

# Päästömittausten epävarmuuspohjat

Kirjoittajat: Tuula Pellikka, Tuula Kajolinna, Olli Antson ja Richard Högström

Luottamuksellisuus: julkinen

<b>Raportin nimi</b> Päästömittausten epävarmuuspohjat	
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b> MECE-projektin johtoryhmä	<b>Asiakkaan viite</b>
<b>Projektin nimi</b> Päästömittausten epävarmuuspohjien laatiminen	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b> 114105/MECE
<b>Raportin laatija(t)</b> Tuula Pellikka, Tuula Kajolinna, Olli Antson ja Richard Högström	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b> 14/
<b>Avainsanat</b> päästömittaukset, mittausepävarmuus	<b>Raportin numero</b> VTT-R-00922-18
<b>Tiivistelmä</b> <p>Päästöjen raja-arvot ovat laskeneet vuosien aikana ja tulevaisuudessa ne tulevat laskemaan yhä muun muassa uusien BREF-dokumenttien ja niissä esitettyjen BAT-päätelmien myötä. Alhaisemmat päästöraja-arvot tarkoittavat sitä, että päästömittausten mittausepävarmuudella ja sen luotettavalla määrittävällä tulee jatkossa olemaan entistä suurempi merkitys.</p> <p>Projektissa laadittiin Excel-pohjaiset epävarmuuslaskentapohjat seuraaville komponenteille:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Gravimetrinen kertaluonteinen hiukkasmittausmenetelmä (Päästömittausten käsikirja sekä Guide to the expression of uncertainty in measurement JCGM 100/2008)</li> <li>2) Jatkuvat oimiset kaasumittaukset (CO SFS-EN 15058, NO<sub>x</sub> SFS-EN 14792, O<sub>2</sub> SFS-EN 14789, SO<sub>2</sub> CEN/TS 17021)</li> <li>3) Absorptioon perustuvat kertaluonteiset näytteenottomenetelmät (HCI SFS-EN 1911)</li> </ol> <p>Käyttäjän on varmistettava menetelmästandardien mahdolliset muutokset tai päivitykset, koska laskentapohjat perustuvat vuonna 2017 voimassa oleviin menetelmästandardeihin.</p> <p>Laskentapohjat on esitetty kuvina tässä raportissa. Laskentapohjat on saatavilla Excel-muodossa VTT:ltä.</p>	
<b>Luottamuksellisuus</b>	julkinen
Espoo 13.3.2018 <b>Laatija</b>	<b>Hyväksyjä</b>
Tuula Pellikka, Principal Scientist	Jukka Lehtomäki, Research Team Leader
<b>VTT:n yhteystiedot</b> PL 1000, 02044 VTT	
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> Projektin johtoryhmä, VTT:n kirjaamo	
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>	

## **Alkusanat**

---

VTT toteutti vuosina 2017-2018 hankkeen, jossa laadittiin epävarmuuslaskentapohjat päästömittauksiin.

Hankkeen rahoittajina toimivat ympäristöministeriö, Ympäristöpooli (Energiateollisuus ry), Metsä Board Tako, Neste Oy, Boliden Harjavalta Oy, Boliden Kokkola Oy, Ramboll Finland Oy, AX-Suunnittelu Oy, Envimetria Oy, Kontram Oy, XAMK, Outotec Oyj, Eurofins Nab Labs Oy, UPM-Kymmene Oyj, Wärtsilä Finland Oy sekä VTT.

Tekijät kiittävät projektiryhmää avoimesta ja rakentavasta keskustelusta.

13.3.2018

Tekijät

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo.....	3
1. Johdanto.....	4
2. Hankkeen sisältö.....	6
3. Mittausepävarmuuden määrittämisestä.....	6
4. Mittausepävarmuuspohjat.....	8
4.1 CO-pohja .....	8
4.2 NO <sub>x</sub> -pohja .....	9
4.3 SO <sub>2</sub> -pohja .....	10
4.4 O <sub>2</sub> -pohja .....	11
4.5 HCl-pohja.....	12
4.6 Hiukkaspohja .....	13
Lähteet.....	14

## 1. Johdanto

---

Päästöjen raja-arvot ovat laskeneet vuosien aikana ja tulevaisuudessa ne tulevat laskemaan yhä muun muassa uusien BREF-dokumenttien ja niissä esitettyjen BAT-päätelmien myötä. Alhaisemmat päästöraja-arvot tarkoittavat sitä, että päästömittausten mittausepävarmuudella ja sen luotettavalla määrittävällä tulee jatkossa olemaan entistä suurempi merkitys.

Industrial Emissions-direktiivissä (2010/75) esitetään kriteerit jatkuvatoimisten, kiinteästi asennettujen päästömittalaitteiden (automated measuring systems, AMS) epävarmuuksille %:a päästöraja-arvosta. Ne ovat komponenteittain seuraavat 95 %:n luottamusvälillä ilmaistuna:

- hiukkaset 30 %
- CO 10 %
- NO<sub>x</sub> 20 %
- SO<sub>2</sub> 20 %
- TOC 30 %
- HCl 40 %
- HF 40 %

Toiminnanharjoittajat käyttävät mittausten epävarmuuden toteamiseksi standardia ”Kiinteästi asennettujen mittalaitteiden laadunvarmistus”, Quality assurance of automated measuring systems, QA of AMS, SFS-EN14181, jossa esitetään seuraavaa:

- miten vertailumittauksin osoitetaan laitoksen päästömittalaitteiden toimivan direktiivin/asetusten esittämien vaatimusten mukaisesti sekä
- kuinka mittausten laatu varmistetaan myös vertailumittausten välillä.

Laadunvarmistus on standardissa jaettu neljään osaan:

- QAL 1: Quality check of the measuring procedure = mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen (EN-ISO14956)
- QAL 2: Quality assurance of installation = kiinteästi asennetun mittalaitteen (AMS) kalibrointi ja validointi referenssimenetelmän (SRM) avulla
- QAL 3: Ongoing quality assurance during operation = käytönaikainen laadunvarmistus
- Lisäksi vuosittainen valvonta eli Annual Surveillance Test, AST

Toiminnanharjoittaja teettää ulkopuolisella päästömittaajalla rinnakkaismittauksia osioissa QAL2 ja AST. Niiden avulla osoitetaan kiinteästi asennettujen mittalaitteiden (AMS, usein käytetään termiä CEMS) kelpoisuus asetuksessa esitettyjen vaatimusten suhteen.

Kun päästömittaaja tekee QAL2/AST-mittauksia, tulee hänen todentaa, että hänen käyttämänsä mittausmenetelmän (standard reference method, SRM) mittausepävarmuus täyttää kyseiselle komponentille sen eurooppalaisessa referenssimittausstandardissa esitetyt kriteerit. Tällöin viranomaisen ja toiminnanharjoittaja voivat olettaa, että päästömittaajan standardin SFS-EN 14181 mukaisesti tekemät laadunvarmistukselliset tarkastukset laitoksen kiinteästi asennetulle mittalaitteelle ovat luotettavia.

