



Oguzhan Taskin

Kalibrointijärjestelmän kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

25.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Oguzhan Taskin
Otsikko: Kalibrointijärjestelmän kehitys
Sivumäärä: 28 sivua + 0 liitettä
Aika: 25.11.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneensuunnittelu
Ohjaajat: Yliopettaja Jyrki Kullaa
Laatujohtaja Juha Tolvanen

Mittaukset ovat tärkeä osa yrityksen toimintaa ylläpitää laadun varmennusta ja luotettavuutta. Mittatuloksien luotettavuus saadaan kalibroitaessa mittalaitteet. Kalibrointi on jatkuva prosessi, jossa tietyin aikaväleihin mittalaitteille tehdään huoltotarkistus ja mittatuloksien varmennus. Ilman kalibrointia mittatuloksien todenmukaisuuden varmistaminen on mahdottomuus.

Opinnäytetyö tehtiin pohjoiseurooppalaiselle metallituotteita valmistavalle Meconet Oy:lle. Tavoitteena oli tutustua etäisyysmittalaitteiden kalibroinnin teoriaan sekä selvittää Meconet Oy:n kalibrointiprosessi ja prosessin kehitysmahdollisuudet. Työn aikana tutkittiin akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden ja standardien vaatimuksia kalibroinnissa. Lopuksi käytiin läpi kalibrointiprosessin nykytilanne ja pohdittiin vaadittavia muutoksia jatkuvien korkeampien laatuvaatimusten täyttämiseksi.

Asiakkaiden jatkuva vaatimustason kasvu edellyttää laadunvarmistusmenetelmien kyvykkyyden todentamista. Laadunvarmistusmenetelmien tutkimuksessa kalibrointi on yksi vaadittava kehityksen kohde. Tämän opinnäytetyön avulla saavutettiin tarvittava järjestelmällinen tutkimus kalibrointiympäristön ja kalibrointiprosessin osalta, jolla varmistettiin menetelmän käyttökelpoisuus.

Avainsanat: Kalibrointi, metalliteollisuus, etäisyysmittalaitteet, luotettavuus, laatu, tarkkuus

Abstract

Author: Oguzhan Taskin
Title: Development of the Calibration System
Number of Pages: 28 pages + 0 appendices
Date: 25 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine design
Supervisors: Jyrki Kullaa, Principal Lecturer
Juha Tolvanen, Quality Director

Measurements are a vital part of a company's operation maintaining quality assurance and reliability. The reliability of measurements originates from calibrating the measuring devices. Calibration is a continuous process in which measuring devices are inspected and the measurement results checked at certain intervals. Without calibration, it is impossible to ascertain the correctness of the measurement results.

The thesis was done for a Northern European company Meconet Oy that manufactures metal products. The aim of the thesis was to familiarize with the theory of calibration of distance measurement devices as well as investigate the calibration process and the possibilities of improvement at Meconet. The requirements of accredited calibration laboratories and calibration standards were studied. Finally, the thesis goes through the present situation of the calibration process and contemplates the necessary changes to fulfill the continuous demands for higher quality.

The customers' continuous increase of the quality demands requires authentication of the capability in the quality assurance methods. Calibration is one required development target in the examination of the quality assurance methods. In this thesis systematic research was carried out on the calibration environment and calibration process, with which the feasibility of the method was ensured.

Keywords: Calibration, metal industry, distance measurement devices, reliability, quality, precision

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Meconet Oy	2
3	Kalibrointiprosessi	3
3.1	Standardit	5
3.2	Akkreditoitu kalibrointi	6
3.3	Virhelähteet ja mittausepävarmuus	6
3.4	Jäljitettävyys	11
3.4.1	Dokumentointi	12
3.4.2	Kalibrointijakso	13
3.5	Auditointi	14
3.6	Kalibrointihuone	15
3.7	Ohjelmisto	18
4	Meconet Oy:n kalibrointijärjestelmä	19
4.1	Esimerkkinä Meconet Oy:n työntömitan kalibrointiohje	21
5	Jatkokehityksiä	23
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	27

1 Johdanto

Metalliteollisuuden tuotanto perustuu mittalaitteilla tehtyihin mittauksiin. Mittauksia tarvitaan jokaisessa eri tuotannon vaiheessa, joilla varmennetaan lopullisen tuotteen laatu. Näiden tuloksien oikeellisuus varmistetaan kalibroimalla mittalaitteet. Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä tutkimustyö kalibroinnin teoriaan, käytäntöön ja Meconet Oy:n kalibrintisysteemiin. Työ tarkastelee pääsääntöisesti etäisyysmittojen kalibrintiprosessia ja hyvän kalibroinnin edellyttäviä vaatimuksia. Tavoitteena on työn pohjalta saatujen oppien perusteella pohtia jatkokehityksen mahdollisuuksia kalibroinnin ja laadunvarmistamisen kehittämiseksi Meconetilla.

Kalibrointi määrittää tietyn mittalaitteen tarkkuuden ja laadun käyttämällä erilaisia mittavälineitä. Ajan myötä mittalaitteiden tuloksilla ja tarkkuuksilla on taipumus muuttua alkuperäisistä tuloksista varsinkin käyttömäärään nähden. Siksi kalibroinnilla on tärkeä tehtävä luoda jäljitettävä ja jatkuva tarkistusprosessi mittalaitteille. Näin seurataan mittauksien luotettavuutta, tarkkuutta ja toistettavuutta laitteen elinkaaren aikana. Kalibroinnin tavoitteena on välttää epävarmuutta takaamalla mittalaitteiden tarkkuus. Määrittämällä hyväksyttävä käyttöalue mittalaitteelle, voidaan sallia toleranssi virheellisyydelle ja hallita mittalaitteiden käyttöä luotettavasti. [1.]

Kalibrintihuone on tila, jolla varmistetaan hyvän kalibroinnin vaatimuksia olosuhteen, puhtauden ja tarvikkeiden säilönnän osalta. Kalibrintihuoneen merkitys kalibroinnille on tärkeä viallisen kalibroinnin välttämiseksi sekä kalibrintitasen parantamiseksi. Työn aikana käydään läpi vaatimuksia kalibrintihuoneelle ja tämän parantamisen mahdollisuuksia. Vaatimusten jatkuva kasvaminen laadun ja mittalaitteiden osalta tarkoittaa kalibroinnin tilanteen katsastuksen tarvetta kalibrintiprosessin ja kalibrintihuoneen osalta. Näin varmistetaan mittalaitteiden ja mittatuloksien laatutason olevan korkea. [1.]

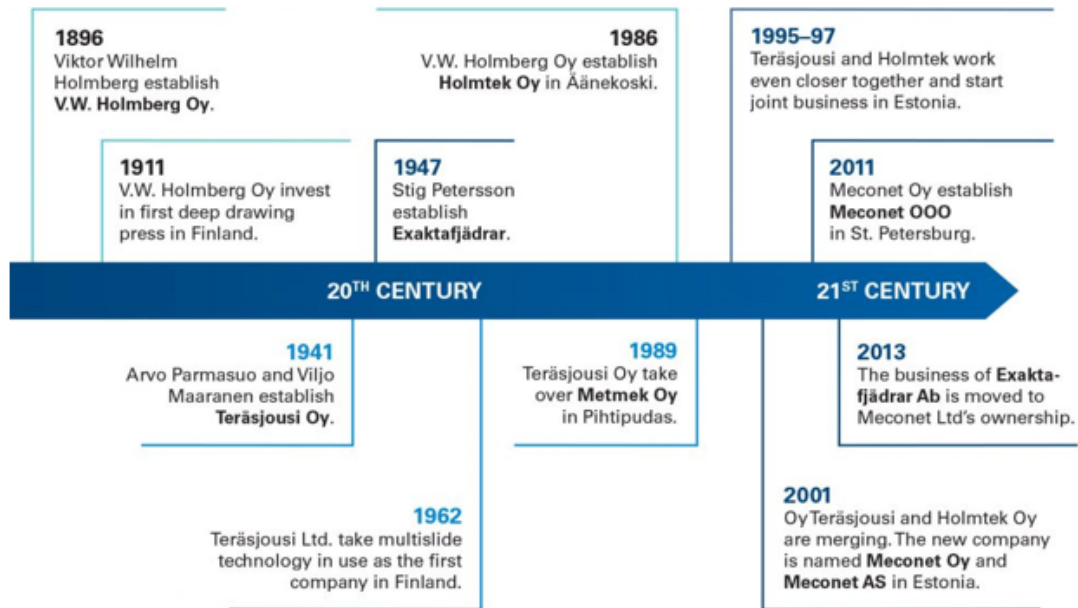
Työssä tarkastellaan Meconetilla käytössä olevia etäisyysmittalaitteita, joita ovat työntömitat, mikrometrit, mittakellot ja korkeusmittalaitteet. Suurin osa mittauksista kohdistuu pienempiin etäisyyksiin, kuten alle 100 mm mittauksiin.

