

Miljøprojekt Nr. 535 2000

Miljøvenlig
laveffektbrændeovn
med høj nyttevirkning

Arne Sæbye
Dansk Teknologisk Institut

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.

Resumé:	20. april 1999
Tillæg:	20. april 1999
Hovedrapport:	12. juli 1998
Rapport for fase 3:	15. juni 1998
Rapport for fase 2:	2. marts 1996
Rapport for fase 1:	15. juni 1995

Resumé

Effektbehovet i moderne boliger er en stor del af året af størrelsesordenen 1,5 - 6 kW. Der findes ikke på markedet ovne for biobrændsel, der med tilfredsstillende forbrændingskvalitet kan dække behov lavere end 4 - 5 kW.

De fleste ovne, der findes på markedet, skal påfyres ca hver 2. time for at brænde med en acceptabel forbrændingskvalitet.

Ved at anvende modstrømsforbrændingsprincippet kombineret med styring af sekundærluft, underluft og konvektionskapacitet har det vist sig muligt at fremstille en brændeovn, der med almindeligt skovbrænde ved en afgivet effekt på ca 3 kW kan brænde i 8 timer pr påfyring med en forbrændingskvalitet og virkningsgrad, der opfylder kravene i DS 887.

Ovnen vil kunne fremvise et tydeligt flammebillede i 3-4 timer pr påfyring.

Ved optimering af konvektionsparten og konstruktionsdetaljer vil ovnens vandrette dimensioner kunne reduceres, således at ovnen kan indpasses et almindeligt, salgbart design.

En sådan optimering forudsætter en produktudvikling, som ikke er omfattet af projektet.

Forbrændingsprincippet kan benyttes til at opnå bedre forbrænding i ovne med større afgivet effekt, og her vil det være muligt at strække perioden mellem påfyringer væsentligt ud over 8 timer.

Erfaringerne med styring af konvektionskapaciteten efter røgtemperaturen vil kunne udnyttes i andre typer konvektionsovne til en forbedring af virkningsgraden.

Ligeledes ved at anvende modstrømsforbrændingsprincippet er det lykkedes at fremstille en ovn for fyring med træpiller ved lav effekt, uden mekanisk fremføring af piller eller forbrændingsluft.

Der er i ovnen brændt 9 kg piller på ca 18 timer svarende til en indfyret effekt på 2,4 kW. Effektiviteten er målt til 86,2% og den afgivne effekt beregnet til 2,1 kW. Når der ses bort fra de første 25 minutter er $CO_{7,5\%CO_2} = 0,2506\%$. Der skal påfyldes ca 6 kg piller hver tolvte time.

Pillebrænderens effekt kan uden konstruktionsændringer øges fra 2 til 4-5 kW.

Tillæg til hovedrapport

Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler

Prototype

Akademiingeniør Arne Sæbye

Udarbejdet for Energistyrelsen, Miljøstyrelsen, Heta A/S, Jydepejsen A/S, Krog Iversen & Co. A/S, Lotus Production ApS, Meteor, Morsø Jernstøberi A/S, Scanwood og RAIS A/S

20. april 1999

**Teknologisk Institut
Teknologiparken
8000 Århus C**

MST j.nr. M 92-128-0486, ES j.nr. 51161/94-0004

Indledning

På basis af de konstruktive krav til en 8-timers brændeovn opstillet i hovedrapporten af 12. juli 1998 er fremstillet en prototype for 8 timers drift pr. påfyring ved en afgivet effekt omkring 3 kW.

Morsø Jernstøberier A/S har tegnet ovnen, som er fremstillet af RAIS A/S og afleveret ultimo december 1998.

Foring af ovnen er udført af Teknologisk Institut i januar 1999.

Udstyr for bimetal-styring af underluft, sekundærluft og træk er udført af en lokal smed i Tåstrup i samarbejde med Teknologisk Institut i februar-marts 1999.

Ovnens detaljer blev vedtaget på et møde hos Morsø Jernstøberier A/S i september 1998. Der blev lagt vægt på, at prototypen forholdsvis enkelt kunne indpasses i en kappe, der minder om traditionelle brændeovne på markedet. På grund af manglende afklaring af enkelte konstruktive detaljer blev ovnen udført lidt anderledes. Den planlagte såvel som den endelige udformning fremgår af tegningerne side 5 .

Ovnen

- Brændemagasinet er isoleret foret med 2 lag 25 mm skamol og måler indvendigt 350 mm i bredden, 200 mm i dybden og 600 mm i højden og kan således rumme op til ca. 9 kg brænde med 18% vand.
- I bunden af magasinet er en rist (rysterist) beskyttet af ildfast materiale med udskæringer. Under risten er en askeskuffe med en manuelt betjent luftroset for tilførsel af underluft ved opstart, og en bimetalstyret luftventil, der åbner ved faldende røgetemperatur, beregnet for lufttilførsel til trækulforbrænding.
- Nederst i magasinets frontvæg er en 100 mm høj åbning i magasinets fulde bredde. 40 mm inde i åbningen er anbragt en udskiftelig blende-plade af 25 mm Skamol med 2 cirkulære 65 mm huller med 200 mm centerafstand. De 40 mm som pladen er trukket tilbage fra magasinvæggens plan skal forhindre brænde i at spærre for blende-åbningerne. Blendernes lysning 65 mm, men skal afpasses efter det ønskede effektinterval.
- 70 mm foran blende-pladen er anbragt en ildfast plade med 2 udskiftelige primærdyser med klokkeformet indløb, med dyse-lysninger på 18 mm, afpasset efter det ønskede effektinterval. Dysernes centerlinier går gennem blende-åbningernes centre, og dysernes mundinger anbragt ca. 40 mm foran dysepladen.
- Mellem de to primærdyser er anbragt en 40 mm sekundærdyse således at sekundærluften rammer ind på blende-pladen mellem de to blendeåbninger. Sekundærdysen har også klokkeformet indløb, og er forsynet med et vippepjæld, der

åbner ved stigende røgtemperatur, styret af en bimetal fjeder anbragt i ovnens røgafgang. Dyserne tager luften fra et kammer med rude og luftrosetter.

- Fra rummet mellem blende-plade og dyseplade føres de brændende gasser op gennem en skakt med et tværsnitsareal på ca 4000 mm² til et gasforbrændingskammer foret med 25 mm Kerenab, med en indvendig højde på 150 mm og et indvendigt tværsnitsareal på ca 10000 mm². Gasforbrændingskammeret er forsynet med rude.
- Fra gasforbrændingskammeret kan røgen fordeles til 2 konvektionskanaler med forskellig isoleringsgrad. Begge kanaler udmunder i en fælles røgekasse. Den venstre kanal er isoleret delvist med 12 mm isoleringsplade, den højre helt med 25 mm isoleringsplade. Hvor den højre kanal udmunder i den fælles røgekasse er anbragt et spjæld, der ved hjælp af en bimetal fjeder anbragt i ovnens røgafgang kan styres af røgtemperaturen.
- Såvel bimetal fjederen som de tre spjæld der kan styres er ophængt i letløbende lejer.

Fyringsresultat

Der er udført et fyringsforsøg, hvor der er indfyret 8,000 kg brænde ved start på glødelag og 9,395 kg brænde efter 5½ times forløb, ialt 17,395 kg brænde med 18% vand. Forsøget blev standset efter 16½ time ved en røgtemperatur på 100°C.

Middelværdierne af CO ved 7,5 %CO₂ var for hele perioden 0,2464%, mens den for den første periode indtil 2. påfyring kun var 0,1058%. Resultaterne fremgår af skemaet og af kurverne på side 6 og 7.

Påfyring	Brændetid	Indfyret effekt (kW)	Afgivet effekt (kW)	Virkningsgrad (%)	CO ved 7,5% CO ₂ (%)
8,000 kg	5h 25m				0,1058
8,000+ 9,395 kg	16h 34m	3,94	3,27	82,8	0,2464

Vurdering af resultaterne

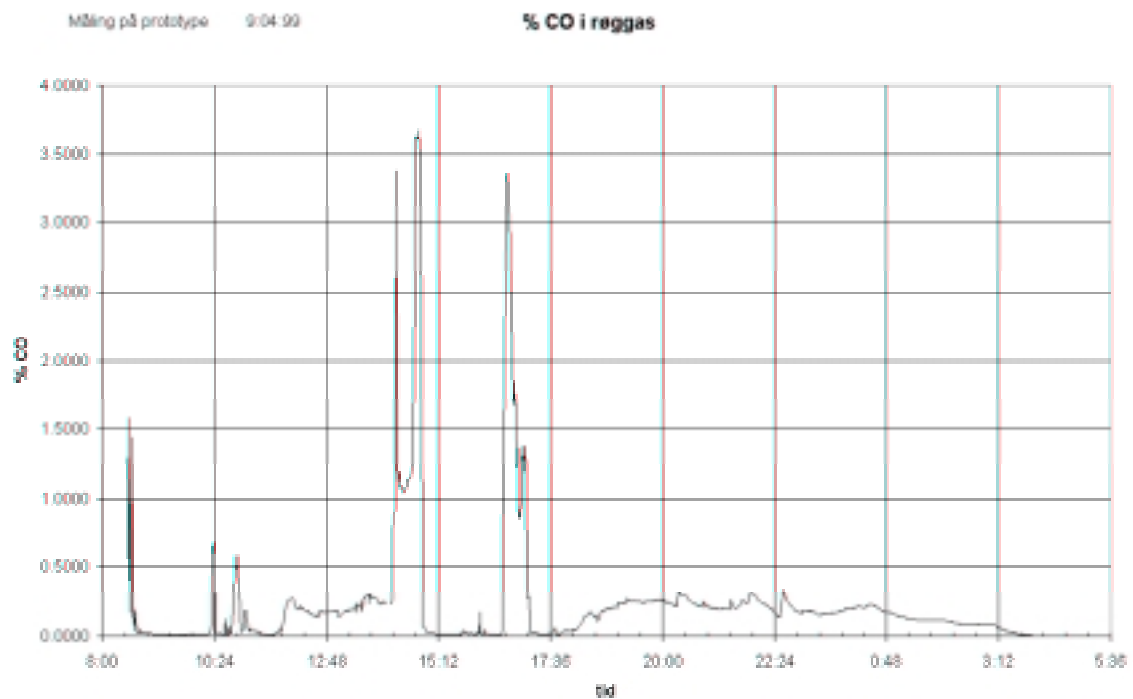
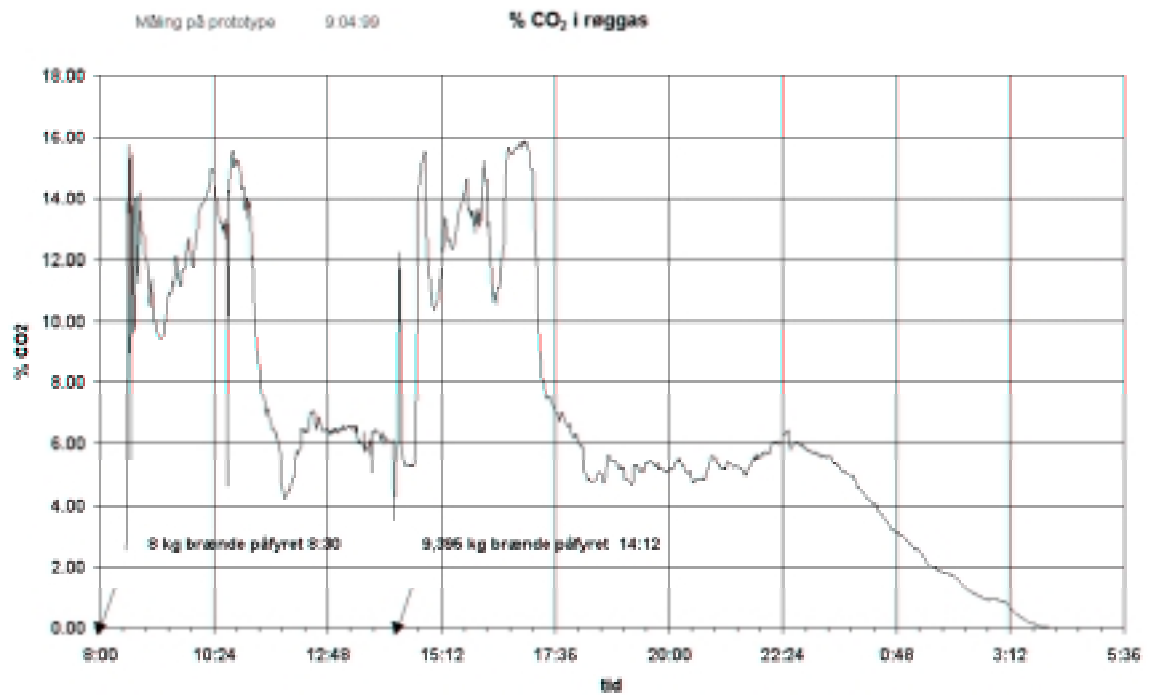
Af kurverne over forbrændingsforløbet fremgår, at en meget bred og høj CO-spidsværdi umiddelbart efter 2. påfyring er forårsaget af, at brændet ikke tændte. En anden CO-spidsværdi skyldtes for høj værdi af CO₂ på grund af utilstrækkelig forbrændingsluft. Det skønnes muligt at fastholde CO-niveauet omkring 0,1% ved at justere sekundærluftstyringen og ved at ændre konvektorernes således at trækreguleringen bliver mere effektiv. Endelig kan det være nødvendigt at kløve det underste lag brænde ved de enkelte påfyringer noget finere for at sikre en hurtigere antændelse.