Jos laitoksen toiminnasta aiheutuu päästöjä ilmaan, mutta laitoksella ei ole jatkuvatoimisia mittalaitteita, voidaan päästöjen tarkkailu toteuttaa päästömittaajan toimesta kertamittausten avulla. Mikäli päästömittauksissa havaitaan jonkin parametrin mittaustuloksissa (ilman mittausepävarmuuden huomioimista) lievä päästöraja-arvon ylitys, ratkaisee mittausepävarmuuden osuus käytännössä sen, onko kyseessä aito päästöraja-arvon ylitys. Näin ollen päästömittausten tuloksiin liittyvä mittausepävarmuus ja sen oikeellisuus ovat päästöraja-arvon noudattamisen ja noudattamisen valvonnan näkökulmasta olennaisia asioita.

## 2. Hankkeen sisältö

---

VTT käynnisti vuonna 2017 hankkeen, jossa laadittiin Excel-pohjaiset epävarmuuslaskentapohjat seuraaville komponenteille:

- Gravimetrinen kertaluonteinen hiukkasmittausmenetelmä (Päästömittausten käsikirja sekä Guide to the expression of uncertainty in measurement JCGM 100/2008)
- Jatkuvatoiniset kaasumittaukset (CO SFS-EN 15058, NO<sub>x</sub> SFS-EN 14792, O<sub>2</sub> SFS-EN 14789, SO<sub>2</sub> CEN/TS 17021)
- Absorptioon perustuvat kertaluonteiset näytteenottomenetelmät (HCI SFS-EN 1911)

Hankkeessa laadittujen laskentapohjien sisältö noudattaa standardien/esikuvalähteiden esitettyjä rakenteita ja kriteereitä.

## 3. Mittausepävarmuuden määrittämisestä

---

Hankkeen aikana järjestettiin työpajoja, joissa keskusteltiin johtoryhmän kesken epävarmuuden määrittämisen periaatteista. Keskusteltiin muun muassa seuraavaa:

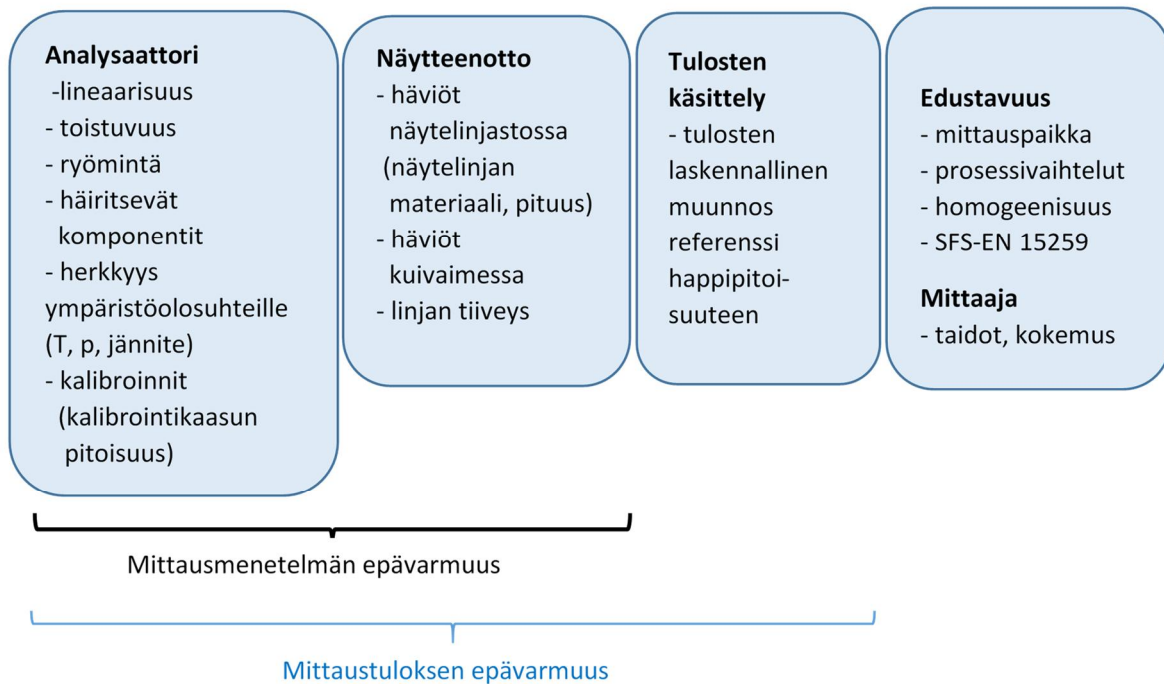
- mittausepävarmuuslaskelmissa ei kuulu huomioida mittausten edustavuutta. Jos mittauspaikka on sellainen, että siinä esimerkiksi ei voi tehdä täydellistä verkkomittausta hiukkasmittauksille, tästä aiheutuvaa epävarmuutta ei voida ottaa laskelmissa huomioon, ellei kyseisen mittausepävarmuuden suuruutta ole erikseen tutkittu kyseisessä prosessissa
- jos mittaja ei ole koko ajan mittalaitteen vieressä, tästä aiheutuvaa mittausepävarmuutta ei voida arvioida
- vertailumittauksia ja niiden tuloksia, kuten myöskään mittajan taitoja, ei voida ottaa huomioon mittausepävarmuuden tarkastelussa

Projektin aikana lähestyttiin myös eurooppalaisia päästömittaustahoja (Ruotsi, Tanska, Saksa, Ranska, Iso-Britannia, Italia sekä Espanja) ja keskusteltiin siitä, mitä tekijöitä heillä huomioidaan mittausepävarmuuslaskelmissa.

Kaikkien saatujen vastausten mukaan näissä maissa päästömittausten epävarmuuslaskelmissa otetaan huomioon vain standardeissa mainitut parametrit. Vastauksissa kommentoitiin sitä, että vaikkakin esimerkiksi huono mittauspaikka (esimerkiksi ei mahdollista tehdä verkkomittausta) vaikuttaa mittausepävarmuuteen, vaikutuksen suuruutta on mahdotonta arvioida ja mitään keinotekoisesti keksittyjä arvioita siitä ei voida lisätä laskelmiin.

Päästömittaustandardien epävarmuus pohjautuu ajatukseen siitä, että mittajalla on käytössään mittauspaikka, jossa pitoisuudet ovat jakautuneet homogeenisesti läpi kanavan, mittauspaikalle päästään helposti ja siellä on hyvä säänsuoja sekä siihen, että mittajat ovat koulutettuja ja kokeneita. Ja lisäksi pitoisuuksien ei tulisi vaihdella ajan myötä... Jos edellä mainitut tekijät eivät täyty, mittaja ei voi arvioida niiden vaikutusta epävarmuuteen, mutta ne tulee ilmoittaa raportissa sekä lisätä maininta siitä, että ko. tekijät lisäävät mittausepävarmuutta.

Alla on esitetty esimerkki siitä, mitä jatkuvatoimisen päästömittauksen epävarmuustarkastelu pitää sisällään. Epävarmuuteen ei siis oteta mukaan edustavuuden merkitystä tai mittajaan taitoja!



Kuva 1. Jatkuvatoimisen kaasumittauksen epävarmuustarkastelu

Päästömittausten mittausepävarmuuden laskentaan tarkoitetut laskentapohjat on tehty vuonna 2018 Teknologian Tutkimuskeskus VTT:llä menetelmästandardien esimerkkien pohjalta. Laskentapohjat on saatavilla Excel-muodossa VTT:ltä.

Laskentapohjan käyttäjä on vastuussa lähtötietojen ja laskentojen oikeellisuudesta.

Käyttäjän on varmistettava menetelmästandardien mahdolliset muutokset tai päivitykset, koska laskentapohjat perustuvat vuonna 2017 voimassa oleviin menetelmästandardeihin.

