

EUDP

Multi brændselsovn

Proces verifikation

Slutrapport

Januar 2010



<i>Emission</i>	<i>Dansk Lov</i>	<i>Dansk Standard</i>	<i>Dall Energy</i>
<i>Støv</i>	<i>40 (100) i skorsten</i>	<i>200-300 ud af ovn</i>	<i>20-30 ud af ovn</i>
<i>NOx</i>	<i>300 (400)</i>	<i>200-400</i>	<i>175</i>
<i>CO</i>			
<i>100% last</i>	<i>625</i>	<i>300-600</i>	<i>15</i>
<i>40% last</i>	<i>625</i>	<i>??</i>	<i>15</i>
<i>20% last</i>	<i>625</i>	<i>Drift ikke mulig.</i>	<i>15</i>



Dall Energy
New biomass technologies

Dall Energy
Venlighedsvej 2
2970 Hørsholm

Telefon 2987 2222
www.dallenergy.com

EUDP

Multi brændselsovn Proces verifikation

Slutrapport

Januar 2010

Udgivelsesdato 29. Januar 2010

Udarbejdet JDB
Kontrolleret AS, SEE

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	2
2	Design af pilotovn	3
2.1	Design af ovn	3
2.2	Luftbefugtere	9
2.3	Samlet system	10
3	Etablering af pilot anlæg	11
3.1	Fotos fra etablering af pilot ovn	11
4	Verifikation af ovn	15
4.1	Forsøgsgennemgang	15
5	Forberedelse af demonstration	20
5.1	Hjortebjerg: 2 MW kraftvarme med ORC	20
5.2	Markhaven: 2 MW ren varmeproduktion	22
5.3	SEAS: 6 MW kraftvarme i Sorø	23
6	Formidling	25
7	Konklusion	28
7.1	Eftervisning af forbrændingskoncept	28
7.2	Demonstration	28

1 Indledning

Biomasse er på vej til at blive et signifikant brændsel i det danske og det internationale energi marked.

Forskellige forgasningsteknologier er under udvikling. Modstrømsforgasningsteknologien, har vist sig at være en særdeles robust teknologi til omdannelse af træflis til gas. Modstrømsforgasning udmærker sig blandt andet ved :

- Meget høj udbrænding af kulstof
- Nem og hurtig at regulere.

En række danske virksomheder benytter sig således i dag af modstrømssteknologien, herunder Vølund, Stirling Danmark og Gasification Denmark.

Dall Energy har udviklet og patenteret en biomasse forbrændingsovn der kombinerer modstrømsforgasningsteknologien med gas-forbrænding i en integreret ovn.

Målsætningen med designet af ovnen var at opnå følgende egenskaber.

- Brændselsflexibilitet
- Lave emissioner
- Høj udbrænding af kulstof
- Regulerbarhed

EUDP har støttet verifikationen under projekt nr. 64009-0005

Projektet er udarbejdet i samarbejde mellem Dall Energy og SEM stålindustri.

Nærværende rapport beskriver projektet. Rapportens opbygning følger de arbejdsopgaver projektet bestod af: Design, etablering, forsøg, forberedelse af demonstration og formidling.

2 Design af pilotovn

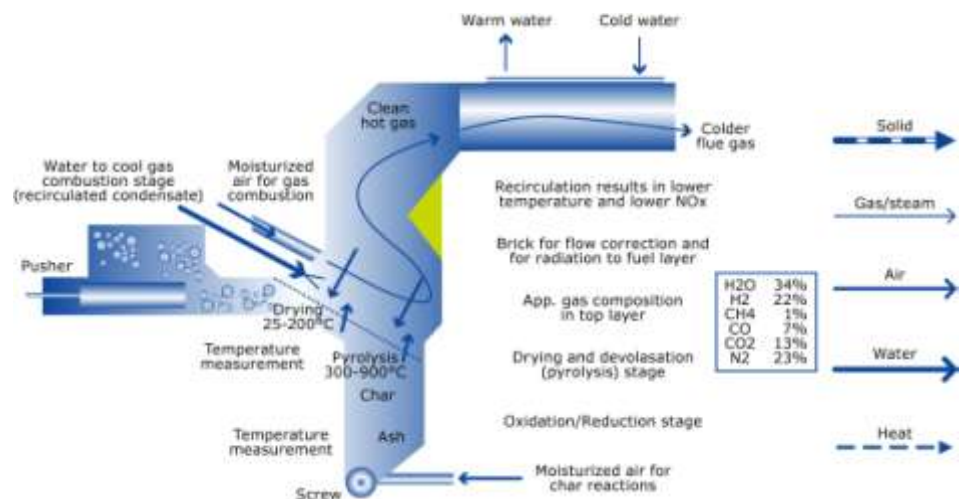
Design af pilot ovn har været delt i tre faser:

1. Ovn
2. Luftbefugtere
3. Samlet system

2.1 Design af ovn

Ovnen består af to adskilte process trin:

- Omdannelse af biomasse til gas i modstrømsforgasser
- Forbrænding af gas i gasforbrændingskammer



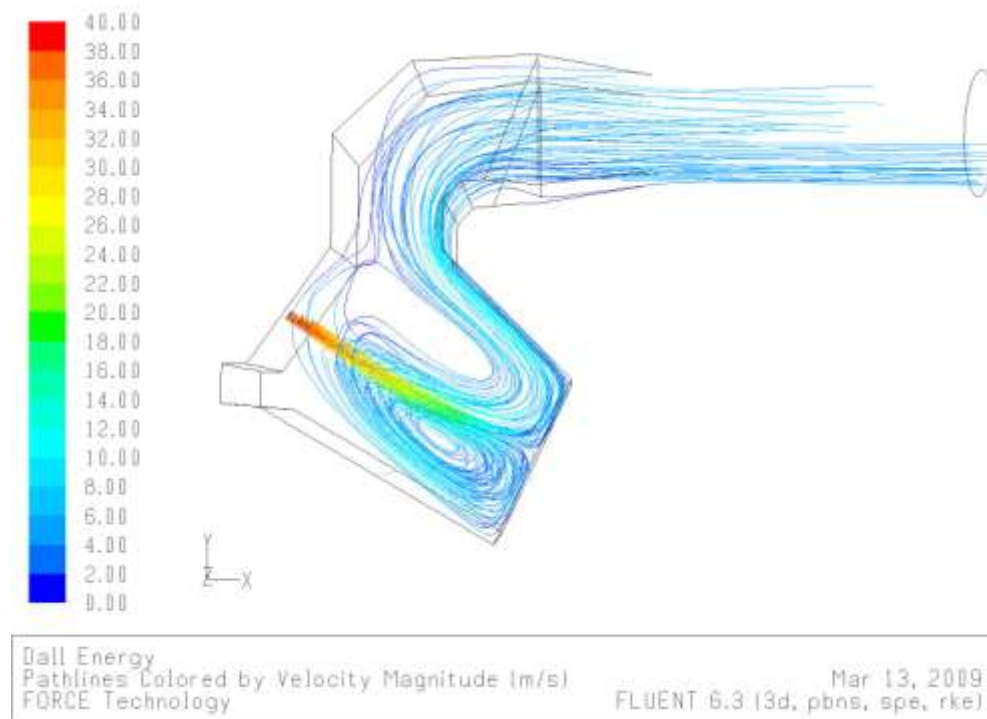
Figur 2.1 Principdiagram af ovn

2.1.1 Design af gasforbrændingskammer

Korrekt design af gasforbrændingskammeret er vigtigt for at sikre lave emissioner både ved fuld last og ved delast.

Force Technologies har omfattende erfaring med CFD simuleringer af forbrændingsprocesser, og Dall Energy og Force havde forud for EUDP projektet lavede CFD simuleringer af gasforbrændingskammeret og herved fundet frem til hvordan det skulle se ud.

