



Teknisk gennemførlighedsundersøgelse af reduktion af partikler og gasemissioner ved anvendelse af variabelt brændkammer og luftsystem til brændeovne

MUDP-rapport

September 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Max Bjerrum, Teknologisk Institut

Morten Gottlieb Jespersen, Teknologisk Institut

Anne Mette Frey, Teknologisk Institut

Villy Jacobsen, Rais

Simon Birk Vilsen, Rais

Grafiker/bureau: Teknologisk Institut/ Rais A/S

Fotos: Teknologisk Institut/ Rais A/S

ISBN: 978-87-93710-86-3

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

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
Konklusion og sammenfatning	6
Konklusion	7
Sammenfatning	9
1.1 Ovne.....	9
1.2 Parametre.....	9
1.3 Samlet vurdering.....	10
Summary and Conclusion	11
2. Formål og succeskriterier	12
2.1 Formål	12
2.2 Succeskriterier	12
3. Teori om virkningsgrad	13
4. Typeprøvning af brændeovne i dag	14
4.1 Europæisk standard, EN 13240	14
4.2 Norsk standard, NS 3058	14
5. Udviklingsforløb	15
5.1 Forudgående overvejelser.....	15
5.2 Forundersøgelser	16
5.3 Principiel opbygning af Varia ovn	17
5.3.1 Varia 2016-1	17
5.3.2 Varia 2016-2	20
5.3.3 Varia 2016-3	20
6. Tests på Varia 2016 ovn	23
6.1 Introduktion.....	23
6.2 Varia 2016-1	23
6.2.1 Test på Varia 2016-1.....	23
6.3 Varia 2016-2.....	27
6.3.1 Test på Varia 2016-2	27
6.4 Varia 2016-3	27
6.4.1 Test på Varia 2016-3	27
6.4.2 Måling med flere emissions parametre.....	30
6.4.3 Sænkning af røghylden over hele forbrændingscyklus test-1	33
6.4.4 Sænkning af røghylden over hele forbrændingscyklus test-2	34
6.4.5 Målinger med og uden justering af luft og røghylde.....	35
6.4.6 Varia 2106-3 med skamol i nederste del af brændkammeret	39
6.5 Testforløb generelt	39
6.6 Samlet vurdering af resultater.....	40
6.6.1 Virkningsgrad.....	41
6.6.2 Emissioner.....	41
6.6.3 Lavere effekt	41

7.	Observationer og sammenfatning af erfaringer ved test på Varia	42
7.1	CO ₂	42
7.2	Virkningsgrad.....	42
7.3	Effekt	42
7.4	Emissioner	42
7.5	Flammefasen.....	42
7.6	Glødefasen.....	42
7.7	Røggastemperatur	43
7.8	Påfyring	43
8.	Potentiale i Varia 2016 ovn	44
8.1	Varia 2016-1 og Epoca II efter indledende forsøg	44
8.2	Muligheder for Varia 2016 princippet	46
8.3	Videreudvikling af Varia princippet.....	46

Forord

I denne rapport vil resultaterne af et gennemførlighedsprojekt, hvor formålet er at optimere forbrændingen i en brændeovn ved at regulere størrelsen af brændkammeret og lufttilførslen, blive præsenteret. En serie af modelovne er blevet udviklet, hvilket beskrives i nærværende rapport. Ligeledes vises, hvordan de fungerer med hensyn til virkningsgrad og emissioner for at demonstrere kapaciteten af dette nye koncept. Ovnene er alle manuelt styrede og 'simple' demomodeller. Det er således ikke ovne, der er på markedet eller kan komme det uden yderligere udviklingsarbejde.

Konklusion og sammenfatning

I dette projekt er det demonstreret, hvor meget det betyder for forbrændingen i en brændeovn at være i stand til at regulere størrelsen af brændkammeret. Der er blevet udviklet en demonstrationsovn (baseret på en serie af ovne, der er tilpasset til at opnå de ønskede egenskaber), hvor brændkammerets fysiske størrelse manuelt kan reguleres på passende vis gennem forbrændingsforløbet.

For den bedste demonstrationsovn i serien af ovne er der observeret en meget højere virkningsgrad i glødefasen end i en traditionel ovn, og en generel reduktion af emissionerne ligeledes i glødefasen.

Dette betyder, at der hos slutbrugere kan fyres i længere tid på en indfyring med mindre ydelse, uden at dette har negativ indflydelse på emissionerne. Dette vil have stor betydning for slutbrugere i moderne velisolerede huse, samt for huse i almindelighed i overgangsperioderne om foråret og om efteråret.

Dette projekt har vist, at der er meget lovende muligheder i princippet. Hvis konceptet bliver udviklet yderligere, kan forbedringerne sandsynligvis blive endnu større og ovnen vil kunne videreudvikles, så den bliver kommerciel anvendelig.

Konklusion

Det vurderes, at der inden for en kort årrække vil komme elektriske styringer til mange forskellige almindelige brændeovne med det formål at kunne regulere indstillingen på luftspjældene. Enkelte ovne med denne mulighed er allerede på markedet.

I forbindelse med Varia princippet er det ligeledes et krav, at der kommer en elektrisk styring på produktet, for at kunne kontrollere såvel størrelsen af brændkammeret som tilførslen af luft.

At der kommer styring på luftspjældene på almindelige brændeovne, vil dog i sig selv sandsynligvis have en gunstig indflydelse på emissionerne, virkningsgraden samt kunne reducere ydelsen. Imidlertid har dette projekt sandsynliggjort, at man ved samtidig at påføre brændeovnen et variabelt brændkammer kan gøre forbedringerne endnu større.

Introduktion af automatisk regulering har uden tvivl allerede bidraget til at nedbringe emissioner fra brændeovne. Dog mangler der flere elementer for fortsat at sikre en udvikling mod lavere emissioner fra brændeovne. Blandt andet kan der fortsat ikke tages højde for, at forbrændingen foregår i forskellige faser. Eksempelvis er der behov for henholdsvis et stort luftvolumen i starten af forbrændingen og et mindre i slutningen af forbrændingen.

Mere detaljeret kan det siges, at forbrænding fra brændeovne foregår i tre faser

1. Tørring af brændslet
 - a. Vandet fordampes under opvarmning af selve brændestykket.
2. Afgasning og forbrænding af gasser
 - a. I takt med, at vandet fordamper, begynder pyrolysen fra overfladen af træet og denne kan antændes, når den kommer i forbindelse med luften. Dette ses som synlige flammer
3. Koksudbrænding
 - a. Det afgassede træ bliver til koks (trækul) og kan ved hjælp af ilt omsættes yderligere, indtil der kun er aske tilbage.

Trin 1 og 2 har behov for et stort brændkammervolumen og en god opblanding af luft især i sekundær og tertiær zonen (over brændslet). Trin 3 har derimod behov for et mindre brændkammervolumen for at kunne sikre høj temperatur og samtidig har det behov for mindre sekundær og tertiær luft og en større mængde primærluft (luft nedefra).

I projektet er det ved målinger blevet demonstreret, at den primære gevinst ved optimering af den art, der er foretaget i dette projekt, er at finde i glødefasen. Virkningsgraden i glødefasen kan således øges med i størrelsesorden 15-20 % (point) samtidig med at emissionerne også i glødefasen sandsynligvis kan reduceres med ca. 50 % ved brug af luftstyring og variabelt brændkammer.

Når brændeovnen kan brænde fornuftigt i glødefasen, bliver der mulighed for at kunne forlænge afbrændingstiden for en nedbrænding, og dermed reducere effekten. Det vil sige, at der i overgangsperioderne om sommeren og vinteren samt i velisolerede huse eller ved et lavt varmebehov fra brændeovnen er muligt at brænde med minimale emissioner ved en lavere effekt.

Ved at forbedre en af forbrændingsfaserne vil forholdene betragtet over den samlede forbrændingscyklus forbedres signifikant.

Sammenfatning

1.1 Ovne

I projektet er udviklet demonstrationsmodeller af ovne (tre hovedtyper) med henblik på at demonstrere potentiale for bedre og renere forbrænding ved brug af justerbar røghylde og lufttilførsel. Nedenfor er sammenfattet, hvorledes det nye koncept påvirker en række nøgleparametre relevant for god forbrænding i en brændeovn.

For at lette forståelsen af terminologien brugt nedenfor skitseres forbrænding fra brændeovne og forbrændings tre hovedfaser kort her:

1. Tørring af brændslet
 - a. Vandet fordampes under opvarmning af selve brændestykket.
2. Afgasning og forbrænding af gasser
 - a. I takt med, at vandet fordamper, begynder pyrolysen fra overfladen af træet og denne kan antændes, når den kommer i forbindelse med luften. Dette ses som synlige flammer
3. Koksudbrænding
 - a. Det afgassede træ bliver til koks (trækul) og kan ved hjælp af ilt omsættes yderligere, indtil der kun er aske tilbage.

1.2 Parametre

CO₂

Det ses tydeligt, at CO₂ værdien kan holdes på et relativt højt niveau, når der justeres på luftspjældene og løbende sænkes på røghylden under nedbrændingen. Det er ønskværdigt at CO₂ værdien er så høj som muligt, da dette er et mål for hvor ren en forbrænding der finder sted – ideelt set omdannes alt træet ved fuldstændig forbrænding til CO₂ og H₂O men i praksis dannes uønsket CO, uforbrændte carbonhydrater, sod og partikler i større eller mindre grad og giver anledning til uønskede emissioner. CO₂ er således et mål for hvor optimal en forbrænding er. I praksis er den teoretisk opnåelige værdi tæt på 20%, så jo tættere man er på 20% jo bedre, da det giver den højeste virkningsgrad. I praksis når CO₂ værdien bliver højere dannes der ofte mere CO, OGC, sod etc..

Virkningsgrad

Virkningsgraden kan som ventet holdes høj, i lyset af den højere CO₂ værdi i glødefasen (se ovenstående), da virkningsgraden er et mål for hvor godt energien i brændslet udnyttes til opvarmning af bolig. Parametre der primært trækker virkningsgraden ned er en lav CO₂ værdi og en høj røggastemperatur.

Effekt

Da det er muligt at holde CO₂ værdien relativt høj i glødefasen, er det også muligt at forlænge brændtiden og dermed reducere effekten, uden at det går væsentligt ud over virkningsgraden og emissionerne.

Emissioner

Derudover ses der også en reduktion i emissionerne, hvilket formentlig skyldes et varmere brændkammer (Forbrændingszone). Når de målte emissioner skal omregnes til reference iltprocenten, bliver resultatet en reel bedring, da den målte CO₂ værdi er højere.

Flammefasen

Det har som udgangspunkt ikke været meningen at forbedre/udvikle på flammefasen, da formålet var at demonstrere at konceptet kunne optimere glødefasen og derigennem demonstrere bedre forbrændingsegenskaber. Da Varia 2016-1 viste sig praktisk talt ikke at kunne brænde i flammefasen er denne del alligevel blevet studeret og optimeret væsentligt i Varia 2016-3 for i det hele taget at kunne nå gennem forbrændingsfaserne til glødefasen og dermed være i stand til at kunne optimere denne som ønsket.

Følgende forhold kan nævnes at være af relevans for flammefasen på Varia 2016-3 og vil kunne optimeres yderligere i et eventuelt efterfølgende projekt eller udviklingsarbejde

- Brændkammeret er ikke tilstrækkelig isoleret, bl.a. er der 3 rækker luftspjæld på begge sider af ovnen, hvor en del varme vil stråle ud.
- Den variable røghyld lukker ikke helt tæt ud mod brændkammersiderne. Dette kan evt. betyde, at der slipper uforbrændte gasser ud her, og dermed bliver emissionen af dels CO og OGC sandsynligvis forhøjet.

Glødefasen

Der ses rimeligt pæne OGC emissioner og lovende CO emissioner i glødefasen, men der er stadig udfordringer med at reducere CO emissionen i glødefasen i forhold til det ønskede niveau, og det ventes således at det er muligt stadig at vinde mere på denne parameter.

Meget tyder på, at luften op igennem bundristen har en dårlig indflydelse på CO emissionen i glødefasen. Det bedste er tilsyneladende, at luften næsten udelukkende kommer oppe fra røghylden. Om luften bedst tilføres fra forreste del eller bageste del af røghylden har det ikke været muligt at fastlægge entydigt.

Røggastemperatur

Der ses en tendens til, at røggastemperaturen bliver mindsket lidt når røghylden sænkes, hvilket formentlig skyldes at "Konvektionsdelen" (den del af ovnen, hvor røggassen afkøles før den sendes ud i røgafgangen), bliver forøget.

Påfyring

Det viste sig, at flammer blev etableret meget hurtigt ved påfyring, selv med en meget, meget lille gløderest tilbage. Dette skyldes formentligt dels en god underluft (primærluft) samt et meget varmt brændkammer (forbrændingszone) efter at røghylden har været sænket helt ned til gløderne.

1.3 Samlet vurdering

Projektet har vist, at de antagelser der var tænkt i forhold til at opnå en bedre forbrænding i glødefasen ved implementering af røghyldkonceptet har vist sig at være rigtige.

Der er i glødefasen set signifikant forøgelse af virkningsgraden og reduktion af emissionerne generelt, men det vurderes, at der i princippet kan være endnu større muligheder, hvis dette bliver udviklet yderligere.

Summary and Conclusion

In this project it has been demonstrated how much it matters for the combustion in a wood stove to be able to regulate the size of the fire chamber. A demonstration stove with the desired properties has been developed (based on a series of stoves, which have been gradually adjusted to achieve well-functioning model), for which it is possible to adjust the physical size of the chamber during the different phases of the combustion.

For the best demonstration stove in the series of stoves developed a much higher efficiency was observed during smoldering than in a traditional stove and at the same time the emissions were reduced significantly.

This means that it, by using this technology, would be possible to stoke for longer time for a given burn cycle of wood with a resulting lower effect without a negative impact on the emissions. This would be very valuable for end users with modern well-isolated houses and in general for all houses during the transitions periods such as spring and autumn.

This project has thus presented a promising proof of concept. If the concept is further developed, it is expected that the improvements can be enhanced further and that the principles can be implemented in a stove ready for commercial use.

2. Formål og succeskriterier

2.1 Formål

Formålet er at undersøge potentialet for et system til brændeovne bestående af et variabelt brændkammer og variabel lufttilførsel, som kan optimeres under forbrændingsprocessen. Dermed ønsker projektet at bidrage til, at der kan udvikles en teknologi til renere forbrænding fra brændeovne med særligt fokus på at reducere partikler, uforbrændte hydrocarboner og CO samt øge virkningsgraden.