Laskentapohjan kaavoja ei ole lukittu, jotta käyttäjä voi tarvittaessa muuttaa laskentoja soveltumaan paremmin omaan tarpeeseensa.



## 4. Mittausepävarmuuspohjat

### 4.1 CO-pohja

MITTAUSEPÄVARMUUDEN LASKENTA SFS-EN 15058:2017 MUKAAN

<b>Laitte: X</b>	<b>CO</b>
<b>Mittausalue 0 -</b>	<b>100</b>
Mittauksen tilavuus	50
	mg/m <sup>3</sup>
	mg/m <sup>3</sup>

Suorituskykyparametri	Kriteeri	Parametris arvo tai vaihteluväli	Parametris yksikkö	Lähde	Kriteeri OK ?
Vasteaika	≤200 s	120	s	Kentällä	OK
Tositettavuus nolliapisteessä	±1% täydestä alueesta	0,3	% täydestä alueesta	Sertifikaatti/laboratorikokeet	OK
Tositettavuus kalibrointipisteessä	±2% täydestä alueesta	0,45	% täydestä alueesta	Sertifikaatti/laboratorikokeet	OK
Lineaarisuus	±2% täydestä alueesta	0,6	% täydestä alueesta	Sertifikaatti/laboratorikokeet	OK
Nollapisteen siirtymä	±2% täydestä alueesta/24 h	0,01	% täydestä alueesta/24h	Kentällä	OK
Kalibrointipisteen siirtymä	±2% täydestä alueesta/24 h	0,5	% täydestä alueesta/24h	Kentällä	OK
Herkkyys ympäristön lämpötilalle kalibrointipisteessä	±5% alueesta/ 20 K	1	% alueesta/ 20 K	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ilmakanalan paineelle kalibrointipisteessä	±2% alueesta/ 3 kPa	0,4	% mitatusta arvosta	Sertifikaatti	OK
Herkkyys näytteen virtaukselle	±2% alueesta/ 10 l/h	0,2	% täydestä alueesta/ 10 l/h	Sertifikaatti	OK
Herkkyys jännitteelle kalibrointipisteessä	±2% alueesta/ 10 V	0,12	% alueesta/ 10 V	Sertifikaatti	OK
CO-häviöt näytteenkäsittelyssä	±2% mitatusta arvosta		mg/m <sup>3</sup> CO	Kentällä/Laboratorikokeet	
O <sub>2</sub> -mittauksen epävarmuus (k=2)		5	% mitatusta O <sub>2</sub> -pitoisuudesta		
Kosteusmittauksen epävarmuus (k=2)		10	% mitatusta H <sub>2</sub> O-pitoisuudesta		
Laimennussuhteen epävarmuus (k=2)		0	% mitatusta CO-pitoisuudesta		
Häiriövaikutukset	Yhteensä: <4% alueesta	0,5			OK
CO <sub>2</sub> til%	15	-0,8	mg/m <sup>3</sup> CO	Sertifikaatti/laboratorikokeet	
N <sub>2</sub> O mg/m <sup>3</sup>	20	1	mg/m <sup>3</sup> CO	Sertifikaatti/laboratorikokeet	
CH <sub>4</sub> mg/m <sup>3</sup>	50	2	mg/m <sup>3</sup> CO	Sertifikaatti/laboratorikokeet	

\*vain jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa ja tulos on muunnettu kuiviin kaasuihin  
 \*\* vain jos on käytetty laimennussonda.

Mittausolosuhteet kentällä	Muuttujan arvo	Vaihtelun arvo	Vaihteluväliyksikkö	Vaihtelu, min	Vaihtelu, max
Kosteuspitoisuus*	0	0	0	0	0
Näytteen virtausvauhti	60	5	l/h	55	65
Lämpötila kalibroinnin aikana	28,5		K		
Ympäristön lämpötilan muutokset mittauksen aikana			K	28,3	30,8
Lämpövaikutus	230	5	V	225	235
Ilmanpaine kalibroinnin aikana	99		kPa		
Ilmanpaineen vaihtelu			kPa	99	100
O <sub>2</sub> referenssipitoisuus	11		0%		
O <sub>2</sub> mitattu pitoisuus	12		0%		
CO <sub>2</sub> pitoisuusvaihtelu			0%	8	12
N <sub>2</sub> O pitoisuusvaihtelu			mg/m <sup>3</sup>		
CH <sub>4</sub> pitoisuusvaihtelu			mg/m <sup>3</sup>	0	10
Kalibrointikaasu					
CO tyypissä, ei interferoivia aineita, mg/m <sup>3</sup>	80	2	%		

\*vain jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa ja tulos on muunnettu kuiviin kaasuihin

Suorituskykyparametri	Epävarmuus	Yhtäjä	Epävarmuus / mg/m <sup>3</sup>	u <sup>2</sup>
Muunnos kuiviin kaasuihin*	u <sub>CO</sub>	C <sub>24</sub> -saven 2. laatu	0,00	0,00
Laimennussondin käyttö**	u <sub>la</sub>		0,00	0,00
Tositettavuus nolliapisteessä	u <sub>0</sub>	0,21	0,45	0,20
Tositettavuus kalibrointipisteessä	u <sub>1</sub>	0,11	0,35	0,12
Lineaarisuus	u <sub>lin</sub>	0,12	0,36	0,08
Nollapisteen siirtymä	u <sub>0,24</sub>	0,13	0,39	0,01
Kalibrointipisteen siirtymä	u <sub>0,24</sub>	0,4	0,64	0,41
Herkkyys ympäristön lämpötilalle	u <sub>1</sub>	0,4	0,04	0,00
Herkkyys ilmanpaineelle	u <sub>1</sub>	0,6	0,06	0,00
Herkkyys näytteen virtaukselle	u <sub>1</sub>	0,5	0,08	0,01
Herkkyys jännitteelle	u <sub>1</sub>	0,14	0,00	0,00
Häviöt näytteenkäsittelyssä	u <sub>1</sub>	0,14	0,54	0,29
Häiriövaikutus: CO <sub>2</sub>	u <sub>1</sub>	0,14	0,00	0,00
Häiriövaikutus: N <sub>2</sub> O	u <sub>1</sub>	0,14	0,23	0,05
Häiriövaikutus: CH <sub>4</sub>	u <sub>1</sub>	0,18	0,23	0,05
Positiiviset häiriövaikutukset	u <sub>1</sub>	0,19	-0,54	0,29
Negatiiviset häiriövaikutukset	u <sub>1</sub>	0,20	0,54	0,29
Suurin häiriövaikutus	u <sub>1</sub>	0,23	0,50	0,25
Kalibrointikaasun epävarmuus	u <sub>1</sub>	0,2	%	1,17
Kokonaisepävarmuus	u <sub>1</sub>		mg/m <sup>3</sup>	2,3
Suhteellinen kokonaisepävarmuus	%			2,3
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2)</b>	<b>U(C<sub>CO</sub>)</b>	0,3	mg/m <sup>3</sup>	<b>2,3</b>
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus	U <sub>rel</sub> (C <sub>CO</sub> )	%		4,7

\*vain jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa ja tulos on muunnettu kuiviin kaasuihin  
 \*\* vain jos on käytetty näytteenotossa laimennussonda.