Forsknings og innovationsstyrelsen har med finansieret FORCE's CFD modelering.



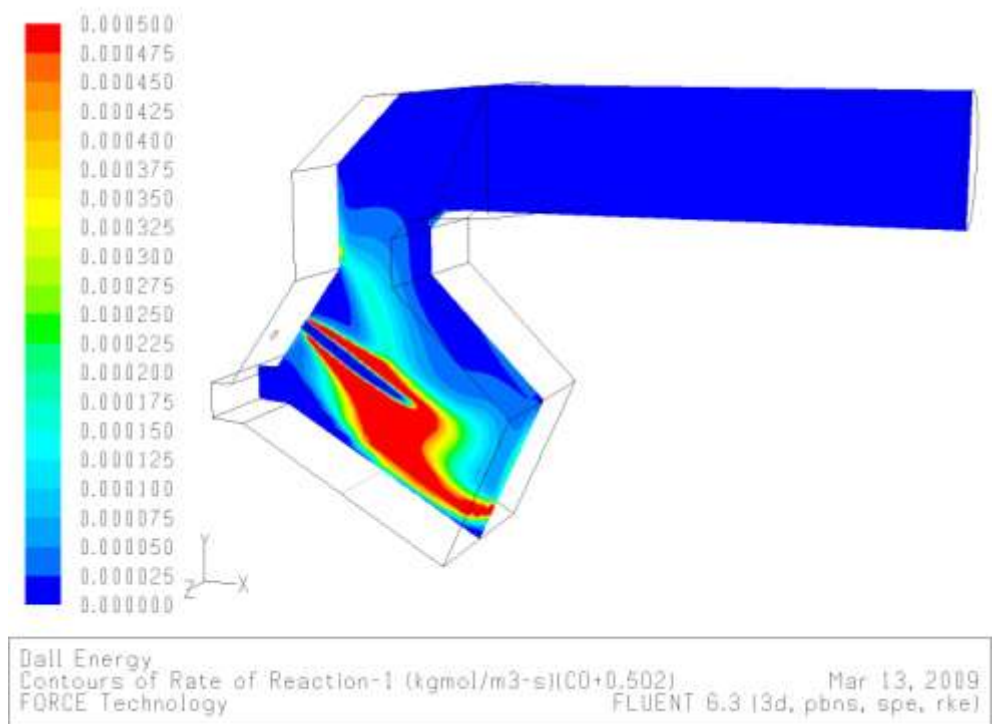
Figur 2.2 CFD beregning der viser gashastigheden i gasforbrændingskammeret ved fuld last

Udfordringerne var at finde formen, indløbshastigheden og antallet af dyser i gasforbrændingskammeret, således at emissionerne er lave både ved fuldlast og ved delload.

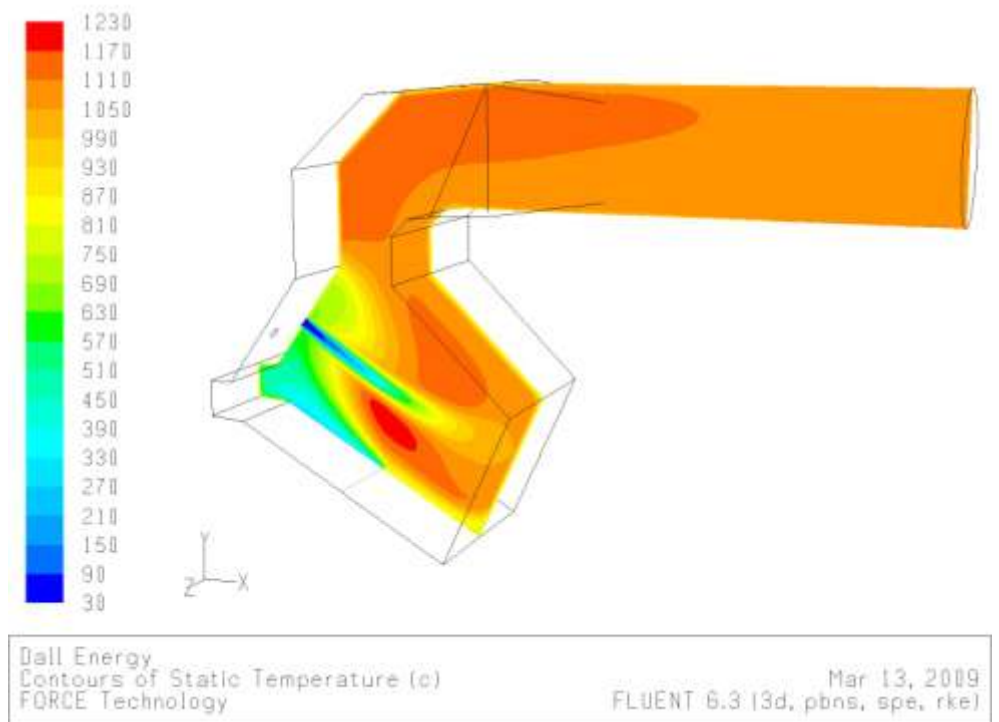
Undersøgelserne fandt frem til at en indløbshastighed på ca. 25 m/s og brug af tre dyser vil give et godt flow mønster i ovnen.

Det ses også at der sker en recirkulering af røggassen i den nederste del af gasforbrændingskammeret. Denne recirkulering er medvirkende til at der NOx emissionen er lav.

Endvidere bemærkes at gashastigheden omkring ”brændselaget” er meget lav, hvilket bevirker at medrivning af partikler bliver minimeret.



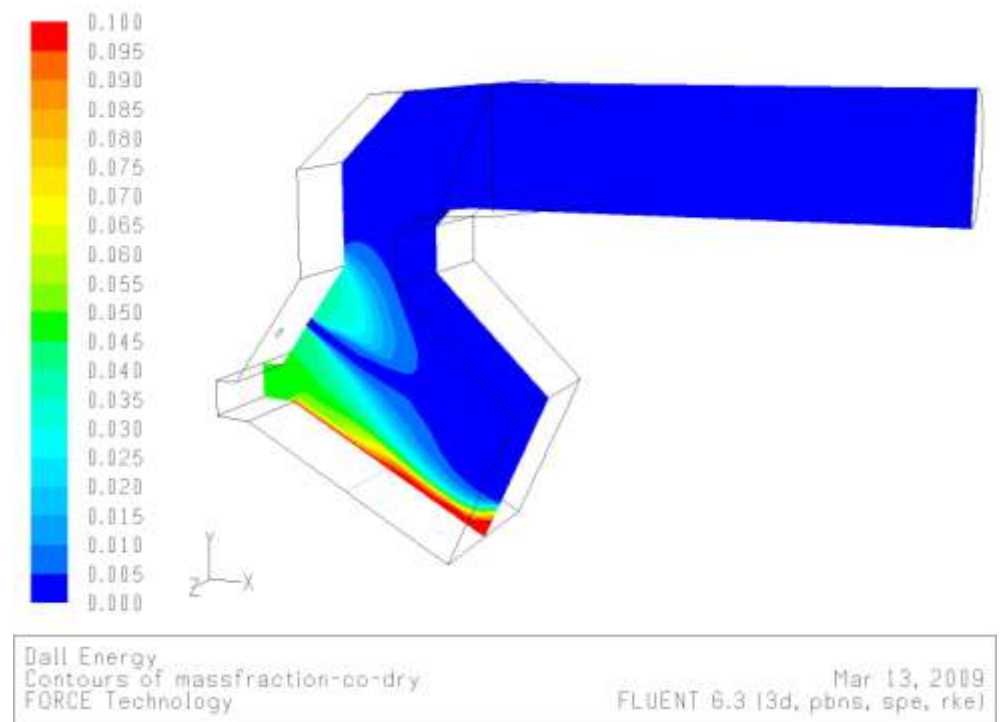
Figur 2.3 CFD beregning der viser reaktionen mellem CO og ilt.



