

Miljødokumentation af
aldehydkatalysatorer
7. måling på Tørring Kraftvarmeværk

Målerapport 725.40

Maj 2006

Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG

Miljødokumentation af aldehydkatalysatorer

7. måling på Tørring Kraftvarmeværk

Rolls Royce Bergen B35:40 V12AG

Steen Andersen

Titel : Tørring Kraftvarmeværk

Rapport kategori : Målerapport

Forfatter : Steen Andersen

Dato for udgivelse : 15.05.2006

Copyright : Dansk Gasteknisk Center a/s

Sagsnummer : 725.40; O:\Proj\725\40-formaldehyd kat\HAN_SDA\Målerapporter\Tørring7\Tørring_200206.doc

Sagsnavn : Dokumentation af formaldehydkatalysatorer

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.....	9
3 Opgavebeskrivelse	10
4 Anlægsbeskrivelse	11
4.1 Data for gasmotor	11
5 Måleresultater	12
5.1 Emission.....	12
5.2 Øvrige driftsdata	13

1 Udførte målinger og resultater

Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) har den 20.02.2006 udført 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.

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

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:

- O₂
- CO
- NO (korttidsmåling)
- NO_x (summen af NO og NO₂)
- UHC (uforbrændt kulbrinte)
- CO₂

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

- Aldehyder
- UHC-sammensætning
- Lugt
- Olieemission

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_x- og UHC- (uforbrændt kulbrinte) -emissioner. Værdierne refererer til tør røggas.

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

		Gennemsnit, middelværdier før katalysator
O ₂	[%-vol.]	11,2 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n]	610 ± 51 ³⁾
NO _x ¹⁾²⁾	[mg/m ³ n]	438 ± 21 ³⁾
UHC ¹⁾⁴⁾	[mg/m ³ n]	1169 ± 62 ³⁾
CO ₂	[%-vol.]	5,6 ± 0,2

1) Omregnet til 5%-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Total kulbrinte, C-ækvivalent

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

		Gennemsnit, middelværdier efter katalysator
O ₂	[%-vol.]	11,1 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n]	117 ± 7 ³⁾
NO _x ¹⁾²⁾	[mg/m ³ n]	420 ± 20 ³⁾
UHC ¹⁾⁴⁾	[mg/m ³ n]	1143 ± 60 ³⁾
CO ₂	[%-vol.]	5,6 ± 0,2

1) Omregnet til 5%-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

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

	Emission¹⁾	Usikkerhed
	Middel	
	[mg/m ³ n]	[mg/m ³ n]
Formaldehyd	47,62	± 3,53
Acetaldehyd	3,11	± 0,23
Acrolein	0,065	± 0,005
Propanal	0,335	± 0,025
Acetone	0,362	± 0,027
Butanal ²⁾	-	-
Pentanal ²⁾	-	-
Hexanal ²⁾	-	-
Benzaldehyd ²⁾	-	-

1) Tør røggas, korrigeret til 5%-vol O₂.

2) Kan ikke detekteres pga. interfererende top

Tabel 2b Analyseresultater af aldehyd i røggas efter katalysator

	Emission¹⁾	Usikkerhed
	Middel	
	[mg/m ³ n]	[mg/m ³ n]
Formaldehyd	27,98	± 2,07
Acetaldehyd	2,06	± 0,15
Acrolein	0,070	± 0,005
Propanal	0,162	± 0,012
Acetone	0,409	± 0,030
Butanal ²⁾	-	-
Pentanal ²⁾	-	-
Hexanal ²⁾	-	-
Benzaldehyd ²⁾	-	-

1) Tør røggas, korrigeret til 5%-vol O₂.

2) Kan ikke detekteres pga. interfererende top

I Tabel 3a og 3b er angivet UHC sammensætningen i røggassen.