Esimerkki jätteenpolttoaloksen päivittäisestä päästöarjasta:	Päästöarja-arvo	50 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 11%)
	→ kriittinen (6%)	3 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 11%)
	UIC(CO) < kriteeri	TRUE

Esimerkin mukainen laajennettu epävarmuus heppimunnettuun CO-pitoisuustulokseen

CO-pitoisuus korvaan O <sub>2</sub> -pitoisuudessa	C <sub>CO, korvaus O<sub>2</sub></sub>	50,00	mg/m <sup>3</sup> , NTP, korvaan O <sub>2</sub>
CO-pitoisuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	C <sub>CO, O<sub>2</sub>ref</sub>	55,56	mg/m <sup>3</sup> , NTP, O <sub>2</sub> ref
Kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	u(C <sub>CO, O<sub>2</sub>ref</sub> )	2,260	mg/m <sup>3</sup> , NTP, O <sub>2</sub> ref
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus O<sub>2</sub>-referenssipitoisuudessa (k=2)</b>	<b>U(C<sub>CO, O<sub>2</sub>ref</sub>)</b>	<b>4,52</b>	<b>mg/m<sup>3</sup>, NTP, O<sub>2</sub>ref</b>
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	U <sub>rel</sub> (C <sub>CO, O<sub>2</sub>ref</sub> )	9,0	%

4.2 NO<sub>x</sub>-pohja

MITTAUSEPÄVARMUUDEN LASKENTA SFS-EN 14792:2017 MUKAAN					
Laite: X		NO <sub>x</sub>			
Mittausväli 0 -		200			mg/m <sup>3</sup>
Tutkittava pitoisuus		200			mg/m <sup>3</sup>
<b>Suorituskykyparametrit</b>	<b>Kriteeri</b>	<b>Parametrin yksikkö</b>	<b>Parametrin arvo</b>	<b>Lähde</b>	<b>Kriteeri OK ?</b>
Vasteaika	≤200 s	s	120	Kenttä	OK
Toistuvuus nolapisteessä	±1% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,65	Sertifikaatti/laboratoriokokeet	OK
Toistuvuus kalibrointipisteessä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,8	Sertifikaatti/laboratoriokokeet	OK
Lineaarisuus	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,7	Sertifikaatti/laboratoriokokeet	OK
Nollapisteen siirtymä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta/24h	0,01	Kenttä	OK
Kalibrointipisteen siirtymä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta/24h	0,5	Kenttä	OK
Herkkyys näytekaasan virtaukselle	≤2% alueesta / 10 l/h	± % täydestä alueesta/ 10 l/h	1	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ilmakehän paineelle	≤2% alueesta/ 3 kPa	± % mitatusta anosta	1,6	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ympäristön lämpötilalle nolapisteessä	≤5% alueesta/ 20 K	± % alueesta/ 20 K	0,5	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ympäristön lämpötilalle kalibrointipisteessä	≤5% alueesta/ 20 K	± % alueesta/ 20 K	1	Sertifikaatti	OK
Herkkyys jännitteelle kalibrointipisteessä	≤2% alueesta/10 V	± % alueesta/ 10 V	0,12	Sertifikaatti	OK
NO <sub>2</sub> -häviöt mittauksessa	< 10 %	% (absoluuttista)	6		
Konversiotehokkuuden siirtymä		% (absoluuttista)	3		
Konversiotehokkuuden toistuvuus		% (absoluuttista)	1		
Kosteusmittauksen epävarmuus (k=2)		± % mitatusta H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> pitoisuudesta	10		*vain jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa ja tulos on muunnettu kuivihin kaasuihin
Lämmennusuhteen epävarmuus** (k=2)		± % mitatusta C <sub>uett</sub> pitoisuudesta	0		** vain, jos on käytetty lämmennusondia
Häppimittauksen epävarmuus (k=2)		± % mitatusta O <sub>2</sub> pitoisuudesta	5		
Häiriövaikutukset:	Yhteensä: ≤4% alueesta				
CO <sub>2</sub>	Pitoisuus ja sen häiriövaikutus	15	2,6	Sertifikaatti/laboratoriokokeet	
NH <sub>3</sub>	Pitoisuus ja sen häiriövaikutus	20	1,5	Sertifikaatti/laboratoriokokeet	
<b>Mittausolosuhteet ja vaihteluvälit</b>	<b>Muuttujan arvo</b>	<b>Vaihtelun arvo</b>	<b>vaihtelu, min</b>	<b>vaihtelu, max</b>	<b>Yksikkö</b>
Kosteuspitoisuus*	0				ti-%
Näytekaasan tilavuusvirta	60	5	55	65	l/h
Lämpötila kalibroinnin aikana	285				K
			283	308	K
Ympäristön lämpötilan muutokset mittauksen aikana					
Jännitevaihtelu	230	5	225	235	V
Ilmapaine kalibroinnin aikana	99				kPa
Ilmapaineen vaihtelu			99	100	kPa
O <sub>2</sub> -referenssipitoisuus	11				ti-%
O <sub>2</sub> mitattu pitoisuus	10				ti-%
NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -suhde	10				%
C <sub>CO</sub>	198,3				mg/m <sup>3</sup>
C <sub>CO2</sub>	178,4				mg/m <sup>3</sup>
C <sub>CO2</sub>	19,83				mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub> pitoisuusvaihtelu			8	15	ti-%
NH <sub>3</sub> pitoisuusvaihtelu			0	20	mg/m <sup>3</sup>
Kalibrointikaasu NO työssä. Yksikkö ppm	180	2			± %
<b>Epävarmuusarvelma</b>					
<b>Suorituskykyparametrit</b>	<b>Epävarmuus</b>	<b>Epävarmuus / mg/m<sup>3</sup></b>	<b>u<sup>2</sup></b>		
Kosteuspitoisuus* NO <sub>x</sub>	u <sub>H2O</sub>	0,000	0,00	*vain, jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa	
Kosteuspitoisuus* NO	u <sub>N2O</sub>	0,000	0,00	*vain, jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa	
Lämmennusondin käyttö** NO <sub>x</sub>	u <sub>NO</sub>	0,000	0,00	** vain, jos on käytetty lämmennusondia	
Lämmennusondin käyttö** NO	u <sub>NO</sub>	0,000	0,00	** vain, jos on käytetty lämmennusondia	
Toistuvuus kalibrointipisteessä	u <sub>t</sub>	1,6	2,56		
Lineaarisuus	u <sub>l</sub>	0,81	0,65		
Nollapisteen siirtymä	u <sub>0</sub>	0,01	0,00		
Kalibrointipisteen siirtymä	u <sub>1</sub>	0,58	0,33		
Herkkyys näytekaasan virtaukselle	u <sub>v</sub>	0,58	0,33		
Herkkyys ilmakehän paineelle	u <sub>p</sub>	0,61	0,37		
Herkkyys ilmakehän paineelle	u <sub>p,NO2</sub>	0,55	0,30		
Herkkyys ympäristön lämpötilalle	u <sub>s,NO</sub>	1,27	1,62		
Herkkyys jännitteelle	u <sub>s</sub>	0,16	0,03		
Häiriövaikutus: CO <sub>2</sub>	u <sub>i,CO2</sub>	2,02	4,10		
Häiriövaikutus: CH <sub>4</sub>	u <sub>i,CH4</sub>	0,87	0,75		
Kalibrointikaasun epävarmuus	u <sub>BS,NOx</sub>	1,98	3,93		
	u <sub>BS,NO</sub>	1,78	3,16		
	u <sub>BS,NO2</sub>	0,20	0,04		
Konversiotehokkuuden epävarmuus (% NO <sub>2</sub> pitoisuudesta)	u <sub>k</sub>	0,40	0,16		
Positiiviset häiriövaikutukset	u <sub>p</sub>	0,87	0,75		
Negatiiviset häiriövaikutukset	u <sub>n</sub>	-2,02	4,10		
Suurin häiriövaikutus	u <sub>i</sub>	2,02	4,10		
Kokonaisepävarmuus, NO <sub>x</sub>	u <sub>c</sub> (C <sub>NOx</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> :na)	3,73		
Laajennettu kokonaisepävarmuus 95%, NO <sub>x</sub>	U <sub>C</sub> (C <sub>NOx</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> :na)	7,5		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus, NO <sub>x</sub>	U <sub>rel</sub> (C <sub>NOx</sub> )	%	3,8		
Kokonaisepävarmuus, NO	u <sub>c</sub> (C <sub>NO</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na)	3,62		
Laajennettu kokonaisepävarmuus 95%, NO	U <sub>C</sub> (C <sub>NO</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na)	7,2		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus, NO	U <sub>rel</sub> (C <sub>NO</sub> )	%	4,1		
<b>Kokonaisepävarmuus, NO<sub>x</sub></b>	u <sub>c</sub> (C <sub>NOx, 95%</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na)	4,1		
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2), NO<sub>x</sub></b>	U <sub>C</sub> (C <sub>NOx, 95%</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na)	8,1		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus, NO <sub>x</sub>	U <sub>rel</sub> (C <sub>NOx, 95%</sub> )	%	4,1		
Esimerkki jätteenpolttolaitoksen päivittäisestä päästöaraja-arvosta:	Päästöaraja-arvo	200 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 11%)			
	→ kriteeri (10%)	20 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 11%)			
	U <sub>C</sub> (NO <sub>x</sub> ) ≤ kriteeri	TRUE		(Verrattava epävarmuus tulee olla kanavan hapessa)	
<b>Häppimuunnoksen aiheuttama epävarmuus häppimuunnettuun NO<sub>x</sub>-pitoisuustulokseen</b>					
NO <sub>x</sub> -pitoisuus kanavan O <sub>2</sub> -pitoisuudessa	C <sub>NOx, kanava O2</sub>	200,00	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na), NTP, kanavan O <sub>2</sub>		
NO <sub>x</sub> -pitoisuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	C <sub>NOx, O2ref</sub>	181,82	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na), NTP, O <sub>2ref</sub>		
Kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	u <sub>c</sub> (C <sub>NOx, O2ref</sub> )	5,5	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na), NTP, O <sub>2ref</sub>		
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus O<sub>2</sub>-referenssipitoisuudessa 95% (k=2), NO<sub>x</sub></b>	U <sub>C</sub> (C <sub>NOx, O2ref</sub> )	<b>11,09</b>	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> :na), NTP, O <sub>2ref</sub>		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	U <sub>rel</sub> (C <sub>NOx, O2ref</sub> )	6,1	%		