2 Meconet Oy

Meconet Oy on pohjoiseurooppalainen metallituotteita valmistava yritys yli 100 vuoden kokemuksella. Meconetilla valmistetaan jousi-, lanka-, meisto-, ja syvävetotuotteita. Asiakkaina toimivat sähkötuote-, tietoliikenne-, elektroniikka-, rakennus-, terveys-, sekä kulkuvälineteollisuus. [2.]

Meconetin toimipisteitä ovat Pihtipudas, Vantaa, Äänekoski, Bern, Tallinna ja Tukholma. Insinööriyötä koskeva vantaan tehdas on pääsääntöisesti meistotuotteita valmistava toimipiste. Toiminta Meconetilla perustuu LEAN-periaatteen, ja sitä ohjaavat sertifioitu ISO-9001-laatu järjestelmä ja ISO 14001 -ympäristöjärjestelmä. Liikevaihto vuonna 2021 oli 40,2 miljoonaa euroa ja työntekijöitä kokonaisuudessaan Meconetilla on noin 300. [2.]

Teräs jousi Oy:n ja Holmtek Oy:n yhdistyessä vuonna 2000 nimi vaihtui Meconetiksi, ja tänä päivänä historiaa on jo yli 125 vuotta. Meconetin kehitystä ja historiaa havainnollistaa kuva 1. [2.]



Kuva 1. Meconet Oy:n historia [2]

3 Kalibrointiprosessi

Tuotteen mittaukset ovat tuotannon oleellisin osa laadukkaan ja luotettavan lopputuloksen saavuttamista. Tämän avulla voidaan varmistaa ja parantaa tuotteiden laatua, sekä edistää tuotannon kehitystä. Kalibroinnilla taas varmistetaan mittauksissa käytettyjen mittalaitteiden oikeaoppinen toiminta, luotettavuus ja tarkkuus. Kalibroinnilla tarkoitetaan mittavälineen vertailua jäljitettävään mittanormaaliin, jolla varmennetaan mittavälineen tuloksen virheettömyys. [3, s. 16.]

Mittanormaalilla tarkoitetaan referenssiä, joka on määritelty tietyn suureen mitattavaksi, jolla voidaan siirtää suure mittavälineeseen vertailumenetelmällä. Mittanormaali voidaan jakaa useampaan luokkaan, kuten kansalliset mittanormaalit, referenssinormaalit ja käyttönormaalit. SI-yksikkö luodaan kansallisessa mittaustekniikan laitoksessa, josta tarkkailtava yksikkö siirretään kansalliseksi mittanormaaliksi. Mittanormaalien arvo siirtyy ketjun alhaisempaan tasoon vertailumenetelmällä. Akkreditoidulla kalibrointilaboratoriolla ovat referenssinormaalit. Lopuksi saadaan käyttönormaali, joka on yritystasolla käytössä oleva

mittanormaali, kuten rengastulkki (Kuva 2), jota käytetään mittausslaitteiden kalibrointiin. Muodostamalla edellä mainittu jäljitettävyyssketju, voidaan luottaa mittalaitteiden mittatuloksien olevan todenmukaisia. [3, s. 14–16; 4, s. 94.]



Kuva 2. Meconetilla oleva mittanormaali (Rengastulkki)

Säännöllisen kalibroinnin myötä mittalaitteista pidetään huolta, sekä estetään mahdollisten viallisten laitteiden käyttöä, mikä saattaa heijastua tuotteiden ja työkalujen huomaamattomaan heikkoon laatuun. Mittalaitteesta riippuen, kalibrointia tehdään moninaisista syistä erilaisilla aikajaksoilla. Käyttömäärä, käyttöikä, kolahdus, mittalaitteen altistuminen suurelle lämpötilalle, pölyn kertyminen laitteen sisällä, väärinkäyttö tai liiallisen voiman käyttö ovat muutamia tekijöitä uudelleen kalibroinnin harkitsemiselle. [5.]

Toisaalta mittalaitteiden kalibrointia tarvitaan huolimatta laitteen kunnosta sekä ulkoisista että sisäistä tekijöistä johtuen. Yrityksen sisäisiä tekijöitä ovat laitteiden dokumentointi, sisäinen auditointi tai esimerkiksi sertifiikaatin vaatimusten täyttäminen. Näiden pohjalta voidaan täyttää asiakkailta tulevia ulkoisia vaatimuksia, kuten kolmannen osapuolen auditointi tai asiakkaan vaatima laatu ja jäljitettävyys. Ulkoiset ja sisäiset tekijät seuraavat toisiaan, minkä vuoksi ilman sisäisiä vaatimuksia on ulkoisten vaatimusten täyttäminen hankalaa. [5.]

3.1 Standardit

Vaatimukset mittausprosesseille ja mittauslaitteistoille ovat tärkeitä laadukkaan kalibroinnin kannalta. Vaatimuksia ohjaavat eri tasoille kalibroinneille käytössä olevat standardit kuten:

- SFS-EN ISO 9001 Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset
- SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden. Yleiset vaatimukset
- SFS-EN ISO 10012 Mittausten hallintajärjestelmät.

Standardien pohjalta saadaan vaatimuksia oikeaoppiselle kalibrointiprosessille, mittatuloksien tulkitsemiselle ja dokumentoinnille. Standardit määrittelevät yleiset vaatimukset mittalaitteiden varmentamiselle ja antaa opastusta kalibrointiprosessin kyvyn osoittamiselle. Standardien avulla voidaan luoda pätevä ja yhdenmukainen kalibrointijärjestelmä, joka varmistaa mittalaitteiden korkeatasoisen laadun ja vastaa asiakkailta tulleiden vaatimusten tasoa. Asiakkaiden puolesta voidaan vakuuttaa standardien avulla tiettyjen asioiden täyttymistä ja osoittaa osaamista. [6; 7; 8.]

Edellä mainittujen standardien mukaan saadaan vaatimuksia kalibrointiprosessille ja asioille, joiden tulee täytyä kalibrointia tehdessä. Standardista saatujen vaatimusten pohjalta voidaan varmistaa kalibroinnin laadukas menetelmä.

Standardien vaatimuksia saadaan muun muassa kalibrointihuoneen, olosuhteiden, jäljitettävyyden ja mittausepävarmuuden määrittämiselle. Tämän lisäksi standardeista saadaan vaatimukset kalibroinnin ja muun laadun dokumentoinnille ja ylläpidolle sekä näiden sisäisille auditoinneille ja analyysille. Standardit antavat myös pätevyydelle, koulutuksille ja henkilöresursseille vaatimukset oikeanmuokaisen kalibroinnin toteuttamiseksi. Sertifikaattien täyttämiseksi standardien toteuttamista täytyy noudattaa, mutta esimerkiksi ISO 17025 standardin vaatimusten läpikäynti on tärkeää yritykselle, jotta yritys ymmärtää mahdollisia parannuskohteita ja heikkouksia prosessissaan. [6; 7; 8.]

3.2 Akkreditoitu kalibrointi

Suomen kansallisena mittanormaallilaboratoriona toimii VTT-MIKES, joka pitää huolta kansainvälisen SI-mittayksikköjärjestelmän ylläpidosta ja toteutuksesta. Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tehtävä on siirtää jäljitettävyys kansallisista mittanormaaleista referenssinormaaleihin. Tarkoituksena on ilmaista yhteys kansallisen ja referenssinormaalin välille vertailuketju, jossa ilmoitetaan kaikkien vertailujen epävarmuudet. Etäisyysmittalaitteiden ulkopuolella, akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tehtävät kalibrointeja muille suuremille mittalaitteille kuten paineelle, lämpötilalle ja voimalle. Laboratorioiden toimintajärjestelmä vastaa standardin ISO 9001 asettamia vaatimuksia. Vaatimuksena kalibrointilaboratoriolle on SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. [9.]