Tabel 3a Analyse af UHC i røggas før katalysator

UHC sammensætning	[ppm] ¹⁾	[%-rel.] ²⁾
Metan	1044	89,5
Ethen	18	1,5
Ethan	58	5,0
Propen	17	1,5
Propan	22	1,9
i-Butan	3,3	0,3
n-Butan	4,8	0,4
i-Pentan ³⁾	-	-
n-Pentan ³⁾	-	-
Total [ppm]	1167	-
Total [ppm CH ₄ -ækv.]	1344	-

1) Nøjagtigheden vurderes til at være: ± 5 % for koncentrationer > 100 ppm, ± 10 % for koncentrationer mellem 10 og 100 ppm og ± 20 % for koncentrationer < 10 ppm.

2) Vol. %.

3) Under detektionsgrænsen.

Tabel 3b Analyse af UHC i røggas efter katalysator

UHC sammensætning	[ppm] ¹⁾	[%-rel.] ²⁾
Metan	1060	91,7
Ethen	8,7	0,8
Ethan	58	5,0
Propen	0,4	0,0
Propan	21	1,9
i-Butan	2,9	0,3
n-Butan	4,5	0,4
i-Pentan ³⁾	-	-
n-Pentan ³⁾	-	-
Total [ppm]	1156	-
Total [ppm CH ₄ -ækv.]	1289	-

1) Nøjagtigheden vurderes til at være: ± 5 % for koncentrationer > 100 ppm, ± 10 % for koncentrationer mellem 10 og 100 ppm og ± 20 % for koncentrationer < 10 ppm.

2) Vol. %.

3) Under detektionsgrænsen.

Der er udtaget lugtprøver som dobbeltbestemmelse før og efter katalysator. I tabel 4 ses resultater af lugtmålingerne.

Tabel 4 Lugtmåleresultater

		Prøve 1	Prøve 2	Middel
Før katalysator	[LE/m ³ (20°C)]	7500	6100	6800
Efter katalysator	[LE/m ³ (20°C)]	3900	4400	4150

Der er udtaget prøver for olieemission som dobbeltbestemmelse før og efter katalysator.

I tabel 5 ses resultater af olieemissionsmålingerne.

Tabel 5 Resultater for olieemissionsmåling

		Prøve 1	Prøve 2
Før katalysator	[mg/m ³ n]	- ¹⁾	- ¹⁾
Efter katalysator	[mg/m ³ n]	- ¹⁾	- ¹⁾

1) Under detektionsgrænsen

Prøverne viser ikke emission af olie.

Prøverne er udtaget under særdeles vanskelige forhold, idet udtagsstederne ikke er hensigtsmæssigt udformet i forhold til prøvetagningen. Detektionsgrænsen er ca. 1 mg/m³n.

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 20.02.2006 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
Driftstimal, motor:	3168 (motor udskiftet)
Driftstimal, katalysator:	10045
Tænding:	12° FTDP (aflæst på display)
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 6. Alle anførte måleværdier refererer til tør røggas. Måleværdierne er vist grafisk på side 14 – 15.

Tabel 6 Emissionsmiddelværdier for gasmotor

		middelværdi før katalysator	middelværdi efter katalysator
O ₂	[%-vol.]	11,2 ± 0,3	11,1 ± 0,3
CO	[ppm]	297 ± 24	57 ± 3
NO _x ¹⁾	[ppm]	129 ± 5	125 ± 5
UHC ²⁾	[ppm]	1329 ± 58	1310 ± 57
CO ₂	[%-vol.]	5,6 ± 0,2	5,6 ± 0,2

1) NO + NO₂.

2) Total kulbrinte, metanækvivalent.

NO-andelen udgjorde ca. 76%-vol. af NO_x (korttidsmåling) før katalysator og ca. 89%-vol. efter katalysator. Røggastemperaturen ved målepunktet før katalysator 386°C og 62°C efter katalysator.

Bestemmelse af usikkerhed for målingerne fremgår af usikkerhedsbudgetter side 16 – 17.

