

Ville-Pekka Lahti

Konepajan mittauslaitteiden kalibrointisuunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

9.6.2014

Tekijä Otsikko	Ville-Pekka Lahti Konepajan mittalaitteiden kalibrointisuunnitelma
Sivumäärä Aika	29 sivua + 1 liitettä 9.6.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaaja(t)	Tuotantopäällikkö Markus Lindqvist Lehtori Markku Saarnio
<p>Kalibrointia voidaan kuvata toimintana, jossa testattavaa mittalaitetta verrataan tunnettuun viitearvoon. Suositusten mukaan kalibrointilaitteen tulisi olla kymmenen kertaa tarkempi kuin sillä kalibroitava mittalaite. Kalibroinnin yhteydessä mittalaite voidaan virittää oikeaan arvoon. Kalibrointitodistukseen tehdyistä merkinnöistä selviää, onko laite kalibroinnin yhteydessä viritetty sekä mittaustulokset ennen ja jälkeen virityksen, jotta laitteen kalibrointi-historia säilyy.</p> <p>Konepajateollisuudessa toiminnan laadun seuranta perustuu dokumentointiin ja toimivaan laatujärjestelmään. Laatujärjestelmä ISO 9001:ssä vaaditaan, että seurannassa ja mittauksissa käytettävät mittausvälineet tulee kalibroinnin lisäksi todentaa. Tehdyistä kalibroinneista tulee pitää tallenteita. Näistä tallenteista voidaan arvioida, täyttääkö mittauslaite sille määritellyt vaatimukset.</p> <p>Yritykset voivat toteuttaa kalibroinnit itse yrityksen omissa tiloissa tai ulkopuolisen kalibroijan toimesta. Tämän opinnäytetyö tehtiin Hitsaus- ja Rakennustyö Aho Oy:lle. Työn tarkoituksena oli kartoittaa yrityksen käytössä olevat mittalaitteet ja selvittää, miten niiden kalibroinnit voitaisiin toteuttaa.</p> <p>Aluksi luetteloiin yrityksen käytössä olevat mittalaitteet. Jokainen laite rekisteröitiin sähköisessä muodossa olevaan mittalaittekorntiin. Lisäksi tehtiin kalibrointiohjeet. Kalibrointilaitteista tehtiin tarjouspyynnöt ja verrattiin kalibrointipalveluja tarjoavien yritysten kalibrointi hinnastoja. Tarjouksien perusteella tehtiin kustannusarvio kalibrointilaitteille. Kalibroinnin suoritusvalinta jää yrityksen päätettäväksi.</p>	
Avainsanat	konepajateollisuus, mittalaite, kalibrointi

Author(s) Title	Ville-Pekka Lahti The Calibration Plan for Workshop Measuring Devices
Number of Pages Date	29 pages + 1 appendix 6 June 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructor(s)	Markus Lindqvist, Production Manager, Hitsaus- ja Rakennustyö Aho Oy Markku Saarnio, Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
<p>Calibration is a comparison between a known measurement (the standard) and the measurement used by the tested instrument. Typically, the accuracy of the standard should be ten times the accuracy of the measuring device being tested. The calibration of your measuring instruments has two objectives. It checks the accuracy of the instrument and it determines the traceability of the measurement. In practice, calibration also includes the repair of the device if it is out of calibration. A report is provided by the calibration expert, which shows the error in measurements with the measuring device before and after the calibration.</p> <p>Most contract manufacturers claim that they produce "quality" parts. The key is to look for a machine shop that practices value-added quality methods such as validated process control. Such companies are organized and structured to a high degree and have a strict control of their policies, processes, and procedures, backed by extensive documentation. A machine shop adhering to ISO 9001 must identify its processes and then document, monitor, and measure them.</p> <p>Companies can calibrate the instrumentation either in a calibration laboratory or on site at their own premises. This Bachelor's thesis was made for Hitsaus- ja Rakennustyö Aho Oy. The aim was to survey the company's use of the measuring devices and find out how their calibrations can be carried out.</p> <p>Initially, the company's use of the measuring devices was listed. Each measuring device is registered in the electronic form on to the card. In addition, calibration instructions were made. Inquiries and requests for quotation were made for the calibration devices. In addition, the calibration price lists provided by the companies were compared. Bids were made on the basis of the estimated cost of calibration. Carrying out the calibration mode selection will be, however the company's decision.</p>	
Keywords	machine shop, measurement devices, calibration

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Toimintaympäristö	2
3	Taustaa	2
3.1	ISO 9001	2
3.2	Kalibrointi	3
3.2.1	Mittanormaalit	5
3.2.2	Mittausepävarmuus	8
3.2.3	Mittausvirheet	9
3.3	Mittaus- ja kalibrointitilat	13
3.4	Ohjeistus	15
4	Nykytilanne	17
4.1	Kalibroitavien mittalaitteiden kartoitus	17
4.1.1	Tuotannossa käytettävät mittalaitteet	17
4.1.2	Mittalaitteiden nimeäminen ja rekisteröinti	18
4.2	Kalibroinnissa käytettävä tila	18
4.3	Kalibrointien ohjeistus	19
5	Kalibroinnin toteutus	22
5.1	Esimerkki mittakelloista ja niiden kalibroinnista.	22
5.2	Kustannusten arviointia	25
5.2.1	Yritykselle hankittavat kalibrointilaitteet	25
5.2.2	Kalibroinnin teettäminen	26
5.3	Mittanormaalit	27
5.4	Kalibrointijakson pituus	27
6	Päätelmät	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Mittavälinekortti	

Lyhenteet

BIPM	Bureau International des Poids et Mesures. Kansainvälinen painojen ja mittojen toimisto.
ISO	International Organization for Standardization. Maailmanlaajuinen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liitto.
MIKES	Mittatekniikan keskus.
SI	Kansainvälinen yksikköjärjestelmä

1 Johdanto

Konepajateollisuuden eri valmistusprosesseissa on olennaista mittausten tarkkuus ja luotettavuus. Näin pystytään vastaamaan asiakkaiden laatuvaatimuksiin ja samalla vähentämään hukkaa tuotantoprosessissa ja siten säästämään kustannuksia. Laatu-standardit kuten ISO 9001 sisältävät vaatimuksia tuotteiden valmistukseen käytettäville mittauslaitteille. Yhtenä vaatimuksena on mittauslaitteiden kalibrointi.

