

Miljødokumentation af  
aldehydkatalysatorer  
6. måling på Tørring Kraftvarmeværk

Målerapport 725.40

Januar 2006

Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG



# Miljødokumentation af aldehydkatalysatorer

## 6. måling på Tørring Kraftvarmeværk

Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG

Steen Andersen

Titel : Tørring Kraftvarmeværk

Rapport kategori : Målerapport

Forfatter : Steen Andersen

Dato for udgivelse : 09.01.2006

Copyright : Dansk Gasteknisk Center a/s

Sagsnummer : 725.40; H:\725\40-formaldehyd  
kat\HAN\_SDA\Målerapporter\Tørring6\Tørring\_021105.doc

Sagsnavn : Dokumentation af formaldehydkatalysator

*Brug af DGC's navn ved markedsføring og gengivelse af prøvningsrapporten med prøvningsresultater ud over i sin helhed er ikke tilladt uden DGC's skriftlige tilladelse.*

*Rapporten er kun gældende for det afprøvede apparat eller anlæg, som det er stillet til rådighed af klienten for prøvningen og i den tilstand, som det er beskrevet i denne rapport.*

*Bemærk: Alle usikkerheder angivet i denne rapport er absolutte på 95% konfidensniveau, medmindre andet er nævnt. Usikkerheder på emissionsværdier er uden prøvetagningsusikkerhed medmindre andet er nævnt.*

*Oktober 2003*

---

<b>Indholdsfortegnelse</b>	<b>Side</b>
1 Udførte målinger og resultater .....	4
2 Rekvirent.....	7
3 Opgavebeskrivelse .....	8
4 Anlægsbeskrivelse .....	9
4.1 Data for gasmotor .....	9
5 Måleresultater .....	10
5.1 Emission.....	10
5.2 Øvrige driftsdata .....	11

## 1 Udførte målinger og resultater

Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) har den 02.11.2005 udført energi- og miljømåling på en Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG gasmotor. Målingerne er udført som en del af projektet ”Dokumentation af formaldehydkatalysatorer”.

Målingerne er udført af Steen Andersen, Dansk Gasteknisk Center a/s.

Ydelsesdata rapporteres ikke i denne rapport, da dokumentationsprojektet alene vedrører miljømæssige forhold ved katalysatoren.

Der er udført emissionsmålinger før og efter katalysator af hver en times varighed ved fuldlastdrift, svarende til 5,1 MW.

Emissionsmålingen er udført som akkrediteret prøvning med DGC's måleudstyr, kalibreret før og kontrolleret efter målingen med medbragte certificerede prøvegasser. Måleresultaterne er registreret på computer ved hjælp af datalogger. Der rapporteres her måleresultater for følgende røggaskomponenter:

- O<sub>2</sub>
- CO
- NO (korttidsmåling)
- NO<sub>x</sub> (summen af NO og NO<sub>2</sub>)
- UHC (uforbrændt kulbrinte)

Der er yderligere foretaget følgende analyser af røggassen til bestemmelse af:

- Aldehyder

Røggasudtaget før katalysator er placeret i røggaskanal umiddelbart efter motoren, udtaget efter katalysator er placeret udendørs, efter lyddæmper og røggasveksler umiddelbart inden tilgang til skorsten.

I Tabel 1a og 1b er angivet timemiddelværdier for CO-, NO<sub>x</sub>- og UHC- (uforbrændt kulbrinte) -emissioner. Værdierne refererer til tør røggas.

*Tabel 1a: Timemiddelværdi for gasmotor før katalysator  
(tør røggas)*

		<b>Gennemsnit, middelværdier før katalysator</b>
O <sub>2</sub>	[%-vol.]	11,0 ± 0,3
CO <sup>1)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	578 ± 49 <sup>3)</sup>
NO <sub>x</sub> <sup>1)2)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	444 ± 21 <sup>3)</sup>
UHC <sup>1)4)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	1020 ± 56 <sup>3)</sup>

1) Omregnet til 5%-vol. O<sub>2</sub>

2) NO + NO<sub>2</sub>, NO vægtmæssigt regnet som NO<sub>2</sub>

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Total kulbrinte, C-ækvivalent

*Tabel 1b: Timemiddelværdi for gasmotor efter katalysator  
(tør røggas)*

		<b>Gennemsnit, middelværdier efter katalysator</b>
O <sub>2</sub>	[%-vol.]	11,0 ± 0,3
CO <sup>1)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	63 ± 6 <sup>3)</sup>
NO <sub>x</sub> <sup>1)2)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	446 ± 21 <sup>3)</sup>
UHC <sup>1)4)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	975 ± 55 <sup>3)</sup>

1) Omregnet til 5%-vol. O<sub>2</sub>

2) NO + NO<sub>2</sub>, NO vægtmæssigt regnet som NO<sub>2</sub>

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Total kulbrinte, C-ækvivalent

I Tabel 2a og 2b er angivet analyseresultaterne for aldehyder i røggassen.