5.2 Øvrige driftsdata

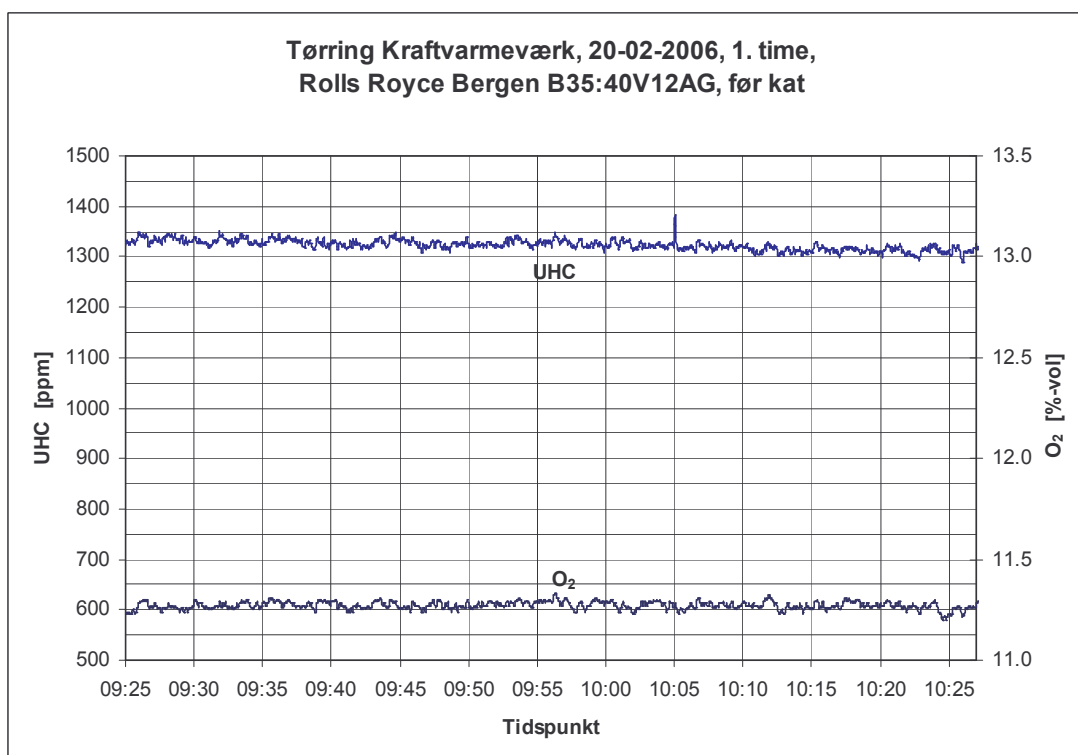
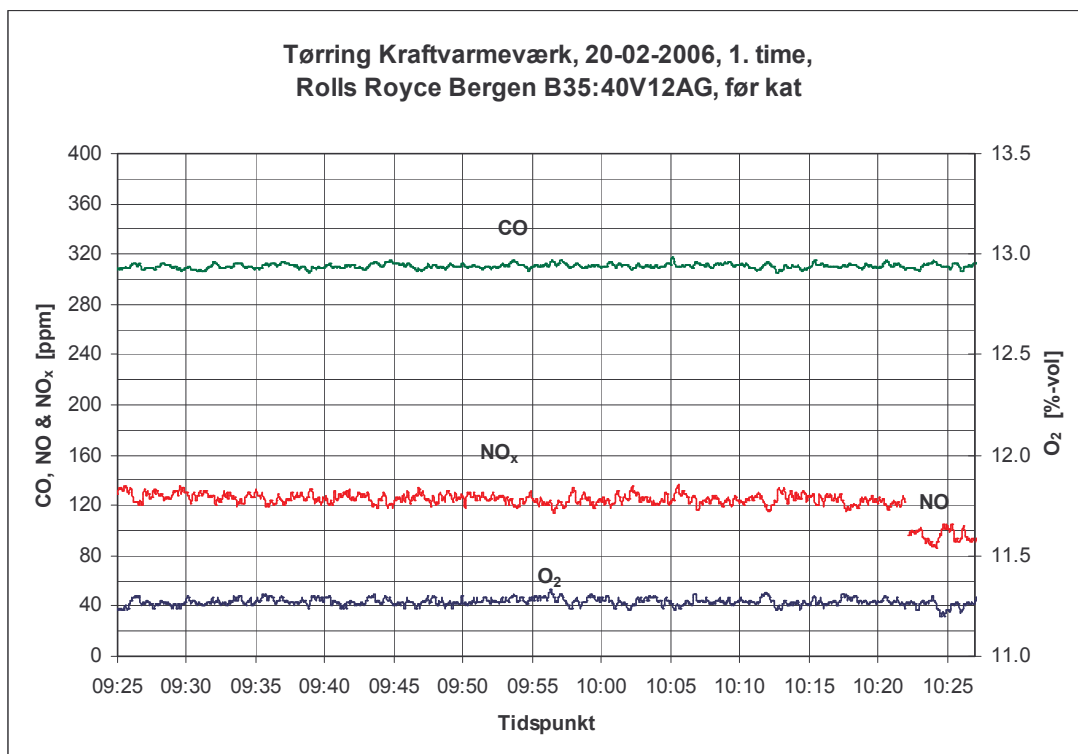
I Tabel 7 er anført en række andre data for anlæggets drift under målingen.

