



# **SO<sub>2</sub> -analysaattorin käyttö, toiminta ja huolto jatkuvatoimimisissa päästömittauksissa**

**Environnement S.A. AF22M analysaattori**

Vertti Huhta-aho

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2023

Insinööri (AMK), energiatekniikka

Energia- ja ympäristötekniikka

**Huhta-aho, Vertti**

## **SO<sub>2</sub> -analysaattorin käyttö, toiminta ja huolto jatkuvatoimissa päästömittauksissa**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Huhtikuu 2023**, 39 sivua

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyö SO<sub>2</sub> -analysaattorin käyttö, toiminta ja huolto jatkuvatoimissa päästömittauksissa tarkastelee Environnement S.A. AF22m -rikkidioksidi analysaattorin käyttöä teollisuuden ilmanpäästömittauksissa. Opinnäytetyö jakautuu kolmeen osaan joissa on käsitelty analysaattorin teoreettinen toiminta ja käyttö ilmanpäästömittauksissa, analysaattorin ohjekirjan huoltojen selvitys teollisuuden ilmanpäästömittauksissa, arvio analysaattorin huolloista ja huoltojen suunnittelusta teollisuuden ilmanpäästömittauksissa.

Käsitelty UV-Fluoresenssi rikkidioksidi analysaattori on suunniteltu ympäristöilman jatkuvatoimiseen ilmanpäästömittaukseen. Materiaali Environnement S.A. AF22m analysaattorista ei sellaisenaan sovellu käyttöön teollisuuden ilmanpäästömittauksiin. Opinnäytetyön tehtävänä on ollut laatia perehdytys materiaalia rikkidioksidi analysaattorin toiminnasta ja laimennetusta mittausmenetelmästä.

Perehdytys materiaalin lisäksi opinnäytetyössä on pyritty arvioimaan Environnement S.A. AF22m analysaattorin huoltojen soveltuvuutta teollisuuden ilmanpäästömittauksissa. Opinnäytetyö on tehty tutkivana kehitystyönä, jossa on pyrittykäyttämään uusimpia materiaaleja ja luotettavia lähteitä.

Opinnäytetyön tuloksena on saatu selkeä kuva siitä kuinka analysaattorin käyttö teollisuuden päästömittauksissa poikkeaa laitteelle suunnitellusta käytöstä tarkoituksesta, ja kuinka analysaattorin huoltoja on syytä arvioida uudelleen verrattuna analysaattorin ohjekirjassa esittämiin huoltoihin.

Opinnäytetyö on laatinut alustavan arvion Environnement S.A. AF22m rikkidioksidi analysaattorin käyttöä teollisuuden ilmanpäästömittauksissa. Materiaalia voidaan käyttää päästömittaajan perehdytykseen sekä alustavana tietopohjana ja ohjeistuksena analysaattorin huoltosyklin laatimiseen ja analysaattori kohtaisen datan keruun ohjeistuksena tulevaisuudessa.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Rikkidioksidi, Analysaattori, Päästömittaus, Ilmanpäästömittaus, Jatkuvatoiminen mittaus, Näytteenotto, UV-Fluoresenssi, Laimennus sondi, Laimennettu näytteenotto, Huoltosuunnitelma

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Huhta-aho, Vertti**

**Use, operation and maintenance of SO2 analyser in continuous emission measurements**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2023, 39 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

**Abstract**

Thesis The use, operation and maintenance of SO2 analyzer in continuous emission measurements examines the use of a Environnement S.A. AF22m sulfur dioxide analyzer in industrial air emission measurements.

The thesis is divided into three parts, theoretical operation and use of the analyzer in air emission measurements, an explanation of the maintenance of the analyzer manual in industrial air emission measurements and an assessment of the analyzer maintenance and maintenance planning in industrial air emission measurements.

The subject UV-Fluorescence sulfur dioxide analyzer is designed for continuous air emission measurement of ambient air. The material from the Environnement S.A. AF22m analyzer manual does not perfectly fit for use in industrial air emission measurements. The task of the thesis is to make introductory material on the operation of the sulfur dioxide analyzer and diluted measurement method used in industrial air emission measurements.

In addition to the introductory material, the thesis has attempted to evaluate the suitability of the maintenance material of the Environnement S.A AF22m analyzer in industrial air emission measurements. The thesis has been done as a research development work, where the aim has been to use the latest materials and reliable sources for future-proofing.

The picture obtained as a result of the thesis on how the industrial emission measurements use deviates from the intended use of the device, and how the maintenance of the analyzer should be evaluated differently from the way is done in the analysis manual.

The thesis has prepared a preliminary assessment of the use of the Environnement S.A AF22m sulfur dioxide analyzer in industrial air emission measurements. The material can be used for training and study and as a preliminary data base and for making the analyzer's maintenance schedule and as instructions for collecting data for the analyzer.

**Keywords/tags (subjects)**

Sulfur dioxide, Analyzer, Emission measurement, Air emission measurement, Continuous measurement, Sampling, UV Fluorescence, Dilution probe, Diluted sampling, Maintenance plan

**Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>6</b>
1.1	Opinnäytetyön tavoite .....	7
1.2	Lähtee ja tiedonhaku.....	8
<b>2</b>	<b>Ilmapäästömittaukset.....</b>	<b>9</b>
2.1	Jatkuvatoimiset päästömittaukset .....	10
2.1.1	Toiminnan erityispiirteet ja ongelmat .....	12
<b>3</b>	<b>Rikkidioksidi SO<sub>2</sub> analysaattorit.....</b>	<b>13</b>
3.1	Rikkioksidien muodostuminen ja poistuminen.....	13
3.2	Teoreettinen toiminta.....	14
<b>4</b>	<b>Environment S.A AF22M Analysaattori.....</b>	<b>15</b>
4.1	Näytteenotto.....	16
4.1.1	Laimennussondi .....	17
4.1.2	Laimennusyksikkö .....	20
4.2	Analysointi.....	21
4.3	Kalibrointi ja huuhtelu.....	22
4.3.1	Huuhtelu .....	22
4.3.2	Kalibrointi.....	23
<b>5</b>	<b>Huolto ja laitteen toiminna arviointi .....</b>	<b>24</b>
5.1	Huoltojen laajuus ja vaikutukset .....	24
5.2	Manuaalin esittämät huoltotoimenpiteet ja yleisesti käytössä olevat toimet.....	24
5.2.1	Mittauksen alussa .....	25
5.2.2	Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 15 Päivää -"Sample inlet PTFE filter" (manual) no. 4.3.1 .....	27
5.2.3	Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 1 kuukausi -Check of electrical parameters (manual) no. 4.3.2 .....	28
5.2.4	Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 1 kuukausi -Check of zero and calibration (manual) no. 4.3.3 .....	29
5.2.5	Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 6 Kuukautta - Replacement of activated charcoal (internal zero filter) and kicker zero filter cartridge (manual) no. 4.3.4 .....	30
5.2.6	Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 1 vuoden välein - Inspection of pump valves and diaphragms (manual) no. 4.3.5 .....	31
5.2.7	Päästömittaustalaboratorio toimenpide 1 vuoden välein -Lineaarisuus (päästömittaajan käs. s38 5.3.2.31 .....	31
5.2.8	Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 2 vuoden välein - Replacement of UV lamp (manual) no. 4.3.6 .....	32

5.3	Ennalta ehkäisevät huollot.....	33
5.3.1	Vuosihuolto.....	34
5.4	Kenttähuolto ja korjaus.....	34
5.5	Huolto ja vikatilän selvitys.....	35
5.6	Huoltojen kriittisyys ja vaikutus yrityksen toiminnalle .....	36
<b>6</b>	<b>Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet .....</b>	<b>37</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>40</b>

## Kuviot

Kuvio 1	Uusia ohjeistuksia päästömittausen laadunvarmistukseen (BeQu-hanke).....	11
Kuvio 2	AF22M Presentaion.....	15
Kuvio 3	Laimennussondin rakenne .....	20
Kuvio 4	EMP laimenninyksikkö (Alhaalla) ja Environnement S.A AF22M analysaattori (ylhäällä).....	21
Kuvio 5	Table 3-2 -MUX signals (Acceptable limits on the multiplexer 1 to 16 channels) .....	28
Kuvio 6	Yleinen vian selvitys 'flowchart' .....	36

## Taulukot

Taulukko 1	Critical orifices, Diluting sampler model 797 .....	18
------------	---	----

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö tarkastelee päästömittauslaboratorion päästömittauksissa käytettävää SO<sub>2</sub> -analyysaattoria ja mittausmenetelmiä, joita käytetään jatkuvatoimissa päästömittauksissa. Päästömittauslaboratoriot suorittavat muun muassa teollisuuden ja energiatuotannon ilmanpäästöjen päästömittauksia. Päästömittaukset sisältävät valtaosan poltossa syntyvistä savukaasukomponenteista sekä teollisuuden prosessien hajapäästöistä syntyviä komponentteja kuten ammoniakkipäästöjä tai klooripäästöjä.

Suoritettavat mittaukset ovat usein ympäristöviranomaisen myöntämissä ympäristöluissa ja valtioneuvoston asetuksissa säädettyjä määräyksiä, joiden pohjalta on laadittu tarvittavat: seuranta, kalibrointi ja tarkkailu määräykset. Päästömittauslaboratorio suorittaa kolmannen osapuolen päästömittauksia ja toimii täysin erillisenä teollisuusyrityksen toiminnasta.

SO<sub>2</sub> analysaattorin käyttö, toiminta, huolto ja dokumentointi jatkuvatoimissa päästömittauksissa opinnäytetyö jakautuu kolmeen osaan: tietopohja ja teoria, analysaattorinkäyttö ilmanpäästömittauksissa, huoltojen arviointi ja tarkastelu. Kahta ensimmäistä osaa voidaan käyttää perehdytysmateriaalina ilmanpäästömittauksiin. Huoltoja käsittelevä osa tarkastelee Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> -analysaattorin huoltosyklin liittyviä ongelmia ja arvioi laboratorioalan päästömittauksissa käytettävien analysaattoreiden huoltosyklien mahdollista suunnittelua ja tapoja, joilla voidaan laatia huoltosuunnitelma Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> -analysaattorille sekä mahdollisesti muille vastaaville analysaattoreille.

Environnement S.A. AF22m on valittu opinnäytetyön kohteeksi laitteen yleisen käytön vuoksi toimemksiantajan suorittamissa teollisuuden päästömittauksissa. Opinnäytetyön kohteeksi otettu mittalaite ei ole suunniteltu teollisuuden päästömittauksiin, Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> on ympäristöilma-analysaattori, jonka yleinen käyttötarkoitus on mitata todella pieniä rikkidioksidipitoisuuksia todella pitkällä mittausjaksolla.

Analysaattorin suunnittelun ja käyttötarkoituksen vuoksi huoltosuunnitelma ja huoltojen tarve ei päde teollisuuden päästömittauksissa. Mittausajat, olosuhteet ja kohteet ovat täysin erilaisia kuin analysaattorin käytölle suunnitellut optimaaliset olosuhteet, joten manuaalin esittämät huoltotoimet on arvioitava mittalaitteen käyttöön perustuen.

Opinnäytetyön tiedonkeruussa on otettu huomioon mittauslaboratorion standardit ja parhaat mahdolliset toimintatavat ja muut laadunvarmistusmenetelmät, joita laatiessa mahdollista huoltosuunnitelmaa opinnäytetyön pohjalta, voidaan lähteet ja tavat varmistaa akreditoinnin vuoksi. Standardien, laatu järjestelmien, lakien ja säädösten vuoksi käytettävä lähdemateriaali tulee olla mahdollisimman uutta ja hyvää jotta se kestää aikaa ja on päivitettävissä lakien ja säädösten muuttuessa.

## 1.1 Opinnäytetyön tavoite

SO<sub>2</sub> -analysaattorin käyttö, toiminta ja huolto jatkuvatoimisissa päästömittauksissa opinnäytetyössä tarkastellaan ilmapäästömittauksissa käytettävän jatkuvatoimisen SO<sub>2</sub>-analysaattorin toimintaa ja käyttöä teollisuuden ilmanpäästömittauksissa. Teollisuuden ilmapäästömittauksilla tarkoitetaan teollisuuden savukaasuja ja eri prosesseissa syntyviä kaasumaisiäpäästöjä.

Opinnäytetyötä pyritään käyttämään perehdytysmateriaalina uusille työntekijöille ja ennakkoselvityksenä mahdolliselle laiteoppaalle, joka pyrkii kertomaan laitteen käytöstä ja laitteen huoltosykleistä päästömittausten yhteydessä.

Opinnäytetyö käsittelee Environnement S.A. AF22m -analysaattorin toimintaa ja käyttöä teollisuuden ilmapäästömittauksissa. Analysaattorin käytössä on useita huomioon otettavia vaihteita, joten perehdyttäessä laitteen käyttöön on hyvä luoda mahdollisimman laaja mutta tiivis kokonaisuus kyseisen analysaattorin käytöstä. Tavoite on selittää lukijalle mitä on teollisuuden ilmapäästömittaukset ja kuinka analysaattori toimii teoriassa sekä käytännössä, kun laitteella tehdään teollisuuden ilmapäästömittauksia. Huomiot ja toimintatavat mittausmenetelmässä ja laitteiden toiminta kentällä ovat erityisen tärkeitä huomioita mittauksen onnistuvuuden kannalta.