Figur 2.4 CFD beregning der viser temperaturen i gasforbrændingskammeret.

Det ses i figur 2.3 at CO stort set er udbændt i ”hovedkammeret”, men der sker en lille oxidation i den lodrette del af afgangsrøret.

Det ses i figur 2.4, at temperaturen i gasforbrændingskammeret er lav omkring indføderen, men ellers er jævn omkring 1000-1100°C i det øvrige kammer



Figur 2.5 CFD beregning der viser CO indholdet i ovnen.

Det ses i figur 2.5, at CO emissionen er meget lav.

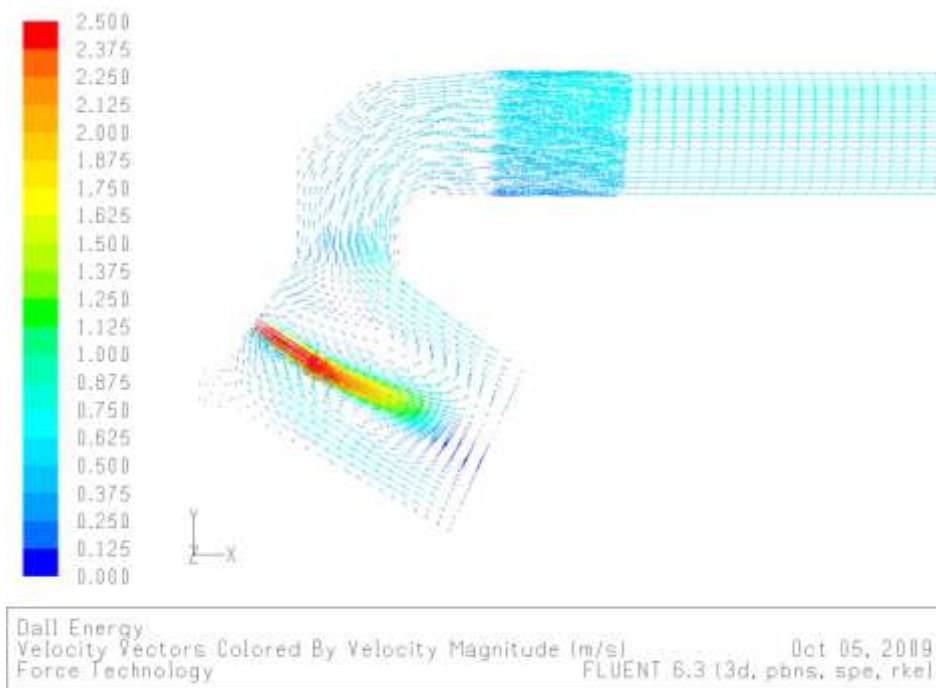
2.1.2 Dellast

Mange biomasseovne har ringe lavlast egenskaber. Derfor er det blevet en trend for biomassefyrede varmekværker at have en lille ovn til sommer drift og en stor ovn til vinterdrift.

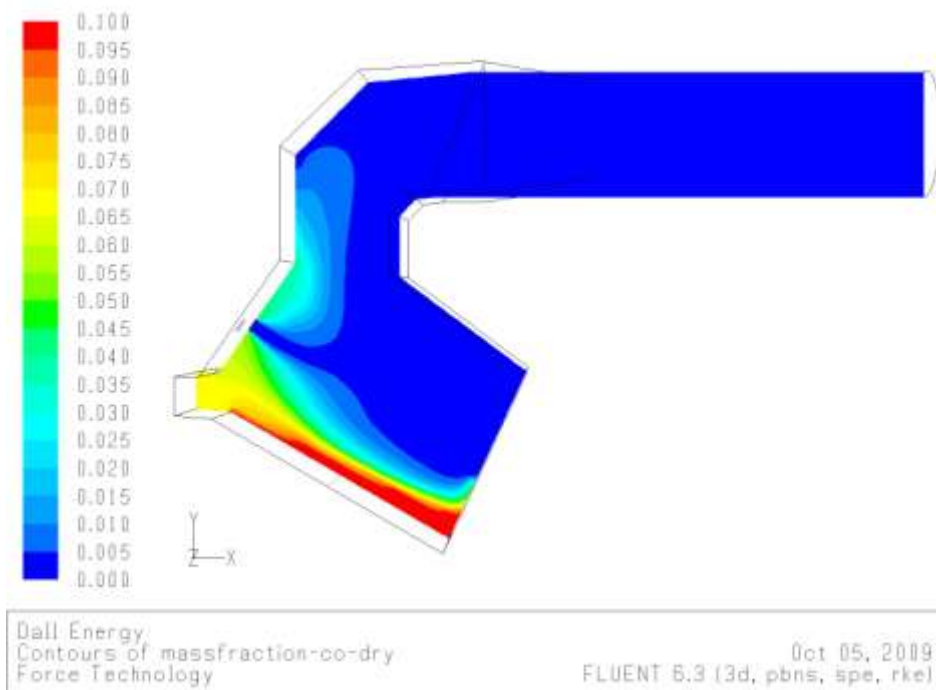
Det har været et væsentligt kriterium for designet af denne ovn, at den skal kunne regulere ned, således at en og samme ovn kan køre om vinteren og om sommeren.

Bunden er ovnen er en modstrømsforgasser. Modstrømsforgassere kan regulere i et meget stort område (10-100%) og de kan reguleres meget hurtigt op og ned. Den store udfordring ved designet af denne ovn, har været at designe gasforbrændingskammeret så emissionerne forbliver lave ved dellast.

CFD beregninger af dellast viser at temperaturer, flow og emissioner er særdeles fornuftige helt ned til 10% last.



Figur 2.6 *CFD beregning af flow ved 10% last. Indløbshastigheden er kun 2,5 m/s men alligevel når luftstrømmen dybt ind i gasforbrændingskammeret og luft/gas strømmingen minder utroligt meget om strømningsbilledet ved fuldlast.*