*Tabel 2a Analyseresultater af aldehyd i røggas før katalysator*

	<b>Emission<sup>1)</sup></b>	<b>Usikkerhed</b>
	<b>Middel</b>	
	[mg/m <sup>3</sup> n]	[mg/m <sup>3</sup> n]
Formaldehyd	48,88	± 3,62
Acetaldehyd	3,30	± 0,24
Acrolein	0,014	± 0,001
Propanal	0,310	± 0,023
Acetone	0,203	± 0,015
Butanal <sup>2)</sup>	-	-
Pentanal <sup>2)</sup>	-	-
Hexanal <sup>2)</sup>	-	-
Benzaldehyd <sup>2)</sup>	-	-

1) Tør røggas, korrigeret til 5%-vol O<sub>2</sub>.

2) Kan ikke detekteres pga. interfererende top

*Tabel 2b Analyseresultater af aldehyd i røggas efter katalysator*

	<b>Emission<sup>1)</sup></b>	<b>Usikkerhed</b>
	<b>Middel</b>	
	[ mg/m <sup>3</sup> n ]	[ mg/m <sup>3</sup> n ]
Formaldehyd	23,79	± 1,76
Acetaldehyd	1,68	± 0,12
Acrolein <sup>2)</sup>	-	-
Propanal	0,145	± 0,011
Acetone	0,282	± 0,021
Butanal <sup>3)</sup>	-	-
Pentanal <sup>3)</sup>	-	-
Hexanal <sup>3)</sup>	-	-
Benzaldehyd <sup>3)</sup>	-	-

1) Tør røggas, korrigeret til 5%-vol O<sub>2</sub>.

2) Under detektionsgrænsen.

3) Kan ikke detekteres pga. interfererende top

## 2 Rekvirent

Styregruppen for projektet:

*Miljødokumentation af katalytisk reduktion af formaldehyd*

PSO nr. 5230

DGC projektnummer 725.40

### **3 Opgavebeskrivelse**

Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) har den 02.11.2005 udført energi- og miljømåling på en Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG gasmotor. Målingerne er udført som en del af projektet ”Dokumentation af formaldehydkatalysatorer”.

Målingerne er udført af Steen Andersen, Dansk Gasteknisk Center a/s.

Tørring Kraftvarmeværk var under målingerne repræsenteret ved Erling Nissen.

## 4 Anlægsbeskrivelse

Anlægget består af en nyinstalleret gasmotor i separat motorcelle. I hal ved siden af motorcelle er lyddæmper placeret, mens katalysator og røggasveksler er placeret i nybygget hal ved siden af motorcelle.

### 4.1 Data for gasmotor

**Gasmotor:**

Type:	Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG
Serienr.:	17003
Nominel ydelse:	5,1 MW
Omdrejningstal:	750
Driftstimet al, motor:	1351
Driftstimet al, katalysator:	8228
Tænding:	12° FTDP (opl. af Rolls Royce juni 2005)
Idriftsættelse, katalysator:	November 2003
Idriftsættelse, motor:	Maj 2005

## 5 Måleresultater

### 5.1 Emission

Røggasudtaget før katalysator er placeret i røggaskanal umiddelbart efter motoren, udtaget efter katalysator er placeret udendørs efter katalysator, lyddæmper og røggasveksler umiddelbart inden tilgang til skorsten.

Timemiddelværdier for emissionsmålingerne fremgår af tabel 3. Alle anførte måleværdier refererer til tør røggas. Måleværdierne er vist grafisk på side 12 – 13.

