

Utvärdering av nytt förbränningsrum  
*Traditionella och befintliga Kakelugnar*



**Bengt- Erik Löfgren; Äfab**  
**Benny Windestål; Äfab**  
2001-12-01

## Innehållsförteckning

<b>1. Uppdraget</b>	<b>3</b>
<b>2 Metod och genomförande</b>	<b>4</b>
<b>3. Resultat</b>	<b>6</b>
<b>4 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>Bilaga 1:1 <i>Testprotokoll original</i></b>	<b>9</b>
<b>Bilaga 1:2 <i>Testprotokoll insats</i></b>	<b>10</b>
<b>Bilaga 1:3 <i>Testprotokoll sekundärluft i eldstad</i></b>	<b>11</b>
<b>Bilaga 2 <i>Förteckning över gjorda test</i></b>	<b>12</b>

## 1. Uppdraget

Akkumulerande eldstäder i form av kakelugnar och täljstensspisar har stått för den primära värmekällan i nordiska hus sedan 1700-talet. Det var först med vattenburen centralvärme på 1930-40 talet som kakelugnen allt mer ersattes med oljeeldning. Idag är kakelugnar och tunga täljstensspisar åter en efterfrågad produkt, dels för att de kan ge ett ansenligt värmetillskott i t.ex. direktelvärmda hus, dels för att de har en tilltalande design.

De har generellt bra prestanda, men utsläppen bör ändå kunna sänkas avsevärt samtidigt som 5-10 procentenheter högre verkningsgrad bör uppnås om modern teknik används. Eftersom kakelugnar innebär en stor investering och har lång livslängd, så är det angeläget att finna en metod för att kunna förbättra deras prestanda t.ex. då de orsakar olägenheter för omgivningen.



Förbränningstekniskt har kakelugnen som produkt inte utvecklats speciellt mycket sedan Cronstedt och Wrede:s konstruktioner. Den nu aktuella metoden är därför ett försök att med den traditionella kakelugnen som grund, och med bibehållen utsida, integrera modern förbränningsteknik till produkten.

Kakelungsmakare Anders- och Stefan Larsson på *Anders Murare AB* i Sommen har utvecklat en ny metod att bygga kakelugnar som kan användas i såväl nya som gamla produkter. Metoden integrerar modern förbränningskunskap i traditionell teknik och förbättrar prestandat i samband med nybyggnad, renovering eller omsättning. En variant av metoden kan eftermonteras i befintliga kakelugnar.

*Anders Murare* är ett mindre företag med 5 anställda i Sommen; Tranås kommun, som har mer än 25 års erfarenhet av hantverket men saknar kompetens och resurser att verifiera resultaten av sin metod. Genom att anlita Åfab ville företaget utvärdera ombyggnadsmetoden och där det är möjligt även förbättra denna. Åfab har mångårig erfarenhet av att arbeta med förbränningsteknik bl a från flera projekt inom programmen Småskalig förbränning och kan jämföra tekniken med andra liknande produkter samtidigt som relevanta forskningsresultat kan integreras i aktuell metod.

Detta projekt har syftat till att utvärdera två koncept för hur befintliga kakelugnar skulle kunna moderniseras. Funktionen har analyserats och jämförts med traditionella konstruktioner. En viktig målsättning har varit att ombyggnationen skulle genomföras utan att påverka kakelugnen utseende samt att om möjligt även kunna genomföras utan att kakelugnen behöver sättas om. Ombyggnaden skall vara lätt att installera och lätt åtkomlig för rengöring. Konstruktionen skall vara i stenmaterial och slitdetaljer skall vara lätt utbytbara.



Bilden ovan visar aktuell testugn, samtidigt med temperaturgivarnas placering,

Målet med projektet har varit att klarlägga hur metoden att införa modern förbränningsteknik i befintliga kakelugnar fungerar. Målsättningen har därutöver varit att minska utsläppen av oförbrända ämnen samt med god tillgänglighet nå verkningsgrader på över 80%.

## 2 Metod och genomförande

Anders Murare har i samråd med Äfab tagit fram en specialtillverkad testugn som lätt kan byggas om och som är försedd med ett antal givare för insamlandet av mätdata (se bild sid 3). Denna testugn har sedan använts för genomförande av olika ombyggnadsförsök. Testugnen saknar – i förhållande till en originalugn - ett skift material. Detta av praktiska skäl för att lätt kunna bygga om och förändra konstruktionen utan att behöva sätta om hela ugnen.

