

Miljødokumentation af
aldehydkatalysatorer
1. måling på Gartneriet Hjortebjerg

Målerapport 725.40

Juni 2004

Caterpillar G 3520

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

1. måling på Gartneriet Hjortebjerg

Caterpillar G 3520

Steen Andersen

Titel : Gartneriet Hjortebjerg

Rapport kategori : Målerapport

Forfatter : Steen Andersen

Dato for udgivelse : 21.06.2004

Copyright : Dansk Gasteknisk Center a/s

Sagsnummer : 725.40; H:\725\40-formaldehyd
kat\HAN_SDA\Målerapporter\Hjortebjerg1\Hjortebjerg210504.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.....	8
3 Opgavebeskrivelse	9
4 Anlægsbeskrivelse	10
4.1 Data for gasmotor	10
5 Måleresultater	11
5.1 Emission.....	11
5.2 Øvrige driftsdata	12

1 Udførte målinger og resultater

Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) har den 21.05.2004 udført energi- og miljømåling på en Caterpillar G3520 gasmotor. Målingerne er udført som en del af projektet "Dokumentation af formaldehydkatalysatorer".

Denne rapport indeholder udover måleresultater en beskrivelse af anlægget og vil derfor have et større omfang end de kommende projektrapporter.

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.

Emissionsmålingerne 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 (kortidsmåling)
- NO_x (summen af NO og NO₂)
- UHC (uforbrændt kulbrinte)

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

- UHC sammensætning
- Aldehyder

Røggasudtaget før katalysator er placeret i katalysatorhus umiddelbart inden katalysatorelementet, røggasudtaget efter katalysator er placeret efter lyd-dæmper 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.]	9,2 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n]	923 ± 48 ³⁾
NO _x ¹⁾²⁾	[mg/m ³ n]	485 ± 23 ³⁾
UHC ¹⁾⁴⁾	[mg/m ³ n]	1377 ± 60 ³⁾

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.]	9,1 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n]	8 ± 5 ³⁾
NO _x ¹⁾²⁾	[mg/m ³ n]	529 ± 22 ³⁾
UHC ¹⁾⁴⁾	[mg/m ³ n]	1156 ± 53 ³⁾

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 UHC sammensætningen i røggassen.

Tabel 2a Analyse af UHC i røggas før katalysator

UHC sammensætning	[ppm] ¹⁾	[%-rel.] ²⁾
Metan	1529	89,7
Ethen	67	3,9
Ethan	75	4,4
Propen	11	0,7
Propan	21	1,2
i-Butan ³⁾	-	-
n-Butan ³⁾	-	-
i-Pentan ³⁾	-	-
n-Pentan ³⁾	-	-
Total [ppm]	1703	
Total [ppm CH ₄ -ækv.]	1911	

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 2b Analyse af UHC i røggas efter katalysator

UHC sammensætning	[ppm] ¹⁾	[%-rel.] ²⁾
Metan	1479	95,2
Ethen ³⁾	-	-
Ethan	62	4,0
Propen ³⁾	-	-
Propan	12	0,8
i-Butan ³⁾	-	-
n-Butan ³⁾	-	-
i-Pentan ³⁾	-	-
n-Pentan ³⁾	-	-
Total [ppm]	1554	
Total [ppm CH ₄ -ækv.]	1640	

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.

I Tabel 3a og 3b er angivet analyseresultaterne for aldehyder i røggassen.

Tabel 3a Analyseresultater af aldehyd i røggas før katalysator

	Emission¹⁾	Usikkerhed
	Middel	
	[mg/m ³ n]	[mg/m ³ n]
Formaldehyd	99,03	± 7,30
Acetaldehyd	3,66	± 0,27
Acrolein	0,60	± 0,05
Propanal	0,15	± 0,01
Acetone	0,29	± 0,02
Butanal ²⁾	-	-
Pentanal ²⁾	-	-
Hexanal	0,017	0,001
Benzaldehyd	0,038	0,003

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

2) Under detektionsgrænsen.

