



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Biobrændselskedel med ydelsestilpassende brænder

Miljøteknologisk udviklings og  
demonstrationsprogram 2012

2015

**Titel:**

Biobrændselskedel med ydelsestilpassende brænder

**Redaktion:**

Hans Ove Hansen (Teknologisk Institut)  
Kim Gregersen (NBE Production A/S)  
Marcin Blazniak Andreasen (Teknologisk Institut)  
Jannich Hansen (NBE Production A/S)

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**Foto:**

Hans Ove Hansen (Teknologisk Institut)

**Illustration:**

Hans Ove Hansen (Teknologisk Institut)

**År:**

2015

**ISBN nr.**

978-87-93283-70-1

**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

<b>Forord .....</b>	<b>5</b>
<b>Konklusion og sammenfatning .....</b>	<b>6</b>
<b>Summary .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Tese, udgangspunkt og succeskriterier .....</b>	<b>8</b>
1.1 Tese.....	8
1.2 Udgangspunkt.....	8
1.3 Succes kriterier for den ydelsestilpassende brænder .....	8
<b>2. Koncept for ydelsestilpassende brænder .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Udviklingsforløbet .....</b>	<b>11</b>
3.1 Præliminært design.....	11
3.2 Optimering af brænderen på basis af CFD .....	12
3.3 Zoneopdelt manuel tilførsel af forbrændingsluft .....	13
3.4 Optimering af luftflowfordelingen i forbrændingskammeret på basis af CFD modellering .....	14
<b>4. Sluttest i kedelprøvestand under stationære forhold .....</b>	<b>16</b>
4.1 Sluttest (5 kW aftaget effekt/varmeydelse) .....	17
4.1.1 CO .....	17
4.1.2 OGC.....	17
4.1.3 Støv .....	18
4.1.4 Virkningsgrad.....	18
4.2 Sluttest (12,6 kW aftaget effekt/varmeydelse).....	18
4.2.1 CO .....	18
4.2.2 OGC.....	19
4.2.3 Støv .....	19
4.2.4 Virkningsgrad.....	19
4.3 Samlet resultat af sluttesten .....	19
4.3.1 Udfordringer .....	19
<b>5. Sluttest i kedelprøvestand under modulerende forhold.....</b>	<b>21</b>
<b>6. CFD analyser .....</b>	<b>23</b>
6.1 Formål .....	23
6.2 Model opsætning.....	23
6.3 Resultater .....	24
6.3.1 System trykfald og ventilatorkurve .....	25
6.3.2 Flowfordeling i det originale design .....	26
6.3.3 Design forslag.....	29
6.4 Det videre udviklingsarbejde.....	31
<b>7. Protokol for test af kedel under modulerende driftsforhold .....</b>	<b>32</b>
<b>Referencer .....</b>	<b>34</b>

<b>Bilag 1:</b>	<b>Forundersøgelse.....</b>	<b>35</b>
<b>Bilag 2:</b>	<b>Prøvningsattest for brænder type BS1016 (300-ELAB-1700).....</b>	<b>38</b>
<b>Bilag 3:</b>	<b>Prøvningsattest for brænder type RTB-16 (300-ELAB-2045) .....</b>	<b>39</b>
<b>Bilag 4:</b>	<b>Prototype-riste .....</b>	<b>40</b>
<b>Bilag 5:</b>	<b>Støkiometrisk forbrænding af biomasse.....</b>	<b>55</b>
<b>Bilag 6:</b>	<b>Baggrund for CFD .....</b>	<b>56</b>
<b>Bilag 7:</b>	<b>Prototype-kedelpøvestand.....</b>	<b>58</b>
<b>Bilag 8:</b>	<b>Gennemsnitlig varmeproduktionsmønster på Studstrupværket.....</b>	<b>59</b>
<b>Bilag 9:</b>	<b>Gennemsnitlig energi-forbrugsmønster for fjernvarme forsynede beboelser .....</b>	<b>60</b>
<b>Bilag 10:</b>	<b>Varmeproduktionsmønstre fra træpillefyrede kedelanlæg fra NBE Production A/S.....</b>	<b>63</b>
<b>Bilag 11:</b>	<b>Støvmåling i hht. EN 13284-1:2001 .....</b>	<b>68</b>

# Forord

Bioenergi til decentrale anlæg i Danmark har over en årrække vundet indpas som alternativ til især olie- og el-opvarmning i områder uden fjernvarmeforsyning. Det er ikke mindst automatiske anlæg der har haft en betydelig vækst.

Regulering af luftforurening i Danmark fra biobrændselskedler sker via krav om overholdelse af emissionsgrænseværdier. Før installation af anlæg skal det således via en typeprøvning dokumenteres at produktet overholder gældende lovkraft.

I Danmark og resten af Europa er den gældende prøvningsstandard for typeprøvning af biobrændselskedler, DS/EN 303-5. Standarden er under projektets gennemførelse blevet revideret, og nye krav til emission og virkningsgrad er blevet indført med en fornyet standard i 2012. Kravene til emissioner og virkningsgrader har tidligere været specificeret i klasse 1 til 3, men er nu ændret til klasse 4 og 5, og samtidig er klasse 1 og 2 blevet fjernet. I praksis betyder det at emissionskravene i den bedste klasse er blevet skærpet til en sjettedel for CO (Kulmonooxid), en femtedel for OGC (Organisk gasformigt kulstof) og under en tredjedel for partikler. Kravet til virkningsgrad er blevet øget med knap 15 %. Derfor er især en generel reduktion af emissioner fra biomassekedler påkrævet. Yderligere kræves der i den nye standard også måling af støvemission i prøven der foretages med lav last, hvilket tidligere kun har været et krav i prøven der foretages i nominel drift.

Der er således behov for udvikling af en biobrændselskedel der tilpasser sig den ønskede ydelse uden at det sker på bekostning af forbrændingskvaliteten, hvilket i praksis betyder at emissioner af CO, OGC og partikler reduceres og virkningsgraden er optimal i hele kedlens driftsområde.

Formålet med projektet er derfor at udvikle en brænder der tilpasser sig det ønskede varmebehov med henblik på at reducere emissionerne i alle belastningssituationer. Hvorved brænderen lever op til de skrappeste emissionsklasser i den gældende standard EN303-5:2012.

Brænderen vil automatisk tilpasse sit geometriske volumen og luftindtag til de faktiske behov, således at optimale forbrændings betingelser er sikret i hele effektområdet. Det at brænderen består af bevægelige dele, sikre en stadig rensning af brænderen, hvorved der opnås en optimal forbrænding på længere sigt, og derved minimere vedligehold i form af rensning fra kedlens bruger.

# Konklusion og sammenfatning

I forhold til den allerede typegodkendte brænder, der er anvendt som udgangspunkt for udviklingsarbejdet i nærværende projekt, er det lykket at udvikle en brænder med betydelig forbedrede emissioner.

Der er i projektet vist, at en styret og optimeret lufttilførsel til forbrændingsristen resultere i lavere emissioner af både støv, CO og OGC.

På et ret tidligt tidspunkt i projektforsløbet er det blevet erkendt, at det at kunne skabe optimale betingelser for forbrændingen under stationære forhold, er en forudsætning for udviklingen af et bevægeligt brænderdesign. Der er derfor i projektet anvendt betydelige kræfter på optimering af forbrændingsbetingelserne ved forskellige lasttrin under stationære forhold.

At opnå forståelse for de komplekse sammenhænge der er mellem brænderdesign, kedeldesign, brændselstilførsel, lufttilførsel og resulterende forbrændingsprocesser har været mere omfattende end først antaget, hvorfor det inden for rammerne af nærværende projekt ikke har været muligt at færdiggøre arbejdet med udviklingen af en bevægelig ydelsestilpassende brænder, der automatisk tilpasser sit geometriske volumen og luftindtag til de faktiske behov, således at optimale forbrændings betingelser er sikret i hele effektområdet.

Projektet har vist, at der er potentiale for yderligere reduktion af emissionerne samt forbedring af virkningsgraden, ved optimering af luft- og brændselssystemerne og dermed på kontrolleret måde kunne styre både luft og brændsel gennem hele kedelsystemet:

- Luftsysteem: Fra luftindtag til røggasafgang (skorstenstop)
- Brændselssystem: Fra brændselsbeholder til askehåndteringssystem.

Resultatet af nærværende udviklingsforløb er meget positivt, og bør derfor danne grundlag og afsæt for videre idé afprøvning i form af undersøgelse og afklaring af tekniske og procesmæssige forhold, som igen kan anvendes som optakt til videre teknologiudvikling.

# Summary

Bioenergy for decentralized plants in Denmark has in the last years become a popular alternative to especially oil and electrical heating in areas without district heating. Automatic units especially has had significant growth.

In Denmark and the rest of Europe, the existing test standard for type testing of biofuel boiler is DS/EN 303-5. The standard has during this project been reviewed and new requirements for emissions and efficiencies has been added to updated standards from 2012. The requirements for emissions and efficiencies have previously been specified in classes 1 to 3, but has now been changed to class 4 and 5. At the same time class 1 and 2 was removed. In practice this means that the emission requirements in the best classes has been tighten to one-sixth for CO (carbon monoxide), one-fifth for OGC (organic gaseous carbon) and less than a third for particles. The demand for efficiency has increased with nearly 15%. Furthermore, the new standard requires measurements of dust emission for the sample at partial load which previously was only required for the sample at nominal operation.

There is a need to develop a biofuel boiler that adjusts to the desired output without compromising the quality of the combustion which in practice means that the emissions of CO, OGC and particles are reduced and the efficiency is optimal throughout the boiler's operating range.

The aim of the project is to develop a burner that adjusts to the required heat demand in order to reduce emissions in all burn rate situations. This way the burner meets the most strict emission classes in the current standard EN303-5:2012.

The burner will automatically adjust the geometric volume and air inlet to the actual needs so that optimal conditions are assured in the entire output range. Because the burner consists of movable parts a continuous cleaning of the burner is possible, thereby achieving an optimal combustion in the long term and thereby minimizing the maintenance e.g. cleaning of the boiler by the boiler's user.

Compared to the existing type approved burner which is used as basis for developing this project, it was possible to develop a burner with significantly improved emissions.

This study has shown that a controlled and optimized air supply to the combustion grate results in lower emissions of both dust, CO and OGC.

The project has also shown that there is a potential for a further reduction in emissions and improvement of efficiency by optimizing the air and fuel systems and thereby in a controlled way being able to control both air and fuel throughout the entire boiler unit

- Air system: Air inlet → Flue gas outlet (chimney outlet)
- Fuel system: Fuel hopper → Ash handling system

The result of this development process is very positive and should therefore be the basis and foundation for further investigations and clarifications of technical and process-related aspects which in turn can be the prelude for further technological development.

# 1. Tese, udgangspunkt og succeskriterier

## 1.1 Tese

Tesen bag udviklingsarbejdet er, at man ved automatisk at regulere ristens position i brænderen og dermed samtidig tilpasse det geometriske volumen og luftindtag til det faktiske varmebehov, sikres mest optimale forbrændings betingelser i hele effektområdet. Det at risten kan bevæges, sikre en stadig rensning af brænderen, hvorved optimale forbrændings betingelser sikres på længere sigt, og derved minimeres brugerens løbende vedligehold af brænderen i form af manuel rensning. Det er ligeledes tesen, at en rist med mange huller og symmetrisk hulmønster, giver de mest optimale forbrændingsbetingelser.

## 1.2 Udgangspunkt

Udviklingen af en ydelsestilpassende brænder tager udgangspunkt i den allerede EN303-5 godkendte stationære brænder BS1016 (Prøvningsrapport: 300-ELAB-1700) med en nominal ydelse på 13,4 kW fra NBE Production A/S (se Bilag 1:). Ideen er at gøre brænderen bevægelig, og dermed fysisk kunne tilpasse sig til den ønskede ydelse.

## 1.3 Succes kriterier for den ydelsestilpassende brænder

Der er som udgangspunkt blevet opstillet en række succes kriterier for den i projektet nyudviklede brænder, nemlig at den som minimum skal opfylde kravene til emissioner for klasse 5 i EN303-5:2012 som er:

- CO: 500 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>
- OGC: 20 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>
- Støv: 40 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>
- Virkningsgrad:  $\eta_K = 87 + \log Q$  (for kedler med en nominal varmeydelse  $Q < 100$  kW)

I nærværende udviklingsprojekt er det målet, at den nyudviklede brænder skal have en virkningsgrad på minimum 93 % ved nominal last, hvilket er en skærpelse i forhold til de i bygningsreglementet opstillede krav til virkningsgrad som er iht. klasse 5 i DS/EN 303-5:2012, og som for en kedel med en nominal ydelse på 13,4 kW er 88%.

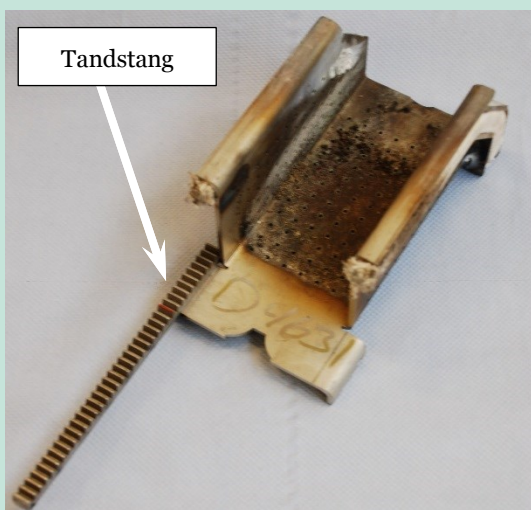
I praksis har de fleste kedler et varierende driftsmønster, hvilket også er en af grundene til nærværende udviklingsarbejde. Da kedel/brænder typegodkendes under stationære forhold iht. DS/EN 303-5, er der derfor behov for en metode til at bestemme en kedel/brænders evne til at modulere. Der er derfor i projektet blevet udviklet en testprotokol med det formål, at kunne sammenligne forskellige kedler/brændere under modulerende driftsforhold.

Det er derfor målet med den modulerende testprotokol at bench-marke den nyudviklede brænder i forhold til BS1016 brænderen, der danner udgangspunktet for udviklingsarbejdet.

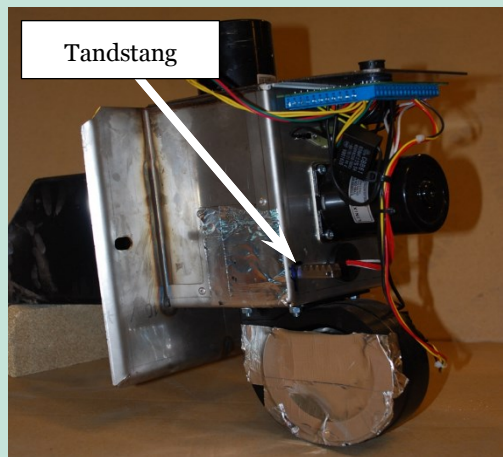
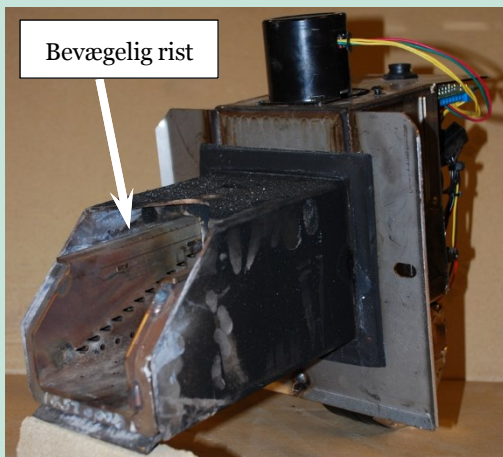


## 2. Koncept for ydelsestilpassende brænder

Konceptet for den ydelsestilpassende brænder er en brænder med en bevægelig rist, hvor bevægelsen sker horisontalt vha. en stepmotor via en tandstang. Brænderkonceptet vises i detaljer på billederne nedenfor.

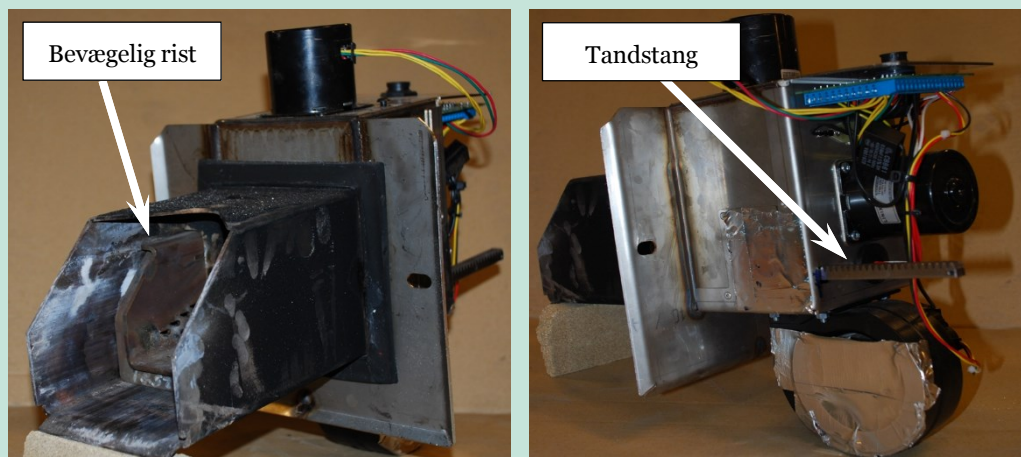


**BILLEDE 1**  
BEVÆGELIGT RIST MED TANDSTANG. DER ER HULLER I SIDERNE OG BUNDEN AF RISTEN FOR TILFØRELSE AF FORBRÆNDINGSLUFTEN

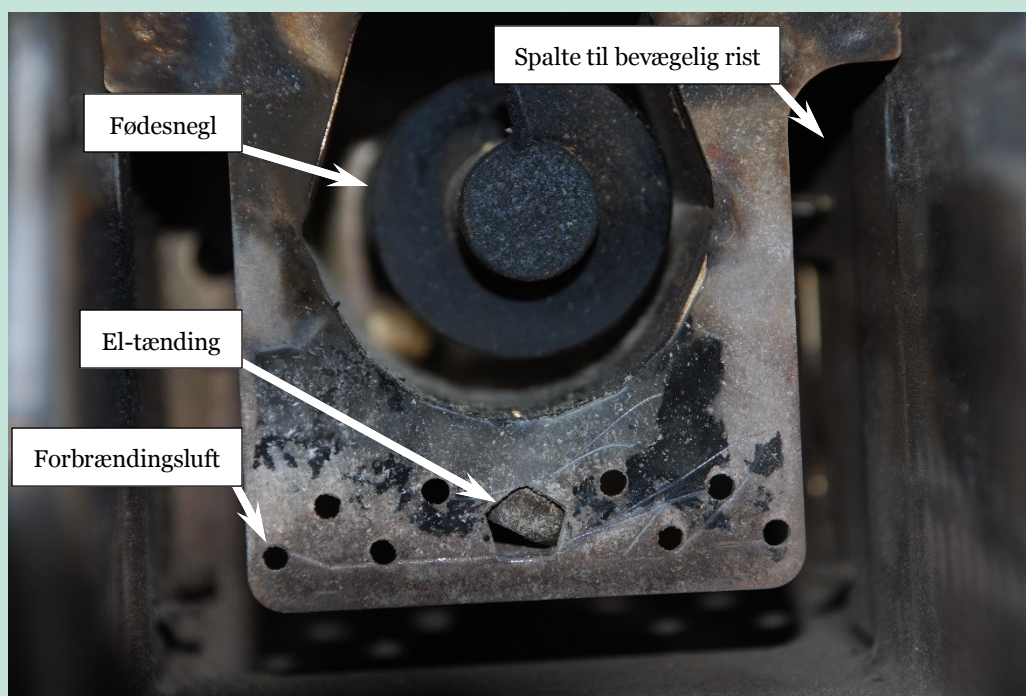


**BILLEDE 2**  
PLACERING OG POSITION AF DEN BEVÆGELIGE RIST SAMT TANDSTANG TIL HORIZONTAL BEVÆGELSE AF RISTEN.

HER SES POSITION AF RIST OG TANDSTANG MED RISTEN I FORRESTE POSITION SVARENDE TIL NOMINEL YDELSE



**BILLEDE 3**  
PLACERING OG POSITION AF DEN BEVÆGELIGE RIST SAMT TANDSTANG TIL HORIZONTAL BEVÆGELSE AF RISTEN.  
HER SES POSITION AF RIST OG TANDSTANG MED RISTEN I FULD TILBAGETRUKKET POSITION SVARENDE TIL LAVESTE YDELSE



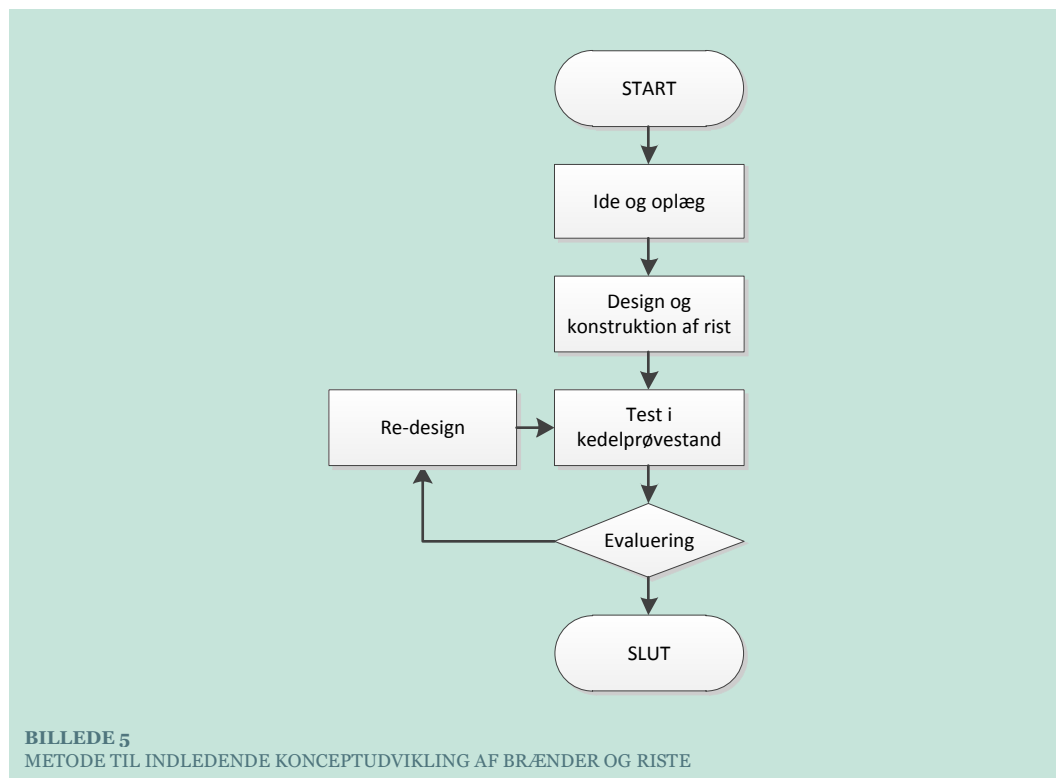
**BILLEDE 4**  
KIK IND I BRÆNDERN UDEN RIST. BAGPLADE I BRÆNDEREN MED RUNDE HULLER FOR TILFØRELSE AF FORBRÆNDINGSLUFT SAMT 5-KANTET HUL TIL EL-TÆNDING.

# 3. Udviklingsforløbet

I de indledende faser i udviklingsforløbet, vil de enkelte konceptuelle brændere blive vurderet eksperimentelt i en kedelprøvestand (se Bilag 7:), hvor der udelukkende måles gasformige emissioner i form af CO, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>. Det er indledningsvis målet at opnå så lave og så stabile CO emissioner som muligt, og et gennemsnitligt CO niveau på under 100 ppm i alle lastsituationer vil være ønskeligt.

## 3.1 Præliminært design

Tidligt i projektforsøbet er der blevet designet og udviklet en række konceptuelle brændere og riste med forskellige hul-design og hul-layout. Disse brændere/riste er testet med automatisk positionsregulering af risten ved forbrændingsforsøg i kedelprøvestand.



Rent forsøgsteknisk viste det sig dog, at automatisk positionsregulering af risten ikke var optimalt i forbindelse med evaluering af de forskellige koncepter.

Generelt kan alle riste brænde fint i stationære situationer. Det samme er gældende når risten bliver bevæget indad. Altså når bålet bliver samlet på risten. Men i situationer, hvor risten bliver bevæget udad i brænderen, sker der en umiddelbar forringelse af forbrændingen.

Der er lavet forsøg, hvor den udadgående ristebevægelser bliver foretaget med meget lav hastighed. Ekstrem lav udadgående hastighed på risten viser tegn på forbedring i forbrændingen i forhold til udgangspunktet.

Der er lavet forsøg med et ændret design med en fast ”hylde” i indløbsenden lige over den bevægelige rist, for at mindske påvirkningen på bålet under og umiddelbart efter udadgående bevægelse. Kombinationen af ”hylde” og meget lav udadgående hastighed på risten, giver en lille forbedring i forbrændingsforholdene.