2.2 Succeskriterier

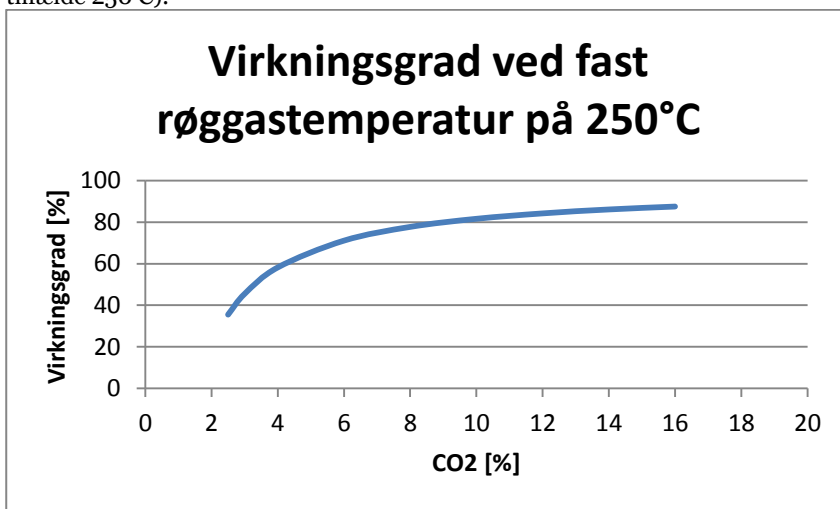
Projektet ønsker at vise, at et variabelt brændkammer og løbende variation af lufttilførslen under forbrændingen kan være en metode til sikring af optimal forbrænding for brændeovne under forbrændingens forskellige faser.

Hvis det er muligt at øge virkningsgraden, vil dette i sig selv betyde en reduktion i alle emissioner, da man ved afbrænding af den samme mængde brændsel dermed får mere nyttig energi ud af brændslet og dermed mindre emission pr energienhed produceret. Hvis virkningsgraden hæves ved udelukkende at øge CO₂ værdien og dermed sikre mere fuldstændig forbrænding med en uændret røggastemperatur vil dette ikke medføre problemer med kondens eller træk i en koldere skorsten (se detaljer i afsnit 3). Derfor er det den bedste måde at øge virkningsgraden på. Udover reduktion af emissioner ved at forøge virkningsgraden, er det muligt at reducere emissionerne ved at skabe en mere optimal kemisk forbrændingsproces, hvilket gøres ved at kontrollere mængden af tilført luft og størrelsen af brændkammeret.

Såfremt teknologien viser sig at have den forventede effekt og potentiale, ønsker partnerne i projektet at arbejde videre med teknologien og fortsætte projektet eksempelvis med støtte fra MUDP senere puljer. Formålet med dette vil være at bringe teknologien til en højde, hvor den kan anvendes kommercielt. Det vil sige, at automatisering, styring og design til sikring af et variabelt brændkammer skal udvikles samtidig med at automatisk styring af lufttilførslen skal kobles sammen med dette. Ydermere skal det færdige produkt testes for at se, om det lever op til de ønskede forventninger.

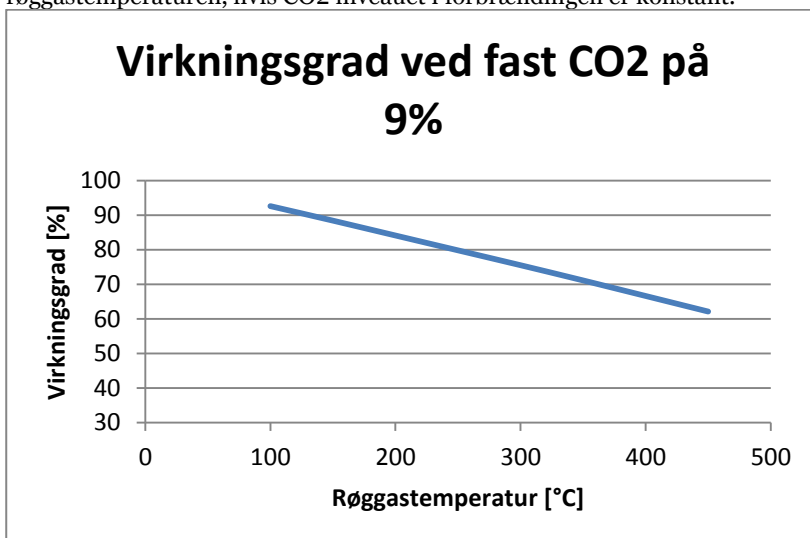
3. Teori om virkningsgrad

Virkningsgraden er et mål for hvor godt energien i brændslet udnyttes til opvarmning. De 2 hovedparametre der ligger til grund for virkningsgraden er CO₂ og røggastemperaturen. Andre i denne forbindelse meget mindre betydende parametre der har indflydelse på virkningsgraden er tab fra ufuldstændig forbrændte carbonholdige dele, slagge/aske (uorganiske forbindelser i træ) vandindholdet i brændet og brændværdien. Det er altså primært kun muligt at øge virkningsgraden ved at holde CO₂ værdien høj eller sænke røggastemperaturen. Sammenhængen mellem CO₂ og virkningsgrad er illustreret i figuren nedenfor, hvis røggastemperaturen holdes konstant (i dette tilfælde 250 C).



FIGUR 1 VIRKNINGSGRAD SOM FUNKTION AF CO₂ VÆRDI

I Figuren nedenfor er vist, hvordan virkningsgraden ændrer sig som funktion af røggastemperaturen, hvis CO₂ niveauet i forbrændingen er konstant.



FIGUR 2 VIRKNINGSGRAD SOM FUNKTION AF RØGGASTEMPERATUR VED FASAT CO₂ INDHOLD

4. Typeprøvning af brændeovne i dag

4.1 Europæisk standard, EN 13240

Når brændeovne typeprøves i dag sker dette på baggrund af en europæisk standard (EN 13240). Der kommer i nær fremtid en revision af denne standard (EN 16510), men de to standarder er meget ens med hensyn til de måletekniske procedurer, der skal følges i prøvningerne. Der er i øjeblikket et krav om, at ovnene i dag skal kunne brænde i mindst 45 minutter på en påfyring, mens det efter den nye standard bliver reduceret til 40 minutter. Her er det kun tilladt at justere på ovnen i 3 minutter efter påfyringen, hvorefter man ikke må foretage indgreb på ovnen i resten af nedbrændingen af den påfyrede mængde brændsel.

I praksis betyder ovenstående, at der ved typeprøvningen normalt bliver påfyret straks efter, at flammerne er gået ud, da dette giver de bedste emissionsværdier og virkningsgrad, og dermed præsenterer ovnen fra dens bedste side. Dette står i modsætning til typisk forbrugeradfærd. I praksis ude hos slutbrugerne vil ovnene typisk komme til at brænde i længere tid på en indfyring. Dette skyldes blandet andet forhold som at effekten ellers bliver for høj i overgangsperioderne om foråret og efteråret, hvilket af forbrugeren vil blive opfattet ved at stuen/huset bliver 'for varmt' som følge af brug af brændeovnen, hvis der indfyres for hurtigt igen efter en forbrændingscyklus. Det betyder at en gennemsnitsforbruger vil strække tiden ud, før der genindfyres under disse årstider, i modsætning til på en kold vinterdag, hvor situationen vil minde mere om forholdene ved prøvning.

Brændeovnsproducenterne skal i henhold til lovgivningen rådgive i brugervejledningen om brug af ovnen, også når der er reduceret varmebehov. Her angiver mange producenter, at dette kan ske ved at indfyre mindre mængder brænde i hver påfyring og/eller ved at udsætte påfyringstidspunktet. Dette betyder derfor i praksis, at ovnene kommer til at blive fyret på en ikke optimal måde, når varmebehovet er reduceret, hvilket er et forhold det derfor ville være hensigtsmæssigt at få ændret.

Ved typeprøvningen, som de foregår med de fleste moderne ovne i øjeblikket, foretages påfyring for hver 45-55 minutter. I dette projekt har det været meget naturligt at øge dette påfyringsinterval til noget over de 60 minutter uden, at det går udover forbrændingsegenskaberne som det senere i rapporten vil blive vist.

4.2 Norsk standard, NS 3058

Stort set alle producenter af nye brændeovnsmodeller, der fremstilles og typeprøves i dag, ønsker også, at ovnene skal prøves efter den norske standard (NS 3058/3059), da dette er et krav ved salg i Norge.

I den norske standard er det et krav, at ovnene skal fyres ved 3 eller 4 forskellige ydelser, således at de også bliver testet ved en lavere ydelse. Det eneste der bliver målt på under test i den norske standard er ydelsen og partikelemissionen. Fyringen skal foretages med lægter som sømmes sammen med nogle små lister. Denne test er derfor heller ikke helt lig det der foregår ude hos slutbrugerne, selv om man ved de forskellige ydelser ganske godt simulerer forskelle i årstider.

5. Udviklingsforløb

5.1 Forudgående overvejelser

Brændeovne har traditionelt set været tænkt som uafhængige af eksempelvis strøm. De danske fabrikanter er de seneste år begyndt at overveje, hvorvidt strømkrævende udstyr med fordel kan tilføres i brændeovne for at skabe en ovn med bedre virkningsgrader og lavere emissioner. Der er allerede få eksempler på brændeovne, som nu har styringer med elektroniske komponenter. Automatiske styringer af lufttilførslen på brændeovne er kendt i to versioner, hvor den ene er den klassiske, hvor en bimetal-fjeder påvirkes af varmen og åbner lufttilførslen og den anden, hvor der via måling på røggassen og temperaturer reguleres en række spjæld. Udfordringer ved eventuel mangel på strøm eller elektroniske fejl på systemet vil også kunne tilsidesættes ved at lave ovnen således at elektronikken kan slås fra og ovnen betjenes manuelt.

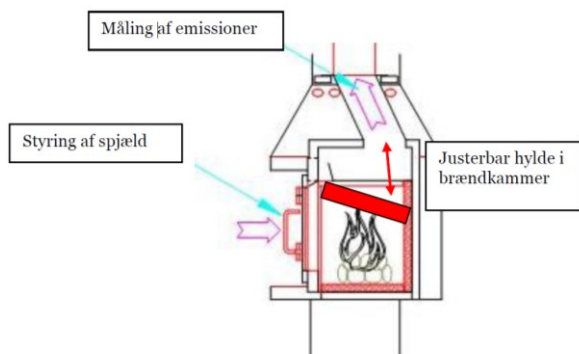
Introduktion af automatisk regulering har uden tvivl allerede bidraget til at nedbringe emissioner fra brændeovne. Dog mangler der flere elementer for fortsat at sikre en udvikling mod lavere emissioner fra brændeovne. Blandt andet kan der fortsat ikke tages højde for, at forbrændingen foregår i forskellige faser. Eksempelvis er der behov for henholdsvis et stort luftvolumen i starten af forbrændingen og et mindre i slutningen af forbrændingen.

Mere detaljeret kan det siges, at forbrænding fra brændeovne foregår i tre faser

1. Tørring af brændslet
 - a. Vandet fordampes under opvarmning af selve brændestykket.
2. Afgasning og forbrænding af gasser
 - a. I takt med, at vandet fordamper, begynder pyrolysen fra overfladen af træet og denne kan antændes, når den kommer i forbindelse med luften. Dette ses som synlige flammer
3. Koksudbrænding
 - a. Det afgassede træ bliver til koks (trækul) og kan ved hjælp af ilt omsættes yderligere, indtil der kun er aske tilbage.

Trin 1 og 2 har behov for et stort brændkammervolumen og en god opblanding af luft især i sekundær og tertiær zonen (over brændslet). Trin 3 har derimod behov for et mindre brændkammervolumen for at kunne sikre høj temperatur og samtidig har det behov for mindre sekundær og tertiær luft og en større mængde primærluft (luft nedefra).

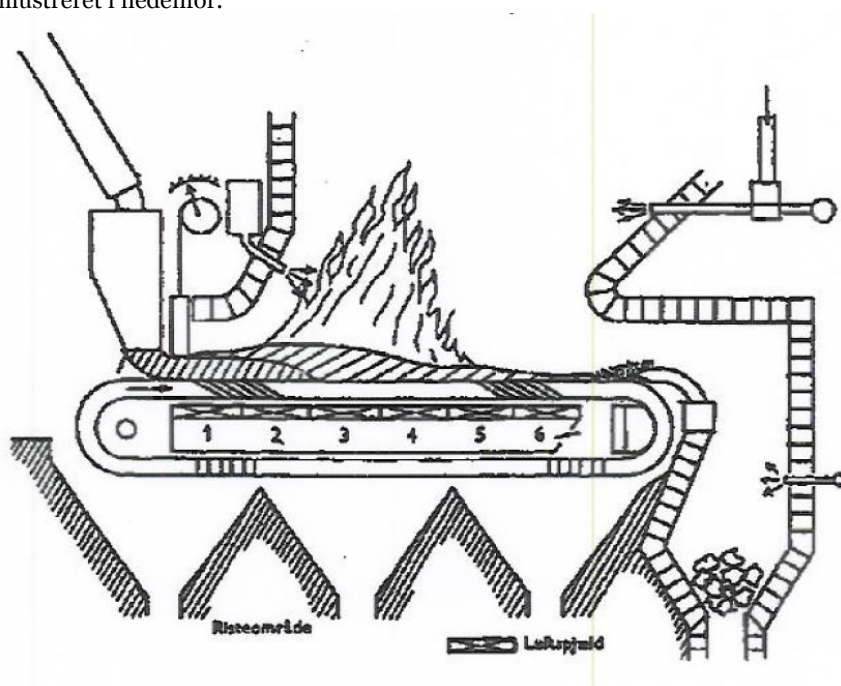
Det er derfor projektets idé igennem en teknisk gennemførlighedsundersøgelse at udvikle et simpelt brændkammer, hvor det er muligt at justere brændkammerets volumen under selve forbrændingen. Samtidig vil brændkammeret blive udviklet med henblik på, at kunne justere luften der tilføres under forløbet, således at optimale forhold opnås. En sådan teknologi bør naturligvis styres via automatik, men i denne gennemførlighedsundersøgelse ønskes potentialet vurderet, hvorfor det udformes således, at styringen foregår manuelt. Konceptet er illustreret i Figur 1. I tilfælde af at teknologien viser lovende potentiale vil mulighederne for videreudvikling til en automatisk styret enhed blive undersøgt i et overbyggende projekt.



FIGUR 3 PRINCIPSKITSE AF KONCEPTET

5.2 Forundersøgelser

Der er forsøgt at finde litteratur eller lignende for opbygning af noget tilsvarende for biomasseafbrænding eller blot, hvorledes der gøres ved optimeret afbrænding af kulholdigt brændsel. Der er fundet en unavngiven skitse af ristefyret kulforbrænding, hvor der er en varmebue hen over den sidste del af forbrændingszonen, således at kullene brænder helt ud. Dette er illustreret i nedenfor.



