, Scheutz & Fredenslund, 2019). Da metan er en relativt kraftig drivhusgas, viser studier ligeledes, at det er meget væsentligt, at metantab fra biogasproduktion begrænses. Tab af metan fra biogasanlæggene er også et økonomisk tab, hvormed tab af metan fra biogasanlæg både kan være kostbart for det enkelte anlæg og reducere klimafordelen ved produktionen. Et biogasanlæg med en årlig produktion på 5 mio. Nm^3 metan, vil med et metantab på fx 5% miste ca. 1,3 mio. kr. årligt i omsætning anslået en værdi for anlægget på 5 kr./ Nm^3 , og klimafordelen vil være reduceret med 5.000 ton CO_2 -ækv./år i forhold til, hvis anlægget ikke havde noget metantab.

1.1 Danske erfaringer

Nedenfor gennemgås kort danske erfaringer med måling mm. af metantab fra biogasanlæg, der har ligget til grund for de aktiviteter, der er udført i projektet.

I forbindelse med problemstillingen omkring tab af metan fra biogasanlæg blev der i perioden 2015-2016 udført projektet "Pilotprojekt til et frivilligt måleprogram for metanudledning fra

biogas- og opgraderingsanlæg" i et samarbejde mellem Energistyrelsen og Brancheforeningen for Biogas (nu Biogas Danmark). Projektet, der blev ledet af Dansk Gasteknisk Center og havde deltagelse af bl.a. DTU Miljø og Agrotech, undersøgte metanemissioner fra seks danske biogasanlæg med brug af forskellige målemetoder til dels lækagesøgning, måling af metanemission fra punktkilder og bestemmelse af anlæggenes totale metanemission (DGC, 2016). Projektet indbefattede indledende erfaringer med målinger af metantab fra biogasanlæg – inklusive de udfordringer der er forbundet med målingerne.

En af de fundne udfordringer, der blev set var, at identificering af metanpunktkilder og måling af emission fra disse ofte stemmer dårligt med måling af anlæggenes samlede emission. Samme konklusion er set i senere internationale projekter (se nedenfor). Oftest ses en underestimering ved brug af punktkildemålinger til bestemmelse af anlægs totale metanemission, som vurderes især at skyldes emissionskilder, der ikke opdages eller er måleteknisk svære at kvantificere – såsom diffuse emissioner fra åbne tanke (Fredenslund et al., 2018).

På baggrund af pilotprojektet, etablerede Biogas Taskforce v. Energistyrelsen sammen med Biogas Danmark i 2016 et frivilligt måleprogram for metantab fra biogas- og opgraderingsanlæg (Energistyrelsen, 2016). I det frivillige måleprogram har der været anvendt sporgasmålinger til bestemmelse af de deltagende anlægs totale metanudledning, ligesom der har været udført lækagesøgning med gaskamera, for at identificere de enkelte årsager til udledning. Det har især været de større biogafællesanlæg, der har deltaget i det frivillige måleprogram. Ordningen er forankret hos Biogas Danmark, og metanemissioner overvåges og rapporteres hertil. Ordningen har omfattet i alt ca. 12 anlæg, der grundet de deltagende anlægs størrelse har omfattet en produktion på i alt ca. 150 mio. Nm³ metan/år og dermed en ret stor del af den danske biogas produktion (Nielsen, 2019).

Størstedelen af dansk produktion af biogas sker på anlæg, der behandler husdyrgødning og organiske restprodukter. Det er på disse anlæg, hvor ovenstående aktiviteter har haft størst fokus. Biogasanlæg på renseanlæg udgør dog også en væsentlig del af den danske produktion af biogas, og reduktion af metanudledning fra de anlæg er vigtigt af samme årsager som de anlæg, der behandler husdyrgødning og organisk affald. Målinger af metanemission fra renseanlæg har dog indgået som del i forskningsprojekter – herunder projektet "Full-scale quantification of greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants" udført på DTU Miljø (Delre, 2018). Sidstnævnte projekt viste, at direkte emissioner af drivhusgasser (herunder metantab fra biogasanlæg) ofte udgør en meget væsentlig del af klimabelastningen fra behandling af spildevand.

1.2 Europæiske erfaringer

I Sverige og Schweiz er der p.t. (som de eneste europæiske lande sammen med Danmark) frivillige, nationale ordninger til måling af metantab (European Biogas Association, 2020). Disse ordninger benytter on-site målinger med fokus på punktkilder, der dels udgør risiko for emission, og dels er måleteknisk mulige at kvantificere.

Tyskland har den største biogassektor i Europa med ca. 8.000 biogasanlæg. En stor del af de studier, der er beskrevet i den videnskabelige litteratur omkring metanudledning fra biogasanlæg, stammer fra Tyskland. I lighed med hvad der er observeret i Danmark, er der i tyske studier observeret ret store forskelle anlæggene imellem i den andel af gasproduktionen, der tabes til omgivelserne. I en tysk undersøgelse, omfattende 10 anlæg, fandtes metanudledningen at variere mellem 0,2 og 11,2 procent af gasproduktionen anlæggene imellem (Liebetau et al., 2013). Åbne tanke med afgasset biomasse samt lækage fra tryk-/vakuumentiler angives som væsentlige årsager til metanudledning i de tyske undersøgelser.

Måling af metantab fra biogasproduktion har været emnet for de to EU-støttede projekter "MetHarmo – European harmonisation of methods to quantify methane emissions from biogas plants" (afsluttet 2018), samt "EvEmBi – Evaluation and reduction of methane emissions from different European biogas plant concepts" (igangværende). Disse projekter har en bred deltagelse med institutioner fra flere Europæiske lande. DTU Miljø deltager i disse projekter, og udfører målinger med den sporgasmetode, der i nærværende projekt er brugt til at bestemme den totale metanemission fra biogasanlæg.

I projektet "MetHarmo" blev der udført samtidige målinger af metanemission fra biogasanlæg med brug af flere målemetoder – både on-site måling af punktkilder og remote sensing metoder til bestemmelse af anlæggenes totale metanemission. Disse målinger blev foretaget over 4-5 dage på hvert af de to anlæg, hvor de samtidige målinger blev udført. Rapporten "Recommendations for reliable methane emission rate quantification at biogas plants" (Clausen et al., 2019) indeholder fordele og begrænsninger samt "best practise" ved de forskellige målemetoder, der er undersøgt i projektet "MetHarmo".

2. PROJEKTETS FORMÅL

Projektet har været udbudt som to opgaver, med hver deres indhold. Mht. Opgave 1 har der af Energistyrelsen været ønsket konsulentbistand til at opbygge og udbrede viden om, hvordan man forebygger metantab fra biogasanlæg og tilknyttede anlæg. For at gøre dette skulle konsulenten:

1. bistå anlæggene med at reducere udslippet af metan fra biogasproduktion bl.a. ved at udarbejde egenkontrolprogrammer, definere tiltag og vælge teknologier, der nedbringer metantabet fra anlægget mest muligt
2. udvikle vejledningsmateriale til biogasanlæggene med 'best practice' for reduktion af metantab fra anlæggene
3. facilitere erfaringsudveksling om forebyggelse af metantab på biogasanlæg mv.
4. samarbejde med følgegruppen for den samlede indsats og andre tilknyttede konsulenter

Mht. Opgave 2 har der af Energistyrelsen været ønsket konsulentbistand til at gennemføre et måleprogram, der dokumenterer metantab fra danske biogasanlæg og tilknyttede anlæg, samt opbygger viden om metoder til måling af metantab på biogasanlæg mv.

Formålet med måleprogrammet har været, at

1. udvikle, forbedre og kvalitetssikre metoder til at måle metantab fra anlæg
2. gennemføre lækagesøgninger, der giver biogasanlæg indsigt i kilder til metanemission fra biogasproduktion og danne grundlag for egenkontrolprogrammer
3. gennemføre målinger, der kvantificerer metantab fra biogasanlæg og tilhørende anlæg
4. etablere en landsdækkende statistik over metanudledning fra biogasproduktion, der kan bruges til nationale emissionsopgørelser og klimaplaner mv.
5. at bidrage til formulering af fremtidig regulering vedrørende metantab fra biogasanlæg

3. OVERSIGT OVER DELTAGENDE ANLÆG OG AKTIVITETER

Alle biogasanlæg i Danmark har fået tilbuddet om at deltage i indsatsen, herunder rensesanlæg, fællesbiogasanlæg, gårdanlæg og industrianlæg. Der er 144 biogasanlæg i Danmark. Indsatsen har inkluderet tilbud om følgende ydelser til alle biogasanlæg:

Tabel 1. Oversigt over ydelser.

Nr.	Ydelse
1	Indgåelse af aftale om ydelsesomfang. Drøftelse af ydelsesindhold og forventningsafstemning.
2	Udarbejdelse af egenkontrol program og anvisning til reduktion af lækagerisiko på eksisterende installationer.
3	Lækagesøgning og anbefaling vedr. udbedring af lækager.
4	Fjernmåling med sporgas til kvantificering af metantab Punktkildemåling på motorudstødning, procesventilation, opgraderingsafkast
5	Skitseprojekt for nye anlægstillæg for reduktion af metan emission.

Der er 59 anlæg tilmeldt de forskellige ydelser, som anført i tabel 2 nedenfor. Anlæggene er opdelt i tre kategorier mht. størrelsen af biogasproduktion samt i efter anlægstype (landbrugsanlæg (fællesanlæg og gårdanlæg), og rensesanlæg herunder også industrianlæg (industrianlæg er biogasanlæg på virksomheder, som selv renser deres spildevand)).

Tabel 2. Oversigt over anlæg tilmeldt forskellige ydelser i projektet delt op efter størrelsen af metanproduktion samt typen af anlæg. Til sammenligning er der registeret 144 anlæg i Danmark, hvoraf de 87 er landbrugsanlæg og de 57 er rensesanlæg.

Ydelse	Antal tilmeldte anlæg delt op efter metanproduktion (mio. Nm ³ CH ₄ /år)				Antal tilmeldte anlæg delt op efter anlægstype		
	0,6	0,6-3,1	>3,1	I alt	Landbrugsanlæg (fællesanlæg og gårdanlæg)	Rensesanlæg	I alt
1	22	17	20	59	34	25	59
2	19	13	7	39	18	21	39
3	21	17	12	50	27	23	50
4	22	17	20	59	34	25	59
5	8	8	2	18	7	11	18

Ud over de 59 tilmeldte anlæg, er der udført sporgasmåling på yderligere et anlæg i forbindelse med valideringsforsøg og undersøgelse af variation af emission. Dermed er det totale antal anlæg i projektet 60.

De deltagende anlæg repræsenterer et bredt udsnit af de danske anlæg mht. anlægstype (landbrugsanlæg, rensesanlæg og industrianlæg), anlægstørrelse, brug af biogas i fx motor- eller opgraderingsanlæg, samt anlæggenes alder. Tabel 3 og 4 viser repræsentativiteten af de deltagende anlæg i forhold til anlægstype og metanproduktion. Samlet set er der i projektet tilmeldt 59 anlæg ud af 144 eksisterende anlæg svarende til 41% (Tabel 3). Fordelt på anlægstype fremgår det at de deltagende anlæg udgør mellem 40% (landbrugsanlæg) og 44% (rensesanlæg) af de eksisterende anlæg inden for anlægstypen. Der ses dermed en lille overrepræsentation af rensesanlæg i undersøgelsen.

Ses på repræsentativiteten af de deltagende anlæg i forhold til anlæggenes størrelse målt på metanproduktion, fremgår det, at der er udført målinger på 37% af alle danske anlæg i størrelseskategorien lille og mellem (<3,1 mio. Nm³ CH₄/år) og 47% af alle store (>3,1 mio. Nm³ CH₄/år) danske anlæg. Samlet set er der udført målinger på anlæg dækkende 45% af den danske biogasproduktion.

Tabel 3. Oversigt over de deltagende anlæg (Ydelse 1 og 4), anlæggenes type sammenlignet med det samlede antal biogasanlæg i Danmark.

		Anlæg delt op anlægstype		I alt
		Landbrugsanlæg	Renseanlæg og industrianlæg	
Alle anlæg i Danmark	Antal anlæg	87	57	144
	Andel af totale anlæg i Danmark	60%	40%	
Deltagende anlæg	Antal anlæg	35	25	59
	<i>De deltagende anlægs andel af det samlede antal anlæg i Danmark</i>	<i>40%</i>	<i>44%</i>	<i>41%</i>

Tabel 4. Oversigt over de deltagende anlæg (Ydelse 1 og 4), anlæggenes størrelse i forhold til metanproduktion sammenlignet med den samlede metanproduktion på biogasanlæg i Danmark.

		Anlæg delt op efter metanproduktion (mio. Nm ³ CH ₄ /år)			I alt
		0,6	0,6-3,1	>3,1	
Alle anlæg i Danmark	Antal anlæg	40	61	43	144
	Samlede metanproduktion (mio. Nm ³ CH ₄ /år)	11,2	93,1	412,4	516,6
Deltagende anlæg	Antal landbrugsanlæg	2	13	20	35
	Samlede metanproduktion på landbrugsanlæg (mio. Nm ³ CH ₄ /år)	0,7	17,0	195,4	213,1
	Antal renseanlæg	12	12	0	24
	Samlede metanproduktion på renseanlæg (mio. Nm ³ CH ₄ /år)	3,4	17,6	0	21,0
	<i>De deltagende anlægs andel af den samlede metanproduktion i Danmark</i>	<i>37%</i>	<i>37%</i>	<i>47%</i>	<i>45%</i>

Hertil er der modtaget målerapporter af total metanudledning fra 9 anlæg, der deltog i det frivillige måleprogram, men ikke deltog i denne indsats. Disse anlæg er hovedsageligt fællesanlæg. Når disse anlæg er talt med dækker indsatsen (nærværende projekt) og det frivillige måleprogram tilsammen 59% af de danske biogasanlægs metanproduktion.

4. METODER: MÅLING AF METANTAB, EGENKONTROLPROGRAM OG SKITSEPROJEKT

I dette afsnit gennemgås de metoder, der er anvendt i projektet til dels måling af metanudledning (lækagesøgning, måling af anlægs totale metanemission, måling af metanemission fra punktkilder) samt udarbejdelse af egenkontrolprogrammer og skitseprojekter for de enkelte anlæg.

Som beskrevet i rapportens indledning, er dette projekt udført på baggrund af tidligere erfaringer med måling af metanudledning fra biogasanlæg fra hhv. pilotprojekt og frivilligt måleprogram i regi af Biogas Danmark. Ud fra disse erfaringer, var metoder til henholdsvis lækagesøgning og måling af total metanemission etableret fra projektets start. Disse metoder indbefattede brug af gaskamera til lækagesøgning og sporgasmålinger til bestemmelse af anlæggenes totale metanemission. Andre målemetoder har ikke været udelukket, men der blev i forbindelse med validering af målefirmaer ikke været fundet andre velegnede metoder til at udføre disse måleopgaver. Validering af målefirmaer beskrives i afsnit 5.2. Alle lækagesøgninger, hvis resultater fremgår i denne rapport, er udført med brug af gaskamera som beskrevet i afsnit 4.1, mens alle målinger af anlægs totale metanemission er udført som beskrevet i afsnit 4.2. I forhold til måling af metanemission fra punktkilder, har der været behov for en større grad af metodefrihed grundet varierende muligheder for udførelse af målinger på de forskellige punktkilder.

Resultater af målinger samt udarbejdelse af egenkontrolprogrammer og skitseprojekter beskrives i afsnit 6. Appendix 2 indeholder manual for de forskellige målinger, der beskriver best practise.

4.1 Lækagesøgning

Ved lækagesøgning med gaskamera identificeres de kilder til metanudledning, der må være på anlæggene – både utilsigtede lækager såsom utætheder på gasbærende anlægsdele, reaktorer, rørføringer og gaslagre. Desuden identificeres andre kilder til metanemission, der ikke skyldes fejl og mangler. Sidstnævnte kan for eksempel være tanke til opbevaring af udrådnnet biomasse uden gasopsamling. Den beskrevne metode blev ligeledes anvendt i "Pilotprojekt til et frivilligt måleprogram for metanudledning fra biogas- og opgraderingsanlæg" (DGC, 2016).

Formålet med lækagesøgning har været at give de enkelte anlæg mulighed for at vurdere, hvor de skal sætte ind for at reducere metanudslip.

Søgning efter metanlækager på biogasanlæggene foretages ved hjælp af et infrarødt kamera. Alle deltagende målefirmaer har anvendt samme type gaskamera: FLIR GF320. De specielle filtre i kameraet gør det muligt at se udslip af metan som røgfaner fra utætheder. Biogasanlægget gennemgås systematisk med kameraet og eventuelle lækager dokumenteres ved optagelse af filmsekvenser, som gør det muligt at identificere, hvorfra metanudslippet kommer. Efter endt gennemgang af biogasanlægget udarbejdes en rapport med fotos og filmsekvenser af de identificerede metanlækager og evt. forslag til udbedring af utæthederne.

Gaskameraet giver visuel information til vurdering af størrelsen af den enkelte lækage, men kan ikke umiddelbart kvantificere metantabet. Hvis der ønskes tal for, hvor meget metan, der tabes fra en specifik punktkilde, kan der gennemføres en supplerende måling med særligt måleudstyr. Til lækagesøgning anbefales det, at gaskamera suppleres med en "sniffer", der er et måleinstrument, der kan måle koncentration af metan i luften tæt ved kilden. Erfarne måleteknikere vil kunne finde lækager med en "sniffer", som er svære at detektere med et

kamera. Det kan være lækager med et meget lille eller meget stort metanflow; sådanne lækager kan være meget vanskelige at se i kameraet.

Lækagesøgningen planlægges, så den foretages på tidspunkter, hvor biogasanlægget er i normal drift (normalt tryk) og på dage uden kraftig vind og nedbør. Metanlækagesøgningen har været gennemført på både gårdbiogasanlæg, biogasfællesanlæg og på spildevandsrensningeanlæg med biogasproduktion.

Lækagesøgningen, som udført her, er en kvalitativ måling, hvilket betyder, at der ikke bestemmes emissionsrater fra de enkelte lækager. I forhold til at vejlede anlæggene, har der i dette projekt været anvendt en indikation på de forskellige lækagers størrelse i form af en kategorisering af hver enkelt lækage som henholdsvis "lille", "mellem" eller "stor". Vurderingen af hver enkelt lækages størrelse i kategorierne bestemmes af måleoperatøren ud fra en vurdering af de billeder, der opfanges med gaskamera evt. suppleret med måling af metankoncentration ved lækagen med brug af en "sniffer". Vurderingen er således baseret på måleoperatørens erfaring med tolkning af billeder og er ikke fastlagt ud fra præcise afgrænsninger mellem de forskellige lækagekategorier.

For hver udført lækagesøgning, har det udførende målefirma udarbejdet en rapport, der er tilsendt anlægget. Disse rapporter har indeholdt følgende oplysninger:

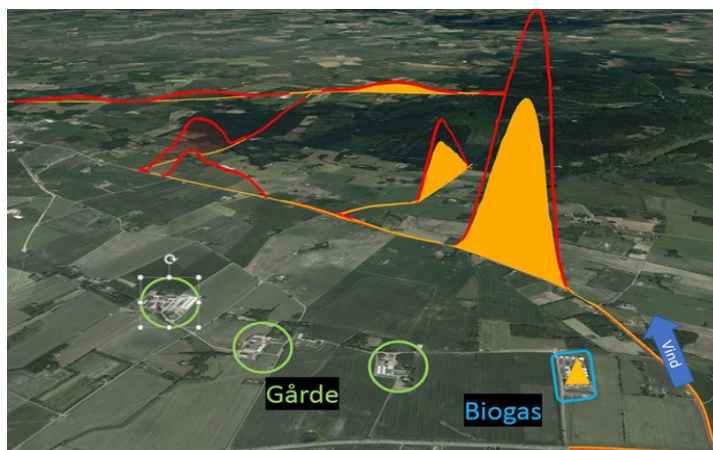
- Sammenfatning med angivelse af antal lækager (total samt antal lækager fordelt på "lille", "mellem", "stor")
- Oplysninger om måletidspunkt, måleoperatør, vejrtilstand og eventuelle specielle forhold på måledagen
- Metodebeskrivelse inkl. procedure for gennemgang af anlægget og beskrivelse af anvendt måleudstyr
- For hver af de fundne lækager: video og foto, kort beskrivelse, forslag til afhjælpning

4.2 Måling af anlægs totale metanemission

Udledningen af metan fra et biogasanlæg kan ske fra mange forskellige punktudslip samt diffuse kilder på anlægget, hvilket gør det vanskeligt at kvantificere størrelsen af den totale udledning. En af de mest anerkendte metoder til at overkomme denne udfordring kaldes den dynamiske sporgasdispersionsmetode (Scheutz et al., 2011; Mønster et al., 2014), eller i kort form "sporgasmetode". Teorien bag sporgasmetoden er, at gasser med lang atmosfærisk levetid vil opblandes og transporteres på samme måde i atmosfæren. Under antagelse af, at denne forudsætning er gældende, kan en kendt mængde af en sporgas udledes på samme sted(er) som primærkilderne til metan på biogasanlægget. Efterfølgende måles koncentrationen af sporgas og metan så langt nedvinds anlægget, at anlægget kan betragtes som én punktkilde. Forholdet mellem koncentrationen af metan og sporgas på målestedet vil være det samme som forholdet mellem udledningen af sporgas og metanemissionen. Koncentrationen af metan i nedvindsfanen er ofte imellem 10 og 100 ppb (parts per billion) over baggrundkoncentration (der typisk varierer mellem 1.8 og 2.0 ppm (parts per million)), og for at kunne måle denne relative lille koncentrationsforskel kræves yderst fintfølelse analytiske instrumenter.

I dette projekt har der været anvendt to modeller af analytisk udstyr til måling af koncentrationer af metan og sporgas. Den ene er en Picarro G2203 Gas Concentration Analyzer, mens den anden er en Los Gatos Research Methane/Acetylene Analyzer. Begge instrumenter måler gaskoncentrationer med præcision i ppb (parts per billion) niveau.

Figur 1 viser et eksempel på en sporgasmåling, hvor der måles koncentrationer af metan og sporgas nedvinds et biogasanlæg. I dette eksempel ses det, at der i biogasanlæggets omgivelser er andre udledere af metan - de tre gårde markeret med grønne cirkler. Eksemplet illustrerer, at sporgas kan anvendes som indikator for, om de forhøjede metanniveauer, der ses nedvinds anlægget, skyldes udledning fra anlægget eller stammer fra andre udledere i området.



Figur 1. Illustration af måling af et anlægs totale metanemisssion med sporgas. Højden af de røde og gule kurver er proportional med målte koncentrationer af hhv. metan og sporgas. Den gule trekant angiver sted for frigivelse af sporgas på biogasanlægget.

Der måles indledningsvist på og omkring biogasanlægget for at finde de primære kilder til metan samt lokalisere eventuelle andre metankilder i området, som kan interferere med målingerne. Derefter placeres sporgasflasker tæt på de primære metanemisssionsområder på anlægget, og metan- og sporgaskoncentrationen måles langs en kørbare vej, der går på tværs af nedvindsfanen. Vejen skal have en passende afstand fra kilden, og der må ikke være andre metankilder til stede imellem biogasanlægget og målevejen. Afstanden til målevejen afhænger af, hvor stort biogasanlægget er, og hvor meget metan, der emitteres. Afstanden til målevejen bør være minimum 4-5 gange bredden af det emitterende område på biogasanlægget og gerne længere væk, da dette giver en større opblanding af metan og sporgas, og dermed en bedre simulering af metanemisssionen. Målingerne kan dog ikke foretages længere væk, end at koncentrationsforskellen mellem baggrund og fanen af metan og sporgas fra anlægget kan måles med det analytiske udstyr.

Der bør udføres minimum 10 fanemålinger, hvor korrelationskoefficienten r^2 mellem metan og sporgas er større end 0.80. Endvidere bør signal-/støjforholdet være på minimum 10. Dette datakvalitetskriterie er anbefalet i en større amerikansk undersøgelse af målemetoden (Forster-Witting et al., 2015). Opnås de ønskede datakvalitetskriterier, vil usikkerheden på resultatet af den totale metanemisssion typisk være under 20% (Mønster et al., 2014, Fredenslund et al., 2019).

Usikkerheden på en udført måling består af usikkerheden på målemetoden samt variabiliteten på den individuelle kvantificering. Målemetodens usikkerhed kan estimeres ved opsætning af et usikkerhedsbudget, som inkluderer usikkerheder forbundet med frigivelse af sporgas (sporgas placering ift. metankilde, flowmeter, renhed af sporgas), kalibrering af analyseudstyr (usikkerheder på kalibreringsgasser og gasblandesystem), mm (Fredenslund et al., 2019). Alle disse usikkerheder bør være tilfældige (dvs. kan gå begge veje), og de kan derfor akkumuleres.

Den samlede usikkerhed på målemetoden beregnes som kvadratroden af summen af kvadraterne på de individuelle usikkerheder ('Gaussian law of error propagation'). Variabiliteten på en kvantificering beregnes som standard error of mean på et 95% konfidensinterval. Den samlede usikkerhed på en udført kvantificering (måling) beregnes som kvadratroden af summen af kvadraterne hhv. usikkerheden på metoden og variabiliteten på målingen.

Sporgasmetoden kan også bruges til at kvantificere metan fra punktkilder, selvom disse er placeret på steder, hvor der er emission af metan fra andre kilder. Sporgas frigives med et kendt flow på det sted eller steder, hvor der er et "hotspot" af metanudslip. Samtidigt måles metan- og sporgaskoncentrationen 10-20 meter nedvinds fra emission/frigivelsesstedet. Forholdet imellem koncentrationen af sporgas og metan findes med et scatterplot og lineær regression, og emissionen af metan fra den enkelte kilde kan dermed findes. Den grundlæggende idé for denne stationære sporgasmetode fra enkeltkilder er beskrevet af Fredenslund et al. (2010).

I dette projekt er der anvendt en rapport skabelon (Excel-ark), hvor hver af de udførte målinger af biogasanlægs' totale metanemission er rapporteret. Følgende er rapporteret i forbindelse med hver måling i rapportskabelonen:

- Oplysninger om anlæg (navn, adresse, kontaktperson)
- Oplysninger om målefirma (firmanavn, kontaktoplysninger)
- Dato og tidspunkt for den udførte måling
- Evt. bemærkninger om anlæggets drift – herunder om der var forhold, der vurderes at have påvirket metanudledning
- Gasproduktion på måletidspunkt (kg CH₄/time)
- Rådata for måling (gaskoncentrationer, koordinater mv.)
- Oplysninger om sporgasfrigivelse (antal flasker, frigivelsesrate)
- Metanemission, signal/støj forhold, korrelation mellem metan/sporgas (R²) for hvert udført transekt
- Total metanemission og metantab i % af gasproduktion
- Usikkerhed på måling
- Fire figurer: "Screening for metan og sporgas i anlæggets omgivelser", "Screening for metan og sporgas på anlægget", "Eksempel på repræsentativ fanemåling" og "Eksempel på integration af fanemålinger"
- Metodebeskrivelse

Anlæggenes gasproduktion på måletidspunktet er oplyst af anlægget. Anlæggene har forskellig mulighed for at måle deres gasproduktion. De større anlæg har styrings-, regulerings- og overvågningsanlæg installeret, hvor metanproduktionen logges med brug af flowmåling og måling af metanindhold i gasstrømmen på anlægget. Dette måles ofte flere steder fx output fra hver reaktor, output fra opgraderingsanlæg mm.

Mindre biogasanlæg har ofte færre muligheder til overvågning af produktionen. For nogle af de mindre biogasanlæg er gasproduktionen estimeret med brug af oplysninger om elproduktion og en elvirkningsgrad for motoranlægget.

