

Reduktion af NOx, formaldehyd og luggener fra biogasfyrede gasmotorer

Miljøprojekt nr. 1434, 2012

Titel:

Reduktion af NOx, formaldehyd og lugtgener fra biogasfyrede gasmotorer

Redaktion:

Catcon A/S
Vibeke Vestergaard Nielsen, Miljøteknologi

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2012

ISBN nr.

978-87-92903-33-4

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 PROJEKTINDHOLD	15
1.1 DESIGN	15
1.2 OPSÆTNING OG AFPRØVNING	15
1.3 TEST	15
1.4 ANALYSE AF TEST OG ERFARINGER	15
1.5 PERSPEKTIVERING	16
2 TEKNOLOGIBESKRIVELSE	17
3 PROJEKTGENNEMFØRELSE	19
3.1 DESIGN	19
3.1.1 <i>Doseringssystemet</i>	19
3.1.2 <i>Urealagringssystemet</i>	20
3.1.3 <i>SCR-reaktor</i>	20
3.2 OPSÆTNING OG AFPRØVNING	20
3.3 TEST	21
3.3.1 <i>Vejledende test</i>	21
3.3.2 <i>Akkrediteret test</i>	22
3.3.3 <i>Biogassens svovlindhold</i>	23
3.4 ANALYSE AF TEST OG ERFARINGER	25
3.4.1 <i>SCR-anlæg på biogasmotor</i>	25
3.4.2 <i>Svovl</i>	25
3.4.3 <i>Rentabilitet</i>	25
3.5 PERSPEKTIVERING	25
LITTERATURLISTE	27

Bilag A: Målemetode

Bilag B: Akkrediteret måling

Bilag C: Svovlindhold

Bilag D: Rentabilitet

Forord

Denne rapport er en beskrivelse af projektet ”Reduktion af NOx, formaldehyd og lugtgener fra biogasfyrede gasmotorer.”

Formålet med projektet er funktions- og konstruktionsmæssigt at udvikle et driftssikker og effektivt standardanlæg til reduktion af kvælstofoxider (NOx), kulalte (CO), formaldehyd (FA) og lugtgener fra biogasfyrede gasmotorer baseret på kendte teknologier.

Rapporten indeholder først en sammenfatning og konklusion, herefter en beskrivelse af teknologien, siden en beskrivelse af hovedkomponenterne i et sådan system og endelig en gennemgang af de udførte test.

Projektet er udført under Miljøstyrelsens ”tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi” med støtte fra puljen og egenfinansiering.
MST journal nr. MST-141-00102.

Projektet er afsluttet maj 2011 og dette er den endelige rapport.

Pilotanlægget er opført på:

Vegger Biogasanlæg,
Skivumvej 2,
Vegger,
9280 Nibe

Projektets organisation består af:

Catcon A/S
- Allan Jakobsen (Projektleder)
- Jesper Traumer (Konstruktion & dokumentation)

Industrivarmer A/S
- Gert Jensen (El og automatik)

Vegger Biogasanlæg
- Richard Bengtsen, Driftsleder
- Verner Nielsen, Driftsleder

Haldor Topsøe A/S
- Henrik Trolle Jakobsen (Rådgiver, NOx-katalysatordrift)

Süd Chemie
- Hans-Christoph Schwarzer

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund og formål

De gældende emissionsregler for biogasmotorer i Danmark, jf. lovbekendtgørelse BEK nr. 621 af 23/06/2005, tillader en NOx- og CO-emission, der er ca. det dobbelte af emissioner fra naturgasfyrede motoranlæg. I dag er der forholdsvis god kontrol med biogaskvaliteten, og derfor er det realistisk at montere en kombineret katalysatorenhed, der kan reducere ovennævnte udledninger til det halve og samtidig opretholde en acceptabel levetid.

Med den politiske intention om udbygning af biogasenheder vil det være hensigtsmæssigt at skærpe emissionskravene væsentligt for biogasmotorer i forhold til den nuværende bekendtgørelse.

Motorproducenterne udvikler løbende på forbrændingsteknikken for at optimere denne og derved reducere udledningen af skadelige stoffer i røggassen. Men i mange tilfælde er de miljømæssige krav væsentligt større end det fabrikanterne umiddelbart kan opnå. Derfor vil der være et behov for rensning af røggassen.

Formålet med projektet er at udvikle og idrftsætte et standard-katalysatoranlæg (SCR- og oxidationskatalysatoranlæg) til en biogasmotor, således at udledningen af NOx, CO og formaldehyd (FA), og derved også lugtgener fra røggassen, reduceres effektivt.

Udfordringen i projektet er at udvikle et kompakt og driftsoptimalt katalysatoranlæg, som er egnet til installation på biogasanlæg generelt, da anlæggene til tider udsættes for et meget aggressivt miljø (svovl i biogassen).

For at få et driftsikkert og højeffektivt katalysatoranlæg til små og mellemstore biogasmotorer, er det vores idé at videreudvikle på kendt teknologi fra både de store kraftværkers røggasrensningsanlæg og transportsektorens katalysatoranlæg og kombinere disse på en ny måde.

Undersøgelsen

Vores undersøgelse går ud på at undersøge om det er muligt at anvende et standard katalysatoranlæg på et biogaskraftvarmeanlæg for at reducere NOx, CO og FA.

Måling af lugtemission er ikke inkluderet, da det antages, at en reduktion af FA også vil medføre en reduktion af lugt.

Yderligere undersøges det, om det er muligt at reducere anlægsomkostningerne så meget, at det er rentabelt at investere i et SCR-anlæg i relation til udledningsafgifter.

Projektet er udført af Catcon A/S i, samarbejde med Industrivarme A/S, med opbygning af et pilotanlæg opført på Vegger Biogasanlæg ved Nibe. Et komplet katalysatoranlæg blev opstillet på biogasanlægget med henblik på at udføre målinger af NOx-, CO- og FA-emissionerne.

Hovedkonklusioner

I løbet af projektet er der opnået en række resultater med følgende hovedkonklusioner:

- Røggassen fra en biogasmotor kan renses for NOx og CO til værdier, som ligger væsentligt under emissionsgrænseværdierne, som stilles til bio- og naturgasfyrede motorer iht. BEK nr. 621 af 23/06/2005.
- Røggassen fra en biogasmotor kan renses for FA til værdier, som ligger under de forventede kommende krav til naturgasmotorer.
- Der ses ikke en ældning af katalysatorerne
- For at undgå afledte effekter af rensningen af røggassen for NOx, CO og FA skal biogassens indhold af svovl være meget lav = biogassen skal renses for svovl kontinuerligt.
(Svovlsyre kan kondensere i røggaskøleren og forårsage tæringer af denne)
- Det er samfundsøkonomisk en god idé at reducere NOx emissionen fra gasfyrede motorer, da udgiften til at sænke NOx-emissionen ligger væsentligt under udgiften til at behandle de menneskelige skadefirkanter, NOx har.
- Der mangler incitament (en gulerod) til anlægsejerne hvis de skal investere i anlæg til reduktion af emissionerne.

Projektresultater

Emissionsgrænseværdier og målinger efter katalysatoranlæg

Emissionsmålingerne, jvf. Tabel 1, viser at det er muligt at reducere NOx- og CO-emissionen til værdier, der ligger langt under de gældende grænseværdier for henholdsvis biogas- og naturgasmotorer.

Endvidere er FA-emissionen reduceret til at ligge langt under de forventede kommende krav, der stilles til udledning af FA fra gasmotorer.

TABEL 1 EMISSIONSGRÆNSEVÆRDIER SAMT MÅLINGER EFTER RENSEANLÆG

	NOx mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , tør røggas	CO mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , tør røggas	FA mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , tør røggas
Grænseværdi for gasmotorer, der anvender biogas som brændsel	1000*	1200*	-
Grænseværdi for gasmotorer, der anvender naturgas som brændsel	550*	500*	22**
Akkrediteret måling udført den 4. februar 2010	38***	37	1,6
Akkrediteret måling udført den 6. januar 2011	85***	34	2,2

*Emissionsgrænseværdier for gasmotorer jf. lovbekendtgørelse BEK nr. 621 af 23/06/2005

** Forventet grænseværdi ved elvirkningsgrad på 30 %, som skal korrigeres for aktuel virkningsgrad.

*** Målt efter SCR-katalysator og før oxidationskatalysator.

Råemissioner før katalysatoranlæg

Tabel 2 viser råemissioner før katalysatoranlæg.

TABEL 2 EMISSIONSMÅLINGER FØR KATALYSATORANLÆG

	NOx mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , tør røggas	CO mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , tør røggas	FA mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , tør røggas
Akkrediteret måling udført den 4. februar 2010	546	1459	118
Akkrediteret måling udført den 6. januar 2011	901	1485	52

Som det fremgår, er der store udsving på NOx- og FA-emissionen i de to måleperioder. Forskellen i værdierne er uden betydning for denne rappers konklusion, da de rensede værdier, Tabel 1, i begge tilfælde ligger langt under målsætningen.

Svovl i biogassen.

Biogasanlægget er udstyret med en ”skrubber” som skal rense biogassen for svovl, før denne ledes til gasmotoren. Målinger af svovlindholdet viser, at et realistisk renseniveau for svovlindhold i biogassen på dette anlæg er 25 ppm (61,5 mg/10 kWh), hvilket er ca. 3 gange motorleverandørens anbefalede maksimumsværdi når der køres med katalysatoranlæg [1].