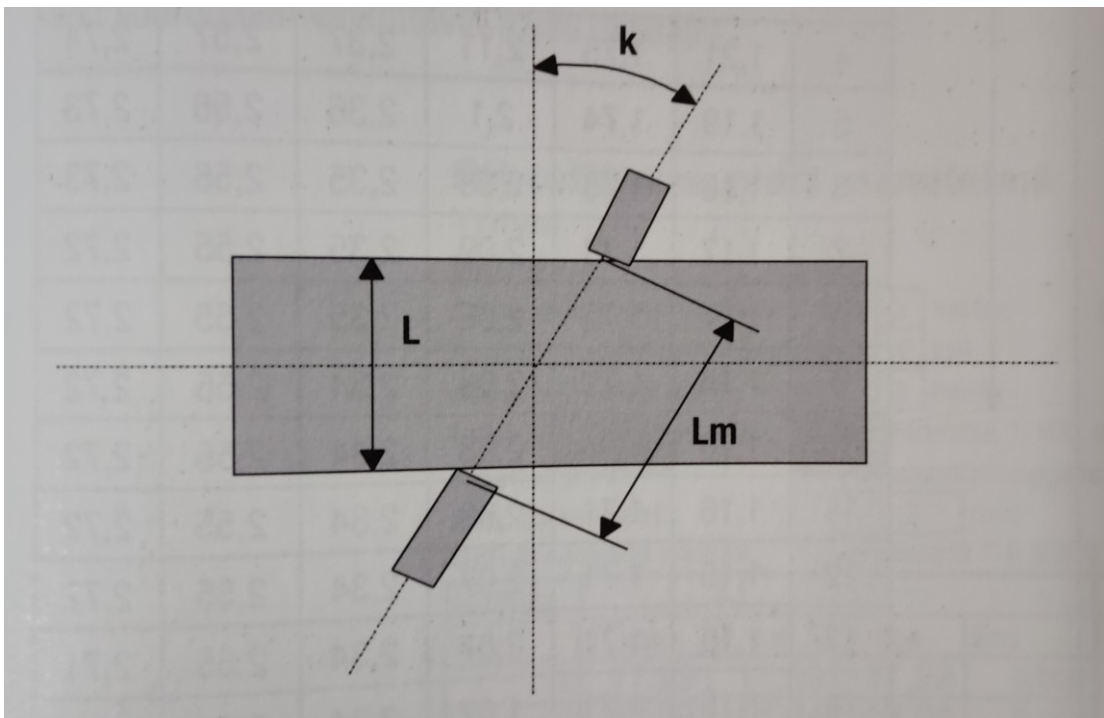
3.3 Virhelähteet ja mittausepävarmuus

Mittalaitteiden kalibroinnissa täytyy ottaa huomioon erilaisten tekijöiden vaikutus lopulliseen mittatulokseen, jotta voidaan varmistua oikeaoppisesta kalibroinnista.

Kalibroinnin ollessa jatkuva prosessi yrityksen toiminnassa, kalibroinnista vastuussa oleva henkilö voi vaihtua kalibrointivälien aikana. Näin ollen, kalibrointi-

prosessi vaatii tiukat raamit prosessin ylläpitämiseksi ja vaihtelun minimoimiseksi. Prosessissa olevat muuttujat, kuten viallisten mittapalojen käyttäminen tai tarvikkeiden huono säilytys ovat mittaajasta riippumattomia. Näiden lisäksi, puutteelliset ohjeet tai heikko dokumentointi menetelmästä voi johtaa poikkeaviin tuloksiin kalibrointikertojen välillä. Tästä aiheutuvan vaihtelun vaikutus myös estää kalibrointituloksien vertaamisen, jolloin jäljitettävyyssketju katkeaa. [10, s. 42; 11 s. 56.]

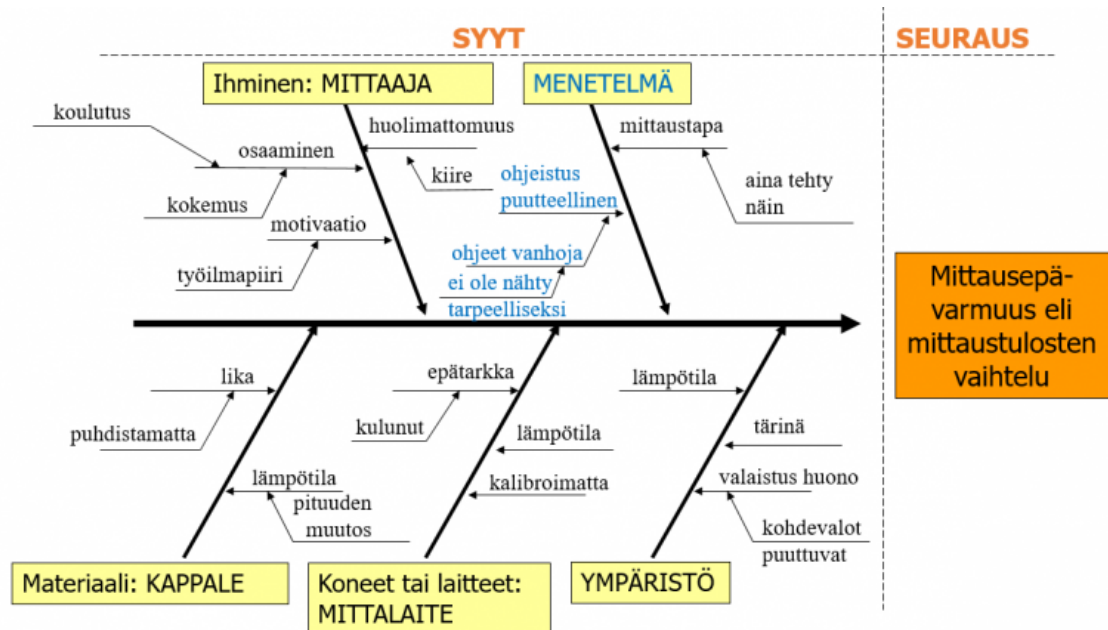
Mittaajan pätevyys ja kalibroinnin osaamisalueiden hallinta vaikuttavat merkittävästi kalibroinnin tasoon. Mittalaitteen asentovirhe (Kuva 3) tai liiallisen voiman käyttö mitattaessa voi herkästi vääristää mittatulosta. Inhimilliset virheet kuten huolimattomuusvirhe mittatuloksen tulkitsemisessa tai dokumentoinnissa ovat myös yleisiä mittaajasta aiheutuvia virheitä. [11, s. 58–59.]



Kuva 3: Asentovirhe L_m verrattuna todelliseen mittaan L [11, s. 59]

Kalibrointihuoneen, mittanormaanin ja mittalaitteen lämpötila ja kosteus ovat mitatukseen vaikuttavia virhelähteitä. Myös kalibrointihuoneen ilmanpaine vai-

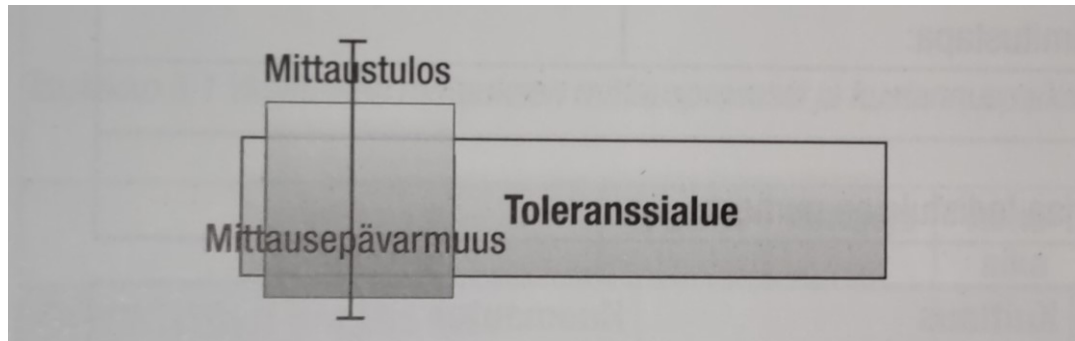
kuttaa lopulliseen tulokseen. Suuret lämpötilaerot mittalaitteen ja referenssinormaalien välillä tuottavat merkittävän vaikutuksen mittatuloksessa. Kuten kuvasta 4 on havaittavissa, lopullinen epävarmuus voi aiheutua monesta eri virhelähteestä, minkä takia juurisyyn todentamien voi osoittautua hankalaksi. Tästä syystä virhelähteiden ymmärtäminen on tärkeä osa mittatuloksen epävarmuuden minimoimista. [10, s. 40;11, s. 56.]



