



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

LOLE

Low Output Low Emission

Rentbrændende ovn med lav ydelse

Miljøteknologisk udviklings- og
demonstrationsprogram 2011

Miljøprojekt nr. 1669, 2015

Titel:

LOLE – Low Output Low Emission

Redaktion:

Anette S. Brønnum (Projektleder), Teknologisk Institut
Max Bjerrum, Teknologisk Institut
Marcin Blazniak Andreasen, Teknologisk Institut
Ole Hansen, Scan A/S
Morten Bach Pedersen, Scan A/S
Thomas Kristensen, Skamol A/S
Søren Nørgaard Bertel, Skamol A/S
Peter Bøgh Pedersen, Teknologisk Institut
Morten Køcks, Teknologisk Institut

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

Foto:

Redaktionen

Illustration:

Redaktionen

År:

2015

ISBN nr.

978-87-93352-05-6

Ansvarsfraskrivelse:

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

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
Konklusion og sammenfatning	6
Konklusion	7
Sammenfatning	8
Summary and Conclusion	9
1. Formål og succeskriterier	10
1.1 Formål	10
1.2 Succeskriterier	10
2. Markedsundersøgelse	11
2.1 Danske brændeovne med lav ydelse	11
2.2 Udenlandske brændeovne med lav ydelse	12
2.3 Andre typer ovne med lav ydelse	12
2.3.1 Træpilleovne.....	12
2.3.2 Masseovne	12
2.4 Sammenfatning.....	12
3. Udviklingsforløb	13
3.1 Forundersøgelser	14
3.2 Principiel opbygning af LOLE ovn	15
4. CFD simulering	17
4.1 Modelopsætning	17
4.2 Resultater	17
4.2.1 Flowfordeling i indløbskanalerne.....	17
4.2.2 Flowfordeling omkring træstykkerne.....	19
4.2.3 Designforslag.....	21
5. Indledende tests på LOLE ovn	26
5.1 LOLE-1	26
5.1.1 Test på LOLE-1.....	26
5.2 LOLE-2.....	29
5.2.1 Test på LOLE-2	29
5.3 LOLE-3.....	30
5.3.1 Test på LOLE-3	30
5.3.2 DIN plus test på LOLE-3	32
5.4 LOLE-4.....	34
5.4.1 Test på LOLE-4a	35
5.4.2 Test på LOLE-4b	36
5.4.3 Test på LOLE-3-igen.....	36
5.4.4 Opsummering af målinger på forskellige versioner af LOLE-3 og LOLE-4	37
5.5 Forsøg på forøgelse af CO ₂	38
5.5.1 Test på LOLE-3 med henblik på øget CO ₂ %.....	39
5.6 NS test	40

6.	Den endelige LOLE ovn og slutttests	41
6.1	Den endelige LOLE ovn	41
6.2	Slutttests	42
6.2.1	Brændsler	42
6.2.2	Prøvningsomfang	43
6.2.3	Spjældindstillinger	44
6.2.4	Krav m.m.	44
6.3	Sammenligning af resultater fra standardmålinger	45
6.3.1	Effekt	45
6.3.2	CO ₂	46
6.3.3	Virkningsgrad	46
6.3.4	CO	47
6.3.5	OGC	48
6.3.6	Støv målt efter DIN plus med fyring som anført i DS/EN13240	49
6.3.7	NO _x	50
6.3.8	Partikler efter NS3058	51
6.4	Sammenligning af resultater fra PAH målinger	52
6.5	Sammenligning af resultater fra DustTrak og SMPS	55
6.6	Sammenfatning	57
	Referencer	59
Bilag 1:	Baggrund for CFD	60
Bilag 2:	Effekt - resultater fra sluttests	64
Bilag 3:	CO₂ - resultater fra sluttests	65
Bilag 4:	Virkningsgrad - resultater fra sluttests	66
Bilag 5:	CO - resultater fra sluttests	67
Bilag 6:	OGC - resultater fra sluttests	68
Bilag 7:	Støv - resultater fra sluttests	69
Bilag 8:	NO_x - resultater fra sluttests	70
Bilag 9:	Partikler - resultater fra sluttests	71
Bilag 10:	DustTrak og SMSP - resultater fra sluttests	72

Forord

Projektet, Rentbrændende ovn med lav ydelse – LOLE, udføres af en projektgruppe sammensat på tværs af industri og vidensinstitution. Medlemmer af projektgruppen er Teknologisk Institut, Division for Energi og Klima (projektkoordinator), SCAN A/S (udvikler og producerer brændeovne) samt Skamol A/S (udvikler og producerer termiske isoleringsmaterialer til bl.a. varmeintensive industrier). Projektet er medfinansieret af Miljøstyrelsens ”Tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi” og er udført i perioden 2010 til 2014.

Projektets formål er at udvikle en ”Almindelig brændeovn”, som kan brænde rent ved en lav ydelse. Med en ”Almindelig brændeovn” menes en ovn, der brænder brænde af almindelig handelskvalitet, samt at afbrændingen foregår med et fint flammebillede i ovnen.

Rapporten indeholder en beskrivelse af udviklingen af en rentbrændende ovn med lav ydelse i forhold til følgende projektfaser: 1) Undersøgelse af markedet og litteraturstudier for eksisterende ovne med lav ydelse, 2) Udvikling og design af ovn med lav ydelse. Udviklingsforløbet indeholder CFD analyser, forsøgsudførelse og re-design, 3) Afsluttende tests med emissionsmålinger inklusiv partikelstørrelses- og massefordeling samt PAH målinger.

Rapportens indhold er nødvendigvis ikke et udtryk for Miljøstyrelsens holdninger, men styrelsen har støttet projektet, fordi man finder dets målsætning væsentlig og interessant.

Konklusion og sammenfatning

Der stilles stadig større krav til reduktion af varmetab fra boliger. Det bevirker, at boligernes varmebehov reduceres. I Danmark er der installeret ca. 770.000 brændeovne. Med de fremtidige krav til boligernes varmeisolering bliver der behov for brændeovne med lav ydelse. Den gennemsnitlige nominelle ydelse for eksisterende brændeovne er større end 5 kW. Når brændeovnens effekt er for høj til boligens behov, resulterer det i uforholdsmæssig høje indendørstemperaturer, som tilskynder brugeren til at skrue ned for brændeovnens lufttilførsel. Brændeovne vil oftest kvittere med øget emission. Der er således behov for brændeovne med lav ydelse, samtidig med, at emissionen af miljø- og sundhedsskadelige stoffer er minimale.

Formålet med nærværende projekt er at udvikle en "almindelig brændeovn", som kan brænde rent ved en lav ydelse. Med en "almindelig brændeovn" menes en ovn, der brænder brænde af almindelig handelskvalitet, samt at afbrændingen foregår med et fint flammebillede i ovnen.

Som hjælp til udviklingsprocessen er der sammen med partnernes erfaringer og konkrete målinger, også anvendt CFD simulering (Computational Fluid Dynamics). Anvendelse af CFD er koncentreret mod luftføringen i ovnen og den effektive opblanding af røggas med forbrændingsluft.

Efter designudkast, CFD analyser og tilretninger er der konstrueret en brændeovn med tilhørende isolering i værkstederne hos Scan A/S og Skamol A/S. Ovnens er herefter underkastet en række fyringsforsøg og tilretninger. Da et tilfredsstillende resultat inden for projektets rammer er opnået, gennemføres sluttets.

Ovnens emissioner har i de gennemførte sluttets levet op til målet om at overholde gældende DINplus krav og Svane krav, og er meget tæt på at opfylde de kommende DINplus krav pr. 1/1-2015.

Den udviklede ovn er lavet i et neutralt design, der kan danne grundlag for udvikling til en produktionsklar ovn, hvor der eksempelvis er taget hensyn til produktionsoptimering og -variationer, holdbarhed hos forbrugeren, mulighed for rengøring m.m.

Konklusion

Det er lykkedes at udvikle en "almindelig brændeovn" med et "almindeligt flammebillede" og en meget lav ydelse. Ovnens nominelle effekt ved tests ligger på 2,9 kW. I henhold til standarden er det tilladt at nedskrive den nominelle ydelse med 15%, hvilket betyder, at ovnen vil kunne mærkes med 2,5 kW.

Ovnen er udviklet til fyring med kun ét stykke træ pr. indfyring. Træets vægt er på ca. 750 gram og en standardlængde på 25 cm.

Ovnens emissioner har i de gennemførte slutttests levet op til målet om at overholde gældende DIN plus krav og Svane krav, og er meget tæt på at opfylde de kommende DIN plus krav pr. 1/1-2015.

Den udviklede ovn er lavet i et neutralt design, der kan danne grundlag for udvikling til en produktionsklar ovn, hvor der eksempelvis er taget hensyn til produktionsoptimering og -variationer, holdbarhed hos forbrugeren, mulighed for rengøring m.m.

Der er lavet tests med forskellige træsorter, som viser, at birk og ask opfører sig meget ens, hvorimod gran ikke brænder helt tilfredsstillende med de forudbestemte spjældindstillinger.

Sammenfatning

Formålet med nærværende projekt er at udvikle en brændeovn med en lav ydelse på nominel 3-4 kW, der brænder brænde af almindelig handelskvalitet, samt at afbrændingen foregår med et fint flammebillede i ovnen.

Som hjælp til udviklingsprocessen er der sammen med partnernes erfaringer og konkrete målinger, også anvendt CFD simulering (Computational Fluid Dynamics). Anvendelse af CFD er koncentreret mod luftføringen i ovnen og den effektive opblanding af røggas med forbrændingsluft.

Efter designudkast, CFD analyser og tilretninger er der konstrueret en brændeovn med tilhørende isolering i værkstederne hos Scan A/S og Skamol A/S. Ovnens er herefter underkastet en række fyringsforsøg og tilretninger. Da et tilfredsstillende resultat inden for projektets rammer er opnået, gennemføres sluttets.

Sluttets viser, at det er lykkedes at udvikle en brændeovn med en nominel effekt på 2,9 kW, og hvor ovnen opfylder kravene efter de gældende DIN plus krav. Ovnens emissioner ligger i flere enkelt indfyringer under kommende DIN plus krav.

Summary and Conclusion

Increasingly greater demands are placed upon reduction of heat loss from residences with the effect that heating requirement of residences is reduced. In Denmark about 770.000 burning stoves are installed. With the future demands upon heat insulation a need for burning stoves with low output will occur. The average nominal output for existing burning stoves is larger than 5 kW. When the output of the burning stove becomes too high in relation to the need of the residence the result is disproportionately high indoor temperatures urging the user to turn down the air supply of the burning stove. Burning stoves will usually repay with increased emissions. Consequently, burning stoves with low output are needed – stoves which at the same time emit a minimum of environmental- and health damaging matters.

The purpose of the present project is to develop an "ordinary burning stove" which is burning clean at a low output. With "ordinary burning stove" means a stove that burns firewood of ordinary commercial quality and that combustion takes place with nice flames in the stove.

Together with the partners' experience and actual measurements, CFD simulation (Computational Fluid Dynamics) is used assisting in the development process. The use of CFD is concentrated towards the air streams in the stove and the effective mixing of the flue gas with combustion air.

After the design draft, CFD analysis and adjustments, a stove with insulation is constructed in the workshops at Scan A / S and Skamol A / S. The stove has then been subject to a series of firing tests and adjustments. When a satisfactory result in the framework of the project is achieved, final tests are carried out.

The emissions of the stove have in the completed final tests met the goal of complying with applicable DINplus requirements and Swan requirements, and is very close to meeting the future requirements DINplus per. 1/1-2015.

The developed stove is constructed in a neutral design that can provide the basis for development of a production ready stove, which for example takes production optimization and variations, durability with consumers, possibility of cleaning, etc. into consideration.

1. Formål og succeskriterier

I Bygningsreglement 2010 stilles der større krav til reduktion af varmetab fra boliger end hidtil. Kravene går på, at øge klimaskærmens isoleringsevne og gøre boligerne mere tætte. Det bevirker, at boligens varmebehov reduceres. I Danmark er der installeret ca. 770.000 brændeovne (Brændeforbrug i Danmark 2011; Tasknummer 112-21633), hvoraf mange i forvejen har en for stor ydelse i forhold til boligens varmebehov. Med de fremtidige krav til boligens varmeisolering bliver dette forhold yderligere forværret. Den gennemsnitlige nominelle ydelse for eksisterende brændeovne er større end 5 kW. Dette resulterer i uforholdsmæssig høje temperaturer i boligen, som tilskynder brugeren til at skrue ned for luften. Brændeovne vil oftest kvittere med øget emission. Der er således behov for brændeovne med lav ydelse, samtidig med, at emissionen af miljø- og sundhedsskadelige stoffer er minimale.

1.1 Formål

Det er projektets formål, at udvikle en brændeovn, som lever op til fremtidens krav om lav ydelse og ren forbrænding. Den ideelle ovn har en nominel effekt på ca. 3 kW og en maksimal effekt på 5 kW, og den skal kunne modulere ned til 1,5 – 2 kW, samtidig med at ovnens emissioner holdes på et konstant lavt niveau. Ovnens skal være rentbrændende i hele moduleringsområdet

1.2 Succeskriterier

Der konstrueres og fremstilles en ”Low Output Low Emission” brændeovn, herefter benævnt LOLE. LOLE ovnens udseende skal være harmonisk samtidig med, at glasruden skal holdes fri af sod- og tjærebelægninger. Udviklingsarbejdets succeskriterier udgøres af følgende forud fastlagte krav:

- Den nominelle ydelse skal være 3,0 – 4 kW
- Ydelsen skal kunne moduleres ned til 1,5 – 2 kW
- Ovnens emission skal leve op til DIN+ eller Svanemærket
- Brændkammeret skal fremstå med et normalt og klart flammebillede
- Der skal være tilstrækkelig temperatur, opholdstid, turbulens og ilt-koncentration i forbrændingskammeret til at sikre en effektiv udbrænding
- Tryktabet i ovnen må ikke øges væsentligt
- Nedkølingen af røggasserne, som forlader ovnen, skal sikre en tilfredsstillende virkningsgrad (skorstenstemperatur <350°C). Det vil sige at man ikke ukritisk skal lede varmen ud gennem skorstenen for derved at opnå en lav ydelse på ovnen.

I samarbejde mellem projektpartnerne udvikles en konstruktion, som lever op til kravene. Der fremstilles en eller to prototyper til prøvning på laboratoriet.

2. Markedsundersøgelse

Nærværende projekt er i 2011 indledt med en forundersøgelse, der omfatter litteraturstudier over udbredelsen af brændeovne med lille ydelse i udlandet og i Danmark. Undersøgelsen omfatter bl.a. patentsøgninger, danske tiltag som ikke har ført til kommercielle produkter, internationale tiltag samt tilgængeligheden af eventuelle kommercielle produkter.

2.1 Danske brændeovne med lav ydelse

I 2000 blev der udført et projekt under Miljøstyrelsen (Miljøprojekt nr. 535, 2000) med titlen: *Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler*. Projektet blev udarbejdet for Energistyrelsen og Miljøstyrelsen af Teknologisk Institut i samarbejde mellem en række danske brændeovnsproducenter: Heta A/S, Jydepejsen A/S, Krog Iversen & CO A/S (nu Scan A/S), Lotus Production ApS, Morsø Jernstøberi A/S, Scanwood og Rais A/S. Projektet var dels en fortsættelse og dels en afslutning af en projektrække, der forløb i perioden fra 1995 til 2000. Projektet omhandlede, som navnet antyder, udvikling af en ovn med lav ydelse. Desuden ønskede man, at den udviklede ovn ved fyring med almindeligt skovtræ, skulle kunne brænde 8 timer pr. påfyring med en afgivet effekt på 3 kW.

Projektrækken resulterede i en ovn der kunne brænde 20 timer på én indfyring med en CO ved 13% ilt på 2840 ppm og en afgivet effekt på 2,9 kW. Konklusionen blev, at det var muligt at fremstille en brændeovn, der med almindeligt skovbrænde ved en afgivet effekt på ca. 3 kW kunne brænde i 8 timer pr. påfyring med en forbrændingskvalitet, der opfyldte de daværende krav i DS 887: Trøg <350°C; 0,3 % CO v. 7,5 CO₂; η >70 %. Der blev som afslutning på projektet også opstillet en række konstruktionskrav til en brændeovn, der skal kunne brænde 8 timer på én indfyring. Der er ikke kendskab til, at der efterfølgende er konstrueret ovne på baggrund af projektet. I det nuværende projekt har Scan lavet enkelte forbrændingsforsøg i forsøgsovnen. Ovnens brænder fornuftigt, men konstruktionen, som er uden stor glasrude og "almindeligt" flammebillede, vil ikke kunne indarbejdes i en nutidig brændeovn, der skal have en kommerciel mulighed på et europæisk marked. Desuden er målet med en lang brændetid pr. indfyring heller ikke en del af formålet i nærværende projekt.

Ud over det nævnte projekt, er der ikke fundet commercialiserede tiltag for udvikling af en brændeovn med lav ydelse. Ved søgning på internettet efter ovne med de laveste ydelse er der fundet flere kommercielle produkter med en oplyst nominel ydelse på nominel 4 kW (Tabel 1).

Producent	Type	Nominel [kW]	Virkningsgrad [%]	Støv/EN13240 [mg/m ³]	Støv/NS3058 [g/kg]
Heta	Scan-line 7	4 (2-6)	83,7	20	4,7
Morsø	Morsø S11-90	4 (2-5)	Svanemærket	-	Svanemærket
Hwam	3420/3430s	4,5 (2-7)	78,1	-	Svanemærket

TABEL 1 KOMMERCIELLE DANSKE PRODUKTER MED LAV YDELSE FUNDET VED SØGNING PÅ INTERNETTET.

I henhold til EN13240 er det tilladt at oplyse en ydelse, der er 15% mindre end den ydelse der er fundet ved prøven. En 4,8 kW ovn vil således kunne mærkes med en nominel ydelse på 4 kW. Det vides ikke, om det er tilfældet på nogen af ovnene vist i tabellen. Det oplyste ydelsesinterval er baseret på producentens egne oplysninger. De oplyste emissionsværdier/mærkninger gælder for den nominelle ydelse. Der blev ikke fundet produkter med en oplyst nominel ydelse på mindre end 4 kW.

2.2 Udenlandske brændeovne med lav ydelse

På den 20. og 21. European Biomass Conference and Exhibition i henholdsvis 2012 og 2013 var der ingen præsentation af projekter omhandlende brændeovne med meget lav ydelse. Dette indtryk blev bekræftet af forespørgsler i netværk, hvor nogen af de førende europæiske forskningsinstitutioner dels afviste at have lignende aktiviteter, og dels gav udtryk for, at opgaven syntes at kræve særlige forhold som eksempelvis:

- Smaller than usual fuel size (e.g. 4 mm pellets, wood sticks)
- Frequent recharging or automatic charging
- No window in the door (heat losses would be too high)
- Insulation and air control, plus flue gas fan, maybe a construction without any grate to prevent further heat losses

Søgning på internettet og indtryk fra messer, bl.a. den årlige engelske udstilling i Harrogate i juni 2012 bekræftede, at der for nuværende ikke var brændeovnsprodukter på det udenlandske marked, der allerede opfyldte kravet om meget lav last. På Harrogatemessen var de mindste ovne på 4 kW uden tilgængelige oplysninger om emissioner.

2.3 Andre typer ovne med lav ydelse

Træpilleovne og masseovne er helt andre ovntyper end en klassiske brændeovne, som udvikles i dette projekt. Imidlertid er en lav ydelse mulig i flere af disse produkter og dermed muligvis potentielle konkurrenter.

2.3.1 Træpilleovne

Træpilleovne har typisk 4-5 fastsatte ydelsestrin, hvor det laveste ydelsestrin er meget lav i effekt. Effekten ligger typisk på ca. 3 kW på laveste trin, og CO emissionen er her mindre end 600ppm ved 13 %O₂, som er kravet i træpilleovnsstandarden EN 14785.

2.3.2 Masseovne

Masseovne afbrænder typisk meget store mængder brænde på kort tid (ca. 2-3 timer), og står herefter i lang tid (1 døgn eller mere) og afgiver varme til rummet. En typisk masseovn kan godt have en middelværdi på den afgivne effekt på ca. 2 kW. Perioden for at afgive effekt er iht. til standarden for masseovne EN 15250 fra optændingstidspunktet og frem til en gennemsnitlig overfladetemperatur på ovnen er 25% af maksimalværdierne. Emissionerne i afbrændingsperioden er dog noget høje sammenlignet med almindelige brændeovne, men hvis den beregnes over hele varmeafgivelsestiden bliver værdierne meget mindre.

2.4 Sammenfatning

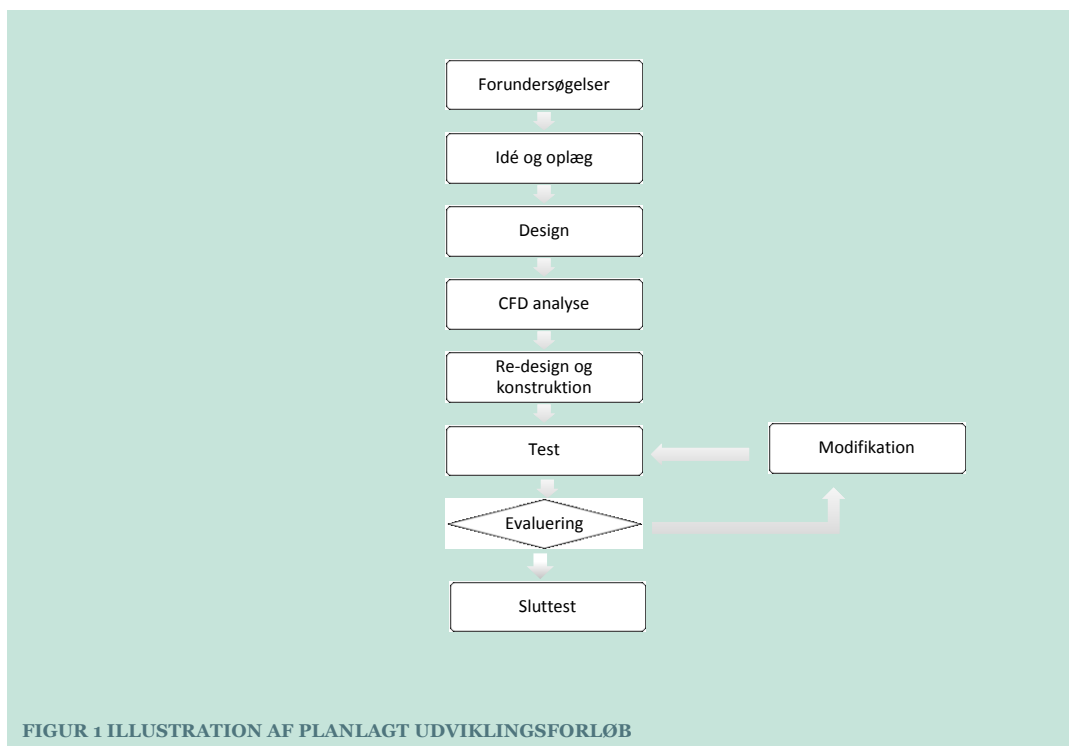
En markedsundersøgelse har vist, at der ikke findes produkter, der svarer til de forudsætninger, der er opstillet i forbindelse med dette projekt. Det har således ikke været muligt at finde kommercielle brændeovne med en nominel ydelse på ca. 3 kW. Undersøgelser omkring udviklingsprojekter har heller ikke givet andre indikationer. De produkter, der synes at komme nærmest de ydelsesmæssige krav, er træpilleovne eller masseovne.

3. Udviklingsforløb

Gennem integration af Teknologisk Instituts viden om forbrændingsprocesser, måling og dokumentation, Skamol's viden om isoleringsmaterialer, og SCAN A/S's mangeårige erfaring som konstruktør og producent af brændeovne, udvikles en LOLE ovn med henblik på at opfylde kravene opstillet i afsnit 1.2.

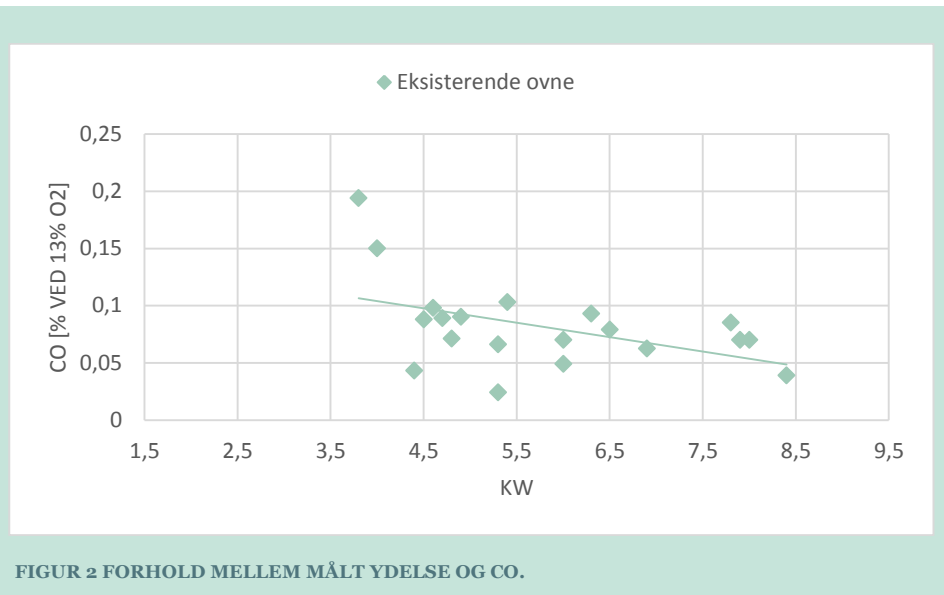
Som redskaber til hjælp i processen inddrages sammen med partnernes erfaringer også samspillet mellem konkret måling og CFD simulering (Computational Fluid Dynamics). Anvendelse af CFD til simulering af en ovens forbrændingsproces er stadig på forskningsstadiet og har endnu ikke ført til håndgribelige resultater i form af generelt brugbare matematiske modeller til implementering i CFD værktøjer. De foreløbige modeller er stadig tilpasset den enkelte case og ikke til generel anvendelse i konstruktionsudvikling. Derfor koncentrerer brugen af CFD simulering i dette projektet mod luftføringen i ovnen og den effektive opblending af røggas med forbrændingsluft.

Når første designudkast er tegnet underkastes modellen (der fortsat kun er på tegningsniveau) CFD simulering. Simuleringen vil kunne synliggøre, hvor i konstruktionen der opstår uhensigtsmæssigheder i relation til temperatur, turbulens og opholdstid. Simuleringsresultaterne vurderes og designudkastet tilrettes og underkastets CFD endnu engang. Først derefter konstrueres ovnen med tilhørende isolering i værkstederne hos Scan A/S og Skamol A/S. Den konstruerede ovn vil herefter blive underlagt en række fyringsforsøg, hvor der vil ske tilretning og modifikationer efterfulgt af flere forsøg. Processen vil blive gentaget indtil et tilfredsstillende resultat inden for projektets rammer er opnået og slutmålinger vil blive gennemført.

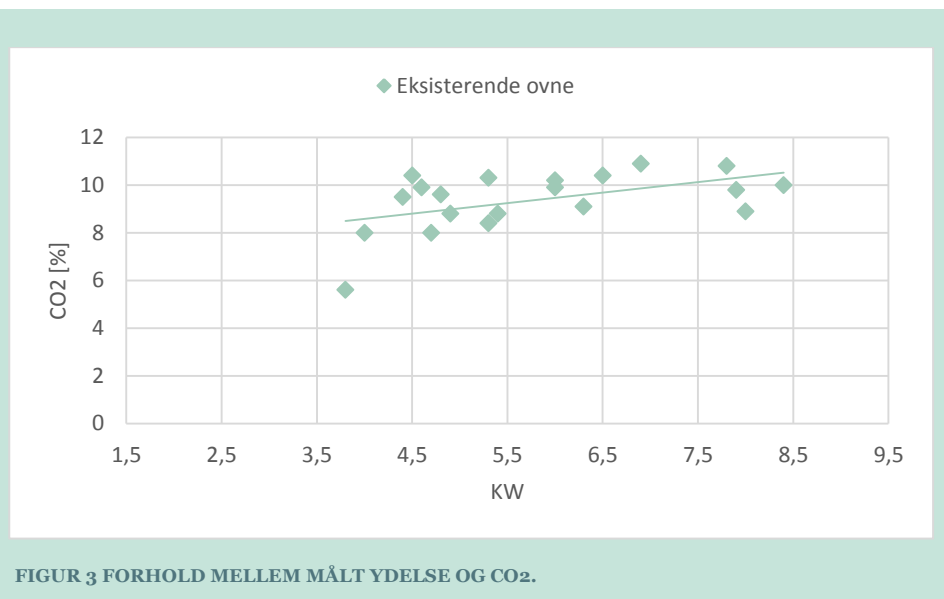


3.1 Forundersøgelser

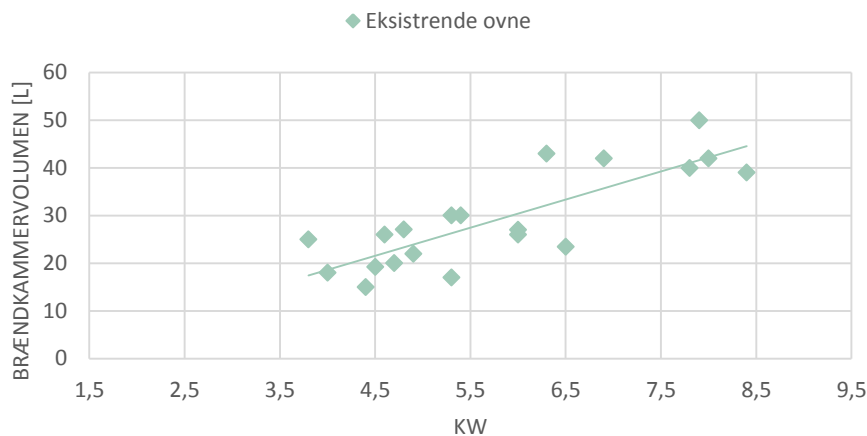
Gennem indhentning af data for unavngivne vilkårlige ovne med godkendelser, blev tendenser mellem ovnydelser sammenholdt med CO og CO₂ indhold i røggassen samt brændkammervolumen og røggassens opholdstid i brændkammeret undersøgt (Figur 2 til Figur 5). Undersøgelsen gav indikation om brændkammerstørrelse for en ovn på 3 kW samt forskellige forhold omkring forventelige forbrændingstekniske egenskaber.