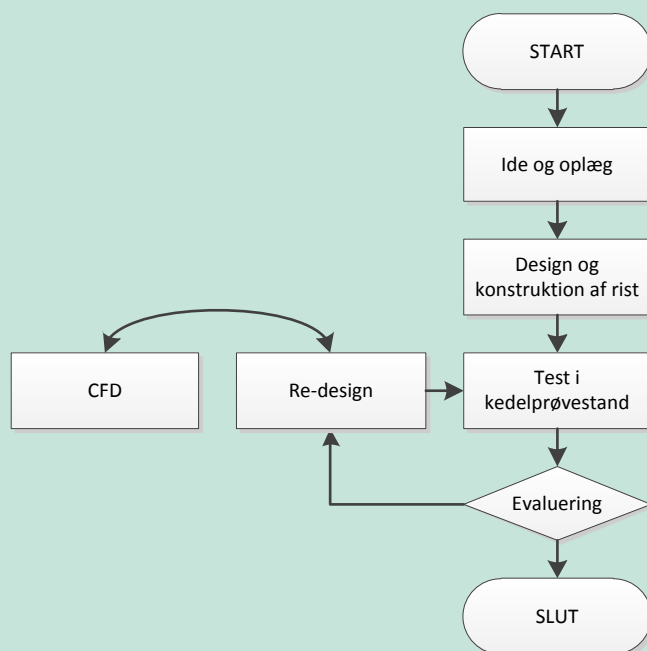
Konklusionen er, at der er for mange variable i testopstillingen, og de videre forbrændingstest sker med risten placeret i faste positioner ved forskellige kedelydelser.

De indledende forbrændingsforsøg viste også, at forbrændingsluften bliver ikke kun ledt til forbrændingskammeret gennem de dertil indrettede huller i risten og huller i bagpladen på brænderen. Men i stor grad også tilføres via spillerummet mellem risten og brænderen (falsk-luft). Der er udført en række forsøg med at mindske spillerummet mellem rist og brænder. Ved meget små spillerum er falsk-luften reduceret i en sådan grad, at det forbrændingsteknisk er acceptabelt, men mekanisk resulterede det reducerede spillerum i fastklemning af risten under driften. Der er derfor blevet udviklet en mekanisk tætning mellem rist og brænder.

### 3.2 Optimering af brænderen på basis af CFD

Med udgangspunkt i de indledende forsøg, er luftflow igennem brænder og rist ved forskellige brænderydelser vurderet vha. CFD (Computational fluid dynamics).

De indledende CFD modelleringer viser, at på trods af ristenes symmetriske hulmønstre, er luftflowfordelingen i de to sider af risten ikke ens. Dette skyldes placering og orientering af blæseren til forbrændingsluften. Blæseren er herefter blevet positioneret og orienteret således, der er opnået en symmetrisk luftflowfordeling.



**BILLEDE 6**

METODE TIL VIDERE KONCEPTUDVIKLING AF BRÆNDER OG RISTE, HVOR CFD MODELLERING GIVER OPLYSNINGER OM LUFTFLOW I FORBINDELSE EMD RE-DESIGN AF RIST OG BRÆNDER.

CFD modelleringerne viser ligeledes, at der er riste, hvor flere af hullerne for tilførsel af forbrændingsluft, har negativt flow. Dvs. forbrændingsluften bliver suget fra kedlens forbrændingskammer og ikke omvendt.

Samtidig med de indledende CFD modelleringer, er der udviklet en simpel forbrændingsmodel, med det formål, at give oplysninger omkring forventede forbrændingsluftmængder til det videre arbejde med CFD modellering, se også Bilag 5:.

Med baggrund i CFD modellering, er der blevet designet og udviklet en række riste, som er blevet testet i kedelprøvestanden, herunder riste med forskellige hulstørrelser og hulmønstre og dermed forskellige resulterende lufthastigheder.

Testene viser, at der grundlæggende kan opnås en god forbrænding med alle riste. Men som det også er normalt ved en stationær rist, så er der stadig behov for et øget luftoverskudstal ved drift i lavlast.

Udfordringen er derfor at designe en rist, hvor man kan styre lufttilførselen i veldefinerede zoner.

### **3.3 Zoneopdelt manuel tilførsel af forbrændingsluft**

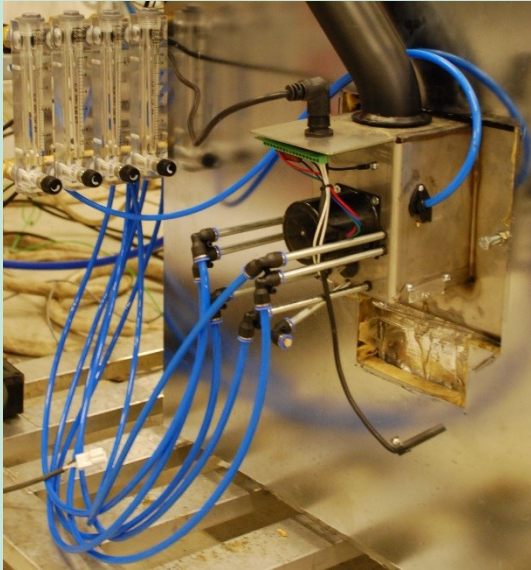
Det besluttes, at der skal designes en rist med fysisk opdelt zoner for tilførsel af forbrændingsluften. For at få bedst mulig kontrol over luftflowfordelingen til de enkelte zoner er det ligeledes besluttet, at lufttilførslen til brænderen foregår uden tilslutning af forbrændingsluftblæseren.

Der udvikles en brænder, hvor lufttilførslen sker fordelt via fire individuelle zoner som vist på

Billede 7 herunder:

- Primær luft: Huller i bund af rist + 1. række huller i siderne af risten
- Sekundær luft: Øvrige huller i siderne af risten (mod indløbsenden)
- Tertiær luft: Øvrige huller i siderne af risten (mod udløbsenden)
- Bag luft: Huller i brænderens endeplade samt hul til elektrisk tænder

Formålet er at få mulighed for at optimere tilførslen af forbrændingsluften individuelt i de fire valgte zoner, således en optimal forbrænding opnås. Resultatet af disse forsøg, skal anvendes som input til det videre udviklingsarbejde, med fokus på CFD modellering af luftflowfordelingen ved anvendelse af brænderens egen luftblæser.



#### BILLEDE 7

BRÆNDER, HVOR LUFTTILFØRSLEN SKER FORDELTT PÅ FIRE INDIVIDUELLE ZONER, OG MED MULIGHED FOR MANUEL JUSTERING AF LUFTFLOWFORDELINGEN TIL HVER ENKELT ZONE VIA DE VISTE LUFTFLOWREGULATORER.

ZONE 1: PRIMÆR LUFT - HULLER I BUND AF RIST + 1. RÆKKE HULLER I SIDERNE AF RISTEN

ZONE 2: SEKUNDÆR LUFT - ØVRIGE HULLER I SIDERNE AF RISTEN (MOD INDLØBSENDEN)

ZONE 3: TERTIÆR LUFT - ØVRIGE HULLER I SIDERNE AF RISTEN (MOD UDLØBSENDEN)

ZONE 4: BAG LUFT - HULLER I BRÆNDERENS ENDEPLADE SAMT HUL TIL ELEKTRISK TÆNDER

Denne række forsøg viser, at det er muligt at optimere luftflowfordelingen således luftoverskuddet kommer til at ligge på samme niveau både ved højlast og lavlast. Hvilket igen betyder, at det ved kontrolleret tilførsel af forbrændingsluften er i en stationær rist er muligt at øge virkningsgraden ved lavlast.

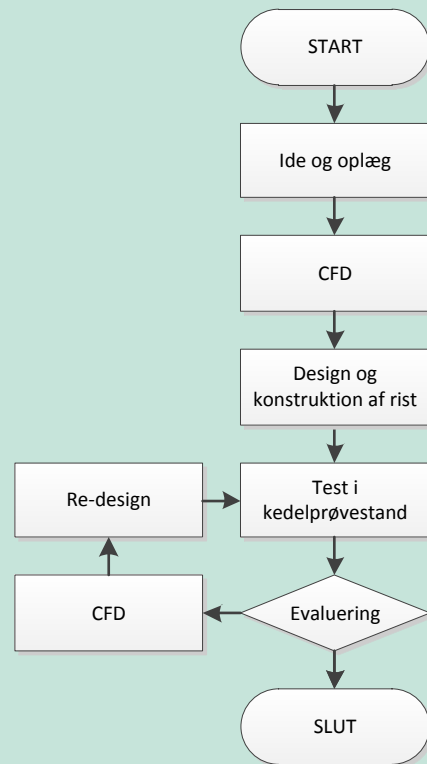
Det besluttes derfor på dette tidspunkt i projektforsøget, at der fremadrettet fokuseres på udvikling af en metode til kontrolleret tilførsel af forbrændingsluft vha. en eller flere standard blæsere således luftoverskuddet holdes så lavt som muligt i alle last-trin.

### 3.4 Optimering af luftflowfordelingen i forbrændingskammeret på basis af CFD modellering

Det besluttes at udvikle en rist med to luftfordelingszoner (primær- og sekundærluft) som forsynes via en standard forbrændingsluftblæser. De foregående forsøg med den 4-zone opdelt rist har vist, at luftflowfordelingen til de to valgte zoner er lineært med en zone-fordeling på ca. 50/50 i alle lasttrin.

Beregningerne viser, at ved at indføre en zoneopdelt perforeret plade, der yder et passende modtryk lige efter blæseren, og herfra lede luften til de respektive zoner, vil der kunne opnås den ønskede effekt.





**BILLEDE 8**  
 METODE TIL UDVIKLING AF BRÆNDER MED OPTIMERET LUFTFLOWFORDELING SAMT MINIMERING AF  
 LUFTOVERSKUDSTALLET I ALLE LASTTRIN

Forbrændingsforsøg viser, at det er muligt at opnå en god forbrænding i både høj- og lavlast med samme lave luftoverskudstal i begge lasttrin.

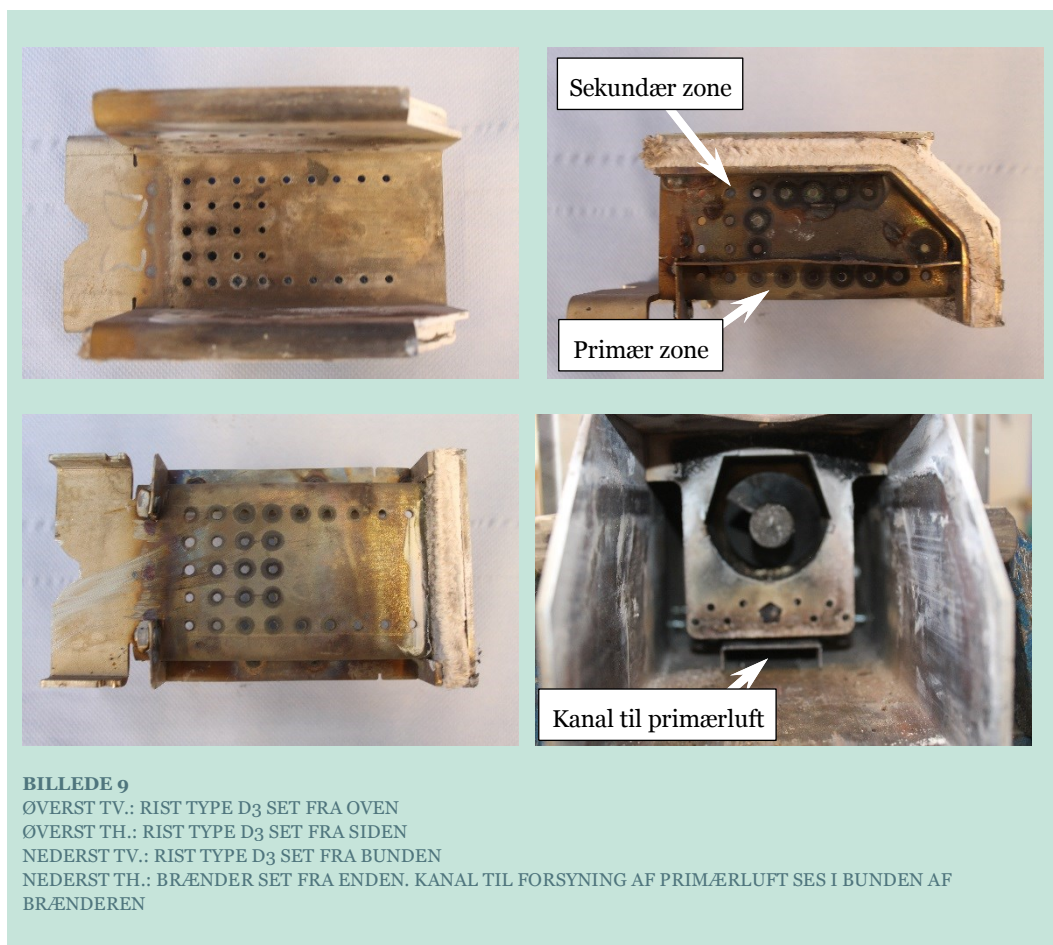
Den udviklede brænder vil herefter blive teste, hvor der ud over røggassammensætning ligeledes også vil blive analyseret for støv.

# 4. Sluttest i kedelprøvestand under stationære forhold

Projektets sluttest udføres med rist type D3 med luftforsyning opdelt i 2 zoner (primær og sekundær). På billederne herunder ses D3 ristens hulmønster og zoneopdeling. Brænderen testes i NBE Productions nyeste kedel type RTB, og testen foretages på Teknologisk Institut i DS/EN303-5 akkrediteret kedelprøvestand, hvor der ud over løbende måling af gasformige emissioner i form af CO, OGC og CO<sub>2</sub> også foretages støvmålinger (se Bilag 11:). Til sammenligning af resultaterne fra sluttesten anvendes prøvningsresultaterne fra prøvning 300-ELAB-1700 og 300-ELAB-2045.

Prøvning 300-ELAB-1700 drejer sig om NBE Production A/S automatisk biobrændselskedel type Scotte 16 & Black Start 1016 (Nominel effekt: 13,4 kW), hvor prøvningsresultatet opfylder kravene iht. DS/EN 303-5:2012 Klasse 5 (se Bilag 2:).

Prøvning 300-ELAB-2045 drejer sig om NBE Production A/S automatisk biobrændselskedel type RTB 16 (Nominel effekt: 17,0 kW), hvor prøvningsresultatet opfylder kravene iht. DS/EN 303-5:2012 Klasse 5 (se Bilag 3:).





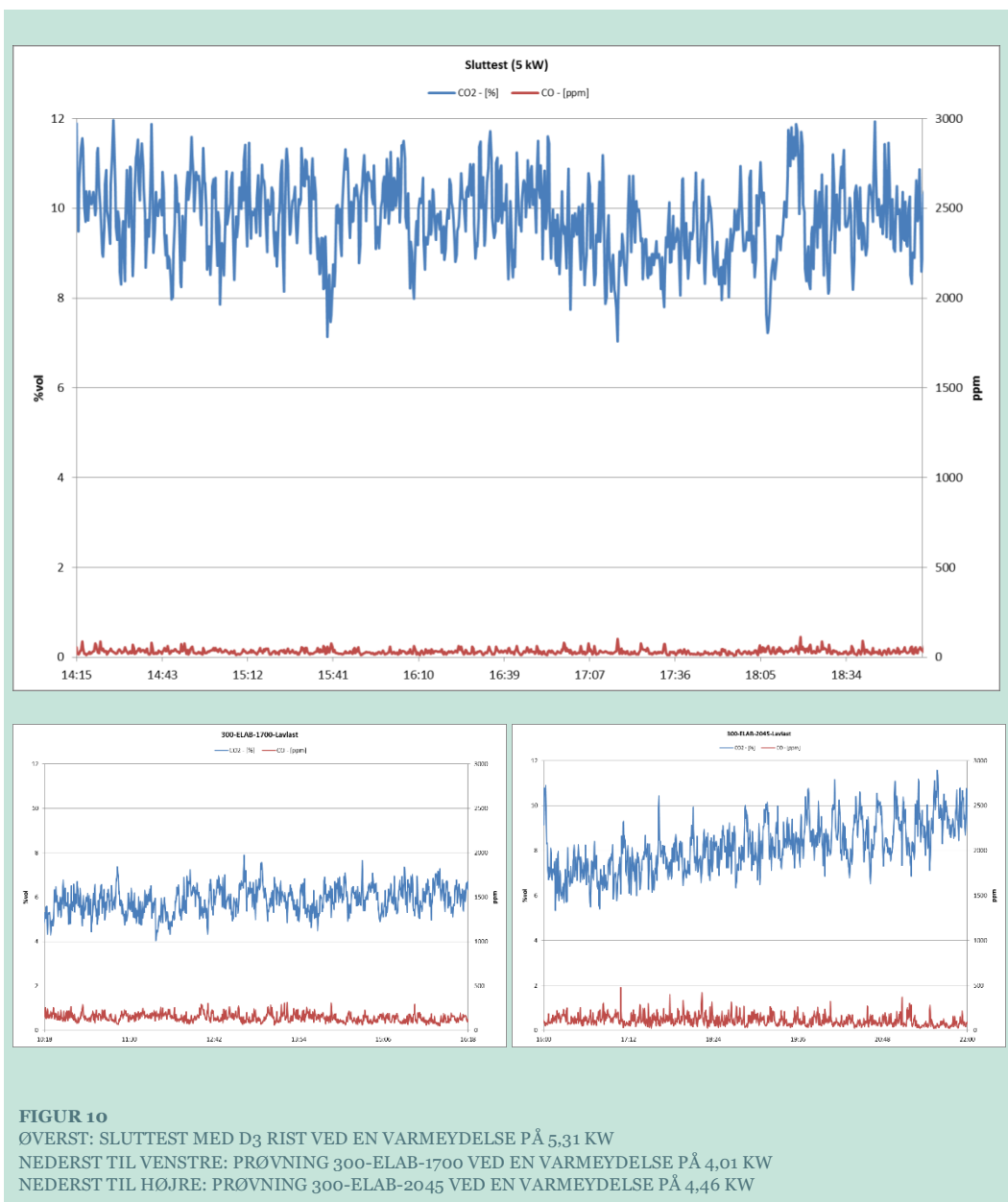
## 4.1 Slutttest (5 kW aftaget effekt/varmeydelse)

### 4.1.1 CO

I sluttesten er CO emissionerne målt til 42 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>.

Til sammenligning er der målt 324 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>, i prøvning 300-ELAB-1700 og 173 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>, i prøvning 300-ELAB-2045.

Som det kan ses af nedenstående Figur 10, så ligger CO emissionerne i sluttesten på et lavere og samtidigt mere stabilt niveau end ved de to sammenlignelige prøvninger.



### 4.1.2 OGC

I sluttesten er OGC emissionerne målt til 4 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>.

Til sammenligning er der målt 10 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>, i prøvning 300-ELAB-1700 og 10 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>, i prøvning 300-ELAB-2045.

#### 4.1.3 Støv

Under sluttesten blev der foretaget måling af støv i perioden fra kl. 14:45 til kl. 15:15.

Støvemissionerne blev i sluttesten målt til 20 mg/ m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>.

Til sammenligning er der målt 26 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub> i prøvning 300-ELAB-2045.

#### 4.1.4 Virkningsgrad

Da der under testen blev anvendt ekstern køling på brænderen, er det ikke relevant at medtage den målte virkningsgrad i vurderingen af den udviklede brænder.

### 4.2 Sluttest (12,6 kW aftaget effekt/varmeydelse)

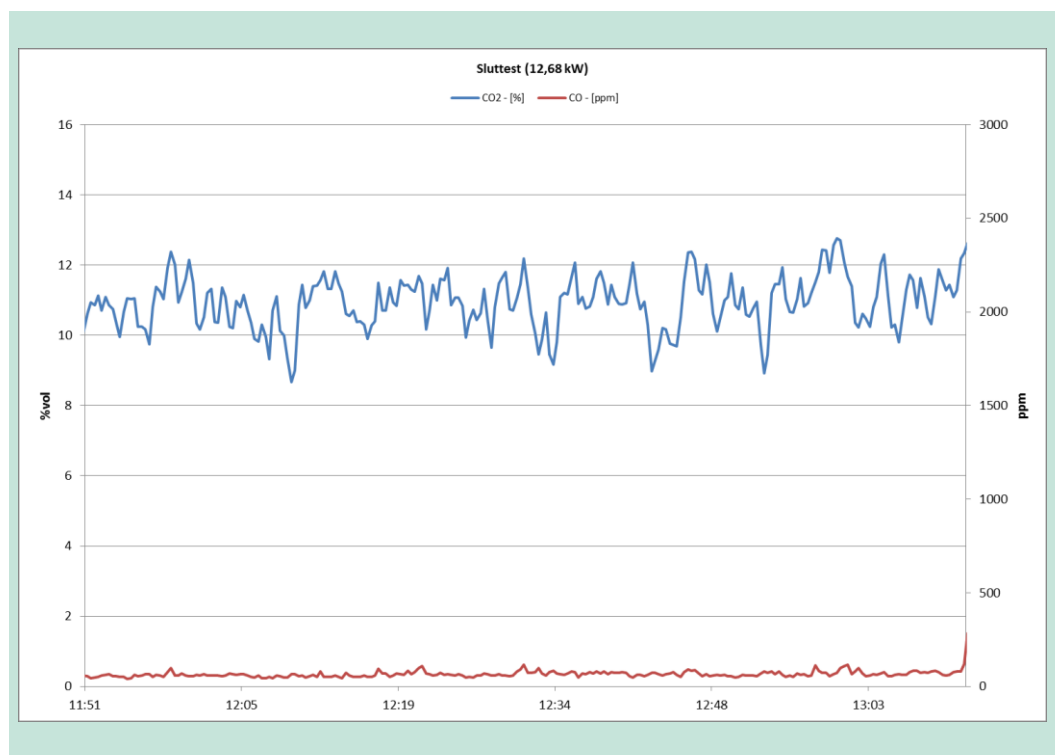
Det var hensigten at foretage sluttesten ved en varmeydelse på ca. 16-17 kW, men de ændrede luftflowforhold i brænderen gør, at blæseren ikke har kunnet levere den nødvendige luftmængde til forbrændingen, og heller ikke har været i stand til at holde temperaturen i faldskakten tilstrækkelig lav under drift ved høj varmeydelse. Der er derfor valgt at teste brænderen ved ca. 13 kW.

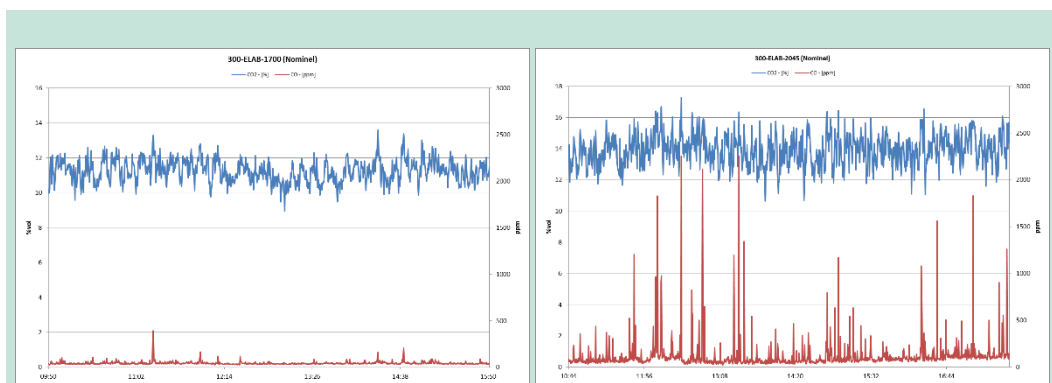
#### 4.2.1 CO

Under sluttesten er CO emissionerne målt til 79 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>.

Til sammenligning er der målt 51 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub> i prøvning 300-ELAB-1700 og 116 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>, i prøvning 300-ELAB-2045.

Som det kan ses af nedenstående Figur 11, så ligger CO emissionerne i sluttesten på samme niveau som de to sammenlignelige prøvninger, men der ses dog et mere stabilt CO niveau end ved de to sammenlignelige prøvninger.





**FIGUR 11**

ØVERST: SLUTTEST MED D<sub>3</sub> RIST VED EN VARMEYDELSE PÅ 12,68 KW

NEDERST TIL VENSTRE: PRØVNING 300-ELAB-1700 VED EN VARMEYDELSE PÅ 13,36 KW

NEDERST TIL HØJRE: PRØVNING 300-ELAB-2045 VED EN VARMEYDELSE PÅ 17,02 KW

#### 4.2.2 OGC

Under sluttesten er OGC emissionerne målt til 5 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>.

Til sammenligning er der målt 2 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub> i prøvning 300-ELAB-1700 og 7 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>, i prøvning 300-ELAB-2045.

#### 4.2.3 Støv

Under sluttesten blev der foretaget måling af støv i perioden fra kl. 12:41 til kl. 13:11.

Støvemissionerne blev i sluttesten målt til 18 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub>.

Til sammenligning er der målt 10 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub> i prøvning 300-ELAB-1700 og 22 mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub> i prøvning 300-ELAB-2045.

#### 4.2.4 Virkningsgrad

Da der under testen blev anvendt ekstern køling på brænderen, er det ikke relevant at medtage den målte virkningsgrad i vurderingen af den udviklede brænder.

