

PÄÄSTÖMITTAUSTEN KÄSIKIRJA

OSA 3

Laitetoimittajien näkemys päästömittalaitteiden
laadunvarmistuksesta



PÄÄSTÖMITTAUSTEN KÄSIKIRJA

OSA 3 : LAITEVALMISTAJIEN NÄKEMYKSET PÄÄSTÖMITTAUSJÄRJESTELMISTÄ JA KÄYTÄNNÖN LAADUNVARMISTUKSESTA

1. JOHDANTO	4
2. PÄÄSTÖMITTAUSANALYSAATTORIEN KÄYTÄNNÖN LAADUNVARMISTUS/Kontram Oy	4
2.1 Yleistä	4
2.2 Ylläpito alkaa jo hankintavaiheessa	4
2.3 Laitteiston ylläpitoon ja huollettavuuteen vaikuttavat tekijät	4
2.3.1 Ympäristöolosuhteet	5
2.3.2 Prosessikaasun koostumus ja ominaisuudet	6
2.3.3 Laitteiston näytteenotto ja näytteenkäsittelyn vaikutus huoltoon	6
2.3.4 Käyttötarvikkeet ja varaosat	7
2.4 Käyttöönotto ja koulutus	7
2.4.1 Käyttöönotto	7
2.4.2 Koulutus	7
2.5 Laitteiston kalibrointi ja ylläpito	8
2.6 Päästömittausjärjestelmän ylläpidon organisointi käytännössä	10
3. ELPI™ (ELECTRICAL LOW PRESSURE IMPACTOR)- SÄHKÖINEN ALIPAINEMPAKTORI / DEKATI OY	10
3.1 Varaaja	11
3.2 Impaktori	12
3.3 ELPI:n sovellusalueet	13
3.4 Näytteenotto ELPI:lle	13
3.5 ELPI:n toiminnan varmentaminen	13
3.6 Mittauksen tekeminen	14
4. FTIR päästömittauksissa / Temet Instruments Oy	14
4.1 Infrapunaspektroskopian perusteita	14
4.2 Eri infrapunatekniikat	15
4.3 FTIR-kaasuanalysointorin rakenne ja spektrin mittaaminen	15
4.4 Pitoisuuden määrittämisen perusteet	17
4.5 FTIR päästömittauksissa – kuuma ekstraktiivinen näytteenotto	18
4.6 Ennen laitehankintaa ja mittausta huomioitavia asioita	19
4.7 Mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen (EN ISO 14956, QAL 1)	21
4.8 Laadunvarmistus käytännössä	21
5. PÄÄSTÖMITTAUSTEN KÄYTÄNNÖN LAADUNVARMISTUS / PPM Systems Oy	22
5.1 Uusi tilanne	22
5.2 Koska laadunvarmistus alkaa	23
5.3 Toimittajan valinta	23
5.4 Laitteen tai laitteiston valinta	23

	3
5.5 Mittaus- ja asennuspaikan valinta	23
5.6 Dokumentointi	23
5.7 Asennus ja käyttöönotto	24
5.8 Koulutus	24
5.9 Kulutustavarat, varaosat tai laitteet	24
5.10 Tarkistuskaasut	24
5.11 Huoltosopimus	24

1. JOHDANTO

Päästömittausten käsikirja on jaettu kolmeen osaan. **Osassa 1** käsitellään laitoksella tehtäviä määräaikaismittauksia; niiden tekniikoita sekä mittausten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi osassa 1 esitetään päästömittauksiin liittyvää laskentaa ja epävarmuuden määrittämistä.

Osa 2 keskittyy päästöjen tarkkailuun ja kiinteiden asennettujen mittalaitteiden laadunvarmistukseen. **Osassa 3** esitetään laitevalmistajien näkemyksiä mittausjärjestelmiin ja käytännön laadunvarmistukseen liittyen.

2. PÄÄSTÖMITTAUSANALYSAATTORIEN KÄYTÄNNÖN LAADUNVARMISTUS/Kontram Oy

2.1 Yleistä

Päästömittausanalysointien mittausjärjestelmässä on kysymys varsin monimutkaisesta laitekokonaisuudesta, joka teknisesti koostuu useista eri osa-alueista, kuten näytteenotosta, näytteen siirrosta, näytteen käsittelystä ja lopuksi sen analysointi itse analysointilaitteella. Huoltoa ja mittausten seuranta tekevän henkilön on tunnettava tämän prosessin luonne ja toiminta sen eri vaiheissa.

Käytettävien laitteiden ylläpidolle asetetaan korkeat laatuvaatimukset, joita nyt uudet EU standardit vielä korostava. Huolto ei ole enää yksittäinen toimenpide vaan integroitu osa jatkuvaa mittaustapahtumaa.

Vain oikein valittu ja toimiva analysointilaitteisto täyttää tehtävänsä ja mikään analysointilaitteisto ei toimi ilman säännöllistä ylläpitoa.

2.2 Ylläpito alkaa jo hankintavaiheessa

Mittausjärjestelmän hankinta ja suunnitteluvaiheessa on jo huomioitava ylläpitoon liittyvät tekijät ja se, miten ne käytännössä toteutetaan. Hyvän lopputuloksen kannalta on ensiarvoisen tärkeää yhteistyö asiakkaan ja laitetoimittajan välillä.

Koska mittausjärjestelmä muodostuu kokonaisuudesta, ei ostajan kannata tehdä valintaa pelkän laitekustannuksen perusteella. Hankintavaiheessa on myös selvitettävä laitetoimittajan huolto ja ylläpitopalvelujen saatavuus ja laatu.

Mittausjärjestelmän soveltuvuus käyttökohteeseen määräytyy uuden standardin EN ISO 14956 mukaan, joten sen vaatimukset tulee ottaa huomioon. Keskeinen seikka tässä uudessa standardissa on määritellä mittauksen mittausepävarmuus sen tulevassa käyttökohteessa.

2.3 Laitteiston ylläpitoon ja huollettavuuteen vaikuttavat tekijät

Analysointi ja analysointilaitteet ovat perinteisesti koettu hankaliksi asioiksi huollon ja ylläpidon kannalta. Syynä tähän on monesti riittämätön asioihin perehtymättömyys ja ennakkoluulot, joiden seurauksena huollosta vastaavien henkilöiden ammattitaito ei ole aina päässyt kehittymään riittävälle tasolle.

Toinen ongelma, joka usein vaivaa varsinkin päästömittauksia, on yrityksessä vallitseva asennoituminen niihin. Jos analysaattorit eivät suoraan vaikuta prosessin toimintaan, ei niitä useinkaan koeta kovin tärkeiksi ja niiden ylläpitoon kiinnitetään vähän huomiota.

Laitteiston huollettavuuteen ja ylläpitoon vaikuttavat tekijät ja niihin liittyvät asiat voidaan jaotella seuraavasti:

- laitteiston ympäristöolosuhteet
- mitattavan kaasun koostumus
- laitteiston näytteenotto ja näytteenkäsittely
- yrityksen laatujärjestelmä
- käyttötarvikkeet ja varaosat

2.3.1 Ympäristöolosuhteet

Ympäristöolosuhteet on otettava huomioon suunniteltaessa uusien analysaattoreiden sijoituspaikkaa, sillä väärä paikan valinta voi aiheuttaa laitteiston lisääntyvää huollon, korjausten tarvetta ja lyhentää merkittävästi niiden elinikää.

Riippumatta valmistajasta useimmissa analysaattoreissa on avonainen kotelo rakenne eli analysaattorissa on puhallin ja tuuletusaukot pitämässä sisälämpötilat sallituissa rajoissa. Tämä asettaa analysaattoreiden sijoituspaikan suhteen rajoituksia, koska on estettävä pölyn ja haitallisten kaasujen pääsy kotelon sisälle. Analysaattorit ja näytteenkäsittely voidaan toki asentaa kaapistoon, joka on pölytiivis ja jäähdytetty. Mutta tämä ei aina ole toimiva ratkaisu, sillä analysaattoreille tehdään säännöllisiä kalibrointeja ja näytteenkäsittelyn huoltotoimenpiteitä. Tällöin pölytiivisyys sekä jäähdytys häiriytyvät, mikä voi aiheuttaa kalibroinnissa epätarkkuutta.

Mikäli kaapiston ympäristö on pölyinen, kuuma, meluinen ja pimeä, niin nämä kaikki vaikuttavat huoltomiehen toimintaan suorittaa tehtävänsä. Jos ympäristössä on esimerkiksi rikkiyhdisteitä, voi ongelmat ilmetä vasta muutaman vuoden päästä laitteen piirikorteilla ja liittimillä

Myös tärinä voi olla liian iso analysaattoreiden toiminnan kannalta. Varsinkin voimalaitoksissa isot puhallimet voivat aiheuttaa tärinää, joka saattaa irrottaa analysaattorin sisällä olevia piirikortteja.

InSitu - analysaattorit ovat sijoitettu savukaasukanavan sivulle, jolloin huoltotoimintaa voi vielä vaikeuttaa korkea sijoituspaikka ja talvella jään muodostus savupiippuun ja portaisiin, jotka ovat tällöin työn kannalta turvallisuustekijöitä.

Nykyisin analysaattorit pääsääntöisesti asennetaan omaan tilaan, joka on jäähdytetty ja joissakin tapauksissa ylipaineistettu. Tuleva ilma on myös suodatettu ja käytössä on ilmastointikone.

