

## **Forslag til**

# **Opstilling af usikkerhedsbudgetter for emissionsmålinger (koncentrationsbestemmelse)**

Udarbejdet af  
Peter Blinksbjerg  
dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ  
22. november 1999

Revideret af  
Arne Oxbøl  
FORCE Technology  
31. august 2006



## Resumé

Rapporten beskriver forslag til både principper og detaljer for opstilling af usikkerhedsbudgetter for emissionsmålinger. Budgetterne er udarbejdet for koncentrationsbestemmelser inklusiv eventuel omregning til referencetilstand, fordi langt de fleste emissionskrav stilles til koncentrationer. Hvis der opstilles et budget for flowmåling, kan usikkerheden for massestrømmen beregnes ud fra usikkerhederne på koncentrationsbestemmelsen og flowmålingen.

Usikkerhedsbudgetterne er opstillet ud fra principperne i DS/EN ISO 14956 ”Luftundersøgelse. Evaluering af en måleprocedures egnethed ved sammenligning med en obligatorisk måleusikkerhed”. Princippet i standarden er, at der for hver usikkerhedskomponent, for eksempel usikkerheden på gasmåleren ved manuelle metoder, findes, hvilken påvirkning (følsomheds-koefficient) denne har på den samlede usikkerhed. Påvirkningen ganges med usikkerheden for den pågældende komponent. Det har dog ikke været muligt at anvende denne metode til alle parametre.

Til sidst beregnes den samlede usikkerhed som kvadratroden af kvadratsummen af de enkelte delbidrag.

Denne fremgangsmåde har gjort det muligt at opstille nogle beregningsrutiner (det vil sige formeludtryk, der kan indarbejdes i et regneark), således at usikkerheden kan beregnes for hver enkelt måling. Ved at anvende typiske værdier vil også en generel usikkerhed kunne beregnes.

På grund af at målemetoderne er forskellige i deres opbygning, er det nødvendigt at opstille 3 forskellige typer af usikkerhedsbudgetter:

1. Partikler
2. Gasfase (vaskeflasker)
3. Registrerende instrumenter

Denne rapport indeholder kun principper for opstilling af usikkerhedsbudgetter for de 2 første typer.

# Indhold

<b>RESUME</b>	<b>3</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>5</b>
<b>2 PRINCIPPER</b>	<b>7</b>
<b>3 PARTIKLER</b>	<b>9</b>
3.1 <b>Målbare</b>	<b>9</b>
3.1.1 Udsuget gasmængde	10
3.1.2 Gasmåleretemperatur	11
3.1.3 Barometertryk	11
3.1.4 Filtervejning	12
3.1.5 Korrektion for O <sub>2</sub> -koncentration	12
3.1.6 Samlet usikkerhed for målbare	13
3.2 <b>Skønnede</b>	<b>13</b>
3.2.1 Prøvetagning	13
3.2.2 Filterhåndtering	14
3.3 <b>Variable</b>	<b>15</b>
3.3.1 Afvigelse fra isokinetik	15
3.3.2 Manglende repræsentativitet ved prøvetagning	16
3.3.3 Manglende målepunkter	17
3.4 <b>Beregning af samlet usikkerhed</b>	<b>17</b>
<b>4 VASKEFLASKEMÅLINGER</b>	<b>19</b>
4.1 <b>Målbare</b>	<b>19</b>
4.1.1 Udsuget gasmængde	21
4.1.2 Gasmåleretemperatur	21
4.1.3 Barometertryk	21
4.1.4 Analyseret mængde	22
4.1.5 Korrektion for O <sub>2</sub> -koncentration	22
4.1.6 Samlet usikkerhed for målbare	22
4.2 <b>Skønnede</b>	<b>23</b>
4.2.1 Prøvetagning	23
4.2.2 Håndtering af prøver	24
4.2.3 Absorptionseffektivitet	24
4.3 <b>Variable</b>	<b>25</b>
4.3.1 Manglende repræsentativitet ved prøvetagning	25
4.3.2 Reaktionen på filter	25
4.4 <b>Beregning af samlet usikkerhed</b>	<b>26</b>
<b>BILAG</b>	

# 1 Indledning

Det er svært at foretage en bestemmelse af usikkerheden på en emissionsmåling. Dette skyldes 2 forhold, 1) at der ikke kan fremstilles referenceprøver med en matrix, der er sammenlignelig med for eksempel røggasser, og 2) at det stort set er umuligt at gentage en prøvning, fordi prøveemnet er væk, lige så snart prøven er taget.

En mulighed for at bestemme usikkerheden er at opstille usikkerhedsbudgetter. De har den fordel, at alle enkelte usikkerhedsbidrag beregnes, og det er på den måde muligt at fastlægge, hvor de største bidrag kommer fra, og så koncentrere sig om at minimere disse, hvis usikkerheden er utilfredsstillende stor.

I denne rapport er de enkelte usikkerhedsbidrag beregnet som en funktion af én eller flere af de målte parametre, det vil sige, at det er muligt ved hjælp af et relativt simpelt regneark at estimere den samlede usikkerhed for den aktuelle målesituation.

Ulempen ved usikkerhedsbudgetter er, at betydende enkelte bidrag som prøvetagning og –håndtering er meget svære at fastlægge.

I denne rapport er oplysninger om de svært tilgængelige usikkerhedsbidrag søgt i forskellige kilder. En anden mulighed er at foretage samtidige parallelmålinger med identisk udstyr (betjent af én og samme måletekniker), og her ud fra beregne et estimat på usikkerheden. Ud fra de kvantificerbare usikkerheder og den estimerede samlede usikkerhed, kan usikkerhedsbidragene fra de svært kvantificerbare usikkerheder estimeres. Denne fremgangsmåde er yderst omkostningstung (bør i princippet udføres af alle laboratorier, for alle parametre på en lang række forskellige målesteder), og er derfor fravalgt.

Formålet med denne rapport er derfor dels at opstille principperne for opstilling af usikkerhedsbudgetter, og dels give et første oplæg til hvordan disse svært kvantificerbare usikkerhedsbidrag kan fastlægges.

Det er valgt i første omgang at opstille usikkerhedsbudgetter for koncentrationsbestemmelse af partikler og gasser målt med vaskeflasker, primært for at begrænse omfanget af arbejde, inden der er enighed om principperne. Men også fordi den standard som usikkerhedsbudgetteringen bygger på, giver et gennemregnet eksempel for et direkte visende instrument. Når der er opstillet et budget

for måling af volumenstrøm, vil det være relativt let at beregne usikkerheden på en massestrøm.

