

# Præstationsprøvning 2008 (udført i 2009)

## Ammoniak i strømmende gas - Målestedets egnethed og gassens homogenitet

Arne Oxbøl  
28. maj 2009  
Revideret 7. juli 2009

<b>1</b>	<b>Baggrund .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Kort beskrivelse af projektet.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Gennemførelse.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Dokumentation af de nominelle værdier .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Evaluering af resultaterne.....</b>	<b>7</b>
	<i>5.1 Statistiske test.....</i>	<i>7</i>
<b>6</b>	<b>Deltagernes resultater .....</b>	<b>9</b>
	<i>6.1 Skorstensmålinger.....</i>	<i>9</i>
	<i>6.2 Prøver med kendt indhold af ammoniak.....</i>	<i>13</i>
<b>7</b>	<b>Kontrol af målestedets egnethed og homogenitet.....</b>	<b>15</b>
	<i>7.1 Metoder .....</i>	<i>15</i>
	<i>7.1.1 Målestedets egnethed.....</i>	<i>15</i>
	<i>7.1.2 Målestedets homogenitet.....</i>	<i>15</i>
	<i>7.2 Resultater.....</i>	<i>16</i>
	<i>7.2.1 Målestedets egnethed.....</i>	<i>16</i>
<b>8</b>	<b>Konklusion.....</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>Bilagsoversigt.....</b>	<b>20</b>

## 1 Baggrund

Blandt Referencelaboratoriets opgaver er at bidrage til kvaliteten i akkrediterede emissionsmålinger, der udføres af danske målefirmaer. Referencelaboratoriets styregruppe har besluttet at udføre en sammenlignende prøvning blandt danske måleinstitutioner i 2008 for ammoniak i strømmende gas. I forbindelse med prøvningen for ammoniak skal laboratorierne teste et målested efter anvisningerne for test af målested som angivet i DS/EN 15259<sup>1</sup> kap. 6.2.1, kap. 8.3, bilag D og bilag E.

DANAK har været involveret i både den forberedende fase og i indsamlingen af resultater. DANAK stillede krav om, at de akkrediterede målefirmaer enten deltog i den sammenlignende prøvning, eller alternativt fremlagde tilsvarende dokumentation fra andre interlaboratorieundersøgelser. Måleresultaterne blev sendt til DANAK fra de enkelte deltagende firmaer, og DANAK sendte dem videre i anonymiseret form til Referencelaboratoriet for videre beregning.

Det var Miljøstyrelsens ønske, at deltagerne selv skulle finansiere hovedparten af projektkomkostningerne. Miljøstyrelsen har dog af Referencelaboratoriets midler ydet et tilskud til igangsættelse af projektet.

I skorstenen på DONG Energy Esbjergværket er der indrettet seks målestudse for miljømålinger. DONG Energy Esbjergværket har tidligere været vært for sammenlignende målinger af andre komponenter, hvor en ensartet flowprofil samt gode betingelser for præstationsprøvning blev dokumenteret i skorstenen. Den vurderes at være velegnet til præstationsprøvning for de valgte parametre.

Præstationsprøvningen har omfattet såvel måling/prøvetagning som de efterfølgende laboratorieanalyser. Testen blev suppleret med absorptionsvæsker med kendte koncentrationer. Disse absorptionsvæsker blev analyseret af alle laboratorierne til vurdering af analysedelen af en måleopgave.

Nærværende reviderede rapport er udført, fordi laboratorium 4 har opdaget, at man har rapporteret mængde  $\text{NH}_3\text{-N}$  og ikke mængde  $\text{NH}_3$ . De tidligere rapporterede tal var derfor en faktor 1,22 for lave.

Laboratorium 4 har dermed lavet en fejl, som i princippet indgår som alle andre fejl i en prøvning. Ét af formålene med præstationsprøvninger er imidlertid at vurdere, hvad laboratorierne kan præstere, når målingerne udføres korrekt og uden "dumme" fejl. Derfor er det relevant at præstere reviderede beregninger for at give det bedst mulige grundlag for vurdering. Laboratorium 4 har derfor sendt de reviderede værdier til DANAK, som har sendt dem videre til Referencelaboratoriet for genberegning. Denne rapport indeholder beregninger for reviderede værdier.

Laboratorium 4 bør sørge for at udføre korrigerende handling efter aftale med DANAK.

Den væsentligste konsekvens af beregningerne med de nye, rigtige tal er:

Laboratorium 4 har nu de mest præcise analyser af de udleverede væsker.

<sup>1</sup> DS/EN 15259: Air quality – Measurement of stationary source emissions – Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report, Oktober 2007

## 2 Kort beskrivelse af projektet

Der er forventeligt meget lav koncentration af ammoniak ved normal drift, hvor røggassen renses med vådkemiske skrubbere. DONG Energy Esbjergværket indvilligede i at lede en del af røggassen uden om den kemiske vådrensning i to af måleperioderne i et forsøg på at opnå lidt højere koncentrationer. Samtidig blev det besluttet, at hver måleperiode skulle vare to timer for også derved at øge mængden af opsamlet materiale på filtre og i absorptionsvæsker.

Ved skorstensmålinger er det ikke muligt at skelne prøvetagning og analyse ved eventuelle fejl, hvorfor testen blev suppleret med absorptionsvæsker med kendte koncentrationer af ammoniak. Absorptionsvæskerne blev fremstillet af Eurofins, Smedeskovvej 38, 8464 Galten. Eurofins deltog også i testen, men fremstillingen af væskerne er sket i en anden afdeling med en ansvarlig person, som intet har med prøvningen at gøre. Laboratorierne blev ikke oplyst om den "sande værdi", som kun blev oplyst til DANAK. Først da alle resultaterne var indrapporteret, blev resultaterne videresendt til Referencelaboratoriet.

Invitationen blev sendt til fem laboratorier, der har akkreditering til måling af ammoniak, og alle fem har deltaget. Invitationen gjaldt også evt. andre interesserede parter, som er blevet orienteret via Referencelaboratoriets hjemmeside, men ikke andre meldte sig.

Laboratorierne har efterfølgende selv udført analyser eller anvendt et akkrediteret kontraktlaboratorium. Der blev udleveret elektroniske skemaer til indrapportering af måleresultaterne (vedlagt i bilag 1). For at sikre bedst muligt mod fejl i overførsel af rapporterede tal til beregningsark, er laboratorierne blevet bedt om at udfylde skemaerne som elektroniske filer.

De beregnede værdier skal efter aftale med DANAK rapporteres, uanset at værdierne eventuelt er lavere end firmaernes detektionsgrænse og dermed uden hensyn til evt. begrænsninger i akkrediteringen. Resultaterne kan evt. bruges i en overvejelse af, om de enkelte laboratorier fremover kan udvide det akkrediterede område nedad.

DANAK modtog alle resultaterne, gav dem kodenumre og sendte dem på e-mail til Referencelaboratoriet den 31. marts 2009.

Denne rapport er sendt til de deltagende laboratorier, Miljøstyrelsen og DANAK og publiceres på Referencelaboratoriets hjemmeside. DANAK informerer de deltagende laboratorier om, hvilket nummer de har i testen.

### 3 Gennemførelse

Præstationsprøvningen afholdtes den 27. og 28. januar 2009, begge dage i perioden fra klokken ca. 09:00 ca. 16:00. Følgende måleinstitutter deltog:

- FORCE Technology
- Eurofins Danmark A/S
- DONG Energy Enstedværket
- Analytech
- DG Teknik

Hver prøveoptagning forløb over to timer.

Hvor firmaerne har angivet, at resultaterne er under deres detektionsgrænse, er dette markeret i indrapporteringsskemaerne med et "<". De videre beregninger til test af kvaliteten af målingerne er udført på alle værdier, uanset om disse er markeret med et "<". Der kan være tilfælde, hvor laboratorierne ikke har kunnet detektere et stof og derfor har angivet detektionsgrænsen med et "<" foran. Det er i forbindelse med prøvningen i 2007 påpeget fra ét af laboratorierne, at dette i princippet kan give fejlagtige konklusioner. Hvis det evt. er tilfældet, vil laboratorierne kunne forklare dette over for DANAK, og sådanne resultater vil ikke give problemer i forhold til akkrediteringen. Det er vigtigt her at påpege, at ét af formålene med præstationsprøvninger er at undersøge laboratoriernes faktiske formåen med henblik på, at de evt. kan nedsætte detektionsgrænser og/eller ændre usikkerhedsangivelser.

Laboratorierne indrapporterede til DANAK, som først efter modtagelsen af samtlige resultater sendte dem videre til Referencelaboratoriet for beregning.

Referencelaboratoriet gennemførte herefter de beregninger og illustrationer, som er omtalt i nærværende rapport.

