



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

BLE – Biomass Low Emission

Forgasning af biomasse for nedbringelse af
emissioner til luften

Miljøprojekt nr. 1700, 2015

Titel:

BLE – Biomass Low Emission

Redaktion:

Thomas Ritz Nielsen, 1Rgi

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2015

ISBN nr.

978-87-93352-08-7

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	9
1 BLE – BIOMASS LOW EMISSION	11
1.1 FORSØGSANLÆGGET	13
2.1 FORSØGSKØRSEL 1 – PIL, FORBEREDELSE AF FORSØG	14
2.1.1 <i>Pil – beskrivelse af forsøg</i>	14
2.1.2 <i>Pil – forløb af forsøg</i>	15
2.1.3 <i>Pil - Måleresultater</i>	16
2.2 FORSØGSKØRSEL 2 – KØD OG BENMEL, FORBEREDELSE AF FORSØG	18
2.2.1 <i>Benmel – beskrivelse af forsøg</i>	18
2.2.2 <i>Benmel - forløb af forsøg</i>	18
2.2.3 <i>Benmel - Måleresultater</i>	19
2.3 FORSØGSKØRSEL 3 – SKOVFLIS, FORBEREDELSE AF FORSØG	21
2.3.1 <i>Skovflis – beskrivelse af forsøg</i>	21
2.3.2 <i>Skovflis – forløb af forsøg</i>	22
2.3.3 <i>Skovflis - Måleresultater</i>	24
3.1 SAMMENFATNING AF RESULTATER	25
3.1.1 <i>Støv</i>	25
3.1.2 <i>NO_x og CO</i>	26
3.1.3 <i>Dioxin og PAH</i>	27
4.1 KONKLUSION	28

BILAG:

1. Målerapport fra forsøgskørsler
2. Omregning af PAH'er til BaP ækvivalenter

Forord

Med et ønske om en øget fortrængning af fossile brændstoffer, vil biomassen i fremtiden spille en større og større rolle, sammen med andre former for vedvarende energi. En øget udnyttelse af biomasse vil med traditionelle forbrændingsanlæg medføre en forøget udledning af blandt andet partikler.

Projektets formål er at eftervise at forgasning af biomasse kan føre til reducere af emissioner i forhold til forbrænding af blandt andet træflis på traditionelle anlæg. Delmål for projektet er desuden at vurdere om hurtigvoksende træ, energipil / poppel eller lignende, og kød og benmelsfraktioner er anvendelige som brændsel i en modstrømsforgasser.

Ved at udnytte modstrømsforgasserenes evne til at tilbageholde partikler – hvilket adskiller den fra hovedparten af andre forgassertyper – er det muligt at opnå en meget lav transport af askepartikler fra oxidationszonen til den producerede gas, og derved vil partikelindholdet i røggassen efter kedlen være meget lav. Ydermere vil en opdeling af forbrændingsprocessen i en forgasningsproces og en efterfølgende forbrænding af gassen medføre en bedre kontrol med de enkelte processer. Muligheden for at styre luftoverskuddet mere præcist ved forbrænding af forgasningsgassen giver mulighed for at reducere dannelsen af termisk NO_x , samtidig med at luftoverskuddet stadig holdes på et minimum for at reducere røggastabet.

Der er i Danmark og EU blevet arbejdet med mange typer af forgassere, dog har hovedparten af udviklingsarbejdet koncentreret sig om modstrømsforgassere og forskellige udgaver af fluid bed forgassere. Der er tidligere lavet forsøg med modstrømsforgassere, men disse blev udført med andet sigte end at klarlægge partikelemissioner m.m. fra forbrænding af gasserne, og har ofte haft til formål at afprøve om det har været muligt at producere / rense rågassen til en tjærefri gas for bl.a. motordrift.

Projektet gennemføres på et 100 kW anlæg der er opført med henblik på at lave forsøg med forgasning af biomasse i en modstrømsforgasser. Anlægskonceptet ønskes på sigt at kunne udbygges til at producere både el, varme, men er i første omgang forsynet med en kedel hvor gassen afbrændes med henblik på produktion af varme.

Målgruppen for teknologien er anlæg med en fyringskapacitet på 1 MW og op til 8 MW pr. enhed. Teknologien vil kunne implementeres på anlæg der i dag er fyret med naturgas, idet der kun kræves en ny brænder og en lettere modifikation af brændkammeret i den eksisterende kedel for at det eksisterende anlæg vil kunne omstilles til forgasningsgas. Anlæg der potentielt kan omstilles til forgasningsgas er meget stort på europæisk plan, og det forventes at der vil være en væsentlig stigning i markedet for Biomasseteknologier frem mod 2020.

Sammenfatning og konklusioner

Der er blevet gennemført i alt 3 målekampanjer med fokus på luftbårne emissioner, især støv / partikler.

Der blev benyttet 3 forskellige brændsler, Pil, Kød og Benmel og Skovflis. Forsøgene blev gennemført på et modstrømsforgasningsanlæg, hvor der blev monteret en standardkedel og en brænder tilpasset til gassen fra forgasningsanlægget.

I oplægget til projektet skulle det eftervises, at det var muligt at opnå lave emissioner af specielt støv, men også af CO, NO_x uden en samtidig forøgelse af emissionerne af PAH og dioxin fra biomasseanlæg baseret på modstrømsforgasning. Anlægget blev ikke kørt med det formål at opnå de lavest mulige emissioner, men for at give realistiske data der kan bruges, både som verification af konceptet, og i det videre udviklingsarbejde.

Dette er blevet eftervist for partikler / støv og for dioxin. NO_x emissioner var som forventede på niveau for hvad der er normalt for biomasseanlæg og gasformige emissioner som CO og PaH var højere end forventet. Dette skyldes delvist det høje fugtindhold i brændslet, der sammen med brænder og brændkammerudfomning kan medføre at, uforbrændt / ureageret materiale når at blive afkølet i kedeltrækkene.

Dette kunne have været afhjulpet ved at køre anlægget på en lavere belastning (< 50 % belastning), hvilket så ikke ville have givet realistiske resultater fra støvmålingerne. Støvmålinger blev prioriteret bl.a. fordi partikler kan facilitere dannelsen af dioxin, og samtidig vil det være relativt simpelt at ændre brændkammerets geometri for at sikre en bedre turbulens og udbrænding af de gasformige og organiske forbindelser, specielt når udgangspunktet er et gasformigt brændsel med en lav støvbelastning. Denne optimering af brændkammeret ligger ikke i rammerne for dette projekt.

Med hensyn til emissioner fra forgasningsanlæg der opererer på biomasse, er der opgivet meget lave grænseværdier i de tilhørende branchebilag G201/202. Disse grænseværdier vil til dels være realistiske at overholde for CO, selvom de er på ca 1/6 af det der tillades for forbrændingsanlæg, hvorimod kravene for NO_x er delvist afhængige af brændslet, hvilket gør det vanskeligt at overholde kravene for forgasningsanlæg på 100 mg/nm³-ref i forhold til de 300 mg/nm³-ref, der kræves af forbrændingsanlæg der benytter det samme brændsel.

Alle de planlagte forsøgskørsler og målinger blev gennemført som planlagt i projektet, og projektet har dermed opfyldt sit formål. Det videre arbejde vil primært være fokuseret på en optimering af forbrændingen for at reducere emissionen af CO og NO_x når der benyttes en almindelig standard gaskedel.

Summary and conclusions

The project involved in all 3 measurement campaigns focusing on airborne emissions, particularly dust / particles.

The operation of the plant was performed using 3 different fuels, Willow, Meat and bone meal and standard wood chips.

The experiments were conducted on an updraft gasification plant, combined with a standard boiler and a burner adapted for gas from the gasification plant.

The goal of the project was to demonstrate that it was possible to obtain low emissions of dust especially, but also of CO and NO_x, without an increase in emissions of PAHs and dioxins from a biomass plant based on updraft gasification. The plant was operated in order to provide realistic data, and not operated to achieve best performance regarding emissions. These realistic data can then be used both as verification of the concept, and as an important contribution to the further development of the technology.

The low emissions have been demonstrated for particles / dust and for dioxin. Emissions of NO_x were as expected, and at the level expected for the fuel used. Gaseous emissions such as CO and PAH were higher than expected, but this is partly due to the high moisture content of the fuel used, and the combination of the construction of the burner and the combustion chamber. The current design is based on a standard boiler, and it enables unburned / un-reacted mater to enter into the boiler tubes, thereby being cooled before full combustion is accomplished.

This could have been remedied by operating the plant at a lower load (<50% load), which then would have provided non-realistic results on the dust measurements. Dust / particle measurements were prioritized, because particles can facilitate the formation of dioxin, and it is relatively simple to modify the combustion chamber geometry to ensure a better turbulence and burning of the gaseous and organic compounds, especially when the starting point is a gaseous fuel with a low dust load. This optimization of the combustion chamber is not in the scope of this project.

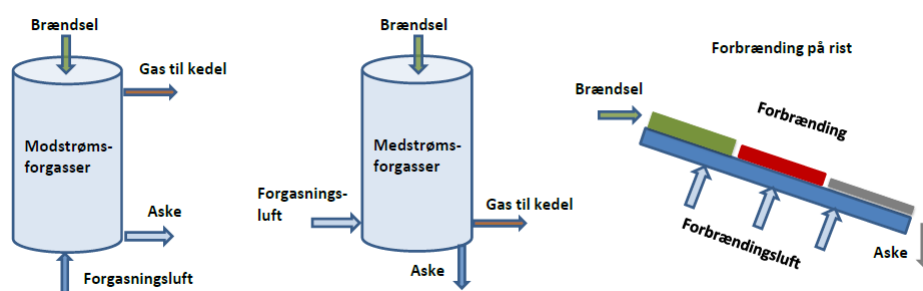
With respect to emissions from gasification plants operating on biomass, very low emission values are accepted according to the corresponding branch Annex G201/202. These limits will in part be realistic concerning CO, even though they are about 1/6 of what is permitted for incineration, while requirements for NO_x is partially dependent on the fuel, making it difficult to comply with the requirements for the gasification of 100 mg / nm³ Ref compared to the 300 mg/nm³-ref required by plants using the same biomass but relying on traditional combustion technology.

All the planned trial runs and measurements were carried out as planned in the project and the project has thus fulfilled its purpose. Further work will be primarily focused on the optimization of combustion to reduce emissions of CO and NO_x when using a common standard gas boiler.