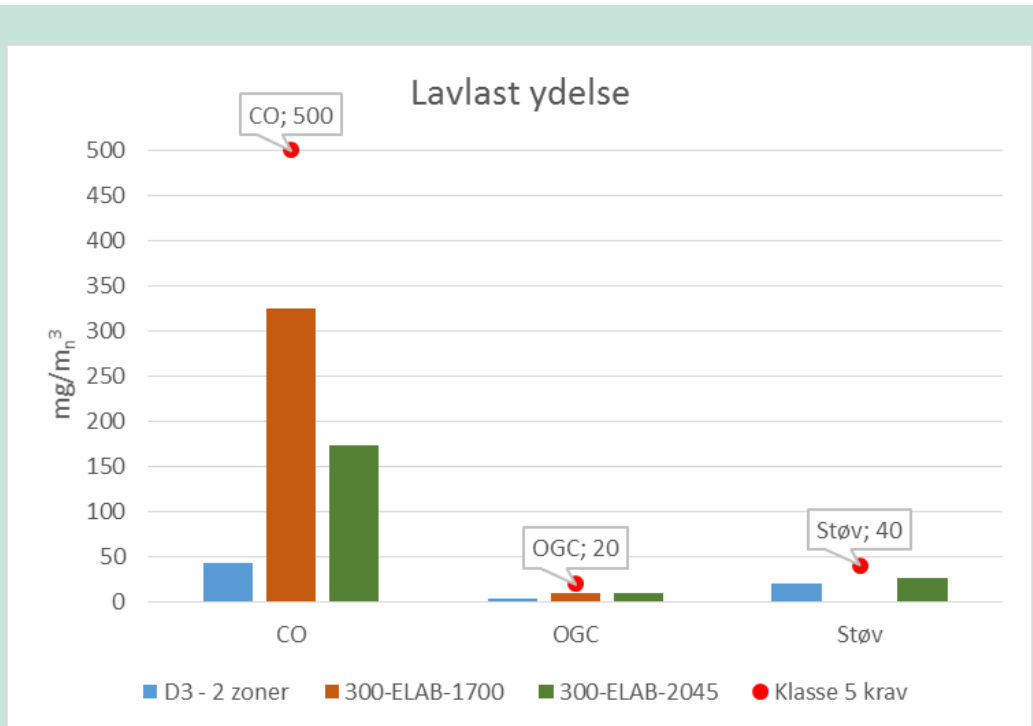
### 4.3 Samlet resultat af sluttesten

Som det ses af nedenstående to figurer (Figur 11 og Figur 12), så er det lykkedes at udvikle en brænder, der har væsentlig forbedrede emissioner i lavlast i forhold til de to sammenlignelige typegodkendte brændere. Og samtidig er det ligeledes lykkedes at holde emissionerne i det der ligner nominel ydelse på samme niveau som de to sammenlignelige brændere.

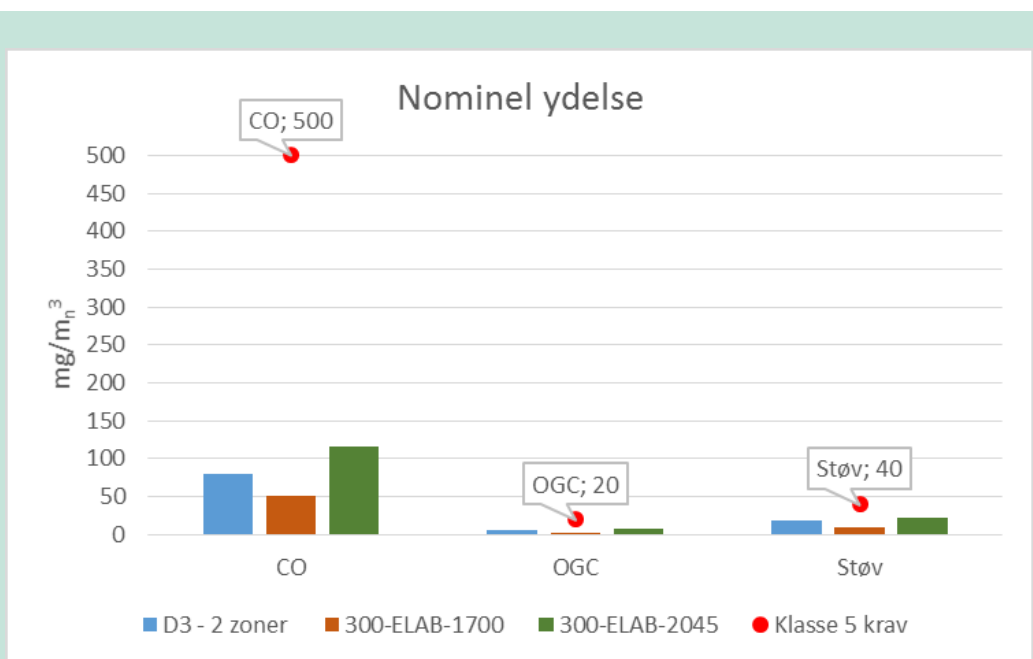
#### 4.3.1 Udfordringer

Som tidligere nævnt, er der ændret i så væsentlig en grad på det interne luftflow i den nyudviklede brænder, således det ikke på nuværende tidspunkt er muligt at køre med brænderen i højlast uden ekstern køling.

Den nuværende løsning med øget trykfald i luftkanalen fra blæseren til risten i brænderen, giver ligeledes nogle udfordringer i forhold til at nå den ønskede nominelle ydelse på ca. 15 kW. Dette betyder ligeledes, at den automatiske rensefunktion, hvor blæseren kortvarigt speedes op, heller ikke fungerer optimalt.



**FIGUR 12**  
SAMMENLIGNING AF RESULTATERNE AF SLUTTESTEN I LAVLAST MED DE TO TYPEGODKENDTE BRÆNDERE. KLASSE 5 GRÆNSEVÆRDIERNE FRA DS/EN 303-5:2012 ER LIGELEDDES VIST.



**FIGUR 13**  
SAMMENLIGNING AF RESULTATERNE AF SLUTTESTEN I NOMINEL LAST MED DE TO TYPEGODKENDTE BRÆNDERE. KLASSE 5 GRÆNSEVÆRDIERNE FRA DS/EN 303-5:2012 ER LIGELEDDES VIST.

# 5. Sluttest i kedelprøvestand under modulerende forhold

Sideløbende med udvikling af den ydelsestilpassende brænder, er der som del af projektet, blevet udviklet en simpel protokol for test af kedler under modulerende forhold (se afsnit 7).

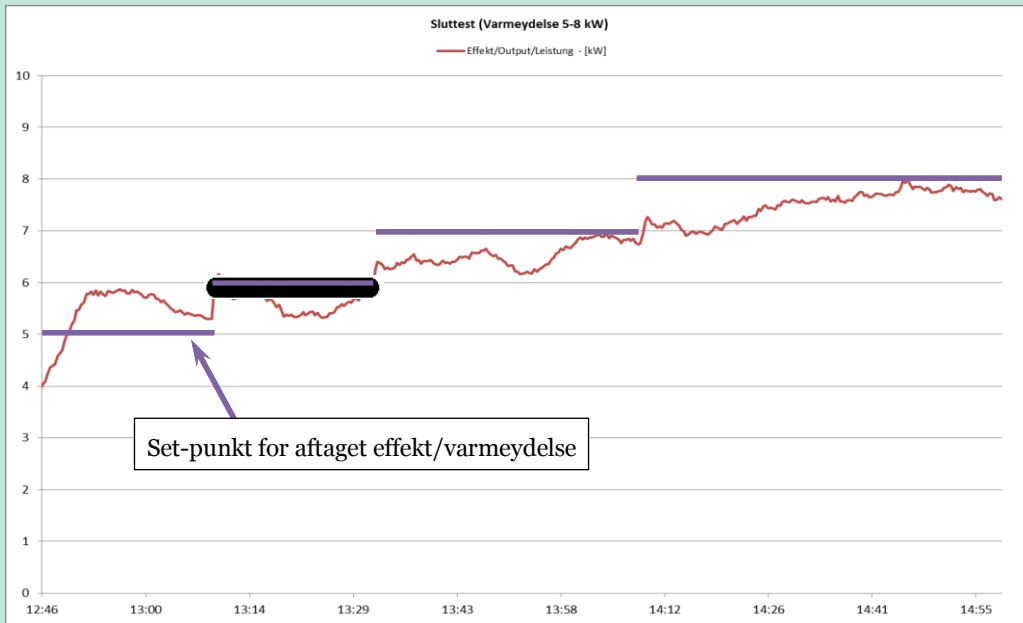
Det har dog ikke været muligt, inden for projektets tidsmæssige rammer, at udføre en sluttest under modulerende forhold.

Der er dog blevet udført en semimodulerende test, hvor der manuelt er foretaget løbende ændringer i aftaget effekt/varmeydelse iht. nedenstående tabel, og hvor kedlen automatisk har reguleret tilførslen af brændsel og forbrændingsluft, således kedelydelsen modsvarer den aftaget effekt.

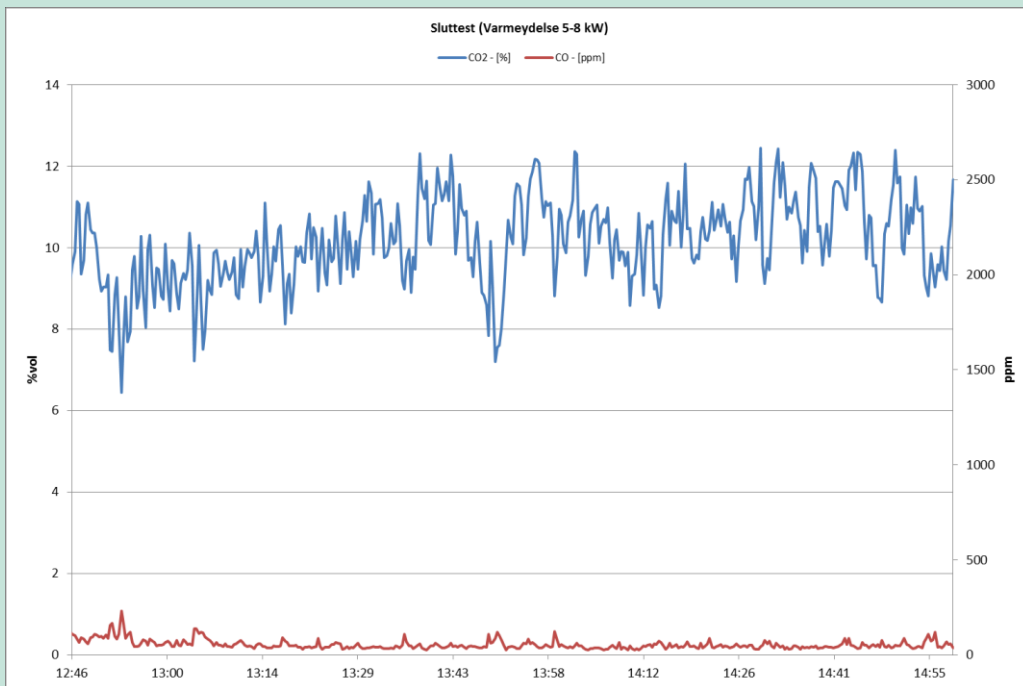
Tidspunkt for ændring	Set-punkt for aftaget effekt/varmeydelse
12:46	<b>5 kW</b>
13:09	<b>6 kW</b>
13:32	<b>7 kW</b>
14:09	<b>8 kW</b>

**TABEL 1**  
TABELLEN VISER DE LØBENDE ÆNDRINGER I SET-PUNKT FOR AFTAGET EFFEKT/VARMEYDELSE

Som det ses af de to nedenstående figurer, så virker brænderen meget robust i forhold til CO emissioner når der foretages ændringer i aftaget effekt, og dermed ændringer i kedelydelsen.



**FIGUR 14**  
 AKTUEL AFTAGET EFFEKT VED SLUTTEST MED D<sub>3</sub> RIST MED 2 ZONER



**FIGUR 15**  
 CO OG CO<sub>2</sub> EMISSIONER VED SLUTTEST MED D<sub>3</sub> RIST MED 2 ZONER

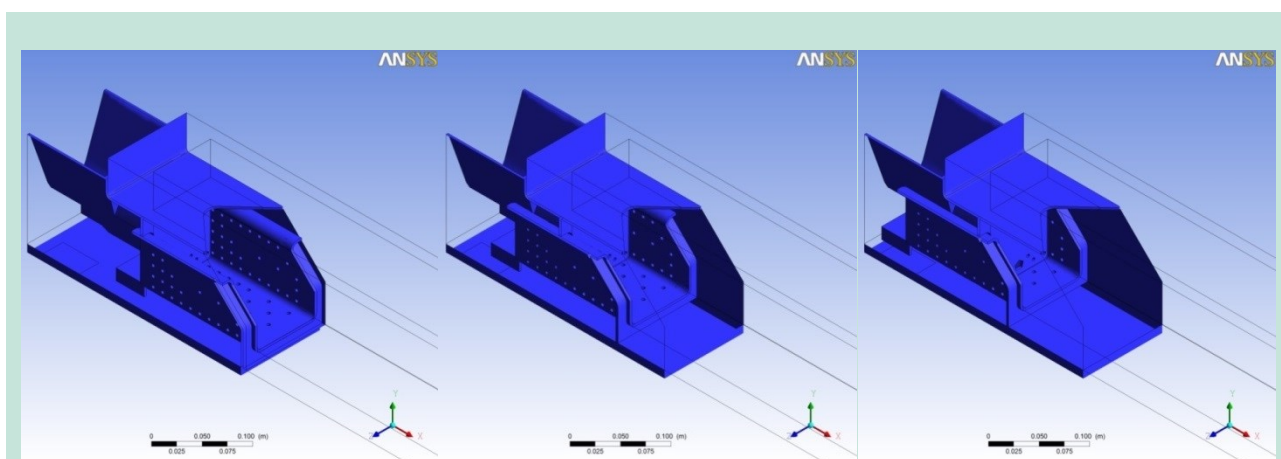
# 6. CFD analyser

## 6.1 Formål

Formålet med CFD simuleringerne er at få indsigt i strømnings- og trykforhold i selve brænderen og i brænderens luftfordelingssystem. Simuleringsresultaterne skal dermed synliggøre, hvor i konstruktionen der opstår u hensigtsmæssigheder i relation til opnåelse af optimale forbrændingsforhold. CFD simuleringerne vil danne grundlag for at foretage målrettet tilpasning af brænderens konstruktion undervejs i udviklingsforløbet.

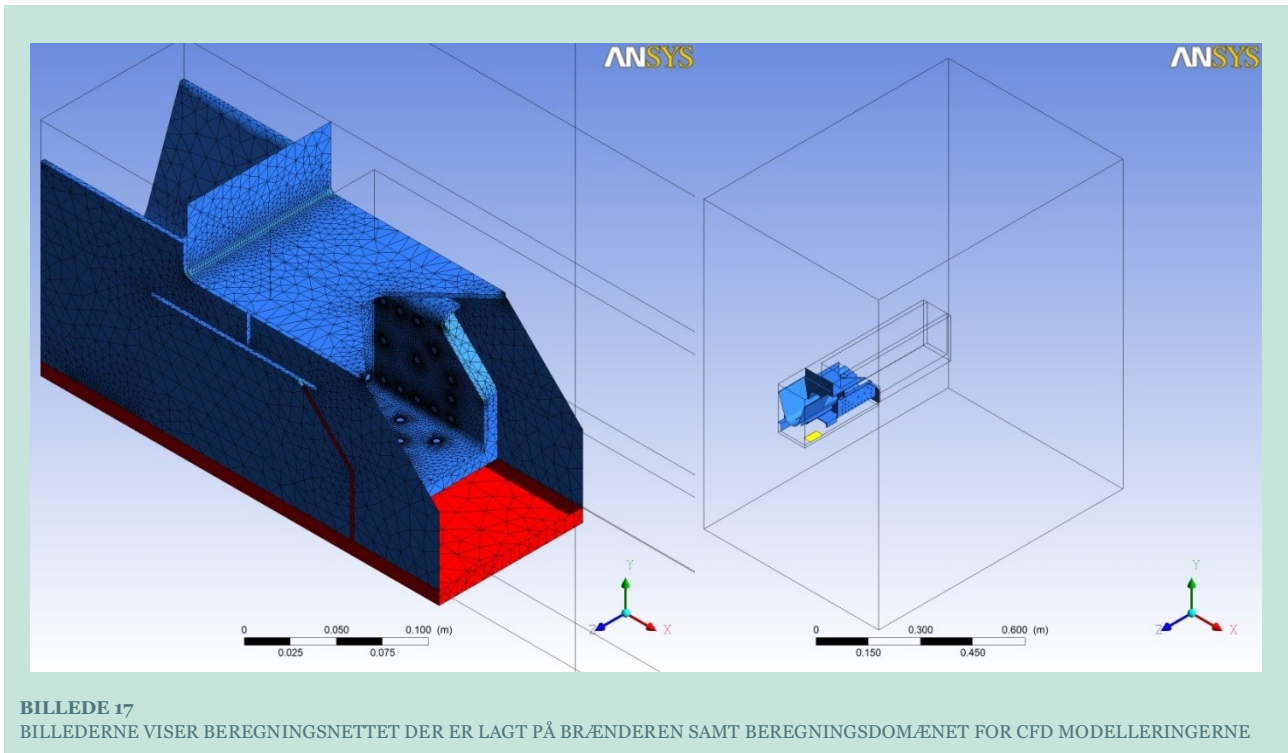
## 6.2 Model opsætning

CFD simuleringerne tager udgangspunkt i den tidligere nævnte EN303-5 typegodkendte (300-ELAB-1700) stationære brænder fra NBE Production A/S. Selve bevægelsen af risten modelleres ikke i CFD. Derimod modelleres 3 stationære indstillinger som er vist på Billede 16 herunder.



BILLEDE 16  
XXXX

CFD simuleringerne fokuser på strømningsforhold i og omkring brænderen. Der kigges på luftflowfordeling ud til indblæsningshullerne i risten samt flowforhold i brændkammeret. Den resterende del af kedlen ud til røggasafgangen modelleres ikke. Beregningsnettet der er lagt på brænderen samt beregningsdomænet ses på Billede 17. For yderligere informationer om CFD se venligst Bilag 6:.



### 6.3 Resultater

I det følgende præsenteres resultaterne af CFD simuleringerne. Der fokuseres på følgende forhold:

- Systemtrykfald – bestemmes for at fastlægge ventilatorens driftspunkt og dermed vurdere om den installerede ventilator er udlagt korrekt til at levere flow ved fuld- og dellast
- Flowfordeling til indblæsningshullerne i risten – bestemmes for at vurdere om luften tilføres hensigtsmæssig til brændkammer ved fuld- og dellast



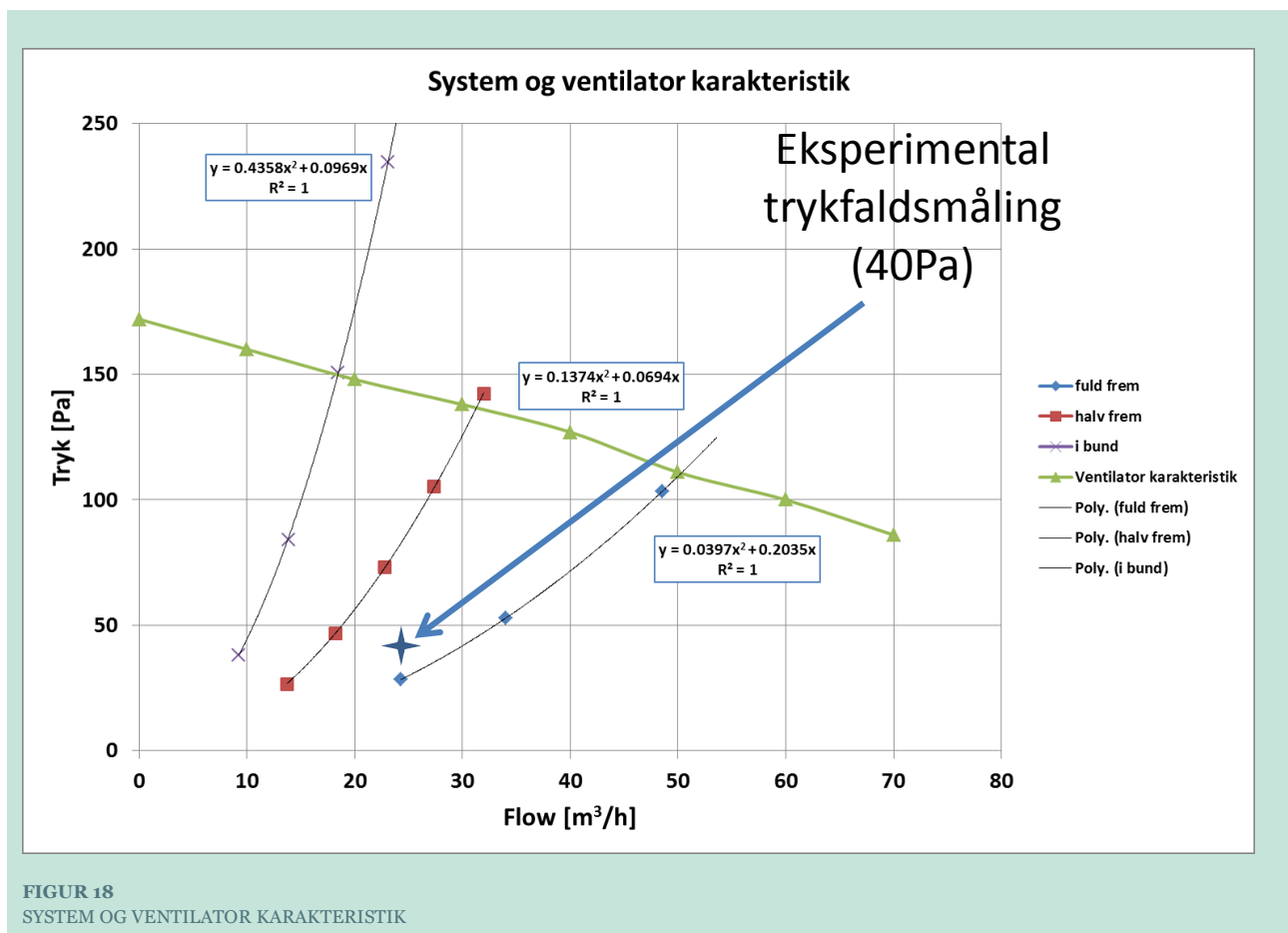
### 6.3.1 System trykfald og ventilatorkurve

For at bestemme hvor stort trykfaldet er over brænderen er der lavet beregninger ved forskellige luftflow og forskellige brænder indstillinger. Resultaterne af simuleringerne ses i Figur 18. Desuden er der foretaget en trykfaldsmåling over hele systemet ved fuldlast drift. Denne måling er ligeledes plottet ind i samme figur.

Af figuren kan man se at trykfaldet fundet ved hjælp af CFD ligger på omkring 30 Pa mens målingerne viser et trykfald på omkring 40 Pa. De 30 Pa svarer til trykfaldet over selve brændkammeret. Forskellen på 10 Pa mellem CFD beregninger og målingerne formodes at svare til trykfaldet fra brændkammer og ud til røggasafgangen.

Af figuren kan man desuden konkludere, at ventilatoren er overdimensioneret selv ved fuldlast drift. Ved de 25 m<sup>3</sup>/h som ventilatoren skal levere ved fuldlast, kan ventilatoren levere et tryk svarende til 140 Pa. Dermed er det nødvendigt at omdrejningsregulere ventilatoren, hvilket også gøres i praksis.

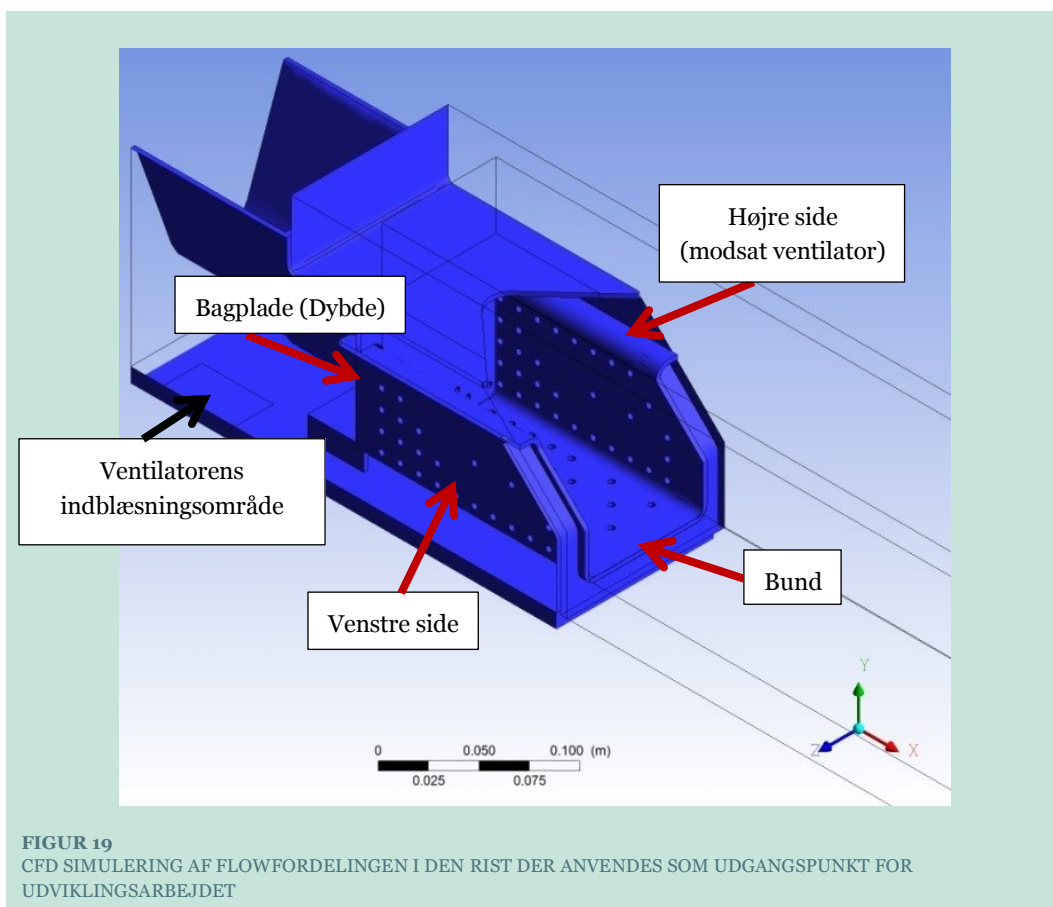
Ved delast skal ventilatoren reguleres yderligere ned, dermed vil dens arbejdsområde ligge langt under dens normale drift.