Tabel 3 Emissionsmiddelværdier for gasmotor

		middelværdi før katalysator	middelværdi efter katalysator
O <sub>2</sub>	[%-vol.]	11,0 ± 0,3	11,0 ± 0,3
CO	[ppm]	287 ± 24	31 ± 3
NO <sub>x</sub> <sup>1)</sup>	[ppm]	133 ± 5	134 ± 5
UHC <sup>2)</sup>	[ppm]	1182 ± 55	1132 ± 54

1) NO + NO<sub>2</sub>.

2) Total kulbrinte, metanækvivalent.

NO-andelen udgjorde ca. 78%-vol. af NO<sub>x</sub> (korttidsmåling) før katalysator og ca. 87%-vol. efter katalysator. Røggastemperaturen ved målepunktet før katalysator 414°C og 65°C efter katalysator.

Bestemmelse af usikkerhed for målingerne fremgår af usikkerhedsbudgetter side 14 – 15.

## 5.2 Øvrige driftsdata

I Tabel 4 er anført en række andre data for anlæggets drift under målingen.

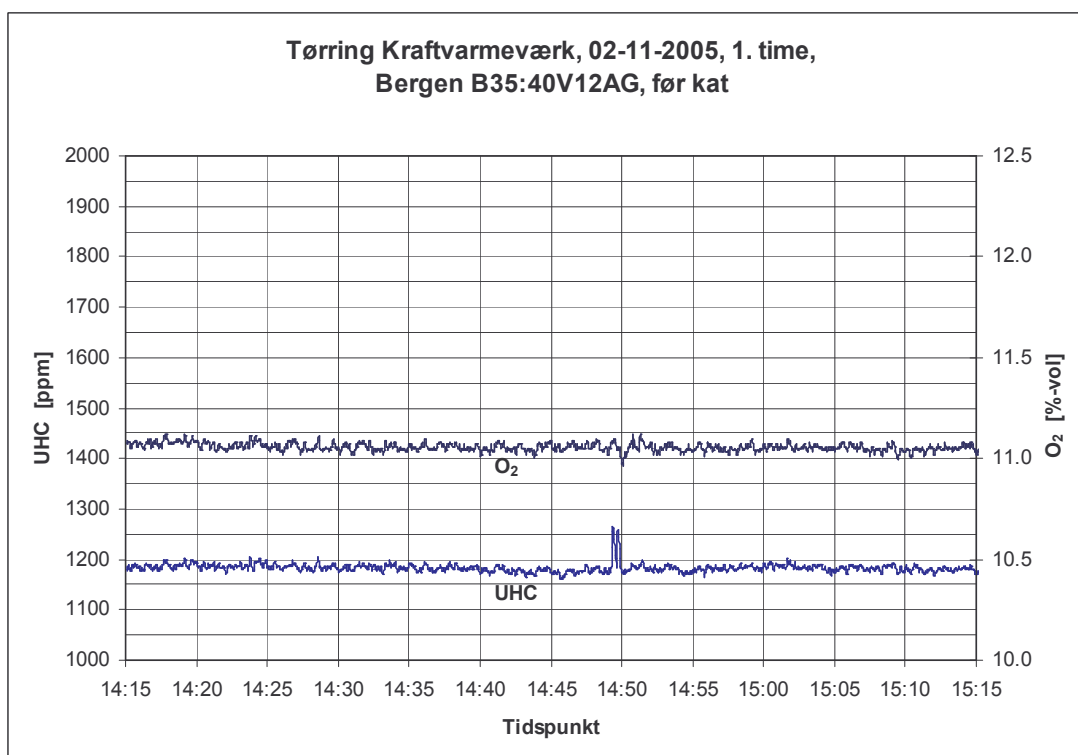
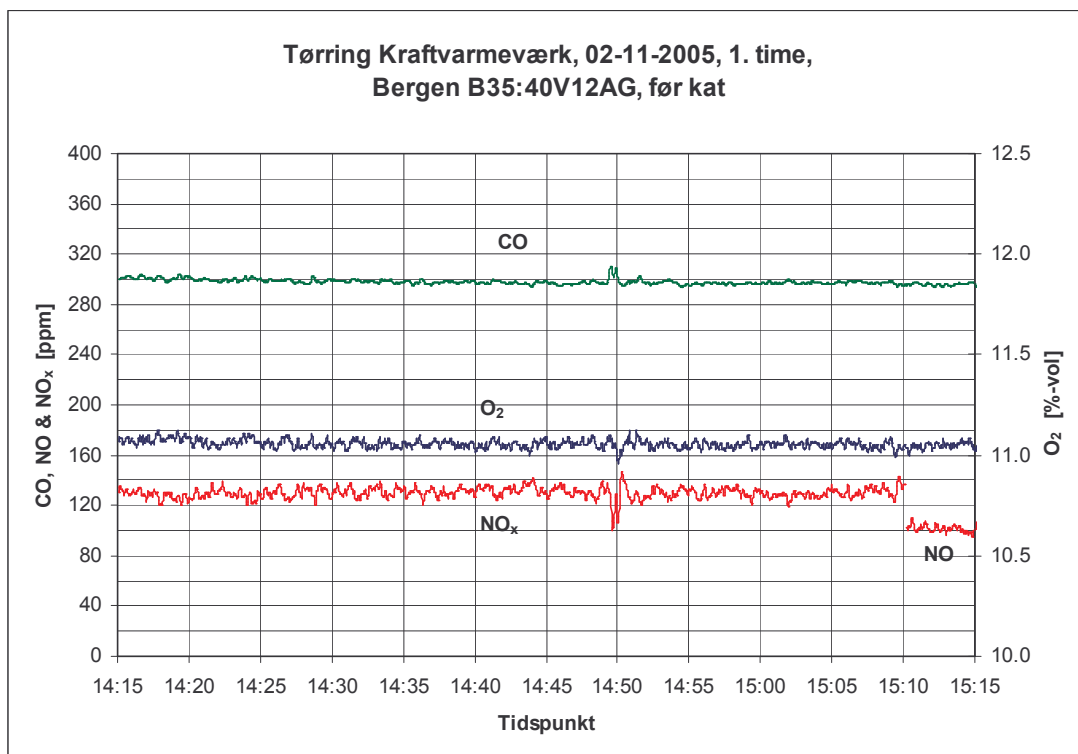
*Tabel 4 Supplerende målinger*