1 BLE – Biomass Low Emission

Projektets formål er at eftervise at, forgasning af biomasse kan føre til reducerede emissioner i forhold til forbrænding af blandt andet træflis på traditionelle anlæg. Delmål for projektet er desuden at vurdere om hurtigvoksende træ, energipil / poppel eller lignende, og kød og benmelsfraktioner er anvendelige som brændsel i en modstrømsforgasser.

Valget af modstrømsforgasseren skyldes, at dens evne til at tilbageholde partikler/aske er stor, set i forhold til traditionelle forbrændingsanlæg, hvor forbrændingsluften tilsættes under risten og blæses op gennem et tyndt lag brændsel og et askelag. Modstrømsforgasseren har en konstant fyldning, uanset belastningen, og styres alene ved tilførsel af luft til oxidationszonen nederst i reaktoren. Denne konstante fyldning bevirker en vis filtervirkning på de opstrømmende gasser (modstrøm – i forhold til brændselsflowet). Desuden er modstrømsforgasseren også anvendelig til et bredt udsnit af brændsler med varierende fugtindhold, hvilket adskiller den fra medstrømsforgasseren, der kræver et veldefineret tørt brændsel for at fungere tilfredsstillende. Medstrømsforgasseren udnytter desuden ikke det ovenliggende brændselsslag som filter



Figur 1: forgasningsanlæg - principbilleder

På grund af modstrømsforgasserens evne til at tilbageholde partikler, forventes det, at emissionen af støv er lav. Nuværende grænseværdi for støv for forbrændingsanlæg er 40 mg/nm^3 -ref. for anlæg over 1 MW – det forventes at denne værdi kan overholdes uden brug af filter på forsøgsanlægget. For NO_x forventes emissionen at kunne overholde grænseværdien for forbrændingsanlæg op til 50 MW (300 mg/nm^3 -ref.) – hvorimod værdien for NO_x for forgasningsanlæg ligger så lavt, at det ikke er realistisk at nå denne værdi uden at anvende udstyr der aktivt reducerer NO_x i røggassen. Grænseværdien for NO_x for forgasningsanlæg er på 100 mg/nm^3 -ref. for anlæg mellem 120 kW og 50 MW. En oversigt over relevante grænseværdier kan ses af nedenstående Tabel 1

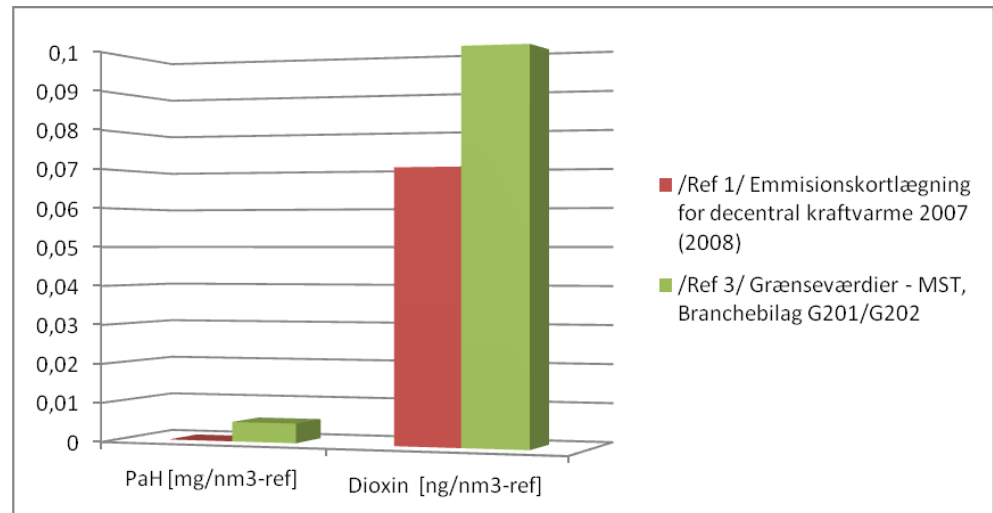
Tabel 1: Emissionsgrænseværdier for kedelanlæg - værdier i mg/nm^3 ref. Kilde: /Ref 3./ Bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomhed, BEK nr 486 af 25/05/2012

Anlægsstørrelse	Forgasning biomasse			Forbrænding biomasse		
	Støv	CO	NO_x	Støv	CO	NO_x
120 kw – 1MW	-	-	-	300	500	-
1 MW – 5 MW	-	100	100	40	625	-
5 MW – 50 MW	-	100	100	40	625	300

De tilladelige Emissionsværdier for CO for forgasningsanlæg er ligeledes langt lavere end for traditionelle kedler. Det forventes at, værdierne for kedelanlæg kan overholdes (625 mg/nm³-ref. for anlæg mellem 1 og 5 MW), men værdierne for forgasningsanlæg virker også her meget lave - 100 mg/nm³-ref. for anlæg mellem 120 kW og 50 MW.

Emissionværdier for CO har dog ikke højeste prioritet i projektet, da brændkammeret, i den anvendte standardkedel, ikke er optimalt udformet i forhold til at overholde de meget lave værdier, angivet for forgasningsanlæg.

Emissionsværdier for PAH forventes at ligge på niveau med data fra Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2008 for flisfyrede anlæg, /ref 1/. Dioxin forventes at ligge væsentligt under værdierne registreret i samme rapport.



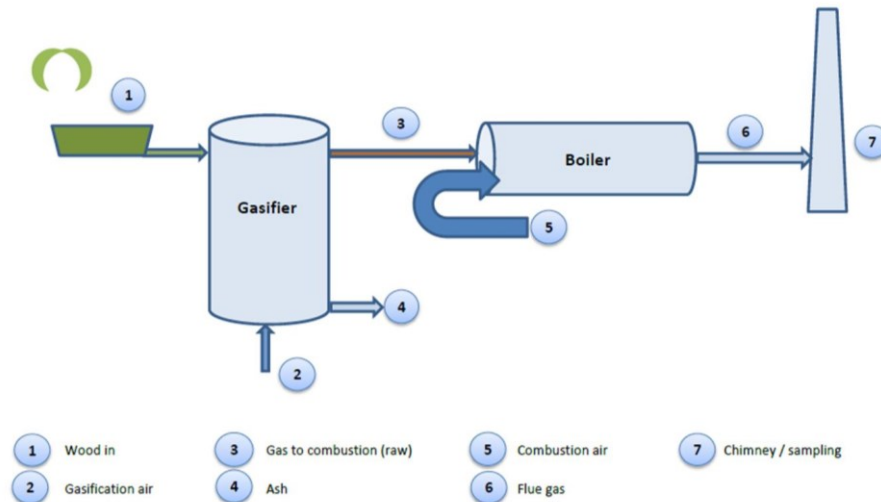
Figur 2: Emissionsværdier målt på traditionelle anlæg

På Figur 2 kan ses en oversigt over emissioner fra traditionelle ristefyrede biomasseanlæg sammenlignet med de aktuelle grænseværdier.

Emissionsmålingerne foretages af et akkrediteret prøvetagnings og analyselaboratorium med mange års erfaring fra emissionsmålinger på energi og processanlæg i bl. a. Danmark.

1.1 Forsøgsanlægget

Ildvedgas forsøgsanlæg er opbygget i et samarbejde mellem Gasification.DK og Irgi. Anlægget er opført for at muliggøre demonstration af modstrømsforgasning konceptet, og for at kunne gennemføre forsøg med forskellige brændsler og deres indvirken på forgasningsprocessen og på den videre udnyttelse af energien i den producerede gas.



Figur 3: Forgassingsanlæg oversigtsskema

Hoveddelene i anlægget er følgende:

- Flislager, til opbevaring og transport af flis og andre brændsler til forgasningsanlægget.
- Forgasser, modstrøm, der omsætter træflisen til en brændbar gas
- Gaskedel, hvor gassen afbrændes og opvarmer vandet i varmeanlægget.

Anlæggets nominelle effekt er på ca. 100 kW termisk, målt i forhold til et standarbrændsel (skovflis) med ca. 35% fugt. Fugtindhold i skovflis der ikke er tørt kan variere fra 30% til 55%.

Forbrændingen i kedlen vil medføre temperaturer i brændkammeret på over 800°C, dog afhængig af fugtindhold i brændslet og det valgte luftoverskud som forbrændingen køres med – højere luftoverskud/fugtindhold medfører lavere temperatur i kedlens brændkammer.

Gastemperaturen fra forgasseren vil normalt variere mellem 70°C og 90°C.

Målested for emissionsmålingerne er indrettet og udført i henhold til Miljøstyrelsens vejledning om indretning af målesteder.

2.1 Forsøgskørsel 1 – Pil, forberedelse af forsøg

Anlægget blev klargjort og eftersat til forsøgskørslerne for at sikre at der ikke ville forekomme unøddige driftstop i forbindelse med forsøgsrækken, og for at sikre at anlægget var fri for rester af brændsel og aske fra tidligere kørsler.

Anlægget blev i forbindelse med forsøgskørslen startet 2 dage før den planlagte måling, for at sikre at anlægget var i stabil drift til måleperioden. Brændslet var fremskaffet, men i en kvalitet der var dårligere end forventet. Generelt set var dette dog ikke noget problem, da det netop var vores ønske at måle på anlægget i situationer hvor belastningen var høj, enten ved høj termisk last eller ved at benytte et brændsel der er ringere end normalt.

Der var tale om pileflis der havde ligget i depot i det fri, og derfor var der startende biologisk nedbrydning af materialet. Dette har dog kun indflydelse på den last anlægget kan køres med på grund af den lavere brændværdi i brændslet (givet både ved biologisk nedbrydning og et højt fugtindhold), og vil alt andet lige representere en ”worst case” i forhold til emissionsmålinger da der skal en større mængde af brændsel og dermed luft gennem forgasseren for at anlægget kan levere en given effekt. Ved træflis m. 35% fugt og en indfyret mængde på 30 kg/h yder anlægget nominelt ca. 100 kW, Ved det samme brændselsflow, men med et fugtindhold på 70% yder anlægget ca. 35 kW.



Billede 1: Pileflis

Det blev derfor valgt at køre forsøget på dette flis, da det må forventes at frisk flis vil give bedre værdier i en emissions-måling.

2.1.1 Pil – beskrivelse af forsøg

I forberedelsen til forsøgsrækken blev det valgt at anlægget skulle køre med en last svarende til min 75% last med mindre at brændslet forhindrede dette. De 75% er valgt for at sikre at anlæggets emissioner var i overensstemmelse med det der vil kunne måles under normal drift af et forgasningsanlæg af denne type.