### 6.3.2 Flowfordeling i det originale design

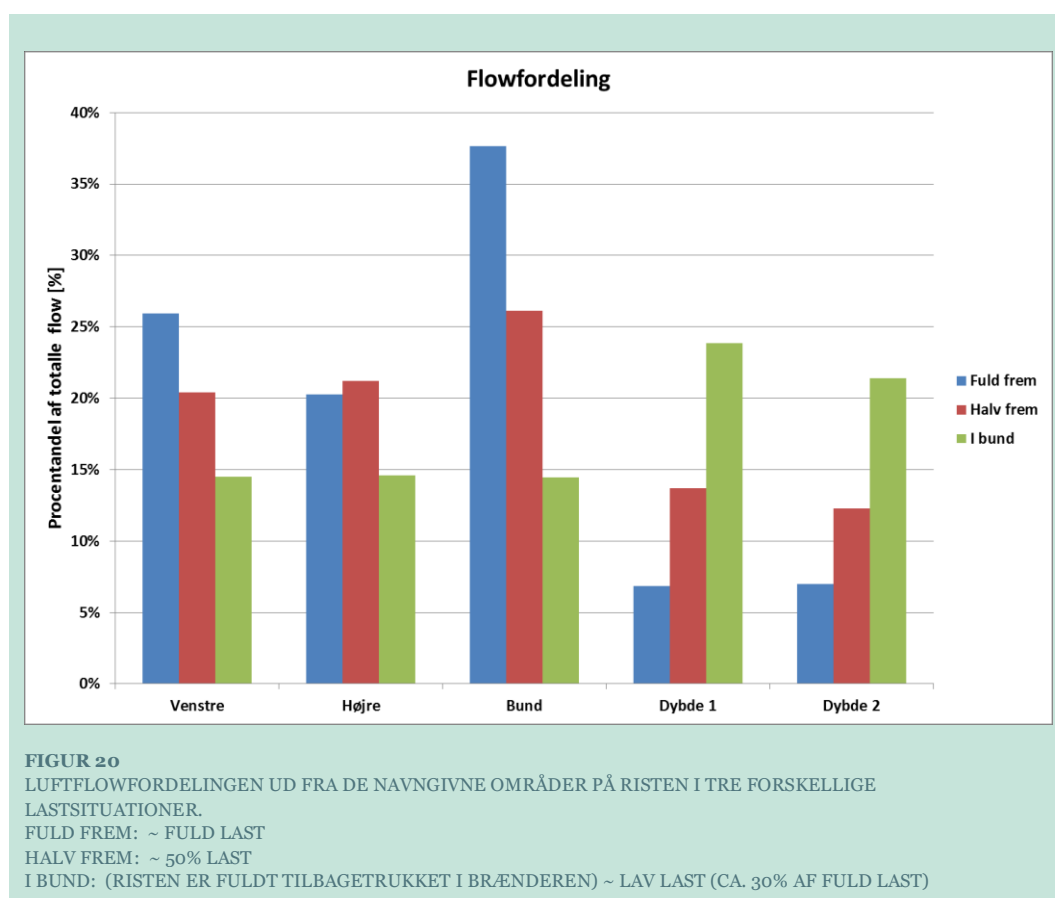
For at vurdere om luften tilføres hensigtsmæssig til brændkammer ved fuld og delast kigges der på flowfordeling til indblæsningshullerne i risten. I Figur 19 ses risten og der er angivet betegnelser på områderne på risten. Der kigges på flow ud af indblæsningshullerne i følgende områder på risten:

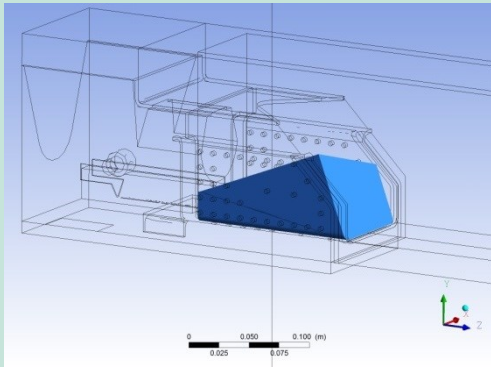
- Bund – flow gennem indblæsningshullerne som er placeret på ristens bund
- Højre side – flow gennem indblæsningshullerne som er placeret på højre side af risten. Ventilatoren er påmonteret forskudt fra centrum mod venstre, altså modsatte af disse indblæsningshuller
- Venstre side – flow gennem indblæsningshullerne som er placeret på samme side som ventilatoren
- Bagplade – flow gennem indblæsningshullerne som er placeret lige ved sneglen dvs. der hvor brændslet bliver tilført



Figur 20 viser flowfordeling ud af risten iht. de på Figur 19 navngivende områder. Man kan her se følgende tendenser:

- Der er forskel på hvor meget luft der tilføres fra hhv. venstre og højre side ved fuldlast. Ved fuldlast indikerer beregningerne, at der tilføres mere luft fra den venstre side af risten dvs. den side hvor ventilatoren er placeret. Denne tendens er ikke tilstede når risten køres mod bund dvs. tilbagetrukket og ved dellast drift.
- Flowforholdene ændrer sig når man skifter fra fuld- til dellast drift. Når risten trækkes tilbage dækkes der for hullerne i siderne og bunden af risten men dog ikke i samme forhold. Når risten er i fuldt tilbagetrukket stilling tilføres der lige meget luft fra bunden af risten som fra siderne nemlig 14% fra alle områder. Ved fuldlast stilling derimod, tilføres der 37% fra bunden af risten mod 20%-25% fra hver af siderne. Desuden kommer der procentuelt væsentlig mere flow gennem indblæsningshullerne der er placeret i bagpladen (dybden) når risten er i fuldt tilbagetrukket stilling. Indblæsningshullerne placeret i bagpladen dækkes nemlig ikke til når risten bevæges. Dette bevirker at ved fuldlast tilføres 12% af luften denne vej mod godt 46% med risten i fuldt tilbagetrukket stilling.

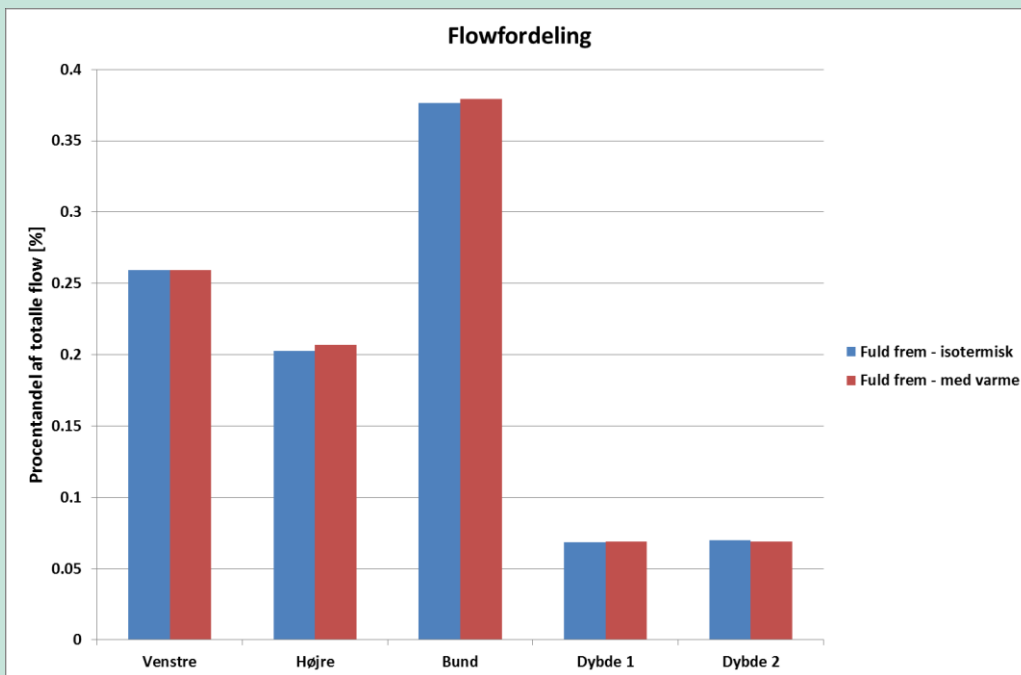




**BILLEDE 21**  
 TERMIST MODEL, HVOR DER DEFINERES ET  
 VOLUMEN HVOR DER AFSÆTTES EN EFFEKT.

Resultaterne vist i ovenstående Figur 20 er baseret på isotermisk model. For at vurdere effekten af varmeudviklingen ved forbrænding på risten, laves der en forsimplet termisk model. I den termiske model defineres et volumen på risten i forbrændingskammeret, hvor der afsættes en effekt svarende til indfyret effekt. Dette gøres for at vurdere om den genererede opdrift skabt på grund af varmetilførsel har indflydelse på flowfordeling i brændkammer.

Resultaterne ses i Figur 24. Af figuren kan man se at luftflowfordelingen fra risten ind i brændkammeret ikke påvirkes af de termiske forhold i selve brændkammeret.

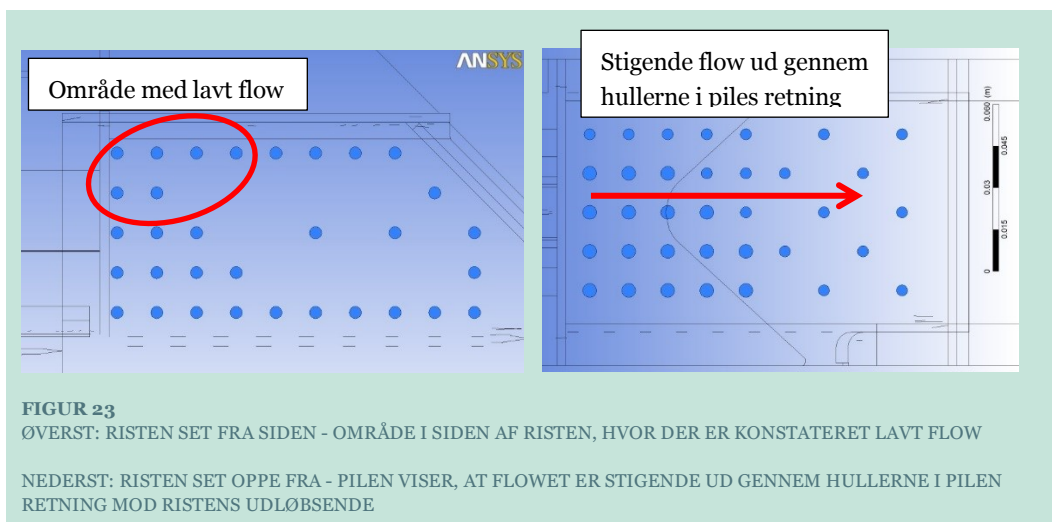


**FIGUR 22**  
 SAMMENLIGNING AF FLOWFORDELING I FULDAST SITUATION FOR ISOTERMISK MODEL OG MODEL MED  
 EFFEKTAFSÆTTENDE VOLUMEN PÅ RISTEN (MED VARME).

Udover den generelle flowfordeling kigges der på flowfordeling ud af de enkelte indblæsningshuller i risten. Følgende tendenser er fundet:

- Der er fundet områder på begge sider af risten med lavt flow
- Der er et tendens til at der er stigende flow ud af de indblæsningshuller på ristens bund der er placeret længst væk fra området hvor træpillerne bliver tilført.

Disse områder er markeret i Figur 23.

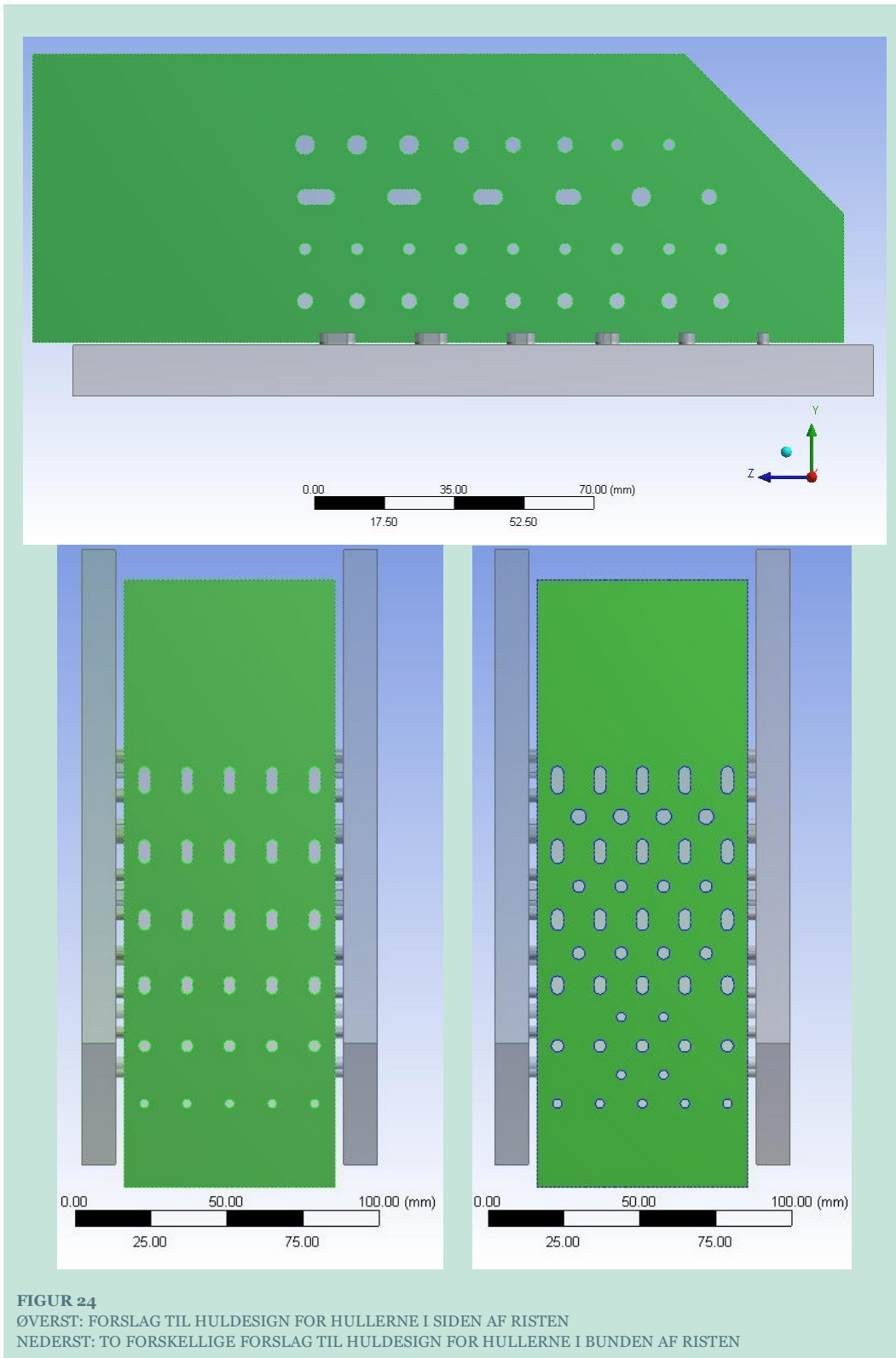


### 6.3.3 Design forslag

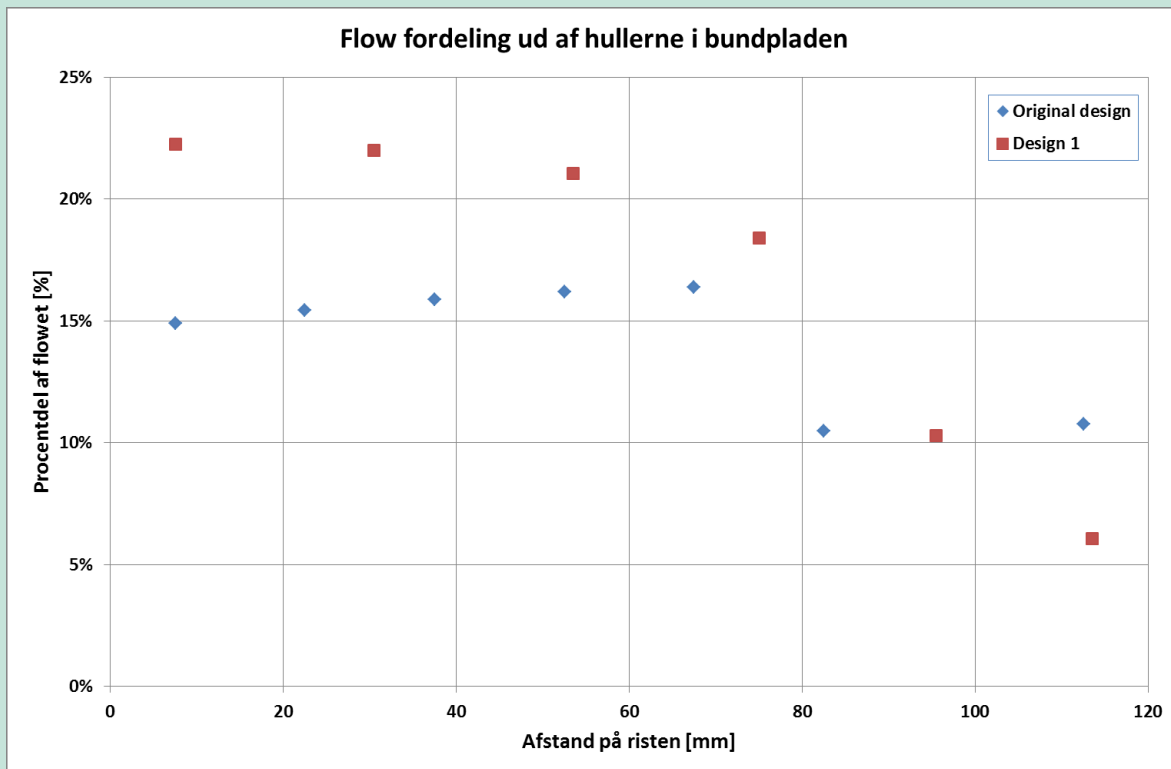
På baggrund af den indledende analyse af den originale rist design er der opstillet 4 designkriterier med det formål at forbedre forbrændingsforholdene i hele brænderens driftsområde. De 4 designkriterier er:

- Ventilatoren centreres – venstrestillet ventilator bevirkede at der var ujævn flowtilførsel med højere flow ud af hullerne på venstre side af risten. Centrering af ventilator har til formål at skabe ens flow forhold fra begge sider af risten
- Stabil flowfordeling – Der sigtes efter at etablere en flowfordeling således forholdet mellem luftflow % til primærzonen og luftflow % til sekundærzoner ens i hele driftsområde dvs. når riset køres mod bund skal forholdene bibeholdes.
- Indblæsningshuller i bagpladen (dybden) fjernes: Indflydelsen af indblæsningshullerne i bagpladen mindskes ved kun at have et indblæsningshul til tænding
- Variable hulstørrelse – Der sigtes efter at skabe en flowfordeling ud af hullerne således at største luft flow sker i den ende af risten, hvor brændslet tilføres risten.

På baggrund af ovenstående fire opstillede kriterier er der udarbejdet forslag til et rist design. Designet ses i Figur 24. Der er udarbejdet et forslag til hulfordeling og størrelse på ristens sider og to forslag til hulfordeling og størrelse på ristens bund.



Den variabel hulstørrelse på ristens bund har til formål at skabe større flow ud af hullerne tættest ved området hvor brændslet indfyres. I Figur 25 ses flowfordeling på ristens bund i dens længde retning. I figuren er der sammenlignet flowfordeling i den original design med den foreslået design.



**FIGUR 25**  
GRAFEN VISER FLOWFORDELING UD AF HULLERNE I BUNDEN AF RISTEN FOR BÅDE DET ORIGINALE DESIGN OG DET NYE FORESLÅEDE DESIGN.

Eksperimentale målinger udført på de to riste design viste dog for høje CO emissioner. Fokus er derfor også blevet rettet på lufthastighederne ud af indblæsningshullerne.

En brænder med stationær rist med lave CO emissioner og med sammen fuldlast ydelse som den variable brænder er blevet undersøgt. Undersøgelsen viste at det totale areal af alle indblæsningshuller på risten er 25% mindre i forhold til den udlagt areal i Design 1 og hele 33% mindre i forhold til design 2. Dette betyder at udløbshastighederne i de 2 foreslået design er væsentlig lavere. Dette kunne have haft indflydelse på resultatet af de eksperimentelle forbrændingsforsøg.

Desuden viste CFD resultaterne at den stationære brænder havde jævn fordeling af luften gennem de enkelte huller med hastighederne varierende mellem 5-6 m/s. Kigger man på det totale hulareal i forhold til volumeflowet fås en gennemsnithastighed på 5,5 m/s. Dvs. hastighederne ud af hullerne i den stationære brænder ligger i området der hedder gennemsnithastighed +/- 0,5 m/s.

Som den næste skridt skal arealet reduceres således at udløbshastighederne holdes på de høje niveau omkring 5,5 m/s i alle brænder indstillinger.

#### 6.4 Det videre udviklingsarbejde

Ovenstående er eksempler på anvendelsen af CFD analyser i udviklingsarbejdet. Der er igennem udviklingsfaserne blevet arbejdet mere og mere intenst med CFD analyser. Og dette med fokus på optimering af luftflow fordeling og lufthastighed fra risten ind i forbrændingskammeret. Herunder opdeling af lufttilførslen i kontrollerede zoner, for dermed at kunne styre forbrændingen og dermed minimere emissionerne.

# 7. Protokol for test af kedel under modulerende driftsforhold

Der er i arbejdet med at udvikle en protokol for test af træpillefyrede kedler under modulerende driftsforhold taget udgangspunkt i en screening af data fra forskellige drifts- og forbrugsmønstre. Denne screening er dokumenteret i følgende bilag:

Bilag 8: Gennemsnitlig varmeproduktionsmønster på Studstrupværket

Bilag 9: Gennemsnitlig energi-forbrugsmønster for fjernvarme forsynede beboelser

Bilag 10: Varmeproduktionsmønstre fra træpillefyrede kedelanlæg fra NBE Production A/S

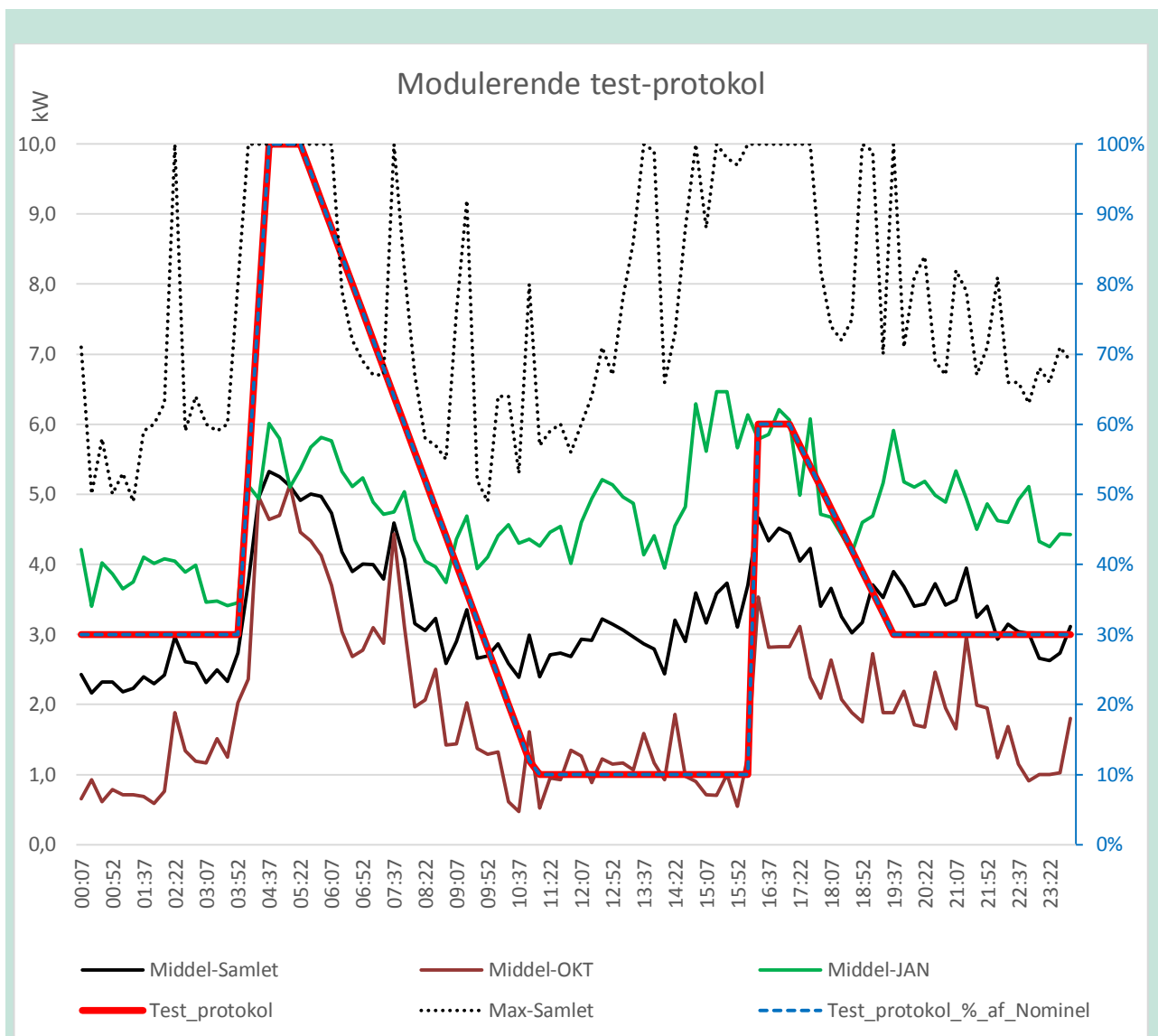
Produktionsmønstrene for de otte husstande med træpillefyrede kedler som er vist i Bilag 10: er meget forskellige. Det samme er ligeledes gældende for forbrugsmønstrene for de to husstande med fjernvarme, som er vist i Bilag 9:.