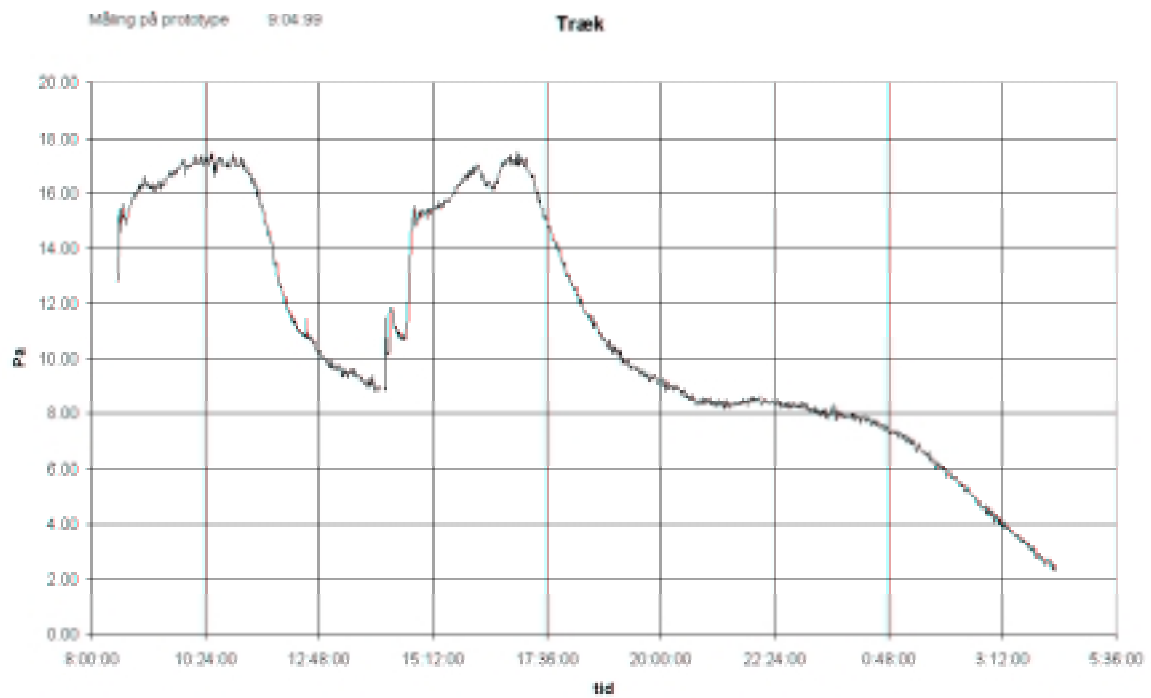
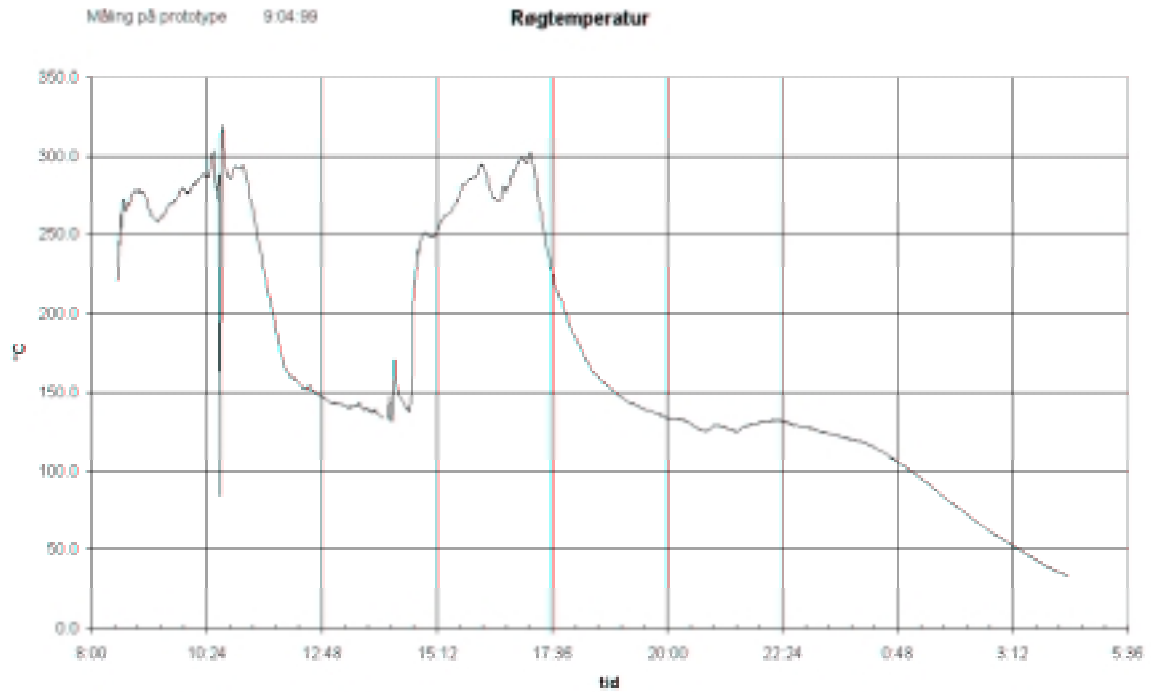
Konklusion

Det er muligt at fremstille en brændeovn, der med almindeligt skovbrænde ved en afgivet effekt på ca 3 kW kan brænde i 8 timer pr påfyring med en forbrændingskvalitet, der opfylder kravene i DS 887.

Ovnen vil kunne fremvise et tydeligt flammebillede i 3-4 timer pr påfyring.

Ved optimering af konvektionsparten og konstruktionsdetaljer vil ovnens vandrette dimensioner kunne reduceres, således at ovnen kan indpasses et almindeligt, salgbart design.





Hovedrapport

Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler

Akademiingeniør Arne Sæbye

Udarbejdet for Energistyrelsen, Miljøstyrelsen, Heta A/S, Jydepejsen A/S, Krog Iversen & Co. A/S, Lotus Production ApS, Meteor, Morsø Jernstøberi A/S, Scanwood og RAIS A/S

12. juli 1998

**Dansk Teknologisk Institut
Teknologiparken
8000 Århus C**

MST j.nr. M 92-128-0486, ES j.nr. 51161/94-0004

1. Indledning

I trediveerne blev der gennemført betydelige forbedringer af forbrændingen på ristefyrede kul-kedler i England ved at tilføre en væsentlig del af forbrændingsluften som overløft lodret ned mod de brændende kul i modstrøm med de brændende gasser, der forlader kullene.

Bl.a. inspireret heraf udførte Dansk Teknologisk Institut i slutningen af firserne og i begyndelsen af halvfemserne forsøg med forbedring af forbrændingen på halmkedler efter samme princip, idet de brændende gasser forlader halmen gennem en åbning for neden i brændkammeret samtidig med, at forbrændingsluften bliver tilført i modstrøm med de brændende gasser.

De vellykkede resultater af forsøgene blev fulgt op af et projekt med det formål at forbedre forbrændingen i brændeovne efter samme princip og samtidig udvikle en ovn til så lav effekt som muligt. Et sideformål med projektet er at opnå længere brændetid mellem brændepåfy-
ringerne.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Miljøstyrelsen, Energistyrelsen, Teknologisk Institut, syv medlemmer af DAPO og firmaet Scanwood.

Det har fra DAPO-medlemmernes side været en forudsætning, at der ikke måtte indgå elektromekaniske komponenter i ovnen, og det har været et krav, at der skulle være en rude i konstruktionen, således at ilden kan iagttages. Det har endvidere været et krav, at ovnen skulle være beregnet for fyring med almindeligt skovbrænde.

Energistyrelsen har ønsket, at der sideløbende med udviklingen af brændeovnen også blev udviklet en pillebrænder.

Det er lykkedes at udvikle en forsøgsovn, der opfylder kravene i DS, med en afgivet effekt på ca. 3 kW og et påfyrringsinterval på 8-12 timer. Tilbage står at fastholde de forskellige detaljer, der er nødvendige for forbrændingen ved konstruktion af en ovn, der ikke ligner en forsøgsovn, men en ovn der kan sælges på almindelige markedsvilkår.

Lange påfyrringsintervaller vanskeliggøres af det forhold, at der er tale om underforbrænding, hvor forbrændingen foregår i det underste lag af brændslet. Termikken bevirker, at alt brændet i brændemagasinet i løbet af nogle timer bliver varmet op til 270°C, hvor en exoterm forgasningsproces går i gang. At processen er exoterm bevirker, at den fortsætter uden yderligere tilførsel af varme eller luft. De gasser, der udvikles, skal brændes i takt med, at de udvikles, og forgasningsprocessen sætter dermed den nedre grænse for ovnens effekt. Jo mere brænde, man har fyret ind ad gangen, jo større bliver denne effekt.

Det er dog lykkedes at opnå brændetider på 8-12 timer mellem to påfyrringer ved en afgivet effekt på 2,9 kW. Røggastabet var 15,9% svarende til en virkningsgrad på ca. 85%. Emissionen af CO var 0,28% ved 13% O₂.

Forsøg med pillebrænder

Ved fyring med piller fra bunden af et magasin er der ikke samme uheldige virkning af termikken som ved brændefyring. Pillerne pakker bedre sammen og forhindrer de varme gasser i at stige op. Ved de indledende forsøg med en pillebrænder er der brændt 9 kg piller på ca. 18 timer svarende til en indfyret effekt på 2,4 kW. Da røggastabet er beregnet til 13,8%, er den afgivne effekt 2,1 kW, hvilket svarer til en virkningsgrad på ca. 86%. Når der ses bort fra de første 25 minutter, er emissionen af CO 0,25% ved 13% O₂. Der skal påfyldes ca. 6 kg piller hver tolvte time.

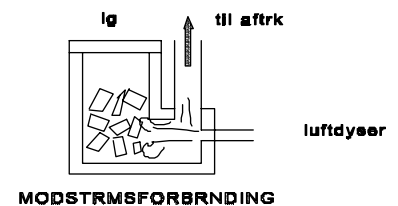
2. Baggrund for projektet

Effektbehovet i moderne boliger er en stor del af året i størrelsesordenen 1,5-6 kW. Der findes ikke på markedet biobrændselsovne, der med tilfredsstillende forbrændingskvalitet kan dække behov lavere end 4-5 kW.

Den praktiske baggrund er erfaringerne indhøstet i projektet *BRÆNDEOVNE OG -KEDLER, Udvikling af nye forbrændingssystemer*, hvis første fase blev bevilget af Miljøstyrelsen i 1991 og gennemført i perioden fra oktober 1991 til november 1992, hvor projektet blev rapporteret.

Modstrømsforbrænding er baseret på tre grundregler for opnåelse af god forbrænding:

- Forbrændingsluften skal ramme brændslet og returnere til aftrækket uden at passere forbi eller igennem brændslet.
- De brændende gasser, der forlader brændslet, og den luft, der iblandes, skal tvinges sammen på en måde, der sikrer optimal opblanding af uforbrændt gas og luft, inden blandingens temperatur er faldet under blandingens antændelsestemperatur.
- De brændende gasser, der forlader brændslet, skal gives mulighed for opblanding i primærluftstrømmen, således at der opnås en vis intern recirkulation i flammen i lighed med moderne olie- og gasbrænderes flammer. Brændslet i forbrændingszonen modtager således varme, ikke blot ved stråling fra flammerne, men også ved konvektion, idet "luften", der rammer brændslet, ikke er ren luft, men en blanding af luft og varme røggasser.



3. Formålet med projektet

Formålet med projektet er at udvikle brændeovne med så lave mindsteydelser som muligt og med et rimeligt reguleringsområde, forhåbentligt 1,5 til 6 kW, og en forbrændingskvalitet, som mindst opfylder kravene i DS 887, som er den danske standard for brændeovne. DS 887 kræver, at virkningsgraden er over 70%, og at CO-emissionen er mindre end 0,3% ved 7,5% CO₂. Forbrændingskvaliteten bedømmes i denne forbindelse alene på grundlag af CO-koncentrationen i røgen.

Effektområdet svarer til typiske varmebehov i nyere boliger samt boliger, der er efterisoleret. Ud over en tilpasning af nominel ydelse til behovet er målet at udvikle ovne, hvor forbrændingskvaliteten er tilfredsstillende i hele reguleringsområdet.

Anvendelse af sådanne ovne i stedet for traditionelle ovne vil give en bedre energiudnyttelse af brændslet og en reduktion af røgulemperne i beboelsesområder med brændeovne.

Ovnenes effektreguleringsområde og kvaliteten af forbrændingen i reguleringsområdet skal bestemmes, dokumenteres og beskrives.