Kuva 4: Virhelähteiden syuseuraus [12]

Mittausepävarmuus on väistämätön ongelma kalibroinnissa, mutta usein tämän huomioiminen voi jäädä pois. On kuitenkin tärkeää, että mittausepävarmuus on huomioitu ja tunnettu. Mittausepävarmuuden vaikutus voidaan pienentää vain havainnollistamalla tämän suuruus (kuva 5). Mittausepävarmuudella tarkoitetaan käytännössä mittatuloksen vaihtelua todellisesta arvosta. Mittatuloksen täytyy pysyä annetun toleranssialueen sisällä mittausepävarmuuden kanssa eli todellinen toleranssialue pienenee. Mittausepävarmuus lasketaan tilastollisia menetelmiä käyttäen, joka voidaan korjata laskukaavojen avulla. Yritystasolla tehdyt kalibroinnit eivät tarkkuutensa puolesta vaadi mittausepävarmuuden kor-

jausta, mutta akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden täytyy pystyä tilastoi-
maan, huomiomaan sekä korjaamaan mittausepävarmuuden vaikutus. [11, s.
58; 13.]



Kuva 5: Mittatuloksen mittausepävarmuus toleranssialueeseen nähden [11, s. 36]

Yrityksen täytyy myös pohtia taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta mit-
tausepävarmuuden tutkimista. Mittausepävarmuudella on vaikutus mittaustulok-
seen, mutta tämän suuruuden havainnollistamiseksi vaaditaan huomattavasti
resursseja koemittauksissa sekä tilastollisesti että laskennallisesti. Vaaditun työ-
määrän suuruus tuloksesta saatuun hyötyyn on yrityksen itse pohdittava, mutta
tämä tarkoittaa mittaustuloksien aina poikkeavan mittausepävarmuuden verran.
Yleinen mittausepävarmuus erilaisille mittalaitteille on esitetty taulukossa 1. Re-
ferenssinormaalien hankinnassa on sisällytettynä mittausepävarmuuden huomi-
oiminen näiden tullessa akkreditoitulta kalibrointilaboratoriolta. Kuitenkin yrityk-
sen kalibrointihuoneen olosuhteet verrattuna kalibrointilaboratorion olosuhteisiin
tulee aina vaihtelevaan, mikä vaikuttaa mittanormaaleihin. [13.]

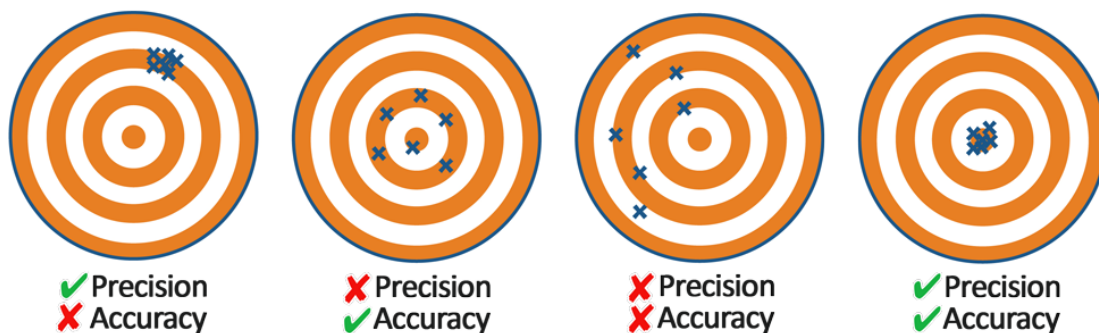
Taulukko 1: Pituusmittauksien mittausepävarmuus eri mittalaitteilla (L = mitattu
pituus metreinä) [11, s. 38]

Mittalaite	Mittausalue	Mittausepävarmuus [μm]

Työntömitta	0–2000 mm	$\pm (20 + L/250)$
Kaarimikrometri	0–2000 mm	$\pm (1 + L/100)$
Mittakellot	0–100 mm	$\pm (0,1 + L/100)$
Korkeusmittalaitteet	0–1000 mm	$\pm (3 + L/250)$

Mittaasepävarmuuden tutkinnassa mukana on MSA (measurement statistical analysis) eli mittaussysteemin analyysi. MSA:ta voidaan kuvailla testien ja matemaattisten kaavojen avulla tehty analyysi mittausprosessista. Tässä kartoitetaan prosessin muutosta ja mittausprosessin stabiilisuutta (stability), täsmällisyyttä (precision) ja tarkkuutta (accuracy). MSA:lla tunnistetaan prosessissa olevia virheitä, jotka voidaan luokitella täsmällisyyden ja tarkkuuden mukaan (kuva 6). Analyysi tehdään yleisesti kolmen henkilön toimesta, jolloin samalla tutkitaan prosessin toistettavuus (repeatability) ja uusittavuus (reproducibility) sekä mittaajasta tullut harha (bias). Analyysin avulla varmistetaan mittausprosessin ja mittatuloksien luotettavuus asiakkaille. [14.]

PRECISION VS ACCURACY



Kuva 6: Tarkkuuden ja täsmällisyyden hahmotelma [14]

3.4 Jäljitettävyys

Hyvän kalibrointitason ylläpitäminen vaatii luotettavan jäljitettävyysketjun muodostamista. Tällä tarkoitetaan katkeamatonta ketjua vertailumittauksilla kansallisesta mittanormaalista mittalaitteeseen asti. SI-yksikön luovat kansalliset mittaustekniikan laitokset analysoivat tarkasti yksikön epävarmuuden. Yksikkö siirretään referenssinormaliin eli akkreditoidun laboratorion tasolla oleviin mittanormaaleihin, joita käytetään mittalaitteiden kalibroinnissa. Yrityksien käyttönormaalien jäljitettävyysketju määritetään kalibroimalla nämä ylemmän tason referenssinormaalien suhteen. Lopuksi yrityksellä käytössä olevat mittalaitteet kalibroidaan käyttönormaalien suhteen. [15.]

Akkreditoidut kalibrointilaboratoriot huomioivat epävarmuuden laskennallisesti mittanormaaleissa, jolloin yrityksellä käytössä oleviin mittanormaaleihin on mittauserävarmuus sisällytettyinä. Mittalaitteita voidaan pitää jäljitettävinä ja niiden epävarmuus tiedettynä, jolloin saavutetaan katkeamaton ja dokumentoitu jäljitettävyysketju mittalaitteille sekä mittanormaaleille. Kuitenkin mittauserävarmuus kasvaa kalibrointiketjun myötä. Mitä useampi kalibrointivaihe, sitä suuremmaksi epävarmuus kasvaa (Kuva 7). Tavoitteena olisikin mahdollisimman lyhyt kalibrointiketju. [15.]



Kuva 7: Jäljitettävyyshetju SI-yksiköstä mittalaitteeseen [15]

3.4.1 Dokumentointi

Jäljitettävyyden katkeamattomuuden toteutumiselle vaaditaan kalibroinnin dokumentointi yrityksen valitsemaan järjestelmään. Dokumentoinnilla saavutetaan kalibroinnin standardin mukainen toteutus, jolla voidaan varmistaa tulosten vertailtavuus eri paikoissa eri laitteilla. Ilman dokumentointia mittatulokset ovat epäluotettavia eikä niitä voi uusia. Kalibroinnin dokumentaatioon vaaditaan standardin mukaisesti seuraavat asiat:

- Kalibroitodistus
- Kalibroijan pätevyys
- Kalibroitimenetelmä, johon kuuluu mitattava tulos, toleranssi, mittatulos, mittaustapa

- Laitteen yksilöinti sarjanumerolla tai laitetta kohdistavalla merkinnällä
- Tieto mittausepävarmuudesta ja ilmoitus siitä
- Kalibrointijakson ilmoitus. [16.]