## 4 Dokumentation af de nominelle værdier

For skorstensmålingerne findes ingen nominelle værdier, og parametrene varierer med anlæggets produktion. De enkelte laboratoriers resultater testes overfor gennemsnittet af samtlige resultater for hver måleserie med Grubb's test for outliers. Gennemsnittet af værdierne (ekskl. outliers) er det bedste estimat af den sande værdi.

Variationen på gennemsnitsværdierne estimeres ved spredningen på resultaterne for hver måleserie. Der er udført en test for spredningernes ensartethed (Cochran's test). Hvor denne viste, at spredningerne ikke afveg signifikant fra hinanden er der beregnet en poollet variation for samtlige måleserier som det bedste estimat for variationen på målingerne. Hvor spredningerne var signifikant forskellige, er spredningen for hver enkelt måling anvendt i beregningerne for denne måling.

Der korrigeres normalt ikke for feltblindværdier ved emissionsmåling (MEL-22)<sup>2</sup>, men der stilles krav om, at feltblindværdien ikke må overskride 10% af gældende grænseværdi. Det antages, at laboratorierne ikke har korrigeret for evt. feltblindværdi, men det vides ikke.

For de fremstillede absorptionsvæsker kendes de nominelle værdier og et estimat for variationen på de nominelle værdier.

---

<sup>2</sup> Miljøstyrelsens anbefalede metoder: Kvalitet i emissionsmåling, MEL-22. Se [www.ref-lab.dk](http://www.ref-lab.dk).

## 5 Evaluering af resultaterne

For at sikre bedst muligt mod fejl i overførsel af rapporterede tal til beregningsark, har laboratorierne udfyldt skemaerne som elektroniske filer. Fra resultatarkene er resultaterne hentet over i beregningsarkene ved hjælp af logiske kommandoer, som for hvert laboratorium og parameter har identificeret den rigtige celle i den rigtige rapporteringsfil.

Tre laboratorier har for skorstensmålingerne rapporteret resultater for både filtre, væsker og total. Der var ikke krav om at rapportere alle værdier.

### 5.1 Statistiske test

Indledningsvis blev måleværdierne i hver måleserie for skorstensparametrene testet med Grubb's test for outliers<sup>3</sup> og stragglers<sup>4</sup>. Teststørrelsen beregnes med formlen

$$G = \frac{x_p - \bar{x}}{s}$$

hvor  $x_p$  er den enkelte måleværdi  
 $\bar{x}$  er middelværdi for måleserien  
 $s$  er spredningen for måleserien

Stor spredning mellem resultaterne betyder, at selv tydeligt afvigende resultater kan blive "godkendt". Tilsvarende betyder meget lille spredning, at resultater, der ikke afviger meget i absolutte værdier, kan blive dømt som outliers eller stragglers. I den aktuelle skorstenstest blev der ikke fundet hverken outliers eller stragglers.

Spredningerne for måleserierne er testet med Cochran's test med formlen

$$C = \frac{s_{\max}^2}{\sum s^2}$$

hvor  $s_{\max}^2$  er den højeste værdi for  $s^2$  for de fem måleserier  
 $\sum s^2$  er summen af værdier for  $s^2$

Ingen spredninger har været outliers.

z-scorer beregnes for resultater, hvor den nominelle værdi ikke kendes (skorstensmålingerne). For resultater, hvor den nominelle værdi kendes (analyser af absorptionsvæsker med kendt indhold), har z-scoren ikke relevans.

z-scoren beregnes for hvert enkelt måleresultat ud fra følgende formel<sup>5</sup>:

$$z = \frac{|x_i - X|}{s}, \text{ hvor}$$

<sup>3</sup> En outlier er en værdi, som med 99% sandsynlighed ikke tilhører samme fordeling som de øvrige værdier.

<sup>4</sup> En straggler er en værdi, som med 95% sandsynlighed ikke tilhører samme fordeling som de øvrige værdier. Den er dermed mindre usikker end en outlier.

<sup>5</sup> ISO 43-1 Proficiency testing by interlaboratory comparisons. Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes

- $x_i$  er laboratoriets resultat
- $X$  er gennemsnittet af alle laboratoriers værdier (ekskl. outliers)
- $s$  er spredningen på måleværdierne ( $1 \times \text{RSD}$ ) eller en på forhånd fastsat spredning<sup>5</sup>

Det er i beregningerne forudsat, at  $(x_i - X)$  er normalfordelt omkring 0. På baggrund heraf angiver ISO 43-1 følgende vurderingskriterier for resultaterne:

$z$	Vurdering
$ z  \leq 2$	tilfredsstillende
$2 <  z  < 3$	tvivlsom
$ z  \geq 3$	ikke tilfredsstillende

De resulterende z-scorer for skorstensparametre er vist i afsnit 6.1 for filtre, væsker og total og markeret med en farve som i ovenstående skema.

For analyserne af tilsendte absorptionsvæsker med kendt indhold har vi beregnet en  $E_n$ -score efter følgende formel<sup>5</sup>:

$$E_n = \frac{x_i - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

hvor

$x_i$  og  $X$  har de ovenfor angivne betydninger

$U_{lab}$  er det enkelte laboratoriums angivne usikkerhed ( $1,96 \times \text{RSD}$ )

$U_{ref}$  er usikkerheden på den nominelle værdi ( $1,96 \times \text{RSD}$ ), som er oplyst af det laboratorium, der fremstillede opløsningerne.

$E_n$ -scorer mindre end eller lig med 1 er tilfredsstillende, mens  $E_n$ -scorer større end 1 ikke er tilfredsstillende. Vurderingen af  $E_n$ -scorer for ammoniak er illustreret i figur 7 i resultatafsnittet med rød baggrundsfarve for utilfredsstillende  $E_n$ -scorer.



## 6 Deltagernes resultater

Bilag 1 viser det indrapporteringskema (ikke udfyldt), som laboratorierne har anvendt. I figur 1, 3 og 5 ses resultaterne for skorstensmålingerne i beregningsark for beregning af z-scorer. I figur 7 ses de tilsvarende beregninger for ammoniak i udleverede væsker.

Resultaterne for skorstensmålingerne er angivet i  $\text{mg/m}^3$  (n,t) og for de udleverede væsker i  $\text{mg/l}$ .

### 6.1 Skorstensmålinger

Den eneste parameter i denne test er ammoniak, og ikke andre parametre er rapporteret, selvom laboratorierne har målt f.eks. temperatur og vandindhold. Tre af laboratorierne har analyseret ammoniak opdelt på filter og absorptionsvæske og angivet tre værdier (filter, væske og totalt). To laboratorier har angivet totalindholdet.

Målingerne 1 og 2 er udført ved delvis by-pass af de kemiske vådskrubbere.

Der var meget lidt ammoniak i skorstenen, og flere laboratorier har angivet værdierne som mindre end. I nedenstående figurer 1, 3 og 5 er disse værdier illustreret ved markering med turkis i feltet. Laboratorierne er anmodet om at angive usikkerheden på basis af et 95% konfidensinterval (d.v.s.  $1,96 \cdot \text{RSD}$ ). Disse værdier er også vist i figurerne 1, 3 og 5. Alle laboratorier, der har angivet usikkerhed, har angivet den som absolutte værdier med samme enhed som måleværdien.

Der er beregnet z-scorer for hhv. filterandel, væskeandel og total mængde ammoniak. Beregningsresultaterne ses i figurerne 1, 3 og 5.

Resultaterne er desuden vist i søjlediagrammer i 2, 4 og 6.

**Figur 1.** Resultater og beregninger for totalindhold af ammoniak i skorsten.

	Måling	1	2	3
	Laboratorium	$\text{mg/m}^3$ (ref.)	$\text{mg/m}^3$ (ref.)	$\text{mg/m}^3$ (ref.)
Resultater	1	0,060	0,070	0,040
	2	0,200	0,200	0,200
	3	0,051	0,060	0,057
	4	0,024	0,026	0,029
	5	0,200	0,200	0,200
z-scorer	1	0,6	0,5	0,7
	2	1,1	1,1	1,1
	3	0,7	0,6	0,6
	4	1,0	1,0	0,9
	5	1,1	1,1	1,1
$U_{\text{lab}}$	1	0,040	0,050	0,010
	2	0,200	0,200	0,200
	3	0,006	0,007	0,007
	4	0,004	0,004	0,005
	5			
Estimeret værdi	Værdi	0,107	0,111	0,105
	$U_{\text{måling}}$	0,17	0,16	0,17