FIGUR 4 VARMEBUE VED RISTEFYRET KULFORBRÆNDING FOR AT SIKRE FULDSTÆNDIG FORBRÆNDING

Det ses i skitsen, at der i første del af forbrændingen med flammer er et stort brændkammer, mens der ved kulafbrændingen til sidst er en markant begrænsning af brændkammeret.

Det har vist sig svært at finde andet brugbart materiale, der har kunnet anvendes direkte som baggrundsmateriale i dette projekt, da konceptet er så nyt, at det ikke synes at foreligge afrapporterede data/studier indenfor området

5.3 Princiuel opbygning af Varia ovn

Ovne, der skal bruges i dette gennemførlighedsstudie, er kun prototyper, da der er meget der skal videreudbygges før det kan betragtes som en ovn, der er klar til salg.

Det er tænkt, at det i en endelig udgave af Varia ovnen, der er klar til kommercielt salg, vil blive påkrævet, at der kommer en elektrisk styring på ovnen, således at røghylden og luftspjældene kan styres automatisk i takt med, at forbrændingen foregår. Automatisering vil være nødvendig for at konceptet er funktionelt og af interesse hos almindelige forbrugere. Dette er i modsætning til ovnene i dette projekt, der alle reguleres manuelt.

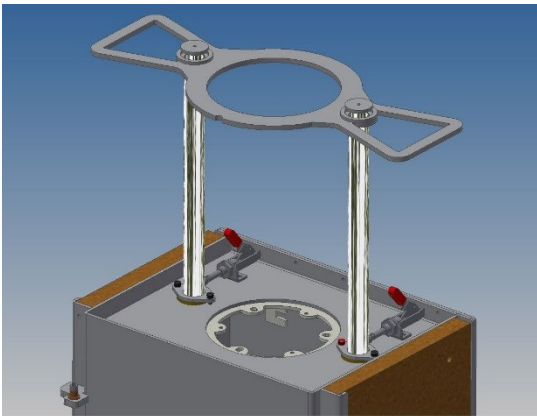
Varia ovnen er opbygget noget anderledes end en traditionel brændeovn, men hovedparten tager dog udgangspunkt i helt traditionelle danske brændeovne med bl.a. glaslåge hvor man kan se ilden når den brænder. Ovnen fyres også med helt almindelige brændestykker.

I forbindelse med gennemførlighedsprojektet er der udviklet en serie af prototyper, for at opnå en god funktionel ovn. Nedenfor vil tre af disse ovne blive beskrevet.

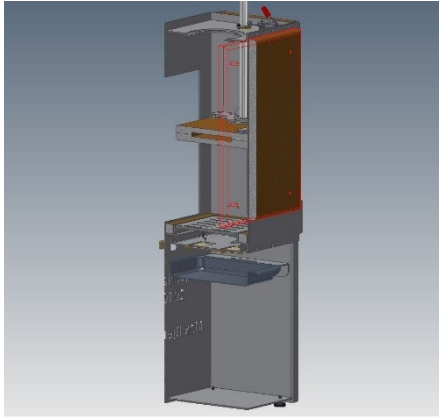
5.3.1 Varia 2016-1

Hovedformålet med udviklingen af Varia 2016-1 var at opnå en ovn, der er så fleksibel som muligt, således at der kan testes så mange forskellige ting som muligt på samme prototype.

Varia 2016-1 er opbygget med et "almindeligt brændkammer" bortset fra, at den vandrette røghylde kan sænkes helt ned til bunden af ovnen. Hejsesystemet til røghylden er illustreret i Figur 5 og 6. Figur 3 viser selve hejsesystemets opbygning, mens figur 4 illustrerer hvorledes denne er indbygget og fungerer i forhold til selve ovnen. Lufttilførslen i ovnen kan reguleres på flere måder. Der er mulighed for at styre luften i røghylden, styre primærluft op i gennem bunden af brændkammeret samt mulighed for at kunne tilsætte luft i siderne nederst i brændkammeret.



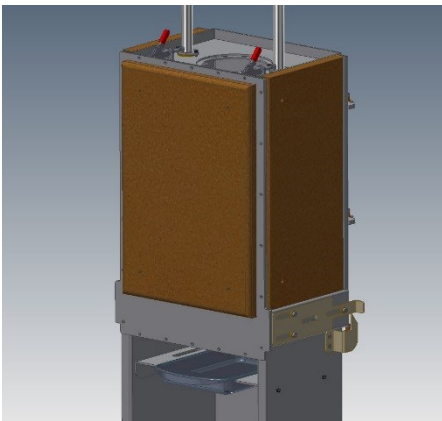
FIGUR 5 HEJSESYSTEMET TIL RØGHYLDEN



FIGUR 6 OPBYGNING AF HEJSESYSTEMET FOR RØGHYLDEN

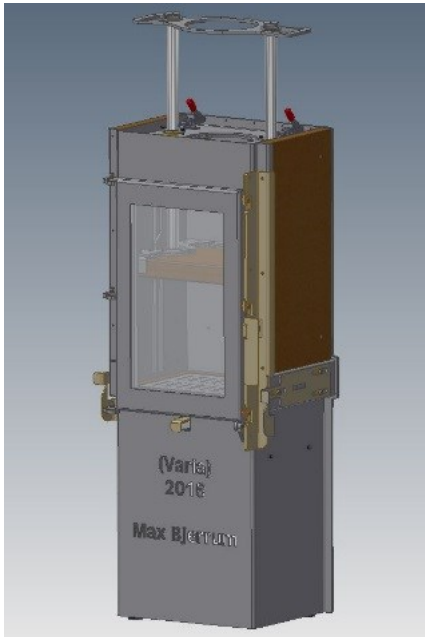
Ovnen har ikke rudeskyl, som de fleste nye ovne har. Dette er udeladt i denne model, for at kunne få røgen til at passere frem foran røghylden i alle indstillingshøjder for røghylden. Det samme gælder for tertiær luft (luft der tilsættes i bagsiden af ovnen), der også er udeladt på grund af røghyldens vandring.

Ovnen er isoleret med Skamol på ydersiden, som illustreret på Figur 7.



FIGUR 7 SKAMOL PÅ YDERSIDEN AF OVNEN

Hele designet af Varia 2016-1 er illustreret i Figur 8.



FIGUR 8 3D TEGNING AF VARIA 2016-1

Varia 2016-1 er opbygget primært for at kunne få erfaring med afbrænding i glødefasen, da dette traditionelt set rummer vanskeligheder i form af høje emissioner og en lav CO₂ værdi, da forhold i forbindelse med lufttilførsel, opblanding og opholdstid i denne fase ikke er ideel i det store brandkammer. At få ovnen optimeret til også at brænde godt i fasen, hvor der er flammer i ovnen tænkes implementeret i en videreudvikling af prototypen i gennemførlighedsprojektet. Den endelige VARIA 2016-1 opstillet og klar til test på prøvestanden er vist i fotoet i Figur 9.



FIGUR 9 VARIA 2106-1 OPSTILLET PÅ PRØVESTANDEN

5.3.2 Varia 2016-2

Efter Rais's indledende forsøg på deres version af Varia 2016-1, har de efterfølgende ombygget ovnen, så den er forsynet med rudeskyl der følger med ovnen nedad sammen med røghylden med henblik på at forbedre afbrænding i flammefasen . Dette er illustreret i Figur 10. Ovnens er ellers identisk i opbygning som Varia 2016-1 og vil derfor ikke blive beskrevet nærmere her.

Foto af Varia 2016-2

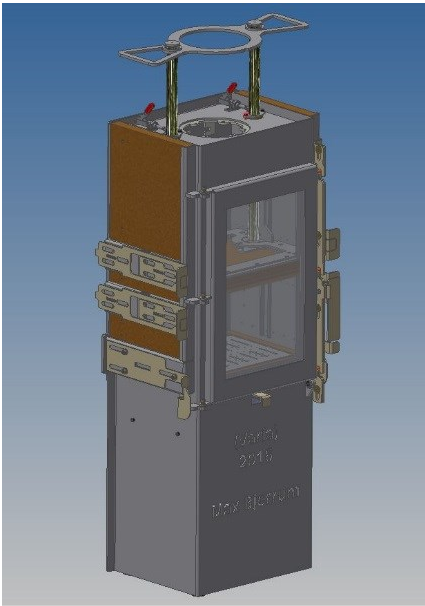


FIGUR 10 FOTO AF VARIA 2016-2

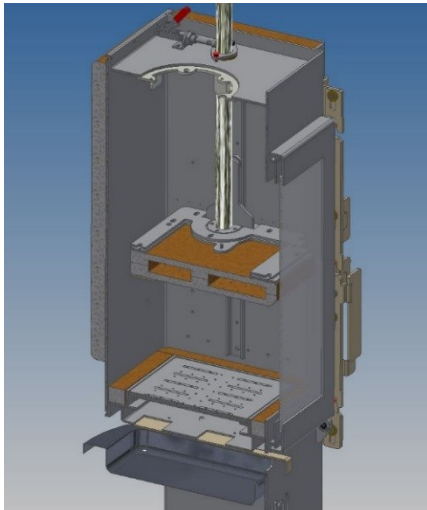
5.3.3 Varia 2016-3

Det blev ved et projektmøde besluttet at videreudvikle prototypen på Varia ovnen, så den kan brænde acceptabelt ikke blot i glødefasen men også i flammefasen. Opbygningen af grundovnen og hejsesystemet blev bibeholdt, men røgvejen blev ændret således, at røgen går bagud omkring den justerbare røghylde. Der blev tilført rudeskyl i røghylden og der blev sat 2 rækker ekstra spjæld med tertiærluft i begge sider af ovnen. Lufthullerne ind i brændkammeret, dels i røghylden og dels i tertiærluften, blev som udgangspunkt lavet relativt små.

I figur 11 er sidelufthullerne til den tertiære luft vist. Et tværsnit af ovnen efter de ovennævnte modifikationer ses i Figur 12.

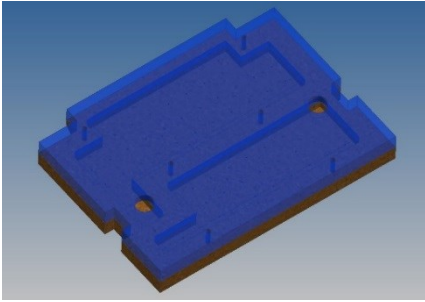


FIGUR 11 VARIA 2016-3 MED MERE SIDELUFT



FIGUR 12 SNIT I VARIA 2016-3

For bedre at kunne styre fordelingen af luften foran og bagerst i ovnen er alle tertiær luftspjæld opdelt i 2 separate spjæld. Dette er også gældende for luften i røghylden hvor luften der tilledes i det ene rør bliver tilledt forrest i brændkammeret, mens luften fra det andet rør tilføres bagerst i brændkammeret. Alle luftspjæld kan styres frit og uafhængigt af hinanden. Røghylden med de opdelte kamre er illustreret i Figur 13.



FIGUR 13 SNIT AF RØGHYLDE MED DELTE KAMRE

For at få flere muligheder for regulering ved at øge antallet af spjæld på ovnen har det i denne prototype været nødvendigt at ændre isoleringen af brændkammeret og gå lidt på kompromis med, hvor god denne ellers kan blive. Skamolpladen, der sidder udvendig på stålpladerne, dækker således ikke der, hvor der er luftspjæld. Denne udfordring vil skulle forfines i en eventuel videreudvikling af ovnen til kommerciel brug, men er acceptabelt i gennemførlighedsprojektet. Et foto af den færdige sidste udgave af ovnen, Varia 2016-3 er illustreret i Figur 14.



FIGUR 14 VARIA 2016-3 PÅ PRØVESTANDEN

6. Tests på Varia 2016 ovn

6.1 Introduktion

I dette afsnit vil hovedresultater af de forskellige tests med de tre demomodeller af ovnene blive præsenteret. Da projektet i dets natur indeholder en lang række screening eksperimenter i forsøget på at nå frem til et funktionelt koncept, er det kun udvalgte forsøg, der er relevant for enten vidensopbygning eller viser udviklingsforløbet, der vil blive præsenteret. Strukturen i præsentationen vil blive baseret på udviklingsprocessen med basis i de tre demomodeller af ovne.

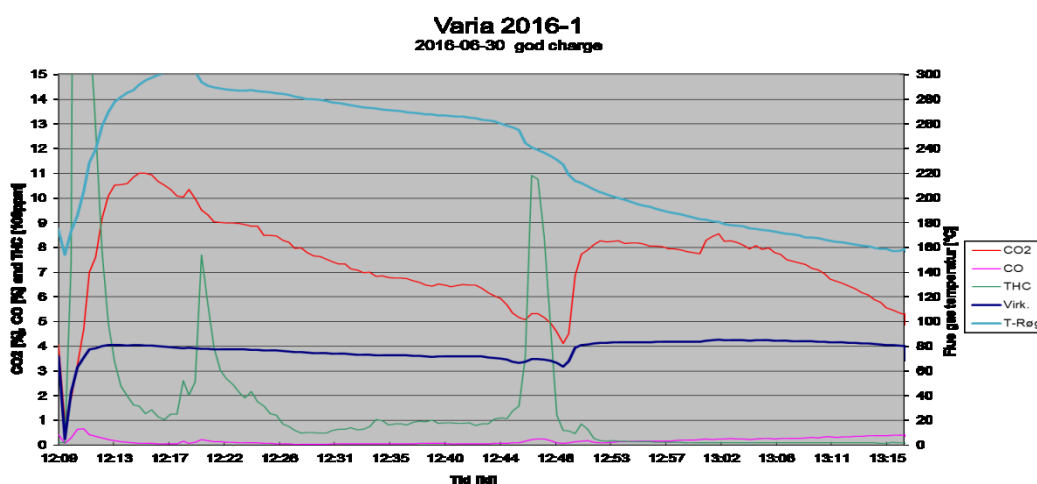
6.2 Varia 2016-1

6.2.1 Test på Varia 2016-1

Der er målt på Varia 2016-1 med mange forskellige indstillinger, for at opnå viden og spore sig ind på, hvordan ovnen bedst kunne opereres. Opsætningen der blev fundet at virke bedst var som følger:

- Begge forbrændingscyklus har 42 stk. (6 x 7) Ø3,5mm og 7 stk. Ø2mm huller i røghylden (de 7 mindste huller var foran).
- Primær luft er helt lukket
- Sideluft er helt lukket
- Begge har 2 x Ø22mm indløb til luft i røghylden.
- Røghylder er i begge tilfælde ført helt ned til gløderne lige når flammerne er gået ud. (Lågen er også låst fast her).