Det betyder att såväl konvektionsyta som värmelagringskapacitet i testugnen är sämre än en kakelugn i original. Därför blir uppmätta rökgastemperaturer högre än i verkligheten vilket ger en lägre verkningsgrad. Vi uppskattar att en fullstor tegelmängd skulle gett omkring 5- 7 % högre verkningsgrad än testugnen vid våra tester.

Kakelugnen är både *eldstad, ackumulator och radiator* i samma produkt. Eftersom en kakelugns rökgastemperatur är relativt låg blir verkningsgraden i dessa produkter hög. Det är därför relativt ointressant om verkningsgraden är 75% eller 85%. Skillnader i verkningsgrad är även beroende av stenmaterialets temperatur vid uppstarten. För vårt projekt har det inte varit det primära att studera *skillnaden i verkningsgrad* utan vi har tittat på möjligheterna att optimera miljöresultaten. Miljöresultaten är beroende av förbränningen och påverkas mycket lite av den minskade mängden material i toppen på ugnen.

Våra testeldningar har skett i huvudsak i två omgångar 16- 19 juni och 17- 21 november 2001, där mellantiden av *Anders Murare* använts för att utveckla ombyggnadsmetoden. Våra normala tester innehåller minst 3- 4 påfyllningar med c:a 1,5 kg ved per inlägg och omfattar c:a 2- 3 timmars driftcykler. Vi har använt björkved med en fukthalt av 16% +/- 2% kluven till c:a 50 mm. (Se bild t.h.) Uppstart och påfyllning följer i övrigt SP:s provningsmetod för lokaleldstäder. Vi har startat testerna både från kall och varm kakelugn.



Vi har vid provningen mätt CO, CO<sub>2</sub>, THC via instrument, registrerat temperaturer på såväl ugnens ytor, inne i gasströmmen (i ugnens rökgasvägar), och i rökgasen efter ugnen. Med utgångspunkt från detta har kakelugnens verkningsgrad beräknats enligt *Sigerts formel* liksom miljövärden som normaliserats till 13% O<sub>2</sub>. Ugnens effekt som beräknas på vedinlägget anger effekt *avgiven till kakelugnens stenmassa*. Avgiven effekt till rummet kan därefter uppskattas med ledning av avsvälningstid.

Den ursprungliga metoden byggde på att man ovanför eldstaden i en traditionell kakelugn skapar *först* en förträngning (*gashals*) och *sedan en* efterföljande utvidgning (sekundärbrännkammare) där tillsats av *reglerbar och förvärmad* sekundärluft sker. Metoden visade sig som förväntat ge förbättrade prestanda, men inte riktigt så bra som vi från början trodde. Metoden har därför under arbetets gång förändrats på så sätt att sekundärluftinläppet flyttats närmare flammen och placerats på båda sidor inne i eldstadsutrymmet och detta har lett till mycket bra prestanda. (Se även skiss på nästa sida)

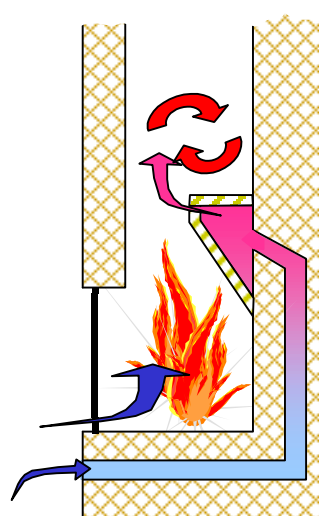
Testerna har i huvudsak utförts av *Benny Windestål och Bengt- Erik Löfgren*. Under testerna har *Anders* och *Stefan Larsson* från Anders Murare funnit med. De förbränningstekniska resultaten redovisas i detalj som driftprotokoll i bilagor. Denna rapport kan även laddas ned som pdf-fil från vår hemsida [www.afabinfo.com](http://www.afabinfo.com).

### Ombyggnad med insats

Vårt första ombyggnadsförsök gick ut på att skapa en sekundärluftkanal via den blindkanal som finns bakom eldstaden i en kakelugn och hämta sekundärluften under eldstaden. Genom att bygga en kilformad, ihålig "förträngning" kunde förvärmad sekundärluft tillföras över eldstaden och en "sekundärbrännkammare" skapas. Härigenom skulle man kunna utnyttja den stigande centrumkanalen för slutförbränning var tanken.

Konstruktionen utfördes i *värmeculite* som är ett lättbearbetat och värmetåligt material. Mängden sekundärluft justerades med öppningsarea och en "rosettventil" under eldstadsluckorna.