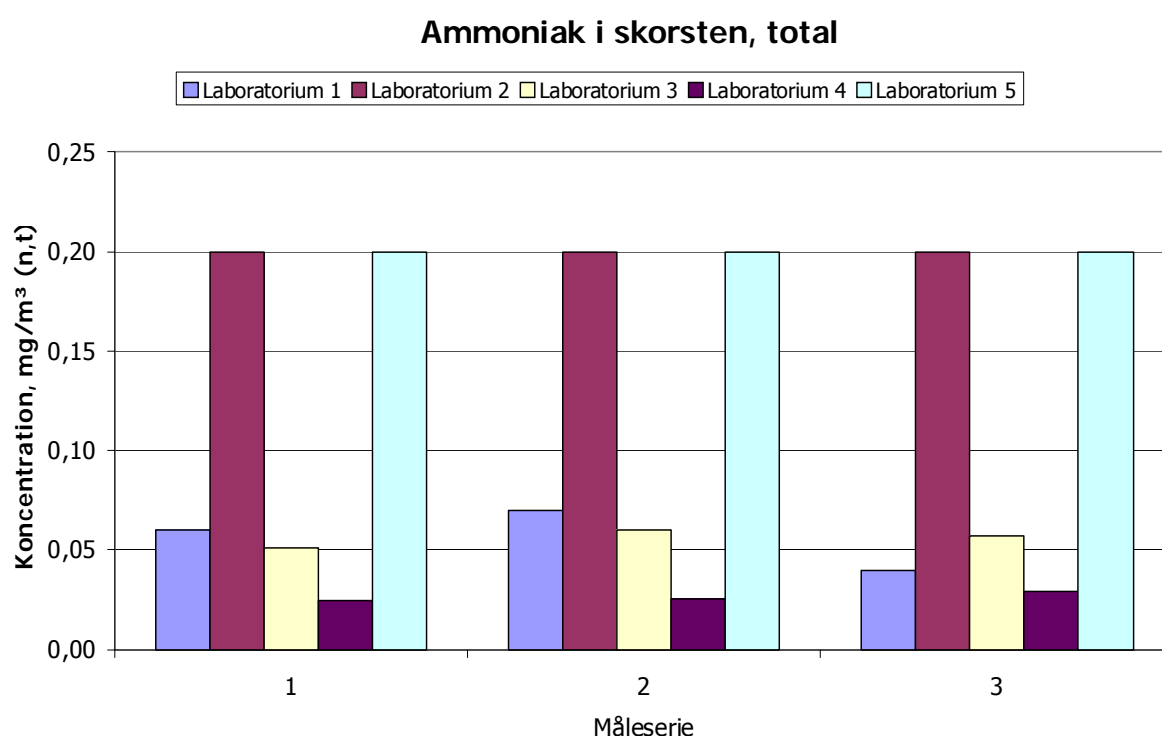
Kun to laboratorier har angivet værdier, som er højere end deres detektionsgrænse. To af de andre laboratorier har relativt høje detektionsgrænser, hvorfor det samlede billede viser en tilsyneladende stor variation.

Alle laboratorier har imidlertid acceptable z-scorer, og set i lyset af at BAT-niveauer og grænseværdier for ammoniak er en del højere end de målte værdier, er de opnåede resultater meget tilfredsstillende<sup>6</sup>.

De oplyste usikkerheder ( $U_{lab}$ ) varierer isoleret betragtet forholdsvis meget, og nogle laboratorier kunne sikkert opnå lavere usikkerheder. Men set i forhold til BAT-niveauer og grænseværdier er det ikke vigtigt at kunne angive en lavere usikkerhed.

Den faktisk opnåede usikkerhed ved målingerne ( $U_{måling}$ ) er i overensstemmelse med laboratorium 2's angivelse mens de øvrige laboratorier angiver noget lavere usikkerheder. Især laboratorium 3 og 4 angiver meget lave usikkerheder. Den faktisk opnåede usikkerhed er imidlertid påvirket meget af, at laboratorierne 2 og 5 har relativt høje detektionsgrænser.

**Figur 2.** Grafisk illustration af totalindhold af ammoniak i skorsten.



Resultaterne for laboratorierne 1, 2 og 5 er detektionsgrænser.

<sup>6</sup> BAT-niveauet efter SNCR og SCR på store fyringsanlæg angives til  $< 5 \text{ mg/m}^3(\text{n,t})$  og emissionsgrænseværdien i Luftvejledningen er  $500 \text{ mg/m}^3(\text{n,t})$ . (Reference document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006).

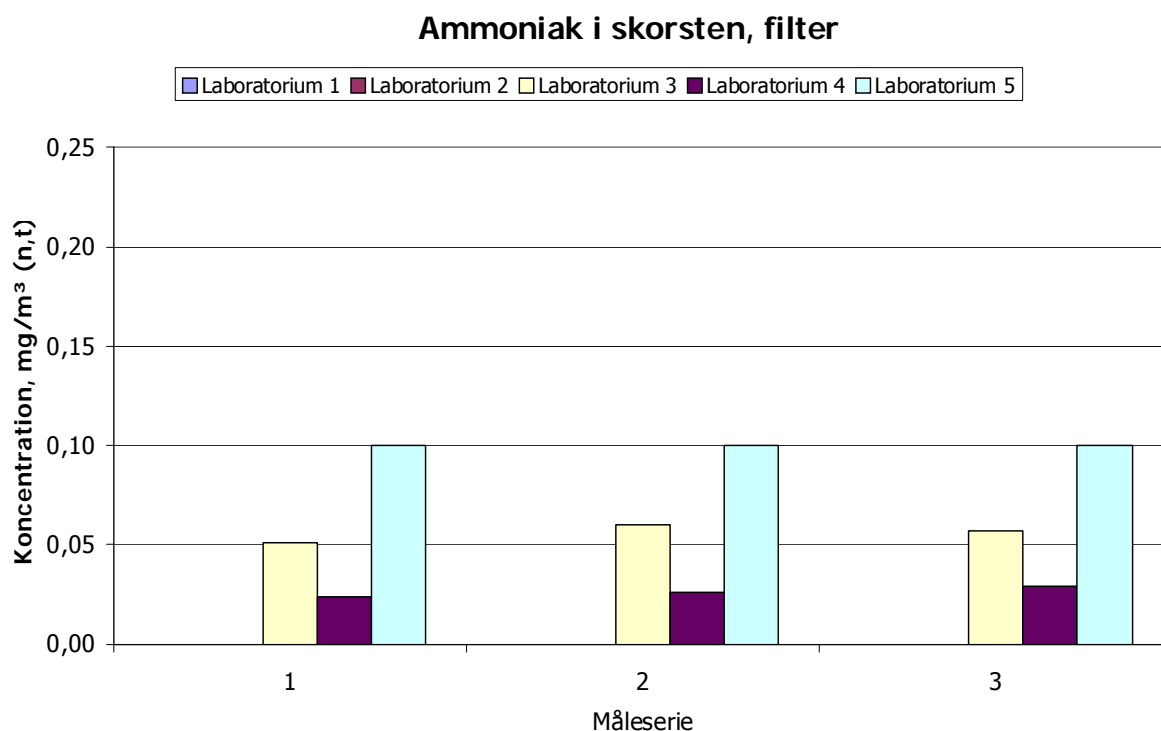
**Figur 3.** Resultater og beregninger for filterandel af ammoniak i skorsten.

	Måling	1	2	3
	Laboratorium	mg/m <sup>3</sup> (ref.)	mg/m <sup>3</sup> (ref.)	mg/m <sup>3</sup> (ref.)
Resultater	1			
	2			
	3	0,051	0,060	0,057
	4	0,024	0,026	0,029
	5	0,100	0,100	0,100
z-scorer	1			
	2			
	3	0,2	0,0	0,1
	4	0,9	1,0	0,9
	5	1,1	1,0	1,1
U <sub>lab</sub>	1			
	2			
	3	0,006	0,007	0,007
	4			
	5			
Estimeret værdi	Værdi	0,058	0,062	0,062
	U <sub>måling</sub>	0,08	0,07	0,07

Alle tre laboratorier opnår tilfredsstillende z-scorer.

Kun laboratorium 3 angiver en usikkerhed på filtermålingen, og denne usikkerhed er ca. 12 gange lavere end den faktisk opnåede usikkerhed på alle målingerne. Det er her værd at se på variationen mellem måling 1, 2 og 3 for laboratorierne 3 og 4. For laboratorium 3 er forskellen mellem højeste og laveste resultat 0,009 og for laboratorium 4 er den 0,005. Begge forskelle er små, men alligevel er der en faktor 2,0 – 2,3 mellem disse to laboratoriers resultater. Den lille variation taget i betragtning kan en systematisk fejl hos ét eller begge laboratorier ikke udelukkes. Herudover påvirker laboratorium 5's detektionsgrænse også den beregnede, opnåede usikkerhed i betragtelig grad.

Figur 4. Grafisk illustration af filterandel af ammoniak i skorsten.



Resultaterne for laboratorium 5 er detektionsgrænsen.