Muligheden for manuel, henholdsvis automatisk, regulering skal klarlægges, ligesom det udviklede princip skal udmøntes i konkrete brændkamre, der kan indpasses i salgbare brændeovne.

Energistyrelsen har udtrykt ønske om, at forbrændingssystemet også skal udvikles til piller.

4. Gennemførelse

1. fase

På basis af oplæg af 28. juni 1994 (kammer01) afleverede Lotus Pejse ApS 1. udgave af forsøgsbrændkammer nr. 1 i november 1994. Efter få indledende forsøg viste det sig nødvendigt at afbryde den termiske kontakt mellem brændemagasin og gasforbrændingskammer. Efter en mindre ombygning af brændkammeret forelå anden udgave af brændkammeret herefter i april 1995.

1. fase er rapporteret i *Rapport for fase 1, 19. juni 1995*. Hovedkonklusionen for fase 1 var

- at der ikke må være termisk kontakt mellem brændemagasin og gasforbrændingskammer
- at der er behov for styring

2. fase

Anden udgave af forbrændingskammer nr. 1 blev udstyret med motorstyret primærluftspjæld med henblik på at kunne fastholde en ønsket røgtemperatur. Der blev også udført et forsøg med afbrænding af piller efter indbygning af en skråplade i brændemagasinet. Konstruktionskravene til et forsøgsbrændkammer nr. 2 til brænde blev opstillet. 2. fase er rapporteret i *Delrapport for fase 2, marts 1996*, som også omfatter nævnte konstruktionskrav.

Hovedkonklusionen for fase 2 var:

- at fastholdt primærluft og styret sekundærluft gav det bedste resultat
- at tilfredsstillende forbrænding af piller forudsætter minimal termisk kontakt mellem forbrændingskammer og pillemagasin.

3. fase

På grundlag af konstruktionskravene opstillet i *Delrapport for fase 2, marts 1996* tegnede Krog Iversen & Co. A/S forsøgsbrændkammer nr. 2 i juni 1996. Forsøgsbrændkammeret blev udført af Heta A/S i august 1996. Med kammer nr. 2 var der mulighed for at variere primærluften, at styre sekundærluften efter træk og at variere luftkølingen af konvektordelen. Konvektoren viste sig allerede i de indledende forsøg at være voldsomt overdimensioneret, og det blev ikke i forsøgsfasen afklaret, hvorvidt en variabel konvektionsdel er egnet til styring af trækket. Derimod viste det trækregulerede sekundærluftspjæld sig at være anvendeligt til at sikre den nødvendige tilførsel af sekundærluft.

På basis af erfaringerne fra fase 2 og de indledende erfaringer fra fase 3 blev kravene til en pillebrænder opstillet. Kravene fremgår af delrapporten for 3. fase.

Pillebrænderen blev tegnet af Jydepejsen A/S og fremstillet af Meteor i december 1997. Pillebrænderen var udstyret med en konvektor og et udmuret bypass.

Fase 3 er rapporteret i *Rapport for fase 3, juni 1998*.

5. Foreløbig konklusion

8-timers brændeovn

Resultaterne fra fase 3 viser, at det teknisk kan lade sig gøre at fremstille en brændeovn, som kan brænde i 8 timer. I forsøgsbrændkammer nr. 2 lykkedes at opnå et tilfredsstillende forbrændingsresultat ved afgivne effekter i intervallet 2,9-3,9 kW i 8 timer efter én påfyring:

Forsøg nr.	Brændetid i timer ved 1 indfyring	Indfyret effekt (kW)	Afgivet effekt (kW)	Røgtab (%)	CO ved 13% O ₂ (%)
2	7,58 timer	4,5	3,9	14,4	0,2564
7	10 timer	4,4	3,8	13,7	0,1767
11 *2 påfyringer	*17,50 timer	3,5	2,9	15,9	0,2760
22	7,63 timer	4,3	3,2	25,1	0,1174
6	10 timer	2,8	2,4	14,6	0,3705*

Tabel 1: De 5 bedste forsøg i forsøgsovn nr. 2 for brænde. I de 4 af forsøgene er kravene i DS 887 opfyldt.

12-timers brændeovn

Det er i forsøgsbrændkammeret til piller lykkedes at opnå et tilfredsstillende forbrændingsresultat ved en afgivet effekt på 2,1 kW i 13 timer uden manuel indgriben. Brænderen har brændt med for højt luftoverskud og for høj CO-emission i intervallet 1,2-2,1 kW afgivet effekt. Forsøgsresultaterne indikerer, at det vil være muligt med ganske få ændringer af brænderen at opnå tilfredsstillende forbrændingsresultater i intervallet 1-3 kW.

Forsøg nr.	Dato	Timer	Kg piller	Effekt - kW		% CO ved 13% O ₂	% O ₂	T _{røg} °C	Træk Pa	Røg-gas-tab
				Indfyret	Afgivet					
2	25/2-98	21	9,35	2,1	1,7	0,7126	15,7	151	10,2	18,6
3	16/3-98	18	9,00	2,4	2,1	0,4263	13,2	157	10,6	13,6
4	7/4-98	24,66	8,64	1,7	1,4	0,4046	15,6	146	11,0	17,5
5	16/4-98	27,9	10,00	1,7	1,2	0,3862	16,7	201	10,4	31,2
Bedste 13 timer af forsøg 3				2,4	2,1	0,2506	11,3	188	10,6	13,8

Tabel 2: Resultaterne af forsøgene udført i pillebrænderen

Iltprocenten har gennemgående ligget for højt som tegn på, at dysen har været for stor i forhold til pillefrontens areal. CO-emissionen har derfor været relativ høj, fra 0,25% til 0,70% ved 13% O₂. Den indfyrede effekt har været mellem 1,7 og 2,4 kW. Til sammenligning kan oplyses, at undersøgelse gennemført af Dansk Teknologisk Institut i en anden sammenhæng viser, at en traditionel brændeovn med en nominel ydelse på 6 kW har en CO-emission på ca. 0,6-1,0% ved en ydelse på 4 kW og en brændetid på ca. 2 timer - altså markant ringere.

Konstruktive krav til endelige udgave af 8-timers brændeovn

På basis af forsøgsresultaterne kan designkriterierne for en 8-timers brændeovn for effektintervallet 3-6 kW opstilles. De 8 timer gælder dog kun, hvis effekten holdes i bund.

- Brændemagasinet skal være isoleret, f.eks. med 2 lag 25 mm Skamol, og det måler indvendigt 350 mm i bredden, 200 mm i dybden og 600 mm i højden for at kunne rumme op til ca. 9 kg brænde med 18% vand.
- I bunden af magasinet skal være en rist (rysterist), som skal beskyttes af ildfast materiale med udskæringer. Under risten skal være en askeskuffe med luftroset for tilførsel af underluft.
- Nederst i magasinets frontvæg skal være en ca. 100 mm høj åbning, næsten i magasinets fulde bredde, eventuelt udstyret med et par lodrette ristestænger for at forhindre brænde i at falde ind i åbningen. 40-50 mm inde i åbningen anbringes en let udskiftelig blændeplade af ildfast materiale med 2 cirkulære huller symmetrisk i pladen med samme centerafstand som primærdyserne. De 40-50 mm, som pladen er trukket tilbage fra magasinets væg, skal forhindre brænde i at spærre for blændeåbningerne. Blændernes lysning skal sandsynligvis være ca 65 mm, men skal afpasses efter det ønskede effektinterval.

- 70 mm foran blænde-pladen anbringes i en ildfast, isoleret plade to let udskiftelige primærdyser med klokkeformet indløb med dyselysninger på ca. 15-18 mm, afpasset efter det ønskede effektinterval. Dysernes centerlinier skal gå gennem blændeåbningernes centre, og dysernes munding skal sidde 20-40 mm foran dysepladen.
- Mellem de to primærdyser anbringes en 40 mm sekundærdyse, således at sekundærluften rammer ind på blændepladen mellem de to blændeåbninger. Sekundærdysen skal også have klokkeformet indløb og skal være forsynet med et vippe-spjæld, der åbner ved stigende træk. Alternativt udføres sekundærspjældet med en bimetalstyring efter røgtemperaturen. Dyserne kan tage luften fra et kammer med rude og en luftroset.
- Fra rummet mellem blændeplade og dyseplade skal de brændende gasser kunne føre op gennem en skakt med et tværsnitsareal på ca. 4.000 mm², eller ca. 65 x 65 mm op til et gasforbrændingskammer med en højde på ca. 150 mm og et tværsnitsareal på ca. 10.000 mm². Gasforbrændingskammeret kan være forsynet med en rude.
- Fra gasforbrændingskammeret skal røgen kunne fordeles til en konvektionspart og et bypass. Hvor røgen mødes ved rørørstilslutningen, anbringes et spjæld, der fordeler røgen mellem konvektor og bypass, enten manuelt eller med bimetalstyring eller lignende. Bypassen kan være en ineffektiv konvektor eller en indvendigt isoleret kanal. Såvel konvektoren som bypassen skal have opadgående eller vandret røgføring, ikke nedadgående.

Færdig 12-timers pillebrænder

Ligeledes kan design-kriterierne for en 12-timers pillebrænder til effektintervallet 1-3 kW opstilles.

- Pillemagasinet skal være en 600 mm høj skakt med tværsnit 200 x 200 mm, foret med 25 mm Skamol, således at det indvendige mål er 150 x 150 mm forned. Magasinet udføres eventuelt med smig, således at indvendigt tværsnit foroven bliver 130 x 130 mm.
- Skaktens bund står i en vinkel på 60° i forhold til vandret, således at pillerne kan skride ud gennem en åbning forned i siden af skakten.
- Åbningens skal være i skaktens fulde bredde. Målet fra åbningens overkant vinkelret ind på skråplanet skal være 70 mm. Skråplanet skal fortsætte ned til skæring med en vandret bund 100 mm under åbningens overkant.
- Bunden skal være af isolerende ildfast materiale. Under bunden anbringes en askeskuffe med en sluse, således at man kan tømme noget, men ikke nødvendigvis al asken ned i skuffen.

- Området over skråplanet dækkes med en blændeplade i en vinkel på 45° med vandret, i et plan, der skærer den vandrette bund 180 mm fra "60°-skråplanets" skæring med bunden. Pladen laves let udskiftelig (under drift), og i første omgang med en cirkulær blændeåbning i midten af pladen med en lysning på 50 mm.
- En let udskiftelig, ca. 17 mm dyse med klokkeformet indløb anbringes med centerlinie gennem blændeåbningens centrum vinkelret på blændepladen og munden 10-20 mm over pladen.
- Over den skrå blændeplade fortsætter de brændende gasser op gennem en 150 mm høj gas-forbrændingsskakt 110 x 200 mm i tværsnit isolerende foret med f.eks. 25 mm Keranab, således at det frie tværsnit er 60 x 150 mm.
- Over gasforbrændingsskakten skal røgen kunne fordeles til en konvektionspart og et bypass. Hvor røgen mødes ved røgrørstilslutningen, anbringes et spjæld, der fordeler røgen mellem konvektor og bypass, enten manuelt eller med bimetalstyring eller lignende. Bypassen kan være en ineffektiv konvektor eller en indvendigt isoleret kanal. Såvel konvektoren som bypassen skal have opadgående eller vandret røgføring, ikke nedadgående.

Den endelige konklusion færdiggøres, når Morsø Jernstøberi A/S og RAIS A/S har designet og fremstillet en prototype af den endelige udgave af 8-timers-brændeovnen.

Rapport for fase 3

Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler

Afsluttende forsøg i forsøgsovn nr. 2 samt forsøg i 12-timers pillebrænder

Akademiingeniør Arne Sæbye

Udarbejdet for Energistyrelsen, Miljøstyrelsen, Heta A/S, Jydepejsen A/S, Krog Iversen & Co. A/S, Lotus Production ApS, Meteor, Morsø Jernstøberi A/S, Scanwood og RAIS A/S

15. juni 1998

**Dansk Teknologisk Institut
Teknologiparken
8000 Århus C**

MST J.nr. M 92-128-0486, ES J.nr. 51161/94-0004

1. Afsluttende forsøg i forsøgsovn nr. 2 for brænde

På basis af oplægget i delrapport for fase 2, marts 1996, er der fremstillet en forsøgsovn nr. 2 for 8-timers drift pr. påfyring ved en indfyret effekt omkring 3,5 kW. Krog Iversen og Co. A/S har tegnet ovnen, som er fremstillet af Heta A/S og afleveret i august 1996.

Ovnen er opbygget i 3 mm plade og består af følgende:

- Brændemagasin med underliggende rist og askeskuffe, hvorigennem underluft kan tilføres
- Område (perron) mellem magasin og blænder
- Blænder
- Område mellem blænder og dyser for gas/luftblanding og gasforbrænding
- Primærdyser og sekunddærdyse
- Indsnævring for gas/luftblanding
- Gasforbrændingskammer
- To symmetriske konvektorer med luftkappe, hvor stuelufttilførslen kunne varieres, den ene har dog været blændet af, og den anden er blevet delvis isoleret i luftkappen allerede efter de indledende forsøg for at opnå tilstrækkelig røgtemperatur.
- Røgekammer med studs til skorstenstilslutning

Brændemagasinet

Brændemagasinet er foret med 2 lag 25 mm Skamol og måler indvendigt 350 mm i bredden, 200 mm i dybden og 600 mm i højden og kan rumme op til ca. 9 kg brænde med 18% vand.