Med hensyntagen til fugtindholdet i det aktuelle brændsel bestemt til 72%, giver det en minimumslast på ca. 30 kW brændselsindput – baseret på brændslets nedre brændværdi.



Billede 2: Tørring af flisprøve

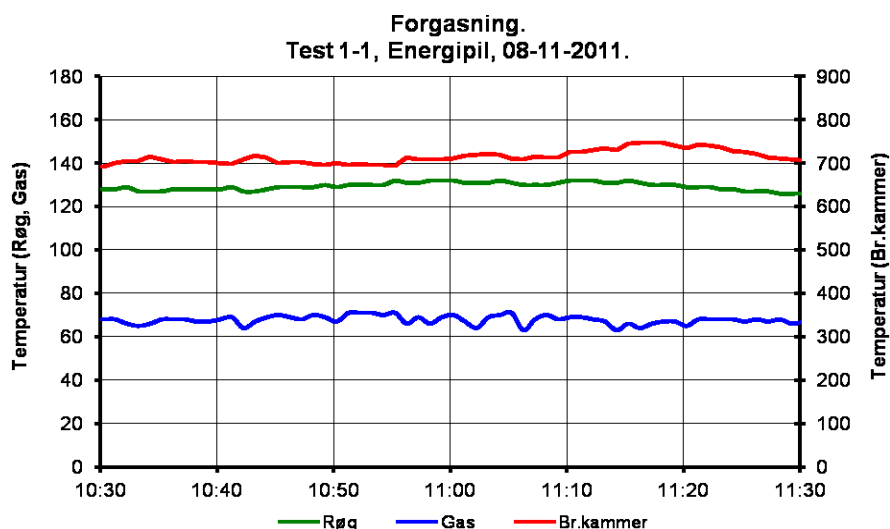
Fugtindholdet blev bestemt ved tørring i en ovn i 12 (24) timer ved ca 105 °C. Resultatet ved 12 timer anvendes direkte – dog med korrektion hvis værdien ændres i løbet af de efterfølgende 12 timer (hvilket den ikke gjorde).

Der blev udført emissionsmålinger på røggas for relevante komponenter: O₂, CO og NO_x, og 3 x 1 times målinger for støv.

Driftparametre fra anlægget blev opsamlet og vurderet løbende, både for en samlet vurdering af anlæggets øjeblikkelige drift, og for at justere driftsparametre i forbindelse med forsøgskørslen.

2.1.2 Pil – forløb af forsøg

Anlægget var inden start af måleperioderne i stabil drift, hvilket understreges af de registrerede temperaturer igennem hele forsøgskørslen.



Figur 4: Temperatur i brændkammer m.m. - Pileflis

Som det kan ses på Figur 4 var gastemperaturen stabil, hvilket indikerer stabil drift af forgasseren, desuden var både røggastemperatur samt brændkammertemperatur inden for det ønskede område (afvigelse mellem røggastemperatur på Figur 4 og røggastemperaturen i Tabel 2 skyldes, at de måles forskellige steder) (brændkammertemperatur er kun indikativ, da det relativt lille brændkammer der er i den forhåndenværende kedel medfører, at en eksakt temperaturmåling ikke er

mulig, da termoføleren der blev benyttet i de første forsøgs kørsler ikke kunne placeres langt nok tilbage i brændkammeret.)

Målingerne blev gennemført som 3 X 1 times målinger.

Nedenstående billeder er fra måleperiode 1 og 2 (måling 1 til 3 og 4 til 6)



2.1.3 Pil - Måleresultater

Ved gennemførelse af forsøget blev følgende emissionsværdier registreret ved kontinuerede målinger – se Tabel 2.

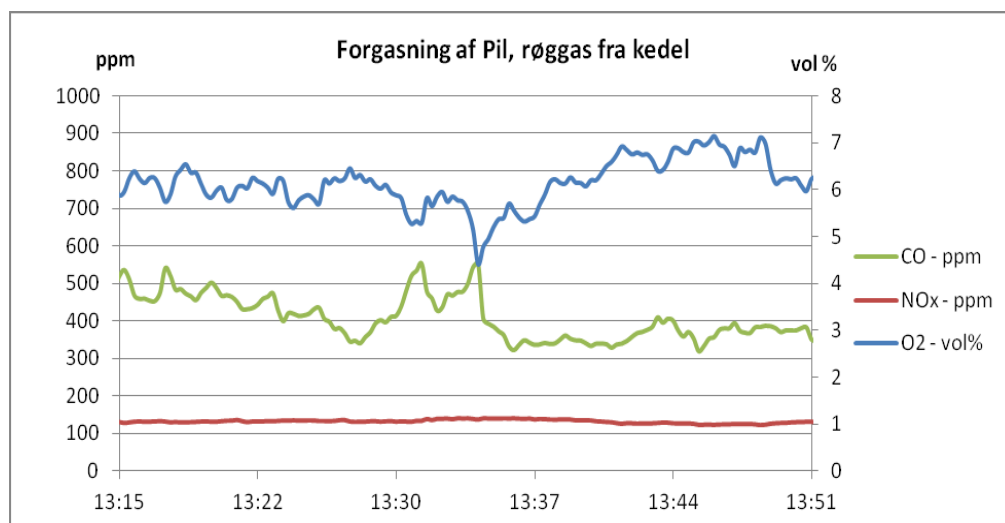
Tabel 2: Måleresultater, pil

Parameter	Enhed	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middel
Måletidspunkt	Kl.	10 ³⁰ - 11 ³⁰	11 ⁴² - 12 ⁴²	12 ⁵⁶ - 13 ⁵⁶	10 ³⁰ - 13 ⁵⁶
Partikler	mg/m ³ (ref)	14,1	16,8	12,8	14,6
CO	mg/m ³ (ref)	496	730	506	577
NO _x	mg/m ³ (ref)	177	184	196	186
O ₂	vol.-% (tør)	6,5	6,1	6,2	6,3
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	130	110	150	130
Vanddampindhold	vol.-%	21	26	23	23
Røggastemperatur	°C	102	103	102	102

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normaltilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

Værdierne for CO var højere end forventet, (generelt bør der kunne opnås værdier under 100 mg/nm³-ref), men det skal bl.a. ses i lyset af et meget højt vandindhold i pileflisen.

Figur 5 viser eksempler på værdier registreret i forbindelse med 1. måleperiode (pil).



Figur 5: Emission fra forgasning af pil – baseret på tør røggas

I de videre forsøgsforløb kan det endvidere konstateres at CO generelt ligger højere end forventet – dog skal det her bemærkes at middelværdien for CO er under grænseværdierne for biomasseanlæg i størrelsen fra 1 MW og op til 50 MW indfyret.

Værdierne for NO_x er under grænseværdierne for anlægsstørrelsen, og er som forventet for brændselstypen, men for både CO og NO_x gælder det at de er et stykke fra grænseværdierne for forgasningsanlæg (for begge er angivet 100 mg/nm³-ref.)

6.7.4 Samlet indfyret effekt på 1 MW og derover men mindre end 50 MW

For disse anlæg gælder følgende emissionsgrænseværdier:

Støv	=	40 mg/normal m ³ tør røggas ved 10% O ₂ ⁶² .
NO _x regnet som NO ₂	=	300 mg/normal m ³ tør røggas ved 10% O ₂ ⁶³ .
CO	=	625 mg/normal m ³ tør røggas ved 10% O ₂ .

Støvemissionsgrænseværdien kan ved anvendelse af f.eks. kondenserende anlæg lempes til 100 mg/m³ normal tør røggas ved 10% O₂.

Figur 6: Uddrag fra luftvejledningen 2001, biomasseanlæg op til 50 MW /Ref 2/

Med hensyn til støv / partikler kan det konstateres at forgasning af pileflis gør det muligt at overholde de normalt anvendte emissionskrav (Figur 6) for biomasseanlæg, uden yderligere foranstaltninger. I forbindelse med den første forsøgsrække er den højest registrerede værdi 16,8 mg/nm³-ref.

2.2 Forsøgskørsel 2 – kød og benmel, forberedelse af forsøg

Forsøgskørsel 2 omfattede forgasning af kød og benmel. I forbindelse med forberedelsen til forsøget blev det valgt at gennemføre forsøget med en meget finkornet fraktion, da dette materiale umiddelbart kunne fremskaffes.



Billede 3: Kød og benmel til forgasning

Grundet formalingen blev materialet blandet 50/50 vol % med flis for at sikre en luftgennemstrømning gennem brændselslaget. Denne findeling af materialet forventedes at give anledning til en højere mængde støv i røggassen end den grovere fraktion der vil være relevant at forgasse i et fuldskala anlæg.

2.2.1 Benmel – beskrivelse af forsøg

Forsøget med kød og benmel gennemføres med driftparametre etableret i forbindelse med varmtesten og gennemførelse af forsøgskørsel 1, pil. Når der er opnået stabile driftsdata indledes målekampagne.

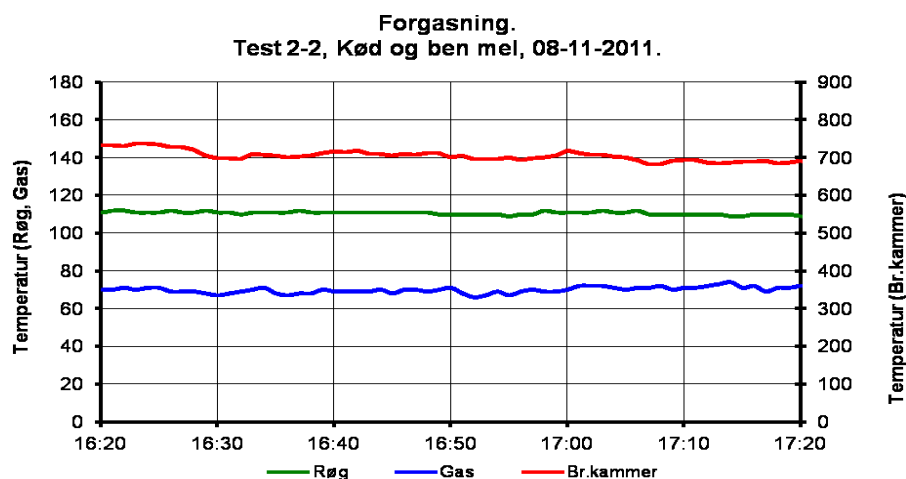
Der laves emissionsmålinger på røggas for O_2 , CO, NO_x og støv.