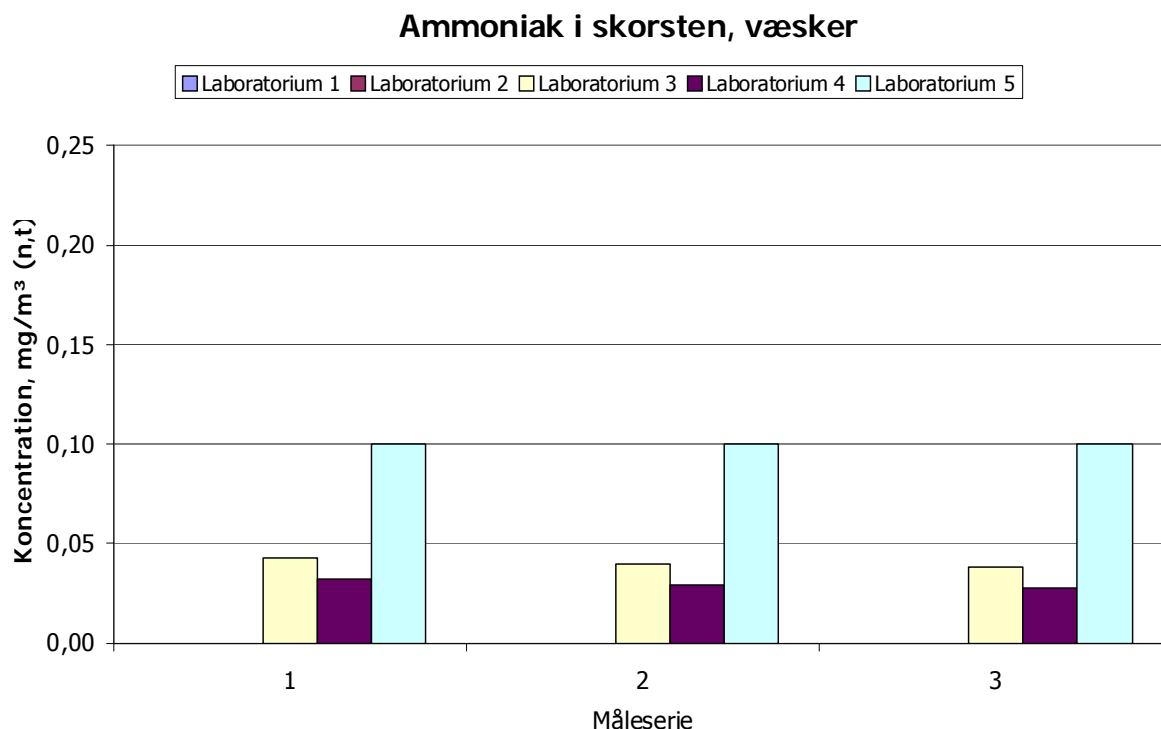
Figur 5. Resultater og beregninger for væskeandel af ammoniak i skorsten.

	Måling	1	2	3
	Laboratorium	mg/m <sup>3</sup> (ref.)	mg/m <sup>3</sup> (ref.)	mg/m <sup>3</sup> (ref.)
Resultater	1			
	2			
	3	0,043	0,039	0,038
	4	0,032	0,029	0,028
	5	0,100	0,100	0,100
z-score	1			
	2			
	3	0,4	0,4	0,4
	4	0,7	0,7	0,7
	5	1,1	1,1	1,1
U <sub>lab</sub>	1			
	2			
	3	0,017	0,016	0,015
	4			
	5			
Estimeret værdi	Værdi	0,058	0,056	0,055
	U <sub>måling</sub>	0,07	0,08	0,08

Alle tre laboratorier angiver værdier som værende mindre end detektionsgrænsen. Laboratorium 5 har angivet <0,1 for både filter og væske og <0,2 for total. MEL-22 angiver ikke præcis vejledning i, hvordan sum skal beregnes, hvis alle værdier er mindre end detektionsgrænsen. MEL-22 angiver dog, at værdier mindre end detektionsgrænsen ikke skal medregnes i sum, hvilket i praksis bør tolkes således, at den højeste af de to detektionsgrænser angives som resultat.

Kun laboratorium 3 angiver en usikkerhed på væskemålingen, og denne usikkerhed er ca. fem gange lavere end den faktisk opnåede usikkerhed på målingerne.

**Figur 6.** Grafisk illustration af væskeandel af ammoniak i skorsten.



Resultaterne for alle tre laboratorier er detektionsgrænsen.

Et krav til alle målinger er, at detektionsgrænsen skal være mindre end eller lig med 10% af grænseværdien. De rapporterede resultater viser, at samtlige laboratorier kan måle meget lave koncentrationer. Selvom nogle laboratorier måske har rapporteret lavere værdier end deres normale detektionsgrænser, vurderes det, at laboratorierne formåen fuldt ud er i stand til at dokumentere overholdelse af BAT-niveauer og grænseværdier, også ved måling af en times varighed.

De faktisk beregnede usikkerheder,  $U_{\text{måling}}$ , (95% konfidensintervaller) er ikke i særlig god overensstemmelse med laboratorierne angivelser, hvilket i høj grad skyldes, at der indgår høje detektionsgrænser.

## 6.2 Prøver med kendt indhold af ammoniak

Alle laboratorier fik udleveret to flasker med ammoniakopløsninger i koncentrationer, der var kendte af DANA. Laboratorium 1 har ikke rapporteret resultater for denne del af prøvningen med den begrundelse, at laboratoriet ikke selv udfører analyser, men sender prøver til andet laboratorium. Analysen af flaskerne burde imidlertid have været udført, da analysedelen under alle omstændigheder bidrager til det samlede resultat. Havde laboratoriet haft afvigende resultater på skorstensmålingen, kunne det have skyldtes analysen – uanset, at laboratoriet ikke selv havde udført den.

Figur 7 viser laboratorierne analyseresultater, usikkerhedsangivelser for resultaterne, nominelle værdier med usikkerhedsangivelse og beregnede  $E_n$ -scorer. Kun tre laboratorier har angivet usikkerhed for disse analyser. Laboratorium 5 oplyser, at ammoniakmåling ikke er omfattet af deres akkreditering og, at validering med hensyn til usikkerhed ikke er færdig.

**Figur 7.** Resultater og  $E_n$ -scorer.

	Måling	1	2
	Laboratorium	mg/l	mg/l
Resultater	1		
	2	0,192	1,072
	3	0,234	1,080
	4	0,200	0,960
	5	0,232	1,113
$U_{lab}$	1		
	2	0,100	0,200
	3	0,023	0,108
	4	0,010	0,030
	5		
Sand værdi	Værdi	0,2003	1,002
	$U_{ref}$	0,02	0,10
$E_n$ -scorer	1		
	2	0,1	0,3
	3	1,1	0,5
	4	0,0	0,4
	5	-	-

Testen viser, at laboratorium 3 ikke består analysen af prøven med lav koncentration. Laboratoriet er for optimistisk med hensyn til usikkerhedsangivelse (10%). Havde laboratoriet angivet 20% usikkerhed havde  $E_n$ -scoren været 0,8. For prøven med den høje koncentration lever resultatet op til laboratoriets egen forventning (10% usikkerhed).

Laboratorium 4 er endnu mere optimistisk med hensyn til usikkerhed, og (de reviderede) resultater lever også op til det.

Laboratorium 2 angiver væsentligt større usikkerheder (hhv. 52% og 19%) og lever meget fint op til disse forudsætninger.

Testen understreger dermed, at usikkerhedsangivelsen er meget væsentlig for at bestå eller ikke bestå. Det understreger tilsvarende, at laboratoriernes usikkerhedsangivelser bør afspejle en høj grad af enighed blandt laboratorierne, således at godkendte/ikke godkendte  $E_n$ -scorer giver et éntydigt billede af, hvilket laboratorium der er bedst.

Det foreslås, at DANAK stiller krav om en usikkerhedsangivelse, som dels er realistisk, men også er acceptabel for brugerne af laboratorieanalyser.

Tabel 1 viser laboratoriernes relative afvigelser fra de sande værdier.

**Tabel 1.** Oversigt over relative afvigelser.

Laboratorium	Relative afvigelser	
	Lav konc.	Høj konc.
2	-4	7
3	17	8
4	0	-4
5	16	11

Tabel 1 viser, at laboratorium 4 har udført de mest nøjagtige analyser, fulgt af laboratorierne 2, 3 og 5.

## 7 Kontrol af målestedets egnethed og homogenitet

### 7.1 Metoder

#### 7.1.1 Målestedets egnethed

Målestedets egnethed skal i henhold til DS/EN 15259 kontrolleres efter følgende regler:

- Flowretningens vinkel må ikke afvige mere end  $15^\circ$  i forhold til kanalens akse.
- Der må ikke være negativt flow.
- Minimumshastighed skal være større end målemetodens nedre grænse (for pitotrør  $> 5$  Pa svarende til  $0,5$  mmVS).
- Forholdet mellem den største og mindste målte hastighed i tværsnittet skal være mindre end 3:1.

Konsekvensen af implementering af DS/EN 15259 er, at målerapporter bør indeholde en kontrol af målestedets egnethed. I kanaler, hvor denne kontrol tidligere er foretaget, og hvor der ikke er gennemført væsentlige ændringer i enten flow eller opbygning af målestedet, kan der refereres til tidligere kontrol.

