

# Reduktion af UHC og andre organiske stoffer fra gasmotoranlæg

Knud B. Larsen & Preben Hansen

Pon Power A/S

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

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>9</b>
<b>1 BESKRIVELSE AF INSTALLATIONEN</b>	<b>11</b>
1.1 MOTORANLÆG	12
1.2 BRÆNDER	12
1.3 UHC KATALYSATOR	12
<b>2 MÅLERESULTATER</b>	<b>15</b>
2.1 RESULTATER FRA FØRSTE FORSØGSRÆKKE, DEN 22. FEBRUAR 2007	15
2.2 RESULTATER FRA ANDEN FORSØGSRÆKKE, DEN 7. MARTS 2007	15
2.3 RESULTATER FRA TREDJE FORSØGSRÆKKE, DEN 8. MAJ 2007	16
2.4 RESULTATER FRA FJERDE FORSØGSRÆKKE, DEN 10. OKTOBER 2007	16
2.5 RESULTATER FRA FEMTE FORSØGSRÆKKE, DEN 12. NOVEMBER 2007	17
2.6 KONKLUSION PÅ MÅLERESULTATERNE	17



# Forord

Projektets formål er at reducere udledningen af UHC fra gasmotorer i størrelsesordenen 0,5 – 4 MW<sub>e</sub> med mindst 90%, for således at formindske drivhuseffekten samt at omsætte UHC i røggassen til varme, der kan anvendes i decentrale kraftvarmeværker. Det forventes at den anvendte teknik kan installeres i tilsvarende gasmotor-anlæg uanset størrelse.

Projektet tager udgangspunkt i en Caterpillar G3612 gasmotor på 2.876 MW<sub>e</sub> på Nørre Aaby Kraftvarmeværk. Der er her tidligere gennemført et projekt for at reducere UHC udledningen, men det viste sig at røggastemperaturen var for lav til at opnå det ønskede resultat, samtidig med at coatingen i katalysatoren ikke var optimal.

For at opnå den ønskede effekt, at reducere UHC udledningen med mindst 90%, er det valgt at montere en katalysator med en anden coating samtidig med at der monteres en 650 kW gasbrænder umiddelbart foran katalysatoren. Med denne forventes det muligt at øge røggastemperaturen fra nuværende 430°C til de ønskede 535°C. Gasbrænderen er regulerbar således at den optimale temperatur i forhold til katalysator effektiviteten kan opnås.

Den tilførte varmeenergi, samt den varmeenergi der udvikles i katalysatoren ved omdannelse af UHC, kan udvindes og anvendes til f.eks. fjernvarme.

Installationen er monteret på Nørre Aaby Kraftvarmeværk der er repræsentativ for gasmotorer i Danmark. Driftslederen her, Torben Nielsen, er indforstået med at fremvise anlægget samt at resultatet af projektet formidles til alle der måtte være interesseret heri.



# Sammenfatning og konklusioner

UHC katalysatoren har været i drift siden februar 2007 og har pr. ultimo maj 2008 haft ca. 3.500 driftstimer. UHC katalysatoren fungerer fortsat med en stabil omsætning af UHC og CO.

Inden projektet blev startet var røggastemperaturen 430°C, men i forbindelse med en top-end overhaling og efterfølgende indregulering af motoren kort tid inden projektets igangsættelse, droppede røggastemperaturen til 400°C. Montage af efterbrænderen har således ikke givet den ønskede røggastemperatur i katalysatoren.

Idet UHC katalysatoren blev installeret var omsætningen af UHC 40-45%, men droppede i løbet af de første driftstimer. UHC reduktionen ligger i dag stabilt på 26,4% ved en røggastemperatur i katalysatoren på 450°C.

Totalvirkningsgraden for generatoranlægget er øget med ca. 4 % så det formodes at være en økonomisk rentabel investering for tilsvarende kraftvarmeværker, afhængig af årlige driftstimer, varmebehov og alternative "billige" varmekilder.

En mulighed for at optimere installationen kunne være at indbygge en anden brændertype, der ikke kræver samme høje iltindhold i forbrændingsgassen, og dermed lufttilførsel fra omgivelserne, men kunne nøjes med det iltindhold der forefindes i røggassen, ca. 12%. Dette ville hæve røggastemperaturen i katalysatoren signifikant samtidig med at luftmængden gennem katalysatoren ville reduceres betydeligt, i forhold til den aktuelle installation.





# Summary and conclusions

The UHC catalyst has been in operation since February 2007 and has run 3,500 hours as at the end of May 2008. The UHC catalyst still operates with a constant conversion of UHC and CO.