Kalibroimalla mittalaitteet säännöllisesti huolehditaan mittausten tarkkuudesta. Luotettavuutta voidaan taata valvonnan ja jäljitettävyyden avulla. Jäljitettävyyden edellytyksenä on mittauslaitteiden kalibroinnin lisäksi mittausepävarmuuden tunteminen.

Mittauslaitteiden kalibrointi tulisi suorittaa mahdollisimman yksinkertaisesti ja taloudellisesti. Sen voi toteuttaa joko lähettämällä mittalaitteet kalibroitavaksi tai hankkimalla yritykseen omat mittalaitteiden kalibrointivälineet. Kalibrointivälineet ovat kalliita, ja nekin tulee kalibroida määrätyn aikavälein. Toisaalta tuotantoon saattaa tulla keskeytystä, kun mittalaitteet ovat kalibroitavana muualla.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kartoittaa erään eteläsuomalaisen konepajayrityksen käytössä olevat mittalaitteet ja selvittää, miten mittalaitteiden kalibroinnit voitaisiin toteuttaa.

2 Toimintaympäristö

Tämä insinööriyö tehtiin Hitsaus- ja Rakennustyö Aho Oy:lle, joka toimii ajoneuvo- ja koneenrakennusteollisuuden järjestelmätoimittajana ja osahankkijana. Yrityksessä työskentelee 45 henkilöä ja liikevaihto on 4 miljoonaa euroa. [1.]

Nykyisin asiakkaat vaativat yrityksiltä ISO 9001- laatustandardia. Standardin kohdassa 7.6 on vaatimuksia mittauksissa käytettäville mittauslaitteille. Vaatimukset koskevat mittalaitteiden kalibrointeja, todentamisia ja dokumentointeja. Konepajayrityksen mittalaitteet eivät kalibroinnin osalta täytä ISO 9001:n vaatimuksia. Mittauslaitteiden kalibroinneista on hyötyä yritykselle muutenkin, kuin pelkästään täyttämään standardin vaatimuksia. Kalibroinneilla todetaan mittauslaitteiden paikkansapitävyys. Oikeaoppisesti kalibroidut mittausvälineet vähentävät valmistuskustannuksia, kun mitoiltaan virheellisten kappaleiden määrä laskee [2, s. 6].

3 Taustaa

Konepajateollisuudessa toiminnan laatu tarkoittaa tuotteen ja palvelun ominaisuutta, joka määrää sen käyttökelpoisuuden tarkoitettuun käyttöön. Laatua on siis täyttää asiakkaan vaatimukset. Tuotteen laatu on perinteisesti ollut yrityksissä tärkein kehittämisen kohde. Pääasiassa tuotteen laadunvalvonta on keskittynyt yksittäisten mitta- ja geometriatoleranssien valvontaan ja seurantaan. Nykyisin kokonaistoiminnan laatu on noussut asiakkailla tärkeimmäksi toimittajan valintakriteeriksi. Toiminnan laadun seuranta perustuu dokumentointiin ja toimivaan laatujärjestelmään, kuten esimerkiksi ISO 9001 standardi. Laatujärjestelmien kannalta on merkityksellistä, että mittalaitteiden kalibrointi on järjestetty asianmukaisella tavalla. Itse asiassa laatujärjestelmän kulmakivenä pidetään kalibrointiketjun aukottomuutta ja luotettavuutta aina konepajoista alan huippulaboratorioihin ja mittavälineiden valmistajiin saakka. [12]

3.1 ISO 9001

ISO 9001 on kansainvälinen standardi, jossa määritellään laadunhallintajärjestelmäkoskevia vaatimuksia. Näitä vaatimuksia organisaatio voi hyödyntää, kun sen tarvitsee

osoittaa kyky toimittaa johdonmukaisia tuotteita, jotka täyttävät asiakasvaatimukset sekä tuotetta koskevien lakien ja viranomaisten vaatimukset. [3, s. 12.]

ISO 9001:ssä vaaditaan, että seurannassa ja mittauksissa käytettävät mittausvälineet tulee kalibroida tai todentaa tai sekä kalibroida että todentaa. Kalibrointi tulee tehdä määräajoin tai ennen käyttöä verraten mittaa mittanormaaleihin, jotka ovat jäljitettävissä kansainvälisiin tai kansallisiin mittanormaaleihin. Tällaisien mittanormaalien puuttuessa kalibroinnin tai todentamisen peruste tulee tallentaa. Mittauslaite tulee tarvittaessa virittää ja merkitä siten, että kalibroinnin tila voidaan määrittää. Laite tulee suojata vahingoittumiselta ja turmeltumiselta, sekä sellaiselta virittämiseltä, joka mitätöisi mittaus tuloksen. Mittalaitteet tulee suojata sekä käsittelyn, huollon ja varastoinnin aikana. Tehdyistä kalibroinneista tulee pitää tallenteita. Näistä voidaan arvioida, että täyttääkö mittauslaite sille määritellyt vaatimukset. [3, s. 32.]

3.2 Kalibrointi

Kun mittalaitteet ikääntyvät tai joutuvat fyysisen rasituksen tai lämpötilan kohteeksi, niiden suorituskyky laskee. Sen seurauksena mittaustuloksista tulee epäluotettavia. Kalibroinnin avulla voidaan havaita ja määrittellä mittauslaitteen epätarkkuutta vertaamalla mittauslaitetta hierarkiassa korkeammalla olevaan mittanormaaliin. Kalibroinnin tulee tapahtua siten, että sen kalibrointiketju on jäljitettävissä aina SI-yksikön realisointiin. Mittausepävarmuus kasvaa suuremmaksi vietäessä jäljitettävyyttä eteenpäin. [4, s. 28 - 31.] Jäljitettävyyteen kuuluu myös kalibrointitulosten ja mittausepävarmuuden dokumentointi [2, s. 41]. Kuvassa 1 on havainnollistava esimerkki kalibrointiketjusta.