De 2 bedste forbrændingscyklus med hensyn til CO værdien, THC (Total hydrocarbon) værdien, CO₂ værdien og virkningsgraden var meget identiske og kan således siges at være reproducerbare. En af disse forbrændingscykluss er vist i nedenstående figur.



Afbrænding af forbrændingscyklus i Varia 2016-1 efter optimering af indstillingerne

Indfyring sker kl. 12:09 og flammerne går ud kl. 12:50. På det tidspunkt låses lågen og røghylden er blevet sænket ned til gløderne. Det ses tydeligt, at CO₂ værdien stiger meget, når lågen låses fast og røghylden sænkes ned på gløderne. Når CO₂ værdien stiger bliver virkningsgraden som drøftet tidligere højere, som det også kan ses på grafen.

Der ses en meget fin afbrænding af gløderne i forhold til det, der normalt er på en brændeovn. CO₂ værdien og dermed også virkningsgraden stiger relativt meget her i starten af glødefasen. CO₂ værdien stiger fra ca. 4,5% til ca. 8,5% og virkningsgraden stiger med ca. 20% point fra ca. 60% til ca. 80%. Tiden for en afbrænding kan tilsyneladende øges meget, da der kan brændes ned til et meget lavt glødeniveau, hvilket overordnet betyder, at effekten i kW bliver lavere.

I flammefasen brænder Varia 2016-1 ikke godt. Lågen blev i indledningsvise fyringer lukket umiddelbart efter at flammerne var etableret, hvilket er normal praksis. Her steg CO værdien til over 5%, hvilket er rigtig meget.

Det har derfor været nødvendigt at holde lågen på klem i hele flammefasen for at kunne klare flammedelen nogenlunde, og dette har således også været tilfældet i den måling, der er vist i grafen tidligere.

Ud fra andre forsøg, der er lavet på Varia-2016-1, ser det umiddelbart ud til at gløderne bliver for varme, hvis der tilsættes primær luft i bunden af brændkammeret, eller i nederste del i siderne i brændkammeret. Derfor er dette ikke favorabelt. Den bedste glødeafbrænding i varia 2016-1 baseret på eksperimenterne i dette studie er tilsyneladende, hvor luften udelukkende tilføres i toppen af gløderne ned gennem røghylden.

I figurene er afbrænding af en forbrændingscyklus i Varia 2016-1 illustreret, hvor Figur 13 viser den sidste del af flammefasen, mens Figur 16 og 17 viser glødefasen. I figur 16 er gløderesten vist, og det ses at mængden er meget begrænset, hvilket viser at forbrændingen af træet i høj grad har fundet sted indtil stort set alt brændbart materiale er udbrændt.



FIGUR 15 SIDSTE DEL AF FLAMMEFASEN



FIGUR 16 GLØDEFASEN MED SÆNKET RØGHYLDE



FIGUR 17 GLØDEFASEN MED SÆNKET RØGHYLDE



FIGUR 18 GLØDEREST (MEGET LILLE MÆNGDE)

Der blev kørt yderligere forsøg med støvmålinger i glødefasen. Resultatet blev, at der ikke kommer støv i en sådan mængde, at det kan måles med udstyret der normalt anvendes til støvmålinger efter EN 13240/DIN plus forskrift. Normalt angives detektionsgrænse som 5 mg/Nm³ ved den aktuelle ilt procent. De aktuelle målinger her vurderes at være noget under dette niveau.

CO-emissionen i glødefasen er ikke helt så lav som man kunne ønske, så der blev forsøgt at reducere denne, men indtil videre uden held. Dette viste, at der var behov for videreudvikling af ovnen. Ydermere begyndte hejsesystemet i ovnen at gå stramt, og så endte det med at den justerbare røghylde knækkede, som vist i Figur 17.



FIGUR 19 KNÆKKET RØGHYLDE

6.3 Varia 2016-2

6.3.1 Test på Varia 2016-2

Rais ombyggede deres version af Varia 2016-1 så den var forsynet med rudeskyl, der fulgte med den justerbare røghylde op og ned, som beskrevet i detaljer i afsnit 3. Problemet med denne version viste sig i praksis at være, at meget af luften der kommer ud ved rudeskyllet går direkte med ud sammen med røggassen og fortynder dermed røggassen, hvorved en del af luften ikke medgår til forbrændingen og blot bliver ført ud af skorstenen uden at have været til nytte. Derudover opvarmes luften, hvilket påvirker virkningsgraden (se Figur 2).

I glødefasen, hvor røghylden er helt nede ved gløderne bliver gløderne ikke ordentligt næret med ilt, da denne ilt går direkte op foran røghylden og videre ud sammen med røggassen.

Dette betyder bl.a. en meget dårlig virkningsgrad, og der er derfor ikke foretaget yderligere målinger på denne version af ovnen.

Det er udelukkende Rais, der har kørt forsøg med denne version af ovnen, da det baseret på ovennævnte problemstillinger blev besluttet at udvikle Varia 2016-3 og fokusere på denne.

6.4 Varia 2016-3

6.4.1 Test på Varia 2016-3

Efter ombygning af ovnen, således at røggassen går bagud omkring røghylden, som beskrevet og illustreret i afsnit 3, er der igen kørt forsøg på ovnen.

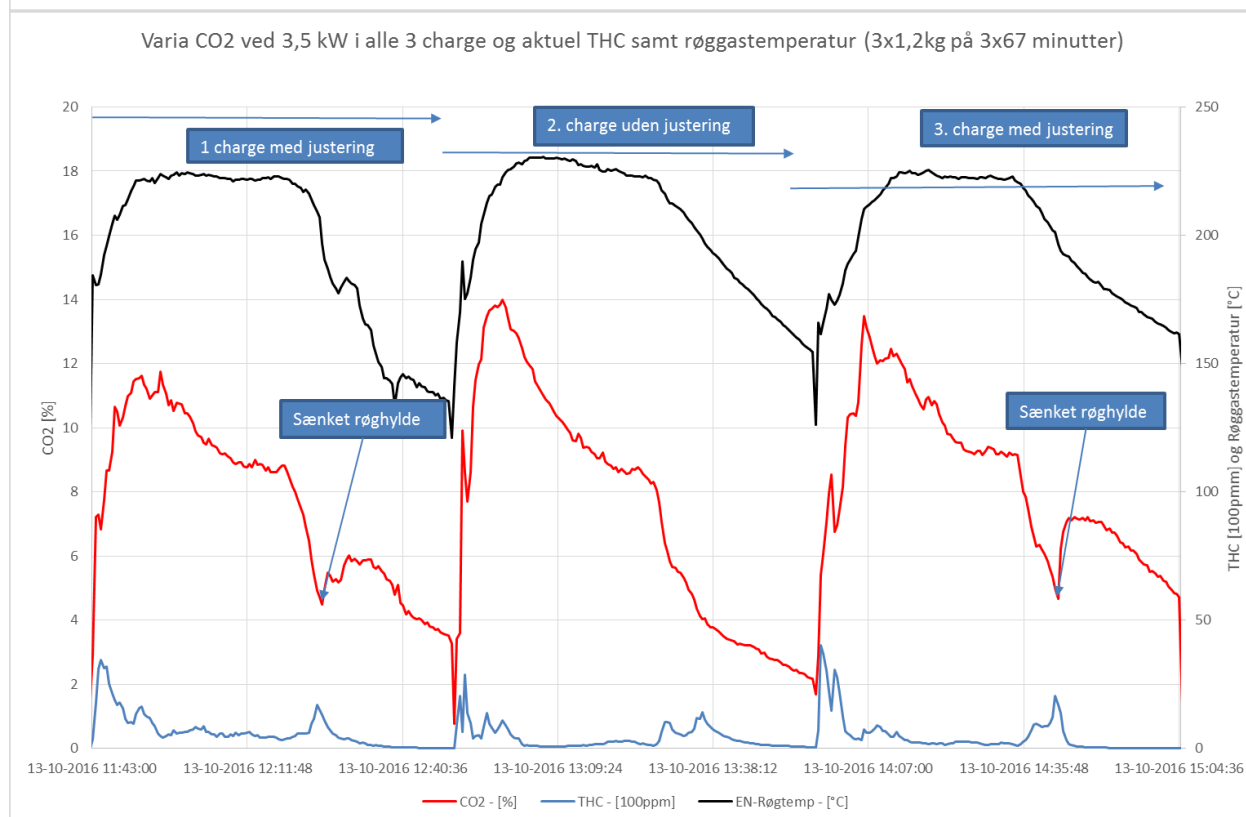
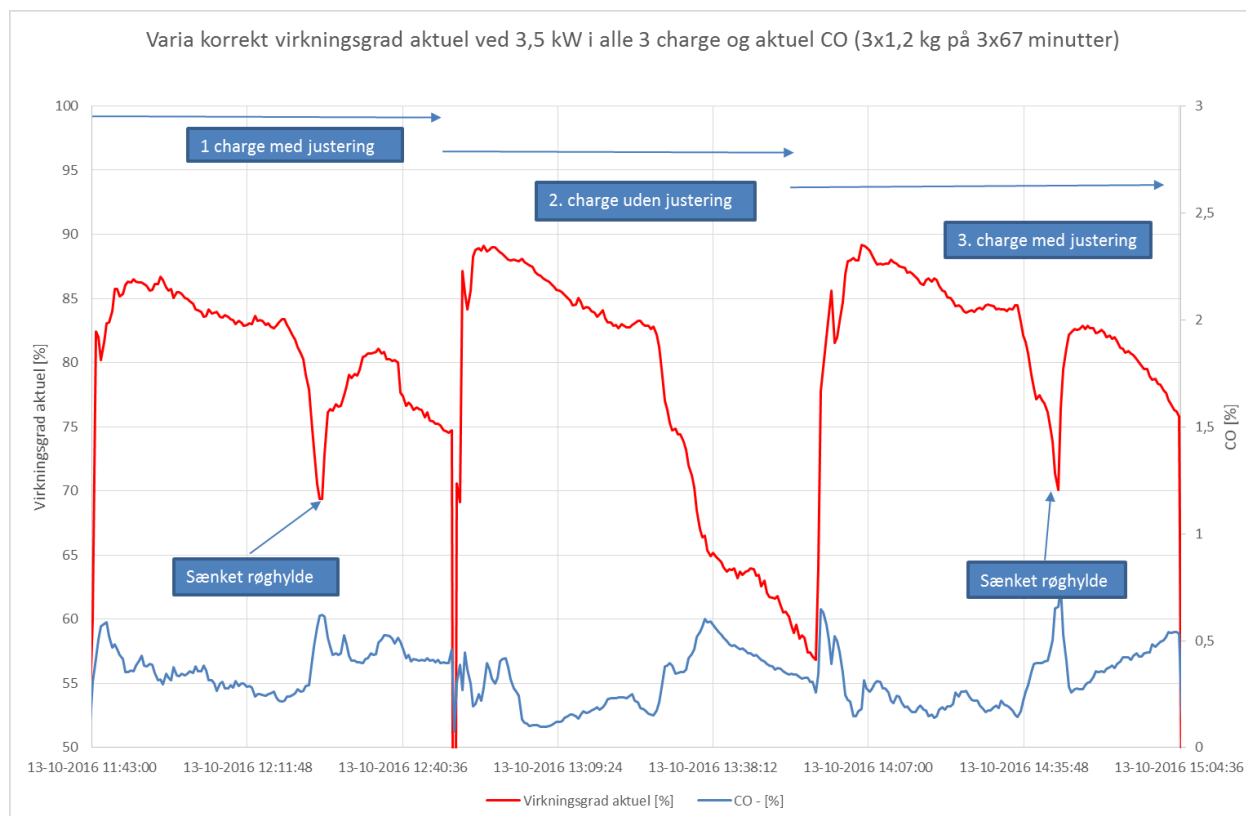
De første indledende forsøg blev her kørt med relativt små lufthuller i røghylden samt i tertiær-lufthullerne i siden af brændkammeret. Dette viste sig hurtigt ikke at være tilfredsstillende, og alle hullerne blev derfor boret op fra Ø2mm til Ø3,5mm, hvilket forbedrede forbrændingen signifikant. Data der præsenteres i dette afsnit vil udelukkende koncentrere sig om forholdene efter forbedringen.

Teknologisk Institut har efterfølgende forsøgt at køre test på hele forbrændingscyklusforbrændingscyklussen, således at der måles i såvel flammefasen som i glødefasen.

Det lykkedes også at etablere en forbrændingsproces i begge faser, der demonstrerer potentiale men samtidig viser, at konceptet kan optimeres yderligere. Det vil i praksis sige, at ovnen i denne version i de indledende forsøg kan brænde i både flammefasen og glødefasen, men at CO- og OGC emissionen stadig er noget høj i forhold til, hvad der er ønskeligt mht. udvikling af et kommercielt produkt.

De specifikke data for ovnens præstation vil blive gennemgået.

I nedenstående 2 grafer og efterfølgende skema er der vist 1. og 3. forbrændingscyklus, hvor røghylden er sænket ned til gløderne lige når flammerne går ud. I 2. forbrændingscyklus forblev røghylden uberørt i toposition.



Det kan observeres, at virkningsgraden stiger meget lige der hvor røghylden sænkes i modsætning til 2. forbrændingscyklus, hvor røghylden forbliver uændret. Dette betyder også, at virkningsgraden

i gennemsnit over hele forbrændingscyklusen er væsentlig bedre i de tilfælde hvor røghyldens placering justeres, hvilket demonstrerer, at konceptet gør en signifikant forskel i forhold til en traditionel situation, hvor der ikke justeres på røghylden.