Rysterist og askeskuffe

I bunden af magasinet er der en cirkulær rysterist dækket af en 25 mm Keranab-plade med udskæringer. Under risten er der en askeskuffe med luftroset for tilførsel af underluft.

Område foran blændeplade

Nederst i magasinets frontvæg er der en 100 mm høj åbning i magasinets fulde bredde. 40 mm inde i åbningen er der anbragt en blændeplade af 25 mm Keranab med 2 cirkulære huller symmetrisk i pladen med samme centerafstand som primærdyserne, 211,5 mm. De 40 mm, som pladen er trukket tilbage fra magasinvæggens plan, skal forhindre brænde i at spærre for blændeåbningerne. Blændernes lysning har været 65 mm undtagen i forsøg 4, hvor de har været 58 mm, og i forsøg 1-3 og 5, hvor de har været 70 mm. Primærluftdyser 70 mm foran blændepladen er en Keranab-plade med primærdyserne anbragt med dysernes centerlinierne gennem blændeåbningernes centre og dysernes munding 40 mm foran dysepladen. Primærdyserne har 25 mm lysning og klokkeformet indløb og et centralt keglelegeme, der kan bevæges frem og tilbage. I skemaet over forsøgene angiver "dyse-mm", hvor mange mm keglelegemerne er trukket tilbage fra 0, som angiver lukkede dyser.

Sekundærluftdyse

Mellem de to primærdyser er en 40 mm sekundærdyse anbragt således, at sekundærluften rammer ind på blændepladen mellem de to blændeåbninger. Sekundærdysen har også klokkeformet indløb og er forsynet med et vippe-spjæld, der åbner ved stigende træk.

Gas/luftblandeskt og gasforbrændingskammer

Fra rummet mellem blændeplade og dyseplade fører en skakt med tværsnit 40 x 100 mm op til gasforbrændingskammeret, hvis højde er 200 mm og tværsnit er 100 x 100 mm.

Konvektionskanaler

Fra gasforbrændingskammerets sider fører to konvektionskanaler med tværsnit 100 x 100 mm vandret foran brændemagasinet og 30° op omkring siderne på magasinet til en røgkasse med skorstenstilslutning bag magasinet. På grund af problemer med at opretholde tilstrækkelig røgtemperatur har den ene kanal været lukket af, mens den anden er blevet isoleret allerede ved de indledende forsøg.

Tegning 1: Konstruktionsdetaljer for forsøgsovn 2

2. Forsøgsresultater for forsøgsovn 2

Der er udført 22 forsøg med varierende mængder primærluft gennem dyserne og underluft gennem bundristen og med og uden sekundærluft. Endvidere er der udført forsøg med fastholdt minimumstræk. Der er ikke udført forsøg med fastholdt maksimumstræk, idet hurtige ændringer af konvektionen viste sig at være u håndterligt. Brændets vandindhold er varieret mellem 6% og 22%.

Resultaterne af de 22 forsøg fremgår af bilag 1.

Af de 22 forsøg er de bedste, hvad angår lang brændetid, lav effekt, lavt røggastab og lav CO-emission anført i skema 1.

Forsøg nr.	Brændetid i timer ved én indfyring	Indfyret effekt (kW)	Afgivet effekt (kW)	Røgtab (%)	CO ved 13% O ₂ (%)
2	7,58 timer	4,5	3,9	14,4	0,2564
7	10 timer	4,4	3,8	13,7	0,1767
11 *2 påfyringer	*17,50 timer	3,5	2,9	15,9	0,2760
22	7,63 timer	4,3	3,2	25,1	0,1174
6	10 timer	2,8	2,4	14,6	0,3705*

Tabel 1: De 5 bedste forsøg i forsøgsovn nr. 2 for brænde

I de 4 af forsøgene er kravene i DS 887 opfyldt.

Det er således påvist, at ovnen kan brænde tilfredsstillende i intervallet 2,9-3,9 kW afgivet effekt. Det er ikke prøvet, men ovnen vil med stor sandsynlighed kunne brænde med endnu bedre forbrændingsresultat op til 5-6 kW afgivet effekt.

3. Forsøgsbrændkammer til piller

På basis af erfaringerne fra fase 2 og de indledende erfaringer fra fase 3 blev kravene til en pillebrænder opstillet i et oplæg "Forsøgsbrændkammer til piller, september 1997". Pillebrænderen blev tegnet af Jydepejsen A/S og fremstillet af Meteor i december 1997. Pillebrænderen var udstyret med en konvektor og et udmuret bypass.

Designkriterier

Pillebrænderen skal kunne fungere uden mekanisk indføring af brændslet og med det træk, man kan opnå med en 4,5 meter høj skorsten. Der må ikke benyttes forbrændingsluftblæser.

Magasin

Pillemagasinet skal kunne rumme piller til 12 timers drift ved en afgivet effekt på 3 kW ved en nyttevirkning på 75% svarende til en indfyret effekt på 4 kW. Pillemagasinet skal altså rumme $4 \times 12 \text{ kWh} = 48 \text{ kWh}$ piller svarende til et rumfang på 16 liter.

Magasinet skal fores indvendigt med f.eks. 25 mm Skamol.

Magasinet skal have indvendige, isolerede mål på 150 x 150 x 600 mm (længde x bredde x højde). Højden regnes fra det øverste punkt af den skrå bund til toppen af magasin. Det kan også udføres cylindrisk, hvis man kan finde en passende foring.

Forsøg i spånplademodel viser, at magasinets bund skal have en hældning på 60° i forhold til vandret. Åbningen mod forbrændingskammeret skal have en fri højde på 60 mm. Åbningen skal være i fuld bredde. Den skrå bund skal være luftkølet, evt. med ribber.

Primærforbrændingskammer

Med et ensartet brændsel som piller bør det være muligt at brænde med et luftoverskudstal på 1,5 svarende til 7,5% ilt i røgen, hvilket ved 4 kW indfyret effekt giver 6 Nm^3 røg pr. time eller 24 m^3 pr. time ved 800°C , svarende til $0,0066 \text{ m}^3/\text{sek}$. Hvis gashastigheden skal holdes mellem 1 og 2 m/sek., skal tværsnitsarealet ved flammefronten være mellem 66 og 33 cm^2 .

Forbrændingskammeret bygges op af 25 mm Skamol. Under den forventede flammefront/askefront laves et askeudtag med tæt skuffe. En låge med dobbeltglas monteres på siden af forbrændingskammeret, dels for at man skal kunne se ilden, dels til optænding.

Loftet i forbrændingskammeret udføres af 25 mm Skamol eller Kerenab, udskifteligt fra dysesiden. I loftet udkæres en åbning, variabel, i første omgang $40 \times 100 \text{ mm}$.

Gasforbrændingsskakt

Over primærforbrændingskammeret laves en skakt foret med 25 mm Skamol, med indvendigt tværsnitmål på $60 \times 150 \text{ mm}$ og 300 mm høj (stålskaktens indvendige mål er $110 \times 200 \text{ mm}$). Herfra fortsætter skakten i to skakter.

By-pass-skakt

Den ene skakt skal være foret med Skamol, med indvendigt tværsnitmål på $60 \times 60 \text{ mm}$.

Konvektor

Den anden skakt starter med et kammer, hvorfra røgen fortsætter i en konvektor af 12 stk. 20 mm rør af 18/8 stål, 400 mm lange.

Røgekasse

Skakt og konvektor føres til fælles røgekasse, som ender i en vandret 150 mm røgafgang. Der udføres skueglas over den forede skakt og renslem over konvektoren.

Over gasforbrændingskammeret laves et skydespjæld, evt. blot et stykke ildfast sten, der kan flyttes, således at røgen kan ledes til den forede kanal eller til røgekøleren i et vilkårligt forhold.

Mellem pillesiloens jernkappe og skaktens jernkappe skal være en afstand på 20 mm, så der bliver mulighed for luftkøling.

Primærlufttilsætning

Kold primærluft tilføres gennem en udskiftelig dyse, i første omgang med 22 mm lysning. Dysen anbringes med centerlinien 30 mm over brændkammerets bund i en flytbar stenvæg (Skamol) med dysen pegende mod pillefronten, og således at afstanden mellem pillefront og dysemunding kan varieres mellem 60 mm og 100 mm. Dysen udføres "klokkeformet".

Tegning 2: Konstruktionsdetaljer for 12-timers pillebrænder

4. Forsøg i 12-timers pillebrænder

På basis af erfaringerne med forbrænding af piller i forsøgsbrændkammer nr. 1, rapporteret i delrapport for fase 2 marts 1996 og på forsøgene 1-14 med forsøgsbrændkammer 2, blev konstruktionskravene til en 12-timers pillebrænder beskrevet i "Forsøgsbrændkammer til piller, september 1997".

De nærmere detaljer for konstruktionen blev aftalt ved et møde hos Meteor den 16. september 1997. Jydepejsen A/S udførte herefter arbejdstegninger, og Meteor fremstillede pillebrænderen, som var klar i december 1997.

Pillebrænderen

Pillebrænderen består af

- Pillemagasin
- Skrå bund, hvis nederste del er "herd" for forbrændingen
- Sideåbning
- Primærforbrændingsområde
- Blændeplade
- Luftdyse
- Gasforbrændingskammer
- Konvektor med røgrør
- Parallelt udmuret bypass
- Skydespjæld
- Røgkasse med tilslutning til skorsten

Pillemagasinet

Pillemagasinet er en 600 mm høj skakt med tværsnit 200 x 200 mm, foret med 25 mm Skamol, således at det indvendige mål er 150 x 150 mm.

Skrå bund

Skaktens bund står i en vinkel på 60° i forhold til vandret, således at pillerne kan skride ud gennem en åbning for neden i siden af skakten.

Sideåbning

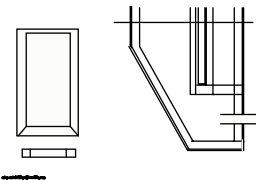
Åbningens frie tværsnit er 150 x 60 mm, som indskrænkes til 135 x 60 mm. Med en skridningsvinkel for pillerne på ca. 45° bliver pillefrontens areal ca. 135 x 80 mm.

Primærforbrændingsområde med dyser og blænder.

Forsøg 2

En dyse/dyseholder med 22 mm lysning er anbragt med luftretning vandret ind mod pillefronten, med dysemundingen ca. 100 mm fra pillefronten. I forsøg 2 blev dyseholderen anvendt som dyse (forsøg 1 var kun et optændingsforsøg uden målinger).

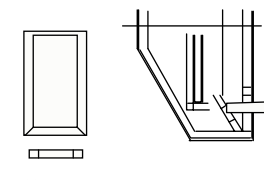
I forsøg 2 var et vandret loft af 25 mm Keranab, med en 55 x 55 mm åbning (gashals), indbygget 50 mm over brændkammerets bund.



Forsøg 3, 4 og 5

I forsøg 3,4 og 5 var der ca. 30 mm over den skrå pilleflade en skrå (45°) blændeplade af 12 mm Keranab med et cirkulært hul med centrum ud for dyseholderens centerlinie, og dyseholderen var foret med et dyserør med 19 mm lysning. Hullet i blændepladen var 63 mm i diameter i forsøg 3 og 50 mm i forsøg 4 og 5.

I forsøg 3, 4 og 5 har afstanden mellem dysen og pillefronten varieret mellem 80 mm og 95 mm.



Gasforbrændingsskakt

Over primærforbrændingsområdet, efter at have passeret op gennem gashalsen (forsøg 2) eller blænden (forsøg 3, 4 og 5), fortsætter de brændende gasser op gennem en 300 mm høj gasforbrændingsskakt 110 x 200 mm i tværsnit, foret med 25 mm Keranab, således at det frie tværsnit er 60 x 150 mm.

Konvektor og bypass

Over skakten kan røgen fordeles mellem en konvektor med 6 stk. mm røgrør og et 110 x 110 mm bypass foret med 25 mm Keranab, således at bypassets frie tværsnit er 60 x 60 mm. Konvektor og bypass er 400 mm høje. Et skydespjæld, som var tænkt anbragt under konvektor/bypassen, er i stedet anbragt over.

Resultaterne af forsøgene fremgår af tabel 2.

Forsøg	Dato	Timer	Kg piller	Effekt - kW		% CO ved 13% O ₂	% O ₂	T _{røg} °C	Træk Pa	Røg-gas-tab
				Indfyret	Afgivet					
2	25/2-98	21	9,35	2,1	1,7	0,7126	15,7	151	10,2	18,6
3	16/3-98	18	9,00	2,4	2,1	0,4263	13,2	157	10,6	13,6
4	7/4-98	24,66	8,64	1,7	1,4	0,4046	15,6	146	11,0	17,5
5	16/4-98	27,9	10,00	1,7	1,2	0,3862	16,7	201	10,4	31,2
Bedste 13 timer af forsøg 3				2,4	2,1	0,2506	11,3	188	10,6	13,8

Tabel 2: Resultaterne af forsøgene udført i pillebrænderen

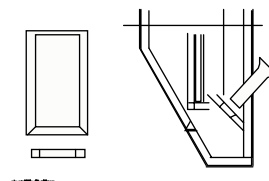
Iltprocenten har gennemgående ligget for højt som tegn på, at dysen har været for stor i forhold til pillefrontens areal. CO-emissionen har derfor været relativ høj, fra 2500 ppm til 7000 ppm ved 13% O₂. Den indfyrede effekt har været mellem 1,7 og 2,4 kW.