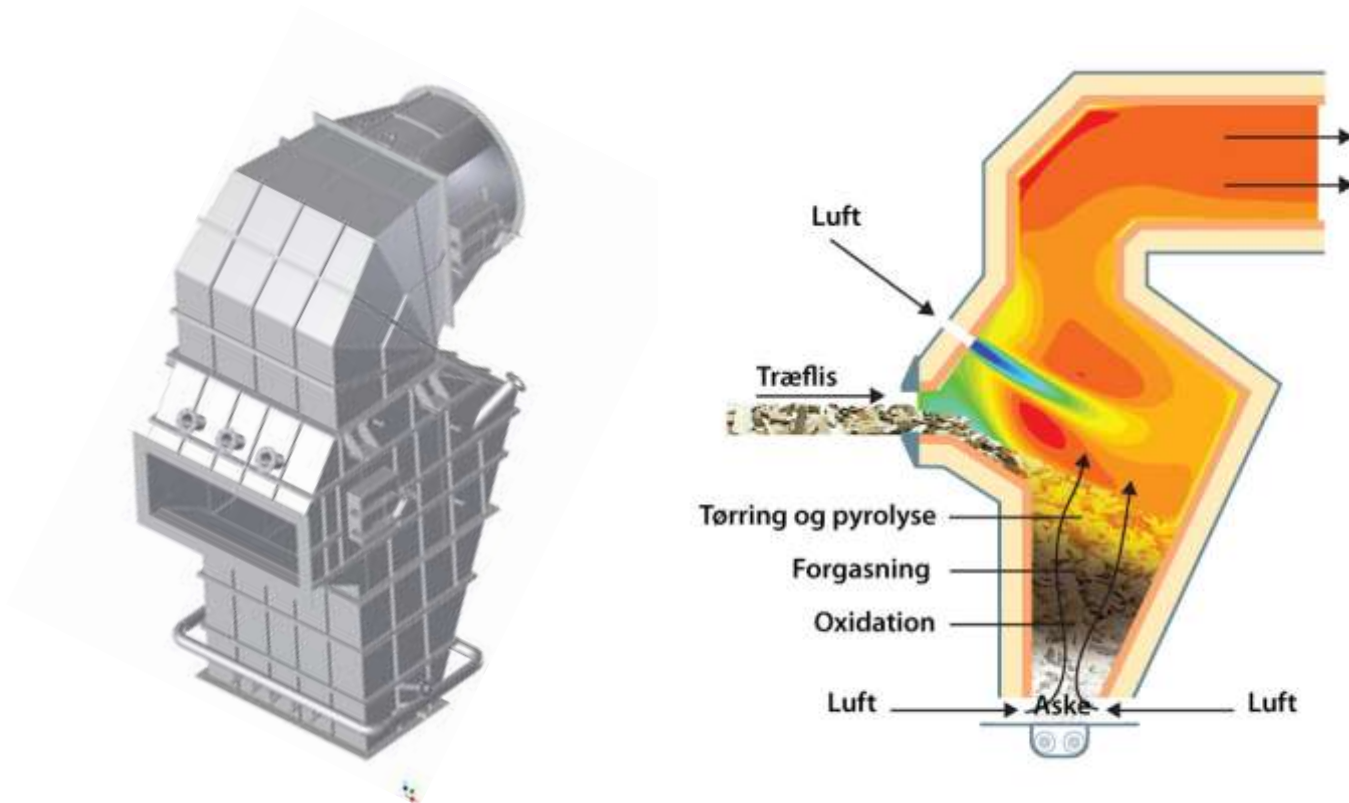
Figur 2.7 *CFD beregning af CO emission ved 10% last. Det ses at CFD simuleringen beregner en meget lille CO emission ved 10% last*

2.1.3 Design af forgasser

Korrekt design af forgasseren er vigtigt for at sikre høj udbrænding af kulstof og for at undgå brobygning og slaggedannelse.

Gasification Denmark ved Claus Geest, har omfattende erfaring med modstrømsforgasning og etablering og indkøring af anlæg, så Claus Geest blev tilknyttet projektet som fast konsulent til Dall Energy projektet igennem.

Beck Consult ved Jørgen Beck Christiansen, har omfattende erfaring med konstruktion af ildfaste reaktorer, herunder forgasningsreaktorer. Beck Consult blev tilknyttet projektet som konsulent til Dall Energy til layout og konstruktion af ovnen.



Figur 2.8 Tv: 3-D figur af ovnen. Th: 2-D diagram der viser princip for ovn.

Ovn konstruktionen består af 4 sektioner: Forgasser, Gas forbrændingskammer, Vendekammer og overgang til rund.

Indføderen kan være en pusher eller snegle. På pilotanlægget blev benyttet snegle.

Til at måle højden af brændselslaget i forgasseren benyttes en radar.

Aske sneglene aktiveres først når asken er udbrændt og kold.

2.2 Luftbefugtere

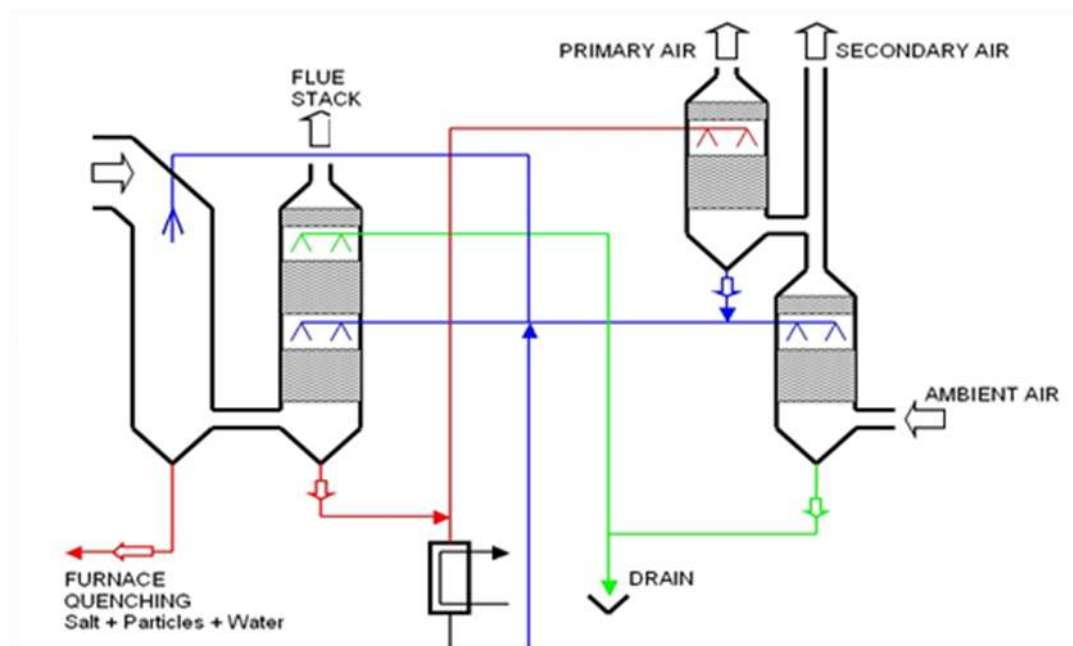
Befugtning af forbrændings- og forgasningsluft kan give en række fordele herunder:

- Bedre gas (mere brint i gas)
- Reduceret NO_x
- Reduceret slagge
- Højere virkningsgrad

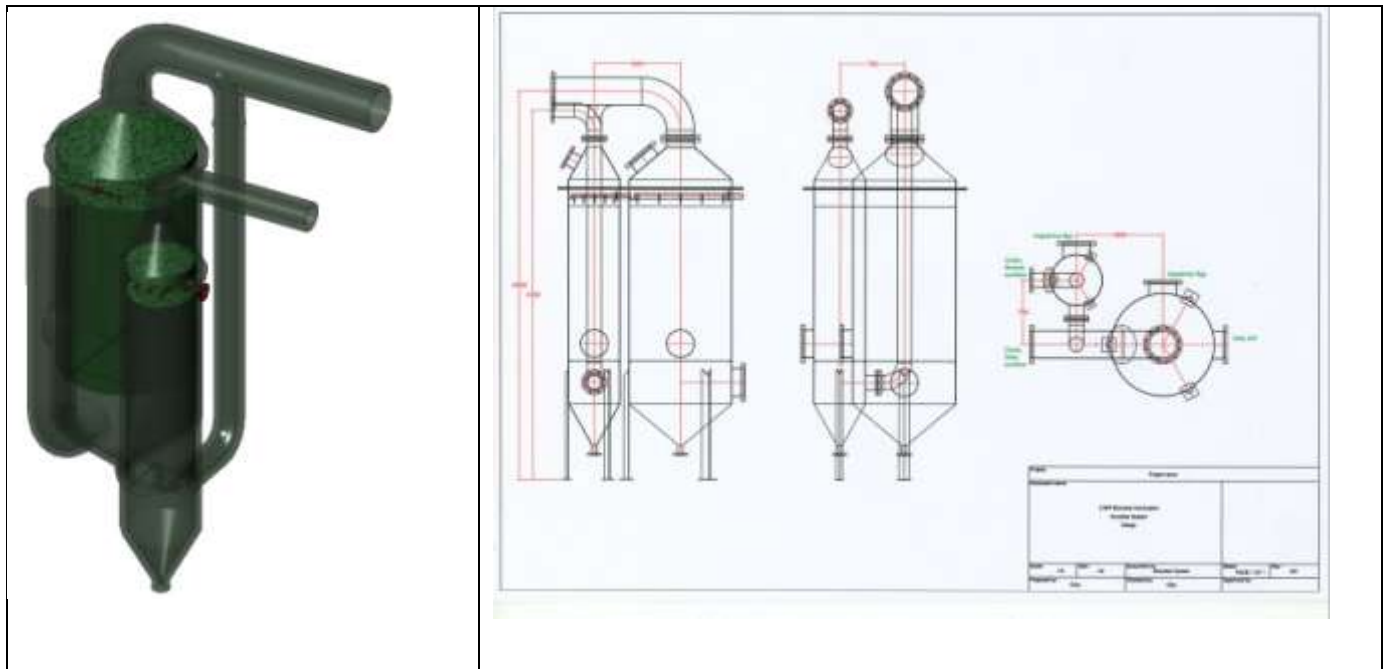
Der blev derfor designet og etableret et system til befugtning af forbrændings- og forgasningsluft.