Den standard, som opstillingen af usikkerhedsbudgetter baseres på, er i DS/EN ISO 14956 "Luftundersøgelse. Evaluering af en måleprocedures egnethed ved sammenligning med en obligatorisk måleusikkerhed". Denne standard er baseret på principperne i DS/ENV 13005 "Retningslinier for at udtrykke måleusikkerhed" (Engelsk titel: Guide to the expression of uncertainty in measurement – GUM). Som antydnet i den danske titel opstiller GUM kun principperne, disse er i DS/EN ISO 14956 anvendt og beskrevet, således de er noget lettere tilgængelige for måling af emissioner til luften.

De indledende undersøgelser til fastlæggelse af principperne for opstilling af usikkerhedsbudgetter er gennemført for dk-TEKNIKs basismidler. Rapporteringen er gennemført af Referencelaboratoriet for midler herunder.

## 2 Principper

Selvom denne rapport baseres på især 2 standarder, der indeholder mange statistiske fagudtryk, er det forsøgt at holde rapporten i et sprog, der kan forstås af personer med større måleteknisk viden end statistisk viden. I dette afsnit vil der dog anvendes relativt simple statistiske termer for at beskrive de anvendte procedurer.

Udgangspunktet for opstillingen af usikkerhedsbudgetterne generelt er formel 10 i GUM (DS/INF 94), der siger, at den kombinerede usikkerhed,  $u_c(y)$ , beregnes som den positive kvadratrods af den kombinerede varians, som beregnes af (fejlophobningsloven)

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\delta f}{\delta x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$$

hvor funktionen  $f$  beregner den målte værdi ud fra bestemmelsen af en række andre parametre (som defineret i formel 1 i GUM). Ved måling af partikelkoncentrationen beregnes denne ved bestemmelse af blandt andet udsuget gasmængde og partikelmassen opsamlet på filteret.

Den partielt afledte,  $\delta f / \delta x_i$ , kaldes ofte for følsomhedskoefficienten, mens den i ISO/DIS omtales som selektiviteten og betegnes  $I_x$  ( $I_x$  er også anvendt i denne rapport).

Når følsomhedskoefficienterne er kendt, skal usikkerheden på den  $i$ 'te parameter findes, ud fra den aktuelle variationsbredde,  $i_x$ . Som eksempel kan nævnes usikkerheden på den udsugede gasmængde ved en støvmåling.

Usikkerheden på den  $i$ 'te parameter bestemmes ud fra variationsbredden, der kan have forskellig natur. Den kan være bestemt som en usikkerhed, for eksempel  $\pm 2\%$  af målt værdi, eller den kan være bestemt som en maksimal værdi, for eksempel  $< 3^\circ\text{C}$ . I den første situation anvendes den målte eller skønnede usikkerhed (standarddeviationen), mens usikkerheden i den anden situation beregnes ved at dividere den maksimale værdi med kvadratrods 3.

Standarden ISO/DIS 14956 foreskriver, at usikkerheden  $u_x$  beregnes ud fra  $I_x$  og  $i_x$ , med tilhørende korrektion af  $i_x$ , i samme formel. I denne rapport er det valgt at beregne  $u(x_i)$  separat, og for at gøre overskueligheden større beholdes symbolet  $i_x$ , for  $u(x_i)$ .

Det understreges, at usikkerheden på hver delkomponent skal være bestemt som én gange spredningen. Hvis dette ikke er tilfæl-

det (usikkerheden kan så typisk være bestemt som et 95% konfidens interval (KI)), skal der korrigeres for dette. Når den kombinerede usikkerhed er beregnet, ganges denne med en faktor 2 (eng.: coverage factor) for at beregne 95% KI.

Dette er den generelt anvendelige procedure i henhold til GUM, og den er fulgt i denne rapport's afsnit 3.1 og 4.1. For de øvrige usikkerhedskomponenter er det forsøgt at følge det samme princip, men det har ikke været muligt. Til beregning af den kombinerede usikkerhed er fejlphobningsloven fulgt.

Til slut skal det nævnes, at den kombinerede usikkerhed er beregnet for koncentrationer i referencetilstanden, og ved den aktuelt målte koncentration.



## 3 Partikler

Usikkerhedskomponenterne, der indgår i bestemmelse af partikelkoncentrationen er opdelt i følgende 3 grupper.

1. **Målbare.** Det vil sige komponenter, hvor usikkerheden kan bestemmes i laboratoriet, og hvis værdier indgår i beregningen af koncentrationen.
2. **Skønnede.** Det vil sige komponenter, der ikke er direkte målbare, men som er faste fra måling til måling.
3. **Variable.** Det vil sige komponenter, der ikke er direkte målbare, og som varierer fra måling til måling.

### 3.1 Målbare

Til denne gruppe usikkerhedskomponenter hører:

1. Gasmålervisning
2. Gasmåbertemperatur
3. Barometertryk
4. Filtervejning
5. Iltkoncentration.

og de indgår alle i beregning af den målte koncentration. Hertil anvendes følgende beregningsudtryk:

$$c_{\text{støv}}(\text{ref}) = \frac{S}{V} \cdot \frac{273 + t_M}{273} \cdot \frac{1013}{p_{\text{atm}}} \cdot \frac{20,9 - O_{2,\text{ref}}}{20,9 - O_{2,\text{målt}}} \quad (1)$$

hvor

$c_{\text{støv}}(\text{ref})$	=	Den målte støvkoncentration ved referencetilstanden (0 °C, 1013 mbar og referenceiltprocent.
S	=	Den opsamlede støvmængde på prøvetagningsfilteret, bestemt ved differensvejning (mg).
V	=	Det udsugede gasvolumen (m <sup>3</sup> ved pumpetilstanden).
$t_M$	=	Temperaturen i gasmåleren (°C).
$p_{\text{atm}}$	=	Atmosfæretykket på målestedet (mbar).
$O_{2,\text{ref}}$	=	Referenceiltprocenten (vol. % i tør gas).
$O_{2,\text{målt}}$	=	Den aktuelt målte iltkoncentration (vol. % i tør gas).

Følsomheds-koefficienterne fra de enkelte komponenter på usikkerheden beregnes ved, at differentiere formel (1) med hensyn til komponenten. Eksempelvis kan påvirkningen fra det udsugede gasvolumen beregnes ved at differentiere formel (1) med hensyn til V. Resultaterne af differentieringerne gives i afsnittene for hver komponent.