Analysaattorin huoltosuunnitelmaa koskeva osa, pyrkii arvioimaan mittalaitteen manuaalin antamia huoltosyklejä ja analysaattorin käyttöä ilmapäästömittauksissa. Manuaalin ohjeet on tarkoitettu erilaiseen käyttöön ja eivät sellaisenaan sovellu teollisuuden päästömittaukseen.

Opinnäytetyöstä syntyvä hyöty yritykselle on perehdytysmateriaalia jatkuvatoimisista ilmapäästömittauksista, jota on laboratorioalan mittauksien kohdalla vaikea hankkia yrityksen ulkopuolelta.

sillä mittaukset ovat hyvin laite kohtaisia eri mittaustavoilla. Perehdytysmateriaali, joka on kirjoitettu perehdytystä varten, on huomattavasti hyödyllisempää perehdytyksen alkuvaiheessa kuin mittalaitteen manuaalien lukeminen ilman osaamista ja tietoa mittalaitteen käytöstä.

Huoltojen arviointi ja ehdotukset jatkotoimenpiteille ovat tärkeä opinnäytetyön arvonlisäys toimeksiantajalle jatkuvan kehityksen ja taloudellisen hyödyn vuoksi. Analysaattorin huoltosuunnitelmia ei ole laadittu laboratorioalan päästömittauksiin. Laitteen käytön ohjeistus, käyttöajat ja mittauksen olosuhteet vaihtelet huomattavasti todellisuudesta, jossa mittalaitetta käytetään tehdessä päästömittauksia. Opinnäytetyö ei pyri laatimaan huoltosuunnitelmaa, vaan arvioimaan olemassa olevia toimia ja esittämään ratkaisuja siihen, miten huoltosuunnitelma olisi hyvä laatia Environnement S.A. AF22m -analysaattorille ja mahdollisille muille laitteille.

## **1.2 Lähteet ja tiedonhaku**

Opinnäytetyö on tehty tutkivana kehitystyönä, jossa on pyritty käyttämään uusimpia materiaaleja ja luotettavia lähteitä. Opinnäytetyö on laadittu päästömittauslaboratorio Eurofins Nab Labs Oy:lle, joka pyrkii kehittämään työntekijöidensä perehdytys materiaalia ja arvioimaan sekä tarkastelemaan teollisuuden ilmanpäästömittauksissa käytettävien laitteiden soveltuvuutta ja huoltojen tärkeyttä mittauksien onnistumisen kannalta. Teoriapohja ja analysaattorin toimintaa käsittelevät kohdat käyttävät lähteinä useita oppikirjoja ja päästömittauslaboratorioiden ohjeistusmateriaaleja, jotka käsittelevät mittausmenetelmiä ja mittausstandardeja. SO<sub>2</sub> analysaattorin UV-fluoresenssi mittausmenetelmä on keksintönä jo hyvin vanha, tämän takia jotkut oppikirjamateriaalit ovat osittain vanhoja. Yrityksenkehitystyön vuoksi materiaali on pyritty keräämään oppikirjoista ja alan julkaisuista, jotta lähteitä voidaan tarkastella uudelleen tulevaisuudessa ja lähteet ovat jäljitettävissä laboratorioalan standardien mukaisesti. Analysaattorin käytännön toimintaa on käsitelty sanallisesti kokeneiden mittaajien kanssa ja lähteitä käytännön toiminnasta on vaikea löytää alan yksityiskohtaisuuden vuoksi. Asiantuntia näkemys ja alan toimintatavat antavat kattavan näkemyksen käytännön mittauksista ja mittauksen aika syntyvistä ongelmista.

Opinnäytetyön päämääräisenä lähteenä toimii käsiteltävän analysaattorin ohjekirja, jonka käyttöä opinnäytetyö arvioi hyvin tarkasti. Lähteenä Environnement S.A p. 2010. Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer -ohjekirja on hyvinkin pätevä ja yksityiskohtainen laitteen toiminnasta ja käytöstä. Kriittisen arvon kohteena opinnäytetyö on arvioinut ohjekirjan huoltojen



sopivuutta teollisuuden ilmanpäästömittauksiin. Ohjekirjan huoltojen sopivuus on käsitelty yksityiskohtaisesti toimeksiantajan toimesta, jotta kohtaa voidaan yrityksessä arvioida opinnäytetyön pohjalta tarkemmin.

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään yhtä yrityksen käytössä olevaa analysaattoria oikean tulokulman ja tarkemman arvostelun vuoksi. Toimeksiantaja pyrkii laatimaan perehdytysmateriaalia ja kehitysmateriaalia myös muille käytössä oleville analysaattoreille. Mittausmenetelmä on usealle analysaattorille sama ja laitteiden käyttö vakiintunut yrityksen mittauksissa.

## 2 Ilmapäästömittaukset

Ilmanpäästömittauksia tehdään kaikissa teollisuudenlaitoksissa. Yleisiä seurattavia päästöjä ovat savukaasukomponentit kuten CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, TRS. Muita yleisiä seurattavia päästöjä ovat eri teollisuuden prosesseissa syntyvät haitalliset yhdisteet kuten hiukkaspäästöt, raskasmetallit, elohopea, ammoniakki, klooriyhdisteet. Päästökauppalaki 8.4.2011/311 edellyttää energiantuotannonsektorin sekä teollisuusalojen liittymisen päästölupajärjestelmään ja laatimaan tarkkailusuunnitelman, joka määrittää tulevaisuudessa tehtävät toimenpiteet päästöjen seurannasta ja mahdollisista päästöjen vähentämisestä. Päästölupajärjestelmää ja tarkkailusuunnitelmia valvoo ja säätää Energiavirasto. Suomessa Ympäristösuojelulaki 27.6.2014/527 määrittää lupamenettelyt, päästörajat ja säädökset energialaitoksien ja teollisuusalojen toiminnalle. Ympäristösuojelulakia toimeenpanee Ympäristöministeriö ja ELY-keskukset. Luvanvarainen toiminta on määritettynä ympäristösuojelulaissa sekä päästökauppalain piirissä.

Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiatuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristösuojeluväa-  
timuksista 1065/2017 määrittää keskisuurten energiatuotantoyksiköiden määrittää vähintään 1 megawatin, mutta alle 50 megawatin energiatuotantolaitoksien soveltuvat polttolaitosta koskevat säädökset.

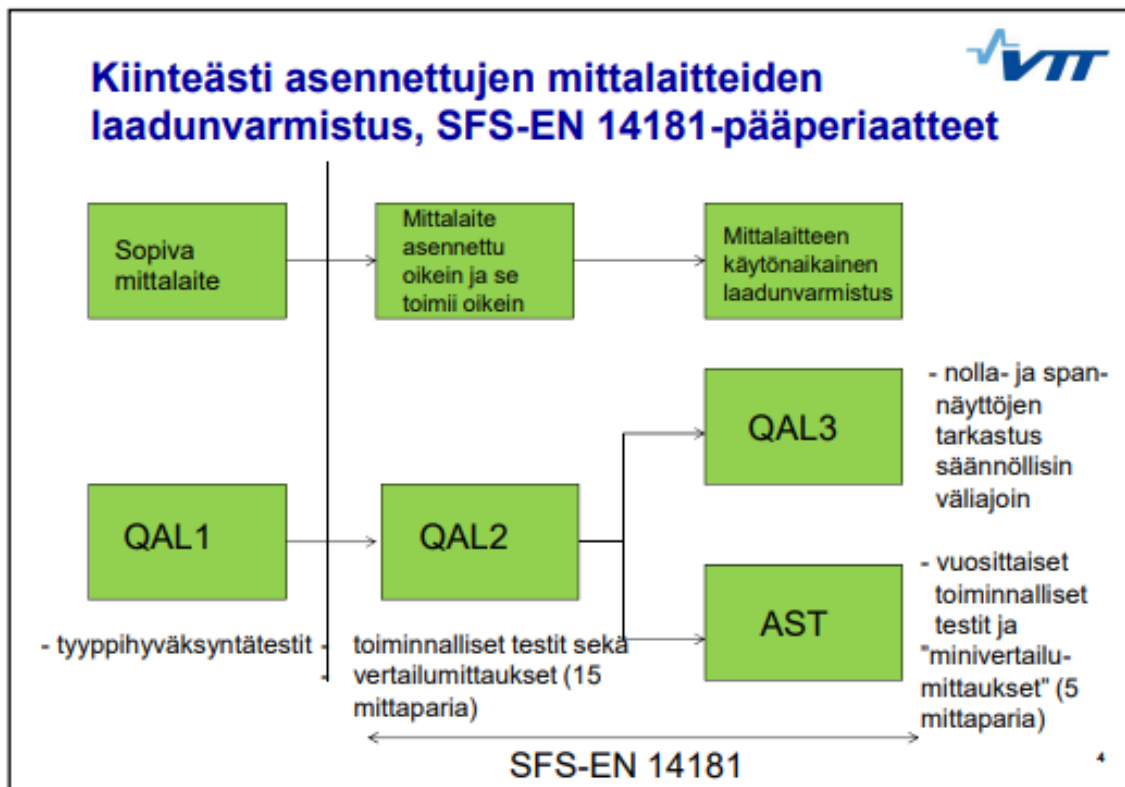
(Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiatuotantoyksiköiden ja -laitoksien ympäristösuojeluväa-  
timuksista 1065/2017, 2018.)

Päästömittauslaboratorio toimii kolmantena osapuolena, joka mittaa ja selvittää toiminnan aiheuttamat päästöt ja raportoi tuloksista toiminnanharjoittajalle. Toiminnanharjoittaja on velvollinen

välittämään mittaustulokset ja mittausraportit valvovalle-elimelle, joka tekee päätöksen esimerkiksi, ympäristöluvan antamisesta raportoinnin perusteella. Toiminnanharjoittaja voi myös lupa- ja määräys asioihin liittyvien mittauksien lisäksi pyytää mahdollisia muita mittauksia, esimerkiksi teollisuusprosessin toiminnan optimointiin tai ajomallien testauksiin. Testauslaboratoriotoimintaa ohjaa Finas, suorittamalla akreditoiteja ja vertailumittauksia sektorin toimihenkilöille. (Finas, Testauslaboratoriot, 2022)

## **2.1 Jatkuvatoiniset päästömittaukset**

Jatkuvatoimiset päästömittalaitteet mittaavat näytekaasuntilaa jatkuvalla intervallilla pitkän jakson ajalta. Jatkuvatoinen mittausmenetelmä antaa selkeän kuvan näytekaasun ominaisuuksista ja pitoisuuksista, josta voidaan laskea ja arvioida prosessin toimivuutta ja toimintaa. Mittauksen jatkuvatoimisuus mahdollistaa esimerkiksi polttoprosessin savukaasun analysoinnin, jolla voidaan parantaa palamisen laatua ja näin vähentää päästöjä. Toiminnanharjoittajalla on kokonaisvastuu siitä, että heidän päästömittalaitteensa toimivat laadukkaasti ja tämä voidaan myös osoittaa viranomaisille.



Kuvio 1 Uusia ohjeistuksia päästömittausen laadunvarmitukseen (BeQu-hanke)

Ilmansuojelupäivät 23.8.2017, Lappeenranta, Tuula Pellikka, Johtava tutkija. 23.8.2017, S.4. Viitattu 4.4.2023

SFS-EN 14181 on laadunvarmistus ja laaduntarkkailu standardi. SFS-EN 14181:n mukaan laadunvarmistamiseksi, mittalaitevalmistajan tehtävä on mittalaitteen asianmukainen asennus mittauspaikalle ja yhteistyö toiminnanharjoittajan kanssa ennen tarvittavia vertailumittauksia ja mahdollisesti niiden aikana, sekä tarvittaessa toiminnallisten testin suoritus kokonaisuudessaan tai osittain. Päästömittauslaboratorio suorittaa vertailumittaukset toiminnanharjoittajalle. Laboratorion on käytettävä akkreditoituja mittausmenetelmiä ja heidän on ylläpidettävä laitteistojaan mittauksia varten. Päästömittauslaboratorion tehtävä on ulkopuolisena osapuolena vertailumittauksen tekeminen, QAL2- ja AST-testeissä. QAL2 tarkoittaa vertailumittauksia teollisuuden toiminnan harjoittajan mittalaitteille. AST mittauksella tarkoitetaan teollisuuden toiminnan harjoittajan mittalaitteiden vuosittaista laadunvarmistus testiä. Toiminnallisten testien raportointi on tehtävä akkreditoidun päästömittauslaboratorion toimesta. Toiminnanharjoittajan tehtävä on huolehdit-

tava, että toiminnalliset testit on tehty ennen QAL2- ja AST-tarkastelua. Ennen kaikkea toiminnanharjoittajalla on velvollisuus toimittaa QAL2, QAL3 ja AST-raportit viranomaisille. Viranomaisen tehtävä on käydä läpi toiminnanharjoittajan esittämä päästöjen seurannan ohjelma ja raportointiohjelma. Tuloksien perusteella raportti hyväksytään tai hylätään viranomaisen toimesta.

Viranomaisen valvoo ja seuraa mahdollisia jatkotoimia, joita on ilmennyt mittaustuloksissa ja raportoinnissa.