Eftersom forgasningsluften med fordel kan benytte en mere befugtten luft end forbrændingsluften blev der udviklet og etableret et system, hvor den del af luften der skal til forgasseren bliver opfugtet yderligere i booster.

Luftbefugter systemet blev designet så det kan integreres i et komplet anlæg.



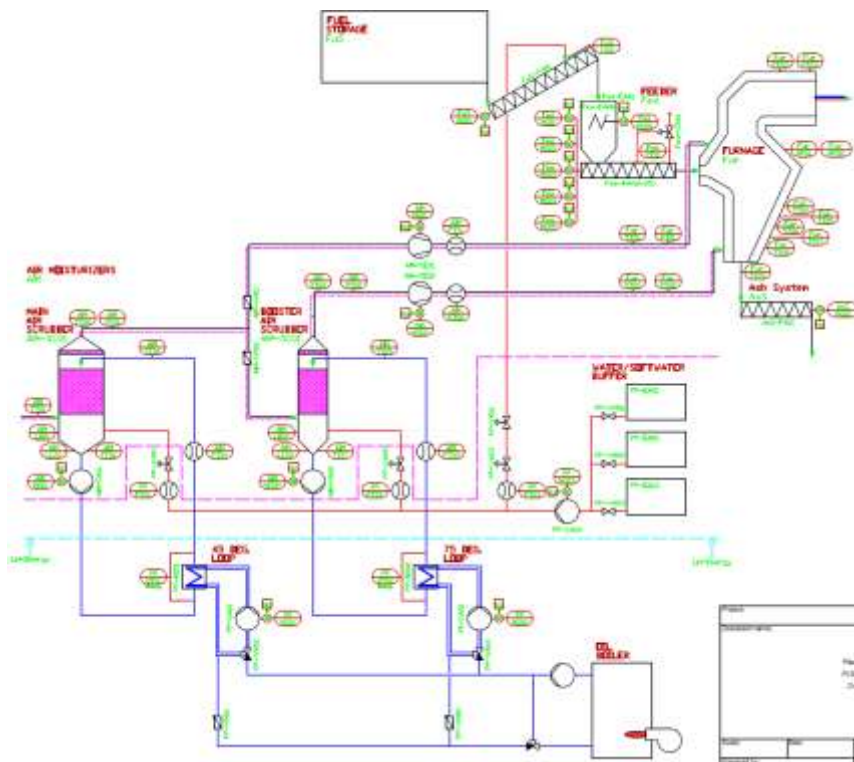
Figur 2.9 System med røggas skrubber og luftbefugtere.



Figur 2.10 Luftbefugtere udlagt som "packed columns", med telrettere som fyldlegemer.

2.3 Samlet system

Der blev udarbejdet PI diagram og komponentliste for det samlede system.



Figur 2.11 PI diagram.

3 Etablering af pilot anlæg

SEM stålindustri var ansvarlige for etableringen af pilotanlægget.

Alle stålkomponenter inklusiv ovn og indføder blev produceret af SEM stålindustri.

Der blev indgået aftale med udmuringsfirmaet Refcon om udmuring af ovnen i ildfast materiale. I Refcons valg af materiale blev der lagt stor vægt på isole-ringsegenskaberne af udmuringsmaterialet.

Det blev tidligt i projektet besluttet at udføre luftbefugterne i glasfiber, og få disse lavet af Scancomposit, som har omfattende erfaring hermed.

3.1 Fotos fra etablering af pilot ovn



*Figur 3.1 Ovn elementer hos Refcon til udmuring.
Til højre: Morten Andersen fra SEM stålindustri*



Figur 3.2 Indføder sektion efter udmuring



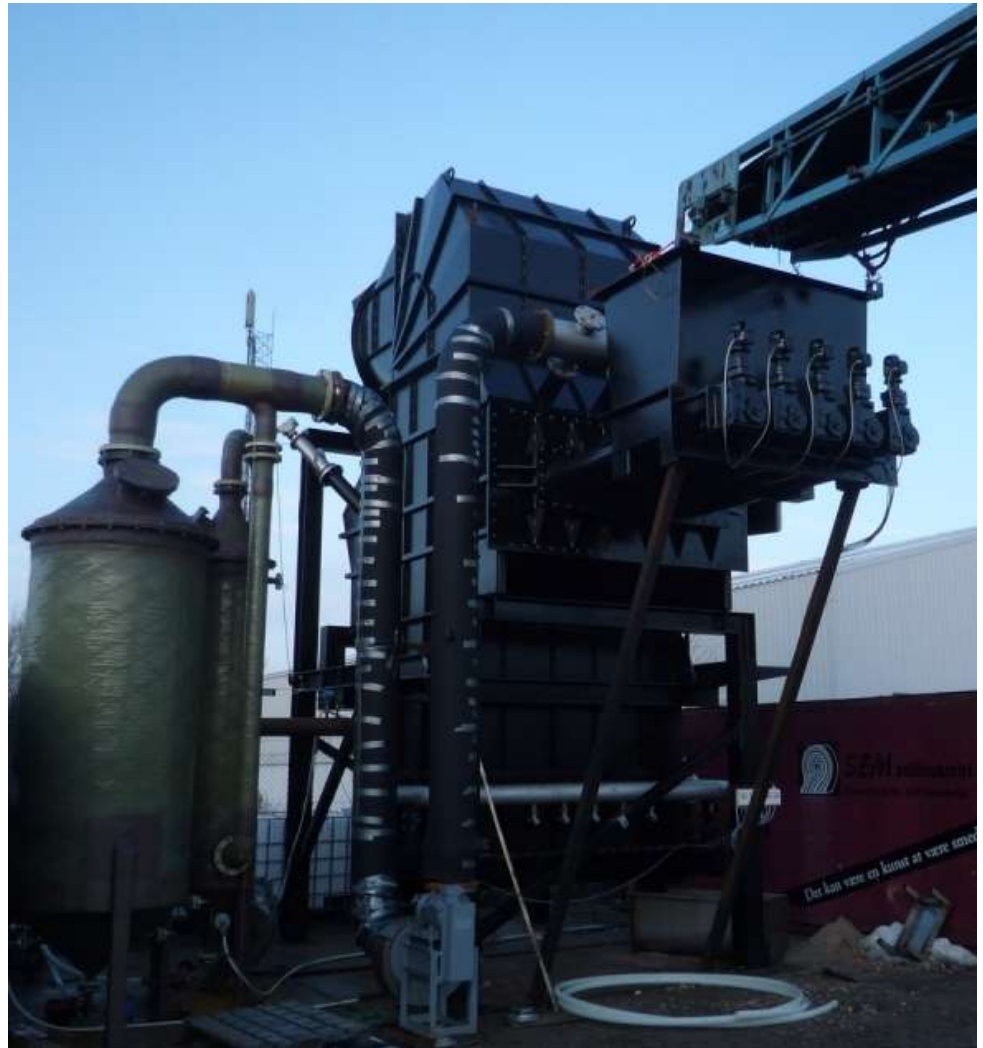
Figur 3.3 Montage af ovn elementer



Figur 3.4 Montage af dyser til sekundær luft.