Kalibrointi ei sisällä mittauslaitteen näyttämän viritystä oikeaan arvoon. Yleensä mittauslaite viritetään kalibroinnin yhteydessä, mutta kalibrointitarra mittauslaitteessa ei takaa mittalaitteen näyttämää oikeaksi. Kalibrointitodistukseen merkityistä merkinnöistä voi tarkastaa, onko laite kalibroinnin yhteydessä viritetty vai tarvitseeko mittaustuloksille mittauksen yhteydessä laskea korjaus. Jos laitetta kalibroinnin yhteydessä viritetään, on standardien mukaan annettava kalibrointituloksessa mittaustulokset ennen ja jälkeen virituksen, jotta laitteen kalibrointihistoria säilyy. [4, s. 47.]



Kuva 1. Katkeamaton kalibrintiketju suureen määritelmään asti [2, s. 41].

Kalibrointilaitteen suositellaan olevan kymmenen kertaa tarkempi kuin sillä kalibroitava mittalaite, mutta sen on oltava vähintään kolme kertaa tarkempi. Tikkumikrometriä ei voi kalibroida kaarimikrometrillä, koska niiden tarkkuudet ovat samat. Toisella saman tarkkuuden omaavalla mittalaitteella voidaan tarkastaa nolla-asema ja todeta, että mittalaitteet ovat kunnossa. [5.]

Mittauslaitteet kalibroidaan säännöllisesti tietyn ajan välein tai tarvittaessa. Usein käytetään säännöllisiä muistettavia kalibrintijaksoja, koska näin kalibroinnit ja niiden valvonta on helpointa toteuttaa. Tarvittaessa kalibroidaan sellaiset mittalaitteet, joita käytetään tiettyjen tuotteiden tekemisessä tai todella harvoin, silloin olisi tyhmää kalibroida mittauslaite säännöllisin väliajoin, koska voi käydä niin, ettei mittauslaitetta käytetä kertaakaan kalibrintijakson aikana. Mittauslaitteista olisi hyvä muodostaa 2 tai 3 ryhmää,

joissa mittauslaitteet on jaoteltu säännöllisesti kalibroitaviin mittauslaitteisiin, tarvittaessa kalibroitaviin mittauslaitteisiin ja mittauslaitteisiin, joita ei kalibroida. [2, s. 54.]

Yleensä mittauslaitteiden kalibroinnin voimassaolo ilmaistaan mittalaitteeseen kiinnitettävällä värikooditarralla. Tarrassa olevalla tietyllä värillä ilmaistaan seuraava kalibrointivuosi ja tarrassa olevalla numerolla ilmaistaan seuraava kalibrointikuukausi. Ennen käyttöä kalibroitavat mittausvälineet merkitään punaisella värikooditarralla, jossa kuukautta ilmaiseva numero on nolla. [2, s. 54.]

Mittauslaitteiden kalibrointi jaetaan kolmeen sisällöltään erilaiseen kokonaisuuteen, jotka ovat vastaanottotarkastus, määräaikainen kalibrointi ja päivittäinen kalibrointi. Mittausvälineet kalibroidaan täydellissimmin vastaanottotarkistuksessa. Määräaikaisissa kalibroinneissa keskitytään mittauslaitteen mittautuloksiin vaikuttaviin tekijöihin, kuten näyttämävirheisiin. Päivittäisissä kalibroinneissa tarkastetaan mittalaitteen nollaus ja mittauslaitteen kunto. [5, s. 10 - 11.]

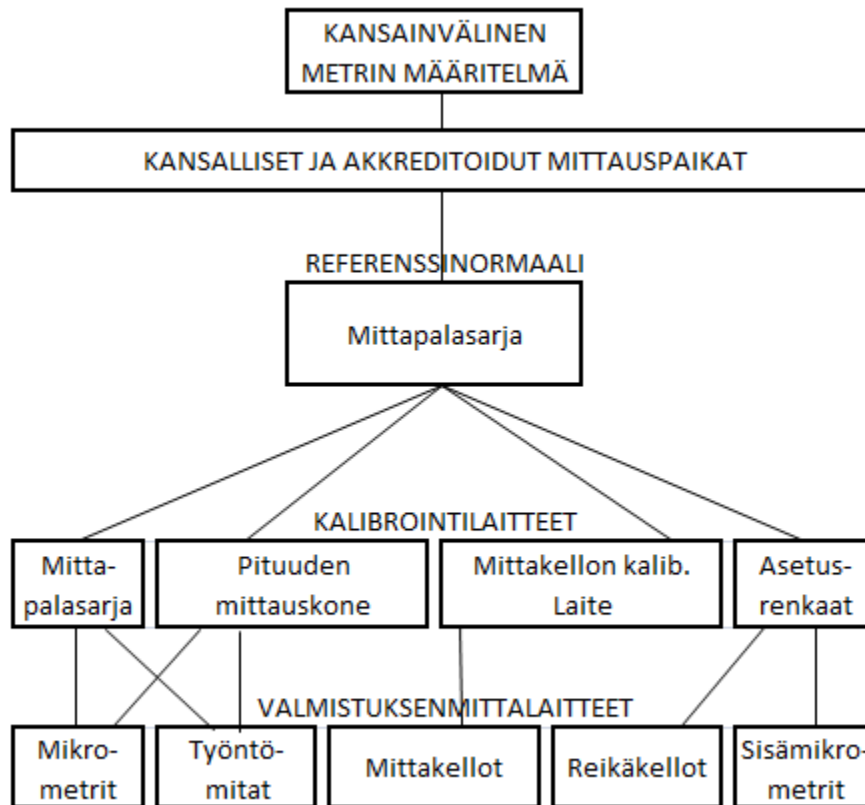
3.2.1 Mittanormaalit

Mittanormaaliksi kutsutaan tarkempaa mittavälinettä tai mittalaitetta, jolla kalibroidaan muita mittauslaitteita [6, s. 20]. Mittanormaalilla määritellään, realisoidaan tai säilytetään suureen mittayksikkö tai sen kerrannainen, joka voidaan siirtää mittalaitteisiin vertailumittauksilla [2, s. 7]. Mittanormaaleita on eritasoisia kuten kansainvälisiä, kansallisia, primääri-, sekundaari-, vertailu-/referenssi- ja käyttönormaaleja. Mittanormaalien nimitykset ja käyttötavat vaihtelevat paikoittain. [7. s. 7.]