Prior to the initiation of the project, the exhaust temperature was 430°C, but in connection with a top-end overhaul and subsequent adjustment of the engine shortly before the initiation of the project, the exhaust temperature dropped to 400°C. Installation of the afterburner has thus not provided the desired exhaust temperature in the catalyst.

When the UHC catalyst was installed, the conversion of UHC was 40-45%, however, the conversion dropped during the first operating hours. Today, the UHC reduction is stable at 26.4% at an inlet temperature in the catalyst of 450°C.

The overall efficiency for the generator set has increased by approx. 4%, so it will presumably be a profitable investment for similar combined heat and power plants, dependent on annual number of operating hours, heat requirement and alternative “cheap” heat sources.

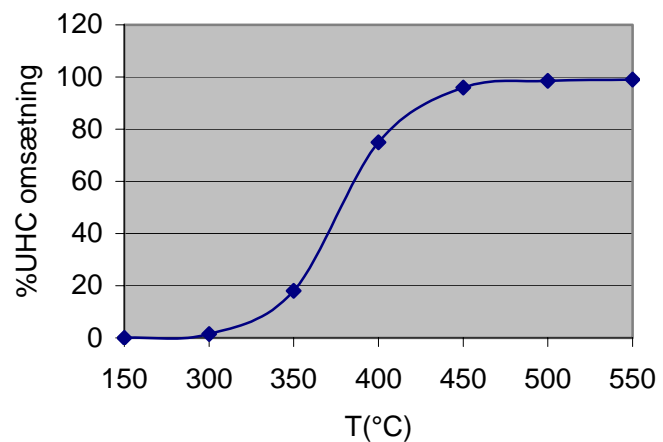
A way to optimize the installation could be to build in another type of burner that does not require the same high oxygen concentration in the exhaust and thereby air supply from the surroundings, but which can settle for the oxygen concentration in the exhaust (approx. 12%). This will increase the exhaust temperature in the catalyst significantly at the same time as the amount of exhaust through the catalyst will be reduced considerably compared to the current installation.



# 1 Beskrivelse af installationen

En gasbrænder samt en UHC katalysator er blevet monteret i et eksisterende naturgas generatoranlæg, for derved at reducere UHC udslippet og samtidig omdanne såvel UHC som CO til varmeenergi. Generatoranlægget har opereret i godt 63.000 driftstimer, men i forbindelse med ikrafttrædelsen af "Bekendtgørelse om begrænsning af emission af nitrogenoxider, uforbrændte carbonhydrider og carbonmonooxid mv. fra motorer og turbiner, BEK nr. 621 af 23/06/2005", er nye emissionsregler gældende fra den 17. oktober 2006. UHC begrænsningen på 1.500 mg C/normal m<sup>3</sup> ved en el-virkningsgrad på 30% betyder at det har været nødvendigt at indregulere motoren med hensyntagen til dette og dermed mindre hensyntagen til driftsøkonomien. Montage af en UHC katalysator giver mulighed for igen at indregulere generatoranlægget efter optimal driftsøkonomi, samtidig med at såvel UHC som CO omdannes til varmeenergi.

Imidlertid vil den lave røggastemperatur på ca. 400°C betyde en ringe virkningsgrad for UHC katalysatoren, hvorfor det var nødvendigt at hæve røggastemperaturen før katalysatoren. Der er flere måder at gøre dette på, men anvendelsen af en gasbrænder var nærliggende, da naturgas er umiddelbart til rådighed på installationen. Se figuren, der viser sammenhængen mellem røggastemperatur og omsætningen af UHC (laboratorium data).



Idet der er tale om en eksisterende installation, er der flere faktorer at tage hensyn til. Først og fremmest skal der fysisk være plads til installationen af en katalysator, der for at reducere modtrykstigningen har en større diameter end røggaskanalen og derfor er monteret med en konus i begge ender, samt gasbrænderen, der på grund af flammelængden kræver et ret rørstykke på minimum 3 meter efter brænderen.

Dernæst må røggasmodtrykket ikke øges nævneværdigt, da dette vil betyde en dårlig motorgang samt belaste motoren. Alene det at man hæver røggastemperaturen med 100°C fra 400°C til 500°C betyder at volumen og dermed røggashastigheden øges med 15%. Dette giver et øget modtryk i røggasset, herunder i katalysator, lyddæmper samt røggaskøler, hvor varmen indvindes før den afkølet ledes til skorstenen.

