

# Vurdering af brændekedlers partikelemission til luft i Danmark

Kim Winther  
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.

# Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	7
1 OVERBLIK OVER DANSKE BRÆNDEKEDLERS TYPE, ALDER OG ANTAL	8
1.1 HISTORIK	8
1.2 GAMLE KEDLER	9
1.3 NYE KEDLER	13
2 KATALOGISERING AF TYPISKE EMISSIONER (EKSISTERENDE DATA)	16
2.1 SVENSKE UNDERSØGELSER	16
2.2 GAMLE DANSKE KEDLER	18
2.3 NYERE KEDLER	19
2.4 KORRELATION MELLEM CO OG PARTIKLER	20
2.5 EFFEKTEN AF AKKUMULERINGSTANK OG FYRINGSMØNSTER	21
2.6 SAMLET VURDERING AF EKSISTERENDE DATA	23
3 FASTLÆGGELSE AF MÅLEPROGRAM	25
3.1 VALG AF KEDLER	25
3.2 MÅLEMETODE FOR PARTIKLER	25
3.3 ØVRIGE MÅLINGER	27
3.4 TIDSPLAN	27
4 MÅLERESULTATER	28
4.1 SALAMANDER A	28
4.1.1 <i>Nominal ydelse</i>	28
4.1.2 <i>Reduceret ydelse</i>	31
4.1.3 <i>Tilpasset fyring</i>	34
4.2 SALAMANDER C	37
4.2.1 <i>Nominal ydelse</i>	37
4.2.2 <i>Reduceret ydelse</i>	40
4.2.3 <i>Tilpasset fyring</i>	43
4.3 VIADRUS HERKULES	46
4.3.1 <i>Nominal ydelse</i>	46
4.3.2 <i>Reduceret ydelse</i>	49
4.3.3 <i>Tilpasset fyring</i>	52
4.4 MÅLING AF GROVE STØRRELSESFORDELINGER FOR PARTIKLER	54
4.5 PAH, SO <sub>2</sub> OG NMVOC	56
5 SAMLET BEDØMMELSE	58
5.1 ANBEFALING TIL UDFASNING AF FORURENENDE KEDLER	66
6 KONKLUSION	67
7 REFERENCER	68



# Forord

Dette projekt er udført for Miljøstyrelsen af Kim Winther, Teknologisk Institut i perioden 1. maj – 30. september 2007.

Projektet er finansieret af finanslovsbevillingen til "Miljø og Sundhed".

# Sammenfatning og konklusioner

Dette projekt har til formål at tilvejebringe viden om anvendte brændekedler i Danmark samt en vurdering af de enkelte kedeltypes emission, herunder partikelemission. Projektet er gennemført i to faser.

I fase 1 (Afsnit 1-3) er der gennemført en analyse af eksisterende data, hvilket fører frem til et indledende estimat over emissionsniveauet fra forskellige kedeltyper. Samtidig er antallet af installationer med de enkelte kedeltyper estimeret. På baggrund af dette estimat er der udvalgt 3 brændekedler, som vurderes at have forholdsvis høje emissionsfaktorer samtidig med, at de forefindes i et betydeligt antal i Danmark.

I fase 2 (Afsnit 4-5) er de 3 brændekedler afprøvet med fokus på partikelemission og andre emissioner til luft. En række forskellige metoder er anvendt for at illustrere forskelle og sammenhænge imellem diverse målinger. Fase 2 resulterer i et opdateret estimat på emissionsfaktorer samt en anbefaling til konkrete kriterier til udfasning af særligt forurenende brændekedler.

De tre kedler er blevet testet med henblik på virkningsgrad samt emissioner af CO, NO<sub>x</sub>, TOC, SO<sub>2</sub>, PAH, NMVOC, støv, støvstørrelsesfordeling og kondenseret partikelmasse. Kedlerne er gennemforbrændingskedler af typen DFJ Salamander A og C samt Viadrus Hercules. Der er fyret med rent tørt brænde under anvendelse af tre forskellige fyringsteknikker (akkumuleringstank, dellast og tilpasset fyring).

Resultaterne viser, at især TOC og partikelemissionerne ligger betydeligt højere end på nyere kedeltyper, samt at brændselsforbruget er endog meget højt. Det anbefales på denne baggrund at fremskynde skrotningen af denne type kedler.

# Summary and conclusions

*The objective of this project is to obtain knowledge about applied biofuel boilers in Denmark and to carry out an assessment of the individual boiler type's emissions, especially particle emissions. The project is carried out in two stages.*

*In stage one (Paragraphs 1-3) an analysis of existing data is carried out, which leads to a preliminary estimate of the emission level from different boiler types. At the same time the number of installations with the individual boiler types is estimated. On the basis of this estimate, we have selected three biofuel boilers which are considered to have relatively high emission factors and are represented in a considerable number in Denmark.*

*In stage two (Paragraphs 4-5), the three biofuel boilers are tested with focus on particle emissions and other emissions to the air. A series of different methods have been applied with the purpose of illustrating differences and connections between different measurements. Stage two results in an updated estimate on emission factors and a recommendation for specific criteria for phasing out of particularly polluting biofuel boilers.*

*Each boiler has been tested for efficiency and emissions of CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PAH, NMVOC, dust, dust size distribution and condensed particulate matter. The boilers are updraught boilers such as DFJ Salamander and Viadrus Hercules. The firing was done with clean dry wood using 3 different techniques (buffer tank, part load and small batch firing).*

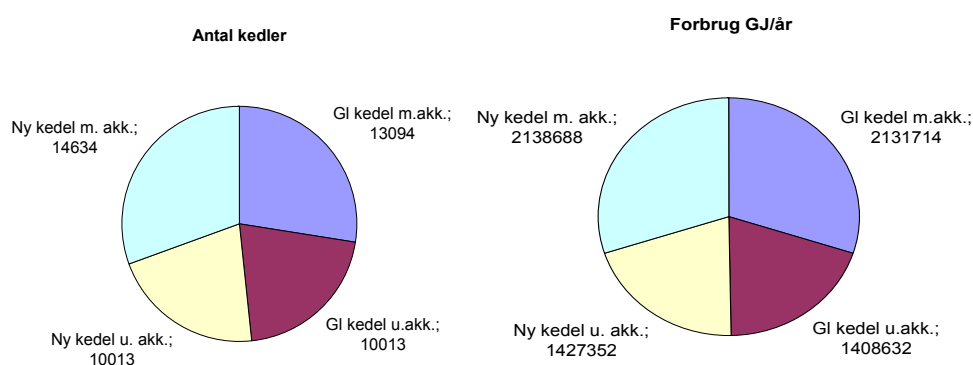
*The results show that emissions are significantly higher than for modern boiler types and that fuel consumption is very high. It is therefore recommended to induce scrapping of these boiler types.*

# 1 Overblik over danske brændekedlers type, alder og antal

Der findes ingen sikre opgørelser over antallet af brændekedler. Dog er der flere undersøgelser, som indikerer bestanden.

Bestanden af manuelt fyrede fastbrændselskedler i Danmark blev i 2005 i en undersøgelse for Miljøstyrelsen af Teknologisk Institut vurderet at være 144.599 stk. (13). Tallet var baseret på skorstensfejernes elektroniske registrering (KHI Data), hvor der samlet var registreret 72.300 fastbrændselskedler i et område svarende til halvdelen af landets boliger. Dette blev dog senere betragtet som et fejlskøn, og et nyt estimat for hele landet blev i 2006 beregnet som 47.753 stk. baseret på telefoninterviews med 1042 tilfældigt udvalgte husstande (11). Dette korrigerede antal blev lagt til grund for DMU's redegørelse i 2007 (14).

Fordelingen mellem nye og gamle kedler samt kedler med og uden akkumuleringstank blev også undersøgt i 2005-undersøgelsen (13). Denne del af undersøgelsen var baseret direkte på 400 telefoninterviews og anses derfor for ret sikker. Fordelingen er meget lige: 48,4 % af kedlerne er gamle, og 58,1 % har akkumuleringstank. Der er dog en tendens til, at kedler med akkumuleringstank bruges mere end kedler uden akkumulering. Gamle kedler blev her defineret som kokskebler i støbejern af mærket Salamander, DFJ, TASSO, RIO, Parca Norrahammer, uden elektrisk tilslutning. Nyere kedler blev i denne 2005-undersøgelse defineret som "kedler med omvendt forbrænding (og/eller underforbrænding) som har været på markedet i 10 – 15 år siden 1990".



Figur 1 Fordeling af kedel typer på antal og på forbrug (14)

Kombinerer man de to undersøgelser, dvs. antal fra (11) og fordeling fra (13) fås det samlede antal kedler fordelt på kategorier (Figur 1). Disse tal blev ligeledes anvendt af DMU i 2007 (14).

## 1.1 Historik

Danske støbejernskedler kan dateres tilbage til 1908, hvilket betegnes som centralvarmens spædste barndom (15). Indtil 1950 blev der produceret ca.



75.000 af slagsen hos De Forenede Jernstøberier (DFJ). De første kedler var af gennemforbrændingstypen og udelukkende beregnet til koks.

*Gennemforbrænding er karakteriseret ved, at forbrændingsluften bevæger sig nedefra og op gennem brændselaget.*

Senere blev der også udviklet kedler med underforbrænding beregnet til kul, tørv, brunkul og brænde. Det er dog kun få modeller fra perioden, større såkaldte universalkedler, som kan formodes af have været egnede til brændefyring.

*Underforbrænding er karakteriseret ved, at forbrændingsluften bevæger sig nedefra og bagud gennem glødelaget uden at passere det friske brændselag.*

Pladejernskedler har principielt eksisteret længere end støbejernskedlerne, men deres storhedstid i centralvarmen kom efter 1960'erne, hvor 95 % af danske kedelinstallationer iflg. [www.baxi.dk](http://www.baxi.dk) stadig var af støbejern.

Omkring 1980 begyndte produktionen af kedler med omvendt forbrænding (forgasningskedel, gas-ogenkedel), som blev et teknologisk gennembrud for brændefyringen. Dette system er totalt dominerende blandt godkendte brændekedler i dag.

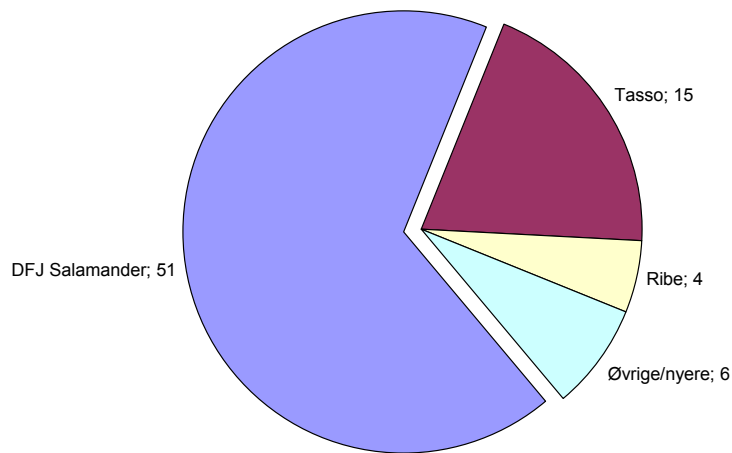
*Omvendt forbrænding er karakteriseret ved, at forbrændingsluften bevæger sig fra toppen og nedad gennem glødelaget og ud gennem en spalte i bunden af fyrboksen til et separat forbrændingskammer.*

Stort set alle godkendte brændekedler fremstilles i dag af pladejern. Der findes ganske få moderne konstruktioner af støbejern (fx Altra Apyr), men det har ikke været muligt at finde dokumentation for disses egenskaber. Det er heller ikke muligt at finde en kedel fra før 1980, som dokumenteret er velegnet til brændefyring. Med sikkerhed kan det siges, at kedler med gennemforbrænding, uanset alder og type, er uegnede, ligesom de fleste kedler med underforbrænding, navnlig fra før 1980, er begrænset egnede.

## 1.2 Gamle kedler

Med gamle kedler menes støbejernskedler produceret før 1980. Der findes ikke noget samlet overblik over de gamle kedeltyper, som fortsat er i anvendelse, men en indikation kan dog fås ved at se brugte kedler annonceret til salg. I Den Blå Avis var der pr. 29. maj 2007 75 brugte fastbrændselskedler annonceret. Heraf var 51 af typen DFJ Salamander (fortrinsvis model A og model C), 14 var af mærket Tasso (fortrinsvis model A2, B2 og B3), og 4 var Ribekedler. Herudover var der 4 Baxi OT, 1 ROCA og 1 DOR-kedel, som dog alle bør kategoriseres som nyere typer. Det oplyste hedeareal på de gamle typer varierer fra 1,4 til 3,6 m<sup>2</sup> med et gennemsnit på 2,4 m<sup>2</sup> og en median på 2,2 m<sup>2</sup>.

### Brugte fastbrændselskedler til salg i Den Blå Avis 29. maj 2007



Figur 2 Brugte fastbrændselskedler til salg, fordelt på typer

Opslaget i Den Blå Avis blev for en sikkerheds skyld gentaget 28. juni 2007, hvor der var 38 Salamanderkedler, 12 Tasso, 1 Ribe og 12 øvrige/nyere. Det samlede billede er altså, at Salamander A og C dominerer, mens Tasso B3 og A2 findes i mere begrænset antal.

De danskproducerede DFJ Salamander, Tasso og Riokedler er markedsført i mange forskellige varianter (se Figur 6, Figur 8 og Figur 9). De mest almindelige typer er Salamander A og C fra omkring 1935-1965. Type A og C yder mellem 12 og 56 kW afhængigt af model og bliver derfor anvendt til små centralvarmeanlæg. Herudover findes de ældre serier J og K med ydelser fra 35 til 200 kW, de mere moderne L- og M-serier fra 15 til 53 kW, de mellemstore typer F og O fra ca. 50 til 150 kW samt den store Salamander II med ydelser fra 150 til 600 kW.



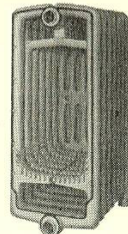
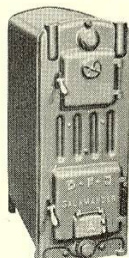
Figur 3 Salamander-kedler indrettet for oliefyning ([www.sparolie.dk](http://www.sparolie.dk))

Alle DFJ Salamanderkedler med undtagelse af Salamander O er *gennemforbrændingskedler* beregnet til fyring med gasfattigt brændsel (koks).

Ifølge DFJ-kataloget (15) fra 1953 er ingen Salamanderkedler egnet til træfyning. Kataloget omfatter A, C, J samt K.

**SALAMANDER A**  
**VARMTVANDS-KEDLER**  
**Gennemforbrænding**

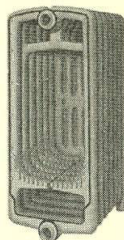
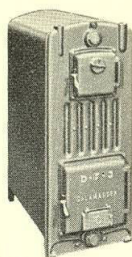
Brændsel	Belastning pr. m <sup>2</sup> varmeflade
Koks 20,40....	12000 kg <sup>0</sup> pr. time
Olie .....	9000 - - -



Figur 4 Salamander A

**SALAMANDER C**  
**VARMTVANDS-KEDLER**  
**Gennemforbrænding**

Brændsel	Belastning pr. m <sup>2</sup> varmeflade
Koks 20,40,40,60	12000 kg <sup>0</sup> pr. time
Olie .....	9000 - - -



Figur 5 Salamander C

FABRIKAT: TASSO-kedel.

TYPE: Enkeltkedel.

B 3

EFFEKT:

Olie: fra 28 kW - 24 Meal/h  
 til 45 kW - 39 Meal/h  
 Koks: fra 33 kW - 28,8 Meal/h  
 til 54 kW - 46,8 Meal/h

MÅL:

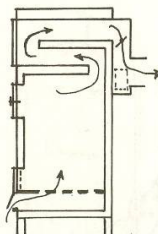
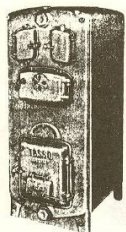
H: 1220  
 B: 508  
 L: 490 - 760

FORBRÆNDINGSPRINCIP: Gennemforbrænding.

PRIMÆRLUFT: Trækklap.  
 SEKUNDÆRLUFT: Roset i låge.  
 TRÆKBEHOV: 2,5 - 3 mm VS.

AKTIV BRÆNDELSLAGSHØJDE: 40 cm.  
 OPLYST BRÆNDELSART: Olie og koks.

MAGASINRUMFANG: 61/131 lit.



Figur 6 Tasso B3

FABRIKAT: TASSO-kedel.

TYPE: Enkeltkedel.

A 2

EFFEKT:

Olie: fra 15 kW - 13 Mcal/h  
til 29 kW - 25 Mcal/h  
Koks: fra 18 kW - 15,6 Mcal/h  
til 35 kW - 30 Mcal/h

MÅL:

H: 975  
B: 410  
L: 280 - 580

FORBRÆNDINGSPRINCIP: Gennemforbrænding.

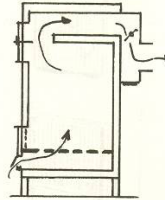
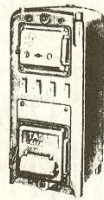
PRIMERLUFT: Trækklap.

SEKUNDERLUFT: Ingen.

TRÆKBEHOV: 2 - 2,5 mm VS.

AKTIV BRÆNDESLAGSHØJDE: 45 cm.  
OPLYST BRÆNDESLART: Olie og koks.

MAGASINRUMFANG: 46/110 lit.



Figur 7 Tasso A2



Figur 8 Tasso B2

FABRIKAT: RIO-kedel.

TYPE: Enkeltkedel.

RIO F

EFFEKT:

Olie: fra 15 kW - 13 Mcal/h  
til 36 kW - 31 Mcal/h  
Koks: fra 18 kW - 15,6 Mcal/h  
til 43 kW - 37,2 Mcal/h

MÅL:

H: 920  
B: 420  
L: 300 - 750

FORBRÆNDINGSPRINCIP: Gennemforbrænding.

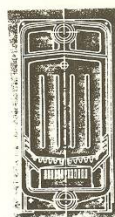
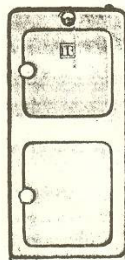
PRIMERLUFT: Trækklap.

SEKUNDERLUFT: Ingen.

TRÆKBEHOV: 2 - 2,5 mm VS.

AKTIV BRÆNDESLAGSHØJDE: 30 cm.  
OPLYST BRÆNDESLART: Olie - koks.

MAGASINRUMFANG: 25/70 liter.



Figur 9 Ribe/Rio F-kedel

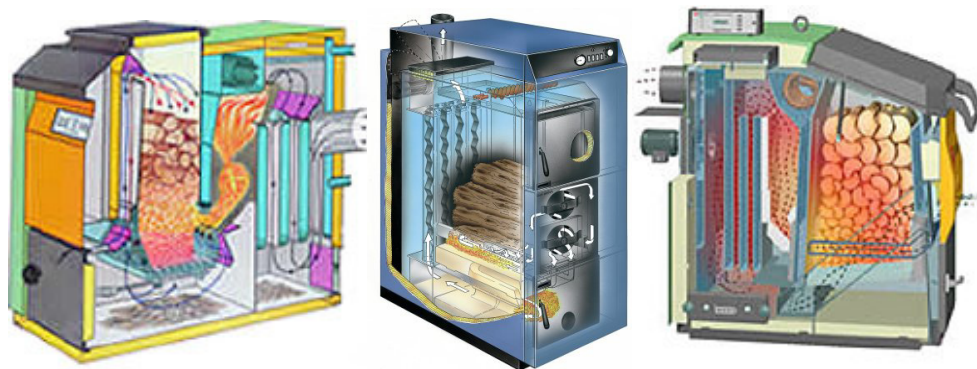
Da der samlet set forudsættes at være 23.107 gamle brændefyrede kedler (sum af gamle kedler med og uden akkumuleringstank i Figur 1), vurderes disse ud fra brugtannoncerne at være fordelt således:

- ca. 17.000 gamle kedler af type DFJ Salamander A/C
- ca. 5.000 gamle kedler af typen Tasso A/B
- ca. 1.000 gamle kedler af typen Rio/Ribe F.

### 1.3 Nye kedler

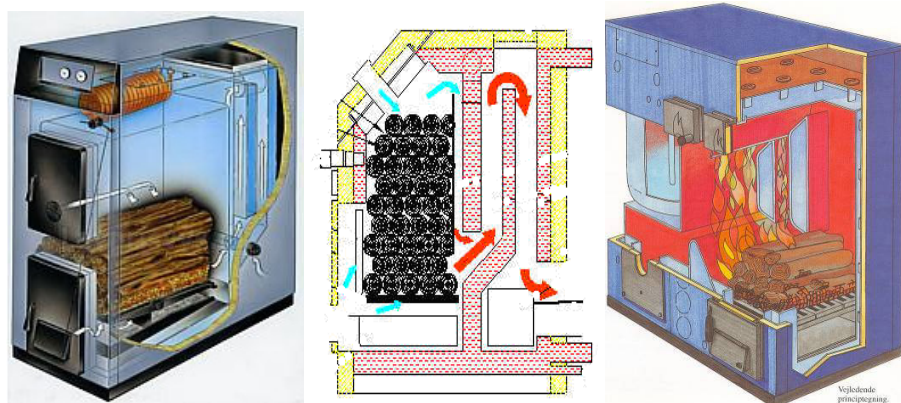
Med nyere kedler menes kedler fra ca. 1980 og frem. Siden 1995 har det været muligt at købe typegodkendte brændekedler i Danmark. I dag benævnes disse klasse 3-kedler i henhold til EU-standard EN303-5, som blev indført i 1999. Det har dog indtil Bygningsreglementets skærpelse af energikravene i 2006 været fuldt lovligt også at købe og installere ikke-godkendte kedler i Danmark. Der findes ingen sikre tal på, hvor mange godkendte og ikke-godkendte kedler, der er solgt.

Typegodkendte kedler i klasse 3 er fx Baxi Bonus, Baxi Innova, HDG Euro, HDG Bavaria samt Atmos. De er alle udstyret med omvendt forbrænding eller underforbrænding. Ingen godkendt kedel har gennemforbrænding.



Figur 10 Typegodkendte klasse 3-brændekedler

Ikke-godkendte kedler kan opdeles i støbejernskedler og pladejernskedler. Pladejernskedlerne kan have hel eller delvis underforbrænding. Eksempler er Alcon/Kalvis, BAXI OT og BAXI MB med hel eller delvis underforbrænding samt REKA KH22-38, Passat FK/HO, CN25/40 med gennemforbrænding.

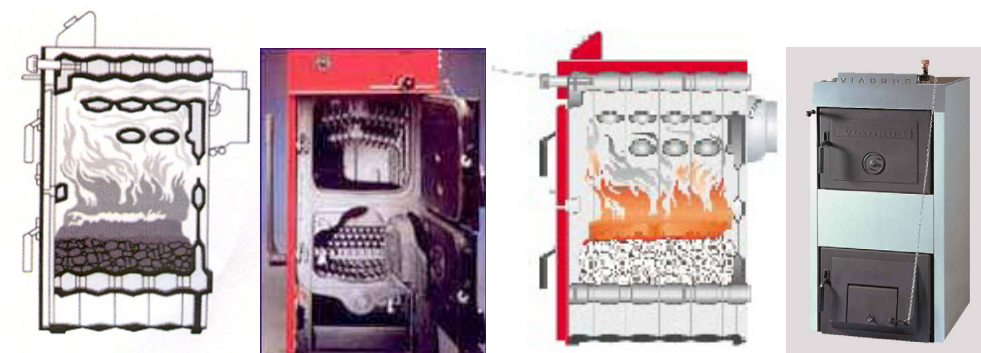


Figur 11 Nyere pladejernskedler med hel eller delvis underforbrænding



Figur 12 Nyere pladejernskedler med gennemforbrænding

Nyere støbejernskedler fremstilles bl.a. i Spanien, Italien og Litauen. Eksempler er Viadrus/Hercules, Sime FB og Roca P-30. Støbejernskedlerne har med ganske få undtagelser, gennemforbrænding som princip.



Figur 13 Nyere støbejernskedler med gennemforbrænding

Da der samlet set forudsættes at være 24.647 nyere brændekedler, vurderes disse at være fordelt således:

- ca. 10.000 typegodkendte klasse 3-kedler med omvendt forbrænding
- ca. 7.500 nyere pladejernskedler af typen Alcon/Kalvis, REKA HK, Passat FK/HO, BAXI OT, MB o.m.a.
- ca. 7.500 nyere støbejernskedler af typen ROCA P-30, Sime FB, Viadrus Hercules U22 m.fl.