Resultatet blev en *förbättring* i förhållande till originalet, men inte så bra som förväntat. Förmodligen beroende på att avståndet från fyren till sekundärluftinsläppet blev alltför stort samtidigt som gasblandningens temperatur är alltför låg och innehållet av brännbara ämnen alltför lågt för en effektiv sekundärförbränning.



Principskiss över ombyggnad med förträngning och insats.

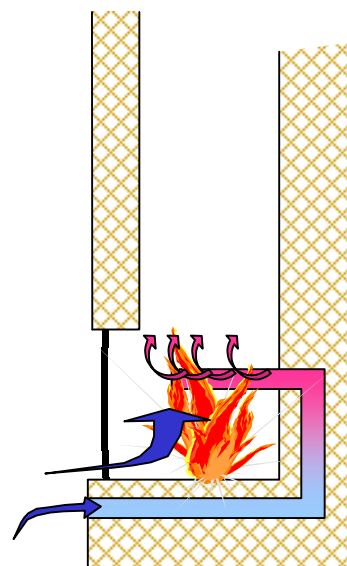
### Ombyggnad med sekundärluftspalter

Vårt nästa steg var att försöka tillföra sekundärluften tidigare i förbränningsrummet. Förträngningen togs bort och sekundärluften togs ut i bakkant på eldstaden och fördelades i kanaler till eldstadens båda sidor där insläppet skedde genom 12 st 5 mm hål på var sida i eldstaden. Bäst resultat erhöles då sekundärluften enbart tillsattes i den bakre halvan av eldstaden, räknat från eldstadsluckan.

Med denna utformning fick vi gasförbränningen att bli i det närmaste fullständig. Efter avslutad eldning finns inga som helst beläggningar kvar på väggarna eller i konvektionsytorna.

Genom att flytta ned sekundärluften till eldstadsutrymmet tillsätts luften där den gör mest nytta vilket även återspeglas på avgiven effekt, som fördubblats jämf med originalet, trots samma storlek på vedinlägget.

Denna konstruktion skulle kunna utföras i efterhand på *befintliga kakelugnar* genom att i eldfast material gjuta delar som sedan kan eftermonteras i kakelugnen.



Principskiss över ombyggnad med sekundärluftkanaler direkt i eldstadssidorna.

Genom att höja eldstadsbotten c:a 25- 30 mm och minska eldstadssidorna lika mycket kan man få plats med ombyggnaden. Sannolikt skulle en kombination av åtgärderna ge ett ändå bättre resultat. Men detta kan i så fall lämpligast ske i samband med omsättning av kakelugnen.

### 3. Resultat

Vi har under arbetets gång genomfört ett 15-tal olika proveldningar. Resultaten är mycket goda och vi kan redovisa en färdig ombyggnadsmetod som skulle kunna *prefabriceras och säljas som ombyggnadssats* såväl i samband med omsättning som till förbättring av befintliga kakelugnar.

Vi noterar speciellt det faktum att de bästa resultaten erhöles vid den enklaste ombyggnadsmetoden. En metod som även skulle kunna eftermonteras i de befintliga kakelugnar och där leda till stora förbättringar av framför allt miljöpresstandat och med *rågeklara t ex BBR:s miljökrav*.

Ett intressant resultat är också att *miljövärdena* efter ombyggnad under driftperioden ligger nära de resultat som man normalt annars bara finner hos pelletskaminer. Även uppstart och nedeldning sker snabbare än i originalet och resultaten är mycket stabila och helt repeterbara.



Bilden ovan visar konstruktionen av sekundärluftkanalen som placeras i eldstaden med bästa miljöresultat.

De *miljömässiga resultaten* framkommer bäst om man studerar protokoll i bilagor som är representativa eldningar. Utsläppen av CO och OGC ligger i *driftläge* konstant vid enbart bråkdelar av gällande miljökrav.

<b>Medelvärden TEST</b>	<b>Original</b>	<b>Med Brännkammare</b>	<b>Bästa Ombyggnad</b>
CO ppm	3260	1204	1061
THC ppm	125	97	28
CO <sub>2</sub> %	4,9	5,4	6,1
Rökgastemp °C	169	139	237
Flamma 1 °C	359	436	617
Flamma 2 °C	360	399	569
Flamma 3 °C	331	366	491
Effekt kW	6,2	9,2	11,0
Verkningsgrad %	78,8	84,4*	74,1**
<b>CO<sub>nom</sub> vid 13% O<sub>2</sub></b>	<b>6311</b>	<b>2142</b>	<b>1674</b>
<b>OGC<sub>norm</sub> vid 13% O<sub>2</sub></b>	<b>352</b>	<b>249</b>	<b>64</b>

\*Den högre verkningsgraden med insats trots en ökad effekt beror på en ökad turbulens i förbränningskammaren som leder till en ökad konvektion mot ugnens stenmaterial.