Svovl i biogassen kan medføre en hurtigere ældning af katalysatorerne og en udfældning af svovlsyre (H_2SO_4) i røggaskøleren.

Af tabel 3 fremgår det, at reduktion af NOx, CO og FA procentuelt er næsten ens i de to måleperioder (1868 katalysatordriftstimer mellem de to målinger), hvilket indikerer der ikke er sket en ældning af katalysatorerne imellem de to måleperioder trods en overskridelse af motorleverandørens anbefalinger til maks. svovlindhold i biogassen.

TABEL 3 EMISSIONSREDUKTION I PROCENT

	NOx %	CO %	FA %
Reduktion i % den 4. februar 2010	93*	97	99
Reduktion i % den 6. januar 2011	90*	98	96

*Udregnet på baggrund af en renset NOx-værdi målt mellem NOx- og CO/FA-katalysatoren.

Røggaskøleren er blevet tæret under driften, og der er fundet svovlsyrerester i den.

Dette indikerer, at det ikke har været muligt at rense biogassens svovlindhold til et niveau, hvor udfældning i røggaskøleren kunne undgås.

Rentabilitet.

Udgiften til at fjerne NOx er meget følsom overfor driftstimerne per år grundet investeringsudgifterne.

Ved en afskrivningsperiode på 10 år er udgiften til NOx-reduktion 53 kr./ kg ved en driftstid på 20 % (1752 driftstimer/år) og 18 kr./ kg ved en driftstid på 80 % (7008 driftstimer/år).

- For at investeringen kan tilbagebetales, skal NOx-afgiften iht. ovennævnte være min. 53 kr./ kg NOx.
(Dette gælder også for naturgasfyrede motorer)

Beregningerne er tilnærmede værdier og forbundet med en vis usikkerhed.

DGC-rapporten [2] konkluderer, at de menneskelige skadesvirkninger som følge af NOx-emissioner fra naturgasmotorer beløber sig til 130–195 kr./ kg emitteret.

Da udgifterne til at fjerne 1 kg NOx, er ca. 2 – 3 gange lavere end de sundhedsmæssige skadesvirkninger NOx-emissionen har, er der ingen tvivl om at det vil være samfundsøkonomisk fornuftigt at reducere NOx-emissionen.

Pt. er NOx-afgiften 5,1 kr./ kg NOx.

Summary and Conclusions

Background and purpose

The current emission rules for biogas engines in Denmark, cf Executive Order No. 621 of 23/06/2005, permits an NOx and CO emission which is approx. twice the size of emissions from natural gas-fired power plants.

Today, there is a relatively good control of the biogas quality, and therefore it is realistic to mount a combined catalytic unit that can reduce these emissions by half while maintaining an acceptable service life.

With the political intention of expanding of biogas units it would be appropriate to tighten emission requirements significantly for biogas engines in relation to the current Executive Order.

Engine manufacturers are continuously developing the combustion technology to optimise it and thereby reduce emissions of harmful substances in flue gas. In many cases, the environmental requirements are significantly larger than what the manufacturers can immediately achieve. Therefore, there will be a need for cleaning the flue gas.

The project aims to develop and commission a standard catalytic system (SCR and oxidation catalytic systems) for a biogas engine, so that emissions of NOx, CO and formaldehyde (FA) - and thereby also odours from the flue gases - are reduced effectively.

The challenge of this project is to develop a compact and reliable optimal catalytic system suitable for installation at biogas plants in general, because the plants are sometimes exposed to a very aggressive environment (sulphur in the biogas).

In order to get a reliable and highly efficient catalytic system for small and medium-sized biogas engines, it is our idea to further develop known technology from both the large power plants' flue gas purification systems and the transport sector's catalytic systems and combine them in a new way.

The study

Our study aims to investigate whether it is possible to use a standard catalytic system at a biogas cogeneration plant in order to reduce NOx, CO and FA.

Measurements of odour emissions are not included because it is assumed that a reduction of FA will also result in a reduction of odours.

Additionally, we test whether or not it is possible to reduce construction costs so much that it is profitable to invest in a SCR system in relation to emission taxes.

The project is conducted by Catcon A/S in collaboration with the Industrivarme A/S with the construction of a pilot system at the bio gas plant Vegger Biogasanlæg near the city of Nibe.

A complete catalytic system was set up at the biogas plant in order to perform measurements of NOx, CO and FA emissions.

Main conclusions

During the project, a number of results with the following main conclusions were achieved:

- Flue gas from a biogas engine can be cleaned of NOx and CO to values significantly lower than the emission limit as provided for bio and gas-fired engines, according to Executive Order No. 621 of 23/06/2005.
- Flue gas from a biogas engine can be cleaned for FA to values below the expected future demands for natural gas engines.
- A deterioration of the catalysts was not observed.
- To avoid secondary effects of the cleaning of flue gas for NOx, CO and FA, the sulphur content of the biogas must be very low = the biogas must be continuously cleaned of sulphur.
(Sulphuric acid can condense in the gas cooler and cause corrosion)
- Socio-economically, it is a good idea to reduce NOx emissions from gas-fired engines, since the cost of reducing NOx emissions is substantially lower than the costs of treating the harmful effects NOx has on human health.
- There is a lack of incentive (a carrot) for plant owners to invest in systems that reduce emissions.

Project results

Emission limit values and measurements after catalytic systems

The emission measurements, cf Table 1 show that it is possible to reduce NOx and CO emissions to levels well below the current limits for biogas and natural gas engines respectively.

Furthermore, the FA emission is reduced to be far lower than the expected future emission requirements for FA from gas engines.

TABLE 1 EMISSION LIMIT VALUES AND MEASUREMENTS AFTER PURIFICATION PLANTS

	NOx mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , dry flue gas	CO mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , dry flue gas	FA mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , dry flue gas
Limit value for gas engines using biogas as fuel	1000*	1200*	-
Limit value for gas engines using natural gas as fuel	550*	500*	22**
Accredited measurement performed on 4 February 2010	38***	37	1,6
Accredited measurement performed on 6 January 2011	85***	34	2,2

* Emission limit values for gas engines cf. Executive Order No. 621 of 23/06/2005.

** Estimated limit levels at an electrical efficiency of 30 % which must be corrected for current efficiency.

*** Measured after the SCR catalyst and before the oxidation catalyst.

Raw emissions before catalytic systems

Table 2 shows raw emissions before catalytic systems.

TABLE 2 EMISSION MEASUREMENTS BEFORE CATALYTIC SYSTEM

	NOx mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , dry flue gas	CO mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , dry flue gas	FA mg/Nm ³ , ref. 5 % O ₂ , dry flue gas
Accredited measurement performed on 4 February 2010	546	1459	118
Accredited measurement performed on 6 January 2011	901	1485	52

As shown, there are large variations in the NOx and FA emissions in the two measurement periods. The difference in values is irrelevant to this report's conclusion, as the purified values (cf Table 1) in both cases are far below target.

Sulphur in the biogas.

The biogas plant is equipped with a "scrubber" which will clean the biogas of sulphur before it is routed to the gas engine. The sulphur measurements indicate that a realistic cleaning level for sulphur content in the biogas at this plant is 25 ppm (61.5 mg/10 kWh) which is approx. 3 times the engine manufacturer's recommended max. value when driven with a catalytic system [1].

Sulphur in the biogas can lead to a faster deterioration of the catalysts and a deposit of sulphuric acid (H₂SO₄) in the flue gas cooler.

Table 3 shows that the reduction of NOx, CO and FA in terms of percentage is almost identical in the two measurement periods (1868 catalyst operating hours between measurements), indicating there has been no deterioration of the catalysts between the two measurement periods, despite exceeding the engine manufacturer's recommendation for max. sulphur content in the biogas.

TABLE 3 EMISSION REDUCTION IN PERCENT

	NOx %	CO %	FA %
Reduction in % on 4 February 2010	93*	97	99
Reduction in % on 6 January 2011	90*	98	96

* Calculated on the basis of a purified NOx value measured between NOx and CO/FA-catalyst.

During operation, the flue gas cooler had corroded and acid residues were observed inside it.

This indicates that it has not been possible to purify the sulphur content in the biogas to a level where deposits in the flue gas cooler could be avoided.

Profitability.

The cost of removing NOx is very sensitive to the operating hours per year due to investment expenses.

With a depreciation period of 10 years, the cost of NOx reduction will be DKK 53/ kg at a runtime of 20 % (1752 hours/year) and DKK 18 / kg at a runtime of 80 % (7008 hours/year).

- If the investment should be repaid, the NOx tax according to the above should be at least DKK 53 per kg of NOx.
(This also applies to natural gas-fired engines)

The calculations are approximate values and associated with a certain amount of uncertainty.

The DGC-report [2] concluded that the harmful effect on human health due to NOx emissions from natural gas engines amounts to DKK 130-195 per kg emitted.

Since the cost of removing 1 kg of NOx is approx. 2 to 3 times lower than the harmful NOx emissions have on human health, there is no doubt about the fact that it would be economically sensible to reduce NOx emissions.

The current NOx tax is DKK 5.1 per kg NOx.