(Tuula Pellikka, Tuula Kajoliina, Olli Antson. VTT. 2017. S.9)

### **2.1.1 Toiminnan erityispiirteet ja ongelmat**

Päästömittauslaboratorioiden suorittamat päästömittaukset suoritetaan toimeksiantajan tiloissa, vaihtelevissa olosuhteissa, ympärivuotisesti riippumatta säästä. Muuttujia eri mittauskohteiden välillä on hyvin paljon, laitteiden ja välineiden kunto on hyvin tärkeä mittauksen luotettavan tuloksen saavuttamiseksi. Ennakkotiedot mittauskohteesta, kohteen prosessin tilasta ja suunnittelusta ovat suurietu vikojen ja haittojen ehkäisylle mittauksen aikana. Mittauksia aloittaessa pyritään olosuhteiden vakiointiin, joka vähentää ympäristön tuomien haittojen riskejä. Vakioidut mittausolosuhteet pyritään saavuttamaan mittauspaikan valinnalla, esimerkiksi rakentamalla niin sanottu kenttälaboratorio, jolla voidaan vakioda mittauslaitteiden lämpötila ja ympäristön vaikutukset. Kenttälaboratorio on usein kohteeseen rakennettu sääsuoja, mittausteltta tai muu kohteessa onnistuva ratkaisu jossain voidaan pitää mittalaitteita stabiilissa tilassa mittauksenaikana.

Ennen päästömittausten aloittamista on laadittava suunnitelma, joka ottaa huomioon kohteen ja sen tuomat erityispiirteet. Jatkuvatoimisten päästömittausten osalta suunnitelman on tärkeä ottaa huomioon kohteen kaasunominaisuudet, mittausyhteen sijainti, ympäristönlämpötila ja -olosuhteet. Näiden ennakkotietojen perusteella valitaan mittausmenetelmä, joka sopii parhaiten mitattavien kaasukomponenttien mittaukseen. Mittausmenetelmän perusteella valitaan mittauslaitteen ja mittaukseen tarvittavat välineet kuten mittaussondi, mittauslinjat ja analysaattorit.

Mittauskohteita on monenlaisia ja huomioitavia muuttujia paljon. Mittauskohteen ympäristö ja olosuhteet ovat suurimmat tekijät, jotka vaikuttavat mittauksen onnistumiseen. Jatkuvatoimisten päästömittausten erityisongelmat ovat usein mittauslinjojen jäätyminen talvella, mittauslinjan vuoto, mittaussondin lämpötila, mittaussondin tukkeutuminen, mittaussondin kärkeen syntyvä kondenssivesi, mittalaitteiden lämpötila, mittalaitteiden ympäristönlikaisuus, mittalaitteen pumpun

'hyytyminen' johtuen liasta tai muita epäpuhtauksista, mittauksen kokonaiskeston tuomat ongelmat, mittatavan kaasun pitoisuudet ja mittalaitteen raja-arvot.

Jatkuvatoimisissa päästömittauksissa yleistä on laitteen sisäinen tai laitteen ulkopuolinen tiedonkeruu järjestelmä. Tiedonkeräyksen tuomat ongelmat johtuvat usein kaapeleiden liitoksista, liittimistä, analysaattorin ulostulodatan väärin tulkinta tiedonkeruussa tai sähkömagneettisesta häiriöstä. Väärintulkinta johtuu usein ulkopuolisen tiedonkeruun sisääntulon Jännite/virta -kytkimen suunnasta tai tiedonkeräyksen tallennusohjelman väärinasetetusta sisääntulo datan arvosta.

Jatkuvatoimiset mittaukset suoritetaan usein usean tunnin jaksolla tai jopa usean päivän aikana. Mittauksen kesto tuo esille erityisen ongelman mittauskohteen tuotannon/prosessin toiminnasta, jos toimeksiantaja joutuu ajamaan tuotantonsa alas huoltojen vuoksi tai prosessissa on useita häiriöitä. Prosessin toiminta häiriöt voivat johtaa mittausta ajankohdan siirtoon tai mittausjakson pidentämiseen.

### **3 Rikkidioksidi SO<sub>2</sub> analysaattorit**

#### **3.1 Rikkioksidien muodostuminen ja poistuminen**

Rikkioksidit kuten rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) ja rikkitrioksidi (SO<sub>3</sub>) ovat haitallisia kaasuja ihmisille ja ympäristölle. Korkeat rikkioksidipitoisuudet aiheuttavat ihmisille muun muassa hengityselinten sairauksia. Rikkioksidien ympäristöhaitat ovat yleisesti haposateet. Haposateet muodostuvat typpi- ja rikkioksidien kanssa ilmakehässä, jotka ovat haitallista elolliselle luonnolle. Rikin oksidit vaurioittavat myös metalleja lisäämällä niiden korroosiota sekä rappeuttamalla kipsimateriaalien rakennetta.

(Raiko, Saatamoinen, Hupa, Kurki-suonio. 2002. S.343.)

Valtaosa ihmisen aiheuttamista rikkioksidipäästöistä syntyy fossiilisten polttoaineiden poltosta. Osa päästöistä vapautuu myös teollisuuden kuten metallien valmistuksen sekä rikkihapon valmistusprosesseissa. Suurin osa poltossa vapautuvista rikin oksideista ovat rikkidioksidia. Ilmakehässä rikkidioksidi kuitenkin hapettuu rikkitrioksidiksi, joka aiheuttaa ympäristöhaittoja laajalla alueella muiden kaasumaisten ilmansaasteiden tavoin. Mutta jos esimerkiksi voimalaitoksen polton tilan-

teessa esiintyy suuria päästöjä rikkitrioksidia, haitat havaitaan jo voimalaitoksen läheisyydessä korroosion kiihtymisenä laitoksen rakenteissa ja instrumenteissa.

(Raiko, Saatamoinen, Hupa, Kurki-suonio. 2002. S.343.)

Polttoprosesseista vapautuvat rikin oksidit ovat peräisin polttoaineen rikistä. Useimmat polttoaineet sisältävä rikkiä, yleensä 0–5 % (Raiko, Saatamoinen, Hupa, Kurki-suonio. 2002. S.344.)

”Rikkidioksidin synnyttämät happosateet aiheuttivat 1970- ja 80-luvuilla Euroopassa metsävaurioita ja vesistöjen happamoitumista. Rikkidioksidipäästöjen rajoittamiseen ryhdyttiin tuolloin laajassa kansainvälisessä yhteistyössä. Nykyisin Suomen rikkidioksidipäästöt ovat vain noin viisi prosenttia vuoden 1980 päästömäärästä. ” (Rikkidioksidi. Ilmatieteen laitos. N.d.)

”Nykyisin kohonneet rikkidioksidipitoisuudet ovat yleensä paikallisia ja lyhytaikaisia, (esimerkiksi muutamia tunteja kestäviä) ja liittyvät tyypillisesti teollisuuden toimintahäiriöihin. Vuosikymmenten ajan Lappiin on kulkeutunut ajoittain rikkidioksidia Kuolan niemimaalta. ” (Rikkidioksidi. Ilmatieteen laitos. N.d.)

### 3.2 Teoreettinen toiminta

Fluoresenssimenetelmä on yleisin rikkidioksidin jatkuvatoiminen mittausmenetelmä. Menetelmä perustuu rikkidioksidimolekyylien jännittymiseen elektroniseen viritystilaan UV-valon avulla. Viritystilan purkautuessa emittoituu pidempiaaltoista UV-valo, joka mitataan ja tulkitaan graafilla. (Päästömittaajan käsikirja osa 1 Päästömittaustekniikan perusteet. S.32.)

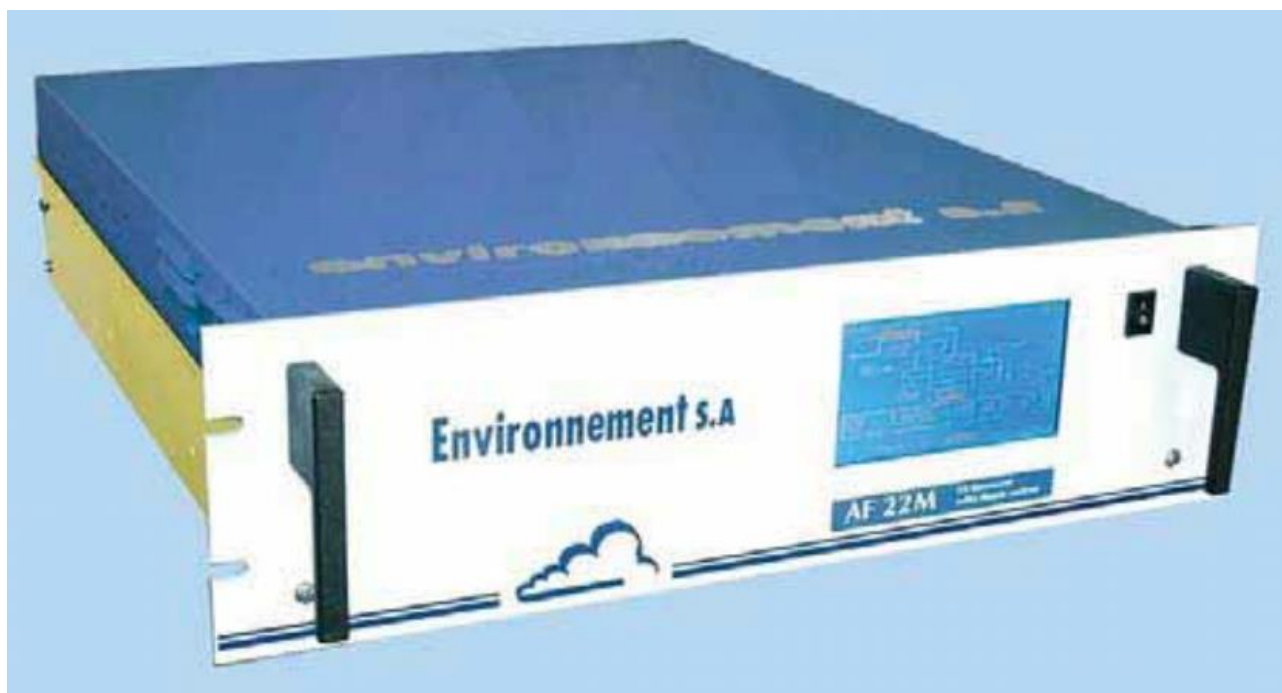
Fluoresenssimittalaitteet vaativat näytekaasun laimennuksen, sekä toiminnalle otollisen lämpötilan. Näytekaasusta puhdistetaan pois hiilivetyjä ja vettä. Vesi kuivataan poisinäytteestä, jotta siitä johtuvaa UV-fluoresenssin vaimentumista ei tapahdu. Hiilivetyjen poistamiseksi näytekaasusta analysaattori sisältää erillisen puhdistinkammion, jonka läpi näytekaasu ajatetaan ennen kuin näyte saapuu mittakammioon.

Mittauskammiossa näytekaasuun ohjataan pulsseittain tai jatkuvasti ultraviolettivaloa, joka varaa SO<sub>2</sub>-molekyylit elektromagneettiseen viritystilaan. Molekyylien palautuessa normaalitilaan virittyneet molekyylit vapauttavat niille ominaista fluoresenssisäteilyä, jonka intensiteetti on suoraan verrannollinen näytteen SO<sub>2</sub>-molekyylien määrään. Fluoresenssisäteilystä suodatetaan mittausta varten sopiva aallonpituuskaista, jonka intensiteetti mitataan valonmonistinputkella. (Poltto ja palaminen toinen täydennetty painos. ( Raiko, Saatamoinen, Hupa, Kurki-suonio. 2002. S.651.)

#### 4 Environment S.A AF22M Analysaattori

Environnement S.A AF22m on jatkuvatoiminen UV-fluoresenssi rikkidioksidi analysaattori, joka on tarkoitettu käytettäväksi alhaisten pitoisuuksien analysointiin ympäröivästä/laimennetusta ilmasta. Laitteen havaitsemisperiaate perustuu aikaisemmin mainittuun UV fluoresenssiin. Laite operoi 0–500 ppb kaasunmäärän raja-arvoissa, lämpötilan ollessa 10 °C – 35 °C. Laite sisältää '5-micron PTFE' -partikkeli suodattimen, jolla näytekaasu puhdistetaan.

(Environnement S.A AF22M technical manual, 2010. S. 0-6.)



Kuvio 2 AF22M Presentaion

(Environnement S.A AF22M technical manual, 6.2010, S.1-2)

## 4.1 Näytteenotto

Näytteenotto päästömittauskohteista tapahtuu näytteenottosondilla, valitulla näytelinjalla ja suurenpitoisuuksien käsittelyyn tarvitaan laimennusyksikkö. Näytteenottosondi valitaan mittauskohteen mukaan. Sondin valintaan liittyviä muuttujia ovat savukaasun koostumus, mittausmenetelmä ja käytettävät analysaattorit.

Laimennusmenetelmä on yleinen teollisuuden päästömittauksissa käytetty mittausmenetelmä, laimennetussa näytteenotossa käytetään laimennussondia ja laimennusyksikköä, jotka mahdollistavat savukaasun laimennuksen, joka poistaa monia savukaasunominaisuuksista johtuvia ongelmia mittauksessa. Laimennetussa mittauksessa kalibrointi- ja nollakaasu tuodaan näytteenottosondilta analysaattorille samoin kuin näytteenoton aikana, jotta kalibrointi ottaa huomioon täysin samat olosuhteet kuin näytekaasunmittauksessa.