Det betyder også, at de hidtidigt anvendte regler om fem gange kanaldiameteren før et målested og én gang kanaldiameteren efter et målested ikke er garanti for at målestedet kan godkendes. Tilsvarende kan målesteder, der ikke er indrettet med disse kanallængder, evt. godt accepteres ved ovennævnte kontrol.

DS/EN 13284-1<sup>7</sup> angiver i bilag B en metode til måling af flowets vinkel med pitotrør (også kaldet swirl).

#### 7.1.2 Målestedets homogenitet

DS/EN 15259 anfører, at en gas antages at være homogen for en given parameter i et aktuelt målested, hvis den aktuelle værdi kun varierer over tid, men ikke over måleplanet. Det skal derfor testes om spredningen for måleværdier i planet er signifikant større end spredningen for måleværdier over tid.

Konsekvensen af implementering af DS/EN 15259 er, at alle målesteder én gang for alle og for hver parameter skal testes for homogenitet, således at det kan afgøres, om gasmålinger skal traverseres i dette målested.

Testen kan gennemføres på forskellige måder med varierende styrke. I alle tilfælde bestemmes antal målepunkter,  $N$ , i planet i afhængighed af kanalens diameter. Fastlæggelse af antallet er beskrevet i EN 15259 bilag D.

Den optimale metode er at anvende to målere, som stilles til samme responstid (samme slangelængde etc). Den ene måler anbringes i et referencepunkt i kanalen og den anden traverseres med mindst tre minutter i hvert punkt. Måleresultaterne er middelværdierne for hver måleperiode á mindst tre minutter.

Spredningen for måleresultaterne i de enkelte punkter,  $S_{grid}$ , og for måleresultaterne i referencepunktet,  $S_{ref}$ , beregnes. Hvis  $S_{grid}$  er mindre end  $S_{ref}$  er gassen homogen. Hvis  $S_{grid}$  er større end  $S_{ref}$  fortsættes med beregning af den statistiske størrelse,  $F$ , som sammenlignes med størrelsen  $F_{N-1,N-1,0,95}$ . Hvis  $F$  er større end  $F_{N-1,N-1,0,95}$  er gassen med 95% sikkerhed IKKE homogen. I modsat fald betragtes gassen som homogen.

I tilfældet, hvor gassen konstateres at være IKKE homogen, foretages endnu en statistisk test for at blive helt sikker på, om der skal traverseres. Testen omfatter beregning af usikkerheden på de kombinerede resultater fra målinger over planet og målinger over tid,  $U_{pos}$ . Hvis  $U_{pos}$  er mindre end den tilladelige usikkerhed på parameteren,  $U_{perm}$ , kan man nøjes med måling i ét repræsentativt punkt.

<sup>7</sup> DS/EN 13284-1 Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Part 1: Manual gravimetric method, 2001

Det er tilladt at bruge anlæggets AMS til referencepunktet (responstiden for målerne skal blot være den samme). Det er også tilladt at kun bruge én monitor, hvor referencemålingen udføres over et lige så langt tidsrum efter den indledende traversering med tre minutter i hvert punkt. Man risikerer dog, at testresultatet kræver at testen gentages med 2 monitorer.

Resultatet af testen er én af nedenstående tre muligheder

- \* Traversering af gasmålinger nødvendigt
- \* Måling i ét repræsentativt punkt nødvendigt (punktet udpeges)
- \* Mål i et tilfældigt punkt i kanalen.

Testen er foretaget i en skorsten med diameter 4,9 meter og areal ca. 18,8 m<sup>2</sup>. Ifølge EN 15259 Bilag D, skal der være 4 målepunkter per kvadratmeter, dog er 20 generelt tilstrækkeligt. Hvert laboratorium er blevet bedt om at måle over to halve diametre, og det rigtige valg er derfor 10 punkter.

## 7.2 Resultater

Et af formålene med prøvningen var at dokumentere, at laboratorierne på eget initiativ kan udføre de to tests som beskrevet i standarderne. Derfor er der ikke på forhånd udleveret måleskemaer, som ville være en hjælp til planlægningen. Derfor har laboratorierne rapporteret resultaterne på forskellig måde. De tilsendte rapporter eller regneark er vist i bilagene 2 til 6.

Resultaterne er gennemgået og kommenteret nedenfor.

### 7.2.1 Målestedets egnethed

I tabel 2 er laboratoriernes resultater forsøgt gengivet på en ensartet, overskuelig form således, at det let fremgår, om hvert laboratorium har fulgt standardernes anvisninger.

Tabellen viser bl.a. målepunkternes placering. For overskuelighedens skyld er kun placeringen langs den ene diameter vist, idet placeringen på den anden diameter var identisk.

Homogenitetstesten er udført ved måling af NO<sub>x</sub>. Det ene laboratorium har udført målinger i hele måleperioden i ét punkt og leveret data til de øvrige laboratorier. Det er ikke oplyst, om nogle laboratorier har brugt egne referenceværdier (haft to målere med). Laboratorium 2 har udført flere beregninger for homogeniteten (to for NO<sub>x</sub> og to for O<sub>2</sub>). Det antages derfor, at laboratorium 2 har udført beregning for både de udleverede data og for egne data. Alle fire beregninger viste, at gassen var homogen på måletidspunktet.



**Table 2.** Oversigt over resultater af test af egnethed og homogenitet.

Parameter	Lab 1	Lab 2	Lab 3	Lab 4	Lab 5	Korrekt	
Antal punkter	10	10	10	14	10	10	(14)
A1 dybde (cm)	13	13	-	10	-	15	(15)
A2 dybde (cm)	40	40	-	29	-	40	(29)
A3 dybde (cm)	72	72	-	49	-	72	(49)
A4 dybde (cm)	111	111	-	74	-	111	(74)
A5 dybde (cm)	168	168	-	98	-	168	(98)
A6 dybde (cm)	-	-	-	132	-	-	(132)
A7 dybde (cm)	-	-	-	181	-	-	(181)
Vinkel <15°	-	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Ingen negative flow	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Min. hastighed >5 Pa	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Forhold <1:3	Ja	Ja	Ja	2,4	<3	-	
Målested OK	-	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
S <sub>grid</sub>	4,574	9,513	6,8	9,3	2,38		
S <sub>ref</sub>	1,571	9,264	6,6	8,9	2,58		
F	1,001	1,054	1,07	1,08	-		
F <sub>9,9,0,95</sub>	3,18	3,18	3,18	3,18	-	3,18	
Gas homogen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		

Laboratorium 4 har valgt et højere antal end nødvendigt, og tilsyneladende brugt hidtil gældende praksis fra Luftvejledningens kapitel 8<sup>8</sup>. Det er altid legalt at vælge flere punkter end angivet, men naturligvis ikke færre. Laboratoriet har imidlertid ikke målt i punkterne A6 og A7 (eller B6 og B7) angiveligt pga. målestedets indretning og pitotrørets længde.

De angivne placeringer af punkterne A1-A5 (A7) er korrekt beregnet både for 10 og 14 punkter.

Afstanden fra punktet tættes på kanalvæggen (A1) til kanalvæggen skal være mindst 3% af diameteren eller 5 cm (den største værdi)<sup>7</sup>. 3% af 4,90 meter er 15 cm, hvorfor alle laboratorier, som har rapporteret placeringen, er marginalt for tæt på væggen.

I forbindelse med denne prøvning har ét af laboratorierne spurgt referencelaboratoriet netop om det inderste målepunkt. Spørgsmålet og svaret har almen interesse og rummer nyttige informationer, hvorfor det gengives på næste side.

<sup>8</sup> Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2001: Luftvejledningen – Begrænsning af luftforurening fra virksomheder, 2001

### *Spørgsmål*

I både EN 13284-1 (støvmåling) og EN 15259 (planlægning - test af målested) står der, at det yderste traverspunkt ved koncentrationsmålinger ikke må placeres tættere på kanalvæggen end 3% af diameteren eller 5 cm (den største værdi vælges). Betyder det, at punktet må kasseres, og er det virkelig den største værdi der skal vælges?

I flowstandarden ISO 10780 er der krav om 2 cm og ingen % af diameter. Hvilken regel skal vælges, når man både måler koncentration og flow ?

### *Svar*

Det er korrekt, at den største af de to værdier der skal vælges, og det er ikke tilladt at kassere det yderste punkt (tættest på kanalvæggen) hvis det falder for de nævnte afstandskrav. Standarden taler om minimum antal traverspunkter og siger, at hvert punkt skal repræsentere et lige stort areal i tværsnittet. Dette kan kun opfyldes ved at flytte det kasserede punkt ind i kanalen, til det opfylder afstandskravet. I ISO 10780 (flowmåling) - står det entydigt at punktet skal flyttes og ikke kasseres.