4.1 Erfaringer fra forsøgene med pillebrænderen, som kan benyttes ved konstruktion af en ovn eller ovn med vandtank for fyring med piller

Det skønnes, at man med små ændringer vil kunne fremstille en pillebrænder, der kan brænde med afgivet effekt fra 1 kW til 3 kW og CO-emission under 2500 ppm ved 13% O₂ uden mekanisk fremføring af piller eller luft.

Det vil være nødvendigt at foretage nogle mindre ændringer i forhold til forsøgsbrænderen:

- Magasinet skal have et par graders smig, således at tværsnittet for neden er en anelse større end for oven.
- Pillefronten skal gives et noget større areal ved at sænke bunden.
- Der laves askeskuffe med et udsugningssystem med et eller to skydespjæld.
- Sidelågen fjernes.
- Der anvendes en dysestørrelser nogle mm mindre end de nuværende 19 mm.
- Dysen rettes vinkelret ind mod pillefladen, d.v.s. at dysen rettes 45° nedad.
- Blænden gøres udskiftelig under drift.
- Lågen, der arbejdes igennem, gøres væsentlig mindre og nemmere at pakke tæt.
- Ruden gøres mindre og fastskrues evt.



- Gasforbrændingsskakten gøres lavere, 150-200 mm, og de 100 mm, hvor skydespjældet skulle have været, fjernes.
- Der laves et skydespjæld over konvektoren, eventuelt bimetalstyret, således at en ønsket røgtemperatur, og dermed træk, kan fastholdes. Spjældet behøver ikke at være særligt hurtigtvirkende, hvorfor bimetallet ikke behøver at være anbragt direkte i røgstrømmen, men kan anbringes i en beskyttelseskasse i røgstrømmen eller på overfladen af røgrøret.

4.2 Erfaringer fra forsøgene med pillebrænderen, som kan benyttes ved konstruktion af en brændeovn

- En passende dimensioneret konvektor giver, sammen med et bypass for varm røggas mulighed for at styre røgtemperaturen uafhængigt af den indfyrede effekt. Herved kan man have et nogenlunde konstant træk uafhængigt af forbrændingsintensiteten, som normalt har en selvforstærkende virkning i afgasningsfasen.

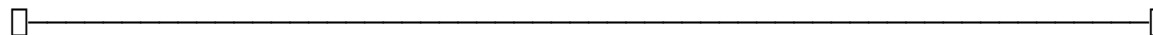
Forsøg udført september 1996 - maj 1998 i 2. forsøgsbrændkammer, tegnet af Krog Iversen & Co A/S, udført af Heta A/S august 1996

Forsøg nr. og dato	Driftstid	Timer h	Kg brænde	% vand	kW		%CO- _{13%O2}	O ₂ %	T _{røg} °C	Dyse åbn mm	Blende mm	Under luft	Sek. luft	Træk Pa	Røg-gas tab %	Bemærkninger		
					indfyret	afgivet										Træk, sætpkt		
1	11/9/96	1201-1931	9,50	9,1	18	3,9	-	+	+	158	10-12	70	1/1	+	9,4	-	Nat.	
2	13/9/96	1134-1904	7,58	8,4	18	4,5	3,9	0,2564	11,9	186	8-11	70	½	+	10,4	14,4	Nat.	
3	24/9/96	0903-2338	14,58	16,8	18	4,7	3,7	0,6471	14,9	196	4-10	70	1/1	+	10,2	21,9	Nat.	2 påfyringer: 8,1 kg & 8,7 kg
4	30/9/96	1015-2245	12,50	16,0	?	5,6	4,4	0,4462	14,0	222	6-14	58	¾	+	10,6	22,2	Nat.	2 påfyringer: 8,0 kg & 8,0 kg
5	28/11/96	1029-1830	8,00	10,1	?	5,1	3,9	0,3225	13,2	247	6-9	70	¼	+	-	22,6	Nat.	2 påfyringer: 6,1 kg & 4,0 kg
6	6/12/96	0940-1940	10,00	6,25	12	2,8	2,4	0,3705	14,34	147	6-14	65	¼-½	+	8,1	14,6	Nat.	
7	11/12/96	1212-2212	10,00	10,0	12	4,4	3,8	0,1767	10,68	197	8	65	½	+	10,0	13,7	Nat.	
8	9/1/97	1424-2124	7,00	6,0	16	3,6	3,0	0,3728	13,08	193	9	65	¾	+	9,5	17,0	Nat.	
9	10/1/97	1130-2300	11,50	10,7	18	3,6	3,0	0,3265	11,47	224	9	65	¾	+	11,9	17,0	Nat.	2 påfyringer: 6,4 kg & 4,3 kg
10	15/1/97	1536-0136	10,00	9,3	10	4,3	3,6	0,6081	11,99	212	9	65	¾	+	10,5	16,8	Nat.	
11	20/1/97	0913-0243	17,50	15,9	18	3,5	2,9	0,2760	12,07	200	9	65	¾	+	9,3	15,9	Nat.	2 påfyringer: 10,0 kg & 5,9 kg
12	24/1/97	1029-1929	9,00	10,0	20	4,2	3,5	0,2019	11,74	216	9	65	½	+	10,8	16,7	Nat.	2 påfyringer: 4,0 kg & 6,0 kg
13	29/5/97	0914-1914	10,00	8,5	6	4,1	3,1	0,7941	15,18	208	2-8	65	0-½	+	14,9	24,4	12 Pa	2 påfyringer: 4,1 kg & 4,4 kg
14	30/5/97	0901-1631	7,50	8,6	18	4,5	3,2	0,3948	15,07	239	6	65	0	+	29,5	28,0	30 Pa	2 påfyringer: 5,6 kg & 3,0 kg
15	14/9/97	1520-2010	4,33	8,0	6	4,1	3,3	0,9666	9,3	286	7	65	¼	+	13,6	18,5	14 Pa	

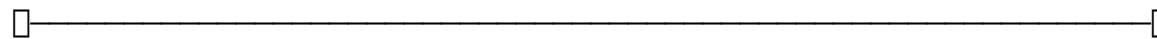
Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler.

16	14/9/97	2015-0710	10,92	6,6	22	4,1	3,3	0,5689	14,4	193	7	65	¼	÷	13,4	20,1	14 Pa	
17	15/9/97	1416-2051	6,58	7,0	15	4,5	3,5	0,5150	15,0	204	7	65	¼	÷	12,2	23,2	12 Pa	
18	15/10/97	1340-2135	7,29	8,0	14	4,4	3,6	1,0183	12,0	221	7	65	_	÷	12,2	17,6	12 Pa	
19	15/10/97	2135-0659	9,40	8,0	6	3,8	2,9	1,1726	15,3	190	7	65	_	÷	12,5	22,4	12 Pa	
20	11/5/98	0905-1535	6,50	8,2	18	5,1	3,2	0,8596	10,9	294	8	65	½	+	5,2	37,6	Nat.	Ruden revnet, utætheder om dysseholder, ruden tætnet med tape
121	11/5/98	1557-2233	6,60	8,2	18	5,0	3,7	0,1498	16,4	188	7	65	¼	+	13,0	27,3	Nat.	
22	11/5/98	2233-0611	7,63	8,1	18	4,3	3,2	0,1174	15,5	203	6	65	¼	+	13,2	25,1	Nat.	

Bilag 1: 22 forsøg udført i brændkammer nr. 2 for brænde



Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler.



Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler.

Rapport for fase 1 , 19. juni 1995 33

Rapport for fase 2

Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler

Akademiingeniør Arne Sæbye

Udarbejdet for Energistyrelsen, Miljøstyrelsen, Heta A/S, Jydepejsen A/S, Krog Iversen & Co. A/S, Lotus Production ApS, Meteor, Morsø Jernstøberi A/S, Scanwood og RAIS A/S

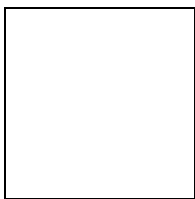
2. marts 1996

**Dansk Teknologisk Institut
Teknologiparken
8000 Århus C**

MST J.nr. M 92-128-0486, ES J.nr. 51161/94-0004

1. Resumé

Det er muligt ved én påfyring på 20 timer at opnå et forbrændingsresultat på 2840 ppm $\text{CO}_{13\%O_2}$ ved en indfyret effekt på 3,3 kW og et tab på 12,8% svarende til en afgivet effekt på



2,9 kW.

Resultatet er opnået ved fastholdt primærluft og med sekundærluft styret efter træk, idet en styring af primærluften efter røggassernes temperatur øgede problemerne med at opnå tilstrækkelig luftmængde til gasafbrænding.

Ved et enkelt forsøg med træpiller er det lykkedes alene med primærluft uden sekundærluft at opnå et forbrændingsresultat på 2528 ppm $\text{CO}_{13\%O_2}$ og et tab på 21,9% ved en indfyret effekt på ca. 2,8 svarende til en afgivet effekt på 2,2 kW. Det almindelige brændkammer kan benyttes efter en simpel indbygning.

1.1 Opgaver i resten af fase 2/fase 3:

- Konstruktion af 8-timers ovn med mulighed for simpel ændring af sekundærluftdysen.
- Konstruktion af 24-timers ovn med mulighed for simpel ændring af sekundærluftdysen.
- Konstruktion af 36-mm dyse efter trækstabilisator-princippet for sekundærluft til de to ovne.
- Konstruktion af 36-mm dyse med bimetalstyring for sekundærluft til de to ovne.
- Konstruktion af enkel ovn udelukkende for piller eller korn.

2. Fortsatte forsøg med forsøgsovnen/brændkammeret benyttet i fase 1

2.1. Beskrivelse af forsøgsovnen benyttet i fase 1:

Magasin

Brændemagasinet indvendige, isolerede mål er 250 x 350 x 620 mm (længde x bredde x højde). Højden var ved en fejl anført til at være 350 mm i rapporten for fase 1.

Magasinets vægge består af en relativ hård ildfast Skamol-plade, 25 mm tyk, isoleret med en blød Kerenab-plade, 25 mm tyk (figur 1, se også figur 2 og 3).

Figur 1: Skitse af forsøgsovn

Primærlufttilsætning

To primærluftdyser er anbragt i magasinets langvæg med centerlinie ca. 50 mm over bunden og med ca. 200 mm indbyrdes afstand og mundingerne trukket ca. 100 mm tilbage fra magasinets indervæg, 50 mm fra ydervæggen.

Gasafgang fra magasin

Gasserne forlader magasinet gennem en åbning i langvæggen. Åbningens nederste kant er hævet 25 mm over bunden. Åbningen er 250 mm bred og 50 mm høj ved siderne af åbningen, spidsende op til 75 mm på midten. Spidsningen er for at hjælpe på gasblandingen ved lav indfyret effekt.

Sekundærlufttilsætning

Sekundærluft tilsættes gennem en dyse med vandret centerlinie 100 mm over primærluftdysernes centerlinie. Gasforbrændingskammeret fortsætter 250 mm over sekundærdysens centerlinie.

Gasforbrænding

Gasvejens tværsnit er snævret sammen til ca. 40 cm^2 , ca. 60 x 70 mm, og drejet op i lodret.

Konvektionsdel

De udbrændte gasser føres i en uisoleret jernkanal til brændemagasinets bagside, hvor de mødes i en røgkasse tilsluttet et lodret rør. Primærluftkanalerne er forsynet med glasdæksel, så man kan se ind i brændemagasinet gennem dyserne. Sekundærdysen er ligeledes forsynet med glasdæksel, så gasflammerne kan ses. Gasforbrændingskammeret er forsynet med en rude i forvæggen. Luftdyserne er udført af 18-8 stål med tilnærmet "klokkeformet" indløb.

2.2 Ombygning af brændkammeret i fase 2

Magasinet

Magasinet har i nogle af forsøgene været reduceret 50 mm i længden, således at længde x bredde x højde har været 200 x 350 x 620 mm.

Primærlufttilsætningen

I efteråret 1995 blev de to primærluftdyser udskiftet med to koniske dyser med variabel lysning, maksimalt 25 mm, fra fase 1 i lavbrandprojektet fra 1992. Skueglassene er fjernet, men man kan se skråt ind gennem dyserne. Primærluftdyserne er påbygget en temperaturstyring.

Gasafgang fra magasin

Gasafgangsåbningen fra magasinet er ved en midtersprosse opdelt i én afgangsåbning pr. primæråbning, i de sidste forsøg er hver åbning 70 x 70 mm.