Tabel 3b Analyseresultater af aldehyd i røggas efter katalysator

	Emission¹⁾	Usikkerhed
	Middel	
	[mg/m ³ n]	[mg/m ³ n]
Formaldehyd	4,46	+/- 0,33
Acetaldehyd	0,35	+/- 0,03
Acrolein ²⁾	-	-
Propanal	0,030	+/- 0,002
Acetone	0,099	+/- 0,007
Butanal ²⁾	-	-
Pentanal ²⁾	-	-
Hexanal ²⁾	-	-
Benzaldehyd	0,007	0,001

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

2) Under detektionsgrænsen.

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 21.05.2004 udført energi- og miljømåling på en Caterpillar G3520 gasmotor. Målingerne er udført som en del af projektet "Dokumentation af formaldehydkatalysatorer".

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

Gartneriet Hjortebjerg var under målingerne repræsenteret ved Steen Thomsen.

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

4 Anlægsbeskrivelse

Anlægget består af en gasmotor i separat motorcelle, placeret i hal med røg-gasveksler ved siden af motorcellen. Lyddæmper og katalysator er placeret på tag af motorcelle.

4.1 Data for gasmotor

Gasmotor:

Type:	Caterpillar G3520
Serienr.:	GDB 00001
Nominel ydelse:	2070 kW akseffekt (angivet på mærkeplade)
Omdrejningstal:	1500
Driftstimal, motor:	7656
Driftstimal, katalysator:	108
Idriftsættelse:	2002

Motoren er blevet opgraderet samtidig med installation af katalysator.

5 Måleresultater

5.1 Emission

Røggasudtaget før katalysator er placeret i røggaskanal umiddelbart efter motoren, udtaget efter katalysator er placeret efter katalysator, lyddæmper og røggasvekslere 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 13 – 14.

Tabel 4 Emissionsmiddelværdier for gasmotor

		middelværdi før katalysator	middelværdi efter katalysator
O ₂	[%-vol.]	9,2 ± 0,3	9,1 ± 0,3
CO	[ppm]	545 ± 25	5 ± 3
NO _x ¹⁾	[ppm]	173 ± 7	190 ± 7
UHC ²⁾	[ppm]	1898 ± 69	1601 ± 63

1) NO + NO₂.

2) Total kulbrinte, metanækvivalent.

NO udgjorde ca. 42%-vol. af NO_x (korttidsmåling) før katalysator og ca. 90%-vol. efter katalysator. Røggastemperaturen ved målepunktet før katalysator 459 °C og ca. 93 °C efter.

Bestemmelse af usikkerhed for målingerne fremgår af usikkerhedsbudgetter side 15 - 16.