*Figur 3.5 Produktion af luftbefugter hos Scancomposit.
Til Højre: Bent Vilhemsen fra Scancomposit.*



*Figur 3.6 Anlæg klar til test.
Tv: Luftbefugtere, Th: Ovn*

4 Verifikation af ovn

Der blev gennemført to testkørsler i henholdsvis uge 48 og i uge 50 2009.

Ved den første testkørsel var der problemer med indfødningsudstyret og anlægget kom ikke i stabil drift.

Ved den anden testkørsel var indfødningsudstyret blevet udbedret (stærkere motor på snegle).

I den første del af forsøget var der problemer med overgang i elsystemet. Fejlene blev løst af SEM's elektriker og herefter kørte ovnen meget stabilt.

Resultater fra testen i uge 50 præsenteres herunder.

Brændslet var forsøget igennem skovflis med fugtindhold på 45-50% leveret fra Verving Savværk

4.1 Forsøgsgennemgang

7. December Anlægget blev startet op d. 7. December om eftermiddagen.
- Anlægget kom hurtigt i stabil drift, men kl. 23.30 røg strømmen i kontrolrummet og anlægget lukkede ned.
8. December Et defektstik blev skiftet og anlægget kørte igen 9.45.
- Anlægget kørte fint, men i løbet af dagen var der en del udfald pga. overgang i el-systemet.
- Dette blev lavet ved fyraften hvorefter anlægget kørte stabilt.
- Natten ml. 8.-9. Dec Flis leveringen d. 8. December om eftermiddagen kom ikke, så for at have flis nok til hele natten det blev besluttet at køre anlægget på 40% last natten igennem.
- Kl. 7 om morgenen var flis situationen kritisk og det blev besluttet at gå på 20% last. Anlægget kørte fint på 20% last.
9. December kl. 8.30 kom et nyt læs flis. Anlægget blev sat til at køre 100% last.

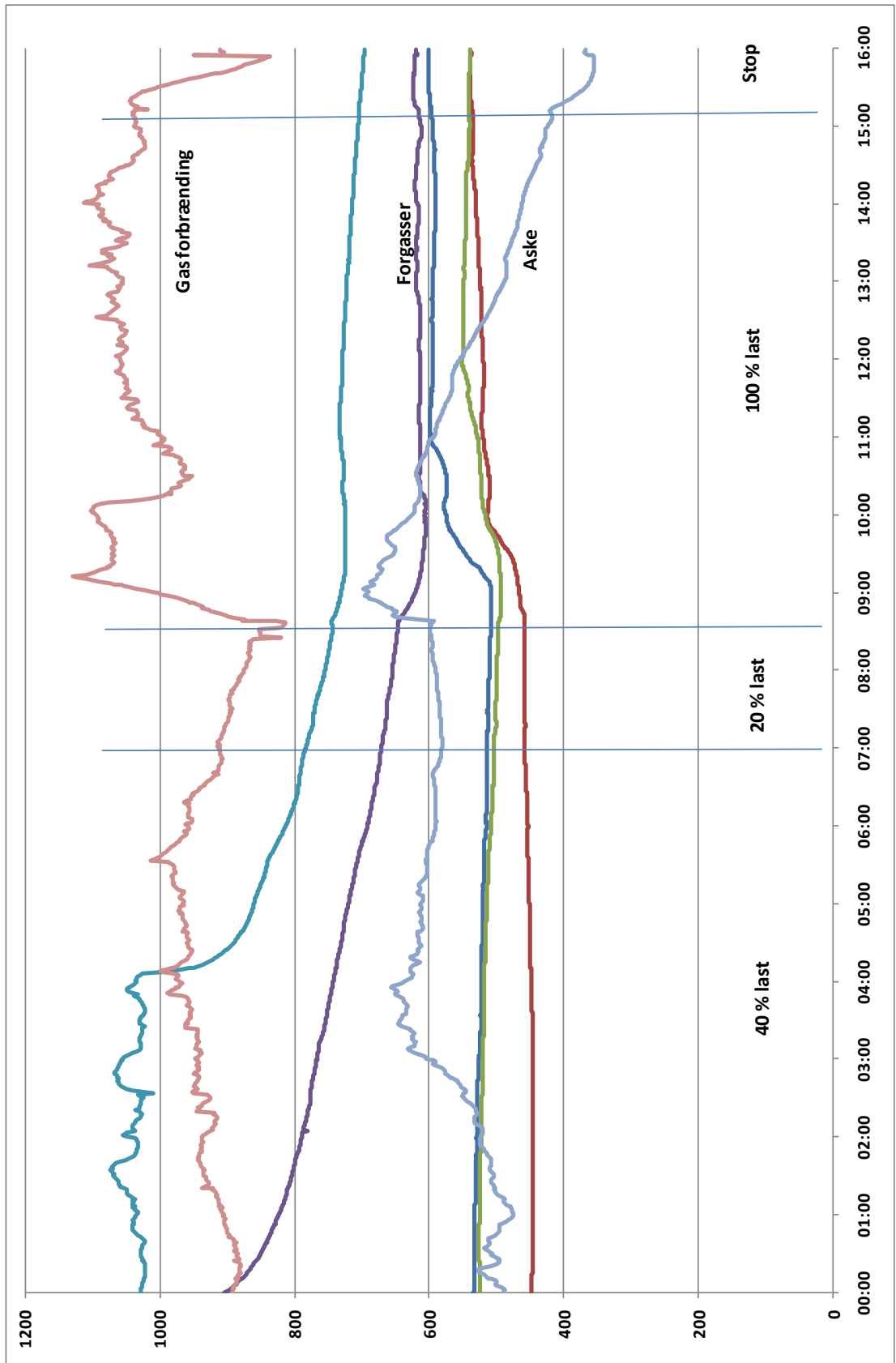


Figur 4.1 Finn Pedersen, Chimney Lab (Tv) og Bjørn Teislev, Dall Energy (Th) besigtiger anlægget under partikel måling.