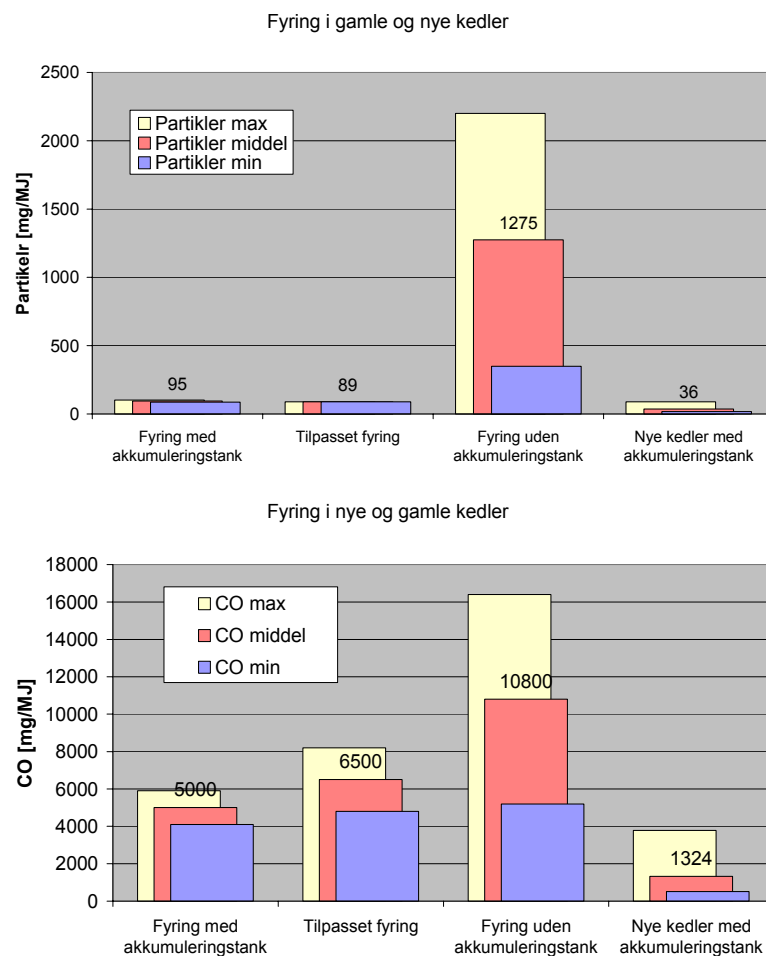
Fordelingen er dog ret usikker, da der er tale om forfatterens eget skøn.

## 2 Katalogisering af typiske emissioner (eksisterende data)

### 2.1 Svenske undersøgelser

Svenske undersøgelser (18) har påvist, at størstedelen af partikler fra brændefyring er mindre end  $1\mu\text{m}$  både med hensyn til masse og antal. Det vil sige, at emissionerne overvejende tilhører  $\text{PM}_{2.5}$ , som igen er en delmængde af  $\text{PM}_{10}$  og TSP. De angivne emissioner i dette afsnit er TSP, hvis ikke andet er angivet. Måling af  $\text{PM}_{2.5}$  rapporteres i øvrigt i Afsnit 4.4.

Svenske laboratorieforsøg (3) og (4) fra 2003 har indikeret, at ældre kedler har væsentligt højere emissioner end nyere kedler. Målingerne blev foretaget på ufortyndet direkte udtag i skorsten med eksternt opvarmet filter (SS028426). De gamle kedler var ikke miljøgodkendte gennemforbrændingskedler mens de nye var miljøgodkendte eller Svanemærkede kedler med omvendt forbrænding. De nye kedler blev i undersøgelsen kun prøvet med akkumuleringstank, mens de gamle kedler er prøvet med 3 forskellige fyringsteknikker som vist i Figur 14.

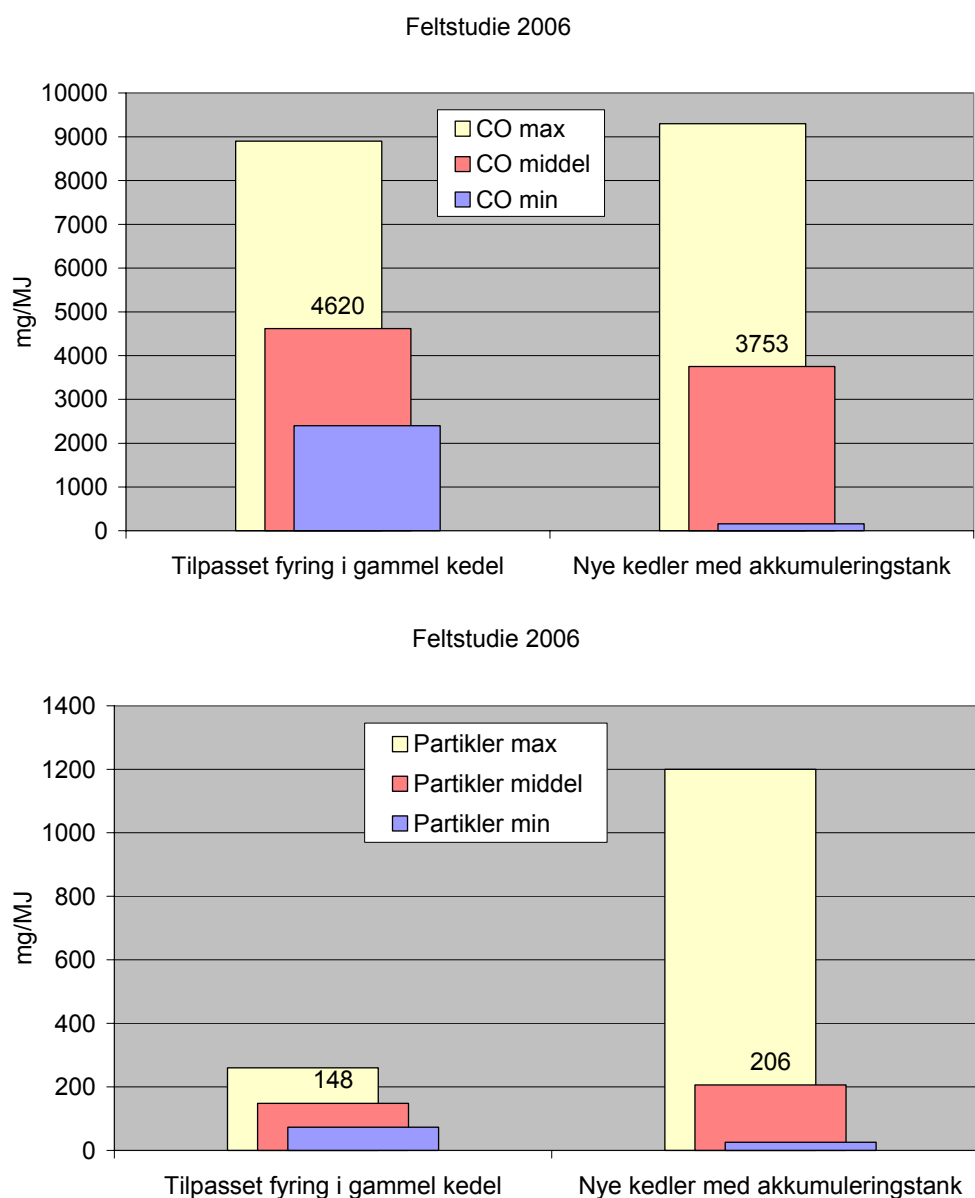


Figur 14 Laboratorietests af nye og gamle kedler 2003, kilde (3) og (4)



Undersøgelsen viser, at kedler uden akkumuleringstank forurener væsentligt mere end kedler med akkumuleringstank, samt at gamle kedler forurener mere end nye, når der er akkumuleringstank. Det viste sig endvidere at korrekt fyringsteknik, *tilpasset fyring*, i ganske væsentlig grad kan kompensere for en manglende akkumuleringstank (se også afsnit 2.5).

En anden svensk undersøgelse (5) viste i 2006, at emissionerne fra nye og gamle kedler ligger nogenlunde på samme niveau i praktisk anvendelse (feltstudie). Se Figur 15.



Figur 15 Fel t mål inger på nye og gamle kedler 2006, kil de (5)

De gamle kedler i undersøgelsen (5) var alle sammen gennemforbrændingskedler med rist af støbejern fra perioden 1971-1986, dog med en enkelt fra 1947. De nyere kedler var alle med omvendt forbrænding og keramisk rist og fra perioden 1985-2004.

Årsagen til at gamle kedler klarer sig så forholdsvis godt i denne undersøgelse er, at der udelukkende er anvendt *tilpasset fyring* på de gamle kedler. Dette forudsætter, at man løbende efterfylder kedlen med små mængder brændsel, hvilket selvsagt ikke er muligt for alle i en travl hverdag.

Målemetoden adskiller sig fra ref. (3) og (4) ved, at partikelfilteret er placeret i skorstenen i stedet for at være eksternt opvarmet, men dette vurderes ikke at kunne udgøre forskellen på de to undersøgelser.

## 2.2 Gamle danske kedler

Der foreligger p.t. ingen laboratoriebaserede partikelmålinger på ældre danske kedeltyper. Det er imidlertid sandsynligt at, fx CO ligger 20-30 gange højere på ældre kedler i forhold til på nye (17). Dette baseres på retningsvisende målinger foretaget af Arne Sæbye på Teknologisk Institut i 1998. De ældre kedeltyper i Afsnit 1.2 er alle gennemforbrændingskedler konstrueret for koks-fyring. Da fyringsystemet stort set er identisk, vurderes emissionsniveauet også at være ens.

Der foreligger prøvningsrapporter for DFJ Salamander ved fyring med kul og koks, men ikke ved træfyring. For at indikere forholdet mellem hhv. koks- og træfyring er der brugt prøveresultater fra en nyere støbejernskedel, ROCA P-30, som i konstruktion minder meget om Salamander-kedlen.

Tabel 1 Emissioner af CO samt virkningsgrad ved hhv. træfyring og koks-fyring i samme gennemforbrændingskedel

Støbejernskedel	Brændsel	CO v. 10% O <sub>2</sub>	Virkningsgrad	Reference
ROCA P-30 (gns. af 3)	Koks	864 mg/m <sup>3</sup>	75,5 %	(16)
ROCA P-30 (gns. af 3)	Træ	4.541 mg/m <sup>3</sup>	65,9 %	(16)
<b>Forhold</b>	<b>Træ: koks</b>	<b>5,25:1</b>	<b>0,87:1</b>	(16)

Det ses, at træfyring forøger CO-emissionen med en faktor 5,25, mens virkningsgraden påvirkes med en faktor 0,87, hvilket giver  $1 / 0,87 - 1 = 15\%$  højere brændselsforbrug. For Salamanderkedlerne fås derved følgende data:

Tabel 2 Indledende gæt på emissioner fra gamle støbejernskedler med gennemforbrænding

Gamle støbejernskedler	Brændsel	CO v. 10% O <sub>2</sub>	Virkningsgrad	Reference
Salamander C	Koks	0,42 % 5.245 mg/m <sup>3</sup>	76,7 %	Teknologisk Institut 1937 kilde (15)
Salamander J	Koks	0,51 % 6.311 mg/m <sup>3</sup>	75,7 %	Polyteknisk Lærestalt 1916 kilde (15)
Gennemsnit	Koks	0,47 % 5.778 mg/m <sup>3</sup>	76,2 %	-
<b>Gennemsnit</b>	<b>Træ</b>	<b>2,47 %</b> <b>30.335</b> <b>mg/m<sup>3</sup></b>	<b>66,5 %</b>	Korrigeret med forholdet træ: koks som fundet i Tabel 1

Til sammenligning er grænseværdien for typegodkendte brændekedler 5.000 mg CO/m<sup>3</sup> og 75 % virkningsgrad.

Tabel 2 tyder altså på, at gamle danske kedler skulle være dårligere end gamle svenske. Dette kunne være begrundet med, at Salamanderkedlerne, som dominerer i Danmark, er *meget* ældre end de svenske kedler fra 1971-1986, og at de oprindeligt slet ikke blev konstrueret til træfyring.

Med hensyn til partikelemission på danske kedler målte DMU i 2004 20,3-24,2 g/kg fugtigt træ, hvilket der svarer til  $2.650 \text{ mg/m}^3 - 3.159 \text{ mg/m}^3$  v. 10%  $O_2$  for 2 gamle brændekedler i feltforsøg (20). Senere i 2005 målt et TSP-gennemsnit på 13 g/kg fugtigt træ svarende til  $1.695 \text{ mg/m}^3$  v. 10%  $O_2$  for 1 gammel brændekedel (21). Der blev målt ved hjælp af fortyndingstunnel, hvilket normalt giver høje værdier.

### 2.3 Nyere kedler

Der foreligger omfattende dokumentation for brændefyring i de typegodkendte klasse 3-kedler. Støv/partikler måles med metoder, som svarer til de svenske undersøgelser refereret i (3) og (4), altså TSP med ufortyndet direkte måling.

Tabel 3 Emissioner fra nyere typegodkendte Klasse 3-brændekedler, kilde (9)

Typegodkendte kedler	CO v. 10% $O_2$	OGC v. 10% $O_2$	NOx v. 10% $O_2$	Støv v. 10% $O_2$	Virkningsgrad
Innova 30 Std.	400 $\text{mg/m}^3$	1 $\text{mg/m}^3$	229 $\text{mg/m}^3$	44 $\text{mg/m}^3$	90 %
Bonus 30	1.288 $\text{mg/m}^3$	27 $\text{mg/m}^3$	249 $\text{mg/m}^3$	28 $\text{mg/m}^3$	89 %
Atmos DC32	658 $\text{mg/m}^3$	10 $\text{mg/m}^3$	-	30 $\text{mg/m}^3$	86 %
Calmar V33	2.678 $\text{mg/m}^3$	38 $\text{mg/m}^3$	-	27 $\text{mg/m}^3$	91 %
<b>Gennemsnit</b>	<b>1.256 <math>\text{mg/m}^3</math></b>	<b>19 <math>\text{mg/m}^3</math></b>	<b>239 <math>\text{mg/m}^3</math></b>	<b>32 <math>\text{mg/m}^3</math></b>	<b>89 %</b>

Der foreligger en spansk prøvningsrapport for kedeltypen ROCA P-30 i tre effektstørrelser ved fyring med træ (16). Endvidere har en nyere støbejernskedel af typen Sime FB4 været afprøvet hos Teknologisk Institut i 1996.

Tabel 4 Emissioner fra nyere ikke-godkendte støbejernskedler, kilde (16) samt (9)

Nyere ikke-godkendte støbejernskedler	CO v. 10% $O_2$	Virkningsgrad
ROCA P-30-4	4761 $\text{mg/m}^3$	65,7 %
ROCA P-30-7	3129 $\text{mg/m}^3$	65,9 %
ROCA P-30-9	3316 $\text{mg/m}^3$	66,0 %
Sime FB4	9.375 $\text{mg/m}^3$	52,5 %
<b>Gennemsnit</b>	<b>5.145 <math>\text{mg/m}^3</math></b>	<b>62,5 %</b>

Det ses altså, at visse nyere støbejernskedler tilsyneladende klarer sig bedre end de helt gamle i Tabel 2. Man kan dog med en vis ret stille sig tvivlende

over for ROCA-kedlens forholdsvis gode resultat, da det spanske laboratorium som har udført målingen, ikke er akkrediteret.

En del nyere pladejernskedler, fx Buderus S221, REKA HK22-38, Alcon 11 har også været afprøvet hos Teknologisk Institut i 1990'erne (9). I denne kategori findes både kedler med gennem-, under- og omvendt forbrænding.

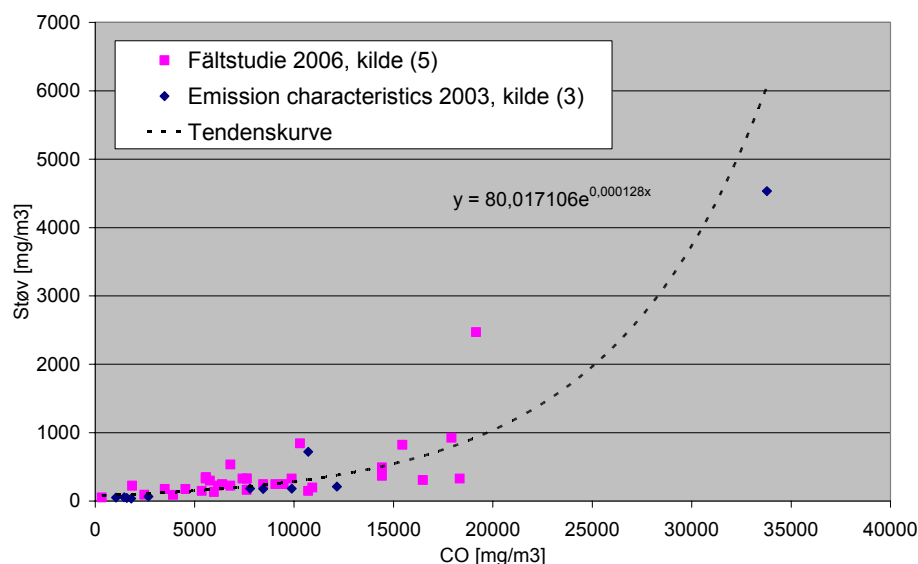
Tabel 5 Emissioner fra nyere ikke godkendte pladejernskedler, kilde (9)

Nyere ikke godkendte pladejernskedler	CO v. 10% O <sub>2</sub>	Støv målt v. 10% O <sub>2</sub>	Virkningsgrad
Buderus S221 (omvendt forbrænding)	0,43 % 5.375 mg/m <sup>3</sup>	48 mg/m <sup>3</sup>	65,4 %
REKA HK22-38 (gennemforbrænding)	0,74 % 9.298 mg/m <sup>3</sup>	-	55,7 %
Alcon Kalvis 3A (underforbrænding)	0,786 % 9.824 mg/m <sup>3</sup>	-	-
Alcon 11 (underforbrænding)	0,42 % 5.310 mg/m <sup>3</sup>	-	-
Veto 30 (omvendt forbrænding)	Ca. 2.000 mg/m <sup>3</sup>	-	-
Arimax 60 (underforbrænding)	0,355% 4.438 mg/m <sup>3</sup>	-	74,0 %
<b>Gennemsnit</b>	<b>6.041 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>48 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>65,0 %</b>

Det ses her, at nyere ikke-godkendte pladejernskedler ligger på niveau med nyere ikke-godkendte støbejernskedler.

#### 2.4 Korrelation mellem CO og partikler

Det er forholdsvis let at finde data for CO på både nye og gamle kedeltyper. Derimod er der ikke udført ret mange partikelmålinger. Der må imidlertid formodes at være en vis korrelation imellem CO og partikler, da begge dele overvejende skyldes ufuldstændig forbrænding. Ved at kombinere de svenske undersøgelser (3), (4) og (5) fås nedenstående diagram (Figur 16). Til omregning mellem mg/m<sup>3</sup> ved 10% O<sub>2</sub> og mg/MJ er der anvendt faktoren 2,06 MJ/m<sup>3</sup> (svarende til 7,65 m<sup>3</sup> tør røg pr. kg brændsel med brændværdien 15,78 MJ/kg).



Figur 16 Indledende gæt på sammenhængen mellem CO og partikler (opdateres i Figur 66)

Den stiplede linje udtrykker sammenhængen mellem CO og partikler ved mindste kvadraters metode. Formeludtrykket skal dog anses for ret usikkert, da spredningen er stor. Målingerne i dette projekt gav senere anledning til en opdatering af udtrykket, se Figur 66.

Ved at anvende formeludtrykket i Figur 16 sammen med de kendte CO-værdier fremkom følgende indledende gæt på TSP:

Typegodkendte kedler:	96 mg/m <sup>3</sup> v. 10% O <sub>2</sub>	(47 mg/MJ)
Nyere støbejernskedler:	172 mg/m <sup>3</sup> v. 10% O <sub>2</sub>	(83 mg/MJ)
Nyere pladejernskedler:	155 mg/m <sup>3</sup> v. 10% O <sub>2</sub>	(75 mg/MJ)
Gamle støbejernskedler:	3.276 mg/m <sup>3</sup> v. 10% O <sub>2</sub>	(1.590 mg/MJ)

Til omregning mellem mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved 10 % O<sub>2</sub> og mg/kg træ anvendes faktoren 8,81 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/kg træ.

Til omregning mellem mg/MJ og mg/m<sup>3</sup> ved 10 % O<sub>2</sub> anvendes faktoren 2,06 MJ/m<sup>3</sup> (svarende til 7,65m<sup>3</sup> tør røg pr. kg brændsel med brændværdien 15,78 MJ/kg).

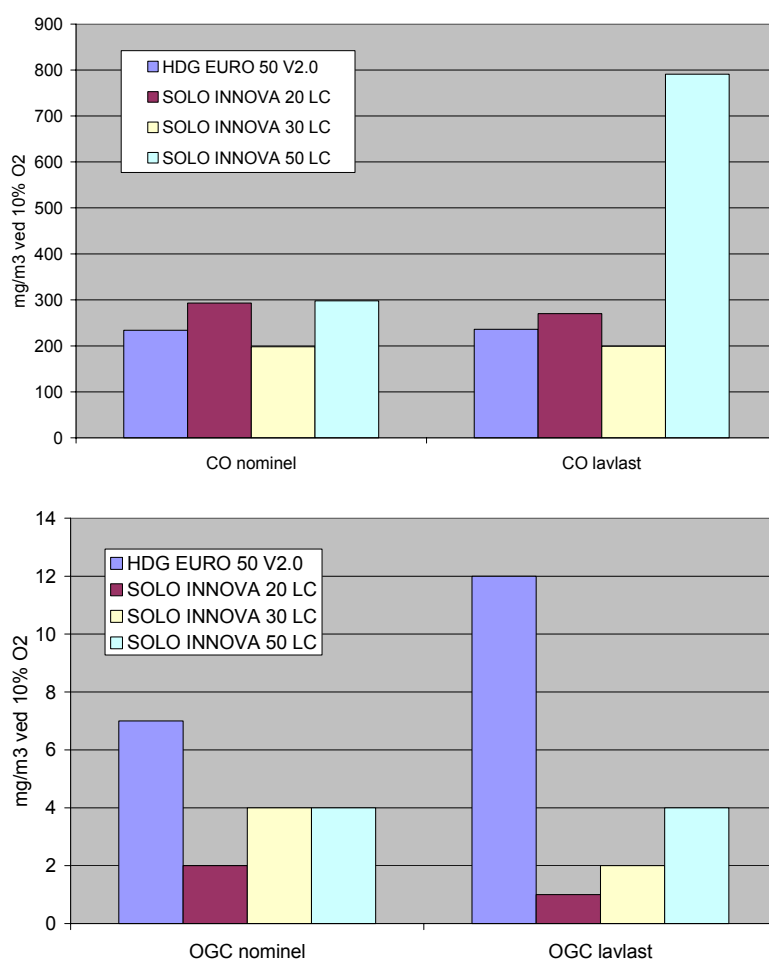
## 2.5 Effekten af akkumuleringstank og fyringsmønster

Alle gængse normer og vejledninger fraråder installation af brændekedler uden akkumuleringstank. Dette skyldes, at brændekedler som hovedregel ikke er i stand til at regulere forbrændingen, så den passer til det svingende varmeforbrug i boligen. Alligevel er ca. halvdelen af landets brændekedler installeret uden akkumuleringstank (13) (se Figur 1).

Svenske undersøgelser (3), (4) har undersøgt forskellen mellem fyring med og uden akkumuleringstank i ældre kedeltyper. Som det fremgår af Figur 14, er fyring uden akkumuleringstank ud fra et miljømæssigt synspunkt den værste fyringsmetode, mens fyring med akkumuleringstank er bedst.

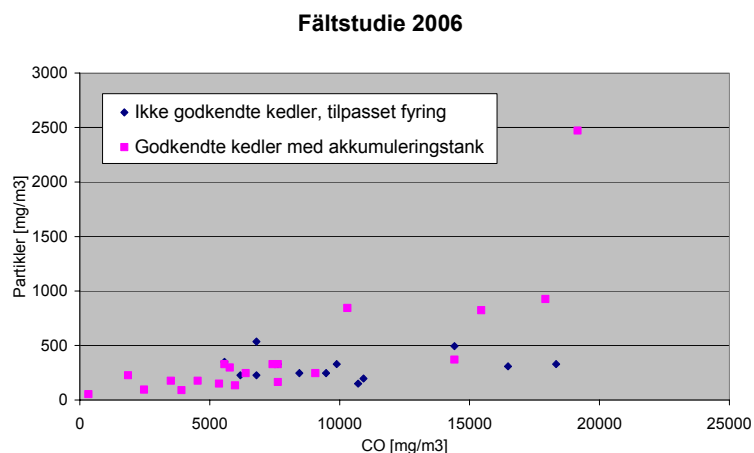
Akkumuleringstanken reducerer iflg. (3) partikelemissionen med ca. en faktor 20. Det er dog bemærkelsesværdigt, at *tilpasset fyring* (fyring i små portioner) næsten kan gøre det ud for en akkumuleringstank.