Kalibroinnin dokumentaatio jatkuu mittalaitteeseen asti, josta löytyy yleisesti numerollinen tarra. Väritarrajärjestelmää käytetään, jotta voidaan järjestelmän lisäksi seurata kalibrointiajan täyttymistä. Kuvassa 8 näkyy tarrajärjestelmän toiminta. Punaisella tarralla merkattu mittalaite merkitsee kalibroimattoman mittalaitteen. Muut värit ja numerot osoittavat vuoden ja kuukauden, jolloin laitteen kalibrointijakso täyttyy. Edellinen kalibrointipäivämäärä määrittää tulevan kuukauden ja vuoden, jonka aikana uudelleenkalibrointi tulee toteuttaa.

Kalibroitava ennen käyttöönottamista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRP QUALITY CONTROL	TAMMI	HELMI	MAALIS	HUHTI	TOUKO	KESÄ	HEINÄ	ELO	SYYS	LOKA	MARRAS	JOULU
2019	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2020	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2021	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2022	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2023	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2024	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2025	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Kuva 8: Kalibroinnin väritarrajärjestelmä [17]

3.4.2 Kalibrointijakso

Kalibrointijakson määrittämiseksi ei ole tarkkoja ohjeita, vaan yleisesti aikaväli sovitaan kalibrointijärjestelmästä vastuussa olevan henkilön sekä mittalaitteen käyttäjän toimesta. Tyypilliset kalibrointijaksot eri etäisyysmittalaitteille Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit (2003) -kirjan mukaisesti ovat:

- rengastulkit 24 kk
- mittakellot ja anturit 4–12 kk
- työntömitat 6–48 kk
- optiset laitteet 12 kk
- koordinaattimittalaitteet 12 kk. [11, s. 55.]

Kalibrointijakson pituuden määrittää mittalaitteen suorituskyvyn ylläpitämiseen tai varmistamiseen vaadittava aika. Tämä aika voi vaihdella riippuen laitteen käyttötarkoituksen, käyttömäärän ja tarkkuuden vaatimuksen puolesta. Asiakasvaatimukset ovat yleisiä kalibrointijakson lyhentäviä tekijöitä. Toisaalta laitteen dokumentoidun tuloksien stabiilisuuden pohjalta voidaan määrittää kalibrointijakson olevan normaalia pidempi. [11, s. 54–55.]

Meconetilla määritetään kalibrointijaksot sisäisen dokumentin mukaisesti 12 kk mikrometrien, mittakellojen, korkeusmittalaitteiden ja työntömittojen osalta sekä 60 kk standardimittapalojen osalta. [18.]

3.5 Auditointi

Auditoinnilla tarkoitetaan prosessia, jossa tutkitaan asetettujen vaatimuksien täyttymistä puolueettoman osapuolen toimesta. Vaadittavat kriteerit määritellään etukäteen, jonka jälkeen prosessissa käydään järjestelmällisesti jokainen arvioitava vaihe läpi. Tällä pyritään saamaan järjestelmällinen, itsenäinen ja dokumentoitu prosessi, jota voidaan verrata standardin vaatimukseen. [19.]

Auditoinnin toteutus voi tapahtua sisäisen, ulkoisen tai kolmannen osapuolen toimesta. Asiakkaan vaatimuksien täyttymisen arviointi tai organisaation itsensä arviointi ovat yleisiä laadunvarmistuksen keinoja. Tuote-, sisäisissä- ja kolmannen osapuolen auditoinneissa kalibrointi on osa auditointiprosessia luotettavan,

laadullisen ja turvallisen laatu järjestelmän ylläpitämiseksi. Meconetin 9001 sertifi-
fikaatti on yksi auditointiprosessi, jossa käydään läpi kalibrointia. [19.]

3.6 Kalibrointihuone

Kalibrointihuoneen tarkoituksena on minimoida virhelähteiden syntymistä sekä
avustaa ja varmistaa oikeaoppisen kalibroinnin toteutumista. Huoneella on tär-
keä rooli mittanormaalien ja kalibrointitarvikkeiden säilytyksen, ympäristön läm-
pötilan ja puhtauden sekä kalibroinnin suorittamisen kannalta. [13.]

Kalibrointihuoneen lämpötila tulisi standardien mukaisesti olla $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, mutta
yrityksen sisäisessä kalibroinnissa huoneen ± 1 asteen lämpötilan vaihtelu on
hyväksyttävä tulos. [13.]

Suurimmat tekijät kalibrointihuoneen lämpötilan muutokseen ovat oven jatkuva
avaamien ja henkilöiden läsnäolo tilassa. Erityisesti useiden henkilöiden oles-
kelu tai läpikulku huoneessa vaikuttaa ympäristön lämpötilaan. Oven avauksen
myötä kalibrointihuoneen lämpötila pyrkii tasapainottumaan kalibrointihuoneen
ulkopuoliseen lämpötilaan nähden. Mahdollisien lämpimien kappaleiden siirtä-
minen huoneeseen tai kalibrointipöydälle ovat toinen riski lämpötilan vaihtumi-
selle. Ongelman ehkäisemiseksi suositellaan säilytyskaappia, jossa kalibroin-
nissa tarvittavat laitteet voidaan säilyttää lämpötilojen tasaantumiseksi. Kalib-
rointiin tuotavat mittalaitteet olisi hyvä pitää 12 tuntia samassa tilassa mitta-
normaalien kanssa. [13.]

Kuitenkin käytettyjen mittalaitteiden ja mittavälineiden lämpötilaerojen vaikutus
on suurempi kuin ympäristön lämpötilan muutokset. Materiaalin kutistuminen ja
laajeneminen lämpötilan vaikutuksesta on vähäinen, mutta kalibroinnissa puhut-
tujen sadasosamillimetrin ja tuhannesosamillimetrin tarkkuuksissa lämpötila-
erolla on merkittävä vaikutus. Normaaleissa olosuhteissa lämpötilaeron vaikutus
on suuruusluokaltaan $\pm 0,2$ mm/m. Tavoitteena on kalibrointivälineiden lämpöti-
laerojen olevan nolla. Laitteille tärkeintä on yhtenäisyys lämpötilassa, mutta liian

korkean tai päinvastaisesti matalan lämpötilan välttäminen. Tarkimmat mittatulokset saavutetaan käyttämällä mittalaitteita ja referenssinormaaleja $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ asteen alueella. Taulukosta 2 nähdään tasaantumiseen vaadittavia aikoja. [11, s. 56–57; 13.]

Taulukko 2: Lämpötilojen tasaantumisaikoja [11, s. 57]

	Lämpötilan muutoksen vaatima aika (min)	
	$5^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} - 0,1^{\circ}\text{C}$
50 mm:n mittapala -pystyssä puupinnalla	40	57
- lappeellaan valurautatasolla	3	4

Kalibroijan osalta mittalaitteiden ja mittanormaalien pitkään käsittely voi johtaa lämpöä käsistä kappaleeseen. Tästä syystä kalibroijan on hyvä käyttää käsi-neitä ja välttää liiallista mittanormaalin käsittelyä. [13.]

Jos mittalaitteiden täytyy palautua mahdollisimman nopeasti takaisin tuotantoon, pintalämpömittarin avulla voidaan tarkistaa välittömästi lämpötilaerot mittalaitteen ja mittanormaalin välillä. Tällöin vältetään tilanteilta, joissa mittalaitteet ovat esimerkiksi lämpimästä koneesta johtuen verrattain korkealämpöisiä mittanormaaliin nähden. [13.]

Lämpötilan lisäksi on tärkeää huomioida kalibrointihuoneen kosteus, jonka täytyisi pysyä 35–55 % alueella. Alle 35 % kosteudella pölyn määrä kasvaa ja nousee ilmaan ja välineisiin. Toisaalta yli 55 % kosteudella on vaarana, että referenssimateriaalit ruostuvat huoneessa. Vaihtelevat olosuhteet kesän ja talven

välillä voivat olla suuret, minkä takia suojaavan öljyn käyttö voi olla tarpeen. Jos ympäristö pysyy tasaisena ympäri vuoden, ei materiaalin suojaaminen ole välttämätöntä. [13.]

