



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Verifikation og videreudvikling af biomasseovn med meget lave NO_x- og støv-emissioner

Miljøprojekt nr. 1883

September 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Jens Dall Bentzen, Dall Energy

Grafiker/bureau: Marusa Design

Fotos: Jens Dall Bentzen, Dall Energy

ISBN: 978-87-93529-13-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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	4
Sammenfatning og konklusion.....	6
1.1 Aktivitet 1: Detaljeret verifikation af biomasseovn på Bogense Fjernvarme ved fyring med træflis.....	6
1.1.1 Målinger i skorsten	7
1.2 Aktivitet 2: Verifikation af et videreudviklet 2 MW anlæg på Warwick Mills (USA) og 9 MW anlæg på Sønderborg Fjernvarme	7
1.2.1 Resultater og konklusion - Warwick Mills.	7
1.2.2 Resultater og konklusion - Sønderborg Fjernvarme	8
1.2.3 Samlede resultater	8
1.2.4 Samlet konklusion.....	10
Summary and Conclusion	12
1.3 Activity 1. Detailed verification of emissions of the Dall Energy biomass furnace in Bogense	12
1.3.1 Measurements in the chimney	13
1.4 Activity 2: Verification of a further developed 2 MW plant on Warwick Mills (USA) and 9 MW plant on Sønderborg district heating company.....	13
1.4.1 Results and conclusions - Warwick Mills.....	14
1.4.2 Results and conclusion - Sønderborg district heating company.....	14
1.4.3 Total results.....	15
1.4.4 Total conclusion	17
2. Baggrund og formål	18
2.1 Baggrund	18
2.2 Formål	18
2.3 Forventede miljømæssige effekter	18
2.4 Forbrændingsteori	19
2.4.1 NO _x (Kvælstof oxider)	19
2.4.2 CO (Carbon Monoxid).....	19
2.4.3 Støv	19
3. Princip for Dall Energy ovn.....	20
3.1 Emissioner fra biomasse forbrændings anlæg.....	20
3.2 Traditionel biomasse forbrændingsteknologi.....	20
3.2.1 NO _x dannelse på rist	20
3.2.2 Støv dannelse på rist	21
3.2.3 Dellast	21
3.3 Dall Energy multibrændselsovn	21
3.3.1 Modstrømsforgasser.	21
4. Bogense ovn og målinger	23
4.1 Verifikation af forbrændings koncept	23
4.2 Aftale med Bogense Fjernvarme	23
4.3 Design af 8 MW ovn.....	24
4.4 Indkøring af ovn.....	25
4.5 Resultater fra ovn i Bogense.....	27

5. Videreudvikling af Dall Energy ovn	30
6. Warwick Mills ovn og målinger.....	32
6.1 Warwick Mills krav til et biomasse anlæg.....	32
6.2 Idriftsættelse og måleprogram	34
7. Sønderborg ovn og målinger.....	36
7.1 Sønderborg Fjernvarmes krav til et biomasse anlæg.	36
7.2 Aftale med Sønderborg Fjernvarme.....	36
7.3 Idriftsættelse og måleprogram	38
8. Konklusion.....	39
8.1 Emissioner af Støv, NO _x og CO	39
8.1.1 Støv indhold i afgangsluften fra ovnene.....	39
8.1.2 Støv emission i skorsten	39
8.1.3 NO _x emissioner	40
8.1.4 CO emissioner	40
8.2 Øvrige konklusioner.....	42
8.2.1 Destruktion af VOC.....	42
8.2.2 SO ₂ , HCl, HF, Dioxin, Naphtalen og PAHér.....	42
Referencer	43
Bilag 1: Målinger på ovnen på Bogense Fjernvarme	44
Bilag 2: Målinger på ovnen på Warwick Mills.....	45
Bilag 3: Målinger på ovnen på Sønderborg Fjernvarme.....	46

Forord

Nærværende projekt er gennemført med økonomisk støtte fra Miljøministeriets tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi. Tilskudsordningen har til formål er at skabe bedre rammer for danske virksomheders udvikling af miljøeffektiv teknologi. Indsatsen er målrettet konkurrencedygtige og innovative løsninger på væsentlige globalt udbredte miljøudfordringer.

I 2010 indkaldte Miljøministeriet til ansøgninger på projekter, der kunne opnå reduktioner af luftforureningen fra biomassefyrede energianlæg. Der kunne søges tilskud til projekter, som omfattede udvikling, test og/eller demonstration af teknologier til at begrænse udledninger af specielt NO_x og partikler fra fyringsanlæg, der anvender biomasse som brændsel (> 1 MW).

Som eksempel i opslaget blev der nævnt forgasningsteknologier, hvis de kan medvirke til at begrænse miljøpåvirkningen ved anvendelse af biobrændsler.

Der var fokus på emissionerne, idet EU's regler for emissioner fra større fyringsanlæg forventedes at blive strammet med virkning fra 2016, hvilket også ville omfatte stramminger for biomassefyrede værker. Dette er sket med direktiv 2010/75/EU. Efterfølgende har EU gennemført regler for mindre fyringsanlæg på mellem 1 og 50 MW i form af et direktiv om emissioner fra mellemstore fyringsanlæg, som blev vedtaget i november 2015. [1]. Direktivets emissionsgrænseværdier for støv og NO_x fremgår af tabel 1.

TABEL 1.
EMISSIONSGRÆNSEVÆRDIER FOR STØV OG NO_x I EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV OM BEGRÆNSNING AF VISSE LUFTFORURENENDE EMISSIONER FRA MELLEMLØSE FYRINGSANLÆG (2015/2193/EU) AF 25. NOVEMBER 2015.

Anlæg	Forurenende stof	Grænseværdi ved fyring med fast biomasse (mg/Nm ³)
Nye	NO _x	300
Eksisterende	NO _x	650
Nye	Partikler	20 (1)
Eksisterende	Partikler	30 (2)

(1) 50 mg/Nm³ for anlæg med en indfyret termisk effekt på mindre end eller lig med 5 MW.

(2) 50 mg/Nm³ for anlæg med en indfyret termisk effekt på mindre end eller lig med 20 MW.

Der er med de fremtidige skrappe grænseværdier for fyringsanlæg skabt yderligere behov for teknologier, der effektivt kan bidrage til, at emissionerne reduceres.

Dall Energy havde i 2008 udviklet og patent-anmeldt et koncept for forbrænding af biomasse som skulle give lave emissioner af NO_x og partikler. Herudover var formålet med konceptet at mange typer biomasse skulle kunne afbrændes i den samme ovn. Det nye forbrændingskoncept blev eftervist i 2009/10 og i 2011/12 blev et fuldskala demonstrationsanlæg etableret af Bogense Fjernvarme. Begge projekter var støttet af EUDP (Energistyrelsens Udviklings- og Demonstrations Program).

Dette var baggrunden for ansøgningen til Miljøministeriets tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi af projektet ”Verifikation og videreudvikling af multibrændselsovn med meget lave NOx og støvemissioner”

Miljøstyrelsen har støttet verifikationen af det første fuldskala demonstrationsanlæg på fjernvarmeværket i Bogense gennem en ETV (Environmental Technical Verification) samt verifikationen af en videreudviklet ovn på henholdsvis Warwick Mills USA og Sønderborg Fjernvarme.

Verifikationen af de tre ovne kan deles op i følgende fokus områder:

Aktivitet 1 - ETV

- Bogense – fuld verifikation inklusiv NOx, Støv, CO, Dioxin, PAH og cadmium

Aktivitet 2 - Efter redesign af tilførslen af forbrændingsluft

- Sønderborg – Fokus på NOx og støv
- Warwick – Fokus på NOx, støv og VOC

Projektet er gennemført med velvillig bistand fra:

- Bogense Fjernvarme – Driftschef Peter Lind
- Warwick Mills – Ejer og plant manager Charlie Howland
- Sønderborg Fjernvarme – Direktør Erik Wolff
- Force Technology – Ole Schleicher, Steen Meldorf og Marianne Ørbæk
- CEMServices, Inc. - Chris Cutting
- Dgtek - Morten Fruth

Tak til alle der har bidraget.

Jens Dall Bentzen / Dall Energy 14. april 2016

Sammenfatning og konklusion

Dette projekt har haft til formål at undersøge om Dall Energys forbrændingsteknologi rummer nye muligheder for forbrænding af biomasse med meget lave emissioner.

Projektet var opdelt i to aktiviteter:

- Aktivitet 1. Detaljeret verifikation af og emissionsmålinger på biomasseovn på Bogense Fjernvarme ved fyring med træflis
- Aktivitet 2. Skulle aftales nærmere med Miljøstyrelsen efter aktivitet 1.

1.1 Aktivitet 1: Detaljeret verifikation af biomasseovn på Bogense Fjernvarme ved fyring med træflis

Aktivitet 1 foregik på Bogense Fjernvarme i forlængelse af det EUDP støttede demonstrationsprojekt ” Multi brændselsovn – Demonstrationsprojekt” [5].

Måleprogrammet på Bogense Fjernvarme blev gennemført som en ETV (Environmental Technology Verification). ETV udføres af en uvildig 3. part for at dokumentere et produkts funktion og effektivitet [6].

FORCE Technology gennemførte den 12. marts 2012 et måleprogram på såvel fuld last (100%) og dellast (20%).

TABEL 2
MÅLINGER AF RØGGASSEN DIREKTE EFTER OVNE I BOGENSE.

Parameter	Enhed	Gennemsnit af 3 målinger	Gennemsnit af 3 målinger
Last	%	100	20
Dato	dd-mm-åå	20-03-2012	20-03-2012
Måleperiode	tt:mm	11:12 - 14:22	16:44 - 20:00
Temperatur	°C	958	845
O ₂	Vol % (tør)	4.88	5.25
H ₂ O	Vol %	38.0	32.4
CO	mg/m ³ (ref)	< 2	< 2
NO _x	mg/m ³ (ref)	200	140
Partikler	mg/m ³ (ref)	69	64

Målingerne viste at både støv- og CO indholdet i afgangsrøgen fra ovnen var ekstremt lave, både ved 100% og 20% last. Støv indholdet var 93-97% lavere end fra ristefyrede ovne (se figur 1), mens CO indholdet var under detektionsgrænsen (2 mg/Nm³). Traditionelle ovne har meget høje CO koncentrationer (>500mg/Nm³) ved 20% last. NO_x indholdet i afgangsrøgen fra ovnen var både ved 100% og 20 % last som på traditionelle biomassefyrede ovne.

1.1.1 Målinger i skorsten

Der blev også foretaget emissionsmålinger i skorstenen. Resultaterne ses i tabellen herunder

TABEL 3
MÅLINGER PÅ RØGGAS I SKORSTEN VED 20% OG 100% LAST, 2012

Parameter	Enhed	Målte værdier		danske grænseværdier*
Last		100%	20%	
Temperatur	°C	42	44	
O ₂	Vol%, tør	4,94	5,04	
Strømningsmængde	m ³ (tør,st)**/t	6400	2200	
Koncentrationer				
CO	mg/m ³ (ref)	3,8	0,86	625
NO _x (Udregnet som NO ₂)	mg/m ³ (ref)	200	180	300
Partikler	mg/m ³ (ref)	29	15	100
SO ₂	mg/m ³ (ref)	<2	<2	
HCl	mg/m ³ (ref)	<2	<2	
HF	mg/m ³ (ref)	<1	<1	
Cd	mg/m ³ (ref)	0,0052	0,0010	0,3

* Bekendtgørelse 682 af 18/06/2014

** (tør, st) står for tør gas ved standard betingelser (0°C, 101,3 kPa) og 10%O₂.

1.2 Aktivitet 2: Verifikation af et videreudviklet 2 MW anlæg på Warwick Mills (USA) og 9 MW anlæg på Sønderborg Fjernvarme

Målsætningen om lav NO_x emission blev ikke opfyldt på Bogense anlægget, derfor besluttede Dall Energy at videreudvikle multibrændselsovnene med henblik på lavere NO_x emissioner.

Det blev derfor aftalt med Miljøstyrelsen, at aktivitet 2 skulle omfatte verifikation af den videreudviklede ovn. I aktivitet 2 skulle der gennemføres akkrediterede målinger ved fuld last af støv, CO og NO_x emissioner efter ovnene på Warwick Mills og på Sønderborg fjernvarme.

Dall Energy indgik aftaler med en virksomhed i USA "Warwick Mills" om et anlæg på 2 MW og med Sønderborg Fjernvarme om et anlæg på 9 MW.

Både Warwick Mills anlægget og Sønderborg Fjernvarme anlægget blev designet med en skrubber som røggasrensning, så grænseværdier for støv gælder for anlæg, der anvender vådrengningsanlæg.

1.2.1 Resultater og konklusion - Warwick Mills.

Ovnen på Warwick Mills har flere funktioner:

- Producere energi (damp) til fabrikken
- Destruere VOC (Volatile Organic Compounds) fra ventilationsluft fra fabrikken. Ventilationsluften fra fabrikken bliver brugt som forbrændingsluft i ovnen. Kravet til VOC destruktion er 98%.

Anlægget blev etableret i 2013, og sat i drift i sommeren 2014.

Måleprogrammet blev gennemført 30. september og 1. oktober 2014, og omfattede foruden målinger af støv, CO og NO_x også målinger af VOC i forbrændingsluften og efter ovnen. Der blev lavet to sæt målinger: Høj og lav VOC koncentration i forbrændingsluften.

TABEL 4
MÅLINGER AF RØGGASSEN I SKORSTENEN EFTER WARWICK ANLÆGGET OG DANSKE
GRÆNSEVÆRDIER

Parameter	Enhed	Lav VOC koncentration	Høj VOC koncentration	Danske grænseværdier ¹
Støv	mg/m ³ (ref)	-	7	100*
CO	mg/m ³ (ref)	10	60	100
NO _x	mg/m ³ (ref)	80	54	200
VOC destruction	%	99,87	99,98	99

*Grænseværdi for støv er i henhold til Bekendtgørelse 682 af 18/06/2014, som gælder flisforbrændingsanlæg med våd røggasrensning.