Tabel 7 Supplerende målinger

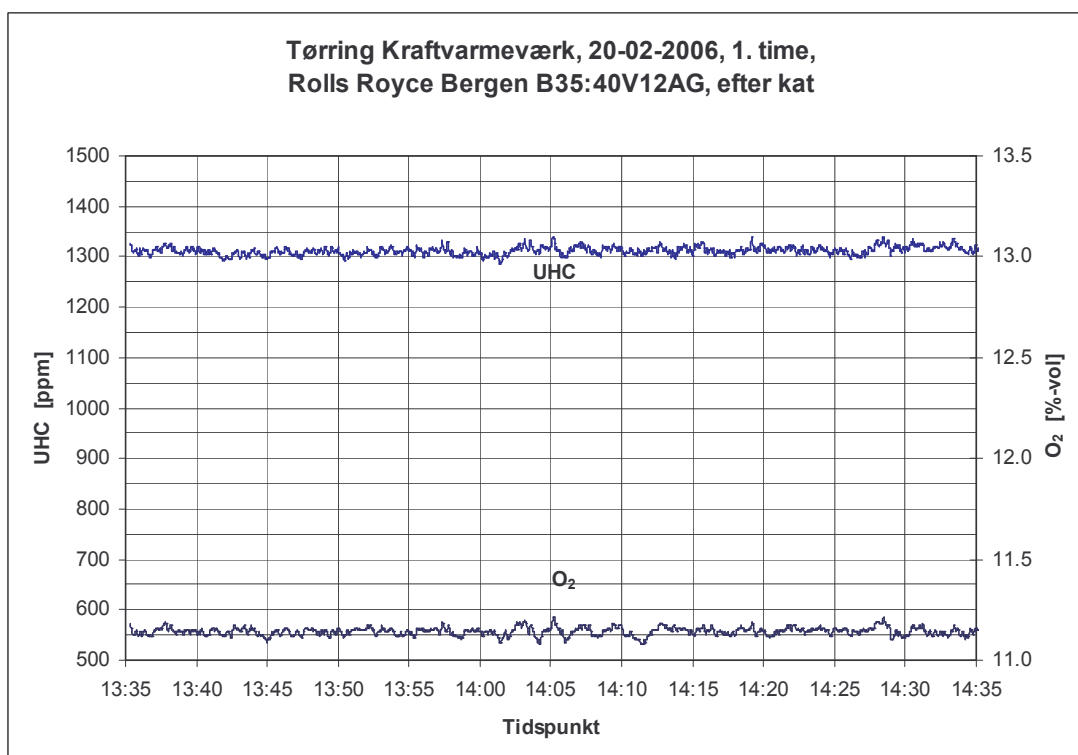
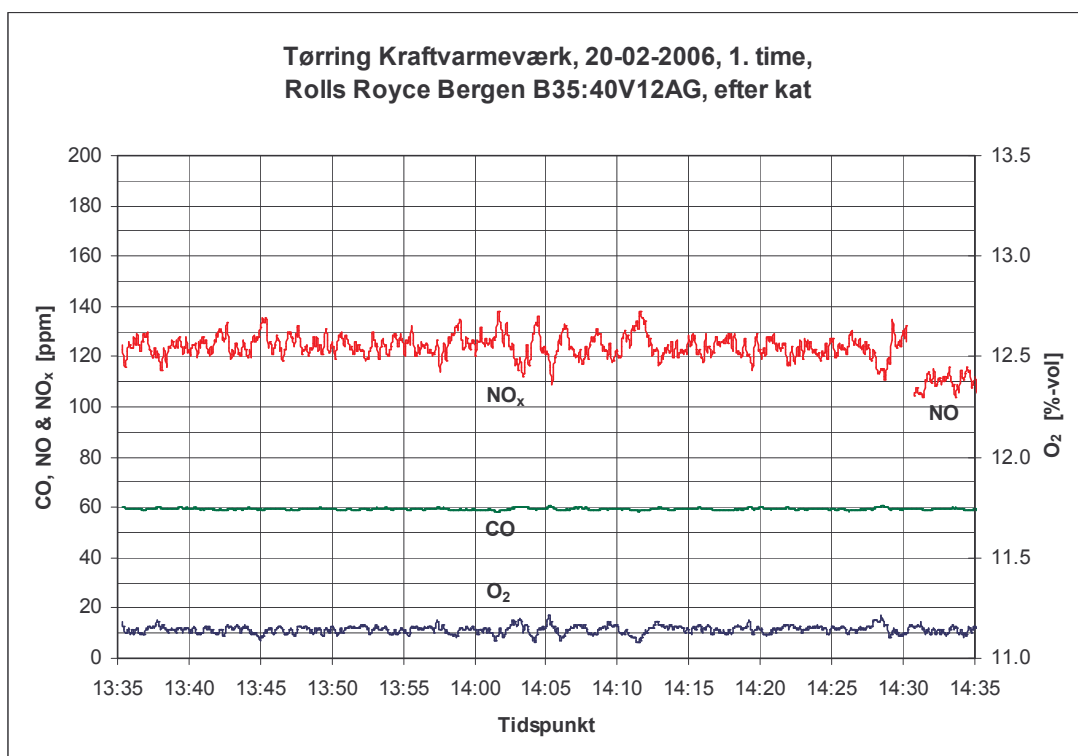
Temperatur, udendørs ²⁾	[°C]	2
Relativ fugtighed, udendørs ²⁾	[% RH]	90
Barometerstand ²⁾	[hPa]	1008
Temperatur, motorcelle ²⁾	[°C]	13
Fugtighed, motorcelle ²⁾	[% RH]	45
Udst. temp, før turbolader A/B ¹⁾	[°C]	539/535
Forkammergastryk ¹⁾	[bar]	2,9
Hovedgastryk ¹⁾	[bar]	3,1
Udst.temp efter turbolader ¹⁾	[°C]	389
Ladelufttryk ¹⁾	[bar]	2,45
Ladelufttemp. ¹⁾	[°C]	55
Fuel rack position ¹⁾	%	80,4 – 80,9