5.2 Øvrige driftsdata

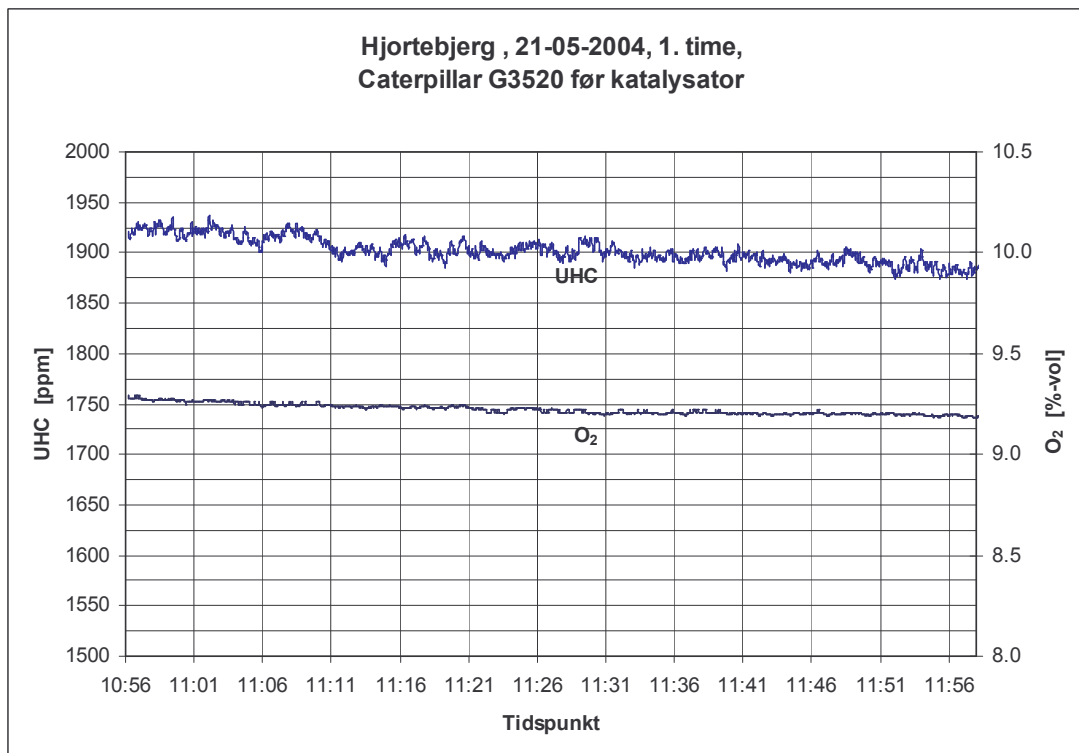
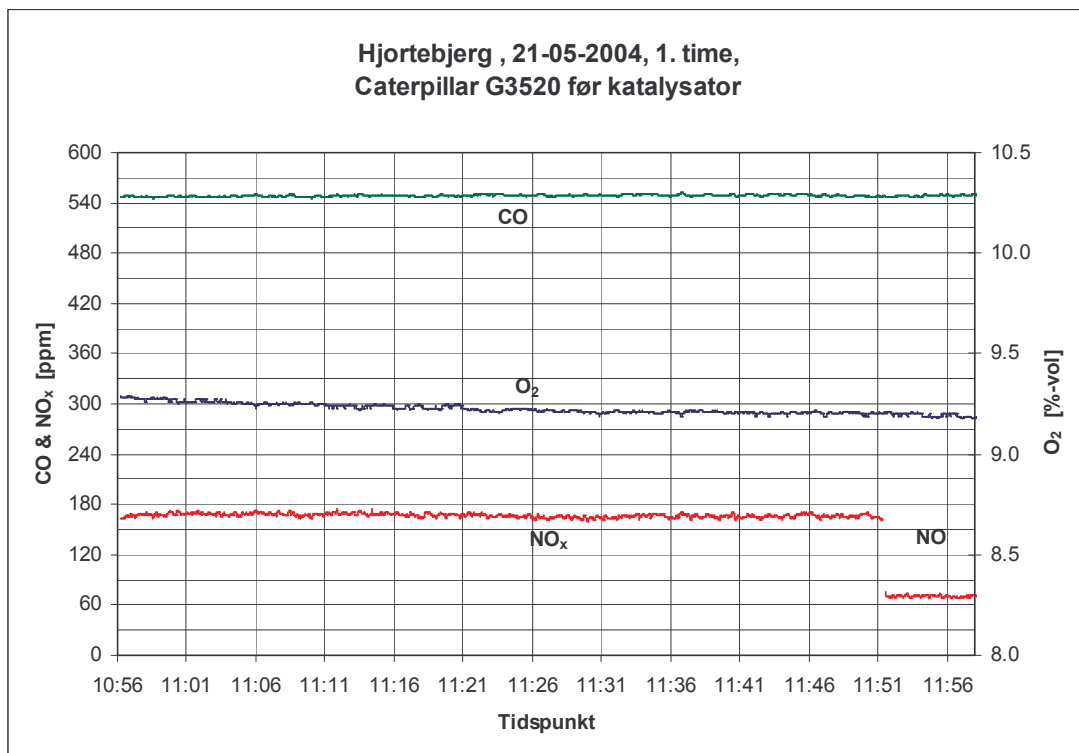
I Tabel 6 er anført en række andre data for anlæggets drift under målingen.