<b>Temperatur, udendørs<sup>2)</sup></b>	[°C]	11
<b>Relativ fugtighed, udendørs<sup>2)</sup></b>	[% RH]	87
<b>Barometerstand<sup>2)</sup></b>	[hPa]	1008
<b>Temperatur, motorcelle<sup>2)</sup></b>	[°C]	19
<b>Fugtighed, motorcelle<sup>2)</sup></b>	[% RH]	64
<b>Udst. temp, før turbolader A/B<sup>1)</sup></b>	[°C]	559/559
<b>Forkammergastryk<sup>1)</sup></b>	[bar]	2,9
<b>Ladelufttryk<sup>1)</sup></b>	[bar]	2,4
<b>Ladelufttemp.<sup>1)</sup></b>	[°C]	54

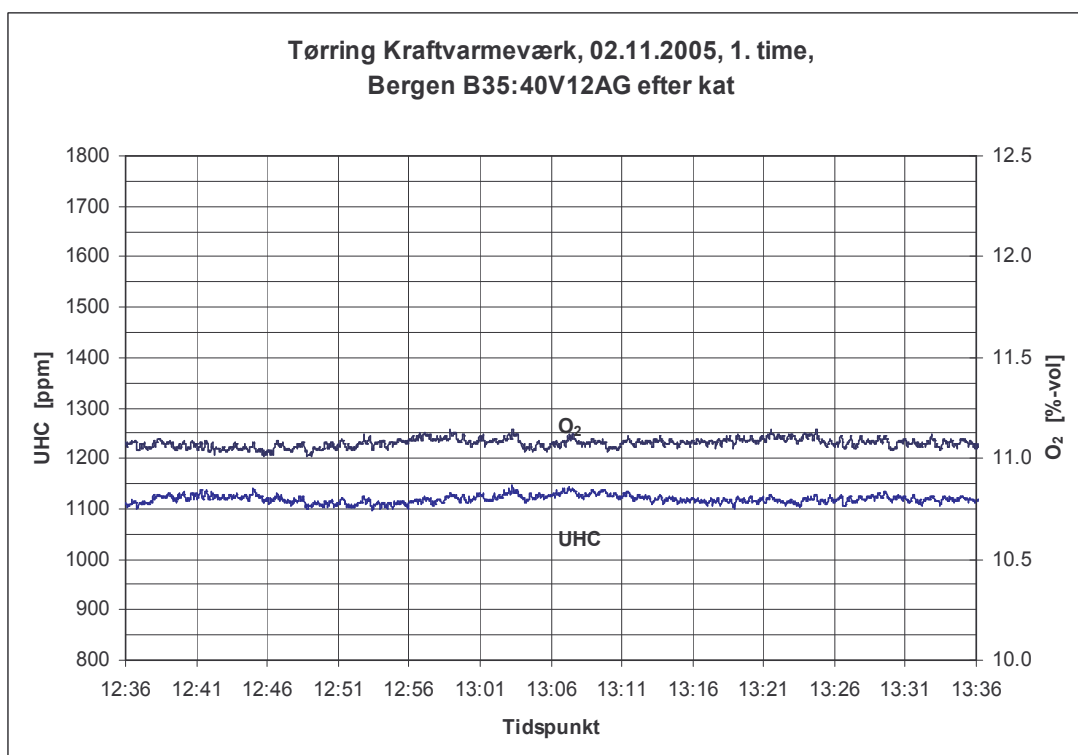
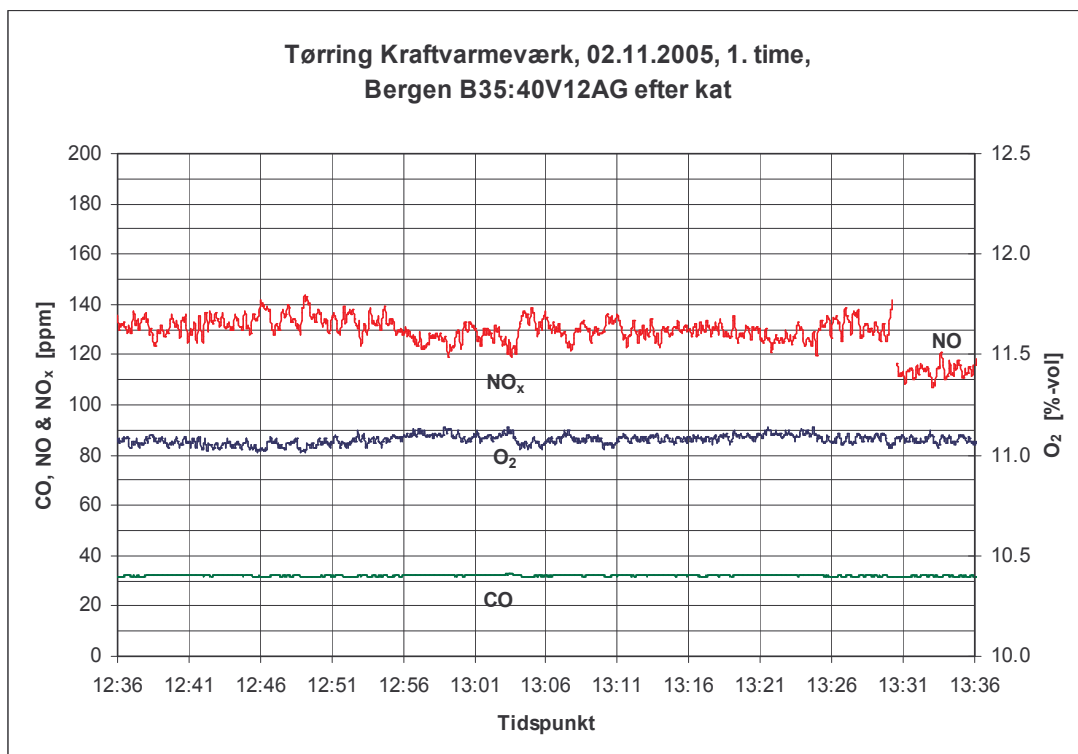
1) Baseret på de på værket installerede målere / SRO-anlæg

2) Aflæst på DGC's medbragte måleinstrumenter

## Måleværdier, grafisk præsentation, før katalysator



## Måleværdier, grafisk præsentation, efter katalysator



## Usikkerhedsberegninger for emissionsmålinger før katalysator

Tørring Kraftvarmeværk / 02-11-2005

1. time

Bergen B35:40V12AG, før kat

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

Værdi: Bidrag: Korrigeret værdi:

Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	17	
<b>O2-måling (Servomex 572):</b>			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	11.0
Temperatur:	± (0.05+0.2* $\sqrt{t}$ rum-t cal) % rel.	t rum °C	17
Liniaritet:	± 0.2 % abs.		
Samlet usikkerhed:		±vol.%	0.3