Når man som vi i installationen i Nr. Aaby opvarmer røggassen ved at anvende en gasbrænder der kræver luft fra omgivelserne, øges røggasmængden

yderligere. I det konkrete tilfælde øges røggasmængden med yderligere 5%. Yderligere skal der anvendes energi til ikke alene at hæve røggastemperaturen, men også den ca. 20°C "kolde" luft fra omgivelserne skal varmes op. Alm. forholdsregning indikerer at 25% af den energi gasbrænderen bruger anvendes til at varme luften op til 500°C.

Dette betyder for det første at gasmotoren får et endnu højere modtryk at arbejde op imod. Installationen er ikke oprindeligt dimensioneret til at der skal være en katalysator i systemet, og UHC katalysatoren giver et endnu højere modtryk end den CO katalysator der allerede var eftermonteret. Dernæst skal den eksisterende røggaskøler være i stand til at absorbere den øgede varmemængde. Hvis ikke, vil der ledes varmere røggas end tidligere ud i atmosfæren, hvilket hverken varmeværkets økonomi eller miljøet kan være interesseret i.

### 1.1 Motoranlæg

Motor type:	Caterpillar G3612
Ydelse:	2876 KWe
Omdr.:	1000 RPM

### 1.2 Gas brænder

Brænder type:	Maxon Kinemax 4"
Max kapacitet:	715 KW
Varmeafgivelse:	Naturgas
Forbrændingsluft:	800 Nm <sup>3</sup> /h max
Proces luftmængde:	16.800 Nm <sup>3</sup> /h
Proces modtryk:	45 mb
Udstødningstemperatur- før brænder:	400 – 450°C
Temperatur efter brænder ca.:	500 – 550°C

### 1.3 UHC katalysator

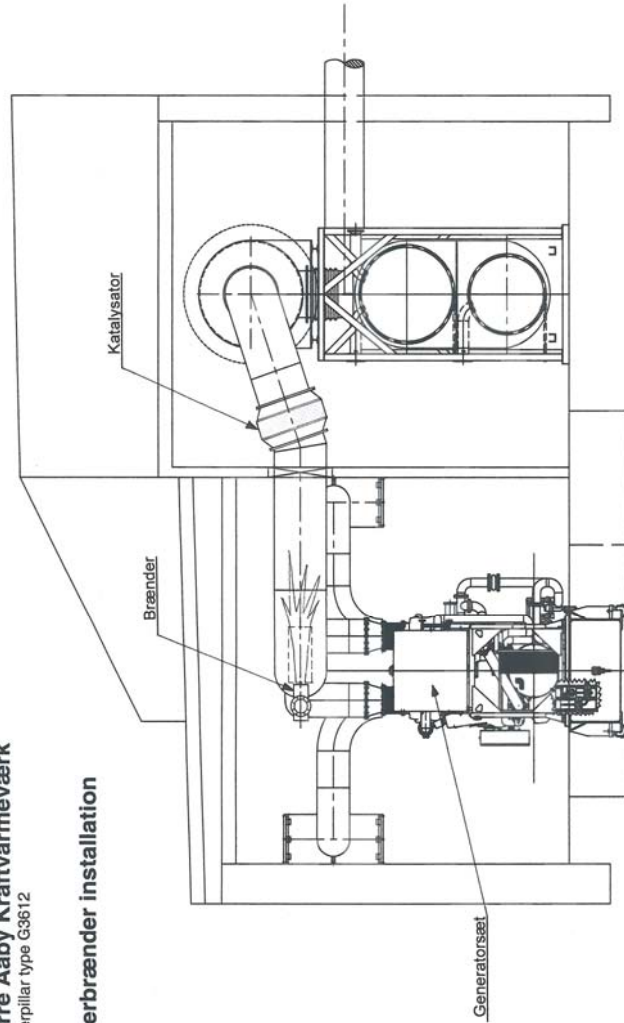
Fabrikat:	Johnson Matthey
Design CO ind:	1150 mg/Nm <sup>3</sup> @ 5% O <sub>2</sub>
Design UHC ind:	2150 mg/Nm <sup>3</sup> @ 5% O <sub>2</sub>
Design UHC reduktion:	90%
Forventet temperatur stigning:	55°C

Oxidation, SC O<sub>2</sub> ,metallic block.

Cell Density:	200 cpsi
Volumen:	137 liter
Diameter:	984 mm
Dybde:	180 mm

**Nørre Aaby Kraftvarmeværk**  
Caterpillar type G3612

**Efterbrænder installation**



Skitse af generatorsæt med gasbrænder og UHC katalysator monteret



## 2 Måleresultater

Der er udført i alt 5 tests for at undersøge om omsætningen af UHC samt CO, O<sub>2</sub>, NO og NO<sub>2</sub> reduceres efterhånden som katalysatoren ældes.