For godkendte kedler er det tvivlsomt, om akkumuleringstanken i sig selv kan reducere emissionerne med en faktor 10-30. Dette baseres primært på erfaringer med nyere brændekedler, som er typeprøvet ved lavlast (lastfaktor 44-56 %), hvilket kan minde om drift uden akkumuleringstank. Som vist i Figur 17 stiger CO- og OGC-emissionerne på disse kedler ikke dramatisk ved denne driftssituation.



Figur 17 Målt CO og OGC på nyere brændekedler typeprøvet ved lavlast (9)

At fyringsmetoden har stor betydning, bekræftes af den anden svenske undersøgelse (5), hvor et antal gennemforbrændingskedler, fortrinsvis nyere typer fra 1980'erne, i feltforsøg opnåede næsten lige så gode resultater som godkendte kedler med akkumuleringstank (Figur 18). Forklaring på dette var, at der i samtlige tilfælde, hvor der ikke var akkumuleringstank, blev anvendt *tilpasset fyring*, altså fyring i små portioner.

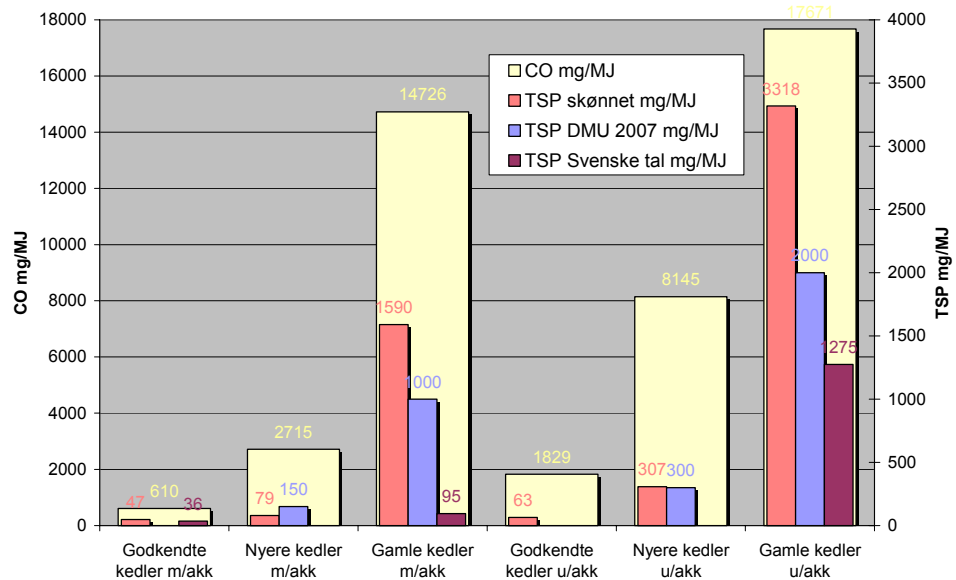


Figur 18 Fel tstudie med sammenl igning af nyere ikke-godkendte kedler med tilpasset fyring med godkendte kedler med akkumuleringstank (5)

Det må erkendes, at det foreliggende datagrundlag vedrørende akkumuleringstanke er meget usikkert. For at kunne anvende de statistiske data i Figur 1 er det imidlertid nødvendigt med et skøn. I mangel af bedre data, antages det derfor, at fyring uden akkumuleringstank øger CO-emissionen med 20 % for gamle kedler (faktor 1,2) og 200 % (faktor 3) for nyere kedler. Dette er en grov antagelse, men som feltundersøgelsen (Figur 18) illustrerer, er der også i praksis meget stor spredning på tallene. Med udgangspunkt i den eksponentielle tendenskurve (Figur 16) fordobles partikeludledningen fra gamle kedler, mens ændringen for godkendte kedler bliver lidt mindre og for nyere ikke godkendte kedler lidt større.

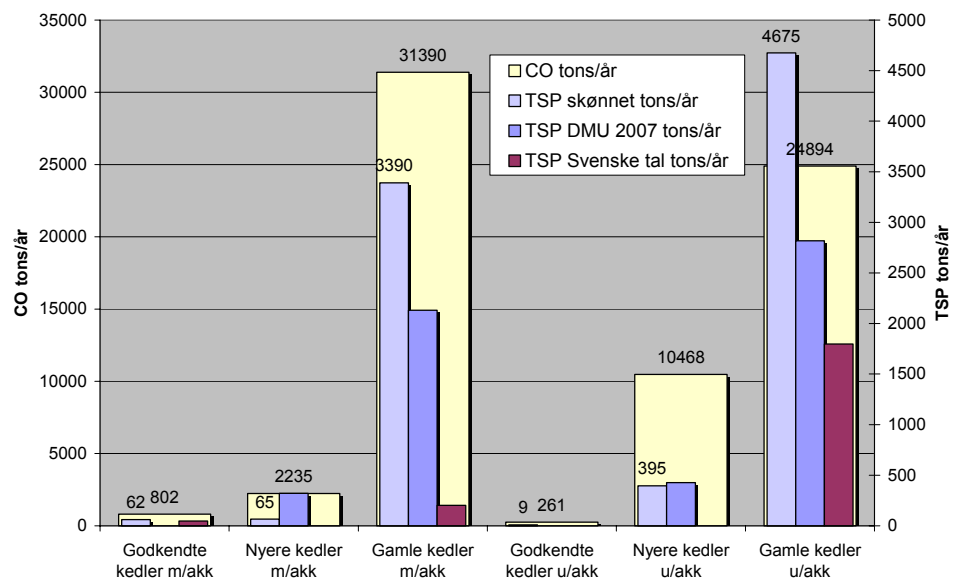
## 2.6 Samlet vurdering af eksisterende data

Ved at opsummere tallene i afsnit 1.2-2.5 fås et indledende estimat for kedeltypernes emissionsniveau pr. energienhed (Figur 19) og den samlede udledning fra alle Danmarks brændekedler fordelt på kedeltyper (Figur 20). Som det gættes, er totalemissionerne for gamle kedler lidt højere end vurderet af DMU (14). Årsagen er de fundne høje CO-emissioner for de meget gamle kedler sammen med den observerede eksponentielle sammenhæng mellem CO og partikler (sidstnævnte sammenhæng er dog noget usikker). Med hensyn til gamle kedler (uden akkumulering) synes de svenske resultater at placere sig midt mellem det, vi i Danmark vil kalde for "ikke-godkendte nyere kedler" og deciderede "gamle kedler". Forklaring er sandsynligvis, at man i Sverige betragter en trækedel fra 1980'erne som gammel, mens den i Danmark kategoriseres som en nyere ikke-godkendt kedel.



Figur 19 Sammenstilling af eksisterende vurderinger, svenske målinger og indledende skøn over emissionsfaktorer

Når man indregner det samlede danske årsforbrug i hver enkelt kedeltype fra Figur 1, får man et samlet billede over hvor stort et miljøproblem, den enkelte kedeltype formodes at udgøre. Som det ses af Figur 20, er godkendte kedler ikke et problem, fordi emissionerne dels er lave, og fordi de færreste godkendte kedler vurderes at være installeret uden akkumuleringstank. Gamle kedler udgør suverænt det største problem.



Figur 20 Beregning af samlet udledning af CO og partikler fra alle brændekedler i Danmark baseret på årsforbrug fordelt på kedel typer i Figur 1 og skønnede emissionsfaktorer i Figur 19

Se Afsnit 5 og Figur 68 for opdaterede emissionsfaktorer.



# 3 Fastlæggelse af måleprogram

Ud fra de indledende undersøgelser af emissionsniveauer er der iværksat et måleprogram på 3 kedler.

## 3.1 Valg af kedler

Der er ingen tvivl, om at ældre kedler af typen Salamander, Tasso og Ribe udgør det største miljøproblem. Nyere kedler som Alcon 3A, Roca P-30, REKA HK22-38 og Passat HO/FK udgør dog også et problem, navnlig når de er installeret uden akkumuleringstank.

Under hensyntagen til det estimerede forureningsniveau, kedlernes udbredelse samt behovet for yderligere måledata er der udvalgt følgende 3 kedler.

1. *DFJ Salamander A 1,8 m<sup>2</sup>*
2. *DFJ Salamander C 2,4 m<sup>2</sup>*
3. *Viadrus Hercules U22.*

Salamanderkedlerne blev indkøbt brugt via Den Blå Avis, og Viadruskedlen blev venligst udlånt af VVS-Eksperten.

## 3.2 Målemetode for partikler

Målemetoder for partikelemission kan groft inddeles i følgende:

- In-stack gravimetriske metoder (fx VDI2066 bl.2)
- Out-stack gravimetriske metoder uden fortyndingstunnel (fx SS028426)
- Gravimetriske metoder med fortyndingstunnel (fx Force/DMU, NS3058)
- Elektrostatisk metode (fx BS3841)
- Kaskadeimpaktor (fx VDI2066 bl. 5)
- Lavtryksimpaktorer (fx ELPI, DLPI)
- Optiske scannere (fx LASX, SMPS).

Kendetegnende for in-stack-metoder er, at partikelmassen opsamles direkte i røgkanalen, mens man ved out-stack-metoderne opsamler partiklerne på et filter placeret uden for røgkanalen. Sidstnævnte kan kombineres med en fortyndingstunnel, hvor partiklerne kondenserer, inden de opsamles på filteret.

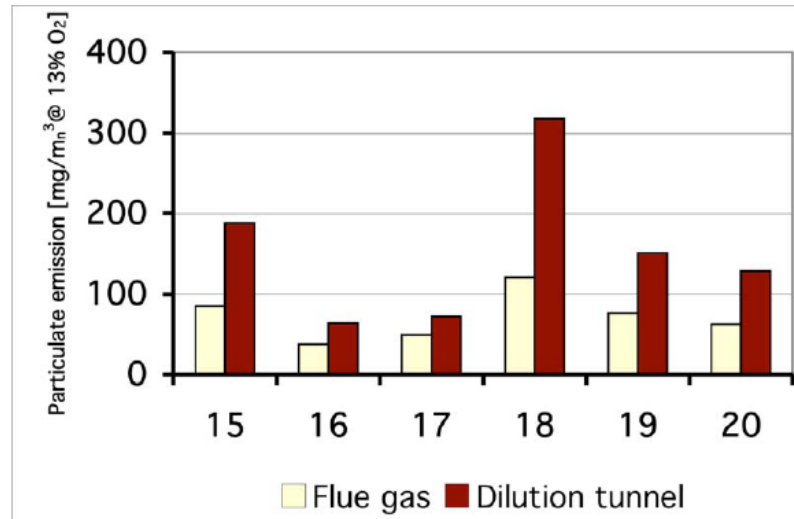
En oversigt over målemetoder findes i (7).

I de svenske projekter er der i laboratorieforsøgene anvendt SS028426, hvilket baserer sig på out-stack opvarmet planfilter (3). I feltforsøgene er der anvendt in-stack-planfilter (5). I EN303-5 er det tilladt at anvende gravimetrisk eller elektrostatisk metode. Som eksempel er beskrevet følgende:

1. Cylindrisk in-stack-filter

2. Opvarmet out-stack-planfilter
3. Elektrofilter.

In-stack- og out-stack-metoden med fortyndingstunnel er bl.a. undersøgt i april 2007 hos University of Applied Science Bale/Muttenz i Schweiz (1).



Figur 21 Sammenligning af fortyndet (Dilution tunnel) og ufertyndet (Flue gas) partikelmåling for en brændeovn, Schweiz 2007

En tilsvarende sammenligning blev foretaget på Teknologisk Institut i november 2006 i forbindelse med projektet "Regionalt Teknologicerter Nordjylland – Fremtidens brændeovn" (2).

Tabel 6 sammenligning af metoder for TSP-måling på en brændeovn

Metode	Enhed	Middelværdi over 3 charges
In-stack VDI 2066 bl.2	mg/Nm3 ved 13% O2	41,9
Fortyndingstunnel NS 3058/3059	mg/Nm3 ved 13% O2	200,5
LAS-X (Partikeltæller)	mg/Nm3 ved 13% O2	0,26

Det fremgår af begge undersøgelser, at out-stack-målinger i fortyndingstunnel giver væsentligt højere værdier end in-stack-måling. Forskellen er i størrelsesordenen faktor 2-5. Las-X-målingen giver ikke noget sammenligneligt resultat, hvilket blot viser, at den ikke er egnet til den type opgørelser.

På europæisk plan arbejdes der med en ny fælles målemetode for partikler fra brændeovne, som baseres på out-stack-planfilter med fortyndingstunnel (6).

Det er derfor valgt at bruge out-stack-planfilter med fortyndingstunnel. Målingerne er derfor foretaget i en prøvestand, som er opbygget efter NS3058/3059 (Prøvestand B hos Teknologisk Institut, Århus).

Det er samtidigt valgt at måle totalstøv direkte i skorstenen iht. EN303-5 og VDI2066 bl. 2 samt at anvende kaskadeimpaktor til måling af PM2.5 iht. VDI 2066 bl. 5. Herved afsløres forskellene imellem de enkelte målemetoder.

Ulempen med de valgte metoder er, at de ikke giver en kontinuerlig måling, og det derfor ikke er muligt at se hvornår og under hvilke forhold, partiklerne dannes. Samtidigt gives kun svar på *massen* af partikler, mens det måske snarere er *antallet* af ultrafine partikler, der udgør sundhedsfaren.

Af ressourcemæssige årsager blev det fravalgt at supplere med en SMPS-måling.

### 3.3 Øvrige målinger

De kontinuerlige målinger omfatter CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> og TOC. Ydelse og brændselsforbrug måles ligeledes kontinuerligt. Desuden måles PAH (16 stoffer iht. EPA) og NMVOC i et punkt for hver kedel. SO<sub>2</sub> bestemmes ud fra brændselsanalysen.

### 3.4 Tidsplan

Målingerne blev gennemført i uge 30-34, 2007.

## 4 Måleresultater

Resultaterne omfatter Salamander A, Salamander C og Viadrus Hercules U22. De er kort præsenteret og kommenteret i Afsnit 4.1-4.3. Sammendrag af målinger og diskussion findes i Afsnit 5.

### 4.1 Salamander A

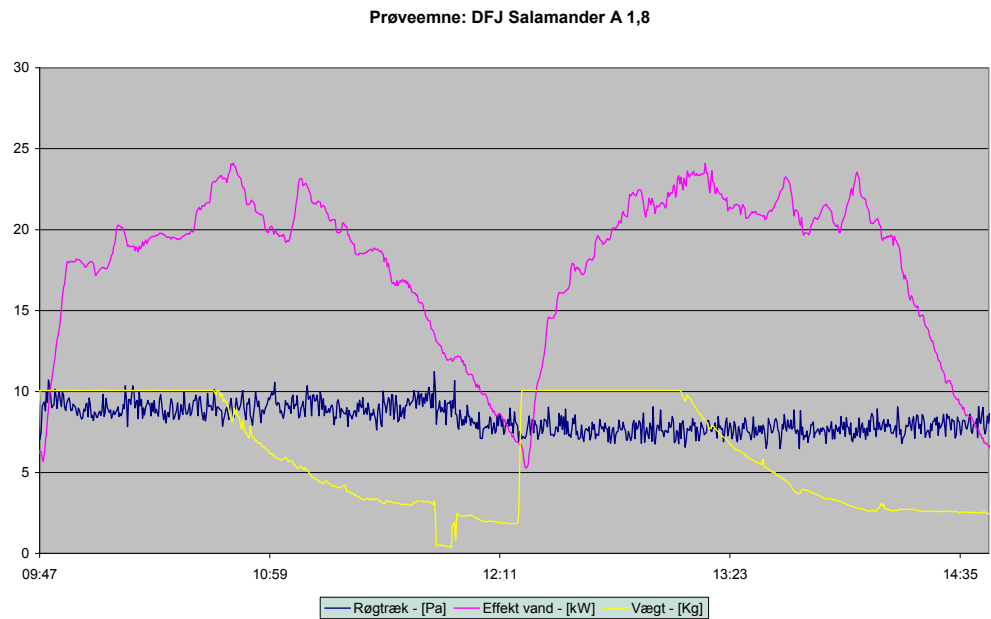
#### 4.1.1 Nominel ydelse

Tabel 7 Resultater for Salamander A 1,8 ved nominal ydelse

Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,70 °C	
Fremløbstemperatur	78,75 °C	
Vandflow	0,82 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	17,78 kW	
Måletid	4,95 h	
Brændselsforbrug	7,16 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	30,22 kW	
Virkningsgrad	58,8 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 75 (Østrig)
Rumtemperatur	28 °C	
Røgtemperatur	325 °C	
Skorstenstræk	8 Pa	26 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	125,9 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	73,7 kg/h	
CO <sub>2</sub>	9,9 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	g/kg	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	2,5 (tørstof) 279 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	
Støv målt	38 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	40 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	200 (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,03 g/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	0,15 (Tyskland)
Støv-emission	18 mg/MJ	60 (Østrig)
CO målt	0,6031 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	0,6336 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	7920 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	5,7604 g/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	5760 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	4000 (Schweiz)
CO-emission	3604 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,0068 % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	140 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	64 mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,0542 % <sub>vol</sub>	

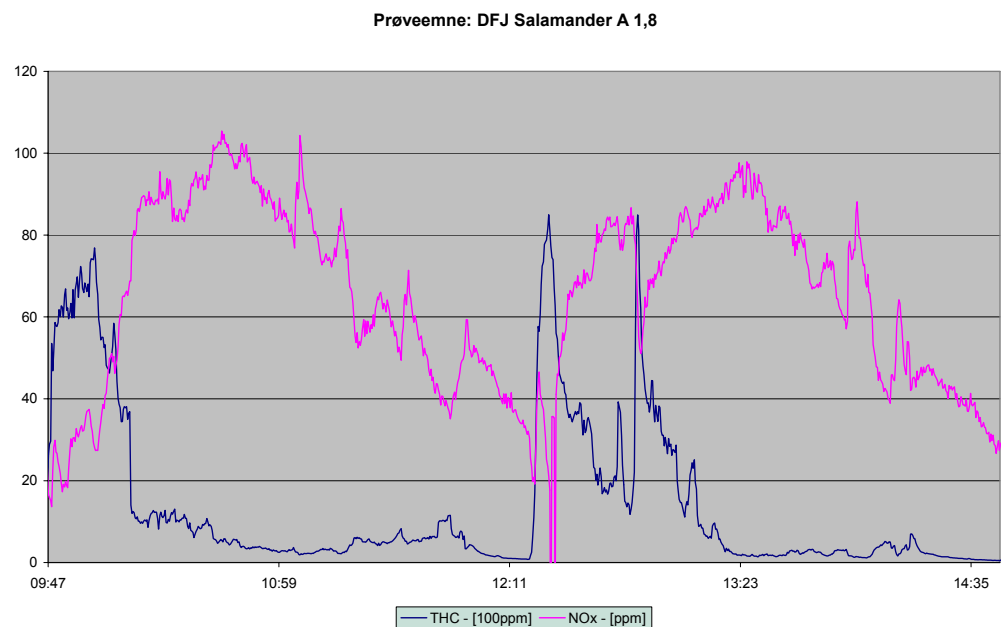
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	871 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	396 mg/MJ	80 (Østrig)

Generelt en forholdsvis pæn prøve, som overholder EN303-5 Klasse 1 på alle punkter. Partikelemissionen tåler sammenligning med brændeovne.



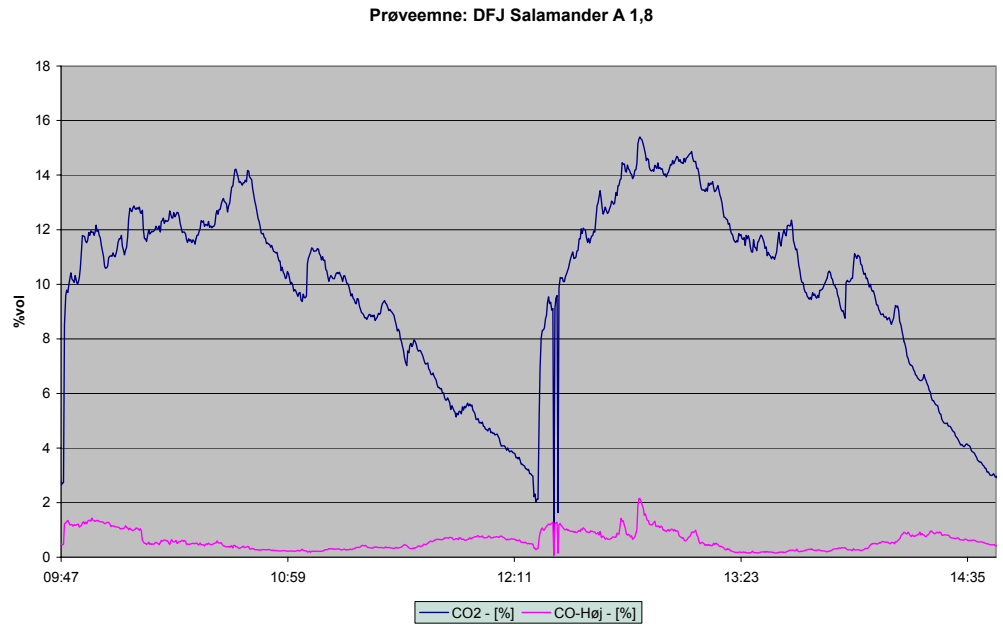
Figur 22 Røgræk, afgivet effekt og vægt af brændsel, Salamander A 1,8 nominal ydelse

Hurtig opstart, stabil drift og god udbrænding. Brænder 2½ time på en fyring (krav: 2 timer).

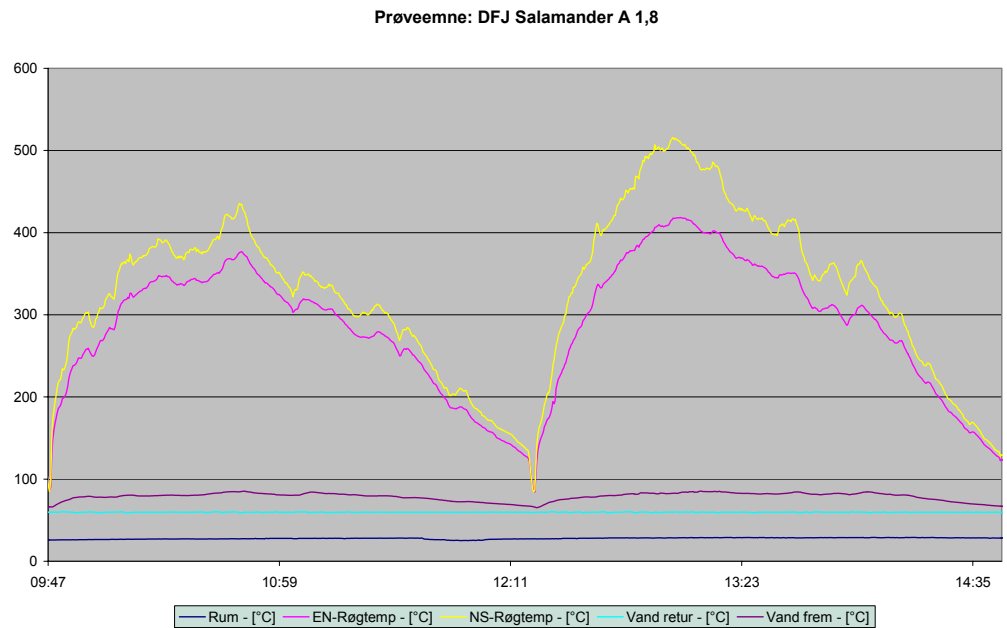


Figur 23 Organisk bundet kulstof samt kvælstoffer i røggas, Salamander A 1,8 nominal ydelse

OGC (THC) er høj umiddelbart efter påfyring, men falder efter ca. 20 minutter.



Figur 24 Kuldiioxid og kulilte i røggas, Salamander A 1,8 nominal ydelse  
 Høj CO<sub>2</sub> og moderat CO. Begge dele positivt.