Det var ved projektets start vidst, at muligheder for opgørelse af gasproduktionen på de forskellige anlæg vil variere. Derfor har det været op til det enkelte målefirma at vurdere, hvilke oplysninger fra de forskellige anlæg, der mest præcist angiver gasproduktion på måletidspunktet. Målefirmaer har ifm. rapportering angivet, hvis der er anvendt en metode, hvor usikkerheden er vurderet relativt høj – som fx beregning af gasproduktion ud fra elproduktion og antaget virkningsgrad.

4.3 Måling af emission fra punktkilder

Dette afsnit beskriver de metoder, der som udgangspunkt har været anvendt til bestemmelse af metanemission fra punktkilder (især gasmotorer, opgraderingsanlæg og procesventilation/lugtfiltre). Grundet punktkildernes forskellige beskaffenhed, har der været en højere grad af metodefrihed i forbindelse med måling af emission fra punktkilder sammenlignet med lækagesøgning og måling af anlægs totale metanemission.

For at måle emissionen fra et opgraderingsanlæg tages prøver af gassen, der føres til opgraderingsanlægget, samt prøver af produktet, som tilføres naturgasnettet, samt fra afkastet, som udledes til atmosfæren. Prøverne opsamles ved normal drift og strækker sig over et passende stykke tid (fx 2*30 minutter) for at udjævne eventuelle mekaniske variationer i emissionen pga. opgraderingsprocessen. Prøverne analyseres enten på stedet med fx flammeioniseringsdetektor, eller der indsamles gasprøver til senere laboratorieanalyse.

Ovenstående metode tager kun højde for metanemission fra opgraderingsanlæggets afkast. Hvis der er emissioner fra lækager på systemet, vil disse ikke blive medregnet. Sådanne diffuse emissioner fra et opgraderingsanlæg vil dog være medtaget som en del af emissionen i en evt. totalmåling med sporgasmetode. Alternativt er der benyttet en "fokuseret sporgasmetode", hvor sporgas frigives præcist ved opgraderingsanlægget og koncentrationen af sporgas og metan måles nedvinds fra anlægget som beskrevet i afsnit 4.2. Ved anvendelse af denne metode måles den samlede emission fra opgraderingsanlægget dvs. både metan fra afkast samt diffusive metanemissioner fra opgraderingsanlægget.

Metanemissionen fra en gasmotor måles ved at udtage en delstrøm af afkastet og analysere den for metan samt måle flowet i afkastet. Metankoncentrationen måles typisk med flammeioniseringsdetektor. Flowet i motorafkastet måles typisk med et pitotrør. Emissionen beregnes ud fra flow og koncentration. Temperaturen i røggassen måles for at kompensere for denne i den endelige emissionsberegning.

Måling af punktkilder er i dette projekt typisk udført i forbindelse med enten en lækagesøgning eller måling af biogasanlæggets totale metanemission. Disse målinger blev af budgetmæssige årsager udført i det omfang, målepunkter var tilgængelige for det enkelte målefirma uden brug af lift eller lignende. Det er derfor ikke på alle anlæg, at der er udført målinger af punktkilder.

4.4 Beregning af metantab på anlægsniveau

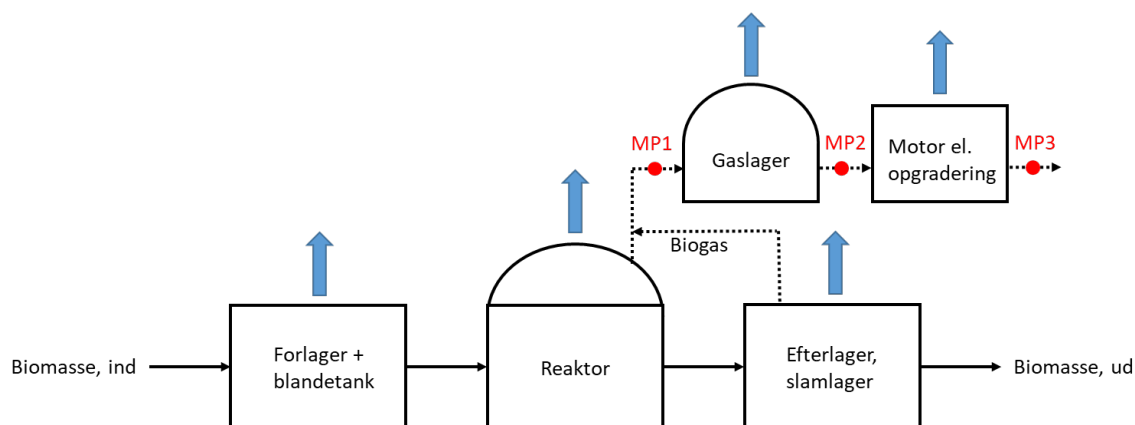
Ved metantab menes der, hvor meget af biogasanlæggets metanproduktion, der tabes til omgivelserne. Metantabet for de individuelle anlæg er beregnet på baggrund af målt total metanemission samt gasproduktionen registreret på anlægget på den pågældende måledag. Metantabet angives i procent og beregnes som vist i formlen:

$$\text{Metantab (\%)} = \frac{E \text{ (kg CH}_4\text{/time)}}{P \text{ (kg CH}_4\text{/time)} + E \text{ (kg CH}_4\text{/time)}}$$

hvor E er den målte totale metanemission fra anlægget (kg CH₄/time) og P er den registrerede metanproduktion på anlægget på måledagen. Den totale metanemission målt med sporgasmetoden inkluderer alle metanudledninger fra anlægget herunder metan fra lækager, tanke, biomasseoplæg på anlægget, motor og gasopgraderingsanlæg mm. Den målte metanemission lægges til den registrerede produktion, da de fleste metanudledninger fra anlægget som oftest ikke indgår i den registrerede metanproduktion. For eksempel er typiske årsager til lækage tryk-/vakuumentiler på reaktorer samt metanudslip fra lagertanke uden

gasopsamling. I begge tilfælde, er den metangas, der siver ud, ikke registreret på anlægget som produceret og vil potentielt kunne realiseres ved udbedringer.

På anlæg, hvor gasproduktionen måles før gaslager eller før motor/opgradering (hhv. MP1 og MP2 på Figur 2, vil den registrerede metanproduktion være lidt højere sammenlignet med, hvis den måles efter motor/opgraderingsanlæg grundet lækager i gasbeholder og/eller metanslip i motor/opgradering. I et sådanne tilfælde ville det være mest korrekt at fratække fx metanslipet fra motor/opgradering fra summen af den målte metanemission og den registrerede metanproduktion. Dette er dog udeladt i denne rapport, idet kun et fåtal af de undersøgte anlæg har registreret metanproduktionen før gaslager eller motor/opgradering. Beregninger har endvidere vist, at det stort set ingen indflydelse har på det beregnede metantabs størrelse.



Figur 2. Simpelt flowdiagram for et biogasanlæg. De blå pile angiver mulige steder for metanudledning på anlægget. MP1, MP2 og MP3 angiver målepunkter, hvor gasproduktionen er bestemt for forskellige anlæg i projektet.

Det gennemsnitlige metantab for forskellige anlægstyper (fællesanlæg, gårdanlæg, industrianlæg og renseanlæg) er beregnet som følger:

$$\text{Metantab} = \left(\frac{E_1}{P_1 + E_1} + \frac{E_2}{P_2 + E_2} + \frac{E_3}{P_3 + E_3} \dots + \frac{E_z}{P_z + E_z} \right) / z$$

hvor E_{1-z} er målte metanemissioner (kg CH₄/time) på de enkelte anlæg (1-z) og P_{1-z} er den metanproduktionen (kg CH₄/time) registreret på anlæggene

4.5 Beregning af metanemissionsfaktorer til brug for den nationale indrapportering

Det har været en opgave i projektet, at beregne emissionsfaktorer til anvendelse i den nationale opgørelse og indrapportering af drivhusgasser. Den nationale indrapportering er baseret på indrapporterede, nyttiggjorte metanproduktioner på danske biogasanlæg. Metanemissionsfaktorer er derfor beregnet som produktionsvægtede metanemissionsgennemsnit, hvor metanemissionerne er vægtet ift. anlæggenes metanproduktion jf. nedenstående formel:

$$\text{Emissionsfaktor} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_z}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_z}$$

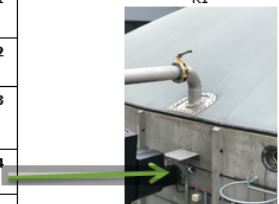

hvor E_{1-z} er målte metanemissioner (kg CH₄/time) på de enkelte anlæg (1-z) og P_{1-z} er metanproduktionen registreret på anlægget (kg CH₄/time). Det bemærkes, at da indrapporteringen er baseret på nyttiggjort metanproduktion (og ikke anlæggenes samlede metanproduktion ($E+P$)) indgår målte emissioner fra anlægget ikke i nævneren i den angivne formel.



4.6 Egenkontrolprogrammer

Egenkontrolskemaet er et hjælpemiddel til lækagesøgning på anlægget. Egenkontrolprogrammet udføres som en liste over alle gasbærende komponenter, med billede af komponenten, beskrivelse af hvad der skal lækagesøges på, metode for lækagesøgningen og anbefalet hyppighed for lækagesøgningen.

Skemaet er opbygget på baggrund af en systematisk gennemgang af anlæggets enheder og komponenter følgende gasflowet gennem anlægget. Under gennemgangen registreres de potentielle steder på anlægget, der kan give anledning til lækage. For hver enkelt lækage angives metode samt hyppigheden, hvormed det anbefales, at der udføres lækagekontrol.

I skemaet er på relevante komponenter anført anbefaling vedr. installationen, som kunne reducere risikoen for lækage og gøre tilsyn nemmere. Eksempel på skemaopbygning fremgår nedenunder. Dette er uddrag fra et skema, som fylder 46 sider.

Nr.		Komponent	Hyppighed*	Metode	Udført dato	Resultat/konklusion
3.1		Flange montage i membran.	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
3.2		Flangesamlinger	Å	Sæbevand eller lækagespray.		
3.3		Butterflyventil: Akselgennemføring	Å	Sæbevand eller lækagespray.		
3.4		Gennemføring i betonvæg	Å	Sæbevand eller lækagespray.		
4.1		Flanger	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
4.2		Skueglasflanger Kabelgennemføring	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
4.3		Sikkerhedsventil.	U	Sniffer under hætte. Hvis ventilen er utæt, anbefales at den udskiftes. Vi anbefaler at ny sikkerhedsventil bliver vandlås (type, som ikke er selvtømmende under afblæsning), som placeres med rørforbindelse ved tankfod, hvor den kan nærmest tilses.		
4.4		Dæksel membranmontage Omrørdæksel	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
4.5		Butterflyventil: Akselgennemføring	Å	Sæbevand eller lækagespray.		

Nr.	Billede	Komponent	Hyppighe d*	Metode	Udført dato	Resultat/konklusion
87.1		Trykregulator: Samlinger i ventilhus	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
87.2		Gevindsamlinger	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
87.3		Flangesamlinger	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
87.4		Butterflyventil: Akselgennemføringer	Å	Sæbevand eller lækagespray. Lækager mærkes på billedet.		
88.1		Afblæsning sikkerhedsventiler, evt. utætte ventiler	Å	Sniffer i stille vejr.		

Figur 3. Uddrag af egenkontrolskema udarbejdet for et af de deltagende biogasanlæg.

4.7 Skitseprojekt til reduktion af metantab

Rambøll har udarbejdet et produktkatalog over tiltag, som kan reducere anlæggenes metanudslip. Løsningernes formål er at gennemføre et tiltag, som reducerer anlæggets drivhusgasbelastning og i nogen tilfælde ligeledes giver anlægget en positiv økonomisk gevinst. Ud over løsningerne i løsningskataloget kan anlæggene selv vælge et tiltag, som de finder interessant.

Skitseprojektet indeholder en kort løsningsbeskrivelse, tekniske beregninger, beskrivelse af miljøgevinst og økonomisk vurdering: kalkulation af anlægsinvestering og driftsudgifter samt Nutidsværdi henholdsvis NPV10 og NPV20. Resultatet af evalueringen kan være positivt eller negativt NPV.

Nutidsværdi er værdien nu af en række fremtidige betalinger og indtægter, når der tages hensyn til rente. Ved bedømmelse af en investering eller ved sammenligning af flere investeringer, kan man beregne nutidsværdien ved at tilbagediskontere (tilbageskrive) alle de fremtidige betalinger og indkomster, der knytter sig til den pågældende investering. Ved sammenligning af investeringer er det investeringen med den største nutidsværdi, der er den mest fordelagtige. Anlægsinvesteringen er en del af nutidsværdien.

NPV10: Nutidsværdi beregnet over 10 år

NPV20: Nutidsværdi beregnet over 20 år

Produktkatalogerne for henholdsvis, biogasanlæg (landbrugsanlæg) og renseanlæg er gengivet nedenfor. Løsningerne kan kombineres.

Tabel 4. Produktkatalog for biogasanlæg (landbrugsanlæg).

Nr.	Produkt	Afledte konsekvenser	Gevinst/udfordring
1	Større opholdstid og forøget biogasproduktion		
1.1	Udvidet reaktorvolumen.	Større tanke.	Forøget biogasproduktion. Reduceret metanudslip i lagertanke.
1.2	Konvertering af reaktorer til termofil drift.	Større opvarmnings-/varmegenvindingsinstallation.	Forøget biogasproduktion. Reduceret metanudslip i lagertanke.
1.3	Styring af biogasproduktion ved substratdosering.		Biogasproduktion følger afsætning.
1.4	Direkte tilførsel af gylle fra stald.		Forøget biogasproduktion. Mindre metanudslip.
2	Opsamling af biogas fra for- og lagertanke.		
2.1	Opsamling af biogas. Overdækning af lagertanke, dobbelmembran, biogaslager.	Installation af membraner, rørsystem. Tab ved udluftning ved opstart efter rensning af tank.	Forøget biogasproduktion, reduceret metanudslip i lagertanke, reduceret lugtfilterbelastning.
2.2	Opsamling af biogas. Overdækning af lagertanke, enkeltmembran.	Installation af membraner, rørsystem. Tab ved udluftning ved opstart efter rensning af tank. Tilsluttes biogaslager.	Forøget biogasproduktion, reduceret metanudslip i lagertanke, reduceret lugtfilterbelastning.
2.3	Generelt vedr. opsamling af biogas fra lagertanke.	Opgradering af udstyr til ATEX. Dårlig gaskvalitet ved genopstart efter rensning. Evt. belastning på gasopgradering.	Reduceret belastning på lugtfilter. Biogasudbytte.
3	Miljøtiltag		
3.1	Destruktion af metanafkast opgraderingsanlæg.		Reduceret miljøbelastning.
3.2	Destruktion af metanafkast gasmotor.		Reduceret miljøbelastning.
3.3	Destruktion af metanafkast fra lugtfilter.		Reduceret miljøbelastning.

Tabel 5. Produktkatalog for rensesanlæg.

Nr.	Produkt	Afledte konsekvenser	Gevinst/udfordring
1	Større opholdstid og forøget biogasproduktion		
1.1	Udvidet reaktorvolumen	Større tanke	Forøget biogasproduktion. Mindre slamproduktion. Reduceret transportomkostning Reduceret deponeringsomkostning
1.2	Konvertering af reaktorer til termofil drift	Større opvarmnings-/afkølingsinstallation.	Forøget biogasproduktion. Mindre slamproduktion. Reduceret transportomkostning Reduceret deponeringsomkostning
1.3	Afsætning af slam til andet biogasanlæg	Evt. Installation af afvandingsudstyr for at reducere transportomkostninger.	I stedet for renovering af rådnetanke eller udskiftning af gasmotor. Evt. delvis afsætning af slam til et andet biogasanlæg for at få forøget opholdstid i rådnetanken og større biogasproduktion.
2	Opsamling af biogas fra for- og lagertanke.		
2.1	Opsamling af biogas. Overdækning af lagertanke, dobbeltmembran, biogaslager.	Installation af membraner, rørsystem. Tab ved udluftning ved opstart efter rensning af tank.	Øget biogasproduktion, reduceret metanudslip i lagringsperiode, reduceret lugtfilterbelastning.
2.2	Opsamling af biogas. Overdækning af lagertanke, enkeltmembran.	Installation af membraner, rørsystem. Tab ved udluftning ved opstart efter rensning af tank. Tilsluttes biogaslager.	Øget biogasproduktion, reduceret metanudslip i lagringsperiode, reduceret lugtfilterbelastning.
2.3	Generelt vedr. opsamling af biogas fra lagertanke.	Opgradering af udstyr til ATEX. Dårlig gaskvalitet ved genopstart efter rensning. Evt. belastning på gasopgradering.	Reduceret belastning på lugtfilter. Biogasudbytte.
3	Slamafvanding		
3.1	Lagring af slam i rådnetanke. Aftapning hverdage og påfyldning weekend.		Undgår lagring af slam i lagertanke og metanudslip herfra.
3.2	Fortykning af slam.	Installation af bedre forafvanding.	Større biogasproduktion ved større opholdstid i rådnetanke. Mindre slamafvanding. Reduceret slammængde. Reduceret transportomkostning Reduceret deponeringsomkostning
3.3	Styring af slamudtag fra primær- og klaringstanke.		Undgå fakling. Mindre slamudtag under service af gasmotor.

4	Omsætningsfremmende forbehandling		
4.1	Installation af biogas produktionsfremmende forbehandling af slam <ul style="list-style-type: none"> • Kavitation: Disintegration, ultralyd • Termisk hydrolyse • Enzymdosering 		Forøget biogasproduktion. Mindre slammængde. Reduceret transportomkostning Reduceret deponeringsomkostning Mindre metanudslip fra slamlager.
5	Miljøtiltag		
5.1	Destruktion af metanafkast opgraderingsanlæg		Reduceret miljøbelastning.
5.2	Destruktion af metanafkast gasmotor		Reduceret miljøbelastning.
5.3	Destruktion af metanafkast fra lugtfilter		Reduceret miljøbelastning.

5. FORBEDRING OG KVALITETSSIKRING AF MÅLEMETODER

Dette afsnit beskriver formål, metode og resultater af tre aktiviteter relateret til forbedring og kvalitetssikring af målemetoder: (1) test af metode til egenkontrol, (2) validering af målefirmaer samt (3) særlige måleforhold.

5.1 Test af metode til egenkontrol

På biogasanlæg udføres lækagesøgning typisk med brug af gaskamera som beskrevet i afsnit 4.1. Udstyret, der kræves til dette, er relativt kostbart, og det er nødvendigt med en del erfaring i brug af udstyret.

Som led i dette projekt, er der fundet behov for at teste mere simpelt måleudstyr, der kan måle forøgede metankoncentrationer ved kilden – såkaldte "sniffere". Formålet med test af denne metode til egenkontrol har været at undersøge, i hvor stort omfang disse mere simple og billige instrumenter kan bruges af biogasanlæggene til at udføre egenkontrol i perioden mellem lækagesøgninger udført af eksterne målefirmaer.

Det var forventet, at der med det mere simple udstyr kan findes nogle af de lækager, der ses med gaskamera. Dermed vil der være mulighed for at finde lækager relativt hurtigt efter de opstår, udbedre disse og altså potentielt reducere metanudledning mellem periodevis gennemgang af anlægget af et eksternt målefirma.

Testen blev udført på anlæg 5, der er et biogasfællesanlæg bygget i 1990'erne. Anlægget behandler årligt ca. 150.000 tons husdyrgødning og organiske restprodukter og producerer 8 mio. m³ biogas. På tidspunktet for dette projekt investeres der i anlægget, således at nogle anlægskomponenter er relativt gamle (herunder lagertanke), mens andre er nye installationer (herunder opgraderingsanlæg). Anlæggets gasproduktion opgraderes til bionaturgas.

Lækagesøgning med brug af "sniffer" blev udført af DTU Miljø d. 15. september 2020 om eftermiddagen. Om formiddagen havde Teknologisk Institut (TI) gennemført lækagesøgning med gaskamera med den fremgangsmåde, der er beskrevet afsnit 4.1. DTU Miljø var ikke til stede under lækagesøgning med gaskamera. Lækagesøgning blev udført af DTU Miljø uden deltagelse af TI, ligesom rapporter for lækagesøgning af hhv. DTU Miljø og TI er udarbejdet uafhængigt af hinanden.

Den anvendte "sniffer" til lækagesøgning var en Sewerin Ex-Tec PM 580 med en halvleder sensor til måling af koncentration af metan (ppm niveau) samt en IR sensor til måling af metan i vol.% niveau. Begge typer udstyr har indbygget pumpe, der er medvirkende til en relativt kort responstid. En kort responstid mindsker risiko for, at lækager overses ved gennemgang af anlægget.



Figur 4. "Sniffer" anvendt til test af metode til egenkontrol.

Anlægget blev af DTU Miljø gennemgået med brug af "sniffer" med fokus på anlæggets gasbærende installationer, samt tanke og bygninger, der anvendes til håndtering og lagring af biomasse. Anlægget blev gennemgået de steder, der var tilgængelige uden brug af fx stige eller lift. Dette var tilfældet for alle lagertanke samt toppe af reaktorer. I nogle bygninger blev der konstateret forøgede metankoncentrationer, men årsagen til disse blev ikke præcis fastlagt. Hvor dette var tilfældet, er det beskrevet i målerapporten.

Deltagende medarbejdere fra TI udfører rutinemæssigt lækagesøgning med brug af gaskamera. Deltagende medarbejder fra DTU Miljø udfører rutinemæssigt sporgasmålinger af biogasanlægs totale metanemission, men er ikke erfaren i lækagesøgning på biogasanlæg.

Ved hver lækage fundet med "sniffer" blev følgende noteret:

- Placering af lækage på oversigtskort med brug af nummerering
- Note om lækagens type (fx "lækage ved sikkerhedsventil")
- Målt maksimal metankoncentration ved lækage
- Skøn af lækagens omfang ("lille", "mellem" eller "stor" lækage)

Der blev desuden taget foto til at vise mere præcist, hvor lækager blev konstateret. Lækager blev konstateret, hvis der målt mere end 5 ppm over baggrundskoncentration.

I Tabel 6 er listet fundne lækager med brug af hhv. gaskamera (referencemetode) og "sniffer". Fotos af de forskellige fundne lækager kan ses i Appendix 1 til denne rapport. Det bemærkes, at det fundne antal lækager i dette forsøg er højt, og ikke repræsentativt for de biogasanlæg, der er undersøgt i projektet. Som angivet i afsnit 6.1.1 er det gennemsnitlige antal fundne lækager med gaskamera 15,3 for fællesanlæg, mens der i dette forsøg blev fundet i alt 38 lækager med gaskamera på anlægget.

Tabel 6. Resultater af test af metode til egenkontrol.

Lækage, beskrivelse	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Reaktor 4 - tryk-/vakuumentil	Ja	Ja
Gaslager - lækager fra ydre membran indikerer utæthed(er) i gas- og/el. bundmembran	Ja	Ja
Reaktor 2 - tryk-/vakuumentil	Ja	Nej
Reaktor 2 - lækage fra gasrør	Ja	Nej
Reaktor 2 - tæring/utæt fuge på røreværk	Ja	Ja
Reaktor 2 - lækager fra tankkant (flere steder)	Ja	Nej
Reaktor 1 - tryk-/vakuumentil	Ja	Ja
Reaktor 1 - lækage fra gasrør	Ja	Ja
Reaktor 1 - lækage fra "hus" på røreværk	Ja	Nej
Reaktor 1 - lækage fra samling på bundplade v. røreværk	Ja	Nej
Reaktor 1 - lækager fra samlinger mellem "dæksplader"	Ja	Nej
Reaktor 3 - lækage fra rørgennemføring	Ja	Nej
Reaktor 3 - lækage fra flangesamling på røreværk	Ja	Nej
Reaktor 3 - lækage fra flangesamling på inspektionsluge	Ja	Nej
Reaktor 3 - tryk-/vakuumentil	Ja	Nej
Reaktor 3 - lækager fra under tankbeklædning (flere)	Ja	Nej
Reaktor 5 - tryk-/vakuumentil	Ja	Nej
Gasclean anlæg - metan i afgangsluft (CO ₂ strøm)	Ja	Nej
Rør mellem modtagehal 2 og modtagetank 5 - lækage fra flangesamling	Ja	Nej
Modtagetank 5 - ikke gastæt presenning	Ja	Ja
Udleveringstank - ikke gastæt betonoverdækning	Ja	Ja
Biofilter - lækage fra sensorgennemføring på gasrør	Ja	Nej
Lagertank 1 - lækager fra tæring i fuge mellem betonkant og låg (mange)	Ja	Nej
Lagertank 1 - lækage fra betjeningsdæksel (ledningsgennemføring)	Ja	Nej
Lagertank 1 - lækage fra tæring på betjeningsdæksel	Ja	Nej
Lagertank 1 - lækage fra ikke lukket betjeningsdæksel	Ja	Nej
Lagertank 1 - lækage fra slangegennemføring	Ja	Nej
Lagertank 2 - tæret dæksel	Ja	Ja
Lagertank 2 - åbent betjeningsdæksel	Ja	Ja
Lagertank 2 - åben ledningsgennemføring	Ja	Ja
Lagertank 2 - flangesamling v. sensor	Ja	Ja
Lagertank 2 - overtryksventil	Ja	Nej
Lagertank 2 - lækager langs kant på topdæksel	Ja	Nej
Lagertank 2 - lækager fra åbentstående betjeningsdæksler (3 stk.)	Ja	Ja
Lagertank 3 - lækager fra betjeningsdæksler	Ja	Nej
Lagertank 3 - lækage fra tæret inspektionsluge	Ja	Ja
Lagertank 4 - lækager fra tæring i fuge mellem betonkant og låg (mange)	Ja	Ja
MR station - lækage fra udluftning	Ja	Nej
Der blev målt forhøjet metan-koncentration inde i rum m. gasblæsere, modtagehal og teknikrum. Lækage(r) blev ikke præcist identificeret.	Nej	(Ja)
Pumpehus (?) v. gaslager	Nej	Ja
Antal lækager	38	16

Af forsøgets resultater fremgår det, at der blev fundet væsentligt flere lækager med gaskamera (38) sammenlignet med "sniffer" (16). Dette vurderes især at skyldes to årsager: anvendt udstyr og måleteknisk erfaring med lækagesøgning.

Brugen af gaskamera muliggør lækagesøgning på anlægsenheder/komponenter, der er svært tilgængelige. Dette har her eksempelvis været tilfældet for lækagen beskrevet som "MR station - lækage fra udluftning" og "Gasclean anlæg - metan i afgangsluft (CO₂ strøm)". Desuden giver gaskamera mulighed for at screene større arealer som tanktoppe og sider, hvilket vil være meget tidskrævende at gøre minutvist med en "sniffer". Dette kan forklare nogle af de lækager på toppe

af reaktorer og lagertanke, der jf. tabellen findes med gaskamera, men ikke med sniffer. Brug af "sniffer" kan altså ikke erstatte mere grundige metoder, som dette projekts reference-metode (gaskamera), til udførlig lokalisering af anlægs lækager.

Det vil dog også være sådan, at erfarne måleteknikere vil kunne finde lækager med en "sniffer", som er meget svært detekterbare med et kamera. Det kan være lækager med et meget lille eller meget stort flow; sådanne lækager kan være meget vanskelige at se i kameraet. Erfarne måleteknikere vil derfor om muligt anvende en kombination af kamera og "sniffer", når et anlæg skal gennemgås.