Konklusion:

Støvemissionerne var meget lave for et biomasse anlæg. Der er røggasvasker, men ikke cyklon, posefilter eller elfilter efter ovnen.

CO emissionerne var højere end i Bogense, hvilket formentlig skyldes at VOC omdannes til CO inden det oxideres videre til CO₂, og når der er store mængder VOC bliver der dannet store mængder CO i ovnen.

NO_x emissionerne var meget lave for et biomasse anlæg.

VOC destruktionsgraden var meget høj: Multibrændselsovnen kan således benyttes som "Thermal oxidizer" på industrivirksomheder.

1.2.2 Resultater og konklusion - Sønderborg Fjernvarme

Ovnen hos Sønderborg Fjernvarme producerer fjernvarme til Vollerup og Hørup Hav. Anlægget blev etableret i 2014. Indkøring af anlægget startede i januar 2015.

Måleprogrammet blev gennemført d. 30. marts 2015, og omfattede målinger af støv direkte efter ovnen og i skorstenen samt CO og NO_x i skorstenen.

TABEL 5
MÅLINGER AF RØGGASSEN DIREKTE EFTER OVN OG I SKORSTEN

Parameter	Enhed	Direkte efter ovn	I skorsten	Danske grænseværdier
Støv	mg/m ³ (ref)	32	14	100
CO	mg/m ³ (ref)	-	5	625
NO _x	mg/m ³ (ref)	-	151	300

Konklusion:

Støv og CO emissionerne var meget lave for et biomasse anlæg.

NO_x emissionerne var lave, men ikke usædvanligt lave for i forhold til traditionelle ovne.

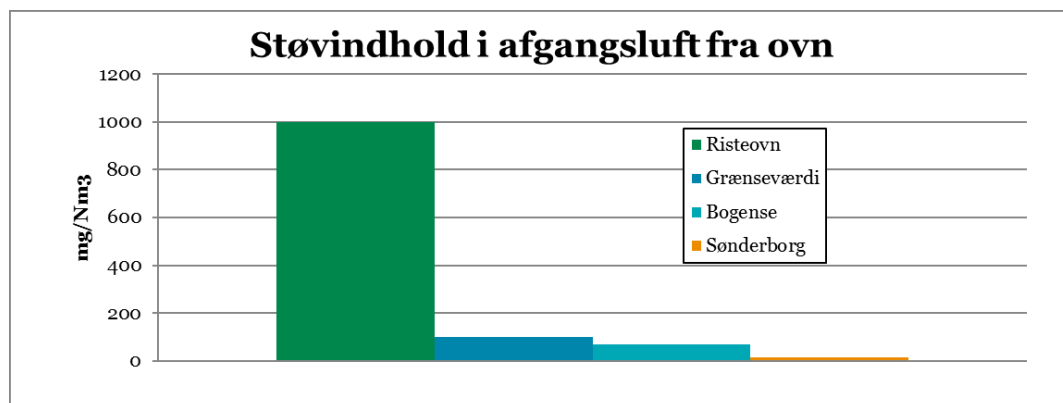
1.2.3 Samlede resultater

De væsentligste resultater fra projektet præsenteres i nedenstående figurer.

Figur 1 viser støv mængde målt direkte efter ovnene før skrubber i hhv. Bogense og Sønderborg, sammenholdt med typisk støvmængde efter ristefyret ovn sammenholdt med den danske grænseværdi for støvemissioner til luften.

¹ Luftvejledningen kapitel 10

Figur 2 viser emissioner målt i skorsten på de tre anlæg ved fuld last, sammenholdt med gældende danske grænseværdier.



FIGUR 1
STØV MÆNGDE MÅLT DIREKTE EFTER OVNENE FØR SKRUBBER I HHV. BOGENSE OG SØNDERBORG, SAMMENHOLDT MED TYPISK STØVMÆNGDE EFTER RISTEFYRET OVN SAMMENHOLDT MED DEN DANSKE GRÆNSEVÆRDI FOR STØVEMISSIONER TIL LUFTEN.

Indhold af støv, NO_x og CO i røggassen ved afgang fra forbrændingskammeret på henholdsvis en ristefyret ovn og en Dall Energy ovn er sammenholdt herunder:

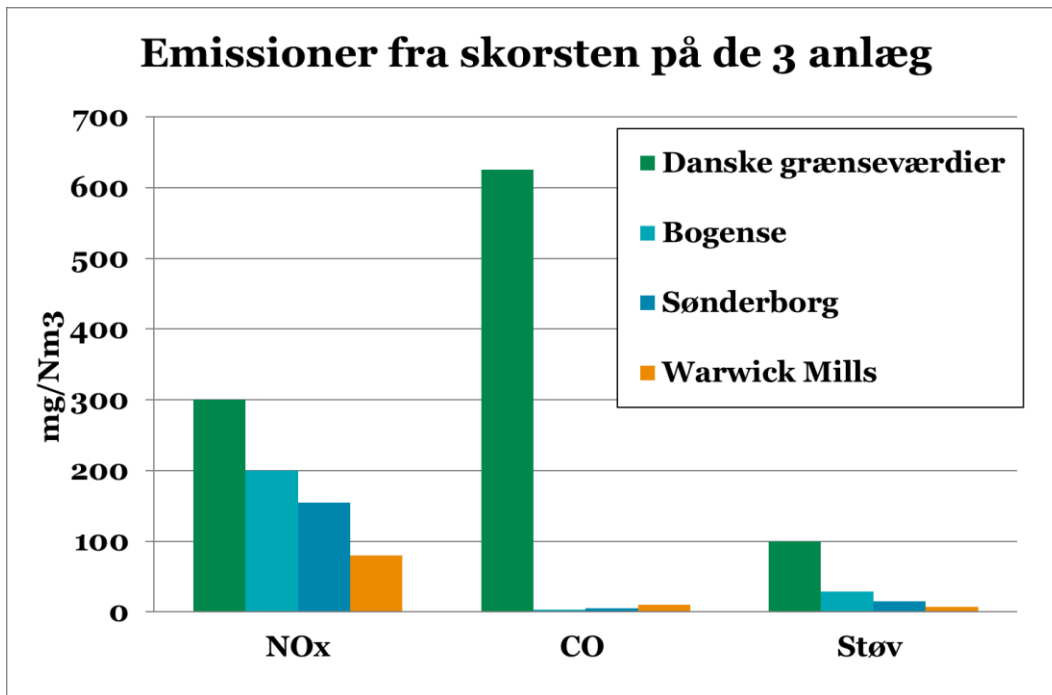
TABEL 6
UDLEDNINGER FRA BIOMASSE OVNE

100% last	Ristefyret ovn	Dall Energy
Støv (mg/Nm ³)[2]	1000	<50
NO _x (mg/Nm ³)[3]	150-400	<150
CO (mg/Nm ³)[3]	50-400	<10
20% last		
Støv (mg/Nm ³)	500	<40
NO _x (mg/Nm ³)	200	<140
CO (mg/Nm ³)	500-1000	<10

Det ses af tabel 6, at indholdet af støv er ca. 95% lavere efter en Dall Energy ovn ved fuldlast og ca. 90% lavere ved dellast.

Det ses endvidere at indholdet af CO er markant lavere – over 98% lavere - efter en Dall Energy ovn ved dellast.

NO_x emissioner og CO emissioner ved fuldlast er lidt lavere end på ristefyrede ovne.



FIGUR 2
EMISSIONER MÅLT I SKORSTEN PÅ DE TRE ANLÆG VED FULD LAST, SAMMENHOLDT MED GÆLDENDE DANSKE GRÆNSEVÆRDIER

TABEL 7
EMISSIONSGRÆNSEVÆRDIER (MG/NM³) FOR MELLEMSTORE BIOMASSEANLÆG MED RØGGASKONDENSERING

	2015 Danske grænseværdier	2020 (EU-direktiv om begrænsning af visse luftforurenende emissioner fra mellemstore fyringsanlæg) [1]
Støv (mg/Nm ³)	<100	<20
NOx (mg/Nm ³)	<300	<300
CO (mg/Nm ³)	<625	

*Bekendtgørelse 682 af 18/06/2014

1.2.4 Samlet konklusion

Samlet set kan det konkluderes, at Dall Energys forbrændingsteknologi medfører lave emissioner af støv, CO og NOx ved anvendelse af flis som brændsel.

Del-konklusion for støv:

Dall Energy ovnen har omkring 93-97% mindre støvindhold i luften ud af ovnen end traditionelle ristefyrede ovne.

Biomasse anlæg, der benytter en Dall Energy ovn, har meget lavere støv emission end gældende lovgivning kræver, og også lavere støv emission end grænseværdierne i EU direktivet om emissioner fra mellemstore fyringsanlæg.

Del-konklusion for NO_x:

Biomasse anlæg, der benytter en Dall Energy ovn kan overholde de gældende emissionsgrænseværdier og grænseværdierne i EU direktivet om emissioner fra mellemstore fyringsanlæg. NO_x emissionen på 2. generationsanlæggene i hhv. Warwick Mills og Sønderborg var 25-75% lavere end NO_x emissionen på 1. generation anlægget (Bogense).

Del-konklusion for CO:

Det fremgår af målingerne på Bogense anlægget (Tabel 3) at CO på det nærmeste udbrændes totalt i Dall Energy ovnen, og at der stort set ikke er CO tilbage. I Sønderborg, hvor det nyeste anlæg er etableret, målte CO emissioner på 5mg/Nm³.

Der er dermed ingen problemer med at overholde grænseværdien på 625 mg/Nm³.

Del-konklusion for VOC destruktionsgrad:

Målingerne for VOC viste en

destruktionsgrad på 99,98% ved høj VOC tilførsel og 99,87% ved lav VOC tilførsel.

Der er ingen problemer med at overholde grænseværdierne i luftvejledningens kapitel 10, som beskriver emissionsgrænseværdier og kontrolregler for termiske og katalytiske oxidationsanlæg til destruktionsgrad af organiske opløsningsmidler (se tabel 4).

Summary and Conclusion

The purpose of this project was to investigate if the Dall Energy combustion technology contains new opportunities for combustion of biomass with very low emissions.

The project was divided into two activities:

- Activity 1. Detailed verification of emissions of the Dall Energy biomass furnace at Bogense district heating company when firing with wood chips.
- Activity 2. Should be agreed with the Environmental Agency after activity 1.

1.3 Activity 1. Detailed verification of emissions of the Dall Energy biomass furnace in Bogense

Activity 1 was done in collaboration with Bogense district heating company, as an extension of the demonstration project "Multifuel biomass furnace - Demonstration project" [5], which was supported by EUDP.

The emission test was made as an ETV (Environmental Technology Verification). ETV is a verification by an independent body for documentation of the function and efficiency of a product [6].

On March 20, 2012, FORCE Technology made emission measurements both on full load (100%) and on partial load (20%).

TABLE 1
MEASUREMENTS OF THE FLUE GAS DIRECTLY AFTER THE FURNACE IN BOGENSE.

Parameter	Unit	Average	Average
Load	%	100	20
Date	Day-month-year	20-03-2012	20-03-2012
Measuring period	hh:mm	11:12 - 14:22	16:44 - 20:00
Temperature	°C	958	845
O ₂	Vol % (dry)	4.88	5.25
H ₂ O	Vol %	38.0	32.4
CO	mg/m ³ (ref)	< 2	< 2
NO _x	mg/m ³ (ref)	200	140
Partikler	mg/m ³ (ref)	69	64

The measurements showed that the content of both dust and CO in the flue gas directly out of the furnace was extremely low both at 100% and at 20% load.

The content of dust was 93-97% lower than from grate fired furnaces (figure 1), while the content of CO was under the detection limit (2 mg/Nm³). Traditional furnaces have very high concentrations of CO (>500mg/Nm³) at 20% load.

The content of NOx in the emissions directly out of the furnace was both at 100% and at 20% load as the traditional biomass fired furnaces.

1.3.1 Measurements in the chimney

Emission measurements in the chimney were also conducted. The results are presented in the table below.

TABLE 2
MEASUREMENTS OF FLUE GAS IN THE CHIMNEY AT 20% AND 100% LOAD, MARCH 20, 2012

Parameter	Unit	Measured values		Danish emission limits *
Load		100%	20%	
Temperature	°C	42	44	
O₂	Vol%, dry	4,94	5,04	
Flowrate	m ³ (tør,st)**/t	6400	2200	
Concentrations				
CO	mg/m ³ (ref)	3,8	0,86	625
NOx (calculated as NO₂)	mg/m ³ (ref)	200	180	300
Particles	mg/m ³ (ref)	29	15	100
SO₂	mg/m ³ (ref)	<2	<2	
HCl	mg/m ³ (ref)	<2	<2	
HF	mg/m ³ (ref)	<1	<1	
Cd	mg/m ³ (ref)	0,0052	0,0010	0,3

* Notice 682 of 18/06/2014

** (dry, st) is dry gas at standard conditions (0°C, 101,3 kPa) and 10%O₂.

1.4 Activity 2: Verification of a further developed 2 MW plant on Warwick Mills (USA) and 9 MW plant on Sønderborg district heating company.

The goal of low NOx emission was not achieved on the Bogense plant. Therefore, Dall Energy wanted to further develop the technology towards lower NOx emissions.

On a meeting with the Environmental Agency it was agreed, that activity 2 should focus on verification of the next generation furnace: In activity 2, there shall be made emission tests by verified independent bodies at full load where dust, CO and NOx emissions are measured after the plants at Warwick Mills and Sønderborg district heating company.

Dall Energy made agreements with an industrial company in USA "Warwick Mills" about a 2 MW plant and with Sønderborg Fjernvarme about a 9 MW plant.

Both the Warwick Mills plant and the Sønderborg plant was designed with a scrubber as gas cleaning so limits for dust applies for plants that uses wet flue gas cleaning.