Laimentavia mittaussondeja on erilaisia ja eri kokoisia. Yleisesti käytössä olevia laimennussondeja ovat ns. normaali laimennussondi ja tulistava laimennussondi. Tulistavansondin sisällä lämpövastus, joka tulistaa näytekaasun ja ehkäisee kosteuden tiivistymistä sondilla. Sondin lämpötila on yleisesti 180°C tai mahdollisesti vähemmän 80°C -150°C riippuen näytekaasun- ja ympäristötilasta. Normaalin laimennussondin lämpötila vaihtelee savukaasun lämpötilan mukana, joten näytteenoton olosuhteet sondilla eivät ole yhtä staattiset kuin tulistavalla sondilla.

Sondilta näyte tuodaan näytelinjalla laimennusyksikölle. Näytelinja on usein teflon putki, jossa on noin 4 mm sisähalkaisija ja se voidaan tuoda jopa 100 m korkeudessa sijaitsevalta näytteenottotasolta maahan asti. Näytelinja pyritään pitämään mahdollisimman lyhyenä sekä ilman turhia liitoksia, jotta mahdolliset vuodot voidaan ehkäistä. Laimennetussa näytteenotossa mittauslinjan jäätyminen on epätodennäköisempää kuin muissa näytteenotto tavoissa. Jään muodostuminen näytelinjassa estetään savukaasunlaimennuksella, joka siirtää savukaasun kastepistettä ja kosteusprosenttia huomattavasti esim. kyläisestä höyrystä tai mittauskaasun tiedetään olevan todella kuumaa ja sen tiedetään sisältävän lähes 0 % kosteutta tai mittauslinjana käytetään erityistä kuumaalinjaa, jolla voidaan estää mahdollinen kosteuden tiivistyminen ja jäätyminen näytelinjassa.



Laimennusyksiköltä laimennettu kaasunäyte tuodaan analysaattoriin teflon näytelinjalla. Näytelinja kiinnitetään analysaattorin takaosan sisääntuloon, josta näytekaasu imetään analysaattorin sisäisellä pumpulla analysaattoriin. Analysaattorin sisällä on aromaattisten hiilivetyjen (HC) eliminointijärjestelmä. Järjestelmä koostuu kahdesta samankeskeisestä putkesta. Sisäputki on valmistettu erityisestä silikoni letkusta, kun näyte kulkee sisäisen letkun läpi HC-molekyylit siirtyvät sisäisen letkun läpi ulkoiseen letkuun. Siirtyminen tapahtuu vain sisäisestä letkusta ulospäin. Suodatin järjestelmän lopussa sijaitseva pumppu luo vakuumin ulkoisenletkun sisään ja osa ulkoisessa letkussa olevista HC-molekyylien suodatetaan aktiivihiiisuodattimen lävitse ja siirretään pois analysoitavasta savukaasusta. Järjestelmän tuloksena on vähemmän hiilivetyjä analysoitavassa savukaasussa, jotka saattavat häiritä näytteen analysointia.

#### **4.1.1 Laimennussondi**

”Laimennussondia käytettäessä savukaasu laimennetaan heti näytteenottovaiheessa kuivalla laimennusilmalla, jolloin näytekaasun kosteuspitoisuus pienenee laimennussuhteessa eikä erillistä kosteudenpoistoa tarvita. ” (Päästömittaajan käsikirja osa 1 Päästömittaustekniikan perusteet. S.27.)

Laimennusilmalla tarkoitetaan yleisesti mittauskohteessa saatavaa paineilmaa, joka voidaan tuoda laimennusyksikölle. Käytettävä paineilma on usein laitoksen instrumentti-ilmaa tai kompressorilla paineistettua paineilmaa. Laimennuksessa käytettävä paineilman on oltava puhdasta ja kuivaa. Laimennukseen käytettävä paineilma on syytä puhdistaa aktiivihiiisuodattimella, jotta vältetään yleisiltä epäpuhtauksilta, joita voi olla instrumentti-ilma linjastossa tai paineilma kompressorin säiliössä. Lisäksi ennen laimennusilman kytkemistä on huomioitava mahdollinen kosteus paineilmalinjassa, tämä voidaan yleisesti tarkistaa puhaltamalla paineilmaa vapaasti ennen linjan kytkemistä laimennusyksikköön.

Laimennusilman paine pidetään yleisesti 3–6 Bar ja laimennusilman tilavuusvirta sondille on 3–7 l/min. Käytettävää laimennusilmaa on huomattavasti enemmän kuin analysoitavaa näytekaasua, joka riippuen käytettävistä virtauksesta 20–100 ml/min. Koska näytekaasun määrä on niin pieni pienetkin epäpuhtaudet ja vuodot vaikuttavat näytteenottoon huomattavasti.

Laimennussondin kriittinen aukko mahdollistaa stabiilin virtauksen suoraan savukaasukanavasta. Kriittinen aukko määrittää sondin laimennussuhteen. Mittauskokemuksen perusteella kuitenkin yleisesti käytössä on 100 ml/min kriittinen aukko, jonka laimennossuhde on 44:1–75:1 (laimennos ilma suhteessa savukaasuun) tarkka laimennossuhde saadaan määritettyä laimennusyksikön laimennusilman virralla. Kriittisiä aukkoja on valittavissa seitsemästä eri aukon koosta, valinta määrittyy toivotusta laimennussuhteesta, joka yleisesti valitaan savukaasun ominaisuuksien perusteella. Esimerkiksi kylläinen noin 100 asteinen prosessihöyry saattaa vaatia suurempaa laimennussuhdetta, jotta vesihöyry saadaan laimennettua huomattavasti pienenpään suhteeseen savukaasussa, jotta savukaasun komponentit kuten rikkidioksidi ei pääse sekoittumaan tiivistyneeseen veteen. Tilanteessa, jossa kriittinen aukko on syytä vaihtaa suurempaan, kuten hyvin pienien pitoisuuksien mittauksessa on huomioitava savukaasunkomponenttien tila. Kriittisen aukon suurentaminen pienentää laimennussuhdetta ja savukaasun komponentit havaitaan paremmin. Pienempi laimennussuhde synnyttää suuremman kosteusprosentin ja väkevämmän kaasukomponenttien suhteen.

(Diluting stack sampler model 797. N.d. S. 2–3.)

Critical orifices				
Nominal flow	Dilution Ratio		Glass	Quartz
ml/min	min	max	part#	part#
20	215:1	350:1	2126.064	N/A
50	95:1	150:1	2126.047	N/A
100	44:1	75:1	2126.044	2126.057
150	32:1	50:1	2126.045	2126.058
200	27:1	37:1	2126.046	2126.059
250	20:1	30:1	2126.048	2126.060
500	12:1	16:1	2126.049	2126.061

Taulukko 1 Critical orifices, Diluting sampler model 797

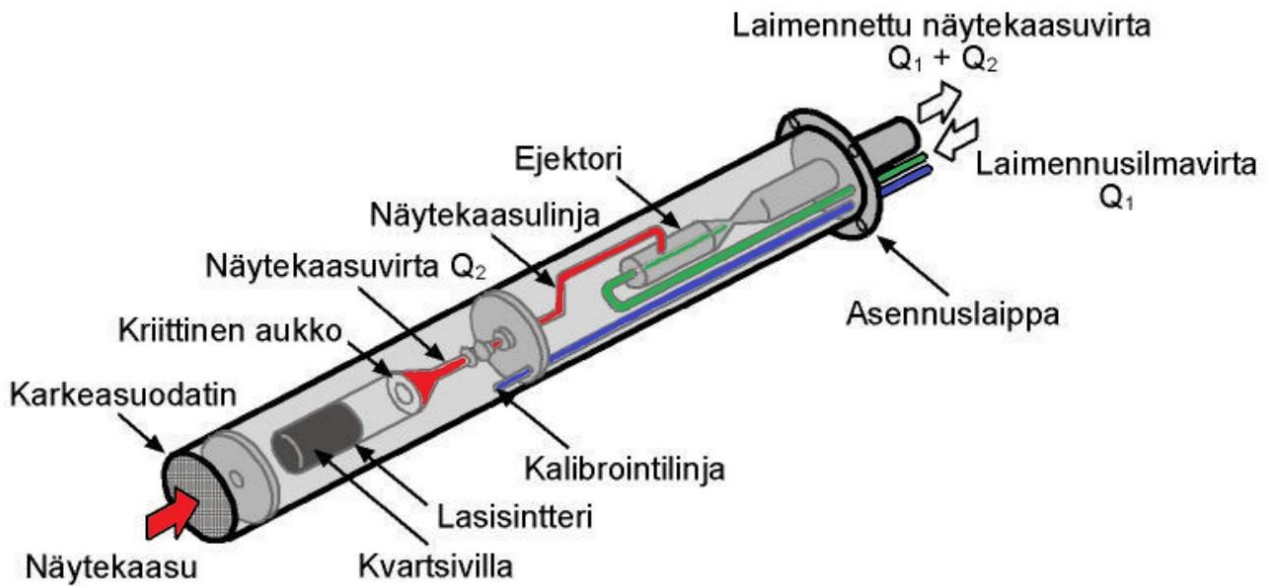
(EMP Environmental & process monitoring. N.d. S.3)

Laimennussondin käytössä on huomioitava useita tekijöitä, jotka vaikuttavat mitattavan kaasun analysointiin. Savukaasuntilan muutokset kuten paineen muutos, tiheyden muutos tai lämpötilan

muutos vaikuttavat kaikki sondin toimintaan ja näkyvät mittaustuloksissa sekä mittalaitteen kalibroinnissa. Savukaasuntilan muutoksien vaikutuksiin pyritään vaikuttamaan savukaasun tilan mittaustuloksilla. Jatkuva toimiva lämpötilamittaus ja useat painemittaukset vähentävät virheen riskiä mittaustuloksissa. Laimennussondin toiminnassa on huomioitava tarkasti linjojen ja sondin tiiveys, jotta mittaustuloksiin ei pääse ympäristöilmaa, joka laimentaa tai mahdollisesti kontaminoi näytettä mittaustuloksen aikana.

Laimennussondin käytössä on erityisesti huomioitava käytettävän laimennusilman puhtaus ja laimennusilman paine. Muutokset laimennusilman paineessa johtavat laimennussuhteen muutoksiin ja näytteen epävarmuuteen. Paineen vaihtelut tai vikatilat ovat kirjattava tarkasti pöytäkirjaan kelloaikojen kanssa, jotta mittaustulosten analysoinnissa tiedetään mahdollisista muutoksista mittaustuloksilla. Laimennussondeja on erilaisia, mutta pääperiaate pysyy yleisesti samana. Yleisin muutos laimennussondien välillä on sondin koko ja mahdollinen tulistus, joka lisää sondiin lämpövastuksen, joka kuumentaa sondia mittaustuloksen aikana ja pitää sen samassa lämpötilassa vähentäen muutoksia ja savukaasun kosteudesta johtuvia haittoja.

Laimennussondi sisältää lasiosia ja pieniä aukkoja, joiden puhtaudesta ja toimivuudesta on huolehdittava mittausta aloittaessa. Laimennussondin kriittinen aukko on pidettävä puhtaana ja oikein asennettuna mittaustuloksen virheen ja kontaminoitumisen välttämiseksi.



Kuvio 3 Laimennussondin rakenne

(Päästömittaajan käsikirja osa 1 päästömittaustekniikan perusteet. S.27.)

#### 4.1.2 Laimennusyksikkö

Laimennusyksikkö ohjaa Laimennussondin jokaista komponenttia. Laimennusyksikköön kiinnitettävä mittauslinja on nelilinjainen, joka sisältää laimennusilman, alipainelinjan, kalibrointilinjan ja näytekaasulinjan. Laimennusyksiköltä pystytään säätämään laimennussondin ejektorille ajettun paineilman määrää. Paineilma aiheuttaa alipaineen, joka imee näytekaasua näytteenottosondiin kriittisenaukon kautta, jonka jälkeen se sekoittuu puhtaaseen ilmaan ja laimentaa savukaasua. Laimennettu savukaasu työntyy näytelinjaa pitkin laimennusyksikölle, josta näyte ohjataan analyysatorille.



Kuvio 4 EMP laimenninyksikkö (Alhaalla) ja Environnement S.A AF22M analysaattori (ylhällä)

(Vertti Huhta-aho. 1.2023.)

Laimennusyksiköltä ohjataan laimennusilman virtausta, joka muuttaa kriittiselle aukolle syntynyttä alipainetta, joka täten määrittää näytekkaasun virtaaman. Laimennusyksiköltä nähdään myös alipaineen suuruus, jonka perusteella voidaan todeta kriittisenaukon toiminta, näytteen virtaus ja linjojen tiiveys.

## 4.2 Analysointi

Analysointiprosessia on lukuisia automatisoituja toimintoja, jotka varmistavat analysaattorin toiminnan ja minivoivat virheiden mahdollisuuden. Nämä automatisoidut toiminnot varmistavat analysaattorin toimivuuden ja ilmoittaa prosessin vikatilanteista käyttäjälle.

Savukaasun analysointi tapahtuu, kun savukaasu saavuttaa 'reaktiokammion', jossa siihen kohdistetaan 214nm keskitettyä ultraviolettia säteilyä, joka virittää SO<sub>2</sub> molekyylit. Fotodiodi mittaa ultraviolettia säteilyn peilin avulla, jonka UV-lamppu tuottaa. Mitatun valon määrä käytetään signaalin prosessoinnissa korjaamaan muuttujia UV-valon tuottamassa energiassa.

Virittyneet SO<sub>2</sub> molekyylit säteilevät tiettyä ultraviolettia fluoresenssia, joka suodatetaan optisilla linsseillä 300nm-400nm väliltä, joiden tarkoitus on poistaa mahdollisia häiritseviä kaasuja mittauksesta. Suodatettu fluoresenssi visualisoidaan valomonistinputken avulla, joka on sijoitettu reaktiokammion lähelle. Valoilmaisinputken visualisoima signaali vahvistetaan ja muunnetaan digitaalisiin arvoihin, joista analysaattorin mikroprosessori laskee keskiarvon näytearvoista, varmistaa käyttötilan, hälytykset ja tuottaa monituroidut arvot ja operointi diagnostiikan. Analysaattorin tuottamat arvot ja signaalit tulkitaan laitteen etupaneelin näytöltä ja/tai taulukoidaan tietokoneella käyttämällä analysaattorin datan ulostuloa. Jotta mittalaitteen tuloksia voidaan tulkita oikein, tarvitaan kalibrointikaasu ja nollakaasu kalibrointi, joilla varmistutaan laitteen parametrien arvoista. (Environnement S.A AF22M technical manual, 6.2010. S. 2-8.)

### 4.3 Kalibrointi ja huuhtelu

AF22 analysaattorin mittaustuloksien varmentamiseksi jokaisen mittauksen alussa sekä mittauksen lopussa suoritetaan huuhtelu, kalibrointi, silmämääräinen tarkistus, sekä dokumentointi. Tämän vaiheen tarkoituksena on varmistaa, että laite toimii oikein. Kalibroinnin perusteella määritetään mittauksen nollakohta, liukuma sekä varmennetaan mittalaitteen toiminta. Sekä mahdollisessa vikatilassa, jossa laite ei ole toiminut oikein voidaan pyrkiä määrittämään laitteen virhetilan arvot ja tehdä mahdolliset korjaukset tai mitätöidä mittaustulokset ja tehdä vian määrittäminen. Yleisesti huuhtelu ja kalibrointi suoritetaan mittauksen alussa ja lopussa, mutta mittauksen kestäessä useamman päivän tai mittauksessa havaitaan poikkeamia, on syytä suorittaa huuhtelu ja kalibrointi useampaan kertaan mittauksen aikana. Esimerkiksi aamuin ja illoin tai noin 8 tunnin välein, jos mittaus kestää useamman päivän.

#### 4.3.1 Huuhtelu

Huuhtelulla tarkoitetaan ympäristöilman mittaamista mittalaitteen ja läpi. Ympäristöilman mittaaminen puhdistaa epäpuhtauksia mittauslinjoista, suodattimista ja laitteen pinnoilta. Rikkidioksidin

mittauksessa voidaan havaita rikkidioksidille ominaista tahmeutta ja eräänlaista sitkeyttä. Näiden ominaisuuksien vuoksi analysaattorin huuhtelu on erittäin tärkeä ja hyödyllinen tapa puhdistaa mittalaite. Parhaiten tämä voidaan huomata analysaattorin kalibrointivaiheen alussa ja kalibroinnin jälkeen asettaessa mittalaite huuhtelulle, kun kalibrointi kaasua aletaan ajamaan mittausanalysaattorille  $\text{SO}_2$  trendikäyrä siirtyy huomattavasti hitaammin stabiiliin kalibrointikaasun tasoon. Tämä hitaus on huomattava verrattuna muihin yleisiin savukaasukomponentteihin. Sama ilmiö tapahtuu kalibroinnin loputtua, kun analysaattori laitetaan huuhtelemaan. Tasaisessa kalibrointi-tasossa ollut trendikäyrä kääntyy laskuun, mutta lasku tapahtuu hitaammin ja nolla-arvoa joudutaan odottamaan muita komponentteja pidempään.

Sama tahmeus voidaan myös huomata mitatessa suuria  $\text{SO}_2$  pitoisuuksia. Rikkidioksidin tahmeus voidaan huomata vielä seuraavassa mittauskohteessa. Jos kohteissa on suuria rikkidioksidi pitoisuuksia, on hyvä mittauksen lopussa jättää mittalaite huuhtelemaan useammaksi tunniksi, jotta mittauslinja ja analysaattori puhdistuvat.

#### 4.3.2 Kalibrointi

Mikään mittausjärjestelmä ei anna luotettavia tuloksia, ellei sitä ole kalibroitu oikein. Analysaattorin oikein suoritettu kalibrointi on yksi tärkeimmistä tekijöistä, joilla varmistetaan mittauksen luotettavuus. Kalibroinnin tarkoituksena on saada selville analysaattorin datan ja näytekaasupitoisuuden välinen yhteys. Laite voidaan kalibroida syöttämällä siihen yhtä pitoisuutta tutkittavaa kaasua tai seoskaasua, joka sisältää mitattavat komponentit. Kalibrointikaasun lisäksi analysaattorille syötetään Nollakaasua joka AF22 analysaattorin tapauksessa vastaa ilmaa. Kalibrointi suoritetaan mittauspaikalla, joten kalibrointikaasu tulee olla aina mittauksen yhteydessä mukana.

(Päästömittaajan käsikirja osa 1 Päästömittaustekniikan perusteet. S.37.)

Kalibrointi suoritetaan mittauksen aikana vähintään ennen ja jälkeen mittauksen. Laboratoriossa määritetään mittauksen aikana syntynyt mahdollinen kalibroinnin ryömiminen. Kalibroinnin ryömisellä tarkoitetaan kalibroinnissa saatuja eri tuloksia mittauksen alussa ja lopussa. Ryömisestä tarkistetaan suurimmat sallitut hyväksymisrajat sekä toimintaohjeet tilanteeseen, jossa kalibrointi on muuttunut mittauksen aikana.

(Päästömittaajan käsikirja osa 1 Päästömittaustekniikan perusteet. S.37.)

Kalibroitikaasujen käytössä on otettava huomioon kaasuseosten säilyvyys paineastiassa, käytettyjen komponenttien puhtausaste, komponenttien mahdolliset reaktiot kalibroitikaasuseoksessa. Kalibroitikaasujen on oltava akreditoidusta laboratoriosta ja valmistettu standardien mukaan laadunvarmistuksen ja mahdollisen virheen vuoksi. Kalibroitikaasujen käyttö tulisi olla vaihtuvaa sillä kaasut vanhenevat ajan myötä ja komponentit voivat muuttua. Yleisesti ottaen kalibroitikaasupullo pitäisi vaihtaa noin vuoden välein tai kaasutoimittajan mukaisten ohjeiden mukaan.

(Ville Niskanen, 1985, S.43.)

## **5 Huolto ja laitteen toiminna arviointi**

### **5.1 Huoltojen laajuus ja vaikutukset**

Mittalaitteen toimintaa ja suorituskkyä voidaan parhaiten ylläpitää oikeaoppisella käytöllä ja säännöllisillä huolloilla. Mittalaitteelle tärkeitä arvoja ja ominaisuuksia kuuluu tarkkailla ja kirjata säännöllisesti. Tärkeimpinä arvoina voidaan pitää mittausaluetta, vasteaikaa, herkkyyttä, mittauksen toistettavuutta. Tulosten ja arvojen perusteella voidaan arvioida laitteen stabiiliuutta laitteen ikääntymisen ja olosuhteiden aiheuttamien epävarmuuksien ja vikojen vuoksi.

Huoltojen arvioinnissa on otettavahuomioon laitteen käyttö, mittausolosuhteet, mittausajat, laitteen siirtäminen mittauskohteeseen ja mittausolosuhteet. Koska laitetta ei ole suunniteltu käytettäväksi teollisuuden päästömittauksissa sellaisenaan on huollot ja laitteen käyttö arvioitava siihen sopivaksi. Analysaattorin manuaalin huoltovälit ja huoltotoimenpiteet tulee arvioida uudelleen mittalaitteen käytön kannalta. Arvioitavia muuttujia ja mahdollisia käytäntöjä on katseltava päästömittauksien näkökulmasta.

### **5.2 Manuaalin esittämät huoltotoimenpiteet ja yleisesti käytössä olevat toimet**

Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> analysaattorin huoltojen arvioinnissa on otettava huomioon laitteen käytön eroavaisuudet teollisuuden ilmanpäästömittauksissa. Mittalaitte on valmistettu ympäristöilmanpäästömittauksiin, joissa mittaus tapahtuu jatkuvatoimisesti vuorokauden, kuukausien



tai vuosien ajan. Ympäristöilman päästömittauksissa epäpuhtauksien määrä on hyvin pieni, ja tämän vuoksi mittalaitteen raja-arvot ovat hyvin pieniä. Teollisuuden yksiköissä, joissa suoritetaan laitoksen savukaasumittauksia, voidaan käyttää samanlaista laimennettua mittausmenetelmää kuin opinnäytetyön aiheen mittauksissa. Teollisuuden savukaasumittaus järjestelmät ovat asennettu puhtaaseen tilaan analysaattorihyllyjen sisään ja linjat laitteelle on vedetty mittauskohteeseen suunnitellusti ja pysyvät paikallaan vuosia. Toisin kuin laboratorioalan päästömittauksissa laitteet tuodaan laitoksen tiloihin, pahimmassa tapauksessa hyvin pölyisiin ja ympäristöltä epävakaisiin olosuhteisiin.

Päästömittauslaboratorion suorittamissa päästömittauksissa mittalaitetta käytetään epävarmoissa olosuhteissa ja pitoisuuksien vaihtelu voi olla todella suuri. Päästömittauksissa mittalaitetta tuodaan usein mittauskohteisiin, jotka eivät ole idyllejä mittauksen suorittamiseen. Mittauskohteet, kuten sellutehtaiden piipputornit, energiatuotantolaitoksien kattilahuoneet tai teollisuuden eri prosessit, ovat usein likaisia, pölyisiä ja olosuhteilta vaihtelevia, mittauskohteen muuttujien välttämiseksi valitaan tai rakennetaan väliaikainen mittauslaboratorio, jossa pyritään vakioimaan lämpötila ja mittalaitteiden toimintaan vaikuttavat tekijät.

Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> analysaattorin esittämät huoltoimenpiteet ovat täten tarkoitettu täysin eri tehtävässä toimivalle laitteelle. Päästömittauksissa laitteen käyttöaikaa on vaikea arvioida, ympäristön epäpuhtauksia on vaikea määrittää ja laitteen kunnosta on vaikea antaa arviota sillä mittalaitteet saattavat vaihdella kohteesta toiseen. Mittalaitteen manuaalin huoltotoimenpiteitä on kuitenkin hyvä tarkastella, jotta voidaan laatia analysaattorin käytön mukainen huoltosuunnitelma ja laitteen toimivuuden varmistamiseksi hyvä 'ongelmanratkaisu' – manuaali.

### **5.2.1 Mittauksen alussa**

Mittauksen alussa valitaan sopiva tila mittausanalysaattorille ja laimeninyksikölle. Mittapaikka/mittauslaboratorio, valitaan mittakohteen läheltä niin että näytelinjat ja lämpötilajohdot yltävät helposti kohteeseen. Mittapaikka tarvitsee sähköä sekä paineilman, nämä tulee olla valmiina mahdollisimman lähellä valittua mittauspaikkaa, johon analysaattorit asennetaan. Mittauspaikan valinnassa tulee huomioida myös vakaissa sisätiloissa mittalaitteen lämpötila, liian kuuma lämpötila aiheuttaa mittausanalysaattorissa virheilmoituksen ja mittauks tuloksen todenmukaisuudesta ei ole

varmuutta. Liiankuuma lämpötila saattaa olla esimerkiksi energialaitoksen kattilahallissa lähellä kattilaa.

Laitteiden asennuksessa on syytä tehdä silmämääräistä arviointia näytelinjoista ja kaikista liittimistä. Huonot liitokset ovat yleisin syy linjojen vuotoon, joka johtaa mittauksen vääristymään. Linjat on hyvä tarkistaa vakuumimittarilla, tällä voidaan olla varma, että linjan liitokset ovat tiiviitä ja linja itsessään ei vuoda. Analysaattorin sähköjohtojen ja datakaapeli asennuksessa on huomioitava myös liittimet, jos yleisin ongelma tiedonkeruun yhteydessä on, että datakaapeli analysaattorilta piirturille/loggaus-järjestelmään on huonosti kiinnitetty tai johto on poikki ja tiedonkeruu ei saa dataa tai data on sekavaa ja virheellistä.

Muita huomioita mittauksen alussa on liittyen eri laitteisiin mittauksen yhteydessä, jos käytössä on tulistavasondi, on säädettävä ja tarkistettava mittaussondin lämpötilasäädin. Mittaussondi on asennettava tiiviisti kanavaan käyttäen eristysvillaa, ja kiinnitykseen liinaa tai rautalankaa, jolla voidaan varmistua sondin paikallaan pysymisestä mittauksen aikana.

Sondin ja linjojen asennuksen jälkeen pitää aina tarkistaa laimennusyksikön näyttämät arvot, vuoto, laimennus ja näyte. Huuhteluilman rotametri on asetettava sopivaan kohtaan esim. 2 litra/min ja virtaus pidetään aina samana huuhtelun aikana. Samoin tehdään kalibrointivaiheessa kalibrointikaasuvirran rotametrille, kalibrointikaasun virtaus asetetaan esimerkiksi lukemaan 2 Litraa/minuutissa jokaisessa mittauksen aikana tehdyssä kalibroinnissa.

Kun analysaattori on saatu asennettua ja analysaattori kytketään päälle AF22m SO<sub>2</sub> analysaattori aloittaa noin 30 minuutin aloitus syklin, joka lämmittää ja säätää analysaattorin mittausvalmiiksi. Syklin kestoon vaikuttaa mittalaitteen lämpötila ja pumpuntoiminta. Kun aloitus sykli on loppunut mittalaite ilmoittaa hälytyksellä mahdollisista virhetiloista, näitä ovat usein mittalaitteen komponenttien lämpötilaan viittaavat hälytykset tai pumpuntoimintaan viittaavat virhekoodit. Usein virheisen syntyessä laitteen aloitus syklin jälkeen mittalaite kannattaa sulkea ja käynnistää uudelleen.

**5.2.2 Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta**  
**15 Päivää**  
**-''Sample inlet PTFE filter'' (manual) no. 4.3.1**

Kappale käy läpi Environnement S.A AF22m ohjekirjan huoltotoimenpiteen. Huoltotoimenpiteen jälkeen toimenpidettä käydään läpi teollisuuden ilmanpäästömittausten näkökulmasta. Huoltotoimenpide on käsitelty opinnäytetyön tietojen pohjalta.

Näytteen sisääntulon PTFE suodattimen vaihto. PTFE suodatin on analysaattorin takana olevan muovikanne alla. Kansi irrotetaan nostamalla lukitus jousi muovikuvun päältä. Kuvun alla on musta ritiläsuodatin, joka pitää PTFE suodattimen paikallaan ja toimii lian ehkäisyssä. PTFE suodatin on ohut 'MITEX' tefon suodatin, jonka koko on 47 mm halkaisijalta ja huokoisuus on 5µm. Laita suodatin paikalleen käyttäen suojapaperia, jotta suodatin ei likaannu. Kasaa suodatin kotelo takaisin paikalleen ja lukitse kansi lukitusjousella ja tarkista että kansi on varmasti paikallaan.

Suodattimen tiedot:

PTFE Fiter 'MITEX' Teflon Filter – 5 µm porosity – 47 mm dia. Ref.: F05-11-842

(Environnement S.A L'instrumentation de l'environnement. P. 6.2010. Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer. S.4–4 Viitattu 12.10.2022.)

Toimenpiteen käyttöä päästömittauksissa on vaikea arvioida. 15 päivän aikaväli vaikuttaa todella pieneltä päästömittausten yhteydessä. 15 päivän sykliä voidaan käyttää PTFE suodattimen tarkistukseen tai selvittää ja arvioida parempi sykliisyys, jonka tuloksilla voidaan arvioida filterin vaihdon parempi ajankohta. Suodattimen vaihtoa tulee harkita ja suodattimen kunto arvioida, kun tiedetään analysaattorin olleen todella likaisessa paikassa tai jotain arvioidaan tapahtuneen PTFE suodattimelle.

### 5.2.3 Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 1 kuukausi -Check of electrical parameters (manual) no. 4.3.2

Kappale käy läpi Environnement S.A AF22m ohjekirjan huoltotoimenpiteen. Huoltotoimenpiteen jälkeen toimenpidettä käydään läpi teollisuuden ilmanpäästömittauksien näkökulmasta. Huoltotoimenpide on käsitelty opinnäytetyön tietojen pohjalta.

Elektronisten parametrien tarkistus. Tarkoituksena on verrata analysaattorin jokaista Mux (multiplex) signaalia laitevalmistajan testi signaaleihin.

Table 3-2 - MUX signals (Acceptable limits on the multiplexer 1 to 16 channels)

Channel	Display	Parameters	Lower Limit	Normal	Upper limit
1	GND	Analog ground	0 mV	0 mV	50 mV
2	Int. T°	Internal temperature of the analyzer	100 mV	300 mV	600 mV
3	Opt. T°	Temperature of optical chamber	—	450 mV	500 mV
4	PM HV	Voltage proportional to high voltage applied to photo multiplier tube (***) <i>Embase HAMA SDS</i>	2400 mV 3000 mV	2800 mV 3500 mV	3200 mV 4000 mV
5	Flow r.	Flow rate sensor voltage.	1000 mV	3300 mV	5000 mV
6	Pressure	Pressure of measurement chamber (*)	1200 mV	4000 mV	5000 mV
7	-15V	Test point of power supply voltage	1200 mV	1500 mV	1600 mV
8	+15V	Test point of power supply voltage	1200 mV	1500 mV	1600 mV
9	UV Sig	Measurement of UV lamp signal used to compensate for any possible drift.	1000 mV	7000 mV	9000 mV
10	-----	Not used	—	—	—
11	PM sig.	Measurement signal at PM amplifier	0 mV	—	9900 mV
12	UV cur.	Lamp current	250 mV	380 mV	440 mV
13	H <sub>2</sub> S T° TRS T°	Thermocouple probe temperature (***)	14 mV 0 mV	17 mV 100 mV	22 mV 500 mV
14	B.P. T°	Voltage proportional to temperature of built-in permeation oven (**)	2200 mV	2234 mV	2260 mV
15	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> sensor (**)	—	—	—
16	2.5 V ref.	Reference voltage of analog / digital converter	2480 mV	2500 mV	2520 mV

(\*) These values are given as information and they depends on the A and B linearization coefficients (SPAN ⇔ Pressure screen)

(\*\*) Only when the corresponding options are available in the analyzer.

(\*\*\*) According to the PM embase (HAMA. or SDS) specified in the Check List attached to the analyzer.

Kuvio 5 Table 3-2 -MUX signals (Acceptable limits on the multiplexer 1 to 16 channels)

(Environnement S.A L'instrumentation de l'environnement. P. 6.2010. Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer. S.3-37 Viitattu 4.4.2023.)

Toimenpide kertoo todella hyvän kuvan analysaattorin tilasta ja jatkuva analysaattorin elektronisten parametrien taulukoiminen antaa selkeää kuvaa mittalaitteen pitkäaikaisesta kunnosta. MUX

signaalien taulukointi mahdollistaa jatkuvan valvonnan analysaattorilla syntyville ongelmille, jotka eivät näy yksittäisissä mittauksissa. Esimerkiksi 9. UV sig. ja 12. UV cur. signaalit ovat ainoita menetelmiä seurata UV valon tilaa analysaattorin sisällä ja siinä syntyvät pitkällä aikavälillä syntyvät viat voidaan ehkäistä ja korjaustyöt voivat olla ennakoivia eikä reaktiivisia mittaustulosten epämääräisyyden vuoksi. Lisäksi elektronisten signaalien kirjauksella saadaan tilasto, kuinka laite toimii oikeassa tilassa. Tilastoituja signaaleja voidaan käyttää yleisesti ongelmaratkaisussa ja tuntemattomien ongelmien ja vikatilojen selvityksessä.

Elektronisten parametrien kirjaaminen ja taulukoiminen suositellaan ottamaan käytäntöön huoltojen yhteydessä, sekä vikatilojen tapahtuessa analysaattorilla. Yleisiä virhekoodeja ei ole syytä kirjata turhan datan välttämiseksi, vaan tarkoituksena on jatkuvien tai tuntemattomien vikatilojen ja ongelmien syy ja selvitys prosessin edistäminen.

#### **5.2.4 Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta**

##### **1 kuukausi**

##### **-Check of zero and calibration (manual) no. 4.3.3**

Kappale käy läpi Environnement S.A AF22m ohjekirjan huoltotoimenpiteen. Huoltotoimenpiteen jälkeen toimenpidettä käydään läpi teollisuuden ilmanpäästömittauksien näkökulmasta. Huoltotoimenpide on käsitelty opinnäytetyön tietojen pohjalta.

Analysaattorin nolla ja kalibrointi. Analysaattorin ohjekirja ohjeistaa laitteen nollan ja kalibroinnin suoritettavaksi kerran kuukaudessa, koska laite on suunniteltu täysin erilaisiin mittauksiin. Tehdessä teollisuuden ilmanpäästömittauksia nolla ja kalibrointi on suoritettava aina ennen mittauksen aloitusta ja mittauksen lopussa, mittauksen keston ollessa pidempi on suositeltavaa suorittaa kalibrointi noin. 8 tunnin välein tai aamuin illoin mittauksen kestäessä useamman päivän.

Analysaattorin kalibrointi ja nolla tehdään ajamalla kaasua analysaattorin näytekaasun sisään tuloon (sample inlet). Laimennetussa näytteenotossa on myös kalibrointikaasu laimennettava samalla suhteella kuin näyte. Joten kalibrointikaasu ajetaan laimennusyksikön kautta laimennussondille, jossa kalibrointikaasu laimentuu. Laimennettu kalibrointikaasu tuodaan analysaattorille analysoitavaksi, josta saadaan kalibrointitaso.

Analysaattorin ohjekirja ohjeistaa analysaattorin nollan määrittämiseen käytettäväksi kolmea eri tapaa. Synteettistä ilmaa, jonka tiedetään olevan täysin vapaa SO<sub>2</sub>-molekyyleistä, nollailmaa, joka tehdään pure-air generaattorilla tai käyttäen laitteen sisäistä zero-filtteriä painamalla ZERO-nappia, joka ohjaa laitteen sisäistä solenoidi venttiiliä, jonka sisääntulosta saadaan nollailmaa kalibrointinollan määrittämiseen.

Analysaattorin ohjekirjan huoltoväli ei ole toteutettavissa vaan se tehdään huomattavasti useimmin ja käytäntö on standardisoitu yrityksen sisällä ja tapahtuu jokaisen mittauksen yhteydessä.

### **5.2.5 Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta**

#### **6 Kuukautta**

#### **-Replacement of activated charcoal (internal zero filter) and kicker zero filter cartridge (manual) no. 4.3.4**

Kappale käy läpi Environnement S.A AF22m ohjekirjan huoltotoimenpiteen. Huoltotoimenpiteen jälkeen toimenpidettä käydään läpi teollisuuden ilmanpäästömittausten näkökulmasta. Huoltotoimenpide on käsitelty opinnäytetyön tietojen pohjalta.

Aktiivihiihi suodattimen (sisäinen nolla filtteri) ja Hiilivetyjen poisto 'Kicker' nolla suodatin. Suodatin kasetit sijaitsevat laitteen sisällä reaktiokammion ympärillä. Aktiivihiihi suodatin, tulee vaihtaa vuoden välein. Vaihdon ajankohta voidaan merkitä suodatinkasetin kylkeen. Hiilivetyjen poisto suodatin tulee vaihtaa 6 kuukauden välien, koska virtauksen nopeus on noin kaksinkertainen verrattuna Aktiivihiihi suodattimen virtaukseen. (Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer. 2010. S.4-7.)

Toimenpiteen aika väliä tulee arvioida sen kriittisyyden vuoksi. Vuosittainen arvio laitteen käyttöajasta antaa mahdollisen aikavälin, jonka virtauksen perusteella oletetaan menevän suodattimen läpi vuodessa. Mutta suodatin tulee tarkistaa vuosihuollon yhteydessä tai jos arvioidaan mahdollista vikaa suodattimen toiminnassa.

Mahdollisia ongelmia, joita syntyy toimenpiteen väliin jättämisestä, voidaan arvioida aktiivihiihi-suodattimen merkityksellä epäpuhtauksien pääsemisestä näytteeseen ja mahdollinen nolla kalibroinnin siirtyminen ajan kuluessa. Hiilivetyjen poisto suodattimen liian pitkä käyttö, aiheuttaa nollan siirtymistä, hiilivetyjen pääsyä reaktiokammioon, jotka heikentävät ja vääristävät mittausta.

**5.2.6 Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta  
1 vuoden välein  
-Inspection of pump valves and diaphragms (manual) no. 4.3.5**

Kappale käy läpi Environnement S.A AF22m ohjekirjan huoltotoimenpiteen. Huoltotoimenpiteen jälkeen toimenpidettä käydään läpi teollisuuden ilmanpäästömittausten näkökulmasta. Huoltotoimenpide on käsitelty opinnäytetyön tietojen pohjalta.

Pumpun venttiilien ja kalvon tarkistus. Venttiilien ja kalvojen tarkistus on syytä tehdä noin kuuden kuukauden välein. Laitteiston kuluvien osien likaantuminen ja kuluminen tuottaa mittaushäiriöitä ja mahdollisia vikatiloja. Tarkistus ja mahdollinen vaihto vaatii puhtaantilan, 4 mm ristipääruuvi-meisselin, 5 mm talttapää ruuvimeisselin, pihdit ja puhdistus alkoholia. Manuaalin ohjeistus käy läpi pumpunrunгон irrottamisen ruuvikerrallaan. Pumpunkalvo, venttiilit ja rungontiiviste otetaan irti vain, jos on pakollista. Kappaleet puhdistetaan pölystä ja pyyhittää puhdistus alkoholilla. Tämän jälkeen arvioidaan mahdollinen osien vaihto, ja jonka jälkeen laite kasataan takaisin. (Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer. 2010. S.4-8)

Toimenpiteen teko sykli päästömittauksissa on harvempi, tarkistus ja puhdistus voidaan siirtää vuosihuollon yhteyteen, jonka aikana tehdään yleinen puhdistus ja lineaarisuus testit. Jos on epäilyjä pumpun vuodosta tai muista pumpun vikatiloista on syytä huolto tehdä aikaisemmin.

**5.2.7 Päästömittauslaboratorio toimenpide  
1 vuoden välein  
-Lineaarisuus (päästömittaajan käs. s38 5.3.2.**

”Lineaarisuuden tarkistus tehdään laboratoriossa säännöllisin väliajoin, esimerkiksi vuoden välein. Tarkistus tulee tehdä kaikille käytettäville mittausalueille. Tarkistuksessa analysaattorille syötetään vähintään viittä eri pitoisuutta nollakaasun lisäksi siten, että pitoisuudet jakautuvat tasan 10–95 % mittausalueesta. Eräs tapa tehdä lineaarisuuden tarkistus on käyttää laimenninta ja kalibrointikaasua, jonka pitoisuus on 90–100 % mittausalueesta ja tehdä tästä kaasusta tarvittavat laimennukset.” (Päästömittaajan käsikirja osa 1 Päästömittaustekniikan perusteet, 2007, S.38.)

”Lineaarisuudella tarkoitetaan analyttisen menetelmän kykyä antaa tietylle alueella hyväksyttävä lineaarinen korrelaatio tulosten ja näytteiden tutkittavan aineen pitoisuuden välillä. Mikäli järjestelmän ulostulon muutokseen suhde sisäänmenon muutokseen on vakio, järjestelmän sanotaan

olevan lineaarinen. Poikkeamaa tästä kutsutaan epälineaarisuudeksi. ” (Laadukkaan mittaamisen perusteet, MIKES mittatekniikan keskus. S.12.)

”Lineaarisuustutkimusten avulla määritetään samalla myös analyysimenetelmän luotettava mitausalue, jolla hyväksyttävä tarkkuus ja täsmällisyys voidaan saavuttaa. Se on yleensä laajempi kuin lineaarinen alue. ” (Laadukkaan mittaamisen perusteet, MIKES mittatekniikan keskus. 2011. S.13.)

Lineaarisuudentutkiminen vuoden välein on standardoitu menetelmä, joka on tehtävä vuoden välein. Jos tutkimuksen aikana ei saavuteta lineaarisuutta, on laite huollettava ja selvitettävä vikoja, jonka jälkeen lineaarisuustesti mitataan uudelleen. Lineaarisuustutkimus on myös esimerkiksi uuden laitteen käyttöönotossa ja esimerkiksi tilanteessa, jossa laite on käynyt suuremmassa tehdas huollossa.

#### **5.2.8 Environnement S.A. AF22m ohjekirjan huoltosuunnitelmasta 2 vuoden välein -Replacement of UV lamp (manual) no. 4.3.6**

Kappale käy läpi Environnement S.A AF22m ohjekirjan huoltotoimenpiteen. Huoltotoimenpiteen jälkeen toimenpidettä käydään läpi teollisuuden ilmanpäästömittausten näkökulmasta. Huoltotoimenpide on käsitelty opinnäytetyön tietojen pohjalta.

UV-lampun vaihto tulee tehdä 2 vuoden välien. Mahdollinen ennenaikainen vaihto voidaan tehdä, jos epäillään UV-valon kuntoa, voidaan UV-valon kunto tarkistaa silmämääräisellä tarkastelulla ja MUX-signaalin 9 tarkistuksella ja mahdollisella uudelleen ohjauksella. Jos UV-lampun kunto on heikko ja signaalia ei saada tarvittaviin arvoihin, on syytä vaihtaa UV-lamppu ennenaikaisesti.

UV-lampun vaihto tulee tehdä puhtaassa tilassa. Tarvittavia välineitä on 3.5 x75 mm -2.5 x50mm ruuvimeisselit. Nitriilikäsineiden käyttö lampun käsittelyssä on suotavaa, sillä lika ja rasva voi tuottaa häiriötä UV-valon tasoon. UV-valon Lasikupuun ei tule koskea edes nitriilikäsineet kädessä.



UV-lamppu ruuvataan irti UV-valo järjestelmästä. Irrotetusta järjestelmästä ruuvataan irti lampun suunnin/linssiaukko. UV-lamppu irtoaa löysäämällä lampun kiinnike ruuvia ja lamppu saadaan irrotettua. Uusi UV-lamppu asetetaan paikalleen ja ruuvit kiristetään takaisin. Suunnin kappale asetetaan paikallaan ja lamppu asetetaan niin että UV-valossa oleva teksti, 'MAX OUTPUT PORT' teksti osoittaa eteenpäin ja lampun ikkuna osoittaa suunnita kohti. Järjestelmä kasataan ja asetetaan takaisin paikalleen.

Analysaattorin UV-valon MUX signaali ja I-UV virta ja jännite tulee tarkistaa ja säätää. I-UV lähde tulee olla 350–450 mV UV-lampun lähdeyksikössä. MUX Signaalin kanava 9 on UV-valo vastaanotimen signaali, tämä tulee säätää kääntämällä ja asettamalla UV-lamppu oikein, jotta MUX signaali 9 on noin 4300mV. Kun signaali on oikein, kiristetään UV-lampun pidike ruuvit, jotta lamppu pysyy varmasti paikallaan.

UV-valon vaihdon jälkeen tulee varmistaa lampun viran stabiili pysyvyys, jonka jälkeen suoritetaan referenssi kierto ja kalibrointi analysaattorille. Tulokset ja MUX signaalit dokumentoidaan referenssiksi tulevaisuuden vikatilojen arviointi varten. (Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer. 2010. S.4–10.)

UV-valon lampun vaihto on kriittinen vaihe analysaattorille, sen vuoksi analysaattorin järjestelmä seuraa lampun MUX signaalia ja aiheuttaa ei oikeassa arvossa olevasta arvosta hälytyksen laitteelle. UV-valon vaihto on aina suoritettava puhtaissa huoltotiloissa oikeilla työkaluilla ja tehtävään pätevän henkilön toimesta. MUX signaalien vuosittainen taulukointi voisi antaa selkeämpää kuvaa UV lampun tilasta ja heikkenemisestä. Jos vihreilmoitus koskee UV-valon toimintaa, on syytä asiaa tarkastella aina tarkemmin ja virheilmoitukset kirjattava ylös ja vikatila, jossa virheilmoitus on syntynyt.

### 5.3 Ennalta ehkäisevät huollot

Ennalta ehkäisevien huoltojen tarkoitus on vähentää tiedossa olevien ongelmien syntymistä kentällä. Ongelmat mittauksen yhteydessä, joihin ei voi vaikuttaa ovat suurin riski mittauksen onnistumiselle kenttäolosuhteissa. Tämän vuoksi ennaltaehkäisevät huollot ja oikeaoppinen käyttö ovat analysaattorin käytönsalalta tärkeimmät ehkäisykeinot mittauksen keskeyttämiselle.

Environnement S.A. AF22m analysaattorin ennaltaehkäisevät huollot pyritään pohjaamaan vuosittaisen käyttöajan arviointiin ja parhaisiin mahdollisiin käyttötekniikoihin, joilla pyritään pitämään laite mahdollisimman hyvässä käyttökunnossa. Yleisenä huolto ja toiminnan tarkistussyklinä pidetään vuosihuollon ajankohtaa, jonka aikana laitteen toimivuutta arvioidaan lineaarisuustestillä ja mahdollisilla muilla laitteen kuntoa ja toimintaa arvioivilla toimenpiteillä. Huolto ja arviointi vuosihuollon yhteydessä on tehtävä laitekohtaisesti ja siitä on pidettävä kirjaa laitteen pitkäaikaisen kunnan arvioinnille ja kehitykselle.

### **5.3.1 Vuosihuolto**

Environnement S.A. AF22m analysaattorin vuosihuollon yhteyteen tulee arvioida laitteen suodattaminen ja osien vaihdon vaihto sykli. Osien ja suodattimien käyttöikä on vaikea arvioida tietämättä vuosittaista käyttöä verrattuna laitteen omiin suosituksiin. Päästömittausten yhteydessä on monia riskejä, jotka voivat liata ja vaikuttaa laitteen toimintaan ja käyttöaika vuodessa on hyvin vaihteleva. Tärkeimpänä tulee arvioida laitteen huoltokirjasta laitteen toimivuutta lineaarisuusmittausten yhteydessä.

Vuosihuollon yhteydessä tulee puhdistaa laite ja tarkistaa laitteen pinnat, linjat ja liittimet. Huolto-työt on paras tehdä vuosihuollon yhteydessä oikeilla laitteilla ja puhtaissa tiloissa, jossa voidaan suorittaa kaikki vaiheet mahdollisimman tarkasti. Kirjaaminen vuosihuollon toimenpiteistä tulee tehdä laitekohtaisesti pitäen selkeää kirjaa seuraavalle vuodelle tai mahdollisten huoltotöiden yhteyteen.

Muita vuosihuollon yhteydessä tehtäviä huoltoja on syytä arvioida ja laadittava mahdollista tehtävä listaa yleisesti mittauksen yhteydessä käytettävistä linjoista ja muista laitteista.

## **5.4 Kenttähuolto ja korjaus**

Kenttähuolto ja korjaukset ovat joillain laitteilla hyvin yleisiä, ja niitä ei aina voi välttää, jos laitteet ovat olleet käytössä useita vuosia ja niiden kuntoa ei pystytty korjaamaan oikein tai laitetta käytetään usein väärin tai moniin eri käyttötarkoituksiin. Environnement S.A. AF22m analysaattorilla on

yksitarkoitus, mutta sen käyttöpaikat ja ikä ja vääränlainen käyttö aiheuttaa suurimman osan ongelmista kentällä. Monia ongelmia, jotka syntyvät kentällä voidaan ehkäistä huoltosyklillä, joka on suunniteltu laitteen käytön näkökulmasta.

Kentällä tehtävät huollot ovat usein liittimien ja linjojen huoltotöitä. Datakaapeleita saatetaan liikutella paljon ja ottaa kiinni ja pois liittimistä. Vika on usein helppo havaita ja helppo korjata, ja sitä voidaan ehkäistä yleisellä huolellisuudella laitteen käytönyhteydessä. Käytettävät mittauslinjat ovat hyvin moninaisessa käytössä niitä saatetaan roikottaa ja heitellä huolimattomassa työssä, joten niihin tulee lähes pakolla vaurioita ajan kanssa. Linjojen tiiveyttä ja liittimiä on mahdollista korjata kentällä ja ongelma havaitaan usein. Tilanteissa, joissa mittauslinjojen tiiveys ei ole tyydyttävä, mittaus joudutaan usein uusimaan. Tilanne tuo rahallisia tappioita ja tuottaa lisä työtä mittaaajalle.

Analysaattoriin liittyviä vikoja on usein vaikea päätellä. Yleisenä ohjeena linjojen ja liittimien tarkistuksen jälkeen on hyvä tarkistaa pumpuntoiminta ja sammuttaa ja käynnistää mittalaite uudelleen, jotta laite suorittaa käynnistys syklin toistamiseen. Analysaattorin vikakoodeista saadaan usein selville paineiden ja lämpötilojen aiheuttamat yleiset ongelmat, jotka voidaan yrittää korjata mittauspaikalla mahdollisilla tavoilla. Analysaattorin tuntemattomat ongelmat voivat johtua usein laiterikoista tai huoltojenpuutteesta, joille ei voi kentällä tehdä juuri mitään ja aiheuttaa mittauksen keskeyttämisen, ellei varalaitetta ole mukana.

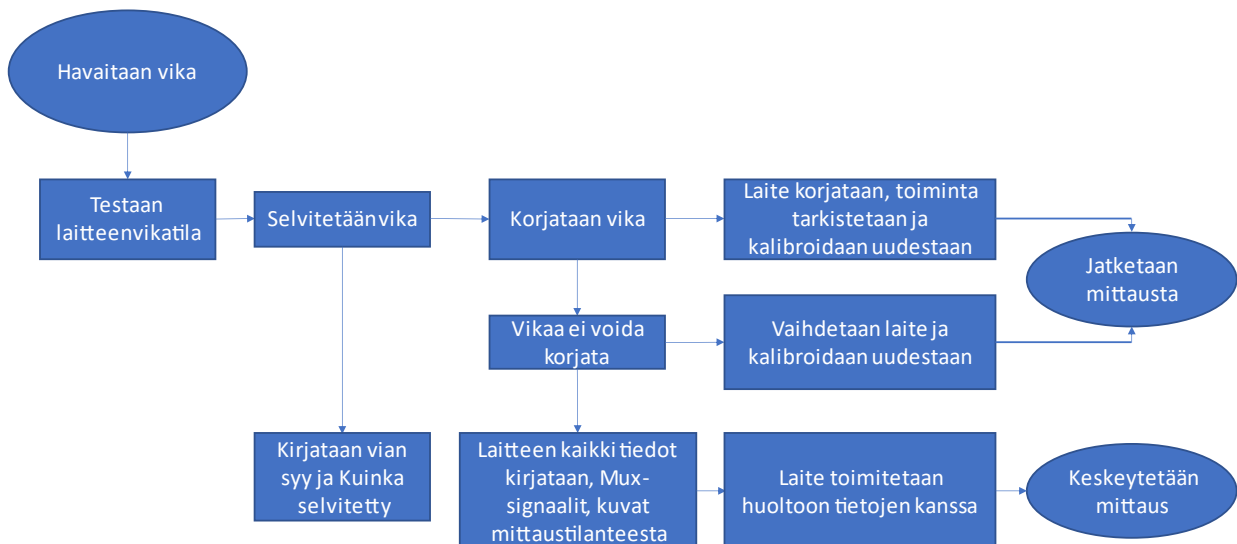
## **5.5 Huolto ja vikatilán selvitys**

Environnement S.A. AF22m analysaattorin vikatilojen selvitystä varten on laadittava järjestelmä, johon kirjataan vikatilat, joita voi syntyä kentällä analysaattorinkäytössä, järjestelmää voidaan käyttää yleisenä apukeinona vikojenselvityksessä mittauksen yhteydessä. Lisäksi kaikki ongelmat olisi hyvä kirjata järjestelmään, jotta voidaan tehdä pidempi kestoista arviota laitteen käytöstä ja huoltotarpeesta.

Vikatiloja, joita ei ole pystytty korjaamaan kentällä, on kirjattava järjestelmään mahdollisimman tarkasti. Järjestelmään on laadittava taulukko, joka kuuluu täyttää perusteena mittauksenkeskeyttämiseksi. Mahdollisemman paljon tietoa ja kuvia on kerättävä analysaattorin tilasta ja MUX sig-

naalit on hyvä kirjata järjestelmään, jos syntynyt ongelmaa ei pystytä luomaan uudelleen. Järjestelmä auttaa myös tiedonkeruussa toistuvista vikatiloista ja mahdollisista pitkäaikavälin vioista, joita ei ole pystytty määrittämään yhden vikatilan tai ongelman perusteella.

## Yleinen vian selvitys 'flowchart'



Kuvio 6 Yleinen vian selvitys 'flowchart'

(Vertti Huhta-aho 10.3.2023)

## 5.6 Huoltojen kriittisyys ja vaikutus yrityksen toiminnalle

Jotta huoltojen kriittisyys ja vaikutukset voidaan arvioida selkeästi ja todenmukaisesti on laitteen huolloista tehtävä kriittisyysarvio. Laiteviat, jotka johtavat mittauksen keskeytykseen ovat aina todella kriittisiä huoltoja, joita pitää pyrkiä estämään välittömällä toimenpiteillä. Jos laitteessa on havaittu vastaava vika, laite tulee huoltaa ennen seuraavaa käyttökertaa. Jos laitetta ei ole huollettu, laitteen toiminnan varmuudesta ei voida olla varma, ja laitteen vikatilan toistuminen mittauksen aikana on yleisempää.

Vaikutusten ja vikojen kriittisyyden arvioista voidaan laatia ennen datan keruuta yksinkertainen taulukointi, joka pohjaa mittalaitetta käyttävien mittausinsinöörien arvioihin ja asiantuntija näkemyksiin vioista. Taulukointi voidaan jakaa vikojen kriittisyyden kannalta. Ensimmäisenä viat, jotka pitää korjata välittömästi. Toisena viat, jotka voidaan huoltaa kentällä ilman hankaluuksia. Kolmantena viat, joiden tiedetään syntyvän usein erityisissä mittauskohteissa. Dokumentointi auttaa mitaajan valmistautumista erityisiin mittauskohteisiin ja mahdollistaa nopeamman vianselvityksen kentällä, joka pitää mittauksen etenemistä aikataulussa. Pitkään kestävä vianselvitys ja ongelman ratkaisu viivästyttävät mittauksen kulkua ja mittauksen aloitusajankohtaa, joka mahdollisesti viivästyttää koko mittauksen aikataulua huomattavasti tuoden suoraa taloudellista haittaa yritykselle.

## 6 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> ohjekirjan huoltosuunnitelmasta kerätyt toimenpiteet ovat hyvin poikkeavia laitteen käytöstä teollisuuden ilmanpäästömittauksissa. Opinnäytetyön tavoitteiden mukainen arvio analysaattorin huoltotoimenpiteistä arvioi ja selkeyttää Environnement S.A. AF22m SO<sub>2</sub> ohjekirjan antamien huoltojen tarkoituksia ja tavoitteita. Selkeää arviota useasta huoltotoimenpiteestä on vaikea antaa, ilman johdonmukaista tietoa laitteen käyttöajoista, käyttömenetelmistä ja käyttötiloista. Jokainen ohjekirjan huoltotoimenpide on käyty läpi otsikoiden 5.2.X alla. Toimenpiteet, joista ei ole pystytty laatimaan selkeää arvioita on pyritty avaamaan tarkemmin siten että mahdolliset jatkotoimenpiteet olisi helpompi laatia opinnäytetyönpohjalta.

Yleisinä vaikeuksina arvioinnin pohjalla on laitteen käyttöaika vuodessa, mittauksen ympäristöolosuhteet, laitteen huoltoihin liittyvät ajankohdat, huolloille varattu aika ja huoltojen tekijät. Laitteen käyttöaika on hyvin epäselvä analysaattorin ohjekirjassa ja opinnäytetyönteossa on käytetty oletusta laitteen käyttöajan olevan jatkuvatoiminenmittaus kiinteästi asennettuna sille suunnitellussa analysaattori tilassa pysyvästi. Tämä poikkeaa täysin teollisuuden päästömittauksien ympäristöstä olosuhteista, jotka ovat usein hyvin vaihtelevia ja likaisia verrattuna puhtaan analysaattori-huoneen tilaan. Ympäristöolosuhteista on hyvin vaikea antaa selkeää yksinkertaista kuvaa, sillä vaihtelevuus mittauskohteiden välillä on todella suuri. Vaihtelevuuden vuoksi on parempi määrittää mittauskohteet ns. 'likaisuuden mukaan' minkä tavoitteena on ottaa huomioon mittauslaboratorion sijainti ja mitattavan savukaasun ominaisuudet. Mittauskohteiden arviointi mahdollistaa suunnittelun ennaltaehkäisevien huoltojen varalle, ennaltaehkäisevä huoltopäivä voidaan varata

mittausta edeltävälle viikolle, jolloin laite katsotaan läpi ja varmistutaan analysaattorin ja muiden käytettävien laitteiden toimivuudesta ja linjojen tiiveyksistä. Huoltopäivää voidaan myös suunnitella ns. 'likaisen' mittauksen jälkeen tai lopuksi, jolloin analysaattorin kunto ei jää epäselväksi seuraavalle mittaukskerralle.

Analysaattorin ennaltaehkäisevät huollot ovat usein sidonnaisia mittauskohteeseen, jonka tiedetään olleen 'likainen' ja todella vaativa. Opinnäytetyön arvion perusteella on syytä pyrkiä vähentämään mittauskohteessa tapahtuvaa kenttähuoltoa, joka voi aiheuttaa viivästyksiä ja jopa mittauksen keskeytyksiä. Kenttähuoltoa on pyrittävä ehkäisemään ennaltaehkäisevällä toiminnalla, joka varmentaa mittauksen onnistumista etukäteen. Tämä toimenpide on arvioitava tarkemmin ja sisällytettävä mittauksien suunnitteluvaiheeseen.

Ennaltaehkäisevät huollot voi suorittaa ohjeistettu päästömittaaja. Ennaltaehkäisevistä huolloista on hyvä laatia suunnitelma ja selkeä ohjeistus linjojen ja muiden mittausvälineiden huolloista. Vaikeammat vikatilat on syytä pyrkiä aina korjaamaan ja selvittämään puhtaissa huoltotiloissa, joissa on tarvittavat työkalut ja mahdollisuus käyttää instrumentti ilmaa, jolla voidaan puhdistaa laitteen sisätilat ja muita käytettäviä osia ja linjoja. Vikatilojen vaihtelevuuden vuoksi on syytä kartoittaa henkilöt, joilla on tieto ja taitoa laitteen toiminnasta ja vian selvityksestä. Opinnäytetyö on pyrkinyt selkeyttämään vikojenselvitykseen liittyviä ongelmia.

Analysaattorin vuosittaista käyttöaikaa ei pystytä arvioimaan ilman sitä koskevaa dataa. Tietovuositaisesta käyttöajasta mahdollistaisi arvioinnin laitteen käyttöajan perusteella. Käyttöaikaa voidaan käyttää joko vertaamaan analysaattorin ohjekirjan antamiin huoltoväleihin tai laatimaan oma huolto- ja tarkastussykli, jonka pohjalta voidaan merkata mahdolliset huoltopäivät mittauskalenteriin yleisin käyttöajan arvion perusteella. Käyttöajan datan keruuseen voidaan käyttää jo olemassa olevia mittaustiedostoja, joista nähdään suoraan mittauksenkesto ja mitä laitetta on käytetty. Data on kuitenkin jo vanhaa ja siitä puuttuu tiedot vioista ja niiden arviosta tavalla, jota opinnäytetyö ehdottaa otettavaksi käyttöön. Lisäksi vanhojen mittaustiedostojen käyttö vaatii henkilön ja työaikaa käydä tiedostoja läpi ja taulukoi tiedot uuteen taulukkopohjaan, josta voidaan selvittää mittalaitteen käyttöaika vuodessa.

Jatkotoimenpiteenä voidaan aloittaa datan keruu laitekohtaisesti siitä, kuinka usein laitetta käytetään vuodessa, yleinen mittauskesto, vuosittainen käyttöaika sekä laitteen kokonaiskäyttöaika. Käyttöajan lisäksi kerättävä data vikatilojen ja huoltojen yhteydestä on syytä tehdä selkeäksi ja laitekohtaiseksi jotta laitteen huollettavuus ja vikatilojen määrittäminen selkeytyy ja parantuu ajan myötä. Yleisiä kohtia, joita kuuluu ottaa huomioon huolto/vikatietojen datan keruussa ovat vika, viankuvaus, vian selvitys, tehdyt toimenpiteet, arvioviasta, huoltopäiväkirja ja laitekohtaiset yleiset ennaltaehkäisevät huollot.

Datan keruun ja sen perusteella tehdyn arvioinnin jälkeen voidaan tarkastella paremmin laitteen toimintaa teollisuuden ilmapäästämittauksissa. Parempi arvio tarvittavista huolloista ja tieto laitteen käytöstä teollisuuden ilmanpäästämittauksissa varmentaa laitteen käytettävyyttä mittaustilanteessa ja ennalta ehkäisee laitevikoja ja mittauksen keskeytykseen johtavia vikoja. Datana keruun ja huolto/vikatietojen keruun päämääränä on laatia laitekohtainen arvio laitteen tilasta ja arvio tarvittavista huolloista ja huoltojen mahdollinen suunnittelu ympärivuotisesti niin että ennaltaehkäistävät viat eivät tule ilmi mittauksen aikana aiheuttaen suoraa taloudellista haittaa yritykselle.

## Lähteet

Ilmansuojeluyhdistys ry., VTT prosessit, P. 2007. Päästömittaajan käsikirja osa 1 Päästömittuustekniikan perusteet. Viitattu 15.11.2021. <https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>

Environnement S.A L'instrumentation de l'environnement. P. 2010. Technical manual AF22M UV Fluorescent Sulfur Dioxide analyzer. Viitattu 15.11.2021. [http://hydroflo.net/images/stories/PDF\\_Files/Manuals/EnvironnementSA/AF22MA\\_10.06.pdf](http://hydroflo.net/images/stories/PDF_Files/Manuals/EnvironnementSA/AF22MA_10.06.pdf)

Poltto ja palaminen toinen täydennetty painos. Raiko, Saatamoinen, Hupa, Kurki-suonio. International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto. P. 2002. Viitattu 26.12.2021.

Ohjeistuksia päästömittausten laadunvarmistukseen Suomessa: SFS-En 14181:n tulkinta ja raskasmetallien näytteenotto. Tuula Pellikka, Tuula Kajoliina, Olli Antson. Espoo VTT 2017. S.9. 4.10.2022.

DIREKTIIVIT EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2010/75/EU, annettu 24 päivä marraskuuta 2010, teollisuuden päästöistä (yhtenäistetty ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen) (uudelleenlaadittu toisinto). 17.12.2010. Viitattu 17.2.2023 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=SK>

Finas. Testauslaboratoriot. 15.11.2022. Viitattu 18.02.2023

<https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointialueet/Sivut/Testauslaboratoriot.aspx>

Finas. Vertailumittaukset. 21.4.2020. Viitattu 30.12.2022 <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Vertailumittaukset.aspx>

Laadukkaan mittaamisen perusteet, MIKES mittatekniikan keskus. S.12. Viitattu 05.01.2023 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>

Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiatuotantoyksiköiden ja -laitoksien ympäristösuojeluvaatimuksista 1065/2017. Ympäristöministeriö. 1.1.2018, Viitattu 18.02.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>

Finlex. Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527. Ympäristöministeriö. 01.09.2014. Viitattu 17.2.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

Finlex. Päästökauppalaki 8.4.2011/311. työ- ja elinkeinoministeriö. 01.05.2011. Viitattu 17.2.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110311>



Euroopan unioni. Direktiivi Euroopan Parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/75/EU. teollisuuden päästöistä (yhtenäistetty ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen) (uudelleen-laadittu toisinto). 24.11.2010. Viitattu: 17.2.2023 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=SK>

Diluting stack sampler model 797. EPM environmental & process monitoring. N.d. S. 2–3. Viitattu 26.3.2023

Rikkidioksidi. Ilmatieteen laitos. N.d. Viitattu: 30.3.2023 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rikkidioksidi>

Uusia ohjeistuksia päästömittausen laadunvarmistukseen (BeQu-hanke) Ilmansuojelupäivät 23.8.2017. Lappeenrata. Tuula Pellikka. Johtava tutkija. 23.8.2017. S.4. Viitattu 4.4.2023 <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:bab4e3df-028b-3d08-9038-182abe8ed954>