På trods af forskellen i antal fundne lækager, vurderes det dog nyttigt at bruge "sniffere" til anlæggenes egenkontrol. Indkøb af gaskamera er som nævnt kostbart, og brugen kræver en del træning. Ved egenkontrol kan hyppige årsager til metanudledning som fx tryk-/vakuumentiler, tankdæksler mm. gennemgås med "sniffer" i forbindelse med at følge egenkontrolprogram, hvor disse typiske kilder er listet for det enkelte anlæg.

Tabel 7. Eksempler på "sniffere", der vurderes egnede til anlægs egenkontrol.

Type	Link til beskrivelse	Ca. pris
Sewerin Snooper Mini	https://www.sewerin.com/en-int/products/gas/	3.500
Duotec	http://duotec.dk/produkter/flamme-detektorer/main-category/metan-ch4	3.400
MRU 400 GD	https://www.mru.eu/fileadmin/user_upload/files/prospekte-en/EN_Brochure_400GD.pdf	3.600
Sewerin Ex-tec Snooper 4, Sewerin Ex-tec 580	https://www.sewerin.com/en-int/products/gas/	15.000-23.000
Gasdetect	https://gasdetect.dk/vare-kategori/haandholdt/gas-sniffer/	?
ELMA	https://elma.dk/produkter/kabel-roer--laekagesoegning/laekagesporing--gas.aspx	?

5.2 Validering af målefirmaer

Dette afsnit beskriver procedure for validering samt resultater af valideringsforsøg af hhv. målefirmaer, der udførte målinger af biogasanlægs totale metanemission og målefirmaer, der udførte lækagesøgning. Deltagelse som leverandør af måleydelser i projektet var åben. Formålet med validering af målefirmaer var at sikre, at målefirmaer, der tilmeldte sig projektet, var i stand til at levere målinger af tilstrækkelig kvalitet fra projektets start.

5.2.1 Validering: måling af biogasanlægs totale metanemission

Procedure for godkendelse som leverandør i projektet til måling af biogasanlægs totale metanemission var, at deltagende målefirmaer skulle medvirke i valideringsforsøg og opnå tilfredsstillende resultater. Med tilfredsstillende resultater menes, at de skulle måle en total metanemission fra et biogasanlæg samtidigt med en referencemåling, og at variation mellem reference måling og måling af firma til validering var acceptabel – helst indenfor sporgasmetodens usikkerhedsmargin (ca. 15%). Der var ikke stillet krav til hvilken målemetode, der skulle anvendes.

Valideringsforsøget blev udført på et biogasanlæg på et renseanlæg, hvor to firmaer skulle valideres. Begge målefirmaer, der skulle valideres anvendte sporgasmetoden som beskrevet i afsnit 4.2. FORCE Technology udførte referencemåling, og forsøget blev udført med Rambøll og DTU Miljø til stede. Efter forsøget, sendte målefirmaer inkl. referencerapporter for målinger samt

rådata til Rambøll til kontrol uafhængigt af hinanden. Begge målefirmaer blev valideret på baggrund af de fremsendte rapporter.

Forsøget blev afholdt over to dage. Ved første måledag (21. november, 2019), var der ugunstige vejrforhold med meget svag vind. Desuden var vindretningen således, at nedvindsfanen ikke kunne traverseres 100% grundet en vejafspærring. Den anden måledag (13. december, 2019) var vejrforholdene gunstige til udførsel af sporgasmåling. Målefirma 2 gennemførte forsøget den første dag, mens målefirma 1 gennemførte forsøget den anden måledag. Rambøll udførte beregninger af anlæggets totale metanemission med brug af målefirmaets rådata for at vurdere evt. forskelle som følge databehandling.

Tabel 8. Resultat af validering af målefirma 1.

Måleresultat - 13. december, 2019	Anlæggets totale metanemission (kg CH₄/time)
Reference (FORCE Technology)	1,4 ± 0,3
Målefirma 1, egen databehandling	1,5 ± 0,4
Målefirma 1, Rambøll databehandling	1,5 ± 0,4

Målefirma 1 rapporterede en total metanemission fra anlægget på 1,5 ± 0,4 kg CH₄/time, hvilket var meget nær resultat af referencemåling 1,4 ± 0,3 kg CH₄/time (Tabel 8), og de to måleresultater ligger indenfor hinandens rapporterede måleusikkerheder. Resultat af Rambølls databehandling af målefirma 1's rådata var lig rapporteret resultat.

Tabel 9. Resultat af validering af målefirma 2.

Måleresultat - 21. november, 2019	Anlæggets totale metanemission (kg CH₄/time)
Reference (FORCE Technology)	5,8 ± 1,4
Målefirma 2, egen databehandling	4,4
Målefirma 2, Rambøll databehandling	4,4 ± 0,9

Målefirma 2 rapporterede en total metanemission fra anlægget på 4,4 kg CH₄/time, hvilket var noget under referencemåling 5,8 ± 1,4 kg CH₄/time (Tabel 9), men akkurat indenfor angivet måleusikkerhed af referencemåling. Resultat af Rambølls databehandling af målefirma 2's rådata var lig rapporteret resultat ligesom det var tilfældet for målefirma 1.

Der var, som nævnt, ugunstige vindforhold under valideringsforsøget for målefirma 2, idet der var meget svag vind. Der blev dog besluttet at gennemføre forsøget. I en periode, hvor vinden havde taget lidt til, lykkedes det at udføre parallelle målinger, hvor målefirma 2 og FORCE målte samtidigt. Målefirma 2 benyttede en vej 700 m nedvinds anlægget, hvor en vejafspærring måtte køres uden om lidt ind i terræn. Det samme var ikke muligt for FORCE, som derved ikke traverserede nedvindsfanen helt, og ikke under normale omstændigheder vil have udført målingen, som gjort her. Ved analyse af målingerne vurderedes det sandsynligt, at dette betød at FORCEs måling overestimerede emissionen, hvilket forklarede forskellen i målt total metanemission.

5.2.2 Validering: lækagesøgning

Procedure for godkendelse som leverandør i projektet til udførsel af lækagesøgning var, at målefirma havde rådighed over godkendt udstyr til lækagesøgning (gaskamera) samt dokumenteret erfaring i lækagesøgning på danske biogasanlæg. For at blive optaget på listen

over godkendte målefirmaer skulle firmaet dokumentere, at der er udført lækagesøgning med kamera på mindst tre navngivne biogasanlæg – det kan være landbrugsbaserede gårdanlæg/biogasfællesanlæg og/eller biogasanlæg i forbindelse med spildevandsrensaneanlæg. To målefirmaer blev godkendt ved at fremsende målerapporter.

Såfremt et målefirma ønskede at anvende alternativt udstyr *i stedet for* kamera, ville dette kunne lade sig gøre, såfremt Rambøll vurderede, at det pågældende udstyr i samme omfang som et kamera kan finde lækager, og at der ikke er nogle åbenlyse begrænsninger i udstyrets anvendelse i forhold til kamera. Rambøll kunne i den forbindelse anstille valideringsforsøg, hvor der foretages simultan lækagesøgning med kamera og det foreslåede alternative udstyr, inden det alternative udstyr kunne godkendes.

To målefirmaer tilmeldte sig til valideringsforsøg med brug af dronebaseret lækagesøgning. Begge målefirmaer havde på tidspunkt for valideringsforsøg relativt begrænset erfaring med lækagesøgning på biogasanlæg. De to målefirmaer der deltog, gjorde brug af to forskellige typer metan-detektorer, hvor det ene firma anvendte en open-path laser til detektion af metan koncentration i luften mellem dronen og den overflade laseren rettes mod, mens det andet firma anvendte en detektor, der analyserer metan indhold i luften, hvor dronen flyver. Firmaet, der anvendte open-path laser anvendte desuden gaskamera, der var lånt til forsøget.

Valideringsforsøget blev udført på et biogasanlæg, hvor TI kort forinden havde udført lækagesøgning med gaskamera og "sniffer". Denne måling blev anvendt af Rambøll som reference ift. evt. godkendelse af de to målefirmaer, der anvendte dronebaseret lækagesøgning.

Der blev i forsøget klart, at de alternative metoder til lækagesøgning ikke p.t. kunne levere lækagesøgning af samme kvalitet som referencen. Gaskameraets visninger af lækager gav mulighed for mere præcise angivelser af placering af lækager, ligesom at referencemålingen (gaskamera) anvendt af en rutineret måletekniker identificerede et større antal lækager. Af denne grund kunne andre metoder end gaskamera ikke godkendes i projektet.

Hertil nævnes, at det var nødvendigt i dette projekt, at målefirmaer skulle være klar til at levere målinger af ønsket kvalitet fra projektets start. Det er meget muligt, at dronebaserede målinger i fremtiden gennem metodeudvikling kan finde udbredelse. Dette gælder både kvalitative målinger (lækagesøgning) og kvantitative målinger (bestemmelse af emissionsrater). Der foregår i udviklingsprojekter på området både i udlandet og i Danmark.

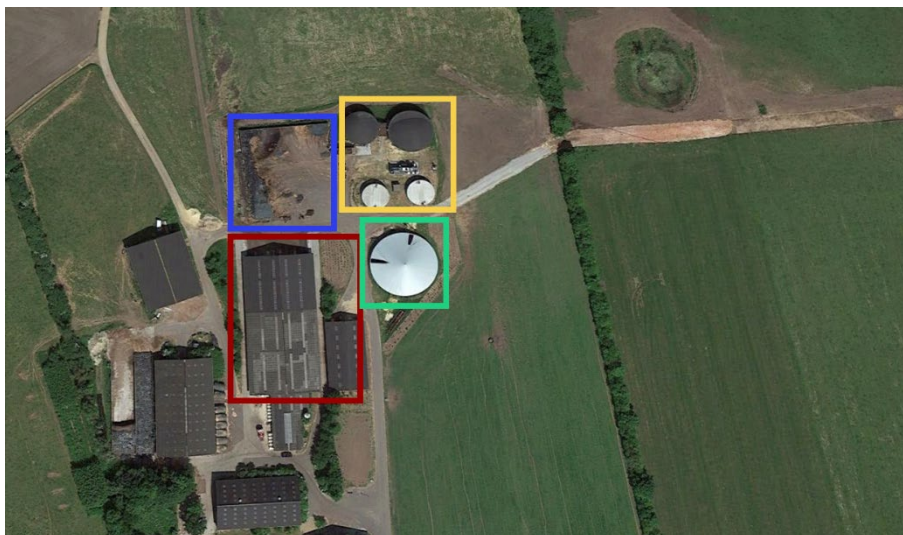
5.3 Særlige måleforhold

Der har i projektet været udført målinger af biogasanlægs totale metanudledning fra i alt 60 biogasanlæg med brug af sporgasmetode. På seks af disse anlæg, var der nærliggende kilder til metanudledning i form af stalde og gylletanke på biogasanlæg, hvor biogasanlæggets udledning har været særligt vanskelig at måle alene. Dette afsnit beskriver to metoder, der har været anvendt til at isolere metanudledning fra biogasanlæg fra nærliggende, øvrige kilder til metanudledning.

5.3.1 Sporgasmåling i nær afstand til biogasanlæg

Som angivet i afsnit 4.2 bør afstanden mellem biogasanlægget og målevejen være minimum 4-5 gange bredden af det emitterende område på biogasanlægget ved sporgasmåling. Dette svarer normalt til flere hundrede meters afstand. Dette kan være vanskeligt, i tilfælde hvor metanudledning fra meget nærliggende kilder skal adskilles fra biogasanlæggets udledning.

Figur 5 viser et eksempel på et gårdbiogasanlæg, hvor anlæggets metanudledning skulle måles separat fra tre nærliggende kilder til metanudledning (staldanlæg, overdækket gylletank og oplag af dybstrøelse). Der blev her vurderet, at det var nødvendigt at måle noget nærmere biogasanlægget, end metoden foreskriver, vurderet ud fra biogasanlæggets størrelse.

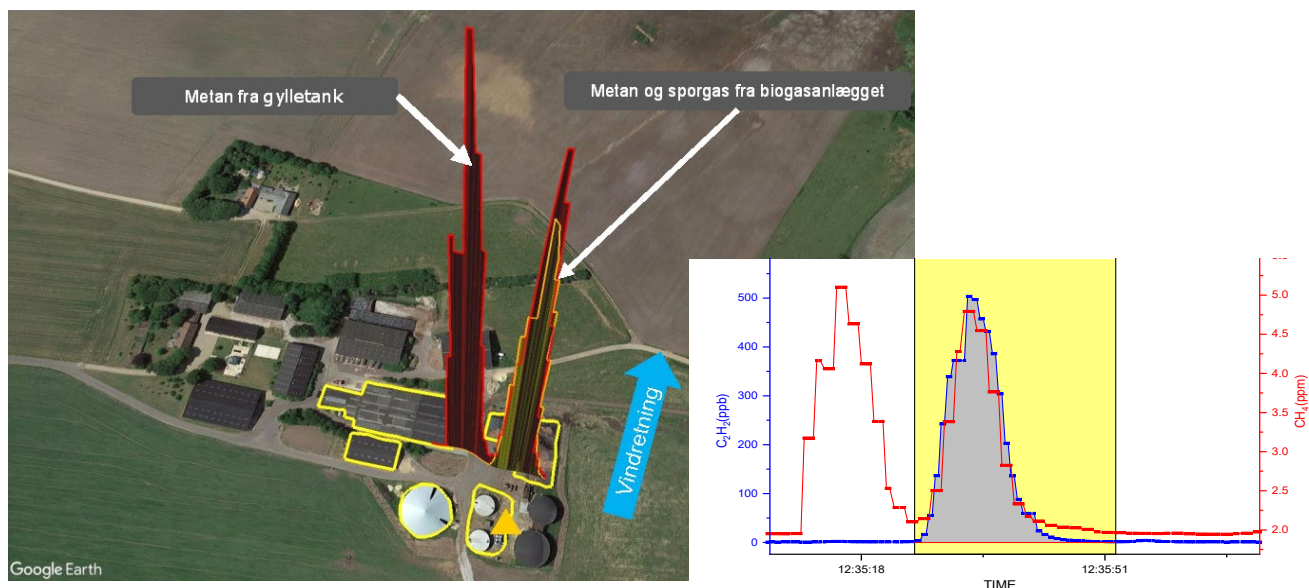


Figur 5. Gårdbiogasanlæg (gul markering) med tre nærliggende kilder til metanudledning: gylletank (grøn markering), kvægstald (rød markering) og oplag af fast gødning (blå markering).

Ved screening af metanindhold i luften på anlægget, kunne målefirmaet vurdere, at biogasanlæggets metanudledning stort set udelukkende kom fra bygningen med gasmotor og/eller anlæggets to lyse tanke nærmest den store gylletank vist i Figur 5. At emissionsområdet på var relativt begrænset betød, at der vil kunne måles noget nærmere end normalt.

Figur 6 viser sporgasmåling fra anlægget, hvor målingen er udført i en afstand på ca. 50 meter til emissionsområdet. Denne afstand er, som nævnt, noget mindre end normalt, men da emissionsområdet blev fundet til at være relativt begrænset (bredde: ca. 15-20 meter), var metodens forskrifter tilnærmelsesvist overholdt. Figuren viser en god korrelation mellem metan og sporgas, der sandsynliggør at sporgasfrigivelsen korrekt simulerer metanudledningen på biogasanlægget. Desuden ses der kun et minimalt overlap mellem metan fra henholdsvis biogasanlæg og gylletank, hvormed de to kilder til emission er målt separat.

Måling i nær afstand til biogasanlæg, svarende til dette eksempel, for at adskille nærliggende kilder, blev gjort på to anlæg.



Figur 6. Sporgasmåling i nær afstand til biogasanlæg, hvor metan fra biogasanlæg er målt adskilt fra nærliggende gylletank. Højden af den røde kurve er proportional med målt koncentration af metan over baggrundsniveau, mens den blå kurve angiver koncentration af sporgas. Den gule trekant på kortet angiver, hvor der blev udledt sporgas.

5.3.2 Estimat af metanemission fra stalde

For fire gårdbiogasanlæg er der udarbejdet estimat af metanemission fra nærliggende stalde, da det ikke var muligt at måle biogasanlæggets udledning separat fra staldenes udledning. I disse tilfælde, er staldenes metanudledning beregnet med anvendelse af erfaringer fra et igangværende forskningsprojekt på DTU Miljø, der undersøger disse udledninger. Input til disse beregninger er oplysninger om besætninger i staldene (antal dyr).

Appendix 3 indeholder en metodebeskrivelse samt referencer brugt til at beregning af estimater af metanudledning fra stalde på i alt fire biogasanlæg. Metanemissionen fra de fire staldanlæg blev vurderet til mellem 3.4 og 5.2 kg CH₄/time.

6. RESULTATER

Rambøll har kontaktet alle anlæg (59 anlæg), som har deltaget i projektet, for indsamling af oplysninger om anlæggenes opbygning. Anlæggenes opbygning er beskrevet i et notat for hvert anlæg. Notatet blev udført inden der gennemførtes målinger på anlæggene og udgjorde en forberedelse for gennemførelse af målinger på anlæggene.

I dette afsnit gennemgås resultater af målinger (lækagesøgning, måling af biogasanlægs totale metanemission og måling af punktkilder), beregning af metantab samt udarbejdelse af egenkontrolprogrammer og skitseprojekter for de deltagende anlæg.

6.1 Resultater af målinger

6.1.1 Lækagesøgninger

Der blev i alt udført lækagesøgning på 49 af de deltagende anlæg - herunder 15 biogasfællesanlæg, 12 gårdbiogasanlæg, og 22 renseanlæg. Alle lækagesøgninger, hvis resultater beskrives her, er udført med brug af gaskamera (FLIR GF320), evt. suppleret med brug af "sniffer". Anlæggene har efter lækagesøgning haft en periode på mindst ca. 3 uger til udbedring af fundne lækager inden måling af anlæggets totale metanemission. Der kan derfor ikke præcist fastslås, om den målte totale metanemission fra de enkelte anlæg skyldes præcis de lækager, der er listet her.

I tabellerne nedenfor listes antal lækager i kategorierne "lille", "mellem" eller "stor" for hvert anlæg opdelt i anlægstyper, samt typen af de væsentligste fundne lækager. En lækage anses her som "væsentlig" hvis den fx kategoriseres i de højere kategorier ("mellem" eller "stor"), eller er af en type der findes flere af på det pågældende anlæg.

Af Tabel 10 fremgår det, at der i gennemsnit blev fundet 15,7 lækager på de 15 biogasfællesanlæg, der har deltaget i projektet. Antallet af lækager for de enkelte anlæg varierer mellem 4 og 38. Det laveste antal lækager blev konstateret på det mindste af biogasfællesanlæggene, mens det højeste blev konstateret på et ældre, stort anlæg, hvor der p.t. planlægges væsentlige reinvesteringer. Der blev i gennemsnit fundet 1,8 "store" lækager på hvert anlæg, og på 5 af de 15 undersøgte anlæg blev der ikke konstateret store lækager.

Tryk-/vakuumentiler og overtryksventiler ses ofte at være væsentlige kilder til metanemission vurderet ud fra lækagesøgninger, hvor der ses emission fra disse på 9 af de 15 undersøgte biogasfællesanlæg (Tabel 10). Dette var forventet ud fra tidligere erfaringer med lækagesøgning på biogasanlæg. De tyske undersøgelser, nævnt i indledningen, har fundet, at emission gennem disse ventiler kan svare til 0,6-1,8% af produktionen på de reaktorer, de har undersøgt (Reinelt & Liebetrau, 2019). Disse ventiler synes således at være et væsentligt indsatsområde ift. reduktion af metantab fra biogasproduktion.

En væsentlig kilde til metanudledning på nogle anlæg er tanke til biomasse (fx efterlagertanke), hvor der ikke er gasopsamling. Gas fra disse tanke vil sive ud, og konstaterede lækager fra dem er ikke grundet fejl og mangler, men er en konsekvens af, at tankene ikke er designet til opsamling af gassen. Ved lækagesøgning på nogle af disse tanke bliver der konstateret meget høje koncentrationer af metan (vol.% niveau), der tyder på en høj emission af metan.

Tabel 10. Oversigt over resultater af lækagesøgninger på biogasfællesanlæg.

Anlæg id.	Anlægs-størrelse	Antal læk. "lille"	Antal læk. "mellem"	Antal læk. "stor"	Antal læk. i alt	Væsentligste lækager
1	Stor	6	2	0	8	Filter på opgraderingsanlæg, utætheder på reaktortankebeklædning og gummipakninger
5	Stor	20	15	3	38	Gaslager, Tryk-vakuumentiler, overgang ml. tank/presenning, diverse tæring, lagertanke
6	Stor	5	3	0	8	Tryk-vakuumentil, gaskøleranlæg
7	Stor	10	15	1	26	Gasrenser, efterlagertanke, kompressorer
8	Stor	4	2	0	6	Reguleringsventil på opgraderingsanlæg
9	Stor	9	9	4	22	Tryk-/vakuumentiler, overdækning på efterlagertanke, gaskøler, kompressorer
10	Stor	5	10	1	16	Flangesamling, biofilter, lækager på efterlagertanke
11	Stor	11	7	1	19	Tryk-/vakuumentiler, kompressorer
12	Stor	9	14	2	25	Tryk-vakuumentiler, utætheder v. betjeningsåbninger, RTO-anlæg ifm. opgradering
13	Stor	7	5	3	15	Biofilter, fortanke, tryk-/vakuumentiler, gasblæser, kompressorer
14	Stor	4	1	0	5	Tør vandlås, utæthed v. overdækning, overtryksventiler
15	Stor	12	4	4	20	Afgangsluft fra gasfyr, lækage i opgraderingsanlæg, utæthed i gasbooster, diverse utætheder
18	Mellem	8	3	3	14	Dug på lagertanke, gaslager, gasmotor, tryk-/vakuumentiler
19	Mellem	0	4	5	9	Reaktortoppe, kompressorum, mixertanke
21	Lille	4	0	0	4	Overtryksventil, utæthed på membran ved flere gennemføringer
Gennemsnit		7,9	6,3	1,8	15,7	

Af Tabel 11 fremgår det, at der findes i gennemsnit 10,5 lækager på de 12 undersøgte gårdbiogasanlæg varierende i antal mellem 2 og 20. Det gennemsnitlige antal lækager på disse anlæg er altså mindre end for biogasfællesanlæggene. Dette kan skyldes, at gårdbiogasanlæg generelt er noget mindre end biogasfællesanlæg, og dermed har færre installationer.

Antallet af lækager, der vurderes som "store" er i gennemsnit 3,6 for gårdbiogasanlæggene, hvilket er højere end for biogasfællesanlæggene.

Som for biogasfællesanlæggene, ses det, at tryk-/vakuumentiler, sikkerhedsventiler og lignende ventiler er en hyppig observeret lækage, der er fundet på 7 af de 12 gårdbiogasanlæg. Ved nogle af de anlæg med reaktorer med blød overdækning, ses der lækage i kant mellem den bløde overdækning og tanken. Ligesom for biogasfællesanlæggene konstateres der metanudledning fra tanke uden gasopsamling (herunder mixertanke).

Tabel 11. Oversigt over resultater af lækagesøgninger på gårdbiogasanlæg.

Anlæg id.	Anlægs-størrelse	Antal læk. "lille"	Antal læk. "mellem"	Antal læk. "stor"	Antal læk. i alt	Væsentligste lækager
23	Mellem	3	1	1	5	Rørgennemføring, gasmotor
24	Mellem	5	0	0	5	Utætheder ved membran, overtryksventil
25	Mellem	9	0	1	10	Gasmotor, diverse mindre utætheder
26	Mellem	0	3	10	13	Sikkerhedsventiler, diverse samlinger, passiv mixertank
27	Mellem	2	0	10	12	Læk. mellem dug og væg på reaktorer, skumventiler, mixertank, rørgennemføring, betjeningsdæksel
28	Lille	6	5	1	12	Gasmotor, flere lækager på efterlagertank, tryk-/vakuumentiler
30	Lille	8	11	1	20	Gasbooster, efterlagertank, flowmåler, rørgennemføringer, lagertank
31	Lille	6	1	2	9	Afkast fra motor, gasfilter
32	Lille	0	4	13	17	Mixertank, sikkerhedsventiler, gasbooster, utæt rørgennemføring mm.
33	Lille	1	1	0	2	Utæthed v. membran på reaktortank, sikkerhedsventil
34	Lille	9	6	4	19	Pakning på gasmotor, tryk-/vakuumentil, utæt rørgennemføring mm.
35	Lille	0	2	0	2	Dæksel og ventil på indleveringstank
Gennemsnit		4,1	2,8	3,6	10,5	

Af Tabel 12 ses det, at der på det ene industrianlæg, der er undersøgt i projektet, kun findes 1 lækage. På de 21 renseanlæg findes der i gennemsnit 4,4 lækager, hvor antallet varierer mellem 0 og 14 for de enkelte anlæg. For industrianlæg og renseanlæggene findes der altså væsentligt færre lækager sammenlignet med de gyllebaserede anlæg (gårdbiogasanlæg og biogafællesanlæg). Der ses desuden, at der for de anlæg, der er i størrelses kategori "lille" findes færre lækager end for anlæg i kategori "mellem" (i gennemsnit hhv. 3,0 og 7,3). De små anlæg består ofte af relativt få anlægsdele, hvilket kan forklare det lave antal lækager.

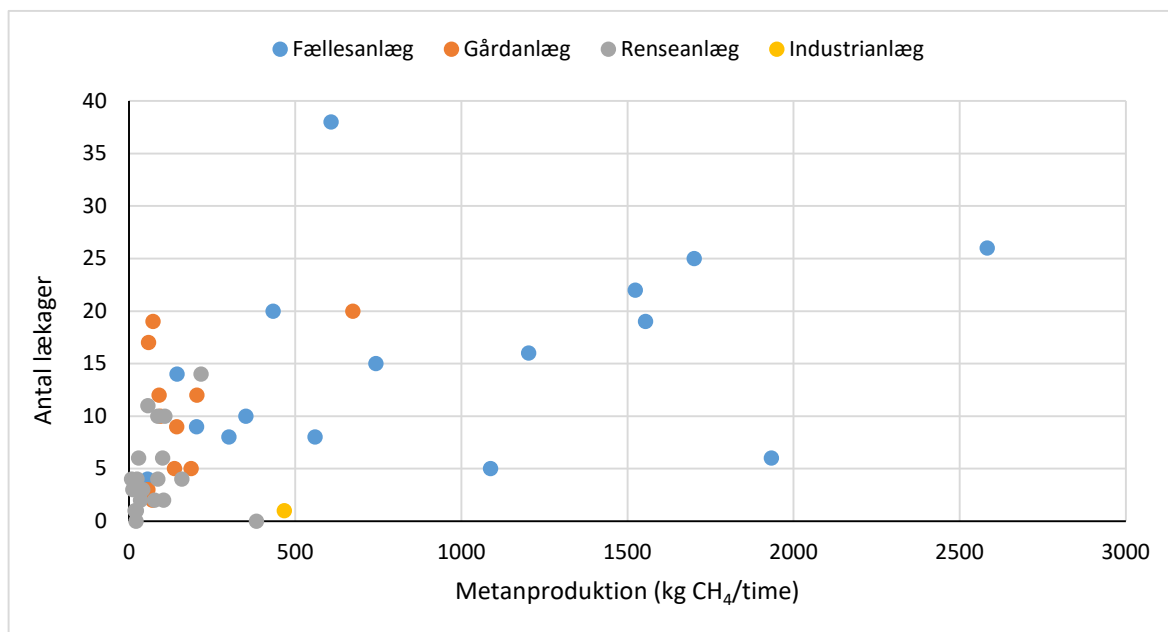
Som for de gyllebaserede anlæg, er der observeret metanemission fra oplag af biomasse uden gasopsamling (her slamlagre). Fra en teknisk betragtning er denne kilde til udledning ikke en fejl/mangel ved anlægget, men blot en konsekvens af den teknologi, der er anvendt, hvor gassen fra det behandlede slam ikke opsamles.