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 / 20-02-2006

1. time

Rolls Royce Bergen B35:40V12AG, før kat

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

Værdi: Bidrag: Korrigeret værdi:

Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	16	
O₂-måling (Servomex 572):			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	11.2
Temperatur:	± (0.05+0.2*)t rum-t cal) % rel.	t rum °C	17
Linieritet:	± 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. 3.0

CO-måling (Hartmann & Braun, URAS 14):			
Måleområde, fs *):		ppm	297
		ppm	1999
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs		
Temperatur:	± (0.3*t rum-t cal) % rel.	t rum °C	17
Linieritet:	± 1 % fs		
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	23.1
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	24.8

*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spngas

NOx-måling (Thermo Environmental Corp. 42CHL):			
Måleområde, fs:		ppm	126
		ppm	200
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs		
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	17
Linieritet:	± 1 % fs		
NO		NO ppm	96
NO ₂ konvertering:	- 0.05*NO ₂ ppm ± 0.05*NO ₂ ppm abs.	NO ₂ ppm	30
Tværfølsomhed CO ₂ :	- 0.1*CO ₂ % ± 0.1 % rel.		5.6
Tværfølsomhed H ₂ O:	- 0.5*(0.6+0.06*td)% ± 0.5 % rel.	td °C	2.5
Tværfølsomhed NH ₃ :	+0.6*NH ₃ ppm ± 0.2*NH ₃ ppm % abs.	NH ₃ ppm	0
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
NOx korrigeret:		ppm	129.0
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	4.9
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	6.3