Sekundærlufttilsætning

I efteråret 1995 er sekundærluftdysen udskiftet med en konisk dyse med variabel lysning, maksimalt 25 mm, fra fase 1 i lavbrandprojektet fra 1992. Skueglasset er fjernet, men man kan se skråt ind gennem dysen.

Gasforbrænding

Gasvejens tværsnit er udvidet ad flere gange og har i de sidste forsøg været 75 cm^2 .

Konvektionsdel

Der er ikke udført ændringer af konvektionsdelen.

1. Gennemførte forsøgsrækker

I perioden fra den 2. november 1995 til den 27. februar 1996 er udført i alt 15 forsøg. For søgsomstændighederne fremgår af tabellen side 9. Resultaterne fremgår af tabellen side 10. Tegning af ovn og angivelse af målepunkter findes side 11.

3.1 Forsøg med styring af primærluft efter røgtemperatur

Indledende forsøg

I de første 4 forsøg blev temperaturstyring, måleudstyr og datalogger afprøvet. Det var ikke muligt at tænde ovnen uden voldsomme gasforpufninger med flammer ud af luftdyserne, hvorfor indsnævringen i røgvejen mellem primærdyser og sekundærdyse blev fjernet efter 3. forsøg. Indsnævringen blev etableret i maj 1995 i et forsøg på at sikre en god gasblanding i den sekundærtilførslen, men viste sig altså uheldig og i øvrigt unødvendig for gasblandingen.

Ændring af gasafgang fra magasin

For at forbedre blandingen mellem primærluft og brændende gasser blev der efter forsøg 4 monteret en 70 mm bred midtersprosse i porten fra brændemagasinet (område A på figur 1, side 3), således at der opstod en port 50 x 90 mm pr. dyse. Efter forsøg 9 blev portene fra brændemagasinet ændret til 2 stk. 70 x 70 mm huller for at forhindre primærluften i at nå ind til brændslet ved situationer med kraftig gasudvikling.

Ændring af gasforbrændingskanalen

Efter forsøg 11 blev åbningen mellem primærdyser og sekundærdyse (område B på figur 1, side 3) øget til 35 x 140 mm, og gasforbrændingsskakten (område C på figur 1, side 3) blev øget med 50 mm i bredden for at nedsætte trykfaldet.

Temperaturstyring

Fra forsøg 3 til 11 blev forskellige reguleringshastigheder afprøvet. Også forskellige maks. og min. stop for primærluft.

Forsøg 8 og 10 udviste pæn forbrænding med $\text{CO}_{13\%}\text{O}_2$ på henholdsvis 2450 ppm og 2120 ppm, men ved indfyrede effekter på 5,6 kW og 3,9 kW. Alle forsøg, også de gode, viste en voldsom stigning i CO-værdier ca. 1 time efter påfyring. Stigningerne var ledsaget af stigning i røgtemperatur og i træk fra 7 Pa til 12 Pa og et fald i $\text{O}_2\%$. Formindskelse af primærluftmængden syntes at øge problemet.

Forsøg med fastholdt primærluft

Ud fra en teori om, at de varme Skamol- og Kerenab-plader i magasinet, mængden af gløder og varmen dannet ved selve forgasningen kan forgasse store mængder træ uden lufttilførsel i lang tid, blev det besluttet at fastlåse primærluftindstillingen og at øge sekundærlufttilsætningen i takt med trækforøgelsen.

I forsøg 12 blev sekundærluften øget manuelt, og forsøg 13 var en kort fortsættelse med halmbriketter.

Forsøg med trækstabilisator som sekundærluftspjæld

I forsøg 14 var en almindelig trækstabilisator monteret som sekundærluftspjæld, og den koniske dyse var udskiftet med et ca. 44 mm rør. Resultatet blev 2840 ppm $\text{CO}_{13\%}\text{O}_2$ ved en indfyret effekt på 3,3 kW og et tab på 12,8% svarende til en afgivet effekt på 2,9 kW. Resultaterne er gengivet grafisk side 12.

Forsøg med træpiller

Forsøg 15 med træpiller blev gennemført uden sekundærluft med resultatet 2528 ppm CO_{13%O₂} og et tab på 21,9% ved en indfyret effekt på ca. 2,8 svarende til en afgivet effekt på 2,2 kW.

1. **Sammenfatning**

Det er muligt ved én påfyring på 20 timer at opnå et forbrændingsresultat på 2840 ppm CO_{13%O₂} ved en indfyret effekt på 3,3 kW og et tab på 12,8% svarende til en afgivet effekt på 2,9 kW.

Resultatet er opnået ved fastholdt primærluft og med sekundærluft styret efter træk, idet en styring af primærluften efter røggassernes temperatur øgede problemerne med at opnå tilstrækkelig luftmængde til gasafbrænding.

5. **Konstruktionskrav**

På grundlag af forsøgsresultaterne og iagttagelserne under forsøgene kan der opstilles en række krav til en brændeovn, der skal kunne brænde ved en indfyret effekt omkring 3 kW, og som skal kunne brænde mere end 8 timer på én påfyring:

1. Brændet skal kunne indfyres gennem en sidevendt låge i et magasin udmuret med isolerende murværk. Også lågen skal være udmuret. Det nuværende magasins indvendige mål på 200 x 350 x 620 mm giver mulighed for indfyring af i alt ca. 14 kg brænde svarende til ca. 20 timers drift ved en indfyret effekt på 3 kW. Magasinet skal kunne rumme ca. 2 kg optændingsmateriale plus 3/4 kg brænde pr. ønsket driftstid.
2. Gasafgangen fra magasinet skal ske gennem én eller flere åbninger i en af magasinets sider ved bunden af magasinet.
3. Åbningen/åbningerne skal være beskyttet mod blokering af brændestykker, f.eks. ved hjælp af ristestænger eller ved en "perron"-konstruktion.
4. Åbningen/åbningerne skal være så lille/små, at primærluften helt eller delvist forhindres i at nå ind til brændet ved situationer med voldsom gasudvikling.
5. Bunden af magasinet skal være udformet som en ristekonstruktion evt. af murværk, som tillader lufttilførsel ved optænding, og som muliggør askefjernelse, men som kan tåle at være uden lufttilførsel ved almindelig forbrænding.
6. Primærluften skal tilføres gennem et antal dyser svarende til antallet af huller i siden af magasinet, på helt små konstruktioner kun én dyse og et hul.
7. Dysearealerne skal muliggøre tilførsel af fra 1 til 3 m³ luft pr. time pr. ønsket kW ved 5-10 Pa. En dyse med lysning på 36 mm vil kunne tilføre 10 m³ luft ved 5 Pa. Primærluftdyserne skal anbringes umiddelbart overfor åbningen/åbningerne i brændemagasinet i en sådan afstand fra åbningerne, at man kan få en fornuftig dimension på gasforbrændingskammeret.

- 8 En ovn med kun én primærdyse kan være en mulighed. Porten i magasinvæggen foran dysen i en ovn med kun én primærdyse skal sandsynligvis være en anelse større end 70 x 70 mm.
 9. Primærluften skal passere et gasforbrændingskammer, inden luften når over gennem denne åbning, således at primærluften ved voldsom gasudvikling i brændemagasinet afbøjes og bringes til at fungere som sekundærluft.
 10. Gasforbrændingskammeret skal have et tværsnitsareal, der tillader gashastigheder på ned til 1-2 m/sek. ved 800 °C for at undgå, at ilden blæser ud. 1 m/sek. svarer til 30 cm² pr. kW. (Gasforbrændingskammerets tværsnitsareal har efter udvidelsen været 6,5 x 11,5 cm eller 75 cm²).
 11. En del af forvæggen i gasforbrændingskammeret udføres med glasrude, evt. som låge, således at rensning af røgvejene kan foretages herigennem.
 12. I den nederste del af gasforbrændingskammeret, så tæt ved primærlufttilførslen som muligt, skal sekundærluft kunne tilføres gennem en dyse med en diameter på ca. 36 mm, svarende til 13 m²/h luft ved 5 Pa.
 13. Foran primærdysernes og sekundærdysens luftindtag bygges et kammer, f.eks. med glaslåge, som kan forhindre direkte stikflammer ved forpufning, og som kan forhindre kondensdryp.
 14. Lågen skal være så stor, at den også dækker lågen i gasforbrændingskammeret. Den nødvendige opholdstid for gasserne, og dermed længden af forbrændingskammeret kendes ikke. Muligvis kan den gøres noget mindre, end den er nu, uden at det går ud over forbrændingskvaliteten. Det vil nok være mest hensigtsmæssigt at bibeholde den nuværende størrelse, men udforme udmuringen i sektioner, så man kan fjerne en del af murværket i slutningen af kammeret mellem forsøgene og på den måde simulere et kortere kammer.
- Sekundærlufttilsætningen sker i øjeblikket senere end nødvendigt. Ved en mere hensigtsmæssig placering af sekundærdysen kan den samlede højde, som nu er godt 50 cm reduceres noget.
15. Umiddelbart efter afgang fra gasforbrændingskammeret skal røgen føres til en konvektor, der kan yde mindst 2 kW. Såvel røgsiden som luftsiden skal kunne renses.
 16. Primærdyserne udstyres med en positions-skala, der er proportional med det samlede primærluftdyseareal.

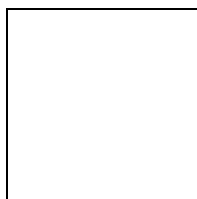
Sekundærluftdysen udføres i to udgaver, en efter trækstabilisatorprincippet, og en hvor dysearealet kan styres af enten en temperatur i røgkanalen eller iltprocenten i røgen.

Forsøg nr.	Dato	Forsøgsomstændigheder A, B, og C henfører til tegning side 3		Primærluft Automatik	Bemærkninger
1	2-11-95	Indsnævring ved B	Stor spidsbuet "port" ved A	Trin 3	Vanskelig opstart, pulserende forbrænding Plads til i alt ca. 16 kg brænde
2	8-11-95			Trin 3	
3	9-11-95			Trin 3	
4	29-11-95	Indsnævring fjernet		Trin 3	
5	13-12-95		70 mm midtersprosse ved A	Trin 3	
6	18-12-95			Trin 3	
7	20-12-95			Trin 1	
8	4-1-96			Trin 2	Herfra visning af primærluft spjældstil ling
9	8-1-96			Trin 2	Forsøg med trækstabilisator
10	10-1-96	Væg ved A øget med 50 mm	2 åbninger 70 x 70 mm ved A	Trin 2	Herefter kun plads til i alt ca. 14 kg brænde
11	1-2-96	Væg ved A igen normal, bagvæg i magasin øget med 50 mm, åbning ved B øget til 35 x 140 mm, C øget med 50 mm i bredden		Trin 2	
12	21-2-96			Fast	
13	22-2-96			Fast	Halmbriketter
14	26-2-96			Fast	Trækstabilisator til sekundærluft
15	27-2-96		Skrå silobund plade med 2 huller 70 x 70 mm for- an dyser	Fast	Ingen sekundærluft, 70 x 70 mm huller- ne i silobund lidt for små, træpillerne blokerede i udløbet og måtte hjælpes med en stang.

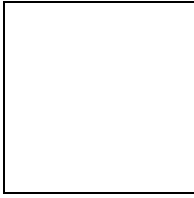
Tabel 1: Forsøgsomstændigheder

Forsøg nr.	Dato	kg brændsel	brænde tid, timer	% O ₂	% CO	t _{rog} °C	CO _{13%O₂}	Indfyret effekt kW	% tab
1	2-11-95	9,3	-	-	-	-	-	-	-
2	8-11-95	20,5	-	-	-	-	-	-	-
3	9-11-95	15	-	-	-	-	-	-	-
4	29-11-95	6,4	-	-	-	-	-	-	-
5	13-12-95	15,9	15	15,5	0,347	146	0,5076	4,5	14,4
6	18-12-95	16,2	17	12,8	0,745	132	0,7266	4,1	9,1
7	20-12-95	16	14	15,8	0,283	115	0,4384	4,9	11,4
8	4-1-96	15,9	12	15	0,183	142	0,245	5,6	13
9	8-1-96	16,3	15	5	0,143	134	0,0711*	4,6	5
10	10-1-96	33	36	6,8	0,379	160	0,2123	3,9	6,9
11	1-2-96	8,0 + 2,0 halm	10	17,3	0,296	97	0,6496	4,3	12,2
12	21-2-96	25,2	24	12	0,521	174	0,4625	4,5	11,5
13	22-2-96	3,2 halm	4	17,4	0,183	160	0,4131	3,4	22,6
14	26-2-96	15,4	20	15,4	0,198	133	0,2844	3,3	12,8
15	27-2-96	ca. 4 piller	6	16,9	0,128	170	0,2528	2,8	21,9

Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler
 Rapport for fase 2, marts 1996



Tabel 2: Forsøgsresultater



Temperaturer °C

Primærluft-spjæld - % åbning

For placering af målepunkter se side 11.