4.3 SO<sub>2</sub>-pohja

MITTAUSEPÄVARMUUDEN LASKENTA CENTS 17021:2017 MUKAAN					
Laite: X		SO <sub>2</sub>			
Mittausalue 0 -		26			ppm
Tutkittava pitoisuus		50			mg/m <sup>3</sup>
Suorituskykyparametrit	Kriteeri	Parametrin yksikkö	Parametrin arvo	Lähde	Kriteeri OK ?
Vasteaika	≤200 s	s	120	Kentällä	OK
Toistuvuus nolapisteessä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta		Sertifikaatti/laboratoriokeet	OK
Toistuvuus kalibrointipisteessä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,35	Sertifikaatti/laboratoriokeet	OK
Uusittavuus kalibrointipisteessä kentällä	±3,3% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta		Sertifikaatti/kentällä	
Lineaarisuus	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,4	Sertifikaatti/laboratoriokeet	OK
Nolapisteen siirtymä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,01	Kentällä	OK
Kalibrointipisteen siirtymä	±2% täydestä alueesta	± % täydestä alueesta	0,5	Kentällä	OK
Herkkyys näytekaasun virtaukselle	±2% alueesta	± % täydestä alueesta/ 10 l/h	0,2	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ilmäkehän painelle	±2% alueesta/ 3 kPa	± % mitatusta arvosta	1	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ympäristön lämpötilalle nolapisteessä	±5% alueesta/ 20 K	± % alueesta/ 20 K		Sertifikaatti	OK
Herkkyys ympäristön lämpötilalle kalibrointipisteessä	±5% alueesta/ 20 K	± % alueesta/ 10 K	0,2	Sertifikaatti	OK
Herkkyys jännitteelle kalibrointipisteessä	±2% alueesta/ (-15%) - (+10%) jännitteestä	± % alueesta/ 10 V	0,12	Sertifikaatti	OK
Herkkyys värinäille (vibration)	±2% alueesta	± % alueesta	0,4	Sertifikaatti	OK
O <sub>2</sub> -mittauksen epävarmuus (k=2)		± % mitatusta O <sub>2</sub> -pitoisuudesta	5	Sertifikaatti/laboratoriokeet	
Kosteuspitoisuuden epävarmuus (k=2)		± % mitatusta H <sub>2</sub> O-pitoisuudesta	10	Sertifikaatti/laboratoriokeet	*vain jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa ja tulos on muunnettu kuivin kaasuihin
Laimennussuhteen epävarmuus** (k=2)		± % mitatusta SO <sub>2</sub> -pitoisuudesta		Sertifikaatti/laboratoriokeet	** vain, jos on käytetty laimennussondia
Häiriövaikutukset	Yhteensä: ≤4% alueesta	± % alueesta	1,4	Sertifikaatti/laboratoriokeet	OK
Häviöt ja vuodot näytelinjastossa	±2% mitatusta arvosta	ppm	0,3	Sertifikaatti/laboratoriokeet	
Mittausulokset ja vaihtelut	Mitattu ano	Vaihtelun ano	vaihtelu, min	vaihtelu, max	Yksikkö
Kosteuspitoisuus*	0				til-%
Näytekaasun tilavuusvirta	60	5	55	65	l/h
Lämpötila kalibroinnin aikana	285				K
Ympäristön lämpötilan muutokset mittauksen aikana			283	308	K
Jännite kalibroinnin aikana	110				
Jännitevaihtelu			107	115,5	V
Ilmapaine kalibroinnin aikana	100		100	100	kPa
Ilmapaineen vaihtelu			97,5	102,5	kPa
O <sub>2</sub> -referenssipitoisuus	11				til-%
O <sub>2</sub> -mitattu pitoisuus	13				til-%
Kalibrointikaasu SO <sub>2</sub> työssä, ppm	26	0,5			±ppm
Mittausano kalibrointikaasulle	25,7				ppm
Epävarmuuskaikema	Epävarmuus	Epävarmuus / ppm	u <sup>2</sup>		
Kosteuspitoisuus*	u <sub>H2O</sub>	0,00	0,00		*vain, jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa
Laimennussondin käyttö**	u <sub>dil</sub>	0,00	0,00		** vain, jos on käytetty laimennussondia
Toistuvuus kalibrointipisteessä	u <sub>t</sub>	0,091	0,01		
Lineaarisuus	u <sub>lin</sub>	0,06	0,00		
Nolapisteen siirtymä	u <sub>0</sub>	0,002	0,00		
Kalibrointipisteen siirtymä	u <sub>1</sub>	0,075	0,01		
Herkkyys näytekaasun virtaukselle	u <sub>v</sub>	0,015	0,00		
Herkkyys ilmäkehän painelle	u <sub>p</sub>	0,125	0,02		
Herkkyys ympäristön lämpötilalle	u <sub>a</sub>	0,066	0,00		
Herkkyys jännitteelle	u <sub>v</sub>	0,009	0,00		
Häiriövaikutus	u <sub>int</sub>	0,210	0,04		
Herkkyys värinäille	u <sub>vib</sub>	0,060	0,00		
Kalibrointikaasun epävarmuus	u <sub>cal</sub>	0,250	0,06		
Häviöt ja vuodot näytelinjastossa	u <sub>loss</sub>	0,173	0,03		
<b>Kokonaisepävarmuus</b>	<b>u<sub>c</sub></b>	<b>ppm</b>	<b>0,422</b>		
		<b>mg/m<sup>3</sup></b>	<b>1,207</b>		
Suhteellinen kokonaisepävarmuus	u <sub>c,rel</sub>	%	2,4		
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2)</b>	<b>U<sub>C(95)</sub></b>	<b>ppm</b>	<b>0,844</b>		
		<b>mg/m<sup>3</sup></b>	<b>2,414</b>		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus	U <sub>c,rel(C<sub>SO2</sub>)</sub>	%	4,8		
Esimerkki jätteenpoistotilauksen päivittäisestä päästöarvosta:	Päästöarvo-ano		50 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 11%)		
	→ kriteeri (15%)		7,5 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 11%)		
	U(C <sub>CC</sub> ) ≤ kriteeri		TRUE		
Happimuunnoksen aiheuttama epävarmuus happimuunnettuun SO <sub>2</sub> -pitoisuustulokseen					
SO <sub>2</sub> -pitoisuus kanavan O <sub>2</sub> -pitoisuudessa	C <sub>(SO2),kanavan O2</sub>	50,00	mg/m <sup>3</sup> , NTP, kanavan O <sub>2</sub>		
SO <sub>2</sub> -pitoisuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	C <sub>(SO2,O2,ref)</sub>	62,50	mg/m <sup>3</sup> , NTP, O <sub>2,ref</sub>		
Kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	u(C <sub>(SO2,O2,ref)</sub> )	2,953	mg/m <sup>3</sup> , NTP, O <sub>2,ref</sub>		
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus O<sub>2</sub>-referenssipitoisuudessa (k=2)</b>	<b>U<sub>C(SO2,O2,ref)</sub></b>	<b>5,91</b>	<b>mg/m<sup>3</sup>, NTP, O<sub>2,ref</sub></b>		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	U <sub>c,rel(C<sub>(SO2,O2,ref)</sub>)</sub>	9,5	%		