NOTE. Der er ingen usikkerhed knyttet til  $O_{2,ref}$ . Derfor indgår denne ikke i usikkerhedsbudgettet.

De mulige variationsbredder for komponenterne er givet i tabel 1, hvor det også fremgår, hvorfra oplysningerne stammer.

Typiske variationsbredder for komponenterne er givet i tabel 1.

Komponent	Værdi	Kommentar
Gasmængde	$\pm 5\%$ af visning	Krav ved kalibrering. Overskridelse medfører, at gasmåler kasseres. Det vil sige et maksimalkrav.
Gasmåler-temperatur	$\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$	Krav ved kalibrering. Overskridelse medfører, at termoføler kasseres. Det vil sige et maksimalkrav.
Barometertryk	$\pm 10\text{ mbar}$	95% konfidensinterval.
Filtervejning	2% af målt værdi	Opgivet som veje nøjagtighed (95% KI).
Iltkoncentration	5% af målt værdi	Opgivet som metode nøjagtighed (95% KI).

Tabel 1. Typiske variationsbredder for målbare enkelt komponenter.

### 3.1.1 Udsuget gasmængde

Differentieringen af formel (1) med hensyn til den udsugede gasmængde, V, giver:

$$\frac{\delta c}{\delta V} = I_v = \frac{-c}{V} \quad (2)$$

Variationen er jævnfør tabel 1 bestemt som et maksimalkrav  $\Delta V = \pm 5\%$  af den udsugede gasmængde, V. Beregningen bliver:

$$i_v = \frac{\Delta V/100 \cdot V}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Samlet kan usikkerheden på V beregnes som:

$$u_v = |I_v \cdot i_v| = \frac{c \cdot \Delta V / 100}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

For  $c = 10 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ , og  $\Delta V = \pm 5\%$ , bliver  $u_v = 0,289 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

### 3.1.2 Gasmålertemperatur

Differentieringen af formel (1) med hensyn til gasmålertemperaturen,  $t_M$ , giver:

$$\frac{\partial c}{\partial t_M} = I_{t_M} = \frac{c}{273 + t_M} \quad (5)$$

Variationen er jævnfør tabel 1 bestemt som et maksimumkrav  $\Delta t_M = \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Beregningen bliver:

$$i_{t_M} = \frac{\Delta t_M}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

Samlet kan usikkerheden på  $t_M$  beregnes som:

$$u_{t_M} = |I_{t_M} \cdot i_{t_M}| = \frac{c \cdot \Delta t_M}{(273 + t_M) \cdot \sqrt{3}} \quad (7)$$

For  $c = 10 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ ,  $t_M = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $\Delta t_M = \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  bliver  $u_{t_M} = 0,059 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

### 3.1.3 Barometertryk

Differentieringen af formel (1) med hensyn til barometertrykket,  $p_{\text{atm}}$ , giver:

$$\frac{\partial c}{\partial p_{\text{atm}}} = I_{p_{\text{atm}}} = \frac{-c}{p_{\text{atm}}} \quad (8)$$

Variationen er jævnfør tabel 1 bestemt som et 95% konfidensinterval (CI)  $\Delta p_{\text{atm}} = \pm 10 \text{ mbar}$ . Beregningen bliver:

$$i_{p_{\text{atm}}} = \frac{\Delta p_{\text{atm}}}{2} \quad (9)$$

Samlet kan usikkerheden på  $p_{\text{atm}}$  beregnes som:

$$u_{p_{\text{atm}}} = \left| I_{p_{\text{atm}}} \cdot i_{p_{\text{atm}}} \right| = \frac{c \cdot \Delta p_{\text{atm}}}{2 \cdot p_{\text{atm}}} \quad (10)$$

For  $c = 10 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ ,  $p_{\text{atm}} = 1013 \text{ mbar}$  og  $\Delta p_{\alpha\tau\mu} = \pm 10 \text{ mbar}$  bliver  $u_{p_{\text{atm}}} = 0,049 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

### 3.1.4 Filtervejning

Differentieringen af formel (1) med hensyn til den opsamlede støvmængde, S, giver:

$$\frac{\partial c}{\partial S} = I_S = \frac{c}{S} \quad (11)$$

Variationen er jævnfør tabel 1 bestemt som et 95% CI;  $\Delta S = \pm 2\%$  af den opsamlede støvmængde. Beregningen bliver:

$$i_S = \frac{\Delta S/100 \cdot S}{2} \quad (12)$$

Samlet kan usikkerheden på S beregnes som:

$$u_S = \left| I_S \cdot i_S \right| = \frac{c \cdot \Delta S/100}{2} \quad (13)$$

For  $c = 10 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$  og  $\Delta S = \pm 2\%$  bliver  $u_S = 0,101 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

### 3.1.5 Korrektion for O<sub>2</sub>-koncentration

Differentieringen af formel (1) med hensyn til O<sub>2</sub>-koncentrationen, O<sub>2,målt</sub>, giver:

$$\frac{\partial c}{\partial O_2} = I_{O_2} = \frac{-c}{20,9 - O_{2,\text{målt}}} \quad (14)$$

Variationen er jævnfør tabel 1 bestemt som et 95% CI;  $\Delta O_2 = \pm 5\%$  af den målte koncentration. Beregningen bliver:

$$i_{O_2} = \frac{\Delta O_2/100 \cdot O_2}{2} \quad (15)$$

Samlet kan usikkerheden på O<sub>2,målt</sub> beregnes som:

$$u_{O_2} = |I_{O_2} \cdot i_{O_2}| = \frac{c \cdot \Delta O_2 / 100 \cdot O_2}{(20,9 - O_2) \cdot 2} \quad (16)$$

For  $c = 10 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ ,  $\Delta O_2 = \pm 5\%$  og  $O_2 = 9 \text{ vol.\%}$  bliver  $u_{O_2} = 0,189 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

### 3.1.6 Samlet usikkerhed for målbare

Den samlede usikkerhed for de målbare komponenter kan beregnes efter følgende formel.

$$u_{\text{mål}} = \sqrt{u_v^2 + u_{t_M}^2 + u_{p_{\text{atm}}}^2 + u_s^2 + u_{O_2}^2} \quad (17)$$

Anvendes talværdierne fra eksemplerne i afsnittene 3.1.1 til 3.1.5 i formel 17 fås følgende resultat:

$$\begin{aligned} u_{\text{mål}} &= \sqrt{0,289^2 + 0,059^2 + 0,049^2 + 0,101^2 + 0,189^2} \\ &= 0,367 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2) \end{aligned}$$

## 3.2 Skønnede

Denne gruppe indeholder komponenter, hvor usikkerheden ikke kan bestemmes eksakt ved målinger eller lignende. Kendetegnende for alle er, at den numeriske værdi af usikkerheden er den samme fra måling til måling. Gruppen indeholder 2 komponenter

1. Prøvetagning, det vil sige tab/afsætning i dyse og sonderør under prøvetagning.
2. Filterhåndtering, det vil sige tab/tilvækst ved håndtering af prøvetagningsfiltre i forbindelse med montering og demontering i filterholder.