Rapport for fase 1

Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og partikler

Akademiingeniør Arne Sæbye

Udarbejdet for Energistyrelsen, Miljøstyrelsen, Heta A/S, Jydepejsen A/S, Krog Iversen & Co. A/S, Lotus Production ApS, Meteor, Morsø Jernstøberi A/S, Scanwood og RAIS A/S

19. juni 1995

**Dansk Teknologisk Institut
Teknologiparken
8000 Århus C**

MST J.nr. M 92-128-0486, ES J.nr. 51161/94-0004

partikler Udvikling af brændeovne med ekstremt lav indfyret effekt, høj nyttevirkning og lav emission af uforbrændte gasser og
Rapport for fase 2, marts 1996

1. Forsøgsbrændkammer var klar i november 1994. I store træk var kammeret som beskrevet den 28. juni 1994.

Magasin

Brændemagasinet indvendige, isolerede mål er 250 x 350 x 350 mm (længde x bredde x højde).

Magasinets vægge består af en relativ hård ildfast plade, Skamol 25 mm tyk, isoleret med en blød plade, Kerenab, 25 mm tyk.

Primærlufttilsætning

To primærluftdyser med 13 mm lysning er anbragt i magasinets langvæg med centerlinie ca. 50 mm over bunden og med ca. 200 mm indbyrdes afstand og mundingerne trukket ca. 50 mm tilbage fra magasinets væg.

Gasafgang fra magasin

Gasserne forlader magasinet gennem en åbning i langvæggen. Åbningens nederste kant er hævet 25 mm over bunden. Åbningen er 250 mm bred og 50 mm høj ved siderne af åbningen, spidsende op til 75 mm på midten, spidsningen for at hjælpe på gasblandingen ved lav indfyret effekt.

Gasforbrænding

Gasvejens tværsnit er snævret sammen til ca. 40 cm², ca. 60 x 70 mm, og drejet op i lodret. Sekundærluft tilsættes gennem en dyse med 30 mm lysning med vandret centerlinie 100 mm over primærluftdysernes centerlinie. Umiddelbart over sekundærlufttilsætningen møder gasserne en vandret forhindring af Kerenab. Gasforbrændingskammeret fortsætter 250 mm over sekundærdysens centerlinie.

Konvektionsdel

De udbrændte gasser føres i en uisolert jernkanal til brændemagasinet bagside, hvor de mødes i en røgkasse tilsluttet et lodret røgrør. Primærluftkanalerne er forsynet med glasdæksel, så man kan se ind i brændemagasinet gennem dyserne. Sekundærdysen er ligeledes forsynet med glasdæksel, så gasflammerne kan ses. Gasforbrændingskammeret er forsynet med en rude i forvæggen. Luftdyserne er udført af 18-8 stål med tilnærmet "trompet"-indløb.

Med forsøgskammeret som beskrevet blev 6 indledende forsøg foretaget:

Forsøg med 1. forsøgsbrændkammer

		Brændselsmængde	Brændetid	Middel af brugbare målinger			
				O ₂ %	CO ppm	Røgtemp. °C	
1 23/11-1994	13 mm prim. dyser, skarp-kantet indløb 30 mm sek. dyse Kanaler og røgrør uisolerede	0,5 kg pinde+ 3 kg kløvet + 3 kg alm. brænde i alt 7,5 kg	Det lykkedes ikke at få ild i ovnen				
2 2/1994	20 mm prim. dyser, afrundet indløb Kanaler og røgrør uisolerede	0,8 kg pinde + 6,5 kg alm. brænde+1 kg i alt 8,3 kg	7 timer, en del trækul tilbage	9,7	7918	158,7	Brændet kilede i magasinet, følgende forsøg udført med brænde afkortet til 28 cm
3 15/12-1994	Kanaler og røgrør uisolerede	2 kg pinde + 2,2 kg kort brænde i alt 4,2 kg		13,1	11156	120	Gasvejen over primærdyserne indsnævret til 100 mm bredde
4 3/1-1995	Kanaler uisolerede røgrør isoleret	2 kg pinde + 5 kg brænde, 18% vand i alt 7 kg	4,5 time, meget trækul tilbage	9,7	4460	168,4	Forbrændingsskakt udskåret i plade nr 2 fra brændemagasinet
5 5/1-1995	Kanaler uisolerede røgrør isoleret	2 kg pinde+ 16,0 kg brænde + 3,0 kg brænde i alt 21 kg	25,5 timer	11,3	7249	131,9	60 mm blænde indbygget over sekundærdyse
6 17/1-1995	Kanaler og røgrør isoleret	2 kg pinde + 15,5 kg brænde	35 timer	11,3	8698	178,1	Forgasningen løber løbsk

I 1. udgave af forsøgsbrændkammeret var der termisk kontakt fra gasforbrændingskammer og kanaler over til brændemagasinet. Denne kontakt bevirkede, at en voldsom forgasning af brændslet kunne finde sted, i et enkelt tilfælde i mere end en time på sekundærluft samt lidt falsk luft gennem pakninger og gevind.

Der blev herefter foretaget mindre ændringer af forsøgsbrændkammeret, bl.a. blev gasforbrændingskammer og røgkanaler frilagt fra brændemagasinet. Samtidig blev "skaktvirkningen" i forbrændingskanalen efter primærdyserne søgt forbedret.

Fire forsøg blev foretaget med 2. udgave af forbrændingskammeret:

Forsøg med 2. forsøgsbrændkammer

		Brændselsmængde	Brændetid	Middel af brugbare målinger			
				O ₂ %	CO ppm	Røg-temp °C	
7 26/4-1995	Dyser som 1. kammer Røgrør og kanaler isoleret	1,9 kg flis + 12 kg brænde i alt 13,9 kg	28,5 time indfyret mid- deleffekt 2,3 kW	11,3	13072	145	Trods næsten total lukning for primær luft kunne der ikke tilføres tilstrækkeligt sekundær luft
8 1/5-1995		2 kg flis + 12 kg brænde + 7 kg brænde, 8% vand i alt 21 kg	26 timer bedste 4,5 time indfyret mid- deleffekt 3,8 kW	9,7 8,7	4073 556	157,5 147,7	Indsnævring af gasforbrændingskanal før sek.dyse. Brændet placeret lodret
9 9/5-1995		1,5 kg flis + 1,5 kg pinde + 11,5 kg brænde + 8 kg brænde i alt 22,5 kg	82 timer kun temp målt indfyret mid- deleffekt 1,3 kW				Lukning af midterparti i port fra brændemagasin. Reduceret primær luft i begyndelsen for at hindre CO- spidser. Indfyret effekt for lav.
10 17/5-1995	Isolering fjernet fra for- og sidekanaler	2,5 kg pinde + 14,3 kg brænde + 6,5 kg brænde i alt 23,3 kg	49 timer indfyret mid- deleffekt 2,25 kW	11,3	6050	137,9	

Status

Den opstillede 2. udgave af forsøgsbrændkammer kan rumme brænde ved en påfyring til 24 timers forbrug ved 3 kW indfyret effekt.

Ved et forsøg den 1. maj 1995 har ovnen ved 2 påfyringer brændt 26 timer med en CO_{7,5}CO₂ på 2800 ppm og en indfyret effekt på 3,8 kW på trods af alt for tørt brændsel, 6-8% vand.

I et forsøg på at reducere kuliltespidserne ved den voldsomme forgasning kort tid efter brændepåfyring reduceredes primærluften i det næste forsøg, da sekundær luften ikke kunne øges. Herved blev den indfyrede effekt kort tid efter for lav til at sikre gasforbrændingstemperatur. Sekundærluftdysen må gøres større, eller primærluftdyserne må monteres således, at en vis sekundærvirkning opnås ved voldsom forgasning. Muligvis skal dyserne blot kortes lidt af.

Kammerets rumfang kan ret enkelt reduceres ved foring med Skamol, hvis det viser sig umuligt at gennemføre 24 timers forbrænding ved 3 kW med tilfredsstillende kvalitet.

Til brug ved optænding og ved trækulforbrænding er det nødvendigt at kunne øge primærlufttilsætningen ud over det nu mulige. De to primærdyser skal enten være større eller udformes med mindre luftmodstand. Underluft som fra en askeskuffe gennem en rist kan tilføres gennem de to bageste muffer, hvis en løs, skrå rist lægges ind.

Udstyr til styring af forbrændingsluften efter røgtemperaturen bør etableres. Alle dyser bør udføres, så udskiftning lettes.

I de fortsatte forsøg skal der skabes mulighed for

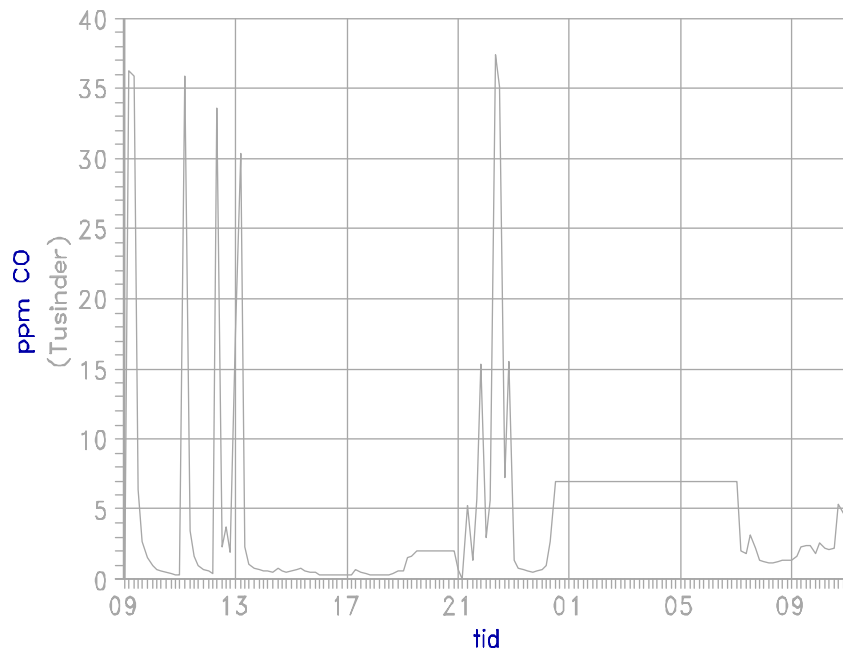
- mere primærluft ved opstart
- at en del af primærluften ved opstart kommer som under- eller bagluft
- mere sekundærluft kort tid efter påfyring
- at lade primærluften styre af røgtemperaturen
- variere konvektionen

Et nyt forsøgs-kammer med normal indfyrlingslåge, svagt konisk magasin, askeskuffe og variabel konvektionspart skal konstrueres.

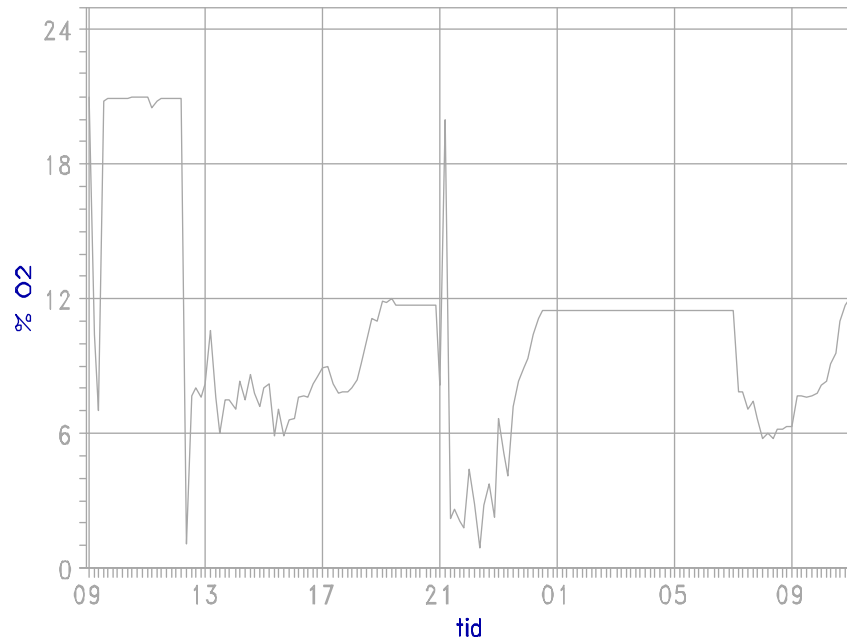
Et mini-kammer til piller bør udføres samtidig, evt. som indsats i et større kammer.