Ved at sammenligne data fra de tre forskellige systemer, har der vist sig en tendens til, at varmeproduktionen/varmeforbrugsmønstret tilnærmelsesvis følger det mønster som er beskrevet af Studstrupværket i Bilag 8:.. Det har dog ikke været muligt på baggrund af de tilgængelige data, at lave et statistisk grundlag for udvikling af en modulerende test-procedure.

Da det er en ny brænder fra NBE Production A/S der udvikles, er der derfor taget konkret udgangspunkt i data fra Bilag 10:.. Herunder på Figur 26 ses et forslag til den modulerende testprotokol, som tænkes anvendt til test af den ny-udviklede brænder sidst i projektførløbet. Den foreslåede modulerende test-protokol tester kedlen i forskellige lasttrin over hele perioden, og der tages hensyn til både høj- og lavlast ved hhv. 100% og 30% ydelse samt overgangen mellem de forskellige lasttrin. Der er ligeledes i den modulerende test-protokol indarbejdet en periode med ekstra lav last (10%), hvilket er besluttet på baggrund af de foreliggende data fra NBE.

Det er i forbindelse med udviklingen af nærværende test-protokol forudsat, at forbrugsmønster til varmt brugsvand allerede er indbefattet i de anvendte data fra Bilag 10:.. Metoden til beregning af forbrugsmønstret for varmt brugsvand som beskrevet i DS/EN 15316-3-1:2007 er derfor ikke taget i anvendelse i denne test-protokol.





**FIGUR 26**

MODULERENDE TEST-PROTOKOL FOR EN 10 KW TRÆPILLEFYRET KEDEL. TEST-PROTOKOLLEN ER OGSÅ VIST I % AF NOMINEL YDELSE. DE BAGVEDLIGGENDE KURVER VISER MIDDEL-DRIFTSMØNSTRET SAMT SAMLET MAKSIMAL YDELSE FOR DE OTTE TRÆPILLEFYREDE KEDELANLÆG FRA NBE PRODUCTION A/S SOM VIST I BILAG 10:

# Referencer

DS/EN 303-5:2012 Centralvarmekedler – Del 5: Centralvarmekedler til fast brændsel, manuelt eller automatisk fyrede med en nominal varmeeffekt på op til 500 kW – Terminologi, krav, prøvning og mærkning

Brændeovnsbekendtgørelsen - BEK nr 1432 af 11/12/2007

Bygningsreglementet BR10 (01.01.2013)

DS/EN 13248-1:2001 Emissioner fra stationære kilder - Bestemmelse af massekoncentration af støv i små mængder – Del 1: Manuel gravimetrisk metode

Jesper Schramm, DTU, Noter til Biomasse og Konventionelle Forbrændingsanlæg: Karakterisering af brændstoffer, 1998

DS/EN 15316-3-1:2007 Varmesystemer i bygninger – Metode til beregning af varmesystemers energikrav og effektivitet – Del 3-1: Systemer til varmt brugsvand, forbrugsmønstre (tappeprogram)

DIN 4702, Teil 8 Heizkessel – Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors

## **Bilag 1: Forundersøgelse**

Nedenstående engelske tekst er kopi af den forundersøgelse, der blev foretaget i projektets indledende fase, som også på daværende tidspunkt dannede grundlag for beslutningen om projektets videreførelse.

### **PREFACE**

This literature/market study is part of the project “Biofuel boiler with a performance adaptive burner”. This project is co-financed by the Danish Environmental Protection Agency under the “Development and Demonstration program 2012” and carried out by the Danish Technological Institute in partnership with the boiler manufacture NBE Production A/S. The planned project duration is from 2013 to 2014.

The project aims to develop an intelligent biofuel boiler with an adaptable burner that adjusts to the desired heat demand in order to reduce boiler emissions in all load situations. This burner will be able to meet the most stringent emissions limits in the standard EN303-5:2012.

The burner will adapt its geometrical volume and air inlet to the actual heating needs so that optimal combustion conditions are ensured throughout the heat output area from 2 to 10 kW. As a second benefit, while adjusting the geometrical volume, the moving parts of the burner will also function as a cleaning system. In this way an optimal combustion performance is achieved in the long term without requiring cleaning maintenance from the boiler user.

This report comprises a resume of the phase 2 of the project: “Literature/market study”. The aim of this study is to find out the state of the art of new intelligent biofuel boilers, especially for domestic use, that present a geometrical adjustable burner/combustion chamber.

### **SEARCHING METHODOLOGY AND LITERATURE/MARKET STUDY FINDINGS**

In order to find out the current situation regarding to commercial, pre-commercial systems and R&D studies related to biofuel boilers with a geometrical adjustable burner/combustion chamber a literature/market study has been carried out.

The literature search has been done as followed:

- A general search through internet
- A scientific database and patent search
- A specific internet search on biofuel boiler branches
- Collection of information through the DTI European network within companies and academic institutions

After a thorough search it has not been found the existence of any commercial or pre-commercial system using this kind of concept; neither any research dealing with geometrical adjustable burners/combustion chambers. So this is a new concept to be developed.

### **GENERAL INTERNET SEARCH**

In first place a google internet search was carried out with different combinations of all or some of the following group of key words:

- boiler
- wood, biofuel, pellets, biomass
- burner, combustion chamber
- variable, adjustable, changeable, modifiable, movable

- geometrical, size, area

This search did not provide any relevant result.

#### SCIENTIFIC DATABASE AND PATENT SEARCH

A search was done in the academic databases Scopus and ScienceDirect. In this search it was used the same group of key words than in the google search (see section above).

The patent search option of the Scopus database was also used. A further patent investigation was done at the United States Patent and Trademark Office webpage ([www.uspto.gov](http://www.uspto.gov)) and the European Patent Register ([register.epo.org](http://register.epo.org)).

Again the geometrical adjustable burner concept was not found in this search.

#### SPECIFIC INTERNET SEARCH ON BIOFUEL BOILER BRANCHES

The products of different biofuel boilers companies were investigated in order to find out if some of them are commercializing a boiler with an adjustable burner/combustion chamber. Special attention was paid to Austrian firms as European referent and USA firms with certified burners or boilers.

The considered companies are as follows:

- Biokompakt, Austria ([www.biokompakt.com](http://www.biokompakt.com)),
- Fire Fox, Austria ([www.firefox.at](http://www.firefox.at)),
- Hargassner, Austria ([www.hargassner.com](http://www.hargassner.com)),
- Olymp, Austria ([www.olymp.at](http://www.olymp.at))
- SHT, Austria ([www.sht.at](http://www.sht.at))
- Pelltech burners, Austria ([www.pelltech.eu](http://www.pelltech.eu))
- ÖkoFen, Austria ([www.pelletsheizung.at/](http://www.pelletsheizung.at/))
- Janfire, Sweden ([www.janfire.com/eng/index.htm](http://www.janfire.com/eng/index.htm))
- Varmebaronen AB, Sweden ([varmebaronen.com/](http://varmebaronen.com/))
- Woodpecker, UK ([www.woodpeckerenergy.co.uk](http://www.woodpeckerenergy.co.uk))
- Greenwood, USA ([www.greenwoodusa.com/about-us.php](http://www.greenwoodusa.com/about-us.php))
- New Horizon Corporation, USA ([www.newhorizoncorp.com/](http://www.newhorizoncorp.com/))
- Pellergy LLC, USA ([www.pellergy.com/](http://www.pellergy.com/))
- ACTbioenergy, USA ([actbioenergy.com/index.html](http://actbioenergy.com/index.html))
- Harman, USA ([www.harmanstoves.com/](http://www.harmanstoves.com/))
- Lei-products, USA ([www.leiprod.com/leiproducts/](http://www.leiprod.com/leiproducts/))

No-one of these companies has any product involving a geometrical adjustable burner concept.

#### COLLECTION OF INFORMATION THROUGH THE DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE (DTI) EUROPEAN NETWORK

Emails were sent to different key DTI contacts in the boiler area inquiring about their possible knowledge of any study or product referring to a boiler with a geometrical adjustable burner/combustion chamber. No-one of them has knowledge of the existence of such a kind of boilers, neither of any R&D study related to such a system.

The consulted companies were:

[TFZ, Germany, www.tfz.bayern.de:](http://www.tfz.bayern.de)

TFZ is a technology and support centre of the Bavarian State Ministry for Food, Agriculture and Forestry. One of their research areas is solid biofuels, where they deal, among others, with the thermal use of biomass in wood heating systems, especially in the domestic sector. DTI contact person at this centre is Dr. Hans Hartmann.

At TFZ, they have discussed the idea of a burner with variable geometry for R&D purposes, but no study was finally performed. Apart from that, they have never come across of such concept.

BioEnergy2020, Austria, [www.bioenergy2020.eu](http://www.bioenergy2020.eu):

BioEnergy2020 is the Austrian competence centre for bioenergy research. One of their competence areas is combustion and they improve and develop new biomass combustion systems. The contacted person at this centre was Dr. Thomas Brunner.

They have never heard of a geometrical adjustable burner. However, they consider that it is an interesting approach.

VTT, Finland, <http://www.vtt.fi/?lang=en>:

VTT is the Technical Research Centre of Finland and is one of the biggest multi-technological applied research organisations in Northern Europe. One of their technology focus areas is the bioenergy and biofuel solutions. Moreover, VTT Expert Services Ltd performs testing of fireplace and burners. The consulted expert in this centre was Mr. Heikki Oravainen.

At VTT they do not have any knowledge of such a burner development.

## Bilag 2: Prøvningsattest for brænder type BS1016 (300-ELAB-1700)



TEST Reg.nr. 300



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Teknologiparken  
Kongsvang Alle 29  
DK-8000 Aarhus C  
Phone +45 72 20 10 00  
Fax +45 72 20 10 19  
Info@teknologisk.dk

### TEKNOLOGISK INSTITUT

Akkrediteret prøvningsorgan, DANAK-akkreditering nr. 300

## PRØVNINGSATTEST

Uddrag af rapport nr. 300-ELAB-1700

**Emne:** Centralvarmekedel  
**Fabrikat:** Nordjysk Bioenergi ApS og OPOP spol. s r.o.  
**Model:** Woody 16 & Black Star 1016; Scotte 16 & Black Star 1016;  
Scotte Plus 16 & Black Star 1016; Biopel 16 & Black Star 1016;  
Kedel 16 & Black Star; Bmht 16 & Black Star 1016

**Rekvirent:** Nordjysk Bioenergi, Brinken 10, 9750 Øster Vrå

**Procedure:**  Prøvning efter EN 303-5:2012 med krav i henhold til klasse 5

### PRØVNINGSRESULTATER

**Fyringsprincip:** Automatisk **Brændsel:** Biomasse

Prøvning er foretaget med træpiller, og følgende resultater blev opnået:

<b>Nominel ydelse:</b>	13,4 kW
<b>CO ved 10% O2:</b>	51 mg/m <sup>3</sup> (maks. 3000 mg/m <sup>3</sup> )
<b>OGC ved 10% O2:</b>	2 mg/m <sup>3</sup> (maks. 100 mg/m <sup>3</sup> )
<b>Støv ved 10% O2:</b>	10 mg/m <sup>3</sup> (maks. 150 mg/m <sup>3</sup> )
<b>Virkningsgrad:</b>	93,4 % (min. 75 % iht. BR)

<b>Laveste ydelse:</b>	4,0 kW
<b>CO ved 10% O2:</b>	324 mg/m <sup>3</sup> (maks. 3000 mg/m <sup>3</sup> )
<b>OGC ved 10% O2:</b>	10 mg/m <sup>3</sup> (maks. 100 mg/m <sup>3</sup> )
<b>Virkningsgrad:</b>	93,6 %

Bemærk venligst, at de oplyste værdier er et uddrag af prøvningsrapporten. For yderligere oplysninger henvises til prøvningsrapporten, se nummer ovenfor.

Århus, den 16. oktober 2012  Anette S. Brønnum Civilingeniør	Skorstensfejerpåtegning
---	-------------------------

På baggrund af ovennævnte partikelemission attesteres det hermed, at fyringsanlægget opfylder emissionskravene i bilag 1 til Bekendtgørelse nr. 1432 af 11/12/2007 vedr. regulering af luftforurening fra brændeovne og brænde kedler samt visse andre faste anlæg til energiproduktion.

\\vocaldom.net\TI\Folders\Organization\C014\_Vedvarende Energi og Transport\ELAB\Drift\Kedler\PST Kedle\prøvninger\Prøvningsattester\Attest 300-ELAB-1700.doc

16-10-2012 15:04:16

Dette PDF dokument er kun gyldigt, hvis det er digitalt signeret med OCES digitalsignaturen for Anette S. Brønnum, Teknologisk Institut.  
This PDF document is only valid if digitally signed with the OCES digital signature for Anette S. Brønnum, Danish Technological Institute.

BILLEDE 27

UDDRAG FRA PRØVNINGSATTEST PÅ DEN TYPEGODKENDTE STATIONÆRE BRÆNDER (BS1016) SOM ANVENDES SOM "BASE LINE SCENARIO" FOR UDVIKLING AF DEN NYE TYPE BRÆNDER I PROJEKTET

## Bilag 3: Prøvningsattest for brænder type RTB-16 (300-ELAB-2045)



DANAK

TEST Reg.nr. 300



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Teknologiparken  
Kongsvang Alle 29  
DK-8000 Århus C  
Phone +45 72 20 10 00  
Fax +45 72 20 10 19  
Info@teknologisk.dk

### TEKNOLOGISK INSTITUT

Akkrediteret prøvningsorgan, DANAK-akkreditering nr. 300

## PRØVNINGSATTEST

Uddrag af rapport nr. 300-ELAB-2045

Emne: Centralvarmekedel  
Fabrikat: NBE Production A/S  
Model: RTB 16  
Rekvirent: NBE Production A/S, Brinken 10, DK-9750 Øster Vrå

Procedure: 

X	Prøvning efter EN 303-5:2012 med krav i henhold til klasse 5
---	--

### PRØVNINGSRESULTATER

Fyringsprincip: Automatisk Brændsel: Biomasse

Prøvning er foretaget med træpiller (C1), og følgende resultater blev opnået:

Nominal ydelse: 17,0 kW  
CO ved 10% O<sub>2</sub>: 118 mg/m<sup>3</sup> (maks. 3000 mg/m<sup>3</sup> iht. BEKN.1432)  
OGC ved 10% O<sub>2</sub>: 7 mg/m<sup>3</sup> (maks. 100 mg/m<sup>3</sup> iht. BEKN.1432)  
Støv ved 10% O<sub>2</sub>: 22 mg/m<sup>3</sup> (maks. 150 mg/m<sup>3</sup> iht. BEKN.1432)  
Virkningsgrad: 91,1 % (min. 88,2 % iht. BR)

Laveste ydelse: 5,0 kW  
CO ved 10% O<sub>2</sub>: 173 mg/m<sup>3</sup> (maks. 3000 mg/m<sup>3</sup> iht. BEKN.1432)  
OGC ved 10% O<sub>2</sub>: 10 mg/m<sup>3</sup> (maks. 100 mg/m<sup>3</sup> iht. BEKN.1432)  
Støv ved 10% O<sub>2</sub>: 28 mg/m<sup>3</sup> (maks. 150 mg/m<sup>3</sup> iht. BEKN.1432)  
Virkningsgrad: 92,4 % (min. 87,7 % iht. BR)

Bemærk venligst, at de oplyste værdier er et uddrag af prøvningsrapporten. For yderligere oplysninger henvises til prøvningsrapporten, se nummer ovenfor.

Århus, den 31. marts 2014  Torben Nørgaard Jensen Diplomingeniør	Skorstensfejerpåtegning
---	-------------------------

På baggrund af ovennævnte partikelemission attesteres det hermed, at fyringsanlægget opfylder emissionskravene i bilag 1 til Bekendtgørelse nr. 1432 af 11/12/2007 vedr. regulering af luftforurening fra brændeovne og brændekedler samt visse andre faste anlæg til energiproduktion.

\\localdom.net\TI\Folders\Organization\C068\_Biomasse og Bioraffinering\ELAB\Drift\Kedler\PST Kodela\prøvninger\Prøvningsattester\Attest 300-ELAB-2045.doc

31-03-2014 15:53:30

Dette PDF dokument er kun gyldigt, hvis det er digitalt signeret med OCES digitalsignaturen for Torben Nørgaard Jensen, Teknologisk Institut.  
This PDF document is only valid if digitally signed with the OCES digital signature for Torben Nørgaard Jensen, Danish Technological Institute.

BILLEDE 28

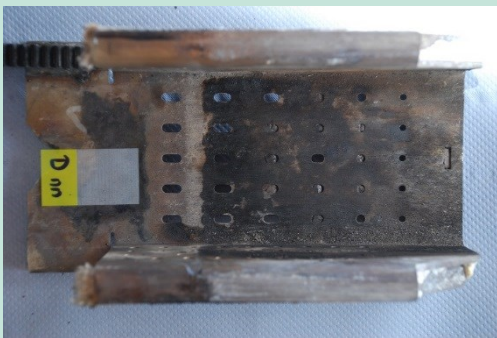
UDDRAG FRA PRØVNINGSATTEST PÅ DEN TYPEGODKENDTE STATIONÆRE BRÆNDER (RTB-16) SOM ANVENDES TIL VALIDERING AF RESULTATERNE AF SLUTTESTEN AF DEN NYE TYPE BRÆNDER I PROJEKTET

## Bilag 4:      Prototype-riste

Herunder findes billeder og tegninger af de fleste prototype-riste der er udviklet i forbindelse med nærværende projekt.



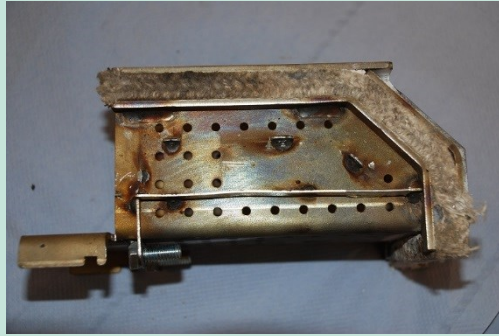




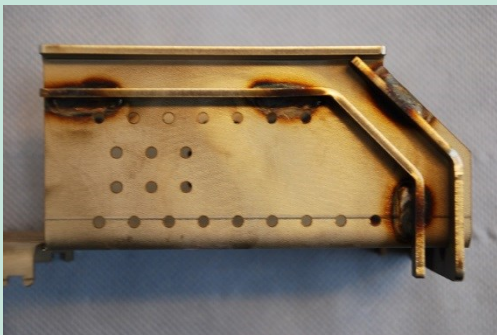
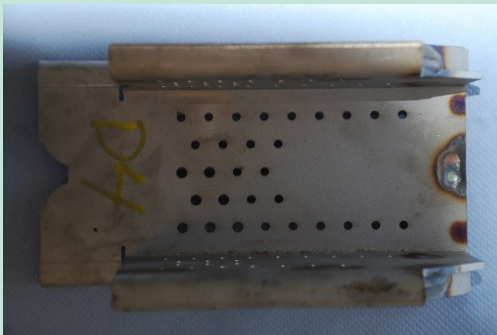
BILLEDE 30  
RIST TYPE: D\_NN



BILLEDE 31  
RIST TYPE: D2

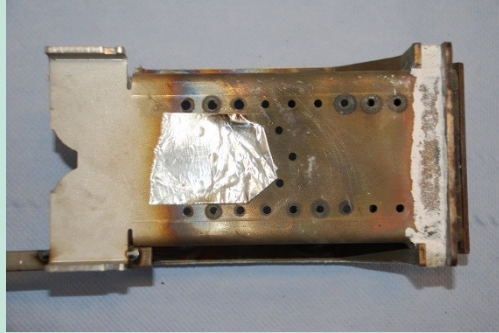
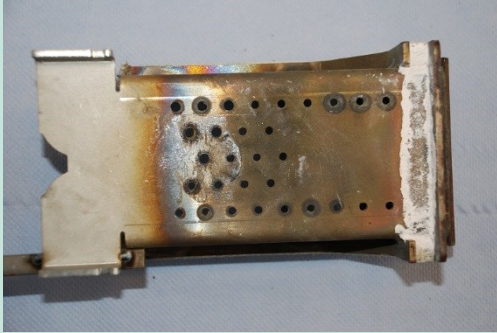
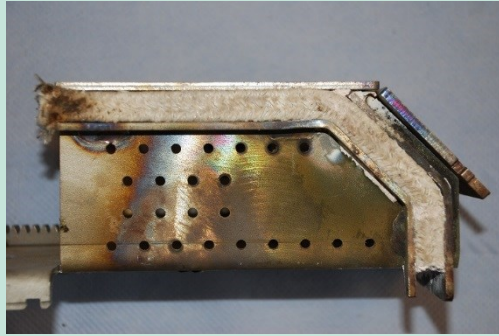
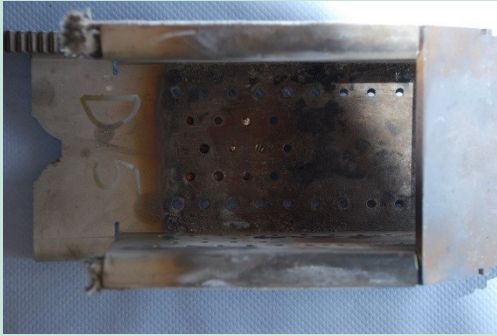


BILLEDE 32  
RIST TYPE: D3

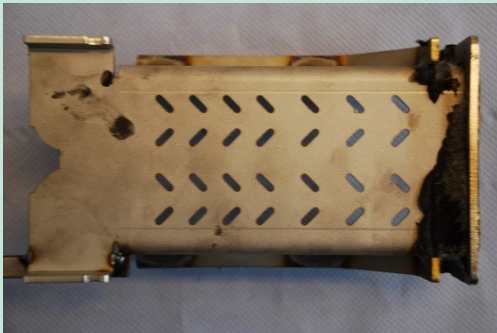


BILLEDE 33  
RIST TYPE: D4

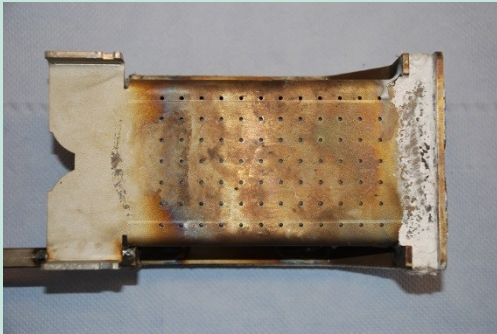
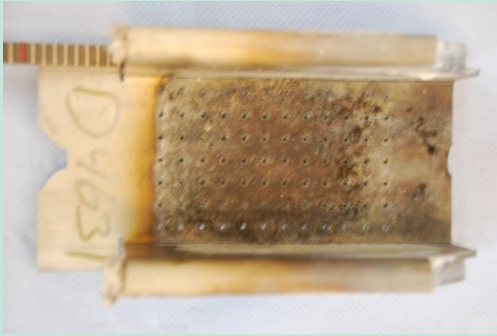




BILLEDE 34  
RIST TYPE D5



BILLEDE 35  
RIST TYPE D6

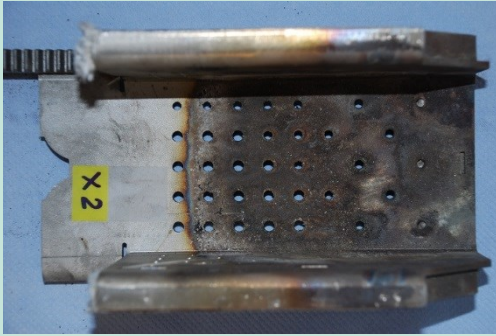


BILLEDE 36  
RIST TYPE D4631

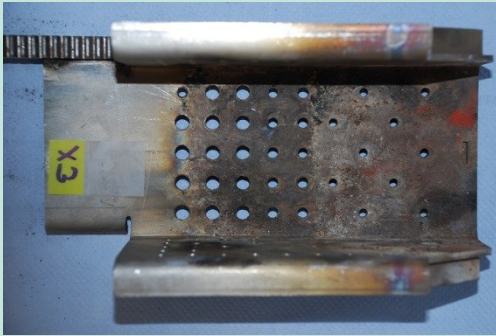


BILLEDE 37  
RIST TYPE X1

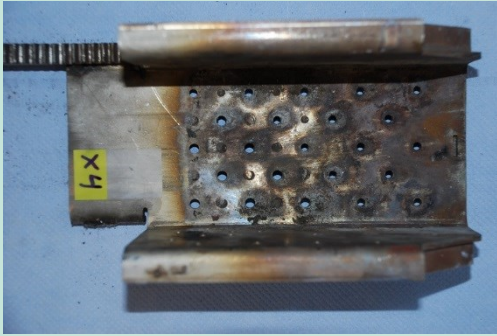




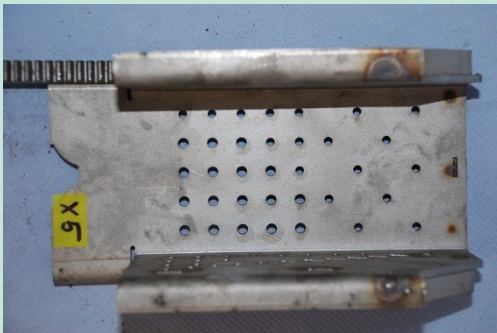
BILLEDE 38  
RIST TYPE X2



BILLEDE 39  
RIST TYPE X3

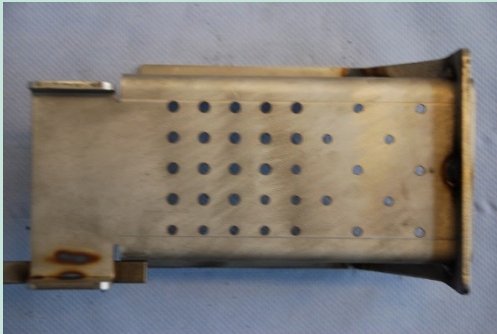
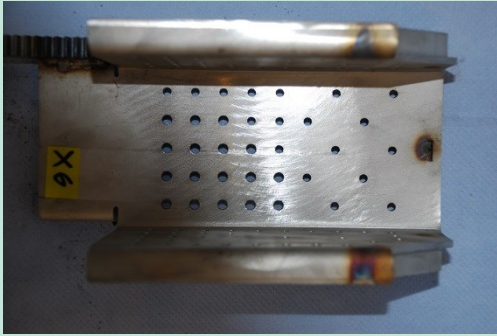