### 3.2.1 Prøvetagning

Tab i dyse og/eller sonde ved prøvetagning afhænger af filterets placering, det vil sige, om filteret er placeret i kanalen eller udenfor kanalen.

Arbejdet i CEN/TC 264/WG 5 har vist, at der maksimalt afsættes 1 mg/m<sup>3</sup>, når filteret er placeret udenfor kanalen. I VDI-standarden for måling af støv kræves det, at afsætningen i dysen skal være mindre end 5% af målt koncentration. Der er i begge tilfælde tale om maksimale usikkerheder, og bidraget til usikkerheden kan beregnes efter formel 7 i DS/EN ISO 14956.

For måling med filter udenfor kanalen kan usikkerheden på denne komponent beregnes til:

$$u_{\text{out}} = \sqrt{\frac{(-1)^2 + (-1) \cdot 0 + 0^2}{3}} = 0,577 \text{ mg/m}^3 \text{ (n, t, 11\%O}_2\text{)}$$

For måling med filter i kanalen kan usikkerheden på denne komponent beregnes til:

$$u_{\text{in}} = \sqrt{\frac{(-5)^2 + (-5) \cdot 0 + 0^2}{3}} = 2,89\% \text{ af målt koncentration}$$

### 3.2.2 Filterhåndtering

Der foreligger ingen oplysninger om usikkerheden ved filterhåndteringen. Der anvendes en maksimal værdi på 2% af målt værdi, når filtrene monteres i holderne i vejerummet. Hvis filtrene monteres i holderne på målestedet, anvendes en maksimal værdi på 5% af målt værdi.

Dette betyder, at usikkerheden på denne komponent kan beregnes som følger.

For montering af filter i holder i vejerum:

$$u_{\text{rum}} = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1,15\% \text{ af målt koncentration}$$

For montering af filter i holder på målested:

$$u_{\text{felt}} = \frac{5\%}{\sqrt{3}} = 2,89\% \text{ af målt koncentration}$$

### 3.3 Variable

Denne gruppe indeholder komponenter, hvor usikkerheden er bestemt på flere metoder, men kendetegnende for alle er, at den numeriske værdi af usikkerheden varierer fra måling til måling og fra målested til målested.

Til denne gruppe usikkerhedskomponenter hører

1. Afvigelse fra isokinetik
2. Manglende repræsentativitet i prøvetagningen
3. Manglende punkter i måleplanet

Principper for fastlæggelse af usikkerheden for disse komponenter og deres værdi er blandt andet fundet i ”Guidance on Assessing Measurement Uncertainty in Stack Emissions Monitoring” STA, 1999. Herefter omtalt som STA-guidance.

#### 3.3.1 Afvigelse fra isokinetik

STA-guidance giver et matematisk udtryk, der tilnærmet beskriver sammenhængen mellem den opsamlede partikelmængde (i forhold til 100% isokinetik) og den reelle gashastighed i dysen (i forhold til gashastigheden).

I formlen indgår også en konstant,  $\alpha$ , der udtrykker hvor stor en del af partiklerne, der **ikke** påvirkes af den ændring i gassens bevægelsesretning, der skyldes manglende isokinetisk prøvetagning.

Formlen i STA-guidance er

$$\frac{M_s}{M} = (1 - \alpha) \cdot \frac{V_s}{V} + \alpha \quad (18)$$

Hvor

$M_s/M$	=	Forholdet mellem partikler opsamlet og partikler i det areal dysen dækker.
$\alpha$	=	1,0 for sand 0,5 for støv 0,0 for sod
$V_s/V$	=	Faktor for ”kontrol af isokinetisk udsugning”

Størrelsen af  $\alpha$  vil for støv i røggasser ved lave koncentrationer sandsynligvis ligge mellem 0,5 og en værdi tæt på 0,0. For værdien 0,0 giver formel (18), at det ikke er nødvendigt at foretage isokinetisk prøvetagning, for alle partikler vil følge gasstrømmen.

*Hvilke værdier, der skal/bør anvendes, skal vurderes fra måling til måling.*

Ved at omskrive formel (18) kan den fejl i  $\text{mg/m}^3$  (n,t, ref.O<sub>2</sub>%), der begås, når isokinetikken afviger med en given andel  $V_S/V$ , beregnes ved hjælp af formel (19).

$$F_{\text{isokin}} = c_{\text{støv}} \cdot \left( \left( (1 - \alpha) \frac{V_S}{V} + \alpha \right) - 1 \right) \quad (19)$$

Det vil sige, formel (19) er systematisk fejl, hvis størrelse er kvantificeret ved beregningen af  $F_{\text{isokin}}$ , og som der burde korrigeres for, hvis fejlen er signifikant.

Usikkerheden på  $F_{\text{isokin}}$ , kan beregnes efter de samme principper, som er anvendt i afsnit 3.1. I denne beregning indgår usikkerheden på  $V_S/V$ . Denne usikkerhed er i bilag 1 estimeret til 4,25% af  $V_S/V$ . Beregninger af usikkerheden på  $F_{\text{isokin}}$  viser, at den er lig med 2 gange usikkerheden på  $\alpha$ , som er meget større end usikkerheden på  $V_S/V$ .

Sammenholdes ovenstående med, at  $\alpha$  skal estimeres for den aktuelle partikelsammensætning, så bliver usikkerheden på beregningen af  $F_{\text{isokin}}$  meget stor, og det er derfor meget sjældent muligt at kvantificere fejlen. Derfor foreslås det, at værdien af  $F_{\text{isokin}}$  anvendes som maksimal usikkerhed fra manglende isokinetik, det vil sige at  $u_{\text{isokin}} = F_{\text{isokin}}/\sqrt{3}$ .