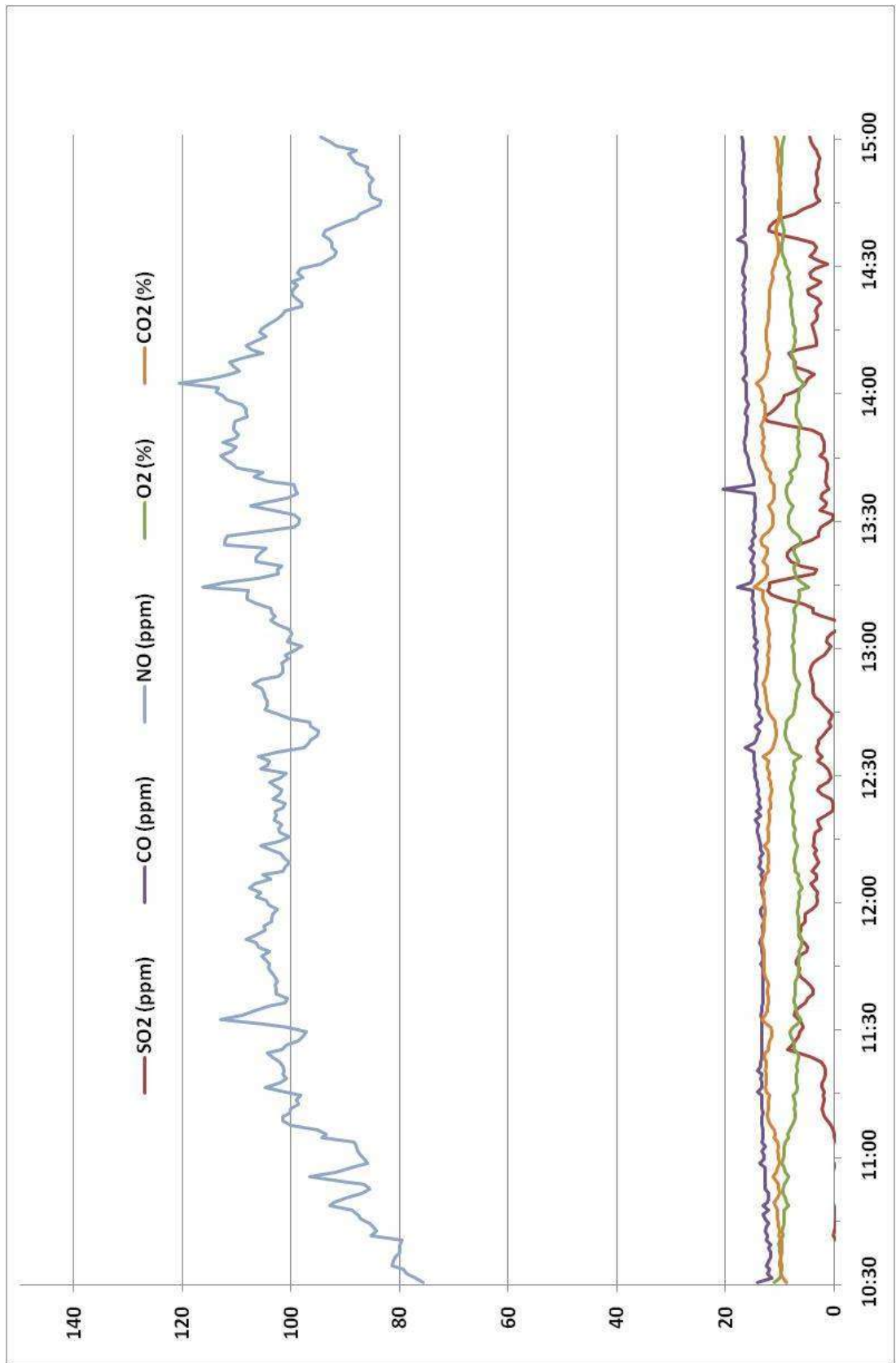
Finn Petersen, Chimney Lab ankom omkring kl. 9 og kalibrerede gas analyse apparatet

I løbet af dagen lavede Finn Petersen 4 partikel målinger, mens anlægget kørte fuld last.

Indfødnngen blev stoppet kl. 15 og anlægget blev lukket ned.



Figur 4.2 Temperaturer i ovn d. 9. December 2009.



Figur 4.3 Emissioner d.9.december 2009

Tabel 1 Emissionsmålingerne omregnet til mg/Nm³ ved 10% ilt, sammenholdt med dansk standard og dansk lovgivning

<i>Emission</i>	<i>Dansk Lov (luftvejledning)</i>	<i>Dansk Standard</i>	<i>Dall Energy ovn</i>
<i>Støv</i>	<i>40¹ i skorsten</i>	<i>200-300 ud af ovn</i>	<i>20-30 ud af ovn</i>
<i>NOx</i>	<i>300²</i>	<i>200-400</i>	<i>175</i>
<i>CO</i>			
<i>100% last</i>	<i>625</i>	<i>300-600</i>	<i>15</i>
<i>40% last</i>	<i>625</i>	<i>?</i>	<i>15</i>
<i>20% last</i>	<i>625</i>	<i>Drift ikke mulig.</i>	<i>15</i>



Figur 4.4 Anders Svehag, Dirketør for SEM og Klaus Søgård, Direktør for Markhaven (økologisk gartneri) ser ovnen i funktion, mens Finn Petersen, Chimeylab laver partikelmåling.

¹ For kondenserende anlæg gives i dag dispensation så disse kan have op til 100mg/Nm³ støv. Dette skyldes at multicyclon + skrubber ikke reducerer emissionen til under 40 mg/Nm³. En Dall Energy ovn overholder emissionsgrænsen uden rensning.

² Gælder kun for anlæg over 5 MW, og anlæg der fyrer med flis kan få lempet krav til 400 mg/Nm³.

5 Forberedelse af demonstration

Ovnen er primært udviklet med henblik for produktion af fjernvarme på basis af biomasse, men ovnen kan også bruges til produktion af varme til industrier og til produktion af andre ydelser f.eks.

- Strøm (ved dampturbine, stirling motor, dampmotor, ORC)
- Køling (ved absorptions kølemaskine)
- Rent vand (ved vacuum destillation)

Forberedelsen af et demonstrationsprojekt har været fokuseret på rent varme-produktion og på kraftvarme ved brug af ORC teknologien.

Fokus har været på anlæg i størrelsen på 2 MW og 5 MW.

2 MW er interessant idet ovn og opfugtere fra pilotanlægget vil kunne bruges direkte i et demonstrationsprojekt.

5 MW er interessant idet der er relativt mange projekter i denne størrelse.

I dette kapitel beskrives nogle af de projekter Dall Energy og SEM stålindustri har dialog med potentielle værter til et demonstrationsanlæg.

5.1 Hjortebjerg: 2 MW kraftvarme med ORC

Hjortebjerg er et gartneri på Fyn ca. 15 km fra SEM stålindustri.

Der har været gartneri siden 1933 hvor Åge og Alma Thomsen købte grunden ved Hjortebjergvej for starte egen produktion af frugt og grøntsager.

I 1993 tog tredje generation over, og Steen og Alex Thomsen har moderniseret og udvidet produktionen.

Planter skal have varme for at gro og eftersom Danmark har et koldt klima har danske gartneriet et varmeanlæg for at optimere produktionen

Hjortebjerg havde oprindeligt oliefyrede kedler, men i 1990'erne blev der installeret gas fyrede kraftvarme enheder.

Efter introduktionen af det frie elmarked er det kun i begrænsede perioder rentabelt at køre med kraftvarmeenhederne og en væsentlig del af varmeproduktionen kommer i dag fra en gaskedel.

Hjortebjerg er interesserede i at være anlægsvært til en demonstration af kraftvarmeteknologien baseret på en 2 MW ovn.

EUDP blev i foråret 2009 ansøgt om støtte til projektet, men projektet blev ikke indstillet til støtte og projektet blev lagt i mølposen.



Figur 5.1 Hjortebjerg varmecentral (tv) og gartneriet (th)



Figur 5.2 Hjortebjerg med indikering af placering af biomasse kraftvarmeanlæg.

5.2 Markhaven: 2 MW ren varmeproduktion

Markhaven er et andet gartneri på Fyn ca. 10 km fra SEM stålindustri.

Markhaven er et af de første og i dag et af de største danske økologiske gartnerier.

Markhaven ejes og drives af Klaus Søgaard.

Markhavens varmecentral minder om varmecentralen på Hjortebjerg: Gasfyret motor og gaskedel leverer varme til planterne.

Markhaven overvejer at få det fosile brændsel udfaset med bæredygtigt og vedvarende energi.

Klaus Søgaard besøgte pilotanlægget ved testen i december.



Figur 5.3 Markhavens hjemmeside.



Figur 5.4 Markhavens kedelcentral. .

5.3 SEAS: 6 MW kraftvarme i Sorø

SEAS har igennem en årrække undersøgt mulighederne for at etablere et flisanlæg i Sorø. I dag produceres varme hovedsagligt på et gasfyret kraftvarmeanlæg.

I foråret 2009 mødtes Dall Energy og SEM med SEAS og deres rådgiver COWI A/S, for at præsentere ovnen og muligheden for at lave kraftvarme med ORC.

SEAS fandt såvel ovn som muligheden for kraftvarme interessant.