Kalibrointihuoneessa tarvittavat anturit ovat pääasiassa lämpötilaa ja kosteutta mittaavat laitteet. Jotta anturien tulokset ovat mahdollisimman tarkkoja kalibrointia varten, on anturit hyvä sijoittaa mittaustasolle. Lämpötila vaihtelee huoneen katto-, mittaus- ja maatasolla, joten ympäristön tulokset eivät vastaa täysin mitaustason lämpötilaan. [13.]

Kalibrointihuoneen ja kalibrointitason siivoaminen on olennainen osa kalibrointia. Huoneen pölyjen pyyhkiminen lattialta ja kaapeista säännöllisesti, jotta pölyä ei pääse kertymään. Kalibrointitaso puhdistetaan itse, vaikka huoneen siivous tapahtuisikin ulkoisesti. Näin ehkäistään vääränlaisten materiaalien tai aineiden käyttöä kalibrointitasolla, jotka voivat vaikuttaa kalibrointivälineisiin. Puhdistaminen ulottuu kaikkiin kalibroinnissa käytettäviin välineisiin. Mittalaitteiden ja referenssimateriaalien puhdistuksessa on tärkeää käyttää hellävaraisia välineitä ja aineita. Vääränlaisten aineiden käyttö voi muodostaa pintakerroksia referenssimateriaaliin ja vääristää lopputuloksia. [13.]

Kalibrointihuoneeseen tuodaan tuotannossa olleita kappaleita, jotka saattavat olla öljyn, metallihiukkasten tai muun epäpuhtauden peitossa. Kalibroijan tulee toiminnassaan ottaa huomioon kappaleiden mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet, minkä takia huoneessa täytyy olla puhdistusvälineet lian leviämisen estämiseksi. [13]

Kuvassa 9 on esitetty kalibrointihuoneen vaatimuksia Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit (2003) -kirjan mukaisesti. [11, s. 16.]

Ominaisuus	Korkeatasoinen kalibrointi	Vaativat mittaukset ja tavalliset kalibroinnit	Normaalit mittaukset ja vaatimattomat kalibroinnit	Välttävät mittaukset	
Lämpötila työtasossa	20 °C ± 0,5 °C	20 °C ± 1 °C	19 ... 24 °C	15 ... 25 °C	
Lämpötilaerot tilan eri osissa	Maks. 0,6 °C	Maks. 2 °C	Maks. 4 °C	–	
Lämpötilan vaihtelu tunnissa	Maks. 0,1 °C	Maks. 0,3 °C	Maks. 1 °C	Maks. 1,5 °C	
Lämpötilan vaihtelu vuorokaudessa	Maks. 0,6 °C	Maks. 1 °C	–	–	
Ilman suhteellinen kosteus	35 ... 55 %	35 ... 55 %	20 ... 70 %	Maks. 80 %	
Värähtelyt	Amplitudi/ Taajuus	0,25 µm/200 Hz ... 3 µm/5 Hz	1 µm/20 Hz ... 3 µm/10 Hz	Ei selvästi havaittavaa tärinää	Ei selvästi häiritsevää tärinää
Valaistus		800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	500 ... 1500 lux
Puhtaus	Koko	< 0,5 µm	< 5 µm	Puhtaudesta huolehditaan hyvin	Puhtaudesta huolehditaan normaalisti
	Määrä	3 x 10 ⁷ kpl/m ³	1 x 10 ⁷ kpl/m ³		
Ilman virtausnopeus		< 150 mm/min	< 300 mm/min	Ei tuntuvaa vetoa	Ei selvästi tuntuvaa vetoa
Melu		< 40 dBA	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

Kuva 9: Kalibrointihuoneen vaatimuksia eri tasoisiin kalibrointeihin. [11, s. 16]

3.7 Ohjelmisto

Kalibrointiin tarkoitettu ohjelmisto ei ole välttämätön kalibroinnin suorittamiseen, mutta ohjelmiston avulla voidaan kalibrointiprosessia tehostaa. Tässä työssä tutustuttiin JAMK:in akkreditoitun kalibrointilaboratorion käytössä olevaan QMSOFT-ohjelmaan. Ohjelmiston ollessa suorassa yhteydessä maailmassa oleviin kalibrointistandardeihin, voidaan ohjelmistolla seurata standardinmukaisia ohjeistuksia, sekä pysymään ajan tasalla standardeihin tulleisiin muutoksiin. Ohjelma myös tallentaa aikaisemmat kalibrointitulokset vaatimuksien mukaisesti ja muistuttaa tulevista kalibroinneista. Meconet Oy:llä käytössä olevalla Excel-pohjalla tehtyjen kalibrointien kalibrointiajat täytyy etsiä manuaalisesti. [13.]

QMSOFT-ohjelmiston avulla saadaan jäljitettävyyttä ja tarkkuutta, sekä toimintaa nopeutetaan ja vahvistetaan kalibroinnissa. Ohjelmistossa voidaan myös liittää tiettyjä mittauksia suoraan ohjelmaan, jolloin kalibrointien tekemistä ei tarvitse välttämättä jättää yhden tai muutaman henkilön varaan, vaan pystytään kouluttamaan useampia käyttämään ohjelmaa, ja sitä myöten tekemään kalibrointeja. Ohjelmiston tarkkaluonteinen kalibrointi tarkoittaa, että ohjelmistoa voi käyttää

samalla ohjeena kalibroinnin tekemiseen. Tämä vaatisi huomattavasti vähemmän resursseja kuin yksittäisen henkilön koulutuksen tekeminen tietylle mittalaitteelle. [13.]

4 Meconet Oy:n kalibrointijärjestelmä

Kalibrointi Meconetilla tapahtui yhden henkilön toimesta muutaman kuukauden aikana loppuvuodesta. Riskinä tässä esiintyi muiden työtehtävien suorittaminen kalibroijan osalta. Suurimmalle osalle mittalaitteista tehtiin kalibrointi samanaikaisesti, joka edellytti pitkäaikaista kuormitusta kalibroinnin yhteydessä. Tämän lisäksi, mahdollisten poissaolojen myötä kalibroinnin toteutus jäi epävarmaksi. Korjaavina toimenpiteinä kalibroijia koulutettiin lisää osastoittain, jotta kalibrointivastuuta saataisiin jaettua eri työntekijöiden välillä. Kalibrointijaksoja hajautettiin ympäri vuoden, jotta kalibroijan työkuorma saataisiin pienemmäksi ja kalibrointien suorittaminen helpottuisi ajallisesti. Samalla ohjeet läpikäytiin yksityiskohtaisemman ohjeistuksen varmistamiseksi.

Kalibroinnin organisoimiseksi mittalaitteiden kalibrointiajat järjestettiin osastokohtaisesti ja ilmoitettiin tuotannonjohdolle hyvissä ajoin ennen kalibrointia. Tällöin tuotannonjohto pystyi ajoittamaan tulevat kalibroinnit vähentäen kalibroijalle aiheutuvaa työkuormaa ja edesauttaa mittalaitteiden keräämistä etukäteen. Mittalaitteet voidaan kerätä edellisen päivän lopuksi kalibrointihuoneeseen lämpötilaerojen tasaantumiseksi ja kalibroinnin nopeuttamiseksi.

Kalibrointihuoneeseen tehtiin alue kalibroitaville mittalaitteille ja mittanormaleille sekä lisättiin tarvittavat välineet, kuten käsineet, puhtaat liinat ja kalibrointiin soveltuva puhdistusaine. Kalibroinnin ulkopuolella huone on jatkuvassa käytössä kahden mittalaitteen osalta. Kalibrointihuoneen pienen koon vuoksi ilmalämpöpumppu on pätevä keino ylläpitää 20 asteen lämpötilaa. Huone kuitenkin sijaitsee liukuoven välityksellä vierekkäin taukotilan kanssa. Jatkuva oleskelu huoneissa vaikuttaa suuresti lämpötilan vaihteluun. Kalibrointihuone on ISO 9001 -standardin mukaisesti määritelty.

Meconetilla käytössä olevat standardimittapalat kalibroidaan ulkoisesti akkreditoitun kalibrointilaboratorion toimesta. Näin Meconet muodostaa jäljittävyysketjun SI-yksiköstä mittalaitteisiin. Ulkoisesti kalibroitujen mittalaitteiden kalibrointitodistukset säilytetään erikseen kalibrointilokista.