Det skal endvidere understreges, at formel (18) er i STA-guidance baseret på en ældre artikel, og det er uvist, om den er gældende ved lave koncentrationer.

### 3.3.2 Manglende repræsentativitet ved prøvetagning

Ifølge STA-guidance giver det faktum, at prøven udtages i et begrænset antal punkter over måletværsnittet, et væsentligt usikkerhedsbidrag. Størrelsen af dette afhænger især af hastighedsprofilen og antallet af målepunkter i måletværsnittet.

STA-guidance giver nogle estimeringer baseret på den engelske standard BS 3405, der stiller simple krav til antallet af målepunkter end vejledningen fra Miljøstyrelsen. STA-guidance kan derfor ikke bruges direkte.



Der er ikke fundet andre kilder, der eventuelt kan give noget information.

Derfor foreslås det, at fejlen fra manglende repræsentativitet i prøvetagningen sættes til <7,5% af målt værdi (omtalt som usikkerhed i STA-guide, når pitotrørsmåling varierer 9:1 over tværsnittet). Da denne er en maksimalværdi, beregnes usikkerheden efter

$$u_{\text{prøve}} = \frac{7,5\%}{\sqrt{3}} = 4,33\% \text{ af målt koncentration} \quad (20)$$

### 3.3.3 Manglende målepunkter

Ofte er målestedet indrettet på steder, hvor det ikke er fysisk muligt at placere dysen i alle målepunkter (for eksempel hvis afstanden fra målestuds til bagvæg er mindre end kanaldiameteren). Den fejl, der begås, kan direkte bestemmes efter formel (21).

$$F_{\text{punkter}} = \frac{c_{\text{støv}}}{\sqrt{3}} \cdot \left( 1 - \frac{a - b \cdot (1 + X/100)}{a - b} \right) \quad (21)$$

hvor

a = Antallet af målepunkter i **hele** måleplanet.

b = Antallet af målepunkter der **ikke** kan måles i.

X = En vurdering af hvor meget koncentrationen i

”punkterne b” afviger fra totalgennemsnittet.

HUSK. X er negativ, hvis koncentrationen i

”punkterne b” vurderes lavere end totalgennemsnittet, og X

er positiv, hvis modsat.

Analogt med argumentationen i afsnit 3.3.1 kan det også her argumenteres for, at hele fejlen indgår som usikkerhed i usikkerhedsbudgettet, fordi fejlen indeholder et skøn.

## 3.4 Beregning af samlet usikkerhed

Den samlede usikkerhed på en partikelkoncentrationsmåling beregnes efter følgende formel.

$$u_{\text{tot}} = \sqrt{\sum (u_x^2)} \quad (22)$$

hvor  $u_x$  er usikkerheden fra hver af enkeltkomponenterne, beregnet som ovenfor beskrevet.

Resultatet på en enkelt støvmåling kan rapporteres som

$$X \pm u_{\text{tot}} \text{ mg/m}^3 \text{ (n,t, ref O}_2\%)$$

## 4 Vaskeflaskemålinger

Følgende væsentlige stoffer måles ofte med vaskeflasker: HCl, SO<sub>2</sub>, HF, NH<sub>3</sub>, Hg, metaller (gasfase), H<sub>2</sub>S, HCN. Usikkerhedskomponenterne, der indgår i bestemmelsen af hvert af disse stoffer er i lighed med støvmåling opdelt i følgende 3 grupper.

1. **Målbare.** Det vil sige komponenter, hvor usikkerheden kan bestemmes i laboratoriet, og hvis værdier indgår i beregningen af koncentrationen.
2. **Skønnede.** Det vil sige komponenter, der ikke er direkte målbare, men som er faste fra måling til måling.
3. **Variable.** Det vil sige komponenter, der ikke er direkte målbare, og som varierer fra måling til måling.

### 4.1 Målbare

Til denne gruppe usikkerhedskomponenter hører:

1. Gasmålervisning
2. Gasmålertemperatur
3. Barometertryk
4. Analyseret mængde
5. Iltkoncentration

og de indgår alle i beregning af den målte koncentration. Hertil anvendes følgende beregningsudtryk:

$$c_A(\text{ref}) = \frac{A}{V} \cdot \frac{273 + t_M}{273} \cdot \frac{1013}{p_{\text{atm}}} \cdot \frac{20,9 - O_{2,\text{ref}}}{20,9 - O_{2,\text{målt}}} \quad (23)$$

hvor

$c_A(\text{ref})$  = Den målte koncentration af "A" ved referencetilstanden (0 °C, 1013 mbar og referenceiltprocent.

A = Den analyserede mængde i absorptionsvæsken, (mg).

V = Det udsugede gasvolumen ( $\text{m}^3$  ved pumpetilstanden).

$t_M$  = Temperaturen i gasmåleren (°C).

$p_{\text{atm}}$  = Atmosfæretrykket på målestedet (mbar).

$O_{2,\text{ref}}$  = Referenceiltprocenten (vol. % i tør gas).

$O_{2,\text{målt}}$  = Den aktuelt målte iltkoncentration (vol. % i tør gas).

Påvirkningen fra de enkelte komponenter på usikkerheden beregnes ved at differentiere formel (1) med hensyn til komponenten. Eksempelvis kan påvirkningen fra det udsugede gasvolumen beregnes ved at differentiere formel (1) med hensyn til V. Resultaterne af differentieringer gives i afsnittene for hver komponent.

NOTE. Der er ingen usikkerhed knyttet til  $O_{2,\text{ref}}$ . Derfor indgår denne ikke i usikkerhedsbudgettet.

De mulige variationsbredder for komponenterne er givet i tabel 2, hvor det også fremgår, hvorfra oplysningerne stammer.

Typiske variationsbredder for komponenterne er givet i tabel 2.

Komponent	Værdi	Kommentar
Gasmængde	$\pm 5\%$ af visning	Krav ved kalibrering. Overskridelse medfører, at gasmåler kasseres. Det vil sige et maksimalkrav.
Gasmåler-temperatur	$\pm 3$ °C	Krav ved kalibrering. Overskridelse medfører, at gasmåler kasseres. Det vil sige et maksimalkrav.
Barometertryk	$\pm 10$ mbar	95% konfidensinterval.
Iltkoncentration	5% af målt værdi	Opgivet som metode nøjagtighed (95% CI).

Tabel 2. Typiske variationsbredder for målbare enkelt komponenter.