Konepajan mittalaitteet jaetaan yleensä kolmeen ryhmään:

- referenssinormaaleihin
- kalibrointilaitteisiin/vertailunormaaleihin
- valmistuksen mittalaitteisiin.

Muiden mittauslaitteiden kalibrointiin käytettävät mittauslaitteet ovat kalibrointilaitteita. Valmistettavien kappaleiden mittauksessa käytetään valmistuksen mittauslaitteita, kuten kaarimikrometrejä. [2, s. 42.] Kuvassa 2 on esimerkki konepajan kalibrointiketjusta.



Kuva 2. Jäljitettävä kalibrointiketju [2, s. 42].

Referenssinormaalit välittävät tietyn suureen jäljitettävyyden yritykseen. Referenssinormaaleita ei saa käyttää muuhun kuin kalibrointilaitteiden kalibrointiin. Vertailemalla referenssinormaalien eri vuosien kalibrointituloksia ja tekemällä niistä päätelmiä voi mittalaitteen luotettavuus jopa kasvaa, mikäli vaurioita ei tapahdu. [2, s. 42.]

Referenssinormaalit tulee kalibroida säännöllisesti vähintään neljän vuoden välein ulkopuolisen kalibroijan toimesta akkreditoitussa tai kansainvälisessä mittaustilassa. Referenssinormaalien arvojen muuttumista pystytään seuramaan vertailemalla referenssinormaalien kalibrointituloksia edellisiin kalibrointituloksiin ja piirtämällä tuloksista stabiiliuskäyrä, joka havainnollistaa tuloksia. Saaduista tiedoista voidaan päätellä, olisiko tarpeellista pidentää tai lyhentää kalibrointijakson pituutta. [2, s. 42.]

Kalibrointilaitteilla välitetään jäljitettävyyden valmistuksen mittalaitteisiin. Joten kalibrointilaitteiden käytöstä, kalibroinneista ja huollosta tulee olla yrityksen laitteille sopivat erillishjeet. [2, s. 43.]

Kalibrintilaitteiden kalibrointi referenssinormaaleihin suositellaan tekemään itse, jotta opitaan tuntemaan laitteen ominaisuudet ja rajoitukset. Kalibrointi tulee suorittaa kalibrointiohjeen mukaisesti ja jäljitettävästi. Mikäli kalibroinnin toteuttaminen itse ei ole taloudellisesti järkevää tai ei ole mahdollista suorittaa omalla organisaatiolla, voi antaa ulkopuolisen kalibroijan kalibroitavaksi. Suositeltavaa olisi antaa laitteet kansallisen tai akkreditoidun mittauspaikan kalibroitavaksi, koska tällöin kalibrointi tulee varmasti suoritettua oikein ja jäljitettävyyden säilyy. Jos kuitenkin, mittalaitteet annetaan ns. epävirallisen kalibroijan kalibroitavaksi, on varmistuttava että kalibroija täyttää yleisesti hyväksytyt standardin tarkoituksen esimerkiksi jäljitettävyyden ja ammatillisen pätevyyden suhteen (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005). [2, s. 44.]

Kalibrintilaitteiden kalibroinnissa tulee tarkastaa laitteen kaikki tärkeät ominaisuudet, joihin kalibrointi ohjetta luotaessa kiinnitetään erityistä huomiota. Jos laitteesta ei mitata kalibroinnissa jotakin virhelähdettä, se pitää kuitenkin huomioida epävarmuuslaskelmissa. Mittausepävarmuuteen vaikuttavien mittaamatta jätettyjen virhelähteiden vaikutus kasvaa huomattavasti suuremmaksi kuin jos ne olisi mitattu. [2, s. 44.]

Konepajoissa esiintyviä kalibrintikoneita ja varusteita ovat

- mittaushuone
- mittapalasarja 0,5-100 mm
- pitkät mittapalat 125-500 mm
- mittaustaso (esim. kiveä) 800x600 mm
- kivisuorakulma
- viivain (teräs tai kivi) 1000 mm
- mikrometrin tarkastusmittapalasarja
- mittakellon tarkastuslaite
- induktiivinen tarkastuslaite + näyttö + jalka
- pituudenmittauskone
- vaaka
- yleismittari
- pinta ja ilmanlämpötilamittarit (kosteus)
- kalibrointiteipit
- kalibrointiohjeet [2, s. 44.]

Kalibrointilaitteiden kalibroinneista on aina kirjattava mittaustulokset muistiin ja arkistoitava. Kirjattavia asioita ovat

- kalibroitava kohde
- identifiointinumero
- päivämäärä
- mitta-alue tai ominaisuus
- menetelmät
- käytettävät kalibrointilaitteet
- olosuhteet
- tulokset yksityiskohtaisesti
- mittausepävarmuus
- mittaaja. [2, s. 44.]

Valmistuksen mittalaitteiden tärkeimmät ominaisuudet opitaan tuntemaan parhaiten itse kalibroimalle ne. Taloudellisuus tulee ottaa huomioon niiden kalibrointia suunniteltaessa. [2, s. 44.]

3.2.2 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuus kuvaa mittaussuureen arvojen luotettavuutta. Jos mittausepävarmuutta ei ole määritelty, niin mittaustulosta ei voida pitää jäljitettävänä eikä tulosta voida kunnolla verrata edellisiin tuloksiin tai referenssiarvoihin. Mittaustuloksiin tulisi merkitä mittaussuureen arvon lisäksi tähän liittyvä mittausepävarmuus. [8, s. 3 - 4.]

Mittausepävarmuuteen sisällytetään kaikki virheet, joita ei pystytä korjaamaan lopputuloksesta pois. Vaikka lopputuloksen korjaukset tehtäisiin, pitää silti korjauksien epävarmuudet ottaa huomioon lopullisessa epävarmuusarviossa. [8, s. 5.]

Mittausepävarmuuteen vaikuttaa useita eritekijöitä ja sekä mittausepävarmuuden laskeminen, arvioiminen tai ilmoittaminen on vaikeaa. Mittausepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat

- mittalaite
- mittauskohde
- mittaaja
- mittausolosuhteet ja
- suoritustapa. [2, s. 56.]

Mittausepävarmuus on mahdollista kohdistaa mittauslaitteyksikköön, tiettyyn mittauskohteeseen ja mittaajaan, tarkasti määriteltyihin mittausolosuhteisiin ja kirjalliseen menettelyohjeeseen. [2, s. 56.]