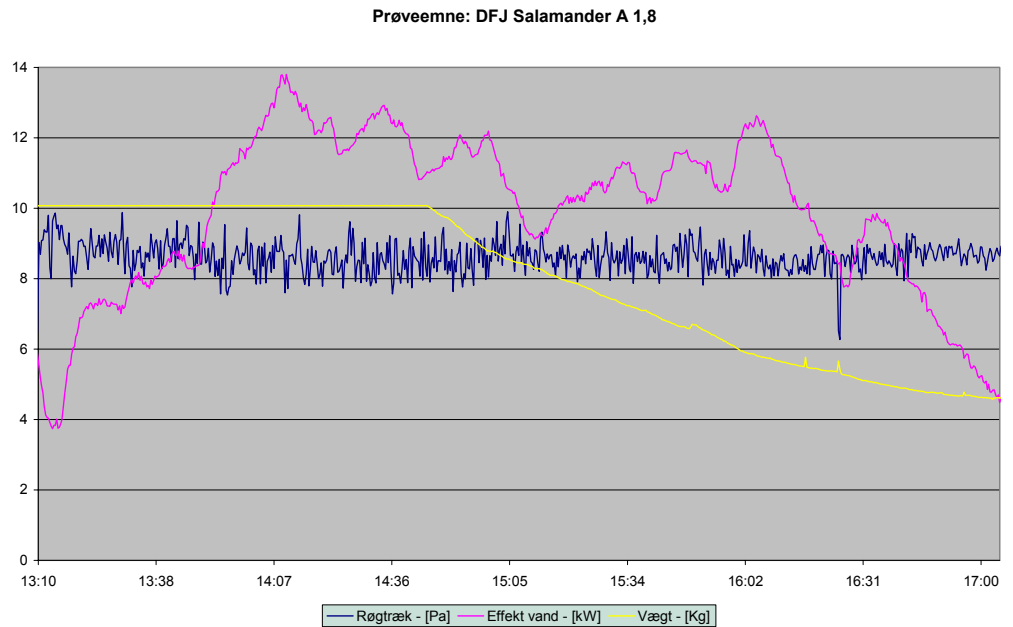
Figur 25 Målte temperaturer, Salamander A 1,8 nominal ydelse  
 Stabil drift, men alarmerende høje røggastemperaturer på op til 500 °C.

#### 4.1.2 Reduceret ydelse

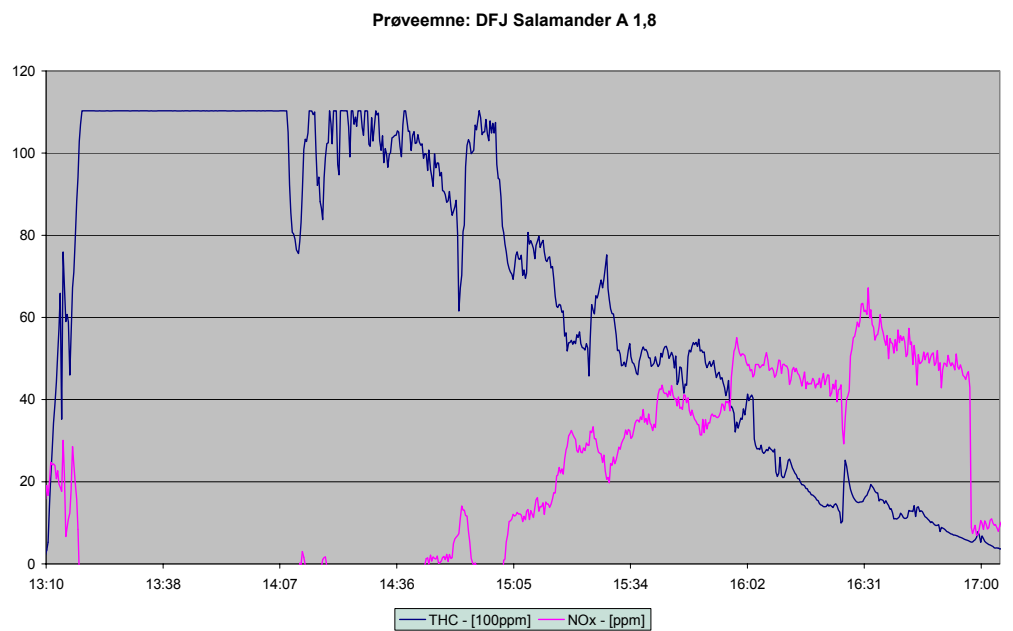
Table 8 Resultater for Salamander A 1,8 ved lavlast

Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,65 °C	
Fremløbstemperatur	73,30 °C	
Vandflow	0,63 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	9,81 kW	
Måletid	3,92 h	
Brændselsforbrug	4,41 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	18,64 kW	
Virkningsgrad	52,7 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 75 (Østrig)
Rumtemperatur	28 °C	
Røgteperatur	173 °C	
Skorstenstræk	9 Pa	26 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	52,0 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	40,5 kg/h	
CO <sub>2</sub>	10,3 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	14,7 g/kg (tørstof)	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	1669 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	412 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	385 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	- (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,28 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	- (Tyskland)
Støv-emission	175 mg/MJ	- (Østrig)
CO målt	1,4999 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	1,4027 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	17533 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	12,7516 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	12752 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	7979 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	- mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,2323 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	3732 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	1698 mg/MJ	80 (Østrig)

Reduceret ydelse gav mere end en fordobling af CO, OGC og partikler.



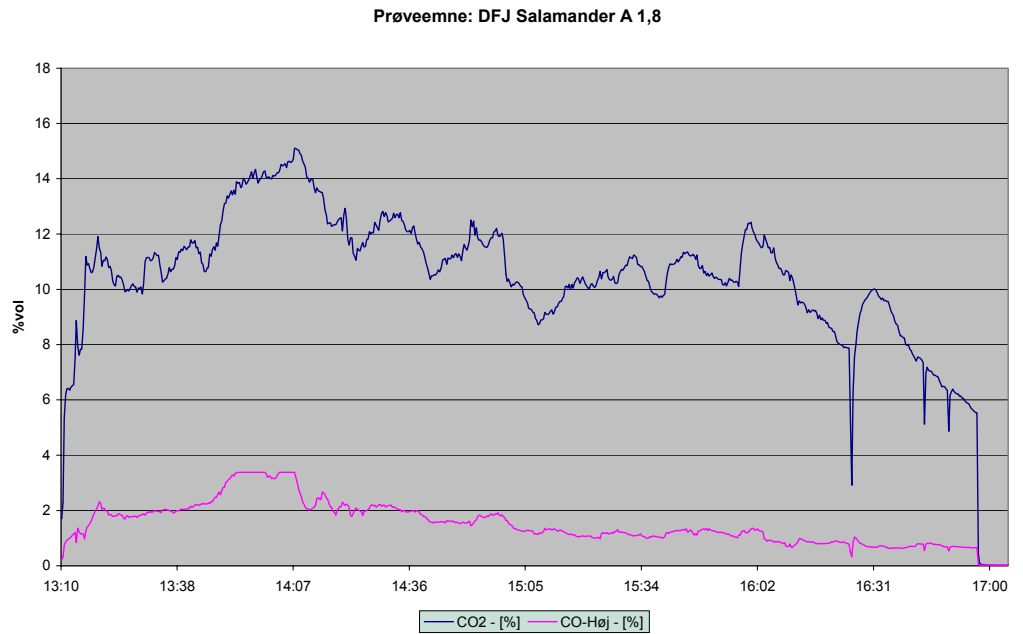
Figur 26 Røgtræk, afgivet effekt og vægt af brændsel, Salamander A 1,8 lavlast  
 Driften også ganske stabil ved reduceret ydelse (ca. 55% af nominal ydelse).



Figur 27 Organisk bundet kulstof samt kvælstof i røggas, Salamander A 1,8 ved lavlast

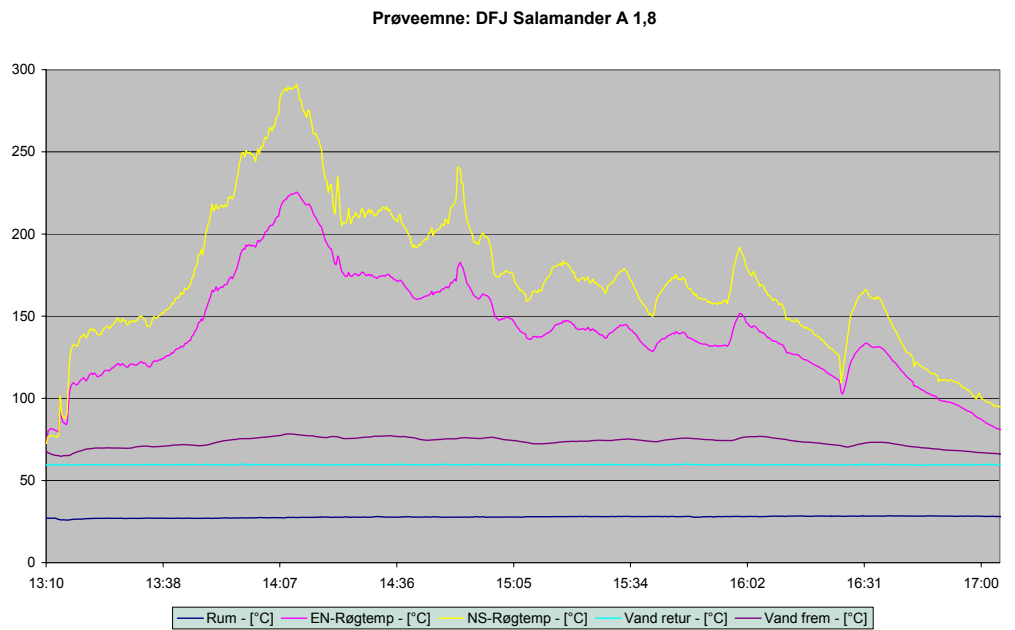
THC/OGC er alarmerende høj, og NO<sub>x</sub>-måleren påvirkes, så den i perioder viser negativt.





Figur 28 Kul dioxid og kulilte i røggas, Salamander A 1,8 ved lavlast

Forholdsvis stabil og høj  $\text{CO}_2$ , men også for høj CO i gennemsnit.



Figur 29 Målte temperaturer, Salamander A 1,8 ved lavlast

Moderate røgtemperaturer ved lavlast (ca. 55% af nominal ydelse).

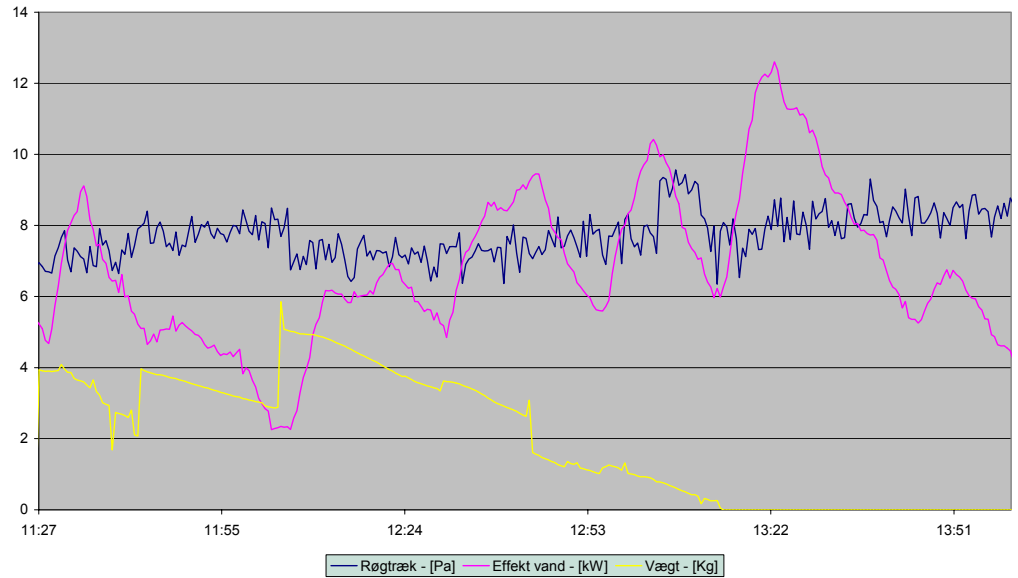
### 4.1.3 Tilpasset fyring

Table 9 Results for Salamander A 1.8 with adapted firing

Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,68 °C	
Fremløbstemperatur	67,73 °C	
Vandflow	0,74 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	6,82 kW	
Måletid	2,55 h	
Brændselsforbrug	3,21 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	13,54 kW	
Virkningsgrad	50,4 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 75 (Østrig)
Rumtemperatur	25 °C	
Røgtemperatur	168 °C	
Skorstenstræk	8 Pa	26 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	77,2 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	61,4 kg/h	
CO <sub>2</sub>	5,0 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	12,7 g/kg (tørstof)	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	1448 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	161 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	329 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	200 (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,24 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,15 (Tyskland)
Støv-emission	150 mg/MJ	60 (Østrig)
CO målt	0,4164 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	0,8502 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	10627 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	7,7291 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	7729 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	4836 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,0064 % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	130 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	59 mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>		
	0,1630 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	2619 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	1192 mg/MJ	80 (Østrig)

Overraskende dårligt resultat i forhold til nominal. Især partikelemissionen er høj.

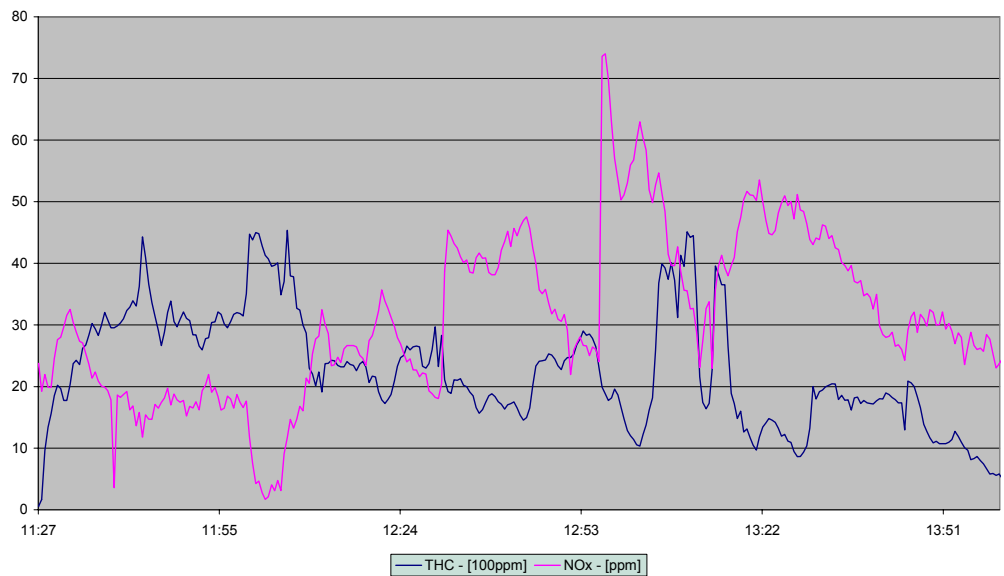
Prøveemne: DFJ Salamander A 1,8



Figur 30 Røgræk, afgivet effekt og vægt af brændsel, Salamander A 1,8 ved tilpasset fyring

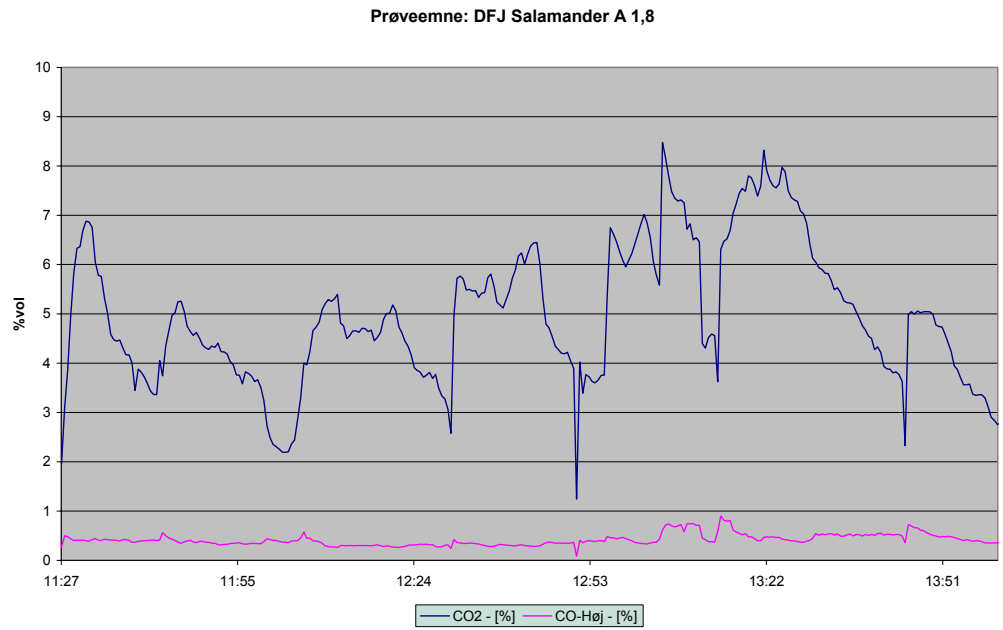
Fyring i små portioner giver den laveste målte ydelse på kun 6,82 kW i snit. Dette svarer til 38% af nominel ydelse og altså tæt på de 30%, som er standardens definition på lavlast.

Prøveemne: DFJ Salamander A 1,8



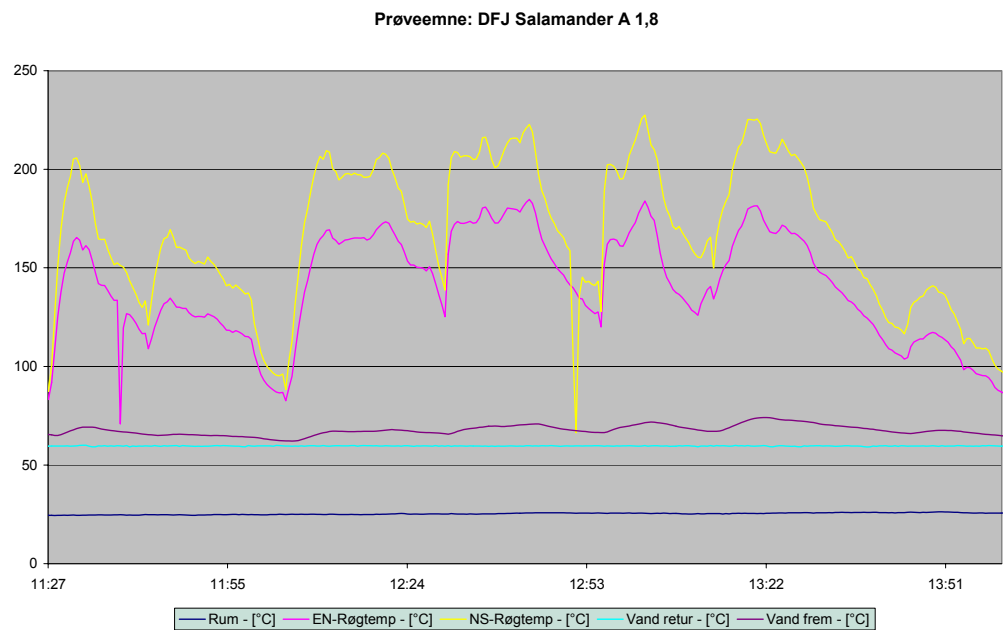
Figur 31 Organisk bundet kulstof samt kvælstofil ter i røggas, Salamander A 1,8 ved tilpasset fyring

THC/OGC er moderat for kedeltypen, NOx-måler fungerer.



Figur 32 Kul dioxid og kulilte, Salamander A 1,8 ved tilpasset fyring

Moderat CO, men alt for lav CO<sub>2</sub>. Sidstnævnte kan dog være et justeringsproblem.



Figur 33 Målte temperaturer, Salamander A 1,8 ved tilpasset fyring

Svingende røggastemperatur ved fyring i små portioner. Dog moderat niveau på ca. 200 °C.

## 4.2 Salamander C

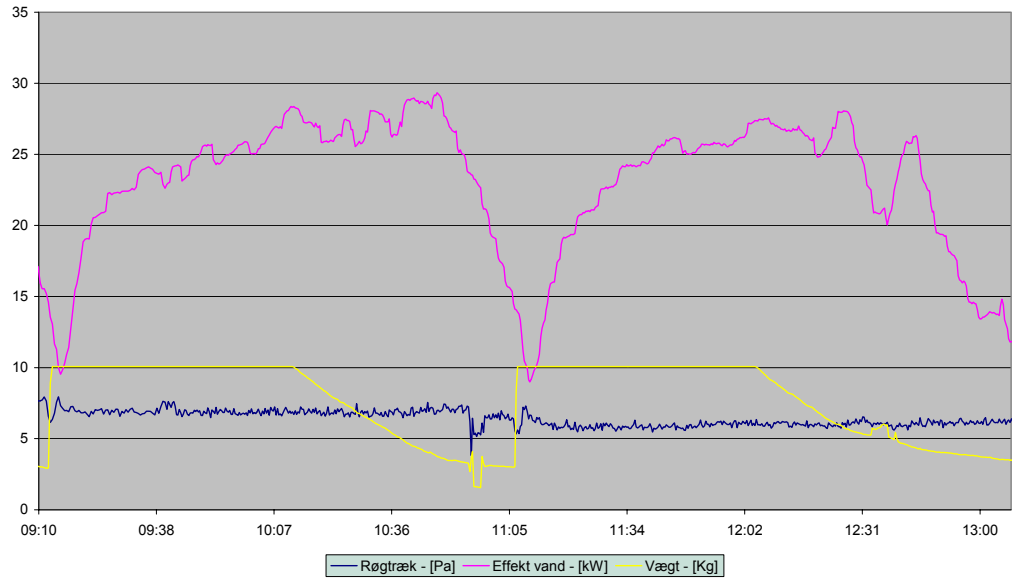
### 4.2.1 Nominel ydelse

Table 10 Resultater for Salamander C 2,4 ved nominel ydelse

Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	56,78 °C	
Fremløbstemperatur	78,15 °C	
Vandflow	0,95 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	23,26 kW	
Måletid	3,89 h	
Brændselsforbrug	13,22 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	55,82 kW	
Virkningsgrad	41,7 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 76 (Østrig)
Rumtemperatur	27 °C	
Røgteperatur	264 °C	
Skorstenstræk	6 Pa	28 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	187,8 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	119,8 kg/h	
CO <sub>2</sub>	9,4 % <sub>vol</sub>	
	g/kg	
Partikler målt	11,8 tørstof	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	1337 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	355 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	332 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	200 (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,24 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,15 (Tyskland)
Støv-emission	151 mg/MJ	60 (Østrig)
CO målt	2,3078 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	2,1590 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	26988 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	19,6277 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	19628 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	12281 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	- mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>		
	0,4017 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	6454 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	2937 mg/MJ	80 (Østrig)

Væsentligt dårligere resultat end den lille Salamander A.

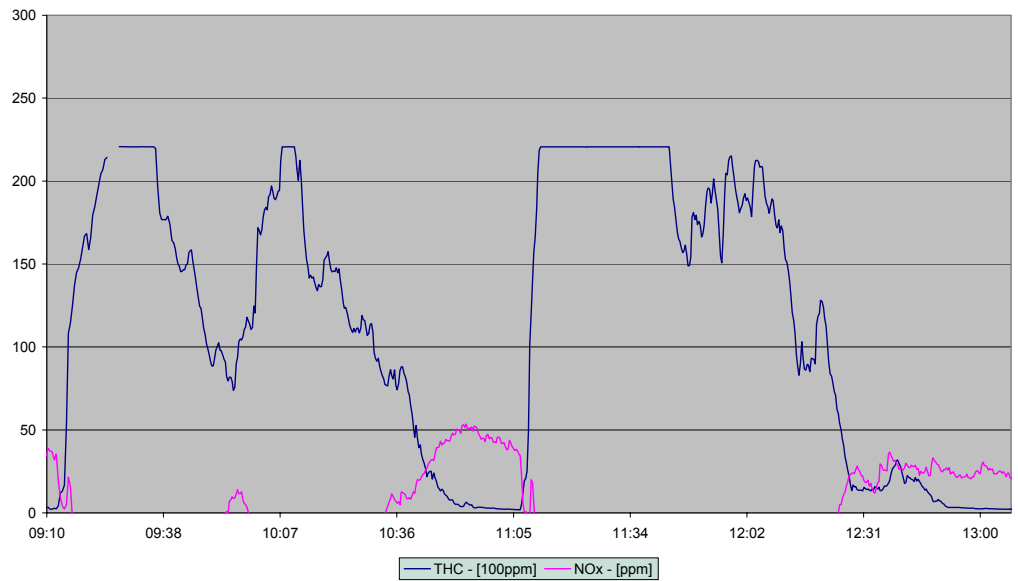
Prøveemne: DFJ Salamander C 2,4



Figur 34 Røgtræk, afgivet effekt samt vægt af brændsel, Salamander C 2,4 ved nominel ydelse

Hurtig opstart, stabil drift og god udbrænding. Brænder knapt 2 timer på en fyring (krav: 2 timer).