Driftparametre fra anlægget opsamles og vurderes løbende i forbindelse med forsøgskørslen.

2.2.2 Benmel - forløb af forsøg

Anlægget var testet med brændslet før den planlagte måling, for at sikre at brændslet fungerede i forgassen. Måleperioden blev lagt som en forlængelse af forsøget med energipil, dog med en målepause indlagt for at sikre skiftet til det nye brændsel i forgassen.

Efter målepausen blev instillingerne / driftsparametre på anlægget valgt som ved forsøget med pileflis og målingerne blev startet. De valgte parametre resulterede i en belastning på ca. 50% i forhold til nominel belastning (ca 50kW – nominel = 100 kW) Nedenstående kurver er eksempler på temperaturkurver fra forsøget med kød og benmel.



Figur 7: Temperatur i brændkammer m.m. - benmel

Som det kan ses på kurverne var anlægget i stabil drift gennem hele måleperioden, (afvigelse mellem røggastemperatur på Figur 7 og røggastemperaturen i Tabel 3 skyldes at de måles forskellige steder). Grundet det findelte materiale steg trykfaldet over brændselaget i forgasseren gennem forsøgsperioden, men dette blev korrigeret ved at tilpasse flowet af forgasningsluft undervejs i forsøget, så belastningen på forgasseren blev holdt konstant

2.2.3 Benmel - Måleresultater

Ved gennemførelse af forsøget blev følgende emissionsværdier registreret ved kontinuerte målinger – se Tabel 3.

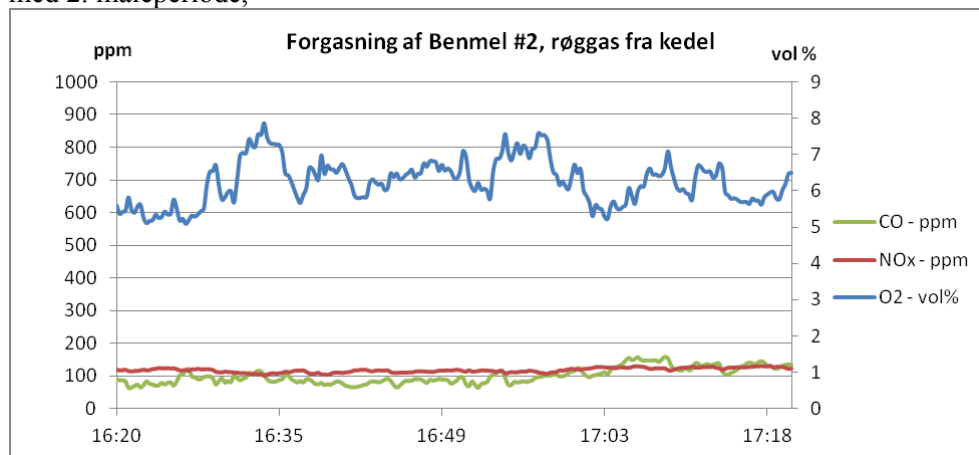
Tabel 3: Måleresultater, forgasning af kød og benmel.

Parameter	Enhed	Måling 4	Måling 5	Måling 6	Middel
Måletidspunkt	Kl.	15 ⁰⁹ - 16 ⁰⁹	16 ²¹ - 17 ²¹	17 ³² - 18 ³²	15 ⁰⁹ - 18 ³²
Partikler	mg/m ³ (ref)	9,1	5,5	11,9	8,8
CO	mg/m ³ (ref)	82	95	290	156
NO _x	mg/m ³ (ref)	189	180	295	221
O ₂	vol.-% (tør)	5,6	6,3	5,3	5,7
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	120	120	130	120
Vanddampindhold	vol.-%	23	22	26	24
Røggastemperatur	°C	90	88	90	89

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normaltilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

Som ved forsøget med pileflis er CO højere end forventet, grundet benmelets lave vandindhold (under 10% fugt) – og dermed relativt høje brændværdi på ca. 18 MJ/kg, dog i væsentlig mindre grad, hvilket især skyldes den lavere fugt (i forhold til pileflisen i foregående forsøg) i det blandede brændsel. Det blandede brændsel har et fugtindhold på ca 41% fugt (50% benmel og 50% pileflis). I forbindelse med den sidste måleperiode blev anlæggets belastning øget, hvilket medførte en højere CO og NO_x emission end ved de to foregående målinger.

Nedenstående kurve Figur 8 viser eksempler på værdier registreret i forbindelse med 2. måleperiode,



Figur 8: Emission fra forgasning af benmel – baseret på tør røggas.

Som ved forsøgskørsel 1, Pil, er emissionen af partikler meget lav (Tabel 3) også i dette forsøg. Det var dog forventet at der ville være en større udledning af partikler end det forekomme, specielt det findelte brændsel taget i betragtning.

Det må på baggrund af den målte forekomst af partikler i røggassen forventes, at der kun vil forekomme en meget lav emission af partikler ved forgasning af kød og benmel i en grov fraktionering.

Kød- og benmel er, når der er tale om kategori 1 materiale, affald, som skal afbrændes efter affaldsforbrændingsreglerne. Grænseværdierne for støv, NO_x og CO er væsentligt lavere for affaldsforbrændingsanlæg end det er for biomasseanlæg se Tabel 4.

Tabel 4: Grænseværdier for affaldsforbrændingsanlæg

Støv	10 mg/nm ³ -ref
NO _x	200 mg/nm ³ -ref
CO	50 mg/nm ³ -ref

Dermed bør der sammenlignes med GV'er for affaldsforbrænding (bilag 7 til bekendtgørelse 1356 af 21/12 2011), hvilket betyder, at CO emissionen er relativt høj, og værdierne for NO_x er også for høje.

Værdierne for støv var under grænseværdien, selv med et brændsel der er meget fint formålet (hvilket alt andet lige vil forøge emissionen af støv), og dermed er der mulighed for at et anlæg der benytter kød og benmelsfraktioner som brændsel i et modstrømsforgasningsanlæg, vil kunne etableres uden filter, og med meget lav støvbelastning på kedlen.

For affaldsforanlæg gælder desuden at røggasserne skal passere gennem en zone hvor temperaturen er min. 850°C i 2 sek. Dette vil samtidig medføre meget høj udbrænding af CO, og det vil være muligt at benytte forskellige tiltag som reburning eller SNCR systemer til reduktion af NO_x

2.3 Forsøgskørsel 3 – skovflis, forberedelse af forsøg

Forsøget med træflis fungerer som hovedforsøgskørsel og fungerer som benchmark for vurderingen af resultaterne fra de øvrige forsøgskørsler.

Træflisen består primært af nåletræ og kvaliteten er helt identisk med, og en del af, den flis der normalt distribueres til varmeværker m.fl.

Det blev valgt at køre anlægget på ca. samme belastning som ved de tidligere forsøg - dvs. så vidt muligt over 75 % last i forhold til nominel last, for at kunne sammenligne værdierne fra de tre forsøg så direkte som muligt. De valgte parametre medførte at anlægget kørte med en effekt på ca. 75 kW, hvilket svarede til nominel last når det målte fugtindhold tages i betragtning



Billede 4: Skovflis - std. kvalitet

Der er taget prøver af brændslet for bestemmelse af fugtindhold - resultatet var et fugtindhold på 46 %, hvilket var nogenlunde som forventet for frisk skovflis på denne årstid.

2.3.1 Skovflis – beskrivelse af forsøg

Anlæggets grundlæggende driftsdata blev logget og dannede også grundlag for evalueringen af de foregående forsøgskørsler, da vi betragter skovflis som referencebrændsel.

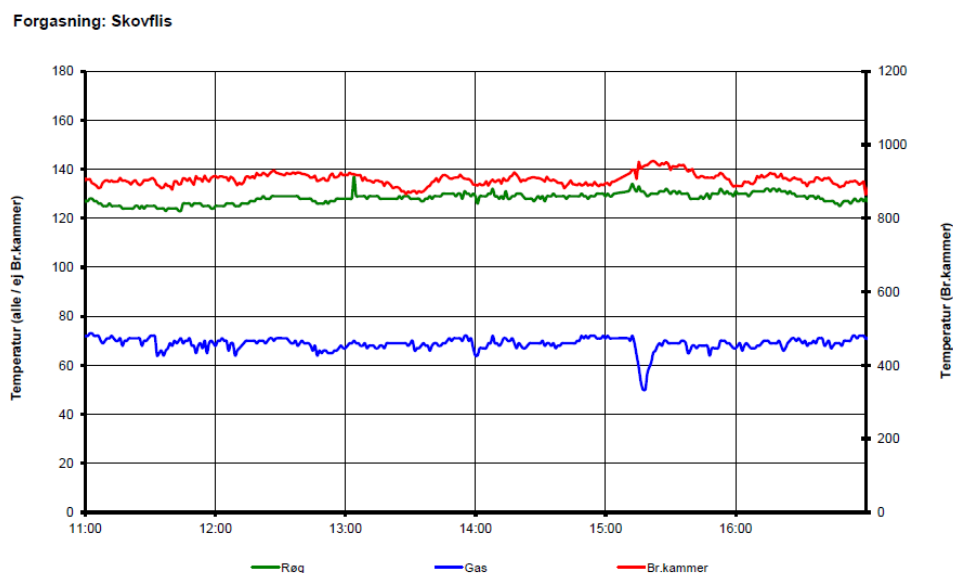
Der blev udført emissionsmålinger på røggas for O₂, CO, NO_x og støv, og målingerne blev kompletteret med en måling af dioxin og PAH.

Driftsparametre relevante for driften af anlægget blev opsamlet og vurderet løbende i forbindelse med forsøgskørslen.

2.3.2 Skovflis – forløb af forsøg

Anlægget blev startet før den planlagte måling for at sikre, at anlægget var i stabil drift til måleperioden. Brændslet var fremskaffet via hedeselskabet, og brændslet var af en normal god kvalitet - se Billede 4.

Nedenfor er angivet kurver for temperaturen i anlægget i forbindelse med forsøgskørslen i måleperioden.