	Enhed	1- forbrænding scyklus Med justering Middelværd i	2- forbrænding scyklus Uden justering Middelværd i	3- forbrænding scyklus Med justering Middelværd i	1- forbrænding scyklus Med justering Slutværdi	2- forbrænding scyklus Uden justering Slutværdi	3- forbrænding scyklus Med justering Slutværdi
Virkningsgrad (Pba. Aktuelle værdier)	%	81,3	76,2	82,5	76,3	57,7	79,1
Virkningsgrad (Pba. Middelværdier)	%	80,4	79,5	81,9	-	-	-
CO ₂	Vol. %	7,6	7,4	8,4	3,6	2,3	5,1
CO	Vol. %	0,38	0,30	0,32	0,40	0,33	0,53
THC	ppmC	657	407	476	24	60	15
Røggastemperatur	°C	190	199	194	130	151	158
CO ved 13% O ₂	Vol. %	0,37	0,30	0,28	0,78	0,97	0,72
OGC ved 13% O ₂	mgC/Nm ³	385	245	255	29	109	13

	Enhed	1- forbrænding scyklus ”Med justering”*) Middelværd i af flammedele n	2- forbrænding scyklus Uden justering Middelværd i af flammedele n	3- forbrænding scyklus ”Med justering”*) Middelværd i af flammedele n	1- forbrænding scyklus Med justering Middelværd i af glødefasen	2- forbrænding scyklus Uden justering Middelværd i af glødefasen	3- forbrænding scyklus Med justering Middelværd i af glødefasen
Virkningsgrad (Pba. Aktuelle værdier)	%	82,6	82,2	83,2	79,1	62,9	81,0
Virkningsgrad (Pba. Middelværdier)	%	81,6	82,5	82,9	76,4	61,0	78,8
CO ₂	Vol. %	9,2	9,4	9,4	4,9	3,0	6,3
CO	Vol. %	0,35	0,24	0,27	0,44	0,43	0,41
THC	ppmC	920	452	647	186	310	126
Røggastemperatur	°C	213	212	205	150	170	172
CO ved 13% O ₂	Vol. %	0,28	0,19	0,21	0,65	0,96	0,48
OGC ved 13% O ₂	mgC/Nm ³	456	219	312	166	428	88
Tid	Minutter	43	46	45	24	21	22

*) Dog ikke justeret i denne del af forbrændingscyklusen

Den øgede virkningsgrad kan forklares ud fra en overordnet stigning i CO₂ værdien i glødefasen, som det ses i tabellen. Det ses også, at CO værdien og THC værdien dog er noget høje i flammefasen, hvilket ville være ønskværdigt at forbedre i fremtiden. Alle 3 forbrændingscyklus i

skemaet nedenfor har været i samme tid, nemlig 67 minutter, hvilket har givet en effekt på 3,5 kW. (Forbrændingscyklusmængden var her 1,2 kg/forbrændingscyklus).

Virkningsgraden baseret på "Aktuelle værdier" er den korrekte virkningsgrad bestemt i hver enkelt målepunkt, og hvorefter middelværdien af disse tal er bestemt. Virkningsgraden baseret på "Middelværdier" er bestemt ved at beregne den ud fra middelværdien af CO₂ og middelværdien af røggastemperaturen. Det er sidstnævnte beregningsmetode, der anvendes i standarderne, men dette er ikke den mest sigende værdi i forhold til analyse af data og udtryk for reelle forhold angående virkningsgraden over tid, hvorfor det er valgt at bruge de aktuelle værdier til sammenlignende studier i denne rapport.

Det ses i det nederste skema, hvad angår glødefasen, at virkningsgraden bliver 15-20% point højere ved at sænke røghylden. Emissionsværdierne bliver her i dette tilfælde også reduceret med ca. 45% for CO's vedkommende og OGC til under halvdelen. Reduktionen i forhold til emissionen er dog meget usikker på baggrund af disse få målinger, og vil derfor med fordel kunne studeres mere detaljeret, hvor der samtidig kan arbejdes på at forbedre emissionsituationen i flammefasen.

Ved en "normal" typeprøvning påfyres der relativt kort tid efter, at flammerne er gået ud, da virkningsgraden og emissionsværdierne ellers bliver dårlige. Her i dette projekt med sænkning af røghylden kan ovnen sandsynligvis godt, baseret på de indledende målinger, bringes til at brænde meget længere i glødefasen uden, at virkningsgraden og emissionsværdierne ødelægges tilsvarende. Når CO₂ værdien øges har det både en gavnlig virkning på virkningsgraden og emissionsværdierne. Virkningsgraden fordi denne afhænger direkte af CO₂ værdien og røggastemperaturen, og emissionsværdierne da disse korrigeres til en reference O₂/CO₂ værdi, og jo højere CO₂ værdi jo lavere korrigerede emissionsværdier.

Hvis ovnen kan brænde længere tid i glødefasen kan den nominelle effekt på ovnen blive mindre, hvilket ofte er et ønske, specielt i mere energiøkonomiske huse. Det betyder at det nye brændeovnskoncept vil være mere miljøvenlig, effektiv og egnet til moderne huse, hvor det i øjeblikket kan være svært at benytte en brændeovn fornuftigt.

Efter disse eksperimenter blev det igen forsøgt at reducere CO og THC emissionen dels i flammefasen og dels i glødefasen. Det var nødvendigt med småjustering af ovnen. Pga. at hejsesystemet igen gik meget træt blev ovnen sendt til Rais for, at de kunne afhjælpe dette problem og dermed blive i stand til at regulere bedre og lettere på røghyldens placering. Rais fandt fejlen, som skyldes en kant på røghylden, der gik i mod brændkammeret når ovnen blev varm og udvidende sig.

6.4.2 Måling med flere emissions parametre

Efter reguleringerne af ovnen, blev emissionsforhold studeret nærmere. Måling med flere emissioner, Bl.a. støv målt blev målt i 2 x 30 minutter i hver forbrændingscyklus fra 3-33 min. (1. halvdel af forbrændingscyklussen) og 35-65 min. (2. halvdel af forbrændingscyklussen) samt NO_x.

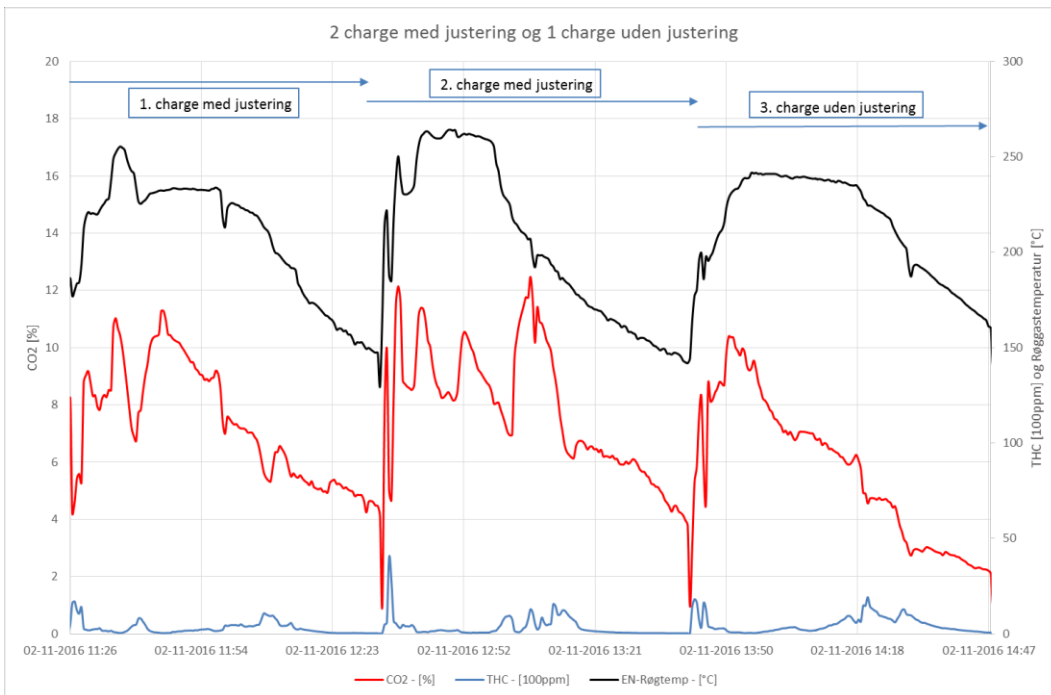
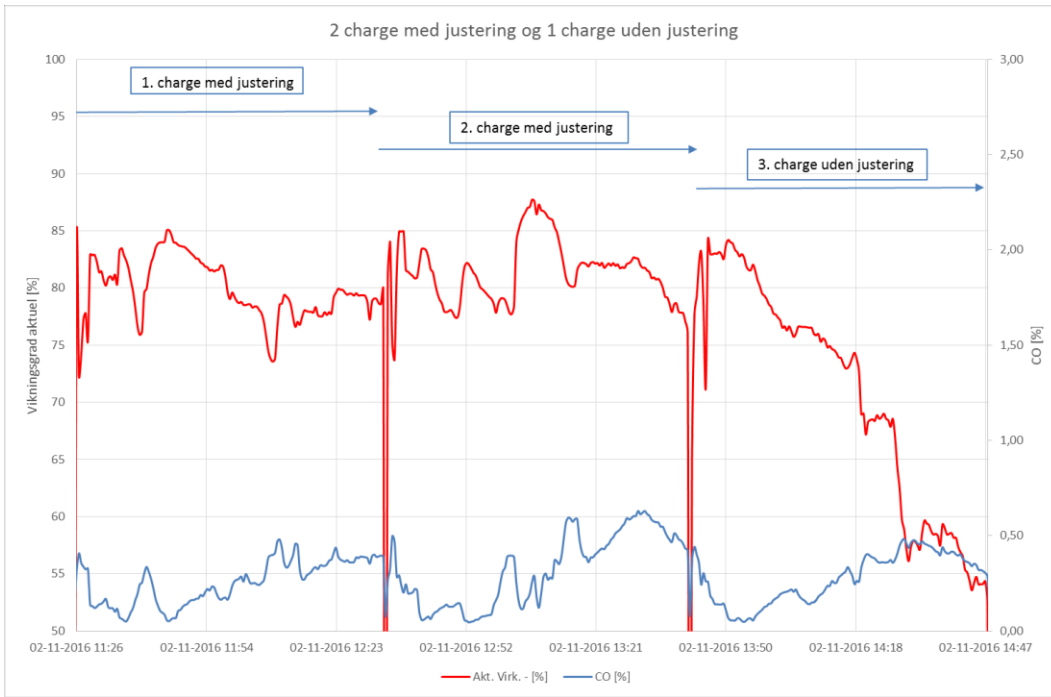
Resultaterne af dette er vist i skemaet herunder:

	Enhed	1- forbrænding scyklus ”Med justering”*) Middelværd i af 1. halvdel	2- forbrænding scyklus ”Med justering”*) Middelværd i af 1. halvdel	3- forbrænding scyklus Uden justering Middelværd i af 1. halvdel	1- forbrænding scyklus Med justering Middelværd i af 2. halvdel	2- forbrænding scyklus Med justering Middelværd i af 2. halvdel	3- forbrænding scyklus Uden justering Middelværd i af 2. halvdel
Virkningsgrad (Pba. Aktuelle værdier)	%	81,5	79,5	77,9	78,3	82,1	62,9
CO ₂	Vol. %	8,9	9,0	7,6	5,8	6,7	3,8
Røggastemperatur	°C	225	237	221	183	165	197
CO ved 13% O ₂	Vol. %	0,14	0,15	0,17	0,43	0,51	0,71
OGC ved 13% O ₂	mgC/Nm ³	149	178	183	226	212	709
Støv ved 13% O ₂	mg/Nm ³	13	14	16	6	11	22
NO _x Ved 13% O ₂	mg(NO ₂)/ Nm ³	98	102	97	107	106	104
Tid	Minutter	33	33	33	35	34	34

*) Justeret en gang i denne del af forbrændingscyklusn.

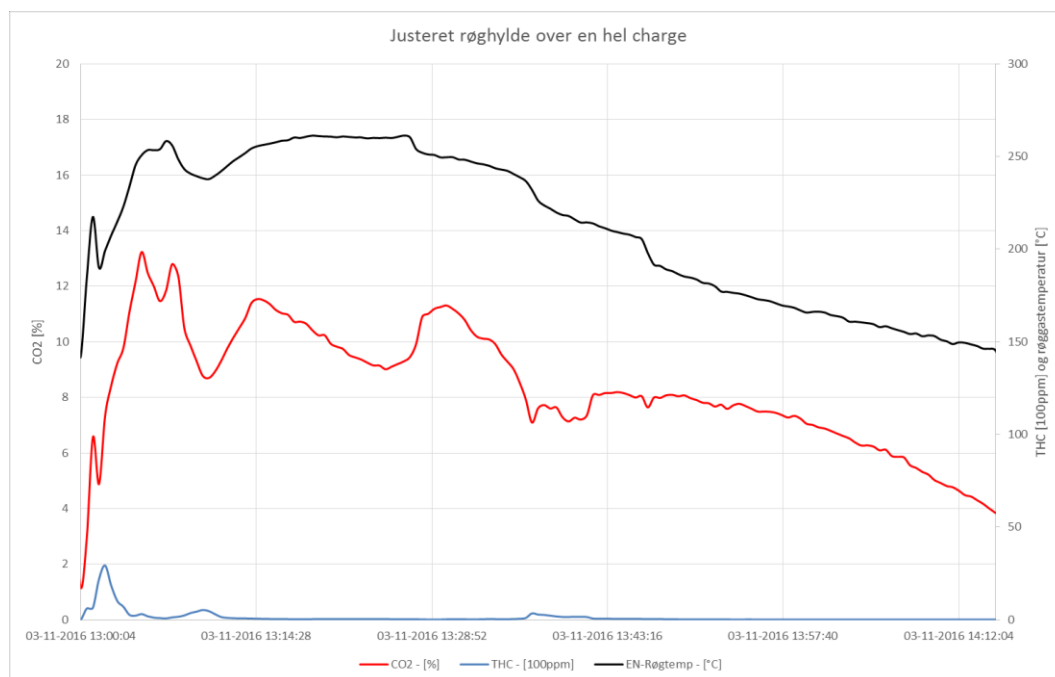
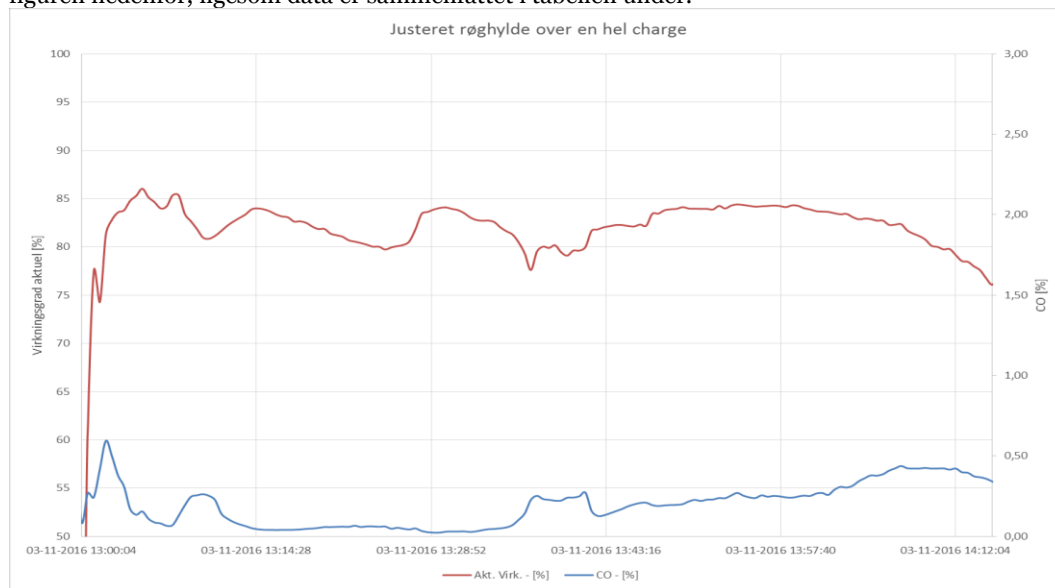
Fra tabellen ses, at CO og OGC emissionerne er højere uden justering af røghylden, og samtidig er virkningsgraden lavere, hvilket betyder at alle disse parametre er bedre med justeringer og tydeligt demonstrerer potentialet af metoden med en bevægelig røghyld. Se også tilhørende grafer, der er vist nedenfor.