Dertil kommer variationsbredden, omtales normalt som analyseusikkerheden, på analysen af den opsamlede mængde i vaskeflaskerne. I omstående tabel er eksempler på variationsbredden (95% CI) givet for de valgte komponenter.

Parameter	Usikkerhed
HCl	5 %
SO <sub>2</sub>	5 %
HF	5 %
NH <sub>3</sub>	5 %
Hg	10 %
Metaller, gasfase	10 %
H <sub>2</sub> S	5 %
HCN	5 %

Tabel 3. Usikkerhed på analyse, inklusiv mængdebestemmelse på analyse af absorptionsvæsker. Alle værdier er opgivet som 95% CI.

#### 4.1.1 Udsuget gasmængde

Beregningerne bliver de samme som for partikelmåling, og derfor kan usikkerheden på  $V$  beregnes som:

$$u_V = |I_V \cdot i_V| = \frac{c \cdot \Delta V / 100}{\sqrt{3}} \quad (24)$$

For  $c = 100 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ , og  $\Delta V = \pm 5\%$ , bliver  $u_V = 2,887 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

#### 4.1.2 Gasmålertemperatur

Beregningerne bliver de samme som for partikelmåling, og derfor kan usikkerheden på  $t_M$  beregnes som:

$$u_{t_M} = |I_{t_M} \cdot i_{t_M}| = \frac{c \cdot \Delta t_M}{(273 + T_M) \cdot \sqrt{3}} \quad (25)$$

For  $c = 100 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ ,  $t_M = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $\Delta t_M = \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  bliver  $u_{t_M} = 0,591 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

#### 4.1.3 Barometertryk

Beregningerne bliver de samme som for partikelmåling, og derfor kan usikkerheden på  $p_{\text{atm}}$  beregnes som:

$$u_{p_{\text{atm}}} = |I_{p_{\text{atm}}} \cdot i_{p_{\text{atm}}}| = \frac{c \cdot \Delta p_{\text{atm}}}{2 \cdot p_{\text{atm}}} \quad (26)$$

For  $c = 100 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ ,  $p_{\text{atm}} = 1013 \text{ mbar}$  og  $\Delta p_{\text{atm}} = \pm 10 \text{ mbar}$  bliver  $u_{p_{\text{atm}}} = 0,494 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

#### 4.1.4 Analyseret mængde

Beregningerne bliver de samme som for partikelmåling, fordi analyseret mængde, A, blot erstatter den opsamlede støvmængde, S. Derfor kan usikkerheden på A beregnes som:

$$u_A = |I_A \cdot i_A| = \frac{c \cdot \Delta A / 100}{2} \quad (27)$$

For  $c = 100 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$  og  $\Delta A = \pm 2\%$  bliver  $u_A = 1,000 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

#### 4.1.5 Korrektion for O<sub>2</sub>-koncentration

Beregningerne bliver de samme som for partikelmåling, og derfor kan usikkerheden på  $O_{2,\text{målt}}$  beregnes som:

$$u_{O_2} = |I_{O_2} \cdot i_{O_2}| = \frac{c \cdot \Delta O_2 / 100 \cdot O_2}{(20,9 - O_2) \cdot 2} \quad (28)$$

For  $c = 100 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ ,  $\Delta O_2 = \pm 5\%$  og  $O_2 = 9 \text{ vol.\%}$  bliver  $u_{O_2} = 1,891 \text{ mg/m}^3(\text{n,t,11\%O}_2)$ .

#### 4.1.6 Samlet usikkerhed for målbare

Den samlede usikkerhed for de målbare komponenter, der også er de komponenter, der kontrolleres, kan beregnes efter følgende formel.

$$u_{\text{mål}} = \sqrt{u_V^2 + u_{t_M}^2 + u_{p_{\text{atm}}}^2 + u_A^2 + u_{O_2}^2} \quad (17)$$

Anvendes talværdierne fra eksemplerne i afsnittene 3.1.1 til 3.1.5 i formel 17 fås følgende resultat:

$$\begin{aligned} u_{\text{mål}} &= \sqrt{2,887^2 + 0,591^2 + 0,494^2 + 1,000^2 + 1,891^2} \\ &= 3,675 \text{ mg/m}^3(\text{n,t, ref. O}_2\%) \end{aligned}$$

## 4.2 Skønnede

Denne gruppe indeholder komponenter, hvor usikkerheden ikke kan bestemmes eksakt ved målinger eller lignende. Kendetegnende for alle er, at den numeriske værdi af usikkerheden er den samme fra måling til måling. Gruppen indeholder 3 komponenter

1. Prøvetagning, det vil sige tab/afsætning i sonderør under prøvetagning.
2. Håndtering af prøven, det vil sige tab/tilvækst ved håndtering af prøven i forbindelse med omhældning i og fra vaskeflasker.
3. Vaskeflaskernes absorptionseffektivitet

### 4.2.1 Prøvetagning

Tab/afsætning i sonde ved prøvetagning afhænger af sonderørets udformning, og hvor grundigt der skylles. Ved udarbejdelsen af usikkerhedsbudgettet er der taget udgangspunkt i, at glasudstyr bruges til målingen, og at det skylles grundigt mellem hver måling.

De eneste oplysninger, der p.t. foreligger, er værdier fra en CEN-afprøvning for måling af Hg (Amagerforbrænding) i 1996. Målingerne blev foretaget med glasudstyr, som det har været muligt skylle.

Ved disse målinger blev sonderøret skyllet mellem hver enkelt måling. Som gennemsnit af 12 målinger blev der med det ene udstyr fundet en afsætning i sonderøret på  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$ , og med det andet sæt udstyr  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$ . Der blev målt en koncentration i røggassen på ca.  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$ .

Anvendes den ”værste værdi”, det vil sige 2% af målt værdi, er der tale om en maksimal usikkerheder, og bidraget til usikkerheden kan beregnes efter formel 7 i DS/EN ISO 14956.

Usikkerheden på denne komponent kan derfor beregnes til:

$$u_{\text{tab}} = \sqrt{\frac{(-2)^2 + (-2) \cdot 0 + 0^2}{3}} = 1,15\% \text{ af målt koncentration}$$

#### 4.2.2 Håndtering af prøver

Usikkerhedsbidrag fra håndtering af prøver vil primært skyldes påvirkninger af prøvens indhold og volumen, når absorptionsvæsken hældes op i eller ud af vaskeflaskerne. Dertil kommer et vist ”overslæb” fra måling  $n$  til måling  $n+1$ .