\*\*Den lägre verkningsgraden med bästa resultat beror på dels en ökad effekt (högre rökgas- och högre flammtemperatur) men även på att eldröret saknar insatser som ger ökad turbulens. Skillnaden i verkningsgrad kommer att avta i det att kakelugnen får en större massa och längre rökgasvägar.

Sammanfattningsvis vågar vi därför påstå att föreslagen ”bästa ombyggnad” är en lämplig och väl fungerande metod som även klarar att eftermonteras i befintliga kakelugnar. I samband med omsättning kan man kombinera metoden med att skapa någon förträngning som ökar turbulensen och därmed sänker rökgastemperaturen och ökar verkningsgraden.

## 4. Diskussion

Kakelugnen är åter en populär eldstad, dels för att den kan ge ett ansevärt värmetillskott i t.ex. direktelvärmda hus, dels för att den har en tilltalande design. Eftersom kakelugnar innebär en stor investering och har lång livslängd, så är det angeläget att finna en metod för att kunna förbättra deras prestanda t ex då de kan orsaka olägenheter för omgivningen. De har dock generellt bra prestanda, men detta projekt har visat att utsläppen ändå kunnat förbättras ytterligare.

Det är ingen tvekan om att genomförda åtgärder leder till avsevärt förbättrade prestanda för traditionella kakelugnar. Genom detta arbete har dörren säkerligen öppnats för en mer omfattande utveckling av den traditionella kakelugnen, vars förbränningstekniska utveckling i det närmaste stått stilla sedan 1800-talet.

*Anders Murare* är en erkänt duktig kakelungsmakare. Med dessa ombyggnadsförslag har man även visat att det finns en stor utvecklingspotential till att förbättra en gammal och välkänd konstruktion. Eftersom kakelugnen är både *eldstad, ackumulator och radiator* på samma gång blir *systemverkningsgraden hög* och kakelugnen passar därmed utmärkt in också i ett modernt värmesystem.

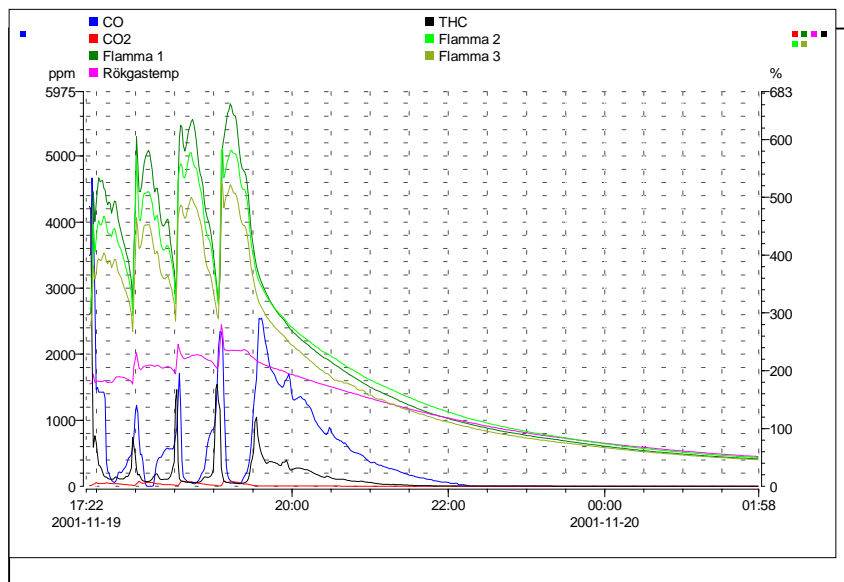
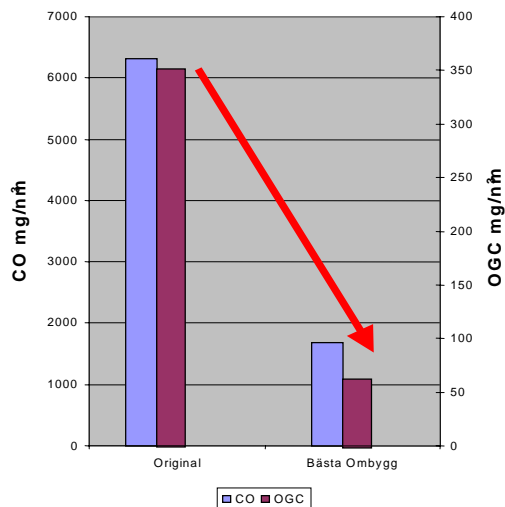
Genom sin värmetröghet kan den eldas hårt med bra miljöresultat utan att den skapar övertemperaturer i byggnaden, och genom sin ackumulerande förmåga avges sedan värmen med jämn effekt under lång tid efter det att förbränningen avstannat.