3.2.3 Mittausvirheet

Mittausepävarmuutta arvioitaessa on ymmärrettävä mittausmenetelmän ja mittauslaitteen toimintaperiaate ja on osattava hallita eri virhelähteiden sekä ympäristön vaikutuksia. Epävarmuuslaskentaa suoritettaessa on siis pystyttävä tunnistamaan mittaukseen vaikuttavat virhe- sekä epävarmuuskomponentit. Konepajoissa tavallisimmin esiintyviä virhelähteitä ovat

- lämpötilaerot
- voimat
- asento- ja suuntavirheet
- likaisuus
- magneettisuus ja
- geometriset virheet. [8, s. 13.]

Lämpötilaeroista aiheutuvat virheet

Ihanteellisinta mittauksien kannalta olisi, jos lämpötilat olisivat tasan 20 °C:ssa, tällöin mittauksissa ei tarvitsisi huolehtia lämpöpiteneiskertoimista. Käytännössä tilanne ei ole kuitenkaan tällainen, vaan mittauksien tulokset ilmoitetaan korjattuina vastaamaan normaalilämpötilaa. Tämä aiheuttaa mittauksien tuloksiin epävarmuutta.

Huomioon otettavia asioita lämpötilan aiheuttamissa virheissä ovat seuraavat

- Erot mittauskohteen, mittalaitteen ja ”nollausnormaalin” lämpöpitene-
miskertoimissa sekä tarkkuus, jolla lämpöpitene-
miskertoimet tunnetaan.
- Erot mittauskohteen, mittalaitteen ja ”nollausnormaalin” lämpötiloissa se-
kä tarkkuus, jolla nämä lämpötilat tunnetaan.
- Lämpötilaerot mittauskohteen ja mittalaitteen eri osissa. [2, s. 56; 8, s.
13.]

Lämpöpitene-
miskertoimista luotettavan tiedon saaminen saattaa olla vaikeaa, koska ne
voivat materiaaliseostuksista ja valmistusmenetelmistä riippuen vaihdella laajoissa ra-
joissa. Jos tiedetään lämpöpitene-
miskerroin α , kappaleen lämpötila t ja pituus normaali-
lämpötilassa $l_{20^{\circ}\text{C}}$ voidaan kappaleen pituus l_m laskea kaavalla:

$$l_m = l_{20^{\circ}\text{C}}(1 + \alpha(t - 20^{\circ}\text{C})). \quad (1)$$

[8, s.14.]

Kalibroitaessa lämpötilaerojen aiheuttajia ovat mm. mittaajan käsistä mittalaitteeseen
siirtyvä lämpö, auringonpaiste ja valaistus. Tuotaessa mittalaite mittaushuoneeseen
kalibroitavaksi, saattaa mittalaitteen lämpötila poiketa huomattavasti mittaushuoneen
lämpötilasta. Ennen kalibroinnin aloittamista olisi hyvä antaa mittalaitteen lämpötilan
tasaantua mittaushuoneen lämpötilaan. Lämpötilan tasaantumisaikat ovat tapauskohtai-
sia. Mittalaitteita ei kannata turhaan pitää käsissä lämmön johtumisen vuoksi. [8, s. 14.]

Kappaleiden ja mittalaitteiden sisäiset lämpötilat vaikuttavat oleellisesti mittaustuloksiin.
Esimerkiksi kaarimikrometrillä mitattaessa mikrometrin kaaren lämpeneminen saattaa
taipumisesta johtuen vaikuttaa oleellisesti enemmän kuin laskennallinen lämpöpitene-
minen. Lämpögradientti vaikuttaa voimakkaasti kohtisuoruus-, suoruus- ja tasomai-
suusmittauksissa. Eri lämpöpitene-
miskertoimen omaavista materiaaleista koostuva
rakenne on erityisen herkkä lämpötilan vaikutuksille. [2, s. 57; 8, s. 14.]

Voimien aiheuttamat virheet

Tyypillisimpiä voimien aiheuttamia virheitä ovat

- kappaleen omasta painosta aiheutuvat muodonmuutokset
- mittalaitteen mittausvoimasta aiheutuvat muodonmuutokset
- mittausvoiman vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset. [2, s. 58; 8, s. 15.]

Oman painonsa vaikutuksesta kaikilla kappaleilla on taipumus muuttaa muotoaan. Tämän takia kappaleet on syytä tukea oikein ja mitata ne siten, että muodonmuutokset olisivat olemattomia. Mitattaessa hentoja kappaleita on mahdollista, että mittalaitteen mittausvoima taivuttaa mittauskohdetta. On yleistä, että mittausvoima voi myös vaikuttaa itse mittauslaitteeseen. Esimerkiksi suuret kaarimikrometrit, mittakellon jalat ja mitauskärjet ovat herkkiä mittausvoimien vaikutuksille. [2, s. 58; 8, s.16.]