4.1 Esimerkkinä Meconet Oy:n työntömitan kalibrointiohje

Työntömittojen kalibrointi kokonaisuudessaan tarkoittaa mittalaitteen puhdistusta, huoltoa, vertailumittausta mittapaloihin ja lopuksi laitteen hyväksyntää tai hylkyä. Kalibroinnista vastuussa oleva henkilö hylkää laitteen, mutta tehtaan laatuosasto tarkastaa ja antaa lopullisen tuomion mittalaitteelle. Lopuksi mittalaitteen tulokset ja käyttöpäätös merkitään kalibrointilokiin. [20.]

Ensin puhdistetaan mittalaite ja mittataso, jossa kalibrointi tehdään. Työntömitan (kuva 11) puhdistus tehdään puhtaita liinoja ja puhdistukseen soveltuvaa lievästi denaturoitua etanolia käyttämällä. Mittojen mittaustasot puhdistetaan huolellisesti ja annetaan aineen haihtua pois. [20.]



Kuva 11: Työntömitta väritarrajärjestelmän mukaisella tarralla

Tämän jälkeen tarkistetaan mittauspintojen yhdensuuntaisuus. Painamalla mittalaitteen leuat kiinni toisiinsa, tarkastellaan valoa vasten leukojen suoruus toisiinsa nähden. Leukojen välistä ei saa näkyä valoa lävitse. Yhdensuuntaisuutta voidaan korjata työntömitassa olevien ruuvien avulla, mutta säätömahdollisuus on pieni. [20.]

Seuraavaksi verrataan mittatuloksia akkreditoidun kalibrointilaboratorion kalibroituihin mittanormaaleihin, joita käsitellään puhtailla käsineillä. Työntömitalla mitataan mittanormaaleja kolmesta eri ulkomittapistestä ja kahdesta sisämittapistestä. Kalibrointien mittatuloksien virheelle maksimaaliset sallitut rajat tulevat DIN 862 -standardin mukaisesti. Alle 100 mm alueella toleranssi on $\pm 0,02$ mm ja alle 200 mm alueella toleranssi on $\pm 0,03$ mm. [20.]

Mittanormaaleja käsitellessä tulee mahdollisimman vähän olla yhteydessä mittapintoihin, jotta kalibroijan käsistä johtuva lämpötila ei vaikuta mittatuloksiin. Tarvittuja mittapisteitä mitataan standardimittapaloilla tai niiden yhdistelmillä (kuva 12). Mittapaloja yhdistäessä täytyy mittapalat liu'uttaa kiinni toisiinsa osien väliin jäävän epäpuhtauden minimoimiseksi. [20.]



Kuva 12: Ulkomitta mittapaloilla (vasen) ja sisämitta liitântäsarjan avulla (oikea) [20]

Lopuksi kalibrointilokiin merkitään mittatulokset, kalibroinnin päivämäärä ja tekijä sekä seuraava kalibrointiaika. Mittalaitteen kylkeen laitetaan väritarrajärjestelmän mukaisesti oikea merkki ilmoittamaan seuraavaa kalibrointiaikaa. Jos mittalaite hylätään, laatuosasto tarkastaa hylkäämisperusteet ja yrittää tehdä mahdollisia korjaustoimenpiteitä. Näitä ovat esimerkiksi pykälän poistaminen mittalaitteen leuoista timanttiviilalla tai leukojen suoristaminen ruuvien avulla.

Hylätyn mittalaitteen hylkäyksen peruste kirjoitetaan kalibrointilokiin ja mitta poistetaan tuotannon käytöstä. [20.]

5 Jatkokehityksiä

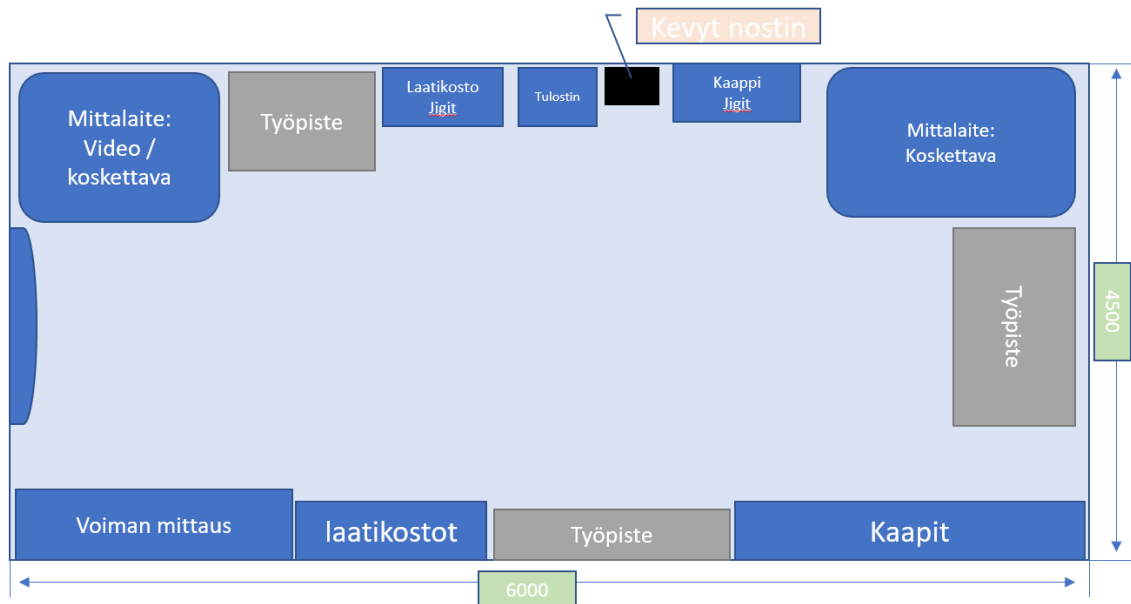
Meconetin tavoitteena on akkreditoitua kalibrointilaboratoriota heikosti tavoitteleva kalibrointijärjestelmä. Tämä vaatii muutoksia kalibrointihuoneeseen ja itse kalibrointiprosessiin. Jatkuvat laadulliset vaatimukset mittauksen osalta vaativat kalibroinnin parantamista.

Kalibrointihuoneen (kuva 13) koko aiheuttaa ongelmia kolmannen mittalaitteen osalta, joka on tarkoitettu lisättäväksi samaan huoneeseen muiden laitteiden kanssa. Huoneen pieni koko on herkkä lämpötilan vaihtelulle käytön myötä, joka entisestään kasvaa. Kalibrointihuoneessa muut laitteet huomioon ottaen vaatii muutoksia kalibrointitason parantamiseksi. Huoneen laajennus tai erillisen tilan rakennus antaisi mahdollisuuden eristää kalibrointihuone tuotannosta ja epäasiallisesta käytöstä.



Kuva 13: Meconet Oy:n kalibrointihuone

Erillistä tilaa rakentaessa voidaan ottaa huomioon kalibrointihuoneen vaatimuksia pölyn, kosteuden ja lämpötilan osalta tekemällä ylipaine huoneeseen, joka edesauttaa ilmankiertoa. Tilan ollessa suurempi pöytätasojen ja kaappitilojen lisäys antaa mahdollisuuden erottaa kalibroinnin tarvikkeet muiden lähettyviltä. Meconetilla aikaisemmin pohdinnassa ollut hahmotelma uuden tilan puolesta näkyy kuvassa 14.



Kuva 14: Hahmotelma mahdollisesta mittatilasta

Kalibrointihuoneen lämpötilan tutkimisen parantaminen tilastollisesti on yksi kehityksen kohde. Nykyisen anturien avulla lämpötilan vaihtelua ei pysty tilastollisesti tutkimaan. Kalibrointihuoneen lämpökerrostumisen tutkinta ja kosteuden anturin lisääminen ovat kalibroinnin ja mittauksen kehittymisen kannalta tärkeä kohde.