1 Projektindhold

Følgende delmål er sat op for projektet:

- reducere NOx-emissionen til 550 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂
- reducere CO-emissionen til 500 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂
- reducere FA-emissionen til 28 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂,
(korrigert for elvirkningsgrad på 38 %)
- undersøge om katalysatorerne skades af røggassen fra en biogasmotor
- minimere anlægsprisen mest mulig
- undersøge om driftsøkonomi og anlægsinvesteringer gør det muligt at drive et anlæg med SCR rentabelt efter nuværende gældende regler og afgifter

Disse delmål kan klarlægges ved at inddale projektet i følgende faser:

1. Design
2. Opsætning og afprøvning
3. Test
4. Analyse af test og erfaringer,
5. Perspektivering

1.1 DESIGN

Designfasen indebar dimensionering af SCR-anlægget på baggrund af givne massestrømme. Dog er det ikke anlægsdimensionerne, der er det interessante i dette projekt, men i højere grad, hvordan vi får lavet et SCR-anlæg til lav pris, men med høj effektivitet til biogasmotorer.

1.2 OPSÆTNING OG AFPRØVNING

Det vil være nødvendigt at afprøve anlægget, inden det idrifsættes, og inden det er muligt for os at lave pålidelige test. I denne fase bliver det måske nødvendigt at træde et skridt tilbage i designfasen for at finde den optimale tekniske løsning.

1.3 TEST

Under testen skal vi indsamle data på NOx-, CO- og FA-emissioner.

Desuden skal svovlindholdet i biogassen undersøges.

1.4 ANALYSE AF TEST OG ERFARINGER

Vi vil afstemme om, de forventede teoretiske emissionsværdier opnås, analysere svovlindhold i biogassen og evt. følgevirkninger heraf samt udføre en rentabilitetsberegnning baseret på opnåede resulter.

1.5 PERSPEKTIVERING

Kan vores erfaringer med SCR på dette anlæg overføres til andre anlæg generelt. Er det teknisk muligt at reducere NOx, CO og FA generelt på alle former for biogasdrevne motoranlæg, hvis man skærpede kravene i Danmark.

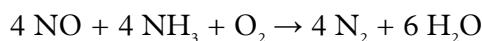
Er det relevant at benytte SCR-anlæg på biogasdrevne motorer mht. svovlindholdet i biogassen.

Har vores erfaring fra dette projekt afledt andre tekniske løsninger, som er værd at afprøve.

2 Teknologibeskrivelse

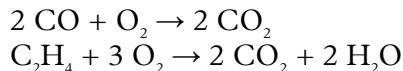
SCR står for Selective Catalytic Reaction, hvilket på dansk betyder selektiv reduktion ved brug af katalysator. En selektiv reduktion betyder, at det kun er udvalgte komponenter i røggassen, som reduceres. SCR-begrebet bruges i forbindelse med NOx-fjernelse og ikke elementerne CO og FA.

For at gøre det muligt at reducere NOx, skal der være ammoniak til stede i røggassen, hvilket kan opnås ved at tilsætte ammoniak eller urea. Grunden til, at det er muligt at bruge urea er, at urea spaltes til bl.a. ammoniak (NH_3). En meget simplificeret reaktionsproces for NOx og NH_3 er opstillet herunder.



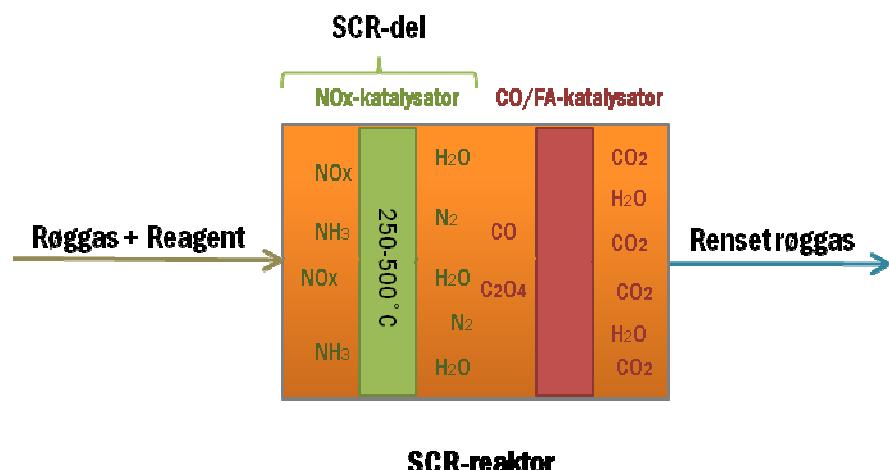
Reaktionen kan foregå af sig selv, men kun i et højt temperaturområde omkring $850 - 1100^\circ\text{C}$, men vha. en katalysator er det muligt at få reaktionen i gang ved et lavere temperaturinterval, $250-500^\circ\text{C}$.

CO/FA-reduktion foregår udelukkende ved brug af en oxidationskatalysator. Denne type katalysator er forskellig fra den katalysator der benyttes for SCR-delen. Ved en CO/FA-reduktion er det ikke nødvendigt at bruge en reagent. Røggaskomponenterne oxideres, når de kommer i kontakt med katalysatorvæggen, efter følgende simple procesligninger:



Af nedenstående Figur 2.1 har vi opstillet en principskitse af, hvordan en typisk reaktor opbygges, når den både reducerer for NOx og CO/FA. Selv om det ikke er en korrekt terminologi, betegner vi dette samlet for et katalysatoranlæg.

FIGUR 2.1: PRINCIPSKITSE AF SCR-PRINCIPPET MED CO/FA-REDUKTION

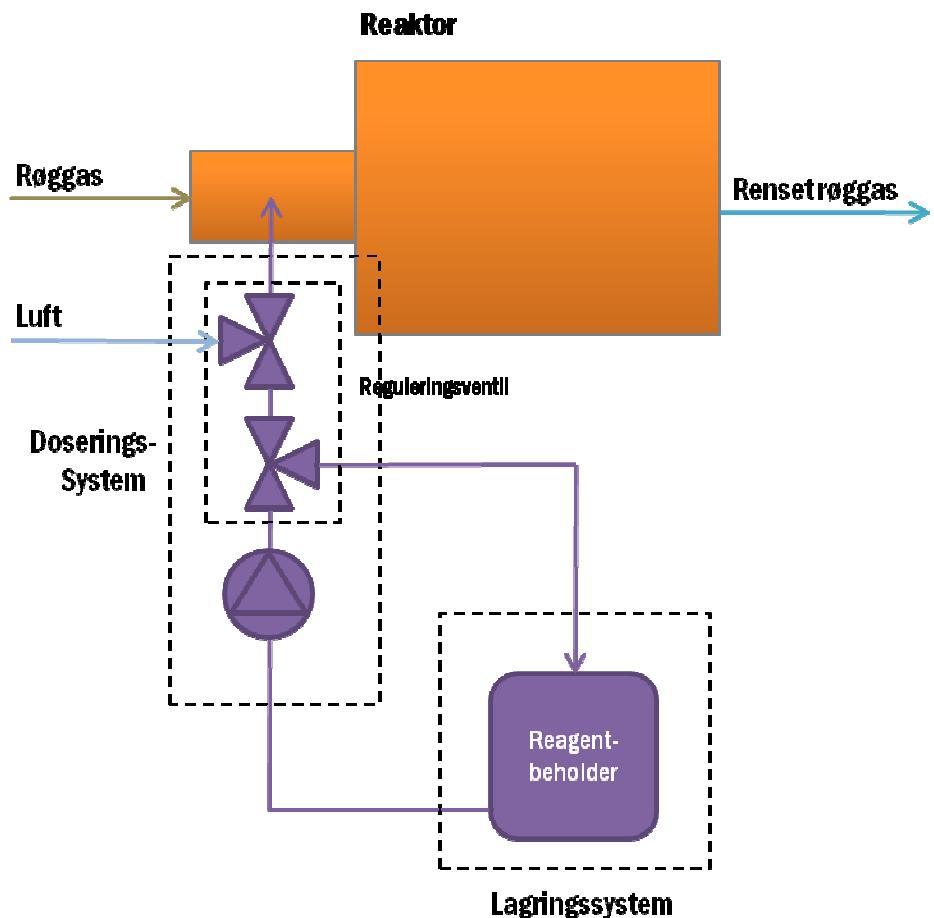


Figur 2.2 viser, hvordan et funktionelt katalysatoranlæg kan sættes sammen.

En blanding af luft og reagent doseres ind i røggassen før reaktoren. Luften bruges til at forstøve reagenten. Det er vigtigt, at reagenten blandes godt op med røggassen for at få en høj effektivitet på katalysatoren.

Doseringssystemet består i hovedtræk af en mængdereguleret doseringspumpe og en trevejsventil. Når doseringssystemet står på standby, kører pumpen – klar til dosering, men reagenten returneres til lagringssystemet. I nogle situationer omfatter lagringssystemet en buffertank og pumpe. Det gør sig bl.a. gældende, når lagringsstationen er placeret langt fra doseringssystemet.

FIGUR 2.2: PRINCIPSKITSE AF SCR-ANLÆG.



3 Projektgennemførelse

Gennemgående i resten af rapporten mener vi udstyret på Vgger Biogasanlæg, når vi henviser til ”motoren” og ”biogasanlægget.” Når vi henviser til katalysatoranlægget, mener vi det udstyr, der er knyttet til reaktoren og selve reaktoren, som indeholder både NOx-reduceringskatalysatorer og CO/FA-reduceringskatalysatorer.

3.1 DESIGN

Siden vi har fokus på at minimere anlægsprisen i denne del af projektet, er det det, vi her koncentrer os om.

Projektet er udført på en Jenbacher JMS 312 GS-B.L biogasmotor med en elektrisk effekt på 625 KW el.

Der er monteret en røggasveksler mellem motor og skorsten for at udnytte varmeenergien fra røggassen.