4.4 O<sub>2</sub>-pohja

MITTAUSEPÄVARMUUDEN LASKENTA SFS-EN 14789:2017 MUKAAN					
Laite: X		O <sub>2</sub>			
Mittausalue 0 - 25 til-%		25			til-%
Tutkittava pitoisuus		12			til-%
Suorituskykyparametrit	Kriteeri	Parametrin yksikkö	Parametrin arvo	Lähde	Kriteeri OK ?
Vasteaika	≤ 200 s	s	120	Kentällä	OK
Toistuvuus nolapisteesä	≤ 0,2 til-%	± til-%		Sertifikaatti/lab ratoriokeet	
Toistuvuus kalibrointipisteessä	≤ 0,2 til-%	± til-%	0,1	Sertifikaatti/lab ratoriokeet	OK
Uusittavuus kalibrointipisteessä kentällä	≤ 0,2 til-%	± til-%		Sertifikaatti/kent ällä	
Lineaarisuus	≤ 0,3 til-%	± til-%	0,12	Sertifikaatti/lab ratoriokeet	OK
Nollapisteen siirtymä	≤ 0,2 til-%	± til-%	0,1	Kentällä	OK
Kalibrointipisteen siirtymä	≤ 0,2 til-%	± til-%	0,1	Kentällä	OK
Herkkyys näytekaasun virtaukselle	≤ 0,2 til-% / 10 l/h	± til-% / 10 l/h	0,2	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ilmakäähän paineelle	≤ 0,2 til-% / 3 kPa	± til-%	0,2	Sertifikaatti	OK
Herkkyys ympäristön lämpötilalle kalibrointipisteessä	≤ 0,5 til-% / 20 K	± til-% / 20 K	0,4	Sertifikaatti	OK
Herkkyys jännitteelle kalibrointipisteessä	≤ 0,2 til-% / 10 V	± til-% / 10 V	0,08	Sertifikaatti	OK
Kosteusmittauksen epävarmuus (k=2)		± % mitatusta kosteuspitoisuudesta	10		
Häiriövaikutukset:	Yhteensä: ≤ 0,4 til-%		0,2		OK
NO	Pitoisuus ja sen häiriövaikutus	300	0,05	Sertifikaatti/lab ratoriokeet	
NO <sub>2</sub>	Pitoisuus ja sen häiriövaikutus	30	0,02	Sertifikaatti/lab ratoriokeet	
CO <sub>2</sub>	Pitoisuus (til-%) ja sen häiriövaikutus	10	-0,003	Sertifikaatti/lab ratoriokeet	
Mittausolosuhteet kentällä	Muuttujan arvo	Vaihtelun arvo	vaihtelu, min	vaihtelu, max	Yksikkö
Kosteuspitoisuus*	0				%
Näytekaasun tilavuusvirta	60	5	55	65	l/h
Lämpötila kalibroinnin aikana	285				K
Ympäristön lämpötilan muutokset mittauksen aikana			283	308	K
Jännitevaihtelu	230	10	220	240	V
Ilmapaine kalibroinnin aikana	99				kPa
Ilmapaineen vaihtelu			99	100	kPa
NO <sub>x</sub> -pitoisuusvaihtelu			100	150	mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub> -pitoisuusvaihtelu			5	7,5	mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub> -pitoisuusvaihtelu			8	15	til-%
Kalibrointikaasu O <sub>2</sub> työssä, ei häiritseviä komponentteja. Yksikkö til-%	20	0,2			± %
Epävarmuuslaskelma	Suorituskykyparametrit	Epävarmuus	Epävarmuus / til-%	u <sup>2</sup>	
Kosteuspitoisuus*	u <sub>CO2</sub>	0,000	0,000	0,000	*vain jos mittaus on tehty kosteissa kaasussa ja tulos on muunnettu kuiviin kaasuhin
Toistuvuus kalibrointipisteessä	u <sub>t</sub>	0,020	0,000	0,000	
Lineaarisuus	u <sub>kl</sub>	0,069	0,005	0,005	
Nollapisteen siirtymä	u <sub>d,z</sub>	0,058	0,003	0,003	
Kalibrointipisteen siirtymä	u <sub>d,s</sub>	0,058	0,003	0,003	
Herkkyys näytekaasun virtaukselle	u <sub>t</sub>	0,058	0,003	0,003	
Herkkyys ilmakäähän paineelle	u <sub>p</sub>	0,038	0,001	0,001	
Herkkyys ympäristön lämpötilalle	u <sub>ts</sub>	0,255	0,065	0,065	
Herkkyys jännitteelle	u <sub>v</sub>	0,046	0,002	0,002	
Häiriövaikutus: NO	u <sub>l,NO</sub>	0,021	0,000	0,000	
Häiriövaikutus: NO <sub>2</sub>	u <sub>l,NO2</sub>	0,004	0,000	0,000	
Häiriövaikutus: CO <sub>2</sub>	u <sub>l,CO2</sub>	-0,004	0,000	0,000	
Positiiviset häiriövaikutukset	u <sub>p</sub>	0,025	0,001	0,001	
Negatiiviset häiriövaikutukset	u <sub>n</sub>	-0,004	0,000	0,000	
Suurin häiriövaikutus	u <sub>i</sub>	0,025	0,001	0,001	
Kalibrointikaasun epävarmuus	u <sub>adj</sub>	0,060	0,004	0,004	
<b>Kokonaisepävarmuus</b>	u <sub>c</sub>	til-%	0,30		
Suhteellinen kokonaisepävarmuus	u <sub>c,rel</sub>	%	2,47		
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2)</b>	U(CO <sub>2</sub> )	til-%	<b>0,59</b>		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus	U <sub>rel</sub> (CO <sub>2</sub> )	%	4,94		
	Mitattu pitoisuus		12 til-%		
	→ kriteeri (6%)		0,72 til-%		
	U(CO <sub>2</sub> ) ≤ kriteeri		TRUE		