Kalibrointi-aikojen välillä tapahtuvien vikojen huomaamattomuuden välttämiseksi, erillisten mittapalojen valmistaminen tuotannon käyttöön voisi auttaa. Mittapalojen harvempi käyttö vähentää kulumisen riskiä, jolloin työntekijät voivat

luotettavasti tarkistaa mittalaitteiden tarkkuutta itsenäisesti. Tällä saataisiin vähennettyä viallisten mittalaitteiden käyttöä ja työntekijät saavat luotettavuutta mittalaitteisiin.

Sisäisen kalibroinnin kannattavuuden harkinta ja ulkoistamisen tutkiminen antaisi mahdollisuuden verrata kustannuseroja kalibrointien välillä. Lukuun ottamatta koordinaattimittalaitteita, etäisyysmittalaitteet kalibroidaan sisäisesti Meconetilla. Kuljetuksissa käytetyn ajan määrän ja kalibrointien hintojen suuruuden tunteminen auttaisi myös yritystä kehittämään sisäistä kalibrointiprosessia.

Nykyinen dokumentointijärjestelmä tuottaa ongelmia mittalaitteiden kalibrointiaikojen muistutuksen ja standardin mukaisen toiminnan osalta. Myöhästyneiden kalibrointien huomautus kalibroinnista jää tietyn henkilön vastuuksi ja standardeissa tapahtuvat muutokset eivät heijastu yrityksen sisäiseen toimintaan ilman manuaalista muutosta prosessiin. Prosessin ollessa tietyn henkilön vastuulla, riskinä on tiettyjen asioiden huomiotta ottaminen sekä vääränlainen käsitys oikeaoppisesta käytännöstä. Kalibrointiin tarkoitetun ohjelmiston avulla tiedon siirtyminen ja huomautus tapahtuisi automaattisesti.

Standardien mukaisesti mittausepävarmuuden tutkiminen ja dokumentointi vaaditaan kalibroinnissa. Sekä kalibrointilaboratorioiden standardin ISO 17025 että mittausprosessiin liittyvän standardin ISO 10012 mukaisesti, epävarmuuden tutkiminen on vaadittu kalibrointia tehdessä. Meconetilla epävarmuuden huomioiminen omasta kalibroinnista puuttuu täysin. Tämän huomioimisen tarvetta kannattaisi arvioida kalibrointiprosessin ja laadun kannalta. Laskennallinen tutkiminen esimerkiksi Excelin avulla mahdollistaisi mittausepävarmuuden määrittämisen sekä laskennallisesti että graafisesti, jonka myötä vahvistettaisiin kalibrointitasoa.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön pohjalta oli tarkoituksena ymmärtää hyvän kalibrointiprosessin vaatimukset ja tutkia Meconet Oy:n nykytilanteen kalibrointiprosessin heikkouksia. Tutkimuksen pohjalta tavoitteena oli pohtia mahdollisia jatkokehityksen tarpeita Meconet Oy:n kalibrointijärjestelmän parantamiseksi. Tämä lisäksi tavoitteena oli oppia akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden ja standardien mukainen kalibrointi, jotta voidaan pohtia yrityksen näkökulmasta tarvittavia muutoksia ja niiden tarpeellisuutta.

Opinnäytetyön aikana opittiin syvällisesti kalibrointiin vaikuttavia tekijöitä ja hyvän lopputuloksen saavuttamisen kriteereitä. Samalla Meconet Oy:n nykytilanteen läpikäynti toi esille puutteellisia vaiheita ja mahdollisia jatkokehityksen kohteita. Teoriaosuuden läpikäynti oli kattava, mutta teorian soveltaminen nykytilanteeseen ja jatkokehityksiin olisi voinut olla laajempi. Myös varsinaisen kalibrointiprosessin käytännön osuuden parantaminen jäi vähäiseksi.

Kokonaisuudessaan työ kuitenkin onnistui hyvin. Opinnäytetyön tavoitteet kalibroinnin teorian ja yrityksen kehittämisen osalta saatiin täytettyä sekä kalibrointiprosessin parannuskohteet selvitettiin. Työn pohjalta tunnetaan jatkokehityksen tarpeessa olevia kohteita, joita voidaan parantaa tulevaisuudessa.

Kalibrointiin liittyvän teorian oppien merkitys tulevaisuuden kannalta on suuri. Laadunvarmistuksen ja kasvavien laatuvaatimusten myötä kalibrointiprosessin kehitys on välttämätön vaihe yrityksen kehitykselle. Työn aikana tulleiden oppien perusteella kalibrointi ja mittalaitteiden laadunvarmistuksen käsitys ja olennaisuus yritykselle lisääntyi merkittävästi. Kokonaisuutena opinnäytetyö on tärkeä askel yrityksen laadun tulevaisuudelle ja tämän toivotulle kehityskaarelle.

Lähteet

- 1 Why is calibration so important?. Verkkoaineisto. Labfacility, inc. <https://www.labfacility.com/media/productattach/w/h/why_is_calibration_so_important.pdf>. Luettu 6.10.2022
- 2 Meconet Oy. Verkkosivut. <<https://www.meconet.net/>>. Luettu 27.10.2022
- 3 MIKES. 2008. Metrologiasta lyhyesti. E-Kirja. Mikes.
- 4 Mittanormaalit ja mittaustarkkuus. Verkkoaineisto. Stuk. <https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja1_3.pdf/73cc5a01-72ce-42d4-ab46-dc1a93300f95>. Luettu 4.10.222
- 5 Elements In Implementing an Internal Calibration Laboratory. Verkkoaineisto. Calibrationawareness. <[Elements In Implementing an Internal Calibration Laboratory - Calibration Awareness](#)>. Luettu 2.10.2022
- 6 SFS-EN ISO 9001. Laadunhallintajärjestelmät. 2015. Vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 7 SFS-EN ISO/IEC 17025. Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. 2017. Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 8 SFS-EN ISO 10012. Mittausten hallintajärjestelmät. 2003. Vaatimukset mittausprosesseille ja mittauslaitteistoille. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 9 Kalibrointilaboratoriot. 2022. Verkkoaineisto. Finas. <<https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointialueet/Sivut/Kalibrointilaboratoriot.aspx>>. Päivitetty 12.9.2022. Luettu 14.10.2022
- 10 Hemminki, Sari; Hiltunen, Erkki; Hägg, Margareta; Järvenpää, Eila; Kärhä Petri; Linko, Linnéa; Saarinen, Pertti & Simonen, Seppo. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. E-kirja. Metrologian neuvottelukunta.
- 11 Veli-Pekka, Esala & Heikki, Lehto & Heikki, Tikka 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit, Tampere: Tammer-paino Oy
- 12 Esala, Veli-Pekka & Peuranen, Harri. 2020. Mittausepävarmuuden parempi hallinta tavoittelemisen arvoista. 2020. Verkkoaineisto. Jamk. <<https://blogit.jamk.fi/techtothefuture/2020/02/24/mittausepavarmuuden-parempi-hallinta-tavoittelemisen-arvoista/>>. Luettu 15.10.2022

- 13 Tuikkanen, Juha (2021). Jyväskylän Ammattikorkeakoulun kalibrintikeskuksen projekti-insinööri. Haastattelu Jyväskylässä 11.10.2021
- 14 What is a Measurement System Analysis (MSA)?. Verkkoaineisto. Sixsigmads. <<https://sixsigmads.com/msa/>>. Luettu 3.11.2022
- 15 Understanding metrological traceability in calibration. Verkkoaineisto. Vaisala. <<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Understanding-Calibration-Traceability-B212197EN.pdf>>. Luettu 15.10.2022
- 16 Metrologiajärjestelmä. 2022. Verkkoaineisto. Finas. <<https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Metrologiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4.aspx>>. Päivitetty 9.9.2022. luettu 14.10.2022.
- 17 Kalibrointi on osa laatujärjestelmää. Verkkoaineisto. Työkalupalvelu. <<https://www.tkp-toolservice.fi/wp-content/uploads/TKP-Kalibrointijulistte.pdf>>. Luettu 6.10.2022
- 18 C_283 Mittausvälineiden kalibrointijaksot. Yrityksen sisäinen dokumentti. Meconet Oy.
- 19 Kriik, Greete. 2019. Mitä on auditointi?. Verkkoaineisto. Arter. <<https://www.arter.fi/mita-on-auditointi/>>. Luettu 28.10.2022
- 20 C_288 Kalibrointiohje. Yrityksen sisäinen dokumentti. Meconet Oy.