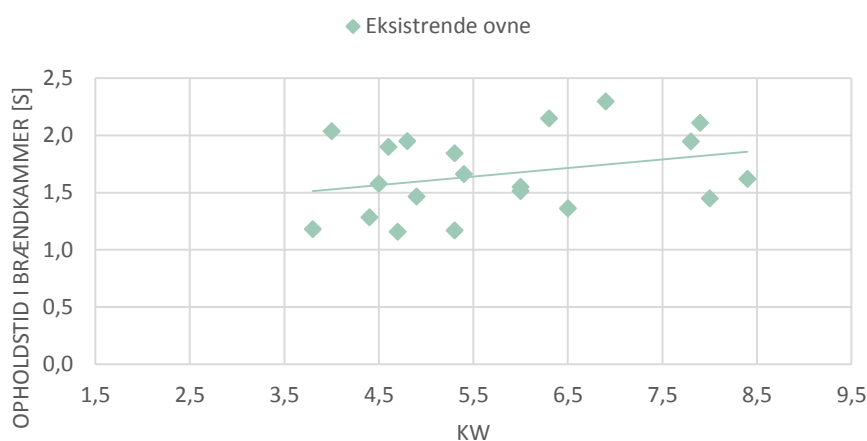
FIGUR 2 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG CO.



FIGUR 3 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG CO₂.



FIGUR 4 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG BRÆNDKAMMERVOLUMEN.



FIGUR 5 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG RØGGASSENS OPHOLDSTID I BRÆNDKAMMERET.

3.2 Principiel opbygning af LOLE ovn

I moderne ovne er luftsystemet indrettet efter at tilgodese to primære behov, nemlig at sikre god afbrænding af partikler samtidig med opnåelse af høj virkningsgrad. Disse to behov er af modstridende natur, idet god partikelafbrænding kræver rigelig lufttilførsel mens høj virkningsgrad bedst sikres gennem moderat lufttilførsel. Moderne ovne repræsenterer et kompromis mellem disse behov.

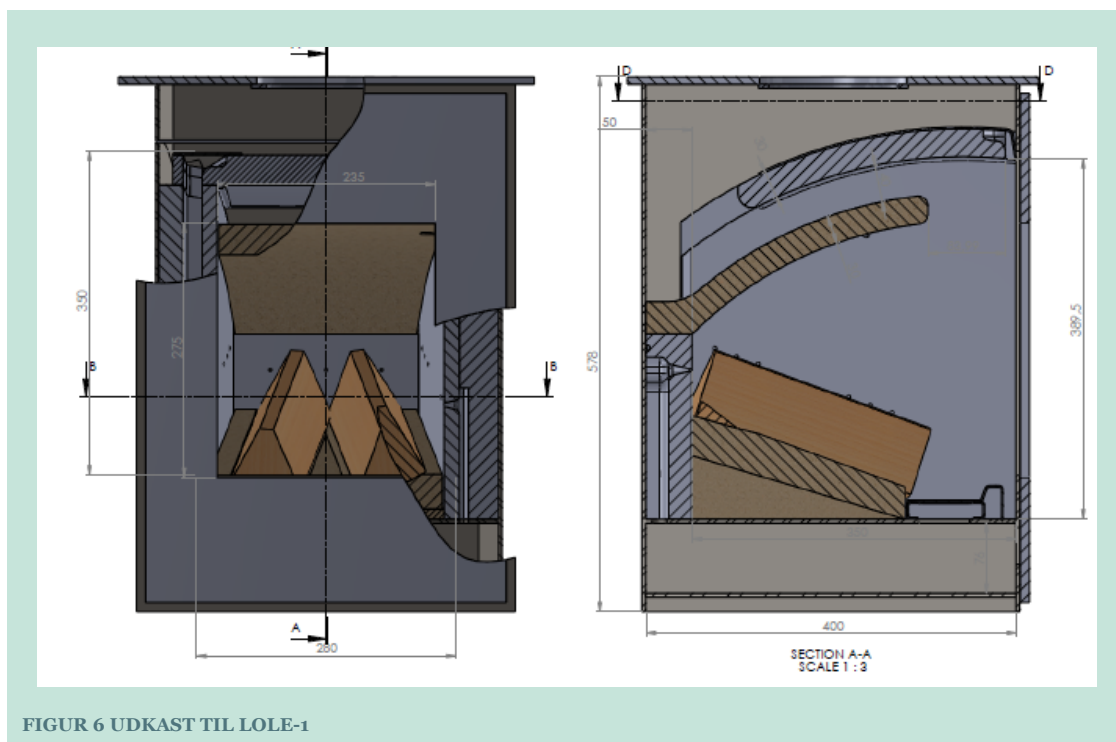
Da fremtidens ovne, ud over at være rentbrændende, også skal have en lavere varmeafgivelse til rummet, ses det umiddelbart, at kravet om opnåelse af høj virkningsgrad er kontraproduktivt. Høj virkningsgrad sigter jo netop på at beholde mest mulig varme i stuen, på bekostning af lav røgstemperatur og lavt skorstenstræk, hvilket sammen med skorstene af utilstrækkelig højde, er den primære årsag til røgnedfald i nærmiljøet. Dette skal forstås således, at hvis man forudsætter samme forbrænding med samme CO₂, vil en højere virkningsgrad kun kunne opnås ved at sænke røggastemperaturen. At sænke røggastemperaturen betyder, at man med en normal skorsten vil opnå et dårligere røgtræk. Når røggassen er koldere vil der også være et mindre termisk løft der hvor røggassen forlader skorstenen, og dermed lidt større risiko for røgnedfald i nærmiljøet.

Det er projektets mål at konstruere et brændkammer og et luftsystem, der sikrer maksimal partikelafbrænding. Der sigtes således mod høj temperatur som en forudsætning for afbrænding af røggassens CH-forbindelser, god turbulens der sikrer effektiv opblanding af røggas og forbrændingsluft og endelig tilstrækkelig opholdstid i brændkammeret, så røggasblandingen kan nå at blive afbrændt. I henhold til succeskriterierne (afsnit 1.2) skal virkningsgraden blot være tilfredsstillende med en acceptabel nedkøling af røggasserne til under 350 °C.

Følgende forhold besluttes for det første design af LOLE ovnen (LOLE-1):

- Ovnens opbygges i en retvinklet yderkappe
- Bunden skræner opad ind mod bagvæggen
- Røghylderne er buede
- Luftkanalerne presses i Skamol
- Der er dobbelte fordybninger i bunden for placering af 2 stykker brænde
- Der er tertiærhuller i bagsiden af brændkammeret
- Der er sidelufthuller i siderne i brændkammeret
- Der er primærluft foran ved bunden under lågen
- Der er rudeskyld fra toppen af ruden og ned

Ovnen skal kunne brænde rent med brænde af almindelig handelskvalitet, det vil sige at brændestykkerne er kløvet til en diameter på ca. 5-8 cm og en længde på 25 cm eller 33 cm (typiske brændelængder er 33cm og 25 cm, idet 1 meter stykker deles i 3 eller 4 stykker).

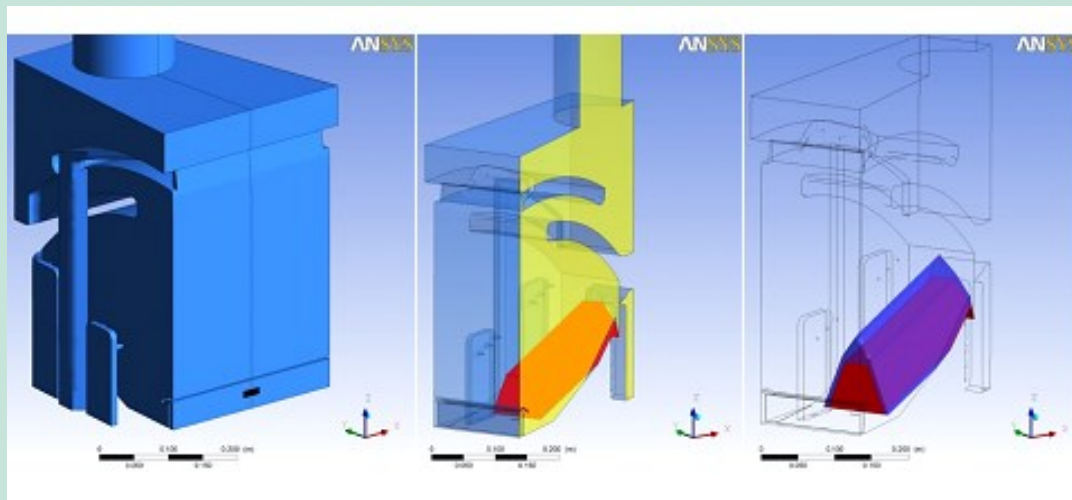


4. CFD simulering

Formålet med CFD beregninger er at få indsigt i strømnings-og trykforhold i brændkammeret samt fordeling af luften i de enkelte lufttilførselskanaler. Simuleringsresultaterne skal dermed synliggøre, hvor i konstruktionen der opstår uhensigtsmæssigheder i relation til opnåelse af optimale forbrændingsforhold. CFD simuleringerne vil danne grundlag for at foretage målrettet tilpasning af brænderens konstruktion undervejs i designfasen.

4.1 Modelopsætning

CFD beregninger tager udgangspunkt i tegninger til LOLE-1 ovnen. Beregningerne fokuserer på strømningsforhold i brændkammeret og omkring træstykkerne. Der kigges ligeledes på luftflowfordeling i de enkelte indløbskanaler. Beregningsdomænet ses i Figur 7. For yderligere informationer om CFD se Bilag 1.



FIGUR 7 FRA VENSTRE: BRÆNDER GEOMETRI, CFD MODELLEN MED ANLAGT SYMMETRIPLAN OG TRÆSTYKKE MED VOLUMENET, HVOR DER BLIVER TILFØRT VARME

4.2 Resultater

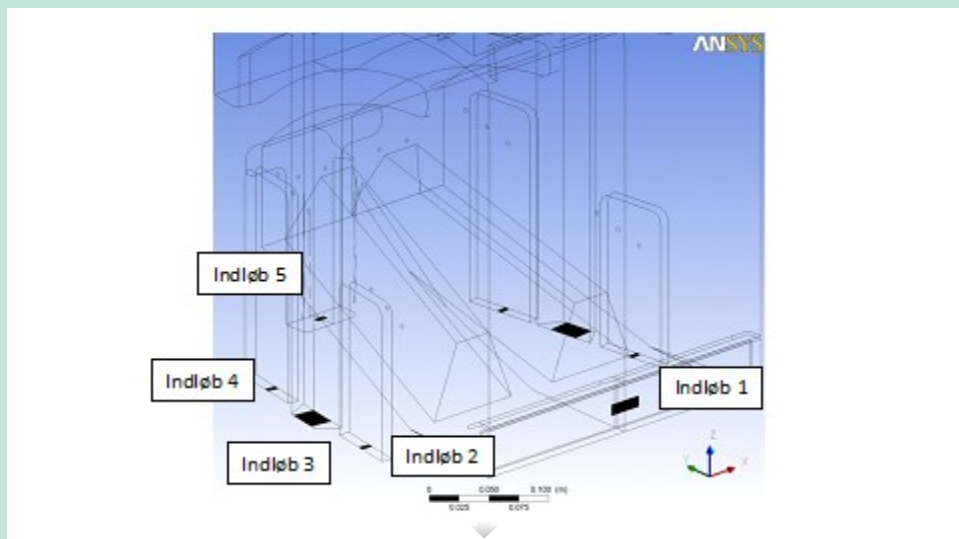
I det følgende præsenteres CFD resultaterne. Der fokuseres på følgende forhold:

- Flowfordeling i indløbskanalerne – bestemmes for at vurdere, om luften tilføres hensigtsmæssigt til brændkammer
- Flowfordeling omkring træstykkerne – bestemmes for at vurdere den interne luftflowfordeling

4.2.1 Flowfordeling i indløbskanalerne

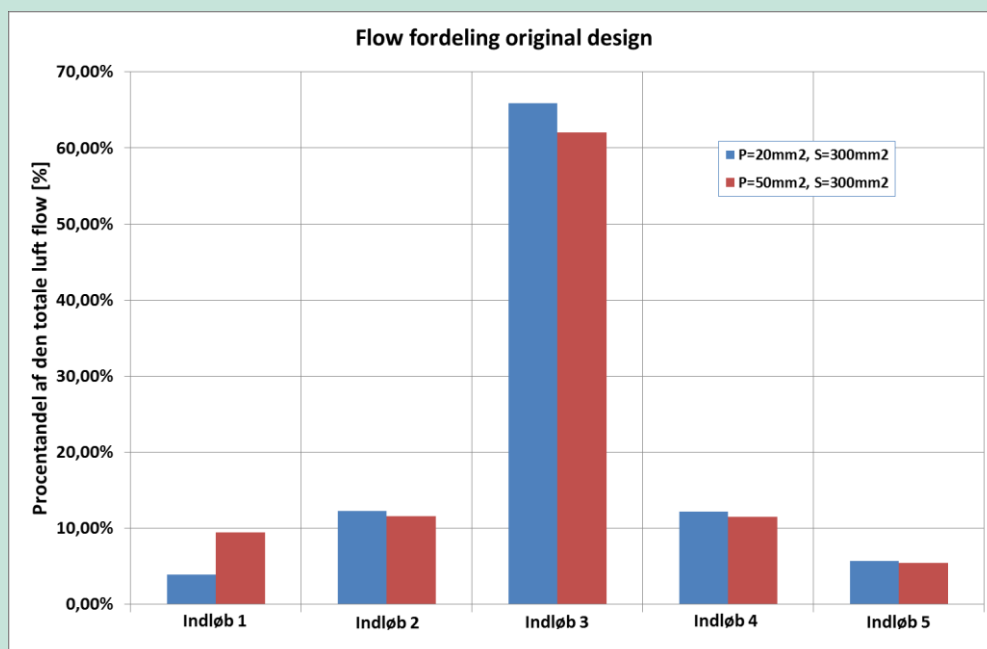
For at vurdere om luften tilføres hensigtsmæssigt til brændkammeret observeres flowfordeling i de enkelte indløbskanaler. Det er muligt at justere på åbningsgraden af de enkelte indløb, og dermed indregulere, hvor meget luft der skal tilføres de forskellige steder. Størstedelen af luften skal tilføres som sekundærluft/rudeskyl, via to kanaler, der har indsugning i hver sin side af bunden af brændkammeret. Det nærmeste indløb er betegnet indløb 3 i Figur 8. Placering og betegnelser af de øvrige indløb ses ligeledes i Figur 8. Beregningerne er kørt med følgende åbningsarealer:

- Indløb 1 (primærluft): 20mm² og 50mm²
- Indløb 2 (sideluft): 50mm² pr kanal
- Indløb 3 (sekundærluft): 150 mm² pr kanal
- Indløb 4 (sideluft): 50 mm² pr kanal
- Indløb 5 /tertiær luft): 50 mm²



FIGUR 8 PLACERING OG BETEGNELSER FOR DE ENKELTE LUFTINDLØB I BRÆNDKAMMERET

Figur 9 viser flowfordeling ud af de navngivne områder. Ud af figuren kan man se, at størstedelen af luften tilføres via Indløb 3. Dvs., at omkring 65 % af det totale luftflow tilføres via denne vej. Figuren viser ligeledes, at større åbning af indløb 1 hovedsagelig resulterer i reduceret flow igennem indløb 3.

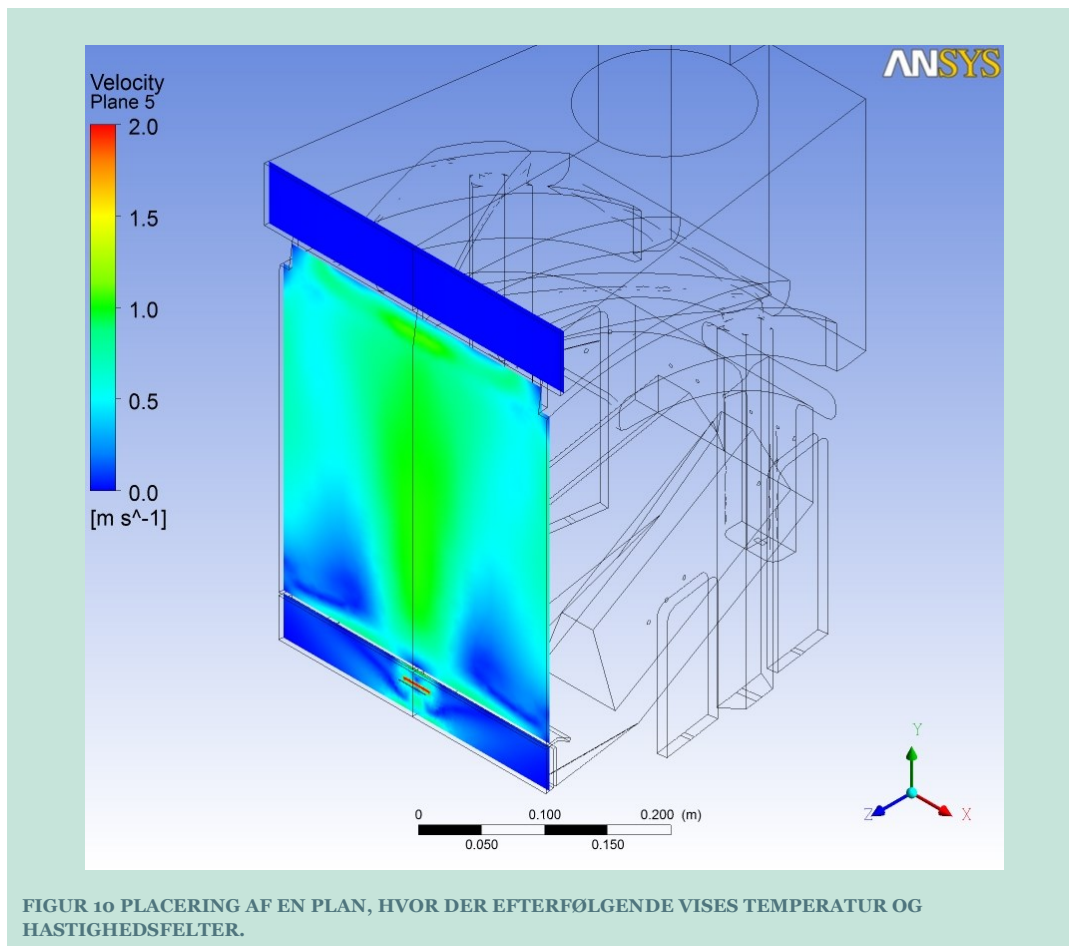


FIGUR 9 FORDELING AF LUFTTILFØRSEL I DE ENKELTE INDLØB

4.2.2 Flowfordeling omkring træstykkerne

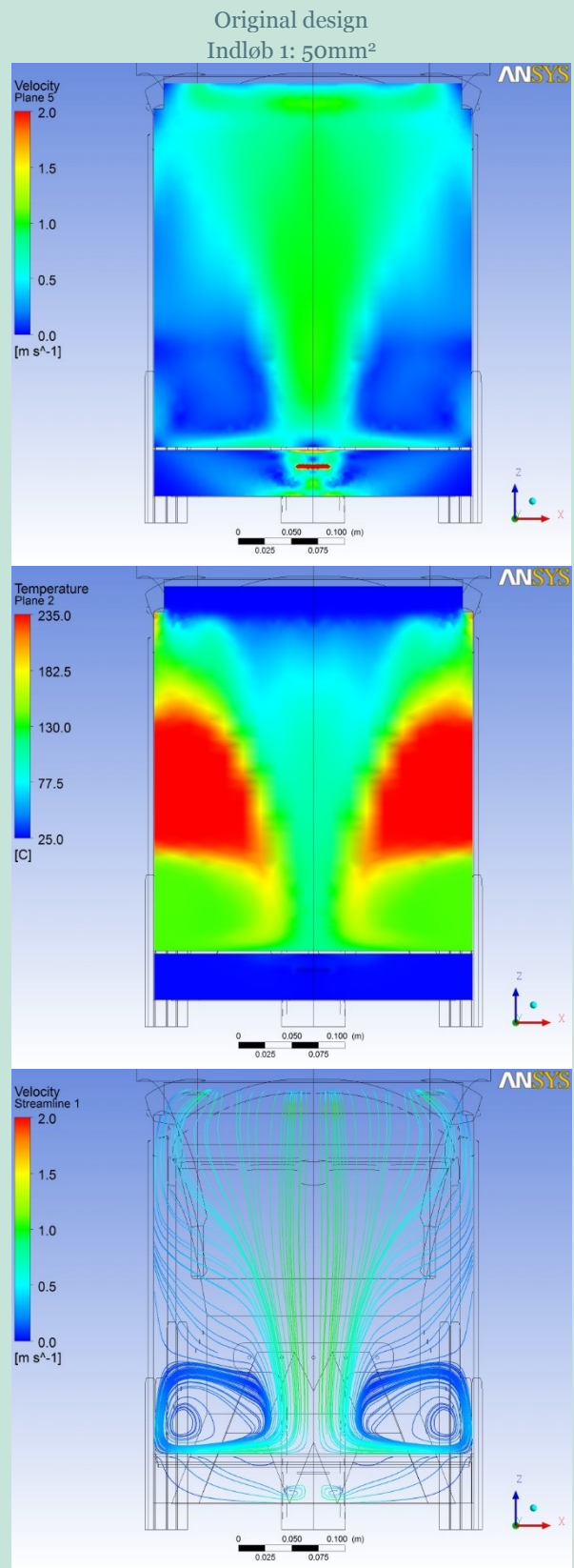
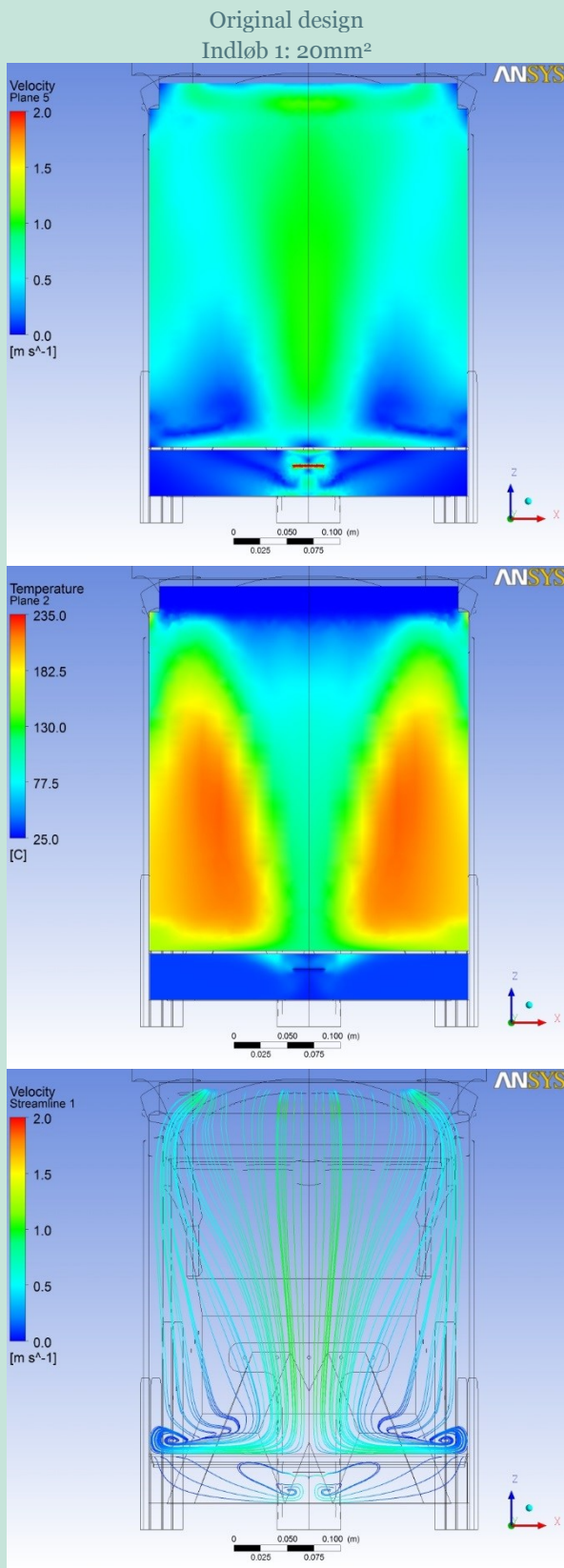
I det følgende gennemgås flowforholdene inde i brændkammeret. Størstedelen af luften tilføres via indløb 3, derfor er det primære fokus, hvordan luften tilført fra indløb 3 har indflydelse på flowforholdene inde i brændkammeret.

I det følgende vises en række plots, der viser temperatur og hastighedsfelt. Disse plots er taget i et plan, der er vist i Figur 10 dvs. 5mm fra ruden. I første omgang vurderes det originale design med forskellige åbningsarealer i indløb 1 på henholdsvis 20 mm² og 50mm².



FIGUR 10 PLACERING AF EN PLAN, HVOR DER EFTERFØLGENDE VISES TEMPERATUR OG HASTIGHEDSFELTER.

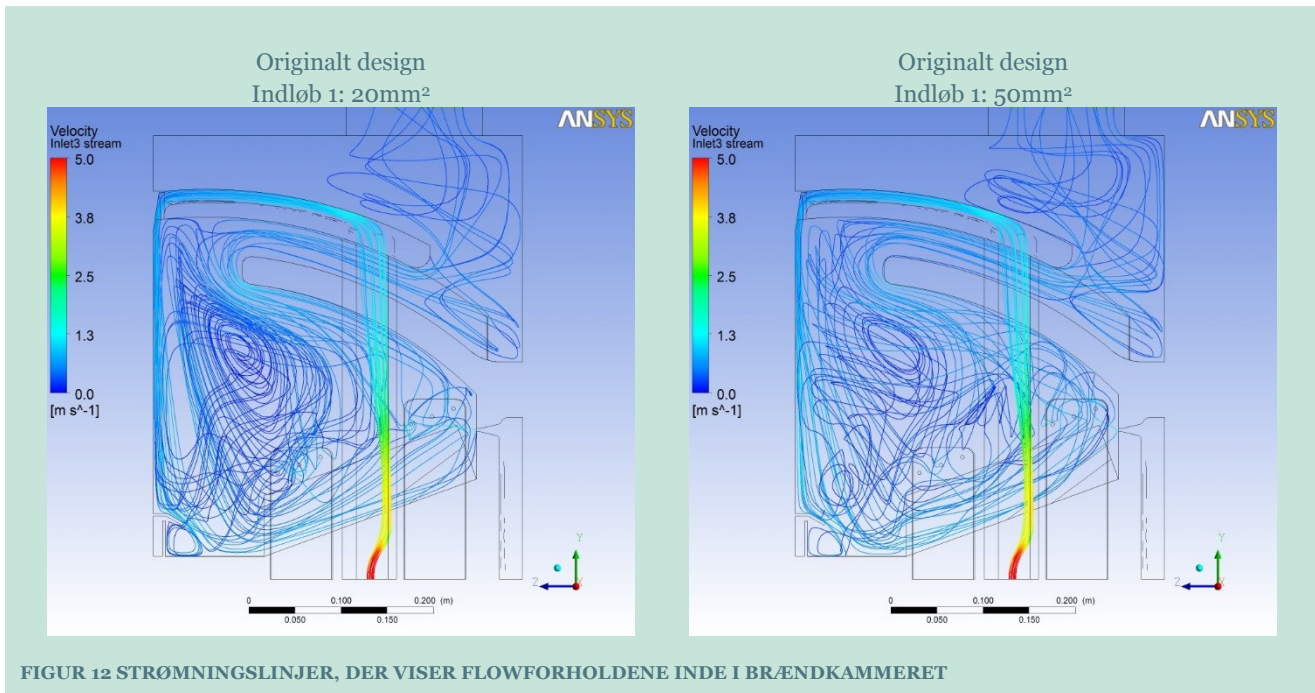
I Figur 11 vises hastigheds- og temperaturfelter i det originale design. Af figurerne kan man se at luften, der tilføres fra indløb 3 via kanaler i toppen af røglederpladen, søger hen mod midterplanet og danner en "tunge". Der bliver dannet 2 recirkulationszoner i bunden, som er mere fremtrædende, når indløb 1 har større åbningsareal.