Med ett eldningsintervall av morgon och kväll kan man som användare få ett behagligt inomhusklimat samtidigt som man ersätter större delen av uppvärmningsenergin.

Om man har elvärme som grund kommer kakelugnen dessutom att ersätta i *huvudsak dyrbar toppkraft* under den kallaste perioden. Detta är en avsevärd fördel om man jämför med t ex en värmepump som behöver spetslast under den kallaste perioden och därmed ökar obalansen i eldistributionen. Sammantaget gör detta installationen av en kakelugn dubbelt värdefull både för samhället och för elhandelsföretagen.

Vår projektbudget har i detta projekt varit begränsad till en konsultcheck och har inte medgivit några mer omfattande tester av andra tänkbara lösningar. Vi har koncentrerat arbetet på två varianter och arbetat med korta eldningscykler. Det är därför svårt att lämna ett väl underbyggt utlåtande om vad som *skulle kunna vara den optimala lösningen*. Men vi kan konstatera att *Anders Murare* lyckats

### Ombyggnad ger bättre miljö!



*Efter drygt 2 timmars eldning med totalt 6 kg ved tar det ytterligare 5- 6 timmar innan kakelugnen svalnat av. Det ger en medel avgiven effekt till byggnaden på c:a 2,5 kW under 8 timmar.*

mycket väl med sina förbränningstekniska idéer. Ett stimulerande och lyckosamt nytänkande för att förbättra en gammal och beprövad konstruktion

Man har inte bara visat att man vet vad man gör, utan man har även lyckats kombinera ett hantverkskunnande med ett kreativt nytänkande som visat sig fungera alldeles utmärkt. Vi skulle därför önska att *Anders Murare* får möjlighet att arbeta vidare med sina försök. Kakelugnens konstruktionen möjliggör i stort sett vilka förbränningstekniska lösningar som helst, men utvecklingsarbetet måste utföras av kunniga människor med ett gediget hantverkskunnande. Vår test ska därför ses som en vägledning om vilka resultat man som användare kan förvänta sig av en framtida än mer utvecklad produkt.

Våra resultat visar att *Anders Murares* ombyggnation reducerat utsläppen från en traditionell kakelugn med minst 75%. Resultaten är efter ombyggnad i *nivå med de allra bästa prestanda* vi har uppmätt på lokaleldstäder. Ombyggnaden *integrerad i produkten* är troligen mycket hållbar och skulle enkelt kunna bytas ut vid behov. Genom att prefabricera bitar i eldfast material finns möjlighet att göra färdiga insatser som även kan eftermonteras i nästan varje befintlig kakelugn. Vi har svårt att bedöma kostnader för service och underhåll men ser egentligen inga *svaga punkter*.

Det är dock osäkert om denna förbättring delvis skett på bekostnad av en *mindre sänkning av verkningsgraden*. Genom ombyggnationen har vi fått en högre effekt vilket leder till ökade rökgasförluster. Men de verkningsgradsförsämringar vi noterat försvinner sannolikt med den större massa som en traditionell kakelugn innehåller. Vår testugn saknar som vi tidigare nämnt ett skift i material och är därför lättare än en traditionell ugn.

Figuren till höger visar temperaturer inne i kakelugnen vid olika nivåer. Flamma 1 är placerad 20 cm ovanför eldstadsluckan, Flamma 2 och 3 är placerade 50 resp 80 cm ovan eldstadsluckan i den uppåtgående kanalen.

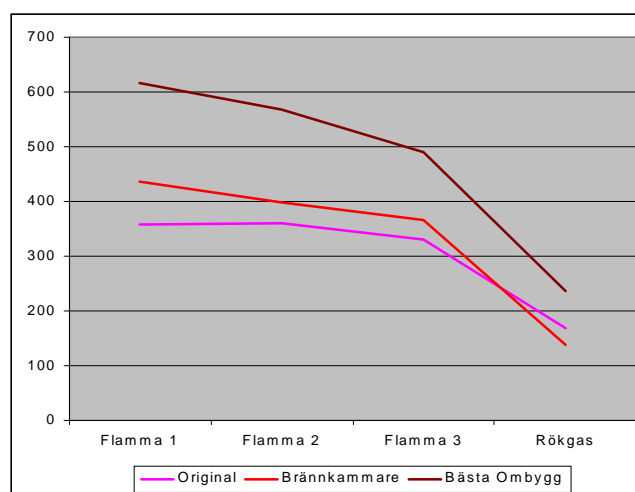


Fig visar att med en fullstor ackumuleringsvolym är det sannolikt att rökgastemperaturen inte blir högre än i originalutförande trots att begynnelsestemperaturen strax ovan flaman (Flamma1) ökat från 359° till 617°C.