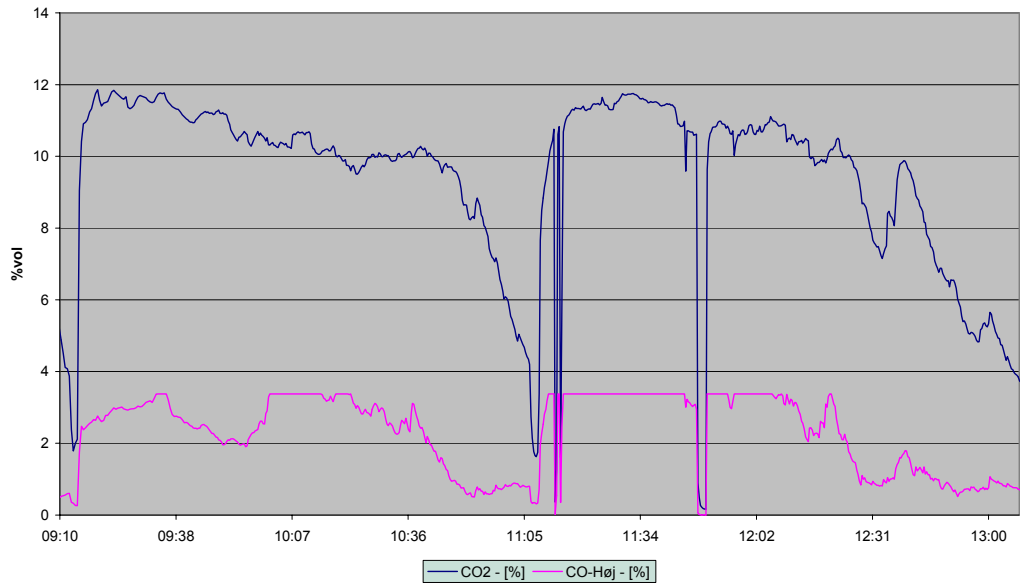
Prøveemne: DFJ Salamander C 2,4



Figur 35 Organisk bundet kulstof samt kvælstof i ter i røggas, Salamander C 2,4 ved nominel ydelse

THC/OGC er afsindigt høj. NOx-måler er ude af stand til at måle korrekt i røggassen.

Prøveemne: DFJ Salamander C 2,4



Figur 36 Kul dioxid og kulilte i røggas, Salamander C 2,4 ved nominel ydelse

Helt uacceptabelt CO, som overskrider instrumentets måleområde flere gange. Samtidigt er CO<sub>2</sub> for lavt.

Prøveemne: DFJ Salamander C 2,4



Figur 37 Målte temperaturer, Salamander C 2,4 ved nominel ydelse

Noget mere moderate røggastemperaturer end Salamander A.

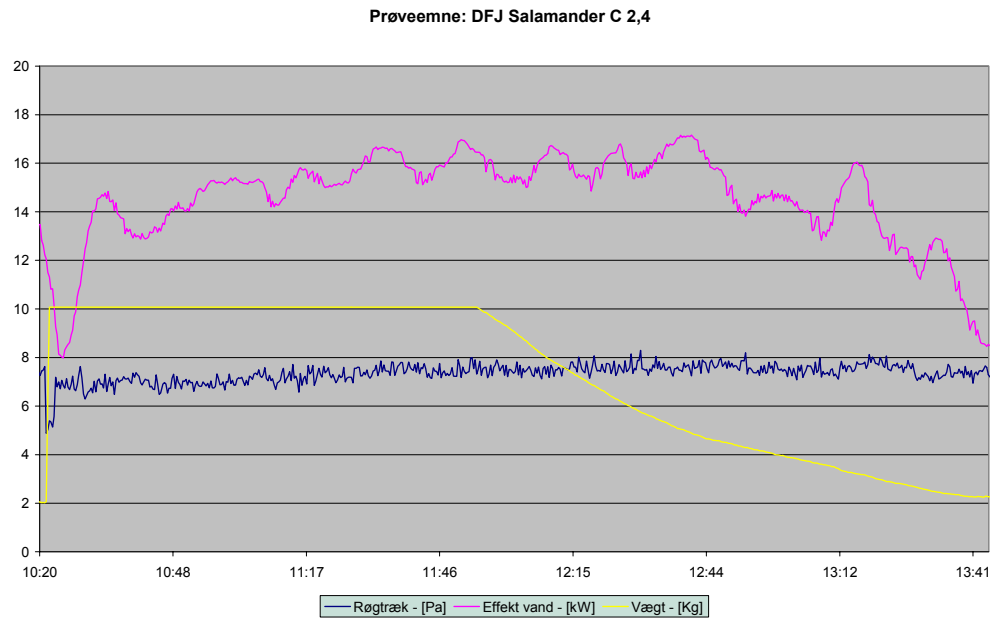
## 4.2.2 Reduceret ydelse

Table 11 Results for Salamander C 2,4 at low load

Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,69 °C	
Fremløbstemperatur	74,74 °C	
Vandflow	0,85 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	14,56 kW	
Måletid	3,37 h	
Brændselsforbrug	7,63 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	32,21 kW	
Virkningsgrad	45,2 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 76 (Østrig)
Rumtemperatur	27 °C	
Røgtemperatur	175 °C	
Skorstenstræk	7 Pa	
Røggasvolumenstrøm	113,6 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	87,4 kg/h	28 (Maks.)
CO <sub>2</sub>	7,3 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	15,1 g/kg tørstof	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	1717 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	400 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	481 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	- (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,35 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	- (Tyskland)
Støv-emission	219 mg/MJ	- (Østrig)
CO målt	1,8001 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	2,1654 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	27068 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	19,6855 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	19686 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	12317 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	- mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>		
O <sub>2</sub>	0,4318 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	6937 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	3157 mg/MJ	80 (Østrig)

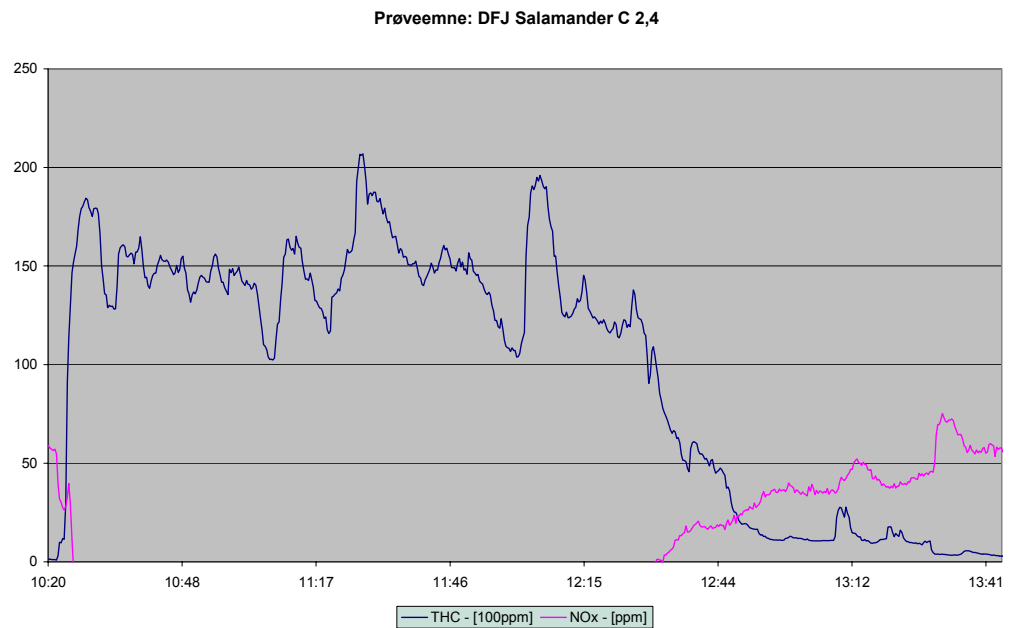
Stadig meget dårligt i forhold til Salamander A.





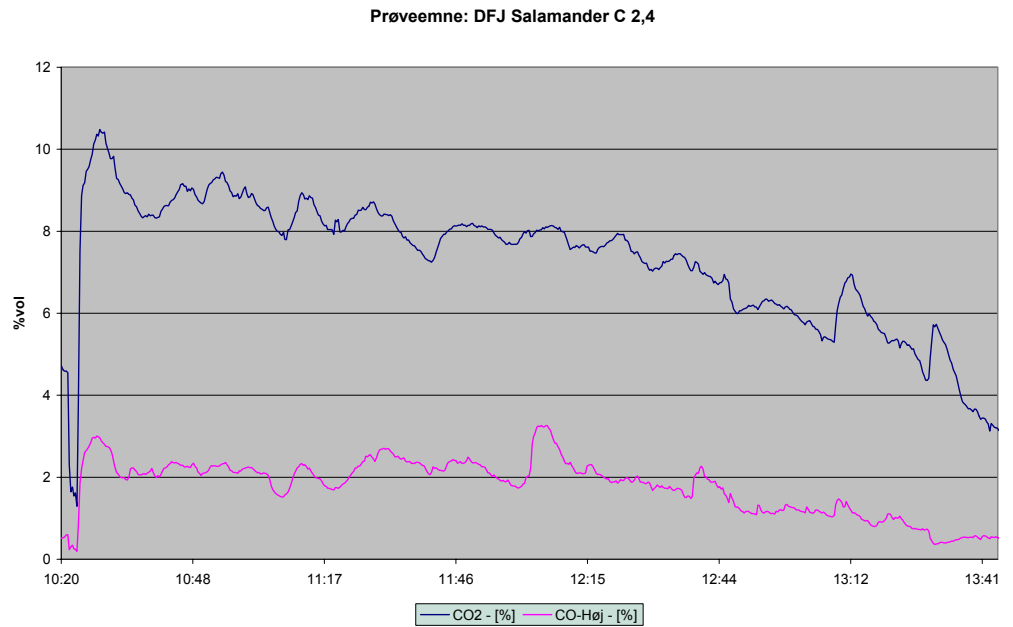
Figur 38 Røgtræk, afgivet effekt samt vægt af brændsel, Salamander C 2,4 ved lavlast

Bemærkelsesværdig stabil ydelse (63% af nominal ydelse). Kedlens trækregulator fungerer.



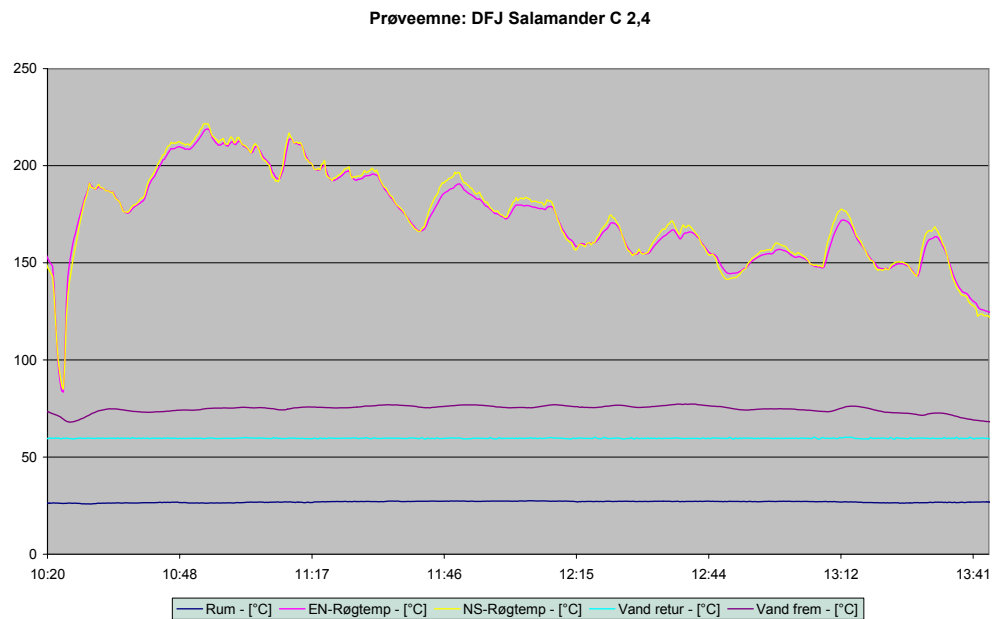
Figur 39 Organisk bundet kulstof samt kvælstof i røggas, Salamander C 2,4 ved lavlast

Helt uacceptabel THC/OGC. Igen er NOx-måleren ude af stand til at måle.



Figur 40 Kul dioxid og kul il te i røggas, Salamander C 2,4 ved lavlast

Alt for høj CO. CO<sub>2</sub> falder, bl.a. fordi kedlens trækregulator øger luftmængden ved faldende kedeltemperatur.



Figur 41 Målte temperaturer, Salamander C 2,4 ved lavlast

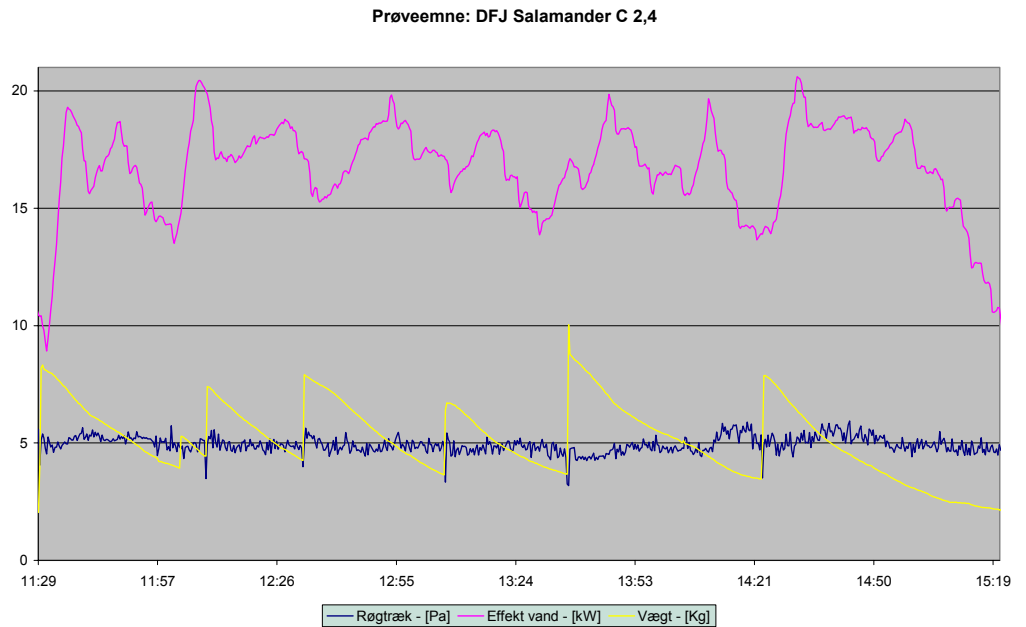
Moderate røggastemperaturer.

### 4.2.3 Tilpasset fyring

Tablet 12 Resultater for Salamander C 2,4 ved tilpasset fyring

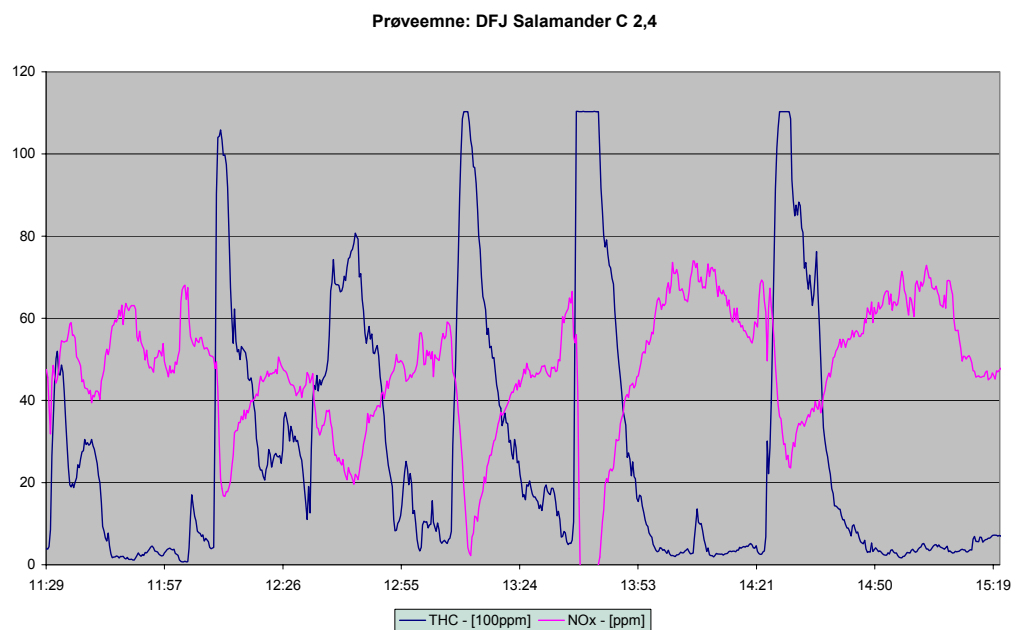
Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,73 °C	
Fremløbstemperatur	76,09 °C	
Vandflow	0,89 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	16,72 kW	
Måletid	3,85 h	
Brændselsforbrug	6,92 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	29,23 kW	
Virkningsgrad	57,2 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 76 (Østrig)
Rumtemperatur	27 °C	
Røgtemperatur	205 °C	
Skorstenstræk	5 Pa	
Røggasvolumenstrøm	104,6 m <sup>3</sup> /h	28 (Maks.)
Røggasmassestrøm	76,2 kg/h	
CO <sub>2</sub>	8,6 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	3,8 g/kg tørstof	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	430 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	69 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	79 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	200 (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,06 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,15 (Tyskland)
Støv-emission	36 mg/MJ	60 (Østrig)
CO målt	1,0181 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	1,1587 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	14483 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	10,5334 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	10533 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	6591 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,0053 % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	109 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	50 mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>		
	0,1188 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	1909 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	868 mg/MJ	80 (Østrig)

Ganske hæderligt resultat, og en væsentlig forbedring i forhold til hel fyldning.



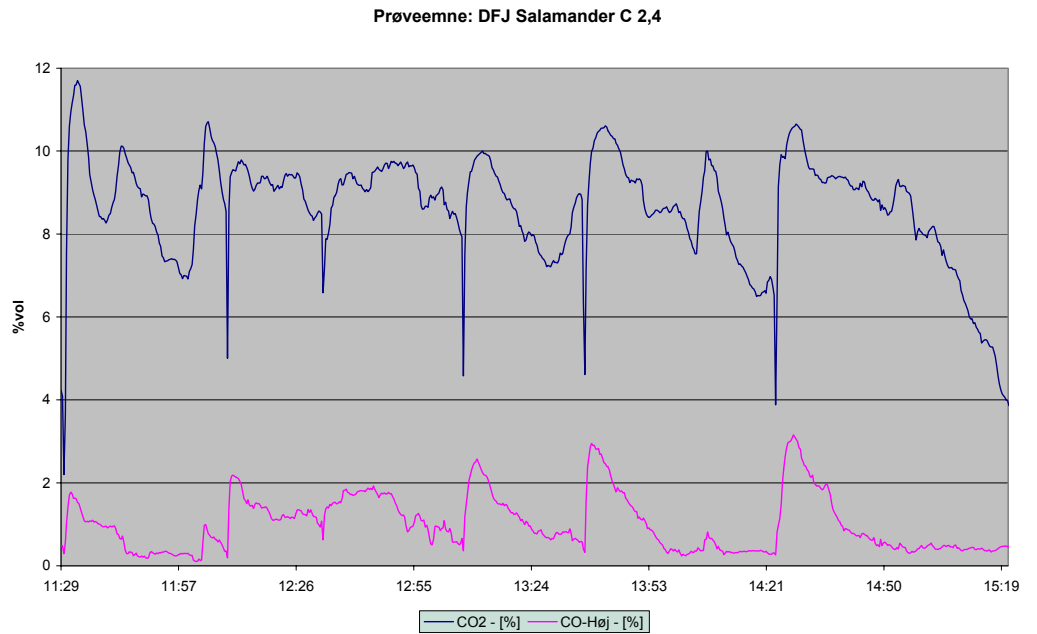
Figur 42 Røgræk, afgivet effekt samt vægt af brændsel, Salamander C 2,4 ved tilpasset fyring

Svingende ydelse ved fyring i små portioner.



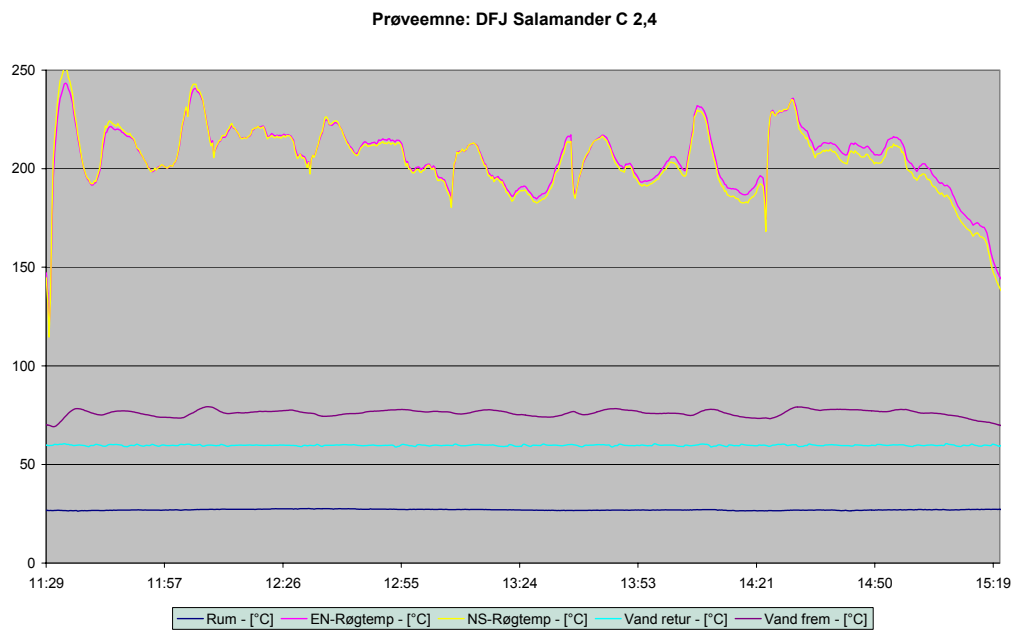
Figur 43 Organisk bundet kulstof samt kvælstofindhold i røggas, Salamander C 2,4 ved tilpasset fyring

Bedre THC/OGC end der kunne opnås ved hel fyldning. NOx-måler ikke stabil.



Figur 44 Kul dioxid og kulil te i røggas, Salamander C 2,4 ved tilpasset fyring

CO<sub>2</sub> burde være højere, og CO ligger overvejende for højt.



Figur 45 Målte temperaturer, Salamander C 2,4 ved tilpasset fyring

Moderat røggastemperatur resulter i en betydeligt bedre virkningsgrad end ved hel fyldning.