BILLEDE 40  
RIST TYPE X4



BILLEDE 41  
RIST TYPE X5

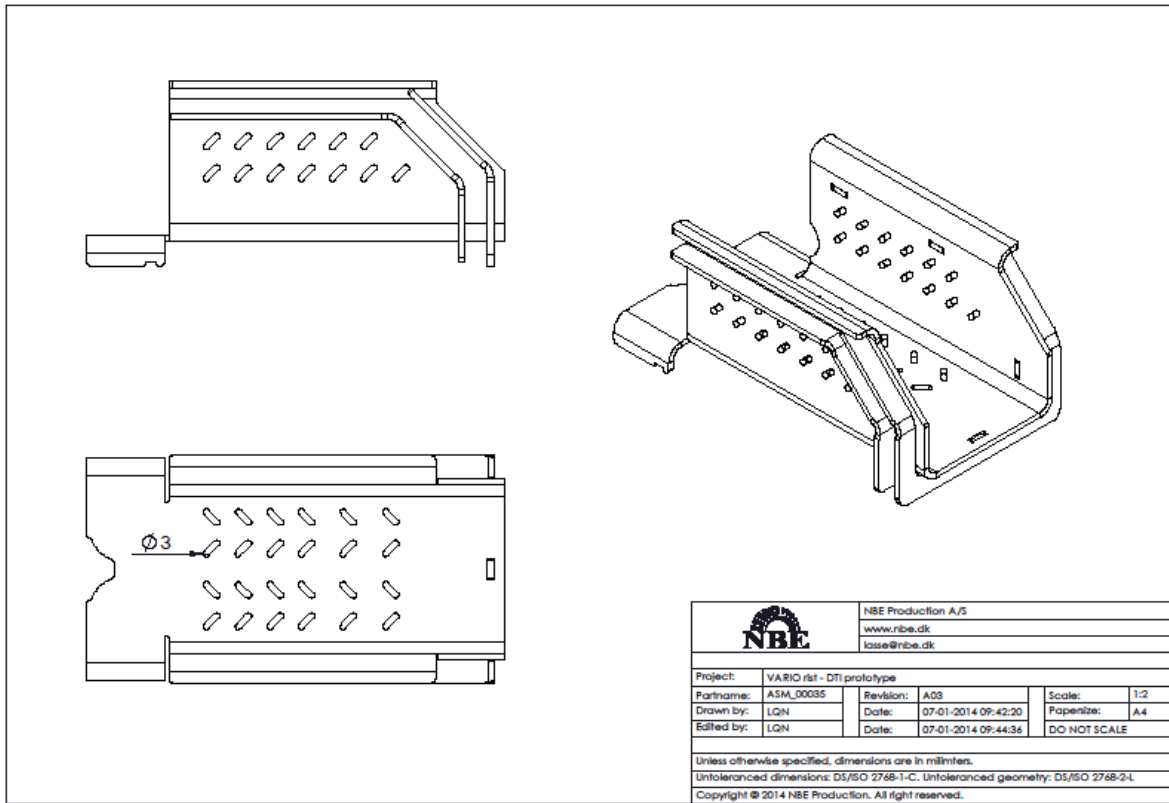




BILLEDE 42  
RIST TYPE X6

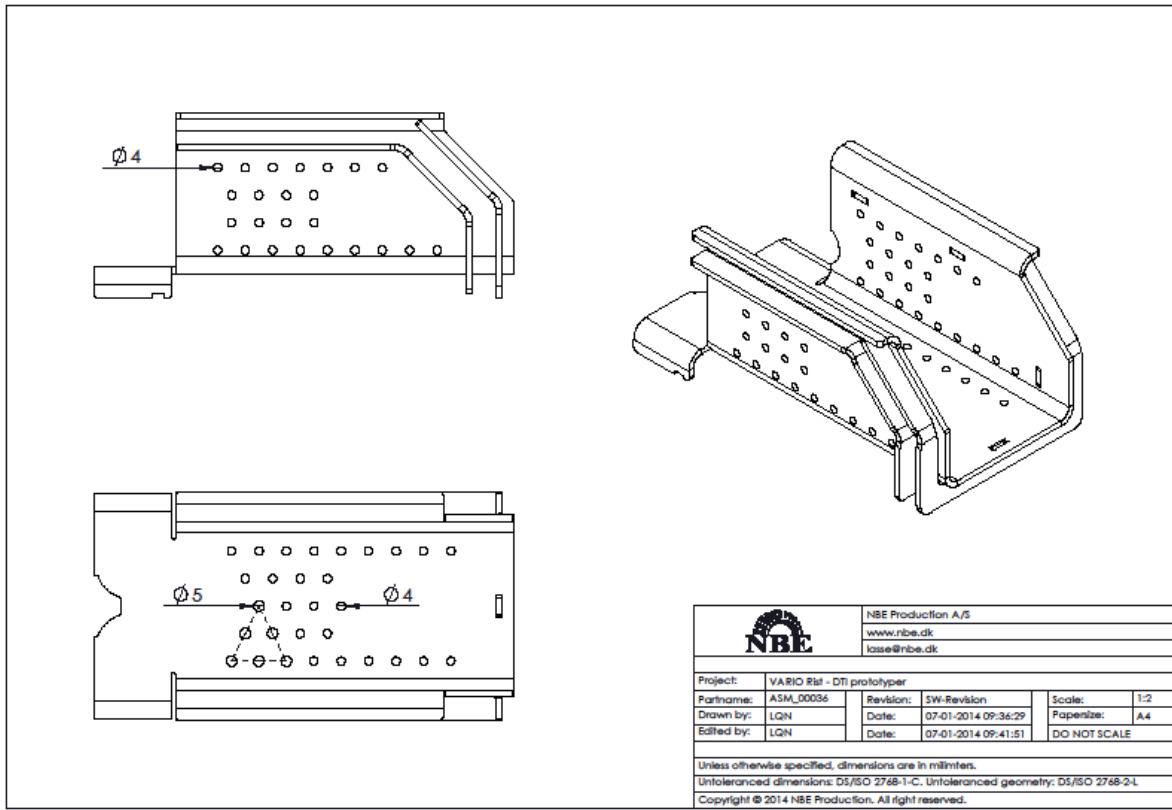


BILLEDE 43  
RIST TYPE X7

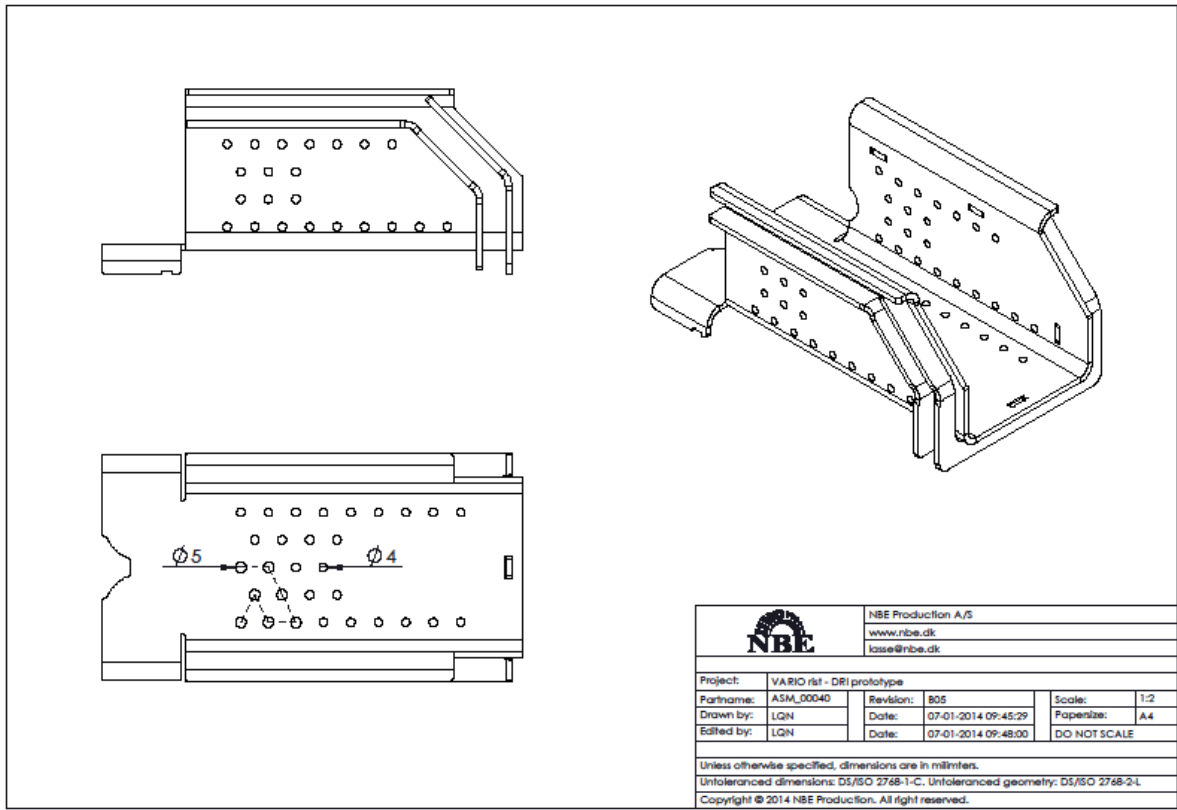



FIGUR 44  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00035



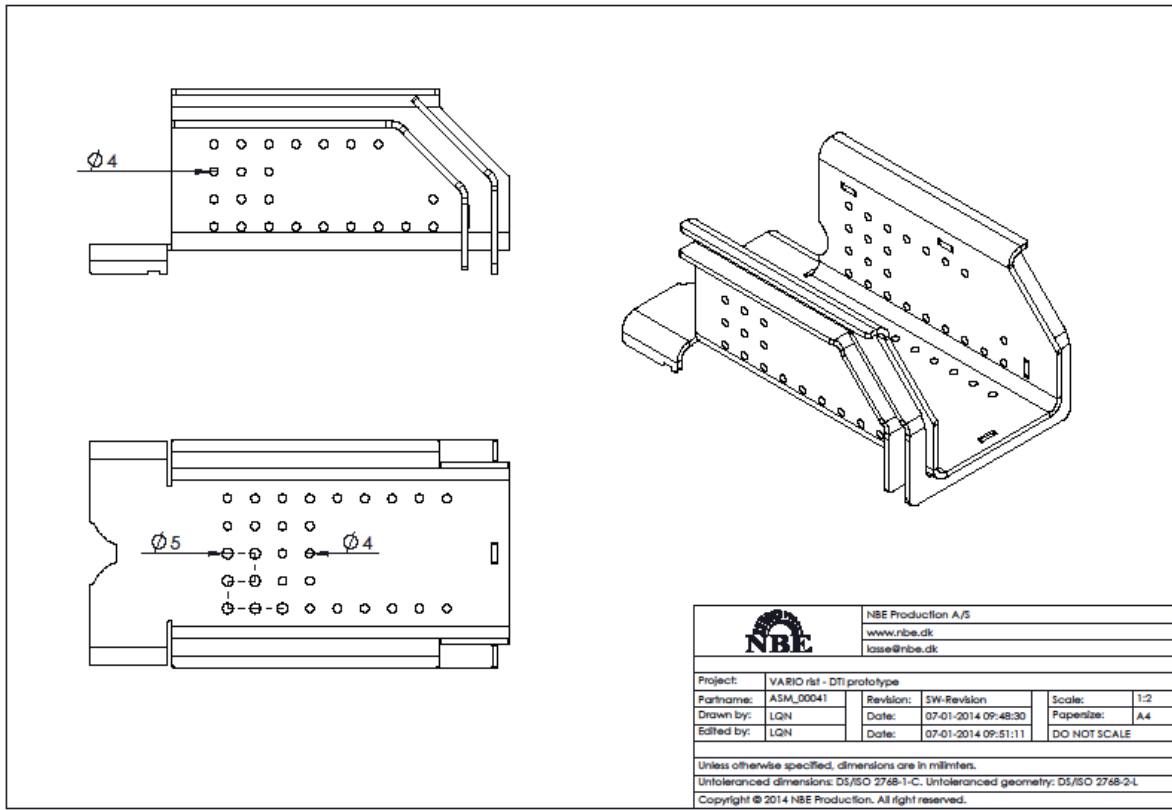


FIGUR 45  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00036

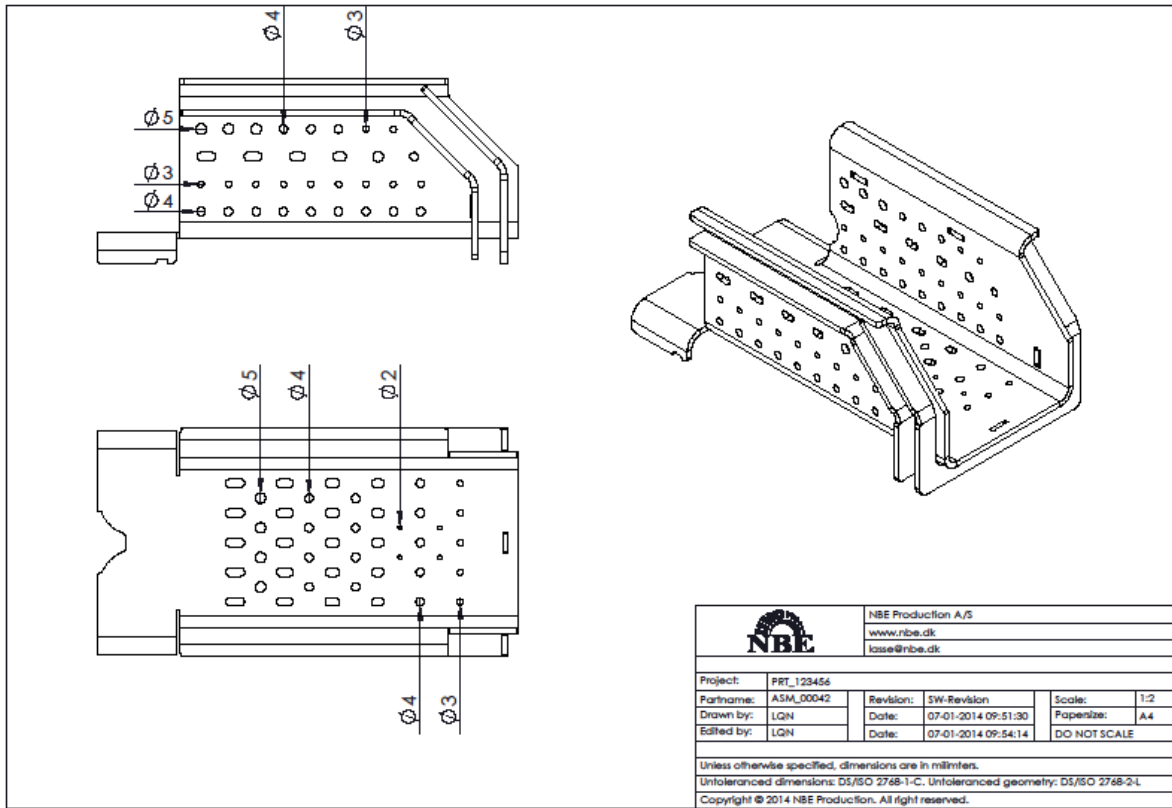


		NBE Production A/S	
		<a href="http://www.nbe.dk">www.nbe.dk</a> <a href="mailto:lase@nbe.dk">lase@nbe.dk</a>	
Project: VARIO rist - DRI prototype			
Partname: ASM_00040	Revision: B05	Scale: 1:2	
Drawn by: LGN	Date: 07-01-2014 09:45:29	Paperize: A4	
Edited by: LGN	Date: 07-01-2014 09:48:00	DO NOT SCALE	
<small>Unless otherwise specified, dimensions are in millimeters.          Untoleranced dimensions: DS/ISO 2768-1-C. Untoleranced geometry: DS/ISO 2768-2-L          Copyright © 2014 NBE Production. All right reserved.</small>			

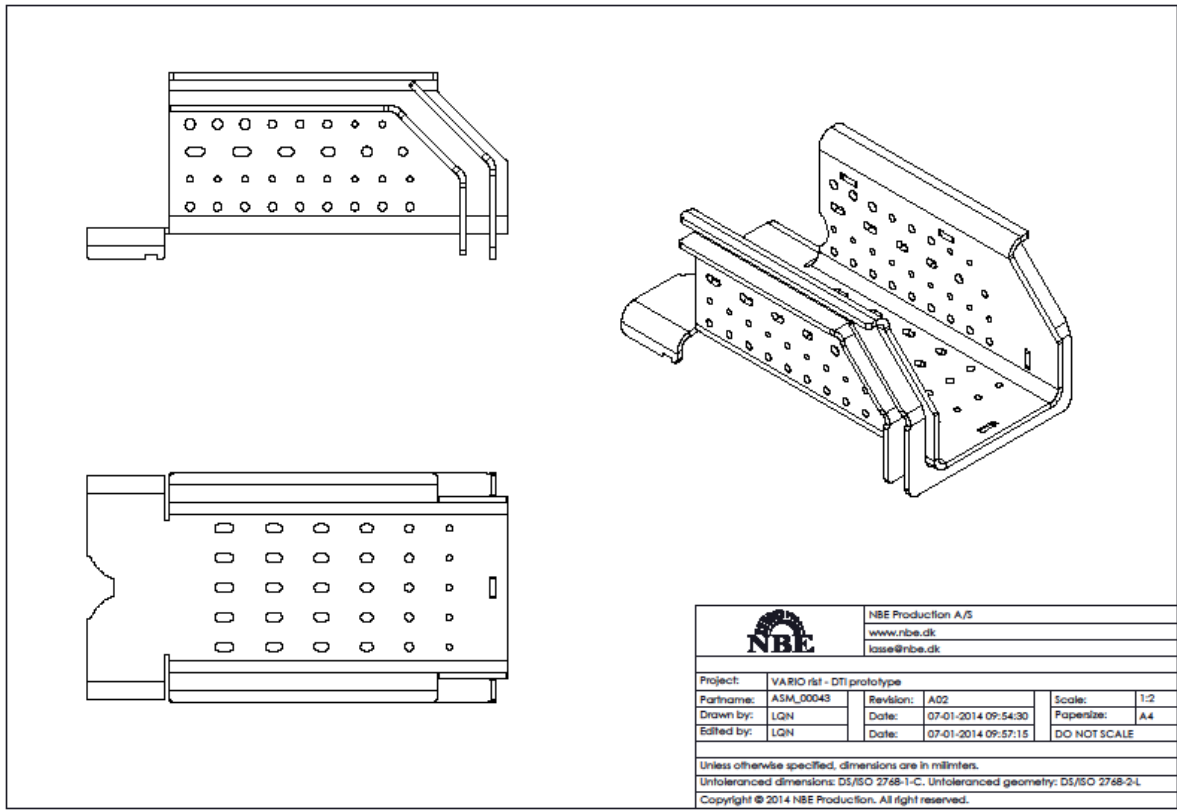
FIGUR 46  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00040



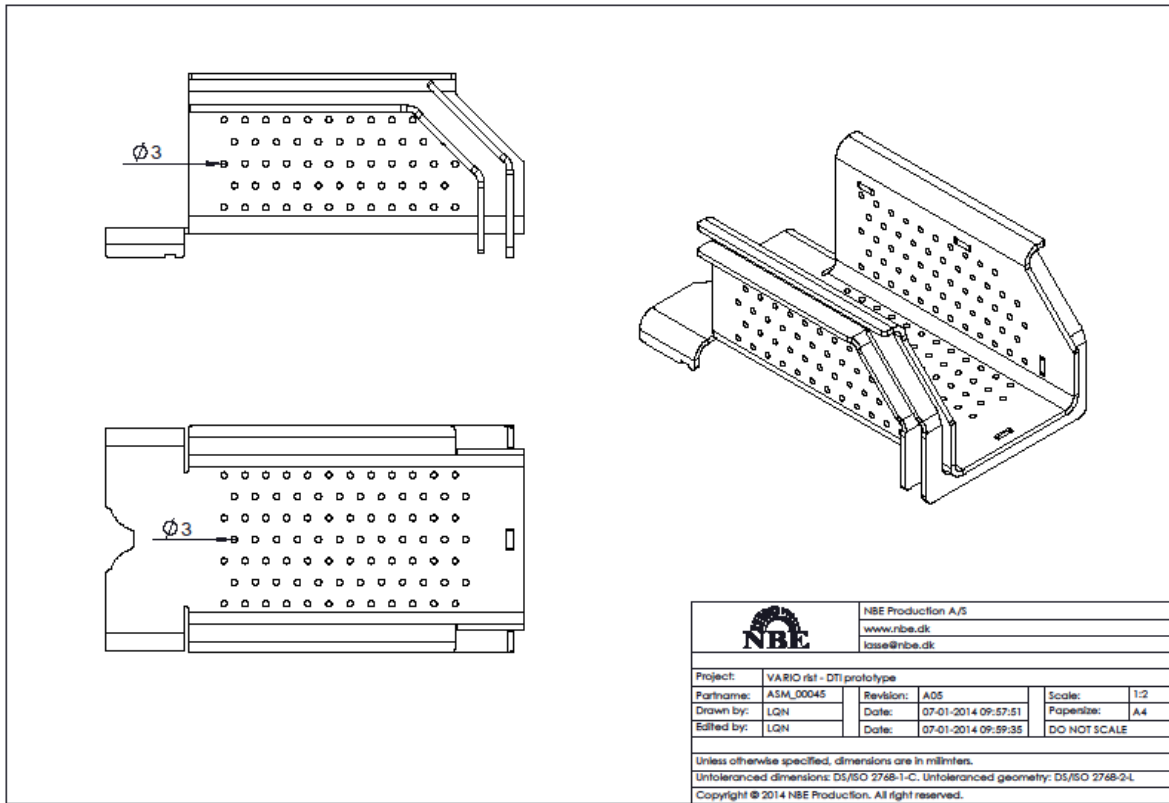
FIGUR 47  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00041



FIGUR 48  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00042



**FIGUR 49**  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00043

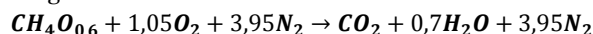


FIGUR 50  
BRÆNDER-RIST TYPE: ASM\_00045

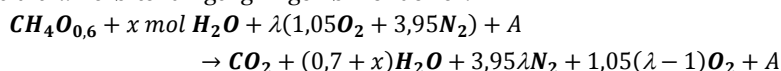
## Bilag 5: Støkiometrisk forbrænding af biomasse

Biomasse består primært af tre forskellige organiske materialer: cellulose, hemicellulose og lignin. Generelt for biomasse har det vist sig, at atomforholdet er relativt konstant  $CH_{1,4}O_{0,6}$  (vand- og askefri basis).

Støkiometrisk forbrænding af biomasse kan derfor skrives som:



I praksis indeholder biomasse vand og aske, samt forbrændingen foregår med overskud af forbrændingsluft  $\lambda$ . Forbrændingsligningen bliver derfor:



Hvor:

$CH_4O_{0,6}$ :	Biomasse (vand- og askefri basis)
$x \text{ mol } H_2O$ :	Vand i biomasse
$\lambda$ :	Luftoverskudstal
$(1,05O_2 + 3,95N_2)$ :	Sammensætning af forbrændingsluften
A:	Aske

Ovenstående forbrændingsligning er anvendt til at estimere mængden af forbrændingsluft under forskellige driftsforhold (lasttrin) for brænderen. De beregnede luftmængder er blevet anvendt i de efterfølgende CFD beregninger til optimering af luft flow til brænderen, samt optimering af luftfordelingen i forbrændingskammeret.