Asento- ja suuntavirheet

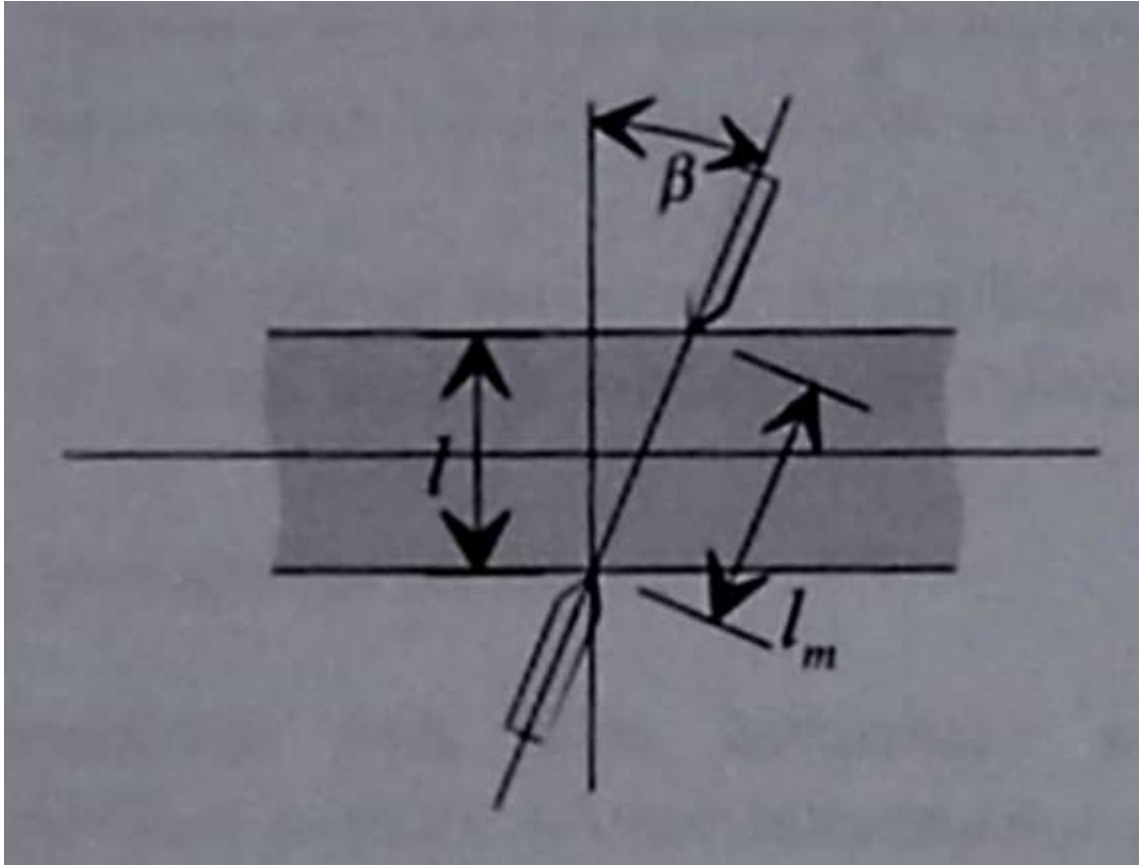
Mitattavalla kappaleella ja mittaajalla on suuri merkitys asento- ja suuntavirheiden synnylle. Huonoilla pinnoilla käännetään hakeminen on hankalaa, jolloin on mahdollista mitata kappale väärästä kohdasta tai väärässä asennossa. Tyypillisimpiä asento- ja suuntavirheitä ovat

- kosinivirhe
- mittaus väärällä halkaisijalla
- Abbé –virhe. [2, s. 59; 8, s.18.]

Kosinivirheeksi kutsutaan virhettä, jonka aiheuttaa mittaussuunnan ja mitattavan kohteen suunnan erisuuntaisuus. Virheen suuruus ε on kosiniriippuva, ja se voidaan laskea kaavasta

$$\varepsilon = l_m(1-\cos\beta) \quad (2).$$

Kaavassa esiintyvä l_m on mitattu pituus ja β virhekulma. [8, s. 18.] Esimerkiksi halkaisijamittauksessa kosinivirhe pidentää mittaustulosta. Kuvassa 3 on esitetty kosinivirhe.



Kuva 3. Kuvassa kosinivirhe halkaisijamittauksessa [8, s. 18].

Väärällä halkaisijalla mitattaessa saadaan todellisia mittaustuloksia pienempi halkaisijamitta. Tämän virhe aiheutuu, kun mittausakseli ei kulje ympyrän keskipisteen kautta. Esimerkiksi tämä ongelma esiintyy mitattaessa huolimattomasti sisäpuolisia reikiä sisäpuolisilla mittalaitteilla kahdesta pisteestä. Tällöin mittaustulos on todellista arvoa pienempi. Toisaalta taas mitattaessa reikiä kolmipistemikrometrillä ei synny väärällä halkaisijalla mitattavaa virhettä, koska kolmipistemikrometrin kolme leukaa keskitää mittalaitteen automaattisesti ja mittausakseli kulkee ympyrän keskipisteen kautta. [8, s.18.]

Jos kahden mittauspisteen välillä on kulmamuutoksia ja mittalaitteen paikkakoordinaatti ja mitattavan dimension akselit eivät ole samanakselliset, niin syntyy virhe, jota kutsutaan Abbé -virheeksi [8, s.18].

Likaisuuden ja magneettisuuden aiheuttamat virheet

Lika saattaa aiheuttaa vaihtelua mittausvoimiin esimerkiksi mittakelloissa ja mikrometreissä. Mittausvoimien vaihtelu saattaa muuttaa mittaustulosta. Likakerros aiheuttaa myös itsessään virheellisiä mittaustuloksia kerrospaksuutensa johdosta. Lika aiheuttaa mittausrakenteissa kulumista. Puhtaana pidettyjä mittausrakenteita on mukava käyttää ja puhtaat mittausrakenteet antavat luottamusta laadusta asiakkaalle. [8, s. 20.]

Magneettinen aine voi magnetisoida sen kanssa kosketuksessa olevan mittausrakenteen ja muuttaa mittausrakenteen ominaisuuksia. Tämän seurauksena voi syntyä muodonmuutoksia ja vaihteluita mittausvoimissa. Magneettisuudella on taipumus edesauttaa liikaantumista ja sitä kautta kulumista. [8, s. 20.]

3.3 Mittaus- ja kalibrointitilat

Ympäristöolosuhteet vaikuttavat merkittävästi mittaus- ja kalibrointituloksiin. Tilojen, joissa suoritetaan tarkkoja mittauksia ja kalibrointeja, täytyy täyttää tiettyjä olosuhdevaatimuksia. Olosuhteille asetettavat vaatimukset riippuvat mitattavasta kohteesta sekä vaatimuksista, miten mittaus toteutetaan, kuinka paljon mitataan ja mikä on mitattava kohde. Lämpötila, kosteus, värähtely, valaistus, puhtaus, melu sekä sähköiset ja magneettiset häiriöt ovat ympäristöolosuhteiden ominaisuuksia joita voidaan mitata. [2, s. 16.] Taulukossa 1 on esitetty mittaustilojen ympäristöoloille vaatimuksia.

Taulukko 1. Olosuhdevaatimuksia mittaus- ja kalibrointitiloissa [2, s.16].