I vores beskrivelse har vi valgt at dele designafsnittet op i ”Doseringsssystem,” siden det komponentmæssigt og fittingsmæssigt hører sammen og har mange og ens dele, ”Urealagringssystem” og ”SCR-reaktor.” For en bedre forståelse for SCR-anlægget se Figur 2.2.

Vi har valgt at arbejde med ureaopløsning 32,5 % som reagent for NOx-reduktionen, da urea er ugifigt i modsætning til ammoniak. Hervedlettes håndteringen af reagenten betydeligt.

3.1.1 Doseringsssystemet

Doseringsssystemet består af en doseringspumpe, et trykluftssystem, et ureasystem og en reguleringsventil. Systemet i sin sammenhæng skal kunne styres og reguleres, hvilket selvfølgelig kræver instrumentering. Her har vi skelnet imellem, hvad, der er ”rart at have” og hvad, der er nødvendigt, så instrumenteringen er skæret ned til et absolut minimum.

3.1.1.1 Doseringspumpen

Doseringspumpen er koblet til ureasystemet og sørger for, at urea bliver doseret ind i røgrøret i den rette mængde. Pumpen er digital mængdereguleret hvilket gør det muligt at regulere ureamængden præcist.

3.1.1.2 Trykluftssystemet

Til dette system bruger vi nylonslanger og plastifikittings. Dette er gængse og standardiserede komponenter og er anvendeligt i vores doseringsenhed.

Mængden af luft skal kunne indstilles, hvilket vi gør manuelt med en flow-indikator med nåleventil.

For at kunne detektere blokeringer eller svigtede luftmængde, er det nødvendigt at montere en tryktransmitter. Det er yderst essentielt, at vores dyse bliver forsynet med luft for at kunne fungere. Får vi ikke luft til lansen,

vil ureaen krystallisere og lukke dyserne til. Vi har ligeledes placeret et manometer på trykluftslinjen i doseringsenheden for visuel overvågning.

3.1.1.3 Ureasystemet

Ureasystemet skal udføres i teflonslanger og specielle plastifikittings. Der er mange typer plastik, der er egnede, men der er ligeledes mange specialfittings, så det er meget forskelligt, hvilket plastmateriale, der er brugt hvor. Generelt kan vi sige, at PVDF og PP, som fås til de fleste fittings, er egnede.

For at kunne detektere fejl i ureasystemet, er det nødvendigt at montere en tryktransmitter. Opstår der fejl, skal ureadosering stoppes, men det er ligeledes vigtigt, at vi får renset systemet med luft (vha. reguleringsventilen) for at ureaen ikke skal lukke hele systemet. Det er yderst nødvendigt, at fejl bliver registreret i tide. I doseringsenheden er der også placeret et manometer på urealinen for visuel overvågning.

3.1.1.4 Reguleringsventilen

For at kunne styre tilstandene ”bypass, urea,” ”dosering, urea,” og ”rensning, luft” uafhængigt og i sammenhæng, har vi opbygget en speciel reguleringsventil, bestående af magnetventiler. Reguleringsventilen er enkelt udformet, men uhyre essentiel.

De medieberørte dele skal selvfølgelig være resistente over for urea.

3.1.2 Urealgringssystemet

Til pilotprojektet skal der bruges et mindre urealgringssystem, bestående af standardiserede produkter, en IBC-beholder (plasttank på palle) og en CDS-kobling. CDS-koblingen benyttes, da man kan koble den af tanken uden at skrue koblingsmuffen af tanken og uden at spilde urea.

3.1.3 SCR-reaktor

Konstruktionsmaessigt er reaktoren udført meget simpelt, hvilket selvfølgelig gør prisen mindre. I reaktorens til- og afgang er der monteret tryktransmittere, urørsmanometer og temperaturtransmittere. Stigende trykfald over katalysatorelementerne indikerer fejfunktioner, hvorfor dette måles. Ved ekstreme tilfælde kan en blokering af katalysatorerne føre til røggasudslip. Temperaturen skal måles kontinuerligt for at sikre katalysatorerne, da de er designet til en maks. temperatur på 550°C.

For at beskytte katalysatorelementerne mod for høje temperaturer og svovlindhold, er reaktoren udført med et røggas-bypass som kan lede røggassen udenom reaktoren.

Haldor Topsøe A/S har designet og leveret NOx-katalysatorne og Süd Chemie AG har designet og leveret oxidationskatalysatorer (CO og FA) til anlægget.

3.2 OPSÆTNING OG AFPRØVNING

Opsætningen og afprøvningen af systemet har kørt glat og systemet har været nemt at indregulere. Anlægget har kørt stabilt i testperioden.

3.3 TEST

Vi laver to typer test. En vejledende test, som vi selv udfører, og to akkrediterede som en tredjepart udfører. Desuden laver vi en betragtning på biogassens svovlindhold.

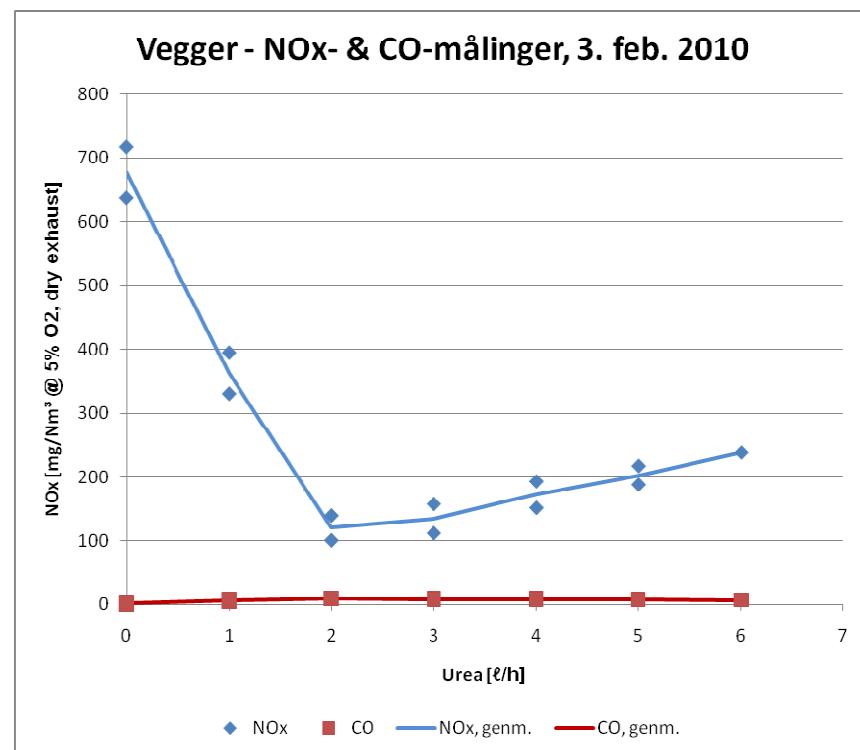
3.3.1 Vejledende test

For information omkring målemetode henviser vi til bilag A. Betegnelserne ”NOx, genm.” og ”CO, genm.” i Figur 3.1 forklares ligeledes i bilag A. Vi måler ikke FA i denne test, da vi ikke har apparatur til at udføre en sådan måling.

Figur 3.1 viser vores testresultat. Grafen giver et meget tydeligt billede af, hvor effektiv ureatilsætningen er for NOx-reduktionen. En optimal ureadosering ligger mellem 2 og 2,5 ℓ urea pr. time. Grunden til at mængden af NOx stiger igen efter 3 ℓ pr. time er, at der i røggassen er et overskud af ammoniak og en del af denne bliver omdannet til NOx, når den passerer CO/FA-katalysatoren.

På denne dag var den optimale reduktion på NOx 84 %.

FIGUR 3.1: TESTRESULTAT, NOx- & CO-EMISSION SOM FUNKTION AF UREADOSERING.



CO-emissionen fremgår også af Figur 3.1. Det ses her, at der er fuld CO-reduktion. Udgangspunktet er en CO-emission uden katalysator på 1200 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂.

CO-emissionen under testen ligger omkring nul.

Den gennemsnitlige CO-emission under testen ligger på 7 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂, hvilket svarer til en reduktion på 99 %.

3.3.2 Akkrediteret test

Testresultaterne for de to akkrediterede test er opstillet i bilag B.

3.3.2.1 Akkrediteret test 4. februar 2010.

Figur 3.2 herunder viser middelværdierne for målingerne angivet for den første akkrediterede test.