Genom att jämföra med rökgastemperaturen efter kakelugnen kan vi konstatera att ombyggnationen leder fram till en klart intensivare förbränning och att förbränningen avslutas inom den stigande kanalen.

Eftersom vår testugn saknar ett skift är konvektionsytan kortare samtidigt som det värmeabsorberade materialet är mindre. I kombination med att förbränningen är mer fullständig menar vi att registrerad *verkningsgradssänkning* i förhållande till originalet till större delen är skenbar.

Vi kommer med intresse att följa produkten i framtiden och tror att denna utvecklingside har ett stora möjligheter att utvecklas ytterligare och att ombyggnationer kommer att bli vanliga på marknaden.

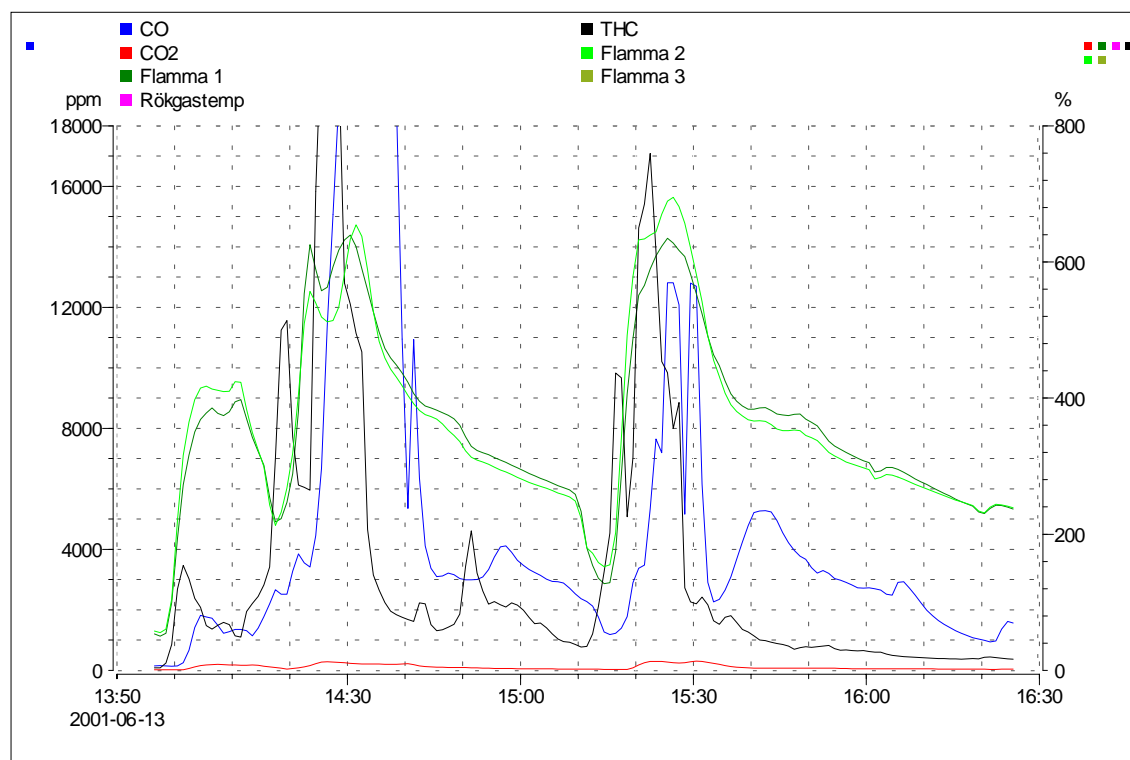
Äfab i november 2001

**Bengt- Erik Löfgren**

### **Bilagor**

1. **Testprotokoll över alternativa prestanda**
2. **Förteckning över gjorda test**



**ELDNING kakelugn original****Resultat**

Input= 4,66 kg ved (4,66 x 4,2 kWh= 19,6 kWh)