Det er korrekt, at afstandskravene ikke er identiske mellem de to standarder, hvilket i praksis er u hensigtsmæssigt. EN 15259 gælder alle emissionsmålinger – dvs. både koncentrationsmålinger og flowmålinger (se afsnit 6.2.1 a). Ved eftervisning af emissionsgrænseværdier skal Referencelaboratoriet derfor anbefale, at man bruger EN 15259 til udmåling af traverspunkter både til koncentrationsmålinger efter diverse EN-standarder og flowmålinger efter ISO 10780. Dette vil efter Referencelaboratoriets opfattelse sikre en tilstrækkelig høj kvalitet af både koncentrationsmålinger og flowmålinger.

Er formålet med flowmålingen eksempelvis en kalibrering af en flowmåler eller afregning af afgifter, hvor man ønsker den højeste præcision i målingen, bør man følge flowstandardens angivne traverspunkter. Især i firkantede kanaler kan der opstå betydelige fejl, hvis der ikke måles tæt på kanalvæggene.

CEN WG23 arbejder pt. på en EN-standard for manuel flowmåling. Ovenstående problemstilling er rapporteret til arbejdsgruppen, som sandsynligvis vil give valgmulighed efter formålet med målingen. Det er også sandsynligt, at den kommende EN-standard vil forlange flere traverspunkter ved måling i firkantede kanaler, hvor især kanalens hjørner er vigtige at opmåle for at få korrekt flowmåling.

Laboratorium 1 havde vanskeligheder ved at måle flowretningens vinkel i forhold til kanalens længderetning og er derfor ikke i stand til at afgøre, om målestedet er egnet. Vanskelighederne skyldes angiveligt kraftig turbulens. Ingen af de øvrige laboratorier har rapporteret om disse vanskeligheder.

Udover dette viser tabel 2, at alle laboratorier har gennemført tilfredsstillende tests af målestedets egnethed og gassens homogenitet og anvender de foreskrevne metoder korrekt.

## 8 Konklusion

Koncentrationerne af ammoniak i skorstenen var meget lave og på trods af de iagttagne forholdsregler for prøvetagningstid og analyse, måtte flere laboratorier rapportere værdier mindre end detektionsgrænsen. De rapporterede værdier gav ikke anledning til utilfredsstillende z-scorer, hvorfor det kan konkluderes, at laboratorierne kan præstere tilfredsstillende også for lave niveauer af ammoniak.

Resultaterne for analyse af ammoniak i de udleverede flasker gav sammen med laboratoriernes angivelser af usikkerhedsniveauer anledning til én utilfredsstillende  $E_n$ -score. Hovedårsagen til den utilfredsstillende  $E_n$ -score er det pågældende laboratoriums (for) optimistiske vurdering af egen formåen. Tilsvarende hænger meget lave  $E_n$ -scorer også sammen med angivelser af høje usikkerhedsniveauer. Resultaterne giver samlet anledning til diskussion af usikkerhedsangivelse med det formål at opnå mere ensartede angivelser.

Resultaterne for de udleverede flasker varierede en del, og der var relative fejl fra 4% til 17%.

Testen for målestedets egnethed og for homogenitet af  $\text{NO}_x$ -koncentration blev udført meget tilfredsstillende. Alle laboratorier følger DS/EN 15259 i høj grad. Ét laboratorium havde udpeget fire målepunkter mere end nødvendigt, men ikke målt i de fire af disse punkter. Ét laboratorium havde vanskeligheder med at bestemme volumenstrømmens retning i forhold til kanalens længderetning og kunne derfor principielt ikke vurdere målestedets egnethed.

Alle laboratorier dokumenterede, at koncentrationen af  $\text{NO}_x$  var homogen over tværsnittet.

Samlet set dokumenterer prøvningen, at de deltagende laboratorier præsterer tilfredsstillende i forhold til de til grund liggende standarder og laboratoriernes akkrediteringer, selvom enkelte laboratorier bør revurdere deres usikkerhedsangivelser til et mere realistisk niveau.

## **9 Bilagsoversigt**

- Bilag 1 Indrapporteringsskema
- Bilag 2 Homogenitets- og egnethedstest – Kode 1
- Bilag 3 Homogenitets- og egnethedstest – Kode 2
- Bilag 4 Homogenitets- og egnethedstest – Kode 3
- Bilag 5 Homogenitets- og egnethedstest – Kode 4
- Bilag 6 Homogenitets- og egnethedstest – Kode 5

## Bilag 1. Indrapporteringsskema for alle målinger

Kodenummer \_\_\_\_\_ (udfyldes af DANAK)

For skorstensmålingerne skal såvel resultat som usikkerhed angives i enheden mg/m<sup>3</sup>(n,t). I det omfang laboratoriet har resultater for både filter og vaskeflasker, bedes disse oplyst. Der stilles dog kun krav om en værdi for total (filter + vaskeflaske).

For de udleverede flasker skal såvel resultat som usikkerhed angives i enheden mg/l.

Parameter	Måling nr.		<	Filter	<	Væske	<	Total
NH3 - skorsten	1	Måleværdi						
		Usikkerhed						
	2	Måleværdi						
		Usikkerhed						
	3	Måleværdi						
		Usikkerhed						
	4	Måleværdi						
		Usikkerhed						
	5	Måleværdi						
		Usikkerhed						
NH3 - flaske	Flaske nr.							
	1	Måleværdi						
		Usikkerhed						
	2	Måleværdi						
Usikkerhed								
NH3 - flaske	Flaske nr.							
	3	Måleværdi						
		Usikkerhed						
	4	Måleværdi						
Usikkerhed								

\* Usikkerhed for en enkeltbestemmelse på basis af et 95 % konfidensinterval (dvs. 1,96 \* RSD)

Kommentarer:

---



---



---



---



---

## Bilag 2. Homogenitets- og egnethedstest – Laboratorium 1

### Målestedet egnethed

Antal og placering af målepunkter er bestemt iht. EN 13284-1 afsnit 5.3 tabel 1 og bilag C. Se bilag 1 for antal og placering.

Det målte differenstryk er fundet ved at måle et minut i hvert punkt. Differenstrykket er under målingerne logget på datalogger og gennemsnittet efterfølgende beregnet for et minuts måling i de enkelte punkter. Der var pulserende flow i skorstenen, hvilket betød, at differenstrykket var meget svingende i de enkelte punkter (min. og max. registreringer i de enkelte punkter kan ses i bilag 1).

På grund af det pulserende flow var det ikke muligt at dreje pitotrøret til stabil 0-visning, da der også her var store udsving (ca. 0-100 Pa), og det således ikke var muligt præcist at bestemme vinklen for 0-flow.

I stedet for blev pitotrøret drejet henholdsvis +/- 15° i forhold til kanalaksen for at undersøge om max. flow ligger indenfor dette område. Der blev målt og logget data for disse positioner i et minut i hvert punkt.

Målepunkt	Målt dif. tryk Pa	-15° Målt dif. tryk Pa	+15° Målt dif. tryk Pa
A1	279	267	241
A2	371	397	378
A3	344	347	386
A4	320	368	383
A5	364	357	375
B1	316	313	266
B2	336	367	387
B3	370	340	412
B4	355	370	384
B5	320	379	431

Af ovenstående målinger ses, at der i punkterne A1 og B1 er max. flow indenfor +/- 15°.

I punkterne A2, A3, A4, B2, B4 og B5 ses, at flowet både i +/- 15° er højere end i kanalens flowretning.

I punkterne A5 og B3 er max. flow registreret i +15°.

På grund af det pulserende flow, og trods det, at differenstrykket blev logget og middelværdier beregnet i 1-minuts perioder, ser de målte resultater ikke plausible ud.

På ovenstående baggrund finder vi ikke, at det kan dokumenteres, hvorvidt flowretningen i alle målepunkter ligger indenfor +/- 15° i forhold til kanalens akse.

Krav til målestedets egnethed jf. afsnit 5.2 i EN13284-1:

Krav	Opfyldt
Flowretning indenfor 15° af kanalens akse	*
Ingen negativ flow	JA
Min. hastighed (dif. tryk > 5Pa)	JA
Forhold mellem højeste og laveste flow mindre en 3:1	JA

\*Pga. pulserende flow kan det ikke dokumenteres, hvorvidt flowretningen ligger inden for +/- 15° i forhold til kanalens akse.

For yderligere resultater henvises til bilag 1.

## BILAG 1 Kontrol af målestedets egnethed

Antal og placering af målepunkter er bestemt iht. EN 13284-1 afsnit 5.3 tabel 1 og bilag C

Diameter: 4,9 meter

jf. ovenstående tabel er i note b angivet, at for store kanaler er 20 målepunkter generelt tilstrækkeligt

Der er derfor valgt 20 målepunkter.

Der måles i to halve diametre, dvs. der måles i alt i  $2 \times 5 = 10$  punkter

Placering af punkterne er bestemt iht. bilag C afsnit C.1.3 Tangential method for circular ducts.