FIGUR 11 TEMPERATUR- OG FLOWFORHOLDENE INDE I BRÆNDKAMMERET

Ser man på det overordnede flowbillede i brændkammeret, kan det bedst illustreres ved strømninglinjer vist i Figur 12. Af både Figur 11 og Figur 12 fremgår det, at flowet er meget

turbulent, dog kan man se enkelte tendenser. Luften tilført fra indløb 3 strømmer ned langs ruden ned til brændkammerets bund, hvorefter den skifter retning og strømmer mod træstykkerne. Flowet fra indløb 3 søger ind mod midterplanet og strømmer dermed hovedsageligt mellem de to træstykker.

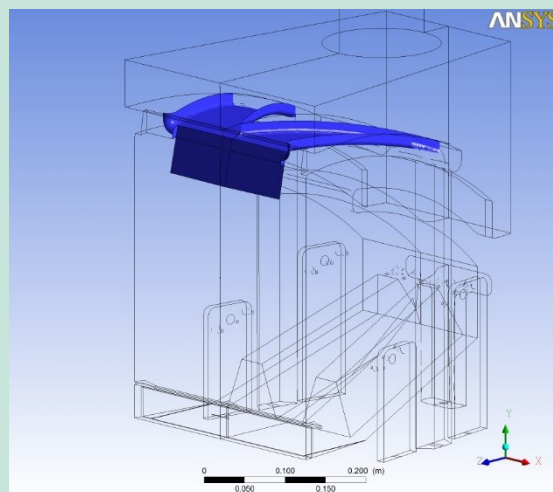


4.2.3 Designforslag

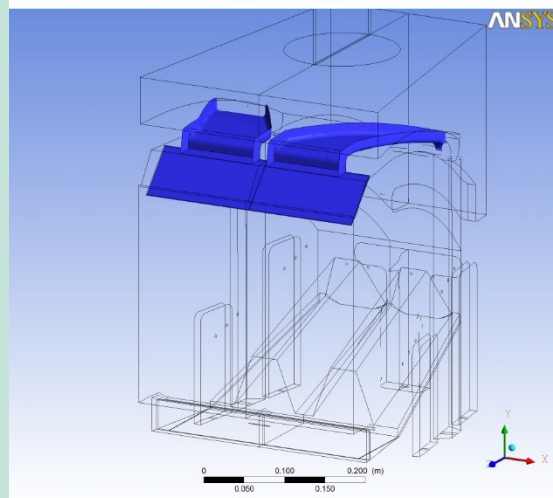
På baggrund af den indledende analyse af det originale design, blev det valgt at fortsætte med et åbningsareal for Indløb 1 på 20 mm². Det er ligeledes blevet besluttet at kigge på, hvordan den sekundære luft tilføres (Indløb 3) mere jævnt i hele brændkammerets bredde således, at der opnås mere jævn tilførsel af luften i træstykkerne. De enkelte designs er vist og beskrevet i Figur 13.

Beskrivelse af design	Billeder af den nye design
<p>Design 1: I dette design introduceres en V-formet ledeplade på røglederpladen. Ledepladen er tættest ved ruden i midterplanen. Afstanden til ruden gøres større des længere man kommer væk fra midterplanet.</p>	

Design 2: I dette design introduceres en ledeplade, der har lige afstand til ruden. Afstanden er 5 mm.

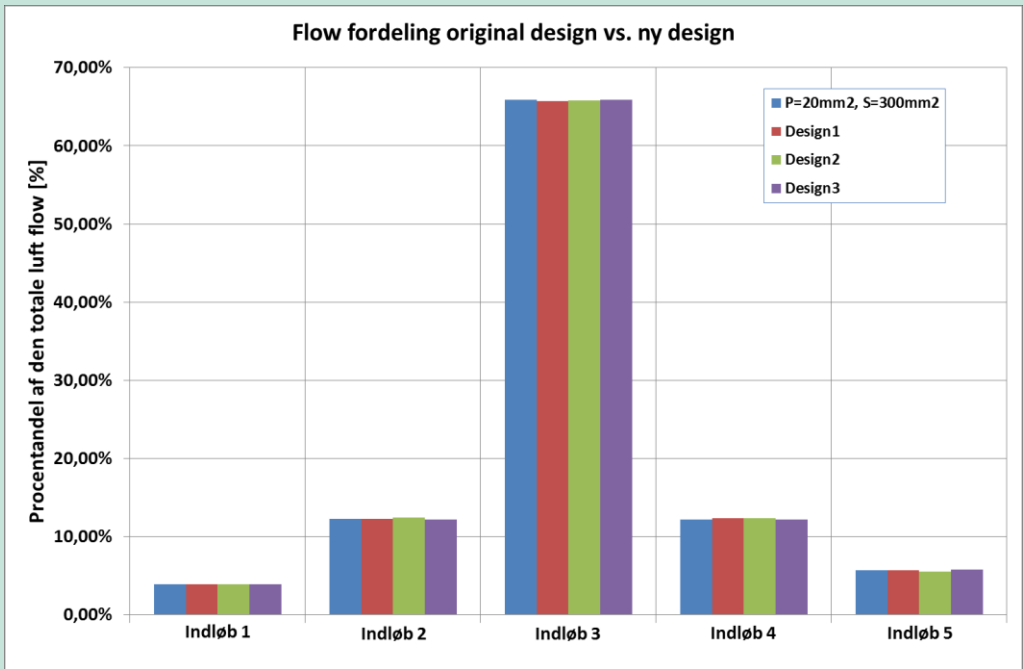


Design 3: I dette design introduceres en ledeplade, der har lige afstand til ruden. Afstanden er 5mm. Desuden gøres ledepladen bredere, så den dækker hele brændkammerets bredde. Derudover skabes der en fysisk adskillelse mellem de to indløbskanaler i røglederpladen.



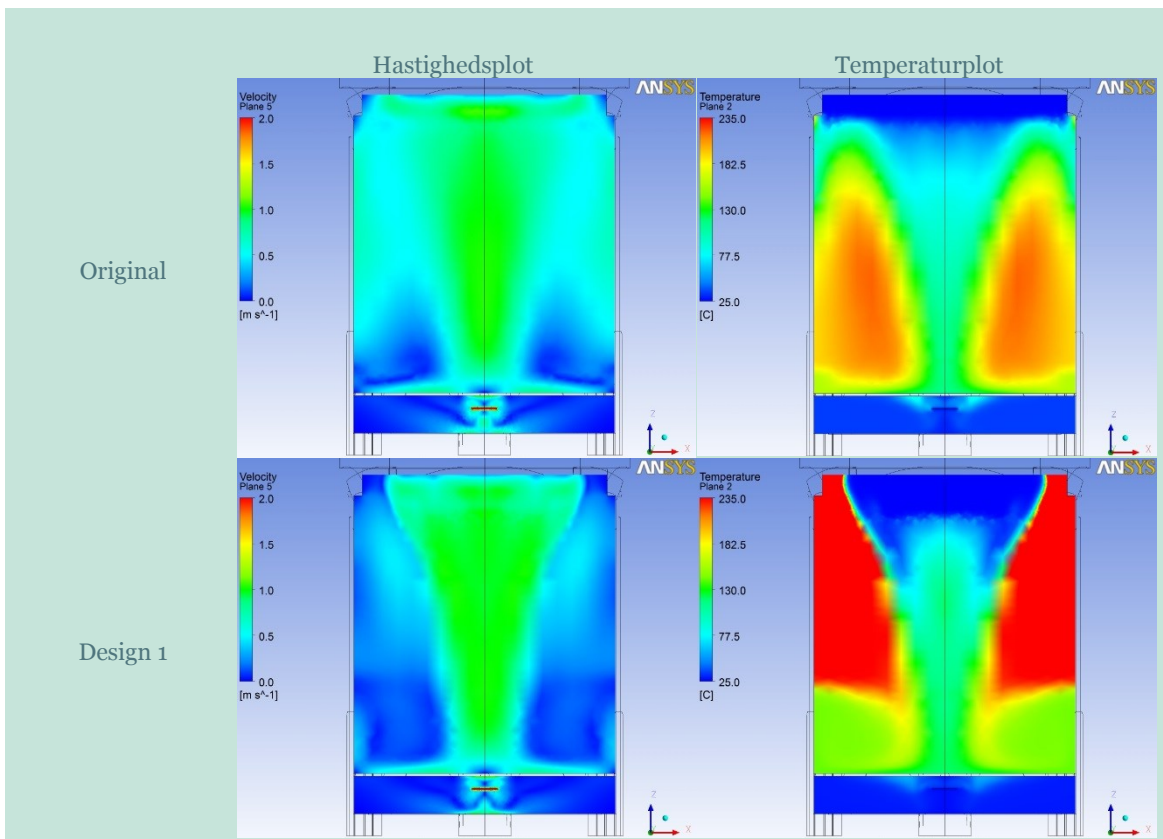
FIGUR 13 BESKRIVELSE OG BILLEDER AF DE ENKELTE DESIGNS

Der var i første omgang fokus på at observere, hvorvidt en ændring af design havde indflydelse på flowfordeling gennem de enkelte indløbskanaler. Dette ser dog ikke ud til at være tilfældet jævnfør Figur 14.

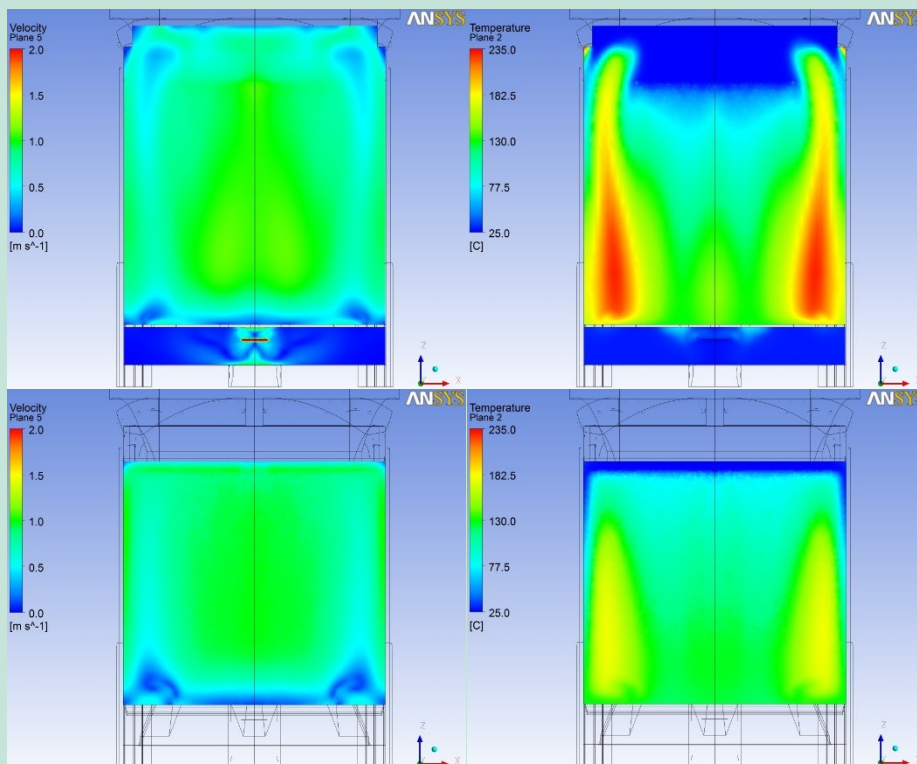


FIGUR 14 FORDELING AF LUFTTILFØRSEL I DE ENKELTE INDLØB

Efterfølgende blev der kigget på, hvilken effekt designændringerne havde på flowfordelingen inde i brændkammeret. I Figur 15 ses hastigheds- og temperatur plottene, der illustrerer, hvordan designændringer påvirker flowforholdene.



Design 2

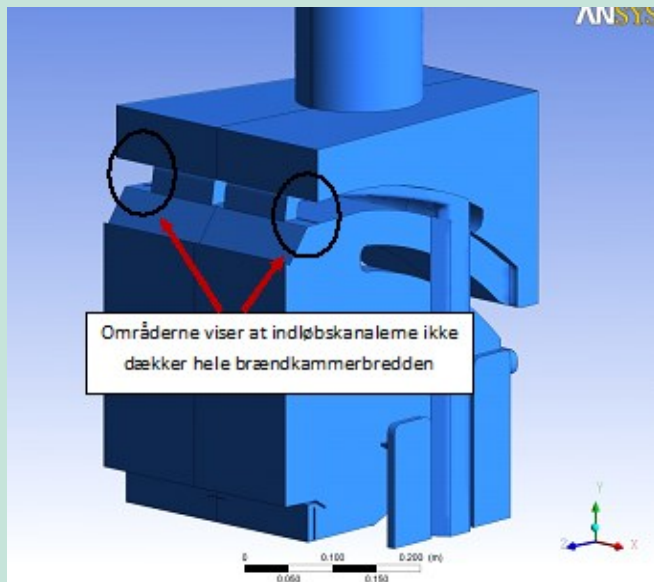


Design 3

FIGUR 15 TEMPERATUR OG HASTIGHEDSFORHOLD I DE ENKELTE DESIGN

Af figurerne kan man konkludere følgende:

- Design 1 med V-formet ledeplade viste dårlige tendenser, idet fænomenet med centrering af luftflowet blev forværret.
- Design 2 med ledeplade, der har lige afstand til ruden, har udjævnet en betragtelig flowstrømning. Der er dog stadigvæk et område i begge sider med lav luftstrømning.
- Design 3 med ledeplade, der har lige afstand til ruden og adskilt lufttilførsel, har yderligere udjævnet flowstrømning. Området i siderne med lav luftstrømning er dog stadig tilstede. Dette kan skyldes, at lufttilførselskanalerne i røglederpladen ikke dækker hele brændkammerets bredde, se Figur 16 og Figur 15, og skal således fortsat være i fokus.



FIGUR 16 GEOMETRI AF DESIGN 3 MED ANVISNING AF OMRÅDER UDEN LUFTTILFØRSEL.

5. Indledende tests på LOLE ovn

På baggrund af de gennemførte CFD simuleringer opbygges en LOLE ovn. Ovnens ydre dimensioner ændres ikke igen i projektperioden. Der udarbejdes derimod flere versioner af Skamol-isoleringen, det gælder både røghylde, sidevægge og bund. Der foretages også ændringer af luftkanalerne i røghylden, i siderne og på bagvæggen. Antallet af lufttilførselshuller og deres dimensioner justeres flere gange og tilførsel af sideluft fjernes helt til sidst. Udover alle disse ændringer på selve ovnen, eksperimenteres der samtidig med brændestykker og brændelængde. Det er afgørende for projektgruppen, at der kun anvendes brændestykker, der realistisk set også vil blive anvendt af forbrugerne. Derfor anvendes kun kløvede stykker på enten 33 eller 25 cm (som omtalt i afsnit 3.2), og der kløves til en realistisk diameter og ikke til småpinde, som det ellers var foreslået gennem netværket (afsnit 2.2). Undervejs i forsøgene erfares det, at ovnen brænder mere i overensstemmelse med de opstillede mål ved indfyring med blot ét stykke brænde frem for to eller flere. Fyring med mindre end to stykker træ i en brændeovn har hidtil været anset for urealistisk.

I det følgende gennemgås kort nogle af de forsøg og de erfaringer, som projektet har resulteret i. LOLE ovnen benævnes med nummereret indeks for at adskille de forskellige versioner.

5.1 LOLE-1

LOLE-1 er opbygget identisk med den ovn, der er simuleret i CFD (kapitel 4). Det skal dog bemærkes, at detaljer på den fysiske model i første omgang ikke stemte helt overens med det tegningsmateriale, der var genstand for CFD simuleringerne. Da disse forskelle blev opdaget, blev den fysiske model rettet til, så den passede med CFD modellen.

5.1.1 Test på LOLE-1

Under den indledende fyring hos Scan A/S i august 2013 blev der lavet forsøg med to forskellige udformninger af luftkanalerne i røglederpladen:

1. De to luftkanaler samlet før udløb
2. De to luftkanaler adskilt med ca. 20 mm ved udløb

CFD simuleringerne havde vist, at røglederplade 1 resulterede i en uhomogen luftfordeling af luftstrømmen til rudeskyllet, idet luftstrømmen i siderne var langt mindre end luftstrømmen i midten. Denne fordeling blev tolket som værende uhensigtsmæssig. CFD simuleringer med røglederplade 2 viste mere homogen luftstrømning.

For begge plader blev der set dårlige værdier, men mens røglederplade 1 hurtigt blev opgivet på grund af meget dårlig forbrænding, gav røglederplade 2 umiddelbart bedre forhåbninger. I Tabel 2 ses resultater fra forsøg med røglederplade 2. Der er tale om det samme forsøg, men i det ene sæt resultater er den beregnede dataperiode afsluttet ved en vægt på 55 gram i brændkammeret, og i den anden er perioden afsluttet ved en vægt på 5 gram i brændkammeret. Som det ses, betyder en længere beregningsperiode en lavere effekt på bekostning af en højere CO.

Slutvægt	55 gram	5 gram
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,10	0,16
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	69	74
CO ₂ [%]	7,8	7,0
Effekt [kW]	4,6	3,8

TABEL 2 RESULTATER FRA MÅLINGER FORETAGET PÅ RØGLEDERPLADE 2.

Efter de indledende forsøg hos Scan S/S blev ovnen fragtet til Teknologisk Institut og forsøgene fortsatte.



FIGUR 17 LOLE-1 I TESTSTANDEN.

Resultaterne var ikke tilfredsstillende, og ovnen blev derfor skilt ad, og de enkelte dele gransket. Der blev identificeret forskel mellem CFD modellen og den fysiske model i rudeskyllet, idet luftspalten på den fysiske model ikke gik helt ud til siderne svarende til ovnens bredde, og dermed rudens bredde.

Derfor blev luftspalten ved rudeskyllet modificeret således, at den blev øget med 30 mm i hver side for at få en jævn luftstrøm ned foran på ruden og videre ind i bålet som CFD simuleringen viste var mest optimal.

Figur 18 viser den øverste Skamol røglederplade, hvor kanalen til rudeskyllet ses. Udvidelsen i Skamol-pladen i den venstre side ses på billedet og den oprindelige opbygning i den højre side. I midten ses den tidligere omtalte afstand imellem de 2 sider.



FIGUR 18 RØGLEDEPLADE MED KANALER FOR RUDESKYLD.

Efterfølgende blev luftlæben bestående af to metalplader monteret på hver side af røglederpladen lukket tæt i siderne ved påsvejsning af endestykker.



FIGUR 19 LUFTLÆBE MED PÅSVEJSNING AF ENDESTYKKER.

I Tabel 3 ses resultaterne for udvalgte fyringer på LOLE-1. Alle fyringer er med 2 stykker brænde på hver 6-700 gram.

Dato	3/9 2013	4/9 2013	12/9 2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,31	0,21	0,23
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	283	172	122
CO ₂ [%]	6,6	7,6	6,3
Effekt [kW]	2,9	3,4	3,2

TABEL 3 RESULTATER FRA FYRINGER MED LOLE-1 EFTER MODIFICERING.

5.2 LOLE-2

Resultaterne fra LOLE-1 var lovende, men der var behov for bedre resultater ved lav ydelse. Tanken (delvis udsprunget af Figur 4) var derfor at gøre brændkammeret mindre. LOLE-2 blev gjort klar den 16/9 2013. LOLE-2 var identisk i opbygning med LOLE-1, blot var bunden hævet ca. 30 mm i brændkammerets bagside og 17 mm i forsiden, dvs. brændkammervolumen var reduceret og bunden var mere stejl. Der blev desuden tætnet omkring røghylden over luftlæben samt ved rudeskyllet. Derudover var det nødvendigt at hæve placeringen af de 9 tertiærhuller i bagsiden af ovnen, således at den tertiære luft blev tilsat ind over de indfyrede brændestykker.



FIGUR 20 BRÆNDKAMMER I LOLE-2 MED 9 HÆVEDE TERTIÆRHULLER I BAGSIDEN

5.2.1 Test på LOLE-2

I Tabel 4 ses resultaterne for udvalgte fyringer på LOLE-2. Alle fyringer er med 2 stykker brænde på hver 6-700 gram.

Dato	16/9-2013	17/9-2013 a	17/9-2013 b
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,18	0,18	0,11
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	71	120	76
CO ₂ [%]	7,3	6,4	6,8
Effekt [kW]	3,7	3,0	3,8

TABEL 4 RESULTATER FRA FYRINGER PÅ LOLE-2.

5.3 LOLE-3

Idéen med ombygningen af LOLE-2 til LOLE-3 var at gøre brændkammeret endnu mindre og varmere, således at der kunne opretholdes varme i ovnen selv ved lav ydelse.

LOLE-3 blev klar den 18/9 2013. LOLE-3 var identisk med LOLE-2 blot var der indsat yderligere 25 mm skamolsider i begge sider af brændkammeret, dvs. brandkammervolumen var reduceret. Det yderste tertiærhul i hver side blev desuden afblændet pga., at sidepladen nu gik indover disse. Der var således nu kun 7 huller i bagsiden.



FIGUR 21 LOLE-3 MED 2X25MM SKAMOL EKSTRA I SIDERNE OG KUN 7 TERTLÆRHULLER I BAGPLADEN.

5.3.1 Test på LOLE-3

I Tabel 5 ses resultaterne for udvalgte fyringer på LOLE-3. Alle fyringer er med 2 stykker brænde på hver 6-700 gram.

Dato	18/9 2013	19/9 2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,25	0,16
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	98	211
CO ₂ [%]	6,7	6,2
Effekt [kW]	3,1	3,0

TABEL 5 RESULTATER FRA FYRINGER MED LOLE-3.



FIGUR 22 LOLE-4 MED 2 STYKKER BRÆNDE PR. CHARGE

Efter forsøg med 2 stykker brænde pr. charge som hidtil blev der lavet en forsøgsrække med påfyring af 1 stk. brænde pr. charge, med en længde på 25 cm og en vægt på ca. 750 gram.



FIGUR 23 1 STK. BRÆNDE MED EN LÆNGDE PÅ 25 CM OG EN VÆGT PÅ CA. 750 G.

Dato	25/9 2013	26/9 2013	1/10 2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,15	0,09	0,11
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	90	93	104
CO ₂ [%]	6,2	7,1	6,2
Effekt [kW]	2,4	3,4	2,8

TABEL 6 RESULTATER FOR FYRINGERNE PÅ LOLE-3 MED 1 STK. BRÆNDE PR. CHARGE:

5.3.2 DIN plus test på LOLE-3

Der var i projektgruppen tvivl om, hvorvidt det var muligt at opnå gode resultater, hvis man indfyrede 1 stykke træ i flere efterfølgende charges, idet man kunne forvente, at røggastemperaturen ville blive lavere og lavere og forbrændingen dermed forringet. For at få et indtryk af, om resultaterne med et stykke brænde kunne repeteres, blev der gennemført en komplet DIN plus test på LOLE-3 fyret med 1 styk brænde pr. charge. Der blev i hver charge fyret med 1 stk. birkebrænde med en vægt af ca. 750 g og med et vandindhold på 17 %. Længden af brændet var 25 cm, og stykket var lidt rektangulært og afbarket. Målingerne blev gennemført som normalt til en akkrediteret DINplus måling, det vil sige med et fast træk på ca. 12 Pa og målestrækning iht. EN 13240.

Resultaterne fra de 4 charges ses i Tabel 7.

Charge	1	2	3	4
Tid [min.]	53	49	53	51
Charge mængde [kg]	0,751	0,751	0,747	0,751
Røggastemperatur [°C]	188	192	187	181
CO ₂ [%]	6,3	6,9	6,2	6,2
CO [ppm]	0,10	0,06	0,08	0,09
THC [ppm]	145	92	111	161
NOx [ppm]	52	54	47	50
Støv [mg/Nm ³]	14	26	14	10
Partikler [g/kg]	1,25	1,61	1,75	1,41

TABEL 7 DIN PLUS OG DELVIS SVANETEST. DIREKTE MÅLINGER.

RESULTATERNE EFTER OMREGNING OG SOM MIDDELVÆRDIER AF TO VALGTE CHARGES, SES I

Tabel 8. Både charge 2 og 3 samt charge 3 og 4 kan opfylde gældende DIN plus krav. Der midles her over 2 charges fordi det er normal praksis i EN 13240. Hvad angår omregningen af THC til OGC foretages denne omregning efter angivelse i DS-CEN-TS 15883. I hovedtræk bliver der målt ppm kulstof ved aktuel iltprocent i fugtig røggas, og grænseværdien for OGC er anført i mgC/Nm³ ved 13 %O₂ i tør røggas. Efter korrektioner bliver røggastemperaturen også korrigeret til en rumtemperatur på 20°C.

Variant	Charge 2 og 3	Charge 3 og 4	Krav DINplus	Krav Svane
Røggastemperatur [°C ved 20 °C]	189	184		
Virkningsgrad [%]	80	79	75	75
Effekt [kW]	2,89	2,85		
CO ₂ [%]	6,6	6,2		
CO ved 13% O ₂ [%]	0,0790	0,0991	0,1200	0,1360
Org. Kulstof OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	67	94	120	120
NO _x ved 13 % O ₂ [mg/Nm ³] (Som NO ₂)	118	120	200	
Støv ved 13 % O ₂ [mg/Nm ³]	19	13	75	
Partikler [g/kg]**	1,68	1,58		4***

TABEL 8 OMREGNEDE MIDDELVÆRDIER FOR TO GANGE TO VALGTE CHARGES DER BEGGE KAN GIVE DIN PLUS GODKENDELSE.

** PARTIKLER ER HER MÅLT DIREKTE MED BIRKEBRÆNDE, I NS 3058 ER ANFØRT LÆGTER

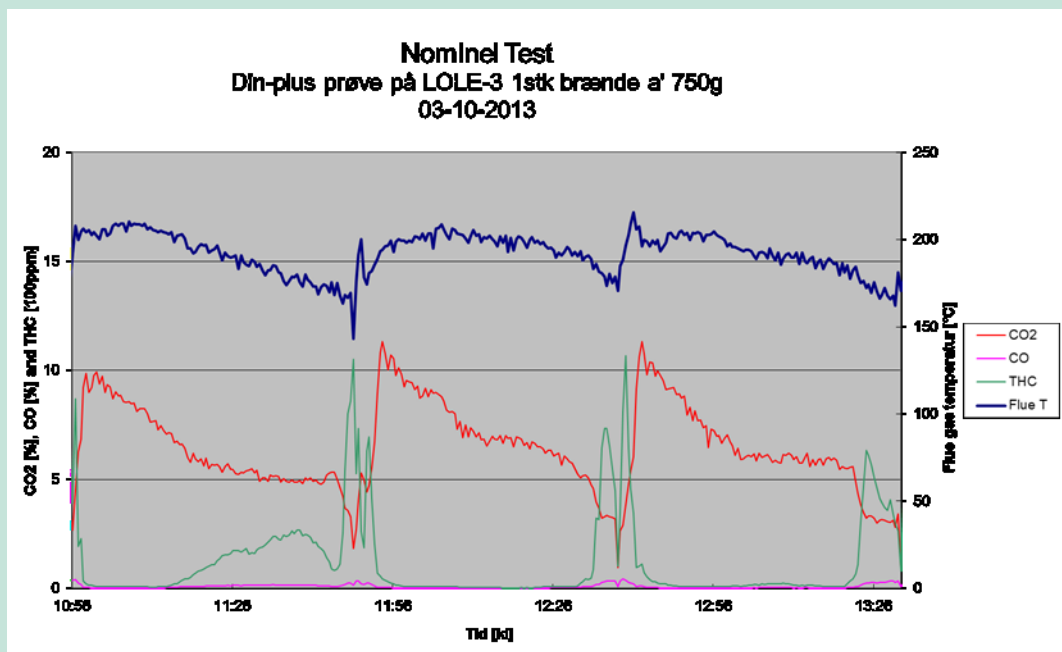
*** KRAVET ER SOM MIDDELVÆRDI PÅ 4 FORSKELLIGE YDELSESTRIN OG MED LÆGTER, FYRET EFTER NS 3058.