Verkningsgrad= 78,8 %

Medeleffekt= 19,6 x 0,788 / 2,5= 6,2 kW

**Miljövärden**

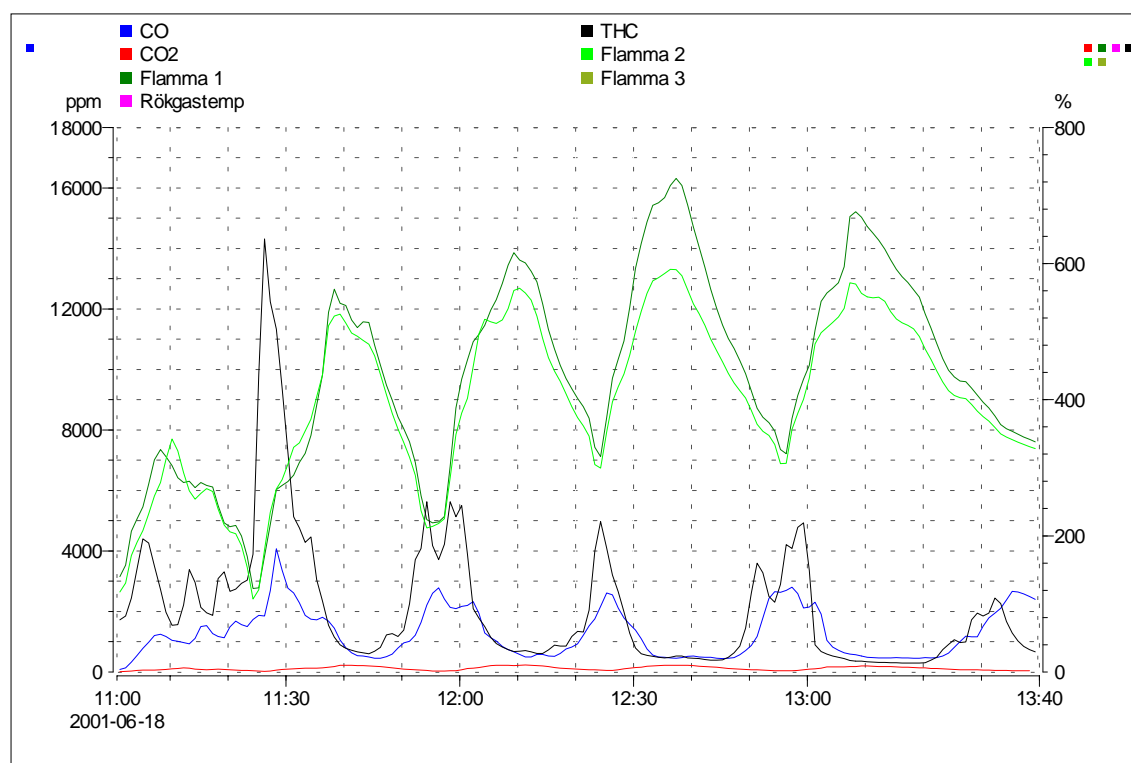
**CO= 6311 mg/nm<sup>3</sup> vid 13 % O<sub>2</sub>**