Tabel 12. Oversigt over resultater af lækagesøgninger på industrianlæg (anlæg 36) og renseanlæg (anlæg 38-60)

Anlæg id.	Anlægs-størrelse	Antal læk. "lille"	Antal læk. "mellem"	Antal læk. "stor"	Antal læk. i alt	Væsentligste lækager
36	Mellem	0	0	1	1	Utæthed ved føler i motorrum
38	Mellem	7	4	3	14	Rådnetanke: ventiler, luger, flangesamling, rør
39	Mellem	1	3	0	4	Lagertank (dæksel og ventil), luger, flange
40	Mellem	0	0	0	0	Ingen fundet
41	Mellem	2	5	3	10	Omrører, samlinger mm. på rådnetanke, slamlager
42	Mellem	2	0	0	2	Tryk-/vakuumentiler, luger v. slamlager
43	Mellem	6	5	0	11	Gasmotor, gaslager, fækkel, slamlager
44	Mellem	1	5	4	10	Slamlagertank - forsk. utætheder, servicedæksel på rådnetank, utætheder v. gasbooster og gasmotor.
46	Lille	2	0	1	3	Afgangsluft fra kedel, sikkerhedsventil
47	Lille	0	3	3	6	Mandehul, pakning, rørsamling, manometer
48	Lille	0	3	1	4	Slamlager, mandehul, vandlås
49	Lille	0	0	0	0	Ingen fundet
50	Lille	0	0	2	2	Buffertank
51	Lille	3	0	0	3	Slamafvanding, potte på rådnetank, kondensbrønd
52	Lille	2	1	0	3	lækager langs bund af gaslager, afkast fra slamlager
53	Lille	5	1	0	6	Rørkobling
54	Lille	1	0	0	1	Revne i beton i reaktortop
56	Lille	0	4	0	4	Slamlager
57	Lille	0	0	1	1	Rørsamling v. gasblæser
58	Lille	0	2	0	2	svanehalse, reaktortoppe
Gennemsnit (anlæg 38-60)		1,9	1,7	0,9	4,4	

I Figur 7 er antal fundne lækager (alle kategorier) for de forskellige anlæg plottet som funktion af gasproduktionen, hvor gasproduktionen var oplyst af det enkelte anlæg ifm. sporgsmål.

Figuren illustrerer de tendenser, der er beskrevet ovenfor, hvor der i gennemsnit ses flere lækager på de større anlæg sammenlignet med mindre. Desuden ses der en del variation i antallet af identificerede lækager for anlæg af ca. samme størrelse.



Figur 7. Antal lækager for de fire anlægstyper i forhold til gasproduktion.

6.1.2 Måling af biogasanlægs totale metanemission

Måling af biogasanlægs totale metanemission blev gjort på alle 60 deltagende biogasanlæg (inkl. anlæg til validering af målefirmaer) - herunder 21 biogasfællesanlæg, 14 gårdbiogasanlæg, 24 renseanlæg og 1 industrianlæg. Målingerne er udført med sporgasmetoden, som beskrevet i afsnit 4.2.

Nedenstående tabeller lister målt total metanemission for de forskellige anlæg opdelt i de forskellige anlægstyper ligesom i det foregående afsnit. I det omfang det er relevant, er der indsat bemærkninger ved de enkelte anlæg. Dette er fx tilfældet for de fire biogasanlæg, hvor der er målt en samlet metanemission for anlægget og nærliggende svinestalde, hvor husdyrenes bidrag er beregnet som beskrevet i afsnit 5.3.2 og fratrukket den målte metanemission. Det samme er gældende for fire mindre anlæg (tre renseanlæg og et gårdanlæg), hvor bestemmelse af gasproduktionen er usikker.

Målt total metanemission angives inkl. måleusikkerhed beregnet som beskrevet i afsnit 4.2.

Den målte totale metanemission fra de forskellige biogasfællesanlæg varierede mellem 3,2 og 81,2 kg CH₄/time. For anlæg 15, hvor den højeste udledning blev målt, var der igangværende ombygning på tidspunktet for måling. Dette kan være årsag til en relativt høj udledning. Næsthøjst udledning blev målt for anlæg 7. Anlæg 7 er det anlæg med den største gasproduktion (2583 kg CH₄/time) af de undersøgte anlæg, der er 3 gange større end gennemsnittet for anlægstypen (868 kg CH₄/time).

Tabel 13. Målt total metanemission samt metantab for biogasfællesanlæg

Anlæg id.	Anlægs-størrelse	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
1	Stor	560	15,5 ± 2,8	2,7
2	Stor	710	15,2 ± 2,0	2,1
3	Stor	351	14,7 ± 2,5	4,0
4	Stor	1470	12,6 ± 1,7	0,8
5	Stor	607	55,5 ± 10,1	8,4
6	Stor	300	7,3 ± 1,3	2,4
7	Stor	2583	60,1 ± 11,8	2,3
8	Stor	1933	20,5 ± 3,6	1,0
9	Stor	1611	14,6 ± 2,4	0,9
10	Stor	1203	10,2 ± 2,0	0,8
11	Stor	1554	20,2 ± 2,5	1,3
12	Stor	1701	23,0 ± 3,9	1,3
13	Stor	743	15,4 ± 2,7	2,0
14	Stor	1088	19,3 ± 4,5	1,7
15 ^A	Stor	433	81,2 ± 12,3	15,8
16	Stor	518	5,9 ± 1,1	1,1
17	Stor	356	3,2 ± 0,3	0,9
18	Mellem	144	7,9 ± 1,3	5,2
19	Mellem	203	14,1 ± 3,0	6,5
20	Mellem	201	14,1 ± 3,1	6,6
21 ^B	Lille	55	10,7 ± 2,0	16,2
Gennemsnit		868	21,0	4,0
			Standardafvigelse	4,4

^A Igangværende ombygning på måletidspunkt

^B Ekskl. beregnet bidrag fra nærliggende stalde (3,4 kg CH₄/time)

Tabel 14. Målt total metanemission samt metantab for gårdanlæg.

Anlæg id.	Anlægs-størrelse	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
22	Stor	777	18,3 ± 4,4	2,3
23	Mellem	186	9,3 ± 1,6	4,7
24 ^A	Mellem	136	17,3 ± 2,3	11,3
25	Mellem	94,3	4,0 ± 0,5	4,1
26	Mellem	243	6,9 ± 1,4	2,8
27	Mellem	204	8,6 ± 1,8	4,1
28 ^B	Lille	90,0	4,4 ± 0,6	4,7
29 ^C	Lille	17,0	11,6 ± 2,5	40,6
30	Stor	674	9,5 ± 1,8	1,4
31	Lille	143	5,7 ± 1,8	3,8
32	Lille	58,0	7,5 ± 2,2	11,5
33 ^A	Lille	70,0	2,3 ± 1,5	3,2
34 ^A	Lille	71,6	4,2 ± 1,2	5,6
35	Lille	56,0	10,2 ± 3,0	15,4
Gennemsnit		201	8,6	8,2
			Standardafvigelse	9,8

^A Ekskl. beregnet bidrag fra nærliggende staldbygninger: anlæg 24: 3,7 kg CH₄/time, anlæg 33: 5,2 kg CH₄/time, anlæg 34: 3,6 kg CH₄/time.

^B Gasproduktion er oplyst som usikker af målefirma

^C Anlægsejer har oplyst, at der er foretaget udbedringer efter måling

Af Tabel 14 fremgår det, at total metanemission fra de undersøgte gårdanlæg varierer mellem 4,2 og 18,3 kg CH₄/time. Desuden ses det, at størrelsen/gasproduktionen på anlæggene varierer, således at der findes gårdanlæg i alle tre anlægsstørrelser.

Ved 3 af de i alt 14 undersøgte gårdanlæg var det ikke muligt at måle anlæggets emission adskilt fra nærliggende stalde og gylletanke. For disse anlæg er bidrag fra stalde mm. beregnet med brug af metoden beskrevet i 5.3.2. Den målte metanudledning fra disse anlæg, er i tabellen fratrukket den beregnede udledning fra staldene.

Af Tabel 15 fremgår det, at total metanemission fra det ene industrianlæg var 9,4 kg CH₄/time, mens emissionen varierede for renseanlæggene mellem 1,3 og 28,2 kg CH₄/time. Både gennemsnitlig gasproduktion og gennemsnitlig metanudslip er mindst for renseanlæggene af de fire anlægstyper. For 3 af renseanlæggene angiver målefirma, at bestemmelse af gasproduktion var usikker, og for 1 anlæg kunne gasproduktionen ikke bestemmes.

Tabel 15. Målt total metanemission samt metantab på industrianlæg (anlæg 36) og renseanlæg (anlæg 37-60)

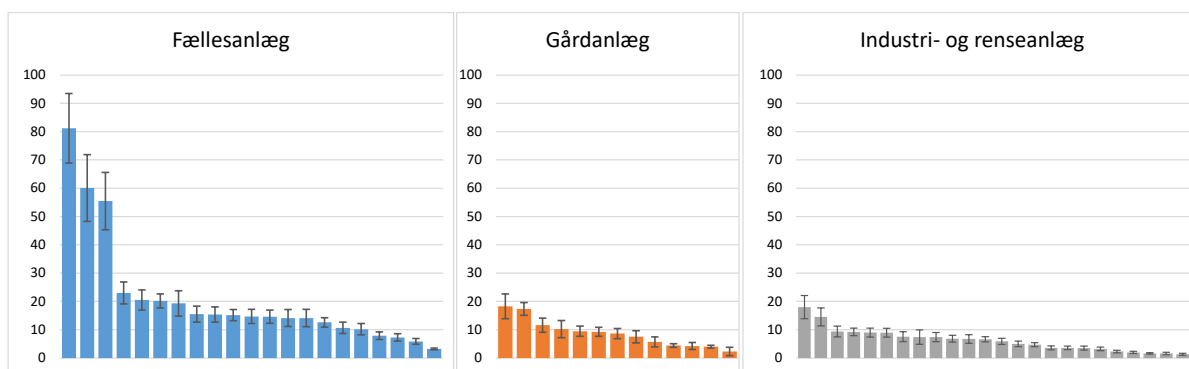
Anlæg id.	Anlægsstørrelse	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
36	Mellem	467	9,4 ± 1,4	2,0
37	Stor	445	14,5 ± 1,9	3,2
38	Mellem	217	9,3 ± 1,6	4,1
39	Mellem	159	18,0 ± 3,2	10,2
40	Mellem	383	28,2 ± 4,1	6,8
41	Mellem	107	3,6 ± 0,6	3,2
42	Mellem	103	7,4 ± 1,6	6,7
43 ^A	Mellem	56,0	5,0 ± 0,7	8,2
44	Mellem	86,8	9,0 ± 1,5	9,4
45 ^A	Lille	14,0	1,6 ± 0,4	10,2
46 ^B	Lille	-	7,5 ± 2,5	-
47	Lille	101	5,9 ± 1,0	5,5
48	Lille	23,7	7,4 ± 1,2	23,7
49	Lille	20,7	2,3 ± 0,4	9,9
50	Lille	76,4	3,2 ± 0,5	4,1
51	Lille	28,3	1,3 ± 0,2	4,4
52	Lille	11,4	6,6 ± 1,1	36,7
53	Lille	24,4	2,4 ± 0,6	6,5
54	Lille	22,0	1,6 ± 0,4	6,8
55	Lille	24,7	3,6 ± 0,7	12,5
56	Lille	7,3	4,7 ± 0,7	39,4
57	Lille	17,8	3,5 ± 0,6	16,5
58	Lille	34,1	6,8 ± 1,5	16,7
59	Lille	86,0	6,7 ± 0,9	7,3
60 ^A	Lille	18,1	9,0 ± 1,8	17,9
Gennemsnit (kun anlæg 37-45 og 47-60)		91	7,0	11,7
			Standardafvigelse	9,6

^A Gasproduktion er oplyst som usikker af målefirma

^B Gasproduktion (og dermed metantab i %) kunne ikke bestemmes

De højeste gennemsnitsemmissionsrater ses for biogasfællesanlæg (21,0 kg CH₄/time) efterfulgt af gårdanlæg (8,6 kg CH₄/time) og renseanlæg (7,0 kg CH₄/time) (Tabel 13-15). I Figur 8 nedenfor illustreres metanemission for de deltagende anlæg, for nemmere at kunne sammenligne emissionsrater for de forskellige anlægstyper. Af Figur 8 fremgår det tydeligt, at der er tre fællesanlæg, hvor der er målt en væsentligt højere total metanemission end de øvrige anlæg i projektet. Disse anlæg har en emission, der er målt til værende over 50 kg CH₄/time, mens

emissionen fra de øvrige anlæg generelt er under 20 kg CH₄/time. For det ene anlæg kan den høje udledning forklares ved, at der ikke er gasopsamling på lagertanke for udrådnet slam, hvilket ellers er normalt for de store anlæg. Der blev ved lækagesøgning målt ret høje metankoncentrationer nær disse tanke, hvilket indikerer høj emission. Ved et andet af de tre anlæg, var der igangværende ombygning, hvilket kan være en mulig forklaring på forøget udledning. Det sidste af de tre anlæg er anlægget, hvor der var registreret den største gasproduktion af de undersøgte anlæg. Anlæggets udledning ift. gasproduktion er ikke væsentligt højere end øvrige fællesanlæg.



Figur 8. Total metanemission (enhed: kg CH₄/time) for de deltagende anlæg grupperet i anlægstyper og sorteret ift. emissionens størrelse.

I dette projekt er der desuden modtaget målerapporter for sporgasmålinger på i alt ni anlæg, der deltog i det frivillige måleprogram, men ikke har deltaget i nærværende projekt. Disse målinger er udført i perioden juni, 2017 til september, 2018. Anlæggene er alle store biogasanlæg og er, på nær et anlæg, fællesanlæg.

Målingerne er udført af målefirmaer, der siden er godkendt til at udføre målinger i nærværende projekt, og med brug af samme metode, som beskrevet i afsnit 4.2, og med samme apparatur. Målingerne er derfor sammenlignelige med dem, hvis resultater er listet ovenfor.

Tabel 16. Målt total metanemission for anlæg, der deltog i det frivillige måleprogram, men ikke deltog i nærværende projekt

Anlæg id.	Anlægs-type	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Målt total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
FM1	Gårdanlæg	426	8,2 ± xx	1,9
FM2	Fællesanlæg	2130	6,1	0,3
FM3	Fællesanlæg	980	5,4	0,5
FM4	Fællesanlæg	581	4,8	0,8
FM5	Fællesanlæg	1469	6,5	0,4
FM6	Fællesanlæg	865	13,1	1,5
FM7	Fællesanlæg	492	1,9	0,4
FM8	Fællesanlæg	1534	15,4	1,0
FM9	Fællesanlæg	429	11,4	2,6
Gennemsnit		990	8,1	1,0
			Standardafvigelse	0,7

6.1.3 Måling af emission fra punktkilder

Der er for mange af de deltagende anlæg udført målinger af udvalgte punktkilder til metanemission. Disse målinger er fortrinsvist udført på afkast fra gasmotoranlæg samt CO₂-afkast fra opgraderingsanlæg. Der er desuden målt på procesventilation mm., hvor dette har været fundet relevant.

Formålet med disse målinger har især været, at de enkelte anlæg har kunnet vurdere effekten af at implementere emissionsreducerende tiltag. Et andet formål har været at undersøge, hvor meget metan, der stammer fra motoranlæg og opgraderingsanlæg, separat fra øvrige kilder til udledning. Dette kan være relevant ifm. systemafgrænsning i nationale emissionsopgørelser.

Tabellerne nedenfor lister resultater af punktkildemålinger for de forskellige anlæg. Der bemærkes, at der for enkelte af punktkildemålingerne kun er udført en kvalitativ måling (fx angivelse af % vol. metan i afkast fra slamlager). Dette er grundet, at målefirmaet i disse tilfælde ikke har kunnet bestemme volumenstrøm.

Ud af de 11 anlæg, hvor der blev målt metanemission fra opgraderingsanlæg havde 5 anlæg alene aminbaseret opgraderingsanlæg, 2 anlæg havde vandscrubbere og tre anlæg havde en kombination. Generelt ses lavere emissionsrater fra aminbaserede opgraderingsanlæg (målt emission: 0,2 til 1,8 kg CH₄/time) sammenlignet med vandscrubberanlæg (målt emission: 6,6 til 16,1 kg CH₄/time). For de 23 anlæg, hvor der blev målt metanemission fra gasmotor, sås en gennemsnitemissionsrate på 1,6 kg CH₄/time.

Den største metanemission fra punktkilder sås på anlæg 11, hvor der fra tre punktkilder (opgradering i amin og scrubber samt svovlrensaneanlæg) blev målt en samlet metanudledning på i alt ca. 50 kg CH₄/time (Tabel 17 og 19). Måling af disse punktkilder blev gjort inden totalmålingen på anlægget, hvor der var foretaget udbedringer således, at anlæggets samlede metanudledning blev målt væsentligt lavere end for disse punktkilder. I de tilfælde, hvor der er målt metan inflow til gasmotor eller opgraderingsanlæg, er tab i % af inflow beregnet, og angivet i tabellerne. Dette er gjort for 14 motoranlæg og et opgraderingsanlæg. Gennemsnitligt tab for motoranlæg (også kaldet metanslip) var 1,4% og for opgraderingsanlægget var det 0,05%.

Tabel 17. Resultater af målinger af metanemission fra opgraderingsanlæg. Ud af de 11 anlæg havde 5 anlæg alene aminbaseret opgraderingsanlæg, 2 anlæg havde vandscrubbere og tre anlæg havde en kombination.

Anlæg id.	Type	Størrelse	Metanemission fra opgraderingsanlæg (kg CH ₄ /time)	Teknologi	Evt. bemærkninger
1	Fællesanlæg	Stor	0,3	Amin	
5	Fællesanlæg	Stor	0,5	Amin	
7	Fællesanlæg	Stor	Vandscrubber: 16,1 Amin: 0,2	Både vandscrubber og amin	
9	Fællesanlæg	Stor	Vandscrubber: 7,9 Amin: 1,8	Både vandscrubber og amin	
10	Fællesanlæg	Stor	4,8	Vandscrubber	
11	Fællesanlæg	Stor	Vandscrubber: 10,1 Amin: 0,5	Både vandscrubber og amin	
12	Fællesanlæg	Stor	6,6	Vandscrubber	
13	Fællesanlæg	Stor	8,0	Vandscrubber	
16	Fællesanlæg	Stor	0,2	Amin	
19	Fællesanlæg	Mellem	0,4	Amin	Inflow målt: 754 kg CH ₄ /time (tab: 0,05%)
30	Gårdanlæg	Lille	0,5	Amin	

Tabel 18. Resultater af målinger af metanemission fra gasmotorer.

Anlæg id.	Type	Størrelse	Metanemission fra gasmotor (kg CH ₄ /time)	Metangas inflow til motor (kg CH ₄ /time)	Metanslip fra motor (%)
4	Fællesanlæg	Stor	3,6		
17	Fællesanlæg	Stor	3,1	356	0,9%
18	Fællesanlæg	Mellem	2,3		
25	Gårданlæg	Mellem	2,2	94	2,4%
26	Gårданlæg	Mellem	0,4	57	0,7%
28	Gårданlæg	Lille	0,3	52	0,6%
31	Gårданlæg	Lille	0,7		
32	Gårданlæg	Lille	0,6	92	0,6%
34	Gårданlæg	Lille	4,0		
35	Gårданlæg	Lille	0,4		
38	Renseanlæg	Mellem	4,7	299	1,6%
39	Renseanlæg	Mellem	3,1	211	1,5%
41	Renseanlæg	Mellem	1,8	72	2,5%
43	Renseanlæg	Mellem	0,1		
44	Renseanlæg	Mellem	1,5	87	1,7%
45	Renseanlæg	Lille	0,8		
47	Renseanlæg	Lille	1,9	62	3,0%
48	Renseanlæg	Lille	0,6	40	1,5%
50	Renseanlæg	Lille	1,4		
51	Renseanlæg	Lille	0,3	29	1,0%
53	Renseanlæg	Lille	0,5		
55	Renseanlæg	Lille	0,8	25	3,3%
58	Renseanlæg	Lille	0,8	53	1,5%
				Gennemsnit	1,4%
				Standardafvigelse	0,8%

Tabel 19. Resultater af måling af metanemission fra øvrige punktkilder

Anlæg id.	Type	Størrelse	Punktmåling
3	Fællesanlæg	Stor	Lugtfiler/procesventilation: 4,0 kg CH ₄ /time
4	Fællesanlæg	Stor	Lugtfiler/procesventilation: 1,4 kg CH ₄ /time
9	Fællesanlæg	Stor	Svovlrensning: 13,3 kg CH ₄ /time
11	Fællesanlæg	Stor	Svovlrensning: 39,4 kg CH ₄ /time
18	Fællesanlæg	Mellem	Lugtfiler/procesventilation: 0,1 kg CH ₄ /time
24	Gårданlæg	Mellem	Afkast fra svovlfiler/lugtfiler (konc. måling): 0,1 vol.% CH ₄
29	Gårданlæg	Lille	Gylletank (indgår ikke i måling af totalemission): 2,1 kg CH ₄ /time
42	Renseanlæg	Mellem	Afkast fra slamlager (konc. måling): 0,35 vol.% CH ₄
44	Renseanlæg	Mellem	Top af tanke: 3 kg CH ₄ /time
52	Renseanlæg	Lille	To afkast fra slamlager (konc. måling): 385 og 740 ppm CH ₄ Afkast fra gaskedel (konc. måling): 137 ppm CH ₄
54	Renseanlæg	Lille	Afkast fra motor (konc. måling): 0,5 vol.% CH ₄
56	Renseanlæg	Lille	Afkast fra slamlager (konc. måling): 3,3 vol.% CH ₄
59	Renseanlæg	Lille	To afkast fra slamlager (konc. måling): 0,1 og 0,2 vol.% CH ₄
60	Renseanlæg	Lille	Afkast fra slamlager (konc. måling): 0,2% Dekanter (konc. måling): 53 ppm CH ₄

6.1.4 Måling af total metanemission før og efter udbedring af lækager

Som del af projektet blev der udført sporgasmålinger hhv. før og efter udbedring af lækager på seks anlæg. Disse anlæg var alle biogasfællesanlæg. Fem af disse anlæg var store anlæg, mens det sidste var "mellem" størrelse.

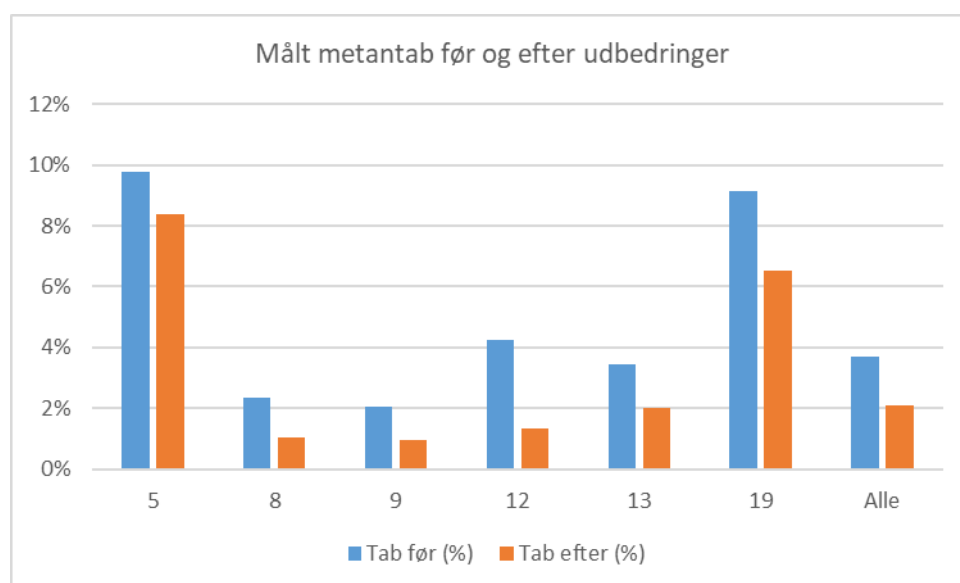
Formålet med denne del af projektet var at undersøge effekten af at gennemføre udbedringer for at reducere metanudledning på biogasanlæg. Ifølge anlæggene, har de udførte "før-målinger" desuden været anvendt i forbindelse med planlægning af udbedringerne, hvor bl.a. screening af metan på anlægget udført i forbindelse med sporgasmålingerne har været et nyttigt supplement til lækagesøgninger med gaskamera.

Tabel 20. Målt total metanemission før og efter udbedringer på seks anlæg.

Anlæg i.d.	Metanemission, før (kg CH ₄ /time)	Metanemission, efter (kg CH ₄ /time)	Forskel (kg CH ₄ /time)	Metantab, før ^A	Metantab, efter
5	50,9	55,5	+ 4,6	9,8%	8,4%
8	47,7	20,5	÷ 27,2	2,3%	1,0%
9	33,9	14,6	÷ 19,3	2,1%	0,9%
12	81,8	23,0	÷ 58,8	4,2%	1,3%
13	24,5	15,4	÷ 9,2	3,5%	2,0%
19	24,5	14,1	÷ 10,4	9,2%	6,5%
Total	263,4	143,0	÷ 120,3	3,7%	2,1%

^A Beregnet som beskrevet i afsnit 6.2. For anlæg 5 ses en højere direkte metanemission efter udbedringer. Metantabet er dog lavere, da anlægget har udvidet sin gasproduktion efter udbedringerne.

Som det fremgår af Tabel 20, er den totale metanemission fra de seks anlæg betydeligt lavere efter udbedringerne (143,0 kg CH₄/time) sammenlignet med før udbedringerne (263,4 kg CH₄/time), hvilket viser, at udbedringerne har haft den ønskede effekt. Omregnet til CO₂ ækvivalenter udgør denne forskel i direkte emissioner ca. 29.400 tons CO₂ ækv. årligt antaget et drivhusgaspotential for metan på 28 kg CO₂ / kg CH₄. Forskellen svarer i øvrigt til 1,5 mio. Nm³ CH₄/år.



Figur 9. Målt metantab før og efter udbedringer for de seks anlæg

På fem ud af de syv anlæg er metantabet reduceret til 2% eller lavere som følge af udbedringer. For anlæg 5, blev der ifm. lækagesøgning fundet, at der var væsentlig metanemission fra

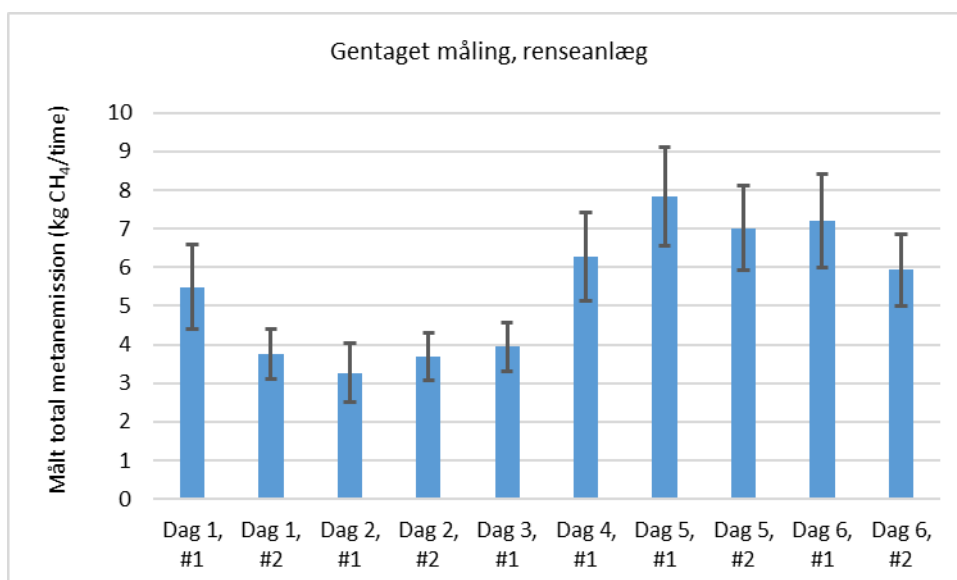
lagertanke uden gasopsamling. Ud fra resultaterne vist i Tabel 20 vurderes det, at der er mulighed for væsentlig reduktion fra anlæg 5, såfremt der installeres gasopsamling på disse tanke. Dvs., at der er et yderligere reduktionspotentiale for anlæg 5.