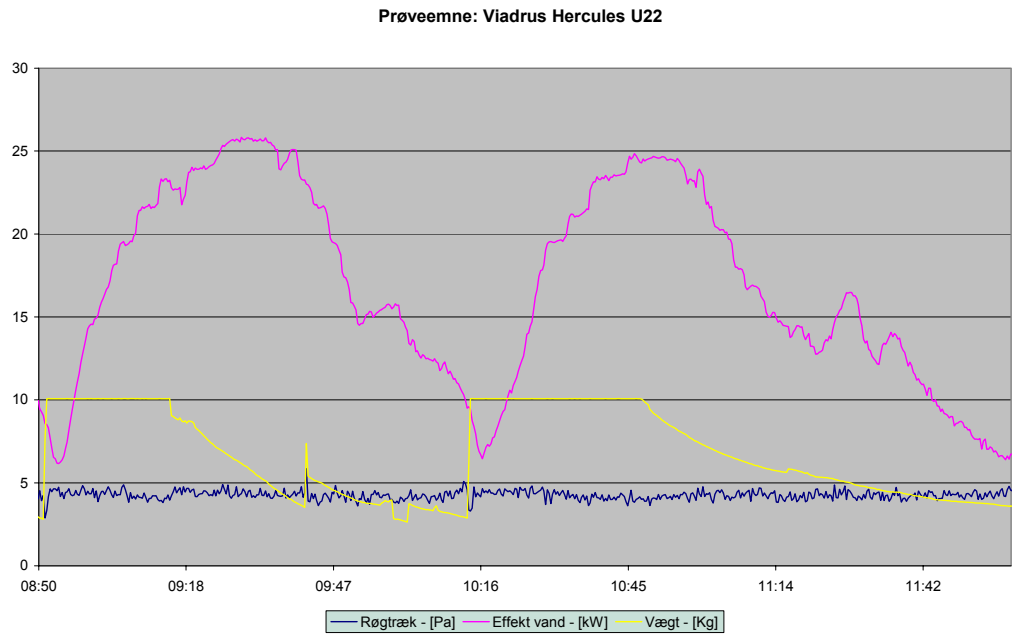
### 4.3 Viadrus Herkules

#### 4.3.1 Nominel ydelse

Tabel 13 Resultater for Viadrus Hercules U22 ved nominel ydelse

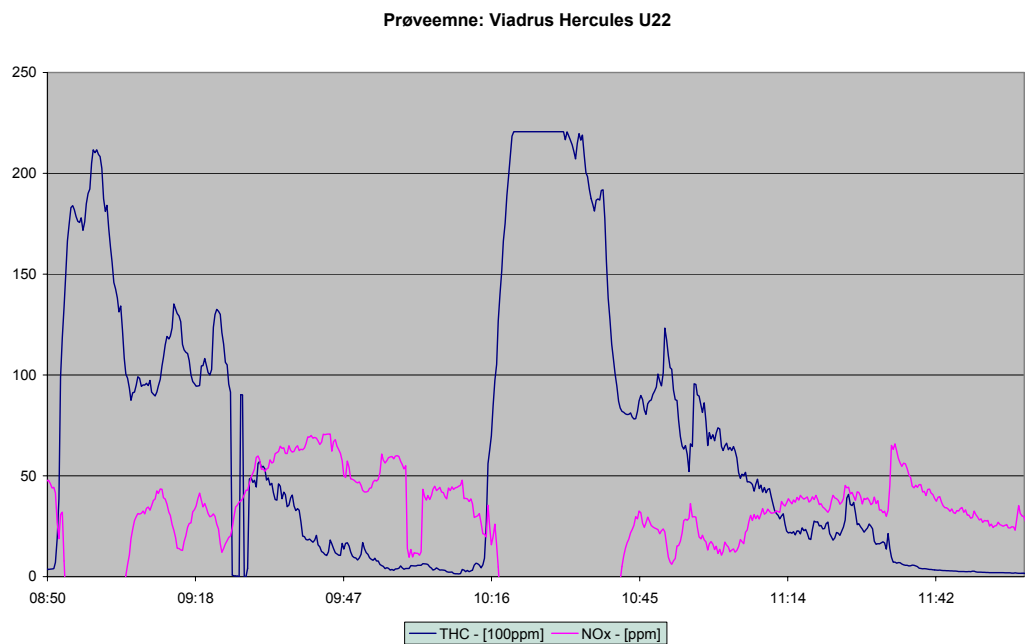
Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,71 °C	
Fremløbstemperatur	77,87 °C	
Vandflow	0,82 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	16,99 kW	
Måletid	3,10 h	
Brændselsforbrug	8,81 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	37,20 kW	
Virkningsgrad	45,7 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 76 (Østrig)
Rumtemperatur	26 °C	
Røgteperatur	320 °C	
Skorstenstræk	4 Pa	28 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	151,3 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	88,3 kg/h	
CO <sub>2</sub>	9,0 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	17,8 g/kg tørstof	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	2018 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	443 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	459 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	200 (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,33 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,15 (Tyskland)
Støv-emission	209 mg/MJ	60 (Østrig)
CO målt	1,6022 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	1,6575 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	20718 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	17,743 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	17743 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	9428 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	- mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,2575 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	4137 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	1882 mg/MJ	80 (Østrig)

Højeste målte partikelemission overhovedet.



Figur 46 Røgræk, afgivet effekt samt vægt af brændsel, Viadrus Hercules U22 ved nominel ydelse

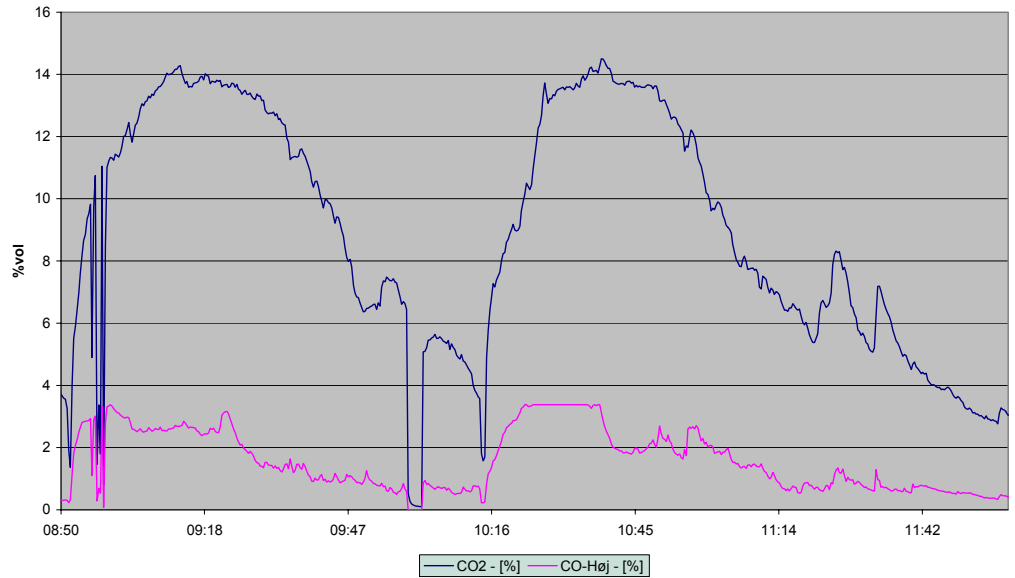
Knapt så stabil og pæn udbrænding som Salamanderkedlerne.



Figur 47 Organisk bundet kulstof samt kvælstof i røggas, Viadrus Hercules U22 ved nominel ydelse

Fuldstændig uacceptabel THC, dog værst i starten og bedre på anden halvdel af nedbrændingen. NOx-måler ude af stand til at måle korrekt i røggassen.

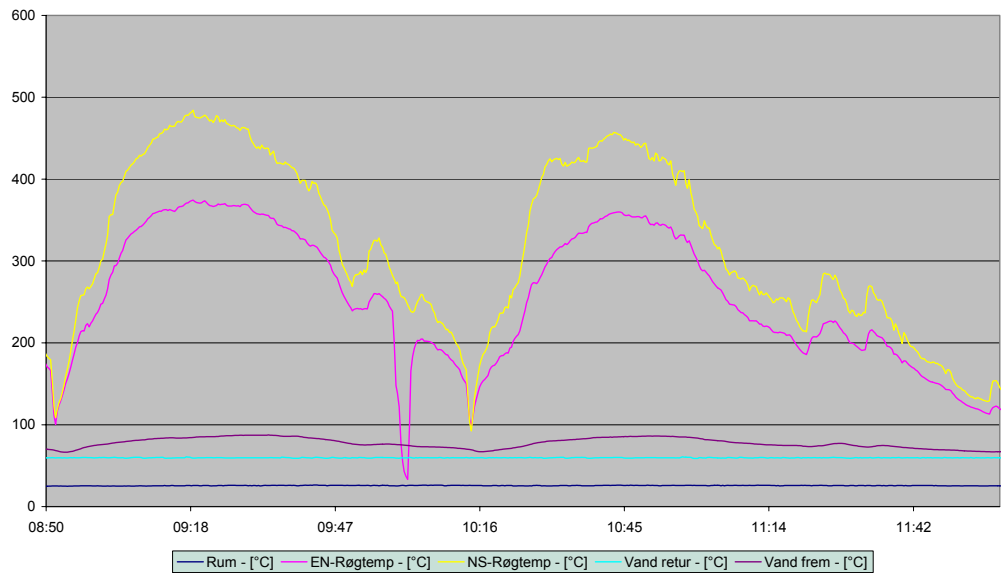
Prøveemne: Viadrus Hercules U22



Figur 48 Kul dioxid og kulilte i røggas, Viadrus Hercules U22 ved nominal ydelse

Den højeste CO<sub>2</sub> blandt de 3 kedler, men også alt for høj CO.

Prøveemne: Viadrus Hercules U22



Figur 49 Målte temperaturer, Viadrus Hercules U22 ved nominal ydelse

Røggastemperatur alarmerende høj.

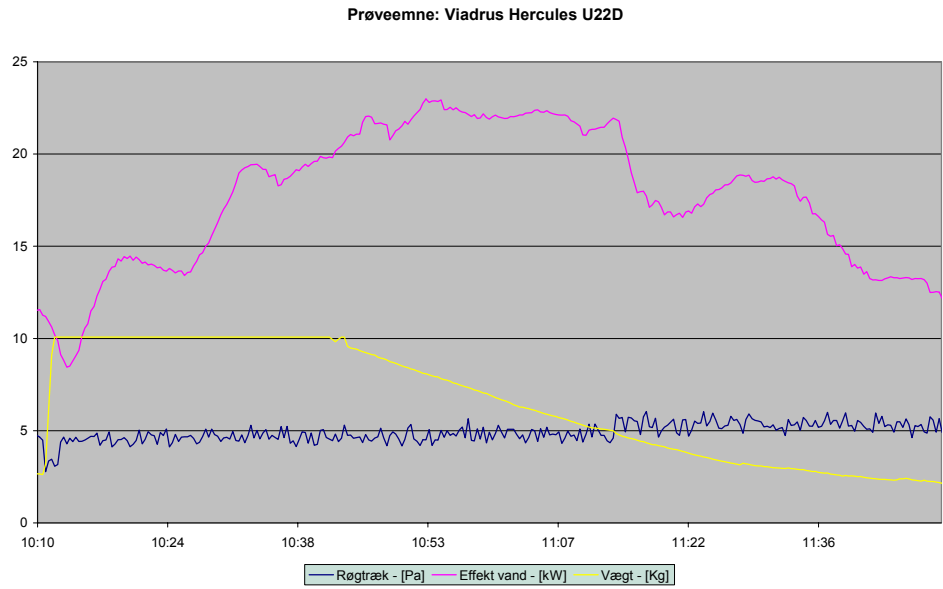


### 4.3.2 Reduceret ydelse

Tabel 14 Resultater for Viadrus Hercules U22 ved lavlast

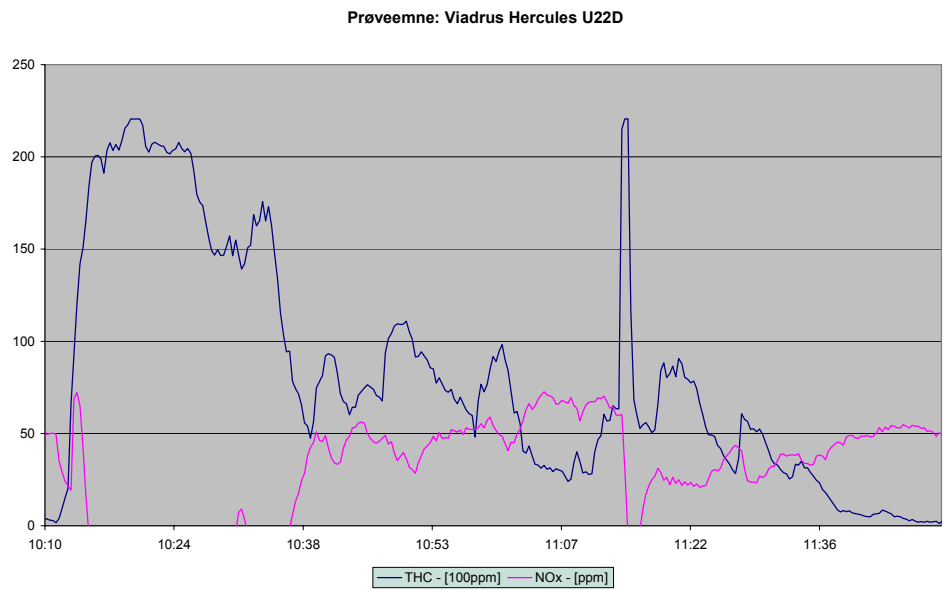
Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,68 °C	
Fremløbstemperatur	81,69 °C	
Vandflow	0,71 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	17,87 kW	
Måletid	1,62 h	
Brændselsforbrug	8,61 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	36,34 kW	
Virkningsgrad	49,2 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 76 (Østrig)
Rumtemperatur	25 °C	
Røgteperatur	318 °C	
Skorstenstræk	5 Pa	28 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	122,7 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	71,4 kg/h	
CO <sub>2</sub>	10,9 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	10,2 g/kg tørstof	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	1163 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	200 (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	- g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,15 (Tyskland)
Støv-emission	- mg/MJ	60 (Østrig)
CO målt	2,1504 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	1,8158 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	22697 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	19,7730 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	19773 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	10329 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	- mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,2676 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	4300 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	1957 mg/MJ	80 (Østrig)

Forbedret partikelemission, men stadig dårligt samlet resultat.



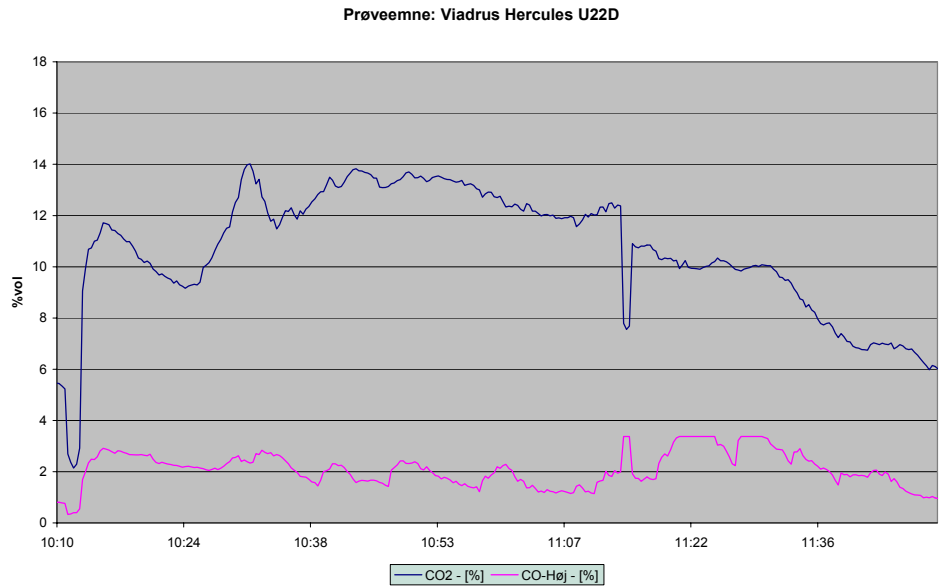
Figur 50 Røgræk, afgivet effekt samt vægt af brændsel, Viadrus Hercules U22 ved lavlast

Det lykkedes slet ikke at reducere ydelsen. Faktisk yder den mere end nominal.



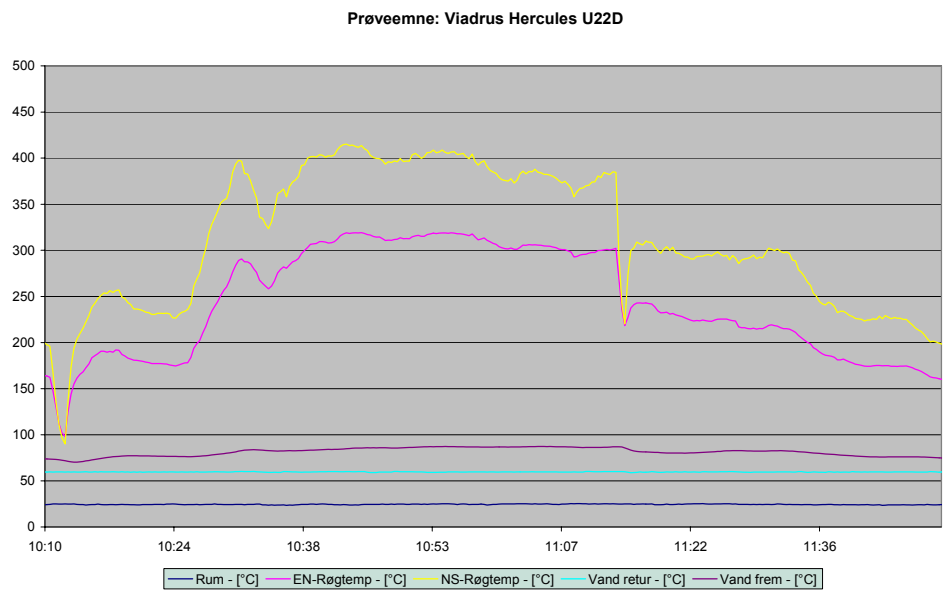
Figur 51 Organisk bundet kulstof samt kvælstofindhold i røggas, Viadrus Hercules U22 ved lavlast

Driften ligner meget nominal ydelse, hvilket det reelt også er.



Figur 52 Kuldiioxid og kulilte i røggas, Viadrus Hercules U22 ved lavlast

Resultat som ved nominal ydelse.



Figur 53 Målte temperaturer, Viadrus Hercules U22 ved lavlast

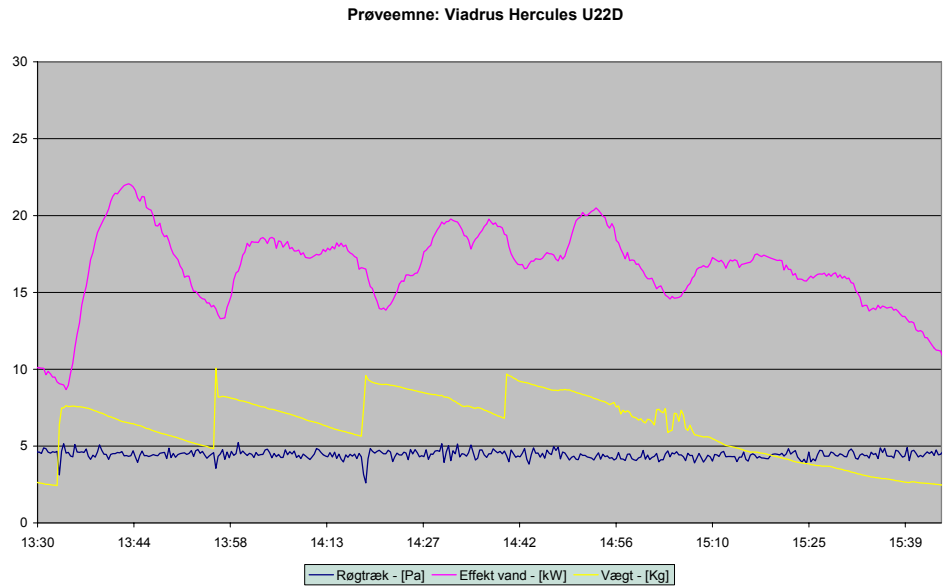
Det lykkedes ikke at ændre driften væsentligt ved at neddrøse primær luften, måske fordi sekundærspjældet var permanent åbent.

### 4.3.3 Tilpasset fyring

Tabel 15 Resultater for Viadrus Hercules U22 ved tilpasset fyring

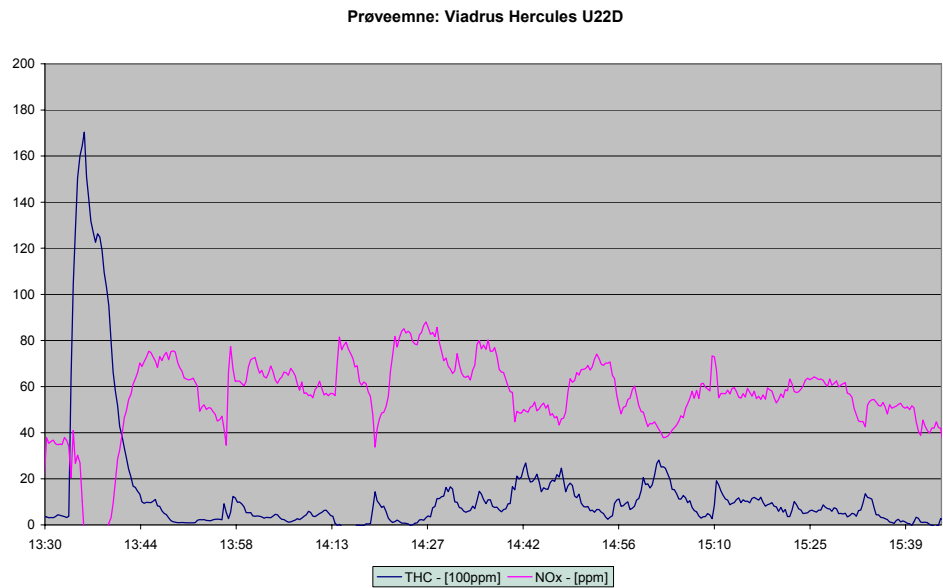
Måling	Resultat	Krav
Returtemperatur	59,67 °C	
Fremløbstemperatur	80,54 °C	
Vandflow	0,70 m <sup>3</sup> /h	
Varmeydelse	16,73 kW	
Måletid	2,20 h	
Brændselsforbrug	6,82 kg/h	
Vandindhold	14,4 %	
Brændværdi	15203 J/g	
Indfyret effekt	28,81 kW	
Virkningsgrad	58,1 %	55 (Klasse 1) 75 (Danmark) 76 (Østrig)
Rumtemperatur	27 °C	
Røgtemperatur	323 °C	
Skorstenstræk	4 Pa	28 (Maks.)
Røggasvolumenstrøm	124,6 m <sup>3</sup> /h	
Røggasmassestrøm	73,2 kg/h	
CO <sub>2</sub>	9,3 % <sub>vol</sub>	
Partikler målt	2,5 g/kg tørstof	
Partikler ved 10% O <sub>2</sub>	285 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv målt	84 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
Støv ved 10% O <sub>2</sub>	93 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	- (Klasse 1)
Støv ved 13% O <sub>2</sub>	0,07 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	- (Tyskland)
Støv-emission	42 mg/MJ	- (Østrig)
CO målt	0,6641 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	0,7303 % <sub>vol</sub>	
CO ved 10% O <sub>2</sub>	9129 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25000 (Klasse 1)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	7,1114 g/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4 (Tyskland)
CO ved 13% O <sub>2</sub>	7111 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4000 (Schweiz)
CO-emission	4154 mg/MJ	1100 (Østrig)
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- % <sub>vol</sub>	
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	- mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub> -emission (NO <sub>2</sub> )	- mg/MJ	150 (Østrig)
OGC (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) ved 10% O <sub>2</sub>	0,0562 % <sub>vol</sub>	
OGC (C) ved 10% O <sub>2</sub>	902 mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	2000 (Klasse 1)
OGC-emission (C)	411 mg/MJ	80 (Østrig)

Klart den bedste fyringsmetode til denne kedel. Væsentlig forbedring på alle punkter.



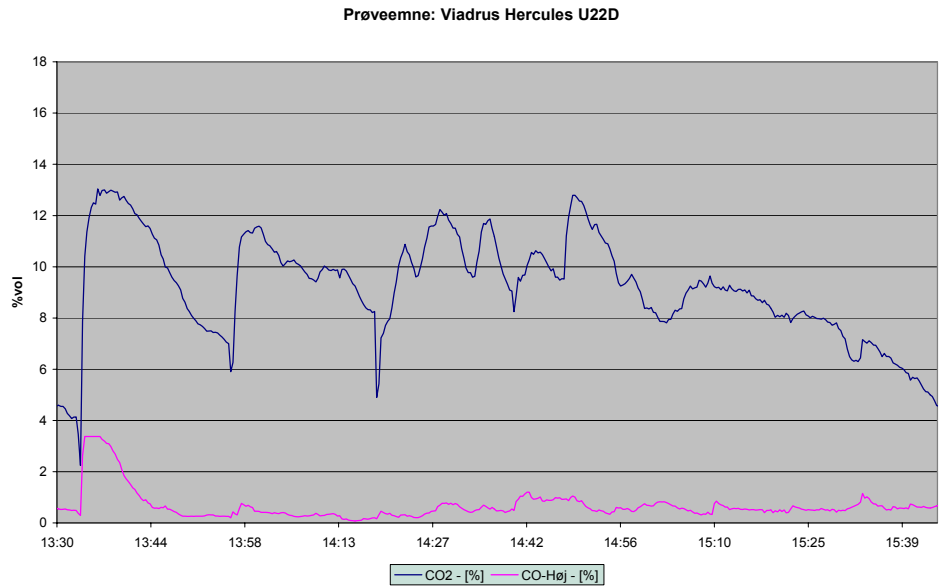
Figur 54 Røgtræk, afgivet effekt samt vægt af brændsel, Viadrus Hercules U22 ved tilpasset fyring

Svingende ydelse ved fyring i små portioner. Gennemsnitydelsen er dog stort set uændret.