I foråret 2009 var SEAS plan at etablere et nyt flisanlæg på ca. 3,2 MW i 2009.

Forud for EUDP ansøgningsrunden i September 2009 kontaktede Dall Energy SEAS med henblik på at søge støtte til at biomasse kraftvarmeprojekt.

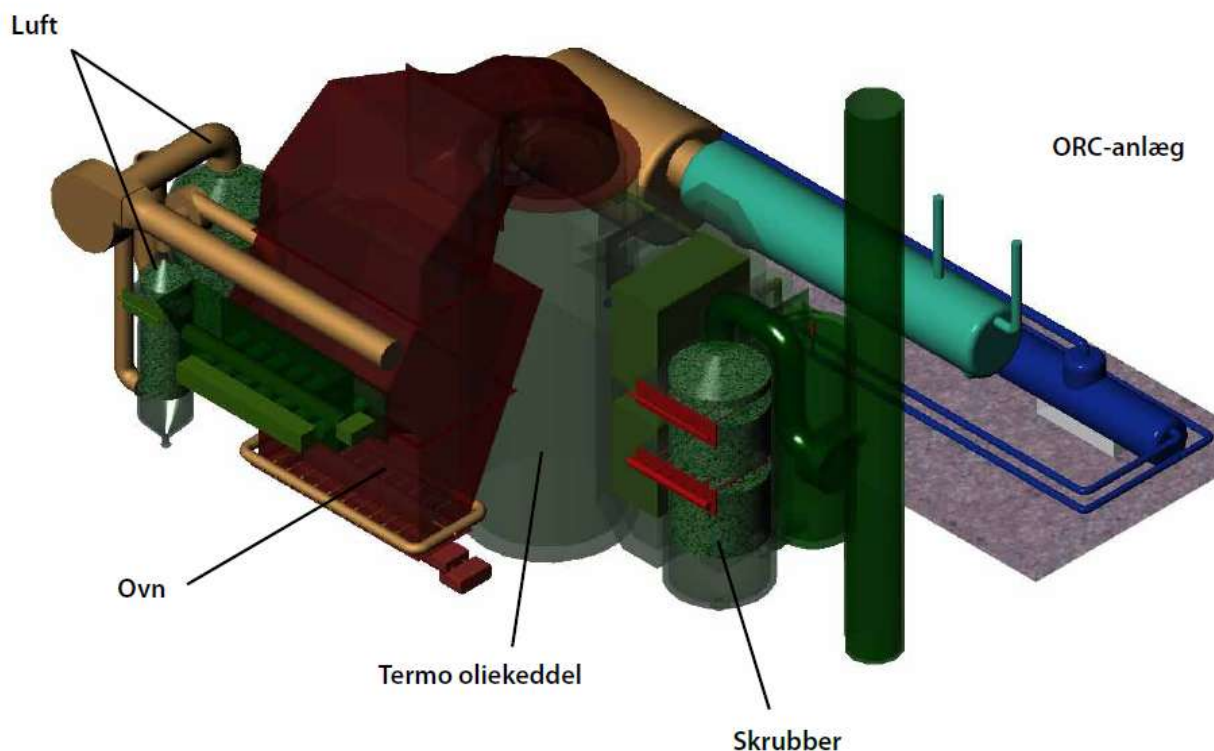
Dette var SEAS interesseret i og en ansøgning blev fremsendt.

I løbet af efteråret 2009 undersøgte COWI kraftvarmeløsningen nøjere og det viste sig at et anlæg på 6 MW indfyret effekt passer bedre til Sorøs behov. SEAS besluttede at udskyde beslutning omkring etableringen af et flisanlæg. Den nye tidsplan for SEAS lyder:

- Beslutning November 2010
- Etablering: 2011.

EUDP evaluerede ansøgningen fra September positivt.

Tidsplanen fra ansøgningen kan dog ikke holde, og der er p.t. dialog mellem Dall Energy og EUDP om hvorvidt projektet kan tilpasses.



Figur 5.5 Layout af biomasse kraftvarmeanlæg på 6 MW indfyret effekt.

Tabel 2 Målsætninger for anlæg til SEAS i Sorø (Fra EUDP ansøgning)

Energy efficiency	Total efficiency: minimum 110% (LHV) Power efficiency: minimum 16% (LHV) (Power production is optional)
Fuel flexibility	Many low grade fuels 0-55 % moisture content (Up to 60% moisture possible)
Environmental performance	NOx below 300 ppm CO below 50 ppm Dust below 40 mg/Nm ³ Carbon in Ash below 1% Clean condensate
Technological robustness	No moving parts in hot zones Simple ash system Easy to manufacture, transport and install
Regulation	Turn down ratio 1:10 (including in power mode) From 10% to 100% in 15 minutes

6 Formidling

Projektet er blevet formidlet ved flere lejligheder herunder:

Tabel 3 Formidling af aktuelle projekt

Dato	Hvor	Hvordan
7. marts 2009	Kraftvarmedag Sabro Kro	Poster og Brochure
30. april 2009	ERFA møde i flisgruppen Fjernvarmens hus, Kolding	Præsentation af ovnkoncept og EUDP projekt. Præsentation kan downloades fra Dansk Fjernvarmes hjemmeside
28. juni-1.juli 2009	IDEAs 100 års jubilæum Washington DC	Poster og Brochure
29.-30. oktober 2009	Dansk Fjernvarmes Landsmøde Ålborg kultur og kongres center	Poster, monitor og brochure
12-13. december 2009	Brigh Green i forbindelse med COP 15 Forum, København	Stand + poster + film



Figur 6.1 IDEAs 100 års jubilæum i Washington DC. DBDH (Danish Board of District Heating) havde arrangeret turen. 6 Dansk virksomheder deltog: Danfoss, Grundfos, Kamstrup, Løgstør rør, COWI og Dall Energy. Billedet er fra DBDH's fælles stand. (Foto af Flemming Rasmussen, Dansk Fjernvarme)



Figur 6.2 Dansk Fjernvarmes landsmøde. Diego Sperduti fra ORC producenten Turboden deltog i Dall Energys stand. På billedet diskuterer mr. Sperduti med Marstal Fjernvarme som planlægger et flisanlæg med ORC.



Figur 6.3 Brigh Green udstilling i Forum i december.

7 Konklusion

Det kan konkluderes at projektet formål er opfyldt:

- At eftervise en nyt biomasse forbrændingskoncept der kombinerer modstrømsforgasning og gasforbrænding i en kompakt enhed.
- At forberede et demonstrationsanlæg

Endvidere har projektet initieret samarbejdet mellem Dall Energy og SEM stål-industri, to Danske SMEér (Små og mellemstore virksomheder) som sammen vil implementere den nye ovn på det Danske og det internationale marked.

7.1 Eftervisning af forbrændingskoncept

Det blev eftervist at ovnen har helt unikke egenskaber hvad angår emissioner af CO, NOx og Støv og hvad angår last egenskaber:

- Anlægget har eftervist at kunne køre stabilt ved 20%, 40% og 100% med lave emissioner af CO og NOx.
- Støv emissionen er meget lavt (20-30 mg/Nm³) hvilket er under 10% ift riste ovne. Varmevekslere og gasrensingsudstyr og kondensatrensning bliver herved meget billigere og simple end ved brug af andre ovne.

7.2 Demonstration

En række potentielle kunder udviser interesse for ovnen. Eftervisning af ovnens funktioner har været helt afgørende for at få en seriøs drøftelse om etablering af et demonstrationsanlæg.

Yderligere test, hvor ovnens stabilitet over flere døgn eftervises, og herunder analyse af asken udbrænding er planlagt til at foregå i foråret 2010.

Disse tests bliver formentlig nødvendige inden en aftale om et egentligt demonstrationsanlæg kan indgås.