Resultaterne efter de kommende DIN plus krav, som vil være gældende fra 1/1-2015, skal måles over 3 charges. Resultaterne herfor er vist i Tabel 9. Det kan konstateres, at kravene vil være opfyldt.

Variant	Charge 2, 3 og 4	DINplus krav pr. 1/1-2015
Røggastemperatur [°C ved 20 °C]	187	
Virkningsgrad [%]	80	78
Effekt [kW]	2,86	
CO ₂ [%]	6,5	
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,0874	0,1000
Org. Kulstof OGC ved 13% O ₂ [mgC/Nm ³]	81	120
NO _x ved 13 % O ₂ (Som NO ₂)	120	200
Støv ved 13 % O ₂ [mg/Nm ³]	17	40

TABEL 9 OMREGNEDE MIDDELVÆRDIER FOR TRE VALGTE CHARGES DER KAN GIVE DIN PLUS GODKENDELSE I FORHOLD TIL KOMMENDE KRAV PR. 01.01.2015.

Med hensyn til de viste krav til svanemærkning og de opnåede resultater, skal det bemærkes, at testsene er udført med birkebrænde. Kravene til svanemærkning baseres på prøvning i henhold til den norske standard NS 3058. I denne standard skal det anvendte brændsel være lægter. Samtidig er det oplyste partikelkrav baseret på en middelværdi af 4 forskellige ydelsestrin.



FIGUR 24 GRAFER FOR DIN PLUS MÅLINGERNE PÅ LOLE-3

På graferne vist i Figur 24 ses forløbet for CO, CO₂, THC og røggastemperatur over charge 1, 2 og 3. THC bliver omregnet til OGC. Det ses, at effekten er under 3 kW og med meget pæne emissionsværdier. Det bemærkes, at CO₂ procenten er lav, hvilket ikke er overraskende set i relation til Figur 3. En lav CO₂ har ikke umiddelbart nogen betydning, men hvis den kunne hæves, uden at det ville give negativ indflydelse på emissionen, ville det være en fordel for virkningsgraden. Det vil sige at man skal prøve at opnå så høj en CO₂ som muligt, for at øge virkningsgraden, men problemet er, at på et tidspunkt stiger emissionen til for højt et niveau. Det ville også være ønskeligt at nedbringe effekten yderligere.

5.4 LOLE-4

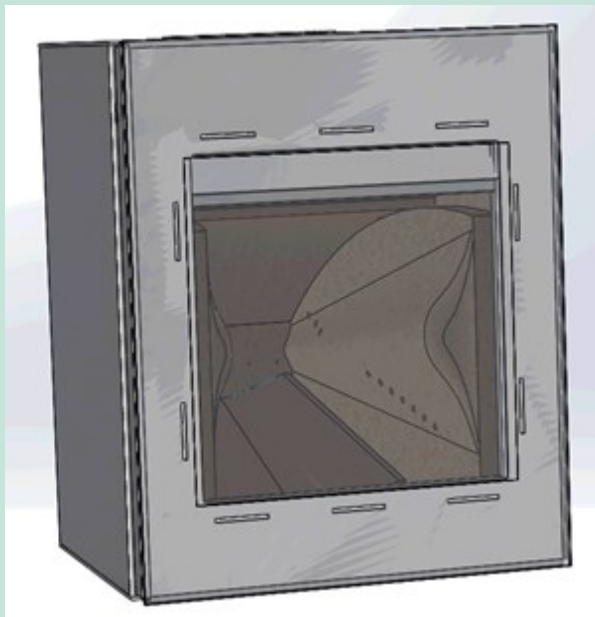
Det blev besluttet at fremstille 2 nye skamol sæt. Tanken med dette var at forsøge at hæve CO₂ procenten uden at ødelægge emissionerne. Desuden skulle ovnsens finish gøres lidt bedre og lidt nemmere at regulere, så alle luftindtag blev ført ud under bunden og monteret med spjæld.

LOLE-4 blev således bygget op med udgangspunkt i LOLE-3, dvs. med et lille brændkammer og meget skamol isolering i siderne. Det var planen at arbejde videre med 1 styk brænde pr. påfyring. Bunden blev derfor udformet derefter, det vil sige med én fordybning i bunden i stedet for de tidligere to fordybninger.

De to nye sæt skamolsideplader havde flere sidelufthuller, og det ene sæt havde desuden buede sider (Figur 25).

- LOLE-4a buede sider
- LOLE-4b lige sider

Tanken med de buede sider var at presse røggasserne mere sammen lige over brændet og dermed måske opnå en bedre emission og en højere CO₂.



FIGUR 25 LOLE-4A MED BUEDE SIDER

5.4.1 Test på LOLE-4a

I Tabel 9 ses resultater for fyringerne på LOLE-4a fyret med 1 stk. brænde pr. charge.

Dato	5/11-2013	6/11-2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,12	0,11
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	143	146
CO ₂ [%]	5,6	6,9
Effekt [kW]	2,5	3,2

TABEL 9 RESULTATER FRA FYRINGER AF LOLE-4A

Resultaterne var ikke som ønsket bedre end LOLO-3. Værdierne for OGC var højere, og CO₂ % synes ikke at være bedre, end det tidligere var set.

Bredden af rudeskyllet på røglederpladen blev herefter øget, da røglederpladenden, der var produceret med det nye sæt skalmolplader, havde et lidt andet udløb til luftlæberne end i LOLE-3. Resultaterne for de efterfølgende fyringer se i Tabel 10.

Dato	13/11-2013	14/11-2013	14/11-2013	3/12-2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,09	0,11	0,10	0,12
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	82	104	114	145
CO ₂ [%]	7,1	5,6	5,6	6,0
Effekt [kW]	3,1	2,8	3,0	3,0

TABEL 10 RESULTATER FRA FYRINGER AF LOLE-4A MED ØGET BREDDE PÅ RUDESKYLD I RØGLEDERPLADE.

5.4.2 Test på LOLE-4b

Der blev herefter monteret nye plane skamolplader i ovnen, så den med de nye skamolplader mest mulig lignede den oprindelig LOLE-3. Resultaterne for fyringerne på LOLE-4b ses i Tabel 11.

Dato	5/12 2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,10
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	99
CO ₂ [%]	6,5
Effekt [kW]	3,1

TABEL 11 RESULTATER FRA FYRINGER AF LOLE-4B

Det synes ikke umiddelbart muligt af få LOLE-4 ovnen til at præstere lige så gode resultater som LOLE-3, og i hvert fald ikke bedre resultater, sådan som det havde været hensigten.

5.4.3 Test på LOLE-3-igen

Ovnen blev nu opbygget helt som første version af LOLE-3 ovnen med de samme skamolplader i siderne og de dobbeltløbede fordybninger i buden. Formålet var at se, om resultaterne fra LOLE-3 kunne reproduceres. I Tabel 12 ses resultaterne fra fyringerne.

Dato	11/12 2013
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,10
OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	133
CO ₂ [%]	7,1
Effekt [kW]	3,3

TABEL 12 RESULTATER FRA FYRINGER AF LOLE-3

Ovnen præsterede i flere indfyringer dårligt, og det blev bemærket, at træstykket midt under forbrændingen havde tendens til at rutche ned og lægge sig foran primærluften. Dette synes at give en øget emission

5.4.3.1 Test på LOLE-3 med stop

Ovnen blev herefter udstyret med et stopanordning i bunden af brændkammeret, således at træet ikke kunne ruche ned.

I Tabel 13 ses ny DIN plus måling på LOLE-3 ovnen med stop anordning, dog uden støv og NOx. LOLE-3 blev fyret med 1 stk. brænde pr. charge.

Charge	1	2	3
Tid [min.]	44	50	49
Charge mængde [kg]	0,76	0,75	0,74
Røggastemperatur [°C]	213	212	210
CO ₂ [%]	7,3	7,2	7,0
CO [ppm]	0,06	0,07	0,06
THC [ppm]	59	83	83

TABEL 13 DIN PLUS. DIREKTE MÅLINGER.

Resultaterne efter omregning og som middelværdier af to charges ses i Tabel 14. Som det ses opfylder de omregnede middelværdier for charge 2 og 3 kravene til DIN plus godkendelse.

Variant	Charge 2 og 3	Krav DINplus	Krav Svane
Røggastemperatur [°C ved 20°C]	211		
Virkningsgrad [%]	79	75	75
Effekt [kW]	2,99		
CO ₂ [%]	7,1		
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,072	0,120	0,136
Org. Kulstof OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	50	120	120

TABEL 14 OMREGNEDE MIDDELVÆRDIER FOR CHARGE 2 OG 3 DER KAN GIVE DIN PLUS GODKENDELSE.

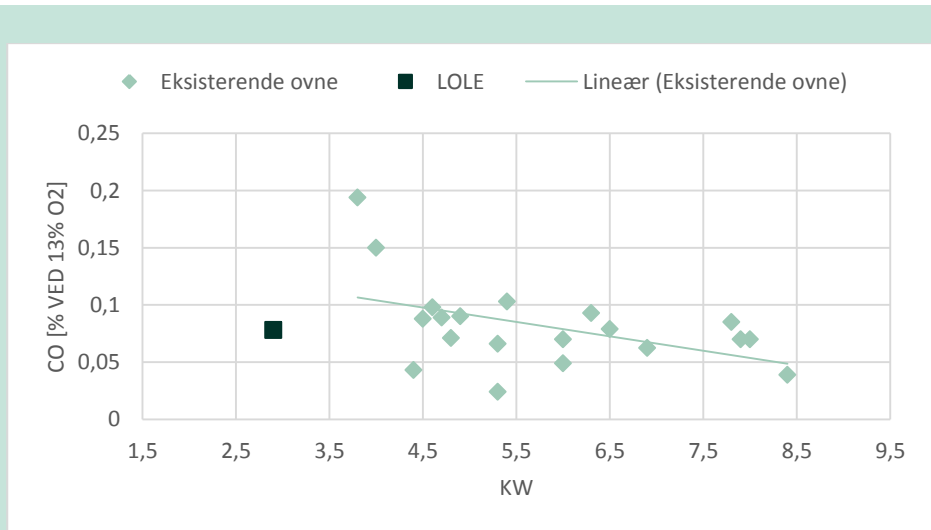
5.4.4 Opsummering af målinger på forskellige versioner af LOLE-3 og LOLE-4

Det blev forsøgt at forbedre LOLE-3 ovnen med bl.a. buede sider og enkeltløbende fordybning i bund. Ovnen blev benævnt LOLE-4. Det viste sig dog at være meget vanskeligt, at opnå resultater, der var lige så gode som LOLE-3. Udskiftning af de buede sider tilbage til plane sider gav ikke bedre resultater. Først da de helt oprindelige sider og de dobbeltløbende fordybninger i bunden kom tilbage i ovnen, kunne resultaterne genskabes. De oprindelige sider sluttede ikke helt til i toppen af brændkammeret, men ellers var de helt identiske med de nye plane sider. Det vurderes derfor, at den primære årsag til de lidt dårligere resultater skyldes den enkeltløbende fordybning i bunden i forhold til bunden med de dobbeltløbende fordybninger. Forklaringen synes at findes i antændingen af brændestykket efter indfyring, idet antændingen tilsyneladende sker nemmere ved de dobbeltløbende fordybninger i bund, hvor der ligger et relativt tykt lag gløder på hver side af det indlagte brændestykke.

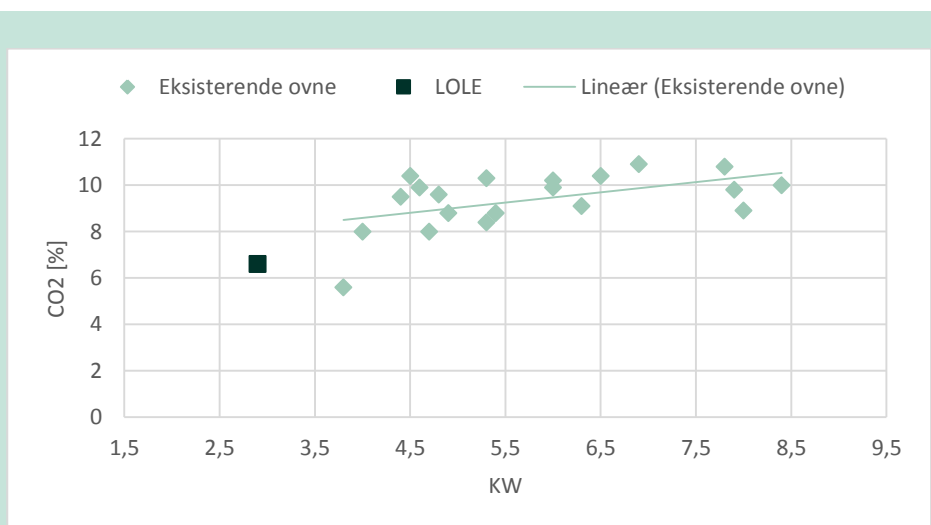
5.5 Forsøg på forøgelse af CO₂

Resultaterne for de bedste DIN+ målinger på LOLE-3 ovnen blev herefter sammenholdt med de indhentede data for unavngivne vilkårlige ovne (se også afsnit 3.1). Det er de bedste målinger der anvendes til sammenligning, da det også er normalt at man prøver mange forudgående prøvninger på en almindelig ovn før de endelige målinger udføres. Det ses, at LOLE-3 har opnået en lidt lavere CO % i forhold til, hvad man kunne forvente sammenholdt med andre ovne (Figur 26 Forhold mellem målt ydelse og CO, inkl. resultat fra LOLE-3.Figur 26). Både ovns ydelse i forhold til brændkammervolumen (Figur 28), og røggassens opholdstid i forhold til brændkammervolumen (Figur 29) stemmer overens med de tendenser, der er set på andre ovne. Det skal bemærkes, at bestemmelse af brændkammervolumen er behæftet med nogen usikkerhed, da det dels kan være vanskeligt at definere den volumen, der indgår som brændkammer, og dels at flere brændkammervolumener var vanskelige at opmåle.

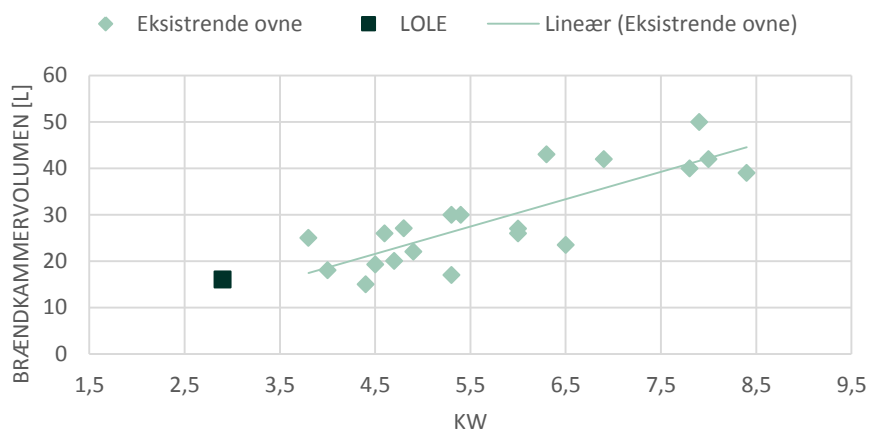
Den opnåede CO₂ % i forhold til ovns ydelse er imidlertid noget lav for LOLE-3 i forhold til, hvad der antageligt er muligt (Figur 27). En lav CO₂ % kan give mistanke om, at noget af den tilførte luft ikke deltager i forbrændingen, men føres direkte i skorstenen. Dette kan være forårsaget af utætheder eller u hensigtsmæssig placering af en lufttilførsel. Det besluttes derfor at forsøge at øge CO₂ %'en uden samtidig at forringe forbrændingen. Forsøg på dette udføres hos Scan A/S.



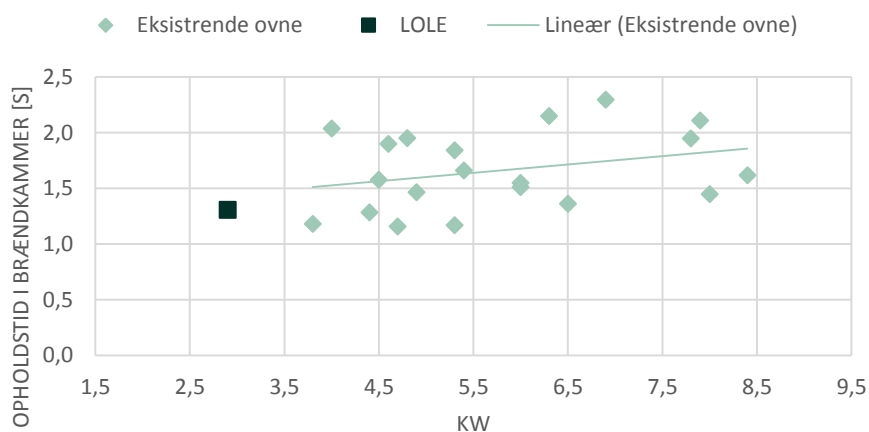
FIGUR 26 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG CO, INKL. RESULTAT FRA LOLE-3.



FIGUR 27 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG CO₂, INKL. RESULTAT FRA LOLE-3.



FIGUR 28 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG BRÆNDKAMMERVOLUMEN, INKL. RESULTAT FRA LOLE-3.



FIGUR 29 FORHOLD MELLEM MÅLT YDELSE OG RØGGASSENS OPHOLDSTID I BRÆNDKAMMERET, INKL. RESULTAT FRA LOLE-3.

5.5.1 Test på LOLE-3 med henblik på øget CO₂ %

Det ses, at de opnåede værdier er lovende, men at det ikke har været muligt at øge CO₂ %'en som ønsket med den pågældende konstruktion.

Enhed	3 charge i træk	Bedste enkelt charge
Røggastemperatur [°C]	152	151
Virkningsgrad [%]	84	80
Effekt [kW]	3,5	2,7
CO ₂ [%]	6,7	4,9
CO ved 13 % O ₂ [ppm]	600	912
Påfyret mængde [kg]	0,60	0,61

TABEL 15 MÅLINGERNE ER UDFØRT AF SCAN A/S I VISSENBJERG.

5.6 NS test

Der gennemføres derefter en test med lægter efter NS3058/3059 for at undersøge, om ovnen vil kunne opfylde kravene til Svanemærkning i relation til partikelemissionen.

Test efter NS 3058/3059	Kg (tørstof)/h	G/kg(tørstof)	Vægtning [%]
Prøve 1:	0,67	4,25	37,2
Prøve 2:	1,14	3,78	24,3
Prøve 3:	1,14	3,78	0,0
Prøve 4:	1,14	3,78	38,5

TABEL 16 NS 3058/3059 TEST PÅ LOLE-3 OVN

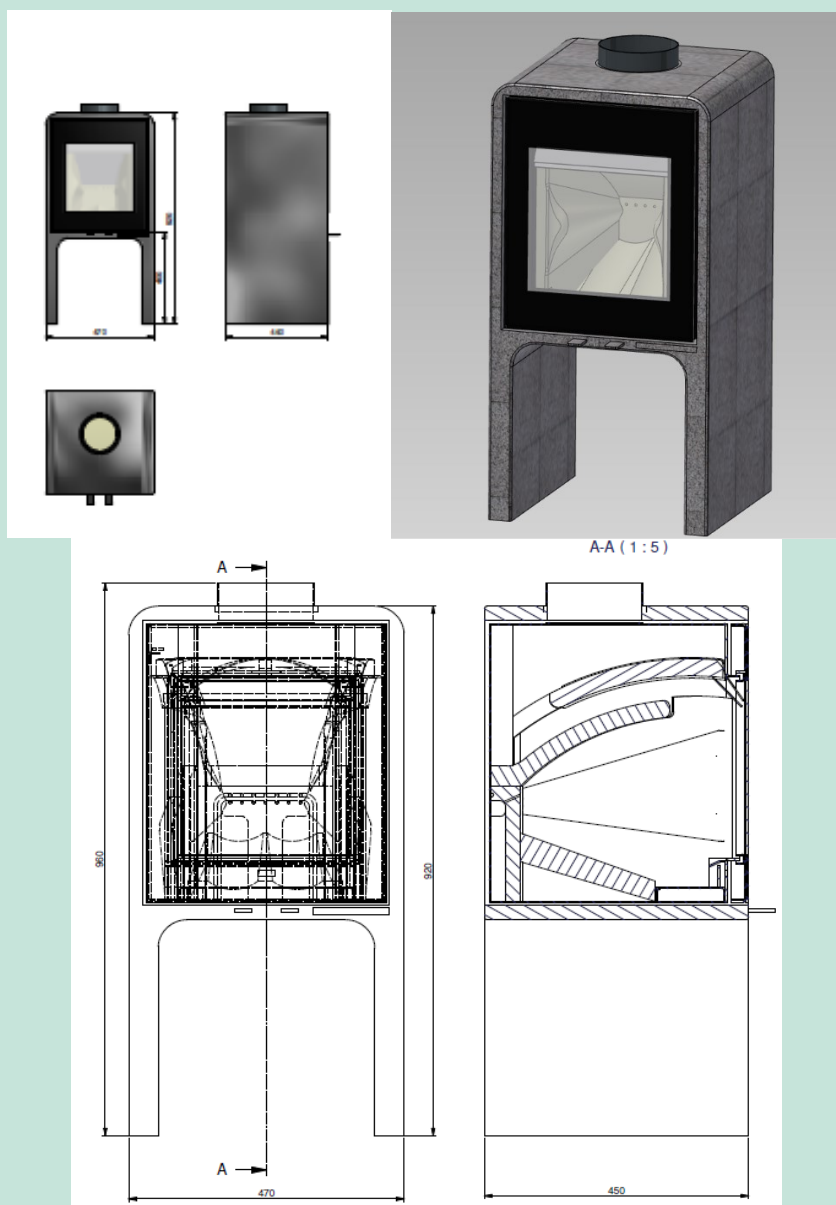
Samlet vægtet partikelemission er: 3,95 g/kg (Tørstof) og ovnen kan klassificeres som en klasse 1 ovn.

Værdierne fra prøve 3 og 4 er overført fra prøve 2, der er kørt med fuldt åbne spjæld, hvilket er normal praksis.

Kravene for Svanemærkning er for denne del 4 g/kg(tørstof) i vægtet partikelemission og 8 g/kg(tørstof) som højeste enkeltværdi, hvilket begge er opfyldt her.

6. Den endelige LOLE ovn og slutttests

6.1 Den endelige LOLE ovn



FIGUR 30 DEN ENDELIGE LOLE OVN TIL SLUTTEST

Den endelig LOLE ovn adskiller sig fra LOLE-3 ovnen på følgende områder:

- Ingen sideluft
Sideluft i begge sider er helt fjernet, da de har vist sig ikke at have nogen anvendelse. Sideluften blev forsøgsvis anvendt i både LOLE1, 2 og 3, men det var ikke muligt at opnå nogen positiv effekt.
- Sidepladerne buer ud på midten
Ved genetablering af LOLE-3 ovnen, som beskrevet i afsnit 5.4.4, var der ingen indikationer af at de buede sideplader havde nogen umiddelbar effekt, hverken positiv eller negativ. Det vælges alligevel at anvende dem i sluttesten på LOLE ovnen, fordi indsnævringen i brændkammeret formodes at bevirke, at forbrugeren ikke fristes til at påfyre med for meget brænde. Det er fortsat unikt, at LOLE ovnen kun anvender et stykke træ og det vil kræve nogen tilvænning for forbrugeren.
- Fast tertiærluft
Tertiærluft sættes i fast indstilling, så der kun bliver to luftspjæld: et til primær og et til sekundær luft. Igen er her tale om brugerhensyn, idet tre spjæld vil virke forvirrende fremfor at fungere som en hjælp.

Det skal bemærkes, at selvom der kun skal indfyres med et enkelt stykke træ, er bundpladen forsynet med to fordybninger som i LOLE-3. Som tidligere nævnt, fordi der er en formodning om, at antændingen hermed bliver bedre. En fremtidig model kunne indeholde én, men bred fordybning.

6.2 Sluttests

Der gennemføres en serie af miljøundersøgelser på den endelige version af LOLE-ovnen. Ovnen testes dels ved en række forskellige lastsituationer og dels med forskellige brændsler. De forskellige lastsituationer har udgangspunkt i den norske standard NS 3058, og er som følger: lavlast, nominal, mellemhøj og maksimal last. Erfaringsmæssigt er det ikke ualmindeligt, at en brændeovn ikke kan fyres ved alle lastsituationer.

6.2.1 Brændsler

Til gennemførelse af testene er 3 træsorter udvalgt: birk, ask og gran. Hovedparten af de danske brændeovnsproducenter anvender birk i forbindelse med prøven til CE mærkning (DS/EN13240), og standarden foreskriver da også birk som et af tre tilladte brændsler. Asketræ er valgt ud fra en betragtning om, at der de kommende år vil være meget asketræ til rådighed, da asketræerne de seneste år har været udsat for en svampesygdom, der medfører, at mange asketræer må fældes. Ask har højere massefylde end birk. Grantræ er en meget almindelig træsort i Danmark, og anvendes i stor udstrækning i private brændeovne. Gran har mindre massefylde end birk. Der er ikke udført målinger med lavlast for gran, da det ikke var muligt at få ovnen til at brænde i den last.

Træsart	Massefylde kg/m ³
Birk	620
Ask	700
Gran	450

TABEL 17 MASSEFYLDE FOR ANVENDT BRÆNDESEL. OPLYST VED 100% FASTMASSE OG 18% VANDINDHOLD.

6.2.2 Prøvningsomfang

I forbindelse med gennemførelse af testene vælges det, at udføre to nominelle testserier på birketræ. I den ene serie anvendes træ med en fugtprocent på 17 %, som også er den fugtprocent der er anvendt i de andre tests med birketræ. I den anden nominelle serie anvendes birketræ med en fugtprocent på 13 %. Begge fugtprocenter ligger inden for standardens acceptgrænser. Det er valgt at undersøge begge fugtprocenter i en nominel serie for at se, hvor stor indflydelse den har på ovnens præstationer. I de viste resultater er serien med 13 % fugt benævnt ”nominel-13”.

I de gennemførte tests måles som udgangspunkt røggasparametrene CO, CO₂, TOC og NO_x. Desuden måles partikelmassen gravimetrisk i henhold til både den norske metode NS3058 med fortyndingstunnel, og efter den tyske metode DIN plus, hvor ovnen fyres efter DS/EN13240. DIN plus metoden er med opvarmet filter.

I udvalgte testserier måles desuden

- Partikler (antal og størrelsesfordeling med SMPS og massefordeling med DustTrak)
- PAH

Sammenfatning af planen for sluttests kan ses i Tabel 18.

Brændsel	Lavlast	Nominel last	Mellem-høj last	Maksimal last
Birk	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH
Ask	-Røggasparametre -Partikler (masse)	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse)
Gran		-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak) -PAH	-Røggasparametre -Partikler (masse, SMPS, DustTrak)

TABEL 18 PLAN FOR SLUTTESTS

De anførte trin er baseret på spjældindstillingerne som det fremgår af tabel 19. De reelt opnåede ydelser fremgår af figur 31, hvor det ses at ydelserne ofte falder når spjællene åbnes ”næsten helt”, eller ”helt”. Dette skyldes primært at virkningsgraden falder ved mere åbne reguleringsspjæld.

6.2.3 Spjældindstillinger

Modulering til lavlast, nominel, mellemhøj og maksimal last er gennemført ved at justere indstillingerne på primær- og sekundærspjælde.

Åbning [mm ²]	Primær	Sekundær	Tertiær	Total
Lavlast:	0	240	140	380
Nominel:	43	420	140	603
Mellemhøj:	68	480	140	688
Maksimal:	238	640	140	1018

TABEL 19 SPJÆLDINDSTILLINGER I DE GENNEMFØRTE SLUTTEST.

6.2.4 Krav m.m.

Relevante krav som disse tests holdes op imod. De primære krav, der skal opfyldes, er gældende DIN plus krav og gældende svane krav, samt meget gerne kommende DIN plus krav.

Parametre	Gældende DIN plus	DIN plus (fra 01.01.2015)	Gældende Svane*	Udgået DS 887	Gældende EU krav
Virkningsgrad [%]	75	78	75	70	50
CO [ppm ved 13 % O₂]	1.200	1.000	1.360	3.000	10.000
Støv [mg/Nm³ ved 13 % O₂]	75	40	-	-	-
OGC [mgC/Nm³ ved 13 % O₂]	120	120	120	-	-
NO_x [mg/Nm³ ved 13 % O₂]	200	200	-	-	-
Antal charge	2	3	2	4	2

TABEL 208 RELEVANTE GÆLDENDE, UDGÅEDE OG KOMMENDE KRAV

*DERUDOVER 4 G/KG(TØRSTOF) EFTER NS 3058/3059

I det følgende gennemgås de opnåede resultater ved sammenligning og præsentation i primært søllediagrammer. Data fra de specifikke tests for effekt, CO₂, virkningsgrad, CO, OGC, støv, NO_x og partikler, ses i bilag 2 til 9. Uddybende resultater fra DustTrak og SMPS kan ses i bilag 10.