1.4.1 Results and conclusions - Warwick Mills.

The Furnace at Warwick Mills has multiple purposes:

- Produce energy (steam) for the factory
- Destruct VOC (Volatile Organic Compounds) from ventilation air from factory. The ventilation air from the factory is being used as combustion air in the furnace. The demand for destruction efficiency is 98%.

The plant was established in 2013, and put into operation in the summer 2014.

The emission test program was made on September 30 and October 1, 2014, and comprised besides dust, CO and NO_x also measurements of VOC in the combustion air, and after the Furnace. Two set of measurements was made: High and low VOC concentration in the combustion air.

TABLE 3. MEASUREMENTS OF THE FLUE GAS IN THE CHIMNEY AFTER THE WARWICK PLANT AND DANISH EMISSION LIMITS

Parameter	Unit	Low VOC concentration	High VOC concentration	Danish limits ²
Dust	mg/m ³ (ref)	-	7	100*
CO	mg/m ³ (ref)	10	60	100
NO _x	mg/m ³ (ref)	80	54	200
VOC destruction	%	99,87	99,98	99

*Limit for dust according to Notice 682 of 18/06/2014, for wood chip combustion with wet flue gas cleaning.

Conclusion:

The dust emissions were very low for a biomass plant. The only gas cleaning is the flue gas scrubber. There is no cyclone, bag filter or electrostatic filter after the furnace.

The CO emissions were higher than in Bogense, which is caused by the fact that VOC is decomposed into CO before it oxidizes into CO₂. So especially at high VOC load is there CO in the stack gas.

The NO_x emissions were ultra-low for a biomass plant.

The VOC destruction efficiency was ultra-high: The Dall Energy biomass furnace can be used as a “thermal oxidizer” on industrial plants.

1.4.2 Results and conclusion - Sønderborg district heating company

The Furnace at Sønderborg Fjernvarme produces district heat to Vollerup and Hørup Hav. The plant was established in 2014. The commissioning started in January 2015.

The measurement program was done on March 30 2015, and comprised dust measurements directly after the furnace and in the chimney, and CO and NO_x in the chimney.

² “Luftvejledningen” chapter 10

TABLE 4
MEASUREMENTS OF FLUE GAS DIRECTLY AFTER THE FURNACE AND IN THE CHIMNEY

Parameter	Unit	Directly after furnace	In chimney	Danish limits
Dust	mg/m ³ (ref)	32	14	100
CO	mg/m ³ (ref)	-	5	625
NO _x	mg/m ³ (ref)	-	151	300

Conclusion:

The dust and CO emissions was ultra-low for a biomass plant

The NO_x emissions were low, but not unusual low compared to traditional furnaces.

1.4.3 Overall results

The most important results of the project are presented in the figures below:

Figure 1 shows the amount of dust directly after the furnaces before scrubber in respectively Bogense and Sønderborg in conjunction to the typical amount of dust after a grate fired furnace compared to the Danish limit for dust emissions in the air.

Figure 2 shows emissions measured in chimney on the three plants with fully load compared to Danish limits.

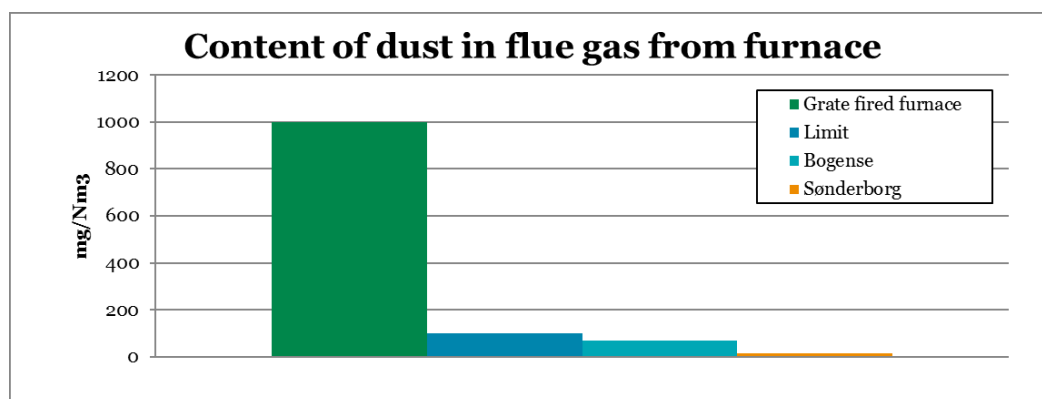


FIGURE 1
CONTENT OF DUST MEASURED DIRECTLY AFTER THE FURNACES BEFORE THE SCRUBBER IN BOGENSE AND SØNDERBORG, COMPARED WITH TYPICAL DUST LOAD AFTER GRATE FIRED COMBUSTION, AND COMPARED WITH DANISH EMISSION LIMITS FOR DUST EMISSIONS TO THE ATMOSPHERE.

The content of dust, NO_x and CO in the gas when exiting the combustion chamber on respectively a grate fired furnace and a Dall Energy furnace is compared below:

TABLE 5
EMISSIONS FROM BIOMASS FURNACES

100% load	Gratefired furnace	Dall Energy furnace
Dust (mg/Nm ³)[2]	1000	<50
NOx (mg/Nm ³)[3]	150-400	<150
CO (mg/Nm ³)[3]	50-400	<10

20% load	Gratefired furnace	Dall Energy furnace
Dust (mg/Nm ³)	500	<40
NOx (mg/Nm ³)	200	<140
CO (mg/Nm ³)	500-1000	<10

According to table 6 the content of dust is app. 95% lower after a Dall Energy furnace at high load and app. 90% lower at low load.

Furthermore it appears that the content of CO is remarkable lower - more than 98% lower - after a Dall Energy furnace at low load.

NOx emissions and CO emissions at high load is a bit lower than on grate fired furnaces.

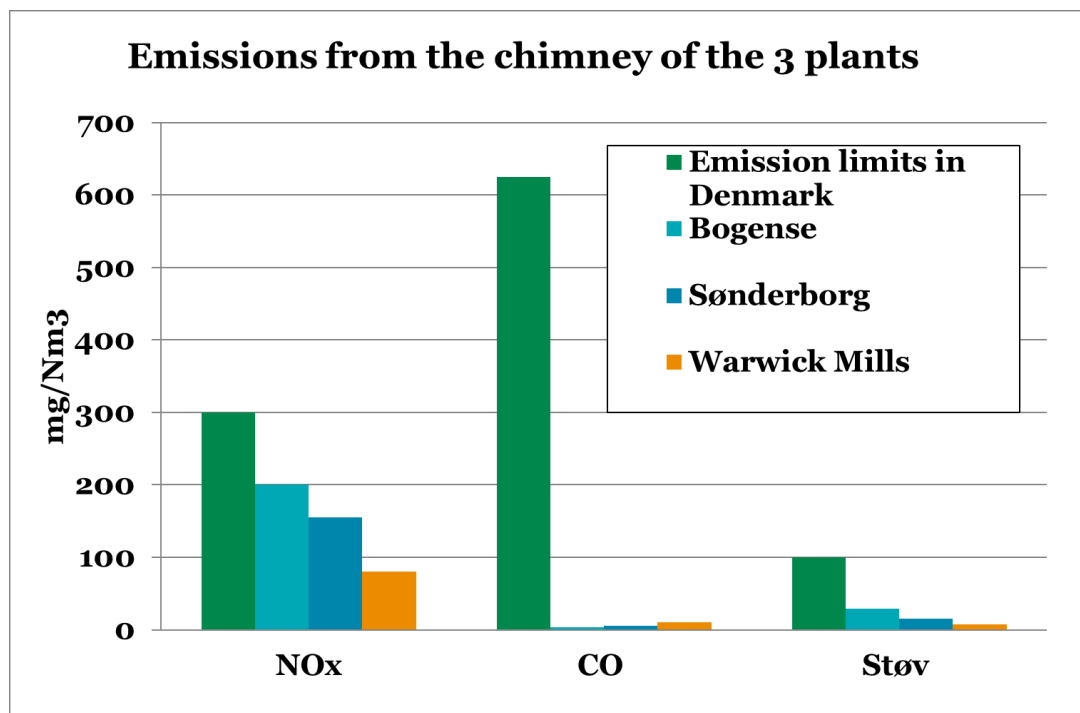


FIGURE 2
EMISSIONS MEASURED IN CHIMNEY ON THE THREE PLANTS AT FULL LOAD, COMPARED WITH EXISTING DANISH LIMITS.

TABLE 6
EMISSIONSLIMITS (MG/NM³) FOR MEDIUM SIZED BIOMASS PLANTS WITH FLUE GAS CONDENSING

	2015 Danish	2020 (Medium Combustion Plant Directive) [1]
Dust (mg/Nm ³)	<100	<20
NOx (mg/Nm ³)	<300	<300
CO (mg/Nm ³)	<625	

*Notice 682 of 18/06/2014

1.4.4 Overall conclusion

All in all it can be concluded that the Dall Energy combustion technology causes low emissions of dust, CO and NOx when using wood chips as fuel.

Conclusion for dust:

The Dall Energy furnace produces about 93-97% less dust than grate fired furnaces. Biomass plants that use Dall Energy furnace have a significant lower dust emission than the emission limit required and even lower dust emission than the new EU directive about emissions from medium sized combustion plants suggests.

Conclusion for NOx:

Biomass plants that use Dall Energy furnace can comply the currently emission limits and the limits in the EU directive about emissions from medium sized combustion plants.

It can be concluded that NOx emissions of the 2. Generation plants at Warwick Mills and Sønderborg was 25-75% lower than NOx emissions on the 1. Generation plant (Bogense).

Conclusion for CO:

From the measurements on the Bogense plant it appears (Table 3) that CO is completely oxidized in the Dall Energy furnace and that there is almost no CO left. In Sønderborg which is the latest plant established, was CO emissions 5mg/Nm³.

Therefore it is no problem to comply the limit at 625mg/Nm³.

Conclusion for VOC:

The measurements for VOC showed a destruction degree at 99,98% at high supply of VOC and 99,87% at low supply of VOC.

There is no problems at complying the limits in the Danish legislation for emission limits and inspection rules for thermal and catalytic oxidizing plants for destruction of organic solvents (see table 4).

2. Baggrund og formål

2.1 Baggrund

Dansk Enerkipolitik har siden 1990 haft hensynet til miljøet og energibesparelser i centrum og at den danske energiforsyning i større grad skal baseres på vedvarende energi. Biomasse forventes at få en central rolle i et sådant VE baseret energisystem. Men selvom biomasse i mange tilfælde er CO₂ neutralt og ofte også lokalt produceret, kan biomasse teknologier ikke betegnes miljøvenlige, med mindre der er lave emissioner til luften fra anlæggene.

Emissioner til luften fra energianlæg, som anvender biomasse, reguleres igennem bekendtgørelse nr. 1418 af 2. december 2015 om standardvilkår i godkendelse af listevirksomhed og af bekendtgørelse nr. 162 af 16. februar 2015 om begrænsning af visse luftforurenende emissioner fra store fyringsanlæg. Sidstnævnte bekendtgørelse indeholder de skærpede grænseværdier i EU direktiv 2010/75/EU om Industrielle Emissioner. Efterfølgende har EU gennemført regler for mindre fyringsanlæg på mellem 1 og 50 MW i form af et direktiv om emissioner fra mellemstore fyringsanlæg, som blev vedtaget i november 2015 [1]. Direktiverne betyder en markant skærpelse af kravene til emissionerne fra danske biomasse anlæg i fremtiden.

Leverandører af biomasse teknologi vil fremover være nødsagede til at installere avanceret filter teknologi til rensning af røggasserne eller – som alternativ til filter løsninger - kan leverandørerne udvikle biomasse forbrændingsteknologier, der har lave CO, NO_x og støvemissioner. Om muligt skal disse nye teknologier også være brændselsfleksible, således at samme anlæg kan bruge forskellige typer af biologisk materiale (restprodukter fra skov, landbrug og industri).

Dall Energy er et dansk ingeniør firma med speciale i biomasse forbrændingsteknologi. Dall Energy har udviklet et koncept for en biomasseovn. Det er ambitionen at den nye ovn kan:

- Brænde forskellige biomasser og eventuelt affald.
- Brænde meget rent og effektivt, så NO_x-, Støv- og CO emissionerne bliver meget små.

2.2 Formål

Formålet med projektet er at undersøge om Dall Energy's forbrændingsteknologi rummer nogle nye muligheder for drift af biomasse anlæg med lave emissioner, både ved fuldlast og ved dellast.

Herudover var det oprindeligt formålet at undersøge om teknologien kunne brænde alternative typer af biomasse f.eks. have- park affald og pil. Denne sidste del af projektet om alternative brændsler blev dog efter aftale med Miljøstyrelsen ændret til at omfatte verifikationsmålinger på to "2. generations ovne", som var blevet optimeret mht. NO_x og støvemissionerne.

2.3 Forventede miljømæssige effekter

Den nuværende fossile energiforsyning er i færd med at blive konverteret til vedvarende og CO₂ neutral energiforsyning. Ifølge energi aftalen fra marts 2012 ønsker et bredt flertal i Folketinget at omstille Danmark til en energiforsyning dækket af vedvarende energi. [7]

Formålet med aftalen er især nedbringelse af CO₂ udledning, men også mindske af behov for import af brændsler er en vigtig faktor.

2.4 Forbrændingsteori

Udviklingen af Dall Energy's forbrændingsteknologi fokuserer på reduktion af emissionerne af NO_x, CO og støv. I dette afsnit beskrives kort de mekanismer, der forårsager disse emissioner.

2.4.1 NO_x (Kvælstof oxider)

NO_x produceres via forbrænding primært på to måder:

1. Termisk NO_x
2. Brændsels NO_x

Ad. 1. Ved temperaturer over 1100 C kan N₂ og O₂ reagere til NO_x. I et biomasse anlæg kan der lokalt være temperaturer på 1100 C eller derover, især hvis gasserne fra risten afbrændes i 1 trin. Ved at trinopdele gas-forbrændingen reduceres max temperaturen og dermed reduceres NO_x dannelsen [10].