Ohessa on laitekaappien sijoituksessa huomioitavia seikkoja:

- riittävä ilmastointi/lämmitys, ympäristön lämpötila 15...25 °C
- lämpötilan vaihtelu korkeintaan +/- 10 °C / h
- riittävästi tilaa asennus ja huoltotöille
- valaistus vähintään 1000 lux
- pölypitoisuus 0,3 mg/m³ tai vähemmän
- värinä taajuudella 14 Hz tai alle, kokonaisamplitudi 0,5 mm tai vähemmän
- värinä taajuudella 14..100 Hz, kiihtyvyys 2 m/s² tai vähemmän
- kosteus 20...80% RH

Analysaattorien asennustilalla on merkitystä myös mittauksen kokonaispöytävarmuuden kannalta, joten sen tulee täyttää jo hankintavaiheessa määritellyt vaatimukset.

2.3.2 Prosessikaasun koostumus ja ominaisuudet

Mittausjärjestelmän valinnassa avainasemassa on aina mitattava prosessikaasu. Kaasun koostumuksessa jo yhdenkin komponentin vähäinen määrän tai olomuodon muutos voi vaikuttaa merkittävästi analyysilaitteiston kokoonpanoon.

Jos kaasun koostumus ei ole tarkasti tiedossa mittauslaitteistoa määriteltäessä tai koostumus muuttuu myöhemmin, niin tämä voi vaikuttaa ennakkohuoltoon ja ylläpitoon. Mittalaitteistoa määriteltäessä merkittäviä tekijöitä ovat:

- mitattavat kaasut - sekä taustakomponentit
- kaasun lämpötila ja paine
- vesipitoisuus, normaalisti vesihöyrynä
- kiintoaine- eli pölypitoisuus

Edellä esitetyt komponentit olisi syytä analysoida ja kirjata muistiin. Myös prosessin tilaa olisi syytä arvioida käytännössä useammassa erilaisessa ns. poikkeustilanteessa. Poikkeustilan arviointi mahdollistaa, että tuleva laitteisto on toimintakykyinen myös ylös- ja alasajo vaiheissa, jolloin valitettavan monesti myös päästöt ovat suurimmillaan.

Ylläpidon kannalta ongelmaksi saattaa muodostua kaasujen koostumuksen ja ominaisuuksien ymmärtäminen. Eri kaasujen ristikkäisvaikutukset ja mittausta häiritsevien komponenttien tuntemus auttaa monesti varmistamaan paremmin itse laitteen mittaustuloksen oikeellisuuden ymmärtämisen. Esimerkiksi HCl (vetykloridi) ja SO₂ (rikkidioksidi) ovat hyvin liukenevia kaasuja, kun taas CO hiilimonoksidi katsotaan veteen liukenemattomaksi kaasuksi.

Kun määritellään mittausten laatua ja laadunvarmistusta, on näillä seikoilla ja niiden oikein ymmärtämisellä merkittävä vaikutus itse lopputulokseen. Toinen yhtä merkittävä asia on käytetty näytteenottotekniikka ja sen toimivuus.

2.3.3 Laitteiston näytteenotto ja näytteenkäsittelyn vaikutus huoltoon

Mittausperiaatteeseen ja näytteenkäsittelyyn liittyvät asiat ja niiden ymmärtäminen ovat monesti vaikeaa. Syy seuraussuhteiden ymmärtäminen, kun edellyttää usein kemian, fysiikan ja itse laitetekniikan hyvää hallintaa.

Mittaustasojen sijoituksessa ja rakenteissa tulee huomioida näytteenotto paikalle sekä työskentelylle asetetut laatuvaatimukset (ISO 9096, ISO 10396 ja SFS 5625). Erityisesti tulee kiinnittää huomiota riittäviin suoriin osuuksiin ennen mittauspaikkaa, sekä vertailumittausten vaatimiin mittauspaikkojen järjestämiseen. Työskentelyn näillä mittauspaikoilla tulee olla riittävän helppoa ja turvallista.

Mittauspaikan tulisi olla sellaisessa paikassa savukaasukanavaa, jossa virtaukseen vaikuttavia häiriöitä on mahdollisimman vähän. Riittävä häiriötön etäisyys on viisi kertaa kanavan hydraulinen halkaisija ennen mittauspaikkaa ja sen jälkeen vähintään kaksi kertaa kanavan halkaisija.

2.3.4 Käyttötarvikkeet ja varaosat

Käyttötarvikkeet, kuten suodattimet ja tiivisteet, ovat analysaattorin huollossa jokapäiväisiä tarvikkeita. Niiden kulutus on riippuvainen sovelluksesta ja sen aiheuttamasta osien likaantumisesta. Näin ollen niitä on oltava jatkuvasti saatavilla.

Riippuen mittauksen kriittisyydestä prosessin kannalta tulee analysoida tarvittavien varaosien laajuus ja määrä. Mikäli ollaan tekemisissä prosessin kannalta hyvin kriittisen mittauksen kanssa, on varalaitte paras varaosa. Näin vältetään parhaiten mahdollisilta tuotantokatkoksilta.

2.4 Käyttöönotto ja koulutus

2.4.1 Käyttöönotto

Laitteiston käyttöönoton on hyvä tehdä toimittajan edustaja, koska jokainen uusi laitteisto vaatii kunnollisen tarkistuksen ja toiminnan läpikäymisen. Samalla käyttöönottaja tarkastaa järjestelmän asennuksen turvallisuuden ja toimivuuden kannalta. Tässä yhteydessä tehdään myös asennustarkastus pöytäkirja johon merkitään esim. havaittavat puutteet / korjaukset ja takuun alkamisajankohta.

Käyttöönoton tulee tapahtua siinä vaiheessa kun laitosta aletaan käyttää, jotta mittausten oikeellisuus voidaan todeta todellisessa tilanteessa. Sitä tulee myös jatkaa muutamia päiviä tämän jälkeen.

2.4.2 Koulutus

Käyttöönoton yhteydessä pidetään lisäksi koulutustilaisuus, johon olisi hyvä osallistua huoltohenkilökunnan lisäksi myös laitoksen käyttöhenkilökuntaa. Koulutuksessa käydään läpi teoriassa näytteenkäsittelyn ja analysaattoreiden toiminta. Tämän jälkeen katsotaan kentällä laitteiston toiminta, huoltotoimenpiteet ja kalibrointi.

Koulutuksessa käydään läpi myös mittalaitteiston mukana tuleva käyttö - ja huolto-ohjeet, josta selviävät seuraavat seikat:

- Analyysilaitteiston laajuus
- Yleiset ohjeet
- Asennusohjeet
- Tarkastukset ennen käyttöönottoa
- Käynnistys - ja käyttötoimenpiteet
- Määräaikaiset huoltotoimenpiteet
- Virhetilanteen selvitys
- Käyttötarvikkeet

2.5 Laitteiston kalibrointi ja ylläpito

Valmisteilla olevassa standardissa prEN 14181 käsitellään jatkuvatoimisten mittalaitteiden laadunvarmistusta ja siihen liittyviä menettelytapoja.

Siinä laadunvarmistus on jaettu neljään osaan:

QAL 1: Mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen (EN ISO 14956 mukaan)

QAL 2: Kiinteästi asennetun mittalaitteen kalibrointi referenssimenetelmän avulla.

QAL 3: Menetelmän stabiilisuus käytön aikana.

AST: Vuosittainen valvonta.

QAL 3

Tässä määritellään menettelytavat, joilla voidaan osoittaa, että automaattinen mittausjärjestelmä AMS on hallinnassa käytön aikana. Hallinta saavutetaan riittävän tiheällä nollan ja alueen kalibroinnilla. Saadut tulokset syötetään CUSUM korttiin (Cumulative Sum, kumulatiivinen kontrolliseuranta taulukko). Siinä otetaan huomioon analysaattorin edelliset kalibroinnit, sekä QAL 1 määritellyt arvoja, joiden perusteella CUSUM kortista saadaan tieto, pitääkö analysaattori säätää ja kuinka paljon.

CUSUM korttien käytöllä voidaan parantaa analysaattorin käytettävyyttä ja ennakoida huoltojen tarvetta.

Kalibroinnilla tarkoitetaan toimenpidettä jonka avulla tunnetuissa olosuhteissa saadaan selville mittausjärjestelmän näyttämien arvojen ja mitattavien suureiden todellisten arvojen välinen yhteys. Kalibrointi käsitteenä ei sisällä laitteen säätöä.

Kalibrointi suoritetaan kalibrointikaasulla, joka on jäljitettävissä kansainvälisiin mittanormaaleihin. Kalibrointikaasun mukana tulisi olla analysointi todistus, josta ilmenee mm:

- Analysoitu kaasun pitoisuus
- Tausta kaasu
- Kaasun viimeinen käyttöpäivä
- Pullon numero

Laitteiston toimivuuden ja mittausepävarmuuden kannalta olisi parempi, jos sama henkilö huoltaa ja suorittaa kalibroinnit. Tällöin voidaan vähentää inhimillistä tekijöistä aiheutuvia virheitä.