6.3 Sammenligning af resultater fra standardmålinger

6.3.1 Effekt

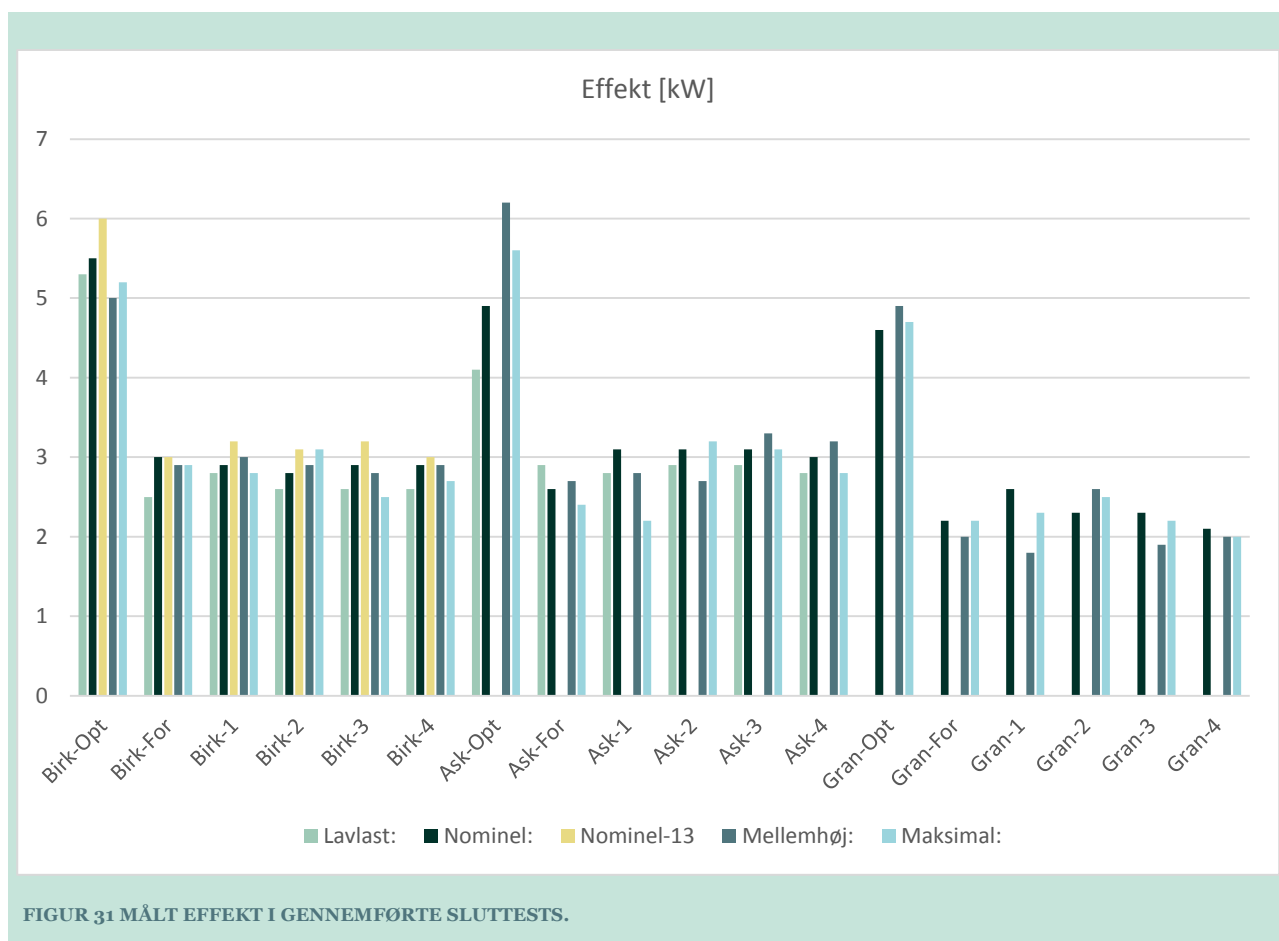
Udviklingsarbejdets succeskriterier blev i afsnit 1.2 bl.a. fastsat som:

- En nominel ydelse på 3,0 – 4 kW
- Modulering til 1,5 – 2 kW

Figur 31 viser den målte effekt i de gennemførte slutttests. Det ses, at den nominelle ydelse ligger på omkring 3 kW. Ydelsen er lavest for gran, hvor den ligger mellem 2,1 og 2,6 kW. Den højeste ydelse i den nominelle last efter optænding er 3,2 kW for birkebrænde med en fugtprocent 13. Det ses, at ydelsen i lavlast for birkebrændet ligger på omkring 2,6 kW, med 2,5 kW som det laveste. For asketræ er lavlastydelsen 2,8-2,9 kW, hvilket er få hundrede Watt fra den nominelle ydelse.

Der er ikke foretaget lavlastmålinger på grantræ, da det ud fra testen ved nominel ydelse, blev vurderet, at en test på en endnu lavere ydelse ikke vil være relevant i dette projekt. Der blev i stedet gennemført en ekstra test ved nominel ydelse med birkebrænde med et vandindhold på 13 %, mod oprindelig test på birkebrænde med 17 % vandindhold.

Mellemhøj og maksimal ydelse ligger for alle 3 træsorter tæt på den nominelle ydelse, og er i flere tilfælde lavere end den nominelle ydelse. Årsagen hertil findes i øget røggastemperatur og typisk mindre CO₂-procent, som et resultat af øget tilførsel af forbrændingsluft, og dermed lavere virkningsgrad.



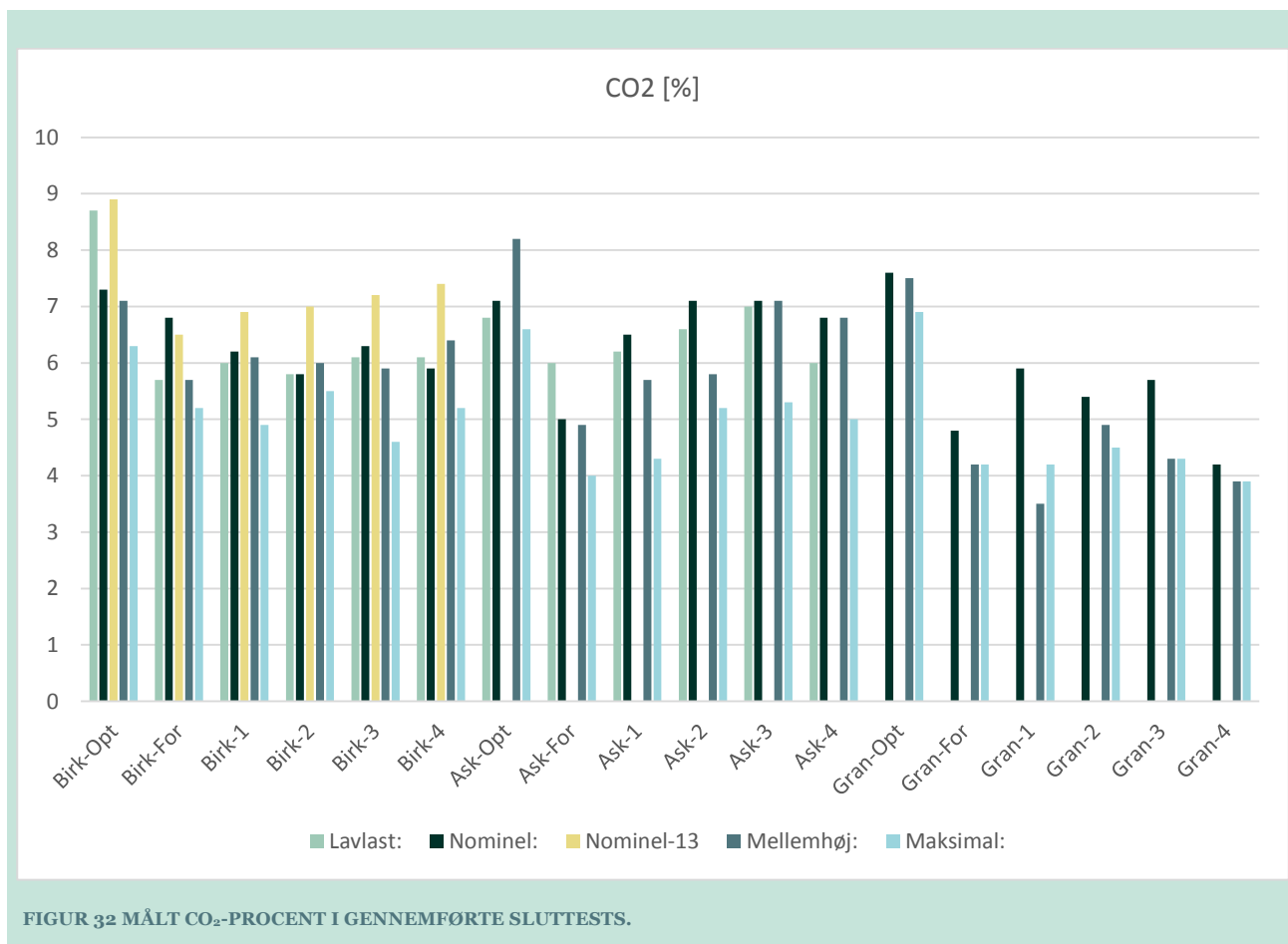
FIGUR 31 MÅLT EFFEKT I GENNEMFØRTE SLUTTETS.

Ovnens succeskriterium for en nominal ydelse på 3-4 kW er opfyldt. Ovnens ydelse ligger i de gennemførte tests stabilt mellem 2,5 og 3 kW. Den laveste ydelse findes for gran på 1,8 kW, og flere fyringer med gran ligger på ca. 2 kW, men her er emissionen dog noget dårligere.

6.3.2 CO₂

Den målte CO₂-procent på de gennemførte tests ses i Figur 32. CO₂-procenten ligger højest på ask og på birk med 13 % fugt, hvor CO₂-procenten ligger omkring 7 %. Den laveste CO₂-procent ses for gran, hvor også den laveste ydelse blev opnået.

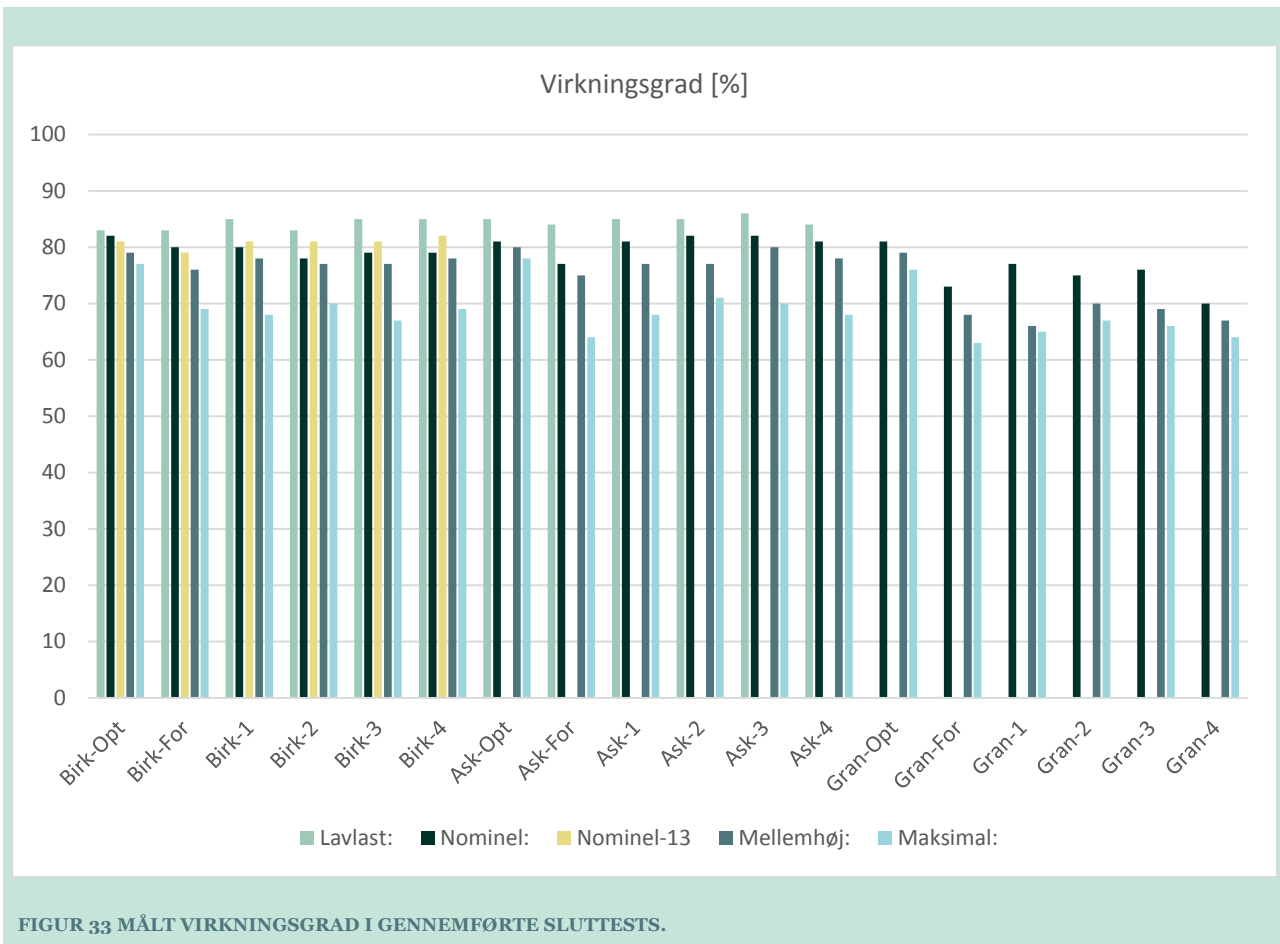
CO₂-procenten ligger generelt lavere på maksimal ydelse end på lavlast ydelse. Det stemmer overens med, at det er vanskeligt for ovnen at yde mere end den nominelle ydelse, i det spjældvandrigen kun tillader en mindre regulering.



FIGUR 32 MÅLT CO₂-PROCENT I GENNEMFØRTE SLUTTESTS.

6.3.3 Virkningsgrad

Virkningsgraden ligger på omkring 80 % i de gennemførte slutttests med birk og ask (Figur 33). Virkningsgraden for gran er omkring 5 % point lavere. Det har ikke været projektets formål at udvikle en ovn med høj virkningsgrad, og det opstillede succeskriterium for virkningsgraden har således blot været at opnå en passende nedkøling af røggasserne, som forlader ovnen, og sikre en tilfredsstillende virkningsgrad. En virkningsgrad, der opfylder DINplus kravet på 78 % er således tilfredsstillende.



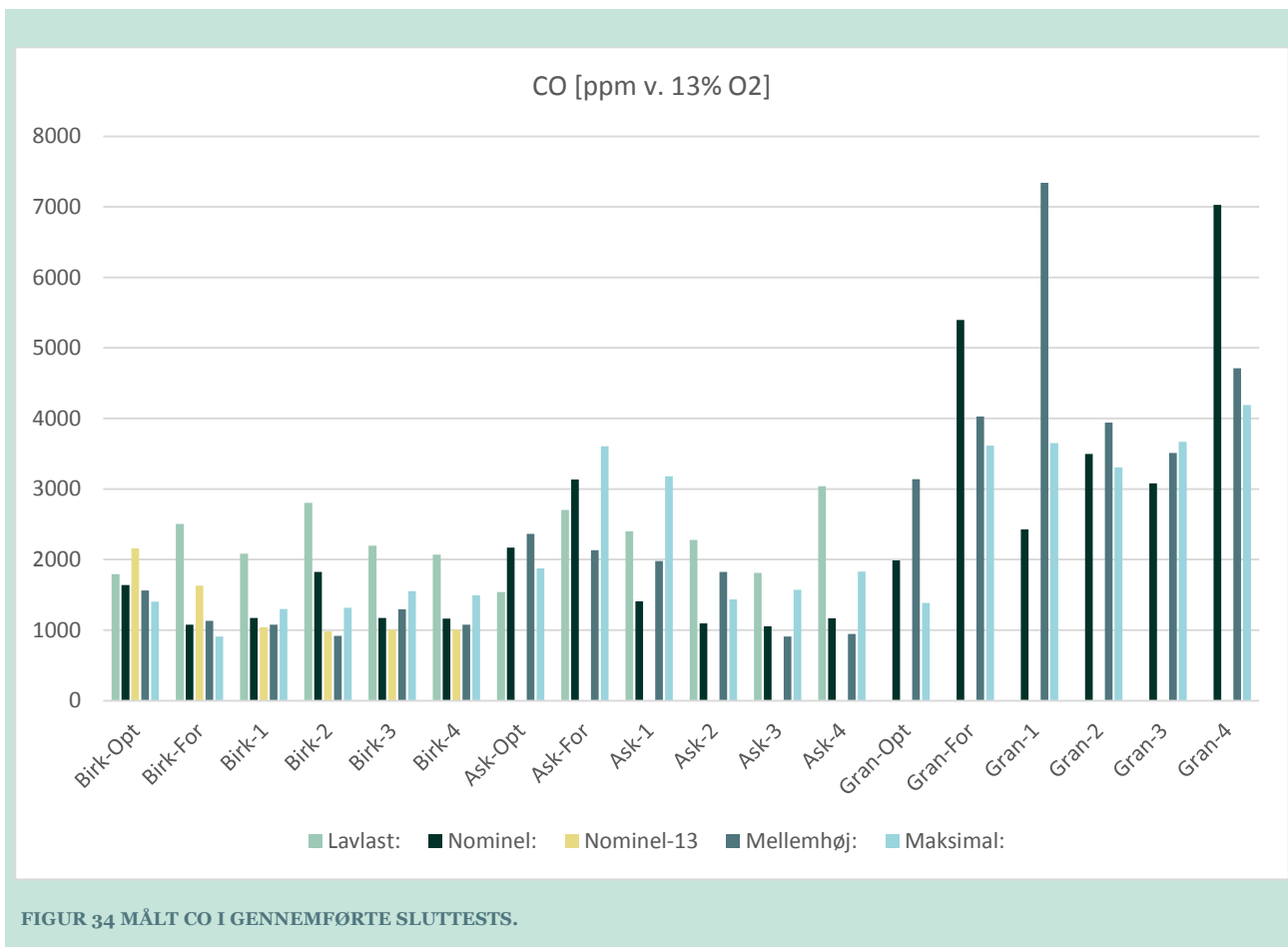
FIGUR 33 MÅLT VIRKNINGSGRAD I GENNEMFØRTE SLUTTESTS.

6.3.4 CO

Figur 34 viser den målte CO i ppm omregnet til 13 % O₂. CO niveauet for de nominelle tests ligger generelt lavest for birk med 13 % fugt med en værdi på knap 1000 ppm. Birk med højere fugtprocent og ask ligger omtrent ens med CO på omkring 1150 ppm i de nominelle tests. CO værdien er en del højere for gran, og har fyringsperioder, der stikker markant af fra de resterende. Sammenholdes perioder med høj CO med effekten i samme periode, ses der en sammenhæng der antyder, at forbrændingen har fået dårligt fat, og resultatet er således både høj CO, lav effekt og i øvrigt lav CO₂ %.

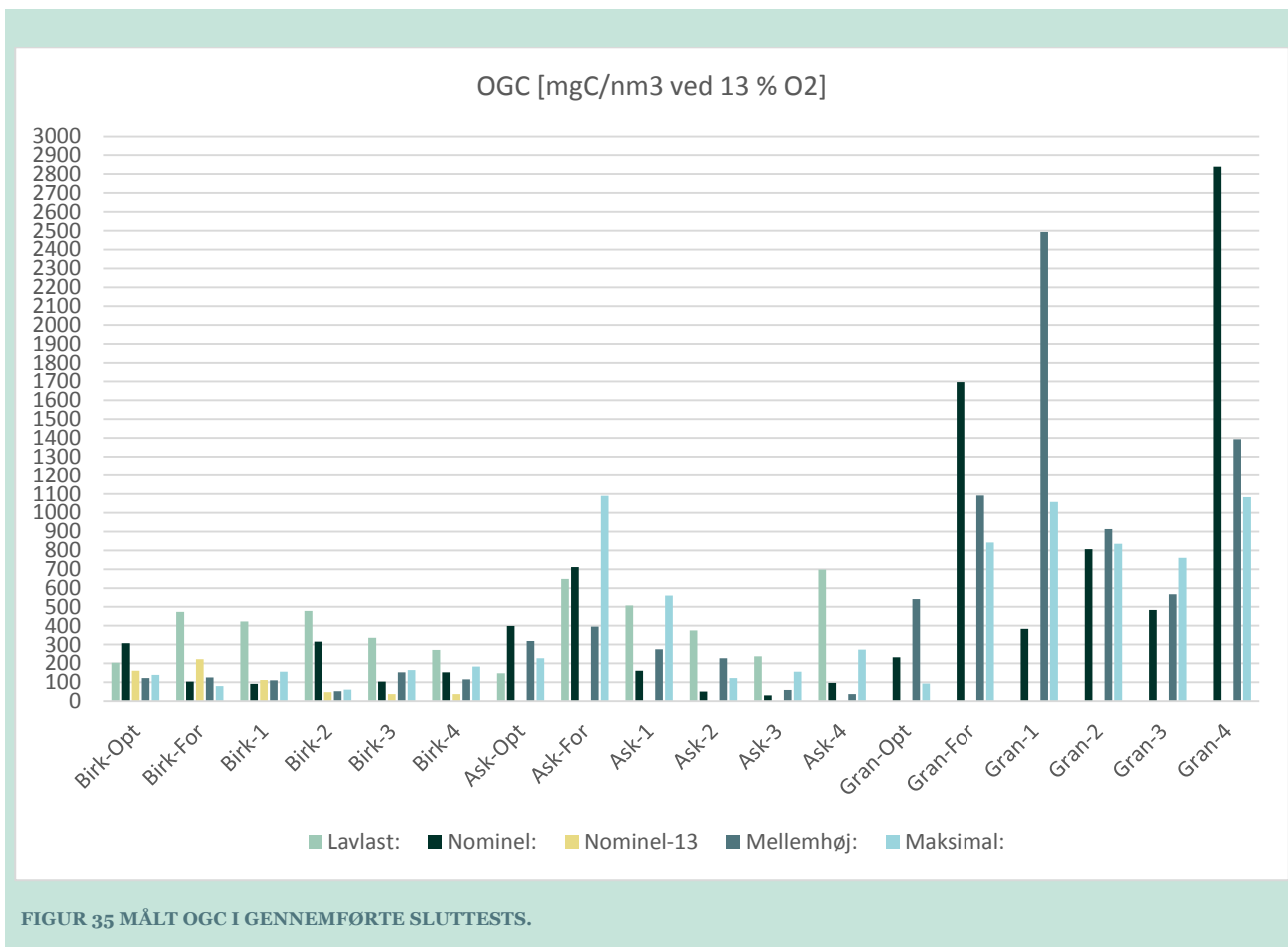
At der ses en større variation af forbrændingskvaliteten for gran end for de andre træsorter, kan hænge sammen med, at træet kan have været delvist afgasset. Det kan ikke ses på træet, men gør at forbrændingen starter svagt, og danner mere røg end normalt og ikke afbrænder pga. for lav temperatur.

Det observeres, at ovnen har den bedste regulering til den nominelle ydelse, hvor forbrændingsforholdene er mest optimale.



6.3.5 OGC

Resultaterne for OGC-målingerne afspejler det observerede billede for CO emissionerne i forholdet mellem gran kontra ask og birk. Resultaterne ses i Figur 35.



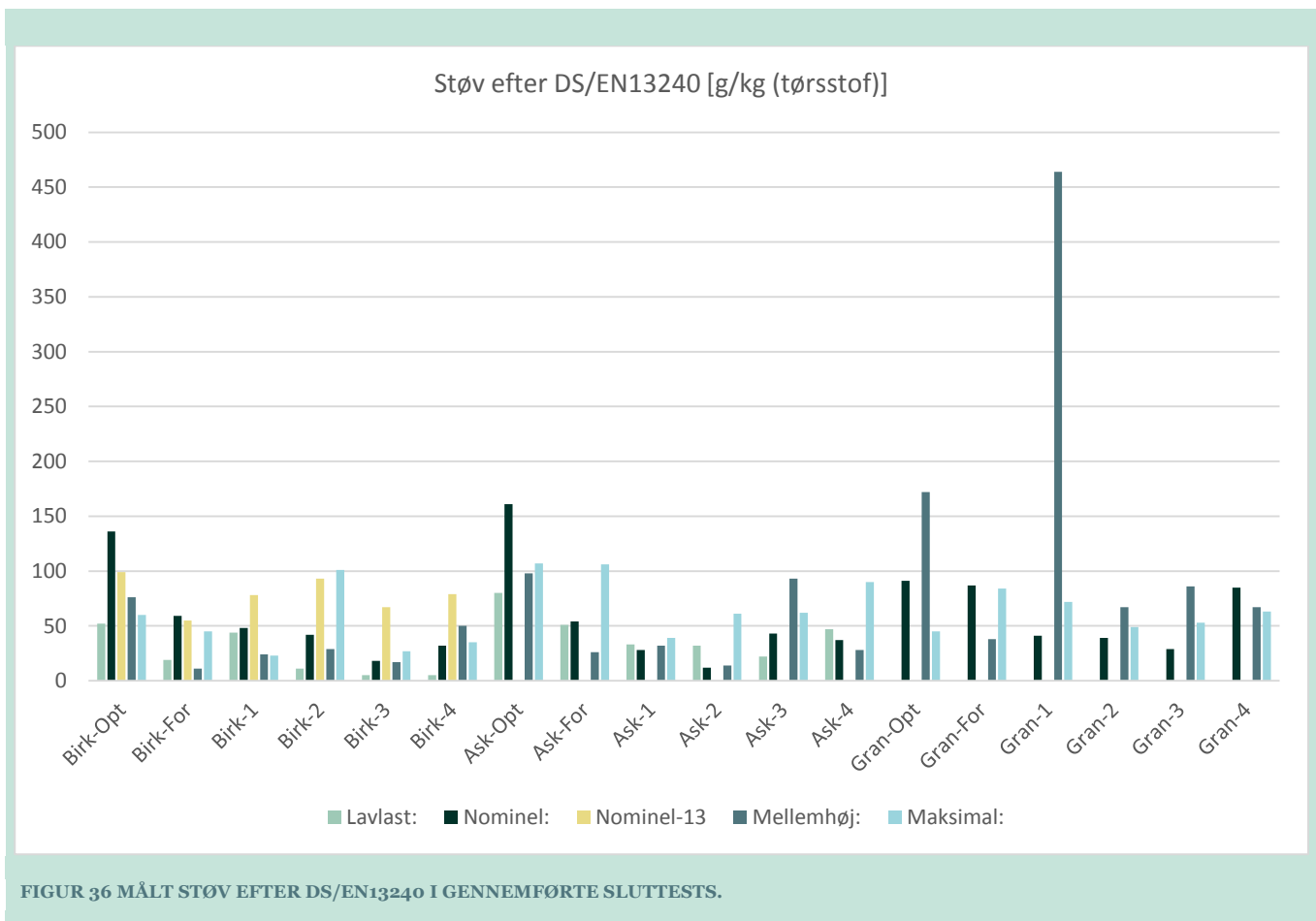
6.3.6 Støv målt efter DIN plus med fyring som anført i DS/EN13240

Som nævnt i 6.2 måles støv efter DIN plus med fyring som anført i DS/EN13240. Målingen foregår out-stack med opvarmet filter. Det anvendte instrument er af fabrikat Wöhler SM96. Målesonden skal i henhold til standarden indføres 3 minutter efter påfyring, og målingen skal vare 30 minutter. Resultaterne fra målingerne ses i Figur 36.

Støvemissionen er, med en enkelt afstikker, omtrentlig ens for alle nominelle fyringer efter optændingsperioden. Det skal bemærkes, at optændingsperioden ikke er omfattet af prøvning efter DS/EN13240. Det observeres samtidig, at forfyringen kun har en smule højere støvemission end de efterfølgende fyringer, hvilket tyder på, at ovnsens brændkammer hurtigt opnår høj temperatur.