Afstanden er bestemt ud fra formlen C.6

$n = 10$  punkter

Målepunkt	Afstand i cm.
A	1 12,57259
A	2 40,01829
A	3 71,75884
A	4 110,808
A	5 167,5242
B	1 12,57259
B	2 40,01829
B	3 71,75884
B	4 110,808
B	5 167,5242

Afstanden angiver afstanden til kanalvæggen

Differenstryk målt i Pa i de enkelte målepunkter

	midde	max	min	-15 gr. Mid	max	min	+15 gr. Mi	max	min
A1	278,5365	425,37	105,6	266,5245	405,57	80,52	240,966	644,16	106,92
A2	371,4315	695,64	192,06	396,7425	847,77	218,13	378,213	672,54	197,67
A3	344,157	559,02	178,53	347,457	621,39	137,28	385,803	505,23	246,84
A4	320,199	536,91	100,98	367,785	597,3	166,65	382,7175	636,24	182,16
A5	364,4355	520,41	208,56	356,532	756,36	121,11	375,0615	631,62	177,21
B1	315,6945	480,81	119,13	312,6585	737,88	145,53	265,5675	484,77	119,13
B2	336,3195	697,62	175,23	367,1745	555,39	142,23	386,562	659,01	190,41
B3	373,1145	639,87	218,46	339,8505	481,8	189,42	411,774	644,16	231,66
B4	354,7335	892,98	107,58	369,6825	579,15	141,57	384,318	601,26	161,04
B5	320,4135	525,36	96,69	378,741	529,65	111,54	430,6005	660,99	238,26

Højeste flow i B3: 373 Pa giver 19,83 m/s

Laveste flow i A1: 279 Pa giver 17,15 m/s

Forhold høj/lav 1,156268

Krav til målestedets egnethed jf. afsnit 5.2 i EN13284-1:

- flowretning indenfor  $15^\circ$  af kanalens akse
- ingen neg. Flow
- min. hastighed (dif. Tryk  $> 5$  Pa)
- forhold mellem højeste og laveste gashastighed mindre end 3:1

Opfylder dette målested kravene:

- : af ovenstående kan ikke dokumenteres, hvorvidt flowretningen i alle punkter ligger inden for  $\pm 15^\circ$  ift. kanalakse
- OPFYLDT: der er ikke neg. Flow i noget målepunkt
- OPFYLDT: min. dif.tryk er større end 5 Pa i alle målepunkter
- OPFYLDT: forhold mellem højeste og laveste flow mindre end 3.

## Bilag 2 Resultater for homogenitetstest på baggrund af NOx-målinger

Måleresultater samt homogenitetsberegninger iht. EN15259

Virkosmhed Esbjergværket

Rapport nr. 090128

Bestemmelse af antal målepunkter er foretaget iht. EN15259 afsnit 8.2, tabel 2.

Diameter 4,9 meter

jf. ovenstående tabel er i note b angivet, at for store kanaler er 20 målepunkter generelt tilstrækkeligt

Der er derfor valgt 20 målepunkter.

Der måles i to halve diametre, dvs. der måles i alt i 10 punkter.

Placering af punkterne er bestemt iht. bilag D afsnit D.1.1.3 Tangential method for circular ducts.

Afstanden bestemmes ud fra formlen D.6

Bestemmelse af antal og placering af målepunkter er identisk med metoden beskrevet i EN13284-1

Der henvises således til bilag 1 for placering af de enkelte målepunkter.

Resultater af NOx-måling i hhv. referencepunktet og de enkelte målepunkter

No	Dato	Måling		Ref. Point	Grid point	
		Start	Slut	Målt ppm	Point	Målt ppm
1	27.01.09	16:53	16:56	41,5	A1	41,5
2	27.01.09	16:58	17:01	36,4	A2	37,0
3	27.01.09	17:03	17:06	48,0	A3	46,8
4	27.01.09	17:09	17:12	36,0	A4	36,2
5	27.01.09	17:13	17:16	42,9	A5	41,6
6	27.01.09	17:24	17:27	40,1	B1	39,6
7	27.01.09	17:29	17:32	36,6	B2	37,9
8	27.01.09	17:33	17:36	35,4	B3	33,0
9	27.01.09	17:37	17:40	44,9	B4	44,5
10	27.01.09	17:42	17:45	34,5	B5	33,1

Standard deviation		F-factor	
sgrid	4,5744606	F	1,001499
sref	4,571036	FN-1;N-1;0,95	3,18
		Gas homogen	ja



### Bilag 3. Homogenitets- og egnethedstest – Laboratorium 2

Homogenitet af målegas iht EN15259

rev 22-01-2009/xx

Målegas NOx  
måleenhed mg/Nm<sup>3</sup>,t

Akse	punkt	periode hh.mm-hh.mm	Cgrid mg/Nm <sup>3</sup> ,t	Cref mg/Nm <sup>3</sup> ,t	Cgrid/Cref
1	1	13:28-13:30	89,2	87,2	1,022936
	2	13:36-13:38	95,9	94,2	1,018047
	3	13:44-13:46	79,1	78	1,014103
	4	13:52-13:54	74	72,6	1,019284
	5	14:02-14:04	68,8	68	1,011765
2	6	14:16-14:18	68,7	67,8	1,013274
	7	14:27-14:29	78,7	77,7	1,01287
	8	14:35-14:37	89	87,7	1,014823
	9	14:43-14:45	91,3	90,2	1,012195
	10	14:51-14:53	80,7	80,5	1,002484

Mean value 81,54 80,39 1,014178

Standard deviation Sgrid Sref  
9,513406 9,264202

Number of measurements 10

Degree of freedom 9

#### Homogeneity test

Test value (Sgrid/Sref) 1,054523

F95% 3,18

Conclusion: Waste gas homogeneous 1

Standard deviation of time Sref 9,264202

Standard deviation of position Spc -

Permissible expanded uncertainty Uperm 100  
t(N-1,95) -

Upos -

Upos <= 0,5\*Uperm -

Required measurement type any point

Representative measurement point, number -

Cgrid/Cref at representative measuring point -

Kontrol for homogen flowforhold iht EN 15259

Målestuds	måledybde cm	hastighed m/sek	vinkel °
A	168	21,5	8
	111	21,9	13
	72	21,5	14
	40	21,5	5
	13	19,9	8
B	168	20,2	11
	111	20,9	10
	72	20,9	14
	40	19,9	13
	13	15,2	8

- |                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 1 Vinkel < 15 °                         | Ja |
| 2 Ingen negative flow                   | Ja |
| 3 Minimum hastighed > 5 Pa (=ca 2,6m/s) | Ja |
| 4 Forhold højeste/laveste < 3:1         | Ja |

Konklusion Målested homogen mht flow Ja

## Bilag 4. Homogenitets- og egnethedstest – Laboratorium 3

**Resultat af homogenitetstest på Vestkraft i forbindelse med præstationsprøvningen januar 2009.**

Parameter	NOx		
Aktuel grænseværdi	200		
Kvalitetskrav (% af GV)	20		
Måleområde (kun: O2, CO2 og H2O)			
	C-grid	C-ref	%
Traverspunkt id (hentes fra skema 1)	Grid-målinger (3 minutter i hvert traverspunkt)	Referencemåling (fast målepunkt i samme tidsrum)	C-grid i % af C-ref
C1	72,33	67,35	107,4
C2	81,51	77,43	105,3
C3	72,19	72,68	99,3
C4	63,22	66,95	94,4
C5	80,28	79,9	100,5
D1	76,1	74,88	101,6
D2	83,44	83,64	99,8
D3	83,65	81,67	102,4
D4	75,17	78,4	95,9
D5	85,2	86,99	97,9
<b>Homogen ?</b>	<b>Ja</b>		
<b>Traversering af gasmålinger ?</b>	<b>Mål i tilfældigt punkt</b>		
<b>Hvor er det repræsentative punkt i kanalen ?</b>	<b>Repræsentativt punkt: C5</b>		
<b>Skal testen gentages med to monitorer ?</b>	<b>Test OK med kun én monitor</b>		
Middelværdi	77,3	77,0	100
Standard deviation	6,8	6,6	
Antal traverspunkter		10	
Frihedsgrader		9	
<b>Homogenitetstest</b>			
Test værdi: (S-grid/S-ref) <sup>2</sup>		1,07	
F95%		3,18	
<b>Homogen ?</b>		<b>Ja</b>	
S-ref		6,6	
S-pos		1,8	
Tilladt udvidet usikkerhed, U-perm		40	
t(N-1;0.95)		2,262	
U-pos		-	
U-pos < U-perm/1,96 ?		-	
Traversering af gasmålinger ?		<b>Mål i tilfældigt punkt</b>	
Hvor er det repræsentative punkt i kanalen ?		<b>Repræsentativt punkt: C5</b>	
C-grid/C-ref ved repræsentativt punkt, %		100,5	
Skal testen gentages med to monitorer ?		<b>Test OK med kun én monitor</b>	

Test af målestedets egnethed:

Swirl blev i samtlige punkter målt til ca. 5° og under kravet på maksimalt 15°.