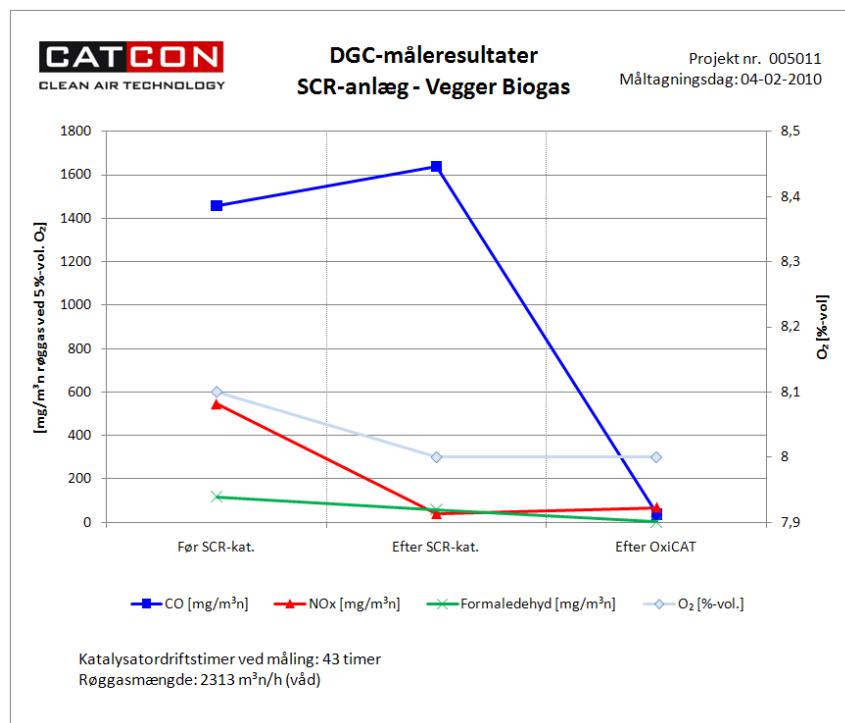
Vi reducerer NOx fra 546 til 68 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂. Det svarer til en reduktion på 88 %.

Det skal dog bemærkes at NOx-værdien efter SCR-katalysatoren er 38 mg/Nm³, hvorfor det kan konkluderes, at der er sket en overdosering af urea, idet ammoniakslippet over CO/FA-katalysatoren omdannes til NOx, og værdien derfor stiger til 68 mg/Nm³. Dvs. en reduktion fra 546 til 38 mg/Nm³, hvilket er en reduktion på 93 %.

Måleresultatet på de 38 mg/Nm³ ligger til grund for projektets konklusioner. CO bliver reduceret fra 1459 til 37 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂. En reduktion på 97 %.

FA-målingerne viser en reduktion fra 118 til 1,6 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂. Hvilket er en reduktion på 99 %.

FIGUR 3.2: AKKREDITERET TEST 4/2 2010, CO-, NOx- & CO-EMISSION SOM FUNKTION AF PLACERING.



3.3.2.2 Akkrediteret test 6. januar 2011.

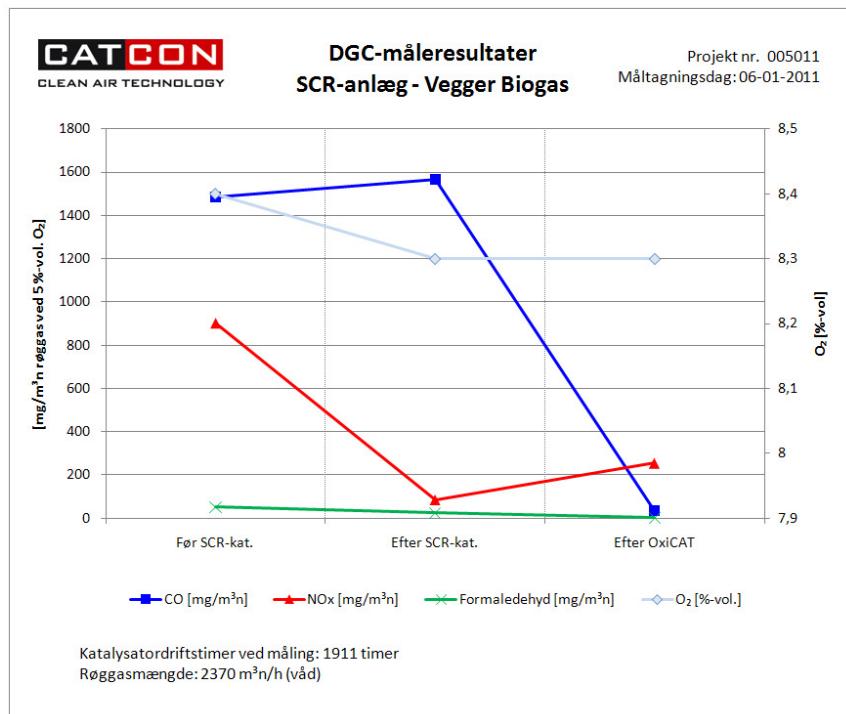
I Figur 3.3 er middelværdierne for målingerne angivet for den anden akkrediterede test.

Vi reducerer NOx fra 901 til 254 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂. Det svarer til en reduktion på 72 %.

Det skal dog bemærkes, at NOx-værdien efter SCR-katalysatoren er 85 mg/Nm³, hvorfor det kan konkluderes, at der sket en overdosering af urea, idet ammoniakslippet over CO/FA-katalysatoren omdannes til NOx, og værdien

derfor stiger til 285 mg/Nm³. Dvs. en reduktion fra 954 til 85 mg/Nm³, hvilket er en reduktion på 90 %. Måleresultatet på de 85 mg/Nm³ ligger til grund for projektets konklusioner. CO bliver reduceret fra 1485 til 34 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂. En reduktion på 98 %. FA-målingerne viser en reduktion fra 52 til 2,2 mg/Nm³ tør røggas ved 5 % O₂. Hvilket er en reduktion på 96 %.

FIGUR 3.3: AKKREDITERET TEST 6/1 2011, CO-, NOx- & CO-EMISSION SOM FUNKTION AF PLACERING.



De to akkrediterede målinger viser, at SCR-anlægget reducerer NOx, CO og formaldehyd særdeles effektivt.

3.3.3 Biogassens svovlindhold

I henhold til motorleverandøren for Vegger Biogasanlæg, Jenbacher [1], skal en motor med tilknyttet FA-katalysator maks. indeholde 20 mg/10 kWh (reference til metans nedre brændværdi) svarende til 8,1 ppm svovl i biogassen.

Fra Vegger Biogasanlæg har vi en akkrediteret måling på biogassen (se bilag C). Af målingen fremgår det, at biogassen indeholder 203 mg/m³. Svovlindholdet bliver, når det omregnes (se bilag C), 348 mg/10 kWh, altså en klar overskridelse af Jenbachers anbefaling på 20 mg/10 kWh.

Biogasanlægget er udstyret med en ”skrubber”, som skal rense biogassen for svovl, før denne ledes til gasmotoren. Det har vist sig, at selvom skrubberen renser biogassen for svovl, er svovlindholdet sjældent under motorleverandørens anvisninger, og i perioder forekommer der høje peak-værdier af svovl i biogassen. Dette medfører, at der i lange perioder forekommer høje svovlkoncentrationer i biogassen, som sidenhen udfældes i

røggaskøleren som svovlsyre (H_2SO_4) og derved medfører tæringer af røggaskøleren.

Catcon A/S har derfor løbende overvåget svovlindholdet i biogassen og indsamlet data vha. den installerede svovlmåler.

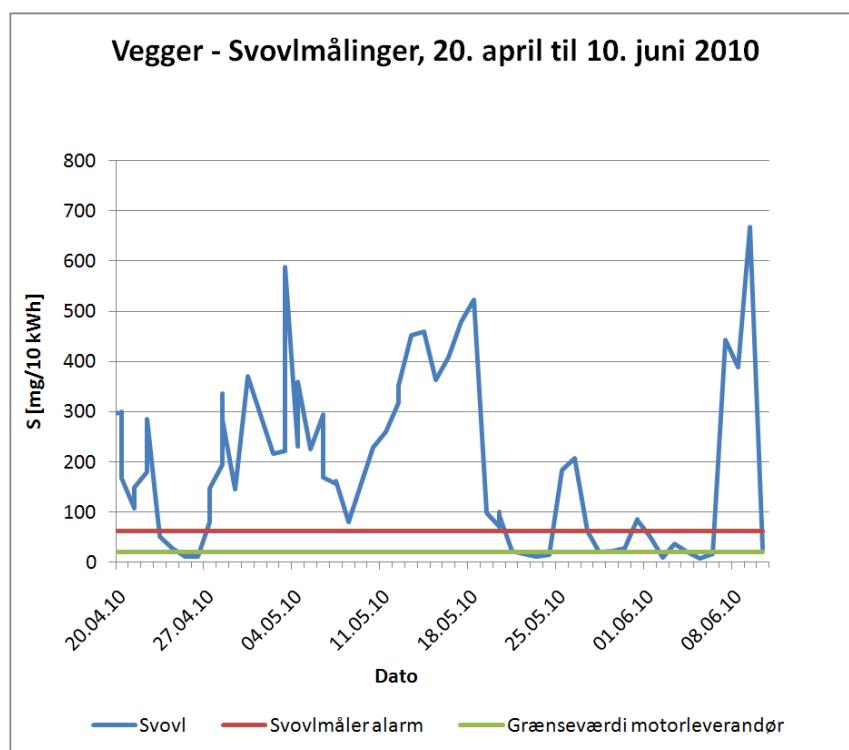
Alermen på svovlmåleren var sat til 25 ppm (61,5 mg/10 kWh), da det har vist sig at være et realistisk renseniveau for svovl-”skrubberen”.

For at undgå udfældning af svovlsyre (H_2SO_4) i røggaskøleren, og for at beskytte katalysatorelementerne, vil røggassen blive ledt i bypass ved svovlmålinger over 25 ppm.

Målingerne er angivet i bilag C. Stikprøverne i februar og målinger i foråret viser et meget swingende indhold af svovl i biogassen, og svovlindholdet ligger generelt over motorleverandørens krav til katalysatordrift.

Målingerne er afbildet i Figur 3.4.

FIGUR 3.4: SVOVLMÅLINGER 20. APRIL TIL 10. JUNI 2010.