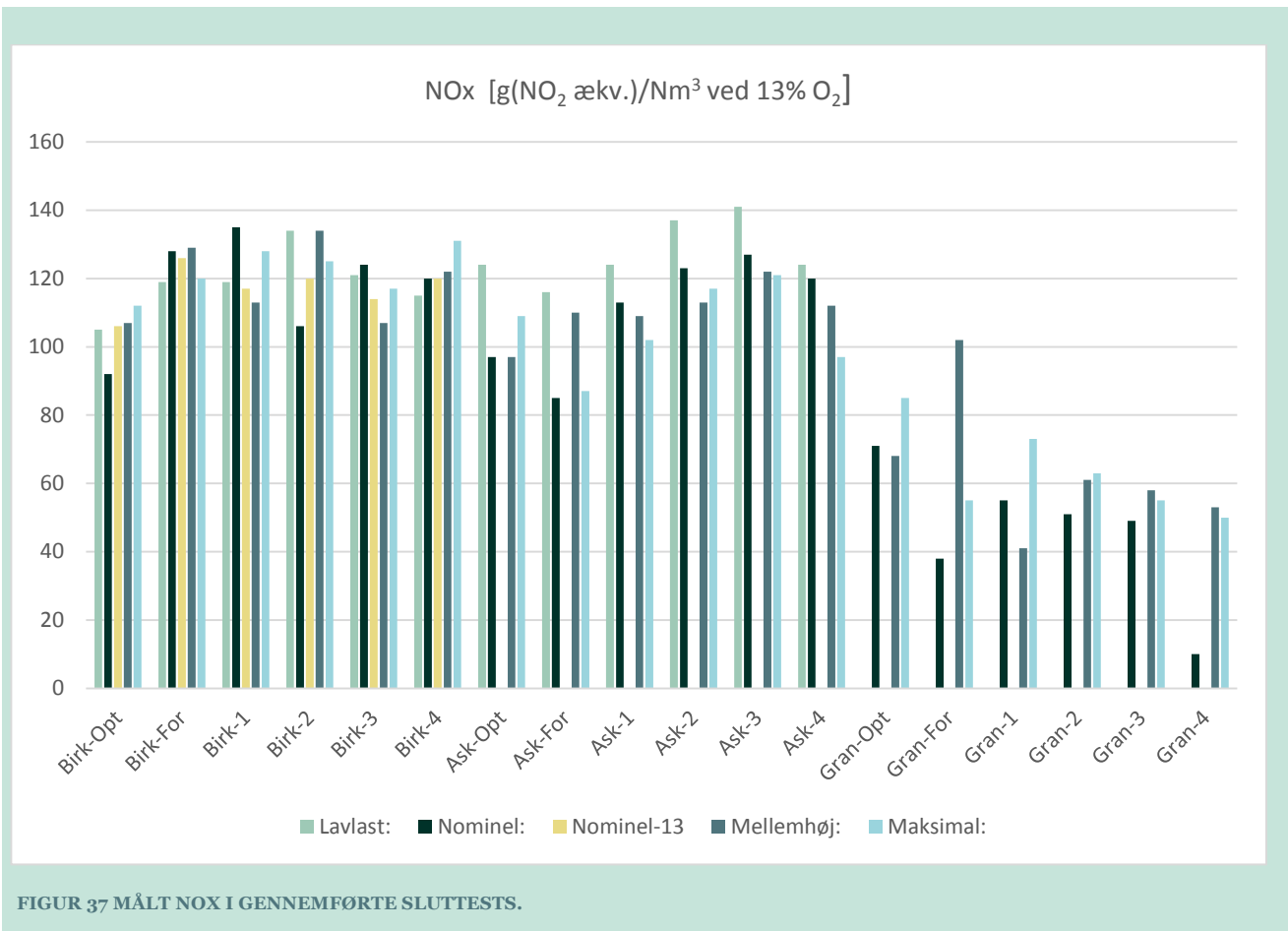
Sammenlignes de to typer birketræ med hinanden ses det, at birketræet med den laveste fugtprocent (13 %) har den højeste støvemission i de nominelle tests, hvilket er modsat CO emissionen. For OGC emissionen i de samme fyringer er billedet ikke entydigt.

Støvemissionen har tendens til at være højst i maksimal last og lavest i lavlast, hvis de enkelte træsorter betragtes isoleret.



6.3.7 NO_x

Resultaterne for NO_x målingerne ses i Figur 37. Modsat de tidligere sete tendenser for emissionerne, viser gran markant lavest NO_x. Der er ikke foretaget brændselsanalyser på de anvendte træsorter, men generelt er nitrogenindholdet på samme niveau for gran, ask og birk. I alle fyringerne er der anvendt afbarket træ. Forklaringen på, at gran resulterer i lavere NO_x, må findes i forskelligt nitrogenindhold i brændslet eller forskellen i forbrændingerne.

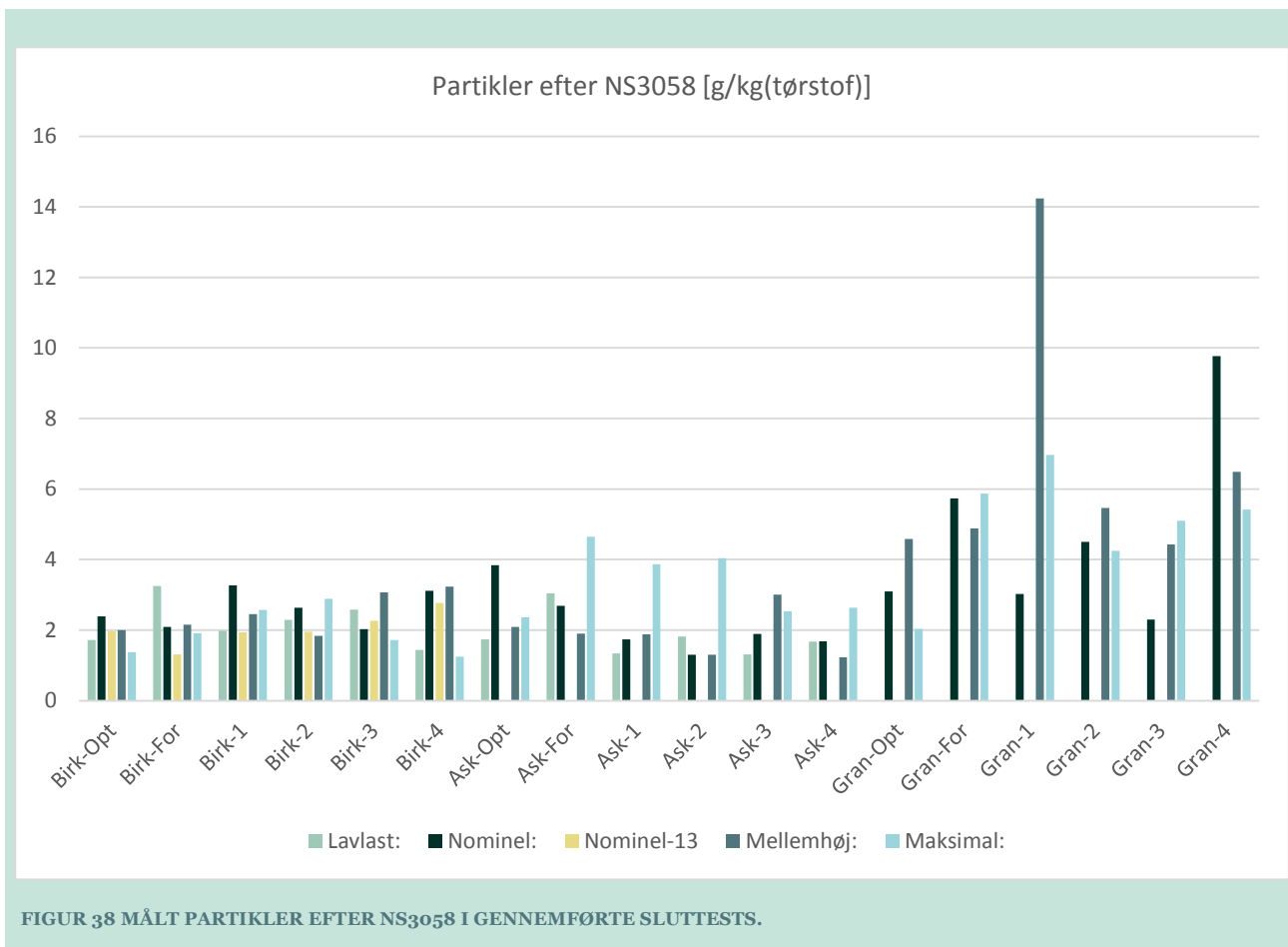


6.3.8 Partikler efter NS3058

Resultaterne for partikler målt gravimetrisk efter NS3058 i fortyndingstunnel ses i Figur 38. Partikler måles over hele nedbrændingen. I henhold til NS standarden måles på lægter, hvorfor resultaterne på brændekævlere af henholdsvis birk, ask og gran der er vist her, ikke direkte kan sammenlignes med gængse målinger udført efter standarden.

Partikelmålingerne efter NS3058 viser tydeligere forskel mellem de tre træsorter end det tidligere er set i støvmålingerne efter DIN plus. Årsagen kan muligvis findes i de 3 første minutter, der ikke medtages efter DIN plus men kun i NS. Såfremt gran har svære ved at antænde, vil denne forskel kun kunne observeres i målingerne i henhold til NS.

Som det sås under DIN plus støvmålingerne har støvemissionen også her tendens til at være højst i maksimalt last, og lavest i lavlast, isoleret betragtet for de enkelte træsorter.

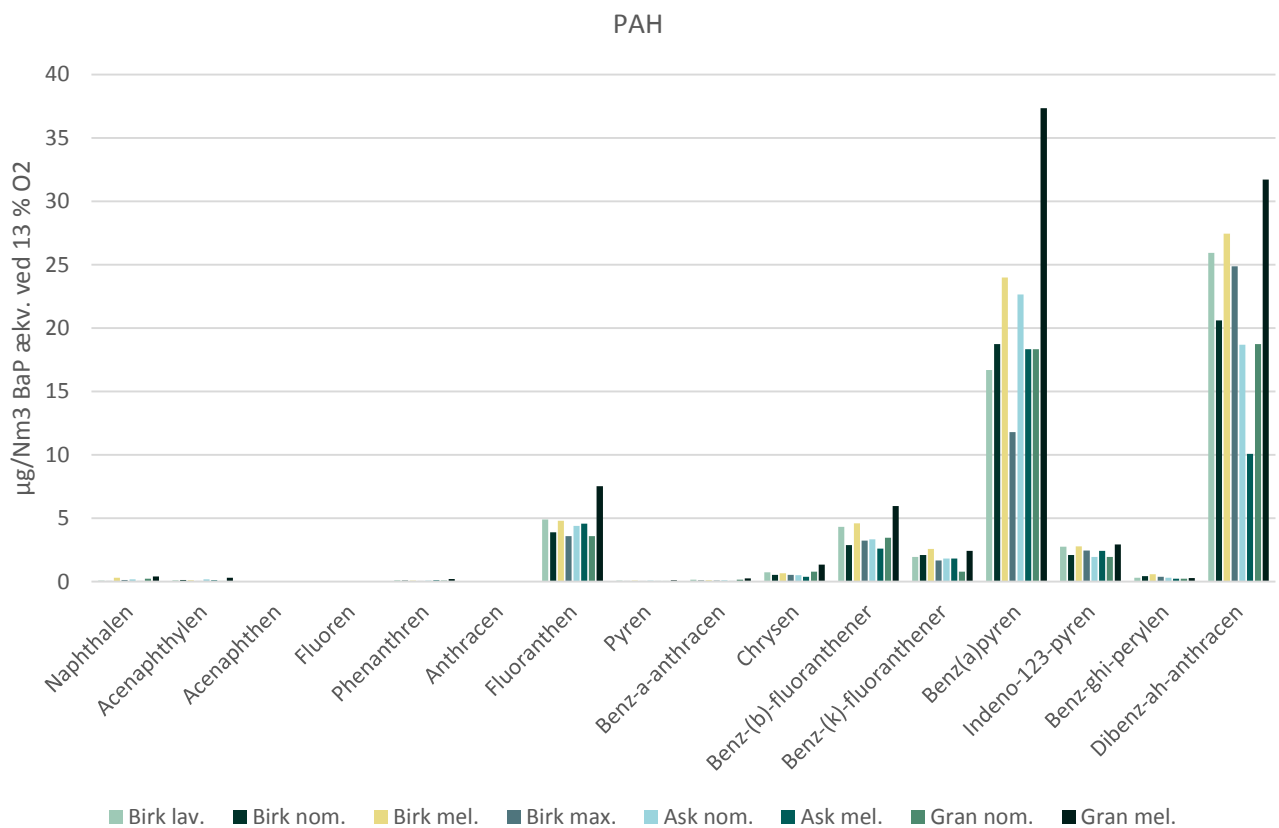


6.4 Sammenligning af resultater fra PAH målinger

I forbindelse med de øvrige emissionsmålinger er der gennemført en serie undersøgelser med henblik på at bestemme PAH-emissionen. Målingerne er udført iht. metodeblad nr. MEL-10, ”Bestemmelse af koncentrationer af Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)”, i strømmende gas. Følgende enkeltkomponenter er målt:

PAH-komponent	Ækvivalensfaktor
Naphthalen	0,001
Acenaphthylen	0,001
Acenaphthen	0,001
Fluoren	0,0005
Phenanthren	0,0005
Anthracen	0,0005
Fluoranthren	0,05
Pyren	0,001
Benz[a]anthracen	0,005
Chrysen	0,03
Benz[b]fluoranthener	0,1
Benz[k]fluoranthener	0,1
Benz[a]pyren	1
Indeno[1,2,3]pyren	0,1
Benz[ghi]perylen	0,01
Dibenz[ah]anthracen	1,1

De enkelte komponenters ækvivalensfaktor er udtryk for stoffernes toksicitet. De enkelte komponenters toksicitet vægtes i forhold til Benz[a]pyren (BaP), som er et stof, der er mistænkt for at være kræftfremkaldende. Ved at vægte de målte emissionsværdier med de ovenfor anførte ækvivalensfaktorer kan værdierne adderes, hvorved emissionen udtrykkes ved et enkelt tal, som er et objektivi udsagn om emissionens skadepotentiale. Den samlede PAH-emission udtrykkes således i BaP-ækvivalenter.



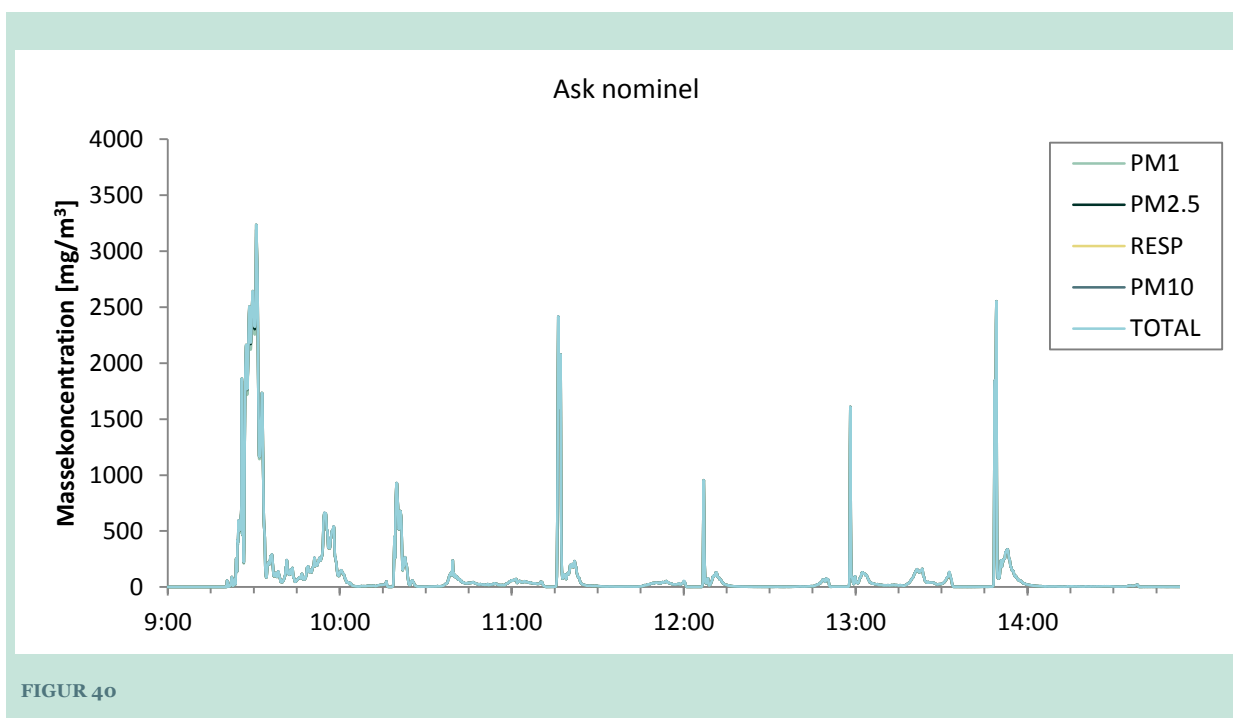
FIGUR 39 PAH EMISSION PÅ ENKELTKOMPONENTER

PAH (heldagsmåling)	µg/Nm ³ BaP ækv. ved 13 % O ₂
Birk lavlast	58
Birk nominel	52
Birk mellemhøj	68
Birk maksimal	49
Ask nominel	54
Ask mellemhøj	41
Gran nominel	49
Gran mellemhøj	91

TABEL 21 PAH EMISSION FOR HVER ENKELT TEST

6.5 Sammenligning af resultater fra DustTrak og SMPS

Nedenfor er vist en enkelt graf for partikelmasse målt med DustTrak som funktion af tid. Alle grafer findes desuden i Bilag 10. Under alle fyringer identificeres partikelmassen stort set kun som PM1 (partikler <1 µm), hvilket ses afspejlet i, at de fem viste kurver overlæjres. I flere af fyringerne har DustTrak ganske kortvarigt nået den øvre detektionsgrænse (start af fyring).

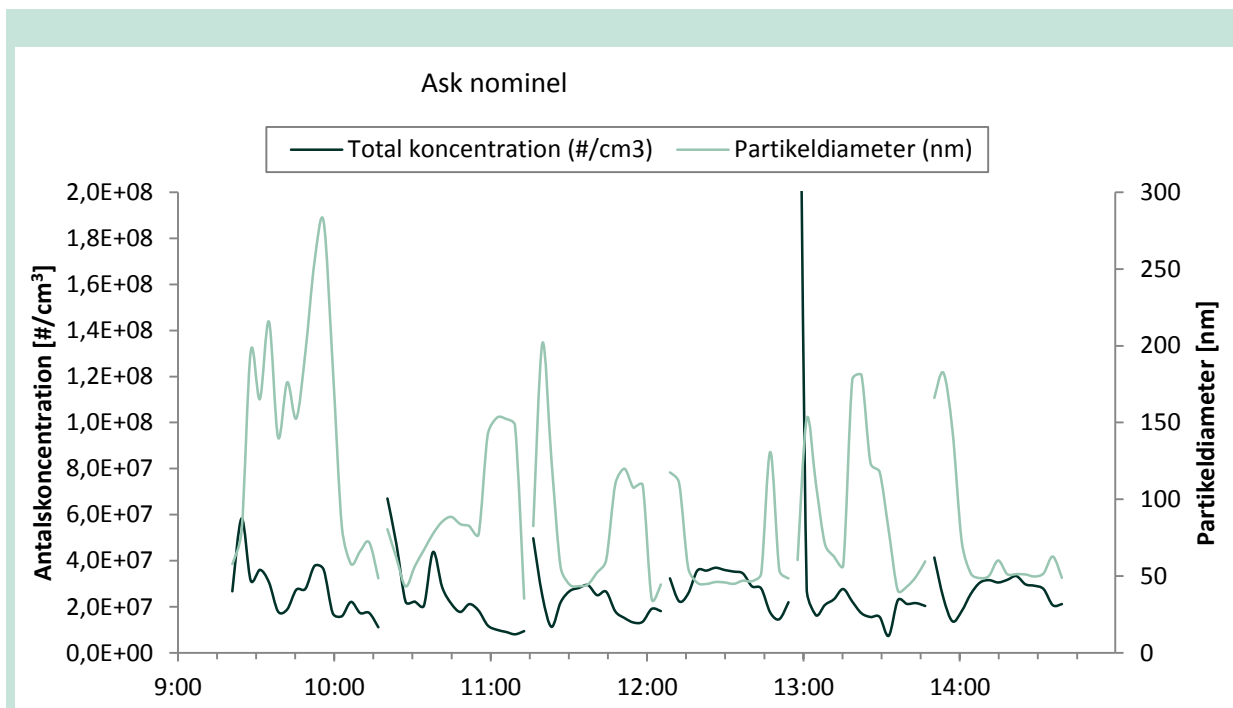


FIGUR 40

Test	Ask		Birk			Gran		
	Nominel	Nominel	Mellemhøj	Lavlast	Maksimal	Nominel	Mellemhøj	Maksimal
Charge	Middel-partikelmasse [mg/m ³]							
Opt.	372	229	85	254	68	328	626	111
FF	67	78	38	183	98	342	179	-
1	77	177	86	125	100	188	747	-
2	24	153	43	98	148	235	164	-
3	48	77	126	148	53	59	113	-
4	64	169	179	65	63	945	182	-

TABEL 22 MIDDEL-KONCENTRATION (TOTAL PM) MÅLT MED DUSTTRAK I NORSK FORTYNDERTUNNEL. MIDDELVÆRDIEN AF MASSEN ER ANGIVET FOR SAMME PERIODE SOM NORSK FILTEROPSAMLING DVS. HELE PERIODEN AF HVER ENKELT FYRING.

Ud over de massebaserede partikelmålinger med DustTrak er der foretaget partikeltælling og partikelstørrelsesmåling med SMPS. SMPS tæller partikler i op til 128 fraktioner i størrelsesintervallet 2-1000 nm. Nedenfor er vist graf for nominel prøvedag med asketræ. Grafer fra andre måledage findes i bilag 10. Tabeller med middelantalskoncentration og middelpartikeldiameter ses nedenfor.



FIGUR 41

Test	Ask		Birk			Gran		
	Nominel	Nominel	Mellemhøj	Lavlast	Maksimal	Nominel	Mellemhøj	Maksimal
Charge	Antalskoncentration [$\times 10^7$ partikler/cm ³]							
Opt.	2,7	1,7	2,3	2,4	2,9	7,1	-	4,7
FF	2,4	3,7	5,3	3,3	6,2	8,2	14	40
1	2,3	3,5	2,5	3,8	3,9	4,2	14	-
2	2,9	5,1	3,0	2,9	5,8	11	21	-
3	4,3	12	4,1	2,4	2,2	12	14	-
4	2,7	5,4	6,9	7,6	2,8	9,6	23	-

TABEL 23 MIDDEL-ANTALSKONCENTRATION FOR DE RESPEKTIVE FYRINGER MÅLT MED SMPS. ANTALSKONCENTRATIONEN AF PARTIKLER ER MIDLET OVER HVER ENKELT FYRINGSPERIODE, SAMMENLIGNELIG MED NORSK STØVMÅLING.

Test Charge	Ask		Birk			Gran		
	Nominel	Nominel	Mellemhøj	Lavlast	Maksimal	Nominel	Mellemhøj	Maksimal
Middel-partikeldiameter [nm]								
Opt.	143	133	134	123	123	94	-	103
FF	90	131	81	124	103	82	65	53
1	82	135	101	146	57	84	93	-
2	64	94	99	115	111	70	61	-
3	92	105	58	123	65	49	50	-
4	76	130	125	73	67	106	47	-

TABEL 24 MIDDEL-PARTIKELDIAMETER FOR DE RESPEKTIVE FYRINGER. PARTIKELSTØRRELSEN ER MIDLET OVER HVER ENKELT FYRINGSPERIODE, SAMMENLIGNELIG MED NORSK STØVMÅLING.

Det ses, at gran har den højeste middelpartikelkoncentration, og generelt set også den højeste middelpartikelmasse. Derimod er middelpartikeldiameteren på samme niveau for alle brændsler. Sammenholdes resultaterne med eksempelvis SMPS målinger i Miljøstyrelsesprojekt MiljøKat (MST-141-00287) er middelantalskoncentrationen for ask og birk på niveau med eller mindre end de værdier, der ses for den moderne ovn uden katalysator, der blev målt på i daværende projekt. Her var brændslet også birk. Middelpartikeldiameteren er i sammen størrelsesorden.

6.6 Sammenfatning

De gennemførte miljøundersøgelser på den endelige version af LOLE-ovnen viser, at der kan opnås resultater, der lever op til gældende DIN plus og Svanekrav. Ovnens ydelse ligger på 2,9 kW og flammebilledet fremstår klart og normalt.

Tabel 25 viser testperioder, der er udvalgt til at sammenligne gældende og kommende DIN plus krav samt svanekrav. De 2 første kolonner med testresultater er målt over 3 på hinanden følgende charges i henhold til den kommende DIN plus standard, og den sidste kolonne med testresultater er målt over de 2 bedste charges ud af 3 på hinanden følgende charges i henhold til de gældende DIN plus krav (her 2. og 4. charge).

Variant	Birk Mellemhøj 3 charge	Birk-13 Nominel 3 charge	Birk Mellemhøj charge 2 og 4	Kommende Krav DINplus	Krav DIN plus	Krav Svane
Røggastemperatur [°C ved 20 °C]	199	191	201			
Virkningsgrad [%]	77	81	77	78	75	75
Effekt [kW]	2,9	3,2	2,9			
CO ₂ [%]	6,1	7,2	6,2			
CO ved 13 % O ₂ [%]	0,1097	0,0997	0,1000	0,1000	0,1200	0,1360
Org. Kulstof OGC ved 13 % O ₂ [mgC/Nm ³]	107	41	84	120	120	120
NOx ved 13 % O ₂ (mg/Nm ³ Som NO ₂)	121	118	128	200	200	-
Støv ved 13% O ₂ [mg/Nm ³]	32	80	40	40	75	*

TABEL 25 OMREGNEDE MIDDELVÆRDIER FOR TRE VALGTE CHARGES, DER KAN GIVE DIN PLUS GODKENDELSE I FORHOLD TIL NYE KOMMENDE KRAV PR. 01.01.2015. *NS 3058/3059 KRAV.

De gældende DIN plus krav er fint opfyldt i den sidste test med Birk Mellemhøj (charge 2 og 4). Svanekravene er tidligere opfyldt med tillæg af NS 3058/3059 Afsnit 5.6. Mellemhøj kan uden videre omdøbes til nominel ydelse, hvis producenten ønsker det.

Slutmålingerne kan ikke direkte opfylde de kommende DIN plus krav. I den ene test er CO og virkningsgrad lidt for dårlige og i den anden test er støvemissionen for høj. Det vurderes dog, at med et par ekstra fyringsforsøg og lidt justering af bl.a. luften ville ovnen godt kunne bringes til at opfylde de kommende DINplus krav. I de indledende målinger i projektet er der opnået resultater, som kan opfylde de kommende DINplus krav. De kommende DINplus krav som er gældende fra 1/1 2015, er dateret september 2011, som ligger samtidig med projektansøgningstidspunktet.

Referencer

Brændeforbrug i Danmark 2011; Tasknummer 112-21633

DS/EN 13240:2001 Rumopvarmere fyret med fastbrændsel – krav og testmetoder

DINplus Zertifizierungsprogramm:2011 nach EN 13240

DS/CEN/TS 15883:2009 Apparater til fast brændsel til husholdningsbrug – Metoder til emissionsprøvning

Miljøprojekt nr. 535, 2000) med titlen: Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler.

Miljøstyrelsesprojekt MST-141-00287, MiljøKat – En katalytisk enhed til røggasrensning på brændeovne og –kedler, 2010-2013.