Dokumentointi ja arkistointi

Seuraavat dokumentit pitää olla helposti löydettävissä ja päivitettyinä:

- AMS kuvat
- Kaikki manuaalit (käyttö, huolto jne)
- Loki kirja, mahdollista toimintahäiriöistä
- Huolto raportit
- QAL 3 dokumentit
- Toimintaohjeet AMS huollosta, kalibroinnista

- Koulutus tiedosto
- Ennakkohuolto aikataulu
- Auditointi suunnitelma ja arkisto

Huollettavuus

Tällä varmistetaan AMS tehokas hallinta ja ylläpito. Siinä tulisi ottaa seuraavat asiat huomioon:

- Turvallinen ja puhdas työympäristö
 - Valaistus
 - Tilaa työskennellä
 - Ympäristöilman puhtaus ja lämpötila
- Vapaa ja turvallinen pääsy AMS:lle
- Asianmukainen varasto varaosia, työkaluja ja kalibrointikaasuja

Vuototesti

Vuototesti pitää suorittaa AMS manuaalin mukaisesti. Testin pitää kattaa koko näytteenkäsittely järjestelmä.

Nollan ja alueen tarkistus

Käytetään nolla ja aluekaasuja todentamaan AMS lukemien paikkansapitävyys.

Lineaarisuus

Analysaattorin lineaarisointi pitää suorittaa viidellä eri referenssikaasun pitoisuudella, sisältäen nollakaasun. Aluekaasu voi olla neljässä eri kaasupullossa tai se voidaan laimentaa yhdestä kaasuseoksesta. Lineaarisuustesti pitää suorittaa AMS kautta.

Yksilöllinen analysaattorin testaus tapahtuu seuraavasti:

- Nollakaasu
- Aluekaasu noin 20% kaksinkertaisesta päästörajasta
- Aluekaasu noin 40% kaksinkertaisesta päästörajasta
- Aluekaasu noin 60% kaksinkertaisesta päästörajasta
- Aluekaasu noin 80% kaksinkertaisesta päästörajasta
- Nollakaasu

Jokainen pitoisuusarvo pitää ottaa ylös vasta kolmen AMS vasteajan jälkeen. Jokainen pitoisuus mitataan kolme kertaa ja tulosten kirjaamisten väli pitää olla vähintään neljä kertaa AMS vasteajan suuruinen.

Tunnettujen häiriöiden vaikutus

Tunnettujen häiriöiden vaikutus pitää testata jos prosessikaasu pitää sisällään sellaisia komponentteja jotka häiritsevät mittausta. Nämä on tunnistettu / määritelty QAL 1:ssä.

Nollan ja alueen ryömintä

Nollan ja alueen ryömintätiedot voidaan hankkia QAL 3 arkistosta.

Aikavaste

AMS aikavaste tarkastetaan syöttämällä tunnettua kaasun pitoisuutta näytesondiin. Aikavaste ei saa olla suurempi kuin QAL 1:sä määritetty aika.

Raportit

Toiminnallisen testin tulokset pitää raportoida. Kaikki viat pitää kirjata ylös ja raportoitava. Jos viat ovat aiheuttaneet tuloksien virheellisyyden, on käyttäjän ryhdyttävä tarpeellisiin korjaaviin ja ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin.

2.6 Päästömittaussjärjestelmän ylläpidon organisointi käytännössä

Ylläpito on erottamaton osa toimivaa ja luotettavaa analyysimittausta. Se alkaa jo hankintavaiheessa jatkuen keskeytymättä toimitus- ja asennusvalvonnan kautta käyttöönottoon ja käyttäjien koulutukseen. Se ennakoii käyttötarvikkeet ja varautuu ennalta odottamattomien tapahtumien varalta erilaisiin toimintasuunnitelmiin.

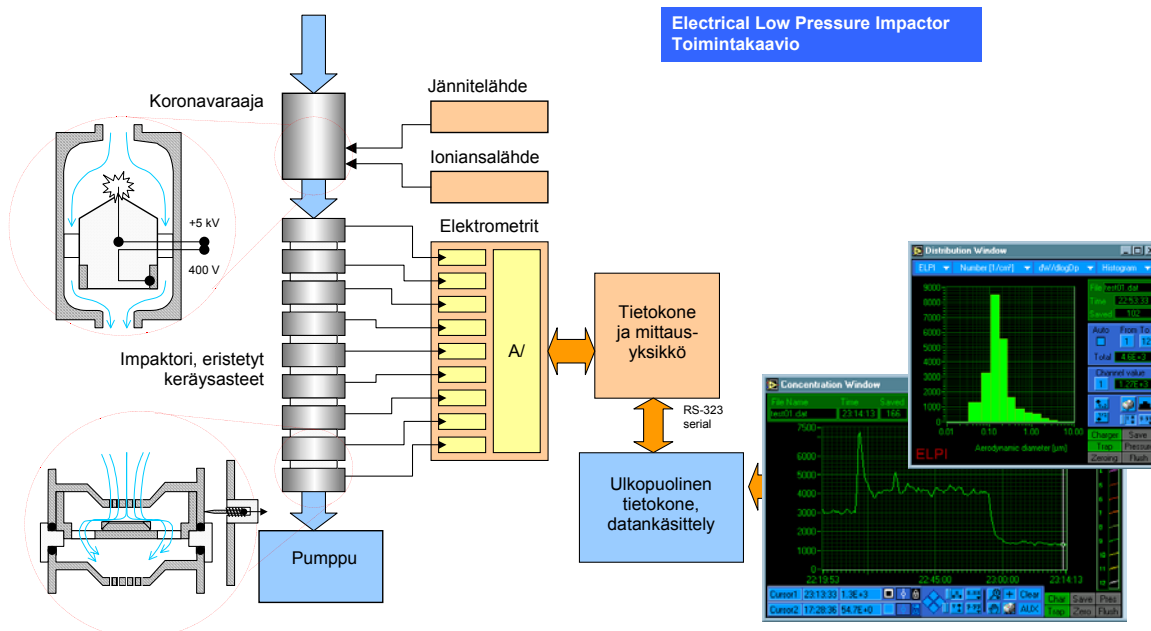
Perinteisesti teollisuudessa vallitsee käytäntö pyrkiä järjestämään laitteiden huolto omin voimin. Nyt syntyneessä uudessa tilanteessa tätä menettelyä ei enää kannata pitää itsestään selvyytenä – ei ainakaan ilman huolellista ja kaikkia seikkoja huomioon ottavaa tarkastelua.

Uusien standardien tuomat vaatimukset ja niiden täyttäminen korostaa edelleen päästömittausten erikoisluonnetta. Vaihtoehtona kannattaa harkita laitetoimittajan tarjoamaa yksilöllistä huoltosopimusta. Tässä yhteydessä kannattaa kustannuksia tarkastella kokonaisuuden kannalta, jolloin huoltosopimuksen korkeampi hinta omaan työhön nähden asettuu oikeaan valoon. Kun välilliset kustannukset ja riskit huomioidaan, tullaan sen tosiasiassa eteen, että huoltosopimus ammattitaitoisen laitetoimittajan kanssa tulee omia järjestelyjä edullisemmaksi.

3. ELPITM (ELECTRICAL LOW PRESSURE IMPACTOR)- SÄHKÖINEN ALIPAINIMPAKTORI / DEKATI OY

ELPITM (Electrical Low Pressure Impactor) – Sähköinen alipaineimpaktori

Sähköisen alipaineimpaktorin toimintaperiaate on yhdistää kaksi olemassaolevaa hiukkasmittauksissa käytettyä menetelmää: alipainekaskadi-impaktori ja hiukkasten varaaminen. Diodityyppinen koronavaraaja antaa hiukkasille tunnetun varaustilan, joka on riippuvainen hiukkasen koosta. Tämän jälkeen hiukkaset luokitellaan eri kokoluokkiin kaskadi-impaktorissa. Kokolajittelussa käytetty impaktori koostuu 13 asteesta jotka on sähköisesti eristetty toisistaan PTFE –eristeellä (teflon). Kertyessään kokonsa mukaiselle impaktoriasteelle hiukkanen luovuttaa varauksensa, josta aiheutuva sähkövirta vahvistetaan ja muunnetaan jännitteeksi elektrometrillä, ja A/D –muunnoksen jälkeen talletetaan. Hiukkasten mukanaan kuljettama keskimääräinen varaus tiedetään, jolloin mitatusta sähkövirrasta saadaan laskettua vastaava hiukkasten lukumäärä. Kuvasta 1 nähdään Sähköisen alipaineimpaktorin periaatekuva:

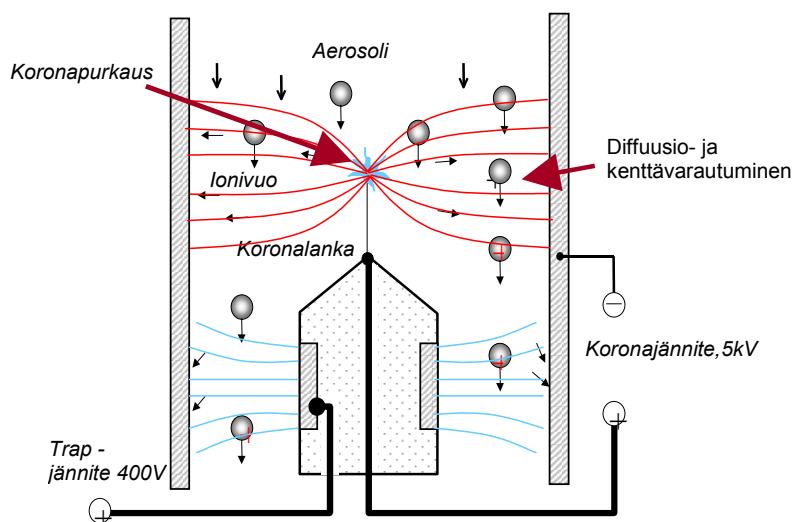


Kuva 1: Sähköisen alipaineimpaktorin toimintaperiaate.

3.1 Varaaja

Diodityyppinen varaaja koostuu sylinterimäisestä putkesta, jonka keskellä olevaan lankaan tuodaan jännite, joka saa aikaan koronapurkauksen langan ympärille. Tämä muodostaa suuren määrän ioneja, joista kullakin on alkeisvarauksen suuruinen varaus (1.602×10^{-19} C). Ionit lentävät varaajan maadoitettua seinämää kohti. Varaajan tuottama ionimäärä riippuu koronaan johdetusta sähkövirrasta.

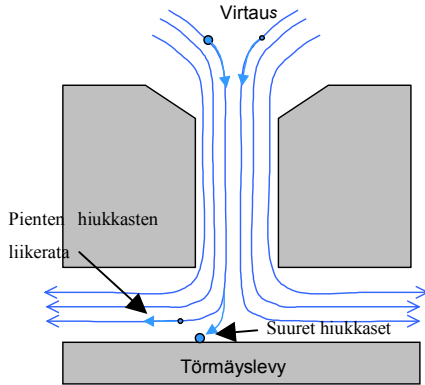
ELPIN varaajassa käytetään volframilankaa, joka on teflonilla eristetty varaajan rungosta. Hiukkasten kulkiessa varaajassa syntyneen ionipilven läpi ne saavat mukaansa varauksen, joka on riippuvainen hiukkasen koosta. Koska ionien määrä vaikuttaa hiukkasten saamaan varaukseen, pidetään varaajan koronavirta vakiona, eli varaaja on virtaohjattu. Yhden mikroampeerin koronavirta vastaa ELPIN tapauksessa noin 5 kV:n jännitettä koronalangassa. Koronapurkausalueen jälkeen varaajassa on 400 V:n jännitteellä aikaansaatu sähkökenttä, jonka tarkoitus on poistaa virtauksen mukana kulkevat ionit ja alle $0.03 \mu\text{m}$ kokoiset hiukkaset. Varaajan kaaviokuva on esitetty kuvassa 2. Käyttämällä sähköistä suodatinastetta impaktorin jälkeen, voidaan ELPIN mittausalue laajentaa kattamaan jopa 7nm kokoiset hiukkaset.



Kuva 2: ELPIssä käytetty diodivaraaja.

3.2 Impaktori

Impaktorin kyky kokoluokitella hiukkaset perustuu mitattavan aerosolin jyrkkään kääntymiseen, jolloin riittävän pienet hiukkaset pystyvät seuraamaan kaasuvirtausta, mutta massaltaan suuremmat hiukkaset törmäävät esteeseen. Toimintaperiaate selviää kuvasta 3:



Kuva 3: Impaktorin periaatekuva.

Hiukkasten kertyminen alustalle riippuu hiukkasen inertiaasta sekä kitkasta hiukkasen ja ympäröivän kaasun välillä. Mikäli hiukkasen massavoimat ovat suurempia kuin kitkavoimat, erkanee hiukkanen kaasuvirrasta ja törmää keräysalustalle.

ELPIN impaktorissa on 13 astetta, joiden nimelliset kokorajat ovat taulukossa 1. Ensimmäinen aste toimii esierottimena, joka poistaa yli 10 μm kokoiset hiukkaset. Sähköinen mittaus suoritetaan 12:lle asteelle. Nimellinen tilavuusvirta on 10 litraa minuutissa ja $\sqrt{Stk_{50}}$ -arvot keskimäärin 0.47. On myös mahdollista lisätä asteen 1 jälkeen päätesuodatin, joka kerää kaikki alle 30 nm kokoiset hiukkaset. Suodattimelle kertyvä hiukkasmäärä voidaan mitata sähköisesti kuten muiltakin asteilta, mutta asteesta 12 (6.6 μm) joudutaan tällöin luopumaan.

Taulukko 1: Impaktorin nimelliset katkaisukohtat ilman suodatinastetta ja suodatinasteen kanssa.

Aste	$d_{50\%}$ [μm] (ei suodatinastetta)	$d_{50\%}$ [μm] (suodatinaste)
1	0.030	0.007
2	0.060	0.030
3	0.108	0.060
4	0.163	0.108
5	0.255	0.163
6	0.396	0.255
7	0.642	0.396
8	0.99	0.642
9	1.62	0.99
10	2.42	1.62
11	4.46	2.42
12	6.63	4.46
13	10	10

Mitattujen virta-arvojen muuntaminen halutuksi hiukkaskokojakaumaksi on kaksiosainen laskentaprosessi. Varaajan tehokkuuskäyrän avulla saadaan laskettua virta-arvoista hiukkasten lukumäärä, ja olettamalla hiukkaset pyöreiksi kappaleiksi saadaan tästä laskettua kokonaishalkaisija,

pinta-ala, tilavuus ja massa. Koska laitteen herkkyys on voimakkaasti riippuvainen hiukkaskoosta, tulee lisäksi huomioida diffuusion ja tilavarauksen aiheuttamat häviöt impaktorissa.

3.3 ELPI:n sovellusalueet

ELPIllä voidaan mitata hiukkasia kokoalueella 7nm-10µm. Laite on reaaliaikainen, mikä tarkoittaa, että hiukkasten lukumääräkonsentraatiosta ja jakaumasta saadaan tietoa kerran sekunnissa. Yleisesti laitteen aikaresoluutioksi ilmoitetaan 2-3 sekuntia, jolloin otetaan huomioon myös elektroniikan aikavakiot ja näytteen kulku laitteiston läpi. Laitteen toimintaperiaate sallii myös hiukkasten kemiallisen analysoinnin mittauksen jälkeen.

Alun perin ELPI suunniteltiin käytettäväksi voimalaitosmittauksissa. Voimalaitoksissa ELPI:llä voidaan kerätä reaaliaikaista tietoa prosessinohjauksen vaikutuksesta päästöjen hiukkaspitoisuuteen ja -kokojakautumaan. Polttotekniikan kehitystyössä laitetta on menestyksekkäästi sovellettu sekä kaasumaisten, nestemäisten että kiinteitä polttoaineita polttavien prosessien pienhiukkaspäästöjen tutkimukseen. Laitteen käyttö on yleistynyt voimakkaasti myös ajoneuvoteollisuudessa, jossa reaaliaikaisesta mittauksesta on hyötyä erityisesti mitattaessa transienttijaosykylien päästöjä. ELPIllä voidaan pakokaasujen lisäksi mitata myös esim. ulko- ja sisäilman hiukkaspitoisuuksia, hitsauksessa ja muissa teollisissa prosesseissa syntyviä hiukkasia, lääkeinhalaattoreiden hiukkasia ja hiukkasten varausta sekä erilaisten hiukkassuodattimien tehokkuuksia.

3.4 Näytteenotto ELPIlle

Savu- ja pakokaasuissa hiukkaspitoisuudet vaihtelevat kevyiden bensiinijoneuvojen 10 mg/m³ soodakattiloiden 20000 mg/m³ välillä. Vastaavat luvut hiukkasten lukumääräpitoisuuksina voivat vaihdella välillä 10⁷-10¹⁰. Lisäksi kaasujen kosteus ja lämpötila vaihtelevat huomattavasti. Jotta samoilla mittalaitteilla voitaisiin mitata reaaliajassa eri savu- tai pakokaasujen pitoisuuksia, on näytekaasua laimennettava. ELPIä käytettäessä näytteen maksimi lämpötilan tulee olla 40 °C, mikä voidaan saavuttaa hallitulla laimennuksella.

Hallitulla laimennuksella voidaan joko säilyttää höyryt (esim. vesihöyry tai hiilivedyt) ja hiukkaset eri olomuodoissa, tai tiivistää höyrymäiset yhdisteet. Perinteisesti savukaasunäytteet on pyritty pitämään savukaasun lämpötilassa, jolloin höyryt säilyvät höyryinä. Tässä menetelmässä savukaasunäyte laimennetaan ensin kuumassa, jolloin höyryjen osapaineet pienenevät eli kastepisteet laskevat, minkä jälkeen savukaasujen lämpötila voidaan laskea toisessa laimennusasteessa. Tämän menetelmän mukainen näytteenotto voidaan toteuttaa esimerkiksi kahdella Dekati ejektorilaimentimella (ensimmäinen lämmitettynä) tai Dekati Fine Particle Samplerilla.

Toinen menetelmä on laimentaa savu- tai pakokaasu kylmällä laimennuskaasulla. Tässä tapauksessa ensimmäisessä asteessa aiheutetaan höyryjen tiivistyminen alle 50 nm hiukkasiksi eli nukleoituminen. Mahdollisella toisella laimennusasteella pienennetään hiukkasten lukumääräpitoisuutta niin, ettei niiden keskinäinen törmäily muuta merkittävästi kokojakamaa, ja varmistetaan laimennuksen riittävyys mittalaitteille.

3.5 ELPI:n toiminnan varmentaminen

ELPI-laitteiston laadunvarmentamiseen liittyy kolmivaiheinen huolto-ohjelma. Päivittäisiin huoltotoimenpiteisiin kuuluvat impaktorin keräysalustojen vaihtaminen sekä impaktorin ja varaajan puhdistus. Lisäksi laitteen nollassa täytyy tarkistaa, sekä laitteen tiiveys varmistaa aina impaktorin purkamisen ja kokoamisen jälkeen.

Kerran kuukaudessa suositellaan tehtävän laajemmat huoltotoimenpiteet, jotka sisältävät edellä mainittujen lisäksi impaktorin virtauksen tarkistamisen sekä varaajan perusteellisemman pesun ja sähköisten kontaktien tarkistamisen. Kerran kahdessa vuodessa laite suositellaan lähetettävän laitevalmistajalle perusteellisempaan huoltoon ja kalibrointiin. Toimenpiteiden yksityiskohtaisemman kuvaukset löytyvät ELPI- manuaalista, jonka ohjeita seuraamalla laitteiston toiminta voidaan varmentaa.

3.6 Mittauksen tekeminen

Mitattaessa kuumaa näytekäasua, on erityisesti huomioita näytteenottojärjestelmän toimivuus. Näyte otetaan kanavasta isokineettisesti, jonka jälkeen se johdetaan laimennusyksikköön. Ensimmäinen laimennin lämmitetään näytekäasun lämpötilaan (max 400°C), toinen laimennin pidetään huoneen lämpötilassa (n. 20°C). Myös ensimmäisen laimentimen laimennusilma sekä näytteenottolinja kanavasta ensimmäiselle laimentimelle lämmitetään näytteen lämpötilaan. Näytteenottolinjassa ei tule olla lainkaan kylmiä kohtia. Toisesta, kylmästä, laimentimesta näyte johdetaan ELPIlle mahdollisimman lyhyellä hiukkasnäytteenottoon sopivalla putkella, esim. ruostumaton teräs tai Tygon®.

Ennen ELPI:n käynnistämistä laitteen impaktori- ja varaajaosat puhdistetaan ja impaktoriin valitaan sopiva keräysalustamateriaali hiukkasille. Alustana voidaan käyttää esimerkiksi Apiezon-L rasvalla rasvattuja alumiinifolioita. Tämän jälkeen laite voidaan koota ja kytkeä verkkojännitteeseen sekä pumppuun liittämällä venttiili ELPI:n ja pumppun väliin. Lisäksi ELPI:n ohjaamista varten laitteeseen kytketään tietokone RS-232 liitännällä, ja tietokoneeseen asennetaan ELPIVI mittausohjelmisto.

Kun ELPI on kytketty näytteenottolaitteistoon, voidaan aloittaa laitteen toiminnan varmentaminen. Laite ja siihen kytketty pumppu ja tietokone voidaan kytkeä päälle. ELPIVI mittausohjelma käynnistetään oikein asetusarvoin mittaustietokoneella, ja mittaus ja tarvittavat laadunvarmennustestit voidaan aloittaa. Ensimmäiseksi suoritetaan tiiveystesti, jolla voidaan todeta, ettei laitteisto vuoda. Tämän jälkeen laitteiston läpi puhalletaan hiukkaspuhdasta ilmaa *Flush* –toiminnon avulla, ja laitteen nollassot varmennetaan *All Zero* –toiminnolla. Tämän jälkeen valitaan oikea mittausalue tarpeista riippuen, ja säädetään 100mbar ELPI:n alimman impaktoriasteen alle.

Varsinainen mittaus voidaan aloittaa kytkemällä *Flush*-toiminto pois päältä, jolloin näytevirtaus virtaa laitteen sisään, ja ELPI alkaa mitata hiukkas-konsentraatiota reaaliaikaisesti. Konsentraatiotiedot tallennetaan ELPI:n kytketylle tietokoneelle käyttämällä ELPIVI mittausohjelman *Save* –toimintoa. Mittauksen aikana laitteen toimintaa voidaan seurata ELPIVI mittausohjelmiston avulla. Mahdollisissa virhetilanteissa ohjelmisto ilmoittaa häiriöistä. Mittauksen aikana tulisi tarkkailla koronavaraajan jännite- ja virta-arvoja, sekä painetta impaktorin alimman asteen alla (100 ±5mbar).

Mittauksen jälkeen laitteiston nollassot tarkistetaan, jotta voidaan varmentaa mittauksen onnistuminen. Ennen seuraavan mittauksen aloittamista laitteisto puhdistetaan ja keräysalustat vaihdetaan tarvittaessa.

4. FTIR päästömittauksissa / Temet Instruments Oy

Laitetekniikan ja tietokoneiden kehittyminen ovat mahdollistaneet FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) laitteiden käytön vaativissa päästömittaussovelluksissa. FTIR:n avulla voidaan määrittää yhdellä analysaattorilla jatkuvatoimisesti useita eri yhdisteitä samanaikaisesti.

4.1 Infrapunaspektroskopian perusteita

Lähes kaikki kaasut absorboivat infrapunavaloa kullekin kaasulle ominaisilla aallonpituuksilla. Mittaamalla kullakin aallonpituudella kaasun absorboiman valon määrä saadaan aikaan spektri,

molekyylin sormenjälki. Millään kahdella eri aineella ei ole täysin samanlaista infrapunaspektriä. Tuntemattoman kaasuseoksen spektristä voidaan tunnistaa seoksen sisältämät kaasut ja laskea niiden pitoisuudet, kun tunnetaan seoksen sisältämien puhtaiden kaasujen spektrit.

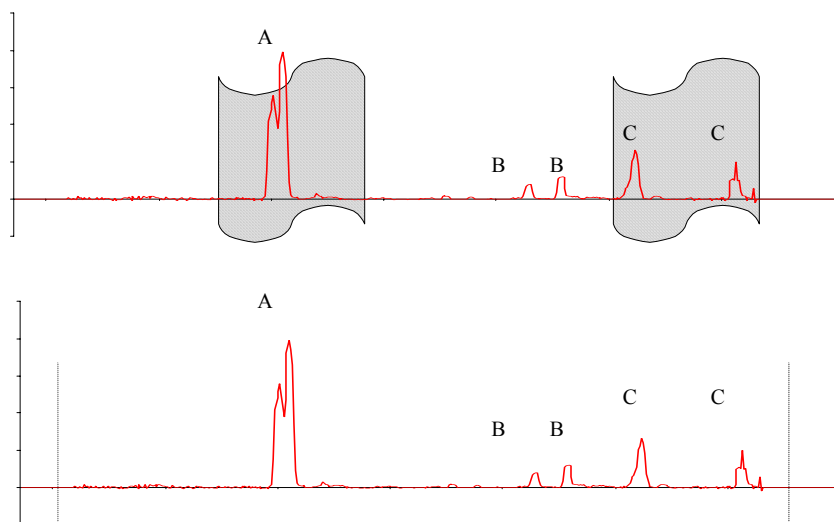
IR-tekniikan avulla voidaan tunnistaa lähes kaikki yhdisteet, vain kaksiatomisilla samaytimisillä molekyyleillä (O_2 , N_2 , Cl_2 , H_2) ja jalokaasuilla ei ole IR-spektriä.

Pitoisuuden määrittäminen perustuu absorbanssin ja konsentraation väliseen riippuvuuteen (Beerin laki).

4.2 Eri infrapunatekniikat

NDIR (non-dispersive infrared) analysaattori mittaa vain tiettyä aallonpituuskaistaa. Tällöin ei saada informaatiota spektrin muista osista (Kuva 4)

FTIR (Fourier transform infrared) analysaattori mittaa kaikki IR aallonpituudet samanaikaisesti ja FTIR:n avulla voidaan siten mitata useita komponentteja samanaikaisesti.

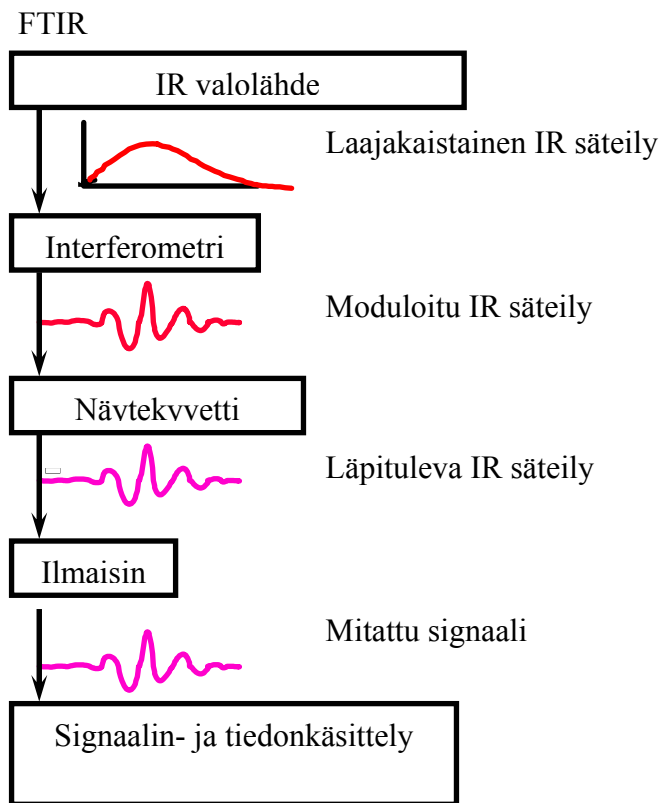


Kuva 4. NDIR- ja FTIR-tekniikoiden mittausasetelmat

NDIR- analysaattoreissa käytetään optisia suodattimia, joiden avulla rajataan käytettävä aallonpituusalue (ylempi kuva). Tästä syystä NDIR analysaattoreilla pystytään normaalisti mittaamaan vain muutamia yhdisteitä eikä mahdollisista tuntemattomista yhdisteistä (B) saada tietoa. FTIR analysaattorilla mitataan koko IR alue samanaikaisesti, jolloin kaikki yhdisteet, joilla on absorptiospektri voidaan määrittää (alempi kuva).

4.3 FTIR-kaasuanalysaattorin rakenne ja spektrin mittaaminen

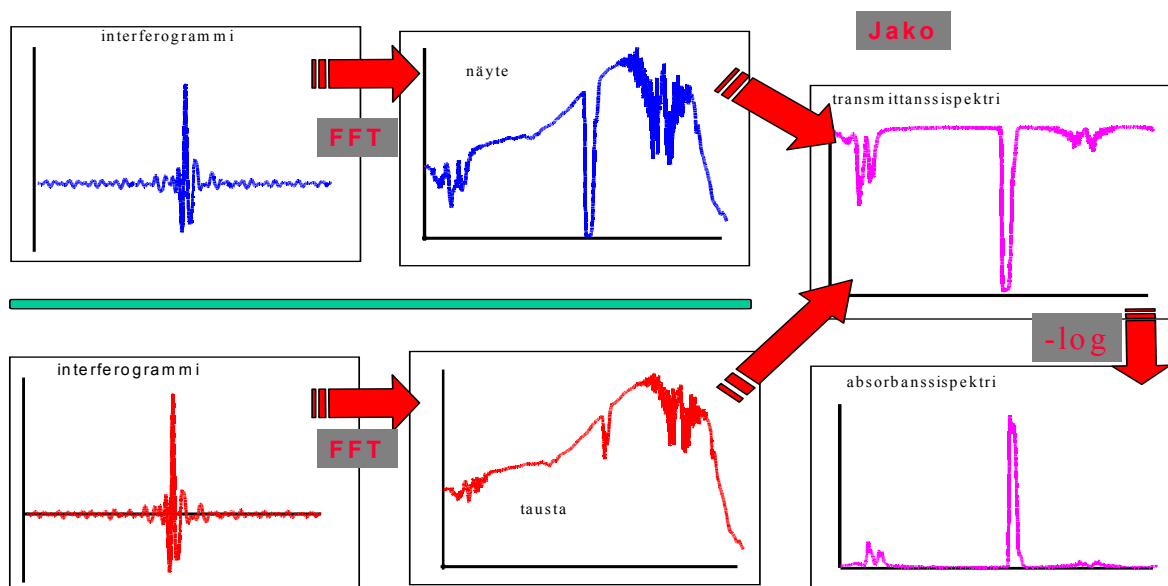
FTIR kaasuanalysaattori koostuu viidestä pääkomponentista: infrapunavalolähde, interferometri, näytekammio eli kyveti, infrapunailmaisin, signaalinkäsittelyelektronikka ja tietokone, jossa on analysointiohjelma (kuva 5).



Kuva 5. FTIR-analysoijan toimintaperiaate

Infrapunavalolähde lähettää infrapunavaloa interferometriin, joka moduloi saapuneen valon. Moduloitu infrapunavalo läpäisee näytekammion eli kyvetin, jossa näytekaasu absorboi infrapunavaloa näytteelle ominaisilla aallonpituuksilla. Tämän jälkeen infrapunavalo osuu infrapunailmaisimeen, josta saadaan sähköinen signaali, interferogrammi, joka digitoidaan signaalinkäsittelyelektronikassa ja muunnetaan tietokoneessa automaattisesti matemaattisella Fourier-muunnoksella niin sanotuksi yksisädespektriiksi. Nollakaasulla (joka ei siis absorboi infrapunavaloa; esimerkiksi typpi) mitattua yksisädespektriä sanotaan taustaspektriiksi.

Laskemalla näytekaasulla ja nollakaasulla mitatun yksisädespektrien suhde saadaan ns. transmittanssispektri. Transmittanssispektri muunnetaan absorptanssispektriiksi, josta analyysiohjelma analysoi kaasujen pitoisuudet (Kuva 6). Päästömittausanalysoijissa kaikki nämä vaiheet tapahtuvat automaattisesti.



Kuva 6. Spektrin mittaaminen.

Pitoisuuden määrittäminen perustuu absorbanssin ja konsentraation väliseen riippuvuuteen (Beerin laki). Itse analyysissä käytetään erilaisia tilastollisia menetelmiä. Kaasumaisille näytteille voidaan käyttää klassisen pienimmän neliösumman menetelmää (CLS), jossa näytteseos selitetään eri yksikomponenttikalibrointispektrien lineaarikombinaationa. CLS menetelmän etuja ovat helppo kalibrointi verrattuna muihin tilastollisiin menetelmiin sekä mahdollisuus tunnistaa näytteessä mahdollisesti olevia tuntemattomia yhdisteitä. Toisaalta, jotta analyysi toimii luotettavasti, on laite kalibroitava oikeille aineille eli näytematriisi on tunnettava.

4.4 Pitoisuuden määrittämisen perusteet

Pitoisuuden määrittäminen perustuu absorbanssin ja konsentraation väliseen riippuvuuteen (Beerin laki):

$$A = \epsilon c l \quad (1)$$

missä

- A = absorbanssi
- ϵ = molekyylin absorptiviteetti
- c = konsentraatio
- l = absorptiomatka

Itse analyysissä käytetään erilaisia tilastollisia menetelmiä. Kaasumaisille näytteille voidaan käyttää klassisen pienimmän neliösumman menetelmää (CLS), jossa näytteseos selitetään eri yksikomponenttikalibrointispektrien lineaarikombinaationa. CLS menetelmän etuja ovat helppo kalibrointi verrattuna muihin tilastollisiin menetelmiin sekä mahdollisuus tunnistaa näytteessä mahdollisesti olevia tuntemattomia yhdisteitä. Toisaalta, jotta analyysi toimii luotettavasti, on laite kalibroitava oikeille aineille eli näytematriisi on ainakin pääosin tunnettava.

Laitteen nollakalibrointi tehdään IR inaktiivisella kaasulla, yleensä typellä, päivittäin. Nollakalibrointi kompensoi muutokset analysaattorissa ja sen signaalitasossa. Laitteen aluekalibroinnit (tehdaskalibroinnit) tehdään monipistekalibrointina yksikomponenttikalibrointikaasuilla kattaen koko mittausalueen. Aluekalibrointi tarkistetaan säännöllisesti kalibrointikaasulla esim. kerran viikossa. Tarkistuskaasuksi voidaan valita jokin prosessille olennainen kaasu.

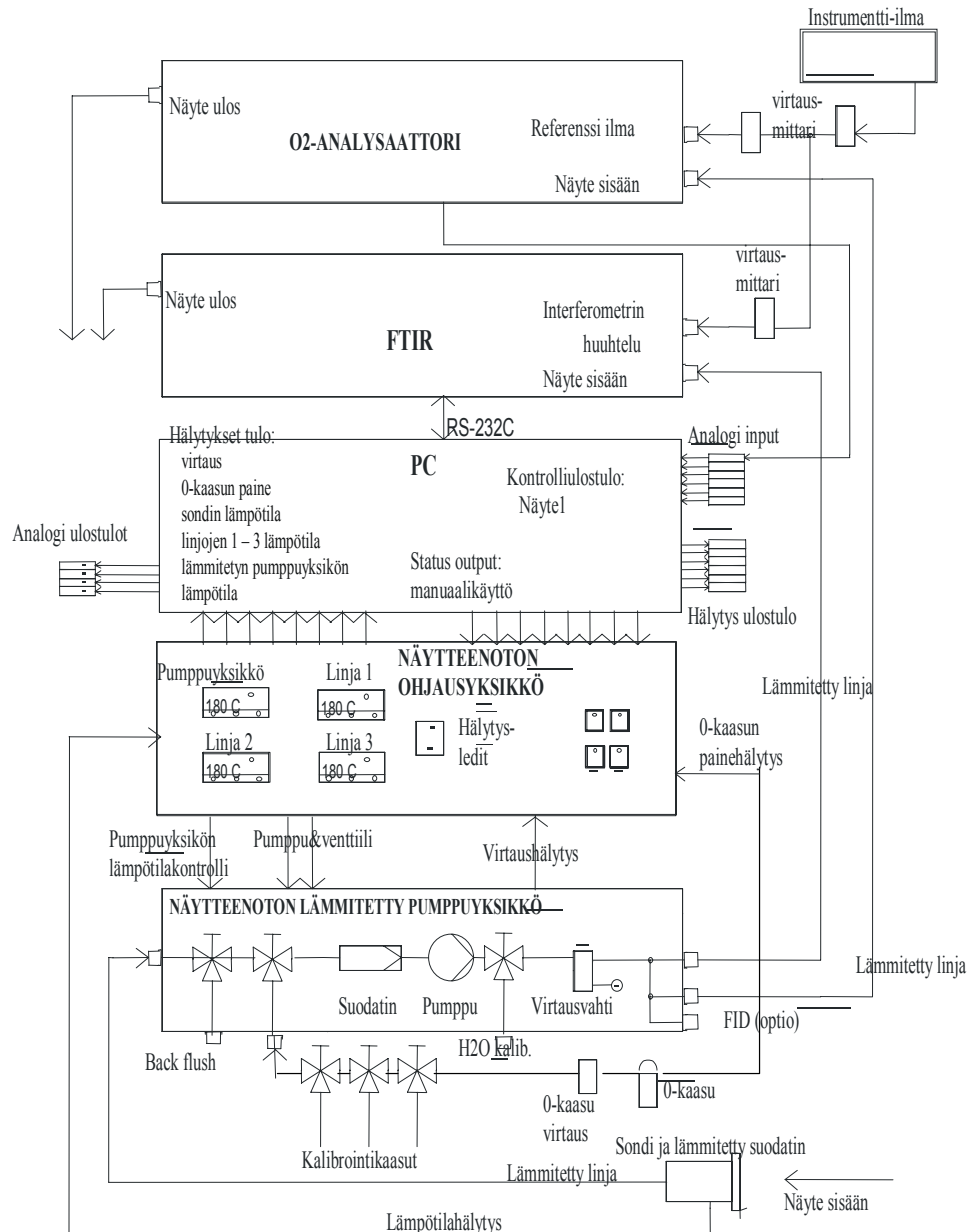
Syötettävän kalibroitikaasun lämpötilan ja paineen tulee olla sama kuin analysaattorille tulevan näytekaasun lämpötila ja paine. Tyypillisesti FTIR:n kanssa käytetään kuumaa ekstraktiivista näytteenottoa, missä näytekaasu virtaa näytteenottosysteemin kanssa samaan lämpötilaan lämmitetyn näytekyvetin lävitse.

Mitattavien komponenttien lisäksi kalibroidaan myös mahdolliset näytteessä olevat vuorovaikuttavat yhdisteet. Jos näytteistä löytyy tunnistamattomia yhdisteitä tai jos mitattavien yhdisteiden pitoisuudet ovat yli mittausalueen, on mahdollista lisätä uusia kalibrointispektrejä sovellukseen ja analysoida talletetut näytespektrit uudelleen.

4.5 FTIR päästömittauksissa – kuuma ekstraktiivinen näytteenotto

FTIR tekniikalla voidaan mitata useita komponentteja samanaikaisesti ja jatkuvatoimisesti. Perinteisten päästömittauskomponenttien (CO, CO₂, NO_x, SO₂) lisäksi FTIR:llä on mahdollista mitata mm. H₂O, HCl, HF, NH₃, eri hiilivetyjä jne. Hapen mittaamiseen tarvitaan kuitenkin erillinen analysaattori.

Tyypillisesti käytetään kuumaa ekstraktiivista näytteenottoa, jolloin vältytään mahdollisilta kuivauksen aiheuttamilta näytehäviöiltä. Käytettäessä kuumaa ja kosteaa ekstraktiivista näytteenottoa on huolehdittava, että koko näytteenottoyksikön lämpötila on riittävän korkea, jottei kondensoitumista pääse tapahtumaan missään kohtaa mittausjärjestelmää. Kondensoituneen näytteen uudelleen höyrystäminen ei onnistu näytteenottosysteemissä tai analysaattorissa. Tyypillisesti koko näytteenotto ja analysaattorin näytekyvetti on lämmitetty 180 °C:een. Kiinteässä systeemissä on myös oltava riittävät turva- ja hälytystoiminnat mahdollisia häiriötilanteita varten. Kuvassa 7 on esitetty erään jatkuvatoimisen FTIR kaasunmittausjärjestelmän kaaviokuva.



Kuva 7. Erään jatkuvatoimisen FTIR kaasunmittausjärjestelmän kaaviokuva

4.6 Ennen laitehankintaa ja mittausta huomioitavia asioita

Näytekaasun koostumus

- Mitattavat komponentit, mahdolliset vuorovaikuttavat komponentit ja mittausalueet sekä normaalitilanteessa että mahdollisissa häiriötilanteissa.
- Pölypitoisuus, kaasun lämpötila, paine, kastepiste

Näiden tietojen avulla voidaan määrittää sopiva laitekoonpano ja tarvittavat kalibroinnit

Näytteenottopiste

- Näytteen edustavuus (esim. SFS 5625)
- Oikean sondin valinta, hiukkassuodattimen vaihdettavuus
- Riittävä eristys sondin lämmitettävälle suodattimelle
- Lämmitettävien linjojen todellinen lämpötila ääriolosuhteissakin
- Riittävä työskentelytila ja huollettavuus
- Vertailumittausmahdollisuus

Analysaattoreiden sijoittelu – analysaattorikaappi

- Riittävä ilmastointi
- Pölypitoisuus, lämpötila, kosteus, korrodoivat olosuhteet, ympäröivät kaasut, räjähdysvaara
- Tärinä
- Huollettavuus
- Vertailumittausmahdollisuus

Mittausjärjestelmän suojaus ja käytettävyys

- Oikeat materiaalit: sondi, suodattimet, linjat jne.
- Ei kylmiä kohtia näytteenotossa
- Automaattinen nollakaasuhuuhtelu sähkökatkon tai käyttökatkon aikana
- Lämpötilahälytykset sondista, kaikista lämmitetyistä linjoista, lämmitetystä pumppuyksiköstä ja analysaattorista
- Näytekaasun virtaushälytys
- Nollakaasun painehälytys
- Tarvittaessa konsentraatiohälytykset
- Kaukokäyttömahdollisuus modeemin tai internetin kautta
- Käyttötarvikkeet (esim. suodattimet ja tiivisteet) ja varaosat
- Huollon saatavuus ja mahdollinen huoltosopimus

Oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan minimoida mahdolliset näytehäviöt ja kemialliset reaktiot mittausjärjestelmässä sekä pidentää laitteiston huoltoväliä ja käyttöikä. On kuitenkin huomattava, että oikein valituista materiaaleista huolimatta järjestelmä vaatii jatkuvaa ylläpitoa. Tämän vuoksi on varmistettava käyttötarvikkeiden saatavuus sekä tarvittaessa nopea huolto.

Käytettäessä kuumaa ja kosteaa ekstraktiivista näytteenottoa on huolehdittava, ettei näyte kondensoidu järjestelmässä. On varmistettava ettei järjestelmässä ole kylmiä kohtia. Tämän lisäksi järjestelmä on suojattava häiriötilanteilta, kuten sähkökatkoksilta tai lämmitettyjen osien vaurioitumiselta. Nollakaasua, tyypillisesti typpi, tarvitaan päivittäiseen nollakalibrointiin sekä järjestelmän huuhtelemiseen häiriötilanteissa. Nollakaasun painehälytyksen avulla saadaan ajoissa tieto typpipullon tyhjenemisestä.

Asennus ja koulutus

- Mittausjärjestelmän toimittaja suorittaa asennuksen ja käyttöönottotarkastuksen
- Valmistajan antama käyttö- ja ylläpitokoulutus
- Käyttö- ja ylläpito-ohjeet, kuvat mittausjärjestelmästä

4.7 Mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen (EN ISO 14956, QAL 1)

FTIR-tekniikan avulla voidaan määrittää lähes kaikki kaasumaiset yhdisteet, tyyppillisistä päästömittauskomponenteista vain hapelle tarvitaan oma analysaattori. Mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen voidaan osoittaa tyyppihyväksyntätestein (esim. TÜV ja MCERTS). Tyyppihyväksyntätestiin kuuluu sekä laboratorio- että kenttätestejä.

Mittauksen kokonaisepävarmuus määritetään yksittäisten epävarmuuskomponenttien avulla (EN ISO 14956). FTIR-mittaussysteemissä kokonaisepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Adsorptiot näytelinjoissa
- Nollatason muuttuminen mittausjakson aikana (zero point drift)
- Ympäröivän ilmanpaineen vaihtelut
- Mittasignaalin mitta-alueen ylityksistä johtuvat virheet
- Häiriöt mittasignaalin
- Lämpötilan vaihtelut
- Ristikkäisvaikutukset mitattavien kaasujen välillä (tyypillisesti ristikkäisvaikutusten summa tulee olla <4% mitta-alueesta)
- Lineaarisuus (tyypillisesti epälineaarisuuden tulee olla < 2% mitta-alueesta)
- Kalibrointikaasun epävarmuus (tyypillisesti ± 2 % pitoisuudesta)
- Näytekaasun painenvaihtelut
- Mittapään asennusvirheet
- Reaktiot suodattimessa
- Kemialliset reaktiot

Osa näistä tekijöistä on eliminoitavissa oikein rakennetulla näytesysteemillä. Näin esimerkiksi näytelinjoissa tapahtuvat näytekaasun adsorptiot ovat kokonaan eliminoitavissa. Samoin näytekaasun painenvaihtelut voidaan eliminoida erottamalla näytteenottopiste ja mittaussysteemi toisistaan pumpulla. Edelleen ilmanpaineen ja lämpötilan vaihtelut sekä näytekaasun paineen vaihtelut voidaan ottaa ohjelmallisesti huomioon. Näin näiden tekijöiden vaikutus kokonaisepävarmuuteen saadaan nolllaksi.

4.8 Laadunvarmistus käytännössä

Standardiehdotuksen prEN 14181 mukaan laadunvarmistus on jaettu neljään osaan, jotka on kuvattu menettelyohjeineen edellä käsikirjan kohdassa 2. Selvästi laitevalmistajan vastuulle kuuluu osa QAL 1 (mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen). Laitetoimittajalle on myös annettava mahdollisuus mittaussysteemin tarkistamiseen ennen QAL 2:sta (kiinteästi asennetun mittalaitteen kalibrointi ja validointi vertailumittausten avulla).

QAL 3 (vertailumittausten välinen laadunvarmistus) on käyttäjän vastuulla, tosin laitetoimittajan avustuksella (esim. huolto ja varaosat).

FTIR-mittausjärjestelmän käytössä vertailumittausten (QAL 2 mukaiset) välillä huomioitavia asioita ovat mm.:

1. Nollakalibrointi vähintään kerran vuorokaudessa
 - Nollakalibrointi kompensoi muutokset analysaattorissa
 - Kiinteissä järjestelmissä nollakalibrointi tapahtuu automaattisesti
 - Nollakalibroinnit eli taustaspektrit tallentuvat tietokoneelle automaattisesti laiteparametreineen
 - Taustaspektreistä on mahdollista tarkistaa laitteen toimintakunto vertaamalla mitattua taustaa alkuperäiseen taustaan
 - Nollakaasun saatavuus on varmistettava
2. Nollapisteen tarkistus (drift in zero reading)
 - Ennen uuden nollakalibroinnin mittaamista tehdään nollapisteen tarkistus
 - Kiinteässä systeemissä tarkistus ja tulosten talletus on mahdollista tehdä myös automaattisesti
3. Tarkistus kalibrointikaasuilla (drift in span reading)
 - Jäljitettävä, analyysitodistuksella varustettu, validi kalibrointikaasu
 - Tarkistuskaasuksi voidaan valita prosessille olennainen kaasu, jonka pitoisuus on noin 80% mittausalueesta. Tarkistus tulee tehdä sekä ennen uuden nollakalibroinnin mittausta että sen jälkeen. Tarkistusväli esim. kerran viikossa.
 - Kiinteässä systeemissä tarkistus ja tulosten talletus on mahdollista tehdä myös automaattisesti
4. Järjestelmän antamiin hälytyksiin ja häiriöihin reagointi; syy, seuraus, toimenpiteet, dokumentointi
5. Kaikkien tulosten sekä mittaus- ja häiriötietojen (log-tiedostot) tallennus automaattisesti
6. Raakadata eli näytespektrit on mahdollista tallettaa myöhempää uudelleen analysointia varten. Uudelleen analysointia varten voidaan myös tehdä uusia kalibrointeja (mittausalueiden laajentaminen tai uudet komponentit). Spektrien mukana tallentuvat myös laiteparametrit
7. Säännöllinen mittausjärjestelmän tarkistus, mm. suodattimien vaihto, vuototestit, tarkistukset kaasuilla, vasteaika, lineaarisuus, huolto
8. AST (vuosittainen laadunvarmistus) mukaiset vertailumittaukset
9. Dokumentointi: käyttö- ja ylläpito-ohjeet, kuvat mittausjärjestelmästä, huoltoraportit, käyttäjän ylläpitämä lokikirja, QAL 3 kontrollikortit

5. PÄÄSTÖMITTAUSTEN KÄYTÄNNÖN LAADUNVARMISTUS / PPM Systems Oy

5.1 Uusi tilanne

Uusi lainsäädäntö asettaa laitteiston käyttäjät jokseenkin huumorintajuttomaan tilanteeseen verrattuna menneisiin aikoihin jolloin mittalaitteiden hankintapäätökset joskus tehtiin suhteellisen kevein perustein.

Ongelma ei ole kuitenkaan suuri koska varsinaisten prosessimittalaitteiden hankintasuunnittelua voidaan käyttää mallina myös päästömittalaitteiden hankintaprosessiin.

5.2 Koska laadunvarmistus alkaa

Laadunvarmistus alkaa parhaimmillaan jo hankintamäärittelyä laadittaessa. Mahdollisille toimittajille tulisi antaa kaikki saatavissa oleva tieto mittatavan kaasun koostumuksesta, ympäristöolosuhteista jne. Jos käyttäjällä on varma tieto millaisella menetelmällä mittaukset tulisi suorittaa, tai vielä paremmin jo aiempaa kokemusta löytyy. Pitää kuitenkin muistaa että myös analyysirintamalla kehitys kehittyy, jos joku tekniikka oli lapsenkengissään 80-luvun aikana, se saattaa olla optimissaan tänä päivänä.

5.3 Toimittajan valinta

Jo tarjouksia käsiteltäessä olisi hyvä kiinnittää huomiota sekä toimittajan että valmistajan kykyyn huolehtia toimitetusta tuotteesta myös jatkossa. Tunnettu merkki ja toimittaja referensseineen on varmasti jatkon kannalta turvallisempi ratkaisu kuin tuntematon merkki ja postimyyntiliike toimittajana. Siis, ainakin toinen vaatimus pitäisi toteutua jotta hankinnalla olisi edellytykset onnistua.

On syytä korostaa että loppujen lopuksi laadunvarmistuksen vastuu jää käyttäjälle. Toimittaja voidaan erilaisin kauppasopimusteknisin keinoin ehkä sitouttaa, mutta viranomaisiin päin vastuu on käyttäjällä.

Tälläkin ennakkokarsinnalla jää riittävästi toimittajaehdokkaita moninaisine ratkaisuineen.

5.4 Laitteen tai laitteiston valinta

Mittausmenetelmän valinta on elintärkeää koska väärä valinta saattaa johtaa virheellisiin tuloksiin tai liian työllistäviin ja hankalasti huollettaviin ratkaisuihin. Käytetäänkö näytettä ottavaa vai suoraan kanavasta mittaavaa menetelmää, patenttiratkaisua ei ole, jokainen tapaus on käsiteltävä erikseen toimittajakandidaattien kanssa. Malliesimerkkeinä voitaisiin mainita että VOC mittaus suoraan kanavasta tai HF- tai NH₃-mittaus perinteisellä näytettä ottavalla menetelmällä eivät todennäköisesti tuota laadukkaita tuloksia.

5.5 Mittaus- ja asennuspaikan valinta

Mittauspaikka tulee valita yleisten mittauspisteelle asetettavien vaatimusten mukaan mikäli tällainen löytyy. Mitä helpompi paikka on työskentelyn kannalta, sitä parempi.

Varsinaisen laitteiston asennuspaikka tulisi olla mahdollisimman lähellä näytteenottopistettä. Mikäli puhdasta, valaistua ja lämmintä tilaa ei ole läheltä saatavissa tai helposti tehtävissä, on erillinen mittalaitteikko usein edullinen ja toimiva ratkaisu.

5.6 Dokumentointi

Laitteiston toimituksen tulisi sisältää tarvittavat asennus- käyttö- ja huolto-ohjeet suomenkielisinä. Lyhyt koko järjestelmän kattava käyttöohje yhdessä lokikirjan kanssa asennuskaapissa on käyttöä helpottava ratkaisu.

5.7 Asennus ja käyttöönotto

Toimittajan / valmistajan antamia asennusohjeita on syytä noudattaa orjallisesti. Ohjeilla on tarkoituksensa.

Osallistuminen toimittajan suorittamaan käyttöönottoon on tehokas tapa saada käytännön kokemusta laitteiston toiminnasta heti alkuvaiheessa.

5.8 Koulutus

Käyttö/ylläpitohenkilökunnalla tulee olla riittävä peruskoulutus ja motivaatio jotta laitetoimittajan antama koulutus voidaan omaksua mahdollisimman hyvin. Huoltosopimus on hyvä ratkaisu mutta laitoksella on syytä olla henkilökuntaa, joka kykenee hoitamaan päivittäiset tai viikoittaiset tarkistukset ja suorittamaan alustavan vianmäärityksen häiriötapauksissa. Ennakkokoulutus laitteiston tarkastuksen yhteydessä on hyväksi havaittu tapa lisätä käyttäjän perusvalmiuksia.

5.9 Kulutustavarat, varaosat tai laitteet

Uudet käytettävyyysvaatimukset eivät salli useiden viikkojen katkoksia mittauksissa joten riittävä määrä kulutustavaroita ja kriittisiä varaosia on oltava käyttäjän varastossa. Mikäli laitoksella on useita samankaltaisia mittauksia, jopa varalaitteen hankinta saattaa olla mielekästä. Toimittajilla on yleensä tärkeimpiä varaosia varastossaan mutta jälleen kerran, vastuu on käyttäjällä.

5.10 Tarkistuskaasut

Kaasuilla tapahtuvat tarkistukset suoritetaan jäljitettävillä, analyysitodistuksella varustetuilla tarkistuskaasuilla. Kaasujen säilytys, käyttö ja elinikäohjeita tulee noudattaa yksiselitteisesti. Suomessa on useita kaasutoimittajia jotka toimittavat kaasut vuokrapullossa ja sopimuksen mukaan toimittavat uuden pullon kun edellisen käyttöikä on tullut täyteen tai useammin, mikäli tarpeen.

5.11 Huoltosopimus

Huoltosopimus on tehokas tapa huolehtia laitteiston kunnosta silloin kun käyttäjällä itsellään ei ole riittävästi asiantuntevaa henkilökuntaa. Huoltosopimuksesta on syytä keskustella jo ennen hankinnan suorittamista, jotta nähdään kuinka käyttäjän ja toimittajan näkemykset vastaavat toisiaan.