Reaktant (R)	Mol-vægt [g/mol]	Kemisk sammensætning ved $\lambda=1,77$		Ved $q_{m,br}$ (tør og askefri) [100% last]		90%	70%	50%	30%	10%
		mol	g/mol	mol/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
$CH_{1,4}O_{0,6}$ (tør askefri)	23,021456	1	23,02146	114,8829	2,645	2,380295	1,85134	1,322386	0,793432	0,264477
$H_2O$ i biomassen	18,01528	0,075807	1,36568	8,708899	0,156893	0,141204	0,109825	0,078447	0,047068	0,015689
$O_2$	31,9988	1,8585	59,46977	213,5099	6,832061	6,148855	4,782442	3,41603	2,049618	0,683206
$N_2$	28,0134	6,9915	195,8557	803,2039	22,50047	20,25043	15,75033	11,25024	6,750142	2,250047
<b>Sum R</b>			<b>279,7126</b>		<b>32,1342</b>	<b>28,92078</b>	<b>22,49394</b>	<b>16,0671</b>	<b>9,640259</b>	<b>3,21342</b>
<b>Forbrændingsluft</b>										
Sum af $O_2$ og $N_2$			255,3255		29,33253	26,39928	20,53277	14,66627	8,79976	2,933253
Andel primær luft	40%		102,1302		11,73301	10,55971	8,213109	5,866507	3,519904	1,173301
Andel sekundær luft	60%		61,27811		7,039808	6,335827	4,927866	3,519904	2,111942	0,703981
<b>Produkt (P) røggas</b>										
$CO_2$	44,0095	1	44,0095	114,8829	5,05594	4,550346	3,539158	2,52797	1,516782	0,505594
$H_2O$	18,01528	0,775807	13,97638	89,12694	1,605647	1,445082	1,123953	0,802823	0,481694	0,160565
$N_2$	28,0134	6,9915	195,8557	803,2039	22,50047	20,25043	15,75033	11,25024	6,750142	2,250047
$O_2$	31,9988	0,8085	25,87103	92,88284	2,972139	2,674925	2,080498	1,48607	0,891642	0,297214
<b>Sum P</b>			<b>279,7126</b>		<b>32,1342</b>	<b>28,92078</b>	<b>22,49394</b>	<b>16,0671</b>	<b>9,640259</b>	<b>3,21342</b>

FIGUR 51  
EKSEMPEL PÅ BEREGNING AF FORBRÆNDINGSPARAMETRE

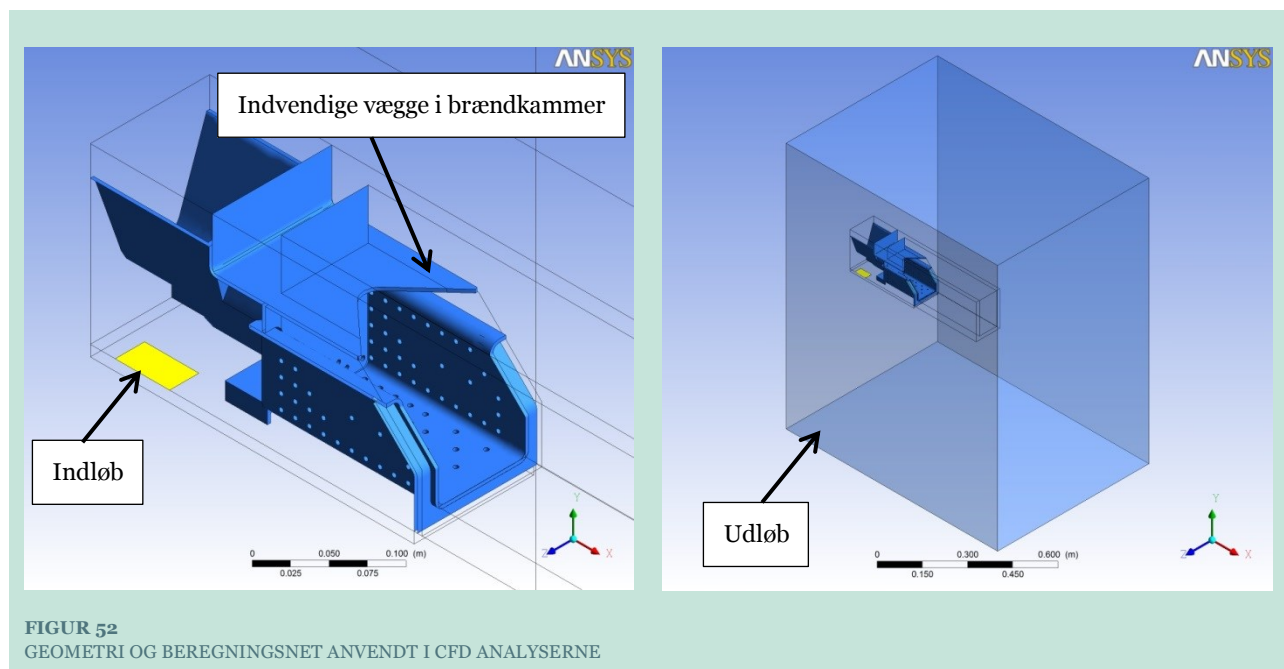
## Bilag 6: Baggrund for CFD

CFD der forkortelse Computational Fluid Dynamics anvendes til at modellere termiske og strømingsrelaterede problemstillinger. Det er et analyseværktøj der kan sammenlignes med de mere velkendte faststofmekaniske værktøjer som løser tøjnings og spændingsfelter. Forskellen er at man bestemmer hastigheds- og trykfelter med CFD'en. Fremgangsmåden til opbygning af en model er følgende:

- Man genererer en geometri som man ønsker at underkaste en fluidmekanisk undersøgelse. Oftest er det 3D CAD tegning. I modsætning til en faststofmekaniske analyse er man interesseret i områder omkring de faste objekter altså område hvor luften eller en anden fluid strømmer omkring.
- Der anlægges et beregningsnet. Beregningsnettet specificerer hvor man vil gerne bestemme temperaturen, hastigheden eller f.eks. trykket af fluiden. Des tættere beregningsnet des mere nøjagtig bliver løsning.
- Når nettet er lagt skal grænsebetingelser samt en turbulens model bestemmes. Disse input har en afgørende betydning på kvaliteten af løsning.
- Derefter løses differentie ligninger og den fremkomne resultat studeres og vurderes ved hjælp af en post-processor

Numerisk Fluidmekanik anvendes i stadig større grad i industrielt udviklings- og designarbejde.

I projektet blev der genereret følgende geometri der vises i Figur 54. Geometrien indeholder brænderhoved der er ført ind i et brænder der er væsentlig forsimplet og modelleres som et stort rum omkring brænderhoved. Det man er interesseret i er strømninger inde i selve brænderhoved og i umiddelbart nærheden af udblæsningshullerne i risten. Indløb og udløb konditioner er ligeledes vist i figuren.

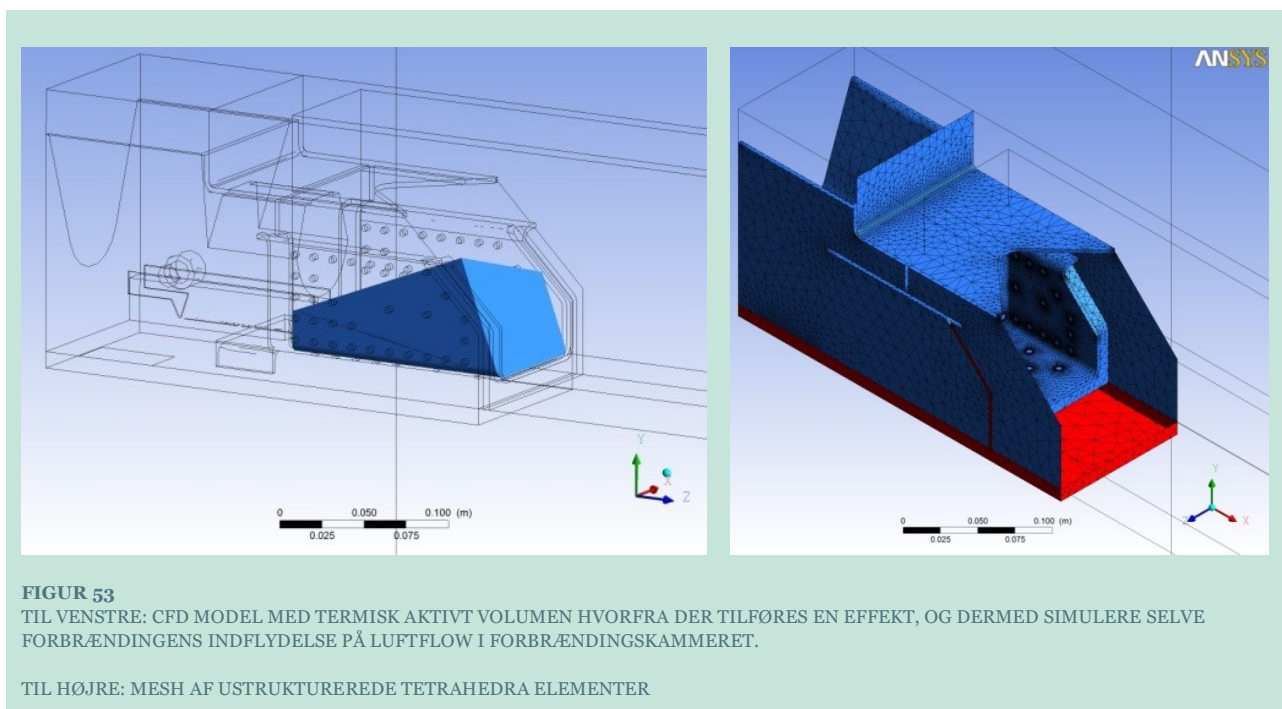




I Tabel 2 er grænse konditioner vist. Det er en stationær model og der anvendes en SST turbulens model. Som indløbs konditioner specificeres masse flow og temperatur. Der er udført forskellige simuleringer med forskellige flow varierende fra 16 kg/h til 56 kg/h. Som udløbs kondition er der specificeret en åbningsgrænsebetingelse. Åbningsgrænsebetingelse er en grænsebetingelse hvor luften kan komme ud men også komme ind alt afhængig af lokale tryk forhold.

	Isotermisk	Termisk
<b>Simulerings type:</b>	Stationær	Stationær
<b>Turbulens model:</b>	SST	SST
<b>Indløbs konditioner</b>		
<b>Masse flow:</b>	16-56 kg/h	28,8 kg/h
<b>Temperatur:</b>	30 °C	30 °C
<b>Udløbs konditioner</b>		
<b>Åbnings tryk:</b>	0 Pa	0 Pa
<b>Åbnings temperatur:</b>	30 °C	1000 °C

TABEL 2  
GRÆNSE KONDITIONER FOR CFD MODELLELING



Der er grundlæggende arbejdet med to model typer, en isotermisk og en termisk model. I den isotermisk model modelleres luftstrømninger ved en temperatur på 30 °C og ved den termiske model tilføres der en effekt på 16 kW i et område der er vist i til venstre i **Fejl! Henvsningskilde ikke fundet.**

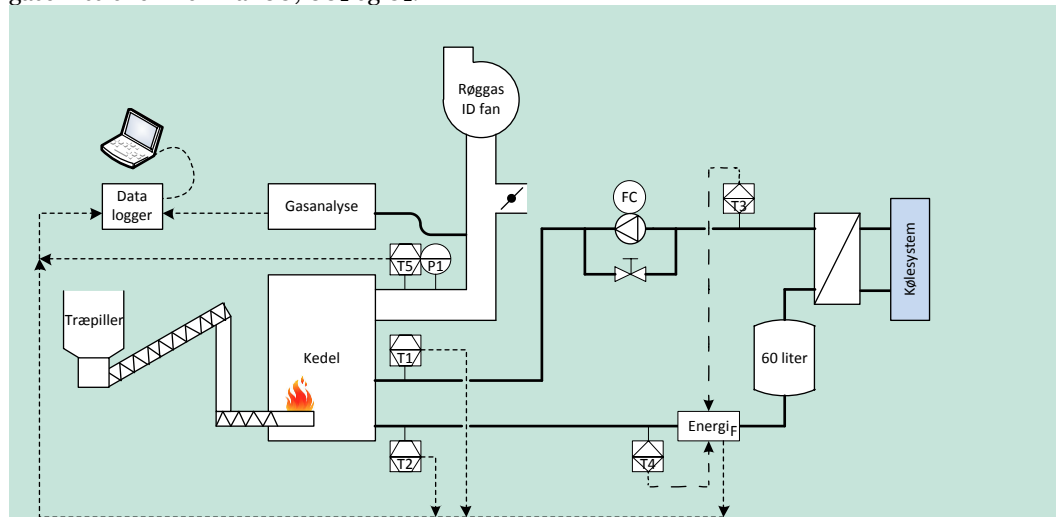
Anlagt mesh er vist i til højre i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** Mesh består af ustrukturerede tetrahedra elementer, med indlagt mesh forfining omkring indblæsningshullerne i risten.

Som mesh størrelse er anvendt 4.000.000 tetrahedra elementer og 750.000 noder.

## Bilag 7: Prototype-kedelprøvestand

I forbindelse med prototype testene, er der blevet etableret en prototype-kedelprøvestand. Hvor det er muligt at teste forskellige udviklingsprototyper af den bevægelige brænder.

På prototype-kedelprøvestanden er det muligt at teste ved forskellige ydelser, og samtidig måle gasemissioner i form af CO, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>.



**FIGUR 54**  
PROTOTYPE-KEDELPRØVESTAND

- T1: RETUR-TEMPERATUR TIL KEDEL
- T2: FREM-TEMPERATUR FRA KEDEL
- T3: RETUR-TEMPERATUR SOM INPUT TIL ENERGIMÅLER
- T4: FREM-TEMPERATUR SOM INPUT TIL ENERGIMÅLER
- T5: RØGGASTEMPERATUR
- P1: TRYK I RØGGASAFGANG FRA KEDEL
- F: ENERGIMÅLER



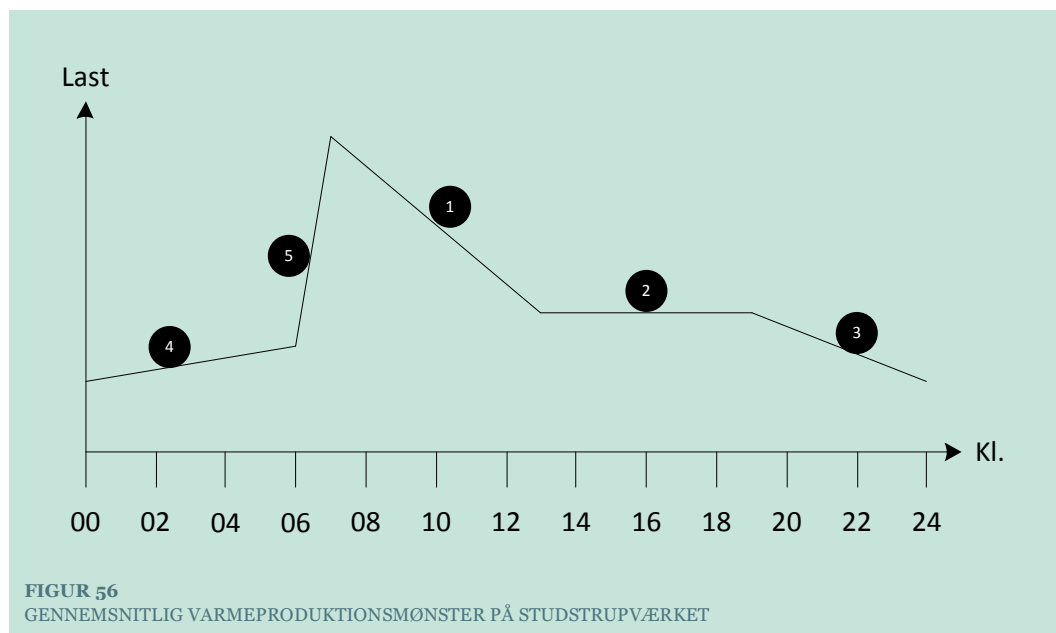
**BILLEDE 55**  
PROTOTYPE-KEDELPRØVESTAND OG GASANALYSE RACK.

## Bilag 8: Gennemsnitlig varmeproduktionsmønster på Studstrupværket

Studstrupværket har venligst givet følgende information vedr. deres gennemsnitlige varmeproduktionsmønster:

Lasten er højest om morgenen, hvorefter den falder fra kl. 7-13 (1) til konstant niveau frem til kl. 19 (2), hvorefter den falder yderligere frem til kl. 24 (3). Fra midnat og frem til kl. 06 (4) stiger lasten svagt for at stige mod max kl. 07 (5).

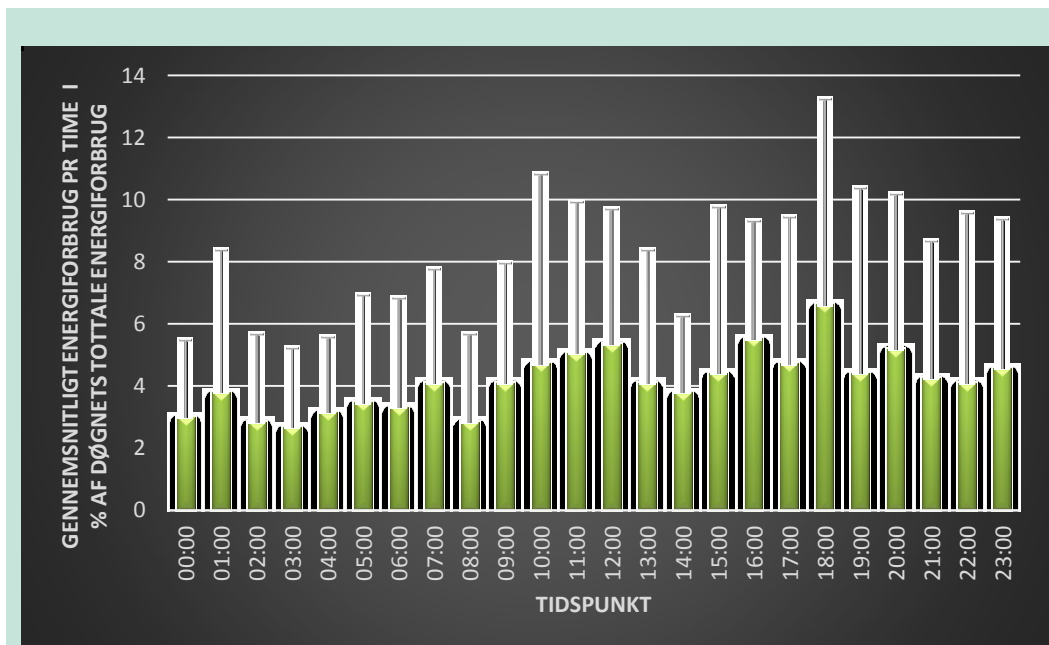
Ovenstående kan visualiseres i nedenstående figur.



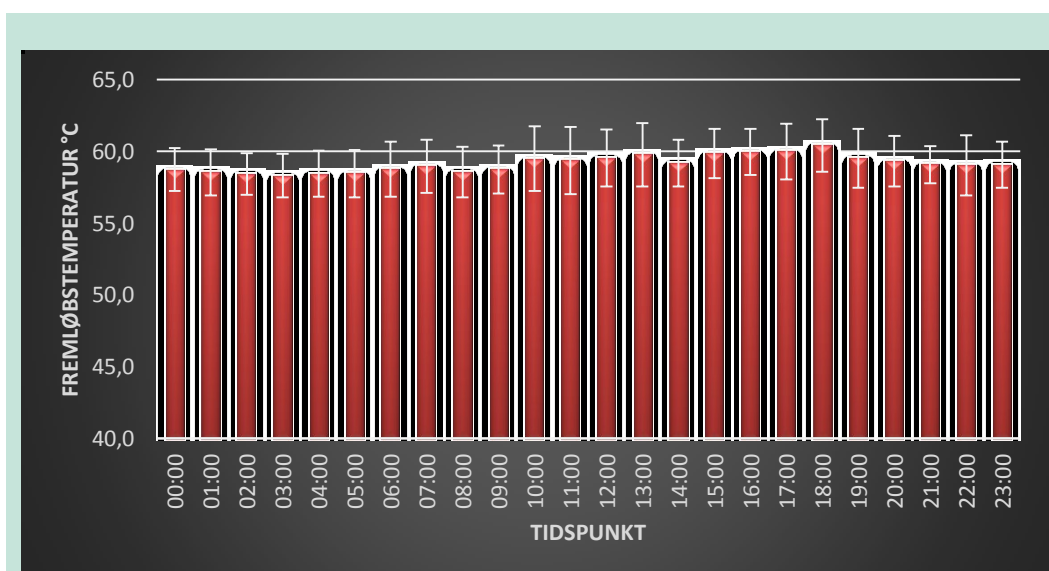
## Bilag 9: Gennemsnitlig energi-forbrugsmønster for fjernvarme forsynede beboelser

Kamstrup A/S har venligst stillet data til rådighed over gennemsnitlige energi-forbrugsmønstre for fjernvarme forsynede beboelser baseret på 1 times værdier.

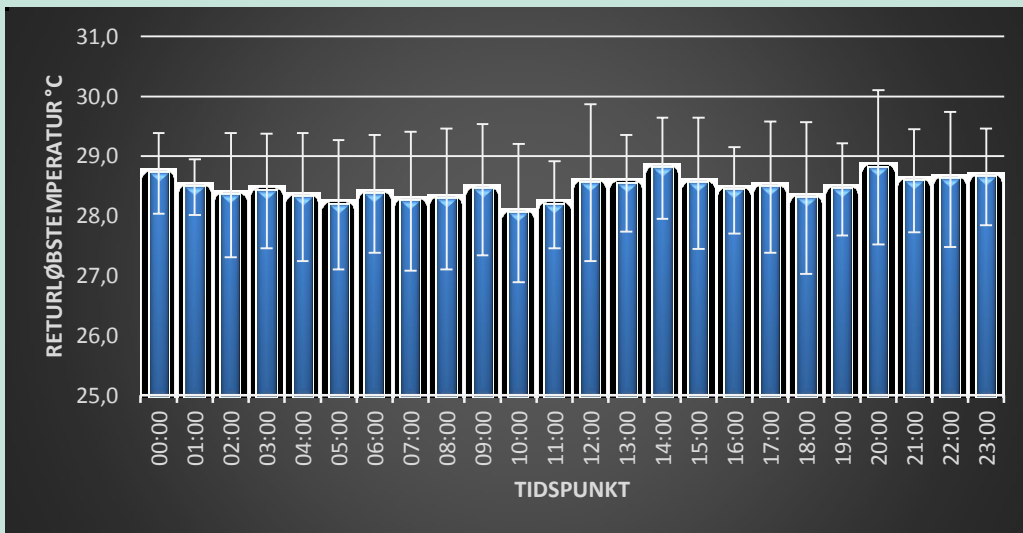
Det gennemsnitlige energiforbrugsmønster for et fjernvarmeforsynet 130 m<sup>2</sup> hus med 2 beboere, brus og badekar og ingen varmtvandsbeholder er vist i nedenstående tre figurer.



FIGUR 57  
GENNEMSNITLIG DØGNVARIATION I ENERGI FORBRUG I PERIODEN OKTOBER 2013

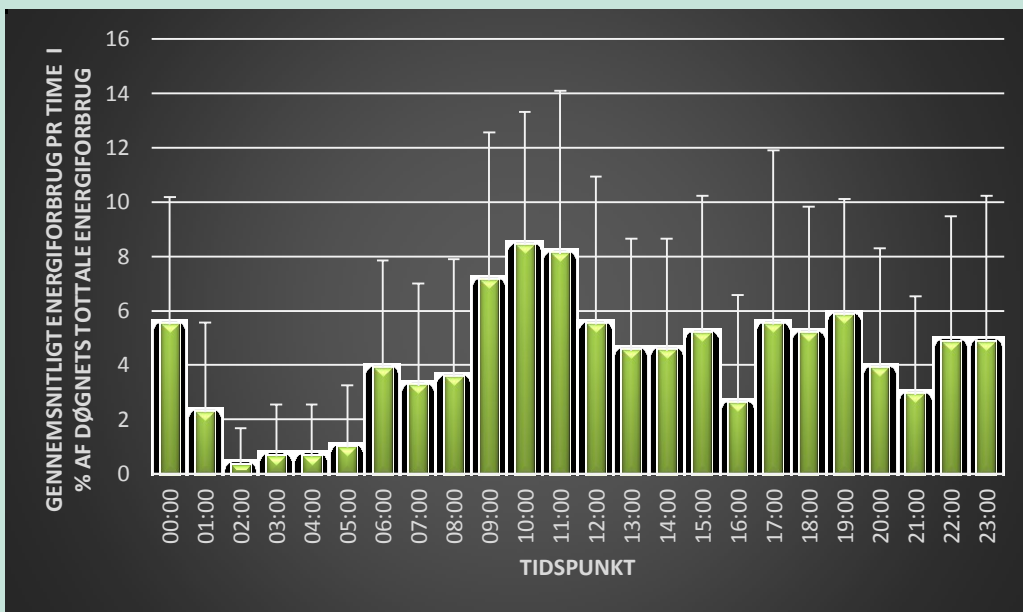


FIGUR 58  
GENNEMSNITLIG DØGNVARIATION I FREMLØBSTEMPERATUR I PERIODEN OKTOBER 2013

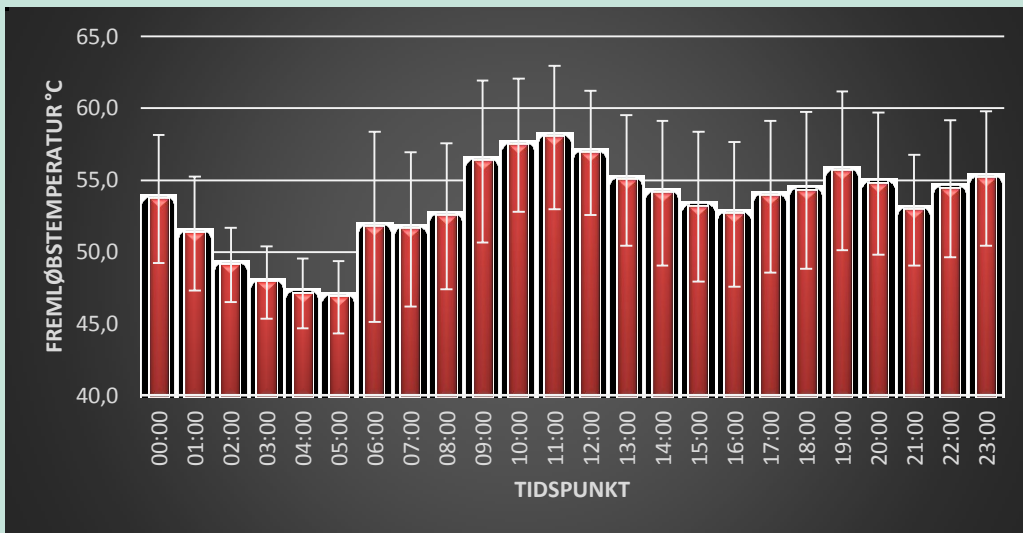


**FIGUR 59**  
GENNEMSNITLIG DØGNVARIATION I RETURLØBSTEMPERATUR I PERIODEN OKTOBER 2013

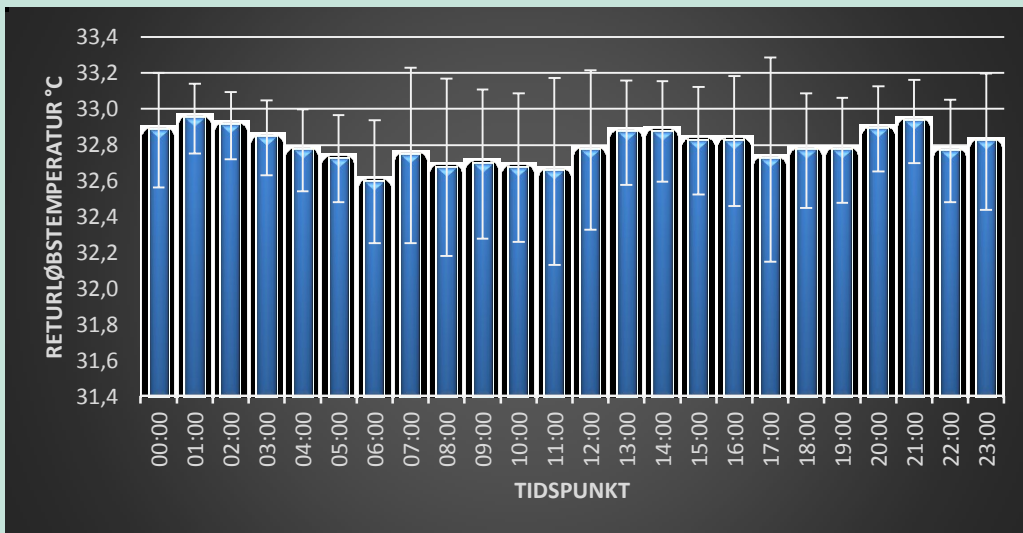
Det gennemsnitlige energiforbrugsmønster for et fjernvarmeforsynet to-plans 1964'er hus på 200 m<sup>2</sup> med 2 beboere, bruser og 200 l varmtvandsbeholder er vist i nedenstående tre figurer.