Figur 9: Temperaturkurver fra forsøgskørsel med skovflis

Som det kan ses på ovenstående kurve er temperaturene i anlægget stabile, hvilket indikerer stabil drift af forgasseren, desuden er både røggastemperatur samt brændkammertemperatur inden for det ønskede område - dvs over 800°C, og målestedet (brændkammertemperatur) er ændret i forhold til de tidligere forsøg for at få en mere retvisende værdi. Termoføleren til måling af brændkammertemperatur blev udskiftet og placeret ved udgangen af brændkammeret.

Målingerne blev gennemført som 1 X 6 timers måling for dioxin og PAH og i samme periode gennemførtes 3 X 1 times målinger for støv, NO_x, CO og O₂.

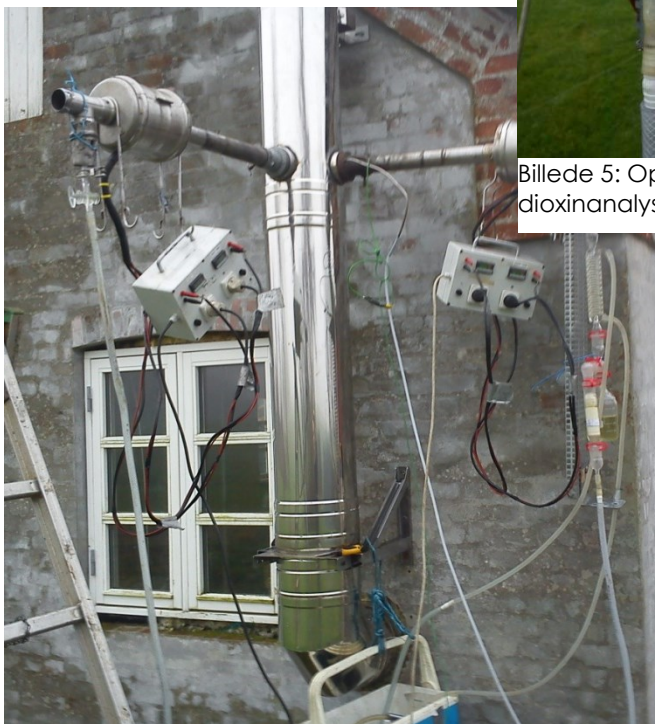
Nedenstående billeder er fra måleperiode 3 (dioxinmåling 1 og støvmåling 7 til 9)



Billede 6: Opsætning af måleudstyr



Billede 5: Opsamling af kondensat til dioxinanalyse



Billede 7: Måleudstyr for dioxin og støv monteret på skorsten

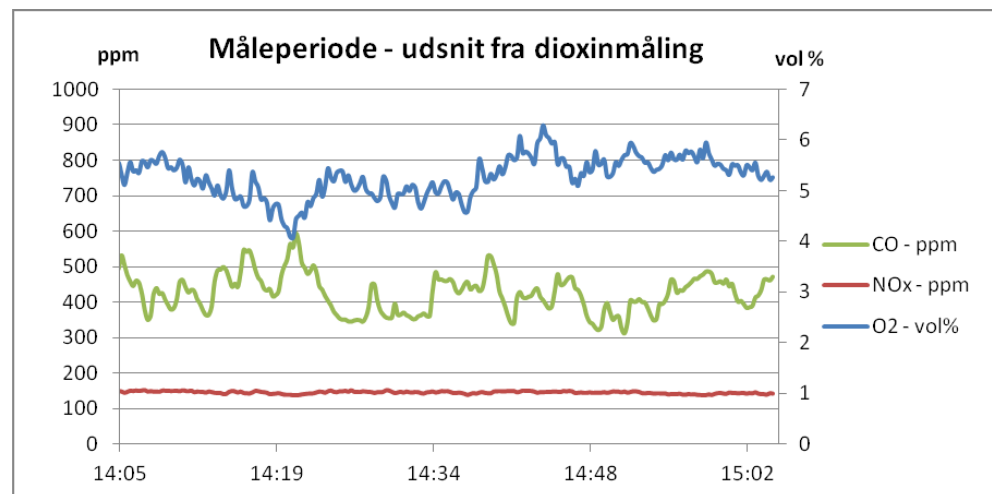
2.3.3 Skovflis - Måleresultater

Tabel 5: Måleresultater – skovflis, PAH er totalværdier, se bilag 2 for omregning til BaP

Parameter	Enhed	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middel
Måletidspunkt	Kl.	12 ³⁰ - 13 ³⁰	13 ⁵⁰ - 14 ⁵⁰	14 ⁵⁰ - 15 ⁵⁰	12 ³⁰ - 15 ⁵⁰
Partikler	mg/m ³ (ref)	4,7	4,6	7,8	5,7
CO	mg/m ³ (ref)	404	401	404	403
NO _x	mg/m ³ (ref)	199	205	142	182
O ₂	vol.-% (tør)	4,8	5,1	4,5	4,8
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	170	170	170	170
Vanddampindhold	vol.-%	25	25	25	25
Røggastemperatur	°C	99	101	102	101
Måletidspunkt dioxin	Kl.	11 ⁰⁰ - 17 ⁰⁰	-	-	-
PCDD / F (I-TEQ)	ng m ³ (ref)	0,006	-	-	0,006
PAH	µg m ³ (ref)	225,1			225,1
O ₂	vol.-% (tør)	4,8			4,8

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normaltilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

Resultaterne for støvmålingerne lå umiddelbart på samme niveau som ved de to tidligere forsøgsrækker når de vurderes i forhold til gældende grænseværdier for for biomasseanlæg over 1 MW – dvs. væsentligt under de krav der normalt stilles til biomasseanlæg der typisk benytter filteranlæg.



Figur 10: Udsnit af røggasmålinger fra dioxinmåling.

Værdierne for CO ligger stadig højt – dette kommenteres sammen med CO-værdierne for de 2 andre forsøg i sammenfatningen af resultaterne – afsnit 3.1.

De målte værdier for Dioxin (I-teg) ligger under eller på niveau med hvad der er målt / registreret for store anlæg /ref. 1/(Emissionskortlægning for decentral kraftvarme), mens værdierne for PAH er højere end forventet.

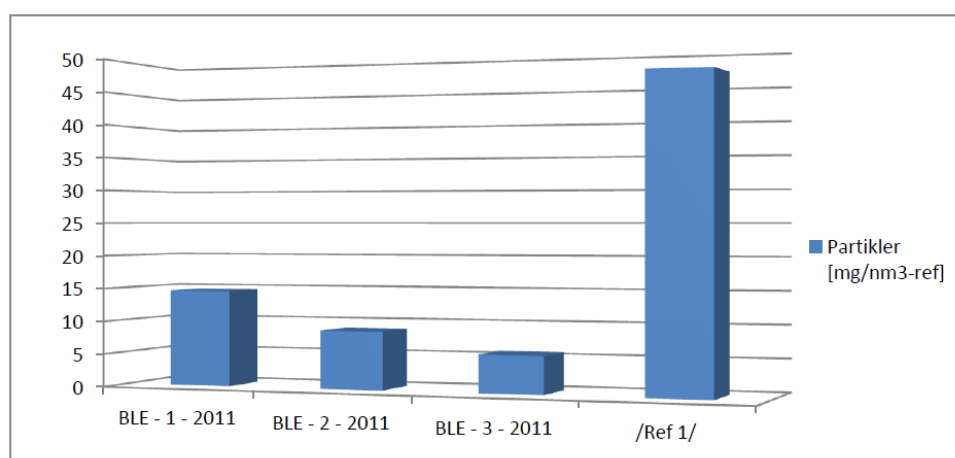
Målt værdi ifølge målerapport: 225 µg/nm³-ref, men omregnet til Toksisk ekvivalent BaP, er værdien 3,5 µg/nm³-ref

omregnet til BaP ækvivalenter ligger den dog stadig under den generelle grænseværdi angivet i Miljøstyrelsens luftvejledning på $5 \mu\text{g}/\text{nm}^3$ -Benz[a]pyren-ækvivalenter BaP.

3.1 Sammenfatning af resultater

3.1.1 Støv

Støvmålinger blev prioriteret bl.a. fordi partikler kan facilitere dannelsen af dioxin /Ref 5./. Emissionerne af støv var, i samtlige målinger, meget lave i betragtning af at der ikke var nogen form for rensning monteret efter kedlen. Som det kan ses af nedenstående oversigt er emissionerne alle væsentligt under hvad der er normalt for biomasseanlæg i henhold til /Ref. 1/(Emissionskortlægning for decentral kraftvarme)

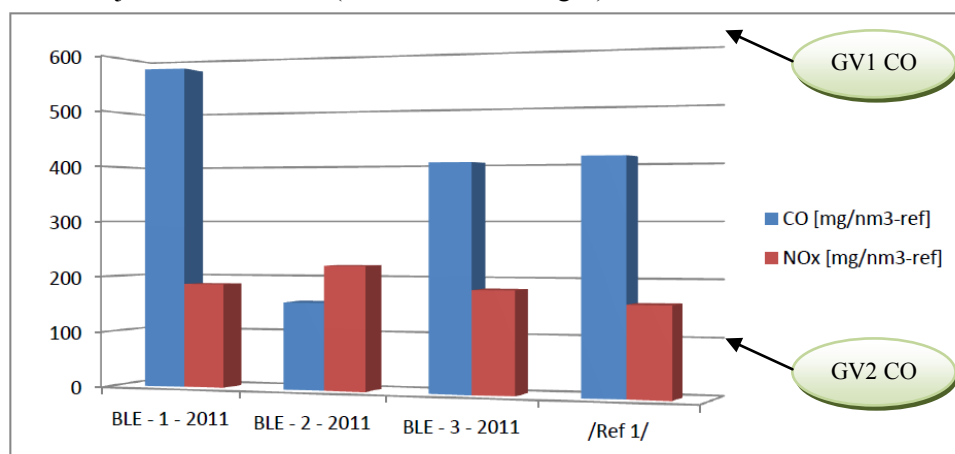


Figur 11: Støvmålinger

Hermed er forventningerne til en lav partikkelemission ved modstrømsforgasning bekræftet. Dette vil betyde at ved opførelse af anlæg af denne type, kan man undgå at skulle etablere filtre til støvrensning. Samtidig vil driftsproblemer, der skyldes støv i kondensatsystemet, ved drift af et kondenserende trin efter kedlen kunne minimeres.