Selv i de perioder, hvor svovlindholdet har været under biogassens svovlalarmniveau, har det vist sig, at der udfældes svovlsyre i røggaskøleren, hvorfor denne er tæret og måtte udskiftes.

En løsning på dette problem er at rense biogassen så langt ned for svovl, at svovlsyre ikke udfældes i røggaskøleren og/eller hæve temperaturen i røggassystemet til over svovlsyrens dugpunkt.

Disse metoder har ikke kunnet afprøves i dette projekt, da skrubberen ikke har kapacitet til at rense svovlindholdet i biogassen yderligere, og temperaturen i røggaskøleren ikke har kunnet hæves over svovlsyrens dugpunkt.

Der er ikke konstateret en ældning af katalysatorelementerne grundet det høje svovlindhold.

3.4 ANALYSE AF TEST OG ERFARINGER

3.4.1 SCR-anlæg på biogasmotor

Catcon A/S har med stor succes reduceret NOx, CO og FA på biogasmotoren i Vegger. NOx-reduktion på 90-93 %, CO-reduktion på 97-98 % og FA-reduktion på 96-99 %.

Det er uden tvivl muligt at reducere disse skadevirkende stoffer vha. Catcon's katalysatoranlæg.

3.4.2 Svovl

Målingerne viser, at svovlindholdet i biogassen meget ofte var over den anbefalede værdi og i perioder overstiger denne værdi med op til 30 gange.

Dette er et stort problem, da svovlen reagerer med andre komponenter i røggassen. Svovlen ufældes som svovlsyre (H_2SO_4) i røggasveksleren og forårsager tæringer.

Vi må konkludere, at biogassen skal renses for svovl for at opnå en tilfredsstillende drift.

3.4.3 Rentabilitet

I bilag D er der opstillet et simpelt regnestykke på anlægsinvesteringen og driftsomkostningerne. Ud fra disse tal vurderer vi, hvor høj NOx-afgiften skal være for, at det er rentabelt at investere i et SCR-anlæg.

Regnestykket er baseret på de akkrediterede målinger udført den 6. januar 2011.

Der regnes på to driftssituationer, hhv. 20 % og 80 % driftstid.

Forudsætninger for beregninger er en anlægsudgift på kr. 850.000 og en afskrivningsperiode på 10 år.

NOx-emission reduceres fra 901 til 254 svarende til en reduktion på 647 mg/Nm³, 5 % O₂, tør røggas.

Driftstimer 80 % af 8760 timer pr. år = 7008 timer pr. år.
NOx udgift 18 kr./ kg NOx.

Driftstimer 20 % af 8760 timer pr. år = 1752 timer pr. år.
NOx-udgift 53 kr./ kg NOx.

Som det fremgår af ovennævnte, er beregningen meget følsom overfor driftstimer pr. år.

3.5 PERSPEKTIVERING

Generelt har biogasmotorer et væsentlig højere emissionsniveau end naturgasfyrede motorer, og den lovmæssige grænseværdi er også i øjeblikket ca. på det dobbelte af grænseværdierne for naturgas.

En reduktion af NOx, CO, FA og lugt vil have en væsentlig samfundsmaessig værdi, og samtidig vil dette også kunne bidrage til et bedre image for biogasanlæg generelt, således at den politiske udbygningsplan, på sigt, nemmere kan implementeres, da nærmiljøet vil blive forbedret.

I det øjeblik ny teknologi er afprøvet og eftervist, vil det være muligt for myndighederne at regulere på grænseværdierne for NOx, CO og formaldehyd fra biogasanlæg. Samtidig kunne der indføres en form for belønning til anlægsejerne, hvis de sænker udledningen af emissioner, således at anlægsejeren holdes skadesløs.

Det er relevant at benytte katalysatoranlæg på biogasdrevne motorer, når det kan sikres, at biogassen ikke indeholder skadelige stoffer for processen (eks. svovl).

I den forbindelse kunne det være relevant at afprøve tekniske løsninger til fjernelse af svovl i biogassen og samtidig undersøge biogassen for evt. andre skadelige stoffer for processen.

Vores erfaringer med katalysatorer på dette anlæg kan overføres direkte til naturgasfyrede motorer, og anlægget kan etableres uden behov for yderligere undersøgelser, idet naturgassen ikke indeholder skadelige stoffer for processen.

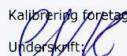
Litteraturliste

- [1] TST/Hillen Friedhelm, "Teknisk anvisning nr.: 1000-0300, Drivgaskvalitet – Natur-, associated-petroleum, bio- og spildgas," sept. 2009
- [2] DGC final report of the PSO ForskEL project No. 010089, "Environmental optimisation of natural gas fired engines", October 2010, ISBN 978-87-7795-336-1

1 Målemetode

Måleapparatet er en kalibreret håndholdt røggasmåler. Certifikat vedlagt (se Figur A.1).

FIGUR A.1: BILLEDE AF KALIBRERINGSCERTIFIKAT TIL HÅNDHOLDT MÅLER

Kalibreringscertifikat		GASTECH ENERGI			
Kunde:	Catcom Power solutions A/S Gadekærsvæj 12 9280 Storevorde				
Rekvirent:	Morten Krebs				
Montør navn:	Montør nr:	Certifikat nr. 24599611			
Sporbarhed:					
Kalibreringsgas:	Air Liquide certifikater:	19567 19566 9232190001 18579	5. måned 5. måned 4. måned 1. måned	2008 2008 2009 2008	
Temperatur:	Ametek temperatur kalibrator Jofra ITC 320A				
Træk måling:	Dwyer				
Sodmåling:	Acrylglasylinder	1,63L			
Miljøparametre:	Rumtemperatur 21+-2 gr. C, Luft fugtighed 50%+-10RH				
Emne:	Til stabil visning				
Der er foretaget kalibrering af:					
Instrument modtaget:	Røggasanalysator 26.06.09				
Kalibreret:	16.07.09				
Instrument identifikation					
Fabrikat: ecom	Type: JN	Serie nr: 10464	År: 2006	Artikel. nr 27124854	
Instrument Data:					
02 mV 21538	CO mV 2	No mv -5	No2 mV 0	Drift timer 175	CO tæller
Kalibreringsresultat:					
Reference værdi 2 ,01 % O ₂	Indgående værdi 2,0 % O ₂	Slut måling 2,0 % O ₂	Afgivelse ,01 % O ₂	Måleusikkerhed ±2%rel.	
402ppm CO	402 ppm CO	402 ppm CO	0 ppm CO	±2%rel.	
91,5ppm NO	89 ppm NO	91 ppm NO	0,5 ppm NO	±2%rel.	
89,8ppm NO ₂	82 ppm NO ₂	89 ppm NO ₂	0,8 ppm NO ₂	±2%rel.	
200 gr. C	201 gr. C.	201 gr. C.	1 gr. C.	0,25 gr. C.	
30 pa	29 Pa	29 pa	1 pa	2 pa	
Målecelle udskiftet:					
02 □	CO □	No □	No2 □	SO ₂ □	
Bemærkning: Fejlfinding af instrument, kalibrering, kontrol af kommunikation mellem PC og Softwareprogram. Seriel kabel i kuffert er ikke egnet til kommunikation. Skal være speciel RS232 kabel					
Kalibrering foretaget af:  Underskrift: Claus V. Kristensen					

Af Figur A.2 fremgår det, hvorledes vi har udført målingerne. Vi starter med ureatilsætning på nul l/h, øger mængden og sænker den til nul igen.

FIGUR A.2: MÅLEPLAN

Måleplan										
Dato:	03.02.2010				Projektnavn: <u>Vegger Bioenergi</u>					
Katalysatordriftstimer [h]:	19 timer				Projektnr.: <u>005011</u>					
Målt svovlindhold i biogas [ppm]:	ca. 240 ppm				Måletager: <u>G. Jensen</u>					
Nedre brændverdi, biogas [kJ/kg]:	62 - 67 % Metan (Ikke målt)									
Fugtindhold, biogas [vol.%]:	N. A.				Luft tryk til dyse [Bar]: <u>3,6 Bar</u>					
Måling	Tidsinterval [min.]	Last [%]	Last [kW]	Tind [°C]	Tud [°C]	Δp, KAT [mbar]	Δp, syst. [mbar]	Urea [ℓ/h]	NOx [mg/Nm³ tør røggas, 5% O₂]	CO [mg/Nm³ tør røggas, 5% O₂]
Måleinterval [x/måling]		1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	15	85	530	530	530	3,5	71	0	637	0
2	15	85	530	530	530	3,5	71,5	1	330	5
3	15	85	530	530	531	3,5	71,5	2	101	9
4	15	85	531	530	531	3,5	71,5	3	112	9
5	15	85	530	530	531	3,5	71,5	4	151	9
6	15	85	530	530	531	3,5	71,5	5	188	8
7	15	85	530	530	531	3,5	71,5	6	238	7
8	15	85	530	530	530	3,5	71	5	217	7
9	15	85	530	530	530	3,5	71,5	4	193	8
10	15	85	530	529	529	3,5	71,5	3	157	8
11	15	85	531	529	529	3,5	71,5	2	139	9
12	15	85	531	529	529	3,5	71,5	1	395	8
13	15	85	530	529	529	3,5	71,5	0	717	4

Temperaturer og trykdifferencer er målt med det installerede udstyr på SCR-anlægget.

Vi har for de samme ureatilsætninger taget gennemsnittet af NOx- og CO-målingene og kaldt dem henholdsvis ”NOx, genm.” og ”CO, genm.”