**(godk enl EN vid fullast= 3 750 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>)**

**OGC= 352 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>**

**(godk enl BBR vid fullast= 250 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>)**

## ELDNING kakelugn med förträngning och insats



### Resultat

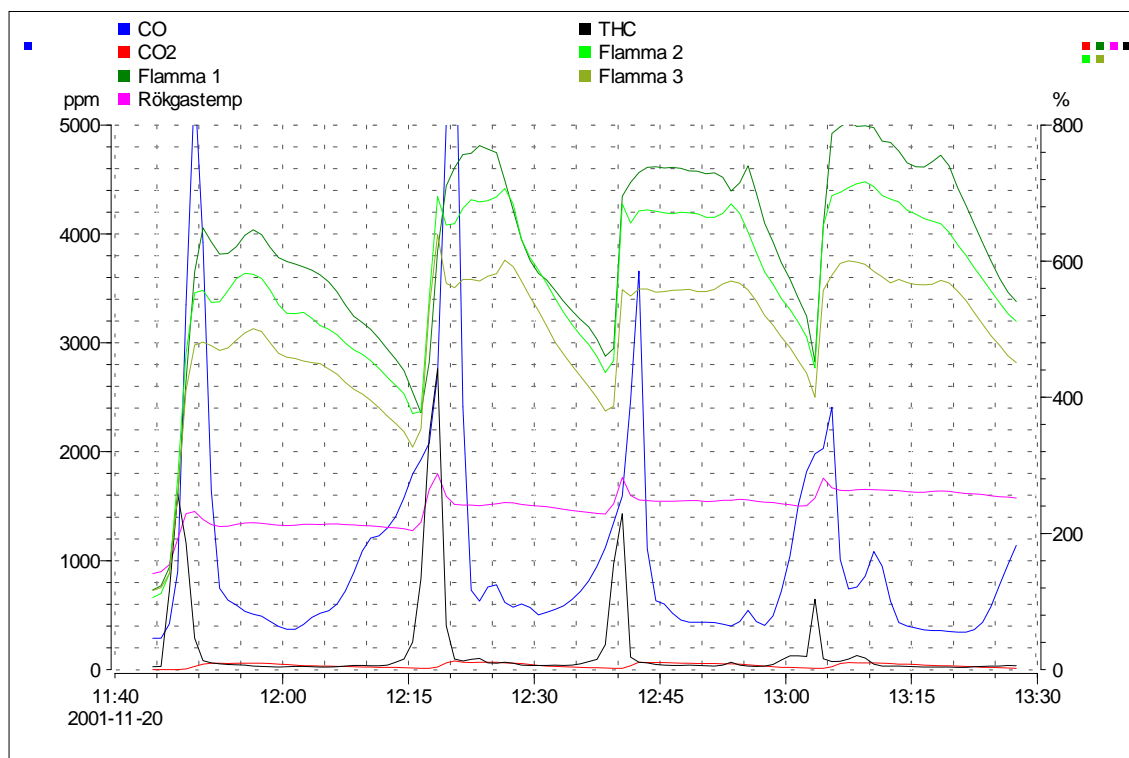
Start från helt kall ugn. Hela körningen ink tändbrasa + 4 st inlägg.  
 Provtid 2,6 tim. Sekundär spjäll helt öppet. Primär (ögon) helt stängda

Input = 6,80 kg x 4,2 kWh/kg = 28,5 kWh  
 Förbränningsv-grad = 84,4 %  
 Output = 28,5 x 0,844 = 24,0 kWh  
 Medeleffekt = 24,0 kWh / 2,6 tim = 9,2 kW

### Miljövärden ink tändbrasa

CO = 2143 mg/Nm<sup>3</sup> vid 13 % O<sub>2</sub> (godkänd enl EN vid fullast= 3 750 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>)  
 OGC = 249 mg/Nm<sup>3</sup> vid 13 % O<sub>2</sub> (godkänd enl BBR till 250 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>)

## ELDNING kakelugn med sekundärluftkanal i eldstad



### Resultat

Start från kall spis. Hål i underkant sekundärluftsten täppta- 4 inlägg. Provtid 1,7 tim.

Input = 6,05 kg x 4,2 kWh = 25,4 kWh

Förbränningsv-grad = 74,1 %

Output = 25,4 x 0,741 = 18,8 kWh

Medeleffekt = 18,8 kWh / 1,7 tim = 11,0 kW

### Miljövärden ink tändbrasa

CO = 1674 mg/Nm<sup>3</sup> vid 13 % O<sub>2</sub> (godkänd enl EN vid fullast= 3 750 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>)

OGC = 64 mg/Nm<sup>3</sup> vid 13 % O<sub>2</sub> (godkänd enl BBR till 250 mg/nm<sup>3</sup> vid 13% O<sub>2</sub>)

***Förteckning över gjorda testeldningar*****Tester på Anders Murares kakelugn**

<b>Filnamn</b>	<b>V-grad</b>	<b>CO/Nm3</b>	<b>OGC/Nm3</b>	<b>Anteckningar</b>
0124-1				Test
0124-2				Test
0124-3				Test avsvälning
0124-3	78,8	6311	352	Prov original
0124-4				Test ny insats
0124-5				Test
0124-6				ny sekundärluft + ebk
0124-7				insats + ebk
0124-8	60,5	4072	250	insats sida
0125-1	84,4	2143	249	Prov med brännkammare
0147-1				Test
0147-2				Test
0147-3				Test
0147-4	74,0	1393	89	Prov med brännkammare
0147-5	75,1	3961	203	Sekundärluft i sidor + baffel
0147-6	69,6	2044	133	Utan baffel
0147-7				Test
0147-8	71,0	1307	97	Sekundärluft via 5mmhål i värmekulitsidor
0147-9	78,7	1957	133	Prov Sekundärluft via 5mmhål i värmekulitsidor
0147-10	74,1	1674	64	Prov Hål i sekundärluftsten täppta
0147-11	77,6	3696	341	Extra sekundärlufts hål