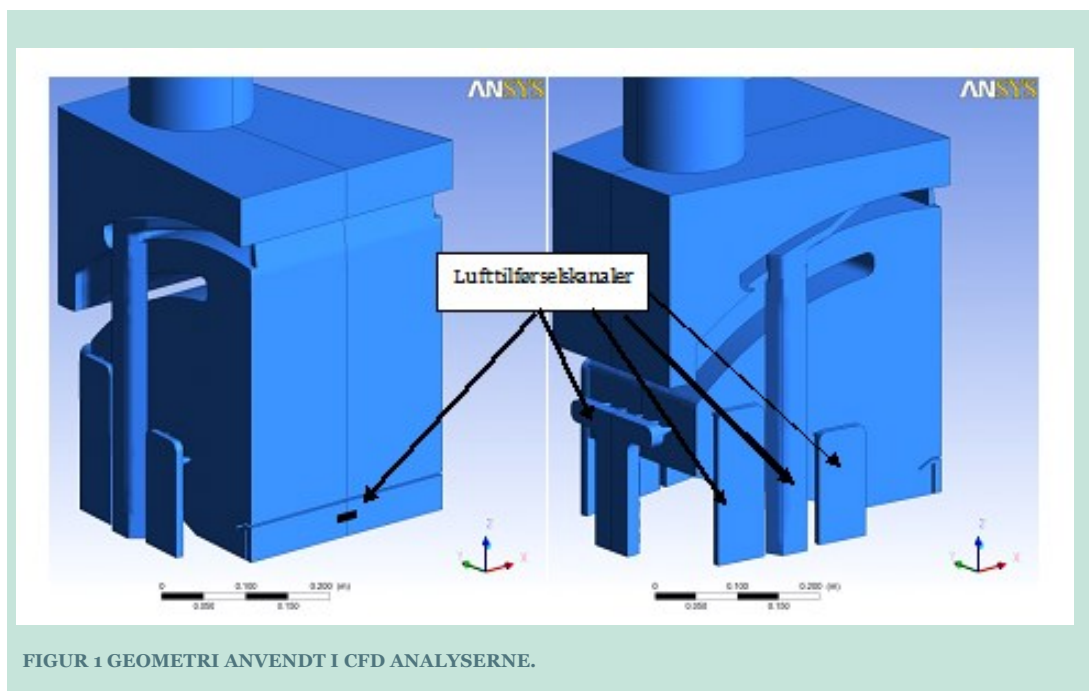
Bilag 1: Baggrund for CFD

Baggrund for CFD, der er en forkortelse af Computational Fluid Dynamics, som anvendes til at modellere termiske og strømningrelaterede 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. Fremgangsmåden til opbygning af en model er følgende:

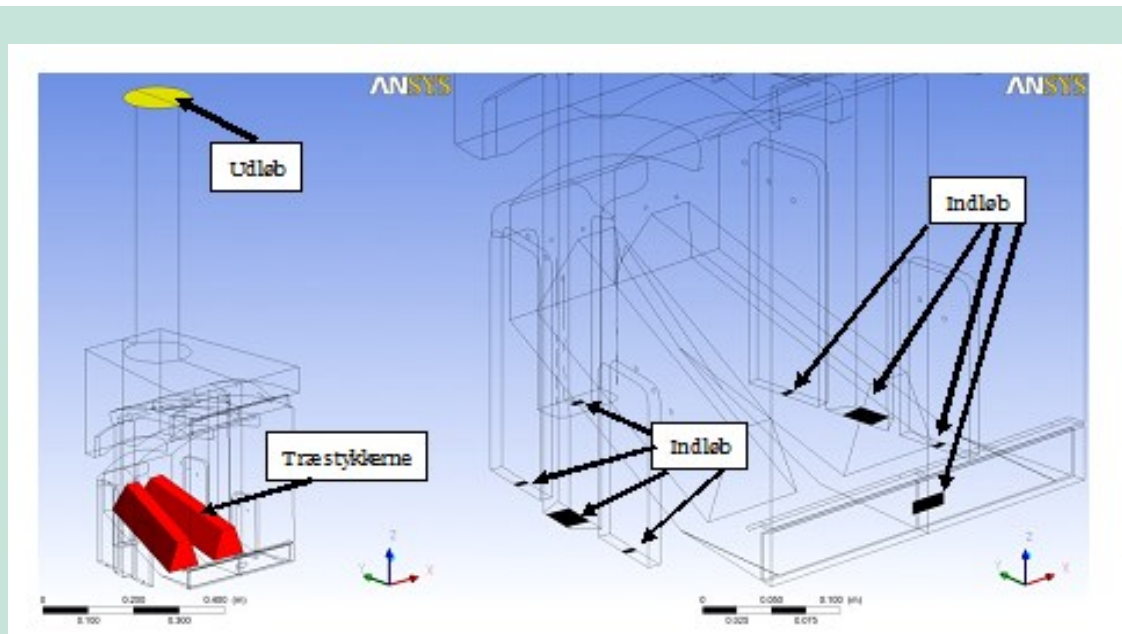
- Man genererer en geometri som man ønsker at underkaste en fluidmekanisk undersøgelse. Oftest er det 3D CAD tegning. I modsætning til en faststofmekaniske analyse er man interesseret i områder omkring de faste objekter altså område hvor luften eller en anden fluid strømmer omkring.
- Der anlægges et 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 differentieligninger 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 1. Geometrien indeholder brændkammer med dertilhørende lufttilførselskanaler. Der er 3 kanaler på begge sider af brændkammeret samt en foran og en bag.

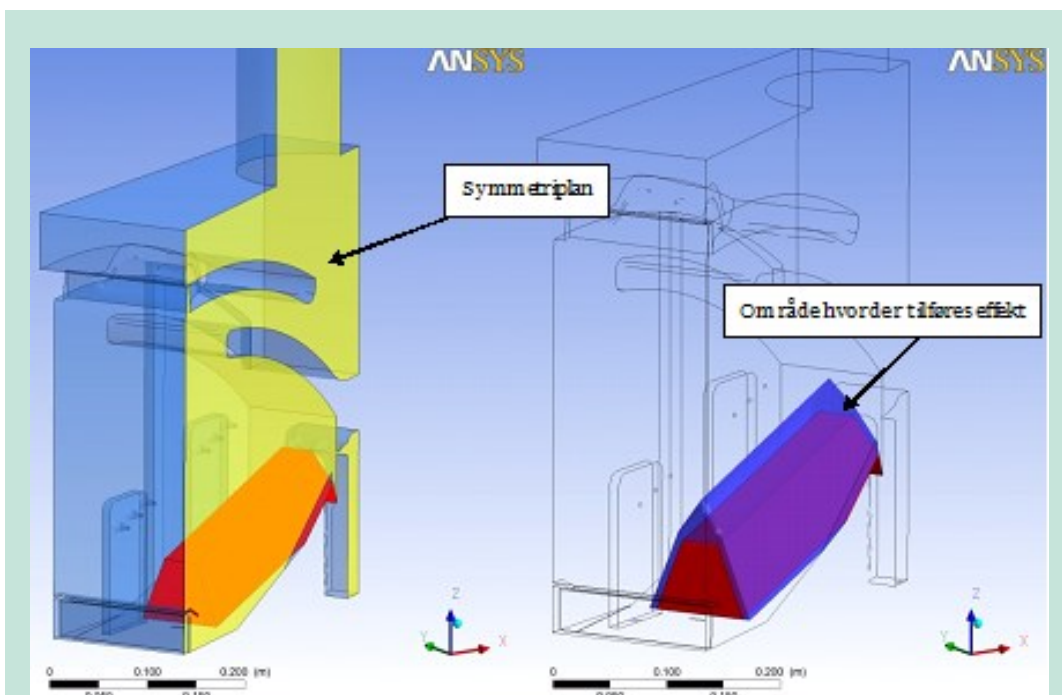


På bunden af brændkammer er der tegnet 2 geometriske forhindringer der skal forestille 2 stykker træ lagt ved siden (Figur 2). Det er af særlig interesse hvordan forbrændingsluften strømmer ind i brændkammeret, og hvordan luften strømmer omkring træstykkerne.



FIGUR 2 PLACERING AF INDLØB OG UDLØB SAMT TRÆSTYKKERNE I CFD MODELLEN

Brændkammeret er symmetrisk omkring YZ planen. Der er derfor anlagt en symmetriplan jævnfør Figur 3 og kun simuleret den ene halvdel af brændkammeret. Træstykkerne er modelleret som et "solid" forhindring. Selve forbrændingsdelen er væsentlig forsimplet. I stedet for at modellere forbrænding, blev der anlagt en volumen omkring træstykket, hvor der bliver tilført en varmeeffekt svarende til spildvarmen, se Figur 3.



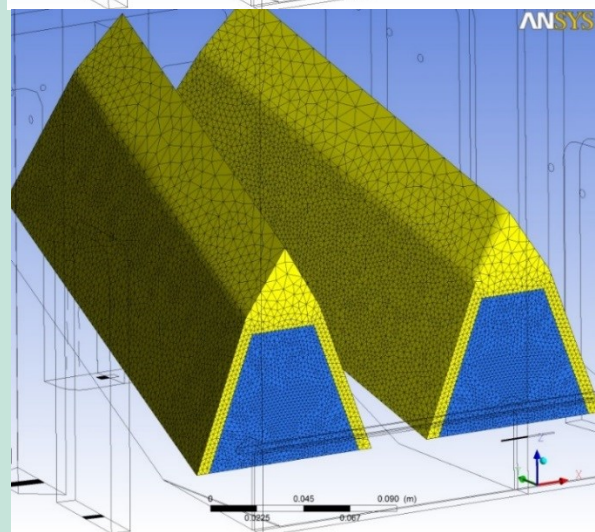
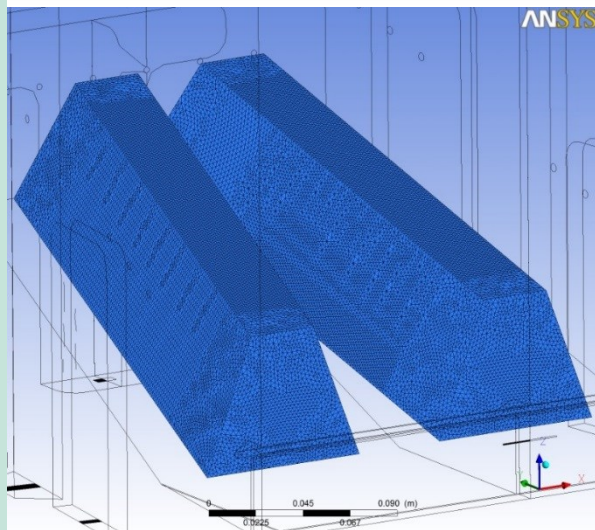
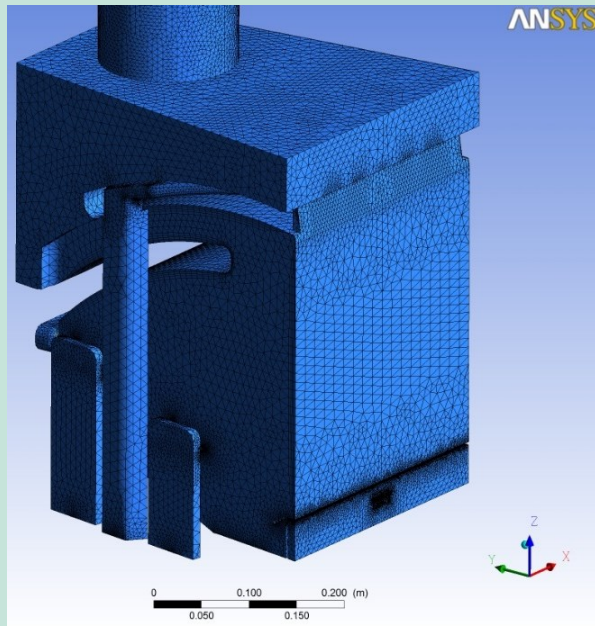
FIGUR 3 TIL VENSTRE: CFD MODEL TIL HØJRE TERMISK AKTIVT VOLUMEN, HVORFRA DER TILFØRES EN EFFEKT, OG DERMED SIMULERES SELVE FORBRÆNDINGENS INDFLYDELSE PÅ LUFTFLOW I FORBRÆNDINGSKAMMERET

I tabellen 1 er grænsekonditioner vist. Det er en stationær model og der anvendes en SST turbulens model. Som grænsebetingelse er der anlagt fri åbning ved alle indløb, og ved udløb er der anlagt sugetryk svarende til 18Pa. Sugetrykket justeres således, at røggasudløbstemperaturen er ca. 270 °C. Dette giver røggastab på ca. 800W som området omkring træstykkerne anvist i figur 3.

Simuleringstype	Stationær
Turbulensmodel	SST
Indløbskonditioner:	
Type	Fri åbning
Åbningstryk	0 Pa
Åbningstemperatur	25°C
Udløbskonditioner:	
Type	Udløb
Åbningstryk	-18 Pa

TABEL 26 GRÆNSEKONDITIONER

Anlagt mesh er vist i figur 4. Mesh består af ustruktureret tetrahedra elementer. Der er genereret et mesh med ca. 1.500.000 tetrahedral elementer og 346.000 noder.



FIGUR 4 MESH AF USTRUKTUREREDE TETRAHEDRA ELEMENTER

Bilag 2: Effekt - resultater fra slutttests

Effekt Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	5,3	2,5	2,8	2,6	2,6	2,6
Nominel:	5,5	3,0	2,9	2,8	2,9	2,9
Mellemhøj:	5,0	2,9	3,0	2,9	2,8	2,9
Maksimal:	5,2	2,9	2,8	3,1	2,5	2,7

Effekt Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	4,1	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8
Nominel:	4,9	2,6	3,1	3,1	3,1	3,0
Mellemhøj:	6,2	2,7	2,8	2,7	3,3	3,2
Maksimal:	5,6	2,4	2,2	3,2	3,1	2,8

Effekt Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	4,6	2,2	2,6	2,3	2,3	2,1
Mellemhøj:	4,9	2,0	1,8	2,6	1,9	2,0
Maksimal:	4,7	2,2	2,3	2,5	2,2	2,0

Effekt Birk-13%	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	6,0	3,0	3,2	3,1	3,2	3,0

Effekt oplyst i [kW]

Bilag 3: CO₂ - resultater fra slutttests

CO ₂ Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	8,7	5,7	6,0	5,8	6,1	6,1
Nominel:	7,3	6,8	6,2	5,8	6,3	5,9
Mellemhøj:	7,1	5,7	6,1	6,0	5,9	6,4
Maksimal:	6,3	5,2	4,9	5,5	4,6	5,2

CO ₂ Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	6,8	6,0	6,2	6,6	7,0	6,0
Nominel:	7,1	5,0	6,5	7,1	7,1	6,8
Mellemhøj:	8,2	4,9	5,7	5,8	7,1	6,8
Maksimal:	6,6	4,0	4,3	5,2	5,3	5,0

CO ₂ Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	7,6	4,8	5,9	5,4	5,7	4,2
Mellemhøj:	7,5	4,2	3,5	4,9	4,3	3,9
Maksimal:	6,9	4,2	4,2	4,5	4,3	3,9

CO ₂ Birk-13 %	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	8,9	6,5	6,9	7,0	7,2	7,4

CO₂ oplyst i [%]

Bilag 4: Virkningsgrad - resultater fra slutttests

Virk Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	83	83	85	83	85	85
Nominel:	82	80	80	78	79	79
Mellemhøj:	79	76	78	77	77	78
Maksimal:	77	69	68	70	67	69

Virk Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	85	84	85	85	86	84
Nominel:	81	77	81	82	82	81
Mellemhøj:	80	75	77	77	80	78
Maksimal:	78	64	68	71	70	68

Virk Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	81	73	77	75	76	70
Mellemhøj:	79	68	66	70	69	67
Maksimal:	76	63	65	67	66	64

Virk Birk-13 %	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	81	79	81	81	81	82

Virk (virkningsgrad) oplyst i [%]

Krav til virkningsgrad i DIN plus: 78 [%]

Bilag 5: CO - resultater fra slutttests

CO Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	1793	2506	2082	2802	2195	2068
Nominel:	1637	1079	1174	1824	1173	1164
Mellemhøj:	1563	1132	1075	919	1296	1076
Maksimal:	1402	907	1298	1316	1554	1494

CO Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	1539	2703	2401	2280	1812	3040
Nominel:	2169	3134	1407	1096	1053	1166
Mellemhøj:	2363	2133	1977	1823	909	947
Maksimal:	1876	3607	3182	1433	1571	1829

CO Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	1989	5395	2426	3495	3079	7029
Mellemhøj:	3140	4028	7340	3941	3513	4710
Maksimal:	1387	3614	3652	3308	3668	4190

CO Birk-13 %	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	2161	1629	1039	982	1005	1003

Anført i [ppm ved 13 % O₂]

Krav i DIN plus: 1000 [ppm ved 13% O₂]

Bilag 6: OGC - resultater fra slutttests

OGC Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	204	473	422	478	337	272
Nominel:	308	104	92	315	104	153
Mellemhøj:	122	125	110	52	153	116
Maksimal:	139	80	157	61	165	184

OGC Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	148	649	508	375	238	697
Nominel:	399	711	162	51	30	97
Mellemhøj:	320	396	275	228	59	38
Maksimal:	227	1089	561	123	157	273

OGC Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	232	1698	384	806	483	2840
Mellemhøj:	542	1091	2494	913	567	1394
Maksimal:	94	842	1058	836	760	1083

OGC Birk-13 %	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	162	223	112	48	37	37

Anført i [mgC/Nm³ ved 13 % O₂]

Krav i DIN plus: 120 [mgC/Nm³ ved 13 % O₂]

Bilag 7: Støv - resultater fra slutttests

Støv Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	52	19	44	11	5	5
Nominel:	136	59	48	42	18	32
Mellemhøj:	76	11	24	29	17	50
Maksimal:	60	45	23	101	27	35

Støv Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	80	51	33	32	22	47
Nominel:	161	54	28	12	43	37
Mellemhøj:	98	26	32	14	93	28
Maksimal:	107	106	39	61	62	90

Støv Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	91	87	41	39	29	85
Mellemhøj:	172	38	464	67	86	67
Maksimal:	45	84	72	49	53	63

Støv Birk-13%	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	99	55	78	93	67	79

Anført i [mg/Nm³ ved 13% O₂]

Krav i DIN plus: 40 [mg/Nm³ ved 13% O₂]

Bilag 8: NO_x - resultater fra slutttests

NO _x Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	105	119	119	134	121	115
Nominel:	92	128	135	106	124	120
Mellemhøj:	107	129	113	134	107	122
Maksimal:	112	120	128	125	117	131

NO _x Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	124	116	124	137	141	124
Nominel:	97	85	113	123	127	120
Mellemhøj:	97	110	109	113	122	112
Maksimal:	109	87	102	117	121	97

NO _x Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	71	38	55	51	49	10
Mellemhøj:	68	102	41	61	58	53
Maksimal:	85	55	73	63	55	50

NO _x Birk-13 %	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	106	126	117	120	114	120

Anført i [mg(NO₂ ækv.)/Nm³ ved 13% O₂]

Krav i DIN plus: 200 [mg(NO₂ ækv.)/Nm³ ved 13% O₂]

Bilag 9: Partikler - resultater fra sluttests

Partikler Birk	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	1,72	3,25	1,98	2,29	2,58	1,44
Nominel:	2,39	2,09	3,27	2,63	2,03	3,11
Mellemhøj:	2,00	2,15	2,45	1,84	3,07	3,23
Maksimal:	1,37	1,91	2,57	2,89	1,72	1,25

Partikler Ask	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Lavlast:	1,74	3,04	1,34	1,82	1,31	1,67
Nominel:	3,84	2,69	1,74	1,30	1,89	1,68
Mellemhøj:	2,09	1,90	1,88	1,30	3,01	1,23
Maksimal:	2,36	4,65	3,87	4,04	2,53	2,63

Partikler Gran	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	3,10	5,73	3,02	4,50	2,30	9,77
Mellemhøj:	4,58	4,88	14,24	5,46	4,43	6,49
Maksimal:	2,04	5,87	6,97	4,25	5,10	5,42

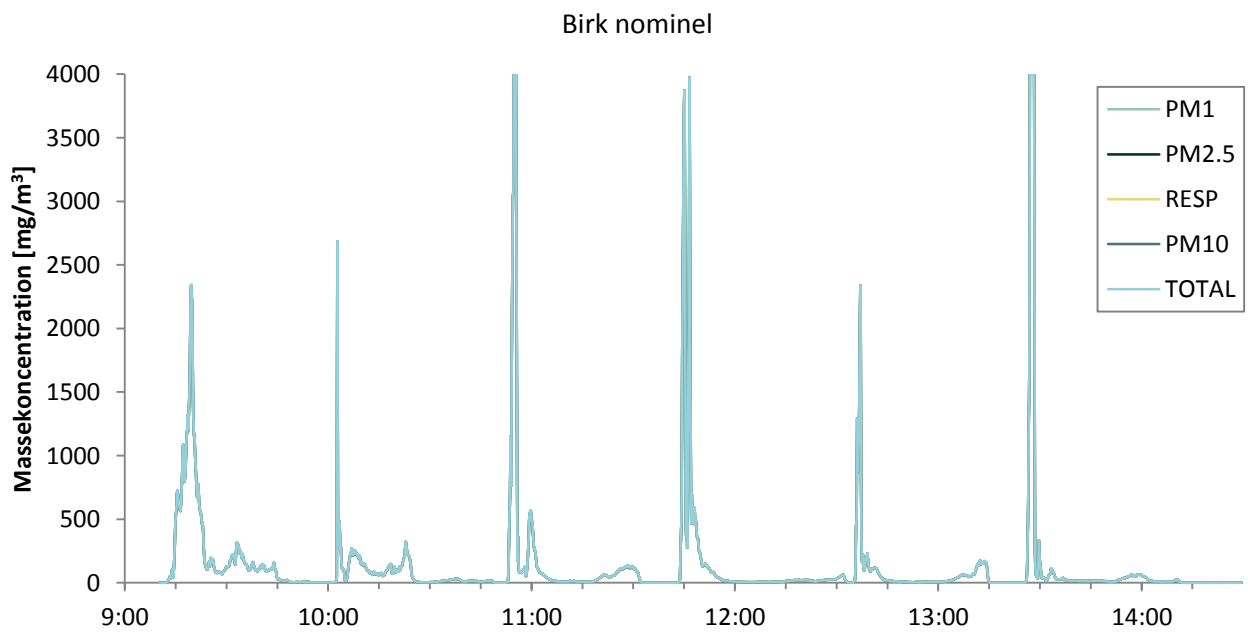
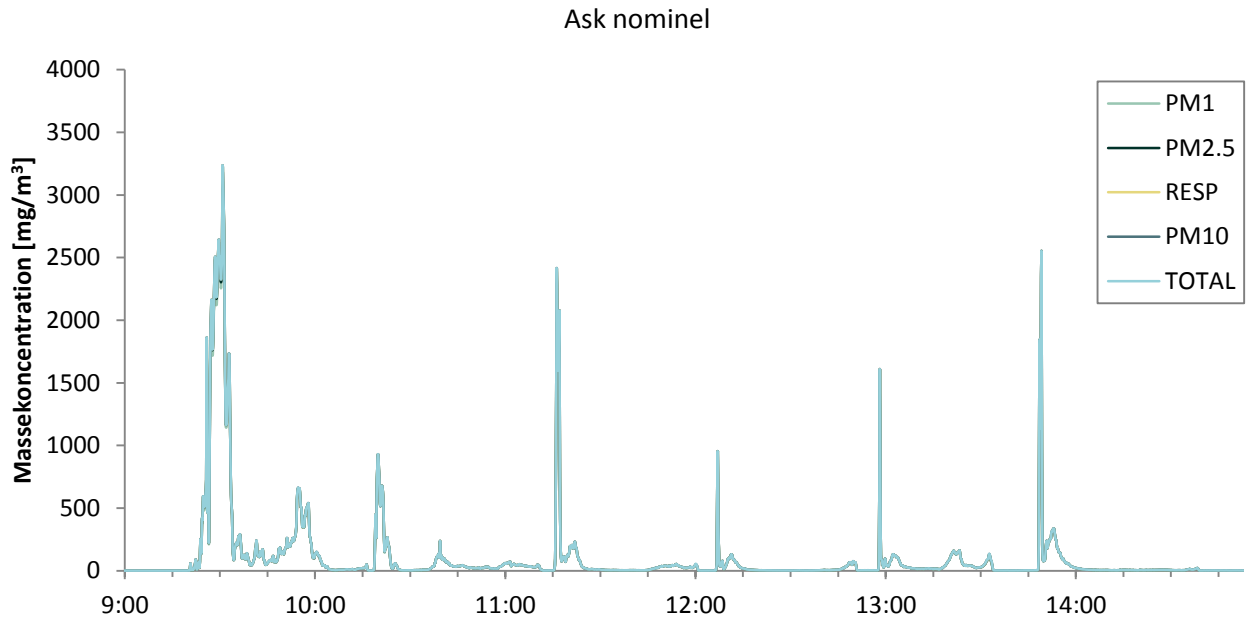
Partikler Birk 13 %	Optænding	Forfyring	1-charge	2-charge	3-charge	4-charge
Nominel:	1,97	1,31	1,94	1,95	2,26	2,77

Oplyst i [g/kg(tørstof)]

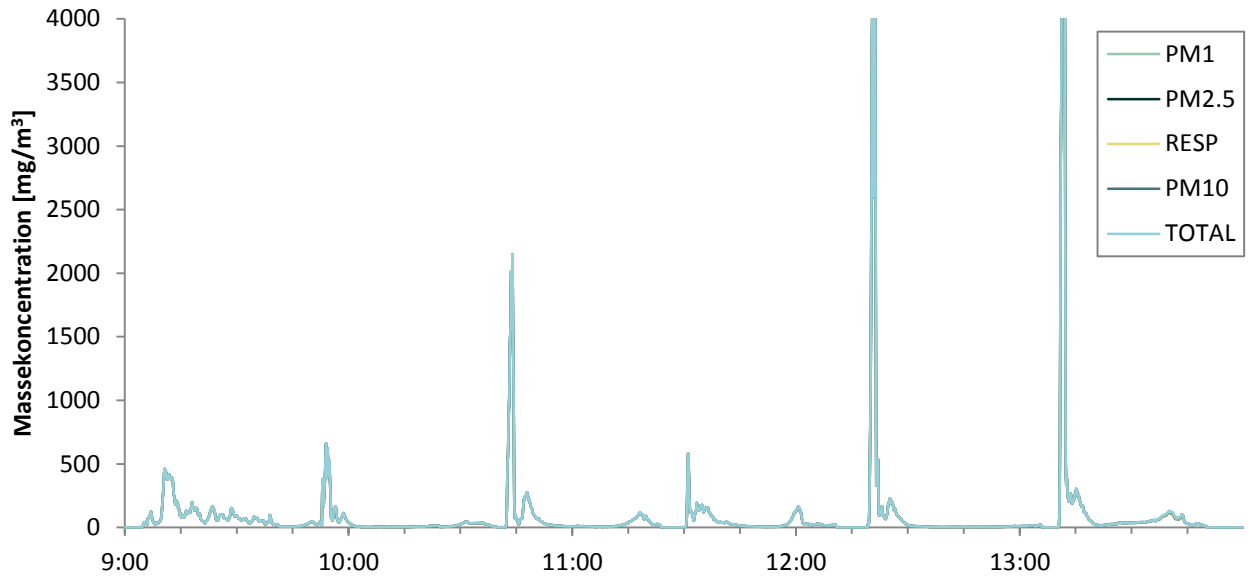
Partikler er udtaget ved maksimalt 35°C, og der er ingen krav for disse fyringsmønstre.

Svanemærkekravet er til sammenligning 4,0 g/kg(Tørstof) dog fyret på anden vis.