TABEL A.3: UDREGNING AF NOX, GENM. OG CO, GENM.

Urea [ℓ/h]	Nox Måling 1-7	Nox Måling 8-13	NOx, genm.	CO
0	637	717	677	0
1	330	395	363	5
2	101	139	120	9
3	112	157	135	9
4	151	193	172	9
5	188	217	203	8
6	238		238	7
				8
				9
				8
				4
				CO genm.
				7

1 Akkrediteret måling

Vi opstiller her periodemiddelværdierne for målingerne fra de to akkrediterede test på Veger Biogasanlæg, foretaget af Steen D. Andersen, DGC A/S.

1.1 MÅLINGER FORETAGET 4. FEBRUAR 2010

Ref. DGC prøvningsrapport 734.82-JE120:

Måling før NOx-katalysator:

Tabel 1a Periodemiddelværdi, før katalysator		
		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	8,1 ± 0,2
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	1459 ± 52 ³⁾
CO	[ppm]	942 ± 29
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	546 ± 31 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	215 ± 12
Formaldehyd	[mg/m ³ n] ¹⁾	118 ± 9 ³⁾
Røggastemperatur	[°C]	509 ⁴⁾

1) Omregnet til 5 %-vol. O₂
2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂
3) Inkl. usikkerhed på iltmåling
4) Måling for lav pga. uhensigtsmæssigt målested. Temperatur aflæst til 532 °C på anlæggets styrte tavle. Temperaturmåling ikke omfattet af akkrediteringen.

Måling mellem NOx-katalysator og CO/FA-katalysator:

Tabel 1b Periodemiddelværdi mellem SCR- og oxidationskatalysator

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	8,0 ± 0,2
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	1638 ± 55 ³⁾
CO	[ppm]	1062 ± 30
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	38 ± 4 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	15 ± 2
Røggastemperatur	[°C]	518 ⁴⁾

1) Omregnet til 5 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Måling muligvis for lav pga. uhensigtsmæssigt målested. Temperaturmåling ikke omfattet af akkrediteringen.

Måling efter CO/FA-katalysator:

Tabel 1c Periodemiddelværdi, før katalysator

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	8,0 ± 0,2
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	37 ± 7 ³⁾
CO	[ppm]	24 ± 5
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	68 ± 4 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	27 ± 2
Formaldehyd	[mg/m ³ n] ¹⁾	1,6 ± 0,2 ³⁾
Røggastemperatur	[°C]	535 ⁴⁾

1) Omregnet til 5 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Temperaturmåling ikke omfattet af akkrediteringen.

Catcon A/S: under hele målingen har urea doseringen været konstant på 3,3 l/h, hvilket vi vurderede var den optimale tilslætning.

Katalysatordriftstimer: 43 timer

1.1.1 Beregning af røggasmængde (ikke omfattet af akkrediteringen)

På baggrund af de akkrediterede emissionsmålinger anført ovenfor samt analysen af biogassen (Bilag C, Figur C.1) er røggasmængden fra anlægget beregnet.

Røggasmængden er beregnet til 8,6 Nm³,tør/Nm³ biogas. På styretavlen for katalysatoranlægget er gasforbruget aflæst til ca. 236 Nm³/h.

Den totale beregnede røggasmængde bliver dermed ca. 2030 Nm³,tør/h.

1.2 MÅLINGER FORETAGET 6. JANUAR 2011

Ref. DGC prøvningsrapport 735.56-JE126:

Måling før NOx-katalysator:

Tabel 1a Periodemiddelværdi, før katalysator

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	8,4 ± 0,2
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	1485 ± 53 ³⁾
CO	[ppm]	934 ± 29
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	901 ± 41 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	346 ± 15
Formaldehyd	[mg/m ³ n] ¹⁾	52 ± 4 ³⁾
Røggastemperatur	[°C]	507 ⁴⁾

1) Omregnet til 5 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Temperaturmåling ikke omfattet af akkrediteringen.

Måling mellem NOx-katalysator og CO/FA-katalysator:

Tabel 1b Periodemiddelværdi mellem SCR- og oxidationskatalysator

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	8,3 ± 0,2
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	1568 ± 55 ³⁾
CO	[ppm]	991 ± 29
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	85 ± 20 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	33 ± 8
Røggastemperatur	[°C]	504 ⁴⁾

1) Omregnet til 5 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Temperaturmåling ikke omfattet af akkrediteringen.

Måling efter CO/FA-katalysator:

Tabel 1c Periodemiddelværdi, efter katalysator

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	8,3 ± 0,2
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	34 ± 7 ³⁾
CO	[ppm]	22 ± 5
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	254 ± 12 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	98 ± 5
Formaldehyd	[mg/m ³ n] ¹⁾	2,2 ± 0,2 ³⁾
Røggasttemperatur	[°C]	512 ⁴⁾

1) Omregnet til 5 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Temperaturmåling er ikke omfattet af akkrediteringen.

Catcon A/S: under hele målingen har urea doseringen været konstant på 3,3 l/h, hvilket vi vurderede var den optimale tilsaetning.

Katalysatordriftstimer: 1911 timer

1.2.1 Beregning af røggasmængde (ikke omfattet af akkrediteringen)

På baggrund af de akkrediterede emissionsmålinger anført ovenfor samt analysen af biogassen (Bilag C, Figur C.1) er røggasmængden fra anlægget beregnet.

Røggasmængden er beregnet til 8,9 Nm³,tør/Nm³ biogas. På styretavlen for katalysatoranlægget er gasforbruget aflæst til ca. 235 Nm³/h.

Den totale beregnede røggasmængde bliver dermed ca. 2090 Nm³,tør/h.

1 Svovlindhold

1.1 AKKREDITERET BIOGASANALYSE

FIGUR C. 1: AKKREDITERET BIOGASANALYSERAPPORT (3 SIDER)

<p>Dr. Graner & Partner GmbH Labor für analytische und pharmazeutische Chemie Sachverständigenbüro</p> <p>Dr. Graner & Partner GmbH, Lochhausener Str. 205, 81249 München</p> <p>Danish Gas Technology Centre Dr. Neergaards Vej 5B DK-2970 Horsholm</p> <p>Lochhausener Str. 205 81249 München Telefon +49(0)89/ 863 005-0 Telefax +49(0)89/ 863 005-11 e-Mail: info@labor-graner.de internet: www.labor-graner.de</p> <p>München, 14.12.09</p>	<p>Analysis report 0919560</p> <p>Client: Danish Gas Technology Centre Project manager: Mr Andersen Order nr.: Client project: Biogas plant Vegger Sampling date: 03.12.09 Sampling site: Biogas plant Vegger Sampling by: Client Sample containers: Gas bag Date of arrival: 09.12.09 Start/end of analysis: 09.12.09 - 14.12.09</p> <p>Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand. Eine auszugsweise Vervielfältigung des Prüfberichtes ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Prüflaboreitung erlaubt. Die in den zitierten Normen und Richtlinien angegebenen Maßunsicherheiten werden eingehalten. Mikrobiologisches Untersuchungsmaterial wird nach der Auswertung sofort vernichtet.</p> <p>Akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO 17025 - DAR-Reg.-Nr.: DAP-PA-2295.01</p> <p>Arzneimittel, Lebensmittel, Kosmetika, Bedarfsgegenstände, Wasser, Boden, Luft, Medizinprodukte Analytik, Entwicklung, Qualitätskontrolle, Beratung, Sachverständigengutachten, amtliche Gegenproben, Mikrobiologie, Arzneimittelzulassung, Abgrenzungsfragen AMG/LMBG</p> <p>Amtsgericht München Nr. 84402, Geschäftsführer: Dr. Manfred Holz Bankverbindung: Dresdner Bank AG (BLZ 500 800 00) Kto.-Nr. 928 398 500 Genossenschaftsbank Aibling eG (BLZ 701 694 64) Kto.-Nr. 69922 BIC: GENODEFIM07, IBAN: DE30 7016 9464 0000 0699 22</p> <p>Seite 1 von 3</p>
---	---

Analysis report: 0919560 14.12.09
 Client project: Biogas plant Vegger

Sample description:	Vegger			
Date of sampling:	03.12.09			
Internal laboratory nr.:	0919560-001			
Material:	Gas			
	Result	Unit	L.O.Q.	Method
Argon	u.d.B.	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Oxygen	1,6	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Nitrogen	6,6	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Carbon dioxide	33,6	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Methane	58,2	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Hydrogen sulfide	200	mg/m³	1	colorimetric
Ammonia	u.d.B.	mg/m³	1	colorimetric
Chlorine total	u.d.B.	mg/m³	1	DIN EN 38409 - H& DIN EN 10304
Fluorine total	u.d.B.	mg/m³	1	DIN EN 38409 - H& DIN EN 10304
Sulfur total	203	mg/m³	1	DIN EN 38409 - H& DIN EN 10304
Benzene	0,5	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Toluene	2,7	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Ethylbenzol	0,1	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
m-Xylene + p-Xylene	0,3	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
o-Xylene	0,1	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
i-Propylbenzene	u.d.B.	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Propylbenzene	u.d.B.	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,3,5-Trimethylbenzene	0,1	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,2,4-Trimethylbenzene	0,4	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,2,3-Trimethylbenzene	0,2	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
m- + p-Ethyltoluene	0,3	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
o-Ethyltoluene	0,1	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
i-Propyltoluene	0,1	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Pinen	0,4	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Limonen	u.d.B.	mg/m³	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)

Analysis report: 0919560 14.12.09
 Client project: Biogas plant Vegger

Sample description: Vegger

Date of sampling: 03.12.09

Internal laboratory nr.: 0919560-001

Material: Gas

	Result	Unit	L.O.Q.	Method
Tetramethylsilane	u.d.B.	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Trimethylsilanol	0,1	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Hexamethyldisiloxane (L2)	u.d.B.	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Hexamethylcyclotrisiloxane (D3)	0,3	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Octamethyltrisiloxane (L3)	u.d.B.	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Octamethylcyclotetrasiloxane (D4)	0,4	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Decamethyltetrasiloxane (L4)	u.d.B.	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Decamethylcyclopentasiloxane (D5)	u.d.B.	mg/m³	0,1	I.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Sum of org. Siliciumcompounds	0,8	mg/m³		calculated
Sum of Silicium	0,3	mg/m³		calculated
Sum of Silicium (ref. to 100 % of Methane)	0,5	mg/m³		calculated

L.O.Q. = Limit of quantitation

u.d.B. = unter der Bestimmungsgrenze = < L.O.Q.