### 2.1 Resultater fra første forsøgsrække, den 22. februar 2007

Røggastemperaturen før katalysator viser at være lavere end forventet. Det viser sig at motoren netop har fået udført top-end serviceeftersyn, hvor alle topstykker er udskiftede. Dette giver en renere forbrænding samt en lavere røggastemperatur.

Det var pga. de høje temperaturer ikke muligt at foretage emissionsmålinger før katalysatoren med de anvendte emissionsmåleapparater.

Forsøget viser følgende reduktioner i røggasemissionen når brænderen kører fuld last i forhold til når brænderen er slukket, begge målinger foretaget efter katalysatoren:

UHC	reduceres med	39,7 %
CO	reduceres med	3,3 %
NO <sub>x</sub>	reduceres med	3,3 %

Temperaturstigningen i katalysatoren er 21°C med gasbrænderen på fuld last. Måleresultater – se bilag a.

### 2.2 Resultater fra anden forsøgsrække, den 7. marts 2007

Røggastemperaturen før katalysatoren er nu tilsyneladende som oprindeligt forventet, idet temperaturen i katalysatoren er 500°C. Gasbrænderen er ustabil under dellast, hvorfor den påtænkte forsøgsrække med varierende brænder temperatur ikke kunne gennemføres.

Forsøget viser følgende reduktioner i røggasemissionen når brænderen er slukket i forhold til når brænderen kører fuld last, målt før henholdsvis efter katalysatoren:

UHC	reduceres med	45,0 %
CO	reduceres med	91,3 %

Det var forventet at UHC blev reduceret med 90%, så dette er et skuffende resultat.

Samtidig er temperaturstigningen i katalysatoren kun 16°C når brænderen kører med fuld last, mod forventet 55°C.

**Konklusion:**

Gasbrænderen skal efterses af leverandøren. Katalysator leverandøren opfordres til at være tilstede ved næste forsøgsrække så det kan afklares hvorfor vi ikke opnår den forventede omsætning af UHC.

Måleresultater – se bilag b.

### 2.3 Resultater fra tredje forsøgsrække, den 8. maj 2007

Røggastemperaturen fra motoren er atter reduceret som i første måling. Gasbrænderen er blevet indreguleret forinden, hvorfor det har været muligt at gennemføre den påtænkte forsøgsrække med varierende brænder temperatur. Katalysator leverandøren er tilstede under hele målingen.

Forsøget viser følgende reduktioner i røggasemissionen når brænderen er slukket i forhold til når brænderen kører fuld last, målt før henholdsvis efter katalysatoren:

UHC	reduceres med	47,5 %
CO	reduceres med	92,4 %
NO <sub>x</sub>	øges med	8,8 %

Temperaturstigningen i katalysatoren er på 29°C med gasbrænderen på fuld last.

Konklusion:

UHC samt CO reduktionen er marginalt større end ved det tidligere forsøg, men lever stadig langt fra op til forventningerne. Katalysatorleverandøren mener at det er de for lave temperaturer der er forklaringen, og hævder at såfremt vi øger røggastemperaturen i katalysatoren til 500°C, vil vi kunne forvente en UHC reduktion på 90%.

Måleresultater – se bilag c.

### 2.4 Resultater fra fjerde forsøgsrække, den 10. oktober 2007

Der er i denne måling alene foretaget en analyse af røggassen efter katalysatoren, idet målingen er udført som en standard akkrediteret måling. Forsøget viser følgende reduktioner i røggasemissionen når det antages at røggassammensætningen før katalysatoren er som i tredje forsøgsrække:

UHC	reduceres med	42,1 %
CO	reduceres med	87,8 %

Konklusion:

UHC samt CO reduktionen er marginalt mindre end ved det tidligere forsøg. UHC niveauet er 19% under grænseværdien; 1214 mg C/Nm<sup>3</sup> @ 5% vol. O<sub>2</sub> og 30% el-virkningsgrad mod en grænseværdi på 1500.

Måleresultater – se bilag d.



2.5 Resultater fra femte forsøgsrække, den 12. november 2007

Røggastemperaturen ligger fortsat stabilt:

UHC	reduceres med	27,2 %
CO	reduceres med	87,9 %
NO <sub>x</sub>	reduceres med	2,1 %

Temperaturstigningen i katalysatoren er 17°C med gasbrænderen på fuld last.