**FIGUR 60**  
GENNEMSNITLIG DØGNVARIATION I ENERGIFORBRUG I PERIODEN 22/6 - 30/7 2003



**FIGUR 61**  
GENNEMSNITLIG DØGNVARIATION I FREMLØBSTEMPERATUR I PERIODEN 22/6 - 30/7 2003



**FIGUR 62**  
GENNEMSNITLIG DØGNVARIATION I RETURLØBSTEMPERATUR I PERIODEN 22/6 - 30/7 2003

## Bilag 10: Varmeproduktionsmønstre fra træpillefyrede kedelanlæg fra NBE Production A/S

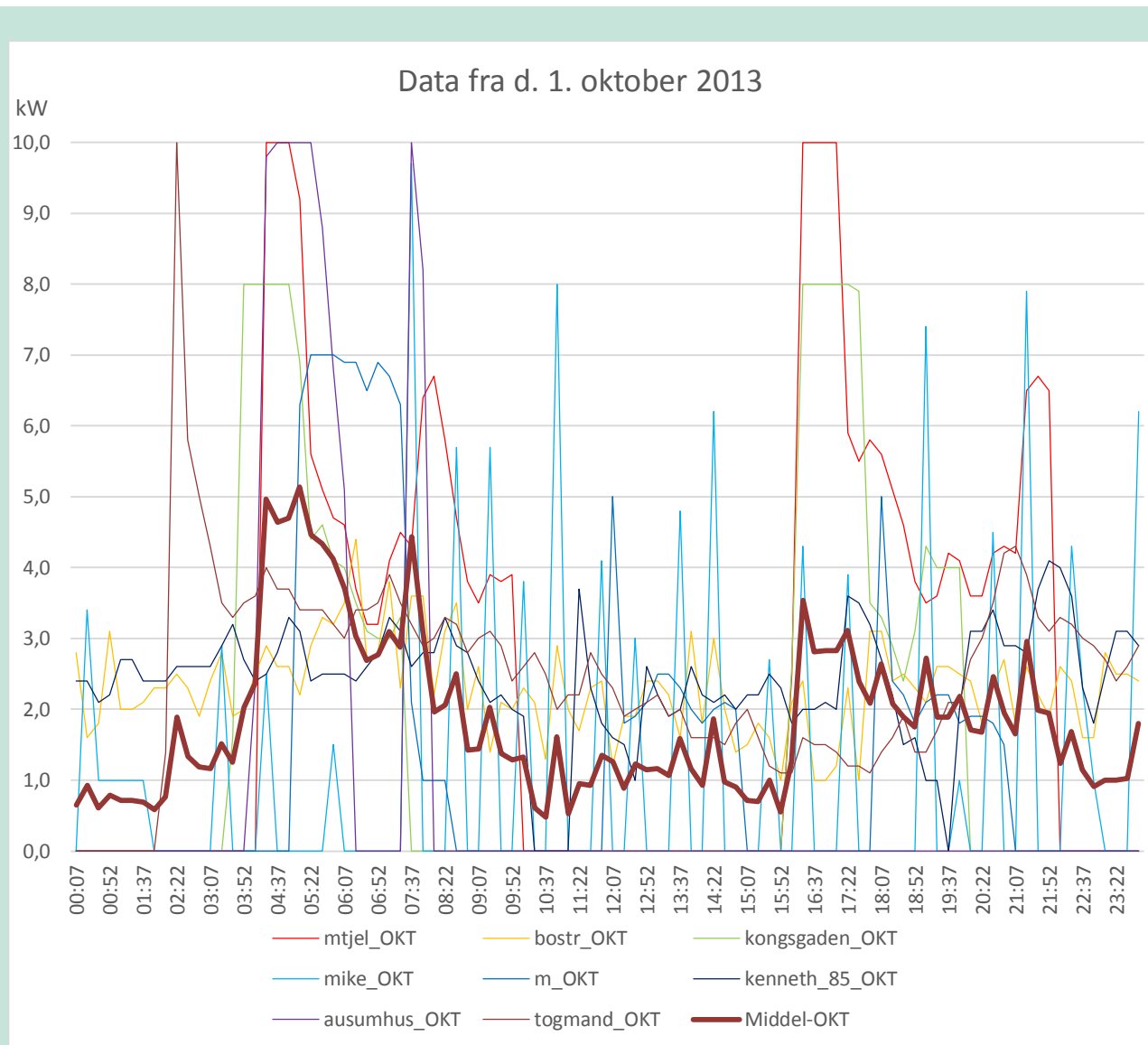
Der er blevet indsamlet driftsdata fra otte forskellige husstande med træpillefyrede kedelanlæg med en nominel ydelse på 10,0 kW. De indsamlede data er fra hhv. d. 1. oktober 2013 (efterårsdag) og d. 17. januar 2014 (vinterdag).

De otte kedelanlæg er følgende:

Anlægs navn	Nominel ydelse	Type	Bolig areal i m <sup>2</sup>
<b>mtjel</b>	10,0 kW	Scotte Plus BS1016 v6.82	130 m <sup>2</sup>
<b>bostr</b>	10,0 kW	Blackstar v10.032	180 m <sup>2</sup>
<b>kongsgaden</b>	10,0 kW	Woody Blackstar 1016 v10.032	-
<b>mike</b>	10,0 kW	v10.0468	-
<b>M</b>	10,0 kW	BS20 v10.0463	136 m <sup>2</sup>
<b>kenneth_85</b>	10,0 kW	BS1016 mini v10.0468	164 m <sup>2</sup>
<b>ausumhus</b>	10,0 kW	Scotte Mini BS Semi-rens v10.0468	165 m <sup>2</sup>
<b>togmand</b>	10,0 kW	BS1016 v10.032	128 m <sup>2</sup>

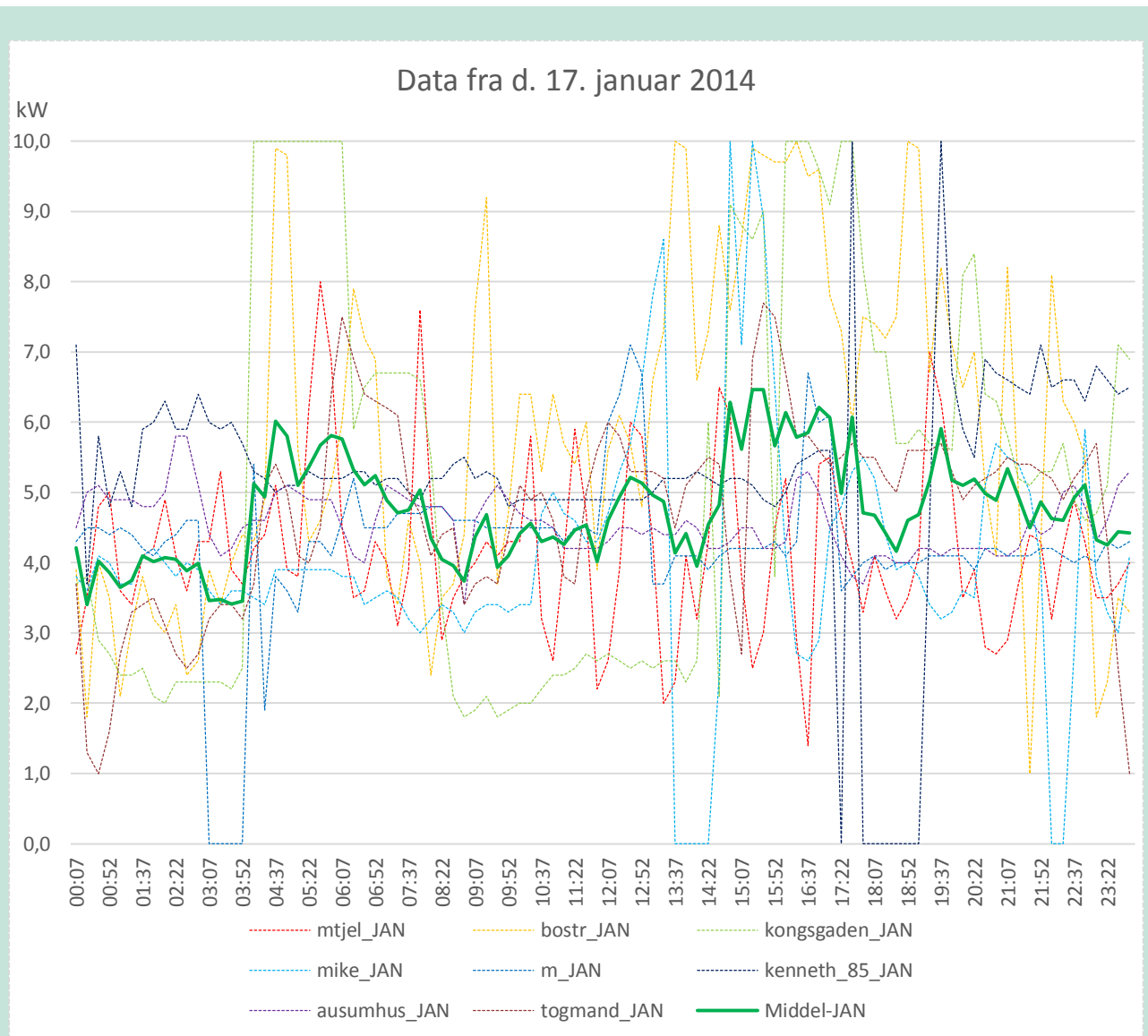
**TABEL 3**  
OPLYSNINGER OM TRÆPILLEFYREDE KEDELANLÆG





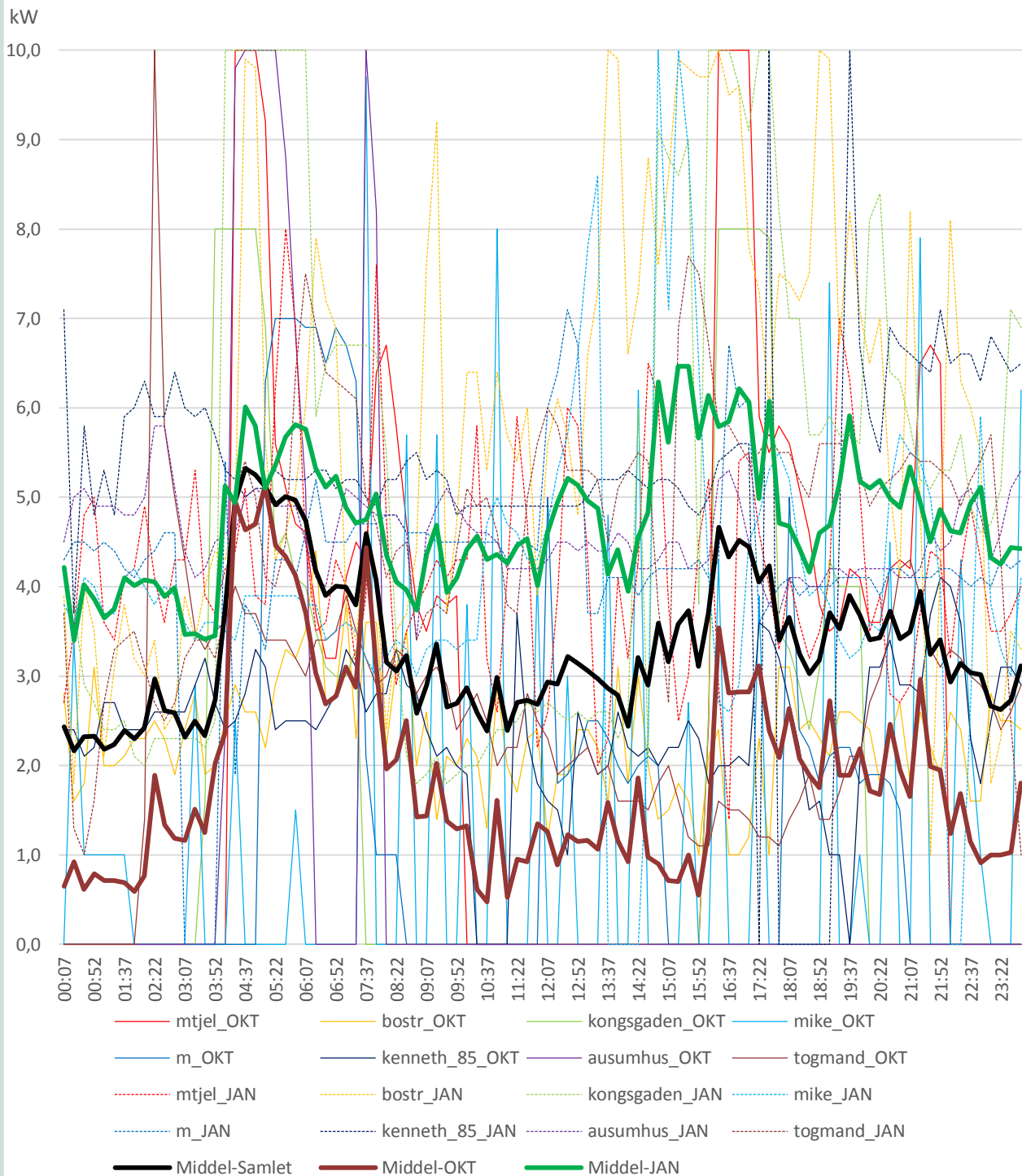
**FIGUR 63**

DRIFTSMØNSTER FOR DE OTTE KEDELANLÆG D. 1. OKTOBER 2013. GRAFEN VISER DEN AKTUELLE KEDELYDELSE I KW SOM FUNKTION AF TIDSPUNKT PÅ DØGNET SAMT MIDDELVÆRDI.



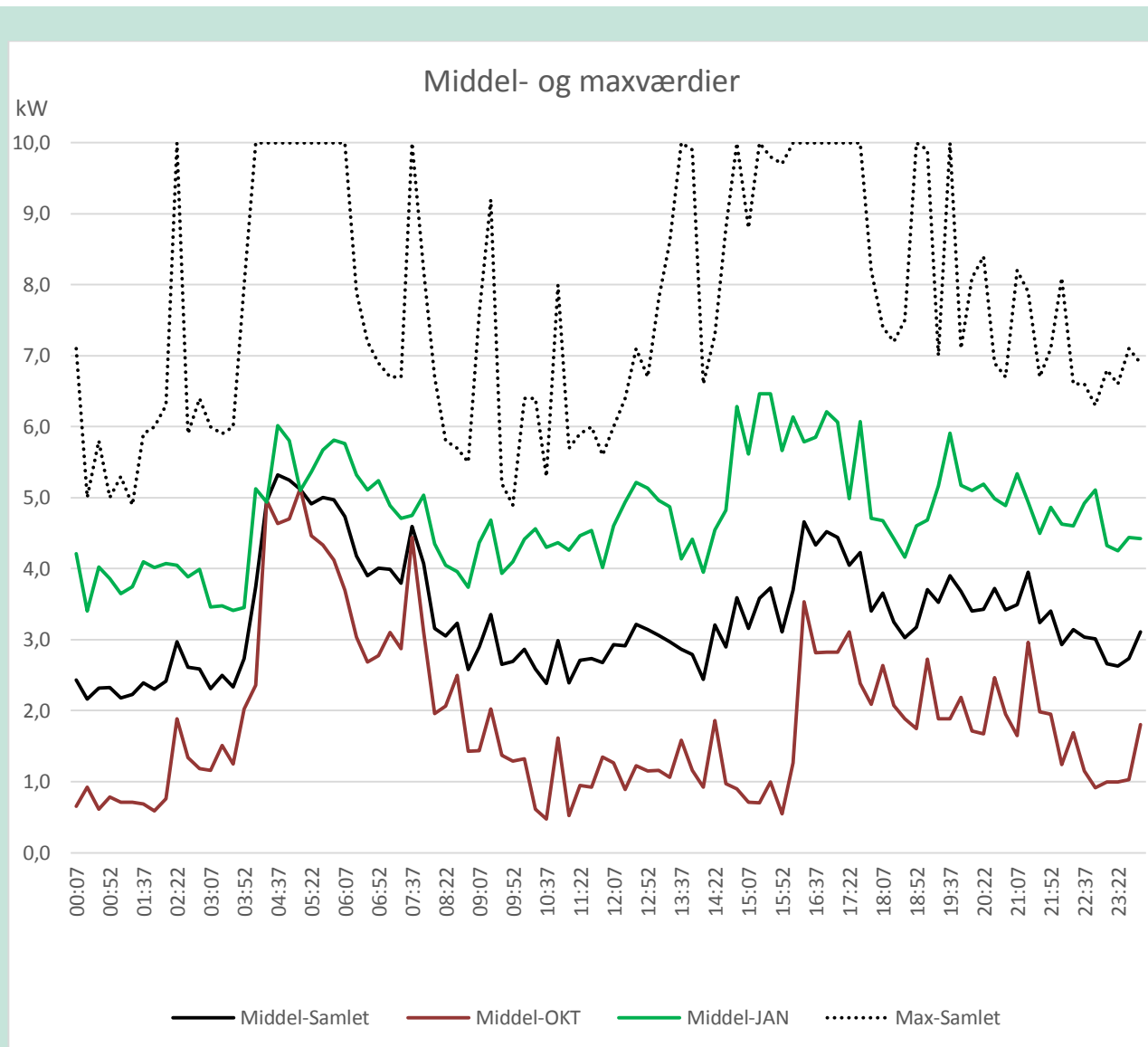
**FIGUR 64**  
 DRIFTSMØNSTER FOR DE OTTE KEDELANLÆG D. 17. JANUAR 2014. GRAFEN VISER DEN AKTUELLE KEDELYDELSE I KW SOM FUNKTION AF TIDSPUNKT PÅ DØGNET SAMT MIDDELVÆRDI.

## Data fra d. 1. oktober 2013 samt d. 17. januar 2014



**FIGUR 65**

DRIFTSMØNSTER FOR DE OTTE KEDELANLÆG FOR HHV. D. 1. OKTOBER 2013 SAMT D. 17. JANUAR 2014. GRAFEN VISER DEN AKTUELLE KEDELYDELSE I KW SOM FUNKTION AF TIDSPUNKT PÅ DØGNET SAMT TILHØRENDE MIDDELVÆRDIER.

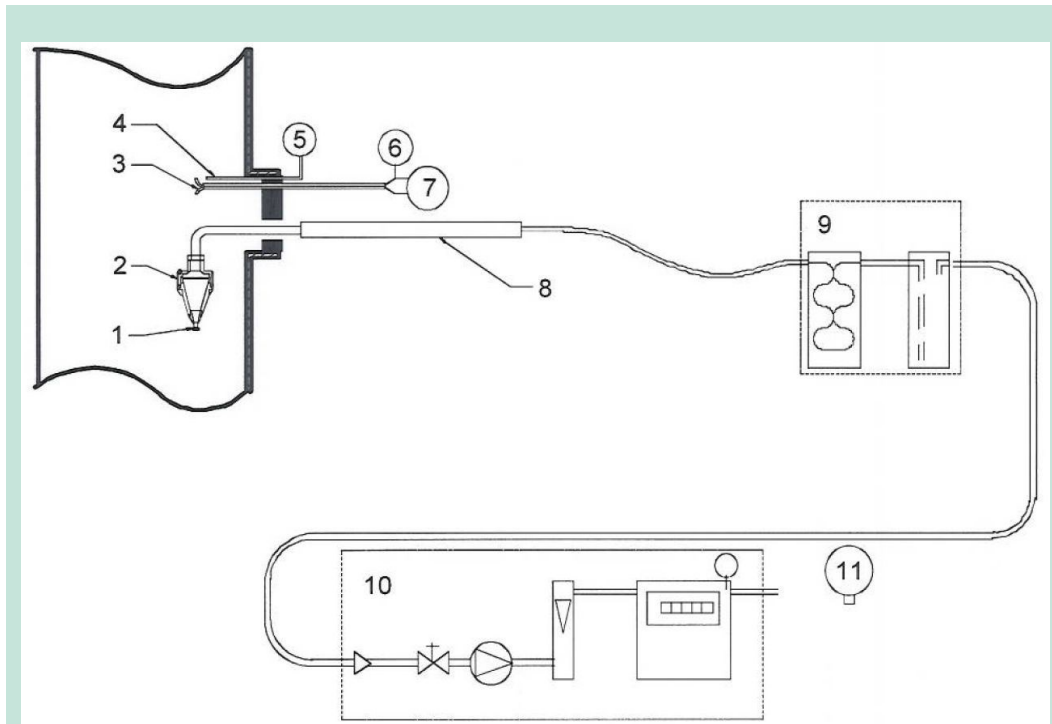


**FIGUR 66**

MIDDEL-DRIFTSMØNSTER FOR DE OTTE KEDELANLÆG D. 1. OKTOBER 2013 SAMT D. 17. JANUAR 2014. GRAFEN VISER MIDDEL-KEDELYDELSE I KW SOM FUNKTION AF TIDSPUNKT PÅ DØGNET. MAX-SAMLET KURVEN VISER "WORST CASE SCENARIO" MED DEN TIL ETHVERT GIVET TIDSPUNKT MAKSIMALE YDELSE FRA ALLE DE 8 KEDELANLÆG.

## Bilag 11: Støvmåling i hht. EN 13284-1:2001

Støv partikelemissionerne måles i hht. EN 13284-1:2001, hvor filterenheden er placeret i røgkanalen, altså "in-stack" metoden som vist på figuren herunder. Målingen foretages isokinetisk med planfilter og patronfilter.



**FIGUR 67**  
EKSEMPEL PÅ "IN-STACK" MÅLEMETODE (FIGUREN ER FRA EN 13284-1:2001)

**BILLEDFORKLARING:**

- (1): INDLØBS DYSE
- (2): FILTER HOLDER
- (3): PILOT RØR
- (4): TEMPERATUR SENSOR
- (5): TEMPERATUR INDIKATOR
- (6): STATISK TRYK MÅLING
- (7): DYNAMISK TRYK MÅLING
- (8): HOLDER TIL "IN-STACK" ENHEDEN
- (9): KØLE OG TØRRER SYSTEM
- (10): SUGE ENHED OG GAS MÅLER
- (11): MANOMETER

### **Biobrændselskedel med ydelsestilpassende brænder**

Formålet med projektet er at udvikle en brænder der tilpasser sig det ønskede varmebehov for at reducere emissionerne i alle belastningssituationer. Hvorved brænderen lever op til de skrappeste emissionsklasser i den gældende europæiske standard for typeprøvning af kedler EN303-5:2012.

Projektet omhandler optimering af forbrændingsbetingelser i en mindre biobrændselskedel. Det er i projektet vist, at en styret brændseltilførsel og en optimeret opdeling af lufttilførsel til forbrændingsristen, resulterer i lavere emissioner af både støv, CO og OGC. Optimering af forbrændingsbetingelserne er sket ved forskellige lasttrin under stationære forhold.



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

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

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)