6.1.5 Variation af total metanemission over tid

Metanudledninger fra biogasanlæg kan variere over tid af flere årsager. Eksempler på forhold, der kan give anledning til kortvarig væsentlig forhøjet udledning kan være udløsning af overtryksventil og omrøring i lagertank uden gasopsamling. En række andre faktorer, der ligger inden for normale driftsforhold kan også forårsage variation. Udledningen kan eksempelvis variere i forhold til mængden af biomasse, der er oplagret på anlægget på måletidspunktet, drift af motoranlæg, variation af trykforskelle mellem gasbærende dele og atmosfæren mm.

Da målemetoden, der er godkendt til bestemmelse af et anlægs totale metanemission, typisk foretages over få timer, er det relevant at vide i hvor høj grad, metanudledninger fra biogasanlæg kan variere. For at komme dette spørgsmål nærmere, beskrives der her målinger foretaget i projektet på et biogasanlæg over fem dage, ligesom der gengives tilsvarende måleresultater fra to tyske biogasanlæg i forbindelse med projektet MetHarmo.

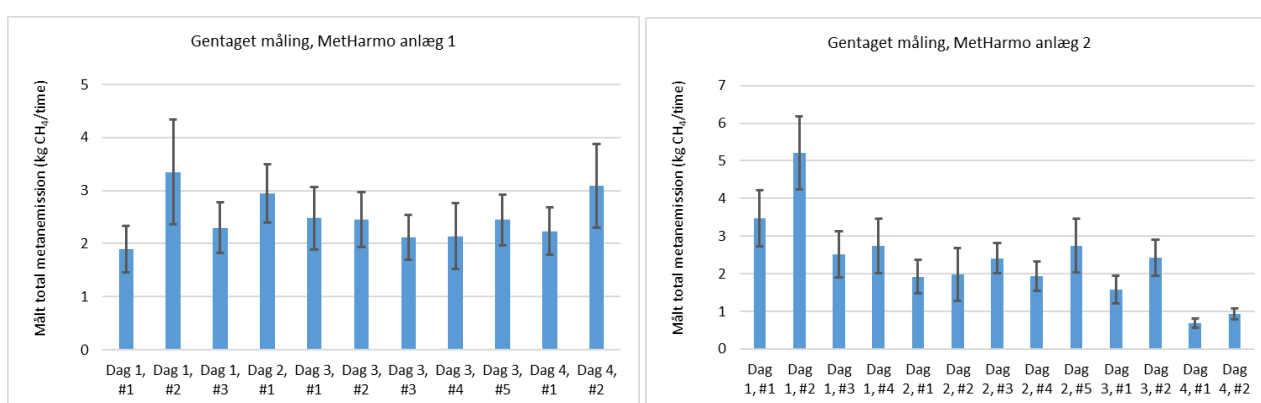
Emissionsrater vist i Figur 10 nedenfor er alle målt af DTU Miljø med brug af metoden angivet i afsnit 4.2. Målingerne er udført over seks dage på et mellemstort renseanlæg. Metanudledningen er målt to gange om dagen i hverdage (én måling morgen/formiddag og én om aftenen) samt én gang dagligt i weekenden (Dag 3 og 4). Der ses nogen variation i målt emissionsrate, hvilket kan skyldes variation i driftsforhold eller belastning til anlægget. Gennemsnitlig emission i perioden var $5,4 \pm 1,6$ kg CH₄/time, mens den maksimale og minimale emission var hhv. 7,8 og 3,3 kg CH₄/time. Desværre var det ikke muligt at få oplyst gasproduktionen på måletidspunkterne grundet fejl på renseanlæggets SRO anlæg. Det vides derfor ikke om der ses en tilsvarende variation i metantab på de forskellige måletidspunkter.



Figur 10. Gentaget måling af et biogasanlægs totale metanemission udført i dette projekt.

At der blev observeret variation i emissionsrate over tid, som vist i Figur 10 er tilsvarende tidligere erfaringer fra projektet MetHarmo gjort af DTU Miljø på to tyske anlæg, der benytter gylle og energiafgrøder. Ved disse anlæg blev der målt total metanemission over fire dage på begge anlæg.

Disse resultater er vist i Figur 11. "MetHarmo anlæg 1" var et relativt nyt biogasfællesanlæg med opgradering samt gasmotoranlæg on-site. Metantab i % af produktion var lavt – i gennemsnit 0,6%. Det ses på figuren, at metanudledning fra dette anlæg var relativt stabil. "Metharmo anlæg 2" var et ældre biogasanlæg med åben tank til afgasset biomasse. Metanudledningen ses her at variere noget mere end for de andre anlæg. Der blev her observeret kortvarige "spikes" i metanudledning sammenfaldende med dels et driftsstop af gasmotor og dels kortvarig omrøring af åben tank til udrådnet slam. I figuren ses kun målinger under normal drift.



Figur 11. Gentaget måling af biogasanlægs totale metanemission udført i projektet MetHarmo af DTU Miljø

6.2 Metantab på anlægsniveau

Tabel 21 viser en oversigt over gennemsnitlige metantab (%) målt på de individuelle anlæg fordelt på anlægstyper. Det højst gennemsnitlige metantab på anlægsniveau ses for renseanlæg (11,7%) efterfulgt af gårdanlæg (8,2%), og fællesanlæg (4,0%). Generelt er fællesanlæggene således den anlægstype, hvor der måles de laveste metantab, varierende mellem 0,8 og 16,2%.

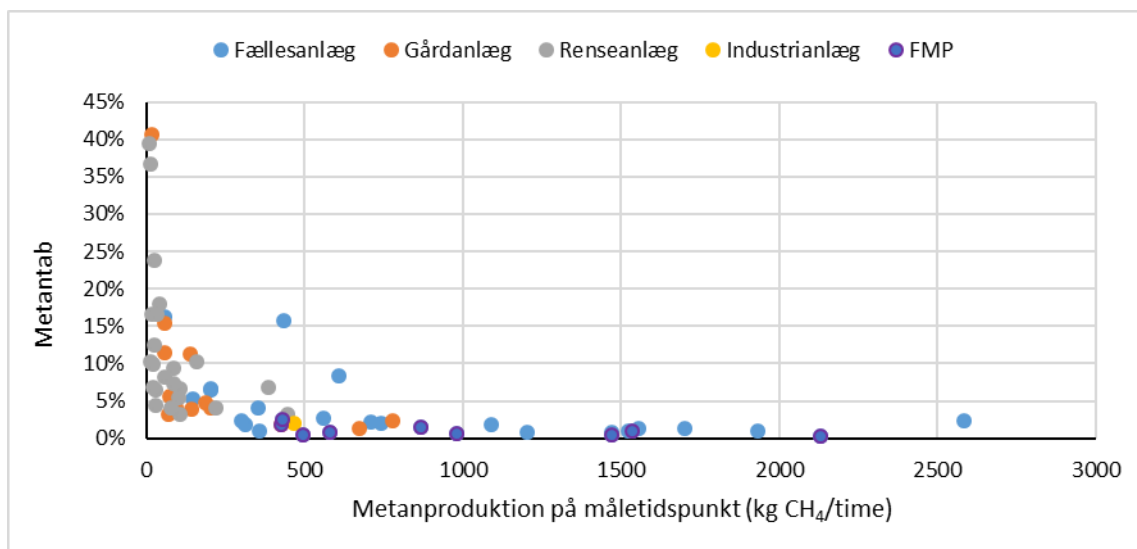
Højest tab blev set på det anlæg, der var under ombygning på måletidspunkt, mens næsthøjest tab blev set på et anlæg, hvor der ikke var gasopsamling på lagertanke. Fællesanlæg har typisk gasopsamling på disse tanke. Tilsvarende varierer metantab mellem 1,4 og 40,6% for gårdanlæg og mellem 3,2 og 39,4% for renseanlæg. Kun for 11 ud af de i alt 69 anlæg i projektet og den frivillige måleordning er metantabet 1,0% eller lavere, og alle 11 anlæg er fællesanlæg.

Tabel 21. Oversigt over metantab (%) målt på de individuelle anlæg fordelt på anlægstyper. For definition og beregning af metantab på anlægsniveau henvises til afsnit 3.4.

Anlægstype	Antal anlæg målt	Gennemsnitligt metantab (%) ^A	Minimum metantab (%)	Maksimum metantab (%)
Fællesanlæg	21	4,0%	0,8%	16,2%
Gårdanlæg	14	8,2%	1,4%	40,6%
Industrianlæg	1	2,0%	2,0%	2,0%
Renseanlæg	24	11,7%	3,2%	39,4%
Alle typer	60	8,0%	0,8%	40,6%

^A Ikke lig emissionsfaktor (se afsnit 6.3)

Metantab for de forskellige typer anlæg målt i dette projekt, samt målt tab for anlæg i det frivillige måleprogram (FMP) er plottet i Figur 12 som funktion af anlæggenes gasproduktion.



Figur 12. Beregnet metantab for de enkelte anlæg. Metantab fra de ni anlæg i det frivillige måleprogram indgår i de viste data markeret "FMP".

Der ses en overordnet tendens til, at større anlæg udleder en mindre andel af deres metanproduktion sammenlignet med mindre anlæg. Der kan være flere årsager til, at de større anlæg overordnet har lavere tab. For fællesanlæggene er der som oftest gasopsamling på de fleste tanke, mens dette typisk ikke er tilfældet for eksempelvis slamlager på renseanlæg. Store fællesanlæg er desuden en anlægstype, hvor mange af anlæggene er relativt nybyggede, mens der for mange af de større, ældre fællesanlæg er foretaget reinvesteringer og udvidelser.

Renseanlæggene har generelt et højt metantab. I forbindelse med lækagemålinger og metanscreeninger på renseanlæggene er der i flere tilfælde observeret få lækager på selve biogasanlægget (reaktor, motoranlæg mv.), mens der ses tegn på væsentlig emission fra slamlager uden gasopsamling. Slamlager uden gasopsamling vurderes at være årsag til væsentlig udledning af metan fra renseanlæggene.

Der ses tre anlæg (et gårdanlæg og to renseanlæg), hvor det målte metantab er højere end 35%. Fælles for disse tre anlæg er, at deres gasproduktion er lav, under 20 kg CH₄/time. Til sammenligning er den gennemsnitlige gasproduktion for gårdanlæggene i projektet ca. 200 kg CH₄/time. De højeste tab bliver altså målt ved helt små producenter, hvor evt. udledning fra opbevaret biomasse i tanke uden gasopsamling vægter højt i beregningen af metantab. På det ene af de to renseanlæg med særlig høj emission, var der ved lækagesøgning konstateret meget høj udledning fra utæt gaslager. Gaslager er planlagt udskiftet, men dette var ikke nået inden for projektperioden. På det andet af de to renseanlæg var der udført målt ret høj koncentration af metan i afkast fra slamlager uden gasopsamling (3,3 vol.%), der tyder på væsentlig emission fra denne kilde. Fra gårdanlægget, hvor der målt højest metantab var der ikke udført lækagesøgning, og årsag til det relativt høje metantab er derfor ukendt. Ejer af gårdanlægget har meddelt, at der siden udførsel af måling er udført tiltag for at mindske udledning.

6.3 Metanemissionsfaktorer

Tabel 22 viser metanemissionsfaktorer for fire forskellige anlægstyper til brug for den nationale indrapportering af drivhusgasemissioner. Emissionsfaktoren for alle anlægstyper er 2,5% (produktionsvægtet gennemsnit). Den laveste emissionsfaktor ses for biogasfællesanlæggene (1,9%), mens den højeste emissionsfaktor ses for renseanlæggene (7,7%).

Det bemærkes at metanemissionsfaktorerne er lavere end de beregnede gennemsnitlige metantab (afsnit 6.2), da emissionsfaktorerne er vægtet i forhold til anlæggenes metanproduktion, og de store anlæg generelt har en tendens til at have et lavere metatab jf Figur 12.

Det totale antal anlæg målt i projektet, samt modtagne målerapporter fra det frivillige måleprogram er 69. Anlæggenes produktion udgør 59% af dansk produktion af biogas (afsnit 3).

I Tabel 22, der lister emissionsfaktorer for de forskellige anlægstyper er der angivet beregnet usikkerhed på emissionsfaktorer. Til denne beregning er indgået der dels måleusikkerhed bestemt for de enkelte målinger som beskrevet i afsnit 4.2, og dels estimeret usikkerhed på bestemmelse af gasproduktion. Sidstnævnte er vurderet til at variere mellem 0,5 og 2% for de forskellige anlæg afhængigt af anlæggenes indretning. Lavest usikkerhed (max 0,5%) gælder for anlæg med opgradering, der har meget nøjagtige gasmåler. De mest usikre bestemmelser af gasproduktion gælder for motoranlæg, hvor metanproduktion er beregnet ud fra el-produktion og motorens virkningsgrad. Hvis motoren er slidt falder el-virkningsgraden, hvilket er indgået i vurdering af usikkerhed.

Tabel 22. Metanemissionsfaktorer for de fire anlægstyper og inkl. målinger fra den frivillige måleordning. Metanemissionsfaktorerne er beregnet som summen af målt metanudledning divideret med summen af metanproduktion registreret på anlæggene.

Anlægstype	Antal anlæg målt	Sum af målt metanproduktion fra anlægstype (kg CH ₄ /time)	Sum af målt metanudledning fra anlægstype (kg CH ₄ /time)	Emissionsfaktor (%)
Fællesanlæg	29	26.717	505	1,9 ± 0,3
Gårdanlæg	15	3.246	128	3,9 ± 1,0
Industrianlæg	1	467	9	2,0 ± 0,4
Renseanlæg	24	2.093	161	7,7 ± 1,4
Alle typer	69	32.523	804	2,5 ± 0,5

For alle de landbrugsbaserede anlæg (fællesanlæg samt gårdanlæg) er det samlede antal anlæg 44, den samlede metanproduktion 29.963 kg CH₄/time, totale emission 633 kg CH₄/time og emissionsfaktor 2,1 ± 0,4%.

6.4 Egenkontrolprogrammer

Rambøll har besøgt 39 anlæg og udarbejdet egenkontrolprogrammer for disse.

Egenkontrolprogrammerne er gennemført for alle typer anlæg. Eksempler på anlægsopbygning er gengivet i tabellen nedenfor.

Tabel 23. Eksempler på anlægsbeskrivelser.

Nr. (OPG1)	Anlægsbeskrivelse
7	Landbrugsanlæg: Ståltreaktorer med fast tag, efterudrådning i dobbeltmembran overdækket ståltank, opgraderingsanlæg (Amin proces) og opgraderingsanlæg (vandskrubber), gasfakkel. Modtagetanke og lagertanke tilsluttet lugtfilter.
15	Landbrugsanlæg: Betonreaktorer med dobbeltmembran overdækning, efterudrådning i betontank med enkeltmembran. Opgradering (Amin proces), gasfakkel. Modtagetanke og lagertanke tilsluttet lugtfilter.
22	Betonreaktorer med dobbeltmembran overdækning, efterudrådning i betontanke med enkeltmembran. Lagertanke overdækket med dobbeltmembran. Opgradering (Membran proces), gasfakkel. Modtagetanke tilsluttet lugtfilter.
31	Gårdanlæg: Betonreaktorer med dobbeltmembran overdækning, gasmotor, gasfakkel. Modtagetanke og lagertanke ikke tæt overdækket.
32	Gårdanlæg: Betonreaktorer med dobbeltmembran overdækning, gasmotor, ingen gasfakkel. Modtagetanke med enkeltmembran overdækning og gasopsamling. Udleveringstank ikke gastæt overdækket.
43	Rensesanlæg: Betonreaktorer med fast tag, dobbeltmembran gaslager, gasmotor, kedel, fakkel. Slamlagertank med udsugning tilsluttet lugtfilter.

6.5 Skitseprojekter

Rambøll har bistået anlæggene med at udvælge og gennemføre tiltag, herunder valg af teknologier, for at minimere metantab. Der er udført skitseprojekter for løsninger til minimering af metantab på 18 anlæg. Skitseprojekterne er kort beskrevet nedenunder. Skitseprojektets indhold er valgt af anlæggene fra et produktkatalog, udarbejdet af Rambøll, som anlæggene fik tilsendt og præsenteret eller andet efter anlæggets eget ønske. Der er i tabellen nedenfor anført den reduktion, som tiltaget bidrager med i form af reduceret drivhusgasbidrag. Bidraget er beregnet som produceret CH₄ (t/år) x 28 = CO₂ (t/år).

De nedenfor angivne nutidsværdier (NPV) er beregnet med følgende data:

Diskonteringsrente: 2 %:

Metanpris på 6 DKK/Nm³ CH₄.

Elpris, salg: 1,25 DKK/kWh

Elpris, køb: 0,7 DKK/kWh

Vedligehold motor DKK/kWh: 0,1 DKK/kWh

Vedligeholdelse øvrige anlæg: 2% af investering/år

Tabel 24. Skitseprojekter udarbejdet i projektet og reduceret drivhusgasbidrag.

Anlæg (OPG1)	Anlæg (OPG2)	Biogasgas produktion	Kort beskrivelse af skitseprojektet. Yderligere beskrivelser og beregninger vedlægges i leveres separat.	Reduceret drivhusgas bidrag
		Nm ³ CH ₄ /år X 1.000.000		tonCO ₂ /år
22	7	18,2	Fællesbiogasanlæg Installation af RTO for destruktion af metan udslip fra opgraderingsanlæg, type vandskrubber. 98% af metan udslippet bliver destrueret. Investering: 7,3 mill. DKK. Driftsudgifter 219.000 DKK/år.	14.000
3	14	9,5	Fællesbiogasanlæg Anlægget fakler biogas i perioder med driftstop på opgraderingsanlæg og hvis metan kvaliteten fra opgraderingsanlægget ikke opfylder kvalitetskravene, fordi der ikke er den fornødne ledningsføring til/fra eksisterende gaslager for at biogassen kan lagres under driftstop. Skitseprojektet evaluerer installation af ledningsføring for bedre udnyttelse af gaslagerkapaciteten. Investering: 1,3 mill. DKK. NPV10 = 0,2 mill. DKK. NPV20 år = 1,4 mill. DKK.	613
55	15	5,7	Fællesbiogasanlæg Beregning af økonomi ved forøgelsen i biogasudbytte ved udvidelse af reaktorvolumen med 20.000 m ³ , svarende til at forøge anlæggets opholdstid fra 62 dage til 80 dage. Gasproduktionen forøges med 1.517.000 nm ³ CH ₄ /år eller 5%. Investering: Ikke kendt Driftsudgifter: Ikke kendt	30.000
13	18	1,7	Fællesbiogasanlæg Beregning af økonomi ved udvidelse af anlæggets reaktorvolumen med 4.000 m ³ . Herved forøges opholdstiden i anlægget fra 17,5 til 33,8 dage. Ved den forøgede opholdstid forøges biogasproduktionen fra 4,84 mill. nm ³ CH ₄ til 5,12 mill. nm ³ CH ₄ . Anlægget har en gasmotor, som kan udnytte hele gasproduktionen. Der er indregnet reinvestering på gasmotor 1.000.000 DKK/10år. Investering 6,44 mill. DKK. NPV10 = 6,1 mill. DKK. NPV20 år = 15,6 mill. DKK.	5.500
31	24	3,1	Fællesbiogasanlæg Økonomisk evaluering. Anlægget tilføres i dage en del industriaffald. Prisen på industriaffald stiger, grundet forøget efterspørgsel. Der påtænkes derfor at tilføre anlægget halm, som forbehandles ved 70 oC, hvorved der opnås 30 % højere biogas udbytte fra halmen. Investering: 22,5 millioner DKK NPV10år:10,0 millioner DKK, NPV20år:33,6 millioner DKK	34.200
8	31	0,6	Gårdanlæg	233

			Gastæt overdækning af lagertanke og opsamling af biogasproduktionen fra disse. Efterudrådnigen i lagertankene forventes at give en ekstra metanproduktion på 12.000 nm ³ CH ₄ . Investering: 543.000 DKK NPV10år:-67.000 DKK, NPV20år:63.000 DKK	
44	39	1,4	Renseanlæg Gastæt overdækning af slamlagertank og opsamling af biogasproduktionen fra denne. Efterudrådnigen i lagertankene forventes at give en ekstra metanproduktion på 14.500 nm ³ CH ₄ . Investering: 220.000 DKK NPV10år: 869.000 DKK, NPV20år: 1.480.000 DKK	287
56	40	2,2	Renseanlæg Omlægning af rådnetanke fra mesofil drift til termofil drift. Forøget reaktortemperatur forventes at give forøget biogasproduktion på 68.500 nm ³ CH ₄ /år. Investering: 1.030.000 DKK NPV10år: 386.000 DKK, NPV20år: 1.587.000 DKK	1.356
47	44	1,0	Renseanlæg Termisk Hydrolyse og gastæt overdækning af slamlagertank og opsamling af biogasproduktionen fra denne. Termisk hydrolyse forventes at give et forøget metanudbytte svarende til 297.000 nm ³ CH ₄ /år. Efterudrådnigen i lagertankene forventes at give en ekstra metanproduktion på 10.000 nm ³ CH ₄ /år. Investering: 15 millioner DKK NPV10år: -1,4 millioner DKK, NPV20år: 11,3 millioner DKK	6.030
66	43	0,7	Renseanlæg Installation af termisk hydrolyse for forbehandling af slam inden udrådning i rådnetank. Vedforbehandlingen forøges anlæggets biogasproduktion fra 695.000 nm ³ CH ₄ til 903.000 nm ³ CH ₄ og anlæggets slammængde for deponering reduceres. Investering: 13,6 millioner DKK NPV10år: -3.300.000 DKK, NPV20år: 763.000 DKK	4.085
51	41	1,1	Renseanlæg Installation af termisk hydrolyse for forbehandling af slam inden udrådning i rådnetank. Vedforbehandlingen forøges anlæggets biogasproduktion fra 240.000 nm ³ CH ₄ til 312.000 nm ³ CH ₄ og anlæggets slammængde for deponering reduceres. Investering: 13.800.000 DKK NPV10år: -9.100.000 DKK, NPV20år: -4.900.000 DKK	1.411
71	46	0,03	Renseanlæg af ældre dato, med nedslidte installationer. Rådnetank nedlægges og slammet fra anlægget transporteres til et nærliggende større anlæg, som har rådnetankkapacitet til at håndtere slammet. Forøget metanproduktion 8.500 nm ³ CH ₄ /år.	168

			Investering: 820.000 DKK NPV10år: -145.000 DKK, NPV20år: +330.000 DKK	
67	50	0,5	Renseanlæg Installation af termisk hydrolyse for forbehandling af slam inden udrådning i rådnetank. Vedforbehandlingen forøges anlæggets biogasproduktion fra 620.000 nm ³ CH ₄ til 806.000 nm ³ CH ₄ og anlæggets slammængde for deponering reduceres. Investering: 13.600.000 DKK NPV10år: -10.200.000 DKK, NPV20år: -7.000.000 DKK	3.680
69	51	0,11	Renseanlæg Installation af separator på en industrivirksomhed. Den fast biomasse sælges til et biogasanlæg. Herved bliver en større del af biomassen udnyttet til biogas. Dette letter belastningen på rensesanlægget. Rensesanlægget kunne ikke udnytte sin produktion af biogas fra den reducerede belastning. Virksomheden sælger biomassen til fællesbiogasanlæg. Investering: 3,3 millioner DKK NPV10år: 14,3 millioner, NPV20år: 26,0 millioner DKK	Ikke beregnet.
39		0,3	Renseanlæg Gastæt overdækning af slamlagertank og opsamling af biogasproduktionen fra denne. Efterudrådningen i lagertankene forventes at give en ekstra metanproduktion på 2.135 nm ³ CH ₄ /år Investering: 450.000 DKK, NPV10år: -300.000 DKK, NPV20år: -387.000 DKK	42
14		0,08	Renseanlæg af ældre dato, med nedslidte installationer. Der er lækager og metantab til det fri på reaktortank. Rådnetank nedlægges og slammet fra anlægget transporteres til et nærliggende større biogasanlæg, som har modtageforhold, hygiejnisering og rådnetankkapacitet til at håndtere slammet. Ikke forøget metanproduktion. Investering: Ingen. Overflødig udstyr kan evt. sælges. NPV10år: +1.080.000 DKK, NPV20år: +1.890.000 DKK	Reduceret lækage. Ikke kvantificeret
34		1,4	Gårdanlæg Beregning af økonomi ved udvidelse af anlæggets reaktorvolumen med 3.000 m ³ . Herved forøges opholdstiden. Opholds tiden i anlægget er så stor at der ikke forventes forøget biogasproduktion, men mere sikker og fleksibel drift.	Ikke relevant. Biogasproduktion forøges ikke.
9		0,6	Renseanlæg Gastæt overdækning af slamlagertank og opsamling af biogasproduktionen fra denne. Efterudrådningen i lagertankene forventes at give en ekstra metanproduktion på 11.180 nm ³ CH ₄ . Investering: 650.000 DKK NPV10år: 113.000 DKK, NPV20år: 531.000 DKK	221

7. VEJLEDNINGSMATERIALE

7.1 Best practice

Vejledning, "best practice", er vedlagt i Appendix 4. Vejledningen beskriver "best practice" for reduktion af metantab fra anlæggene, specielt med fokus på de største kilder til emissioner samt anvisning på afhjælpning beskrives. Det beskrives hvilket udstyr, indretninger og processer, der giver anledning til mindst metantab.

Best Practice beskrives i to dele.

1. Best Practice for overvågning af metanlækage (lækagesøgning) på anlæggene tager udgangspunkt i anlæggenes indretning og anvisning af metoder for overvågningen med udgangspunkt i dette. Mange anlæg, eller dele heraf, er indrettet på sådan måde at driftspersonalet på anlægget ikke selv kan foretage lækagesøgning, fordi adgangsforhold til gasbærende komponenter ikke tillader det. I så tilfælde anvises metode, som udføres af eksternt firma.
2. Best Practice for indretning af anlægget for at der kan foretages overvågning af metanlækage af anlæggets driftspersonale, med hyppighed, som bestemmes af forventet størrelse af kilden til gaslækage.

7.2 BAT (Best Available Technology)

Ved BAT-konklusion forstås et dokument, der er vedtaget efter artikel 75 i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2010/75/EU om industrielle emissioner, og som indeholder EU-Kommissionens afgørelse om de dele af et BAT-referencedokument (BREF), der fastsætter konklusionerne vedrørende den BAT, beskrivelsen af teknikken, oplysninger til vurdering af dens anvendelighed, de emissionsniveauer, der er forbundet med BAT, den dertil knyttede overvågning, de dertil knyttede forbrugsniveauer og om nødvendigt foranstaltninger til begrænsning af skader fra forurening fra virksomheden.

Forurenende virksomheder skal begrænse forureningen, så det svarer til, hvad der kan opnås ved anvendelse af bedst tilgængelig teknik, BAT (Best Available Techniques).