Ominaisuus	Korkeatasoinen kalibrointi	Vaativat mittaukset ja 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/20Hz ... 3 µm /10Hz	Ei selvästi havaittavaa tärinää	Ei selvästi häiritsevää tärinää
Valaistus		800 ... 1000	800 ... 1000	500 ... 1500	
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

Lämpötila on vaikeimmin hallittava virhelähde. Dimensiomittauksien mittalaitteet on suunniteltu käytettäväksi 20 °C:n lämpötilassa, pois lukien kemianteollisuuteen ja sähkötekniikkaan liittyvien suureiden mittaukset, joissa peruslämpötilana on 23 °C. Jos mittaukset suoritetaan 20 °C:ssa, niin mittaustuloksille ei materiaalista riippumatta tarvitse tehdä lämpöpitenemiskorjausta. Kun lämpötilat poikkeavat 20 °C, täytyy tuntea mittalaitteen ja mitattavan kohteen materiaalien lämpöpitenemiskertoimet. Jos lämpötilan poikkeaminen 20 °C:sta on suuri, niin mittaus tarkkuus kärsii, koska lämpöpitenemiskertoimet ovat erilaisia, eikä niitä tunneta tarkasti ja lämpötilojen mittausepävarmuus kasvaa poikettaessa 20 °C:n lämpötilasta. [2, s.17.]

Halvat ilmastointilaitteet eivät ole sopivia mittaushuoneeseen, koska ne puhaltavat vuorotellen kuumaa ja kylmää. Tämä aiheuttaa huoneessa nopeita lämpötilanmuutoksia ja paikallisia lämpötila eroja, jotka vääristelevät mittaustuloksia. Jos jostain syystä tällaisia ilmastointilaitteita käytetään, on huolehdittava ilmanhajottamisesta tasaisesti huoneeseen ja huoneen on oltava riittävän suuri estämään nopeat lämpötilan muutokset. [2, s.17.]

Ilman suhteellinen kosteus ei saisi nousta yli 55 %, koska tällöin rautametalleilla on suuri riski ruostua. Ilman suhteellisen kosteuden suositellun alarajan tulisi olla vähintään 35 %. Ilmassa oleva kosteus auttaa stabiilin lämpötilan ylläpitämisessä ja pölyn kurissa pitämisessä. Kosteuden muuttuminen vaikuttaa myös joidenkin materiaalien mittojen muutokseen. Tällaisia materiaaleja ovat muovit, puu ja paperi. [2, s.19.]

Likaisuus aiheuttaa mittauslaitteille kitkaa, joka kasvattaa mittausvoimia ja aiheuttaa mittauslaitteiden kulumista. Optiset mittauslaitteet ovat erittäin tarkkoja puhtaudesta. Tämän takia mittaustilat tulee pitää puhtaina ja tavarat järjestyksessä. Puhtaus ja siisteys ovat myös työmukavuuden kannalta tärkeitä. Säännöllisellä ja huolellisella siivoamisella puhtauteen voidaan vaikuttaa parhaiten. Suurimpia lian lähteitä ovat ihminen, kuljetukset ja mitattavat työkappaleet. [2, s.19.]

Valaistuksen tulee olla sellainen, että mittaajan silmät eivät rasitu tarkassa työssä. Valaistuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon valolämpövaikutus, joka vaikuttaa mittojen lämpöpitenemismuutoksiin. Valolämpövaikutukseen voidaan vaikuttaa käyttämällä kylmävalolamppuja ja suunnittelemalla mittaushuone riittävän korkeaksi, jolloin lämpövaikutus mittaustasossa saadaan tasaiseksi ja riittävän pieneksi. [2, s.19.]

Värähtelyt vaikuttavat nollapistesiirtyminä tai yksittäisinä hyppyinä mittaustuloksiin. Herkimpiä laitteita värähtelyille ovat pinnankarheuden mittauslaitteet, interferometriaan perustuvat tasomaisuuden ja pituuden mittalaitteet sekä ympyrämäisyyden ja lieriömäisyyden mittauskoneet. Raskas hakkaava koneistus ja kappaleiden siirtoon tarkoitettut trukit ja nosturit ovat yleisimpiä värähtelyn lähteitä, mutta myös mittaushuoneen sisällä olevat laitteet voivat häiritä toisiaan. [2, s.19.]

Melu vaikuttaa keskittymiseen ja väsymiseen. Melu voi myös johtaa karkeisiin virheisiin, kun mittaukseen osallistuvat ihmiset kuulevat melun takia väärin. Mittaus huoneessa suurin melun aiheuttaja on ilmastointilaitte, joka tulee näin ollen sijoittaa mittaushuoneesta eristettyyn tilaan. [2, s.20.]

3.4 Ohjeistus

Kirjallisella ohjeistuksella on mittaus- ja kalibrointitoiminnan kannalta tärkeä rooli, koska kirjallinen ohje on kaikille mittaajille sama. Kirjallista mittaushjettä voidaan käyttää

- uusien mittaajien koulutusmateriaalina
- mittausepävarmuuden määrittämisen perustana
- mittaajan apuvälineenä, josta mittaaja voi tarkistaa unohtuneen tai epäselvän asian
- toiminnankuvauksena. [2, s. 32.]

Toimintaohjeet nopeuttavat mittauksien ja kalibrointien suorituksia, koska ohjeessa on kirjattu mitattavat ominaisuudet, se miten ominaisuudet mitataan ja millä välineillä ominaisuudet mitataan. Mittausepävarmuuden määrittäminen on helpompaa, jos kalibroinnit ja mittaukset suoritetaan kirjallisten ohjeiden mukaan. Tällöin virhelähteet pysyvät samoina. [2, s. 32 - 33.]

4 Nykytilanne

4.1 Kalibroittavien mittalaitteiden kartoitus

Lähtökohtana oli kartoittaa yrityksen käyttämät mittalaitteet. Muistiin kirjattavia asioita mittalaitteista olivat itse mittalaite ja sen mittausalue. Mittalaitteet, joissa ei ollut valmistajan merkitsemää sarjanumeroa, nimettiin kirjain- ja numeroyhdistelmällä. Nimeämisellä mittalaitteen yksilöidään [2, s. 72].