3.1.2 NO_x og CO

De kontinuert målte emissioner af NO_x var som forventede, og der blev registreret relativt høje værdier for CO (se nedenstående figur)



Figur 12: CO og NO_x målinger

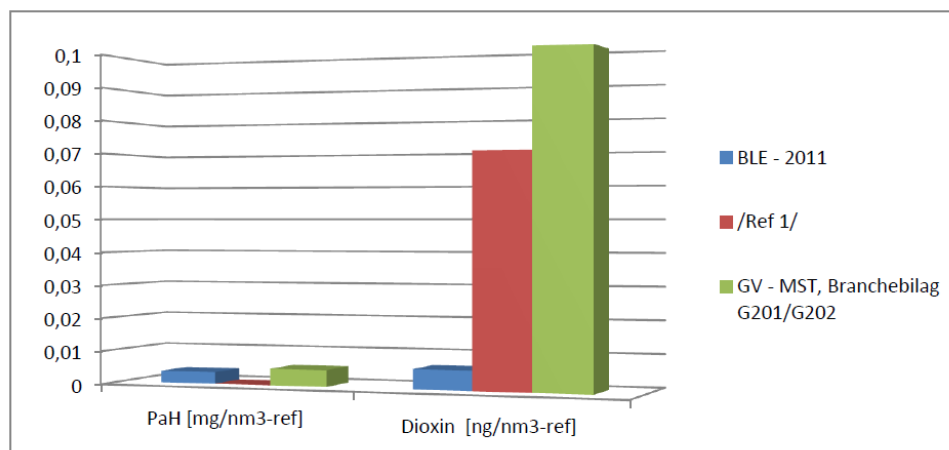
Værdierne for CO var dog i gennemsnit indenfor gældende lovgivning når der sammenlignes med grænseværdierne for traditionelle biomasse forbrændingsanlæg (GV1 - Figur 12), men over de værdier der er angivet som grænseværdier for forgasningsanlæg (GV2 - Figur 12).

Umiddelbart virker grænseværdierne for forgasningsanlæg meget restriktive, men reelt bundet dette måske i at der ikke har været det fornødne kendskab til teknologien ved fastlæggelse af disse grænseværdier.

Vigtigere er det dog at bedre udbrænding af CO og reducere af NO_x helt sikkert kan opnås ved optimering af brænder og brændkammer. Blandt andet vil øget turbulens i brændkammeret give en bedre opblanding og bedre udbrænding af CO, og en trinvis tilsætning af forbrændingsluft vil kunne sænke flammemetemperaturen og dermed reduceres den termisk dannede NO_x. Den anvendte brændertype kan bedst betegnes som en diffusionsbrænder, hvilket typisk medfører en lang flamme, modsat en premix brænder som kendes fra propan/naturgas brændere, der har en relativ kort flammelængde. Den relativt lange flamme medfører at en del af gas/luft blandingen ikke når at reagere før røggassen bliver afkølet i kedlen.

3.1.3 Dioxin og PAH

Resultaterne for dioxinmålingerne viste lave værdier i overensstemmelse med det forventede – nedenstående figur viser værdierne sammenlignet med data fra Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2008 for flisfyrede anlæg /ref 1/ Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2008



Figur 13: Dioxin og PaH målinger

Målingerne af PaH viste værdier der var højere end forventet, men sammenholdt med de relativt høje CO værdier var det forventet, da der er en tydelig sammenhæng mellem mængden af CO og dannelse af PaH forbindelser. (/Ref 4/ Correlation of CO and PAH emissions during laboratory-scale incineration of wood waste furniture.)

Som tidligere beskrevet skyldes dette, at brændkammeret i den monterede standardkedel ikke havde den fornødne længde og / eller turbolens til at sikre udbrændingen – specielt på grund af den høje fugtighed i brændslet og flammegeometrien fra diffusionsbrænderen.

4.1 Konklusion

Projektets formål er at eftervise at forgasning af biomasse kan føre til reducere af emissioner i forhold til forbrænding af blandt andet træflis på traditionelle anlæg. Delmål for projektet er desuden at vurdere om hurtigvoksende træ, energipil / poppel eller lignende, og kød og benmelsfraktioner er anvendelige som brændsel i en modstrømsforgasser.

Dette er blevet eftervist for partikler / støv. Gasformige emissioner som CO og PaH var højere end forventet, men skyldes delvist det høje fugtindhold, der sammen med brænder og brændkammerudformning muliggør at uforbrændt / ureageret materiale når at blive afkølet i kedeltrækkene. Dette kunne have været afhjulpet ved at køre anlægget på en lavere belastning, hvilket så ikke ville have givet de ønskede resultater af støvmålingerne. Støvmålinger blev prioriteret bl.a. fordi partikler kan facilitere dannelsen af dioxin /Ref 5./ og samtidig er det relativt simpelt at ændre brændkammerets geometri for at sikre en bedre turbolens og udbrænding af de gasformige og organiske forbindelser, specielt når udgangspunktet er et gasformigt brændsel med en lav støvbelastning.

Projektets delmål blev ligeledes opfyldt, da alle forsøgskøler blev gennemført med tilfredsstillende drift af forgasseren.

Udover at sammenligne de målte emissionsværdier med værdier fra traditionelle forbrændingsanlæg, er de målte værdier også blevet sammenlignet med grænseværdier for både traditionelle anlæg og for forgasningsanlæg. Ved denne sammenligning er det tydeligt at man ved at benytte forgasningsanlæg vil kunne reducere emissionerne betragteligt i forhold til traditionelle forbrændingsanlæg, men de grænseværdier der er opgivet for forgasningsanlæg er så lave, at man reelt er nød til at benytte teknologier til NO_x reducere for at kunne overholde grænseværdierne. Dermed er lovgivningen med til at fordyre teknologien, der ellers vil kunne medføre reducere af de samlede emissioner fra biomasseanlæg.

Kilder:

Ref 1:

Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2007 (2008), Energinet.dk miljøprojekt nr. 07/1882, udarbejdet af Force Technology.
<http://www.energinet.dk/DA/KLIMA-OG-MILJOE/Emissionskortl%c3%a6gning/Sider/Emissionskortlaegning-for-decentral-kraftvarme-2007.aspx>

Ref 2:

Luftvejledningen, Vejledning nr. 2, 2001, Miljøstyrelsen
<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2001/87-7944-625-6/pdf/87-7944-625-6.pdf>

Ref 3:

Bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomhed, BEK nr 486 af 25/05/2012
<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=141966#Bil5>

Ref 4:

A. Khalfia, G. Trouvéa, R. Delobelb, L. Delfossea
Correlation of CO and PAH emissions during laboratory-scale incineration of wood waste furniture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Volume 56, Issue 2, November 2000, Pages 243–262

Ref 5:

Hinton WS and Lane AM (1991a) "Characterisation of municipal solid waste incinerator fly ash promoting the formation of polychlorinated dioxins" *Chemosphere* 22(5-6) 473-83.

Bilag 1: Målerapport fra forsøgskørsler

Emissionsmålinger på forsøgsanlæg November 2011 - RAPPORT NR. 11-17566

1RGI

Emissionsmålinger på forsøgsanlæg November 2011



RAPPORT NR.: 11-17566

Rekvirent: 1RGI
Mølløvænget 2
6200 Aabenraa
Att: Thomas Ritz Nissen

Udført af: AnalyTech Miljølaboratorium A/S
Bøgildsmindevej 21
9400 Nørresundby



Claus Hyttel Christensen
Afdelingsleder



Sven-Erik Lykke
Laboratoriechef

2012-01-02

Indhold

1. Resumé.....	3
2. Indledning.....	4
3. Målingernes udførelse.....	5
3.1 Målingernes formål.....	5
3.2 Anlægsbeskrivelse.....	5
3.3 Produktionsforhold.....	5
3.4 Målestedets indretning.....	5
3.5 Målemetoder.....	6
4. Resultater.....	7
5. Måleusikkerheder.....	7
6. Bilagsoversigt (Bilag ikke omfattet af akkrediteringen).....	10

1. Resumé

AnalyTech Miljølaboratorium A/S har foretaget emissionsmålinger i afkast fra et forsøgsanlæg, bestående af kedel- og forgasningsanlæg. Anlægget er placeret på adressen Ildvedvej 49, 7300 Jelling.

Målingerne er udført den 8. og den 23. november 2011 af Torben, AnalyTech Miljølaboratorium A/S. Afdelingsleder Claus Hyttel Christensen har udarbejdet denne rapport.

Der blev udført målinger for følgende parametre, under følgende forhold, se tabel herunder:

Parameter	
Partikler	Total støv
CO	Kulmonoxid
NO _x	Kvælstofoxider
PCDD/-F (I-TEQ)	Dioxin
PAH	

Som hjælpeparametre blev der målt for lufttemperatur og volumenstrøm.

Resultaterne for de enkelte forsøgsmålinger, er angivet i tabellen herunder som middelværdier.

Parameter	Enhed	Forsøg 1 d. 08-11-2011	Forsøg 2 d. 08-11-2011	Forsøg 3 d. 23-11-2011
Måletidspunkt	KL.	15³⁰ - 13⁵⁶	15⁰⁹ - 18³²	12³⁰ - 15⁵⁸
Partikler	mg/m ³ (ref)	14,6	8,8	5,7
CO	mg/m ³ (ref)	577	156	403
NO _x	mg/m ³ (ref)	186	221	182
O ₂	vol.-% (tør)	6,3	5,7	4,8
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	130	120	170
Vanddampindhold	vol.-%	23	24	25
Røggastemperatur	°C	102	89	101
Måletidspunkt	KL.	-	-	11⁰⁰ - 17⁰⁰
PCDD/-F (I-TEQ)	ng/m ³ (ref)	-	-	0,006
PAH	µg/m ³ (ref)	-	-	225,1
O ₂	vol.-% (tør)	-	-	4,8

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normaltilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

2. Indledning

AnalyTech Miljølaboratorium A/S har foretaget emissionsmålinger i afkast fra et forsøgsanlæg, bestående af kedel- og forgasningsanlæg. Anlægget er placeret på adressen Ildvedvej 49, 7300 Jelling.

Målingerne er udført den 8. og den 23. november 2011 af Torben, AnalyTech Miljølaboratorium A/S. Afdelingsleder Claus Hyttel Christensen har udarbejdet denne rapport.

Der blev udført målinger for følgende parametre, under følgende forhold, se tabel herunder:

Parameter	
Partikler	Total støv
CO	Kulmonoxid
NO _x	Kvælstofoxider
PCDD/-F (I-TEQ)	Dioxin
PAH	

Som hjælpeparametre blev der målt for lufttemperatur og volumenstrøm.