## 4.5 HCl-pohja

MITTAUSEPÄVÄRMYKSEN LASKENTA SFS-EN 1911:2017 MUKAAN				
Laite: X		HCl		
<b>Suorituskykyparametrit</b>				
Kriteeri	Parametrin yksikkö	Parametrin arvo	Kriteeri OK ?	
Imetyksen kaasullisuuden epävarmuus	≤ 2% kaasullisuudesta	≤ % kaasullisuudesta	0,96	OK
Lämpötilan mittauksen epävarmuus	≤ 2,5 K	K	1,15	OK
Absoluuttisen paineen mittauksen epävarmuus	≤ 1% absoluuttisesta paineesta	≤ % absoluuttisesta paineesta	0,002	OK
Absorptioehokkuus	> 95 %	%	98	OK
Kloridi-ioni-analyysin toistettavuuden keskihajonta	≤ 2,5% mitatusta kloridipitoisuudesta	≤ % mitatusta kloridipitoisuudesta	2,1	OK
<b>Mittaukselliset ja epävarmuusiedot</b>				
Mittattu arvo	Arvo	Yksikkö		
Imetyksen kaasullisuus	0,132	m <sup>3</sup>		
Kalibroinnin kokonaisepävarmuus	1,4	± % mitatusta arvosta		
Toistettavuuden keskihajonta	0,3	± % mitatusta arvosta		
Mittauslaitteen siirtymä "työrintä"	1	± % mitatusta arvosta		
Lukematakkuus	0,0002	m <sup>3</sup>		
Lämpötilan mittauksen aikana	296,2	K		
Lämpötilan keskihajonta	0,854	K		
Kalibroinnin epävarmuus	1	K		
Mittauslaitteen siirtymä	1	K		
Lukematakkuus	0,1	K		
Paine-eromittarin mittausalue, max	200	Pa		
Paine-eron keskihajonta	0,287	Pa		
Kalibroinnin epävarmuus	0,6	± Pa		
Lukematakkuus	0,01	Pa		
Lineaarisuus	1,4	± % mittausalueesta		
Mittauslaitteen siirtymä	1	± % mittausalueesta		
Ilmapaine	100281	Pa		
Ilmapaineenmittauksen suuri sallittu poikkeama	300	± Pa		
Lukematakkuus	20	Pa		
Absorptioehokkuus (1,puhlo)	98	%		
$m_{\text{HCl}}$ -pitoisuus	1,02	mg Cl <sup>-</sup>		
Analyysin toistettavuuden keskihajonta	2,1	± % mitatusta arvosta		
O <sub>2</sub> -referenssipitoisuus	11	ppm		
O <sub>2</sub> -pitoisuus ja mittauksen epävarmuus (k=2)	12,3	± % (k=2)		
Kaasullisuus NTP:ssä, V <sub>0</sub>	0,120	m <sup>3</sup> NTP		
HCl-pitoisuus NTP:ssä, C <sub>HCl</sub>	8,710	mg HCl/m <sup>3</sup> NTP		
<b>Epävarmuuslaskelma</b>				
Suorituskykyparametrit	Epävarmuus	Epävarmuus	Suhteellinen epävarmuus	Suhteellinen kokonaisepävarmuus
Mitatun $m_{\text{HCl}}$ -pitoisuuden analyysin epävarmuus $u(m_{\text{HCl}})$		0,0214		0,000441
Kaasullisuuden mittaus $u(V_{TP})$		0,0013	0,0096	0,000092
Lämpötilan mittaus $u(T)$		1,146	0,0039	0,000015
Suhteellinen paine kaasumittauksessa $u(P_{\text{rel}})$		2,030	0,0000202	0,000000
Ilmapaine kaasumittauksessa $u(P_{\text{atm}})$		173,3	0,00173	0,000003
Kokonaisepävarmuus		mg HCl/m <sup>3</sup> NTP		0,204
<b>Laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2)</b>		<b>mg HCl/m<sup>3</sup> NTP</b>		<b>0,41</b>
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus		%		4,7
Esimerkki suuren polttolaitoksen päivittäisestä päästörajaa-anosta:		Päästöraja-ano	10 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 6%)	
		→ kriteeri (30%, siiv)	3 mg/m <sup>3</sup> (dry, NTP, O <sub>2</sub> 6%)	
		$U(C_{\text{HCl}}) \leq$ kriteeri	TRUE	
<b>Happimunnoksen aiheuttama epävarmuus</b>				
mHCl-pitoisuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	C <sub>kloridi(HCl),O<sub>2</sub>ref</sub>	C.13	10,01	mg <sub>HCl</sub> /m <sup>3</sup> NTP O <sub>2ref</sub>
Happimunnoksen kokonaisepävarmuus	U(C <sub>kloridi(HCl),O<sub>2</sub>ref</sub> )	C.14	0,485	mg <sub>HCl</sub> /m <sup>3</sup> NTP O <sub>2ref</sub>
<b>Happimunnoksen laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2)</b>	<b>U(C<sub>kloridi(HCl),O<sub>2</sub>ref</sub>)</b>		<b>0,97</b>	<b>mg<sub>HCl</sub>/m<sup>3</sup> NTP O<sub>2ref</sub></b>
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus	U <sub>rel</sub> (C <sub>kloridi(HCl),O<sub>2</sub>ref</sub> )		9,7	%