Støvemissionen er i henholdsvis første og anden halvdel af forbrændingen lavere i de tilfælde, hvor der er justeringer af røghylden i forhold til, når der ikke er. Forskellen er dog mest signifikant i anden halvdel af forbrændingen, hvor glødefasen finder sted. Forskellen i støvemissioner er her målt til halvdelen eller lidt under dette i 2. halvdel af forbrændingscyklusn hvor der primært er gløder i forhold til i starten i første halvdel af forbrændingscyklusn, hvor der primært er flammer. I starten af sidste støvmåling er der dog stadig lidt flammer, hvilket trods alt nok har betydet, at der er en målbar mængde støv. NO_x målingerne ligger meget konstant uanset om der justeres på røggashylden eller ej, hvilket indikerer, som ventet, at termisk NO_x (afhængig af forbrændingsprocessen) spiller en relativt lille rolle for brændeovne i forhold til mængden af NO_x fra brændslet.



6.4.3 Sænkning af røghylden over hele forbrændingscyklus test-1

Et eksperiment blev udført, hvor røghylden blev justeret løbende gennem hele forbrændingen af en forbrændingscyklus for på den måde at opnå den bedste forbrænding i hele forløbet. Dette er vist i figuren nedenfor, ligesom data er sammenfattet i tabellen under.

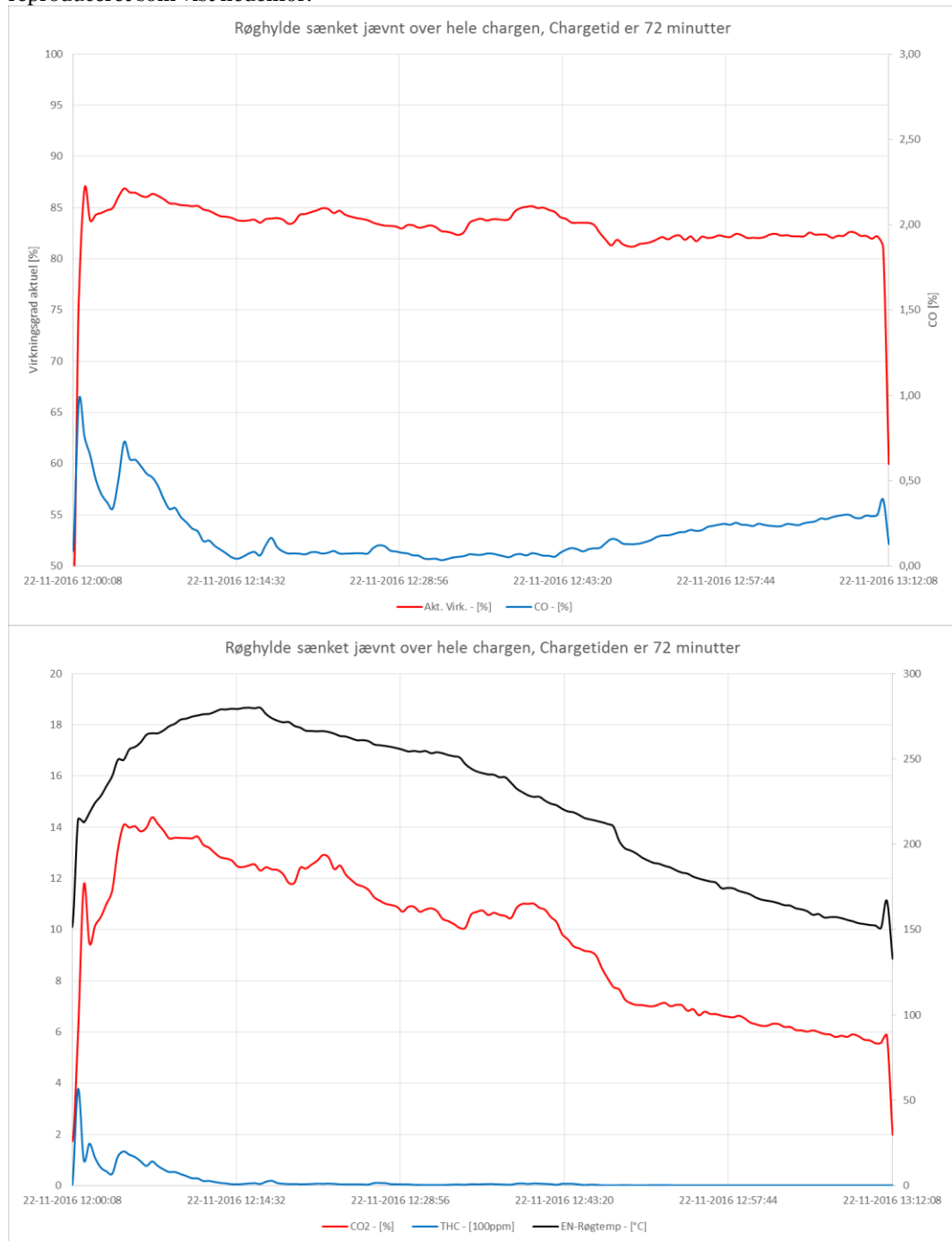


Justeret røghylden over hele forbrændingscyklus	Enhed	Flammedel Middelværdi	Glødefasen Middelværdi	Samlet Middelværdi
Virkningsgrad (Pba. Aktuelle værdier)	%	81,1	82,4	81,7
CO ₂	Vol. %	9,7	6,8	8,4
CO	Vol. %	0,12	0,28	0,19
THC	ppmC	221	31	132
Røggastemperatur	°C	239	170	207
CO ved 13% O ₂	Vol. %	0,09	0,31	0,18
OGC ved 13% O ₂	mgC/Nm ³	104	20	71
Tid	Minutter	40	35	75

Det ses ud fra graferne, at CO emissionen er meget pæn i flammedelen, men noget høj i glødefasen. OGC er meget pæn både i flammedelen og i glødefasen. Virkningsgraden holdes på et meget fint niveau gennem hele forløbet.

6.4.4 Sænkning af røghylden over hele forbrændingscyklus test-2

Forsøget ovenfor med justering af røghylden gennem hele forbrændingscyklus blev søgt reproduceret som vist nedenfor.



Justeret røghylde over hele forbrændingscyklusn	Enhed	Flammedel Middelværdi	Glødefasen Middelværdi	Samlet Middelværdi
Virkningsgrad (Pba. Aktuelle værdier)	%	83,8	81,6	83,0
CO ₂	Vol. %	11,5	6,4	9,7
CO	Vol. %	0,17	0,23	0,19
THC	ppmC	396	12	261
Røggasttemperatur	°C	246	167	218
CO ved 13% O ₂	Vol. %	0,12	0,26	0,15
OGC ved 13% O ₂	mgC/Nm ³	160	8	122
Tid	Minutter	47	25	72

I denne test ses igen stabile og meget høje virkningsgrader, der er i samme størrelsesorden som i forrige forsøg. På emissioner ses lidt afvigelser mellem de to måleserier.

6.4.5 Målinger med og uden justering af luft og røghylde

En række forsøg fandt sted, hvor der blev justeret for henholdsvis røggashylde og luft samtidig, sammenlignet med justering udelukkende luft og disse situationer blev sammenholdt med forsøg, hvor intet blev reguleret under forbrændingscyklusn. I de to tabeller nedenfor er data for gennemsnit over hele forbrændingscykluss beregnet og anført:

Test	TC-1 dag-1	TC-2 dag-1	TC-3 dag-1	TC-4 dag-1	TC-5 dag-2
Forbrændingscyklus, hele forbrændingscyklus					
Driftform	Luft og hylde just.	Luft og hylde just.	Luft og hylde just.	Kun luft just. Ikke hylde just.	Ingen hylde og Ingen luft just.
CO ₂ [%]	9,8	9,7	9,3	8,1	9,4
Virkningsgrad [Aktuel %]	83,8	83,0	82,8	78,6	82,3
Røggasttemperatur [°C]	212	218	214	213	212
CO [Direkte %]	0,16	0,19	0,17	0,29	0,34
THC [Direkte ppmC]	202	261	326	488	540
CO [% ved 13% O ₂]	0,13	0,15	0,14	0,27	0,27
OGC [mg/Nm ₃ ved 13% O ₂]	94	123	159	272	262

Test Forbrændingscyklus, hele forbrændingscyklus	TC-1 dag-3	TC-2 dag-3	TC-3 dag-3	TC-4 dag-3	TC-5 dag-3	TC-6 dag-3
Driftform	Ingen hylde og Ingen luft just.	Ingen hylde og Ingen luft just.	Ingen hylde og Ingen luft just.	Ingen hylde og Ingen luft just.	Luft og hylde just.	Luft og hylde just.
CO ₂ [%]	7,9	7,5	7,5	7,4	8,6	8,9
Virkningsgrad [Aktuel %]	74,4	75,7	76,1	72,5	81,5	81,7
Røggasttemperatur [°C]	247	230	231	250	215	218
CO [Direkte %]	0,35	0,31	0,36	0,25	0,19	0,15
THC [Direkte ppmC]	764	607	585	269	208	219
CO [% ved 13% O ₂]	0,33	0,31	0,36	0,26	0,17	0,13
OGC [mg/Nm ₃ ved 13% O ₂]	436	362	350	163	109	112

I de to tabeller nedenfor ses data evalueret over de sidste 20 minutter af forbrændingscyklusne på den givne dag under de givne omstændigheder. Figuren illustrerer en sammenligning af ovnens ydeformåen i glødefase i de enkelte situationer med og uden justering af røggashylde og luft som anført under driftsform for det enkelte forsøg.

Test Forbrændingscyklus sidste 20 min	TC-1 dag-1	TC-2 dag-1	TC-3 dag-1	TC-4 dag-1	TC-5 dag-2
Driftsform	Luft og hylde just.	Luft og hylde just.	Luft og hylde just.	Kun luft just. Ikke hylde just.	Ingen hylde og Ingen luft just.
CO ₂ [%]	6,8	6,2	6,0	3,5	5,8
Virkningsgrad [Aktuel %]	83,3	81,6	80,9	69,2	77,2
Røggastemperatur [°C]	162	161	167	162	191
CO [Direkte %]	0,24	0,25	0,27	0,47	0,57
THC [Direkte ppmC]	18	11	18	257	354
CO [% ved 13% O ₂]	0,27	0,30	0,33	0,93	0,70
OGC [mg/Nm ₃ ved 13% O ₂]	12	8	13	315	270

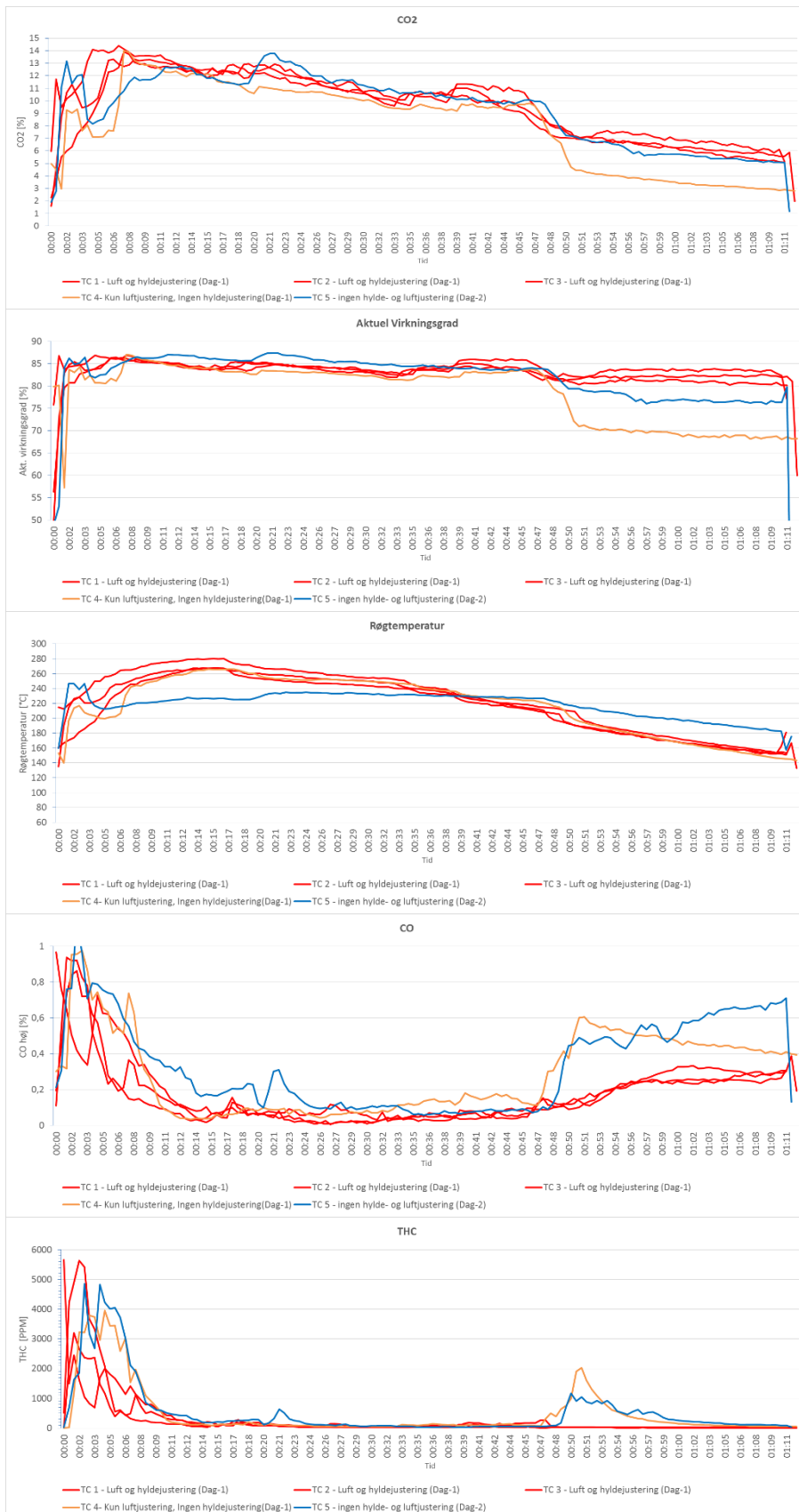
Test Forbrændingscyklus sidste 20 min	TC-1 dag-3	TC-2 dag-3	TC-3 dag-3	TC-4 dag-3	TC-5 dag-3	TC-6 dag-3
Driftsform	Ingen hylde og Ingen luft just.	Ingen hylde og Ingen luft just.	Ingen hylde og Ingen luft just.	Ingen hylde og Ingen luft just.	Luft og hylde just.	Luft og hylde just.
CO ₂ [%]	3,9	4,2	4,4	3,7	6,0	6,3
Virkningsgrad [Aktuel %]	65,0	66,8	69,0	61,8	81,1	80,3
Røggastemperatur [°C]	201	202	199	209	164	179
CO [Direkte %]	0,57	0,48	0,53	0,41	0,22	0,21
THC [Direkte ppmC]	1180	847	661	142	47	18
CO [% ved 13% O ₂]	0,99	0,80	0,85	0,78	0,28	0,25
OGC [mg/Nm ₃ ved 13% O ₂]	1304	868	651	164	35	13