De væsentligste oplysninger er udledt af resultaterne fra ovennævnte CEN-afprøvning, hvor der efter hver af de 2 måledage blev foretaget blindbestemmelse (vaskeflasker blev fyldt med absorptionsvæske og hele udstyret samlet). Der blev målt blindværdier svarende til 2% og 1% af målt værdi. Dette er et udtryk for ”overslæb”. Ved disse målinger var indsamlingen af prøverne mere omhyggelig end ved en normal måling, fordi der var tid og pladsforhold til at foretage omhyggelig indsamling.

Derfor anvendes en variation på 2% af målt værdi (maksimalværdi), hvis vaskeflaskerne fyldes og tømmes på laboratoriet. Tilsvarende anvendes en maksimal værdi på 5% af målt værdi, hvis vaskeflaskerne fyldes og tømmes i felten.

Dette betyder, at usikkerheden på denne komponent kan beregnes som følger.

Når vaskeflaskerne fyldes og tømmes på laboratoriet:

$$u_{\text{lab}} = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1,15\% \text{ af målt koncentration}$$

Når vaskeflaskerne fyldes og tømmes på målested:

$$u_{\text{felt}} = \frac{5\%}{\sqrt{3}} = 2,89\% \text{ af målt koncentration}$$

#### 4.2.3 Absorptionseffektivitet

Ingen vaskeflasker absorberer – i teorien – den aktuelle parameter 100%. Derfor vil absorptionseffektiviteten have en indflydelse på usikkerheden.

De fleste standarder, der beskriver måling med vaskeflasker, foreskriver, at absorptionseffektiviteten skal være større end 95%. Derfor bliver den fejl, der begås, mindre end 0,25% (=5% af 5%) af målt værdi.

Idet der er tale om en maksimalværdi, bliver usikkerheden fra denne komponent



$$u_{\text{abs}} = \frac{0,25\%}{\sqrt{3}} = 0,14\% \text{ af målt koncentration}$$

NOTE. Da denne værdi er meget mindre end de øvrige usikkerhedsbidrag, sættes værdien lig med 0 (nul). Undtaget herfra er måling af metaller, men kravet til absorptionseffektiviteten kendes endnu ikke.

### 4.3 Variable

Denne gruppe indeholder komponenter, hvor usikkerheden er bestemt på flere metoder, men kendetegnende for alle er, at den numeriske værdi af usikkerheden varierer fra måling til måling og fra målested til målested.

Til denne gruppe usikkerhedskomponenter hører

1. Manglende repræsentativitet i prøvetagningen
2. Reaktioner på filteret

#### 4.3.1 Manglende repræsentativitet ved prøvetagning

Normalt betragter vi gasser, som om der ikke er lagdeling i gasserne, selvom dette kan forekomme. Derfor sættes denne usikkerhedskomponent generelt lig med 0 (nul).

Men da der (sjældent) kan forekomme lagdeling, kan følgende formel bruges til beregningen, idet usikkerheden betragtes som en maksimalværdi:

$$u_{\text{prøve}} = \frac{X\%}{\sqrt{3}} \quad (29)$$

hvor X er påvirkningen fra lagdelingen (målepunktets vurderede koncentration i forhold til gennemsnitskoncentrationen).

#### 4.3.2 Reaktioner på filter

Der kan forekomme reaktioner mellem den gas, der måles, og filtermaterialet og/eller de partikler, der opsamles på filteret. Denne reaktion burde være lig med nul. Dette kan ikke altid garanteres, så derfor foreslås det, at usikkerhedsbidraget fra denne komponent betragtes som en maksimalværdi og beregnes efter

$$u_{\text{filter}} = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1,15\% \text{ af målt koncentration} \quad (30)$$

#### 4.4 Beregning af samlet usikkerhed

Den samlede usikkerhed på en måling med vaskeflasker beregnes efter følgende formel.

$$u_{\text{tot}} = \sqrt{\sum (u_x)^2} \quad (22)$$

hvor  $u_x$  er usikkerheden fra hver af enkeltkomponenterne, beregnet som ovenfor beskrevet.

Resultatet på en enkelt støvmåling kan rapporteres som

$$\mathbf{X} \pm \mathbf{u}_{\text{tot}} \text{ mg/m}^3 (\mathbf{n,t, ref O}_2\%)$$

## Bilag 1. Beregning af usikkerheden på isokinetisk prøvetagning.

I dette bilag opstilles beregningsudtryk til bestemmelse af usikkerheden på beregningen af isokinetisk prøvetagning. Baggrunden er, at beregningen af isokinetisk prøvetagning baseres på nogle målte parametre, og dermed også behæftet med en vis usikkerhed.

Kontrol for isokinetisk prøvetagning beregnes som forholdet mellem udsugningshastigheden (det vil sige hastigheden i sonden) og hastigheden i det aktuelle målepunkt i kanalen.

Kontrol for isokinetisk prøvetagning beregnes således i princippet som følgende forhold:

$$\frac{\dot{v}_s}{\dot{v}}$$

$\dot{v}$  måles (normalt) med pitotrør, mens  $\dot{v}_s$  må beregnes ud fra udsuget gasmængde med videre. Beregnings udtrykket til beregning af isokinetisk prøvetagning ud fra målte parametre ser således ud:

$$\frac{\dot{v}_s}{\dot{v}} = \frac{V_M \cdot \frac{273 + t_K}{273 + t_M} \cdot \frac{p_{atm}}{p_{atm} + p_{stat}} \cdot \frac{100}{100 - H_2O}}{\frac{\pi}{4} \cdot D_s^2 \cdot \tau \cdot \dot{v}}$$

Ved at følge principperne i kapitel 3.1 om partiel differentiation af ovenstående udtryk med hensyn til de indgående målte værdier

$\left(\frac{\delta \dot{v}_s}{\delta x}\right)$ , kan usikkerhedsbidraget til beregningen af isokinetisk prøvetagning fra hver enkelt målt værdi ( $x$ ) beregnes.

Resultaterne af beregningerne er givet i det følgende, idet der er anvendt værdier for de indgående parametre, således usikkerheden bliver størst mulig (worst case). Generelt er det antaget, at der er foretaget perfekt isokinetisk udsugning, således de opnåede resultater let kan omsættes til en procentuel værdi.