Ad. 2. Biomasse indeholder kvælstof (N). Under opvarmning af brændslet bliver kvælstof i brændslet frigivet som en fri radikal som i sidste ende danner N₂ eller NO_x.

Hvis der ikke er frit ilt til stede (reducerende atmosfære) vil brændslets kvælstof i stor udstrækning omdannes til N₂, men hvis der er oxiderende atmosfære vil brændslets kvælstof i stor udstrækning oxideres til NO_x.

2.4.2 CO (Carbon Monoxid)

Under opvarmning og forbrænding af biomasse kan der frigives en række uønskede kulstof-forbindelser herunder:

- PAH (Polyaromatiske Hydrocarboner)
- Phenoler
- CO
- Dioxiner

Jo bedre forbrændingen har været, jo lavere er niveauet af uønskede stoffer.

Det er meget dyrt at måle for alle de uønskede kulstof forbindelser i røggasser, og eftersom der er en sammenhæng mellem de forskellige uønskede stoffer og CO, og eftersom CO er nem og billig at måle, har man valgt at benytte grænseværdier for CO, som derved indirekte regulerer emissioner af samtlige uønskede kulstof forbindelser.

Mængden af CO og de øvrige uønskelige kulstof forbindelser afhænger af

- Forbrændingstemperatur (højere temperatur = lavere mængde uønskelige kulstof forbindelser)
- Opblanding (bedre opblanding = lavere mængde uønskelige kulstof forbindelser)
- Opholdstid (højere opholdstid = lavere mængde uønskelige kulstof forbindelser)

2.4.3 Støv

Støv partikler fra forbrændingsanlæg kan indeholde skadelige stoffer og sætte sig i lunger hos mennesker og dyr.

Støv emissionen afhænger af hvor meget støv der produceres under forbrændingen i ovnen og hvor godt et rensesystem der er efter ovnen.

3. Princip for Dall Energy ovn

3.1 Emissioner fra biomasse forbrændings anlæg

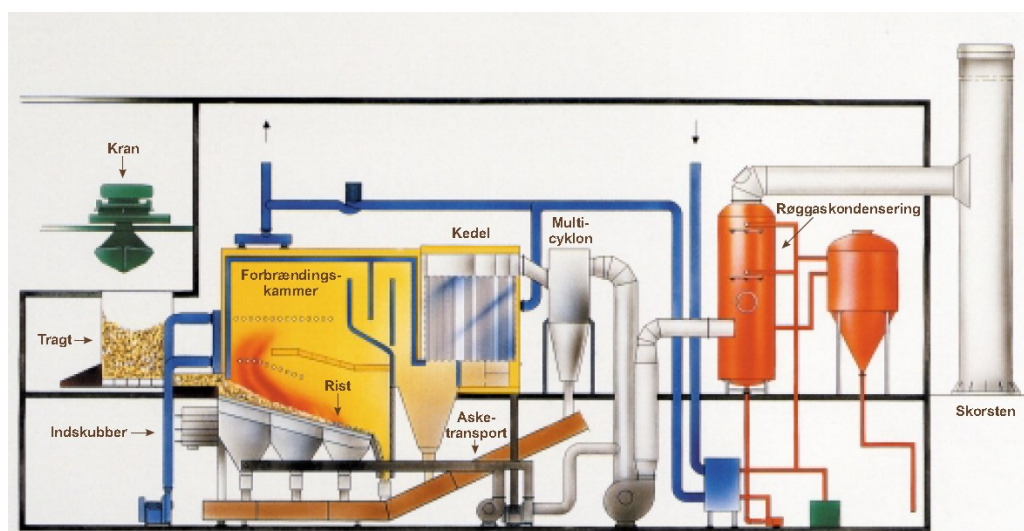
Emissioner fra en biomasse forbrænding kan deles op i to kategorier

1. Emissioner under / umiddelbart efter forbrænding
2. Emissioner efter røggasrensning

Ideen bag Dall Energy's løsning er at reducere emissionerne så tidligt i forløbet som muligt (under forbrænding) samt dermed skabe mulighed for en efterfølgende effektiv og billig røggasrensning.

3.2 Traditionel biomasse forbrændingsteknologi

I en traditionel biomasse ovn føres brændslet ind på en bevægelig rist og brænder på risten, mens brændslet bevæges horisontalt fra indføder til slaggefaldet.



FIGUR 3
ILLUSTRATION AF 4 MW FLISFYRET KEDEL I THYBORØN [8]

Brændslet føres ind til forbrænding på risten i forbrændingskammeret, der ofte ligger lige under kedlen. De hyppigst forekommende typer af riste i flisfyrede anlæg i fjernvarmestørrelsen er trapperist/skrårist og kæderist/vandrerist. På begge ristetyper tilføres den primære forbrændingsluft nedefra og op gennem risten.

3.2.1 NO_x dannelse på rist

Ved risteforbrænding oxiderer forbrændingsluften en væsentlig del af brændslets kvælstof til NO_x. Det er almindeligt at halvdelen af kvælstof fra brændslet omdannes til NO_x på ristefyrede anlæg [9]. For at opnå lave NO_x emissioner fra en riste-ovn kræves det, at der installeres aktiv NO_x fjernelse på røggassen efter risten.

3.2.2 Støv dannelse på rist

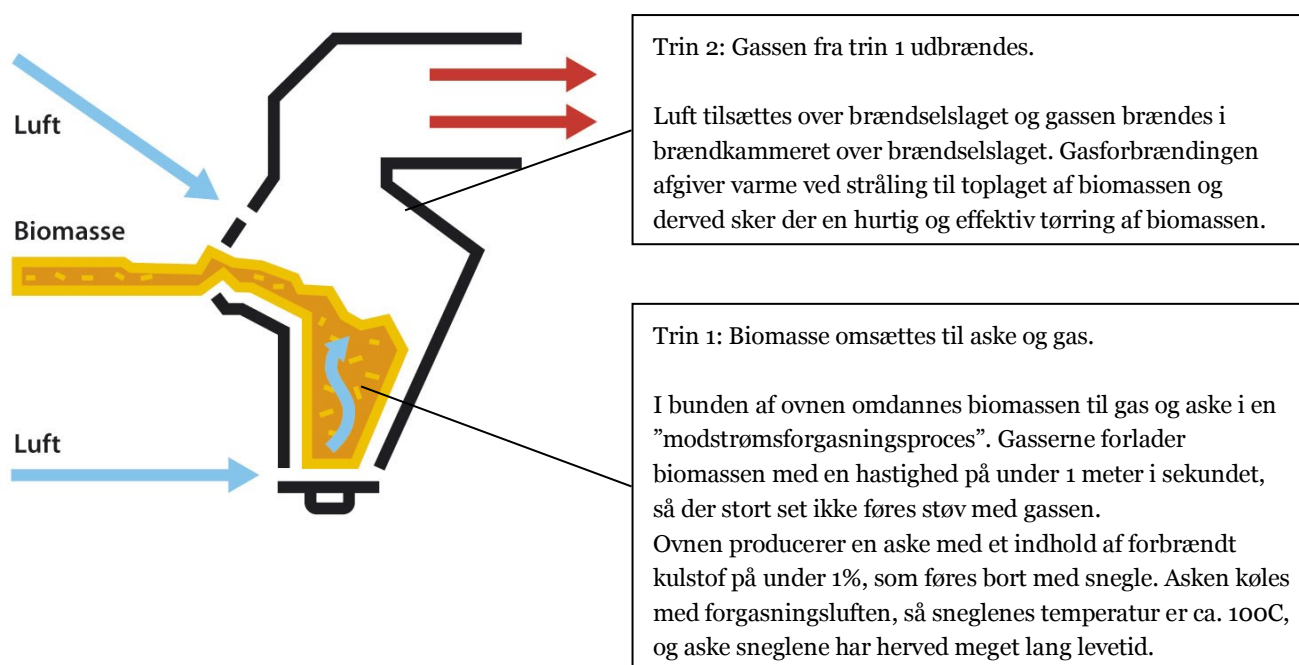
For at forbrændingsluften fordeles jævnt over risten, skal der være et betydeligt tryktab over risten. Det høje tryktab omformes til en høj lufthastighed i ristespalterne. Den høje lufthastighed bevirker, at der bliver medrevet meget af det støv og aske som ligger på risten. Indholdet af støv i røgen efter risten er typisk 1 g/Nm^3 (1000 mg/Nm^3). [2]

3.2.3 Dellast

Som beskrevet ovenfor (støv dannelse på rist) skal der være et højt tryktab over risten for at forbrændingsluften kan fordeles jævnt. Ved dellast forsvinder tryktabet og forbrændingen bliver derfor ujævn. Derfor køres riste-ovne almindeligvis ikke under 50% last.

3.3 Dall Energy multibrændselsovn

I Dall Energys multibrændselsovn benyttes et helt andet forbrændings princip, idet brændslet først omdannes til gas i en modstrømsforgasser og gassen dernæst forbrændes i et gasforbrændingskammer.



FIGUR 4
PRINCIPTEGNING AF TOTRINS FORBRÆDNINGEN I DALL ENERGY MULTIBRÆNDELSOVN

3.3.1 Modstrømsforgasser.

Trin 1 i Dall Energy ovnen bygger på teknologien bag en modstrømsforgasser, som er en velkendt og robust teknologi. I Danmark har et modstrømsforgasser anlæg forsynet Harboøre med varme og el i over 15 år. Harboøre anlægget er kendt for at producere en gas med lavt indhold af støv, og for at kunne køre stabilt ved lav last.

Modstrømsforgasseren har dog en ulempe: Gassen der produceres har et højt indhold af tjærestoffer. Hvis gassen fra en modstrømsforgasser skal udnyttes f.eks. til motordrift skal der installeres et avanceret gasrensesystem.

Dall Energy's forbrændingsovn udnytter fordelene ved modstrømsforgasseren og at tjærestofferne der frigives fra modstrømsforgasseren er et fortrinligt brændstof. Ved at afbrænde tjærestofferne oven over forgasserdelen fjernes problemerne med udkondensering af tjæren.

Robust teknologi

Modstrømsforgassere er en særdeles robust og miljøvenlig teknologi, når det handler om at kunne omdanne træflis og andre biobrændsler til gas. Ud over anlægget i Harbøre viser erfaringer fra en række eksisterende anlæg i udlandet, at modstrømsforgasser teknologien er i stand til at omsætte en meget høj andel af biomassen til gas, og at teknologien hurtigt kan regulere effekten op og ned [11].

For at undgå slaggedannelse i bunden af forgasseren kan forgasserluften fortyndes. Det kan enten gøres via recirkulation af røggas eller ved at befugte luften med vanddamp. Luft-befugtning giver endvidere den fordel at vanddamp fungerer som forgasningsmiddel og omdanner kulstof til CO og H₂.

Lavt støvindhold

Gashastigheden gennem forgasningsbedden er under 1 m/s, og da det øverste af forgasningsbedden er fugtig frisk brændsel – uden aske partikler – medrives stort set ingen partikler til gasforbrændingskammeret. *Derfor kan der opnås et meget lavt støvindhold i røggassen.*

Lavt NO_x

Modstrømsforgassere omdanner brændslet til gas i reducerende atmosfære. Derfor omdannes brændslets kvælstof til N₂ i højere grad end til NO_x.

4. Bogense ovn og målinger

4.1 Verifikation af forbrændings koncept

Dall Energy etablerede i 2009 en 2 MW pilot ovn i samarbejde med SEM stålindustri og med støtte fra EUDP. I 2010 blev der kørt en række test med ovnen.

Formålene med disse test var at give Dall Energy og SEM stålindustri tilstrækkelig erfaring med teknologien og fremvise pilot-ovnen til potentielle anlægsværter under drift, således at projektparterne og anlægsværten ville være trygge ved etableringen af et demonstrationsanlæg.



FIGUR 5
PILOT-ANLÆGGET HOS SEM STÅLINDUSTRI

4.2 Aftale med Bogense Fjernvarme

I april 2010 blev der indgået princip-aftale mellem Bogense Fjernvarme, SEM stålindustri og Dall Energy om demonstrationsprojekt på 8 MW. EUDP støttede demonstrationsprojektet med 5 mio. kr. Det blev efterfølgende aftalt at Weiss A/S skulle være total leverandør, idet Dall Energy/SEM stålindustri skulle levere ovnen til Weiss, som så skulle installere og indkøre det samlede anlæg.

Anlægget er blevet miljøgodkendt efter de grænseværdier der er indeholdt i Bekendtgørelse 682 af 18/06/2014

I kontrakten mellem Weiss og Bogense var garanti-data svarende til luftvejledningen, men Weiss angav også lavere forventede data:

TABEL 8
GARANTIDATA OG FORVENTEDE DATA FOR OVNEN I BOGENSE.