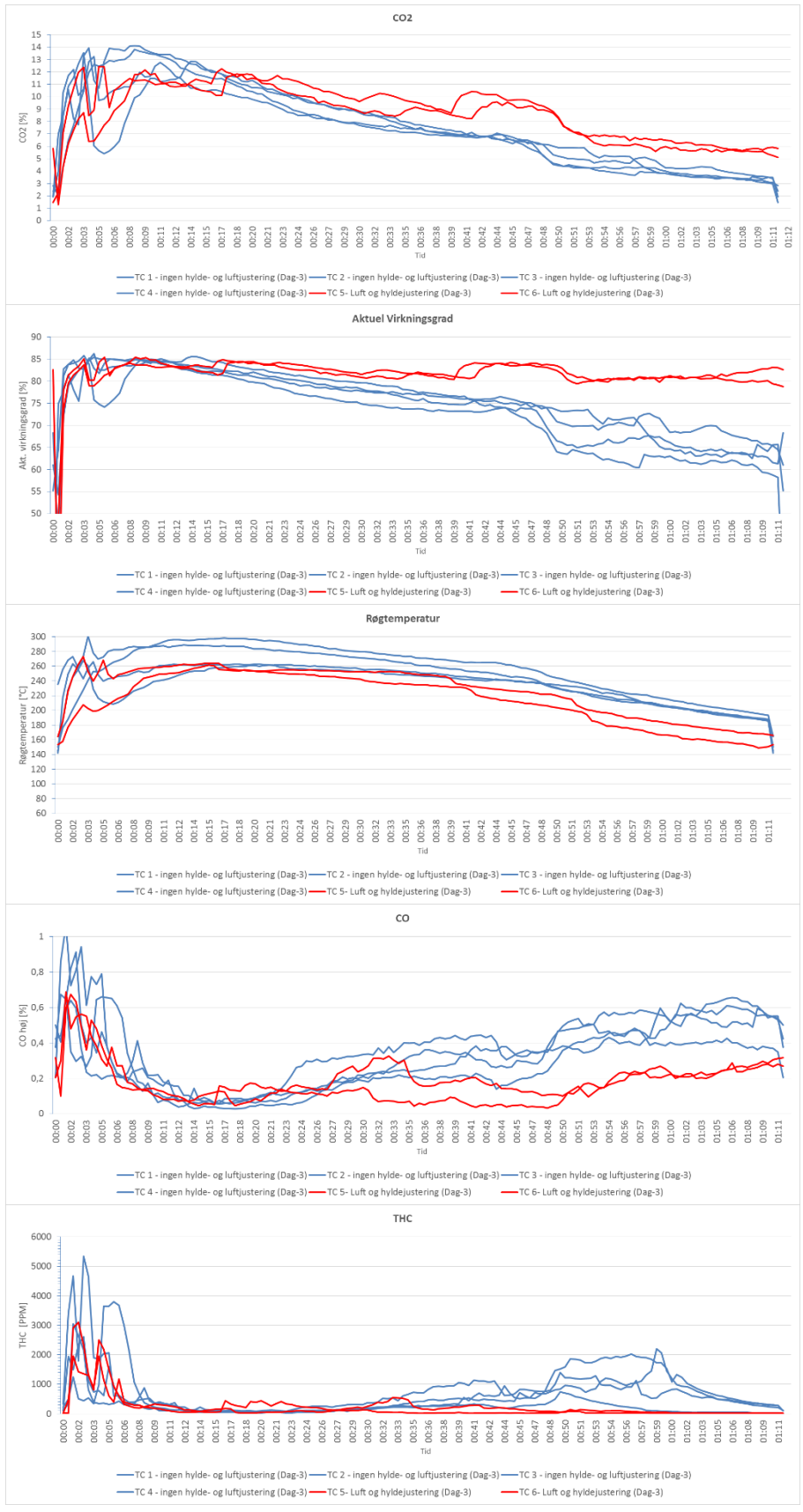
Alle 3 dage er der fyret ens med følgende forhold:

- Antal stykker brænde pr. forbrændingscyklus: 2 stk.
- Vægt pr. forbrændingscyklus 1,5 kg
- Prøvens varighed 71 minutter pr. forbrændingscyklus
- Afbrændt 1,27 kg/h
- Effekt 3,9-4,3 kW (Afhængig af virkningsgrad)

Dette betyder, at disse parametre ikke spiller ind, og at den eneste forskel mellem målingerne er justering eller mangel på samme af røggashylden og lufttilførslen, hvorfor betydningen af disse to faktorer kan evalueres på baggrund af data.

Grafer, der viser udviklingen af nøgleparametre som CO₂, virkningsgrad, røggastemperatur, CO og THC som funktion af tid under forbrændingscyklusen er vist for de enkelte dage i de følgende figurer:





Ud fra grafer og skemaer i dette afsnit er det tydeligt, at der er en pæn forbedring på såvel virkningsgrad som CO og OGC emissioner ved brug af princippet med variation af røghylde og lufttilførsel. Det skal dog nævnes, at resultaterne fra måledag 2 uden hylde og luftjustering ser lidt speciel ud. Det er noteret, at ovnen ikke rigtig ville brænde under de omstændigheder, hvilket også ses på røggastemperaturen, der er noget lav i starten af forbrændingscyklusen men relativ høj i slutningen. Det er alligevel valgt at vise resultaterne her, også for at demonstrere, at ikke alle afbrændinger forløber ens, når der afbrændes brænde i en brændeovn. Dette betyder også, at man skal vurdere sine resultater kritisk og om nødvendig undersøge reproducerbarhed, for at vide om de tal man ser på er repræsentative eller blot et enkelt afvigende resultat påvirket af en af mange parametre der kan spille ind.

6.4.6 Varia 2106-3 med skamol i nederste del af brændkammeret

Rais har gennemført målinger i Varia 2016-3, der har været yderligere isoleret med skamol nederst i brændkammeret. Ovnen, med skamol i bunden, er vist i Figur 18.



FIGUR 20 SKAMOL I BUNDEN AF BRÆNDKAMMERET

Der blev her målt CO ved 13% O₂ på 0,14% og OGC på 59mgC/Nm³ ved 13% O₂ som middelværdi over hele forbrændingscyklusen.

Dette må siges at være pæne værdier, når brændtiden var på ca. 72 minutter pr. forbrændingscyklus og en effekt på 4,2 kW.

6.5 Testforløb generelt

Der er som nævnt i indledningen gennemført mange forskellige tests på alle versioner af Varia 2016 ovnene.

Der har under hele projektet været 2 versioner af en given Varia ovnmodel, hvor én har været sat op hos Rais og én hos Teknologisk Institut.

De resultater som er vist i denne rapport er kun et uddrag af alle de tests, der er gennemført dels hos Teknologisk Institut og dels hos Rais A/S.

Der er forsøgt med mange forskellige indstillinger af alle de forskellige luftspjæld samt den trinløse placering af røghylden, for at demonstrere og forfine princippet så meget som muligt indenfor de givne rammer.

Følgende indstillingsmuligheder forefindes og har været afprøvet enkeltvis, eller i kombination med andre indstillinger gennem projektet:

- Primær lufttilførsel under risten
- 2 forskellige udformninger af risten
- Sideluftstilførselsmulighed ud for gløderne i bunden af brændkammeret.
- 2 rækker med sideluft i højderne 150mm samt 250mm over bunden af brændkammeret i begge sider. Disse 4 spjæld kan justeres med justerbar lufttilførsel dels i fronten og dels i bagsiden af brændkammeret.
- Luft i røghylden styres med åbning/lukning i toppen af hejsesystemet. Det ene hejserør forsyner forreste del af røghylden og det andet hejserør forsyner den bagerste del af røghylden.
- Røghylden kan frit hæves og sænkes fra topposition og helt ned til bunden af brændkammeret.
- Alle lufthuller kan også bores op eller lukkes til, hvilket igen kan give helt andre forhold.

Det har i dette projekt været meget naturligt at brænde i noget længere tid på en påfyring end det er normal praksis under typeprøvningerne (Se tidligere). Varia princippet betyder, at der kan brændes fornuftigt også i glødefasen. Dermed har princippet et stort potentiale, specielt for nye moderne huse.

Indfyringsmængden pr. påfyring har typisk ligget på 1,2 til 1,5 kg pr. påfyring fordelt på 2-3 stykker brænde, hvilket har virket som en naturlig mængde, når der fyres med en "normal" lav ydelse i ovnen.

Under testene er der normalt kun målt på CO og OGC, da disse giver en kontinuerlig og meget god indikering af, hvorledes emissionerne generelt er. Under mange af målingerne er der forsøgt meget forskelligt for bl.a. at kunne nedbringe CO-emissionen i glødefasen. Under enkelte tests er der målt støv og NOx. Støvmålingerne er her foretaget dels som 2 x 1/2 time under hver forbrændingscyklus, og dels kun i glødefasen. I glødefasen blev det konstateret, at støvemissionen er meget lille, i dette tilfælde noget under detektionsgrænsen for det anvendte udstyr. NOx emissionen er ved brændeovne meget konstant og normalt mest afhængig af brændslet og forbedres således ikke nævneværdigt ved forbedringer af forbrænding i ovnen, som det ses ved de andre emissioner.

6.6 Samlet vurdering af resultater

Der er i dette projekt udelukkende foretaget fyring i Varia ovne.

Forskelle med og uden regulering på luften og røghylden er udelukkende analyseret for Varia ovne.

Det vurderes dog, at "Traditionelle" danske brændeovne har meget ens forhold, og specielt glødefasen er sammenlignelige med Varia ovnen, når der ikke justeres på luften og røghylden. Varia 2016-3 har dog også forhold i flammefasen meget lignende andre standart ovne, uden at dette dog er forsøg specielt optimeret.

Under afsnit 6.1 kan der ses grafer fra en helt almindelig typeprøvning af Rais Epoca II. Her kan det særligt bemærkes, at CO₂ værdien og også virkningsgraden falder meget i den sidste del af forbrændingscyklusen (efter at flammerne er gået ud).

6.6.1 Virkningsgrad

Under målingerne er der set en øget virkningsgrad, som dels skyldes sænkning af røghylden, og dels skyldes justering af luftspjældene i løbet af nedbrændingen. Virkningsgraden er forbedret i størrelsesordenen 15-20% (point) i glødefasen.

Hvis glødefasen antages at være ca. 1/3 af den samlede nedbrændingstid, vil dette kunne betyde en besparelse i brændeforbruget på i størrelsesordenen mindst 5%.

Her skal dog bemærkes at den aktuelle afgivne effekt fra forbrændingen under glødefasen er mindre end den aktuelle afgivne effekt er i flammedelen. Dette forhold er ikke medregnet i denne rapport.

6.6.2 Emissioner

Emissionen af CO, OGC og støv kan sandsynligvis forventes at kunne reduceres med i størrelsesordenen 50% i glødefasen. Hvis der igen antages, at glødefasen er 1/3 af den samlede nedbrændingstid, vil dette kunne betyde en reduktion i emissionerne generelt set på i størrelsesordenen 15%.

6.6.3 Lavere effekt

Da husene, hvor der opstilles brændeovne, bliver bedre og bedre isoleret, er der generelt brug for brændeovne med en lavere effekt.

Derudover kan det nok antages, at slutbrugere i halvdelen af tiden bruger deres brændeovn ved en endnu lavere effekt, som det er tilfældet i foråret og efteråret, hvor der ikke er så stort varmebehov.

Begge ovenstående punkter betyder, at der er behov for brændeovne, der kan brænde med lave emissioner ved en lav effekt. Dette forhold vurderes at kunne udvikles endnu mere med Varia princippet, da det i dette projekt har været helt naturligt, at forlænge nedbrændingstiden fra ca. 50 minutter, som er en typisk periode ved typeprøvningen, til 65-75 minutter, som har været typisk i dette projekt. Alene dette kan antages at kunne give en generel reduktion i effekten på ca. 30%. Samtidig viser de præsenterede data, at det er muligt at opnå lavere emissioner ved Varia princippet til sammenligning med en klassisk ovn.

Disse lovende resultater forventes at kunne forbedres yderligere ved videreoptimering. Hvis Varia ovnen udbygges med automatisk styring baseret på et sensorsystem, der følger forbrændingen, formodes det at være muligt med tiden at udvikle en ovn, der er automatisk styret, har lav effekt, hvorved den passer til moderne boliger, og samtidig har minimale emissioner.

7. Observationer og sammenfatning af erfaringer ved test på Varia

7.1 CO₂

Det ses tydeligt at CO₂ værdien kan holdes på et relativt højt niveau, når der dels justeres på luftspjældene og når røghylden sænkes løbende under nedbrændingen. Dette er vigtigt da CO₂ er et mål for hvor god forbrændingen er. I den bedst tænkelige situation, fuldstændig forbrænding, omdannes alt carbon i træet ved forbrænding til CO₂ (svarende til et niveau af CO₂ på 20%) of CO og uforbrændte carbonforbindelser og partikler undgås.

7.2 Virkningsgrad

Virkningsgraden der opnås i Varia i glødefasen er høj grundet den gode forbrænding observeret ved den højere CO₂ værdi i glødefasen .

7.3 Effekt

Da det er muligt at holde CO₂ værdien rimelig høj i glødefasen er det også muligt at forlænge brændtiden og dermed reducere effekten, uden at det går væsentligt ud over virkningsgraden og emissionerne.