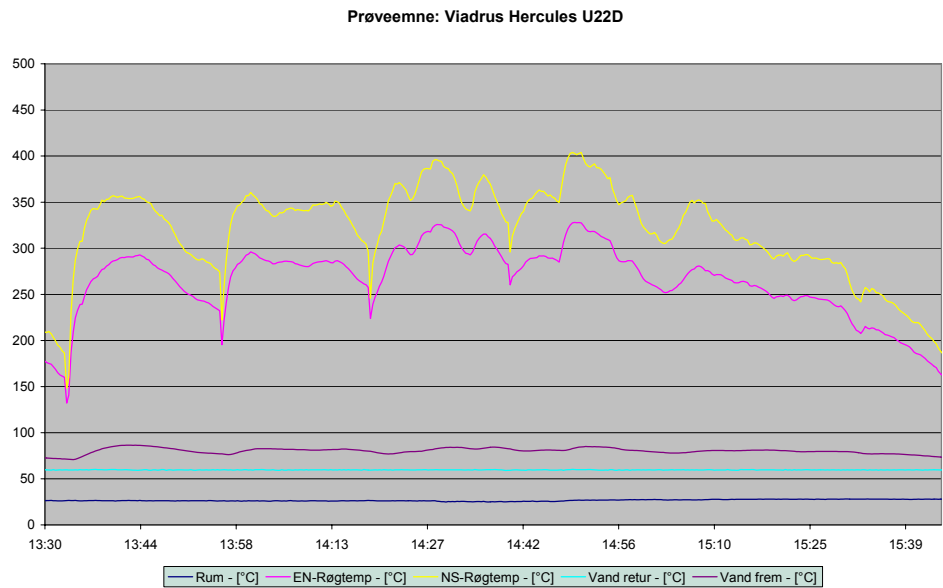
Figur 55 Organisk bundet kulstof samt kvælstof i røggas, Viadrus Hercules U22 ved tilpasset fyring

Betydeligt bedre THC/OGC end ved hel fyldning. NOx-måling på den sidste del af prøven vurderes at være urealistisk lav idet den i perioder er mindre end nul. Gennemsnitsværdien for NOx er derfor ikke rapporteret i Tabel 15.



Figur 56 Kul dioxid og kulilte i røggas, Viadrus Hercules U22 ved tilpasset fyring

Også markant forbedring af CO i forhold til andre fyringsmetoder.



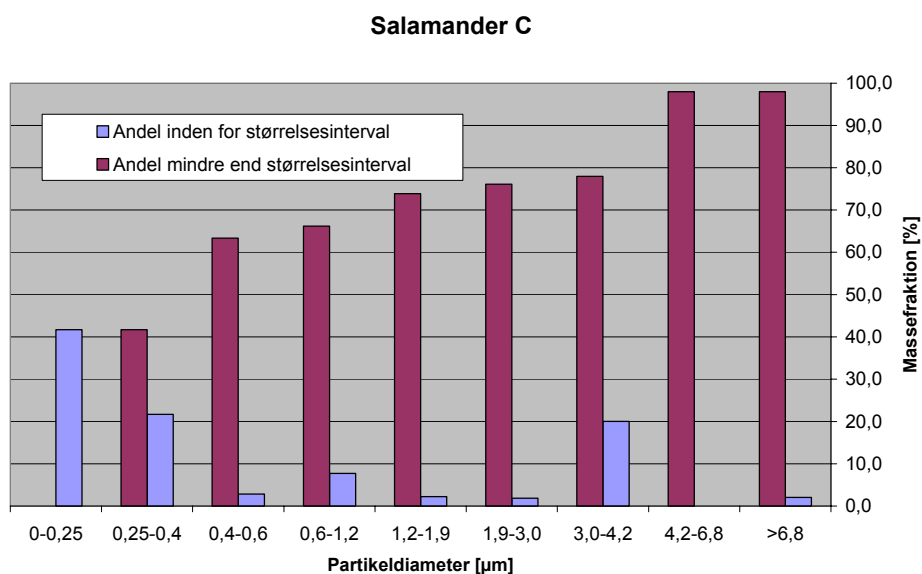
Figur 57 Målte temperaturer, Viadrus Hercules U22 ved tilpasset fyring

Lavere røggastemperatur resulter i en noget bedre virkningsgrad end ved hel fyldning.

#### 4.4 Måling af grove størrelsesfordelinger for partikler

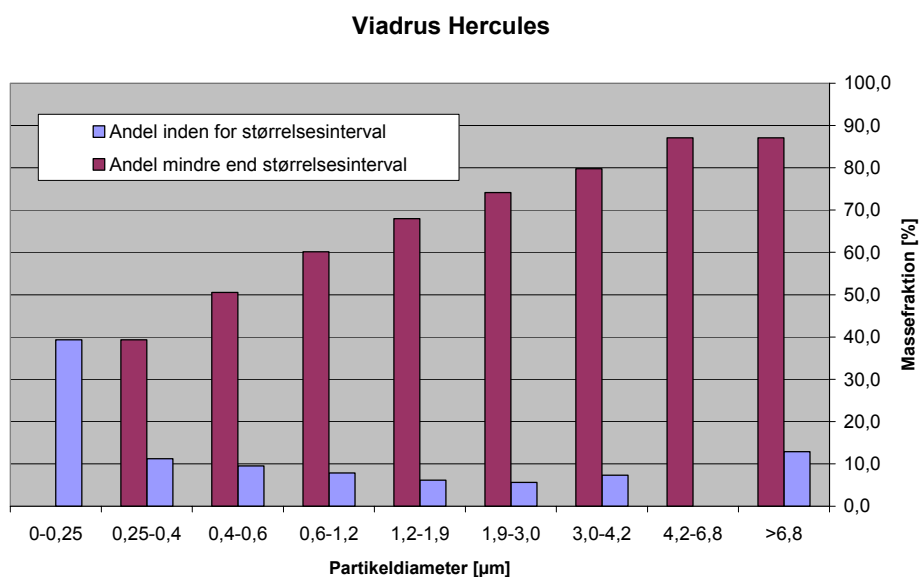
Partikelmålinger med kaskadeimpaktor blev foretaget ved nominal ydelse på Salamander C og Viadrus Hercules. Den kunne pga. et begrænset antal

målestudse ikke tages samtidigt med de øvrige målinger, og blev derfor taget ved en særskilt ekstra optænding, hvor øvrigt udstyr var afmonteret.



Figur 58 Måling med kaskadeimpaktor på Salamander C

Målingen blev foretaget direkte i skorstenen, med ekstern opvarmning af kaskadeimpaktoren.



Figur 59 Måling med kaskadeimpaktor på Viadrus Hercules

For Salamander C ses det, at 78 % af partikelmassen udgøres af partikler mindre end 3µm, og at 76 % er mindre end 1,9µm.

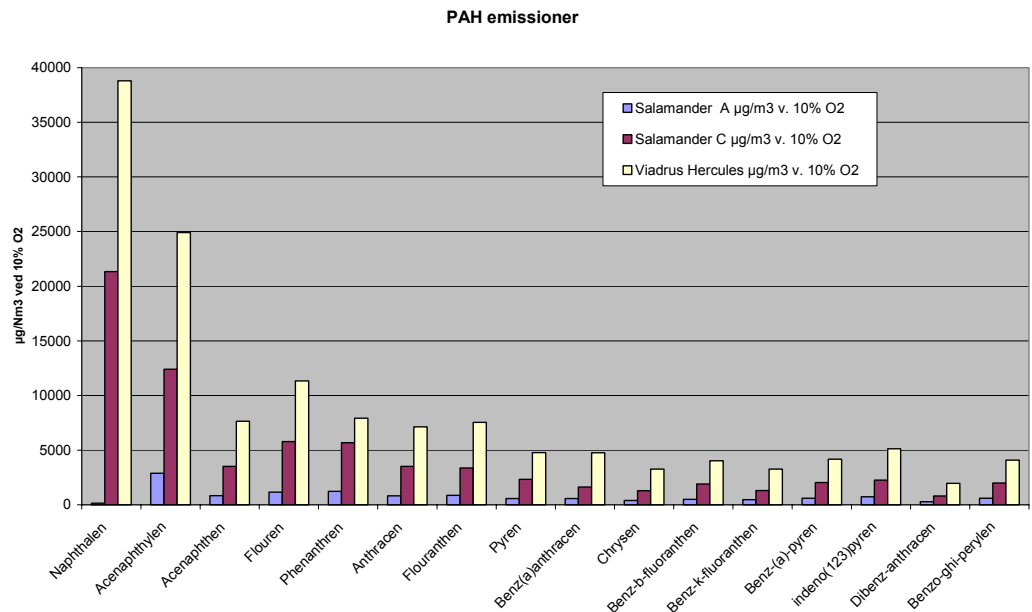
For Viadrus Hercules ses det, at 80 % af partikelmassen udgøres af partikler mindre end 3µm, og at 74 % er mindre end 1,9µm.

PM2.5 kan derfor ansættes til 77 % af TSP for begge kedler.

## 4.5 PAH, SO<sub>2</sub> og NMVOC

### PAH

PAH-målingerne blev vanskeliggjort af den store tjæremængde, som hurtigt tilstoppede glasristen i prøvetagningsudstyret. Dette var især et problem på den første måling, hvorfor resultatet for Salamander A kan være misvisende. Ved Salamander C blev der boret huller i glasristen, hvorved prøvetagningen kunne udføres, dog kun i ca. 1 time. På Viadrus Hercules blev der anvendt en ny glasrist, og her var det kun muligt at prøvetage i 10 minutter. Den anvendte glasrist var porøsitet 0. Der blev hjemtaget nye glasriste med større porøsitet, men disse nåede ikke at blive afprøvet.



Figur 60 PAH værdier målt som mg/mn<sup>3</sup>

Målingerne på Viadrus Hercules samt Salamander C anses for mest retvisende, hvorfor disse er gengivet i Tabel 16. De BaP-korrigerede værdier på 1,8-3,9 mg/MJ er betydeligt højere end DMU's målinger på 0,06-0,08 mg/MJ (21), hvilket formentlig skyldes at der er målt i starten af forbrændingsperioden hvor totalkulbrinten er ekstremt høj. Der er ikke umiddelbart sammenlignelighed med de svenske tal (3), da summen af PAH i de svenske data omfatter 28 komponenter imod 15 i dette projekt. Dog synes niveauet for ukorrigerede værdier 36-54 mg/MJ at stemme rimeligt overens med de svenske tal på 14-64 mg/MJ.



Tabel 16 PAH værdier omregnet til µg/MJ

	Direkte målt		BaP ækvivalenter	
	Viadrus Hercules µg/MJ	Salamander C µg/MJ	Viadrus Hercules µg/MJ	Salamander C µg/MJ
Naphthalen	18825	10357	0	0
Acenaphthylen	12094	6027	12	6
Acenaphthen	3715	1708	4	2
Flouren	5500	2808	3	1
Phenanthren	3840	2753	2	1
Anthracen	3462	1709	2	1
Flouranthen	3660	1636	183	82
Pyren	2318	1133	2	1
Benz(a)anthracen	2312	785	12	4
Chrysen	1584	624	48	19
Benz-b-fluoranthren	1951	926	195	93
Benz-k-fluoranthren	1581	632	79	32
Benz-(a)-pyren	2025	991	2025	991
indeno(123)pyren	2490	1092	249	109
Dibenz-anthracen	952	391	1047	430
Benzo-ghi-perylen	1986	966	20	10
Alle	54365	36074	3882	1780

### SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub> er normalt ikke et problem ved træfyring, da svovlindholdet i træ er ekstremt lavt. Den højeste mulige SO<sub>2</sub> kan beregnes ud fra elementaranalysen. På grund af den nedre detektionsgrænse for svovl, blev der opgivet S<sub>tor</sub> < 0,15 % fra elementaranalysen, hvilket giver S<sub>våd</sub> < 0,127 %. Den højeste mulige SO<sub>2</sub>-emission er derfor:

$SO_2 < 2 \text{ kg } SO_2/\text{kg svovl} * 1.000.000 \text{ mg/kg} * 0,00127 \text{ kg svovl/kg træ} / 15,29 \text{ MJ/kg} = 166 \text{ mg/MJ}$ . Dette vurderes dog at være meget højt sat. Ifølge CEN TS 14961 er typiske værdier for rent træ (S<sub>tor</sub> < 0,07 % S<sub>våd</sub> < 0,059 %). Den højeste SO<sub>2</sub>-emission bliver da:

$SO_2 \cong 2 \text{ kg } SO_2/\text{kg svovl} * 1.000.000 \text{ mg/kg} * 0,00059 \text{ kg svovl/kg træ} / 15,29 \text{ MJ/kg} = 77 \text{ mg/MJ}$ .

Det sidstnævnte tal vurderes at være den mest rigtige maksimalværdi. Tidligere målinger på træfyrr har vist et niveau på under 20 mg/MJ.

### NMVOC

Der blev for alle 3 kedler målt NMVOC inden for den første halve time, hvor kulbrinteemissionen er højest. Målingerne er foretaget i våd røggas ved aktuel iltprocent. Resultaterne viste at methan udgør 31-79 % af kulbrinteemissionen. Det totale kulbrinteindhold i prøverne var imidlertid så lavt (35-50 ppm), at det ikke kan anses for troværdigt, da TOC-målingen samtidigt viser over 5000 ppm methanækvivalenter. Ved en efterfølgende kontrol af de udtagne prøver konstateredes et meget stort indhold af atmosfærisk luft. Det betyder at de anvendte glaspipetter formentlig har været utætte. Totalværdierne måtte desværre på denne baggrund kasseres.

Det er for usikkert at omregne de målte koncentrationer i prøverne til mg/MJ. De svenske målinger (3), viste 270-2000 mg/MJ.

## 5 Samlet bedømmelse

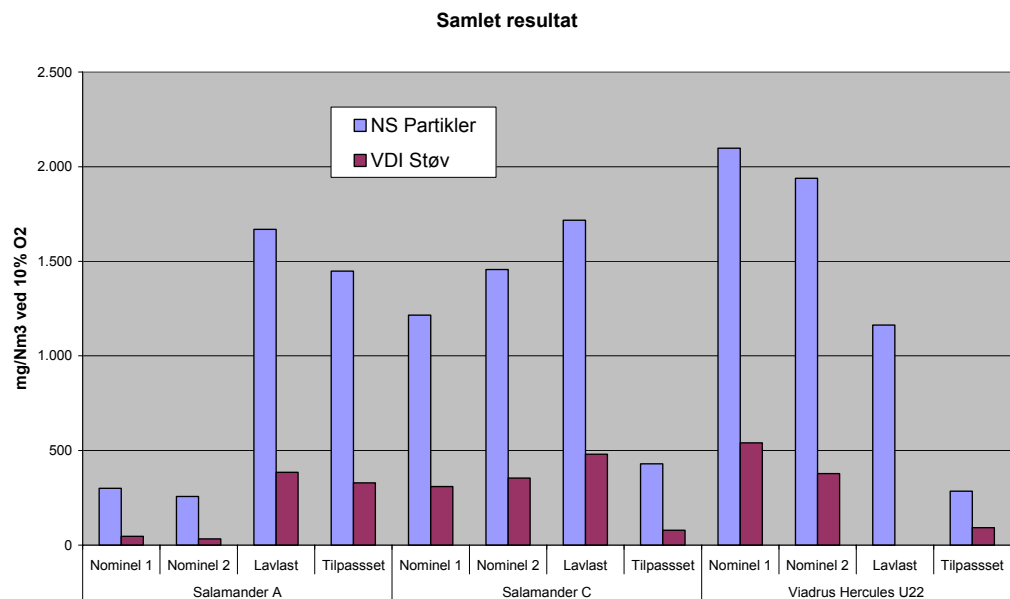
Emissioner og virkningsgrader for de tre prøveemner ligger langt fra bedste tilgængelige teknologi. Dog overrasker Salamander A ved rent faktisk at bestå EN303-5 Klasse 1, både med hensyn til brændetid, CO, OGC, støv og virkningsgrad. Klasse 1 er den ringeste kedelklasse men trods alt beregnet for kedler, der er konstrueret til biobrændsel, hvilket Salamanderen egentligt ikke er. Det skal bemærkes, at der er langt fra grænseværdierne i Klasse 1 til Klasse 3, som moderne kedler måles efter. Partikelkravet svarende til en brændeovn i NS3059 (10 g/kg træ) blev ligeledes overholdt. Ved lavere ydelse kan Salamander A dog ikke overholde nogen af klasserne eller de norske partikelkrav. Det lykkedes at skruer ydelsen ned til 55 % ved hel fyldning og 38 % ved tilpasset fyring på Salamander A, men emissionerne blev derved væsentligt forværret. Selv om laveste ydelse er tæt på standardens krav om maks. 30 % ydelse for kedler uden akkumuleringstank, kan det altså ikke anbefales.

Den større Salamander C kørte noget ringere end Salamander A. Ved nominal ydelse samt ved 63 % ydelse var emissionerne ekstremt høje (se Figur 61 og Figur 63), og virkningsgraden lav (se Figur 62). Det hjalp dog meget at anvende tilpasset fyring, hvor Klasse 1 (bortset fra brændetiden) blev overholdt, men det lykkedes kun at få ydelsen ned på 72 % af nominal, så drift uden akkumuleringstank kan ikke anbefales.

Viadrus Hercules placerer sig imellem de to andre. Ved nominal ydelse og er den ikke i nærheden af at bestå Klasse 1. Resultatet er en del ringere end forventet jf. Tabel 4. Det lykkedes slet ikke at reducere ydelsen ved at regulere kedlens luftspjæld, så lavlastprøven blev meget lig fuldlastprøven. Tilpasset fyring havde stor positiv virkning, idet emissionerne kom ned under Klasse 1-niveau, og virkningsgraden blev som Salamanderkedlerne, når de hver især kørte bedst. Men selv ved tilpasset fyring bør akkumuleringstank anvendes, da ydelsen slet ikke kan tilpasses tilstrækkeligt.

Forinden prøvningen blev der eksperimenteret med kedlernes sekundærluftspjæld. Det havde ingen umiddelbar gavnlig virkning på Salamanderkedlerne, hvorfor disse blev prøvet med spjældet lukket. På Viadruskedlen blev spjældet dog åbnet lidt, da det syntes at have gavnlig virkning. Dette fastindstillede spjæld kan dog samtidig være årsagen til, at ydelsen ikke kunne reguleres effektivt.

Det ses af Figur 64, at der er stor forskel på partikelemissionen målt efter NS3058 og støvemissionen målt efter VDI2066 på trods af, at målingerne er helt samtidige. Dette forklares med, at en stor del af partikelmassen består af tjæreforbindelser, som først kondenserer i fortyndingstunnellen og altså ikke bliver fanget i det varme in-stack-filter, som anvendes i VDI 2066. Forskellen på de to måleprincipper er i øvrigt blevet eftervist flere steder, bl.a. i Schweiz (1) og i Sverige (19). Dette betyder også at OGC målingen og partikelmålingen sandsynligvis overlapper hinanden, da begge dele indeholder tjære.



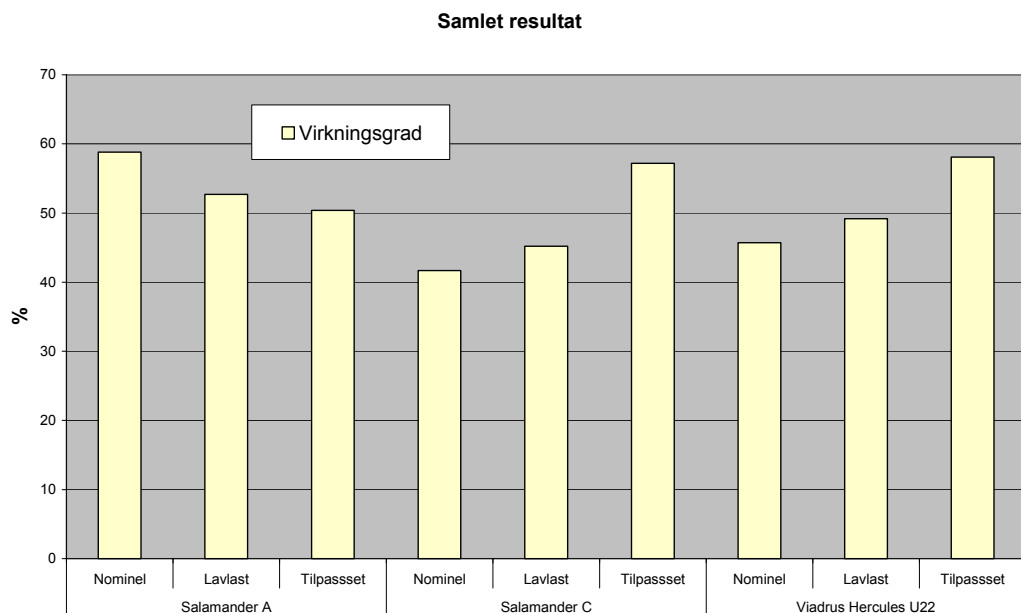
Figur 61 Målte partikelemissioner

Ud fra det sparsomme materiale som forelå ved projektets start, blev der gættet på, at partikelemissionerne ville nå op på  $3.276 \text{ mg/m}_n^3$  for de gamle kedler, med mulighed for en fordobling under drift uden akkumuleringstank. Under prøvningen som foregik med rent tørt træ, blev der dog kun målt  $2.098 \text{ mg/m}_n^3$  som det højeste. De fleste målinger placerede sig omkring  $1.500 \text{ mg/m}_n^3$ .

Ved tilpasset fyring kunne emissionerne som forventet reduceres en del, ned til  $3-400 \text{ mg/m}_n^3$ , i hvert fald for Salamander C og Viadrus Hercules. Undtagelse fra denne regel var den lille Salamander A, som brændte overraskende pænt ved fuld last, men hvor tilpasset fyring til gengæld kun forværrede tingene. Her skal det dog bemærkes, at tilpasset fyring også i høj grad er et spørgsmål om øvelse.

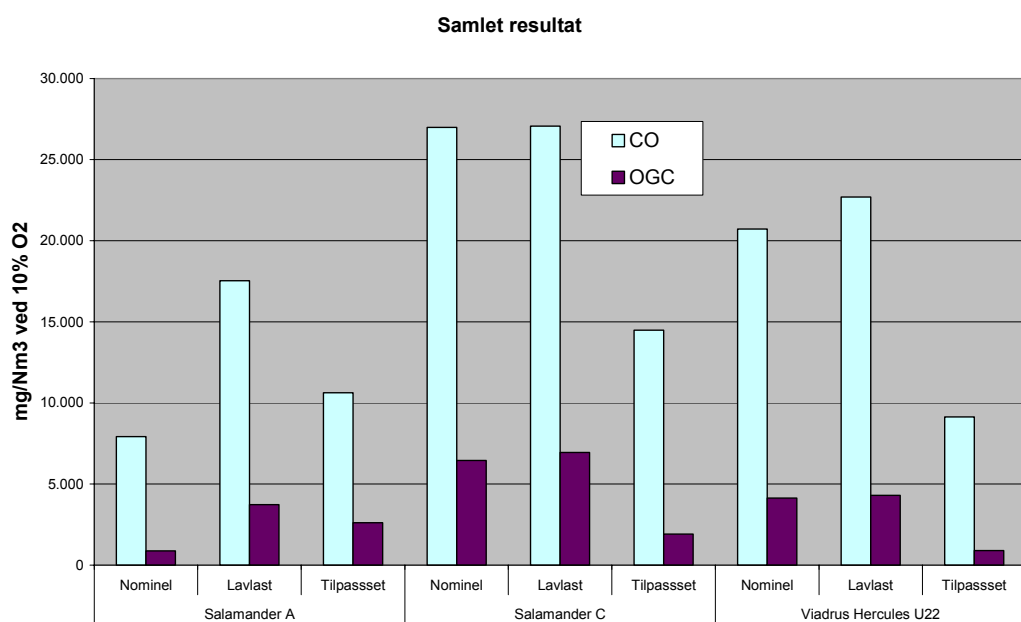
I sammenligning med de svenske tal på  $95 \text{ mg/MJ}$  ved nominel ydelse (Figur 14) er der målt betydeligt højere, nemlig  $134 \text{ mg/MJ}$  og  $587 \text{ mg/MJ}$ , afhængigt af målemetode. Ved lavlast var det svenske tal  $1275 \text{ mg/MJ}$ , men her er der kun målt hhv.  $227 \text{ mg/MJ}$  og  $736 \text{ mg/MJ}$ . Det vides ikke præcist, hvor langt ydelsen blev skruet ned i de svenske tests, men den har muligvis været lavere end i dette projekt, hvilket forklarer de højere emissioner. Ved tilpasset fyring er der målt hhv.  $81 \text{ mg/MJ}$  og  $350 \text{ mg/MJ}$ , hvor svenskerne fandt  $89-148 \text{ mg/MJ}$  (Figur 14 - Figur 15). Som nævnt er der dog pga. kedeltyperne ikke fuldstændig sammenlignelighed imellem de svenske og danske forsøg.