Godkendelsesmyndighed (Miljømyndigheden) må ikke meddele godkendelse, medmindre den vurderer, at virksomheden har truffet de nødvendige foranstaltninger til at forebygge og begrænse forureningen ved anvendelse af BAT.

BAT-konklusionerne er en opsummering af hvert enkelt BAT-referencedokument, BREF-dokument og sammenfatter, hvad der er BAT for branchen, herunder hvilke emissionsniveauer der kan opnås med de teknikker, som er vurderet at være BAT. BAT-konklusioner er siden 2011 udgivet som en EU-retsakt og fremgår af [godkendelsesbekendtgørelsen Bilag 7](#).

BREF-dokumenter er tekniske dokumenter, hvori der fastlægges, hvad der må betragtes som BAT for de virksomhedstyper, som er omfattet af BREF-dokumentet. Det fremgår af de enkelte BREF-dokumenter, hvilke virksomhedstyper BREF-dokumentet omfatter.

BAT-konklusionerne kan omfatte:

- Emissionsniveauer, der er forbundet med anvendelse af BAT
- Krav til miljøstyringssystemer
- Ressourceeffektivitet og -forbrug
- Affaldsminimering og genanvendelse

- Indretning, håndtering, drift mm.

Der findes ingen EU BAT konklusioner for at sikre reduktion af metantab fra biogasanlæggene. Der er således behov for at krav til udstyr, indretning og processer skærpes yderligere i forbindelse med miljøgodkendelserne.

Kravene skal omfatte både diffuse udslip og ledningsbårne udslip (skorsten):

Krav med tilknyttet niveau for miljøeffektivitet i form af emissionsniveau af biogas eller metan eller anden form for effektivitets niveau.

- Krav til overvågning, hyppighed af og metoder til overvågning.
- Krav til drift og vedligeholdelse og til indretning for at kunne gennemføre drift og vedligeholdelse i h.t. kravene.
- Krav til andre vilkår end normale driftsvilkår, herunder opstart, nedlukning, udslip, forstyrrelser, momentane standsninger og definitivt ophør.

Opstilling af BAT referencedokument og herunder BAT konklusioner er en omfattende sagsbehandling, som varetages i EU regi. Vi har i tabellen nedenfor beskrevet nogle eksempler på krav, som vi mener bør implementeres i BAT.

Tabel 25. Eksempler på krav til BAT med henblik på reduktion af metanudslip fra biogasanlæg.

Anlægsfase	Krav beskrivelse
Design, proces	Anlægget skal udstyres på en måde der sikre at der kan foretages proces teknisk overvågning af anlægget.
Design, adgangsforhold	<ul style="list-style-type: none"> • Adgangsforhold til komponenter for lækagesøgning for reduktion af metantab, skal være på niveau, som for vedligeholdelse af mekanik og el. • Komponenter, som er neddykket i tanke med gasproduktion og skal optages for vedligeholdelse, skal kunne optages uden at der tabes biogas under optagning og genmontage.
Konstruktion	<ul style="list-style-type: none"> • Anlægget skal være robust og konstrueres for lang levetid. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Membranoverdækninger skal være stamme/udspilede for at modstå vindbelastning og undgå vibrationer.
Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> • Lækagesøgning for reduktion af metantab skal indgå i driftsmanual og vedligeholdelsesprogrammer og rutinemæssigt vedligehold.
Opstart	Biogas skal opsamles under opstart af anlægget og afbrændes i fakkell eller opgraderingsanlæg, gasmotor og kedel.
Daglig drift	Lækagesøgning skal indgå i daglig drift.
Forstyrrelser	Biogasudslip skal begrænses mest muligt.
Momentan standsning	Biogasudslip skal begrænses mest muligt.
Nedlukning	Biomasse i anlægget skal udrådnes til et nærmere defineret restindhold af organisk materiale og biogassen skal opsamles og afbrændes.
Definitivt ophør	Biomasse i anlægget skal udrådnes til et nærmere defineret restindhold af organisk materiale og biogassen skal opsamles og afbrændes.

7.3 Erfaringsudveksling

Præsentation af projektet er gennemført på:

- Spildevandsteknisk Forenings Døgnkursus den 8.-9. november 2019
- Danish Export Council, Temamøde: "Fra slam til gas", den 20. januar, 2020
- DAKOFA seminar: "Bioaffald i søgelyset" den 22. september, 2020
- Biogas Danmark Konferencen 2020 den 9. december 2020

8. MÅLING AF METANUDLEDNING FRA ÅBNE TANKE

Dette afsnit beskriver opgaven i projektet omhandlende måling af metanudledning fra åbne tanke, hvor "åbne tanke" her er gyllebeholdere ved landbrug, hvor afgasset biomasse opbevares inden udspreddning på landbrugsjord. Som beskrevet nedenfor, har undersøgelsen også omfattet målinger på tanke med rågylle, for at undersøge forskel i metanemission for hhv. afgasset biomasse og rågylle.

Denne aktivitet er ved færdiggørelse af denne rapport igangværende, idet det er fundet relevant for projektet, at der måles emissioner over et helt kalenderår, og de første målinger blev udført sommer 2020. Grunden til den lange periode for udførelse af målinger er, at der forventes årstidsvariation af udledningerne, hvilket har været dokumenteret i andre studier (fx Maldaner et al., 2018). I dette afsnit beskrives derfor kun hvad der undersøges, og metoder, mens resultater af opgaven (måleresultater, analyse og perspektivering) vil rapporteres separat, når alle måleresultater foreligger.

8.1 Problemstilling og formål

Denne undersøgelse fokuserer på metanudslippet fra langtidslagring af gylle og udrådnede biomasse. Det skal forstås, som oplagring af gylle og biomasse i de perioder, som man ikke må sprede biomasse på landbrugsjord.

Der formodes at være stort metanudslip fra oplagring af gylle og udrådnede biomasse. Viden om emissionens omfang er i dag hovedsageligt baseret på laboratorieforsøg, mens målinger på tanke i dag kun er udført i begrænset omfang.

Der er lagringspligt svarerende til 9 måneders gylleproduktion og ligeledes samme lagringspligt for udrådnede biomasse, som kommer fra biogasanlæggene.

Potentialet for metanproduktion/udslip fra lagring af gylle, som ikke har passeret biogasanlæg, er større end biogasproduktionen på biogasanlæggene. Potentialet bliver selvfølgelig kun delvis realiseret fordi, der ikke er optimale procesbetingelser i disse tanke ift. gasdannelse. Hvor stor en del af dette potentiale der realiseres i form af metandannelse og emission er den problemstilling, der undersøges.

Den udrådnede biomasse fra biogasanlæggene har et restpotentiale for metanproduktion/udslip, som er afhængig af opholdstiden i reaktorerne på biogasanlæggene.

Måling af metanudslip fra gylle/biomasselagre vil vise hvor stort et metanudslip, der er fra de lagre, der undersøges. Der er en række forhold, som udslippet er betinget af, og som der vil være opmærksomhed på ved planlægning af målinger:

1. Der forventes lavere metanemission fra afgasset biomasse sammenlignet med rågylle
2. Procesbetingelserne i lagertankene, hvor der lagres udrådnede biomasse kan influere på emissionen. Er der processtabilitet, som producerer metan og hvilken grad?
 - a. Biomassen, som kommer fra biogasanlæggene, er opvarmet og i nogle tilfælde ikke nedkølet, når den tilføres lagertankene og er samtidigt podet (har aktiv bakteriekultur). Denne tilstand bevares i nogen tid.
 - b. Biomassen nedkøles i lagertankene og temperaturen varierer med årstiderne.
 - c. Biomassen i lagrene omrøres ikke under lagringen. Kun i forbindelse med udbringningen og der foretages omrøring over en kort periode.

3. Procesbetingelserne i gylletankene, hvor gyllen kommer direkte fra staldene og ikke tilføres biogasanlæg kan influere på metanemissionen. Er der processtabilitet, som producerer metan og hvilken grad?
 - a. Gyllen er varm fra stald, når den tilføres lagertankene, men nedkøles her og temperaturen varierer med årstiderne.
 - b. Biomassen i lagrene omrøres ikke under lagringen. Kun i forbindelse med udbringningen og dette foretages over en kort periode.

Målinger skal give en indikation af:

1. Hvor meget metanudslippet er ved oplagring af gylle/biomasse fra henholdsvis lagre for biomasse fra biogasanlæg og lagre med gylle direkte fra stald. Metanudslippet skal opgøres normaliseret ift. mængde af organisk tørstof.
2. Hvor stor forskel der er på udslippet ved lagring af henholdsvis biomasse fra biogasanlæg og kvæg- og svinegylle direkte fra stald.
3. Grundlag for estimat af metanudslip og klimapåvirkning fra lagring af gylle og udrådnede biomasse.

8.2 Projektaktiviteter

Opgaven udføres af Rambøll i samarbejde med DTU Miljø. Følgende aktiviteter gennemføres:

1. Litteratursøgning vedrørende omfang af metanudslip fra langtidsoplagring af biomasse/gylle.
2. Teoretisk udredning for procesbetingelser og forventede resultater.
3. Fastlæggelse af kriterier for proces- og driftsbetingelser, som skal være opfyldte under målingerne.
4. Der identificeres landbrugsejendomme, som opfylder de kriterier, som der skal måles under og laves aftaler med landmænd.
5. Planlægning af målekampaner.
6. Målekampaner – måling af total metanemission, mængde og temperatur.
7. Bestemmelse af massebalance for organisk tørstof i tanke.
8. Udarbejdelse af rapport med måleresultater, analyse og perspektivering.

Der er identificeret fire landbrugsejendomme, hvor målekampanerne udføres. Disse landbrugsejendomme er:

- Landbrugsejendom ikke tilknyttet biogasanlæg, med svinestalde.
- Landbrugsejendom ikke tilknyttet biogasanlæg, med kvægstalde.
- Landbrugsejendom, som lagrer udrådnede biomasse fra biogasanlæg (lang opholdstid).
- Landbrugsejendom, som lagrer udrådnede biomasse fra biogasanlæg (kort opholdstid).

Den totale emission fra tankene bestemmes med sporgasmetoden, svarende til de målinger, der anvendes til at måle total metanemission fra biogasanlæg beskrevet i afsnit 4.2.

Måling af metanemissionen består af flere trin. Målingen planlægges først hjemmefra, hvor relevante vindretninger og tilhørende måleveje identificeres. På måledagen foretages først en screening af området omkring tanken med formål at identificere eventuelle metankilder, der kan forstyrre målingen fra tanken, samt at identificere bedst mulig sted nedvinds for tanken at udføre kvantificeringen. Sporgas frigives ved emissionskilden (normalt centrum af de enkelte tanke) og frigives i en kendt mængde og fanen af metan og sporgas måles tilpas langt nedvinds fra tanken. Ved hver måling af metanemission måles temperaturen i gyllen (gennemsnit af flere målinger), samt fyldningshøjde, således at mængden af gyllen på måletidspunktet er kendt. For hver af de fire tanke udføres 8 målinger fordelt over et kalenderår.

For at kunne normalisere metanemission til mængde af organisk tørstof udtages der repræsentative prøver af tankenes indhold (tre prøvetagninger pr. tank, fem prøver pr. prøvetagning). Dette gøres i videst muligt omfang i forbindelse med at tankenes indhold omrøres (fx i forbindelse med udsprejning på marker). Alternativt udtages der fem prøver med brug af udstyr, der kan udtage prøver af hele tankens højde (transparent rør med lukkemekanisme i bunden), således at forskelle i tørstofindhold i den nedre og øvre del af tanken påvirker prøveudtagningen minimalt. Udtagne prøver opbevares nedfrosset indtil måling af TS/VS. Bestemmelse af TS/VS i laboratoriet sker efter metode bl.a. beskrevet i US EPA, 2001.

9. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

I projektet er der udført måle- og vejledningsydelser på 60 ud af i alt ca. 144 danske biogasanlæg. Dette er gjort med henblik på dels at gøre status på metanudledning fra dansk biogasproduktion, og dels at fortsætte arbejdet mod at mindske udledningen af metan for at reducere klimapåvirkningen fra dansk biogasproduktion. De deltagende anlæg repræsenterer et bredt udsnit af de danske anlæg mht. anlægstype (fællesanlæg, gårdanlæg, industrianlæg og renseanlæg), anlægsstørrelse, brug af biogas i fx motor- eller opgraderingsanlæg, samt anlæggenes alder. Et anlægs alder kan dog være svær at definere meningsfuldt, da mange af de ældre biogasanlæg har gennemgået adskillige udvidelser og ombygninger gennem årene.

På samtlige anlæg i projektet er den totale metanemission fra hvert enkelt anlæg (21 fællesanlæg, 14 gårdanlæg, 24 renseanlæg og 1 industrianlæg) målt ved brug af en fjernmålemetode baseret på brug af sporgas, ligesom der har været modtaget målerapporter fra det frivillige måleprogram (8 fællesanlæg og 1 gårdanlæg). Sammenlagt repræsenterer de 60 anlæg projektet har omfattet ca. 45% af den danske produktion af biogas. Medregnes de anlæg, som deltog i den tidligere gennemførte frivillige indsats, dækker indsatsen (nærværende projekt) og det frivillige måleprogram 59% af de danske biogasanlægs biogasproduktion.

De højeste gennemsnitlige metanemissionsrater sås på biogASFællesanlæg (21,0 kg CH₄/time) efterfulgt af gårdanlæg (8,6 kg CH₄/time) og renseanlæg (7,0 kg CH₄/time). Metanemissionen fra industrianlægget var 9,4 kg CH₄/time.

På baggrund af den målte emissionsrate samt metanproduktion registeret på anlægget er der beregnet et metantab fra hvert enkelt anlæg. Der sås stor variation i metantab mellem anlæggene på mellem 0,3% og 40,6%. Generelt sås de største metantab for renseanlæg (3,2-39,4%) og gårdanlæg (1,4-40,6%), mens de laveste metantab sås fra fællesanlæg (0,3-16,2%). De højeste metantab blev målt på helt små producenter (produktion < 20 kg CH₄/time), hvor evt. udledning fra tanke uden gasopsamling vægter højt i beregningen. Generelt sås et faldende metantab med stigende gasproduktion. Ud af de alle anlæg havde 11 anlæg et metantab på 1,0% eller lavere, de 11 anlæg var alle fællesanlæg.

Ud af 11 anlæg, hvor der blev målt metanemission fra opgraderingsanlæg, havde 5 anlæg alene aminbaseret opgraderingsanlæg, 2 anlæg havde vandscrubbere og tre anlæg havde en kombination af de to. Generelt ses lavere emissionsrater fra aminbaserede opgraderingsanlæg (målt emission: 0,2 til 1,8 kg CH₄/time) sammenlignet med vandscrubberanlæg (målt emission: 6,6 til 16,1 kg CH₄/time). For de 23 anlæg, hvor der blev målt metanemission fra gasmotor, sås en gennemsnitemissionsrate på 1,6 kg CH₄/time. I gennemsnitlig sås et metantab fra motoranlæg (også kaldet metanslip) på 1,4% mens det for opgraderingsanlægget var 0,05%.

Svarende til tidligere erfaringer gjort i pilotprojekt samt EU projektet "MetHarmo", ses biogasanlægs metanudledning at variere over tid. I dette projekt blev metanudledningen fra et renseanlæg undersøgt over en periode på 6 dage. Målingerne viste at emissionen varierede mellem 3,3 og 7,8 kg CH₄/time med en gennemsnitsmission på 5,4 kg CH₄/time baseret på 10 målekampagner. Ved evt. indførsel af fremtidig kontrol af anlæggenes udledning, er denne variation et opmærksomhedspunkt.

Metanemissionsfaktorer til brug for den danske indrapportering er beregnet ud fra produktionsvægtede metantab de for de forskellige anlægstyper. Vægtes den målte metanemission i forhold til den samlede metanproduktion på de 60 undersøgte anlæg samt ni anlæg fra den frivillige måleordning fås en emissionsfaktor på 2,5%. Den højeste

metanemissionsfaktor ses på renseanlæg (7,7%) efterfulgt af gårdanlæg (3,9%), industrianlæg (2,0%) og fællesanlæg (1,9%). Der ses således en relativ stor forskel i emissionsfaktoren for de forskellige anlægstyper. Forskellen i emissionsfaktor synes delvist at være teknologiafhængig, hvor der ses tegn på at, lagre af biomasse uden gasopsamling, hvilket er normalt på renseanlæggene, er en væsentlig årsag til udledning. Til sammenligning har Biogas Danmark en målsætning om et metantab på maksimalt 1%.

Ved lækagesøgning med brug af gaskamera, er der nogle årsager til lækage, der ses særligt ofte. Den mest hyppigt observerede kilde til udledning er tryk-/vakuumentiler, hvilket også er set i udenlandske studier. I projektet blev slamlagre identificeret som en væsentlig kilde til emission, men der er ikke udført kvantificering af denne punktkilde på samme måde som gasmotorer og opgraderingsanlæg. Der bør nævnes, at der ses anlæg, hvor der er en "atypisk" årsag til udledning. Fx var der på et anlæg et utæt gaslager, der synes at forårsage størstedelen af anlæggets udledning.

I projektet ses der tegn på, at fokus på metanudledning kan medføre væsentlig reduktion af udledning. I målinger af seks anlægs udledning før og efter udbedringer i projektperioden, blev der observeret en reduktion på i alt 120 kg CH₄/time, hvilket svarer til en reduktion på 29.400 tons CO₂-ækv./år. Der vurderes i øvrigt, at der for en del af anlæggene vil kunne gennemføres investeringer, der reducerer udledningen i fremtiden – herunder udnyttelse af gas fra slamlagre.

I projektet er der gennemført skitseprojekter mhp. reduktion af udledning på i alt 18 anlæg. Skitseprojekterne er valgt af anlæggene på baggrund af et produktkatalog udarbejdet i dette projekt. For disse skitseprojekter, er der en del, der estimeres at medføre betydelige reduktioner af drivhusgasudledning (op til ca. 34.200 tons CO₂-ækv./år). Økonomien for gennemførelse af de forskellige tiltag er varierende, idet nogle tiltag vil medføre øget energisalg for anlægget og dermed øget indtjening, mens andre projekter ikke gør. For nogle af de skitseprojekter, der medfører øget indtjening for anlægget ses en positiv NPV10år.

10. REFERENCER

Clauss, T., Reinelt, T., Liebetrau, J., Vesenmaier, A., Reiser, M., Flandorfer, C., Stenzel, S., Piringer, M., Fredenslund, A.M., Scheutz, C., Hrad, M., Ottner, R., Huber-Humer, M., Innocenti, F., Holmgren, M., Yngvesson, J., 2019. Recommendations for reliable methane emission rate quantification at biogas plants. Rapport, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH.

Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P., Amon, B., 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112,171–177.

Delre, A., 2018. Greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants: measurements and carbon footprint assessment. Ph.d. afhandling, Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Vand og Miljøteknologi.

DGC, 2016. Pilotprojekt til et frivilligt måleprogram for metanudledning fra biogas- og opgraderingsanlæg. Kunderapport af Torben Kvist, Dansk Gasteknisk Center. Juni, 2016.

Energistyrelsen, 2016. Biogasbranchen etablerer frivilligt måleprogram for metantab fra biogas- og opgraderingsanlæg. Pressemeldelse – 12. september, 2016

European Biogas Association, 2020. Minimum requirements for European voluntary systems for self and external inspection of possible methane emissions on biogas and biomethane plants. Position paper. <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/10/Minimum-requirements-for-European-voluntary-systems.pdf>

Foster-Wittig, T.A., Thoma, E.D., Green, R.B., Hater, G.R., Swan, N. D., Chanton, J.P. 2015. Development of a mobile tracer correlation method for assessment of air emissions from landfills and other area sources. *Atmospheric Environment*, 102, 323–330.

Fredenslund, A.M., Hinge, J. Holmgren, M.A., Rasmussen, S.G., Scheutz, C., 2018. On-site and ground-based remote sensing measurements of methane emissions from four biogas plants: A comparison study, *Bioresource Technology*, 270, 88-95

Fredenslund, A.M., Rees-White, T.C., Beaven, R.P., Delre, A., Finlayson, A., Helmore, J., Allen, G., Scheutz, C. 2019. Validation and error assessment of the mobile tracer gas dispersion method for measurement of fugitive emissions from area sources. *Waste Management*, 83, 68-78.

Fredenslund, A.M., Scheutz, C., Kjeldsen, P. 2010. Tracer method to measure landfill gas emissions from leachate collection systems. *Waste Management*, 30(11), 2146–52.

Liebetrau, J., Reinelt, T., Clemens, J., Hafermann, C., Friehe, J., Weiland, P., 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water Sci. Technol.* 67, 1370–1379.

Maldaner, L., Wagner-Riddle, C., Vanderzaag, A., Gordon, R., Duke, C., 2018. Methane emissions from storage of digestate at a dairy manure biogas facility. *Agricultural and Forest Meteorology*. 258. 10.1016/j.agrformet.2017.12.184.

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

Mønster, J.G., Samuelsson, J., Kjeldsen, P., Rella, C.W., Scheutz, C. 2014. Quantifying methane emission from fugitive sources by combining tracer release and downwind measurements - A sensitivity analysis based on multiple field surveys. *Waste Management*, 34(8), 1416–1428.

Naturstyrelsen, 2014. Vurdering af Virkningerne på Miljøet (VVM) for biogasprojekter - drivhusgasser. Metodenotat med beregningseksempel.

Nielsen, B.S., 2019. Frivilligt måleprogram for metantab. GASenergi nr. 3, 2019
https://www.danskgasforening.dk/sites/default/files/inline-files/4_%20Frivilligt%20m%C3%A5leprogram.pdf

Reinelt, T., Liebetrau, J., 2019. Monitoring and Mitigation of Methane Emissions from Pressure Relief Valves of a Biogas Plant. *Chemical Engineering & Technology*, 43, 1, 7-18.

Scheutz, C., Samuelsson, J., Fredenslund, A.M., Kjeldsen, P. 2011. Quantification of multiple methane emission sources at landfills using a double tracer technique. *Waste Management*, 31(5), 1009–1017.

Scheutz, C, Fredenslund, A.M., 2019. Total methane emission rates and losses from 23 biogas plants. *Waste Management*, 97, 38-46.




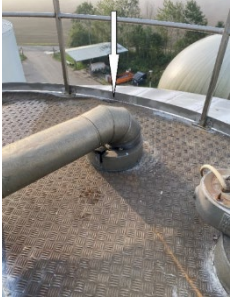
Sommer, S.G., Møller, H.B. & Petersen, S.O. 2001: Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved Biogasbehandling. DJF rapport - Husdyrbrug, 31, 53 pp.

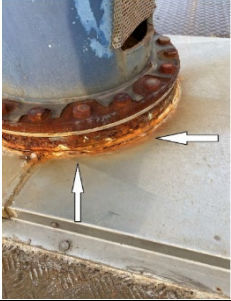



Sommer, S.G., Petersen, S.O., Møller, H.B., 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 69, 143–154.






US EPA, 2001. Method 1684 – Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology.






APPENDIX 1 RESULTAT AF TEST AF METODE TIL EGENKONTROL MED FOTOS






Nedenstående tabel lister de lækager, der blev fundet ved lækagesøgning med brug af gaskamera (referencemetode) og "sniffer". Tabellen svarer til rapportens Tabel 6, hvor der er tilføjet fotos af de forskellige lækager.




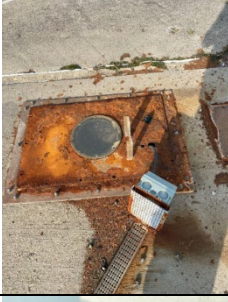

Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Reaktor 4 – tryk-/vakuumentil		Ja	Ja
Gaslager – lækager fra ydre membran indikerer utæthed(er) i gas- og/el. bundmembran		Ja	Ja
Reaktor 2 – tryk-/vakuumentil		Ja	Nej
Reaktor 2 – lækage fra gasrør		Ja	Nej

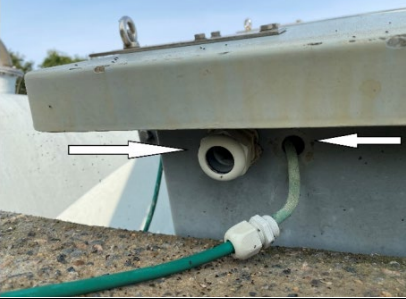
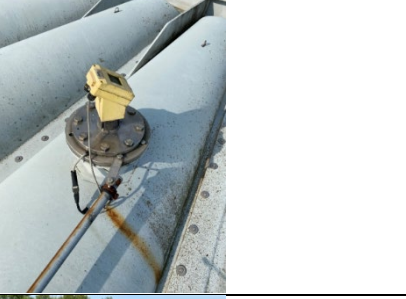



Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Reaktor 2 – tæring/utæt fuge på røreværk		Ja	Ja
Reaktor 2 – lækager fra tankkant (flere steder)		Ja	Nej
Reaktor 1 - tryk-/vakuumentil		Ja	Ja
Reaktor 1 – lækage fra gasrør		Ja	Ja
Reaktor 1 – lækage fra "hus" på røreværk		Ja	Nej


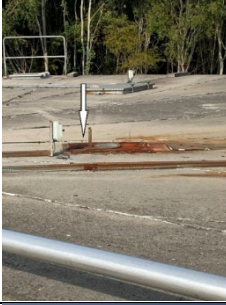
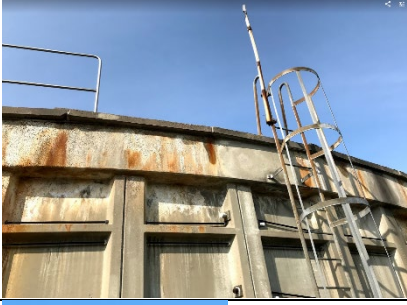


Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Reaktor 1 – lækage fra samling på bundplade v. røreværk		Ja	Nej
Reaktor 1 – lækager fra samlinger mellem "dæksplader"		Ja	Nej
Reaktor 3 – lækage fra rørgennemføring		Ja	Nej
Reaktor 3 – lækage fra flangesamling på røreværk		Ja	Nej
Reaktor 3 – lækage fra flangesamling på inspektionsluke		Ja	Nej


Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Reaktor 3 – tryk-/vakuumentil		Ja	Nej
Reaktor 3 – lækager fra under tankbeklædning (flere)		Ja	Nej
Reaktor 5 – tryk-/vakuumentil		Ja	Nej
Gasclean anlæg – metan i afgangsluft (CO ₂ strøm)		Ja	Nej
Rør mellem modtagehal 2 og modtagetank 5 – lækage fra flangesamling		Ja	Nej

Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Modtagetank 5 – ikke gastæt presenning		Ja	Ja
Udleveringstank – ikke gastæt betonoverdækning		Ja	Ja
Biofilter – lækage fra sensorgennemføring på gasrør		Ja	Nej
Lagertank 1 – lækager fra tæring i fuge mellem betonkant og låg (mange)		Ja	Nej
Lagertank 1 – lækage fra betjeningsdæksel (ledningsgennemføring)		Ja	Nej

Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Lagertank 1 – lækage fra tæringer på betjeningsdæksel		Ja	Nej
Lagertank 1 – lækage fra ikke lukket betjeningsdæksel		Ja	Nej
Lagertank 1 – lækage fra slangegennemføring		Ja	Nej
Lagertank 2 – tæret dæksel		Ja	Ja
Lagertank 2 – åbent betjeningsdæksel		Ja	Ja

Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Lagertank 2 – åben ledningsgennemføring		Ja	Ja
Lagertank 2 – flangesamling v. sensor		Ja	Ja
Lagertank 2 – overtryksventil		Ja	Nej
Lagertank 2 – lækager langs kant på topdæksel		Ja	Nej
Lagertank 2 – lækager fra åbentstående betjeningsdæksler (3 stk.)		Ja	Ja

Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Lagertank 3 – lækager fra betjeningsdæksler		Ja	Nej
Lagertank 3 – lækage fra tæret inspektionsluge		Ja	Ja
Lagertank 4 - lækager fra tæring i fuge mellem betonkant og låg (mange)		Ja	Ja
MR station – lækage fra udluftning		Ja	Nej
Der blev målt forhøjet metan-koncentration inde i rum m. gasblæsere, modtagehal og teknikrum. Lækage(r) blev ikke præcist identificeret.		Nej	(Ja)

Lækage, beskrivelse	Lækage, foto	Fundet med gaskamera (ja/nej)	Fundet med "sniffer" (ja/nej)
Pumpehus (?) v. gaslager		Nej	Ja

APPENDIX 2 MANUAL FOR MÅLINGER

Nedenstående angiver best practice for hhv. lækagesøgning med gaskamera, sporgasmåling af et biogasanlægs totale metanemission samt måling af punktkilderne gasmotor og opgraderingsanlæg.