Parameter	Enhed	Garanti	Forventet
Last max	MW	11	
Last min	MW	2	
Virkningsgrad	%	111	
Uforbrændt kul i aske	%	<50	<5
CO	mg/m ³ (ref)	625	< 20
NO _x	mg/m ³ (ref)	300	<175
Partikler	mg/m ³ (ref)	100	<5

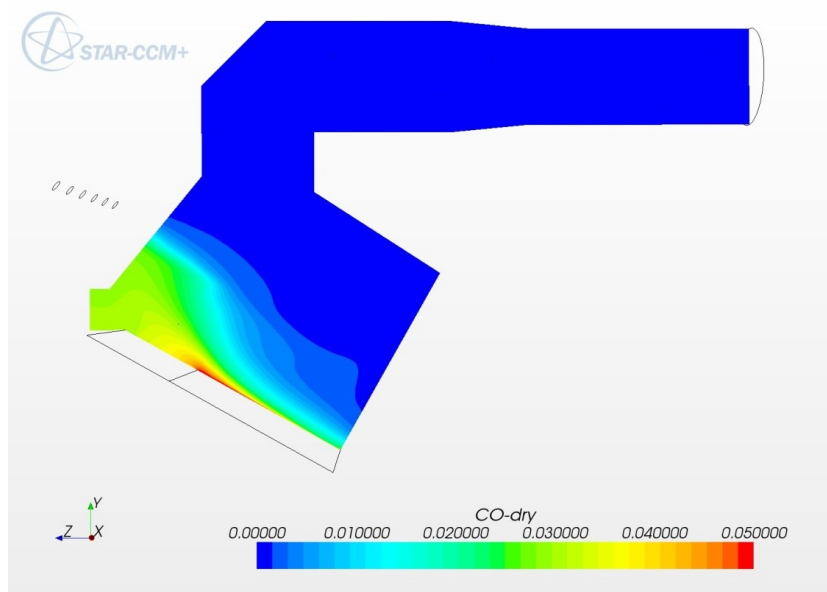
4.3 Design af 8 MW ovn

Opskaleringen fra 2 til 8 MW gav Dall Energy en designmæssig og teknologisk udfordring.

I design fasen stod det tidligt klart, at et nyt system for tilsætning af forgasningsluft skulle udvikles: Luften i pilotovnen blev tilsat fra siden, mens luften til Bogense ovnen skulle tilsættes fra bunden, for at der kunne opnås tilstrækkelig god fordeling af forgasser-luften.

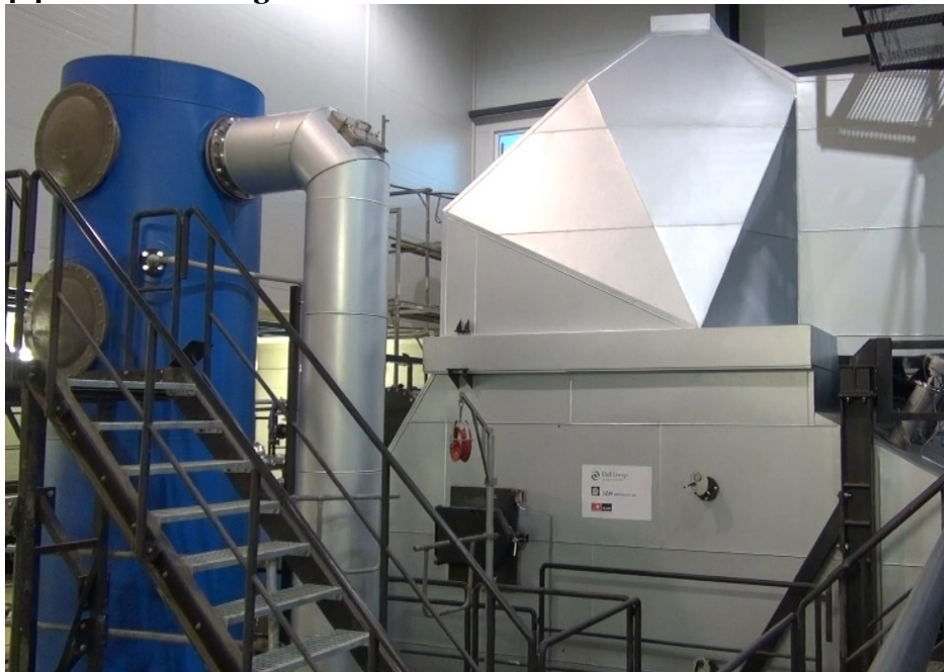
Det principielle design af ovnen var færdigt i løbet af maj 2010 og CFD simuleringer kunne allerede i juni bekræfte at det valgte design ville give god udbrænding = lave CO emissioner, ved såvel fuld last som ved dellast (se figur 8).

Resultatet af en af CFD simuleringerne fremgår af nedenstående figur, hvor det kan ses at CO emissionen i det vandrette røggasrør er tæt på nul (helt blå).



FIGUR 6
CFD SIMULERING AF CO EMISSION VED 20% LAST
ENHED: ANDEL AF CO I GASFASE PÅ VÆGTBASIS. 1.00 = 100% CO. SKALAEN VISER SÅLEDES 0-5%.

4.4 Indkøring af ovn



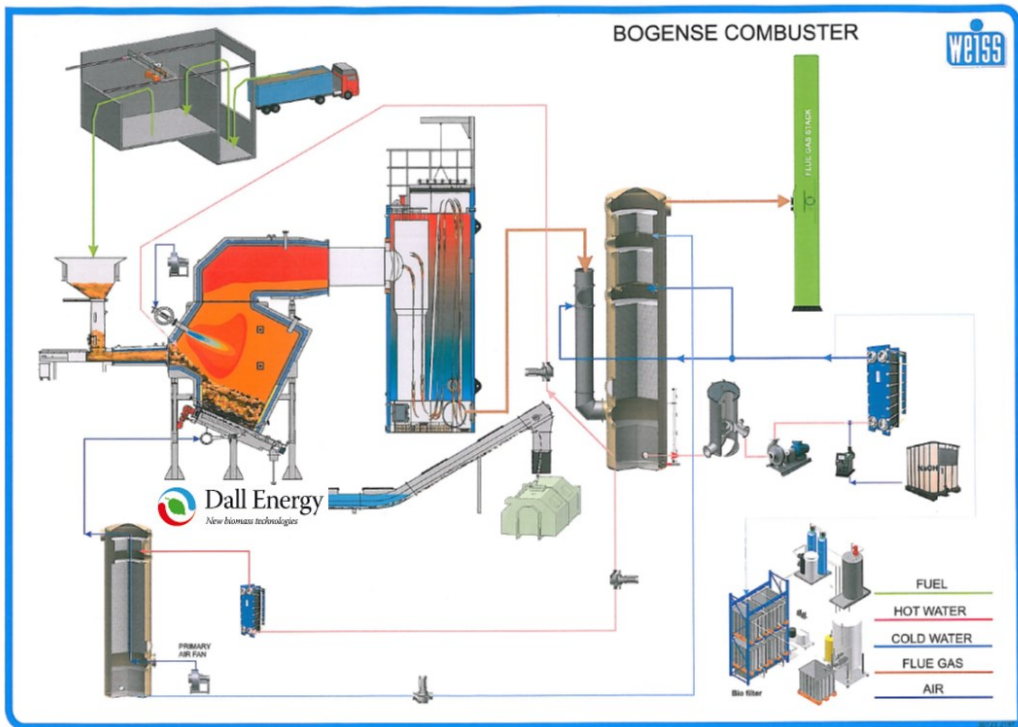
FIGUR 7
LUFT BEFUGTER OG OVN MED INDDÆKNING, 2011.

Den første opstart af ovnen var i marts måned 2011. De mekaniske funktioner virkede fint, og anlægget producerede energi, men det stod hurtigt klart, at der var områder som krævede, at der skulle udføres nogle ændringer og justeringer for at få anlægget til at køre som tiltænkt.

Her kan nævnes:

- Vandtryk til dyser til ovnen var for lavt. En separat pumpe skulle installeres.
- Termoføler efter ovn til styring af temperaturen i ovnen manglede.
- Vandrør der forsynede luftbefugter var for tynde, så luftbefugter kunne ikke få tiltænkt vandmængde.
- Skrubberveksler var af typen ”partikelfrie væsker” og da der er ikke var mulighed for at bagskylle veksleren måtte skrubber manuelt renses ind i mellem.
- Pakninger på askeskruer var ikke tætte.
- Askesnegle var ikke udført som specificeret: til at fjerne aske i jævnt ensartet lag.

Fejl og mangler blev udbedret i løbet af 2011, og i vinteren 2011/2012 kørte ovnen stabilt, og EUDP projektet blev afsluttet efter måleprogrammet var blevet gennemført i marts 2012.



FIGUR 8
PRINCIPSKITSE AF BOGENSEANLÆG [WEISS]

I figur 10 ses principdiagram for anlægget i Bogense.

Flislager:

Brændslet til anlægget er som udgangspunkt træflis, anlægget er forberedt til at håndtere et bredt spektrum af brændsler f.eks. have-park affald eller restprodukter fra industri. Brændslet transporteres til værket i lastbiler der tipper brændslet ned i en flis-grube. Lastbilen og hængeren vejes før og efter aflæsning på en brovægt.

En kran flytter brændslet fra flis-gruben til brændselslageret. Når anlægget kalder på brændsel, flytter kranen brændsel fra lageret til modtagetragten

Indfødersystemet består af:

- Modtagetragt
- Doserkasse med niveau målere
- Indføder

Dall Energy biomasse ovn:

Som beskrevet i kapitel 3, omsættes brændslet i en Dall Energys forgasser i to trin:

Trin 1: Modstrømsforgasser: I modstrømsforgasseren omsættes fast biomasse til aske og gas

Trin 2: Forbrænding af gas.

Temperaturen i forbrændingskammeret reguleres ved at vand (røggaskondensat) doseres til gasforbrændingskammeret. Jo mere tørt brændslet er, jo mere vand doseres til forbrændingskammeret for at holde temperaturen stabil.

Kedel:

I kedlen overføres energien fra den varme røggas til fjernvarmevand. Kedlen består af en lodretstående røgrørskedel med lodret ildkanal, lukket med bundplade og 2 lodretstående røgrørstræk.

Røggasskrubber:

Formålene med røggasskrubberen er at køre røggassen til ca. 40C og fjerne partikler fra røggassen. Røggasskrubberen er udført af glasfiber.

4.5 Resultater fra ovn i Bogense.

Der blev gennemført to måleprogrammer på anlægget i Bogense:

- ETV, Environmental Technical Verification, som skulle verificere emissionerne ud af ovnen (inden kedel)
- Miljømåling i skorsten, dvs. efter røggas skrubber.

Måleprogrammerne omfattede:

Brændselsprøve:

Brændsel analyseres for: Fugt, aske og N

Askeprøve:

Aske analyseres for: Fugt og restenergi

Målinger i røggas efter ovn, temp. Ca. 1.000 °C:

Kontinuert måling af temperatur og O₂.

Tre en times prøver der analyseres for støv.

Måling i røggassen i tilgang til skorstenen:

Kontinuert måling af parametrene: Temperatur, vandindhold, O₂, CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl og HF.

Tre en-times prøver, der analyseres for støv og Cd.

To to-timers prøver, der analyseres for dioxin og PAH

Måling af gasparametrene vandindhold, CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl og HF udføres med FTIR måler, og resultaterne præsenteres som gennemsnittet af tre en-times prøver for de samme perioder som prøverne for støv og Cd.

Nøgleresultater for målingerne direkte ud af ovnen ses i tabellen herunder:

TABEL 9
MÅLINGER PÅ RØGGAS I UDLØB FRA OVN VED 20% OG 100% LAST, 2012

Parameter	Enhed	Gennemsnit	Gennemsnit
Last	%	100	20
Dato	dd-mm-åå	20-03-2012	20-03-2012
Måleperiode	tt:mm	11:12 - 14:22	16:44 - 20:00
Temperatur	°C	958	845
O ₂	Vol % (tør)	4.88	5.25
H ₂ O	Vol %	38.0	32.4
CO	mg/m ³ (ref)	< 2	< 2
NO _x	mg/m ³ (ref)	200	140
Partikler	mg/m ³ (ref)	69	64

TABEL 10
MÅLINGER PÅ RØGGAS I SKORSTEN VED 20% OG 100% LAST, 2012

Parameter	Enhed	Målte værdier	danske grænseværdier	
Last		100%	20%	
Temperatur	°C	42	44	
O ₂	Vol%, tør	4,94	5,04	
Strømningsmængde	m ³ (tør,st)* / t	6400	2200	
Koncentrationer				
CO	mg/m ³ (ref)**	3,8	0,86	625
NO _x (Udregnet som NO ₂)	mg/m ³ (ref)	200	180	300
Partikler	mg/m ³ (ref)	29	15	100
SO ₂	mg/m ³ (ref)	<2	<2	
HCl	mg/m ³ (ref)	<2	<2	
HF	mg/m ³ (ref)	<1	<1	
Cd	mg/m ³ (ref)	0,0052	0,0010	0,3

* (tør, st) står for tør gas ved standard betingelser (0°C, 101,3 kPa) og 10%O₂.

** ref = reference tilstand: (0°C, 101,3 kPa) og 10%O₂.

TABEL 11
MÅLINGER PÅ RØGGAS I SKORSTEN VED 100% LAST, 2012

Parameter	Enhed	Målt værdi	danske grænseværdier
Driftsforhold		gennemsnit	
Temperatur	°C	42	
O₂	Vol%, tør	5,07	
Strømningsmængde	m ³ (tør,st)* /t	4000	
Koncentrationer			
CO	mg/m ³ (ref)	2,7	625
NOx (Udregnet som NO₂)	mg/m ³ (ref)	180	300
SO₂	mg/m ³ (ref)	<2	
HCl	mg/m ³ (ref)	<2	
HF	mg/m ³ (ref)	<1	
Dioxin	ng/m ³ (ref)	<0,0035	0,1
Naphtalen	mg/m ³ (ref)	<0,0033	100
PAH'er	µg/m ³ (ref)	0,059	5,0

* (tør, st) står for tør gas ved standard betingelser (0°C, 101,3 kPa) og 10%O₂.



FIGUR 9.
DEN FRISKE TRÆFLIS DER BLEV ANVENDT UNDER FORSØGET (FOTO: FORCE)

Der blev under målingerne anvendt træflis med 34% vandindhold og 1% aske på våd basis.