UHC-måling (AAL, 523):			
Måleområde, fs:		ppm	1329
		ppm	2500
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)		
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	17
Linieritet:	± 1 % fs		
Repeterbarhed:	± 1 % fs		
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	57.3
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	69.9
UHC i % af indfyret		% af indf.	2.35
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±% relativt	5.18
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±%-point	0.12

CO₂-måling (Hartmann & Braun, URAS 14):			
Måleområde, fs:		vol.%	5.6
		vol.%	12
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs		
Temperatur:	± (0.3*t rum-t cal) % rel.	t rum °C	17
Linieritet:	± 1 % fs		
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
Samlet usikkerhed:		±vol.%	0.2

610 mg/m³n ved 5%O₂47 mg/m³n ved 5%O₂51 mg/m³n ved 5%O₂438 mg/m³n ved 5%O₂17 mg/m³n ved 5%O₂21 mg/m³n ved 5%O₂1169 mg C/m³n ved 5%O₂50 mg C/m³n ved 5%O₂62 mg C/m³n ved 5%O₂

Usikkerhedsberegninger for emissionsmålinger efter katalysator

Tørring Kraftvarmeværk / 20-02-2006

1. time

Rolls Royce Bergen B35:40V12AG, efter kat

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

Værdi: Bidrag: Korrigeret værdi:

Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	18	
O2-måling (Servomex 572):			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	11.1
Temperatur:	± (0.05+0.2* t rum-t cal) % rel.	t rum °C	18
Linieritet:	± 0.2 % abs.		
			1.8
			0.1
			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. 3.0

CO-måling (Hartmann & Braun, URAS 14):			
Måleområde, fs *):		ppm	57
		ppm	1999
			17.4
Temperatur:	± 0.5 % fs	t rum °C	18
	± (0.3* t rum-t cal) % rel.		
Linieritet:	± 1 % fs		
			34.8
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
			2.0
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	22.4
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	22.4

117 mg/m³n ved 5%O₂46 mg/m³n ved 5%O₂46 mg/m³n ved 5%O₂

*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spangas

NOx-måling (Thermo Environmental Corp. 42CHL):			
Måleområde, fs:		ppm	123
		ppm	200
			1.6
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs	t rum °C	18
Temperatur:	± 2 % rel.		
			2.0
Linieritet:	± 1 % fs		
			1.6
NO		NO ppm	109
NO2 konvertering:	- 0.05*NO2ppm ± 0.05*NO2ppm abs.	NO2 ppm	14
			0.6
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		
			5.6
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	124.5
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	4.6
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	5.9

420 mg/m³n ved 5%O₂16 mg/m³n ved 5%O₂20 mg/m³n ved 5%O₂

UHC-måling (AAL, 523):			
Måleområde, fs:		ppm	1310
		ppm	2500
			1.9
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)	t rum °C	18
Temperatur:	± 2 % rel.		
			2.0
Linieritet:	± 1 % fs		
			1.9
Repetérbarhed:	± 1 % fs		
			1.9
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
			2.0
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	57.0
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	69.0
UHC i % af indfyret		% af indf.	2.30
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±% relativt	5.19
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±%-point	0.12

1143 mg C/m³n ved 5%O₂50 mg C/m³n ved 5%O₂60 mg C/m³n ved 5%O₂

CO2-måling (Hartmann & Braun, URAS 14):			
Måleområde, fs:		vol.%	5.6
		vol.%	12
			1.1
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs	t rum °C	18
Temperatur:	± (0.3* t rum-t cal) % rel.		
			0.1
Linieritet:	± 1 % fs		
			2.1
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		
			2.0
Samlet usikkerhed:		±vol.%	0.2