O2-effekt ved omregning:  $\pm (1 - (20.95 - O_2 \text{ mid.}) / (20.95 - O_2 \text{ min.})) * 100$  ± % rel. 2.9

<b>CO-måling (Hartmann &amp; Braun, URAS 14):</b>			
Måleområde, fs *):		ppm	287
		ppm	1999
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs		
Temperatur:	± (0.3* $\sqrt{t}$ rum-t cal) % rel.	t rum °C	17
Liniaritet:	± 1 % fs		
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	23.1
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	24.6

578 mg/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>46 mg/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>49 mg/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>

\*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spangas

<b>NOx-måling (Thermo Environmental Corp. 42CHL):</b>			
Måleområde, fs:		ppm	130
		ppm	200
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs		
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	17
Liniaritet:	± 1 % fs		
NO		NO ppm	102
NO2 konvertering:	- 0.05*NO2ppm ± 0.05*NO2ppm abs.	NO2 ppm	29
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		
Tværfølsomhed H2O:	- 0.5*(0.6+0.06* $\sqrt{td}$ )% ± 0.5 % rel.	td °C	2.5
Tværfølsomhed NH3:	+0.6*NH3ppm ± 0.2*NH3ppm % abs.	NH3 ppm	0
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
NOx korrigeret:		ppm	133.2
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	5.0
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	6.4

444 mg/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>17 mg/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>21 mg/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>

<b>UHC-måling (AAL, 523):</b>			
Måleområde, fs:		ppm	1182
		ppm	2500
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)		
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	17
Liniaritet:	± 1 % fs		
Repetierbarhed:	± 1 % fs		
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	54.7
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	64.8

1020 mg C/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>47 mg C/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>56 mg C/m<sup>3</sup>n ved 5%O<sub>2</sub>

UHC i % af indfyret	% af indf.	2.06
Usikkerhed på UHC i % af indfyret	±% relativt	5.41
Usikkerhed på UHC i % af indfyret	±%-point	0.11

## Usikkerhedsberegninger for emissionsmålinger efter katalysator

Tørring Kraftvarmeværk / 02.11.2005

1. time

Bergen B35:40V12AG efter kat

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

Værdi: Bidrag: Korrigeret værdi:

Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	16		
<b>O2-måling (Servomex 572):</b>				
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	11.0	1.8
Temperatur:	± (0.05+0.2* t rum-t cal ) % rel.	t rum °C	17	0.2
Linieritet:	± 0.2 % abs.			1.8
Samlet usikkerhed:		±vol.%		0.3
O2-effekt ved omregning:	$\pm (1 - (20.95 - O_2 \text{ mid.}) / (20.95 - O_2 \text{ min.})) * 100$			± % rel. 2.9
<b>CO-måling (Hartmann &amp; Braun, URAS 14):</b>				
Måleområde, fs *):		ppm	31	
		ppm	240	63 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs			3.9
Temperatur:	± (0.3* t rum-t cal ) % rel.	t rum °C	17	0.2
Linieritet:	± 1 % fs			7.7
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.			2.0
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	2.8	6 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	2.9	6 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spangas				
<b>NOx-måling (Thermo Environmental Corp. 42CHL):</b>				
Måleområde, fs:		ppm	132	
		ppm	200	
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs			1.5
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	17	2.0
Linieritet:	± 1 % fs			1.5
NO		NO ppm	114	
NO2 konvertering:	- 0.05*NO2ppm ± 0.05*NO2ppm abs.	NO2 ppm	18	0.7
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		5.7	0.1
Tværfølsomhed H2O:	- 0.5*(0.6+0.06*td)% ± 0.5 % rel.	td °C	2.5	0.5
Tværfølsomhed NH3:	+0.6*NH3ppm ± 0.2*NH3ppm % abs.	NH3 ppm	0	0.0
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.			2.0
NOx korrigeret:		ppm	134.1	446 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	4.9	16 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	6.3	21 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
<b>UHC-måling (AAL. 523):</b>				
Måleområde, fs:		ppm	1132	
		ppm	2500	975 mg C/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)			2.2
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	17	2.0
Linieritet:	± 1 % fs			2.2
Repetérbarhed:	± 1 % fs			2.2
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.			2.0
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	53.9	46 mg C/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	63.3	55 mg C/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
UHC i % af indfyret		% af indf.	1.97	
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±% relativt	5.53	
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±%-point	0.11	