Der var ikke hastigheder under detektionsgrænsen og dermed heller ikke negative hastigheder.

Forholdet mellem højeste og laveste målte hastighed var ca. 1,2 og altså under 3 som er kravet.

Samlet konklusion: Målestedet er egnet og homogent. Der skal traverseres i normalt antal punkter over tværsnittet ved støv- og flowmåling. Gasmåling kan måles i et tilfældigt punkt i tværsnittet.

## Bilag 5. Homogenitets- og egnethedstest – Laboratorium 4

### Test af målested for homogenitet og flowretning mm.

#### Esbjergværket

Røggaskanalen er oplyst til have en diameter på 4,9 m. Afstanden til strømningsmæssige forstyrrelser før målestedet vurderes at være ca. 50 m og efter målestedet 170 m. Antal målepunkter langs en diameter blev bestemt til 14. Der blev målt i to halve diametre. Det var ikke muligt at måle i dybderne 1,32 m og 1,81 m, dels på grund af målestedets indretning og dels på grund af pitotrørets længde.

#### Homogenitetstest for NO<sub>x</sub>

Der blev målt i 3 minutter pr. punkt med kalibrerede NO<sub>x</sub>-målere. DONG Energy målte i ét punkt (referencepunktet) og stillede deres data til rådighed. Alle data er opsamlet på PC via datalogger. Responstiden for begge målesystemer var mindre end 30 sekunder.

Røggassen er fundet homogen for NO<sub>x</sub> og der kan derfor bestemmes NO<sub>x</sub> i et hvilket som helst punkt i røggaskanalen ved dette målested, se bilag 1.

Testen er udført i henhold til DS/EN 15259.

#### Test af flowretning mm.

Der blev målt dynamisk tryk i hvert punkt med S-pitotrør tilsluttet manometer. Flowretningens vinkel blev målt i forhold til kanalens akse i hvert punkt. Flowretningens vinkel er mindre end 15 ° i forhold til kanalens akse i alle punkter, se bilag 2. Forholdet mellem højeste og laveste målte dynamiske tryk er mindre end 3:1.

Røggasstrømmen ved dette målested er fundet egnet til udførelse af isokinetisk prøvetagning.

Testen er udført i henhold til DS/EN 13284-1.

<b>Vedlagt:</b>	Bilag 1	Test af homogenitet for NO <sub>x</sub>
	Bilag 2	Kontrol af målested for flowretning mm.

### Homogenitets test for NO<sub>x</sub>

Esbjergværket

Måling foretaget d. 27.01.2009

Diameter - dybde [m]	C <sub>punkt</sub>	C <sub>ref</sub>	C <sub>punkt</sub> /C <sub>ref</sub>
	mgNO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup> (n,t)	mgNO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup> (n,t)	%
diameter A - 0,10	74	78	94,7
0,29	78	82	95,0
0,49	80	86	92,9
0,74	76	82	92,5
0,98	78	80	97,4
1,32	-	-	
1,81	-	-	
diameter B - 0,10	51	57	89,3
0,29	76	76	100,0
0,49	84	88	95,3
0,74	70	74	94,4
0,98	66	70	94,1
1,32	-	-	
1,81	-	-	
<b>Middelværdi</b>	<b>73,2</b>	<b>77,3</b>	<b>94,6</b>
<b>Standard afvigelse</b>	<b>S<sub>punkt</sub></b>	<b>S<sub>ref</sub></b>	
	<b>9,3</b>	<b>8,9</b>	
<b>Antal målepunkter</b>	<b>10</b>		
<b>Frihedsgrader</b>	<b>9</b>		
<b>Homogenitetstest</b>			
<b>F-faktor</b> (S <sub>punkt</sub> / S <sub>ref</sub> ) <sup>2</sup>	<b>1,08</b>		
(se tabel 4 s. 30) <b>F<sub>95%</sub></b>	<b>3,18</b>		
hvis F-faktor < F <sub>95%</sub> eller S <sub>punkt</sub> ≤ S <sub>ref</sub>	<b>homogen røggas</b>		

**Kontrol af målested for flowretning mm.**

Esbjergværket

Måling foretaget d. 27.01.2009

Diameter - dybde [m]	P <sub>d</sub> mmVS	Vinkel °	Flowretningens vinkel fra kanalens akse °
diameter A - 0,10	19,6	90	0
0,29	29,4	90	0
0,49	32,2	86	4
0,74	35,2	86	4
0,98	35,5	90	0
1,32	-	-	-
1,81	-	-	-
diameter B - 0,10	15,0	88	2
0,29	19,2	92	-2
0,49	30,2	85	5
0,74	34,0	92	-2
0,98	32,4	91	-1
1,32	-	-	-
1,81	-	-	-
<b>Foholdet mellem højeste og laveste målte hastighed</b>	<b>2,4 : 1</b>		

## Bilag 6. Homogenitets- og egnethedstest – Laboratorium 5

Målestedets egnethed

### Målested:

Esbjergværket blok 3 skorsten K 65. Keramiske porte  $\varnothing 300$ . Der måles i to porte (vest/nord) m. indbyrdes vinkel på  $90^\circ$  grader.

Skorstens diameter: (m) 4,9

Antal målepunkter: 20 iflg. EN 15259 tabel 2. (10 aftalt ved præstationsprøvning)

Parameter: NO<sub>x</sub>

Emissionsgrænseværdi: 650 mg/Nm<sup>3</sup>

Kvalitetskrav: 20 % (U perm 130)

Driftssituationen under målearbejder har været normal stabil fuldlast.

### Udstyr:

Måleudstyr (Reference) Gastek 100

Type: Ecophysics CLD 822

Responstid T<sub>95</sub>: ca. 30 sek.

Valgt måleperiode: 4 min i hvert punkt. (min 4x responstid, min 3 minutter)

Måleområde: 0-100

Enhed: ppm

Måleudstyr (Gridmåling) Gastek 400

Type: Ecophysics CLD 82

Responstid T<sub>95</sub>: ca. 35 sek.

Valgt måleperiode: 4 min i hvert punkt. (min 4x responstid, min 3 minutter)

Måleområde: 0-100

Enhed: ppm

## Resultater

Ref. måler indsat i kanal kl. 09:20.

Gridmåler indsat i kanal kl. 09:46 port A / kl. 10:22 port B

Målepunkt nr.	Periode	Ref. målt konc.	Grid målt konc.
A1	09:52-09:56	38,17	38,05
A2	09:58-10:02	36,35	35,33
A3	10:04-10:08	37,41	37,08
A4	10:10-10:14	41,72	40,54
A5	10:16-10:20	38,49	38,11
B1	10:29-10:33	34,23	34,21
B2	10:35-10:39	42,68	41,58
B3	10:41-10:45	36,41	35,36
B4	10:47-10:51	37,65	37,13
B5	10:53-10:57	35,96	35,34

Spredning på ref. måling 2,58

Spredning på grid måling 2,38

## Resultat

**Da S ref. er større end S grid, kan gassen kan betragtes som homogen iflg. EN 15259**

### Målested

Esbjergværket blok 3 skorsten K 65. Keramiske porte  $\varnothing 300$ . Der måles i to porte (vest/nord) m. indbyrdes vinkel på  $90^\circ$  grader.

Skorstens diameter: (m) 4,9

Antal målepunkter: 20 iflg. EN 15259 tabel 2. (10 aftalt ved præstationsprøvning)

Parameter: Flow

### Måleudstyr

Flowtech 510, elektronisk manometer og S-pitotrør samt vinkelmåler. Der er midlet over 20 sekunder i hvert målepunkt.

Måleperiode: kl. 09:01-09:18

Driftssituationen under målearbejder har været normal stabil fuldlast.



## Resultater

Målepunkt nr.	$\Delta P$ Pa	Abs. Tryk Pa	Temperatur ° Celcius	Max flow (0° ± 15 °)	Vs m/s Beregnet hastighed
A1	300,2	100,54	64,3	Ok	20,1
A2	351,5	100,56	64,3	Ok	21,8
A3	363,0	100,50	64,3	Ok	22,1
A4	365,7	100,52	64,3	Ok	22,2
A5	362,3	100,68	64,4	Ok	22,1
B1	259,8	100,70	65,0	Ok	18,7
B2	291,0	100,58	65,1	Ok	19,8
B3	328,5	100,58	65,1	Ok	21,1
B4	335,6	100,65	65,1	Ok	21,3
B5	307,9	100,61	65,1	Ok	20,4

Flowretning: Lodret op ( $\pm 15^\circ$ ) OK

Minimum flow  $\Delta P > 5$  Pa: OK

Forekomst af negative flow: Nej

Max flow / min. flow (3:1): OK

**Prøvestedet kan betragtes som værende egnet til måling af flow.**