(Techn. Management)

Seite 3 von 3

Af side 2 i Figur C. 1 fremgår det, at det samlede svovlindhold er 203 mg/Nm³ i biogassen.

Af motorfabrikanten Jenbachers tekniske anvisning [1] fremgår det at biogassen til en motor med FA-katalysator ikke må indeholde mere end 20 mg svovl/10 kWh, hvor de 10 kWh er i forhold til energiindholdet i 100 % metangas.

Nedenstående beregning konverterer de 203 mg svovl til mg/10 kWh.

$$S = 203 \text{ mg/Nm}^3 \cdot \left(\frac{10}{5,82} \right) = 349 \text{ mg/10 kWh}$$

hvor forholdet (10/5,82) er forholdet mellem brændværdien for metan 100 % og gassens metanindhold 58,2 %, se Figur C. 1.

Da den installerede svovlmåler mäter ppm H₂S kan tallene omregnes til dette.

Regnes grænseværdien på de 20 mg svovl /10 kWh om til ppm H₂S vha. formlerne i [1], svarer dette til 8,1 ppm H₂S ved et metaninhold i biogassen på 58,2 %.

Ligeledes kan de 203 mg svovl regnes om til 142 ppm H₂S.

CO katalysatorleverandørens krav til biogassens indhold af svovl er maksimalt 120 mg/m³ svovl.

Dette omregnes til 84 ppm H₂S ved metanindhold i biogassen på 58,2 %

1.2 CATCON A/S SVOVLMÅLINGER

Vi har selv foretaget nogle svovlmålinger. Disse er meget forskellige, hvilket afspejler den varierende type affald Vegger Biogasanlæg laver biogas af. Eksempel herpå:

Den 3. feb. 2010: 240 ppm H₂S

Den 4. feb. 2010: 1500 ppm H₂S

Den 4. feb. 2010: 790 ppm H₂S

Ved hjælp af nedenstående formel konverteres disse målinger til mg/10 kWh.

$$S = H_2S \cdot \rho \cdot \left(\frac{32}{34} \right) \cdot \left(\frac{10}{H_n} \right) [mg S/10 kWh]$$

hvor H₂S [ppm] : er svovlindholdet
 ρ [kg/Nm³] : er masseylden for H₂S = 1,52
 (32/34) : er molmasseforholdet mellem S og H₂S
 H_n [kWh/Nm³] : er den nedre brændværdi for biogassen

Konverterer vi vores målinger ved brug af denne formel får vi følgende tal:

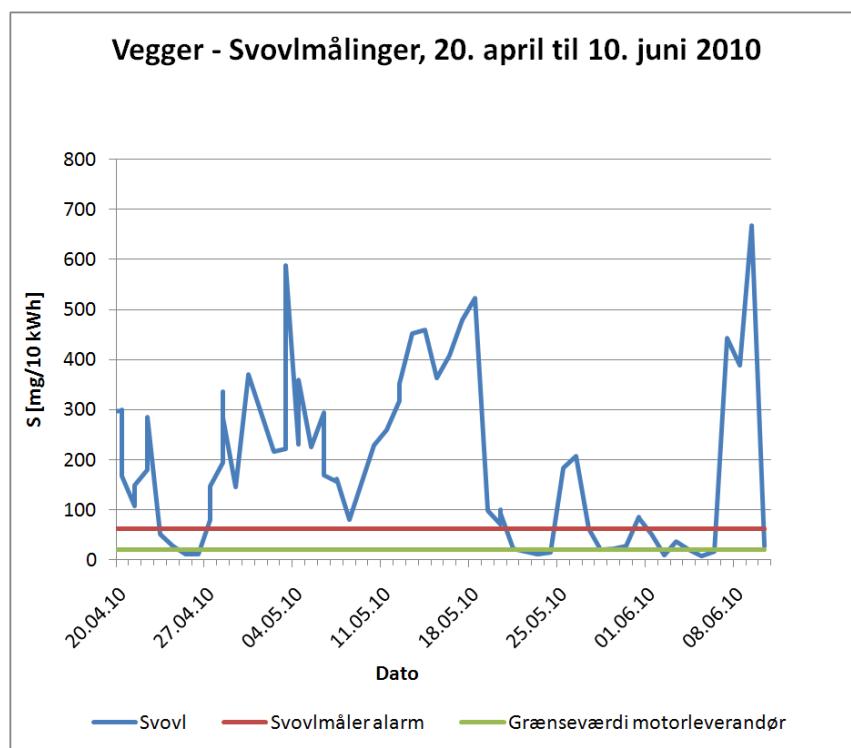
Den 3. feb. 2010: 590 mg S/10 kWh

Den 4. feb. 2010: 3683 mg S/10 kWh

Den 4. feb. 2010: 1942 mg S/10 kWh

I løbet af foråret blev der indsamlet yderligere data vha. den installerede svovlmåler. Resultaterne er afbildet i Figur C. 2.

FIGUR C. 2: SVOVLMÅLINGER



1 Rentabilitet

Af nedenstående beregninger fremgår vores beregninger af rentabiliteten.

Beregningen foretages for to driftssituationer, hhv. 20 % og 80 % driftstid.

1.1 RENTABILITET VED 20 % DRIFTSTID

Udledningsafgift, NOx	5,1	kr./kg NOx	
Ureaopløsning 32,5%			
Driftstid	20%		
Timer i et år	8760	h	
Reduceret mængde NOx*	647	mg/Nm ³	(901-254=647)
Masseflow, røggas		kg/h	
Massefylde røggas		kg/Nm ³	
Volumenflow, røggas*	2.090	m ³ /h	
Masseflow, NOx	1,4	kg/h	
NOx-mængde pr. år	2.369	kg/år	
Urea forbrug*	3,3	ltr/time	
Ureaprøs	2,5	kr/ltr	
Ureaudgift	14.454	kr./år	
NOx-udgift pt.	12.082	kr./år	
*Data fra målinger foretaget 6. januar 2011			

For at have en tilbagebetalingstid på anlægget på 10 år skal NOx-afgiften være den samlede udgift pr. år delt med den reducerede NOx mængde pr. år.

Anlægsudgifter	850.000	kr.	
Tilbagebetalingsperiode	10	år	
Anlægsudgift pr. år	85.000	kr.	
Serviceudgifter pr. år	25.000	kr.	
Driftsudgifter pr. år	14.454	kr.	
Samlede udgifter pr. år	124.454	kr.	
NOx-afgift i fremtiden?	53	kr./kg NOx	

1.2 RENTABILITET VED 80 % DRIFTSTID

Udledningsafgift, NOx	5,1 kr./kg NOx	
Ureaopløsning 32,5%		
Driftstid	80%	
Timer i et år	8760 h	
Reduceret mængde NOx*	647 mg/Nm³	(901-254=647)
Masseflow, røggas	kg/h	
Massefyld røggas	kg/Nm³	
Volumenflow, røggas*	2.090 m³/h	
Masseflow, NOx	1,4 kg/h	
NOx-mængde pr. år	9.476 kg/år	
Urea forbrug*	3,3 ltr/time	
Ureapris	2,5 kr/ltr	
Ureadgift	57.816 kr./år	
NOx-udgift pt.	48.330 kr./år	
*Data fra målinger foretaget 6. januar 2011		

For at have en tilbagebetalingstid på anlægget på 10 år skal NOx-afgiften være den samlede udgift pr. år delt med den reducerede NOx mængde pr. år.

Anlægsudgifter	850.000	kr.
Tilbagebetalingsperiode	10	år
Anlægsudgift pr. år	85.000	kr.
Serviceudgifter pr. år	25.000	kr.
Driftsudgifter pr. år	57.816	kr.
Samlede udgifter pr. år	167.816	kr.
NOx-afgift i fremtiden?	18	kr./kg NOx

Et komplet katalysatoranlæg blev opstillet på Vegger biogasanlæg for at undersøge reduktionsmulighederne for udledningerne af NOx-, CO- og formaldehyd fra motoren ved afbrænding af biogas.

Projektet blev gennemført med tilskud fra Miljøstyrelsen under Miljøteknologihandlingsplanen. Forsøget viste, at det er teknisk muligt at rense røggassen ved afbrænding af biogas for NOx, CO og formaldehyd til koncentrationer, der ligger væsentlig under gældende grænseværdier. Et afledt resultat er, at der også vil være behov for rensning af biogassen for svovl, da forsøget viste, at svovl blev udfældet som svovlsyre i røggasveksleren.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www. mst.dk