1 Lækagesøgning med gaskamera

1.1 Indledning.

Denne manual for detektering af metanudslip fra biogasanlæg med kamera og sniffer er udarbejdet af Teknologisk Institut i regi af projektet "Måling af metantab fra biogasanlæg, Opgave 2", og er efterfølgende godkendt af projektgruppen.

1.2 Udstyr

Rådighed over gaskamera til lækagesøgning for metanudledning er en forudsætning for at kunne udføre lækagesøgning. Eksempler på egnede gaskameraer er FLIR GF320 og FLIR GF77.

"Sniffer" til lækagesøgning

Kameraet kan med fordel suppleres med en såkaldt "sniffer". Med en sniffer forstås et instrument, der måler/registrerer koncentrationen/tilstedeværelsen af metan i en "luftmængde" umiddelbart ved snifferens "føler".

Snifferen kan være håndholdt eller eksempelvis monteret på en drone. Den håndholdte sniffer er især anvendelig.

1.3 Forberedelse

1.3.1 Aftale med køber af ydelsen

Der indgås aftale med køber/rekvirent af ydelsen. Køber vil typisk være anlægsejer eller driftsleder. Følgende aftales:

1.3.1.1 Pris og afgrænsning: Er det hele anlægget, der skal gennemgås eller er der anlægselementer, der undtages? Der aftales pris for ydelsen.

1.3.1.2 Tidsramme: Det aftales, hvornår lækagesøgningen kan gennemføres; der må tages forbehold for vejrmæssige forhold, idet lækagesøgning med kamera forudsætter vindhastighed under 5m/s, ligesom regnvejr ikke er hensigtsmæssigt.

1.3.1.3 Kontaktperson: Hvem er kontaktperson på anlægget på dagen for udførelsen af lækagesøgningen?

1.3.1.4 Rapport for lækagesøgningen: Der aftales en tidsfrist for fremsendelse af rapport efter lækagesøgningen er gennemført. Og det aftales, hvem rapporten skal sendes til.

1.3.2 Aftale med kontaktperson på anlægget (KP)

Ud over den overordnede aftale som beskrevet under pkt. 3 skal der aftales specifikke detaljer med kontaktpersonen (pkt. 1.3.1.3) på anlægget.

1.3.2.1 Oversigtsskitse: Om muligt skal KP fremsende oversigtsskitse inden lækagesøgningen foretages med henblik på optimal forberedelse. Skitsen kan evt. udleveres ved ankomst, og hvis

der ikke foreligger en skitse, må måleoperatøren udearbejde en håndtegnet skitse. Skitsen er en vigtig referenceramme ved efterfølgende markering af fundne lækager.

1.3.2.2 Adgangsforhold: Det aftales, hvor og hvornår måleoperatøren skal henvende sig ved ankomst på anlægget

1.3.2.3 Sikkerhedsspørgsmål: Måleoperatøren spørger ind til specifikke sikkerhedskrav på anlægget, f. eks. ATEX-zoner, -udstyr mv.

1.3.2.4 Forbehold for vejrmæssige forhindringer: Måleoperatøren orienterer om de vejrmæssige forbehold, som kan nødvendiggøre udsættelse af lækagesøgningen

1.3.3 Ved koordineret Lækagesøgning og Kvantificering

Hvis kunden har bestilt både lækagesøgning og kvantificering, skal dette koordineres mellem de to måleoperatører.

1.3.3.1 Dato: Der aftales dato for udførelse af lækagesøgning og kvantificering – med forbehold for vejrlig

1.3.3.2 Rapportering: Det skal aftales, om der udarbejdes en fælles samlet rapport eller separate rapporter til kunden.

1.3.4 Klargøring af udstyr

Herunder:

- Er udstyret kalibreret som foreskrevet
- Opladning af batteri(er)
- Sikkerhedsudstyr

1.4 Lækagesøgning

Indledningsvis skal det konstateres, om de vejrmæssige betingelser for gennemførelse af lækagesøgningen er tilfredsstillende, dvs. vindhastighed max 5m/s og ikke vedvarende stærk regn.

1.4.1 Ankomst på anlægget

1.4.1.1 Opsøg kontaktpersonen på anlægget: Det afklares, om der er specielle forhold, man skal være opmærksom på den pågældende dag (f.eks. vedr. sikkerhed, andre gæster mv.). Og det afklares om anlægget er i "repræsentativ drift" den pågældende dag – i modsat fald beskrives, hvilke specielle forhold, der kan have indflydelse på resultater af lækagesøgningen.

1.4.1.2 Tag et godt foto af anlægget: (til forsiden på rapporten)

1.4.2 Lækagesøgning

1.4.2.1 Gennemgang af anlægget med FLIR kamera: Det sikres, at kameraet er indstillet til det korrekte temperaturområde. Det beskrives, hvordan snifferen anvendes i kombination med kameraet til detektion af lækager.

1.4.2.2 Ved fund af lækage: For hver lækage udføres følgende

- Optag video af lækagen
- Tag et foto af lækagestedet

- Notér (nummerering fra kameraet) lækagen på oversigtsskitsen
- Tag noter til brug ved udarbejdelse af rapporten

1.4.3 Afslutning af besøget

- Opsøg kontaktpersonen på anlægget
- Fortæl kort om de fundne lækager
- Hvis der er "store" lækager, så vis dem til ejeren/driftslederen/driftspersonalet med forslag til straks at afhjælpe lækagen.
- Ligeledes, hvis der er mindre lækager, der umiddelbart kan afhjælpes ved enkle tiltag (f. eks. efterfyldning af vandlås)

1.5 Rapport

Der udarbejdes rapport for lækagesøgningen. Rapporten skal som minimum indeholde nedenstående punkter:

1.5.1 Sammenfatning

- Ved gennemgang er der fundet i alt (XX antal) lækager
- (YY antal) af disse anbefales afhjulpet hurtigst muligt
- For (ZZ antal) lækager anbefales det at udarbejde en plan for afhjælpning (det kan være for betydelige lækager som ikke umiddelbart kan udbedres, for eksempel en gennemtæret tankoverdækning)
- (UU antal) er mindre lækager uden væsentlig betydning

1.5.2 Indledning

Indledningen skal som minimum indeholde

- Dato for besøg
- Navn på den udførende måleoperatør
- Vejrbetainger på dagen for lækagesøgningen
- Evt. specielle forhold den pågældende dag, jf. pkt 1.4.1.1

1.5.3 Metodebeskrivelse

- Beskrivelse af kameraet (data vedlagt som bilag)
- Beskrivelse af snifferen (data vedlagt som bilag)
- Beskrivelse af andet udstyr, der er anvendt i forbindelse med lækagesøgningen
- Procedure for gennemgang af anlægget

1.5.4 Fundne lækager

For hver lækage indsættes

- Video og foto af den pågældende lækage
- Kort beskrivelse
- Forslag til afhjælpning

1.6 Fremsendelse af rapport og opfølgning

Rapport fremsendes til kontaktperson (jf. pkt. 1.3.1.4) med aftale om kommentarer fra denne. Herefter fremsendes endelig rapport; i forbindelse hermed gøres opmærksom på, at der er mulighed for opfølgende rådgivning.

Såfremt kontaktpersonen ikke reagerer på hverken den foreløbige eller endelige rapport, kontaktes vedkommende telefonisk for at høre, om der er spørgsmål eller kommentarer til de fundne lækager og forslagene til afhjælpning.

2 Sporgasmåling af et biogasanlægs totale metanemission

2.1 Indledning

Sporgasdispersionsmetoden (kort sporgasmetoden) bliver brugt til at måle metanemissioner fra større tekniske anlæg samt fladekilder såsom deponier, komposteringsanlæg, spildevandsrensingsanlæg og biogasanlæg.

Metoden består af kontinuerlig frigivelse af en sporgas ved en kendt, kontrolleret frigivelseshastighed, kombineret med nedvindsmålinger af metan og sporgas.

Nedvindsmålingerne udføres med mobilt måleudstyr, således at hele nedvindsfanen af metan og sporgas kan måles. Brugen af sporgas gør, at man måler fortyndingen i atmosfæren direkte og dermed er målingen af emissionen uafhængig af parametre som vindhastighed, atmosfærisk turbulens ved jordoverfladen mm. Desuden sikrer brugen af sporgas, at den målte metan i nedvindsfanen stammer fra den kilde, som ønskes kvantificeret.

2.2 Personel

En måling med sporgasmetoden kræver personale uddannet til formålet. Forhold kan ændre sig under en måling og en uddannet måleoperatør kan tilpasse sig situationen og gennemføre målingen.

2.3 Udstyr

Til kontrolleret frigivelse af sporgas bruges kalibrerede flowmetre. Dette kan være kugleflowmetre eller masseflowmetre. Ved brug af en brandbar sporgas skal frigivelsen udstyres med en flammestopper.

Til målingen af metan- og sporgaskoncentrationer nedvinds fra et biogasanlæg bruges mobilt analyseudstyr, der kan måle tilfredsstillende små koncentrationsændringer af metan og sporgas. Måleinstrumentet skal kunne måle hurtigt (helst 1 Hz eller hurtigere) og kunne måle koncentrationsforskelle i lave ppb-niveauer således, at nedvindsfanen kan måles med et signal/støj forhold på over 10. Et oplagt måleudstyr er et cavity ring-down spektrometer fokuseret til at måle metan og acetylen (sporgas).

2.4 Planlægning

Målingen planlægges hjemmefra, hvor brugbare måleveje og andre mulige metankilder i området udpeges ved hjælp af relevante kort. Herefter findes den/de optimale vindretning(er), hvor kvantificeringen kan foretages uden interferens fra andre metankilder i området omkring biogasanlægget. Der kræves en afstand fra anlægget til målevejen på minimum 4-5 gange emissionsområdetets bredde. Hvis der er høje reaktorer med potentielle metanemissioner skal måleafstanden øges. Der afventes herefter en dag med de rigtige vind- og vejrforhold, hvorefter målingen foretages.

Derefter kontaktes den/de ansvarlige på anlægget og en eller flere måledag(e) aftales.

2.5 Måling

Først foretages en indledende screening med det mobile analyseudstyr. Screeningen foretages af omgivelserne omkring anlægget samt op- og nedvindsbestemmelser af baggrundsmetan og sporgas. Screeningen skal identificere mulige fejkilder (dvs. andre metankilder) i området omkring biogasanlægget.

Ved ankomst til biogasanlægget informeres den ansvarlige på anlægget om, hvordan målingerne kommer til at foregå, således at der ikke er medarbejdere, der forstyrrer under målingerne.

Først foretages en indledende screening med den mobile udstyr på farbare veje på biogasanlægget for at identificere eventuelle betydelige emissionssteder/lækager. Sporgassen frigives herefter fra de steder, hvor metanemission er observeret. Observeres der ingen metanemission ved kørsel på de farbare veje inde på anlægget, opstilles sporgas centralt på biogasanlægget. Hvis de efterfølgende målinger viser uoverensstemmelse imellem metan og sporgas skal man køre tilbage og justere placeringen af sporgasfrigivelsen.

Sikkerhed: Da sporgas er en gas under tryk og ofte er brandfarlig, er det vigtigt at placere sporgassen, så anlæggets medarbejdere ikke kommer i kontakt med den, samt at flaskerne er sikret mod at kunne vælte el. lign. Desuden markeres sporgasflaskerne tydeligt med passende advarsel samt telefonnummer på den måleansvarlige, så denne kan kontaktes i tilfælde af spørgsmål mm.

Efter screeninger og placering af sporgasflasker måles forholdet af metan og sporgas i nedvindsfanen. Dette gøres med det mobile udstyr på en valgt vej, der går på tværs af vindretningen i en passende afstand fra emissionsområdet. Den nødvendige afstand afhænger af størrelsen af emissionsområdet samt højden af reaktorer på området, emissionen fra området og den atmosfæriske stabilitet på måledagen. Ved normale atmosfæriske forhold skal målevejen være længere væk end 4-5 gange bredden af emissionsområdet. Korrelationen imellem metan og sporgas evalueres visuelt på analyseapparatets monitor, imens målingen foretages. Hvis korrelationen ikke er visuelt god kan en korrelationsfaktor imellem metan og sporgas beregnes for at tjekke om $R^2 > 0,80$. Såfremt den i forvejen valgte målevej ikke viser god korrelation imellem metan og sporgas under de givne forhold, så må der findes en vej længere fra biogasanlægget, hvor opblandingen af gasserne er større. Kan dette ikke lade sig gøre, må målingen gentages en anden dag med bedre vindforhold, eller hvor en anden målevej kan bruges (hvis der er problemer med målevejen), hvor der er bedre opblanding af metan og sporgas (hvis opblandingen ikke er tilstrækkelig) eller hvor der er en mere stabil atmosfære (f.eks. overskyet eller aften/nat), hvis detektionsgrænsen er problemet (signal/støj-forhold (S/N) < 10). Dette viser vigtigheden af planlægning af målingen. Der foretages minimum 10 brugbare traverseringer af nedvindsfanen, hvilket giver et acceptabelt statistisk grundlag til at beregne en gennemsnitsemmission. Hvis tid og forhold tillader det, foretages flere traverseringer (gerne over 20), således at det sikres, at 10 traverseringer lever op til acceptkravene i den efterfølgende kvalitetssikring.

2.6 Kvalitetssikring af data

Kvaliteten af data tjekkes ved at foretage en lineær regression af de målte metan- og sporgaskoncentrationer for hver traversering af nedvindsfanen. Data til den lineære regression tages fra fanens start til fanens slutpunkt og R^2 samt et beregnet S/N forhold noteres i rapporteringsskemaet. S/N forholdet beregnes på baggrund af maksimumskoncentrationerne målt i hver traversering og skal være over 10. R^2 skal være over 0,80. Ved meget tætliggende kilder (f.eks. en gård i umiddelbar forlængelse af et biogasanlæg) kan kilderne deles op ved Gaussisk fitting af koncentrationsfanerne.

Målingerne af baggrundskoncentration før og efter fanemålingerne sammenlignes for at se, om den generelle atmosfæriske metankoncentration i området har ændret sig i løbet af målingerne. Denne information bruges til at bestemme, om der under de efterfølgende beregninger skal fratrækkes en generel baggrundskoncentration, eller om baggrunden skal fratrækkes individuelt for hver enkelt fanemåling.

2.7 Databehandling

Forholdet imellem de integrerede koncentrationsfaner (over baggrundskoncentrationen) for hver traversering noteres i rapporteringsskemaet. Ligeledes noteres den udregnede emission for hver traversering samt gennemsnitsemissionen

2.8 Usikkerheder

Usikkerheden på en udført måling består af usikkerheden på målemetoden samt variabiliteten på den individuelle kvantificering. Målemetodens usikkerhed kan estimeres ved opsætning af et såkaldt fejlbudget (error budget), som inkluderer frigivelse af sporgas (sporgas placering ift. metankilde, flowmeter, renhed sporgas), kalibrering af analyseudstyr (usikkerheder på kalibreringsgasser og gasblandesystem), mm (Fredenslund et al., 2019). Alle disse usikkerheder bør være tilfældige (dvs. kan gå begge veje), og de kan derfor akkumuleres. Den samlede usikkerhed på målemetoden beregnes som kvadratroden af summen af kvadraterne på de individuelle usikkerheder ('Gaussian law of error propagation'). Variabiliteten på en kvantificering beregnes som Standar error of mean på et 95% konfidensinterval. Den samlede usikkerhed på en udført kvantificering (måling) beregnes som kvadratroden af summen af kvadraterne hhv. usikkerheden på metoden og variabiliteten på målingen.

3 Måling af punktkilder

Det blev i dialog med deltagende målefirmaer i projektet fremhævet, at det var nødvendigt med en væsentlig metodefrihed ift. bestemmelse af metanudledning fra gasmotorer og opgraderingsanlæg. Dette skyldes væsentlige forskelle i de muligheder der er på de forskellige anlæg. Nedenstående vejledninger er derfor noget mindre specifikke end for de øvrige måleopgaver.

3.1 Motoranlæg

Kvantificeringen af metanslip fra en gasmotor foregår ved at flow samt koncentration af metan måles i afkast fra motoren. Flowet måles efter gældende standarder og sammenholdes med afkastets diameter. Metankoncentrationen måles med udstyr beregnet til at måle varme gasser med metankoncentrationer svarende til det, man finder i slip fra gasmotorer. Såfremt det er nødvendigt at beregne, hvor stor en andel af motorens in-flow, der udledes, skal in-flow måles tilsvarende. Der er ofte betydelig forskel på biogasanlæggets gasproduktion målt ved fx flow fra reaktorer, da en del motoranlæg ikke kører kontinuerligt.

3.2 Opgraderingsanlæg

Bestemmelse af metantab fra opgradering kan gøres på flere måder. Man kan måle koncentration og flow fra afkast og beregne metanudslippet. Man kan også opstille en massebalance, hvor koncentrationen af kuldioxid og metan måles i biogassen, den opgraderede gas samt i afkastet. Ved at kende mængden af opgraderet biometan kan tabet til atmosfæren beregnes. For opgraderingsanlæg gælder det tilsvarende gasmotorer, at anlæggets in-flow skal måles for at kunne beregne andel af metan, der udledes fra opgraderingsanlægget. Opgraderingsanlæg måler selv metanflux ind (flow og konc.) og metanflux til gasnettet.

APPENDIX 3 ESTIMATION OF METHANE EMISSION FACTORS FROM CATTLE AND PIG FARMS

By Nathalia Thygesen Vechi & Charlotte Scheutz, DTU Environment

Methane emissions from livestock housing are produced by the anaerobic degradation of the excreted manure or by the enteric fermentation in the animals' digestive system (Philippe and Nicks, 2015). The amount of methane released by enteric fermentation depends on the type of digestion done by the animals, being higher for ruminants, e.g. cattle, than for non-ruminants, e.g. pigs (IPCC, 2006). Manure methane emissions from housing vary according to the manure management adopted, cleaning frequency, temperature, and other factors (Møller et al., 2004).

To compare the emissions between different management practices and studies, emissions can be normalized by converting them into emission factors (EFs). A typical normalization used in many studies is the division of the emissions by livestock unit, which correspond to 500 kg of body weight (1LU = 500kg) (Blanes-Vidal et al., 2008; Ni et al., 2008; Rzeźnik and Mielcarek, 2016). An averaged EF of 5.34 g_{CH₄}/LU/h for pig housing methane emissions was found comparing different studies (Blanes-Vidal et al., 2008; Ni et al., 2008; Philippe et al., 2007; Philippe and Nicks, 2015; Rzeźnik and Mielcarek, 2016). Most of these studies quantified the emissions by measuring methane concentration and airflow from the house's exhaust and did not include emissions from external storage. Another study recently performed in Denmark quantified emissions from the whole farm using the tracer gas dispersion method (TDM). In addition to emissions from animal housing, it included emissions from the external manure tanks, which stored degassed manure from a biogas plant. The yearly emission factor found in this study was 8.1 ± 5.0 g_{CH₄}/h/LU for a pig farm (Vechi et. al. In prep; Preliminary results from the project "GHG emissions from Danish Agriculture"). Similarly was done for a cattle farm (Holstein, loose-holding with beds, slatted floor and biogas treatment of manure), which gave an averaged EF of 19.5 g_{CH₄}/h/LU (Vechi et. al. In prep; Preliminary results from the project "GHG emissions from Danish Agriculture"). These EFs obtained using the tracer gas dispersion method can be further used to extrapolate emissions from other pig and cattle farms with similar management and livestock stage. To calculate the estimated emissions, the number of animals from the target facility should be converted into livestock units, according to their respective body weight (Table 1). For the farms presented in this report, the values were extrapolated using their LU and the estimated EF, which are presented in Table 1.

Table 1: Estimated emissions from the farms studied in the report.

Biogas plant	Number of animals					LU ¹	Emission factor used (gCH ₄ /LU/h) ³	Estimated methane emission (kg CH ₄ /h)
	Weaner	Fattening pigs	Sows	Cows	Heifers			
24	7770	1600 ²				477	8.14	3.88
33		3200				445	8.14	3.62
21	3200	150	600			422	8.14	3.43
34	2800	1260	680	10	5	Pigs - 599 Cattle - 16	8.14 19.5	5.19

¹ Fattening pig (32-107kg) = 0.139 LU; Weaner = 0.039 LU; Sow (230 kg) = 0.46 LU; Dairy = 1.2 LU; Heifer = 0.8 LU;

² 1000 Young pigs (32-50kg) = 0.082 LU and 600 Fattening pigs (50-110kg) = 0.157 LU

³ These emission factors (EFs) were obtained in a preliminary study (Vechi et. Al., In prep) from the project "GHG emissions from Danish Agriculture".

References

Blanes-Vidal, V., Hansen, M.N., Pedersen, S., Rom, H.B., 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agric. Ecosyst. Environ.* 124, 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.10.002>

IPCC, 2006. Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. IPCC Guidel. Natl. Greenh. Gas Invent. Volume 4:

Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2004. Biological Degradation and Greenhouse Gas Emissions during Pre-storage of Liquid Animal Manure. *J. Environ. Qual.* 33, 27–36.

Ni, J.-Q., Heber, A.J., Lim, T.T., Tao, P.C., Schmidt, A.M., 2008. Methane and Carbon Dioxide Emission from Two Pig Finishing Barns. *J. Environ. Qual.* 37, 2001. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0386>

Philippe, F.X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., Nicks, B., 2007. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livest. Sci.* 111, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.12.012>

Philippe, F.X., Nicks, B., 2015. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agric. Ecosyst. Environ.* 199, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015>

Rzeźnik, W., Mielcarek, P., 2016. Greenhouse gases and ammonia emission factors from livestock buildings for pigs and dairy cows. *Polish J. Environ. Stud.* 25, 1813–1821. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62489>

APPENDIX 4 VEJLEDNING OM BEST PRACTICE

1 Introduktion

Denne rapport indeholder vejledningsmateriale "best practice" for reduktion af metantab fra biogasanlæg. Vejledningen er tiltænkt bygherre, som opfører og driver biogasanlæg (landbrugs-, industrielle- og spildevandsanlæg) samt opgraderingsanlæg og gasmotoranlæg. Vejledningen inkluderer:

- Krav til kvalitetskontrol under opførelse af biogasanlæg
- Krav til anlægsindretning: proces, udstyr og installationer
- Krav til drift og vedligehold for gasbærende udstyr og installationer
- Anbefaling til lækage kontrol

Vores udgangspunkt med denne vejledning er at bidrage til at der kan opnås et anlæg, som er designet til i udgangspunktet med helt tætte installationer, som kan testes, overvåges eller inspiceres, således at evt. opstået lækage kan i identificeres og lokaliseres. Dette er faktisk teknisk opnåeligt. Der vil være metanudslip fra opgraderingsanlæg og gasmotoranlæg. Disse metanudslip kan teknisk begrænses til meget lave værdier.

For at opnå lave metan emissioner fra anlæggene skal anlæggene enten opsamle alt biogas, som udvikles på anlæggene eller destruerer den metan, som ventileres via procesventilation, tabet via gasmotorens udstødning eller opgraderingsanlægs afkast samt at alle gasbærende installationer er tætte.

2 Generelle overvejelser

Overordnet, opgøres klimabelastningen fra biomasse anvendt på biogasanlæg i forhold til, hvis biomassen ikke anvendes på biogasanlæg, men lagres, anvendes eller destrueres på anden vis.

Hvis biomassen anvendes på biogasanlæg, er det aktuelt at vurdere miljøbelastningen fra følgende kilder.

1. Udrådning inden biomassen kommer på biogasanlægget, i stalden og landmandens fortank.
2. Udrådning i fortank og lagring på anlægget.
3. Biomassehåndtering i anlæggets proces.
4. Udrådning i lagertanke på biogasanlægget.
5. Diffuse lækager på biogasanlægget.
6. Udrådning i langtidslagre på landet.

Udslippene fra ovenfor listede kilder kan reduceres ved:

Ad 1:

Gylle flyttes hurtigst ud af stalden til fortanken og hurtig afhentning ved leverandør.
Begrænse oplaget og liggetid ved leverandøren.

Ad2:

Begrænse oplaget og liggetid i fortanken.

Ad 3:

Undgå at blande tørre produkter i gylletanke (mixtanke) eller andet flydende inden det tilføres reaktor.

Tillade længere forlagring af selvkonserverende biomasse og anvende denne som buffer til belastningen af reaktorerne.

Ad 4:

Gastæt overdækning af lagertankene og tilkobling af gasopsamling til gassystemet.
Nedkøling af biomasse ved varmeveksling, biomasse/biomasse.
Længere opholdstid i reaktorer og reduceret restpotentialer.

Ad 5:

Lækagesøgning, som en del af anlæggets vedligeholdelsesrutiner.
Automatisk detektering af metan i luftafkast på dobbeltmembran gaslagre.

Ad 6:

Længere opholdstid i reaktorer og reduceret restpotentialer.
Forsuring af udrådnet biomasse.

3 Krav til kvalitetskontrol under anlægsopførelsen

Komponenter

Det ligger implicit i de krav, som stilles i normer og vejledninger, til kvalitet af gasbærende installationer at gasbærende installationer skal være tætte og langtidsholdbare. For at nævne nogen af disse:

- Der stilles krav til tryk- og tæthedsprøvning af rørinstallationer, reference til gasreglementet B-4.
- Der stilles krav om tæthed af udstyr, herunder biogasblæses akselgennemføringer og ventilers akselgennemføringer. Udstyret skal leveres med overensstemmelseserklæring og ATEX certifikation og opfylde kravene i direktiverne:
 - 2006/42/EC Maskindirektivet
 - 2014/35/EU Lavspændingsdirektivet
 - 2014/30/EU Elektromagnetisk kompatibilitet
 - 2014/34/EU ATEX
 - 2014/68/EU Trykbærende udstyr
- Alle gasbærende tanke med tryk >0,5 bar skal tæthedsprøves til 1,3 x driftstrykket. Dette krav skal stilles i en aftale om køb at et biogasanlæg reference til 2014/68/EU Trykbærende udstyr.

Tanke med gasopsamling (reaktorer, overdækkede tanke)

Der er helt indgroet i biogasbranchen at ståltanke og betontanke med fast top tæthedsprøves, men dette synes ikke at være tilfældet for membranoverdækninger.

Projektering og drift af biogasanlæg, - At-vejledning D.2.7. om reaktortanke og gaslagre, er udarbejdet af Arbejdstilsynet og fokuserer på sikkerhed på biogasanlægget under vedligeholdelse og i nogen grad på kvalitetskrav for anlægget og kunne således blive revideret til at stille krav til tæthed af tanke og overdækninger, med tryk under 0,1 bar.