Målingerne er udført i overensstemmelse med AnalyTechs akkreditering nr. 401 fra DANAK.

Resultatet af målingerne gælder kun for det aktuelle anlæg, den aktuelle produktion og i den aktuelle måleperiode.

3. Målingernes udførelse

3.1 Målingernes formål

Målingernes formål er at dokumentere emissionen af partikler, CO og NO_x ved 3 forskellige driftssituationer hvor brændselstypen ændres. Ved forsøg 3 er der udført en måling for dioxiner og furaner.

3.2 Anlægsbeskrivelse

Forsøgsanlægget består af et forgasningsanlæg tilsluttet en 120kW kedel.

Kedel:

Type: Vitoplex 200
Nr.: 7428-504
Effekt: 120 kW

3.3 Produktionsforhold

Der blev anvendt følgende typer brændsel under de 3 forsøg:

Forsøg 1: Pileflis.
Forsøg 2: 50 % Pileflis, 50% Kød-benmel.
Forsøg 3: Alm. træflis.

3.4 Målestedets indretning

Målingerne er gennemført i et cirkulært, lodrestående kanalstykke, som leder afkastluften til det fri, ca. 1 meter over taget. Kanalens dimension er opmålt til Ø 180 mm. Kanalen er forsynet med 2 stk. 3" målestudse.

Målestedet er indrettet på et lige kanalstykke længere end 1 meter efter en bøjning. Det lige stykke efter målestedet er længere end 3 meter. Målestedet er indrettet efter de vejledende krav, som er angivet i Miljøstyrelsens Vejledning nr. 2, 2001. Målestedets indretning har betydning for målingernes usikkerhed, der er vurderet i afsnit 5.

3.5 Målemetoder

O₂-koncentration: På en tør og partikelfri delgasstrøm bestemmes O₂-koncentrationen med en paramagnetisk monitor. Reference: Reference: Metodeblad nr. MEL-05 fra Miljøstyrelsens Vejledning nr. 2, 2001.

CO-koncentration: På en tør og partikelfri delgasstrøm bestemmes CO-koncentrationen med nondispersiv infrarød (NDIR) monitor. Reference: Metodeblad nr. MEL-06 fra Miljøstyrelsens Vejledning nr. 2, 2001.

NO_x-koncentration: På en tør og partikelfri delgasstrøm bestemmes NO_x-koncentrationen med chemiluminescent monitor. Reference: Metodeblad nr. MEL-03 fra Miljøstyrelsens Vejledning nr. 2, 2001.

Partikler: En delluftstrøm suges isokinetisk gennem et planfilter og gennem et efterfølgende tørretårn med sillicagel. Luften udsuges med en pumpeenhed, der udover en gastæt pumpe består af en kalibreret gasmåler, som har indbygget et flowmeter til regulering af den udsugede mængde og et termometer til måling af lufttemperaturen i gasmåleren.

Ud fra vægtforøgelsen på planfilter, det udsugede volumen og temperaturen på røggassen i gasmåleren er det muligt at beregne indholdet af partikelkoncentrationen i røggassen. Reference: MEL-02.

PCDD/-F, PAH: En delrøggasstrøm udsuges gennem et opvarmet filter. Efter filtret suges røggassen gennem en afkølingsenhed, som afkøler gassen til under 20 C, hvor vanddamp udkondenseres og opsamles. Efter afkølingsenheden sidder den faste adsorbent, hvor dioxiner, PAHer, PCBer på gasform adsorberes. Selve udtagsrøret og filterhuset er et temperaturkontrolleret system. Alle delene, der har kontakt med røggassen til og med sidste del, er opbygget af glas. Røggassen gennem systemet udsuges med en pumpeenhed, der består af en gastæt pumpe og en kalibreret gasmåler. Reference: Metodeblad nr. MEL-15 (PCDD/-F), MEL-10 (PAH) fra Miljøstyrelsens Vejledning nr. 2, 2001.

Lufttemperatur: Måles med en NiCrNi termoføler tilsluttet et digitaltermometer. Visningen aflæses med korte intervaller, eller signalet opsamles på datalogger. Reference: IEC Publication 584-2.

Volumenstrøm: Hastigheden måles via et pitotrør, der er sat i forbindelse med et manometer. Hermed kan det dynamiske tryk aflæses. Målingerne foretages i et antal punkter over kanalværsnittet. Ud fra hastigheden og arealet på måleplanet bestemmes volumenstrømmen. Reference: Miljøstyrelsens Vejledning nr. 2, 2001 og ISO 10780.

4. Resultater

Resultaterne af målingerne ses i nedenstående tabeller. De uafrundede resultater findes i bilag.

Resultaterne af målingerne ved Forsøg 1 er angivet i tabellen herunder.

Forsøg 1 d. 08-11-2011 (brændsel: pileflis)

Parameter	Enhed	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middel
Måletidspunkt	Kl.	10³⁰ - 11³⁰	11⁴² - 12⁴²	12⁵⁶ - 13⁵⁶	10³⁰ - 13⁵⁶
Partikler	mg/m ³ (ref)	14,1	16,8	12,8	14,6
CO	mg/m ³ (ref)	496	730	506	577
NO _x	mg/m ³ (ref)	177	184	196	186
O ₂	vol.-% (tør)	6,5	6,1	6,2	6,3
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	130	110	150	130
Vanddampindhold	vol.-%	21	26	23	23
Røggastemperatur	°C	102	103	102	102

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normalt tilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

Resultaterne af målingerne ved Forsøg 2 er angivet i tabellen herunder.

Forsøg 2 d. 08-11-2011 (brændsel: pileflis / kød-benmel)

Parameter	Enhed	Måling 4	Måling 5	Måling 6	Middel
Måletidspunkt	Kl.	15⁰⁹ - 16⁰⁹	16²¹ - 17²¹	17³² - 18³²	15⁰⁹ - 18³²
Partikler	mg/m ³ (ref)	9,1	5,5	11,9	8,8
CO	mg/m ³ (ref)	82	95	290	156
NO _x	mg/m ³ (ref)	189	180	295	221
O ₂	vol.-% (tør)	5,6	6,3	5,3	5,7
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	120	120	130	120
Vanddampindhold	vol.-%	23	22	26	24
Røggastemperatur	°C	90	88	90	89

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normalt tilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

Resultaterne af målingerne ved Forsøg 3 er angivet i tabellen herunder.

Forsøg 3 d. 23-11-2011 (brændsel: alm. træflis)

Parameter	Enhed	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middel
Måletidspunkt	Kl.	12³⁰ - 13³⁰	13⁵⁰ - 14⁵⁰	14⁵⁸ - 15⁵⁸	12³⁰ - 15⁵⁸
Partikler	mg/m ³ (ref)	4,7	4,6	7,8	5,7
CO	mg/m ³ (ref)	404	401	404	403
NO _x	mg/m ³ (ref)	199	205	142	182
O ₂	vol.-% (tør)	4,8	5,1	4,5	4,8
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	170	170	170	170
Vanddampindhold	vol.-%	25	25	25	25
Røggastemperatur	°C	99	101	102	101
Måletidspunkt dioxin	Kl.	11⁰⁰ - 17⁰⁰	-	-	-
PCDD / F (I-TEQ)	ng m ³ (ref)	0,006	-	-	0,006
PAH	µg m ³ (ref)	225,1			225,1
O ₂	vol.-% (tør)	4,8			4,8

ref angiver koncentrationen ved referencetilstanden, tør røggas ved normalt tilstanden 0°C og 1.013 hPa og et iltindhold i røggassen på 10 vol.-%.

5. Måleusikkerheder

Følgende måleusikkerheder for en enkeltmåling (95%-konfidensniveau) er vurderet på baggrund af målemetoder og målestedernes indretning. Usikkerheden er ydermere afhængig af den målte/fundne mængder.

Parameter	Enhed	Usikkerhed
Partikler	mg/m ³ (ref)	± 15 %
CO	mg/m ³ (ref)	± 10 %
NO _x	mg/m ³ (ref)	± 10 %
Dioxin	ng/m ³ (ref)	± 25 %
PAH	µg/m ³ (ref)	± 25 %
O ₂	vol.-% (tør)	± 10 %
Volumenstrøm	m ³ (n,t)/h	± 15 %
Vanddampindhold	vol.-%	± 15 %*
Røggastemperatur	°C	± 2 °C

(ref) Angiver tør gas ved referencetilstanden 0°C, 101,3 kPa, 10vol.-% ilt og tør røggas.

(*) % relativ

Bilagsoversigt (Bilag ikke omfattet af akkrediteringen)

- Bilag 1:** De uafrunderede resultater af målingerne, **Forsøg 1** (3 sider)
Bilag 2: De uafrunderede resultater af målingerne, **Forsøg 2** (3 sider)
Bilag 3: De uafrunderede resultater af målingerne, **Forsøg 3** (5 sider)

Bilag 1

De uafrundede resultater af målingerne, Forsøg 1 (3 sider)

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg, 1RGI

Måling 1 Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 10:30 | 11:30 **Dato** 08-11-2011

Volumenstrøm 220 m³(drift)/h

Volumenstrøm 130 m³(n,t)/h **O₂** 5,14 vol.-% (våd)

Volumenstrøm 172 m³(ref.)/h

Vanddampindhold 21,0 vol.-% **O₂** 6,50 vol.-% (tør)

Partikel-konc. 10,9 mg/m³(drift)

Røggastemp. 102 C

Partikel-konc. 14,7 mg/m³(n,f)

Partikel-konc. 18,7 mg/m³(n,t) CO-konc. 655,625 mg/m³(n,t)

Partikel-konc. 14,1 mg/m³(ref.) **CO-konc.** 496,3 mg/m³(ref.)

NO_x-konc. 233,5 mg/m³(n,t)

NO_x-konc. 176,7 mg/m³(ref.)

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg, 1RGI

Måling 2 Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 11:42 | 12:42 **Dato** 08-11-2011

Volumenstrøm 200 m³(drift)/h
Volumenstrøm 110 m³(n,t)/h O₂ 4,51 vol.-% (våd)
Volumenstrøm 149 m³(ref.)/h

Vanddampindhold 26,0 vol.-% O₂ 6,10 vol.-% (tør)

Partikel-konc. 12,4 mg/m³(drift)

Røggastemp. 103 C

Partikel-konc. 16,9 mg/m³(n,f)

Partikel-konc. 22,8 mg/m³(n,t) CO-konc. 990,875 mg/m³(n,t)

Partikel-konc. 16,8 mg/m³(ref.) **CO-konc.** 729,8 mg/m³(ref.)