Usikkerhedsbidraget fra den udsugede gasmængde:  $V_M$

$$\begin{aligned} u_{V_M} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta V_M / 100}{\sqrt{3}} \\ &= 1 \cdot \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,0289 = 2,9\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra temperaturen i kanalen:  $t_K$

$$\begin{aligned} u_{t_K} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta t_K}{\sqrt{3} \cdot (273 + t_K)} \\ &= 1 \cdot \frac{5}{\sqrt{3} \cdot (273 + 10)} = 0,0010 = 1,0\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra gasmålertemperaturen:  $t_M$

$$\begin{aligned} u_{t_M} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta t_M}{\sqrt{3} \cdot (273 + t_M)} \\ &= 1 \cdot \frac{3}{\sqrt{3} \cdot (273 + 0)} = 0,0069 = 0,7\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra atmosfæretrykket:  $p_{atm}$

$$\begin{aligned} u_{p_{atm}} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{p_{stat}}{p_{atm} \cdot (p_{atm} + p_{stat})} \cdot \frac{\Delta p_{atm}}{2} \\ &= 1 \cdot \left| \frac{-29,4}{1013 \cdot (1013 - 29,4)} \right| \cdot \frac{10}{2} = 1,5 \cdot 10^{-4} = 0,015\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra det statiske tryk i kanalen:  $p_{stst}$

$$\begin{aligned} u_{p_{stst}} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta p_{stat}}{(p_{atm} + p_{stat})} \\ &= 1 \cdot \frac{1}{(1013 - 29,4)} = 1,0 \cdot 10^{-3} = 0,10\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra vanddampindholdet: **H<sub>2</sub>O-%**

$$\begin{aligned}
 u_{\text{H}_2\text{O}} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta \text{H}_2\text{O} / 100 \cdot \text{H}_2\text{O}}{2 \cdot (100 - \text{H}_2\text{O})} \\
 &= 1 \cdot \frac{14 / 100 \cdot 25}{2 \cdot (100 - 25)} = 0,022 = 2,2\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}}
 \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra dysediameteren: **D<sub>s</sub>**

$$\begin{aligned}
 u_{D_s} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= 2 \cdot \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot D_s^{-1} \cdot \Delta D_s \\
 &= 2 \cdot 1 \cdot 0,01^{-1} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 0,040 = 4,0\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}}
 \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra prøvetagningstiden: **τ**

$$\begin{aligned}
 u_{\tau} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta \tau}{\sqrt{3} \cdot \tau} \\
 &= 1 \cdot \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1800} = 0,0033 = 0,33\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}}
 \end{aligned}$$

Usikkerhedsbidraget fra gashastigheden: **ḡ**

$$\begin{aligned}
 u_{\bar{v}} \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \right) &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}} \cdot \frac{\Delta \dot{V}}{2} \\
 &= 1 \cdot \frac{10 / 100}{2} = 0,050 = 5,0\% \text{ af } \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}}
 \end{aligned}$$

NOTE: Som usikkerhed på hastigheden er som worst case anvendt usikkerheden på volumenstrømsmåling.

### **Samlet usikkerhed på kontrol af isokinetisk prøvetagning.**

De enkelte bidrag til usikkerheden summeres som kvadratroden af kvadratsummen af alle enkelte bidrag. I henhold til prEN ISO 14956 udelades bidrag, der er mindre end 10% af det største enkeltbidrag.

Parameter	Usikkerhedsbidrag (%)
Udsuget gasmængde	2,9
Gastemperatur	1,0
Gasmåler temperatur	0,7
Atmosfæretryk <sup>1)</sup>	0,0015
Statisk tryk i kanal <sup>1)</sup>	0,10
Vanddampindhold i gas	2,2
Dyse diameter	4,0
Prøvetagningstid <sup>1)</sup>	0,33
Gashastighed	5,0
<b>Total</b>	<b>7,5</b>

<sup>1)</sup> Bidragene fra disse parametre er mindre end 10% af største enkelt bidrag, og indgår derfor ikke i beregningen af den samlede usikkerhed.

Tabel 1: Oversigt over de enkelte usikkerhedsbidrag.

Den beregnede samlede usikkerhed svarer til én gange spredning. 95% konfidensintervallet for kontrol af isokinetisk prøvetagning

bliver  $\pm 15\%$  af  $\frac{\dot{V}_S}{\dot{V}}$ .

## Bilag 2. Eksempel på usikkerhedsbudget for støvmåling.

Enkeltkomponenter	Målte værdier	Måle-enhed	Nødvendige oplysninger pr. delkomponent						Komponent usikkerhed	95% konf. interval		
			Δ (komp.)	Enh. Δ	"KI"	"α"	A	B			X (%)	
Udsuget gasmængde	1,25	m <sup>3</sup> aflæst	0,05	% divideret med 100						0,289		
Gasmålertemperatur	20	gr.C	3	gr.C						0,059		
Barometertryk	1013	mbar	10	mbar						0,049		
Filtervejning	14	mg	0,02	% divideret med 100						0,100		
Iltkorrektion	9	Vol.% tør	0,05	% af målt koncentration						0,189		
Reference ilt	11	Vol.% tør										
Delresultat										0,367		0,735
<b>Skønnede</b>												
Prøvetagning	For filter udenfor kanal			Indsæt værdien 1 mg/m <sup>3</sup> , hvis filteret har været placeret udenfor kanalen						FEJL		
	For filter i kanal		0,05	Indsæt værdien 0,05, hvis filteret har været placeret i kanalen						0,500		
Tab/filterhåndtering	Vejerum			Indsæt værdien 0,02, hvis filteret er monteret i vejerum						FEJL		
	Målested		0,05	Indsæt værdien 0,05, hvis filteret er monteret ved målestedet						0,500		
Delresultat										0,707	1,414	
<b>Variable</b>												
Afvigelse fra isokinetik					1,05	0,5					0,250	
Målestedets indretning			4,33	% fejl p.gr.a. begrænset antal punkter i prøveplanet.						0,433		
Manglende målepunkter							8	0	20		0,000	
Delresultat										0,500	1,000	
Total										0,941	1,882	

Δ (komp.) beskriver usikkerheden på bestemmelsen af værdien af den pågældende komponent. Se noter for hvordan fastlagt.

c-støv =

10,00 mg/m<sup>3</sup> (n,t) ved 11% O<sub>2</sub>

Beregnet usikkerhed

1,88 mg/m<sup>3</sup> (n,t) ved 11% O<sub>2</sub>

eller 18,8 %