I At-vejledning D.2.7, afsnit 1.1.1 Tanke, står der: "Reaktortanke og gaslagertanke, hvor der indeholdes eller kan udvikles et overtryk større end 0,1 bar, skal udføres, som det er beskrevet i bekendtgørelsen om trykbeholdere og rørsystemer under tryk". Dette krav dækker ikke reaktorer og overdækninger på tanke med gasopsamling, idet de har typisk et driftstryk på under 0,1 bar.

Ligeledes i At-vejledning D.2.7, står der: "Reaktortanke og gaslagertanke kan udføres af ikke-metalliske materialer, hvis deres egenskaber, resistens over for indvendigt tryk, medie og

udvendig påvirkning kan dokumenteres. Leverandørens anvisninger om opstilling, vedligeholdelse og reparation skal følges".

Dette krav stiller således ikke krav om test.

I At-vejledning D.2.7, afsnit 1.1.5 Dokumentation, står der: "Tanke og reaktorer konstruktion, tryk- og tæthedsprøvning samt fundering skal kunne dokumenteres udførligt". Her er ikke specificeret konkrete krav.

Service i tank med gasopsamling

Alle tanke som er overdækket med membraner, har indbygget omrørere, som er nedsænket i biomassen. Omrørerne skal serviceres mindst halvårligt. For ikke at tabe biogasproduktion under service og for at service kan foretages under arbejdsmiljømæssigt forsvarlige forhold, skal omrøreren være sænket ned i tanken via et svøb. Dette er ikke tilfældet på mange anlæg. Her er ligeledes område, som er overset eller ikke konkret nok i de regler, som gælder for biogasanlæggene. Der er således behov for at der indføres regler, som gør det obligatorisk at nedsænke omrører via sluse, for eks. i Sikkerhedsstyrelsens regler for projektgodkendelse af biogasanlæg.

Med udgangspunkt i normer, kan stilles krav til materialevalg, diffusionstæthed for membraner i gaslagre og overdækninger.

Eksempel:

Gasbærende membraner skal være lavet af polyester fibervævning belagt med PVC på begge sider, resistent imod UV bestråling, opbygget af udskårne membranstykker, som er svejst sammen med højfrekvent elektronisk svejsning. De sammensvejsede kanter skal dækkes af et lag ren PVC, som stopper enhver form for porøsitet af fibre overfor biogas. Svejseprocessen gennemføres i overensstemmelse med reglerne i ISO 9001.

PRODUCT	STANDARDS		
5213/5285			
BASE FABRIC		DIN ISO 2076	PES
YARN	dtex	EN ISO 2060	1100
WEAVE		DIN 61101	Basket weave 2/2
TYPE OF COATING			PVC
TOTAL WEIGHT	g/m ²	EN ISO 2286-2	1100
TENSILE STRENGHT	warp/weft N/50 mm	DIN EN ISO 1421/1	4200/4000
TEAR STRENGHT	warp/weft N	DIN 53363	500/500
ADHESION	N/cm	Complan norms	20
COLD RESISTANCE	°C	DIN 53361	-25
HEAT RESISTANCE	°C	Complan	+70
LIGHT FASTNESS	note	DIN EN ISO 105 B02	>6
CRACK RESISTANCE	after 100.000 cracks	DIN 53359 A	no cracks
FLAMERETARDENCY		CL. 2	
FINISH	low wick, protected against microbial and fungal attack		

4 Krav til anlægsindretning

4.1 Proces

Generelt bør anlæggene indrettes således at al udrådning foretages under kontrollerede forhold og det undgås at udrådning starter ukontrolleret under forlagring af substrater.

Tørre substrater bør lagres tørt og ikke blandes med flydende substrater før de tilføres reaktortanke.

Substrater bør opbevares så kold som muligt og ikke forvarmes i fortanke, med mindre at det er substrater, som har lav pH eller andre egenskaber, som gør at udrådning ikke starter eller accelereres ved opvarmningen.

Substrater bør ikke blandes med udrådningsbiomasse, undtagen i forbindelse med indpumping til reaktorerne og i lukkede systemer.

Opholdstid i reaktorer skal designes således at der opnås høj udrådningsgrad.

Reaktorvolumen kan dimensioneres således at der opnås det økonomiske optimum for reaktorvolumen og udrådningsgrad/biogasudbytte. Lavt restpotentiale er den vigtigste parameter til at undgå metanproduktion nedstrøms biogasanlægget.

4.2 Udstyr og indretning

Kravene til udstyr og indretning bør rettes mod at forhindre metanlækage ved:

1. installation af udstyr med høj grad af sikkerhed mod lækage.
2. automatisk detektering af lækage, hvis denne opstår:
 - Ved gasdetektorer.
 - Ved programmering og fejlmeldinger på SRO ved unormale driftstilstande.
3. automatisk påfyldning af vandlåse eller indretning til selvpåfyldning af vandlåse med kondensat.

I tabellen nedenfor er listet de hyppigste årsager til gaslækage på biogasanlæg og anbefaling af løsninger.

Lækage kilde	Løsninger
Renseanlæg: gasbærende komponenter og konstruktioner tilsluttet gassystemet	
Rådnettanksoverflade (head space)	<p>Det er vigtigt i konstruktionsfasen at tæthedsprøve (gastæthed) tankene under de aktuelle driftsforhold.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gastæthedsprøvning med tanken fyldt til laveste væskenniveau. • Gastæthedsprøvning med tanken fyldt til højest væskenniveau. <p>Under tæthedsprøven skal topmonteret omrører køre, således at tanktoppen er påført de belastninger tanken påvirkes af fremtidigt. Prøvetryk bør være min være 1,3 gange max driftstryk (sikkerhedsventilens afblæsningstryk).</p>
Sikkerhedsventil (overtrykssikring) rådnetank	<p>Utæt sikkerhedsventil kan forårsage store metantab, fordi sådan lækage vil være konstant og muligvis længerevarende.</p> <p>Det er således vigtigt at denne funktion sikres automatisk. Vi anbefaler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vandlås med automatisk påfyldning via SRO. Regelmæssig påfyldning, tilstrækkelig til at vandlåsen ikke løber tør og ekstra længerevarende påfyldning hvis rådnetankstrykket har været for højt. • Vandlås med selvpåfyldning med kondensat og designet således at de ikke tømmes ved afblæsning (vandet løber tilbage efter afblæsningen). <p>Mekaniske sikkerhedsventiler kan være svære, langtidsholdbart, at holde tætte.</p>
Overløbsvandlås rådnetank	<p>Utæt overløbsvandlås kan forårsage store metantab, fordi sådan lækage vil være konstant og muligvis længerevarende.</p> <p>Det er således vigtigt denne funktion sikres automatisk. Vi anbefaler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vandlås med automatisk påfyldning via SRO. Regelmæssig påfyldning, tilstrækkelig til at vandlåsen ikke løber tør og ekstra længerevarende påfyldning hvis rådnetankstrykket har været for højt.
Gennemføring af instrumenter	Anbefales flangemontage med pakning.
Topmonteret omrører: Gennemføring omrører aksel	Gennemføringen tæthed sikres med vandlås. Utæt akselgennemføring vandlås kan forårsage store metantab, fordi sådan lækage vil være konstant og muligvis længerevarende.

	<p>Det er således vigtigt denne funktion sikres automatisk. Vi anbefaler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vandlås med automatisk påfyldning via SRO. Regelmæssig påfyldning, tilstrækkelig til at vandlåsen ikke løber tør og ekstra længerevarende påfyldning hvis rådnetankstrykket har været for højt.
Skueglas	Gastæt montage.
Mandedæksel rådnetank gasfase	Gastæt montage.
Gasrør i det fri og komponenter derpå	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Det bestræbes at flangesamlinger placeres således at de kan nå uden brug af stillads således at der kan gennemføres en tæthedsprøve med sæbevand hvert år. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i jord	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i bygninger og komponenter derpå	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Det bestræbes at flangesamlinger placeres således at de kan nå uden brug af stillads, således at der kan gennemføres en tæthedsprøve med sæbevand hvert år. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gaskompressor, gasventilatorer	Installeres med gastætte akselgennemføringer.
Dobbelt membran gaslager. Udløb ventilationsluft fra dobbeltmembran gaslager.	Utæt indermembran kan forårsage store lækager og lækagerne kan være svære at opdage. Vi anbefaler at der installeres gasdetektor, i afgang af luftstrømmen mellem indre og ydre membran, som giver alarm på SRO ved lækage.
Sikkerhedsventil på gaslager	Vi anbefaler automatisk påfyldning af sikkerhedsvandlås.
Overdækning slamlager	Beton elementtanke kan være svære at gøre tætte mellem vægelementer og tagelementer fordi elementerne arbejder under temperaturvariationer, ude og inde i tanken. Det er vigtigt med stort referencegrundlag for udførelse af dette arbejde.
Gasbærende tanke: Neddykkede omrører	Neddykkes via mandehul med svøb, som går under væskeoverfladen, således at der ikke slipper biogas ud under service.

Sikkerhedsventil overdækning slamlager	Kun i tilfælde af afdækning med dobbelmembran gaslager. Se ovenfor.
Sikkerhedsventil (overtykkssikring) gasrenser.	Se under sikkerhedsventil for rådnetank.
Overløbsvandlås gasrenser	Se under overløbsvandlås for rådnetank.
Gennemføring af instrumenter	Vi anbefaler flangemontage.
Gennemføring omrører	Se under gennemføring omrører rådnetank.
Skueglas	Gasgodkendt type, leveres med overensstemmelseserklæring for ATEX installation.
Utætheder på gasrenser, konstruktion gasfase.	Tæthedstestes opstillet inden idriftsættelse.
Mandedæksel gasrenser gasfase	Tæthedstestes opstillet inden idriftsættelse.
Rensesanlæg: gasbærende komponenter og konstruktioner ikke tilsluttet gassystemet	
Kondensatbrønd	Denne skal udføres med to kamre, typisk med overløbskant/ adskillelse midt i brønden. Kammer med overløbskant, som er altid fyldt med kondens og gasrør neddykket (neddykning større end højeste tryk i rådnetanke). Pumpekammer med pumpe styret af niveauelementer. Brønden er selvsikret mod tørløb ved at alle gasrør har hældning mod kammeret og kondensen fra rørene løber til brønden.
Rejektvandsbrønd	Ventileres til lugtfilter. Der er ikke tilstrækkelige gasudvikling til at indvinding af biogas kan være rentabelt.
Slambrønd, frisk slam	Ventileres til lugtfilter. Der er ikke tilstrækkelige gasudvikling til at indvinding af biogas kan være rentabelt.
Separationsanlæg (dekanter eller skruepresse): ventilation	Ventileres til lugtfilter. Ventilation skal danne undertryk i maskinen og forhindre lugt i opstillingsrummet.
Ventilation fra ikke tæt overdækket slamlager.	Overdækning skal laves så tæt at der ikke kan trækkes undertryk i tanken ved vindbelastning. Laves en mindre åbning diagonalt fra udsugningstilslutning til sikring af tanken mod over og undertryk.
Ventilation fra gasrum	Ventilation i h.t. Gasreglementet B-4. Vi anbefaler at der installeres en gasdetektor i ventilationskanalen. Detektion af gas i kanalen, som giver alarm på SRO, skal give anledning til lækagesøgning og lækageudbedring på udstyret i rummet.
Biogasanlæg (landbrugsanlæg): gasbærende komponenter og konstruktioner tilsluttet gassystemet	
Reaktortankoverflade gasfase (head space)	Det er vigtigt i konstruktionsfasen at tæthedsprøve (gastæthed) tankene under de aktuelle driftsforhold.

	<ul style="list-style-type: none"> • Tæthedsprøvning med tanken fyldt til laveste væskniveau. • Tæthedsprøvning med tanken fyldt til højest væskniveau. <p>Under tæthedsprøven skal omrøreren køre, således at tanktoppen er påført de belastninger tanken påvirkes af fremtidigt.</p> <p>Prøvetryk bør være min være 1,3 gange max driftstryk (sikkerhedsventilens afblæsningstryk).</p>
Reaktortank: Sikkerhedsventil overtryk	<p>Utæt sikkerhedsventil kan forårsage store metantab, fordi sådan lækage vil være konstant og muligvis længerevarende.</p> <p>Det er således vigtigt denne funktion sikres automatisk. Vi anbefaler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vandlås med automatisk påfyldning via SRO. Regelmæssig påfyldning, tilstrækkelig til at vandlåsen ikke løber tør og ekstra længerevarende påfyldning hvis rådnetankstrykket har været for højt. • Vandlås med selvpåfyldning med kondensat <p>Mekaniske sikkerhedsventiler kan være svære, langtidsholdbart, at holde tætte.</p>
Reaktortank: overløbsvandlås	<p>Utæt overløbsvandlås kan forårsage store metantab, fordi sådan lækage vil være konstant og muligvis længerevarende.</p> <p>Det er således vigtigt denne funktion sikres automatisk. Vi anbefaler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vandlås med automatisk påfyldning via SRO. Regelmæssig påfyldning, tilstrækkelig til at vandlåsen ikke løber tør og ekstra længerevarende påfyldning hvis rådnetankstrykket har været for højt.
Reaktortank: Manddæksel gasfasen	Anbefales flangemontage med pakning.
Reaktortank: gennemføring topmonteret omrører	<p>Gennemføringen tæthed sikres med vandlås.</p> <p>Utæt akselgennemføring vandlås kan forårsage store metantab, fordi sådan lækage vil være konstant og muligvis længerevarende.</p> <p>Det er således vigtigt denne funktion sikres automatisk. Vi anbefaler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vandlås med automatisk påfyldning via SRO. Regelmæssig påfyldning, tilstrækkelig til at vandlåsen ikke løber tør og ekstra længerevarende påfyldning hvis rådnetankstrykket har været for højt.
Reaktortank: gennemføring instrumenter	Anbefales flangemontage med pakning.
Reaktortank: skueglas	Gastæt montage.
Gasbærende tanke: Neddykkede omrører	Neddykkes via mandehul med svøb, som går under væskeoverfladen, således at der ikke slipper biogas ud under service.
Gasrør i det fri	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Det bestræbes at

	flangesamlinger placeres således at de kan nås uden brug af stillag, således at der kan gennemføres en tæthedsprøve med sæbevand hvert år. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i jord	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i bygninger	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Det bestræbes at flangesamlinger placeres således at de kan nås uden brug af stillag, således at der kan gennemføres en tæthedsprøve med sæbevand hvert år. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasblæser, gasventilatorer	Installeres med gastætte akselgennemføringer.
Dobbeltmembran gaslager	Utæt indermembran kan forårsage store lækager og lækagerne kan være svære at opdage. Vi anbefaler at der installeres gasdetektor, i afgang af luftstrømmen mellem indre og ydre membran, som giver alarm på SRO ved lækage.
Sikkerhedsventil på gaslager	Vi anbefaler automatisk påfyldning af sikkerhedsvandlås.
Overdækning fortanke, lagertanke	Beton elementtanke kan være svære at gøre tætte mellem vægelementer og tagelementer fordi elementerne arbejder under temperaturvariationer, ude og inde i tanken. Det er vigtigt med stort referencegrundlag for udførelse af dette arbejde.
Sikkerhedsventil overdækning fortanke og lagertanke.	Som reaktorer.
Sikkerhedsventil (overtrykssikring) gasrenser	Denne sikkerhedsventil har til formål at beskytte selve gasrensertanken mod overtryk og under tryk. Hvis ventilen har forholdsvis højt afblæsningstryk kan den være af typen mekanisk virkende. Hvis dens indstillingstryk er på niveau med reaktortrykket, gælder de samme anbefalinger, som for reaktortanke.
Gennemføring af instrumenter	Vi anbefaler flangemontage.
Skueglas	Skal være godkendt til gas og gastæt.
Utætheder på gasrenser, konstruktion gasfase.	Tæthedsprøves ved opstilling på anlæg.
Biogasanlæg (landbrugsanlæg): gasbærende komponenter og	

konstruktioner ikke tilsluttet gassystemet	
Kondensatbrønd	Denne skal udføres med to kamre, typisk med overløbskant/ adskillelse midt i brønden. Kammer med overløbskant, som er altid fyldt med kondens og gasrør neddykket (neddykning større end højeste tryk i rådnetanke). Pumpekammer med pumpe styret af niveauekontakter. Brønden er selvsikret mod tørløb ved at alle gasrør har hældning mod kammeret og kondensen fra rørene løber til brønden.
Separationsanlæg (dekanter eller skruepresse): ventilation	Ventileres til lugtfilter. Ventilation skal danne undertryk i maskinen og forhindre lugt i opstillingsrummet.
Fortanke, efterlager overdækning: generelt og montagegrænseflade	Skal tæthedsprøves efter montage.
Sikkerhedsventil på ikke gastæt overdækket tank, som ventileres til lugtfilter.	Åbning i den diagonalt modsatte ende af ventilationstilslutning.
Mandedæksel/åbning i overdækning for omrørerservice.	Det vigtigt at åbninger dækkes tæt for at reducere den luftmængde, som der skal til for at opnå undertryk i tanken.
Åbning i overdækning: instrumenter	Det vigtigt at åbninger dækkes tæt for at reducere den luftmængde, som der skal til for at opnå undertryk i tanken.
Ventilationsluft fra gasbærende tanke til lugtfilter (eller hovedventilation).	Tæthedstestes i h.t. ventilationsnormer. Mindre lækager er uden betydning.
Ventilation fra gasrum	Ventilation i h.t. Gasreglementet B-4. Vi anbefaler at der installerer en gasdetektor i ventilationskanalen. Detektion af gas i kanalen, som giver alarm på SRO, skal give anledning til lækagesøgning og lækageudbedring på udstyret i rummet.
Opgraderingsanlæg: gasbærende komponenter og konstruktioner tilsluttet gassystemet	
Afgang CO2 fraktion	Ved valg af opgraderingsanlæg bør anlæggets levetidsøkonomi og miljøpåvirkning evalueres. Herunder: <ul style="list-style-type: none"> • Metantab • Energiforbrug til el-og varme • Mulighed for afsætnings af varme på anlægget og eksternt og alternativ tilvejebringelse af varmforsyning, herunder varmegenvinding og varmepumper. Ligeledes, mulige fremtidige krav om nedkøling af digistat på biogasanlæggene. • Miljøkrav om destruktion af metan i anlæggets afkast til det fri og installationer til dette.
Gasrør i det fri	Trykprøves til 10 bar ih.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.

Gasrør i jord	Trykprøves til 10 bar ih.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i bygning	Trykprøves til 10 bar ih.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasanalyseanlæg	Tæthedsprøves før ibrugtagning.
Gasblæser	Skal have gastætte akselgennemføringer. Der skal installeres trykvagt på blæserens sugside, som stopper blæseren, hvis gastrykket på blæserens sugside falder under 2 mbar. Henvisning til Sikkerhedsstyrelsens retningslinjer.
Gaskompressor	Skal have gastætte akselgennemføringer. Der skal installeres trykvagt på gaskompressorernes sugside, som stopper gaskompressoren, hvis gastrykket på blæserens sugside falder under 2 mbar. Henvisning til Sikkerhedsstyrelsens retningslinjer.
Instrumentgennemføringer	Flangemontage
Mandedæksler	Flangemontage
Opgraderingsanlæg: gasbærende komponenter og konstruktioner ikke tilsluttet gassystemet	
Ventilation af gasrum	Vi anbefaler at der installeres gasdetektor i ventilationskanalen, afgang gasrum. Detektion af gas skal give alarm på SRO og give anledning til lækagesøgning på udstyr i rummet.
Kondensatbrønd	Denne skal udføres med to kamre, typisk med overløbskant/adskillelse midt i brønden. Kammer med overløbskant, som er altid fyldt med kondens og gasrør neddykket (neddykning større end højeste tryk i rådnetanke). Pumpekammer med pumpe styret af niveauelementer. Brønden er selvsikret mod tørløb ved at alle gasrør har hældning mod kammeret og kondensen fra rørene løber til brønden.
Gasmotoranlæg: gasbærende komponenter og konstruktioner tilsluttet gassystemet	
Gasrør i det fri	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Det bestræbes at flangesamlinger placeres således at de kan nå uden brug af stillag, således at der kan gennemføres en tæthedsprøve med sæbevand hvert år. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i jord	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-

	vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasrør i bygning	Rørene gennemføres med svejste samlinger og flangesamlinger på komponenter. Det bestræbes at flangesamlinger placeres således at de kan nå uden brug af stillag, således at der kan gennemføres en tæthedsprøve med sæbevand hvert år. Under anlæggets opførelse, skal gasbærende rørinstallationer (uanset driftstryk), trykprøves til 10 bar i h.t. AT-vejledning D 2.7. Dette giver stor sikkerhed for tæthed af systemet.
Gasanalyseanlæg	Tæthedsprøves før ibrugtagning.
Gasblæser	Skal have gastætte akselgennemføringer. Der skal installeres trykvagt på blæserens sugside, som stopper blæseren, hvis gastrykket på blæserens sugside falder under 2 mbar. Henvisning til Sikkerhedsstyrelsens retningslinjer.
Gaskompressor	Skal have gastætte akselgennemføringer. Der skal installeres trykvagt på gaskompressorens sugside, som stopper gaskompressoren, hvis gastrykket på blæserens sugside falder under 2 mbar. Henvisning til Sikkerhedsstyrelsens retningslinjer.
Instrumentgennemføringer	Vi anbefaler flangemontage.
Gasmotoranlæg: gasbærende komponenter og konstruktioner ikke tilsluttet gassystemet	
Ventilation af motor-/gasrum	Vi anbefaler at der installeres gasdetektor i ventilationskanalen, afgang gasrum. Detektion af gas skal give alarm på SRO og give anledning til lækagesøgning på udstyr i rummet.
Kondensatbrønd	Denne skal udføres med to kamre, typisk med overløbskant/adskillelse midt i brønden. Kammer med overløbskant, som er altid fyldt med kondens og gasrør neddykket (neddykning større end højeste tryk i rådnetanke). Pumpekammer med pumpe styret af niveauelementer. Brønden er selvsikret mod tørløb ved at alle gasrør har hældning mod kammeret og kondensen fra rørene løber til brønden.

5 Krav til drift og vedligeholdelse for gasbærende udstyr og konstruktioner

5.1 Generelt

Lækagesøgning bør indgå i anlæggets vedligeholdelsesprogram og være en del af forbyggende vedligeholdelsesrutiner og fornyelse af komponenter.

Service og udskiftning af sliddele skal udføres i h.t. fabrikantens instruktioner og disse skal indarbejdes i et vedligeholdelsesprogram. Generelt skal der foretages supplerende lækagesøgninger ved observation af gaslugt. I nedenstående skema er anført supplerende

kommentarer vedrørende vedligehold for gasbærende komponenter og konstruktioner, som ikke er standardudstyr der leveres med service og vedligeholdelsesinstruktioner.

Generelt tager vi udgangspunkt i at ovenfor anførte anbefalinger for gasbærende installationer og konstruktioner følges.

Komponent/ konstruktion	Bemærkninger/anbefalinger
Rørsystemer i det fri	Flange og gevindsamlinger gennemgås med sæbeprøve hvert år.
Rørsystemer i jord	Observere om der er gaslugt over rørtraceen.
Rørsystemer i bygninger	Flangesamlinger gennemgås med sæbeprøve hvert år og eller kamera. I bygninger med komplekse gasrørsystemer, bør der installeres gasdetektor i ventilationsafgang fra rummet.
Dæksler, instrumenter, skueglas og andre forbindelser til tanke.	Flangesamlinger gennemgås med sæbeprøve hvert år.
Vandlåse	Automatisk påfyldning via SRO. Observeres ugentligt visuelt at vandlåsene påfyldes.
Sikkerhedsventiler	Tæthedsprøve ugentligt, ved sæbeprøve eller sniffer.
Gasrum	Automatisk detektion af gas i ventilation fra gasrummet.
Ventilationsluft fra gaslager	Automatisk detektion af gas i ventilation fra gaslager.
Membranoverdækninger og gaslager membraner: <ul style="list-style-type: none"> • montage til tankvæg/fundament. • Gennemføring af mandedæksler, rør og instrumenter. 	Alle samlinger gennemgås med lækagesøger hvert år. Enkeltmembranoverdækninger kan kun tæthedstjekkes med gaskamera. Gaskameraundersøgelse bør foretages årligt og ved observation af gaslugt.
Gasblæsere	Akseltætning og flange på blæserhus tæthedsprøves ved sæbeprøve årligt.
Ventiler	Akselgennemføring tæthedsprøves ved sæbeprøve årligt.
Trykregulatorer	Ventilhus tæthedsprøves ved sæbeprøve årligt.

Lækagekontrol forudsætter at der er arbejdsmiljømæssig forsvarlig adgang til komponenter og konstruktioner til lækagesøgningen.

Hvis der ikke er god adgang til komponenterne, anbefales at udføre lækagesøgning med kamera af et professionelt firma.

5.2 Service af neddykkede komponenter

Komponenter, som er neddykket i tætte gasbærende tanke, skal serviceres via svøb, som går under væskeoverfladen (evt. hæves væskeniiveauet for at dette opnås), således at der ikke slipper gas ud under service. Mandehuller for omrører, pumper eller andet neddykket udstyr, skal udstyres således af hensyn til at undgå gasudslip og af hensyn til arbejdsmiljø sikkerhed under service.

5.3 Membranoverdækninger

De allerstørste observerede biogaslækager på biogasanlæg er fra revner i membraner på gaslager.

Opmærksomhed og detektering af lækager på dette område er således vigtigt for undgå tab af biogas og penge.

I praksis anvendes:

1. Enkeltmembraner, hvor formålet er et tæt tag på tanken.
2. Dobbeltmembraner med ydermembran udspilet med luft og fleksibel indermembran som udgør gaslager.
3. Dobbeltmembraner med ydermembran, som er udspændt mellem en søjle i midten af tanken og fleksibel indermembran som udgør gaslager.

Ad 1:

Det kan være svært at detektere mindre lækager på en enkeltmembran, men vigtigt at detektere små lækage, fordi de kan udvikles til større lækager. Der er kun adgang til periferien af tanken og montagesamlingen på tankvæggen, men kun i begrænset omfang (kort indover fra tankvæggen) til membranoverfladen.

- Membranmontage på tankvæggen bør gennemgås ved sæbeprøven eller sniffer i stille vejr
- Vi anbefaler at der årligt gennemføres en kameraundersøgelse af membranoverfladen.
- Man kan evt. lave følgende tæthedsprøve:
 - Med udspilet membran. Lukke for gasafgangen på tanken og observere om membranen falder sammen. Hvis den falder sammen (og der ikke er pumpet ud af tanken) er der lækage.
 - Lukke for gasafgangen og pumpe ind i tanken. Da skal sikkerhedsventilen blæse.

Ad 2:

- Membranmontage på tankvæggen bør gennemgås ved sæbeprøven eller sniffer i stille vejr.
- Der bør installeres en gasdetektor, med alarm på SRO, på luftafgangen fra lageret.

Ad 3:

Ydermembranen er ikke tæt og lækage på indermembranen kan kun detekteres ved kameraundersøgelse af overfladen på ydermembranen. En lækage vil trænge ud fra en åbning i ydermembranen. Undersøgelsen skal foretages under påfyldning af gaslageret.

- Membranmontage på tankvæggen bør gennemgås ved sæbeprøven eller sniffer i stille vejr
- Vi anbefaler at der årligt gennemføres en kameraundersøgelse af membranoverfladen.
- Biogas fra en lækage vil sandsynligvis søge opad og samles i toppen af membranen. Man kunne ved at pumpe en mindre mængde luft fra toppen af indersiden af ydermembranen til et fremkommeligt sted detektere lækage ved en gasdetektor på denne luftstrøm.