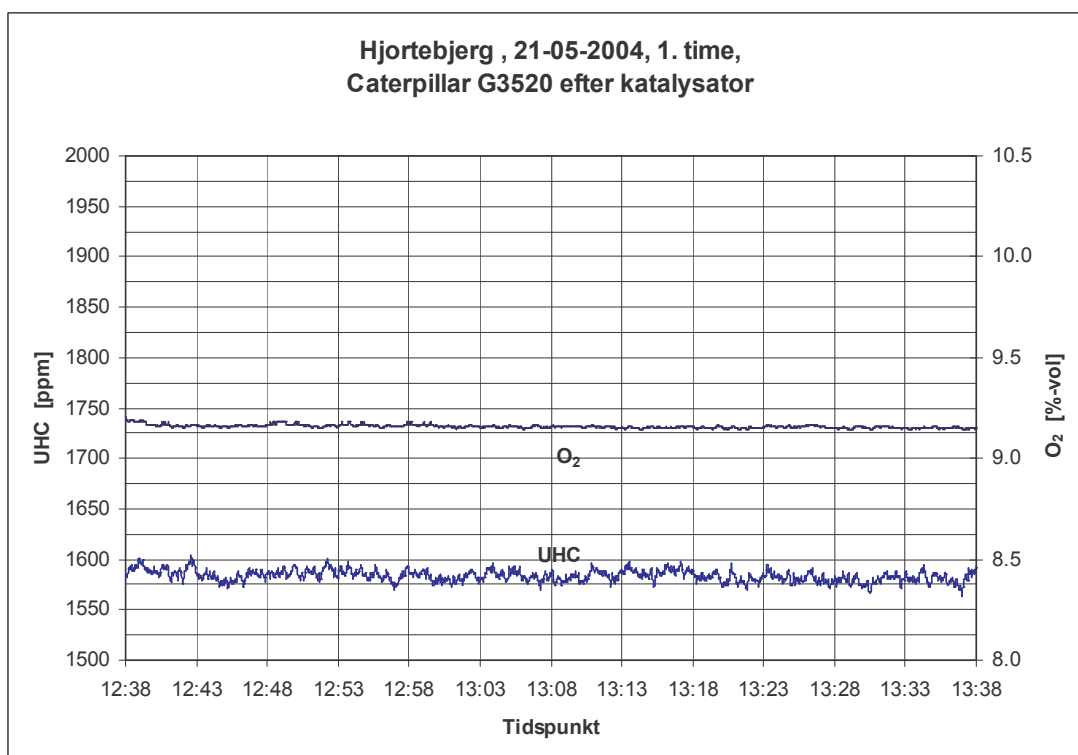
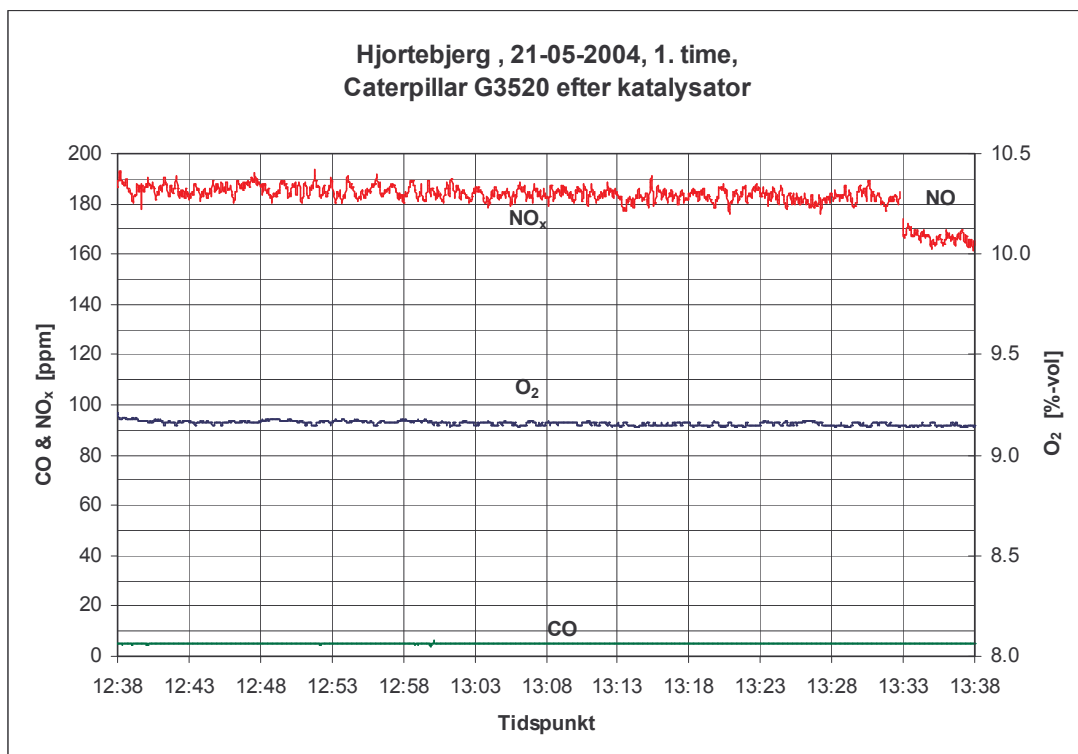
Tabel 6 Supplerende målinger

Temperatur, udendørs²⁾	[°C]	15,5
Relativ fugtighed, udendørs²⁾	[% RH]	31,9
Barometerstand²⁾	[hPa]	1014
Temperatur, motorcelle²⁾	[°C]	26,4
Fugtighed, motorcelle²⁾	[% RH]	16,6
el-last	[kW]	1902
varmelast	[kW]	2386
Smøreolietryk	[bar]	4,70 – 4,88
Smøreolietemp.	[°C]	88
Gas-/luft-temp	[°C]	35
Udstødtemp. (højest/lavest)	[°C]	593 / 570
Δp over katalysator	Pa	690 – 710
Temp. fremløb / retur	[°C]	93,7 / 45,4

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

Hjortebjerg / 21-05-2004

1. time

Caterpillar G3520 før katalysator

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

	Værdi:	Bidrag:	Korrigeret værdi:
Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	24	
O2-måling (Servomex 572):			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	9.2
Temperatur:	± (0.05+0.2* t rum-t cal) % rel.	t rum °C	24
Liniaritit:	± 0.2 % abs.		
Grund-usikkerhed:			2.2
Temperatur:			0.1
Liniaritit:			2.2
Samlet usikkerhed:	±vol.%		0.3
O2-effekt ved omregning:	± (1 - (20.95-O2 mid.)/(20.95-O2min.))*100	± % rel.	2.5

CO-måling (Hartmann & Braun. URAS 14):				
Måleområde, fs *):	ppm	545		923 mg/m ³ n ved 5%O ₂
Grund-usikkerhed:	± 0.5 % fs	ppm	1990	
Temperatur:	± (0.3* t rum-t cal) % rel.	t rum °C	24	
Liniaritit:	± 1 % fs			
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.			
Grund-usikkerhed:				1.8
Temperatur:				0.1
Liniaritit:				3.6
Kalibreringsgas:				2.0
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:	±ppm		24.8	42 mg/m ³ n ved 5%O ₂
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm		28.2	48 mg/m ³ n ved 5%O ₂

*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spangas

NOx-måling (Thermo Environmental Inst., 10 A/R):				
Måleområde, fs:	ppm	168		
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs	ppm	250	
Temperatur:	± 2% rel.	t rum °C	24	
Liniaritit:	± 1 % fs			
NO		NO ppm	71	
NO2 konvertering:	- 0.03*NO2ppm ± 0.03*NO2ppm abs.	NO2 ppm	97	
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		6.7	
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		173.0	485 mg/m ³ n ved 5%O ₂
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:	±ppm		6.8	19 mg/m ³ n ved 5%O ₂
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm		8.1	23 mg/m ³ n ved 5%O ₂

UHC-måling (AAL, 523):				
Måleområde, fs:	ppm	1898		1377 mg C/m ³ n ved 5%O ₂
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min.± 1 ppm)	ppm	2500	
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	24	
Liniaritit:	± 1 % fs			
Repetérbarhed:	± 1 % fs			
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.			
Grund-usikkerhed:				1.3
Temperatur:				2.0
Liniaritit:				1.3
Repetérbarhed:				1.3
Kalibreringsgas:				2.0
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm		69.0	50 mg C/m ³ n ved 5%O ₂
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:	±ppm		83.3	60 mg C/m ³ n ved 5%O ₂
UHC i % af indfyret	% af indf.		2.76	
Usikkerhed på UHC i % af indfyret	±% relativt		4.33	
Usikkerhed på UHC i % af indfyret	±%-point		0.12	

Usikkerhedsberegninger for emissionsmålinger efter katalysator

Hjortebjerg / 21-05-2004

1. time

Caterpillar G3520 efter katalysator

USIKKERHEDSBUDGET VED EMISSIONSMÅLING :

Værdi: Bidrag: Korrigeret værdi:

Temperatur ved kalibrering:	t cal °C	23	
O2-måling (Servomex 572):			
Grund-usikkerhed:	± 0.2 % abs.	vol.%	9.1
Temperatur:	± (0.05+0.2* t rum-t cal) % rel.	t rum °C	24
Linieritet:	± 0.2 % abs.		2.2
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. 2.5

CO-måling (Hartmann & Braun, URAS 14):			
Måleområde, fs *):		ppm	5
		ppm	249
	± 0.5 % fs		26.8
Temperatur:	± (0.3* t rum-t cal) % rel.	t rum °C	24
Linieritet:	± 1 % fs		53.5
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		2.0
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	2.8
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	2.8

8 mg/m³n ved 5%O₂5 mg/m³n ved 5%O₂5 mg/m³n ved 5%O₂

*) Måleområdet er sat til koncentrationen i den anvendte spangas

NOx-måling (Thermo Environmental Inst., 10 A/R):			
Måleområde, fs:		ppm	187
		ppm	250
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs		1.3
Temperatur:	± 2% rel.	t rum °C	24
Linieritet:	± 1 % fs		1.3
NO		NO ppm	168
NO2 konvertering:	- 0.03*NO2ppm ± 0.03*NO2ppm abs.	NO2 ppm	19
Tværfølsomhed CO2:	- 0.1*CO2% ± 0.1 % rel.		6.8
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	189.7
Samlet usikkerhed ekskl usikkerhed på iltmåling:		±ppm	6.6
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	8.0

529 mg/m³n ved 5%O₂18 mg/m³n ved 5%O₂22 mg/m³n ved 5%O₂

UHC-måling (AAL, 523):			
Måleområde, fs:		ppm	1601
		ppm	2500
Grund-usikkerhed:	± 1 % fs (min. ± 1 ppm)		1.6
Temperatur:	± 2 % rel.	t rum °C	24
Linieritet:	± 1 % fs		1.6
Repetérbarhed:	± 1 % fs		1.6
Kalibreringsgas:	± 2 % rel.		2.0
Samlet usikkerhed ekskl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	62.6
Samlet usikkerhed inkl. usikkerhed på iltmåling:		±ppm	73.9
UHC i % af indfyret		% af indf.	2.32
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±% relativt	4.56
Usikkerhed på UHC i % af indfyret		±%-point	0.11

1156 mg C/m³n ved 5%O₂45 mg C/m³n ved 5%O₂53 mg C/m³n ved 5%O₂