Konklusion:

UHC samt CO reduktionen er noget mindre end ved det tidligere forsøg. UHC niveauet er 10,6% under grænseværdien; 1341 mg C/Nm<sup>3</sup> @ 5% vol. O<sub>2</sub> og 30% el-virkningsgrad mod en grænseværdi på 1500.

Temperaturstigningen i katalysatoren viser sig i dag et halvt år efter dette måleresultat fortsat at være 17°C, så det må formodes at katalysatoren ligger på et stabilt niveau.

Måleresultater – se bilag e.

2.6 Konklusion på måleresultaterne

Temperaturstigningen i katalysatoren viser sig i dag et halvt år efter dette sidste måleresultat fortsat at være 17°C, så det må formodes at katalysatoren ligger på et stabilt niveau.

Det er lykkedes at omsætte 25-30% af UHC indholdet i røggassen med en driftstemperatur i katalysatoren på ca. 450°C. Det er sandsynligt at en forøgelse af driftstemperaturen til 500-550°C i katalysatoren vil betyde at 90% af UHC indholdet i røggassen vil omsættes til varmeenergi.



## UHC katalysator projekt

Måleresultater  
22. februar 2007.

	Brænder slukket	Brænder dellast	Brænder dellast	Brænder fuld last
<b>Røggastemp</b>				
før katalysator	383°C	409°C	429°C	445°C
efter katalysator	390°C	419°C	442°C	466°C
Temperatur- stigning i katalysator	7°C	10°C	13°C	21°C
<b>UHC</b>				
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub> @ 30% el-v.grad	1654 mg	1520 mg	1334 mg	998 mg
<b>CO</b>				
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub>	60 mg	55 mg	51 mg	58 mg
<b>NOx</b>				
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub>	241 mg	237 mg	240 mg	233 mg



## UHC katalysator projekt

Måleresultater  
7. marts 2007.

	Brænder slukket	Brænder fuld last
<b>Røggastemp.</b>		
før katalysator	401°C	495°C
efter katalysator.	408°C	511°C
Temperatur- stigning i katalysator	7°C	16°C
 <b>UHC</b>		
før brænder /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub> @ 30% el-v.grad	1634 mg	
før katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub> @ 30% el-v.grad		1477 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub> @ 30% el-v.grad	1524 mg	899 mg
 <b>CO</b>		
før brænder /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub>	785 mg	
før katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub>	782 mg	871 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> 5% O <sub>2</sub>	63 mg	68 mg



## UHC katalysator projekt

Måleresultater  
8. maj 2007.

	Brænder slukket	Brænder fuld last
<b>Røggastemp.</b> før katalysator	398°C	460°C
efter katalysator	405°C	489°C
Temperatur- stigning i katalysator	7°C	29°C
<b>UHC</b> før brænder /Nm <sup>3</sup>	2097 mg	2097 mg
før katalysator /Nm <sup>3</sup>	2008 mg	1724 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup>	2020 mg	1102 mg
<b>CO</b> før brænder /Nm <sup>3</sup>	784 mg	856 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup>	86 mg	60 mg
<b>NO</b> før brænder /Nm <sup>3</sup>	24 mg	23 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup>	65 mg	70 mg
<b>NO<sub>2</sub></b> før brænder /Nm <sup>3</sup>	44 mg	54 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup>	5 mg	4 mg

$O_2$ før brænder /Nm <sup>3</sup>	12,2 %	12,2 %
efter katalysator /Nm <sup>3</sup>	12,2 %	11,5 %



## UHC katalysator projekt

Måleresultater  
10. oktober 2007.

Brænder fuld last

<b>UHC</b> efter katalysator /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	1215 mg
---	---------

<b>CO</b> efter katalysator /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	96 mg
--	-------

<b>NO<sub>x</sub></b> efter katalysator /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	235 mg
--	--------



# UHC katalysator projekt

Måleresultater  
12. november 2007.

Brænder fuld last

<b>Røggastemp.</b> før katalysator	450°C
efter katalysator	467°C
Temperatur- stigning i katalysator	17°C
<b>UHC</b> før brænder /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	2246 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	1636 mg
<b>CO</b> før brænder /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	801 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	97 mg
<b>NO<sub>x</sub></b> før brænder /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	241 mg
efter katalysator /Nm <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub>	236 mg
<b>O<sub>2</sub></b> før brænder /Nm <sup>3</sup>	12,4 %
efter katalysator /Nm <sup>3</sup>	11,8 %