## 4.6 Hiukkasphoja

HIUKKASMITTAUKSEN EPÄVARMUUSARVIO					
Mittalaite	X				
Mittausalue	1 – 200 mg/m <sup>3</sup> (NTP, kuiva kaasu)				
Suorituskykyparametrit	Parametrin tunnistus	Parametrin arvo tai vaihteluväli	Parametrin yksikkö	Lähde	
<b>Kaasutilavuus:</b>					
Mittalaitteen lukematarkeus	$u_1(V_{\text{m}})$	0,0001	m <sup>3</sup>	Manuaali	
Mittalaitteen toistuvuus valmistajan mukaan	$u_2(V_{\text{m}})$	2,5	±% lukemasta	Manuaali	
Kalibroinnin epävarmuus kalibrointitodistuksen mukaan (k=2)	$u_3(V_{\text{m}})$	1,6	±% lukemasta	Kalibrointitodistus	
Suurin kalibrointipointikeama, jos kalibrointiorjausta ei huomioida	$u_4(V_{\text{m}})$	0	±% lukemasta	Kalibrointitodistus	
<b>Hiukkasmassa:</b>					
Mittalaitteen lukematarkeus	$u_1(m)$	0,01	mg	Manuaali	
Mittalaitteen toistuvuus valmistajan mukaan	$u_2(m)$	0,1	mg	Manuaali	
Koepunnitusten toistuvuus eri aikoina	$u_3(m)$	0,3	mg	Laboratorikokeet	
Valitaan suurempi arvoista $s_2(m)$ ja $s_3(m)$	$u_2(m)$ TAI $u_3(m)$	0,3	mg		
Kalibroinnin epävarmuus kalibrointitodistuksen mukaan (k=2)	$u_4(m)$	0,071	mg	Kalibrointitodistus	
Suurin kalibrointipointikeama, jos kalibrointiorjausta ei huomioida	$u_5(m)$	0	mg	Kalibrointitodistus	
<b>Ilmapaineenmittaus:</b>					
Mittalaitteen lukematarkeus	$u_1(p_v)$	0,1	kPa	Manuaali	
Mittalaitteen toistuvuus valmistajan mukaan	$u_2(p_v)$	1,5	±% lukemasta	Manuaali	
Kalibroinnin epävarmuus kalibrointitodistuksen mukaan (k=2)	$u_3(p_v)$	0,05	kPa	Kalibrointitodistus	
Suurin kalibrointipointikeama, jos kalibrointiorjausta ei huomioida	$u_4(p_v)$	0	kPa	Kalibrointitodistus	
<b>Lämpötilamittaus:</b>					
Mittalaitteen lukematarkeus	$u_1(T_d)$	0,1	K	Manuaali	
Mittalaitteen toistuvuus valmistajan mukaan	$u_2(T_d)$	0,2	K	Manuaali	
Kalibroinnin epävarmuus kalibrointitodistuksen mukaan (k=2)	$u_3(T_d)$	0,23	K	Kalibrointitodistus	
Suurin kalibrointipointikeama, jos kalibrointiorjausta ei huomioida	$u_4(T_d)$	0	K	Kalibrointitodistus	
Happimittauksen epävarmuus (k=2)	$u_{O_2}$	5	suht. %	Manuaali, laboratorikokeet	
<b>Vertailu kriteereihin</b>					<b>Kriteeri OK ?</b>
Kaasutilavuuden maksimi laajennettu epävarmuus	≤ 5% mitatusta tilavuudesta	3,7	% mitatusta arvosta	Laskennallinen	OK
Absoluuttisen paineen laajennettu epävarmuus	≤ 2,0% mitatusta paineesta	1,73	% mitatusta arvosta	Laskennallinen	OK
Absoluuttisen lämpötilan maksimi laajennettu epävarmuus	≤ 2,0% mitatusta lämpötilasta	0,15	% mitatusta arvosta	Laskennallinen	OK
<b>Mittausuulokset</b>					
	Muuttujan arvo	Yksikkö			
Keritty kaasumäärä mittarin olosuhteissa	1,346	m <sup>3</sup>			
Keritty kaasumäärä NTP- olosuhteissa	1,232	m <sup>3</sup>			
Keritty hiukkasmäärä	5,3	mg			
Paine kaasumittarilla	101,9	kPa			
Lämpötila kaasumittarilla	27	°C			
Hiukkaspitoisuus (NTP, kuiva kaasu)	4,30	mg/m <sup>3</sup>			
O <sub>2</sub> -pitoisuus kuivassa kaasussa	8,8	til-%, kuiva			
Referenssi O <sub>2</sub> -pitoisuus	6	til-%, kuiva			
<b>Epävarmuuskaskelma</b>					
	Epävarmuus	Epävarmuus	u <sup>2</sup>		
Kaasun tilavuusmittaus	$u(V_{\text{m}})$	0,022	0,0005		
Paineen mittaus	$u(p_v)$	0,88	0,78		
Lämpötilan mittaus	$u(T_d)$	0,23	0,05		
Kaasutilavuuden epävarmuus (NTP, kuiva kaasu)	$u(V_{\text{m}})$	0,023	0,00053		
Hiukkasmassan mittaus (kahden punnituksen erotus)	$u(m)$	0,427	0,183		
Hiukkaspitoisuuden kokonaisepävarmuus (NTP, kuiva kaasu)	$u(C_{\text{PM}})$	mg/m <sup>3</sup>	0,356		
Suhteellinen kokonaisepävarmuus	$u_r(C_{\text{PM}})$	%	8,3		
<b>Hiukkaspitoisuuden laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2) (NTP, kuiva kaasu)</b>	<b><math>U(C_{\text{PM}})</math></b>	<b>mg/m<sup>3</sup></b>	<b>0,71</b>		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus	$U_r(C_{\text{PM}})$	%	16,5		
<b>Esimerkki kiihliainelaitoksen päivittäisestä päästöarjasta, PM-pitoisuuden laajennettu epävarmuus:</b>					
	Päästöarja-arvo	20	mg/m <sup>3</sup> (kuiva, NTP, O <sub>2</sub> 6%)		
	→ kriteeri (20 %)	4	mg/m <sup>3</sup> (kuiva, NTP, O <sub>2</sub> 6%)		
	$U(C_{\text{PM}}) \leq$ kriteeri	TRUE			
<b>Happimuunnoksen aiheuttama epävarmuus happimuunnettuun PM-pitoisuuteen</b>					
PM-pitoisuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	$C_{\text{PM}}(O_{2ref})$	5,3	mg/m <sup>3</sup> , NTP, O <sub>2ref</sub>		
Kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	$u(C_{\text{PM}}(O_{2ref}))$	0,45	mg/m <sup>3</sup> , NTP, O <sub>2ref</sub>		
<b>Hiukkaspitoisuuden laajennettu kokonaisepävarmuus 95% (k=2) O<sub>2</sub>-referenssipitoisuudessa (NTP, kuiva, O<sub>2</sub> ref)</b>	<b><math>U(C_{\text{PM}}(O_{2ref}))</math></b>	<b>0,9</b>	<b>mg/m<sup>3</sup>, NTP, O<sub>2ref</sub></b>		
Suhteellinen laajennettu kokonaisepävarmuus O <sub>2</sub> -referenssipitoisuudessa	$U_r(C_{\text{PM}}(O_{2ref}))$	16,9	%		

## Lähdeviitteet

---

- CEN/TS 17021/2017 Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of sulphur dioxide by instrumental techniques
- Guide to the expression of uncertainty in measurement JCGM 100/2008
- Industrial Emissions Directive, 2010/75/EU
- Päästömittausten käsikirja, 2007, laatijana VTT,  
<https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>
- SFS-EN 1911/2010 Stationary source emissions. determination of mass concentration of gaseous chlorides expressed as HCl. Standard reference method
- SFS-EN 14792/2017 Stationary source emissions. Determination of mass concentration of nitrogen oxides. Standard reference method: chemiluminescence
- SFS-EN 14789/2017 Stationary source emissions. Determination of volume concentration of oxygen. Standard reference method: Paramagnetism
- SFS-EN 15058/2017 Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of carbon monoxide. Standard reference method: non-dispersive infrared spectrometry