7.4 Emissioner

Derudover ses der også reduktion i emissionerne, hvilket formentlig skyldes et varmere brændkammer (Forbrændingszone). Når de målte emissioner skal omregnes til referenceiltprocenten bliver resultatet en reel bedring, da den målte CO₂ værdi er højere.

7.5 Flammefasen

Det har som udgangspunkt ikke været meningen at forbedre/udvikle på flammefasen, da formålet var at optimere glødefasen. Da Varia 2016-1 viste sig praktisk talt ikke at kunne brænde i flammefasen er denne del alligevel blevet studeret og optimeret væsentligt i Varia 2016-3.

Følgende forhold kan nævnes at være af relevans for flammefasen på Varia 2016-3

- Brændkammeret er ikke tilstrækkelig isoleret, bl.a. er der 3 rækker luftspjæld på begge sider af ovnen, hvor en del varme vil stråle ud.
- Den variable røghyld lukker ikke helt tæt ud mod brændkammersiderne. Dette kan evt. betyde, at der slipper uforbrændte gasser ud her, og dermed bliver emissionen af dels CO og OGC sandsynligvis forhøjet.

7.6 Glødefasen

Der ses rimeligt pæne OGC emissioner og lovende CO emissioner i glødefasen, men der er stadig udfordringer med at reducere CO emissionen i glødefasen i forhold til det ønskede niveau, og det ventes således at det er muligt stadig at vinde mere på denne parameter.

Meget tyder på, at luften op igennem bundristen har en dårlig indflydelse på CO emissionen i glødefasen. Det bedste er tilsyneladende, at luften næsten udelukkende kommer oppe fra røghylden. Om luften bedst tilføres fra forreste del eller bageste del af røghylden har ikke været muligt entydigt at fastlægge.

7.7 Røggastemperatur

Der ses en tendens til, at røggastemperaturen bliver lidt mindre, når røghylden sænkes, hvilket formentlig skyldes at "Konvektionsdelen" (den del af ovnen hvor røggassen afkøles før den sendes ud i røgafgangen), bliver forøget.

7.8 Påfyring

Det viste sig, at flammer blev etableret meget hurtigt ved påfyring, selv med en meget lille gløderest tilbage. Dette skyldes formentlig dels en god underluft (Primærluft) samt et meget varmt brændkammer (Forbrændingszone) efter at røghylden har været sænket helt ned til gløderne.

8. Potentiale i Varia 2016 ovn

8.1 Varia 2016-1 og Epoca II efter indledende forsøg

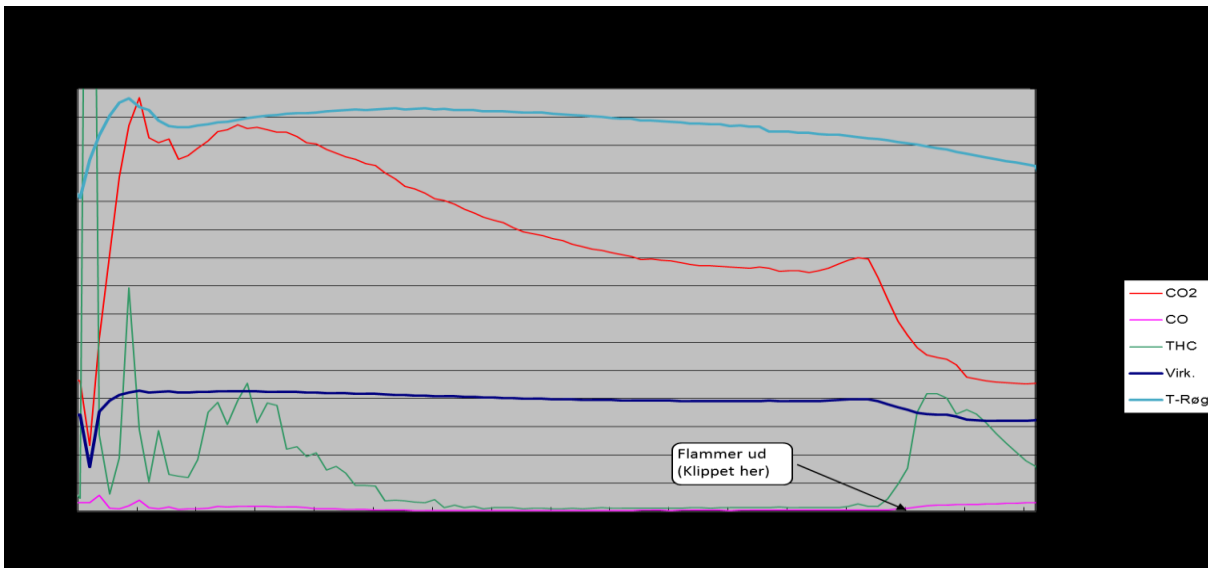
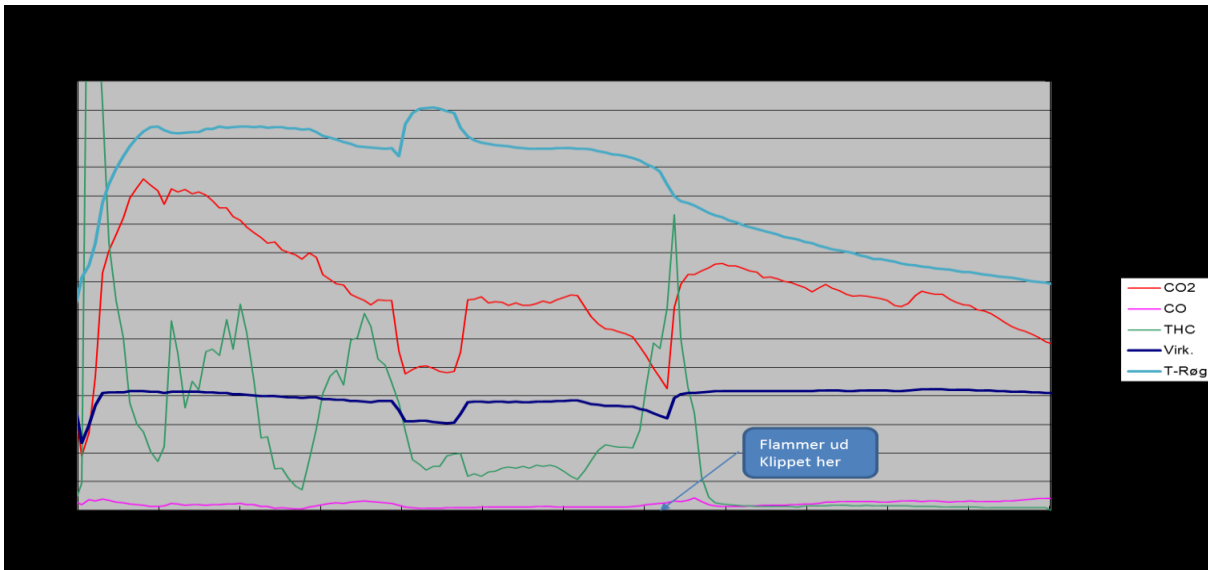
Allerede efter at have gennemført de første indledende forsøg på Varia 2016-1 blev det forsøgt at få et foreløbigt overblik over potentialet i projektet.

Der blev fundet resultater fra en typeprøvning af Rais Epoca II, der minder meget om Varia 2016-1 ovnen i dette projekt, til sammenligning. Der er i begge ovne fyret med næsten samme forbrændingscyklusmængde (1,5 kg/forbrændingscyklus), ovnene har næsten samme røggastemperatur, og tiden med flammer er også meget identisk. En forskel er, at glødelaget, når der indfyres i Epoca II, er noget større end i Varia 2016-1.

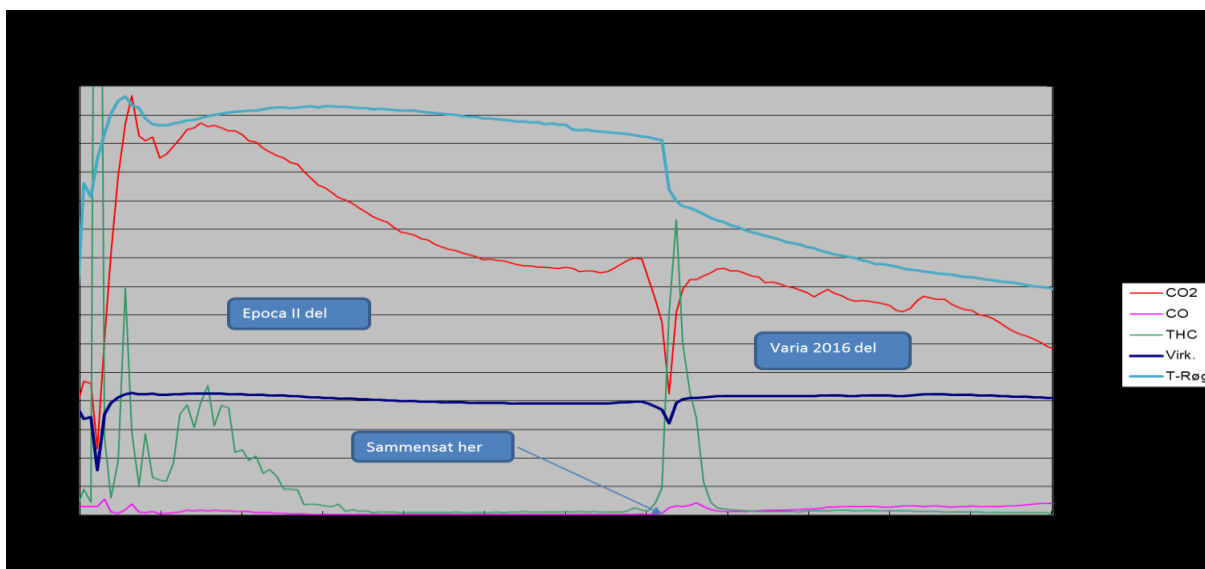
I nedenstående tabel og grafer er angivet hovedtal for test på Varia 2016-1 samt tal fra typeprøvning af Epoca II. I sidste kolonne er anført en sammensat værdi, baseret på at man antager, at en fremtidig ovn kunne brænde som Epoca II i første del med flammer og som Varia 2016-1 i anden del med forbrænding af gløder. Resultaterne er sammensat, på det tidspunkt hvor flammerne går ud. I dette tilfælde efter 42 minutter for begge ovne. Den sammensatte måling er udelukkende fremstillet for at kunne se potentialet i projektet, og kan ikke betragtes som et måleresultat.

Parameter	Enhed	Varia 2016-1	Epoca II	Sammensat (Teoretisk)
Brændtid	Minutter	70	49	70
Effekt	kW	4,2	6,7	4,3
Virkningsgrad	%	78	80	81
CO ₂	%	7,7	9,7	9,2
CO	%	0,202	0,074	0,126
OGC	mgC/Nm ³	146	78	57
Røgteperatur	°C	223	266	235

Graferne, der viser, hvordan de 2 ovne brænder gennem en forbrændingscyklus er vist nedenfor.



Ud fra dette er det tydeligt, at Varia 2016-1 sammenlignet med Epoca-II resultaterne, der er betegnende for en helt almindelige typeprøvning efter EN13240, er bedre i sidste del af forbrændingen.



Hvis man tænker sig en ovn, hvor man kombinerer det bedste fra Epoca II flammefase med den gode glødefase i Varia 2016-3, kunne det resultere i en ovn, der performer som vist ovenfor, hvor de to datasæt er 'sat sammen' som beskrevet ovenfor i forbindelse med data i den tilhørende tabel. At opnå denne optimering i praksis vil dog kræve mere udviklingsarbejde på ovnen og ligger uden for målet af dette gennemførlighedsprojekt, hvor potentialet er vist.

8.2 Muligheder for Varia 2016 princippet

Projektet har vist sig meget lovende. Der er muligheder i Varia princippet for, at brændeovne kan bringes til at brænde i længere tid på en indfyring uden at dette har negativ indflydelse på emissionerne og med en relativ høj virkningsgrad, som vist med data for Varia 2016-3 ovnen i afsnit 5, der sågar præsterer langt bedre end den oprindelige Varia 2016-1 ovn

I velisolerede huse, og i overgangsperioderne forår og efterår, er der ofte brug for at brændeovnen brænder ved lav effekt. Emissionerne og virkningsgraden her vil sandsynligvis kunne forbedres væsentligt med Varia princippet.

8.3 Videreudvikling af Varia princippet

Hvis Varia princippet skal videreudvikles vil der foreløbig, baseret på det foreløbige arbejde, være følgende 5 hovedområder, som det anbefales at der skal sættes fokus på:

- 1) Mekanik
 - Ovnens skal konstrueres med skamolen på indersiden i stedet for ydersiden
 - Skamolen skal isolere hele brændkammeret
 - Den justerbare røghylde skal være tætsluttende imod indersiden af brændkammeret
- 2) Lufttilførsel
 - Luften skal tilføres mere optimalt til brændkammeret således, at ovnen brænder bedre i dels flammedelen samt i glødefasen.
- 3) Elektrisk justerbare dele
 - Alle spjæld og røghylden skal kunne justeres elektrisk

- 4) Sensorer
 - Der skal findes relevante sensorer til bestemmelse af f.eks. temperatur, O₂, CO, lyssensor, opacitet eller andet, som kan bruges som grundlag for at kunne regulere indstillingerne for spjæld og røghylden.

- 5) Styring/Algoritmer
 - Der skal udvikles elektrisk styring med algoritmer, der kan finde den bedste indstilling af dels luftspjældene og dels røghylden til alle tidspunkter i fyringen. Dette skal ske på baggrund af sensor data.

Teknisk gennemførlighedsundersøgelse af reduktion af partikler og gasemissioner ved anvendelse af variabelt brændkammer og luftsystem til brændeovne

Det foreliggende MUDP-projekt have til formål at undersøge potentialet for et system til brændeovne bestående af et variabelt brændkammer og variable lufttilførsel, som kan optimeres under forbrændingsprocessen. Dermed ønsker projektet at bidrage til teknologi, der kan sikre renere forbrænding fra brændeovne med særligt fokus på at reducere partikler, uforbrændte hydrocarboner og CO samt øge virkningsgraden. Gennemførlighedsundersøgelsen har vist, at der er meget lovende muligheder i princippet, heriblandt en forøgelse af virkningsgraden på 15-20 % (point) i glødefasen samt en ca. 50 % reduktion af CO, OGC og støv emissioner fra glødefasen. Det vurderes, at der er mulighed for endnu større virkning, hvis konceptet udvikles yderligere, for eksempel ved indførelse af automatisk styring baseret på et sensor-system.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk