

Miljødokumentation af  
aldehydkatalysatorer  
2. måling på Tørring Kraftvarmeværk

Målerapport 725.40

Marts 2004

Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG

*For ydelser af enhver art udført af Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) gælder:*

- *at DGC er ansvarlig i henhold til "Almindelige bestemmelser for teknisk rådgivning & bistand (ABR 89)", som er vedtaget for opgaven, med mindre andet aftales skriftligt.*
- *at erstatningsansvaret for fejl, forsømmelser eller skader over for rekvirenten eller tredjemand gælder pr. ansvarspådragende fejl eller forsømmelse. Ansvaret er dog altid begrænset til maksimum 100% af det vederlag, som DGC har modtaget for den pågældende opgave. Rekvirenten holder DGC skadesløs for alle tab, udgifter og erstatningskrav, der måtte overstige DGC's hæftelse.*
- *at DGC skal - uden begrænsning - omlevere egne ydelser i forbindelse med fejl, mangler og forsømmelser i DGC's materiale. Dette gælder dog ikke længere end 5 år fra opgavens udførelse.*
- *at rekvirenten er ansvarlig for, at de iht. lov gældende sikkerheds- og arbejdsmiljøregler hos rekvirenten kan overholdes af DGC i forbindelse med opgavens udførelse. Såfremt DGC må standse, afbryde og/eller udsætte en opgave, fordi disse regler ikke kan overholdes, må rekvirenten bære DGC's eventuelle ekstraomkostninger i forbindelse hermed.*

*Marts 2000*

# Miljødokumentation af aldehydkatalysatorer

## 2. måling på Tørring Kraftvarmeværk

Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG

Henrik Andersen og Steen Andersen

Titel : Tørring Kraftvarmeværk

Rapport kategori : Målerapport

Forfatter : Henrik Andersen og Steen Andersen

Dato for udgivelse : 29.03.2004

Copyright : Dansk Gasteknisk Center a/s

Sagsnummer : 725.40; H:\725\40-formaldehyd kat\HAN\_SDA\Målerapporter\Tørring2\RapportTørring\_230204.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*

**Indholdsfortegnelse****Side**

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 23.02.2004 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 Henrik Andersen og 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 (kortidsmåling)
- NO<sub>x</sub> (summen af NO og NO<sub>2</sub>)
- UHC (uforbrændt kulbrinte)
- CO<sub>2</sub>

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

- Lugt
- 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>-, UHC (uforbrændt kulbrinte) og CO<sub>2</sub>-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]	500 ± 19 <sup>3)</sup>
NO <sub>x</sub> <sup>1)2)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	537 ± 25 <sup>3)</sup>
UHC <sup>1)4)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	811 ± 50 <sup>3)</sup>
CO <sub>2</sub>	[%-vol.]	5,7 ± 0,2

- 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]	54 ± 6 <sup>3)</sup>
NO <sub>x</sub> <sup>1)2)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	533 ± 25 <sup>3)</sup>
UHC <sup>1)4)</sup>	[mg/m <sup>3</sup> n]	775 ± 49 <sup>3)</sup>
CO <sub>2</sub>	[%-vol.]	5,7 ± 0,2

- 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	37,02	± 2,74
Acetaldehyd	3,18	± 0,24
Acrolein	0,007	± 0,004
Propanal	0,31	± 0,03
Acetone	0,35	± 0,03
Butanal	0,07	± 0,01
Pentanal <sup>2)</sup>	-	-
Hexanal <sup>2)</sup>	-	-
Benzaldehyd <sup>2)</sup>	-	-

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

2) Under detektionsgrænsen.

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	18,24	+/- 1,35
Acetaldehyd	1,61	+/- 0,12
Acrolein <sup>2)</sup>	-	-
Propanal	0,16	+/- 0,01
Acetone	0,31	+/- 0,02
Butanal	0,030	+/- 0,002
Pentanal <sup>2)</sup>	-	-
Hexanal <sup>2)</sup>	-	-
Benzaldehyd <sup>2)</sup>	-	-

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

2) Under detektionsgrænsen.

Der er udtaget lugtprøver som dobbeltbestemmelse før og efter katalysator.

I tabel 3 ses resultater af lugtmålingerne.

Tabel 3 Lugtmåleresultater

		<b>Prøve 1</b>	<b>Prøve 2</b>	<b>Middel</b>
<b>Før katalysator</b>	[LE/m <sup>3</sup> (20°C)]	8000	6200	7100
<b>Efter katalysator</b>	[LE/m <sup>3</sup> (20°C)]	5100	4600	4850

## 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 23.02.2004 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 Henrik Andersen og Steen Andersen, Dansk Gasteknisk Center a/s.

Tørring Kraftvarmeværk var under målingerne repræsenteret ved Erling Nissen.

Denne målerapport er kvalitetssikret af Henrik Andersen, Dansk Gasteknisk Center a/s.

## 4 Anlægsbeskrivelse

For anlægsbeskrivelse henvises til målerapport af den 23.01.2004 vedrørende 1. måling på Tørring Kraftvarmeværk.

### 4.1 Data for gasmotor

**Gasmotor:**

Driftstimetall, motor: 2109

Driftstimetall, katalysator: 1671

Tænding: 12° FTDP

Idriftsættelse: November 2003

## 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 4. Alle anførte måleværdier refererer til tør røggas. Måleværdierne er vist grafisk på side 12 – 13.

*Tabel 4 Emissionsmiddelværdier for gasmotor*

		<b>middelværdi før katalysator</b>	<b>middelværdi efter katalysator</b>
O <sub>2</sub>	[%-vol.]	11,0 ± 0,3	11,0 ± 0,3
CO	[ppm]	250 ± 6	27 ± 3
NO <sub>x</sub> <sup>1)</sup>	[ppm]	162 ± 6	161 ± 6
UHC <sup>2)</sup>	[ppm]	945 ± 51	905 ± 51
CO <sub>2</sub>	[%-vol.]	5,7 ± 0,2	5,7 ± 0,2

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

2) Total kulbrinte, metanækvivalent.

NO-andelen udgjorde ca. 79%-vol. af NO<sub>x</sub> (korttidsmåling) før katalysator og ca. 92%-vol. efter katalysator. Røggastemperaturen ved målepunktet før katalysator 411°C og ca. 67°C efter.

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

## 5.2 Øvrige driftsdata

I Tabel 6 er anført en række andre data for anlæggets drift under målingen.

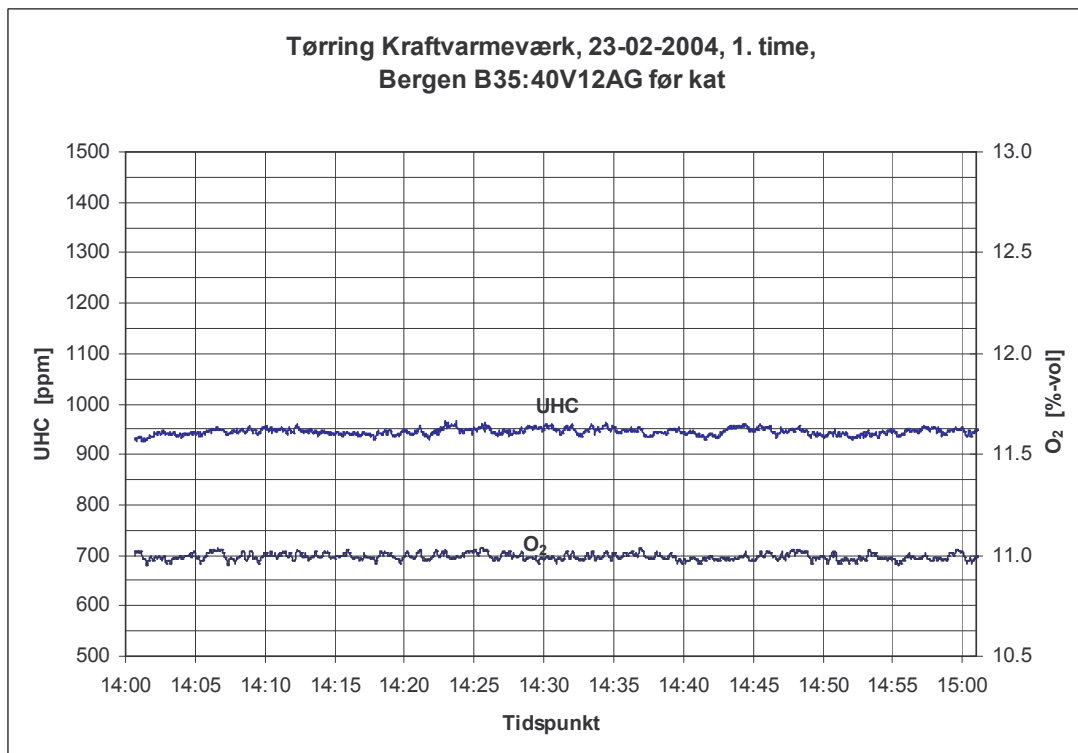
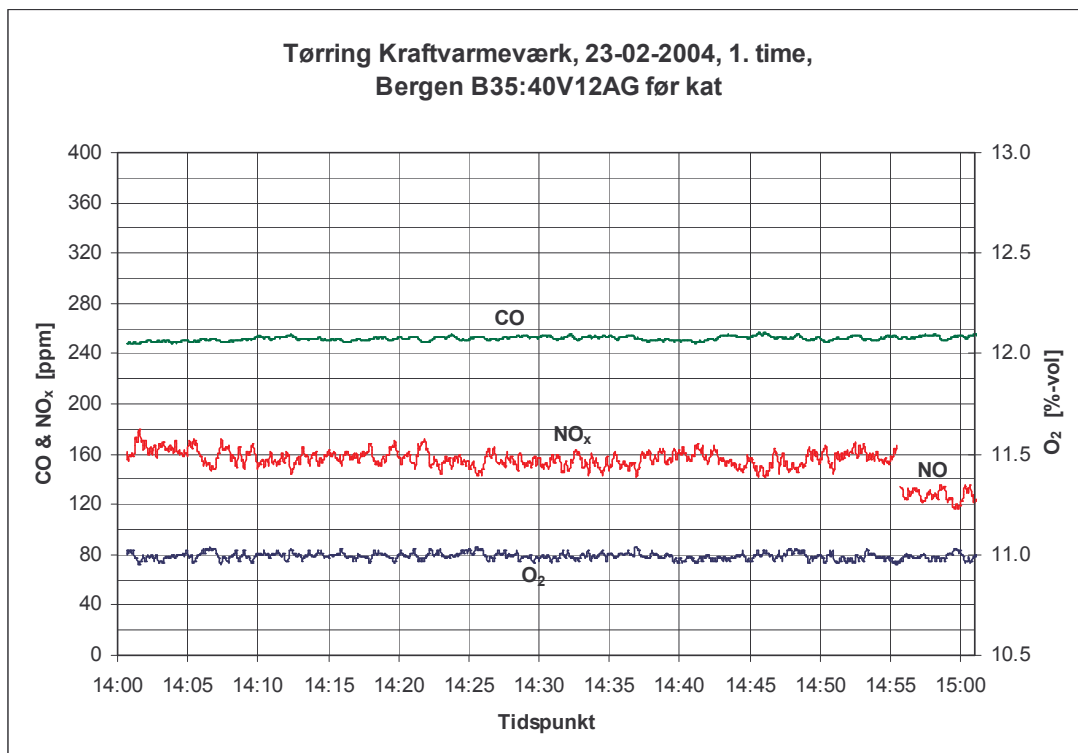
Tabel 6 Supplerende målinger

Temperatur, udendørs <sup>2)</sup>	[°C]	2
Relativ fugtighed, udendørs <sup>2)</sup>	[% RH]	52 – 55
Barometerstand <sup>2)</sup>	[hPa]	1007
Temperatur, motorcelle <sup>2)</sup>	[°C]	15 – 17
Fugtighed, motorcelle <sup>2)</sup>	[% RH]	20 – 23
Udst. temp, før turbolader A/B <sup>1)</sup>	[°C]	553/554
Udst. efter turboladere <sup>1)</sup>	[°C]	417
Forkammergastryk <sup>1)</sup>	[bar]	2,80
Hovedgastryk <sup>1)</sup>	[bar]	3,53
Ladelufttryk <sup>1)</sup>	[bar]	2,42
Ladelufttemp. <sup>1)</sup>	[°C]	53

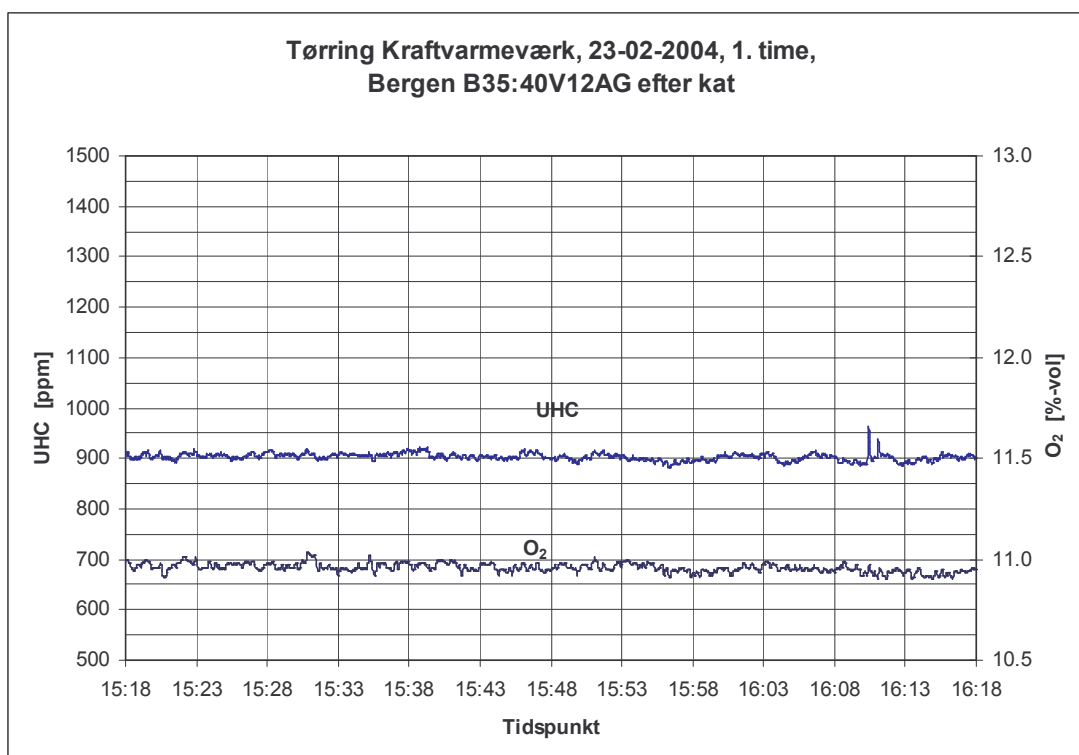
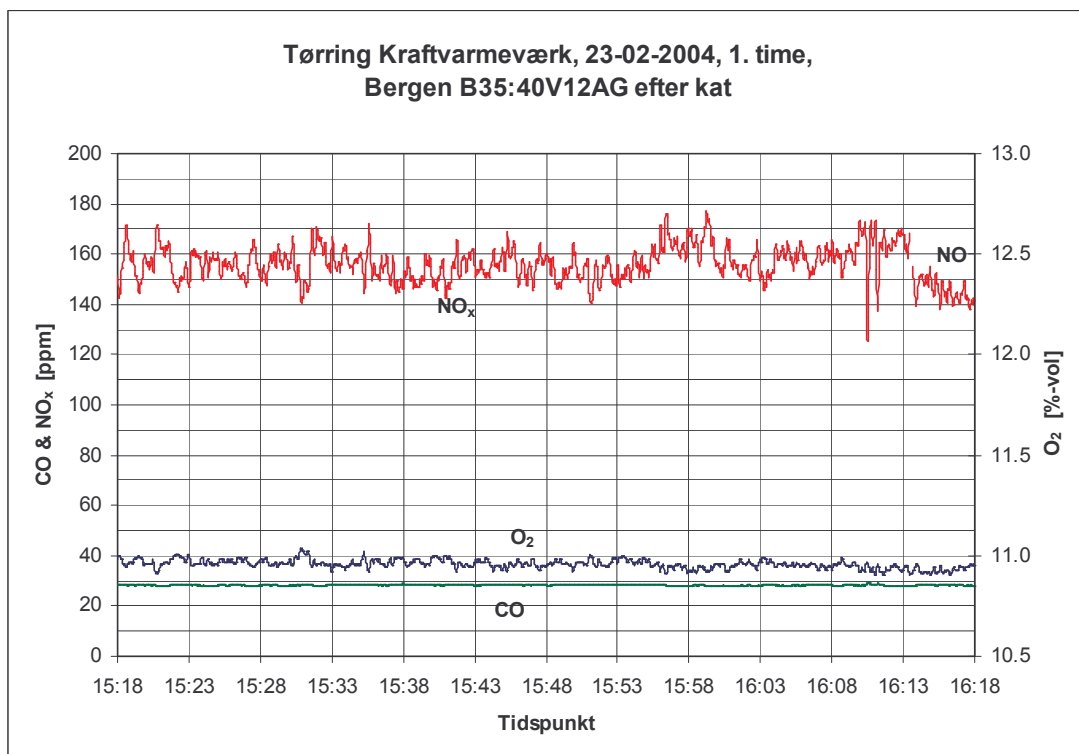
1) Baseret på de på værket installerede målere / SRO-anlæg

2) Aflæst på DGC's medbragte måleinstrumenter

## Måleværdier, grafisk præsentation, før katalysator



## Måleværdier, grafisk præsentation, efter katalysator



## Usikkerhedsberegninger for emissionsmålinger før katalysator

Tørring Kraftvarmeværk / 23-02-2004

1. time

Bergen B35:40V12AG før kat

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING:

Værdi: Bidrag: Korrigeret værdi:

Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	28	
<b>O2-måling (Servomex 572):</b>			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	11.0
Temperatur:	± (0.05+0.2* t rum-t cal ) % rel.	t rum °C	28
Liniaritet:	± 0.2 % abs.		
Samlet usikkerhed:		±vol.%	0.3
O2-effekt ved omregning: ± (1 - (20.95-O2 mid.)/(20.95-O2min.))*100			
		± % rel.	2.9
<b>CO-måling (Hartmann &amp; Braun. URAS 14):</b>			
Måleområde, fs *):		ppm	250
		ppm	249
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs		0.5
Temperatur:	± (0.3* t rum-t cal ) % rel.	t rum °C	28
Liniaritet:	± 1 % fs		1.0
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		2.0
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	5.7
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	9.3
*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spangas			
<b>NOx-måling (Thermo Environmental Inst., 10 A/R):</b>			
Måleområde, fs:		ppm	160
		ppm	250
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs		1.6
Temperatur:	± 2% rel.	t rum °C	28
Liniaritet:	± 1 % fs		1.6
NO		NO ppm	127
NO2 konvertering:	- 0.03*NO2ppm ± 0.03*NO2ppm abs.	NO2 ppm	32
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		5.7
Tværfølsomhed H2O:	- 0.5*(0.6+0.06*td)% ± 0.5 % rel.	td °C	2.5
Tværfølsomhed NH3:	+0.6*NH3ppm ± 0.2*NH3ppm % abs.	NH3 ppm	0
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		2.0
NOx korigeret:		ppm	162.1
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	6.0
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	7.6
<b>UHC-måling (AAL 523):</b>			
Måleområde, fs:		ppm	945
		ppm	2500
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)		2.6
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	28
Liniaritet:	± 1 % fs		2.6
Repetérbarhed:	± 1 % fs		2.6
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		2.0
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	50.9
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	57.9
UHC i % af indfyret		% af indf.	1.64
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±% relativt	6.07
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±%-point	0.10
<b>CO2-måling (Hartmann &amp; Braun. URAS 14):</b>			
Måleområde, fs:		vol.%	5.7
		vol.%	12
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs		1.1
Temperatur:	± (0.3* t rum-t cal ) % rel.	t rum °C	28
Liniaritet:	± 1 % fs		2.1
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		2.0
Samlet usikkerhed:		±vol.%	0.2

Modificeret 20. Oktober 2000 af L.JA.

## Usikkerhedsberegninger for emissionsmålinger efter katalysator

Tørring Kraftvarmeværk / 23-02-2004

1. time

Bergen B35:40V12AG efter kat

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

	Værdi:	Bidrag:	Korrigeret værdi:
Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	28	
<b>O2-måling (Servomex 572):</b>			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	1.8	
Temperatur:	± (0.05+0.2*(t rum-t cal)) % rel.	t rum °C	28
Liniaritæt:	± 0.2 % abs.	1.8	
Samlet usikkerhed:	±vol. %	0.3	
O2-effekt ved omregning:	± (1 - (20.95-O2 mid.)/(20.95-O2min.))*100	± % rel.	2.9
<b>CO-måling (Hartmann &amp; Braun, URAS 14):</b>			
Måleområde, fs *):	ppm	27	54 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
	ppm	249	
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs	4.6	
Temperatur:	± (0.3*(t rum-t cal)) % rel.	t rum °C	28
Liniaritæt:	± 1 % fs	9.2	
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 Inst., 10 A/R):</b>			
Måleområde, fs:	ppm	159	
	ppm	250	
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs	1.6	
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	28
Liniaritæt:	± 1 % fs	1.6	
NO	NO ppm	147	
NO2 konvertering:	- 0.03*NO2ppm ± 0.03*NO2ppm abs.	NO2 ppm	13
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		5.7
Tværfølsomhed H2O:	- 0.5*(0.6+0.06*td)% ± 0.5 % rel.	td °C	2.5
Tværfølsomhed NH3:	+0.6*NH3ppm ± 0.2*NH3ppm % abs.	NH3 ppm	0
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.	2.0	
NOx korrigeret:	ppm	161.4	533 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:	±ppm	5.9	19 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm	7.5	25 mg/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
<b>UHC-måling (AAL, 523):</b>			
Måleområde, fs:	ppm	905	775 mg C/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
	ppm	2500	
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)	2.8	
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	28
Liniaritæt:	± 1 % fs	2.8	
Repetérbarhed:	± 1 % fs	2.8	
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.	2.0	
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm	50.3	43 mg C/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm	56.8	49 mg C/m <sup>3</sup> n ved 5%O <sub>2</sub>
UHC i % af indfyret	% af indf.	1.57	
Usikkerhed på UHC i % af indfyret	±% relativt	6.22	
Usikkerhed på UHC i % af indfyret	±%-point	0.10	
<b>CO2-måling (Hartmann &amp; Braun, URAS 14):</b>			
Måleområde, fs:	vol. %	5.7	
	vol. %	12	
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs	1.1	
Temperatur:	± (0.3*(t rum-t cal)) % rel.	t rum °C	28
Liniaritæt:	± 1 % fs	2.1	
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.	2.0	
Samlet usikkerhed:	±vol. %	0.2	

Modificeret 20. Oktober 2000 af LJA.