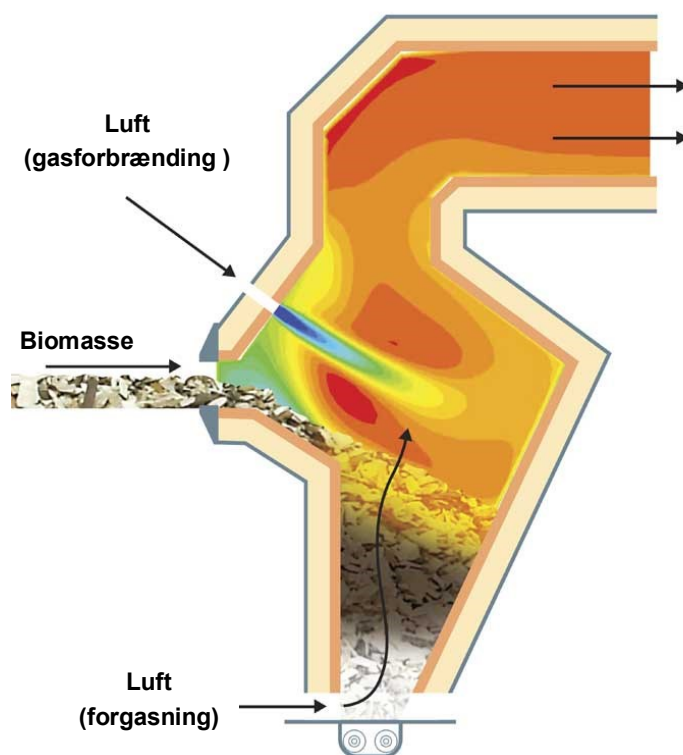
De samlede målinger kan findes i bilag 1

5. Videreudvikling af Dall Energy ovn

Emissionerne af Støv og CO fra ovnen i Bogense var tilfredsstillende. NOx emissionen var som på andre anlæg, men ikke specielt lavt.

Dall Energy havde forventet, at Bogense ovnen ville have lave NOx emissioner, idet der er reducerende atmosfære i den del af ovnen hvor modstrømsforgasningen foregår.

At NOx emissionerne var som på traditionelle anlæg skyldes formentlig at gas-forbrændingen skete i 1 trin. Ved at tilsætte luft i 1 trin, vil der opstå lokale varme zoner, hvilket giver anledning til NOx dannelse. Se figur herunder.



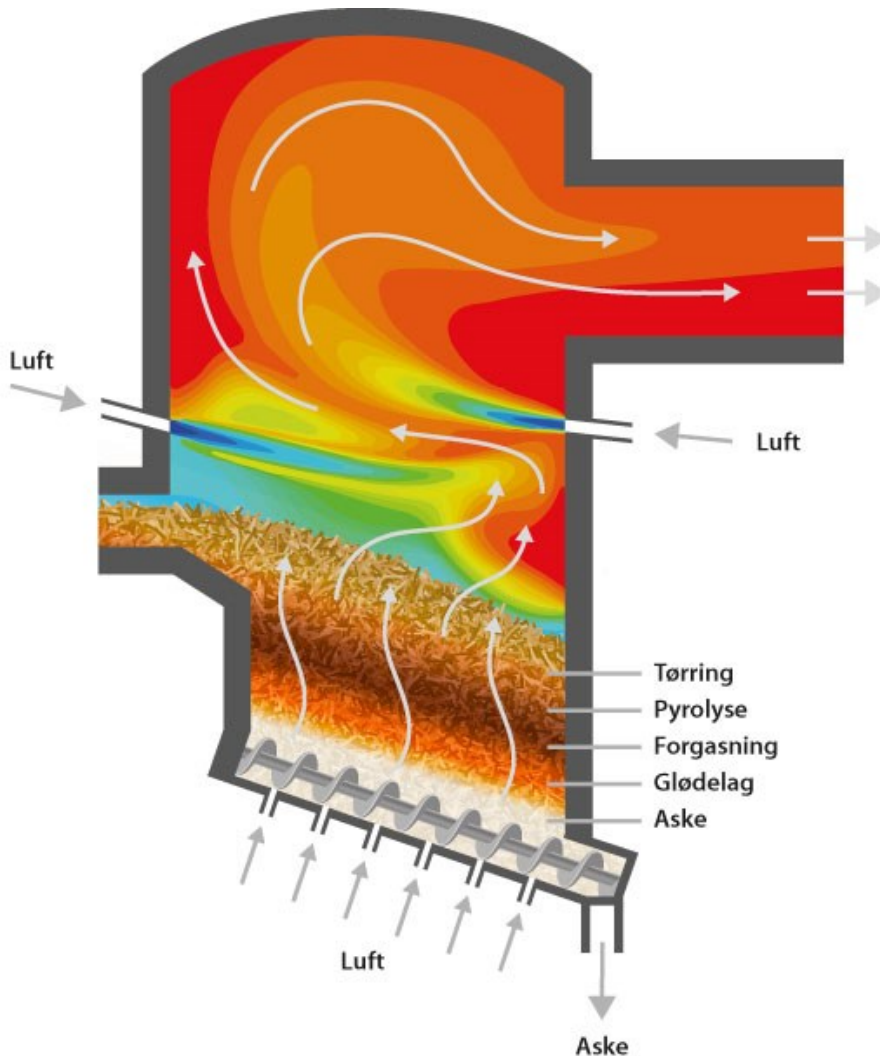
FIGUR 10
ILLUSTRATION AF 1. UDGAVE AF DALL ENERGY MULTIBRÆNDESEL OVN MED KUN EN LUFTTILSÆTNING TIL FORBRÆNDING AF DEN PRODUCEREDE GAS. PRINCIP ANVENDT I BOGENSE.

Dall Energy ovnen startes op således:

1. Sand, aske eller andet ikke-brændbar materiale lægges i bunden for at beskytte askesneglende mod overtemperatur.
2. Ovnens fyldes op med flis til det niveau anlægget skal køre med
3. tørt brænde lægges på flisen og antændes.

Der tilsættes primær- og sekundær luft og ilden breder sig ud til siderne og nedefter mod bunden af ovnen. Efter 1-2 timer startes indføderen og ovnen varmer stille og roligt op indtil driftstemperaturen er nået. Herefter slås iltstyring og temperatur regulering til.

For bedre at reducere NO_x emissionen skulle maximal temperaturen i gasforbrændingskammeret reduceres, og derfor besluttede Dall Energy, at de næste ovne skulle have trinopdelt gasforbrænding som illustreret i nedenstående figur. Den trinopdelte forbrænding af gas betyder endvidere, at der i den første forbrændingszone er et underskud af ilt, hvilket også virker hæmmende på NO_x dannelsen.



FIGUR 11
ILLUSTRATION AF 2. GENERATION DALL ENERGY MULTIBRÆNDELSOVN MED TRINOPDELT GASFORBRÆNDING (SØNDERBORG OG WARWICK)

I ovenstående illustration kan det ses at Primær luft doseres i askelaget, hvor det forvarmes af den varme aske der samtidig køles. Denne luft har til formål at omdanne biomassen til gas, der senere forbrændes i gasforbrændingszonen. Primærluft er frisk luft der er forvarmet gennem kappen på ovnen og befugtet med kondensat fra skrubberen, se også figur 15 og 18.

Sekundær luft doseres over brændsels- indføderen, hvor der sker en delvis forbrænding af gasserne, hvorefter Tertiær luft doseres øverst i ovnen hvor resten af gasserne forbrændes.

6. Warwick Mills ovn og målinger

6.1 Warwick Mills krav til et biomasse anlæg.

Warwick Mills er en amerikansk virksomhed i New Hampshire, USA, som på grund af brug af et organisk opløsningsmiddel i produktionen har ventilationsluft der indeholder dampe af organiske opløsningsmiddel (Volatile Organic Compounds = VOC).

Ventilationsluft med VOC må ikke udledes. VOC skal destrueres, og dette foregår som oftest i en forbrændingsproces.

Warwick Mills henvendte sig til Dall Energy i slutningen af 2010, idet virksomheden ønskede at udskifte sin olie-baserede "thermal oxidizer", med et biomasse baseret anlæg.

Virksomheden havde undersøgt amerikanske biomasse teknologier. Disse kunne ikke overholde de miljøkrav Warwick Mills skulle opfylde:

- Støv emission under 40 mg/Nm³.
- Over 98% VOC destruktion.

Repræsentanter fra Warwick Mills besøgte Dall Energy, pilotanlægget og anlægget i Bogense i 2011. Det blev aftalt, at etablere en Dall Energy ovn på virksomheden.

Warwick ønskede at have mulighed for at køre anlægget i forskellige driftssituationer:

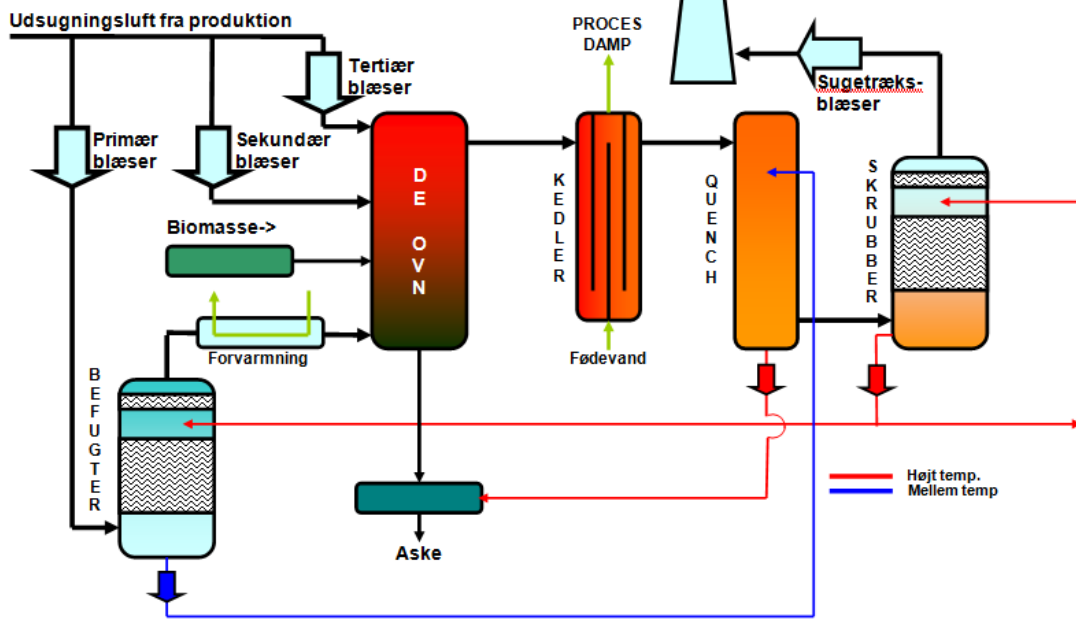
- Højt luft forbrug og lav energi produktion.
Denne driftssituation er relevant når fabrikken har meget ventilationsluft med VOC, men lavt behov for energi (damp).
- Ultra lavt brændselsforbrug
Denne driftssituation er relevant når fabrikken holder lukket f.eks. hen over weekenden og i ferier.

For at kunne opnå ovenstående egenskaber blev ovnen til Warwick Mills designet med tottrins gasforbrænding: I driftstilstanden "høj luftforbrug og lav energiproduktion", køres meget tertiær luft ind i gasforbrændingskammeret. Ovnene kører derved med højt ilt-overskud.

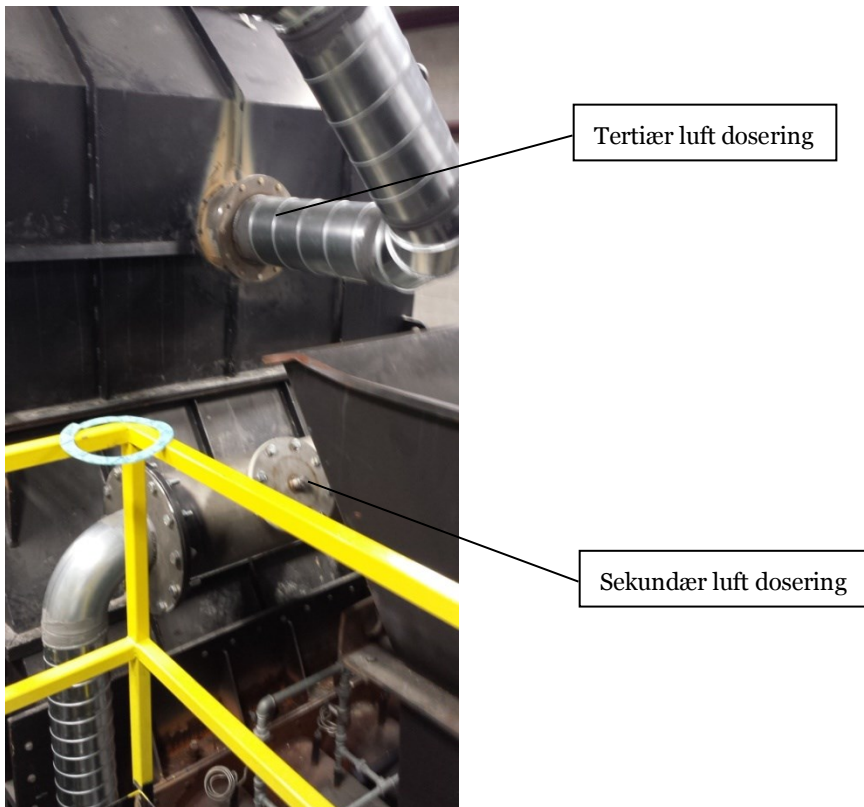
Warwick Mills stod selv for montage og indkøring af anlæg, med assistance fra Dall Energy.

Selve ovnen blev tilsluttet to konventionelle vandretliggende lavtryksdampkedler inden røggassen blev ledt til quench og skrubber og ud gennem skorsten (se figur 15).

DE SYSTEM – WARWICK MILLS



FIGUR 12
PRINCIPDIAGRAM FOR DALL ENERGY SYSTEMET HOS WARWICK MILLS (MED TERTIÆR LUFT).



FIGUR 13
FOTO AF SEKUNDÆR OG TERTIÆR LUFT TILSÆTNING PÅ OVNEN HOS WARWICK MILLS.