Virkningsgraderne lå lavere end forventet med et samlet gennemsnit på  $51,0 \%$ , hvor der var forventet ca.  $66,5 \%$ . Årsagen er bl.a. de meget høje røgtemperaturer, som i perioder når helt op på  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ , det høje luftoverskudstal samt de mange uforbrændte gasser i røgen.



Figur 62 Mål te virkningsgrader

Tilpasset firing gavne de virkningsgraden på Salamander C og Viadruskedlen, men ikke på Salamander A. Salamander A overholder Klasse 1-virkningsgraden i EN303-5 ved nominal ydelse. De to andre overholder kravet ved tilpasset firing (som dog ikke er tilladt i EN303-5).

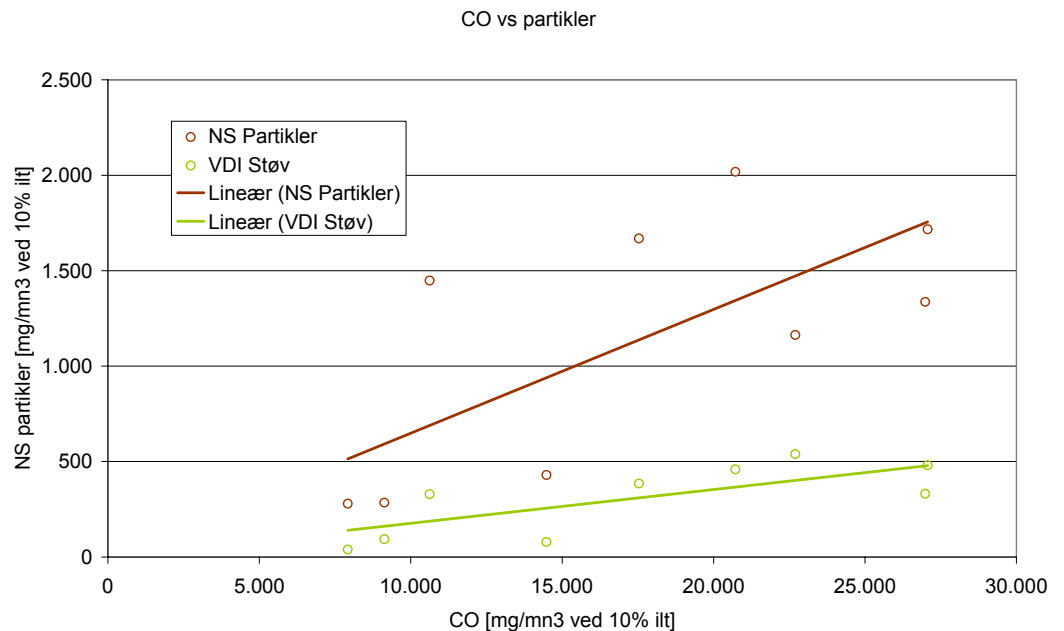


Figur 63 Emissioner af CO og OGC

Det blev i Afsnit 2.6 vurderet, at CO-emissionen ville nå op på 30.335  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ . Det højeste målte tal var dog kun 27.068  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ , mens det bedste resultat var 7.920  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ .

CO og OGC korrelerer nogenlunde med hinanden. Grænseværdien for støv, CO og OGC i EN303-5 Klasse 1 (ringeste klasse) blev overholdt på Salamander A ved nominal last og på Salamander C og Viadrus ved tilpasset fyring. Igen skal det understreges, at tilpasset fyring ikke er en tilladt prøvningsmetode i EN303-5.

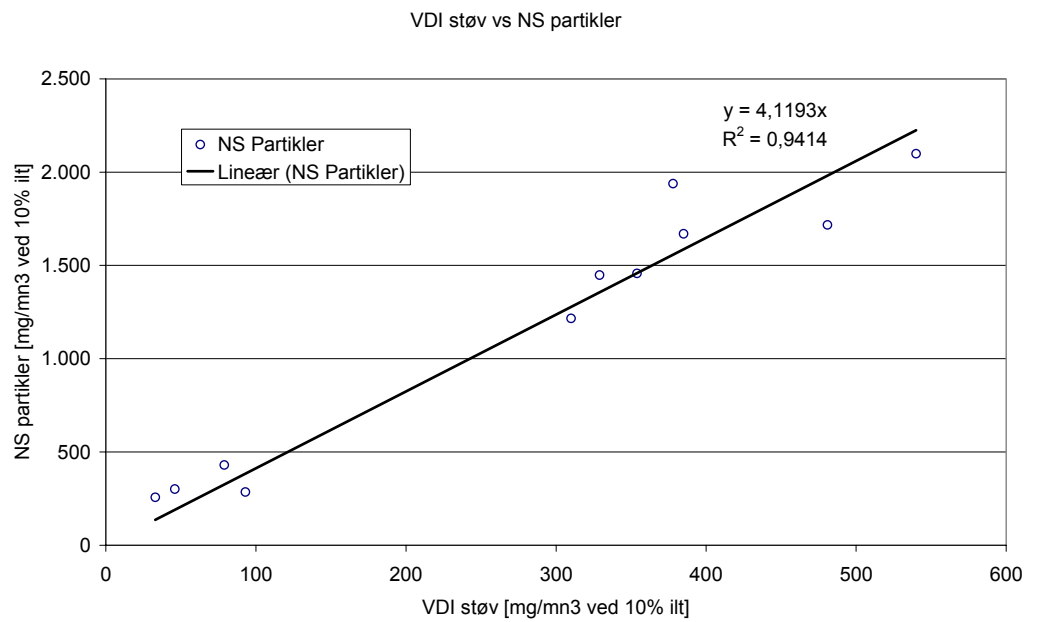
I forhold til de svenske tests (Figur 14 - Figur 15) stemmer CO-tallene overordentlig godt. Ved lavlast blev der målt 10.890  $\text{mg}/\text{MJ}$  mod svenskernes 10.800  $\text{mg}/\text{MJ}$ . Ved tilpasset fyring 5.540  $\text{mg}/\text{MJ}$  mod svenskernes 6.500  $\text{mg}/\text{MJ}$  og 4.620  $\text{mg}/\text{MJ}$ . Ved nominal ydelse var gennemsnittet dog højere, 9.000  $\text{mg}/\text{MJ}$  mod svenskernes 5.000  $\text{mg}/\text{MJ}$ .



Figur 64 Korrelation mellem støv/partikler og CO

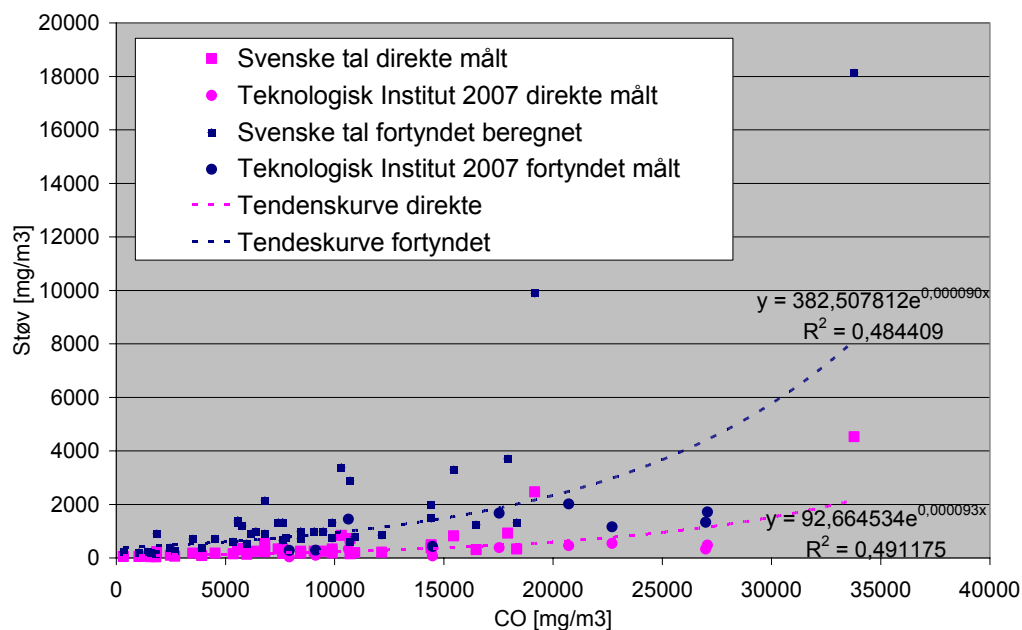
Figur 64 viser de målte partikeludslip som funktion af CO. Som det fremgår, er der forskel på niveauet i de to målemetoder, mens tendensen dog er den samme. Der kan dog ikke ses nogen eksponentiel sammenhæng, som tidligere tal (Figur 16) har tydet på.

De målte værdier for NS-partikler og VDI-støv synes at korrelere ganske godt med hinanden, som det ses i Figur 65. Man kan groft sige, at NS-målingerne ligger på en faktor 4,1 i forhold til VDI-målingerne. Faktoren er dog ikke helt konstant, idet den svinger mellem 3,1 og 7,8.



Figur 65 Korrelation mellem NS og VDI måling.

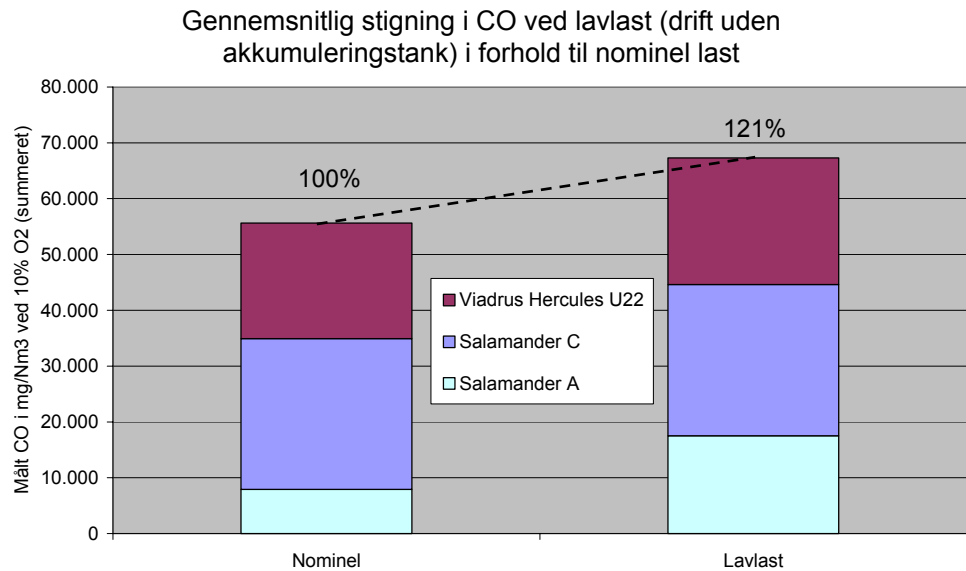
Når man sammenholder de målte værdier i Figur 64 med de svenske målinger i Figur 16, er det naturligvis problematisk, at der indgår forskellige målemetoder, men det overordnede billede er, at den tilsyneladende eksponentielle sammenhæng mellem CO og partikler er noget svagere end først antaget. Faktisk tyder de fleste målinger på en lineær sammenhæng, og det er især 2 svenske målinger med ekstremt høj partikelemission, som rykker billedet.



Figur 66 Ny korrelation mellem CO og partikler – samling og korrektion af oplysninger i Figur 16 og Figur 64

Selv med de nye oplysninger som er opnået i dette projekt, mangler der stadig partikelemissioner for nye og godkendte kedler uden akkumuleringstank, så det stadig til en vis grad er nødvendigt at gøre brug af CO/TSP-korrelationen. Det står imidlertid også klart efter dette projekt, at det er nødvendigt at omregne de svenske målinger, som er foretaget direkte i skorstenen, til en fortyndet værdi. Dette er gjort ved at gange værdierne med 4,1. Samtidigt er 2 stærkt afvigende målinger fjernet. Resultatet ses i Figur 66.

For så vidt lavlastprøven kan siges at udgøre en passende simulering af en manglende akkumuleringstank, gav dette på gamle kedler en stigning i CO på 21 %, hvilket stemmer meget godt overens med de 20 %, som var det indledende gæt. Idet det også stemmer med indikationerne i Figur 17 er det herefter antaget at dette forhold gælder tilsvarende for nyere og godkendte kedler.

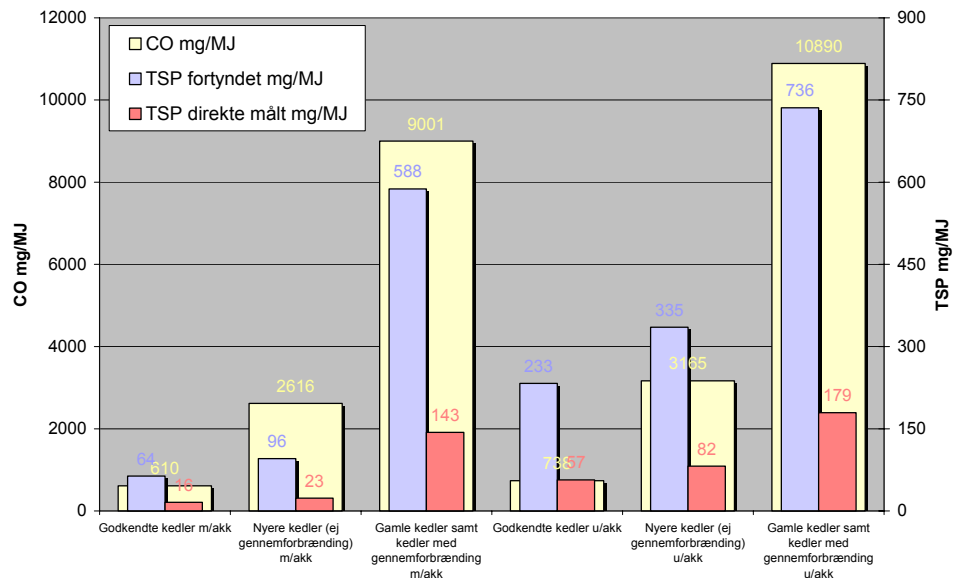


Figur 67 Akkumuleringstankens indvirkning på CO

Når man indsætter måleresultaterne fra dette projekt i Figur 19, fås en revideret oversigt over emissionsfaktorer. Her ses det, at emissionsfaktorerne for gamle kedler er lavere end først antaget, men dog markant højere end andre kedeltyper. Det er valgt at angive to emissionsværdier for partikler, da målemetoderne med og uden fortyndingstunnel afviger så meget.

I dette projekt er der på gamle kedler målt både fortyndede og ufortyndede værdier, mens der for nye og godkendte kedler kun haves ufortyndede målinger (Tabel 3 og Tabel 5). Disse er derfor også omregnet (ganget med 4,1) for at gøre billedet så komplet som muligt.





Figur 68 Reviderede emissionsfaktorer

Figur 68 viser det samlede billede, så vidt som det kan tilvejebringes på basis af dette projekt. Der er størst usikkerhed om partikelemissionen fra nyere samt godkendte kedler *uden* akkumuleringstank, da kun disse bygger på CO/TSP-korrelationer. Der skal bemærkes at alle data i figur 68 er omregnet til mg/MJ. Til omregning mellem mg/MJ og mg/m<sup>3</sup> ved 10 % O<sub>2</sub> anvendes faktoren 2,06 MJ/m<sup>3</sup>

Tabel 17 Oversigt over referencer til data præsenteret i Figur 68

Kedelkategori	Kilde (CO)	Kilde ufortyndet (støv)	Kilde fortyndet (partikler)
Godkendte kedler m/akk	Tabel 3 (eksisterende typeprøvninger) n=4	Tabel 3 (eksisterende typeprøvninger) n=4	Figur 65 (korrelationsfaktor)
Nyere kedler (ej gennemforbrænding) m/akk	Tabel 5 (afviste typeprøvninger, ej gennemforbr.) n=5	Tabel 5 (en afvist typeprøvning, ej gennemforbr.) n=1	Figur 65 (korrelationsfaktor)
Gamle kedler samt kedler med gennemforbrænding m/akk	Figur 63 (målt ved nominal ydelse) n=3	Figur 61 (målt ved nominal ydelse) n=3	Figur 61 (målt ved nominal ydelse) n=3
Godkendte kedler u/akk	Figur 67 (forhold mellem lavlast/nominal) n=3	Figur 65 (korrelationsfaktor)	Figur 66 (CO korrelation)
Nyere kedler (ej gennemforbrænding) u/akk	Figur 67 (forhold mellem lavlast/nominal) n=3	Figur 65 (korrelationsfaktor)	Figur 66 (CO korrelation)
Gamle kedler samt kedler med gennemforbrænding u/akk	Figur 63 (målt ved lavlast) n=3	Figur 61 (målt ved lavlast) n=3	Figur 61 (målt ved lavlast) n=3

## 5.1 Anbefaling til udfasning af forurenende kedler

Selv om det ikke har været muligt få alle kedeltyper målt efter præcist samme målemetode, kan det dog konkluderes, at en brændekedel bør skrottes, hvis den:

1. er årgang 1980 eller ældre,

*eller*

2. er en gennemforbrændingskedel (plade- eller støbejern uanset alder og udstyr).

Som hjælpekræterium i tvivlstilfælde kan følgende tommelfingerregel anvendes:

3. er en støbejernskedel uden mekanisk luftblæser,

Det er nødvendigt med flere operationelle kriterier, da det kan være vanskeligt at afgøre, om et enkelt kriterium er opfyldt.

Kriterium nr. 1 vælges, fordi kedler med omvendt forbrænding først kom frem omkring 1982, og underforbrændingskedler indtil da var universalkedler, som først senere blev optimeret til ren træfyring. Det kan dog være vanskeligt at bestemme en kedels årgang, da mærkepladen ofte vil være faldet af eller ulæselig.

Kriterium nr. 2 vælges, fordi alle gennemforbrændingskedler er uegnede til træfyring. Det kan dog for personer uden sagkundskab være særdeles vanskeligt at afgøre, om en kedel har gennemforbrænding.

Kriterium nr. 3 (hjelpekriterium) vælges, fordi stort set alle støbejernskedler har gennemforbrænding. De få undtagelser er udstyret med mekanisk luftblæser. Personer uden sagkundskab kan dog have svært ved at afgøre, om en kedel er af støbe- eller pladejern.

Salamanderkedlerne opfylder alle 3 kriterier. Viadrus Hercules opfylder 2. og 3. kriterium. Det er rimeligt sikkert, at en kedel, som opfylder blot ét kriterium, er uegnet til brændefyring.

## 6 Konklusion

Kedler med gennemforbrænding konstateres at have høje emissioner ved træfyring, uanset om de er nye eller gamle. Der er stor variation i de eksisterende undersøgelser af træfyrede kedlers emissioner, ligesom der også er betydelig usikkerhed omkring virkningen af akkumuleringstank samt den anvendte fyringsmetodes indvirkning på emissionerne. Der er endvidere konstateret stor forskel på partikelemissioner målt i fortyndingstunnel, og direkte i røgkanalen.

I dette projekt er der målt partikelemissioner på 257 - 2.098 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved brug af fortyndingstunnel og 33 - 540 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> ved måling direkte i varm røgkanal.

Samtidigt er der målt CO koncentrationer på 7.920 - 27.068 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> og organisk bundet kulstof på 871-6.937 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>. Referencetilstanden er 10 % O<sub>2</sub>.

De målte kedelvirkningsgrader var 42 - 59 %.

Sammenholdt med eksisterende data for andre typer af brændekedler konkluderes at gennemforbrændingskedler generelt hører til de mest forurenende brændekedler.

## 7 Referencer

1. Christian Gaegauf: "Comparison of in stack and dilution tunnel measurement of particulate emission – Summary of test results", CEN/TC 295/WG5 N 86/2007
2. Max Bjerrum: "Fremtidens brændeovn - målerapport", RTC Nordjylland, Teknologisk Institut og Ålborg Universitet 2007
3. Johansson, Linda m.fl.: "Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets", SP, Chalmers, IVL, 2004
4. Johansson, Linda m.fl.: "Emissioner från småskalig biobränsleledning", SP 2003
5. Johansson, Linda m.fl.: "Fältstudie av metan och andra viktiga komponenter från vedpannor", SP, IVL, TPS, 2006
6. Christian Gaegauf: "Up-to-date draft of EN TS on particulate emission test method Draft 03-05-2007", CEN/TC 295/WG5 N 87/2007
7. CEN/TC 295 WG5: "Residential solid fuel burning appliances - Emission test methods", CEN/TC 295 WG5024REV1 E
8. Johansson, Linda m.fl.: "Kvantifiering och karakterisering av faktisk utsläpp från småskalig biobränsleledning", SP, IVL
9. Kim Winther: "Prøvningsresultater for kedler afprøvet under tilskudsordningen", Prøvestationen for mindre Biobrændselskedler 1995-2007, [www.teknologisk.dk/911](http://www.teknologisk.dk/911)
10. C.L. Baumbach: "Fastbrændselskedlers egnethed for forskellige brændsler", Teknologisk Institut 1984
11. Anders Evald: "Brændeforbrug i Danmark En undersøgelse af antallet af og brændeforbruget i brændeovne, pejse, masseovne og brændekedler i danske boliger og sommerhuse" Force Technology September 2006
12. Lars Nikolaisen, Kim Winther, Inge-Lise Ustrup, Erling Fisher Mikkelsen, Anders Evald "Tiltag til energieffektivisering samt bestandsopgørelse for kul- og koksfyrede kedelanlæg" Konsulentopgave udført for Energistyrelsen Teknologisk Institut Center for Vedvarende Energi og Transport udarbejdet december 2005 til marts 2006
13. Lars Nikolaisen: "Brugerundersøgelse for brændeovne og fastbrændselskedler.", notat om datagrundlag og telefoninterview, Udført for Miljøstyrelsen af Teknologisk Institut. August 2005, Århus 8. august 2005, Rev: 8.9.2005
14. Illerup, Jytte: "Brændeovne og små kedler", Miljøprojekt nr. 1164, DMU 2007
15. D.F.J. De Forenede Jernstøberier A/S: "Centralkedler til varme", Katalog C3, 2. oplag, 1953
16. Applus+ Certification Technological Center: "EN303-5 Test report no. 06/32301734, ROCA P-30", November 28, 2006
17. Kim Winther: "Redegørelse for Salamander-kedlens lovlighed og egnethed til fyring med fast gasholdigt brændsel", udført for Miljøcenter Fyn af Teknologisk Institut, 22. marts 2002.
18. Johansson, Linda: "Current Situation Sweden", Nordic Workshop on particle emissions at testing of residential stoves, SP, oktober 2006.

19. Johansson, Linda: "Partikelmätning vid vedeldning -Jämförelse mellan provtagning i korsten och spådtunnel", SP SP Arbetsrapport 2007:15
20. Arbejdsrapport fra DMU nr. 212. Dioxin, PAH og partikler fra brændeovne. Glasius, M., Vikelsøe, J., Bossi, R., Andersen, H.V., Holst, J., Johansen, E. & Schleicher, O. 2005.
21. DMU arbejdsrapport nr. 235: Partikler og organiske forbindelser fra træfyrring - nye undersøgelser af udslip og koncentrationer Glasius, M., Konggaard, P., Stubkjær, J., Bossi, R., Hertel, O., Ketzell, M., Wählin, P., Schleicher, O. & Palmgren, F. 2007. Arbejdsrapport nr. 235.