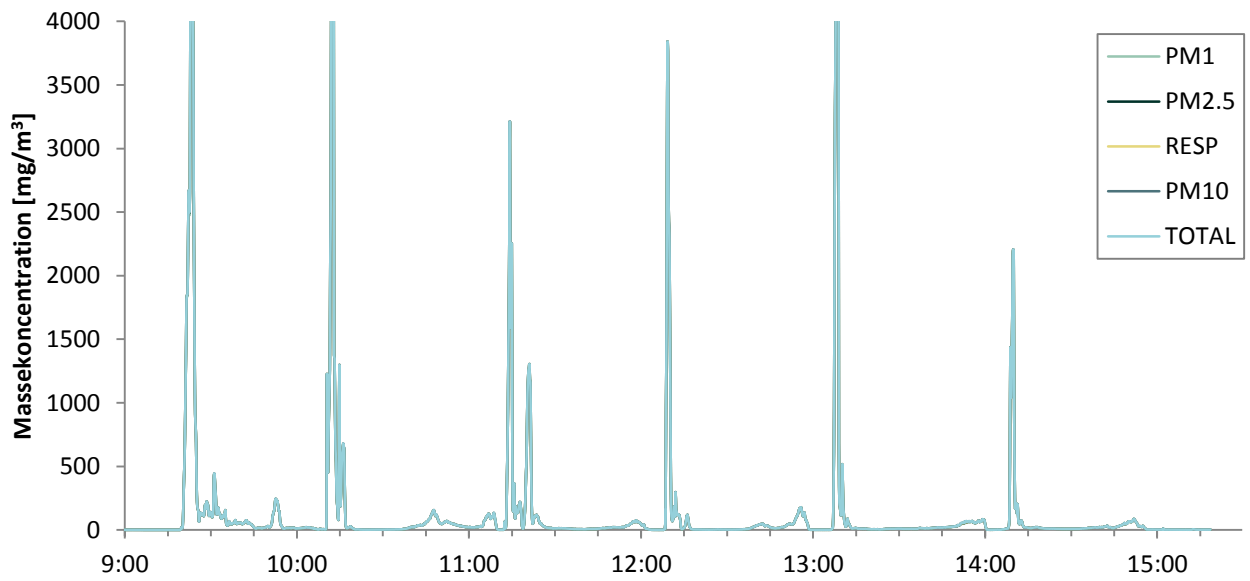
Bilag 10: DustTrak og SMSSP - resultater fra slutttests



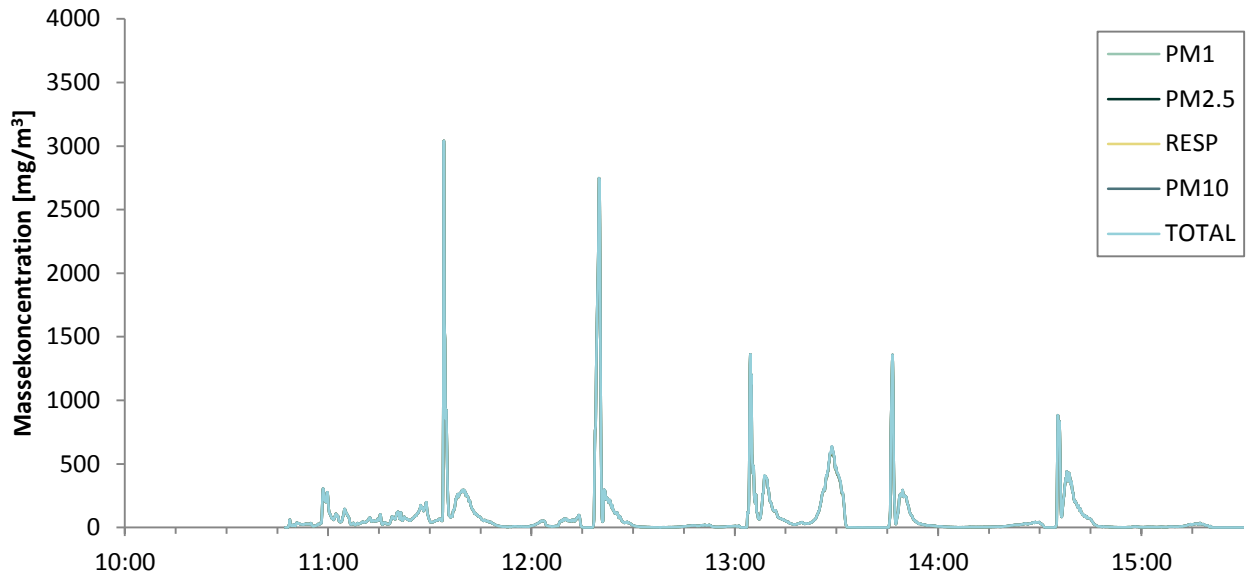
Birk mellemhøj



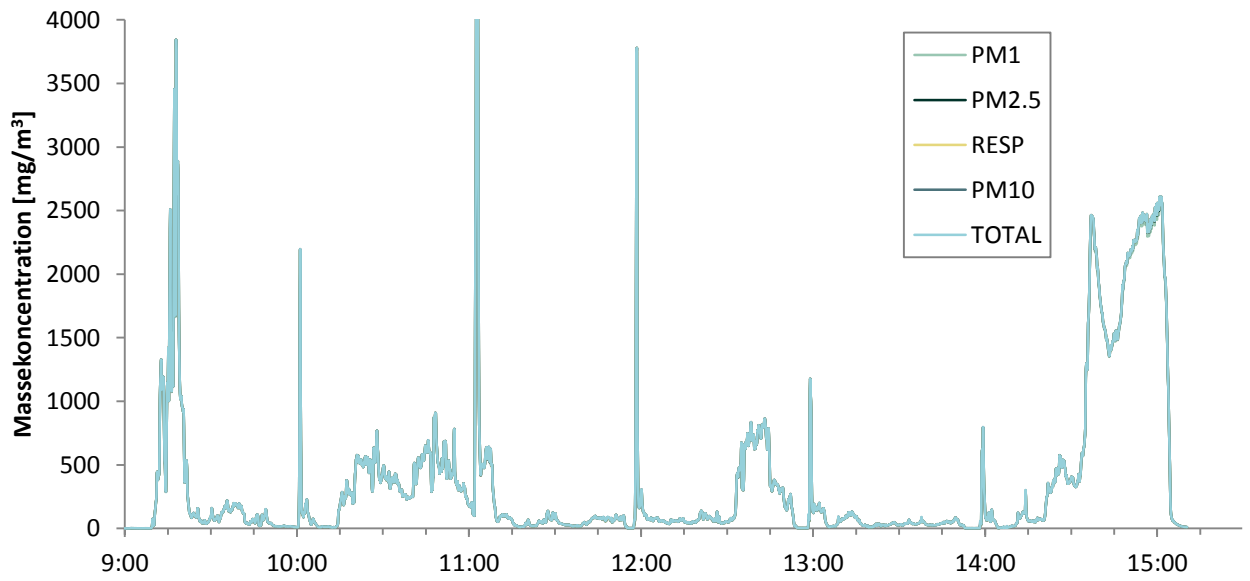
Birk lavlast



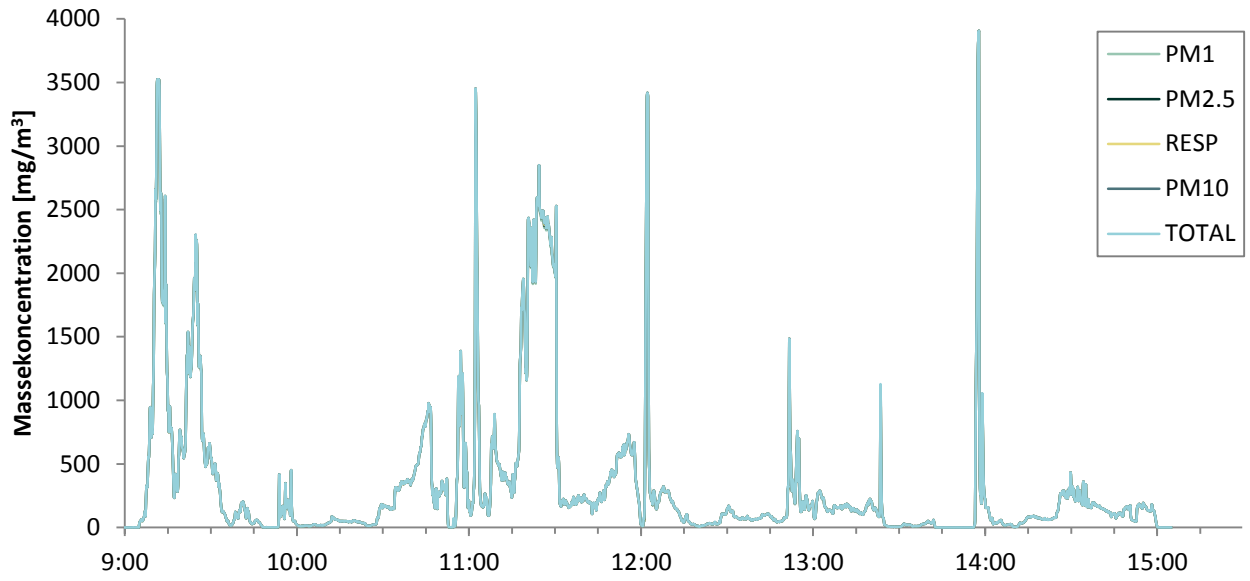
Birk maksimal



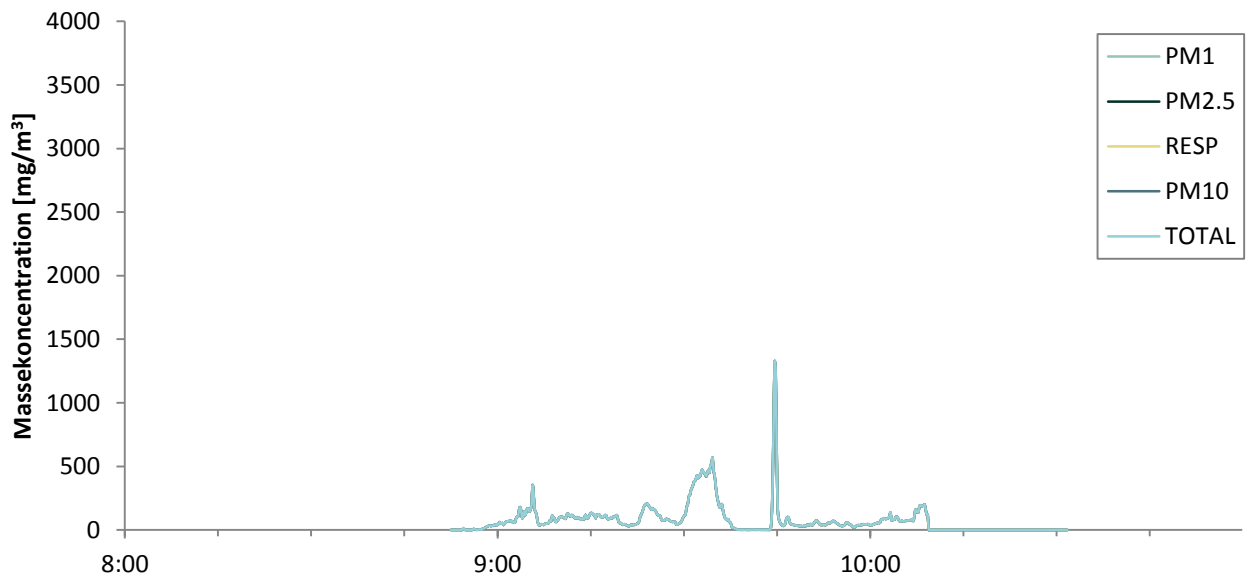
Gran nominel



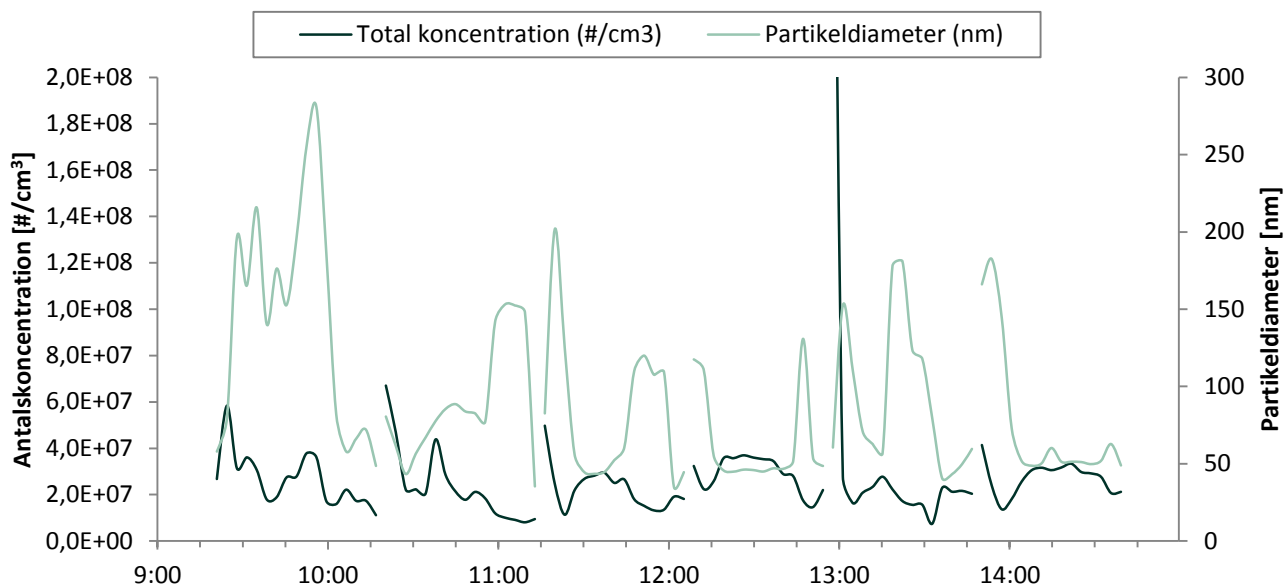
Gran mellemhøj



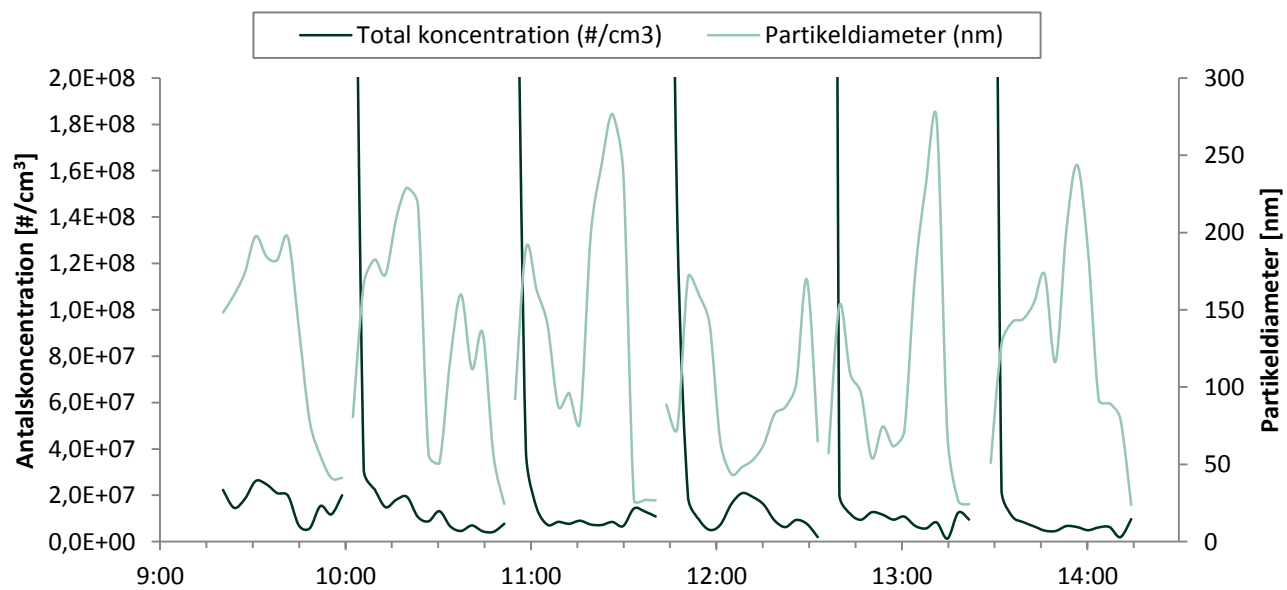
Gran maksimal



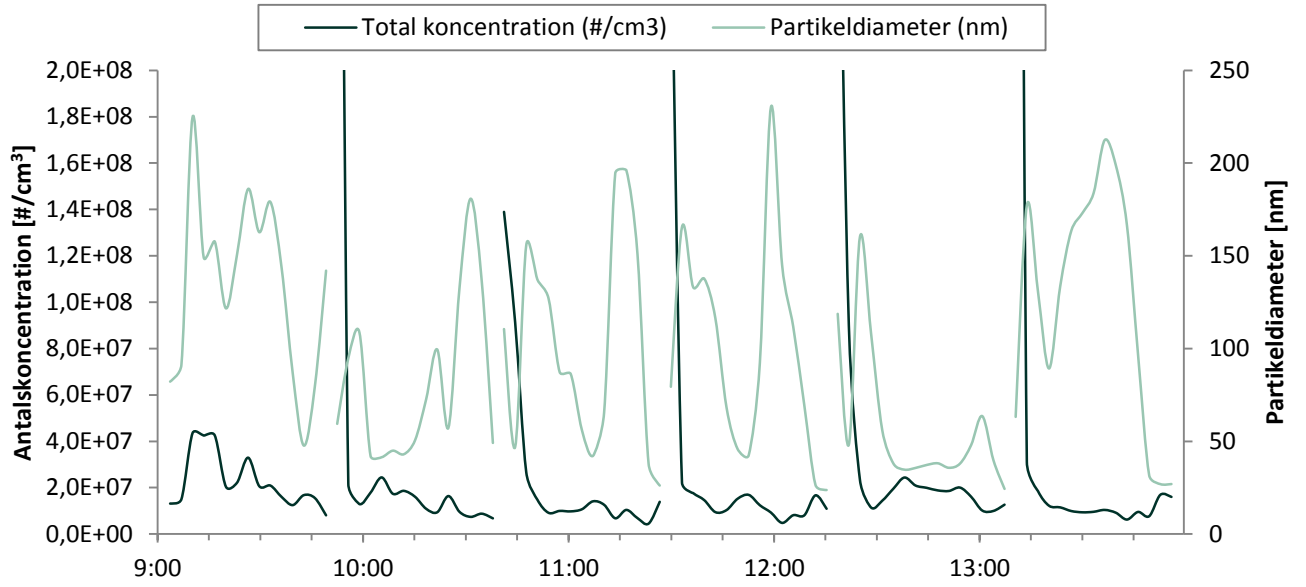
Ask nominel



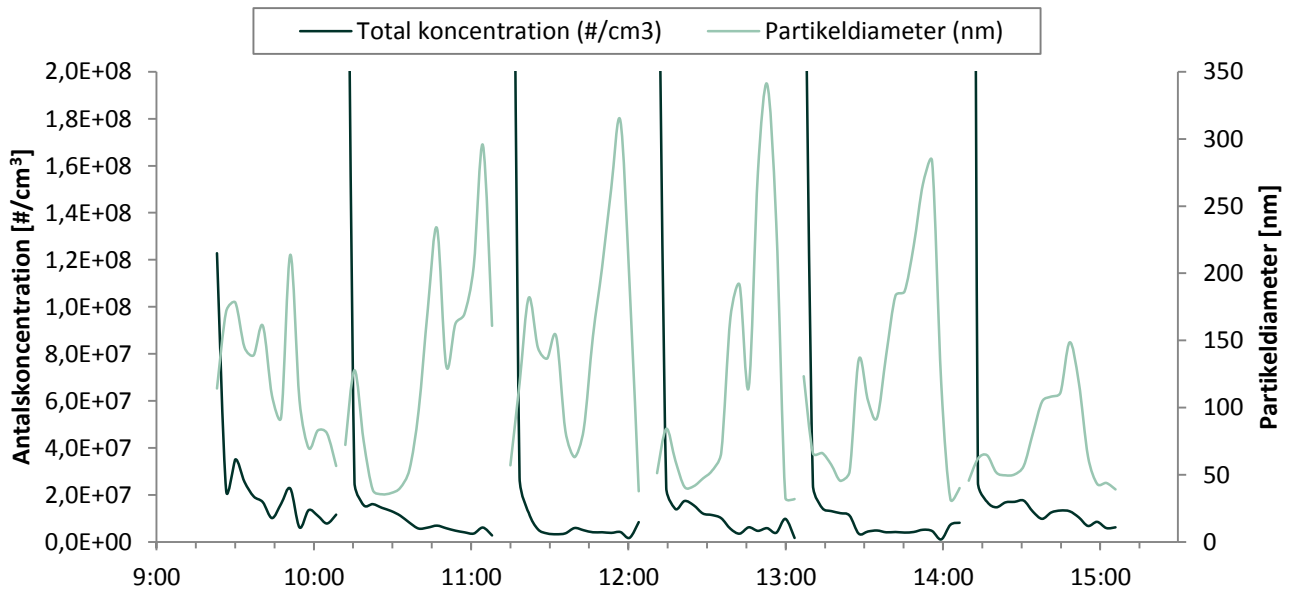
Birk nominel



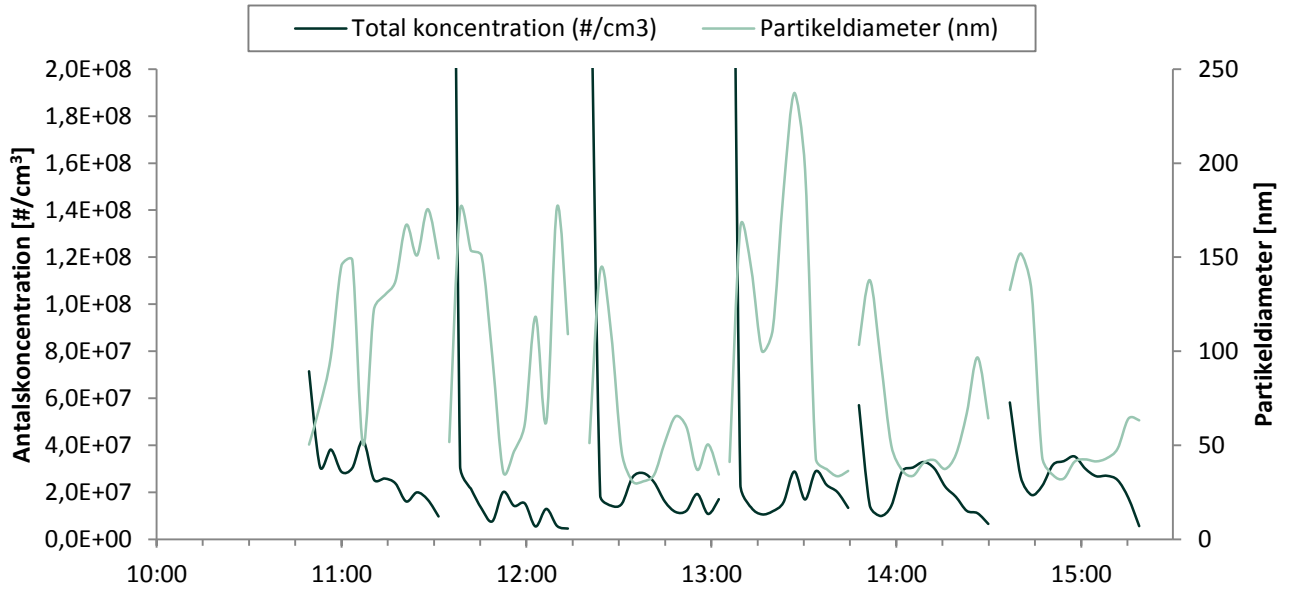
Birk mellemhøj



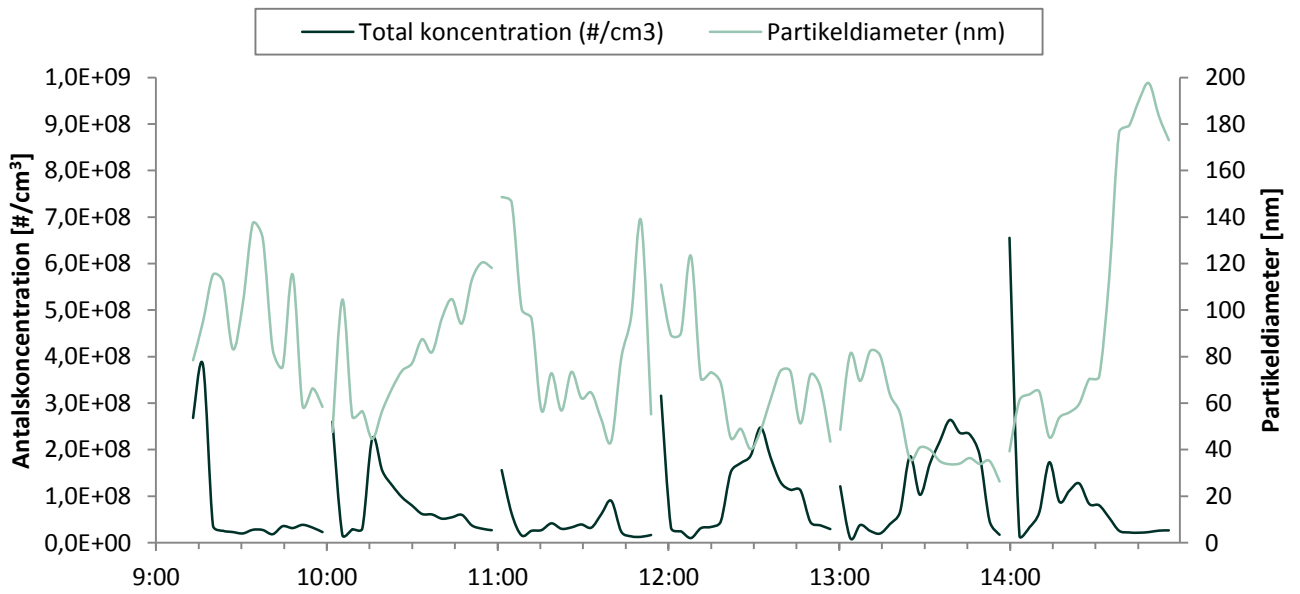
Birk lavlast



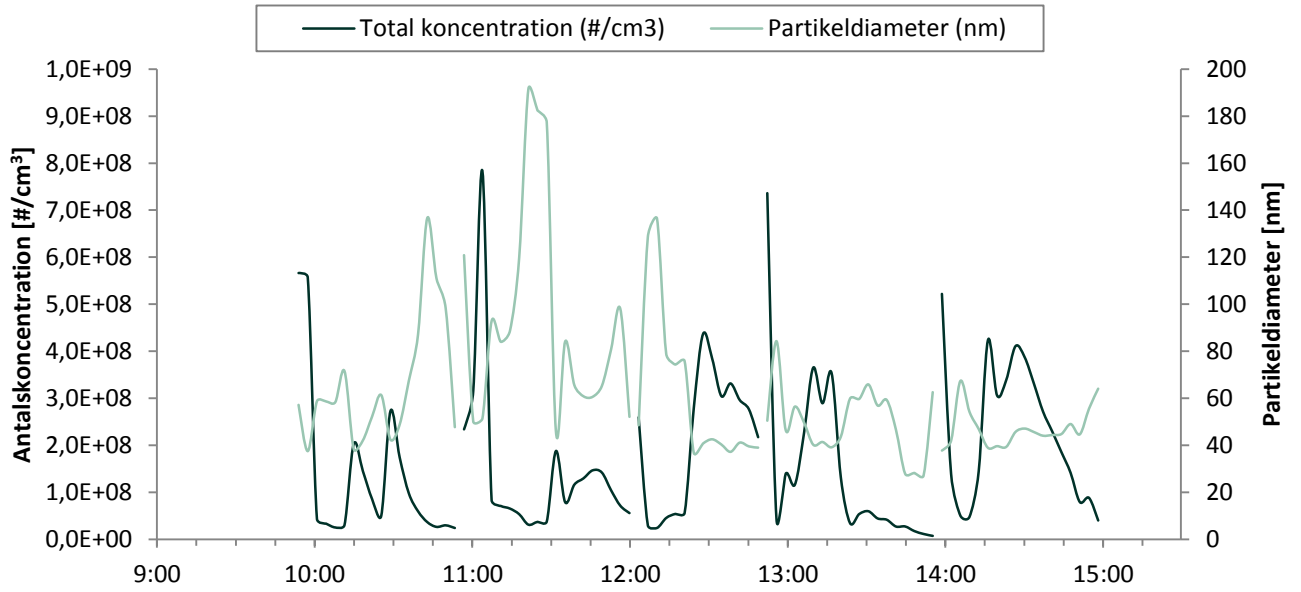
Birk maksimal



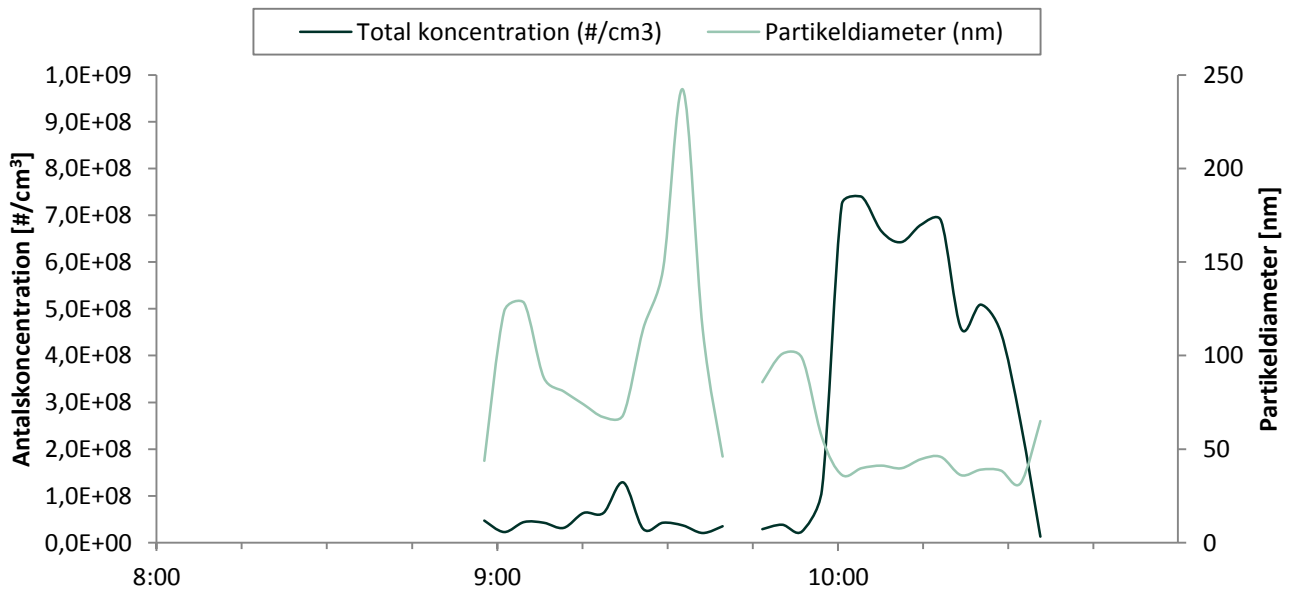
Gran nominel



Gran mellemhøj



Gran maksimal



LOLE - Low Output Low Emission

Projektets formål var at udvikle en almindelig brændeovn, som kan brænde rent ved lav ydelse. Efter designudkast, CFD analyser og tilretninger, blev der konstrueret en ovn med en nominal effekt på 2,9 kW, som blev underkastet en række fyringsforsøg og tilretninger. Ovnens emissioner levede i de gennemførte slutttest op til målet om at overholde gældende DINplus krav og Svane krav.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

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

www.mst.dk