6.2 Idriftsættelse og måleprogram

Anlægget blev sat i drift i sommeren 2014, og emissionsmålinger blev gennemført over to dage 30.9.2014-1.10.2014, hhv. ved lave (3.000 ppm) og ved høje (10.000 ppm) VOC koncentrationer i forbrændingsluften.

Måleprogrammet blev udført af CEMServices, Inc. i Norton, Massachusetts.

TABEL 12.
EMISSIONER VED DESTRUCTION AF FORSKELLIGE VOC KONCENTRATIONER (HØJ OG LAV),
MÅLINGER TAGET VED SKORSTEN.

Højt indhold af VOC		Måling 1	Måling 2	Måling 3	Måling 4
Partikler	mg/m ³ (ref)	6,1	6,2	9,8	7,4
CO	mg/m ³ (ref)	48,5	45,7	88,3	60,8
NOx	mg/m ³ (ref)	53,1	58,1	50,5	53,9

Lav indhold af VOC		Måling 5	Måling 6	Måling 7	Måling 8
CO	mg/m ³ (ref)	8,4	12,0	8,2	9,5
NOx	mg/m ³ (ref)	77,7	78,3	82,9	79,6

m³(ref.) = tør røggas ved 10 % ilt og atmosfæretryk.

Som det fremgår af ovenstående tabel er der en stigning i CO hvis VOC koncentrationen stiger.

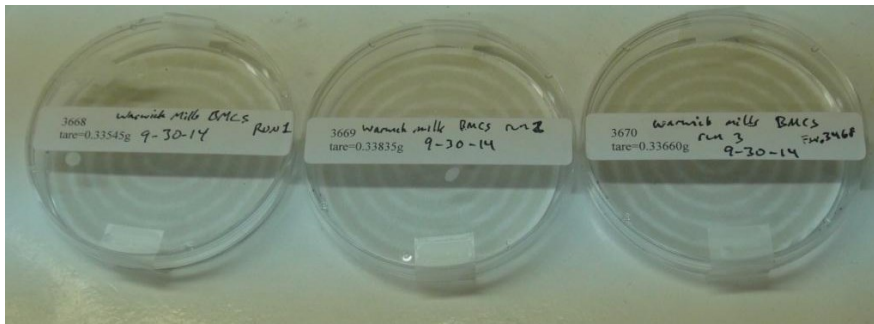
TABEL 13.
INDHOLD AF VOC I LUFT OG RØGGAS FØR OG EFTER OVN (HØJ OG LAV)

Højt indhold af VOC		Måling 1	Måling 2	Måling 3	Gennemsnit
VOC ind	mg/m ³ (ref)	5880	5678	5650	5736
VOC ud	mg/m ³ (ref)	0,38	0,42	0,44	0,41
VOC nedbrydning		99,98%	99,98%	99,98%	99,98%

Lav indhold af VOC		Måling 5	Måling 6	Måling 7	Måling 8
VOC ind	mg/m ³ (ref)	2464	2903	2159	2175
VOC ud	mg/m ³ (ref)	1,48	0,81	0,66	0,98
VOC nedbrydning		99,83%	99,88%	99,91%	99,87%

m³(ref.) = tør røggas ved 10 % ilt og atmosfæretryk.

Som det fremgår af ovenstående tabel er nedbrydning af VOC særdeles effektiv i ovnen. Nedbrydningen var mellem 99,83% og 99,98%, mens kravet var en nedbrydning på 98%. Danske luftvejledning beskriver emissionsgrænseværdier og kontrolregler for termiske og katalytiske oxidationsanlæg til destruktion af organiske opløsningsmidler. I luftvejledningen er kravet til VOC destruktion 99% (kapitel 10).



FIGUR 14
FILTRE EFTER STØVMÅLING, WARWICK MILLS, 2014.

Figuren ovenfor viser filtre der har været placeret i skorstenen på Warwick Mills. Det fremgår tydeligt, at der er meget få partikler i røggassen. Prøverne vil normalt være helt sorte. Målerapporten findes i Bilag 2.

7. Sønderborg ovn og målinger

7.1 Sønderborg Fjernvarmes krav til et biomasse anlæg.

Sønderborg Fjernvarme har 5 kedelcentraler på 5 forskellige lokaliteter. Kedelcentralerne kan fyres med olie eller naturgas.

I 2012 ønskede Sønderborg Fjernvarme at erstatte oliekedlerne på centralen i Vollerup med et flisfyret varmeværk. Ud over olie-kedlerne har Vollerup et større solfangeranlæg, som forsyner Vollerup med varme om sommeren.

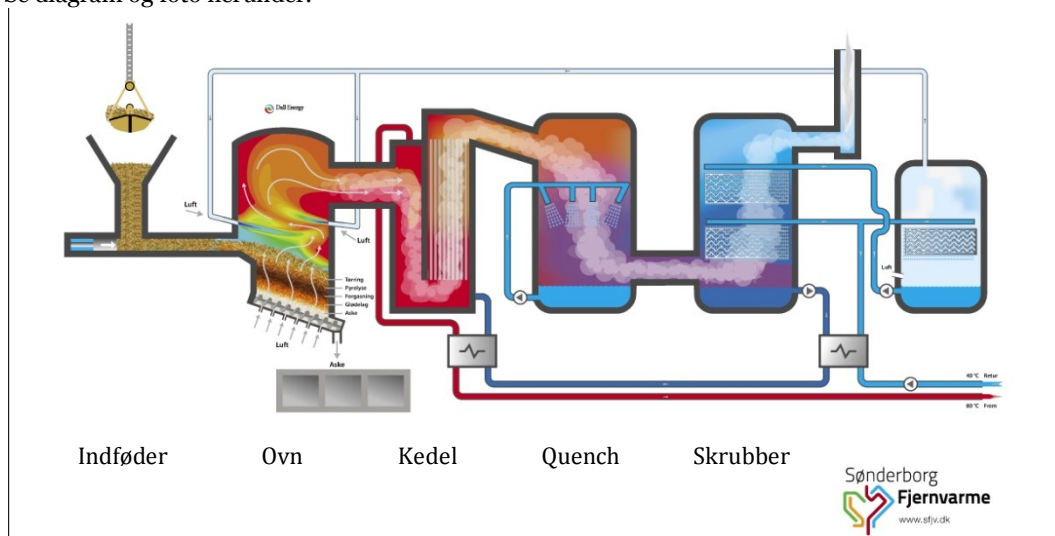
Sønderborg Fjernvarmes krav til et nyt biomasse anlæg var at den skulle kunne gå langt ned i last, således at kedlen kunne kobles ind og ud alt afhængigt af varmeproduktionen på solfangeranlægget, og Sønderborg Fjernvarme indgik et samarbejde med Dall Energy og COWI A/S. Dall Energy skulle levere engineering, COWI skulle være bygherrerådgiver og Sønderborg Fjernvarme var bygherre.

7.2 Aftale med Sønderborg Fjernvarme

Dall Energy og Sønderborg Fjernvarme blev i udgangen af 2012 enige med Sønderborg Fjernvarme om at etablere et demonstrationsprojekt, som skulle omfatte:

- Totrins gasforbrænding for lav NO_x emission.
- Røggas recirkulering for temperatur styring og dermed lav NO_x emission
- Kompakt kedel (reducerer korrosion og investering)
- Keramisk filter (simplificeret og billig rensning af vand fra skrubber, der anvendes til røggasrensning)

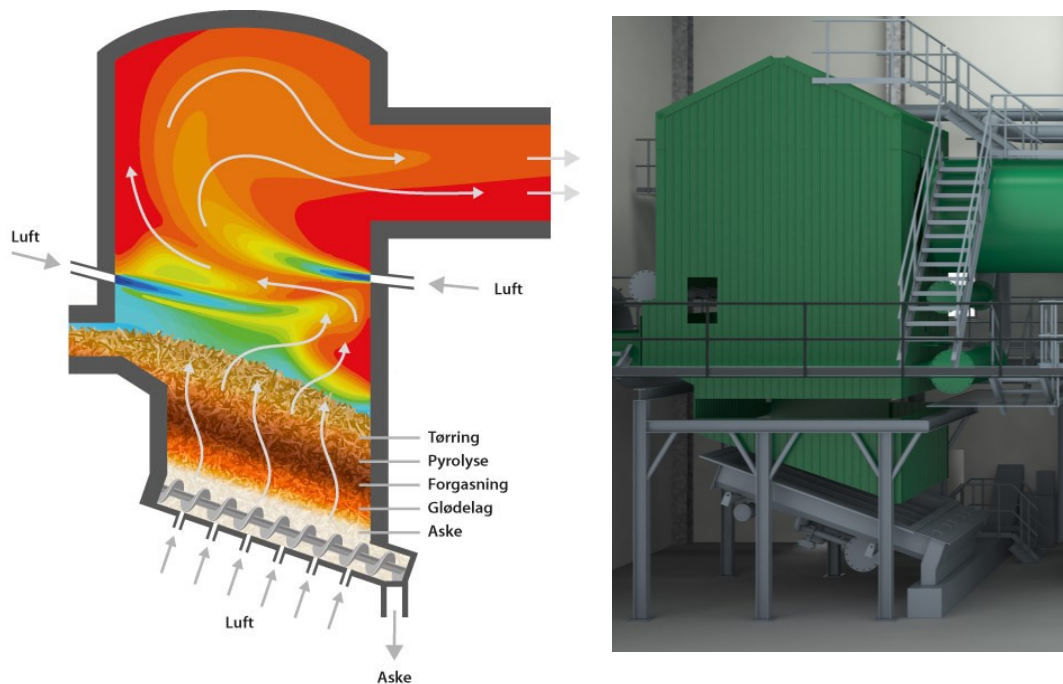
Se diagram og foto herunder.



FIGUR 15
PRINCIPDIAGRAM AF HELE ANLÆGGET HOS SØNDERBORG FJERNVARME

Ovnen anvender et forgasningsprincip, hvor brandbare gasser frigives fra flisen i ovnen ved opvarmning og tilsætning af ilt. De brandbare gasser afbrændes derefter i ovnens brændkammer umiddelbart over forgasningszonen. Afbrænding af gasserne sker under tilsætning af luft.

Efter ovnens brændkammer passerer røggassen igennem **Kedlen**. Røgens strømmer gennem kedlens strålingspart og konvektionspart, hvor der sker en afkøling af røggassen til ca. 400 °C. Røggassen ledes derefter til en **quench**, hvor røggastemperaturen sænkes til under 100 °C inden den afkøles og renses i en **skrubber**. Skrubberen har således en dobbelt funktion: producere fjernvarme og fjerne de partikler der måtte være tilbage i røggassen.



FIGUR 16
PRINCIPDIAGRAM OG 3-D TEGNING AF OVNEN HOS SØNDERBORG FJERNVARME



FIGUR 17
FOTO AF BIOMASSE OVN, KEDEL (BLÅ), QUENCH OG SKRUBBER.

7.3 Idriftsættelse og måleprogram

Inden idriftsættelsen var anlægget blevet miljøgodkendt i henhold til Bekendtgørelse 682 af 18/06/2014, Tabel 1. Emissionsgrænseværdier for kedelanlæg.

Anlægget blev sat i drift i vinteren 2014/2015, og emissionstest ved fuld last blev gennemført d. 30. marts 2015. Der blev målt for partikler direkte ud af ovnen (før kedel), og der blev målt for partikler, CO og NO_x i skorsten.

Måleprogrammet blev udført af DGtek A/S.

TABEL 14.
EMISSIONER DIREKTE UD AF OVN OG I SKORSTEN PÅ ANLÆGGET I SØNDERBORG.

Måling direkte ud af ovn		Måling 1	Måling 2	Måling 3	Gennemsnit
Partikler	mg/m ³ (ref)	33	N.a.	31	32

Måling i skorsten		Måling 4	Måling 5	Måling 6	Gennemsnit
Partikler	mg/m ³ (ref)	18	6	10	14
NO_x	mg/m ³ (ref)	145	157	152	151
CO	mg/m ³ (ref)	5	5	5	5

m³(ref.) = tør røggas ved 10 % ilt og atmosfæretryk.

Som det fremgår af ovenstående tabel og sammenholdt med tabel 5 og 6 ses det, at de ændringer der er sket ved designet af Dall Energy har resulteret i lavere emissioner af både støv og NO_x, hvilket var formålet med design ændringerne.

Ifølge luftvejledningen skal støvemissionerne i skorstenen være under 40 mg/Nm³ for anlæg der ikke har røggaskondensering og under 100 mg/Nm³ for anlæg med røggaskondensering.

Mængden af partikler ud af ovnen var under 40 mg/Nm³ i alle målingerne, så anlægget vil kunne opfylde støv emissionskrav selvom der ikke er røggaskondensering.

Det ses også at CO indholdet i røggassen er steget en anelse, idet alle CO målinger i Bogenses var under 4 mg/m³, mens der i Sønderborg blev målt præcis 5 mg/m³ i tre målinger.

Det er svært at forklare denne ændring, og det er da også plausibelt at måleapparatet i Sønderborg ikke var nulstillet korrekt. Eftersom grænseværdien er 625 mg/m³ gør det ikke nogen forskel om der er 0 eller 5 mg/m³.

8. Konklusion

Dette projekt har haft til formål at undersøge om Dall Energys forbrændingsteknologi rummer nye muligheder for forbrænding af biomasse med meget lave emissioner.

Projektet har haft fokus på NO_x og støvemissioner, samt CO emissioner ved dellast.

Endvidere er der lavet målinger for en række miljøskadelige stoffer, og det er blevet undersøgt og dokumenteret om Dall Energys forbrændingsteknologi kan benyttes til destruktion af VOC fra industrielle processer.

I dette kapitel beskrives konklusionerne fra projektet.

8.1 Emissioner af Støv, NO_x og CO

8.1.1 Støv indhold i afgangsluften fra ovnene

På traditionelle biomasse ovne er støv emissionen direkte ud af ovnen ca. 1000 mg/Nm³ ved fuld last. Der er målt støvemission direkte ud af to Dall Energy ovne hhv. Bogense og Sønderborg. Resultaterne ses i tabellen herunder.