NO_x-konc. 249,7 mg/m³(n,t)

NO_x-konc. 183,9 mg/m³(ref.)

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg, 1RGI

Måling 3 Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 12:56 | 13:56 **Dato** 08-11-2011

Volumenstrøm 250 m³(drift)/h
Volumenstrøm 150 m³(n,t)/h O₂ 4,77 vol.-% (våd)
Volumenstrøm 202 m³(ref.)/h

Vanddampindhold 23,0 vol.-% O₂ 6,20 vol.-% (tør)

Partikel-konc. 9,8 mg/m³(drift)

Røggastemp. 102 C

Partikel-konc. 13,3 mg/m³(n,f)

Partikel-konc. 17,3 mg/m³(n,t)

CO-konc. 682,375 mg/m³(n,t)

Partikel-konc. 12,8 mg/m³(ref.)

CO-konc. 506,0 mg/m³(ref.)

NO_x-konc. 264,5 mg/m³(n,t)

NO_x-konc. 196,1 mg/m³(ref.)

Bilag 2

De uafrundede resultater af målingerne, Forsøg 2 (3 sider)

Kunde	1RGI		
Virksomhed	-		
Anlæg	Forsøgsanlæg, 1RGI		
Måling	4	Ref.	10 O ₂ , vol.-%
Måletidspunkt	15:09 16:09	Dato	23-11-2011
Volumenstrøm	200 m³(drift)/h		
Volumenstrøm	120 m³(n,t)/h	O₂	4,31 vol.-% (våd)
Volumenstrøm	168 m³(ref.)/h		
Vanddampindhold	23,0 vol.-%	O₂	5,60 vol.-% (tør)
Partikel-konc.	7,4 mg/m ³ (drift)	Røggastemp.	90 C
Partikel-konc.	9,8 mg/m ³ (n,f)		
Partikel-konc.	12,7 mg/m ³ (n,t)	CO-konc.	114,75 mg/m ³ (n,t)
Partikel-konc.	9,1 mg/m³(ref.)	CO-konc.	81,8 mg/m³(ref.)
NO _x -konc.	265,5 mg/m ³ (n,t)		
NO_x-konc.	189,1 mg/m³(ref.)		

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg, 1RGI

Måling 5 Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 16:21 | 17:21 **Dato** 23-11-2011

Volumenstrøm 200 m³(drift)/h
Volumenstrøm 120 m³(n,t)/h O₂ 4,91 vol.-% (våd)
Volumenstrøm 161 m³(ref.)/h

Vanddampindhold 22,0 vol.-% O₂ 6,30 vol.-% (tør)

Partikel-konc. 4,4 mg/m³(drift)

Røggastemp. 88 C

Partikel-konc. 5,7 mg/m³(n,f)

Partikel-konc. 7,4 mg/m³(n,t) CO-konc. 127,25 mg/m³(n,t)

Partikel-konc. 5,5 mg/m³(ref.) **CO-konc.** 95,0 mg/m³(ref.)

NO_x-konc. 241,3 mg/m³(n,t)

NO_x-konc. 180,1 mg/m³(ref.)

Kunde **1RGI**
Virksomhed **-**
Anlæg **Forsøgsanlæg, 1RGI**

Måling	6	Ref.	10 O ₂ , vol.-%
Måletidspunkt	17:32 18:32	Dato	23-11-2011
Volumenstrøm	220 m3(drift)/h		
Volumenstrøm	130 m3(n,t)/h	O₂	3,92 vol.-% (våd)
Volumenstrøm	186 m3(ref.)/h		
Vanddampindhold	26,0 vol.-%	O₂	5,30 vol.-% (tør)
Partikel-konc.	9,6 mg/m ³ (drift)	Røggastemp.	90 C
Partikel-konc.	12,6 mg/m ³ (n,f)		
Partikel-konc.	17,0 mg/m ³ (n,t)	CO-konc.	415,25 mg/m ³ (n,t)
Partikel-konc.	11,9 mg/m³(ref.)	CO-konc.	290,1 mg/m³(ref.)
NO _x -konc.	422,1 mg/m ³ (n,t)		
NO_x-konc.	294,9 mg/m³(ref.)		

Bilag 3

De uafrundede resultater af målingerne, Forsøg 3 (5 sider)

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg, 1RGI

Måling	1	Ref.	10	O ₂ , vol.-%
Måletidspunkt	12:30 13:30	Dato	23-11-2011	
Volumenstrøm	310 m3(drift)/h			
Volumenstrøm	170 m3(n,t)/h	O₂	3,60	vol.-% (våd)
Volumenstrøm	251 m3(ref.)/h			
Vanddampindhold	25,0 vol.-%	O₂	4,80	vol.-% (tør)
Partikel-konc.	3,8 mg/m3(drift)			
Partikel-konc.	5,2 mg/m3(n,f)			
Partikel-konc.	6,9 mg/m3(n,t)			
Partikel-konc.	4,7 mg/m3(ref.)	CO-konc.	596,5	mg/m3(n,t)
		CO-konc.	403,8	mg/m3(ref.)
NO _x -konc.	294,6 mg/m3(n,t)			
NO_x-konc.	199,4 mg/m3(ref.)			

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg, 1RGI

Måling 2 Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 13:50 | 14:50 **Dato** 23-11-2011

Volumenstrøm 310 m³(drift)/h
Volumenstrøm 170 m³(n,t)/h O₂ 3,83 vol.-% (våd)
Volumenstrøm 246 m³(ref.)/h

Vanddampindhold 25,0 vol.-% O₂ 5,10 vol.-% (tør)

Partikel-konc. 3,7 mg/m³(drift)

Røggastemp. 101 C

Partikel-konc. 5,0 mg/m³(n,f)

Partikel-konc. 6,6 mg/m³(n,t)

CO-konc. 580,75 mg/m³(n,t)

Partikel-konc. 4,6 mg/m³(ref.)

CO-konc. 400,6 mg/m³(ref.)

NO_x-konc. 297,0 mg/m³(n,t)

NO_x-konc. 204,9 mg/m³(ref.)

Kunde **1RGI**
Virksomhed **-**
Anlæg **Forsøgsanlæg, 1RGI**

Måling 3 Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 14:58 | 15:58 **Dato** 23-11-2011

Volumenstrøm **310 m³(drift)/h**

Volumenstrøm **170 m³(n,t)/h** **O₂** **3,38 vol.-% (våd)**

Volumenstrøm **255 m³(ref.)/h**

Vanddampindhold **25,0 vol.-%** **O₂** **4,50 vol.-% (tør)**

Partikel-konc. 6,5 mg/m³(drift)

Røggastemp. **102 C**

Partikel-konc. 8,8 mg/m³(n,f)

Partikel-konc. 11,7 mg/m³(n,t) CO-konc. 607,375 mg/m³(n,t)

Partikel-konc. **7,8 mg/m³(ref.)** **CO-konc.** **403,7 mg/m³(ref.)**

NO_x-konc. 213,4 mg/m³(n,t)

NO_x-konc. **141,8 mg/m³(ref.)**

Kunde	IRGI		
Virksomhed	-		
Anlæg	Forsøgsanlæg IRGI		
Måling	Dioxin	Ref.	10 O ₂ , vol.-%
Måletidspunkt	11:00 17:00	Dato	23-11-2011
Volumenstrøm	400 m³(drift)/h		
Volumenstrøm	200 m³(n,t)/h	O₂	3,60 vol.-% (våd)
Volumenstrøm	300 m³(ref.)/h		
Vanddampindhold	25,0 vol.-%	O₂	4,80 vol.-% (tør)
Dioxin-konc.	0,0045 ng/m ³ (drift)	Røggastemp.	100 C
Dioxin-konc.	0,0061 ng/m ³ (n,f)		
Dioxin-konc.	0,0082 ng/m ³ (n,t)	CO-konc.	640,75 mg/m ³ (n,t)
Dioxin-konc.	0,0055 ng/m³(ref.)	CO-konc.	433,8 mg/m³(ref.)

Kunde 1RGI
Virksomhed -
Anlæg Forsøgsanlæg 1RGI

Måling PAH Ref. 10 O₂, vol.-%

Måletidspunkt 11:00 | 17:00 **Dato** 23-11-2011

Volumenstrøm 400 m³(drift)/h
Volumenstrøm 200 m³(n,t)/h O₂ 3,60 vol.-% (våd)
Volumenstrøm 300 m³(ref.)/h

Vanddampindhold 25,0 vol.-% O₂ 4,80 vol.-% (tør)

PAH-konc. 184236,99 ng/m³(drift)

Røggastemp. 100 C

PAH-konc. 249323,95 ng/m³(n,f)

PAH-konc. 332431,93 ng/m³(n,t)

CO-konc. 640,75 mg/m³(n,t)

PAH-konc. 225062,61 ng/m³(ref.)

CO-konc. 433,8 mg/m³(ref.)

Bilag 2:

	selected	TEF-luftvejl.	BaP
Naphtalene	n	749.600	
Acenaphtylene	n	79.800	0,001
Acenaphtene	y	29.500	0,001
Fluorene	y	133.100	0,0005
Phenanthrene	y	427.100	0,0005
Anthracene	n	73.300	0,0005
Fluoranthene	y	250.800	0,05
Pyrene	y	228.800	0,001
Benzo(a)anthracene	n	60.000	0,005
Chrysene	n	63.800	0,03
Benzofluoranthenes b + j	y	11.900	0,1
Benzo(k)fluoranthene	y	3.800	0,05
Benzo(a)pyrene (BaP)	y	4.500	1
Ideno(1,2,3)pyrene	y	1.400	0,1
Benzo(g,h,i)perylene	y	970	0,01
Dibenzo(a,h)anthracene	n	270	1,1
total		2.118.640	21736
total - Naphtalene		1.369.040	21736
total selected		1.091.870	19108

Omregning til BaP efter værdier angivet i Luftvejledningen / Ref 2 /

BLE – Biomass Low Emission

Forgasning af biomasse i en modstrømsforgasser kan reducere emissioner af specielt partikler til luften i forhold til ved forbrænding i traditionelle riste anlæg.

Der er i projektet gennemført forsøg med forgasning af biomasse (pil, kød- og benmel og skovflis) i et 100 kW anlæg.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

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

www.mst.dk