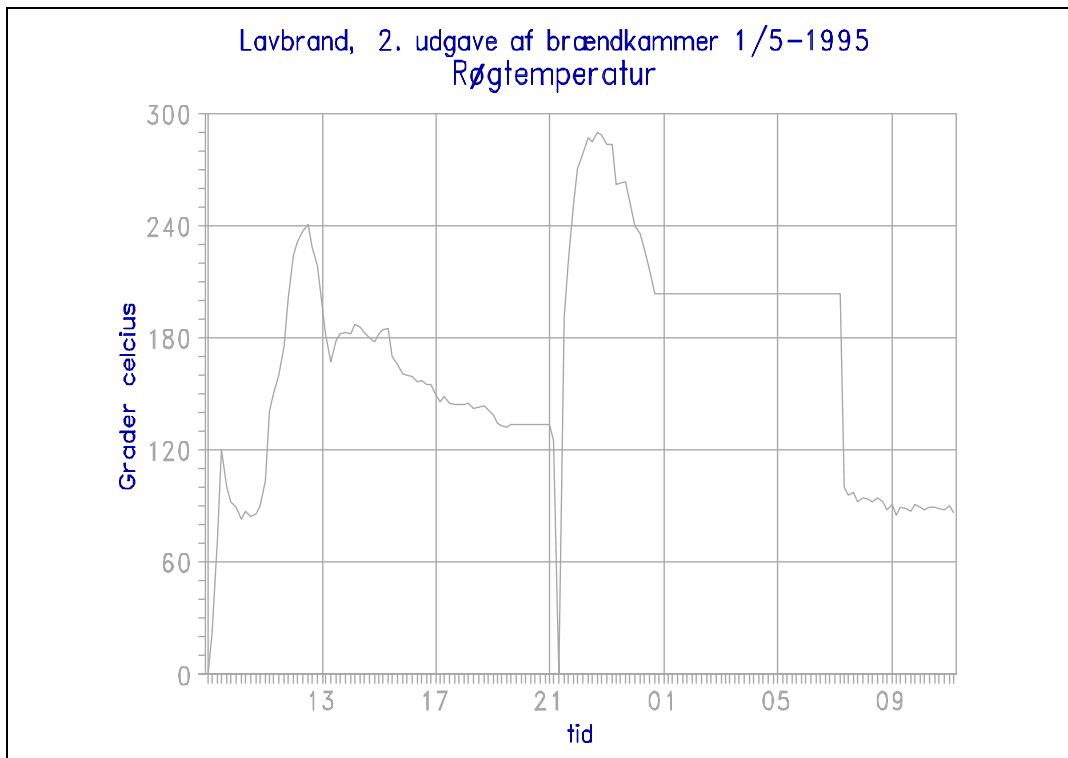
Resultaterne af forsøgene den 1. maj og den 9. maj 1995 er på de følgende sider gengivet i form af kurver over ilt, kulilte, røgtemperatur og lufttilførsel. Luftreguleringen er foregået med ventiler med en lineær skala fra 0,1 til 4,7.

Lavbrand, 2. udgave af brændkammer 1/5-1995
Kulilte

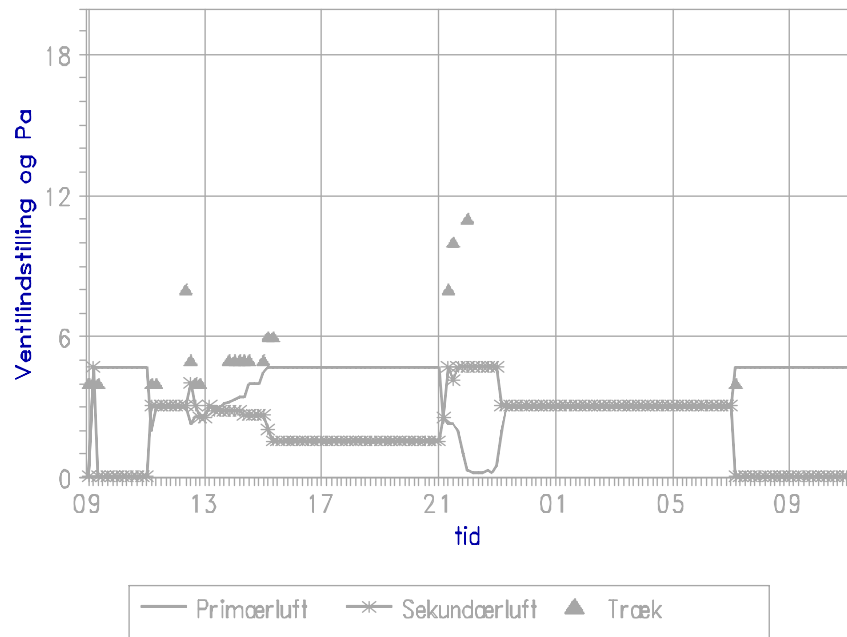


Lavbrand, 2. udgave af brændkammer 1/5-1995
ilt

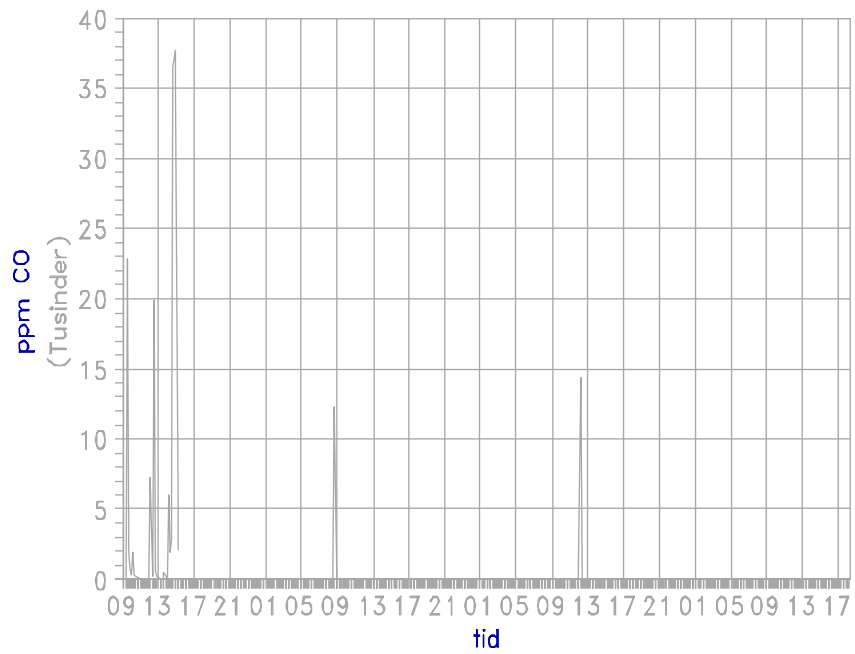




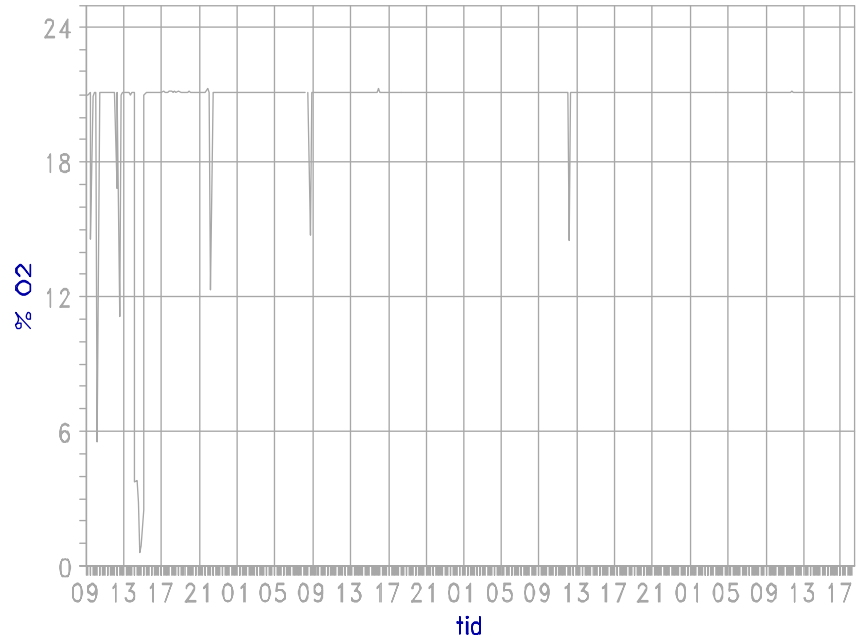
Lavbrand, 2. udgave af brændkammer 1/5-1995
Primær, sekundærluft og træk



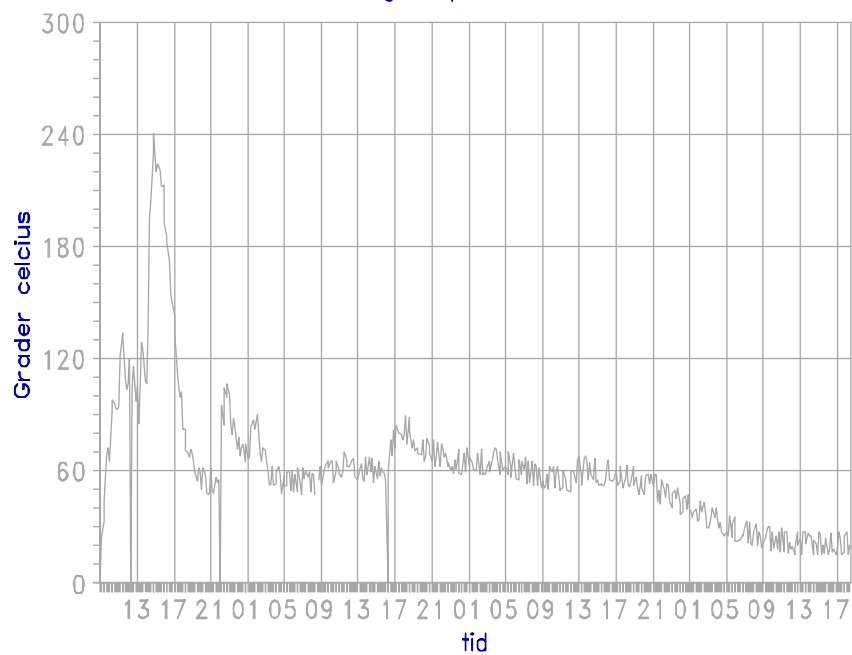
Lavbrand, 2. udgave af brændkammer 9/5-1995
Kulilte

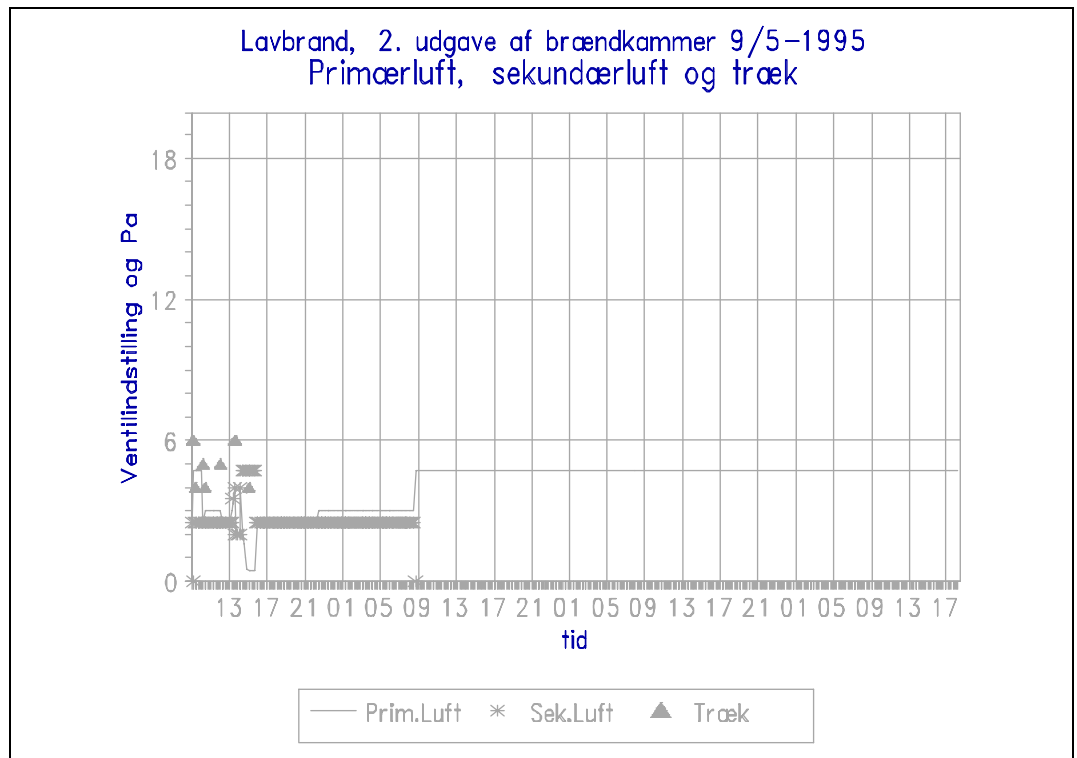


Lavbrand, 2. udgave af brændkammer 9/5-1995
ilt



Lavbrand, 2. udgave af brændkammer 9/5-1995
Røgtemperatur





Filnavn: ~WRL3907.tmp
Bibliotek: I:\Udvikling af brændeovne\Brugt
Skabelon: C:\Programmer\Microsoft Office\Skabeloner\Normal.dot
Titel: Resumé:
Emne:
Forfatter: Medarbejder 2
Nøgleord:
Kommentarer:
Oprettelsesdato: 10-07-00 15:43
Versionsnummer: 5
Senest gemt: 10-07-00 16:51
Senest gemt af: Medarbejder 2
Redigeringstid: 36 minutter
Senest udskrevet: 17-07-00 14:34
Ved seneste fulde udskrift
Sider: 58
Ord: 9.256 (ca.)
Tegn: 52.761 (ca.)