TABEL 15.
STØV EMISSIONER DIREKTE UD AF DALL ENERGY OVN SAMMENHOLD MED RISTEOVN

Støv direkte ud af ovn	Risteovn	Dall Energy	Reduktion
Bogense mg/m ³ (ref)	1000	69	93%
Sønderborg mg/m ³ (ref)	1000	33	97%

Det kan konkluderes, at Dall Energy's forbrændingsovne producerer mellem 93%-97% færre partikler end traditionelle ristefyrede ovne.

8.1.2 Støv emission i skorsten

Traditionelle biomasse anlæg har flere trin røggasrensning mellem ovn og skorsten: Multicyklon samt scrubber eller posefilter eller elfilter. Herved kan grænseværdien på 100 mg/Nm³ overholdes. Pga. de lave støvemissioner ud af Dall Energy ovnen kan grænseværdien for støv emission overholdes ved blot at have en scrubber som partikel rensning.

TABEL 16.
STØVEMISSIONER I SKORSTEN EFTER RØGGASVASKER

Støv i skorsten	Grænseværdi	Dall Energy
Bogense mg/m ³ (ref)	100	29
Sønderborg mg/m ³ (ref)	100	14
Warwick Mills mg/m ³ (ref)	100	7

Ud fra tabellen herover, kan det konkluderes at støvemissionen i skorstenen er markant under grænseværdien.

Det ses også at støv-emissionen efter skrubberen i Sønderborg er ca. den halve ift. efter skrubberen i Bogense, hvilket er den samme tendens som støv-emissionen efter ovnen. Det kan dog ikke ud fra denne sammenhæng konkluderes at der er en direkte sammenhæng mellem støv emission ud af fra og i skorsten, idet der er mange andre faktorer der afgør hvor godt røggas skrubberen renses for partikler.

8.1.3 NO_x emissioner

På traditionelle biomasse ovne er NO_x emission ca. 200-300 mg/Nm³ ved fuld last.

NO_x emissionen er målt på 3 Dall Energy ovne:

- 1. generations ovnen i Bogense, med 1 trin gasforbrænding og
- 2. generations ovn med to trins gasforbrænding (Warwick og Sønderborg).

TABEL 17.
NO_x EMISSIONER I SKORSTEN

NO _x i skorsten	Grænseværdi	Dall Energy
Bogense mg/m ³ (ref)	300	200
Sønderborg mg/m ³ (ref)	300	151
Warwick Mills Høj VOC mg/m ³ (ref)		54
Warwick Mills Lav VOC mg/m ³ (ref)		80

Det kan konkluderes at tottrinsgasforbrænding reducerer NO_x emissionen markant. Målingerne på Dall Energy ovnene viser en reduktion på mellem 25-75%.

8.1.4 CO emissioner

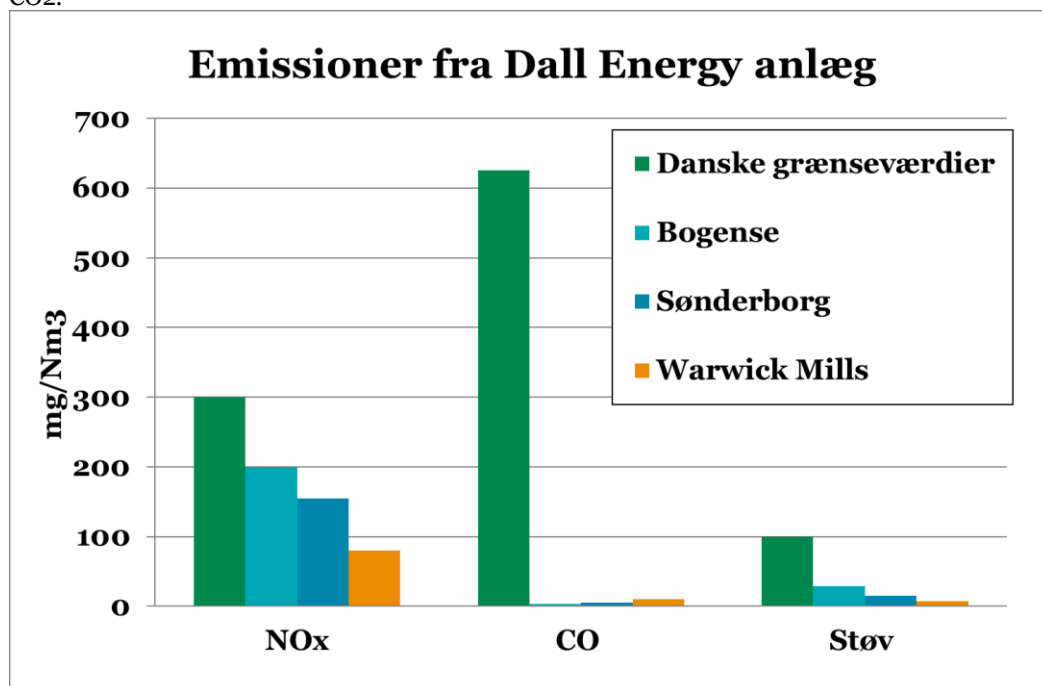
CO er en indikator for dårlig (delvis) forbrænding. Via computer simuleringer (CFD) har Dall Energy har gjort meget for at op nå fuldstændig forbrænding, både ved dellast og fuldlast. Resultaterne af måling af CO ses i tabellen herunder

TABEL 18.
CO EMISSIONER I SKORSTEN

CO emission		Grænseværdi	Dall Energy 100%
Bogense 100% last	mg/m ³ (ref)	625	<3,8
Bogense 20% last	mg/m ³ (ref)	625	<2
Sønderborg	mg/m ³ (ref)	625	5
Warwick Mills Høj VOC	mg/m ³ (ref)		61
Warwick Mills Lav VOC	mg/m ³ (ref)		10

Det kan konkluderes at Bogense og Sønderborg anlæggene som forbrænder biomasse har meget lave koncentrationer af CO.

Warwick anlægget har højere indhold af CO i røggassen, men det skyldes at forbrændingsluften som blev tilført ovnen havde højt indhold af kulbrinter, som bliver nedbrudt til CO inden de oxideres til CO₂.



Figur 18

Emissioner målt i skorsten på de tre anlæg ved fuld last, sammenholdt med gældende danske grænseværdier

Samlet set kan det konkluderes at Dall Energys forbrændingsteknologi har lave emissioner af støv, CO og NOx:

- Dall Energy ovnen har omkring 93-97% mindre støvindhold i afgangsluften fra ovnene end fra traditionelle ristefyrede ovne.
- NOx emissionen er 25-75% lavere på 2. generation anlæggene (Sønderborg og Warwick) end på standard anlæg.
- CO emissionen er under 1 % ift. hvad grænseværdien tillader, både ved 100% og 20% last.

8.2 Øvrige konklusioner

8.2.1 Destruktion af VOC

Et væsentligt formål med Dall Energy ovnen hos Warwick Mills er nedbrydning af VOC fra virksomhedens coatere.

De lokale miljømyndigheder havde stillet krav om 98% destruktion.

De danske krav til VOC destruktion er 99%.

Måleserien med højt indhold af VOC i forbrændingsluften viste en destruktion på 99,98%, mens måleserien med lavt indhold af VOC i forbrændingsluften viste en destruktion på 99,87%.

Det kan således konkluderes at Dall Energy ovnen er meget velegnet til at nedbryde VOC.

8.2.2 SO₂, HCl, HF, Dioxin, Naphtalen og PAH'er

Emissioner af SO₂, HCl, HF, Dioxin, Naphtalen og PAH'er reguleres ikke på mindre biomasse anlæg, men efter aftale med Miljøstyrelsen er emissionerne af disse stoffer blevet målt i skorstenen på anlægget i Bogense.

Måleresultaterne ses herunder, sammenholdt med danske grænseværdier.

TABEL 19.

EMISSIONER AF SO₂, HCl, HF, DIOXIN, NAPHTALEN OG PAH'ER EFTER ANLÆGGET I BOGENSE

Parameter	Enhed	Målt værdi	danske grænseværdier
SO ₂	mg/m ³ (ref)	<2	
HCl	mg/m ³ (ref)	<2	
HF	mg/m ³ (ref)	<1	
Dioxin	ng/m ³ (ref)	<0,0035	0,1
Naphtalen	mg/m ³ (ref)	<0,0033	100
PAH'er	µg/m ³ (ref)	0,059	5,0

Det kan konkluderes at emissioner af emissioner af SO₂, HCl, HF, Dioxin, Naphtalen og PAH'er er meget lave, og i det omfang der er en grænseværdi er emissionerne under 1% af hvad grænseværdien tillader.

Referencer

[1] EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV om begrænsning af visse luftforurenende emissioner fra mellemstore fyrings-anlæg (2015/2193/EU) af 25. november 2015.

[2] Cyclone optimization including particle clustering
André Alves, Julio Paiva, Romualdo Salcedo
Powder Technology 272 (2015) 14–22

[3] Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2007 - Energinet.dk miljøprojekt nr. 07/1882
Energinet.dk
2010

[4]. Luftvejledningen.
Begrænsning af luftforurening fra virksomheder.
Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 2, 2001

[5] Multi brændselsovn - Demonstrationsprojekt
Dall Energy
Juni 2012
J.nr.: 64010-0007

[6] <http://www.etv-danmark.dk/>

[7] Aftale mellem regeringen (Socialdemokraterne, Det Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti) og Venstre, Dansk Folkeparti, Enhedslisten og Det Konservative Folkeparti om den danske energipolitik 2012-2020.
Den 22. marts 2012.

[8] Træ til energiformål.
Videncenter for Halm- og Flisfyring
1999

[9] NOx reduktion i mellemstore halmkedler
Projekt nr. 2012 – 01
Høng Varmeværk, FORCE Technology og Euro Therm A/S

[10] Fuel Staging for NOx Reduction in Biomass Combustion: Experiments and Modeling
Roger Salzmänn, Thomas Nussbaumer,
Energy & Fuels 2001, 15, 575-582

[11] Review of Finnish biomass gasification technologies.
OPET report 4
Espoo 2002

Bilag 1: Målinger på ovnen på Bogense Fjernvarme

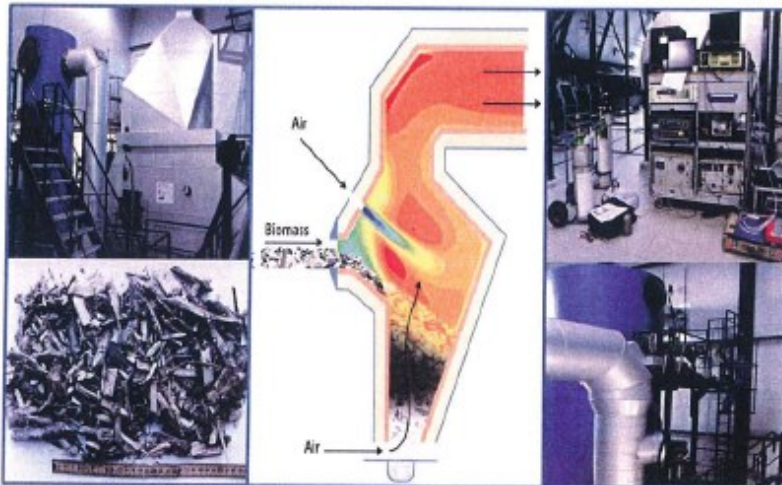
3 målerapporter:

- ETV statement: 4 sider
- ETV rapport: 18 sider
- Målerapport: 16 sider



Dall Energy Biomass Furnace

Low particle, CO and NO_x emission furnace



Document
Date
Document Responsible

Verification Report
June 2012
Marianne Kyed Ørbæk

Bilag 2: Målinger på ovnen på Warwick Mills

Målerapport 235 sider : 27 sider rapport



FINAL REPORT
DALL ENERGY BIOMASS COMBUSTION SYSTEM
EMISSION COMPLIANCE and
VOC DESTRUCTION EFFICIENCY TEST PROGRAM
DC959-349-100

WARWICK MILLS
NEW IPSWICH, NH

September 30th and October 1st, 2014

Source Designation:
Warwick Mills
New Ipswich, NH
VOC Duct Inlet to BMCS / BMCS Stack

Concerning:
Biomass System Emission Compliance
VOC Destruction Efficiency

Prepared for:
Warwick Mills
301 Turnpike Road
New Ipswich, NH 03071

Prepared by:
CEMServices, Inc
360 Old Colony Road
Suite 1
Norton, MA 02766

All information contained in this report is true and accurate to the best of my knowledge.

Christopher A. Cutting
President

10/16/2014
Date

Bilag 3: Målinger på ovnen på Sønderborg Fjernvarme

Målerapport 8 sider.



RAPPORT NR.: 150323-1


Emissionsmålinger på Dall Energy biomasse ovn Sønderborg Fjernvarme

April 2015

RAPPORT NR.: 150323-1

Rekvirent: Dall Energy
Att.: Jens Dall Bentzen
Venlighedsvej 2
2970 Hørsholm

Udført af: DGtek A/S
Snarremosevej 21 E
7000 Fredericia


Morten Fruth
Underskriftsberettiget
8. april 2015

Side 1 af 8

Verifikation og videreudvikling af biomasseovn med meget lave NOx- og støv emissioner

Formålet med projektet var at afklare, om Dall Energys forbrændingsteknologi rummer nye muligheder for forbrænding af biomasse med meget lave emissioner. Projektet omfattede ovnanlæg hos Bogense Forsyningsselskab, Warwick Mills (USA) og Sønderborg Fjernvarme.

Støvindholdet i røggassen ud af ovnene var ca. 95 % lavere end fra traditionelle risteovne. Ovnene kørte stabilt også ved 20 % last og uden forøgede emissioner. 2. generations anlæggene i USA og Sønderborg havde lave emissioner af NOx. Ovnene i USA havde en VOC destruktionsgrad på over 99,8%.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk