

Samuli Remes

**MOOTTORI- JA PÄÄSTÖLABORATORION KUNNOSSAPITO- JA
RISKIENHALLINTASUUNNITELMA**

MOOTTORI- JA PÄÄSTÖLABORATORION KUNNOSSAPITO- JA RISKIENHALLINTASUUNNITELMA

Samuli Remes
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Samuli Remes
Opinnäytetyön nimi: Moottori- ja päästölaboratorion kunnossapito- ja riskienhallintasuunnitelma
Työn ohjaajat: Esa Väisänen, Janne Ilomäki
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: K2018
Sivumäärä: 54 + 3 liitettä

Tässä työssä tehtiin Proventia Oy:n moottori- ja päästölaboratoriolle kunnossapito-, kalibrointi- ja riskienhallintasuunnitelmat. Työssä muodostettiin ajantasainen käsitys laboratorion laitteistosta ja tehtiin suunnitelma sen kunnossapitoon kunnossapidon RCM- ja TPM-teorioiden pohjalta sekä kalibrointisuunnitelma viranomaisvaatimusten mukaan. Lisäksi työssä tutkittiin laitteiston kunnan laboratorion toimintavarmuudelle aiheuttamia riskejä ja tehtiin suunnitelma riskien hallitsemiseksi.

Kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelman pohjaksi selvitettiin laitteiston nykykunto sekä huolto- ja kalibrointitilanne. Laitteiston kunnan, vikahistorian ja laitevalmistajien dokumentaation pohjalta luotiin käyttäjien suorittamaa kunnanvalvontaa ja kunnossapitoa hyödyntävä, kunnossapidon TPM-toimintamalliin pohjautuva kunnossapitosuunnitelma. Kalibrointisuunnitelma tehtiin vastaamaan EU:n ja USA:n viranomaisvaatimuksia päästömittausten suorittamiseen käytettävien mittalaitteiden kalibroinnista.

Riskienhallintasuunnitelman pohjaksi tehtiin laboratorion laitteistosta riskianalyysi, jossa luokiteltiin riskit, niiden toteutumisen todennäköisyys ja toteutumisen vakavuus. Analyysin perusteella laadittiin riskikohtaisia toimintaohjeita riskien hallitsemiseksi ja pienentämiseksi. Riskienhallintasuunnitelma tehtiin pääasiassa kansainvälisiin standardeihin ISO 31000 ja ISO 31010 perustuen.

Työn tuloksena moottori- ja päästölaboratoriolle saatiin käyttöön ajantasainen kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelma. Kunnossapitosuunnitelman kehittämisen tueksi saatiin myös vikapäiväkirja ja kalibrointien toteuttamisen avuksi kalibrointitodistusohje ja ohjeistus. Lisäksi saatiin analyysi laboratorion laitteiston tuomista riskeistä ja suunnitelma niihin varautumiseksi ja niiden pienentämiseksi.

Asiasanat: kunnossapito, kalibrointi, riskienhallinta, moottorilaboratorio, päästömittaukset

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Vehicle and
Transportation Engineering

Author: Samuli Remes

Title of thesis: Maintenance and risk management program for engine and
emission laboratory

Supervisors: Esa Väisänen, Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: K2018

Pages: 54 + 3 appendices

The subject of this thesis was making maintenance, calibration and risk management plans for the engine and emission laboratory of Proventia Oy. An up-to-date analysis of the laboratory equipment was made on the basis of the work and a maintenance program was made with the RCM and TPM theories of maintenance. Calibration schedule was created according to the official requirements. Additionally, risks for operational reliability caused by the condition of the equipment were studied a plan was made for managing risks.

Firstly, the current condition and status of the maintenance and calibrations of the equipment was studied. On the basis of the condition of the equipment, fault history and equipment manufacturers' documentation, a maintenance plan based on the TPM philosophy was made, which utilizes user-made condition monitoring and maintenance work. The calibration schedule was created according to the official requirements of the EU and EPA authorities.

The base of the risk management plan was a risk analysis of the laboratory equipment. In the risk analysis, the risks were classified according to their probability and harmfulness. Based on the analysis, risk-specific instructions were made to manage and reduce risks. The risk management plan was mainly based on the international ISO 31000 and ISO 31010 standards.

The result of this thesis was an up-to-date maintenance and calibration program for the engine and emission laboratory. A fault logbook was also created for support of further development of the maintenance program, and a calibration report template and calibration instructions were made to support the calibrations. In addition, an analysis of risks caused by the condition of the laboratory equipment and a plan to provide for and reduce risks were created.

Keywords: maintenance, calibration, risk management, engine laboratory,
measuring of emissions

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 KUNNOSSAPITO	9
2.1 Kunnossapidon taustaa	9
2.2 Kunnossapidon toimintamallit	10
2.2.1 RCM	10
2.2.2 TPM	12
3 KALIBROINTI	14
4 RISKIENHALLINTA	16
4.1 Riskin arviointi	17
4.2 Riskin käsittely	17
4.3 Seuranta ja katselmointi	18
5 KUNNOSSAPITO- JA KALIBROINTISUUNNITELMA	19
5.1 Laitteistoluettelon kerääminen	20
5.2 Laitteisto	21
5.2.1 Analysaattorit ja oheislaitteet	21
5.2.2 Solujen ohjaus	24
5.2.3 Solujen mittalaitteet	24
5.2.4 Jäähdytys, ilmanvaihto ja pakokaasun poisto	25
5.2.5 Moottoripeti ja jarru	27
5.2.6 Polttoainejärjestelmä	28
5.2.7 Sammutusjärjestelmä	29
5.3 Kunnossapito- ja kalibrointitarpeen selvitys	29
5.4 Kunnossapitosuunnitelma	31
5.4.1 Testisolut	32
5.4.2 Valvomot	34
5.4.3 Analysaattorit ja oheislaitteet	35
5.4.3.1 Pakokaasuanalysointilaitteet	36

5.4.3.2 FTIR-pakokaasuanalysaattori	37
5.4.3.3 Muut laitteet	38
5.4.3.4 Kaasulaitteet	39
5.5 Kalibrointisuunnitelma	39
5.5.1 Kalibrointilaitteet	41
5.5.2 Testisolut	42
5.5.3 Analysaattorit ja oheislaitteet	43
6 RISKIENHALLINTASUUNNITELMA	46
6.1 Riskien tunnistaminen	46
6.2 Riskianalyysi	48
6.3 Riskin merkityksen arviointi	48
6.4 Riskin käsittely	49
6.5 Seuranta ja katselmointi	50
7 YHTEENVETO	51
LÄHTEET	53
LIITTEET	
Liite 1 Kalibrointitodistusohje	
Liite 2 Kalibrointiohjeistus	
Liite 3 Kuvankaappaus vikapäiväkirjasta	

SANASTO

EAT	lyhenne sanoista Exhaust Aftertreatment, pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmä, jolla haitallisia päästöjä poistetaan pakokaasusta
kalibraattori	laite, jota voidaan käyttää referenssinä toista laitetta kalibroitaessa
kalibrointi	mittalaitteen näyttämän tarkistaminen vertaamalla sitä jäljitettävästi kalibroituun mittanormaaliin
kalibrointilaite	ks. kalibraattori
mikrolaimennustunneli	mittalaite pakokaasun laimentamiseen ja hiukkasmassan mittaamiseen pakokaasusta
mittanormaali	referenssi, johon vertaamalla voidaan tarkastaa ja kalibroida mittalaitteita
pakokaasuanalysaattori	laite, jolla voidaan mitata eri päästökomponenttien pitoisuuksia pakokaasussa
partikkelilaskuri	mittalaite pakokaasun sisältämän hiukkasten lukumäärän laskentaan
verifiointi	mittalaitteen toiminnan oikeellisuuden varmistaminen

1 JOHDANTO

Proventia Oy:n moottori- ja päästölaboratoriolla on suuri merkitys yrityksen pakokaasunpuhdistusjärjestelmien tuotekehityksessä. Tuotekehitysprojektien kasvava määrä on nostanut laboratorion käyttöasteen niin suureksi, että pienetkin katkokset sen toiminnassa heijastuvat suoraan koko tuotekehitykseen. Tämän seurauksena yrityksessä on katsottu tarpeelliseksi luoda laboratoriolle suunnitelma sen kunnossapitoon ja riskienhallintaan niin, että toimintavarmuus saadaan pidettyä halutulla tasolla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on muodostaa ajantasainen käsitys laboratoriossa olevasta laitteistosta ja tehdä suunnitelma sen kunnossapitoon. Laboratorion laitteistosta suuri osa on erilaisia mittalaitteita, joten niiden kalibrointi on merkittävässä osassa koko laboratorion kunnossapitoa ja siten myös tätä opinnäytetyötä. Lisäksi työssä käsitellään mahdollisten laiterikkojen aiheuttamia riskejä laboratorion toimintavarmuudelle ja tehdään suunnitelma niihin varautumiseksi.

Työn teettäjä Proventia Oy on erikoistunut kehittämään, suunnittelemaan ja valmistamaan pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmiä dieselmootoreihin, raskaisiin koneisiin sekä ajoneuvoihin OE- ja jälkiasennusmarkkinoilla. Yritys valmistaa lisäksi lämmöneristysratkaisuja moottorisovelluksiin sekä modulaarisia testausyksiköitä moottorien ja voimalinjojen testaukseen. (1.)

2 KUNNOSSAPITO

Tässä luvussa käsitellään kunnossapidon teoriataustaa sekä yleisimpiä kunnossapidon toimintamalleja. Vaikka kunnossapidon teoriat ja tutkimus keskittyvät yleisesti teollisuuteen, ovat pääperiaatteet ja toimintamallit silti kohtalaisen helposti sovellettavissa pienempään mittakaavaan, kuten tässä työssä käsiteltävän moottori- ja päästölaboratorion kunnossapitoon.

2.1 Kunnossapidon taustaa

Standardin SFS-EN 13306:2010 mukaan termi kunnossapito tarkoittaa seuraavaa:

”Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon.” (2, s. 8.)

Kunnossapitoa on todennäköisesti ollut olemassa ensimmäisten koneitten keksimisestä lähtien, ja yksinkertaisimmillaan se tarkoittaa ilmenneiden vikojen korjaamista sekä varmistamista eli kaksinkertaistamista. Vuosikymmenten saatossa kunnossapito on kehittynyt koneiden monimutkaistuessa sekä tuotannon tehokkuus- ja koneiden toimintavarmuusvaatimusten tiukentuessa. (3, s.16–21.)

Nykyaikainen kunnossapito ei enää koostu pelkästään perinteisistä vikojen korjauksista, jaksotetuista kunnossapitotoimista ja yksinkertaisesta kunnonvalvonnasta, vaan se yhä suuremmissa määrin perustuu itse koneen lisäksi sen käytöstä kerättyyn tietoon. Nykyaikaisilla älykkäillä sensoreilla on mahdollista kerätä ja seurata tietoa koneiden toiminnasta ja käyttäytymisestä eri tilanteissa. Kerättyä tietoa analysoimalla voidaan tehdä tarkkoja perussyyanalyyseja vioista sekä seurata laitteen ikääntymistä. Entistä tarkempi tieto laitteen toiminnasta mahdollistaa siirtymisen perinteisestä jaksotetusta kunnossapidosta yhä enemmän kunnonvalvontaan perustuvaan kunnossapitoon. Lisäksi kunnonvalvonta voidaan antaa yhä suuremmissa määrin vain koneen käyttäjien tehtäväksi, joka onkin yksi kunnossapidon TPM

toimintamallin perusajatuksista. Koneen käyttäjien suorittamasta kunnonvalvonnasta ja siihen liittyvistä kunnossapitotöistä koneen käytön ohessa käytetään termiä käynnissäpito. (3, s.20–24; 4, s. 3.)

2.2 Kunnossapidon toimintamallit

Kunnossapidon kehittymiseen ovat suuresti vaikuttaneet erilaiset laatuohjelmat, kuten ISO9000/9001 ja ISO14000 sekä kunnossapidon työkaluina toimivat toimintamallit kuten TPM, RCM, Asset Management ja Six Sigma. Toimintamallit voidaan jakaa kolmeen kategoriaan, joista ensimmäiseen kuuluvat laatujohtannaiset toimintamallit mukaan lukien Six Sigma. Toisessa kategoriassa on TPM, joka pyrkii motivoimaan käyttäjää huolehtimaan koneestaan yhteistyössä yrityksen muiden osastojen kanssa. Kolmanteen kategoriaan kuuluvat tehokkaisiin kunnossapitostrategioihin pyrkivät RCM ja SRCM sekä Asset Management, joka pyrkii laajentamaan kolmannen kategorian ohjelmien käyttöä ottamaan huomioon kunnossapitotarpeen muutokset koneiden käyttöasteen ja markkinatilanteen muutosten mukaan. (3, s. 23–24; s. 85–86.)

2.2.1 RCM

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito eli RCM (Reliability Centered Maintenance) on yksi tärkeimmistä ja yleisimmistä kunnossapidon suunnittelun työkaluista, ja se pohjautuu lentokoneiteollisuuden tarpeisiin. RCM on systemaattinen menetelmä, joka varsinaisen kunnossapidon lisäksi pitää tärkeänä laitteiden kehittämistä kunnossapidettävyyden ja käyttövarmuuden lisäämiseksi jo suunnitteluvaiheessa. (5, s. 75.)

RCM:n avulla pyritään siihen, että kunnossapitoa tarvitsee tehdä mahdollisimman vähän jättämällä systemaattisesti kaiken turhan pois ja keskittymällä oleelliseen vaarantamatta kuitenkaan laitteen toimintaa. RCM:n keskeisimpinä päämäärinä voidaan pitää seuraavia:

- laitteiden priorisointi ja kunnossapidon kohdistaminen eniten tarvittaviin laitteisiin
- vikaantumismekanismien selvittäminen ja niiden perusteella pohjan luominen oikeiden kunnossapitomenetelmien käytölle

- toimintaohjeiden laatiminen vikatilanteiden varalle sellaisille laitteille, joille ei löydy tehokkaita menetelmiä ehkäisevää kunnossapito varten
- koneiden käyttöhenkilökunnan opettaminen seuraamaan kriittisten komponenttien toimintaa. (5, s. 75.)

RCM-prosessi koostuu seuraavista seitsemästä pääkohdasta:

1. laitteiden toimintojen ja tehokkuusvaatimusten määrittely
2. toiminnallisten vikojen määrittely
3. vikaantumismallien selvitys
4. vian seurausten selvitys
5. vian seurausten määrittely seuraaviin kategorioihin:
 - piilevät seuraukset
 - turvallisuus- ja ympäristövaikutukset
 - toiminnalliset vaikutukset
 - ei-toiminnalliset vaikutukset
6. ennakoivien toimenpiteiden määrittely kohdan 5 perusteella:
 - säännöllinen huolto
 - säännöllinen vaihto
 - kunnan perusteella tapahtuva
7. korjaavien toimenpiteiden määrittely kohdan 5 perusteella:
 - säännölliset tarkastukset
 - uudelleensuunnittelu
 - ei huoltoa. (5, s. 76.)

Vaikka RCM-prosessi on osoittautunut toimivaksi ja tehokkaaksi tavaksi kunnossapidon kehittämiseen, sen hitaus ja raskaus ovat johtaneet kevennettyjen RCM-tapojen kehittämiseen. Näistä käytetään yleisesti nimitystä streamlined RCM eli SRCM. SRCM:n tavoitteena on yleensä nopeuttaa prosessia työvaiheita standardoimalla tai karsimalla varsinaiseen RCM-tarkasteluun otettavien kohteiden määrää työmäärän pienentämiseksi. Kohteiden karsiminen ja työmäärän pienentäminen mahdollistavat nopeamman pääsyn RCM-prosessin 6. ja 7. kohtiin eli varsinaisen kunnossapitosuunnitelman tekemiseen. (5, s. 76–78.)

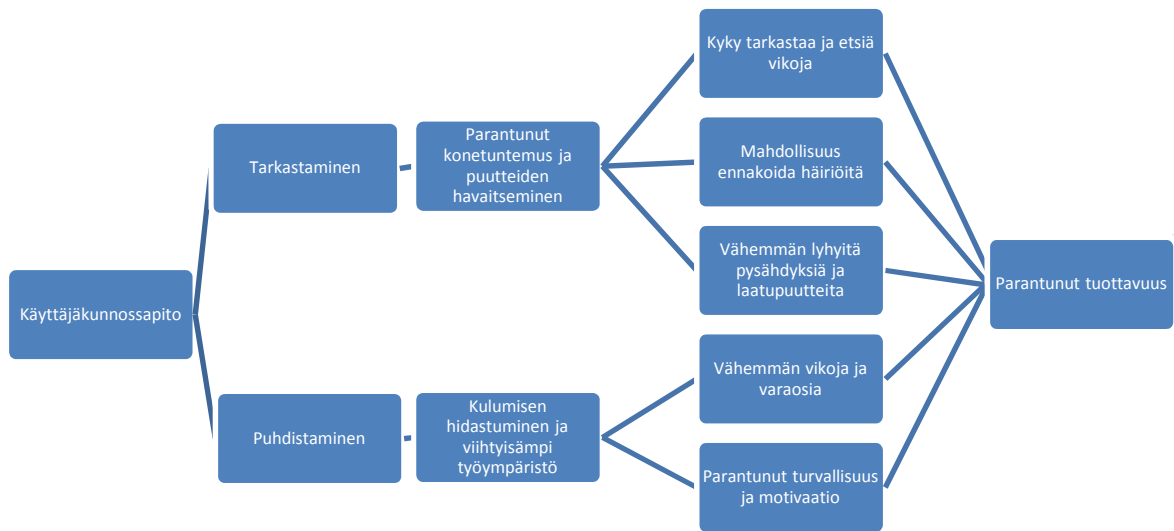
2.2.2 TPM

Tuottava kunnossapito eli TPM (Total Productive Maintenance) on kokonaisvaltainen kunnossapitofilosofia, jonka tavoitteena on kunnossapidon avulla saavuttaa tuotantojärjestelmän maksimaalinen tehokkuus taloudellisin mittarein mitattuna. TPM:n pääperiaatteena on pitää optimikunnossa kaikki koneet ja laitteet, joista tuotanto on riippuvainen. Tämän mahdollistaa se, että laitteiden käyttöhenkilökunta on suoraan henkilökohtaisesti vastuussa niiden kunnosta. (5, s. 79.)

TPM:n tavoitteena on nollatoleranssi vioille ja laiterikoille, ja siihen pyritään seuraavien periaatteiden avulla:

- laiterikkojen jatkuva vähentäminen
- koneiden pitäminen jatkuvasti huippukunnossa
- koneiden huolenpidon tekeminen päivittäiseksi rutiiniksi
- henkilöstön kykyjen kehittäminen huoltamaan ja käyttämään laitteita mahdollisimman hyvin
- prosessin ja laitteiden kehittäminen niin, että ne vaativat mahdollisimman vähän kunnossapitoa, ovat helppoja käyttää ja turvallisia. (5, s. 80–85.)

Avaintekijänä tavoitteiden saavuttamiseen on käyttäjien osallistuminen kunnossapitoon siirtämällä rutiininomaiset huoltotoimenpiteet käyttäjien tehtäväksi sekä kehittää käyttäjien ymmärtämystä koneen toiminnasta niin, että ne pystyvät rutiinihuoltojen ja puhdistusten yhteydessä tekemään havaintoja koneen kunnosta ja havaitsemaan mahdollisia vikoja sekä puutteita. Kuvassa 1 on esitetty polku käyttäjäkunnossapidosta parempaan tuottavuuteen. (5, s. 80–85.)



KUVA 1. Käyttäjäkunnossapidolla pyritään parempaan tuottavuuteen (5, s. 84)

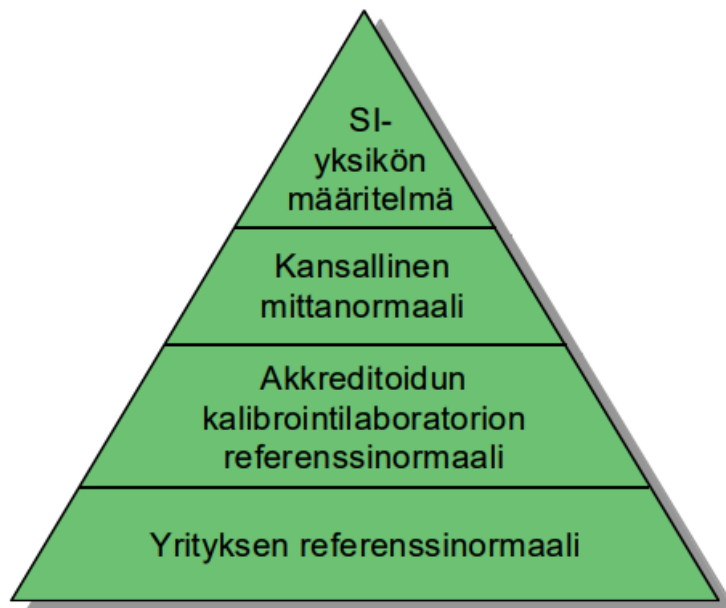
3 KALIBROINTI

Kalibrointi määritellään kansainvälisen metrologian sanaston SFS-OPAS 99:2010 mukaan seuraavasti:

”Toimenpide, jonka avulla ensin määritellyissä olosuhteissa saadaan mittanormaalien antamien suureen arvojen ja niiden mittausepävarmuuksien sekä vastaavien mittauslaitteen näyttämien ja niihin liittyvien mittausepävarmuuksien välinen yhteys, minkä perusteella näyttämästä voidaan tämän jälkeen johtaa mittaustulos.” (7, s. 37.)

Yksinkertaistettuna kalibrointi tarkoittaa mittalaitteen näyttämän vertaamista kansainvälisiin standardeihin jäljitettävästi kalibroidun mittanormaalin arvoon. Kalibrointi ei takaa, että laite näyttää oikein, vaan kertoo ainoastaan sen näyttämän virheen kalibrointihetkellä. Kalibrointi on välttämätöntä mittalaitteen näyttämän oikeellisuuden varmistamisessa ja se voidaan suorittaa kaikille laitteille. (8, s. 21.)

Kalibrointimittausten jäljitettävyys tarkoittaa sitä, että mittaustulos voidaan yhdistää referenssiin katkeamattomalla dokumentoidulla kalibrointien ketjulla. Kalibrointien jäljitettävyys edellyttää määritettyä kalibrointihierarkiaa eli mittanormaalijärjestelmää. Kuvassa 2 on esitetty kalibrointihierarkia, jossa mittalaitteita verrataan yrityksen referenssinormaaleihin, jotka on kalibroitu akkreditoidussa kalibrointilaboratoriossa. Akkreditoidut kalibrointilaboratoriot ovat kansallisten mittanormaalilaboratorioiden kautta jäljitettävissä kansainväliseen SI-mittayksikköjärjestelmään. (7, s. 38; 9, s. 28.)



KUVA 2. Kalibrointihierarkia (9, s. 28)

Usein kalibrointi sekoitetaan viritykseen, joka tarkoittaa mittalaitteen säätöä vastaamaan paremmin referenssinormaalia. Vaikka kalibrointi ei sisälläkään laitteen viritystä, se kuitenkin yleensä tehdään tarvittaessa kalibroinnin yhteydessä. Mikäli mittalaite viritetään kalibroinnin yhteydessä, kalibrointitodistuksessa tulisi olla merkintä virityksestä ja mittaustulokset ennen ja jälkeen virityksen. (9, s. 48.)

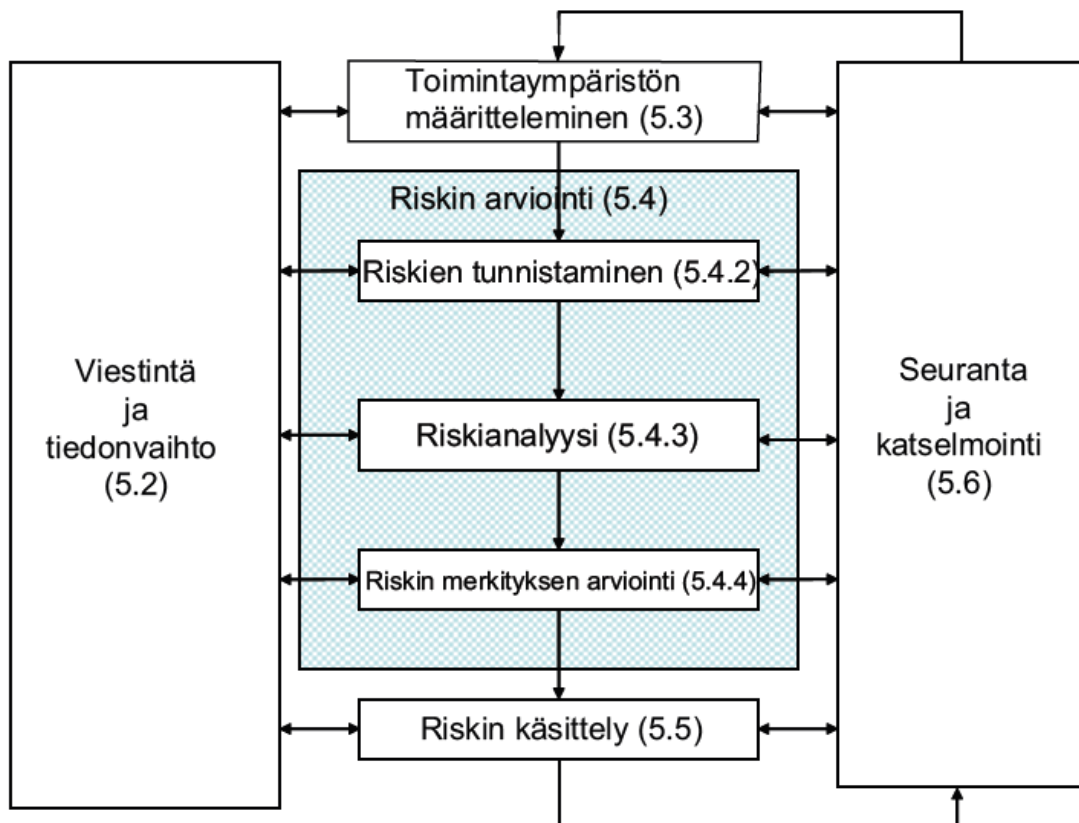
Säännölliset kalibroinnit ovat usein käytännössä ainoa keino varmistua mittalaitteen näyttämän luotettavuudesta ja sen ikääntymisen aiheuttamasta muutoksesta. Yleisesti mittalaitteiden kalibrointiväleille ei ole mitään vaatimuksia, vaan kalibrointivälit voidaan määrittää itse seuraamalla laitteiden muutosta. Suoritettaessa virallisia mittauksia voi laissa ja asetuksissa kuitenkin olla vaatimuksia mittalaitteiden kalibrointiväleille. (9, s. 47–48; 10, s. 105.)

4 RISKIENHALLINTA

Standardi SFS-ISO 31000 määrittelee sanan ”riski” seuraavasti:

”Kaikentyyppiset ja -kokoiset organisaatiot kohtaavat sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä ja vaikutteita, joiden takia on epävarmaa, saavuttavatko organisaatiot tavoitteitaan aikataulussa tai ollenkaan. Tämän epävarmuuden vaikutusta organisaation tavoitteisiin kutsutaan ”riskiksi.” (6, s. 5.)

Organisaation kaikkeen toimintaan sisältyy riskejä, ja riskienhallinta tarkoittaa toiminnan riskien tunnistamista, analysoimista ja riskin käsittelytarpeen arviointia. Kaikki organisaatiot suorittavat riskienhallintaa jossain määrin, mutta jos riskienhallinnasta halutaan vaikuttavaa, sen täytyy olla järjestelmällinen ja looginen prosessi. SFS-ISO 31000 -standardin mukainen riskienhallintaprosessi on esitetty kuvassa 3. (6, s. 5; s. 20.)



KUVA 3. Riskienhallintaprosessi (6, s. 20)

4.1 Riskin arviointi

Riskin arviointi sisältää riskien tunnistamisen, riskianalyysin sekä riskin merkityksen arvioinnin. Riskien tunnistaminen tarkoittaa riskin lähteiden, vaikutusalueiden, tapahtumien ja niiden syiden ja mahdollisten seurausten tunnistamista. Prosessin toimivuuden kannalta riskien mahdollisimman kattava tunnistaminen on tärkeää, koska tässä vaiheessa tunnistamattomat riskit jäävät pois myös myöhemmistä analyyseistä. (6, s. 23.)

Riskianalyysissä muodostetaan käsitys riskistä, ja se toimii lähtökohtana riskin merkityksen arvioinnille ja päätöksille riskin käsittelystä. Riskianalyysiin sisältyy riskin syiden ja lähteiden sekä niiden seurausten ja tapahtumien todennäköisyyden määrittely. Analyysi voi olla laadullinen, määrällinen tai näiden yhdistelmä. Sen yksityiskohtaisuuteen vaikuttavat riski, analyysin tarkoitus, saatavilla oleva informaatio, tietoaineisto ja resurssit. (6, s. 24.)

Riskien merkityksen arviointi tehdään riskianalyysin pohjalta, ja sen tarkoituksena on auttaa tekemään päätöksiä siitä, mitä riskejä on tarpeen käsitellä ja mikä on käsittelyn tärkeysjärjestys. Riskien merkityksen arvioinnin johtopäätöksenä voi olla myös lisäanalyysin tekeminen tai päätös olla käsittelemättä riskiä uusilla tavoilla, säilyttäen olemassa olevat hallintakeinot. (6, s.24.)

4.2 Riskin käsittely

Riskien käsittely on toistuva prosessi, johon sisältyy yhden tai useamman riskinkäsittelytavan valinta ja valittujen vaihtoehtojen toteuttaminen. Eri riskin käsittelyn vaihtoehdot eivät välttämättä sulje toisiaan pois tai sovi kaikkiin olosuhteisiin. Sopivin riskin käsittelytapa valitaan ottaen huomioon sen toteuttamisen taloudellinen kannattavuus verrattuna saatuun hyötyyn sekä huomioimalla lakien ja viranomaisten vaatimukset. ISO 31000 -standardin mukaan riskin käsittelyn vaihtoehtoja voivat olla esimerkiksi seuraavat:

- riskin torjuminen päättämällä olla aloittamatta tai jatkamatta riskin aiheuttavaa toimintaa
- riskin ottaminen tai lisääminen jonkun mahdollisuuden hyödyntämisen takia
- riskin lähteen poistaminen

- todennäköisyyden muuttaminen
- seurausten muuttaminen
- riskin jakaminen toisen osapuolen tai osapuolten kanssa esimerkiksi sopimusten tai riskin rahoittamisen kautta
- riskin säilyttäminen tietoon perustuvalla päätöksellä. (6, s. 25.)

4.3 Seuranta ja katselmointi

Seurannan ja katselmoinnin pitäisi olla suunniteltu osa riskienhallintaprosessia ja siihen liittyvät vastuut olisi määriteltävä selkeästi. Seurannan ja katselmoinnin avulla

- voidaan varmistaa, että hallintakeinot ovat vaikuttavia ja tehokkaita
- saadaan lisätietoa riskien arvioinnin parantamiseksi
- voidaan analysoida tapahtumia, muutoksia, kehityssuuntia ja epäonnistumisia sekä ottaa niistä oppia
- havaitaan toimintaympäristön muutoksia
- tunnistetaan uudet riskit. (6, s. 26.)

5 KUNNOSSAPITO- JA KALIBROINTISUUNNITELMA

Proventian moottori- ja päästölaboratorio koostuu tällä hetkellä kahdesta sisällä sijaitsevasta testisolusta Test Cell 1 ja Test Cell 2 sekä ulkona sijaitsevasta testiyksiköstä nimeltä Watti1. Jokaisessa kolmessa testisolussa on moottoripeti ja jarru, jolla moottoria voidaan kuormittaa halutulla tavalla sekä mittava määrä laitteita, jotka mahdollistavat moottorien ja pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmien testaamisen kuten

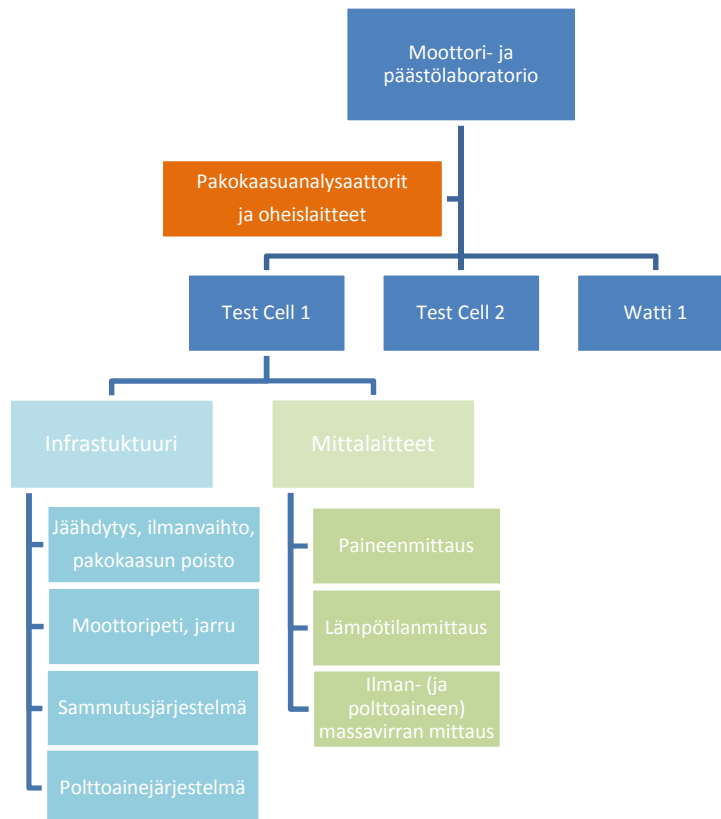
- ilmanvaihto
- jäähdytysjärjestelmät jarrulle, moottorille sekä ahtoilmalle
- polttoainejärjestelmä
- pakokaasuimuri
- mittalaitteet lämpötilojen ja paineiden mittaamiseen
- sammutusjärjestelmä.

Testisolujen toimintaan tarvittavan laitteiston lisäksi laboratoriossa on pakokaasupäästöjen mittaamiseen kaksi MEXA-pakokaasuanalysointilaitetta, FTIR-pakokaasuanalysointilaitteita, mikrolaimennustunneli hiukkasmassan mittaamiseen, hiukkaslaskuri hiukkaslukumäärän laskemiseen ja ammoniakkipitoisuuden mittaamiseen soveltuvat laser-mittalaitteet. Pakokaasupäästöjen analysointiin käytettävät laitteet tarvitsevat lisäksi vielä monia oheislaitteita, kuten näytteenottopumppuja, näytteenottolinjan valinta- sekä lämmönhallintayksikköjä toimiakseen. Lisäksi analysointilaitteet tarvitsevat useita kaasuja kalibrointiin, polttoaineeksi sekä laitteiden sisäiseen puhdistukseen.

Kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelman tekeminen käsittää koko edellä mainitun laitteiston kartoittamisen ja laitteistoluettelon keräämisen, kunnossapito- ja kalibrointitarpeen selvittämisen ja kerätyn tiedon kokoamisen huolto- ja kalibrointiohjelmaksi. Huolto- ja kalibrointiohjelman tarkoituksena on olla selkeä ja helppokäyttöinen pohja, josta ilmenevät eri laitteiden huolto- ja kalibrointivälit, huoltotoimenpiteet yleisesti ja muut laitteiden huoltoon ja kalibrointiin liittyvät huomiot. Ohjelman tarkoituksena on myös toimia ajantasaisena kirjanpitoa huoltojen ja kalibrointien suorittamisesta.

5.1 Laitteistoluettelon kerääminen

Kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelman tekemisen pohjaksi luotiin ensin ajan tasalla oleva luettelo laboratoriossa käytössä olevista laitteista. Laitteistoluettelon luominen aloitettiin käytännössä täysin puhtaalta pöydältä käymällä läpi kaikki testisolujen toimintaan tarvittava infrastruktuuri, mittalaitteet, pakokaasuanalysointilaitteet, kalibrointilaitteet sekä kaikkien laitteiden ohjaukseen tarvittava laitteisto. Laitteistoluetteloon ei sisällytetty jokaista laboratoriossa olevaa osaa ja komponenttia, vaan siinä keskityttiin luomaan järkevä luettelo laboratorion toiminnan ja kunnossapidon suunnittelun kannalta tärkeistä laitteista. Laboratorion laitteiston hierarkia pääpiirteittäin on esitetty kuvassa 4. Kuvassa esitetyt infrastruktuuri ja mittalaitteet ovat solukohtaisia, mutta selkeyden vuoksi ne on esitetty vain Test Cell 1:n kohdalla, vaikka solut ovatkin pääperiaatteiltaan keskenään samanlaisia. Analysointilaitteet ovat yhteisiä solujen kesken, ja kaavio niistä on esitetty kuvassa 6.



KUVA 4. Laboratorion laitteiston hierarkia

Laitteistoluettelon kerääminen tapahtui käytännössä käymällä fyysisesti läpi laboratoriossa oleva laitteisto ja kirjaamalla se muistiin. Lisäksi apuna käytettiin aiemmin luotua kalibroitilistaa sekä laitevalmistajien dokumentaatiota. Luettelon keräämisessä haastateltiin myös laboratorion henkilökuntaa, mikä auttoi etenkin infrastruktuurin kokonaisuuden toiminnan ymmärtämisessä.

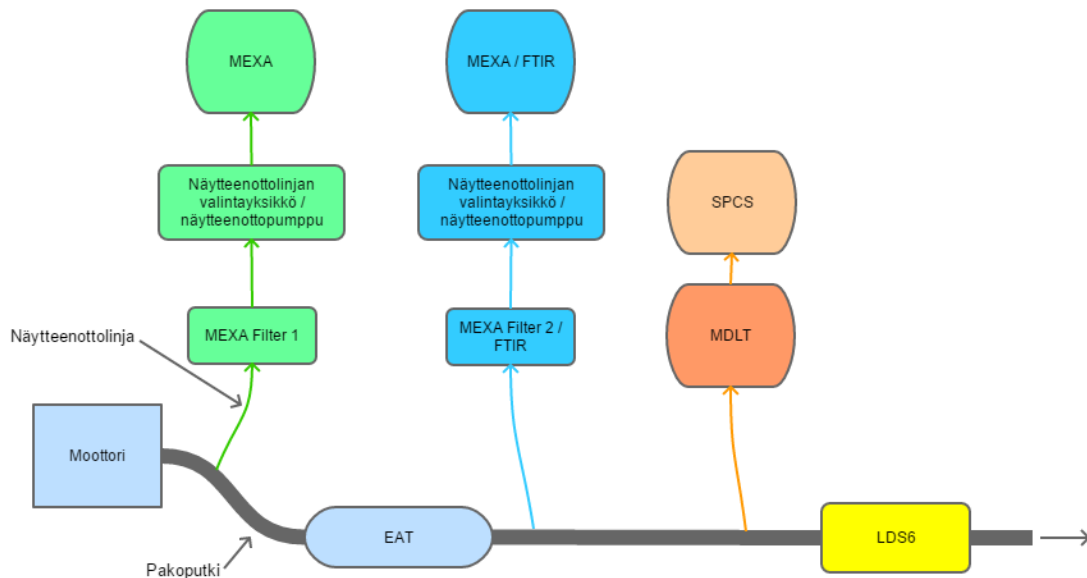
Laitteistoluetteloon koottiin käyttötarkoituksen mukaan ryhmiteltynä kaikki laboratorion toiminnan kannalta oleellinen laitteisto sisältäen laitteiden valmistajat ja tyypit sekä mahdollisuuksien mukaan käyttöönottovuosi ja sarjanumero. Lisäksi joidenkin laitteiden tietoihin kirjattiin tarkennuksia käyttötarkoituksesta ja yhteydet toisiin laitteisiin. Esimerkiksi pakokaasuanalysaattorin oheislaitteiden tietoihin kirjattiin, mitä analysaattoria varten kyseessä oleva oheislaitte on ja mikä on sen tehtävä.

5.2 Laitteisto

Seuraavassa kerrotaan laitteiston käyttötarkoituksesta ja niiden toimintaperiaatteesta laiteryhmittäin. Laitteista ja niiden ominaisuuksista on kerrottu pääasiassa kunnossapidon ja kalibroinnin suunnittelun kannalta olennaiset asiat.

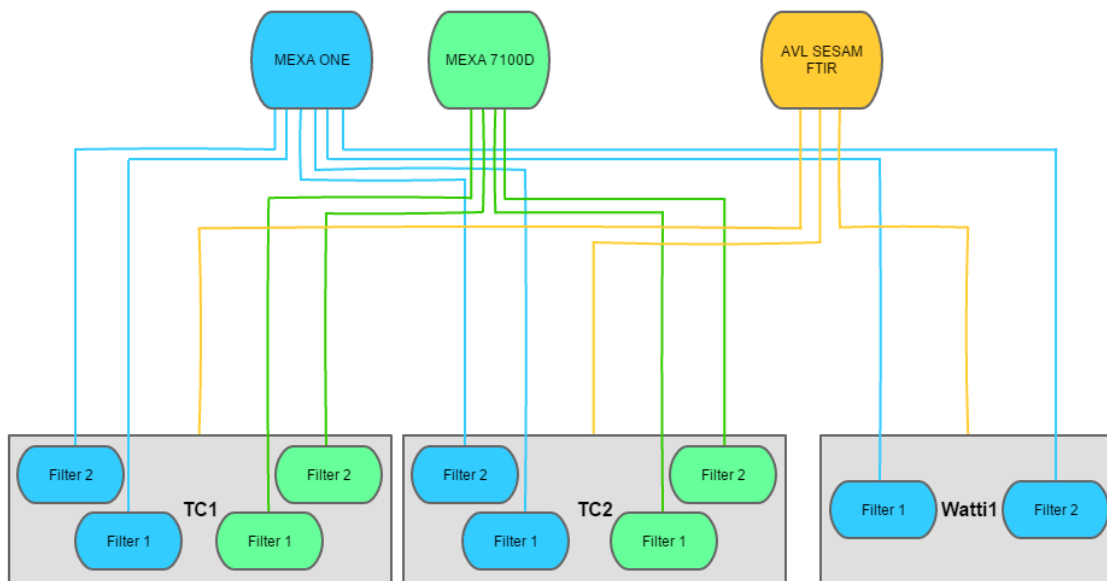
5.2.1 Analysaattorit ja oheislaitteet

Laboratoriossa on kaasumaisten päästöjen mittaamiseen kolme analysaattoria: kaksi Horiba MEXA-pakokaasuanalysaattoria sekä AVL Sesam -FTIR-analysaattori. Näiden lisäksi jokaisen solun pakokaasun poistoputkessa on Siemens LDS6 -laseranalysaattori, joka mittaa NH_3 - eli ammoniakkipitoisuutta pakokaasusta. Pakokaasun hiukkasmassan mittaamiseen on yksi Horiba MDLT -mikrolaimennustunneli ja hiukkaslukumäärän mittaamiseen Horiba SPCS -partikkelilaskuri. (Kuva 5.)



KUVA 5. Esimerkkikaavio pakokaasuanalysointilaitteiden sijoittumisesta pakolinjaan

MEXA-pakokaasuanalysointilaitteet ovat Horiban valmistamia analysointilaitteita, jotka kykenevät mittaamaan CO-, CO₂-, THC-, NO-, NO₂- ja NO_x-päästökomponentteja. Kuvan 6 mukaisesti MEXA 7100-pakokaasuanalysointilaitteelta kulkee kaksi esisuodattimilla varustettua näytteenottolinjaa kumpaankin sisällä sijaitsevaan testisoluuun ja MEXA ONE -pakokaasuanalysointilaitteelta kaksi esisuodattimilla varustettua näytteenottolinjaa jokaiseen testisoluuun. Kummankin analysointilaitteen esisuodattimista toinen on asennettu puolikiinteästi pakokaasun poistoputkeen ja niitä käytetään näytteenottoon EAT-järjestelmän jälkeen. Toiset esisuodattimet sijoitetaan yleensä lähelle EAT-järjestelmää ja niillä voidaan ottaa näytettä ennen järjestelmää tai eri kohdista sitä. Kummallakin MEXA-analysointilaitteella voidaan ottaa näytettä yhdestä paikasta kerrallaan, eli käytössä on yhtä aikaa kaksi analysointilaitetta, jolla voidaan ottaa pakokaasunäytettä yhdestä solusta kahdesta pisteestä tai kahdesta eri solusta yhdestä pisteestä kummastakin. MEXA-analysointilaitteet tarvitsevat toimiakseen näytteenottopumput, näytteenottolinjojen lämmönhallintayksiköt, kalibrointikaasuja ja THC-analysointilaitteen FID:tä varten vetyä ja heliumia sisältävää polttokaasua sekä synteettistä ilmaa. (Kuva 5.)



KUVA 6. Pakokaasuanalysointilinjien näytteenottolinjat

AVL Sesam -FTIR-analysointilinjalla voidaan mitata CO-, CO₂-, THC-, NO-, NO₂- ja NO_x-päästökomponenttien lisäksi monia muita päästöjä. Näistä oleellimmat ovat NH₃ eli ammoniakki ja N₂O eli dityppioksidi, josta yleisesti käytetään nimitystä ilokaasu. FTIR-analysointilinjalta kulkee yksi näytteenottolinja jokaiseen soluun kuvan 6 mukaisesti, ja sillä voidaan ottaa näytettä yhdestä paikasta kerrallaan. FTIR-analysointilinja tarvitsee toimiakseen nestemäistä ja kaasumaista tyyppiä sekä erillisen näytteenottolinjan valintayksikön ja näytteenottolinjojen lämmönhallintalaitteen. (Kuva 5.)

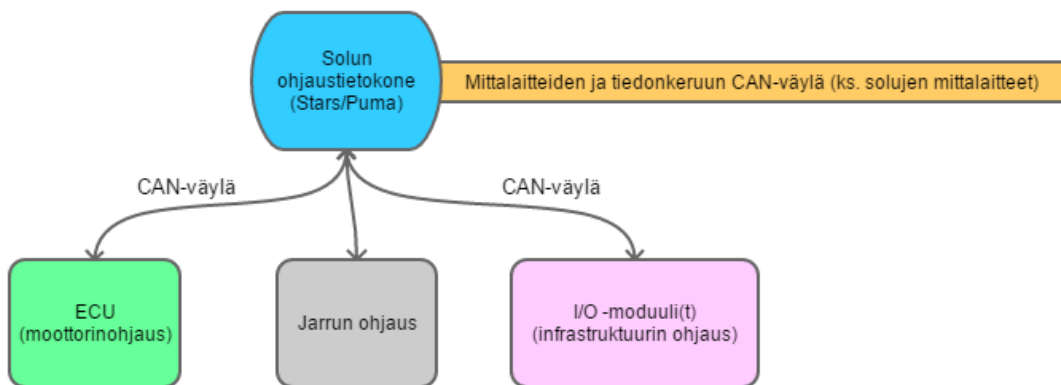
Siemens LDS6 on lasertekniikkaan perustuva kaasuanalysointilinja NH₃-pitoisuuden mittaamiseen pakokaasusta. LDS6-laitteen anturiparit on asennettu kiinteästi jokaisen solun pakokaasun poistoputkeen ja niillä voidaan mitata kaikilla yhtä aikaa. LDS6 tarvitsee toimiakseen vain puhdistettua paineilmaa estämään pakokaasun pääsemisen anturiparien linssipinnoille. (Kuva 5.)

Hiukkasmassan mittaus tapahtuu Horiba MDLT -mikrolaimennustunnelilla, jolla on kiinteä keskusyksikkö ja siirrettävä laimennustunneli- ja suodatinyksikkö, joka siirretään siihen soluun, mistä näytettä otetaan. MDLT tarvitsee toimiakseen puhdistettua paineilmaa. (Kuva 5.)

Hiukkaslukumäärän mittaukseen käytetään Horiba SPCS -partikkelilaskuria, joka on siirrettävissä näytteenottoaikan viereen. Ennen partikkelilaskurille viemistä pakokaasunäyte täytyy laimentaa MDLT:llä tai erillisellä laimentimella. SPCS tarvitsee toimintaansa puhdistettua paineilmaa sekä butanolia. (Kuva 5.)

5.2.2 Solujen ohjaus

Testisolut tarvitsevat toimiakseen automaatiojärjestelmän, jolla ohjataan koko laitteiston toimintaa, moottoria ja jarrua sekä hallitaan tiedonkeruuta. Ohjausjärjestelmä koostuu ohjaustietokoneesta sekä I/O-moduuleista analogisia ja digitaalisia signaaleja varten. Sisäsoluissa on käytössä Horiba Stars - ohjausautomaatiojärjestelmä ja Watti1:ssä AVL Puma. (Kuva 7.)

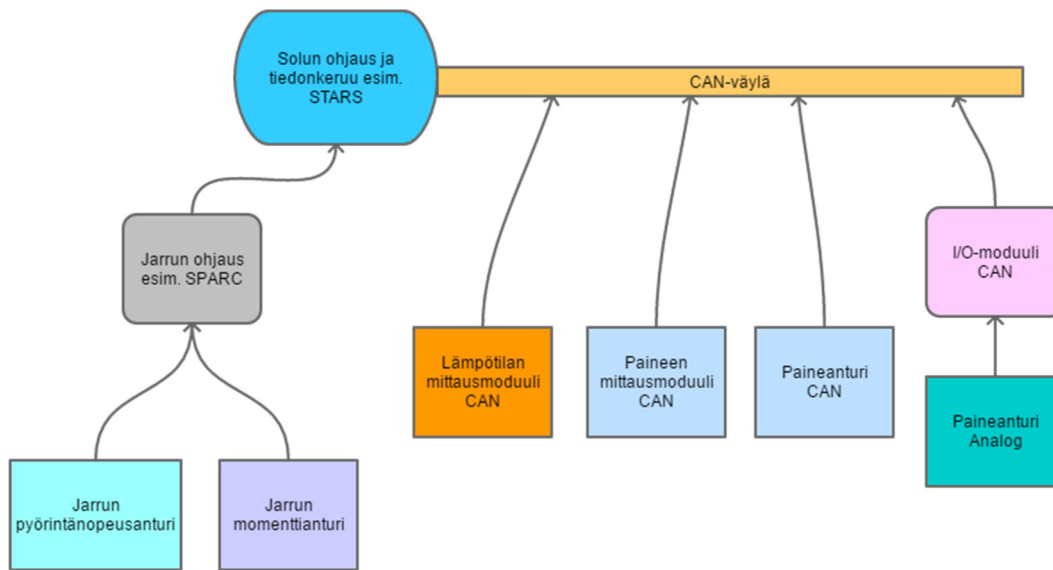


KUVA 7. Havainnollistava kaavio solujen ohjauksesta

5.2.3 Solujen mittalaitteet

Pakokaasupäästöjen analysoimisen lisäksi laboratoriossa mittausten tekemiseen tarvitaan paljon anturitietoa moottorin ja pakojärjestelmän paineista ja lämpötiloista. Näitä varten jokaisesta solusta löytyy 1 - 2 monikanavaista lämpötilanmittausmoduulia ja useita paineantureita sekä mahdollisesti useita painekanavia mittaava paineenmittausmoduuli. Lämpötilojen mittaus tapahtuu pääasiassa K-tyyppin termoelementeillä ja PT100-vastuslämpöantureilla. Painetta mitattaessa anturilta viedään mittauskohteeseen tarkoitukseen soveltuva letku tai putki. Mittausmoduulien ja paineanturien mittaustieto siirtyy solun ohjaukselle ja tiedonkeruulle pääasiassa suoraan CAN-väylää pitkin. Jotkin yksittäiset

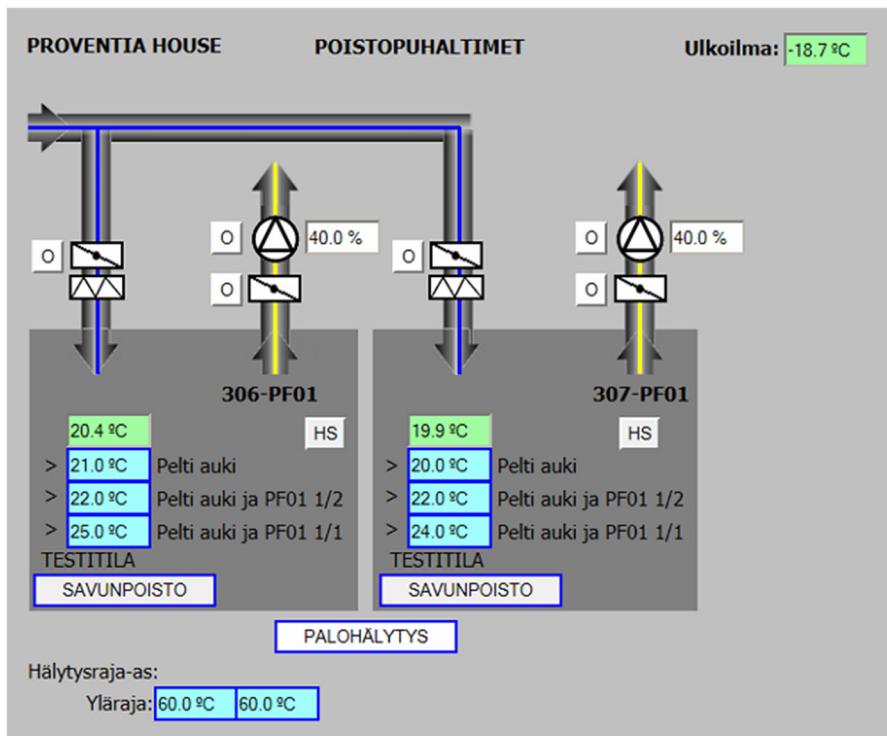
analogisignaalia lähettävät anturit on kytketty solun I/O-moduulin kautta. Kuvassa 8 on esitetty yleiskaavio solujen mittalaitteista ja niiden tiedonsiirrosta.



KUVA 8. Havainnollistava kaavio solujen mittalaitteista

5.2.4 Jäähdytys, ilmanvaihto ja pakokaasun poisto

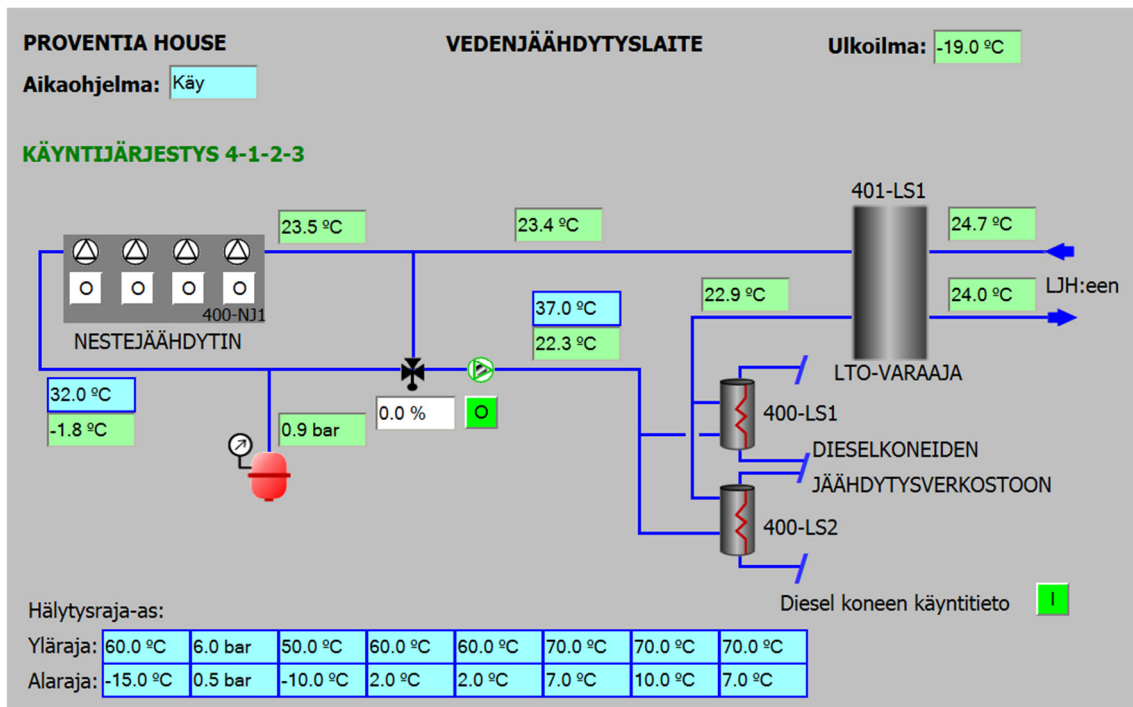
Kaikkien testisolujen ilmanvaihto on toteutettu kuvan 9 mukaisesti poistopuolelle sijoitetuilla huippuimureilla ja vapaasti virtaavalla tulokanavalla. Watti1:ssa on lisäksi tulokanavassa ilmansuodatin ja lämmitysvastukset solun lämmönsäätelyn helpottamiseksi kylmillä ilmoilla. Kaikkia huippuimureita käytetään taajuusmuuttajilla ja ohjaus tapahtuu solun lämpötilan perusteella.



KUVA 9. Kaavio sisäsolujen ilmanvaihdosta

Pakokaasun poisto on toteutettu sisäsoluissa poistokanavilla ja yhdellä yhteisellä taajuusmuuttajakäyttöisellä huippumurilla. Samaan kanavaan on ohjattu myös analysaattoreilta näytteenoton jälkeen tulevat pakokaasut. Watti1:n pakokaasujen poisto tapahtuu äänenvaimentimen kautta ilman imuria vapaasti ulkoilmaan.

Moottorien ja jarrujen jäähdytys on sisäsoluissa toteutettu kuvan 10 mukaisesti yhdellä järjestelmällä, josta lämpö johdetaan rakennuksen lämmitysjärjestelmän vesivaraajaan. Järjestelmässä on yksi pääkiertovesipumppu ja sen yhteydessä 3-tiesekoitusventtiili, joka ohjaa kiertoa tarvittaessa rakennuksen katolla sijaitsevalle jäähdytinkennolle. Järjestelmässä on kullekin moottorille ja jarrulle oma kiertonsa, ja lämpö siirtyy niistä pääkiertoon lämmönvaihtimien kautta. Moottorien jäähdytyskiertojen toiminta perustuu moottorin omaan vesipumppuun ja termostaattiin, mutta jarrujen nestekierrosta huolehtivat kiertovesipumput. Jäähdytysjärjestelmää ohjataan rakennuksen automaatiojärjestelmän kautta.



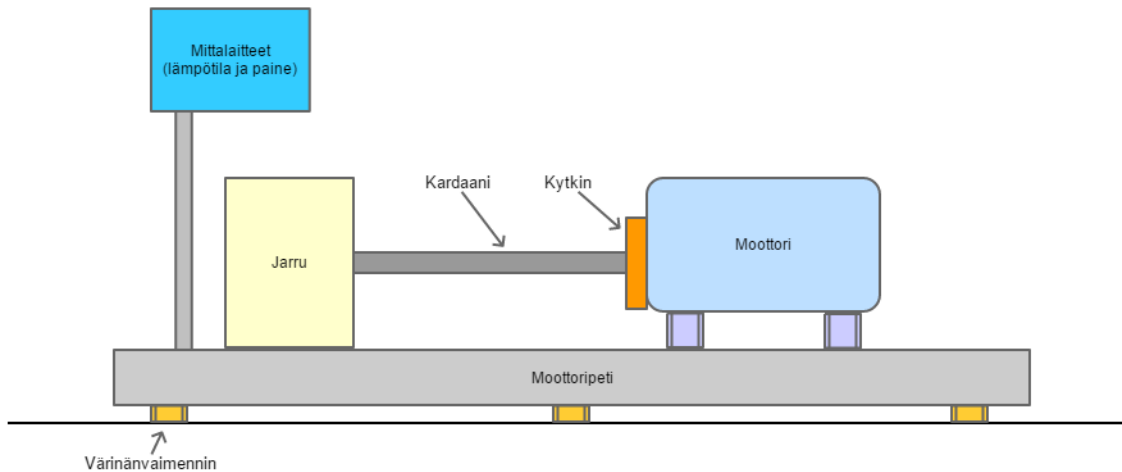
KUVA 10. Kaavio sisäsolujen jäähdytysjärjestelmästä

Watti1:n moottorin jäähdytyskierto toimii moottorin vesipumpulla ja termostaatilla sekä 3-tiesekoitusventtiilillä säädellyllä kierrolla kontin katolla sijaitsevaan jäähdytinkennoon. Sekoitusventtiili säätelee jäähdytinkennolle menevää virtausta moottorille menevän jäähdytysnesteen lämpötilan mukaan. Jarru on Watti1:ssä ilmajäähdytteinen ja siinä on integroitu puhallin.

Ahtoilman jäähdytys on toteutettu kaikissa soluissa ilma/vesi -periaatteella toimivalla välijäähdyttimellä, katolla sijaitsevalla jäähdytinkennolla, kiertovesipumpulla ja 3-tiesekoitusventtiilillä, jolla säädetään ahtoilman lämpötilaa katolla olevan jäähdytinkennon nestevirtausta rajoittamalla. Jokaisen solun välijäähdyttimellä on kokonaan oma järjestelmänsä ja niitä ohjataan solujen ohjausjärjestelmän kautta.

5.2.5 Moottoripeti ja jarru

Testauksessa käytettävä moottori kiinnitetään testisoluihin moottoripetiin. Moottoripeti on solun lattiasta moottorin värinää vaimentavilla kierre- tai ilmajousilla erotettu rakenne, jossa sijaitsee moottorin lisäksi jarru ja telineet mittalaitteita varten. Moottori liitetään jarruun vääntövärinää vaimentavan kytkimen ja kardaanin välityksellä. (Kuva 11.)



KUVA 11. Moottoripeti ja jarru

Sisäsoluissa TC1 ja TC2 on Horiban valmistamat pyörrevirtajarrut, joissa moottorin tuottama teho muuttuu lämmöksi, joka syötetään jäähdytysjärjestelmän kautta rakennuksen lämmitykseen. Sisäsolujen jarruja ohjataan Horiban Sparc-ohjaimilla. Watti1:n jarru on ABB:n oikosulkumoottori ja sitä ohjataan ABB:n taajuusmuuttajalla. Jarru toimii periaatteessa generaattorina muuttaen moottorin tehon sähkötehoksi ja syöttämällä sen sähköverkkoon.

5.2.6 Polttoainejärjestelmä

Laboratorion polttoainejärjestelmän perustana on ulkona sijaitseva polttoainekontti, jossa on 10 000 litran polttoainesäiliö. Lisäksi järjestelmä koostuu soluissa sijaitsevista välisäiliöistä, lämmitetyistä polttoainelinjoista, tankkauspumpuista ja -venttiileistä sekä polttoaineen esisuodattimista.

Sisäsoluissa moottori imee polttoaineen kummassakin solussa omasta välisäiliöstä, jonka polttoainemäärää valvotaan polttoainevaa'alla. Välisäiliöitä tankataan automaattisesti yhteisellä polttoainekontissa sijaitsevalla tankkauspumpulla. Polttoainelinjoissa on esisuodattimet ennen välisäiliöitä.

Watti1:n järjestelmä on muuten vastaava, mutta esisuodatin sijaitsee polttoainekontissa ja tankkauspumppu solun sisällä. Polttoainevaakaa ei ole, vaan säiliön pinnan tasoa mitataan pinnankorkeusanturilla ja polttoaineen massavirtaa voidaan mitata sitä varten olevalla mittalaitteella. Watti1:ssä on

myös siirtopumppu ja paineensäädin välisäiliöstä moottorille menevässä polttoainelinjassa.

5.2.7 Sammutusjärjestelmä

Tulipalojen varalle sisäsoluissa on sammutusjärjestelmänä palon lämpöenergian absorboivaan Novec 1230 -kaasuun perustuva automaattinen sammutusjärjestelmä. Watti1:n järjestelmä on vastaavan tyyppinen, mutta sammutuskaasuna on hapen syrjäyttävä argon.

5.3 Kunnossapito- ja kalibrointitarpeen selvitys

Kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelman perustaksi tarvittiin selvitys eri laitteiden kunnossapidon ja kalibroinnin tarpeesta. Kunnossapidon tarve selvitettiin laitekohtaisesti perehtymällä laitteen valmistajan dokumentaatioon laitteiden huoltamisesta sekä haastattelemalla laboratorion henkilökuntaa. Laitteiden kunnossapito on lähes kokonaisuudessaan laboratorion käyttäjien vastuulla, joten henkilökunnalla on kohtalaisen hyvä käsitys laitteiden kunnosta. Valmistajien dokumentaatioon perehtymisen yhteydessä kaikki tarpeellinen dokumentaatio myös järjestettiin yhteen paikkaan ja nopeasti tarvittaessa löydettäväksi. Henkilökunnan haastattelun ja valmistajien huoltodokumentaatian perusteella luotiin Excel-taulukko, johon listattiin mahdollisesti tarvittavia kunnossapitotoimia. Laitteiden ryhmittely Excel-taulukkoon tehtiin taulukon 1 mukaisesti ja siihen listattiin tarvittaessa myös huomioita laitteiden kunnosta.

TAULUKKO 1. Laitteiston ryhmittely

Valvomot	Kaikki valvomoissa olevat laitteet kuten ohjaustietokoneet ym.
TC1	Testisolun 1 laitteisto: mittalaitteet, jarru ym.
TC2	Testisolun 2 laitteisto: mittalaitteet, jarru ym.
Watti1	Testisolun Watti1 laitteisto: mittalaitteet, jarru ym.
Analysaattorit ja oheislaitteet	Pakokaasupäästöjen mittaamiseen tarkoitettut laitteet sekä niiden toiminnan vaatimat oheislaitteet
Kalibrointilaitteet	Kalibrointiin käytettävät laitteet kuten painekalibraattori ja kalibrointiuuni
Siirrettävät mittalaitteet	Kannettavat mittalaitteet kuten lämpömittarit ym.
Vaa'at	Punnituksiin ja kalibrointeihin käytettävät vaa'at
Kaasut	Kaikki mittalaitteiden tarvitsemat kaasut ja kaasulaitteet

Laitteiston kalibrointitarpeen selvityksessä perehdyttiin laitteiden aiempaan kalibrointihistoriaan sekä EU:n että USA:n viranomaisten vaatimuksiin päästömittauksissa käytettävien laitteiden kalibroinnista. Selvityksessä kävi ilmi, että testisolujen lämpötila- ja painekanavia sekä sisäsolujen jarrujen momenttiantureita oli kalibroitu ja näyttämien oikeellisuutta varmistettu, mutta mitään säännöllistä kalibrointiohjelmaa ei ollut käytössä. Kalibrointien dokumentoinnissa oli myös puutteita eikä mitään yhtenäistä käytäntöä kalibrointien suorittamiseen ollut. Myös kalibroinneissa käytettävien kalibrointilaitteiden edellisistä kalibroinneista oli kulunut useita vuosia.

Emissionmittalaitteiden kalibrointitilanne oli muita mittalaitteita paremmalla tasolla. MEXA-pakokaasuanalysaattoreille tehdään kalibrointi span- ja nollakaasuilla päivittäin ennen käyttöä, ja MEXA ONE-analysaattorin lineaarisuuden verifiointit ja muut kalibroinnit oli suoritettu. MEXA 7100:n lineaarisuuden verifiointi sekä kalibroinnit oli suoritettu viimeksi suuremman huollon yhteydessä vuonna 2015.

FTIR-analysaattorilla tehdään backround check päivittäin ennen käyttöä, mutta viimeisin lineaarisuuden verifiointi oli suoritettu vuonna 2013. Micro Soot Sensorin sekä SPCS-partikkelilaskurin kalibroinnit olivat kunnossa ja MDLT-mikrolaimennustunnelin virtausmittausten verifiointit oli suoritettu. LDS6 NH₃-analysaattoreiden kalibrointi tapahtuu automaattisesti keskusyksikön sisäisellä kalibroitikennolla.

Analysaattoreiden oheislaitteista MEXA-analysaattoreiden lineaarisuuden verifiointiin tarvittava Horiba Gas Divider tarvitsee säännöllisen lineaarisuuden verifiointin, joka oli myös vanhentunut.

5.4 Kunnossapitosuunnitelma

Moottori- ja päästölaboratorion kunnossapito oli jo alkujaankin lähes täysin käyttäjien vastuulla, joten TPM oli luonnollinen valinta toimintamalliksi kunnossapidon kehittämiseen. Kuten luvussa 2.1.2 kerrotaan, TPM:n pääperiaatteena on pitää optimikunnossa kaikki laitteet, joista tuotanto, tässä tapauksessa laboratorion suorittama testaustoiminta, on riippuvainen. Pääkeinona tavoitteeseen pääsemiseksi on laitteiden käyttäjien suorittama rutiinikunnossapito ja kunnan seuranta normaalin käytön yhteydessä. Päätoimintamalli TPM:n tueksi toiminnan kannalta tärkeiden ja suuremman kunnossapitotarpeen omaavien laitteiden, kuten pakokaasuanalysaattoreiden, kunnossapidon suunnittelun apuna sovellettiin luotettavuuskeskeistä RCM-toimintamallia.

TPM-toimintamallin perusajatuksena oleva käyttäjien suorittama kunnossapito oli laboratoriossa jo käytössä, käyttäjät tuntevat laitteiston ja laitteiden toimintaperiaatteet hyvin sekä ovat perillä laitteiden kunnosta. Normaalit kunnossapitotoimet ovat myös tuttuja ja helppoja hoitaa, mutta kunnossapidolle ei ollut minkäänlaista suunnitelmaa, vaan korjauksia tehtiin pääasiassa vasta vian ilmetessä.

TPM-mallin mukaisen kunnossapidon tavoitteena on jatkuvasti vähentää laiterikkoja ja se otettiin myös kunnossapitosuunnitelman luomisen perusajatuksiksi. Suunnitelman pohjaksi kerättiin tietoa laitevalmistajien huolto-ohjeista sekä haastatteleamalla henkilökuntaa laitteiden vika- ja korjaushistoriasta.

Kerätyn tiedon perusteella laitteille määritettiin tehtävät kunnossapitotyöt ja niiden suoritusvälit. Määrittelyn haasteena oli kuitenkin vähäinen tieto laitteiden vikaantumishistoriasta, joten suunnitelman jatkokehittämisen avuksi otettiin samalla käyttöön vikapäiväkirja (liite 3), johon laboratorion henkilökunnan on tarkoitus dokumentoida tulevat viat ja korjaukset. Tavoitteena on, että kunnossapitosuunnitelmaa muokataan tulevaisuudessa paremmin tarpeita vastaavaksi vika historian perusteella. Vikapäiväkirja sekä kunnossapitosuunnitelma sijaitsevat yrityksen palvelimella, ja niihin on pääsy kaikilla laboratorion henkilökuntaan kuuluvilla.

Kunnossapitosuunnitelma toteutettiin Excel-taulukkona ja kohteet ryhmiteltiin edellä esitetyn taulukon 1 mukaisesti. Näin saadaan yhdeltä aina välilehdeltä selkeä kuva kunkin solun tai laiteryhmän kunnossapitotoimista ja niiden suorituksista. Taulukon ensimmäisiin sarakkeisiin on kirjattu laitteista kaikki oleellinen perustieto kuten käyttötarkoitus, laitteen valmistaja ja tyyppi sekä sarjanumero. Seuraavissa sarakkeissa on kerrottu tehtävät kunnossapitotyöt, töiden suoritusväli kuukausina tai käyttötunteina, viimeisin ja seuraava suorituspäivä sekä työn suorittaja. Lisäksi on Huomautukset-sarake, johon voidaan kirjata esimerkiksi edellisessä huollossa havaittuja asioita. Taulukossa on laitteista myös kuvat, joiden on tarkoitus antaa hyvä käsitys laitteista asiaa tarkemmin tuntemattomalle. Kalibroinnit on yhdistetty kunnossapitotöiden kanssa samaksi taulukoksi, koska molemmat työt tehdään yleensä saman huoltoseisakin aikana. Kalibroitaisuunnitelmasta kerrotaan erikseen luvussa 5.5. Eri laiteryhmien kunnossapitosuunnitelmaa on avattu seuraavien alaotsikoiden alla.

5.4.1 Testisolut

Kaikki testisolut ovat laitteistorakenteeltaan sekä kunnossapidoltaan hyvin samankaltaisia. Jarruja ja mittalaitteita lukuun ottamatta laitteisto koostuu pääosin huoltovapaista ja helposti saatavilla olevista komponenteista, joten suurin osa solujen kunnossapitotöistä on eri kohteiden tarkastuksia ja puhdistuksia. Käyttäjät seuraavat laitteiden kuntoa normaalisti osana käyttöä, mutta kunnossapitosuunnitelmaan merkittiin tarkastukset suoritettavaksi yleisesti 12 kuukauden välein. Tarkastuksissa esille tulleet toimintaan vaikuttamattomat viat tai puuteet on tarkoitus merkitä huomautukset-sarakkeeseen, jotta ne

voidaan ottaa huomioon seuraavaa huoltoseisakkia tai suurempaa kunnossapitotyötä suunniteltaessa. Esimerkiksi ahtoilman jäähdytysjärjestelmässä olevan pienen nestevuodon takia ei kannata alkaa tyhjentämään koko järjestelmää, vaan vuotoa voidaan seurata ja siirtää korjaus suuremman kunnostuksen yhteyteen.

Tarkastuksessa laite tarkastetaan katsomalla kunto silmämääräisesti, kokeilemalla mahdolliset välykset ja tarkkailemalla esimerkiksi pumpun tai puhaltimen ääntä ja värinää. Mikäli normaalitoiminnasta poikkeavia merkkejä ilmenee, voidaan aloittaa laitteen tehostettu seuraaminen ja varautuminen vaihtoon tai korjaukseen.

Tarkistuksien ja puhdistuksien lisäksi suunnitelmaan merkittiin kardaanin voitelu 12 kuukauden välein ja polttoaineen esisuodattimen vaihto 24 kuukauden välein. Kardaanin voitelu on esimerkiksi TC1:n kardaanin valmistajan Horiban mukaan tehtävä 50 käyttötunnin välein, mutta käytännössä kardaanien mitoitus ja käyttöolosuhteet ovat sellaiset, että kerran vuodessa tehtävä voitelu ja tarkastus riittävät hyvin. Polttoaineen esisuodattimien vaihtovälit ovat olleet jopa useita vuosia ongelmitta, joten 24 kuukauden vaihtoväli katsottiin sopivaksi, vaikka moottorin käyttötunteina se tarkoittaakin suodatinvalmistajan suositteleman vaihtovälin ylittämistä. Moottoreiden imuilman suodattimet vaihdetaan paineanturin näyttämän perusteella, joten niitä ei merkitty erikseen kunnossapitosuunnitelmaan.

Watti1 poikkeaa kunnossapidon osalta sisäsoluista jarrun laakereiden 12 kuukauden tai 4 000 käyttötunnin välein suoritettavalla voitelulla ja jarrun taajuusmuuttajan sekä ilmanvaihdon tuloilman suodattimien 12 kuukauden välein suoritettavalla vaihdolla. Laakereiden voiteluväli ja suodattimien vaihtovälit valittiin valmistajien ohjeiden perusteella käyttöolosuhteet huomioiden.

Testisolujen kunnossapito perustuu siis pääasiassa säännölliseen tarkkailuun ja kunnan perusteella tehtävään kunnossapitoon. Solujen laitteisto on pääosin suhteellisen helposti saatavilla olevaa, joten laitteet voidaan käyttää käytännössä loppuun, eikä säännöllisiä vaihtoja varmuuden vuoksi kannata tehdä. Käyttäjät pystyvät myös seuraamaan laitteiston kuntoa jatkuvasti normaalin käytön

ohessa, joten alkavat viat huomataan nopeasti. Kuvassa 12 esitetään testisolun kunnossapito-ohjelma.

Test Cell 1								Päivämäärä		3.3.2018		
Käyttötarkoitus	Laite	Sarjanumero	Työ	Suoritusväli [kk]	Suoritusväli [h]	Suoritettu	Tekijä	Seuraava suoritus	Huomautukset			
Pyörivirtajärjestelmä	Horiba WT470	9000012	Momentintunturin kalibrointi/lineaarisuus	12		13.2.2018	SRE	13.2.2019	EPA/EU -vaatimus	Kalibro		
			Pyörintänopeusanturin lineaarisuuden	12					3.3.2018	EPA/EU -vaatimus		
			Jarrun pintapuolinen puhdistus		(1000h)	8.2.2018	SRE			(Valmistajan suositus)		
			Laakereiden tarkistus/vaihto/voitelu		(10 000h)				(Valmistajan suositus)			
			Kaikkien poisto jarrun jäähdytysjärjestelmästä		(500-4000h)				(Valmistajan suositus)			
Kärdaani	Horiba		Voitelu	12	(50h)	12.2.2018	SRE	12.2.2019	(Valmistajan suositus)			
Lämpötilan mittaus	CSM THMM 16 Pro Type K CAN		Kalibrointi/lineaarisuuden verifiointi	12		9.2.2018	SRE	9.2.2019	EPA/EU -vaatimus	Kalibro		
	Horiba/IMC CANSAS-SDT16		Kalibrointi/lineaarisuuden verifiointi	12		9.2.2018	SRE	9.2.2019	EPA/EU -vaatimus	Kalibro		
Paineen mittaus	5x STW M01-CAN		Kalibrointi/lineaarisuuden verifiointi	12		9.2.2018	SRE	9.2.2019	EPA/EU -vaatimus	Kalibro		
	Horiba/IMC CANSAS-SDP16		Kalibrointi/lineaarisuuden verifiointi	12		9.2.2018	SRE	9.2.2019	EPA/EU -vaatimus	Kalibro		
Ilmankosteuden mittaus	Vaisala HMM100	J1640006	Kalibrointi	12		18.3.2018	Vaisala	18.3.2014	EPA/EU -vaatimus			
Ilmamassamittari	xx		Kalibrointi	12				3.3.2018	EPA/EU -vaatimus			
Ilmanvaihto	Huippumuri: Filktwoods Roofmaster Plus EC STEC-5		Tarkistus ja puhdistus	12				3.3.2018				
	Käyttö: Vacon NX100045CSH15550000 -taajuusmuuttaja		Tarkistus ja pölyjen poisto	12				3.3.2018				
Jarrun jäähdytys	Pumppu: Kolmeks L-80A/4		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Pumppu käyttö: Omron VZA40P48AA-taajuusmuuttaja		Tarkistus ja pölyjen poisto	12				3.3.2018				
Moottorien jäähdytys	Lämmönvaihdin: Danfoss HJ4H-132		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Lämmönvaihdin: Danfoss HJ4H-132		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
Ahtoilman jäähdytys	Putket, letkut ja muut komponentit		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Pumppu: Grundfos Magna3 40-150 F 250		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
Polttoainejärjestelmä	Sekoitusventtiili ja Bellimo HTC24-SR -venttiilimoottori		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Putket, jäähdytinkennot ja puhaltimet		Tarkistus (vuodot yms.)	12		7.2.2018	SRE	7.2.2019	Yksi solun seinällä oleva putki			
Polttoainejärjestelmä	Tankkausmagneettiventtiili: Sirai L133B16 ZA30A 1/2"		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Polttoainevaaka: Zemic L6Q		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
Polttoainejärjestelmä	Letkut ja putket		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Polttoaineen esisuodatin	Parker R90P tai vastaava	Vaihto	24	(500h)	12.2.2018	SRE	12.2.2020	Solussa olevat polttoaineletkut			
Yhteiset TC2 kanssa												
Sammutusjärjestelmä	Dafo SC-1/Novac 1230		Huolto	12		#####	AGIS	19.10.2018				
Pakokaasumuri	Filktwoods GTLB-1-063-6-11-00		Tarkistus ja puhdistus	12				3.3.2018				
Moottorin ja jarrun jäähdytys	Pumppu: Grundfos 112M2C-28FF215-D1		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Varaaja: Akvatem 4994 3000L		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	3-tiesekoitusventtiili: Bellimo H780N		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Venttiilin käyttö: Bellimo AVY24-MFT		Tarkistus (vuodot yms.)	12		12.2.2018	SRE	12.2.2019				
	Jäähdytinkemmo, 4 puhallinta		Tarkistus (vuodot yms.)	12		8.2.2018	SRE	8.2.2019				
Polttoainejärjestelmä	Tankkauspumppu: Mestri Sri 866NEW/N 50l/min		Tarkistus (vuodot yms.)	12				3.3.2018				

KUVA 12. Testisolun kunnossapito-ohjelma

5.4.2 Valvomot

Valvomoissa kunnossapito tarkoittaa käytännössä pölyjen poistoa ohjaustietokoneista, laitekaapeista ja lämpöpumppujen sisäyksiköistä ja niiden suodattimista. Tietokoneet ja laitekaapit keräävät sisäänsä pölyä, joka heikentää jäähdytyksen tehoa ja siten laskee koneiden käyttöikää. Lämpöpumppujen sisäyksiköt keräävät myös runsaasti pölyä kennojen pintoihin, joka heikentää niiden lämmitys- ja jäähdytystehoa. Puhdistamalla yksiköt säännöllisesti mahdollistetaan niiden optimaalinen toiminta.

Valvomoissa olevat solujen ja analysointilaitteiden ohjauskoneet ovat testaustoiminnan kannalta kriittisiä, mutta niitä ei käytännössä voi ennakoivasta huoltaa, vaan ne täytyy käyttöikänsä päässä vaihtaa uusiin. Ohjauskoneet ovat kuitenkin kalliita, joten niiden uusimisväliä joka tapauksessa pitkiä ja tapauskohtaisia, joten niitä käsitellään tarkemmin riskienhallintasuunnitelmassa, eikä niitä sisällytetty kunnossapitosuunnitelmaan.

5.4.3 Analysaattorit ja oheislaitteet

Pakokaasuanalysointilaitteiden ja niiden oheislaitteiden kunnossapitotarpeen selvitys pohjautui pääasiassa valmistajan dokumentaatioon, mutta myös käyttäjien kokemuksia haastateltiin. Analysointilaitteet ovat kohtalaisen monimutkaisia laitteita ja niissä on useita kunnossapitokohteita, jolle valmistaja on määritellyt huoltovälit. Useissa tapauksissa kunnossapidon tarpeeseen vaikuttaa erittäin paljon mitattava pakokaasu, ja valmistajan määrittelemät huoltovälit on yleisesti määritelty erittäin paljon epäpuhtauksia sisältävän kaasun mittaamisen perusteella. Tämän seurauksena valmistajan määrittelemät huoltovälit ovat yleisesti osoittautuneet liian tiheiksi, joka on johtanut siihen, että kunnossapitotoimia on tehty epäsäännöllisesti ja monesti vasta ongelmien ilmetessä.

Analysointilaitteiden osalta kunnossapitosuunnitelmassa on tavoitteena saada toimintaan kriittisesti vaikuttavien ja eniten ongelmia aiheuttaneiden kohteiden kunnossapito säännölliseksi, jotta yleensä pieniltä, mutta testaustoimintaa aina hidastavilta ongelmilta vältyttäisiin. Aiemmin mainittu vikapäiväkirja on erityisen tärkeä etenkin analysointilaitteiden kunnossapidon kehittämisessä, ja tarkoituksena on, että huoltovälejä ja tehtäviä kunnossapitotöitä kehitetään vikapäiväkirjan perusteella tulevaisuudessa. Vikapäiväkirjan lisäksi analysointilaitteiden kunnan muutoksia voidaan seurata säännöllisillä kalibroinneilla ja verifioinneilla.

Huolto ja kunnossapito on analysointilaitteissa pääasiassa osien ja suodattimien vaihtoa ja puhdistamista. Erilaisia varaosia on kohtalaisen paljon, joten kunnossapitosuunnitelman luomisen yhteydessä varaosavarasto inventointiin ja analysointilaitteiden varaosista tehtiin kuvassa 13 esitetty Excel-taulukko, johon listattiin osien nimikkeet, osanumerot ja varastosaldot. Luettelo ryhmiteltiin laitteittain ja varaosaa voi hakea nimikkeellä tai osanumerolla. Tavoitteena on, että tulevaisuudessa luettelon nimikkeet ja saldot pidetään ajan tasalla, jotta varaosatilanne on aina selvillä ja yleisimmin tarvittavia osia voidaan tilata varastoon jo ennen akuuttia tarvetta.

Osa	Osanumero	Toimittaja	Käyttökohde	Varastosaldo	Muut huomiot
ZUBEHÖR SATZ SPARC VOLLSTÄNDIG					2 Sparc liittimiä, tarroja ym sekalaisia, avattu
VALVE HTTP-330A	F1001241100				1
TUBE FOR TUBING PUMP for SR-25	3200082228				1
TUBE 5m	3011028008				1 CLA-757
TOOL FOR MCG	3012246186				1
THERMAL FUSE AXIAL 216C	DF213-002F ELFA				9
THERMAL FUSE 77C, 10A/250V	MTG4A50077C				1
THERMAL FUSE 192C, 10A/250V	MTG4A50192C				1
TEFLON SHEET for Drip Sensor	3200082697				3
TEFLON SHEET for Drain Sensor	H0583026001				3
STOPFEN 290 3/4" GTW35vzn	1000003646				2 Tulppa 3/4"
SLEEVE RT-06					1
SLEEVE RING ASSY MJF15-0,MIN15-0					20
SILICON CAP for SAMPLE BLIND					5
QUARTZ WOOL 1g	3030054135				1
PUMP DIAPHRAGM ASSY PHS-40P	F0023370400				6
PUMP DIAPHRAGM ASSY HTTP-330A	F1001241000				2
PUMP DIAPHRAGM ASSY for DA-40S	3200082245				1
PUMP DIAPHRAGM ASSY for DA-40S	3200082246				1
PUMP DIAPHRAGM ASSY for DA-40S	3200082247				1
PUMP DIAPHRAGM ASSY for DA-40S	3200082250				1
PUMP DIAPHRAGM ASSY for HTTP-306					1
PACKING SHEET MV-16 (FPM)	F021358100				2
PACKING OD15/ID9 T1.0 FPM	H0514947022				2
PACKING OD15/ID9 T=10 FPM	H0514947022				1

KUVA 13. Analysaattoreiden varaosaluettelo

Analysaattoreiden osalta kunnossapitosuunnitelmaan merkattiin ne työt, joiden säännöllinen suorittaminen arvioitiin tärkeäksi analysaattorin normaalin toiminnan takaamiseksi ja pienten mittauksen keskeyttävien vikojen poistamiseksi. Näiden normaalien huoltotoimien lisäksi analysaattoreille on järkevää suorittaa tarpeen mukaan iso huolto, jossa kaikki kulutusosat vaihdetaan. Seuraavassa on käyty kunnossapitoa läpi laitekohtaisesti.

5.4.3.1 Pakokaasuanalysaattorit

MEXA-pakokaasuanalysaattoreissa on laboratorion laitteistosta eniten säännöllistä huoltoa vaativia kohteita, mutta huoltotoimet ovat pääosin yksinkertaisia ja nopeita tehdä. Säännöllisesti suoritettaviksi kunnossapitotoimiksi valittiin näytteenottoon ja käsittelyyn liittyvien suodattimien vaihdot, näytteenottopumpun huolto sekä letkupumppujen letkujen tarkastus ja tarvittaessa vaihto. Kuvassa 14 esitetään MEXA-analysaattoreiden kunnossapitotoimet ja suoritusvälit.

Analysaattorit							Päivämäärä	3.3.2018	
Käyttötarkoitus	Laite	Sarjanumero	Työ	Suoritusväli [kk]	Suoritusväli [h]	Suoritettu	Tekijä	Seuraava suoritus	Huomautukset
Kaasuanalysaattori	Horiba MEXA 7100D	4457003001	Lineaarisuuden verifiointi	1				3.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			CH4-vasteen verifiointi	6				3.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			NO-NO2-konversion verifiointi	1				3.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			Tarkastus/vaihto/puhdistus	4				3.3.2018	SHS suodattimet. Tiivist
			Suodattimet						
Näytteenottopumppu (SHS)			Huolto		(1200h)				
Letkupumppujen letkut			Tarkastus/vaihto	12					
Kaasuanalysaattori	Horiba MEXA ONE-D1	S2100505594000010	Lineaarisuuden verifiointi	1		8.12.2017	Evä	7.1.2018	EPA/EU -vaatimus
			CH4-vasteen verifiointi	6		21.9.2017	Evä	22.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			NO-NO2-konversion verifiointi	1		8.12.2017	Evä	7.1.2018	EPA/EU -vaatimus
			Tarkastus/vaihto/puhdistus	4				3.3.2018	SHS suodattimet. Tiivist
			Suodattimet			Huolto		(1200h)	
Näytteenottopumppu (SHS)									
Letkupumppujen letkut			Tarkastus/vaihto	12					

KUVA 14. MEXA-analysaattoreiden huolto- ja kalibrointiohjelma

Likaantuneet suodattimet voivat aiheuttaa ongelmia analysaattorin toimintaan hidastaen näytteen virtausta. Lisäksi likaisista suodattimista irtoavat epäpuhtaudet voivat vaikuttaa analysaattorin ennen käyttöä tehtävään kalibrointiin ja estää sen hyväksytyin suorittamisen. Nämä ovat yleisimmin kohdattavia ongelmia analysaattoreita käytettäessä, joten vaihtamalla suodattimia ennakkoon sopivina ajankohtina noin neljän kuukauden välein, voidaan välttyä ongelmilta mittausten alussa tai kesken mittausten. Suodattimien vaihdon yhteydessä voidaan myös tarkistaa niiden tiivisteiden kunto ja uusia tiivisteet tarvittaessa.

Kalvotoimisen näytteenottopumpun tehokkaan toiminnan takaamiseksi sen kalvojen sekä venttiilien on oltava kunnossa ja tiiviit. Näytteenottopumppu on koko analysaattorin toiminnan kannalta kriittinen, joten sen huolto otettiin mukaan huolto-ohjelmaan. Huoltoväliksi määritettiin valmistajan ilmoittama 1200 käyttötuntia, mutta mikäli väli havaitaan liian tiheäksi, sitä voidaan jatkaa. Näytteenottopumpun huoltoon kuuluu kalvojen, venttiileiden sekä tiivisteiden vaihto.

Näytteenottopumpun lisäksi analysaattoreissa on kaksi letkupumppua, joiden letkut joutuvat käytössä jatkuvalla mekaaniselle sekä kemialliselle rasitukselle. Valmistajan suosittelema vaihtoväli letkuille on 6 kuukautta, mutta käytännössä nykyisin pääasiassa mitattavia pakokaasuja mitattaessa niiden käyttöikä on todettu huomattavasti pidemmäksi. Letkujen tarkastusväliksi määritettiin 12 kuukautta ja mikäli letkut todetaan tarkastuksessa huonokuntoisiksi, ne vaihdetaan. Suuria hiilivetyttöisyyksiä mitattaessa letkupumppujen tarkastusväliä voi olla tarpeen lyhentää. Mikäli letku pääsee rikkoutumaan käytön aikana, analysaattorin itsediagnostiikka huomaa virtausmäärän muutoksen ja hälyttää viasta.

5.4.3.2 FTIR-pakokaasuanalysaattori

FTIR-analysaattorin säännöllinen huoltotarve on melko vähäinen. Tärkeimpänä säännöllisenä huoltotoimena on näytteenottoyksikön suodattimen ultraäänipesu, jolle valittiin neljän kuukauden suoritusväli. Suodattimen lisäksi säännölliseksi huoltotyöksi lisättiin letkupumppujen letkujen tarkastus ja tarvittaessa vaihto 12

kuukauden välein. Kuvassa 15 esitetään FTIR-analysaattorin kunnossapitotoimet ja suoritusvälit näytteenottoyksikköä lukuun ottamatta.

Analysaattorit								Päivämäärä	3.3.2018
Käyttötarkoitus	Laite	Sarjanumero	Työ	Suoritusväli [kk]	Suoritusväli [h]	Suoritettu	Tekijä	Seuraava suoritus	Huomautukset
6	Kaasuanalysaattori	AVL SESAM FTIR	2010350	Kalibrointi	60	16.11.2013	AVL	15.11.2018	
7				Lineaarisuuden verifiointi	12	16.11.2013	AVL	16.11.2014	EPA/EU -vaatin
8				Yleinen tarkistus/puhdistus	12	16.11.2013	AVL	16.11.2014	Katso valmistaja
9		Letkupumppujen letkut		Tarkastus/vaihto	12				

KUVA 15. FTIR-analysaattorin huolto- ja kalibrointiohjelma

5.4.3.3 Muut laitteet

Muiden pakokaasupäästöjen mittaamiseen tarkoitettujen laitteiden käyttöaste ei ole niin korkea kuin MEXA- ja FTIR-analysaattoreilla, joten niiden kunnossapidon tarve on myös matalampi. Laitteet ovat myös yksinkertaisempia ja huoltoa tarvitsevia kohteita on vähemmän. Näille laitteille kunnossapitotoimet määritettiin pääasiassa laitteiden valmistajien suositusten pohjalta, mutta suoritusväleiksi valittiin pääsääntöisesti 12 kuukautta. Laitteiden huolto-ohjelma esitetään kuvassa 16.

Analysaattorit								Päivämäärä	3.3.2018
Käyttötarkoitus	Laite	Sarjanumero	Työ	Suoritusväli [kk]	Suoritusväli [h]	Suoritettu	Tekijä	Seuraava suoritus	Huomautukset
0	NH ₃ -analysaattori	Siemens LDS6	NIJ6103871						
1		LDS6 sensorit TC1		Linssin tarkistus/puhdistus	12	19.2.2018	SRE/JKP	19.2.2019	Asennus ja käyttö
2				Paineilman tarkistus	12	19.2.2018	SRE	19.2.2019	Asennus ja käyttö
3		LDS6 sensorit TC2		Linssin tarkistus/puhdistus	12	30.1.2018	EVÄ/JKP	30.1.2019	Asennus ja käyttö
4				Paineilman tarkistus	12	30.1.2018	EVÄ	30.1.2019	Asennus ja käyttö
5		LDS6 sensorit Watti 1		Linssin tarkistus/puhdistus	12	1.10.2017	EVÄ	1.10.2018	Asennus ja käyttö
6				Paineilman tarkistus	12	1.10.2017	EVÄ	1.10.2018	Asennus ja käyttö
7	Partikkelilaskuri	Horiba MEXA-2300SPCS	S2100498934	Kalibrointi	12	6.3.2017	Horiba	6.3.2018	EPA/EU -vaatimus
8				Näytteenottovirtauksen tarkistus	1	6.3.2017	Horiba	5.4.2017	EPA/EU -vaatimus
9		Haihtuvien hiukkasten poistolaitte		Kalibrointi	12	6.3.2017	Horiba	6.3.2018	EPA/EU -vaatimus
0		Syklonikuppi		Puhdistus	12	6.3.2017	Horiba	6.3.2018	
1	Mikrolaimennusturi	Horiba MDLT-1304TMA	4457003003	Huolto	12			3.3.2018	Katso valmistaja
2		VFM2 Laimennusilmavirtaus		Lineaarisuuden verifiointi	12	27.6.2017	Horiba	27.6.2018	EPA/EU -vaatimus
3	Hiukkaspäästöjen m	AVL Micro Soot Sensor 483 1562		Kalibrointi		28.4.2017	AVL		Tarvittaessa
4				Kalibroinnin tarkastus	12	28.4.2017	AVL	28.4.2018	Katso valmistaja
5				Puhdistus ja suodattimien tarkistus		28.4.2017	AVL		Katso valmistaja
6	Kaasuanalysaattori	AVL DiCom 4000	1696	Kalibrointi	12	30.3.2016	Test&Consult	30.3.2017	
7									
8	Oheislaitteet								
9	Gas divider	Horiba GDC-703	F0P08P0G	Lineaarisuuden verifiointi	12			3.3.2018	EPA/EU -vaatimus
0	Näytelinjojen lämmitin	Horiba TCU-08(1)	S2100505534000010						
1	Näytelinjojen lämmitin	Horiba TCU-704	4457003001						
2	Näytteenottoyksikkö	Horiba SHS-01H-6	S2100505534	Suodattimien puhdistus/vaihto	4			3.3.2018	
3	Näytteenottoyksikkö	Horiba BSPU-704RA	4457003002	Suodattimien puhdistus/vaihto	4			3.3.2018	
4	Tyhjiöpumppu (Mex)	Horiba VPU-710	4457003001						
5	Näytteenottoyksikkö	AVL Sample Selection Module		Suodattimien ultraäänipesu	4			3.3.2018	
6	Näytelinjojen lämmitin	Wrinkler WRW00210-UNIK	1511132595						
7	Typigeneraattori	Parker MidiGas N2	14DAS01050	Huolto	12	13.10.2017	Sarl'in Oy	13.10.2018	
8	Jakaumalaitteet	Preventia							

KUVA 16. Laitteiden huolto- ja kalibrointiohjelma

Siemens LDS6 -NH₃-analysaattori on periaatteessa täysin huoltovapaa, mikäli linssien puhtaanapitoon tarvittava paineilma virtaus pysyy riittävänä.

Analysaattorijärjestelmä on uusi ja juuri otettu käyttöön, joten sille määritettiin seuraavaksi tarkistusajankohdaksi 12 kuukautta asennuksesta. Mikäli toiminta on normaalia eikä linsseihin kerry epäpuhtauksia, väliä voidaan kasvattaa.

Horiban valmistamalle MEXA-2300SPCS-partikkelilaskurille on tarkoitus teetättää kalibrointi ja tarkastus kerran vuodessa ja laite yleisesti on käytännössä huoltovapaa syklonikupin puhdistusta lukuun ottamatta. Saman valmistajan MDLT-1304TMA -mikrolaimennustunnelille teetetään lineaarisuuden verifiointi ja toiminnan tarkastus myös kerran vuodessa.

Oheislaitteista huoltoa tarvitsevat typpigeneraattorin lisäksi lähinnä vain MEXA- ja FTIR-analysaattoreiden oheislaitteet ja niiden huolto on käsitelty aiemmin tässä luvussa ko. analysaattoreiden kohdalla. Typpigeneraattorin huolto on ulkopuolisen toimijan tehtävänä, ja se hoidetaan 12 kuukauden välein.

5.4.3.4 Kaasulaitteet

Analysaattoreiden tarvitsemien kaasujen kaasulaitteet, kuten putkistot, venttiilit ja paineenalentimet ovat pääsääntöisesti huoltovapaita. Kaasulaitteissa on kuitenkin aina vuotomahdollisuus, joten laitteiston kunto tarkastetaan 12 kuukauden välein silmämääräisesti ja vuotoja tarkkaillaan seuraamalla kaasunkulutusta normaalin käytön ohessa.

5.5 Kalibrointisuunnitelma

Laboratorion laitteiston kalibrointisuunnitelman pohjaksi otettiin EU:n komission delegoidussa asetuksessa 2017/654 ja USA:n ympäristönsuojeluviraston EPA:n säädöksessä CFR 1065 esitetyt vaatimukset polttomoottoreiden päästötestaukselle. EU:n ja USA:n vaatimukset vastaavat kalibrointien ja verifiointien osalta lähes kokonaan toisiaan, mutta pieniä eroavaisuuksia on. Erotilanteissa kalibrointisuunnitelma tehtiin aina tiukemman vaatimuksen mukaan, jotta laitteisto suunnitelman mukaan kalibroitu täyttäisi kummatkin vaatimukset.

Yleisesti varsinaisia kalibrointeja laitteilta ei vaadita kuin alkuasennuksen yhteydessä ja suurempien kunnossapitotoimien jälkeen. Sen sijaan mittalaitteiden ja analysaattoreiden näyttämän lineaarisuus on verifioitava

säännöllisesti taulukossa 2 esitetyin välein. Lineaarisuuden verifiointi tarkoittaa mittalaitteen tai analysointilaitteen näyttämän lineaarisuuden varmistamista suorittamalla laitteella mittaukset referenssipisteissä ja vertaamalla referenssiarvoa laitteen näyttämään pienimmän neliösumman lineaarista regressiota soveltaen. Lineaarisuuden verifiointi on tehtävä käyttämällä yleensä vähintään kymmentä referenssipistettä, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin laitteen normaalia käyttöaluetta. Poikkeuksen muodostavat lämpötilat ja paineet, sillä niiden verifiointi voidaan tehdä vain kolmella referenssipisteellä. Taulukosta 2 käyvät ilmi myös lineaarisuusvaatimukset, jotka mittalaitteiden pitäisi täyttää.

TAULUKKO 2. Lineaarisuuden verifiointivaatimukset (10, s. 105 - 110; 11, 12)

Linearity verification	Linearity criteria				Minimum frequency	
	EPA/EU				EU	EPA
	$ x^{min}(a^{-1}-1)a^0 $	a^{-1}	SEE	r^2	days	days
Speed	$\leq 0.05\% \cdot f_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot f_{max}$	≥ 0.990	370	370
Torque	$\leq 1\% \cdot T_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot T_{max}$	≥ 0.990	370	370
Electrical power (EPA)	$\leq 1\% \cdot P_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot P_{max}$	≥ 0.990	-	370
Current (EPA)	$\leq 1\% \cdot I_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot I_{max}$	≥ 0.990	-	370
Voltage (EPA)	$\leq 1\% \cdot U_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot U_{max}$	≥ 0.990	-	370
Fuel flow rate	$\leq 1\% \cdot m_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot m_{max}$	≥ 0.990	370	370
Intake air flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Dilution air flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Diluted exhaust flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Raw exhaust flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	185	185
Batch sampler flow rates	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Gas dividers	$\leq 0.5\% \cdot x_{max}/x_{span}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot x_{max}/x_{span}$	≥ 0.990	370	370
Gas analyzers for laboratory testing	$\leq 0.5\% \cdot x_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	≥ 0.998	35	35
- FTIR	$\leq 0.5\% \cdot x_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	≥ 0.998	370	370
Gas analyzer for field testing (EPA)	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	≥ 0.998	-	35
PM balance	$\leq 1\% \cdot m_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot m_{max}$	≥ 0.998	370	370
Pressures	$\leq 1\% \cdot p_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot p_{max}$	≥ 0.998	370	370
Dewpoint for intake air, PM-stabilization and balance environments (EPA)	$\leq 0.5\% \cdot T_{dewmax}$	0.99-1.01	$\leq 0.5\% \cdot T_{dewmax}$	≥ 0.998	-	370
Other dewpoint measurements (EPA)	$\leq 1\% \cdot T_{dewmax}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot T_{dewmax}$	≥ 0.998	-	370
Analog to digital conversion of temperature signals	$\leq 1\% \cdot T_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot T_{max}$	≥ 0.998	370	370

Lisäksi taulukossa 3 esitetään muita säädöksissä vaadittavia verifiointeja, joista osa koskee myös tämän opinnäytetyön tilaajan laboratoriot. Esimerkiksi hiukkasmassan mittaamiseen ei ole vaatimukset täyttävää punnitustilaa, joten omaa hiukkasvaakaa käytetään vain suuntaa antaviin punnituksiin.

TAULUKKO 3. Muut vaadittavat verifiointit (10, s. 105 - 110; 12)

Other regular calibration or verification	Minimum frequency
	EPA/EU
CVS and batch sampler verification	35 days
Sample dryer verification	
- For osmotic membranes	35 days
Vacuum leak	within 8 hours before the start of the first test interval of each duty-cycle sequence, and after maintenance such as pre-filter changes.
Verify CH ₄ response for THC FID analyzers	185 days
Verify C ₂ H ₆ response for THC FID analyzers if used NMEHC determination	185 days
Nonmethane cutter penetration	185 days
NO ₂ to NO converter conversion	35 days
PM balance and weighing	Indepent verification: 370 days Zero, span and reference sample verifications: Within 12 hours of weighing

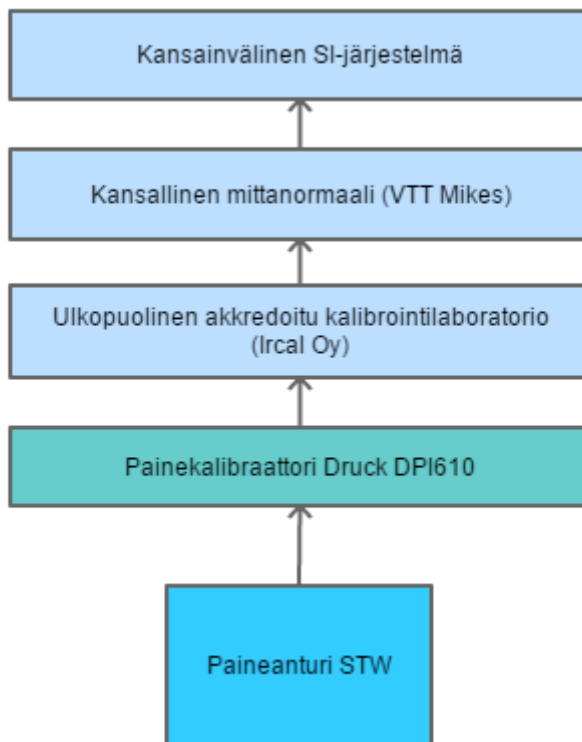
5.5.1 Kalibrointilaitteet

Referenssinä kalibroinneissa ja lineaarisuuden verifiointeissa käytetään jäljitettävästi kalibroituja mittanormaaleja, joita ovat esimerkiksi kalibrointilaitteet kuten painekalibraattori ja kalibrointiuuni. Mittanormaalien kalibrointiväleille ei ole tarkkoja vaatimuksia, mutta niiden on ”vastattava valmistajan suosituksia ja oltava hyvän teknisen käytännön mukaisia (10, s. 105)” sekä ”Kalibroinneille ja verifiointeille asetettuja toleransseja on noudatettava kansainvälisesti tunnustettujen standardien mukaisesti (10, s. 105).” Kansainvälisesti tunnustettu kalibrointien suorituksesta kertova standardi on esimerkiksi ISO/IEC 17025. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjän on tunnettava laitteensa kalibrointitarve ja määritettävä sopivat kalibrointivälit sen mukaan itse. Kalibrointivälien määrittäminen voidaan tehdä esimerkiksi tutkimalla laitteen näyttämän muutoksia aikaisempien kalibrointitodistusten perusteella.

Kalibroinneissa käytettäville kalibrointiuunille ja painekalibraattorille tehtiin tehdaskalibroinnin jälkeen ensimmäiset kalibroinnit kalibrointisuunnitelman tekemisen yhteydessä, joten niiden kalibrointiväliksi määritettiin valmistajan suosituksen mukaisesti 12 kuukautta. Kalibrointiväliä voidaan myöhemmin harventaa, mikäli tulevien kalibrointien perusteella voidaan päätellä, että näin tiheä kalibrointi ei ole tarpeen. Jarrujen momenttianturien kalibrointipainojen punnitsemiseen käytettävän vaa’an edellisten kalibrointitodistusten perusteella vaa’an näyttämän muutokset ajan kuluessa arvioitiin pieniksi, vaikka vaaka on ollut suhteellisen kovalla käytöllä ja sitä siirrellään usein. Tämän ja vaadittujen

mittaustulosten tarkkuuden perusteella määritettiin vaa'an sopivaksi kalibrointiväliksi 24 kuukautta.

Kalibrointilaitteet käytetään kalibroitavana ulkopuolisissa akkreditoituissa kalibrointilaboratorioissa. Näin luvussa 3 tarkemmin kerrottu katkeamaton jäljitettävyyssketju säilyy. Ilman jäljitettävyyttä kalibroinnilla ei käytännössä ole suurtakaan arvoa, koska vain jäljitettävästi suoritettun kalibroinnin perusteella tiedetään laitteen näyttämän suhde kansainvälisen SI-järjestelmän mukaisiin mittanormaaleihin. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki paineanturin kalibroinnin jäljitettävyyssketjusta.



KUVA 17. Paineanturin kalibroinnin jäljitettävyyssketju

5.5.2 Testisolut

Testisoluissa lineaarisuuden verifiointi on taulukon 2 mukaisesti suoritettava säännöllisesti lämpötila- ja painekanalille, jarrun vääntömomentti- ja pyörintänopeustiedolle, ilmankosteuden ja moottorin imuilman massavirran mittaukselle. Suoritusväli on kaikilla sama 370 päivää, joka pyöristettiin kalibrointisuunnitelmaan 12 kuukauteen. Näistä jarrun vääntömomentin ja

lämpötila- sekä painekanavien kalibrointi ja lineaarisuuden verifiointi tehdään itse omilla kalibrointilaitteilla. Ilmankosteuden ja imuilman massavirran mittalaitteet kalibroi ulkoinen toimija. Jarrun pyörintänopeuden kalibrointitapa on vielä selvityksessä.

Itse suoritettavien lineaarisuuden verifiointien yhteydessä tarkistetaan samalla myös näyttämän tarkkuus ja näyttämää säädetään tarvittaessa. Tarkkuuden verifiointi ei kuulu viranomaisvaatimukseen, mutta omien tuotekehitysmittausten takia on tärkeää, että mittalaitteet näyttävät oikein. Itse suoritettavien kalibrointien ja lineaarisuuden verifiointien suorittamisen avuksi tehtiin ohjeistus (liite 2) sekä kalibrointitodistusohje (liite 1). Näiden tarkoituksena on yhtenäistää eri henkilöiden tekemät kalibroinnit ja varmistaa kalibrointien yhtenäisen ja riittävän dokumentoinnin niin, että tulosten vertailu on mahdollista myös tulevaisuudessa. Tulosten ollessa vertailukelpoisia, niiden perusteella voidaan tutkia mittalaitteiden näyttämän muutoksia pidemmällä aikavälillä ja suunnitella niiden mahdollisia kunnossapitotoimia tai uusimista tarpeen vaatiessa. Kalibrointitodistusohjeaan on myös tehty valmiit kaavat lineaarisuuden laskennalle, joten Excel laskee tulokset suoraan syöttämällä referenssiarvot ja mittalaitteen näyttämän sekä muokkaamalla kaavaa hieman mittapisteiden määrän mukaan.

5.5.3 Analysaattorit ja oheislaitteet

Pakokaasuanalysointilaitteiden kalibrointiohjelmaan merkittiin kaikki viranomaisten vaatimat sekä laitevalmistajien suosittelemat säännöllisesti suoritettavat lineaarisuuden verifiointit ja kalibroinnit. Viranomaisvaatimuksissa vuorokausina ilmoitetut suoritusvälit pyöristettiin alaspäin tasakuukausiin suunnitelman yhtenäisyyden ja helpomman luettavuuden säilyttämiseksi. Säännöllisesti suoritettavien kalibrointien lisäksi vaatimuksena on useita alkuasennuksen tai laitteen peruskunnostuksen yhteydessä suoritettavia verifiointeja ja kalibrointeja, joita ei merkitty kalibrointiohjelmaan. Nämä kalibrointivaatimukset olisi hyvä tarkastaa uusia laitteita asennettaessa tai peruskunnostusta tehtäessä, ja päättää niiden suorittaminen erikseen. Laittekohtainen säännöllisesti suoritettavat kalibroinnit ja verifiointit sisältävä kalibrointiohjelma on esitetty kuvassa 18.

Analysaattorit							Päivämäärä	6.3.2018	
Käyttötarkoitus	Laite	Sarjanumero	Työ	Suoritusväli [kk]	Suoritusväli [h]	Suoritettu	Tekijä	Seuraava suoritus	Huomautukset
Kaasuanalysaattori	Horiba MEXA 7100D	4457003001	Lineaarisuuden verifiointi	1				6.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			CH ₄ -vasteen verifiointi	6				6.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			NO-NO ₂ -konversion verifiointi	1				6.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			Tarkastus/vaihto/puhdistus	4				6.3.2018	SHS suodattimet, T
			Huolto	12	(1200h)				Kalvojen, venttiilille
Suodattimet									
Näytteenottopumppu (SHS)									
Letkupumpujen letkut									
Kaasuanalysaattori	Horiba MEXA ONE-D1	S2100505534000010	Lineaarisuuden verifiointi	1		8.12.2017	Evä	7.1.2018	EPA/EU -vaatimus
			CH ₄ -vasteen verifiointi	6		21.9.2017	Evä	22.3.2018	EPA/EU -vaatimus
			NO-NO ₂ -konversion verifiointi	1		8.12.2017	Evä	7.1.2018	EPA/EU -vaatimus
			Tarkastus/vaihto/puhdistus	4				6.3.2018	SHS suodattimet, T
			Huolto	12	(1200h)				Kalvojen, venttiilille
Suodattimet									
Näytteenottopumppu (SHS)									
Letkupumpujen letkut									
Kaasuanalysaattori	AVL SESAM FTIR	2010350	Kalibrointi	60		16.11.2013	AVL	15.11.2018	Valmistajan ohjeist
			Lineaarisuuden verifiointi	12		16.11.2013	AVL	16.11.2014	EPA/EU -vaatimus
			Yleinen tarkistus/puhdistus	12		16.11.2013	AVL	16.11.2014	Katso valmistajan e
			Tarkastus/vaihto	12					
			Letkupumpujen letkut						
NH ₃ -analysaattori	Siemens LDS6	NJ16103871	LDS6 sensorit TC1	12		19.2.2018	SRE/JKP	19.2.2019	Asennus ja käyttö
			LDS6 sensorit TC2	12		19.2.2018	SRE	19.2.2019	Asennus ja käyttö
			LDS6 sensorit Watt 1	12		30.1.2018	EVÄ/JKP	30.1.2019	Asennus ja käyttö
			LDS6 sensorit Watt 1	12		30.1.2018	EVÄ	30.1.2019	Asennus ja käyttö
			LDS6 sensorit Watt 1	12		1.10.2017	EVÄ	1.10.2018	Asennus ja käyttö
Partikkelilaskuri	Horiba MEXA-2300SPCS	S2100498934000010	Kalibrointi	12		6.3.2017	Horiba	6.3.2018	EPA/EU -vaatimus
Näytteenottovirtaus tarkistus	1		6.3.2017	Horiba	5.4.2017	EPA/EU -vaatimus			
Haihtuvien hiukkasten poistolaitte	Kalibrointi	12	6.3.2017	Horiba	6.3.2018	EPA/EU -vaatimus			
Syklonikuppi	Puhdistus	6	6.3.2017	Horiba	4.9.2017				
Mikrolaimennustunneli	Horiba MDLT-1304TMA	4457003003	Huolto	12		6.3.2018	Katso valmistajan e		
VFM2 Laimennusilmavirtaus	Lineaarisuuden verifiointi	12	27.6.2017	Horiba	27.6.2018	EPA/EU -vaatimus			
Hiukkaspäästöjen mittauslaite	AVL Micro Soot Sensor 483	1562	Kalibrointi	12		28.4.2017	AVL	Tarvittaessa	
Kalibroinnin tarkastus	12		28.4.2017	AVL	28.4.2018	Katso valmistajan e			
Puhdistus ja suodattimien tarkistus	300		28.4.2017	AVL		Katso valmistajan e			
Kaasuanalysaattori	AVL DiCom 4000	1696	Kalibrointi	12		30.3.2016	Test&Consult	30.3.2017	
Oheislaitteet									
Gas divider	Horiba GDC-703	F0P08P0G	Lineaarisuuden verifiointi	12				6.3.2018	EPA/EU -vaatimus

KUVA 18. Analysaattoreiden ja niiden oheislaitteiden huolto- ja kalibrointiohjelma

Horiba MEXA ONE ja MEXA 7100D -kaasuanalysaattoreille säännöllisesti suoritettavia verifiointeja ovat kaikkien mitattavien päästökomponenttien vasteen lineaarisuuden verifiointi, TCH-mittaukseen käytettävän liekki-ionisaatioilmaisimen eli FID:n CH₄-vasteen verifiointi sekä NO₂->NO -muuntimen konversion verifiointi. Lineaarisuuden verifiointissa tarkastetaan analysaattorin näyttämän lineaarisuus koko käytettävällä mittausalueella. Lineaarisuuden verifiointit suoritetaan käyttämällä kaasunjakajaa, jolla kalibrointikaasua laimennetaan portaittain vasteen lineaarisuuden määrittämiseksi.

AVL Sesam -FTIR-analysaattorille on suoritettava lineaarisuuden verifiointi 370 vuorokauden eli noin 12 kuukauden välein samaan tapaan kaasunjakajalla, kuin MEXA-analysaattoreilla. Viranomaisvaatimuksena olevan lineaarisuuden verifiointin lisäksi valmistaja suosittelee laitteen täyttä kalibrointia 60 kuukauden välein.

Horiba MEXA-2300SPCS -partikkelilaskurin näyttämä on kalibroitava 12 kuukauden välein standardin mukaisesti joko kalibrointihiukkasilla tai vertaamalla näyttämää kalibroituun hiukkaslaskuriin. Lisäksi partikkelilaskurin haihtuvien hiukkasten poistolaitte on kalibroitava 12 kuukauden välein ja laitteen näytteenottovirtaus on tarkistettava kalibroidulla virtausmittarilla kuukauden välein. Pakokaasun hiukkasmassan mittaamiseen käytettävän Horiba

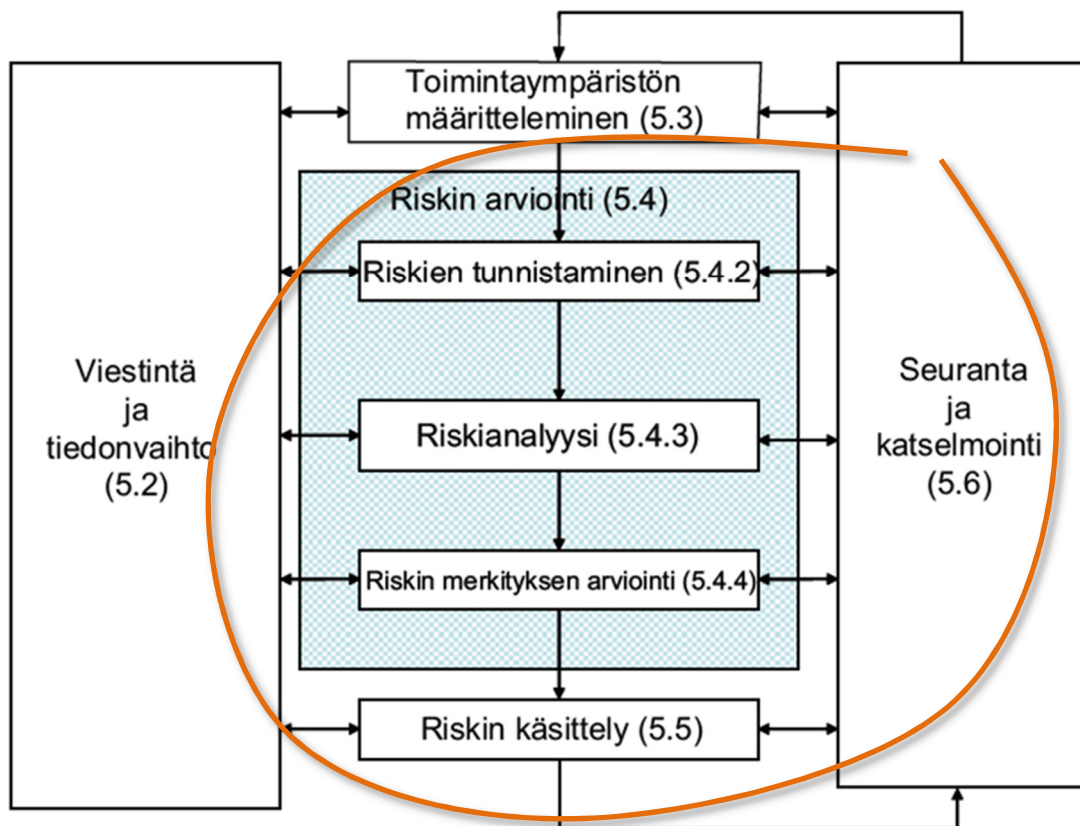
MDLT1304TMA -mikrolaimennustunnelin laimennusilmavirtauksen lineaarisuus on vaatimusten mukaan verifioitava 12 kuukauden välein.

Oheislaitteista kalibroitua tai verifioitua tarvitsee ainoastaan Horiban valmistama GDC-703-kaasunjakaja, jonka lineaarisuus on verifioitava 12 kuukauden välein. Kaasunjakajaa käytetään analysaattoreiden lineaarisuuden verifiointiin, joten sen lineaarisuus on tärkeää analysaattoreiden lineaarisuuden verifiointitulosten oikeellisuuden takaamiseksi. Lisäksi analysaattoreiden kalibroinneissa käytettävät kaasut olisi vaihdettava uusiin viimeistään 10 vuoden kuluttua niiden pakkaamisesta.

Edellä mainittujen viranomaisvaatimukseen perustuvien kalibrointien lisäksi raakahiukkaspäästöjen mittaukseen käytettävän AVL MicroSootSensorin kalibrointi olisi tarkastettava valmistajan suosituksen mukaisesti kerran vuodessa ja kalibrointi suoritettava tarvittaessa. Lisäksi laboratoriossa on AVL Dicom 4000 -pakokaasuanalysaattori, joka tarvitsee kalibroinnin 12 kuukauden välein.

6 RISKIENHALLINTASUUNNITELMA

Riskienhallintasuunnitelman tarkoituksena oli muodostaa ajantasainen kuva laboratorion laitteiston kunnan tuomista riskeistä laboratorion toimintakyvylle. Riskienhallintasuunnitelman luomisessa sovellettiin luvussa 4 esitettyä standardin ISO 31000 riskienhallintaprosessia. ISO 31000 -standardin mukainen koko riskienhallintaprosessi on hyvin laaja-alainen ja ottaa huomioon lähes kaiken mahdollisen yrityksen johtamisesta sidosryhmiin, mutta sen toimintaympäristön määrittäminen, riskien arviointi, riskien käsittely sekä seuranta ja katselmointi osuuksista saatiin hyvä pohja tarkoitukseen sopivan riskienhallintasuunnitelman luomiselle. (Kuva 19.) (6, s.14–26.)



KUVA 19. Riskienhallintaprosessista käytetyt alueet (6, s. 20)

6.1 Riskien tunnistaminen

Riskienhallintasuunnitelman pohjaksi pyrittiin tunnistamaan mahdollisimman kattavasti laitteiston toimintavarmuuden tuomat riskit. Riskien

tunnistamisvaiheessa käytiin läpi monia mahdollisia laitteistosta johtuvia riskejä kuten laiterikkoja, nestevuotoja, virheellisiä mittaustuloksia ja niin edelleen. Tunnistetut riskit listattiin Excel-taulukkoon ryhmiteltynä seuraavasti:

- Yleiset
- TC1/TC2 (Sisäsolut)
- Watti1
- Analysaattorit ja oheislaitteet
- Kaasut ja kaasulaitteet.

Ryhmiin alle riskit on jaoteltu vielä kohteittain. Kohde voi olla yksittäinen laite, esimerkiksi pakokaasuanalysointilaitteisto, tai suurempi kokonaisuus kuten jarrun jäähdytysjärjestelmä.

Kokonaisen järjestelmään voi kuulua riskejä eri laitteiden rikkoutumisesta ja esimerkiksi koko järjestelmän toimintaan vaikuttavista asioista. Tällainen koko järjestelmää koskeva riski voi olla esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän nestevuoto. Riskejä laitteiden rikkoutumisesta ei jaettu laitteen eri osien välille, vaan pääasiassa yhden laitteen rikkoutuminen on yksi riski, mutta jos laitteella on esimerkiksi erillinen ohjaus, sen rikkoutuminen on käsitelty omana riskinään. Lisäksi samaa laitetta voi koskea laiterikon lisäksi muitakin riskejä, kuten virheelliset mittaustulokset. Kuvassa 20 on esimerkkinä ryhmiteltyjä tunnistettuja riskejä.

	Kohde	Riski	Seuraukset
Yleiset			
	Sähkönsyöttö	Sähkökatko	Laitevauriot, koko laboratorion toiminnan keskeytys
	TC1 ja TC2 pääjäähdytysjärjestelmä	Nestevuoto	TC1 ja TC2 toiminnan keskeytys
		Pumppu ei toimi	
		3-tie sekoitusventtiili ei toimi	
		Jäähdytyksen ohjaus ei toimi	
		Jäähdytinpuhallin/puhaltimet ei toimi	Jäähdytystehon lasku
	TC1 ja TC2 pakokaasuimuri	Puhallin ei toimi	TC1 ja TC2 toiminnan keskeytys

KUVA 20. Esimerkki riskien jaottelusta

6.2 Riskianalyysi

Kaikille tunnistetuille riskeille tehtiin riskianalyysi, jossa pohdittiin riskin mahdollisia seurauksia, riskin toteutumisen aiheuttamaa haittaa toiminnalle ja sen todennäköisyyttä. Pohdinnassa otettiin huomioon mahdollisuuksien mukaan laitteiden ja järjestelmien ikä, kunto, vikaistoria ja jo käytössä olevat keinot riskin hallitsemiseksi. Tällaisia keinoja olivat esimerkiksi hyllyssä olevat varaosat ja -laitteet sekä varmuuskopiot.

Riskin toteutumisen aiheuttamaa haittaa ja sen toteutumisen todennäköisyyttä pohdittiin yhdessä laboratorion henkilökunnan kanssa ja haitalle sekä todennäköisyydelle annettiin pisteet yhdestä viiteen. Riskin aiheuttaman haitan asteikot ja esimerkkejä riskien pisteytyksestä on esitetty kuvassa 21.

Seuraukset	Tämänhetkisellä varautumisen tasolla		Riskin vakavuus (1-5)
	Toteutumisen todennäköisyys [1-5] (1=erittäin pieni, 5=erittäin suuri)	Toteutumisen aiheuttama haitta [1-5] (1=ei juuri haittaa, 5=katastrofi)	
Laitevauriot, koko laboratorion toiminnan keskeytys	2	3	2,5
TC1 ja TC2 toiminnan keskeytys	1	4	2,5
	1	2	1,5
	1	2	1,5
	1	3	2
Jäähdytystehon lasku	1	3	2

KUVA 21. Esimerkki riskien seurauksista ja pisteytyksestä

6.3 Riskin merkityksen arviointi

Riskin merkityksen arviointi tehtiin riskikohtaisen riskianalyysin perusteella ja sitä kuvaa riskienhallintataulukossa sarake riskin vakavuus. Luku "Riskin vakavuus" -sarakeessa on keskiarvo riskin todennäköisyyden ja sen toteutumisen aiheuttaman haitan luvuista. Riskin vakavuuden, toisin sanoen merkityksen, perusteella riskienhallintatoimia voidaan priorisoida niin, että korkeamman keskiarvon saanut riski on pääsääntöisesti merkittävämpi ja toimet sen hallitsemiseksi ovat tärkeämpiä.

Riskienhallintataulukko muodostui riskejä vakavuusarvoltaan 1...3,5. Riskit, joiden vakavuusarvo oli pienempi tai yhtä suuri kuin 1,5, arvioitiin olevan merkitykseltään niin pieniä, että riskienhallintatoimia ei tarvita. Kaikille tätä suuremmille riskeille tehtiin ehdotus toimista riskin hallitsemiseksi. Arvoltaan 3,5 tai suuremmat riskit ovat jo kohtalaisen vakavia, mutta keskiarvon lisäksi toimien kiireellisyyden arvioinnissa on hyvä huomioida toteutumisen todennäköisyys.

6.4 Riskin käsittely

Riskin käsittelyn tulisi olla toistuva prosessi, ja tässä työssä keskityttiin käsittelyprosessin aloittamiseen kirjaamalla riskienhallintasuunnitelmaan ehdotuksia toimista eri riskien hallitsemiseksi. Riskienhallintatoimet perustuvat pääasiassa riskin todennäköisyyden ja seurausten pienentämiseen sekä riskin säilyttämiseen tietoon perustuvalla päätöksellä.

Koska kyseessä on pääosin laitteiston toimintavarmuuteen liittyvistä riskeistä, usein riskin todennäköisyyden pienentäminen tarkoittaa laitteiden ennakoivaa kunnossapitoa. Seurausten pienentäminen voi taas tarkoittaa esimerkiksi varalaitteen hankkimista, tai valmiiksi mietittyä suunnitelmaa rikkoutuvan laitteen palauttamiseksi takaisin toimintakuntoon. Mikäli riskin todennäköisyyttä tai seurauksia ei voi voida järkevästi pienentää, on vaihtoehtona säilyttää riski. Tällöin riski on kuitenkin tiedossa ja se voidaan ottaa toiminnassa huomioon.

Riskienhallintataulukkoon merkittiin kaikkien käsiteltäväksi päätettyjen riskien kohdalle ehdotus riskienhallintatoimista. Ehdotetut riskienhallintatoimet perustuvat selvityksiin laitteiden iästä, kunnosta, varaosatilanteesta, varaosien saatavuudesta sekä kunkin riskin vakavuuden arvioinnista. Osa toimista on hyvinkin helposti ja pienin kustannuksin toteutettavissa ja näille toimille merkittiin taulukkoon myös tavoiteaikataulu. Joidenkin riskien, kuten esimerkiksi käyttöikänsä päättä lähestyvien ohjaustietokoneiden rikkoutumisen, todennäköisyyden pienentäminen vaatii käytännössä useiden tuhansien eurojen investointeja, joten ne merkittiin taulukkoon erikseen selvitettäväksi asiaksi. Kuvassa 22 on esitetty esimerkkejä ehdotetuista riskienhallintatoimista ja aikatauluista.

Hiskin vakavuus (1-5)	Nykyinen varautuminen	Suositteluvat toimet ja perustelut ("-" = riski tai häiriö erittäin pieni, ei tarvetta toimenpiteille)	Aikataulu
1,5		-	-
1,5		-	-
2		Järjestelmän kunnan tarkkailu aloitetaan huolto-ohjelman mukaan. Pienet polttoainevuodot yleensä helposti ja nopeasti korjattavissa. Tankkautilanteessa on riski isolle vuodolle esimerkiksi polttoaineputken irrotessa/hajotessa, koska pumppu pumpkaa ainetta 50l/min kunnes säiliö on vaa'an mukaan täynnä. Valvonta tankkauksen kestolle tai polttoaineputken paineelle pumpun käydessä käyttöön.	3/2018
1,5	Kumpaankin soluun sopivaa momenttianturia on HBM:llä varastossa (TC1: S3M10kN, TC2: S3M15kN)	-	-
1,5		-	-
3		Selvitykseen voidaan laakerien kuntoa järkevästi seurata, päätetäänkö vaihtaa laakerit tietyn käyttötuntimäärän välein vai hyväksytäänkö riski yllättävästä toiminnan keskeyttävästä laakeriviasta.	
2,5		Sparc:n rikkoutumisen riski on suhteellisen pieni ja laite on niin kallis, että varalaitetta ei ole järkevää hankkia. Pidetään toimintaolosuhteet kunnossa eli huolehditaan riittävästä ilmanvaihdosta laitekaapissa ja suoritetaan pölyjen poisto huolto-ohjelman mukaan.	1/2018
2,5		Kardaaniin voitelu suoritetaan huolto-ohjelman mukaan sekä tarkistetaan kunto normaalisti moottorin vaihdon yhteydessä. Varakardaaniin hankkiminen ei välttämättä ole järkevää, koska jokaisessa solussa on erimittainen kardaani ja niiden arvioitu kestoikä on kymmeniä tuhansia tunteja.	1/2018
2,5		Selvitys varalämpötilamoduulista, koska lämpötilanmittaus on testaamisen kannalta kriittinen. Kaikissa soluissa voidaan käyttää samanlaista CAN-väylään liitettävää mittaamoduulia, joten yhdellä varamoduulilla varmistetaan toiminnan jatkuminen kaikissa soluissa.	
1,5		Kalibrointi huolto-ohjelman mukaisesti pienentää riskiä vääristä mittaustuloksista.	1/2018

KUVA 22. Esimerkkejä riskienhallintatoimista

6.5 Seuranta ja katselmointi

Tässä työssä tehdyssä riskienhallintasuunnitelmassa ei oteta enempää kantaa riskienhallintaprosessin toteuttamiseen tästä eteenpäin, mutta seuraavina askeleina riskienhallintaprosessin eteenpäin viemisessä olisi toimien toteutuksesta päättäminen, aikataulutaminen, budjetointi, vastuuhenkilöiden määrittäminen sekä seurannasta ja katselmoinnista sopiminen.

Kun toteutettavat riskienhallintatoimet on sovittu, niille määritetään aikataulu sekä valitaan vastuuhenkilö, joka on vastuussa toimien toteuttamisesta. Toteutuksesta sovittaessa on myös hyvä sopia seuraavan katselmuksen ajankohta. Katselmuksen tarkoituksena on käydä läpi sovittujen toimien toteutuminen, päättää olivatko ne riittävän vaikuttavia, tunnistaa uusia riskejä ja analysoida riskienhallintaprosessin onnistumista. Riskienhallinta on toistuva prosessi, ja katselmuksen perusteella päätetään taas seuraavista tavoitteista ja toimista riskien pitämiseksi hallinnassa ja halutulla tasolla.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa ajantasainen käsitys moottori- ja päästölaboratorion laitteistosta ja sen kunnosta sekä luoda suunnitelma laitteiston kunnossapitoon niin, että laboratorion toimintavarmuus saadaan pidettyä halutulla tasolla. Lisäksi tavoitteena oli selvittää laitteiston kunnan tuomia riskejä laboratorion toimintavarmuudelle ja luoda suunnitelma riskeihin varautumiseksi ja niiden hallitsemiseksi. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen työhön sisällytettiin myös kalibrointisuunnitelman tekeminen, koska kalibrointi on erittäin tärkeä osa laboratorion kunnossapitoa.

Tavoitteiden mukaisesti työssä luotiin laboratorion laitteistolle kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelma, jonka pohjalta laitteiston kunnossapitoa ja kalibrointia voidaan alkaa toteuttamaan käytännössä. Kalibroinnin tueksi ja niiden paremman vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi tehtiin myös ohjeistus testisolujen mittalaitteiden kalibrointiin sekä kalibrointitodistus pohja tulosten tallentamiseen ja raportointiin. Kalibrointitodistus pohjaan lisättiin myös lineaarisuusvaatimusten laskukaavat helpottamaan ja nopeuttamaan mittalaitteiden lineaarisuuden verifiointeja.

Kunnossapitosuunnitelman pohjaksi otettiin TPM-kunnossapitomalli, jonka tavoitteena on laitteiden pitäminen tuotannon kannalta optimaalisessa kunnossa käyttäjäkunnossapidon avulla. Työn tuloksena syntyi kunnossapitosuunnitelma, johon on listattuna ja aikataulutettuna koko käytössä olevan laitteiston säännöllisesti suoritettavat kunnossapitotyöt ja niiden suoritusvälit. Tavoitteena oli saada tarpeellisten kunnossapitotöiden tekeminen ja huoltovapaampien laitteiden kunnan seuraaminen säännölliseksi ja paremmin dokumentoiduksi. Lisäksi kunnossapidon kehittämisen avuksi luotiin vikapäiväkirja, johon ilmenneet viat on tarkoitus merkitä ja näin saada tallennettua arvokasta tietoa eri laitteiden vikaantumisista. Vikapäiväkirja nähtiin tarpeelliseksi, koska vikadokumentaation puuttuminen nousi suurimmaksi haasteeksi tehokkaan kunnossapitosuunnitelman tekemiselle. Kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelma on laboratorion henkilöstön käytössä, ja kunnossapito- ja kalibrointityöt tehdään sen perusteella. Suoritetut työt henkilökunta merkitsee suunnitelmaan.

Vikapäiväkirja on myös käytössä, ja sen avulla on jo dokumentoitu muutamia ilmenneitä vikoja.

Laitteiston kunnan tuomista riskeistä sen toimintavarmuudelle tehtiin riskien kartoitus, riskianalyysi, riskien merkittävyyden arviointi sekä suunnitelma riskeihin varautumiseksi ISO 31000 -standardin mukaista riskienhallintaprosessia soveltaen. Tuloksena syntyi kattava käsitys laitteiston aiheuttamista mahdollista riskeistä ja niiden tämänhetkisistä hallintakeinoista. Näiden tietojen perusteella tehtiin suunnitelma merkittävämpien riskien hallitsemiseksi entistä paremmin. Riskienhallinta on jatkuva prosessi, joten työn tuloksena saatu riskienhallintasuunnitelma ei periaatteessa ole koskaan valmis, vaan tarkoituksena on, että sitä päivitetään ja siitä tehdään uusia versioita jatkuvasti prosessin edetessä. Riskienhallintaprosessin seuraava vaiheena tulee olemaan suunnitelmaan kirjattujen riskienhallintatoimien toteuttaminen ja mahdollisesti tarvittavien laiteinvestointien suunnittelu riskien hallitsemiseksi entistä paremmin.

Kokonaisuudessaan työssä päästiin alussa sovittuihin tavoitteisiin, ja kunnossapito- ja kalibrointisuunnitelma sekä riskienhallintasuunnitelma ovat moottori- ja päästölaboratorion käytössä. Työn aihealue oli kohtalaisen laaja, ja tekeminen edellytti laajaa perehtymistä päästömittaamisen viranomaisvaatimuksiin, kansainvälisiin kunnossapito-, kalibrointi- ja riskienhallintastandardeihin sekä eri laitevalmistajien dokumentaatioon. Yhdessä työn aiheena olleet kunnossapito, kalibrointi ja riskienhallinta muodostavat erittäin laajan kokonaisuuden, joka käytännössä kattaa koko laboratorion laitteiston toimintakyvyn ja -varmuuden ylläpidon, joten aiheiden käsitteleminen yhdessä työssä tuntui tarkoituksenmukaiselta. Kokonaisuuden laajuus ei tosin mahdollistanut kovin syvällistä perehtymistä yksittäisen aiheen yksityiskohtiin.

LÄHTEET

1. Company overview. 2018. Proventia. Saatavissa: https://www.proventia.com/about_us/company_overview. Hakupäivä 27.2.2018.
2. SFS-EN13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
3. Järviö, Jorma – Piispa, Taina – Parantainen, Timo – Åström, Thomas 2007. Kunnossapito. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys ry.
4. PSK6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys ry.
5. Mikkonen, Henry – Miettinen, Juha – Leinonen, Pertti – Jantunen, Erkki – Kokko, Voitto – Riutta, Erkki – Sulo, Petri – Komonen, Kari – Lumme, Veli Erkki – Kautto, Juha – Heinonen, Kari – Lakka, Sami – Mäkeläinen, Risto 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
6. SFS-ISO31000. 2011. Riskienhallinta. Periaatteet ja ohjeet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
7. SFS-OPAS 99. 2010. Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet sekä niihin liittyvät termit. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
8. PSK 3401. 2011. Kalibroinnin hankinta ja suorittaminen teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys ry.
9. Hiltunen, E. – Linko, L. – Hemminki, S. – Hägg, M. – Järvenpää, E. – Saarinen, P. – Simonen, S. – Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Metrologian neuvottelukunta ja Mittatekniikan keskus. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>. Hakupäivä 10.2.2018.

10. Euroopan Unionin Virallinen lehti L102 13.4.2017. Euroopan Unionin julkaisutoimisto. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2017:102:FULL&from=FI>. Hakupäivä 10.2.2018.

11. Code of Federal Regulations 2014. §1065.307 Linearity verification. Saatavissa: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f9e7f34e5638569867d83cee98dc8223&mc=true&node=se40.37.1065_1307&rgn=div8. Hakupäivä 23.2.2018.

12. Code of Federal Regulations 2016. §1065.303 Summary of required calibration and verifications. Saatavissa: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f9e7f34e5638569867d83cee98dc8223&mc=true&node=se40.37.1065_1303&rgn=div8. Hakupäivä 23.2.2018.

Kalibrointitodistus
 Proventia Oy
 Tietotie 1, FI-90460 Oulunsalo, Finland



21.2.2018

Kalibroitu laite
 Valmistaja
 Tyyppi
 Sarjanumero
 Kalibrointipäivä
 Kalibroinnin suorittaja

Kalibrointitulokset

Kanava:	Name (Stars)	Standard Name (Stars)	Referenssilämpötila [°C]	Mitattu lämpötila [°C]	Virhe [°C]	Lineaarisuus				
						$ x^{min}(a^1-1) a^0 $ [%/X _{max}]	a ₀	a ₁	SEE [%/X _{max}]	r ²
1	AI0	T1_lab	50	49,5	-0,5	0,000809	0,023188	1,004188	0,260475	0,999993
			150	151,2	1,2					
			300	301,8	1,8					
			600	602,2	2,2					
MALLITULOKSET, Tarvittaessa korjaa lineaarisuuskaavat vastaamaan kalibrointipisteiden määrää.										

X_{max}=suurin kalibrointi-arvo

X^{min}=lähinnä nollaa oleva kalibrointi-arvo

Kalibrointimenetelmä

Kalibrointilaitteisto

Referenssinormaalit:

Laite	Valmistaja	Tyyppi	Sarjanumero	Kalibrointitod. Nro.	Kalibroitu

Kalibrointiolosuhteet

Lämpötila [°C]	
Suhteellinen ilmankosteus [%]	

Kalibrointiohjeita

21.2.2018

Yleiset

- Kalibroinnit ja lineaarisuuden verifiointit suoritetaan huolto- ja kalibrointiohjelman mukaan ja suoritettut kalibroinnit merkataan [huolto- ja kalibrointiohjelmaan](#).
- Tulokset kirjataan kalibrointitodistukseen ja mitattuja arvoja verrataan referenssiarvoihin soveltaen pienimmän neliösumman lineaarista regressiota ja taulukossa 1 esitettyjä lineaarisuuskriteerejä ([kalibrointitodistusohjelmassa](#) on kaavat valmiina).
- Mikäli kriteerit eivät täyty, suoritetaan säätö ja uudelleen kalibrointi.

Taulukko 1. Lineaarisuuskriteerit (EPA: 40 CFR 1065.303, EU: Komission delegoitu asetus 2017/654)

	Linearity criteria				Minimum frequency	
	EPA/EU				EU	EPA
	$ x^{min}(a^{-1}-1)a^0 $	a^1	SEE	r^2	days	days
Speed	$\leq 0.05\% \cdot f_{nmax}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot f_{nmax}$	≥ 0.990	370	370
Torque	$\leq 1\% \cdot T_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot T_{max}$	≥ 0.990	370	370
Electrical power (EPA)	$\leq 1\% \cdot P_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot P_{max}$	≥ 0.990	-	370
Current (EPA)	$\leq 1\% \cdot I_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot I_{max}$	≥ 0.990	-	370
Voltage (EPA)	$\leq 1\% \cdot U_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot U_{max}$	≥ 0.990	-	370
Fuel flow rate	$\leq 1\% \cdot m_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot m_{max}$	≥ 0.990	370	370
Intake air flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Dilution air flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Diluted exhaust flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Raw exhaust flow rate	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	185	185
Batch sampler flow rates	$\leq 1\% \cdot n_{max}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot n_{max}$	≥ 0.990	370	370
Gas dividers	$\leq 0.5\% \cdot x_{max}/x_{span}$	0.98-1.02	$\leq 2\% \cdot x_{max}/x_{span}$	≥ 0.990	370	370
Gas analyzers for laboratory testing	$\leq 0.5\% \cdot x_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	≥ 0.998	35	35
- FTIR	$\leq 0.5\% \cdot x_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	≥ 0.998	370	370
Gas analyzer for field testing (EPA)	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot x_{max}$	≥ 0.998	-	35
PM balance	$\leq 1\% \cdot m_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot m_{max}$	≥ 0.998	370	370
Pressures	$\leq 1\% \cdot p_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot p_{max}$	≥ 0.998	370	370
Dewpoint for intake air, PM-stabilization and balance environments (EPA)	$\leq 0.5\% \cdot T_{dewmax}$	0.99-1.01	$\leq 0.5\% \cdot T_{dewmax}$	≥ 0.998	-	370
Other dewpoint measurements (EPA)	$\leq 1\% \cdot T_{dewmax}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot T_{dewmax}$	≥ 0.998	-	370
Analog to digital conversion of temperature signals	$\leq 1\% \cdot T_{max}$	0.99-1.01	$\leq 1\% \cdot T_{max}$	≥ 0.998	370	370

Vääntömomentti

- Vähintään 10 referenssipistettä tasaisesti mittausalueelle jaoteltuna, yksi pisteistä 0Nm.
- Suoritetaan kuormittamalla dynamometria siihen kiinnitettyjen kalibrointivarsien päähän ripustetuilla painoilla.
- Painot punnitaan jäljitettävästi kalibroidulla vaa'alla.
- Ennen kalibrointia kuormita anturia molempiin suuntiin ja tarkista nollaan palautuminen, mikäli OK, voi jatkaa kalibrointiin.
- Lineaarisuuskriteereissä T_{max} tarkoittaa EU-kriteereissä suurivääntöisimmän testattavan moottorin valmistajan ilmoittamaa huippuvääntöä ja EPA-kriteereissä pienivääntöisimmän moottorin huippuvääntöä. Lasketaan tiukemman EPA-kriteerin mukaan.

Lämpötilakanavat

- Vähintään kolme referenssipistettä tasaisesti ko. kanavan normaalille käyttöalueelle jaoteltuna.
- Suoritetaan lämmittämällä jäljitettävästi kalibroitu kalibrointiuuni referenssilämpötilaan ja tarkistamalla jokaisen kanavan näyttämä käyttämällä ko. kanavaan sopivaa anturia (type K, PT100). Uunin ja anturin lämpötilan on annettava stabiloitua riittävän pitkään.
- Käytettävän anturin on yllettävä uunin pohjaan tai lähelle sitä.

Painekanavat

- Vähintään kolme referenssipistettä tasaisesti ko. kanavan normaalille käyttöalueelle jaoteltuna.
- Suoritetaan jäljitettävästi kalibroidulla painekalibraattorilla pumppaamalla anturille referenssipaine ja tarkistamalla anturin näyttämä. Paineen on annettava stabiloitua riittävän pitkään.
- Ennen kalibrointia pumppaa anturille paine, päästä se pois ja tarkista näyttämän palautuminen nolnaan. Jos OK, voi jatkaa kalibrointiin.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Vika/korjaus/huoltopäiväkirja														
2															
3	Kohde: Vian kuvaus/oireet: Tarkka kuvaus viasta, screenshot/kuva jne. Template. Kopioi tämä välilehti, nimeä uusi ja täytä vasta sitten.		Päivämäärä:												
4	Korjaustoimenpiteet: Miten tuli kuntoon?														
5	Aiheutunut haitta: Hukkaan mennyt solun käyttöaika tunteina.														
6	Muuta huomioitavaa:														
7															
8															

Liitä screenshot/kuva tähän