4.1.1 Tuotannossa käytettävät mittalaitteet

Yrityksen mittaus välineet koostuvat käsimittauslaitteista. Mittauksissa käytettäviä laitteita ovat

- kaarimikrometrit
- erikoiskaarimikrometrit
- mittakellot
- pikasisämittauslaitteet
- vipumittakellot
- kolmipistemikrometrit
- tikkumikrometri
- yleismittauslaite
- työntömitat
- erikoistyöntömitat
- tarkkuusvesivaaka
- rullamitat
- mittapalat
- kierretulkit
- mittausvälineiden asetuksissa käytettävät mittausvälineet.

Erikoiskaarimikrometrejä ovat mikrometrit lautaskärjillä, kierteen kylkihalkaisijan mittaukseen tarkoitetut mikrometrit ja mikrometri mittauskärjillä. Erikoistyöntömittoja ovat syvyystyöntömitta, työntömittaukopoulisilla kärjillä ja syvyystyöntömitta, jolla voidaan mitata esimerkiksi reiässä olevan uran paikka ja leveys. Asetuksissa käytettäviä mittausvälineitä ovat asetussauvat ja rengastulkit.

Tavoitteena on, että yrityksen sisällä suoritetaan kalibroinnit pikasisämittauslaitteille, yleismittalaitteelle, kaikille työntömitoille, rullamitoille ja kaikille mikrometreille pois luki- en kierteen kylkihalkaisijalle tarkoitetut mikrometrit ja tikkumikrometri. Kaikki muut mit- tavälineet kalibroidaan yrityksen ulkopuolella ulkopuolisen kalibroijan toimesta.

4.1.2 Mittalaitteiden nimeäminen ja rekisteröinti

Mittalaitteet, joissa ei ollut valmistajan sarjanumeroa, nimettiin siten, että numerosarjan alussa on yritystunnus ja osastotunnus sekä sen jälkeen mittalaiteryhmä DIM/VIM- taulukon mukaan ja mittalaitteen juokseva numero [2, s. 72]. Taulukossa 2 esitetään mittalaitteiden nimeämistyyli.

Taulukko 2. Mittalaitteen nimeämistyyli.

Yritystunnus	Sijoituspaikka	Mittalaiteryhmä	Juokseva numero
A	K	2	001

DIM/VIM-tilukko on lyhenne sanoista Dimensional Vocabulary International Metrology. Taulukko on 2001 julkaistu kansainvälinen mittalaitteiden mittalaiteryhmien jaotte- luun tarkoitettu numerointisysteemi. [2, s. 72.]

Mittalaitteet rekisteröitiin siten, että niistä tehtiin sähköinen mittavälinekortti. Mittavä- linekorttiin kirjataan mittalaitteen tärkeimmät ominaisuudet ja kalibrointiin liittyviä asioi- ta. Liitteessä 1 on kuva mittavälinekortista.

4.2 Kalibroinnissa käytettävä tila

Yrityksellä oleva tila, jossa kalibroinnit on tarkoitus suorittaa, täyttää normaaleille mitta- uksille ja vaatimattomille kalibroinneille tarkoitetun tilan vaatimustason. Huoneen koko on noin 15 m².

Ilmastointi huoneessa on toteutettu siten, että huoneen toisessa päässä on tavallinen ilmalämpöpumppu. Sillä huone lämmitetään talvella ja kesällä viilennetään. Huone on valaistu loisteputki lampuilla.

Tällä hetkellä huonetta käytetään toimistona, ja siellä säilytetään yrityksen mittavälineitä. Huoneessa olevissa hyllyissä säilytetään papereita ja työstökoneiden ohjekirjoja.

4.3 Kalibrointien ohjeistus

Jokaiselle itse kalibroitalle mittausvälineelle laaditaan kirjallinen kalibrointiohje. Kalibrointiohjeet helpottavat kalibroinnin suoritusta ja varmistavat, että mittalaite tulee kalibroitua oikein. Kalibrointiohjeita löytyy kalibrointiin liittyvistä kirjoista. Löytyviä ohjeita joudutaan muokkaamaan mittalaittekannalle sopiviksi. Valmiita kalibrointiohjeita voi myös ostaa esimerkiksi mittatekniikan keskukselta.

Esimerkkinä on kolmipistemikrometrin kalibrointiohje. Kolmipistemikrometrin kalibroinnit jaetaan kolmeen sisällöltään erilaiseen kokonaisuuteen:

Vastaanottotarkastus

- mikrometrin kunnon ja toiminnan tarkastus
- kitkaruuvien toiminnan tarkastus
- mittapintojen kuntoisuuden tarkastus
- näyttöpoikkeama
- nolla-aseman viritys

Määräaikainen kalibrointi

- kitkaruuvien toiminnan tarkastus
- mittapintojen kuntoisuuden tarkastus
- näyttöpoikkeama
- nolla-aseman viritys

Päivittäinen kalibrointi

- kunnontarkistus
- nollauksen tarkistus ja viritys

Vastaanottotarkastus eroaa määräaikaisesta kalibroinnista siten, että mittalaitteesta tarkastetaan kaikki mahdollisesti mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät. Yleensä vastaanottotarkastus suoritetaan vain uudelle mittaustulokseksiin vaikuttaville tekijöille. Määräaikainen tarkastus suoritetaan sovitusti, 4 - 12 kk välein. Jokainen kalibrointi dokumentoidaan, jolloin kalibroinnin suorittaja kiinnittää mittalaitteeseen kalibroinnin voimassaoloa ilmaisevan tarran, allekirjoittaa kalibrointitodistuksen sekä kirjoittaa kyseisen mittalaitteen mittavälinekorttiin seuraavan kalibrointiajan kohdan ja kirjoittaa tärkeimmät havainnot kalibroinnissa ilmenneistä asioista Kalibroinneista vastaava henkilö hyväksyy ja allekirjoittaa kalibrointitodistuksen. Todistus arkistoidaan sähköisessä muodossa.

Eri vaiheiden kalibrointiohjeet:

Kitkaruuvintoiminnan toteaminen

Kitkaruuvintoiminta todetaan käsin kokeilemalla, ettei ruuvi ole jumissa tai liian löysä. Kitkaruuvien voimaan sovelletaan ulkopuolisten kaarimikrometriä mittaustulokseksiin vaikuttavien tekijöiden voimaa 5 - 10 N. Kolmipistemikrometri ei ole tarkka mittaustulokseksiin vaikuttavien tekijöiden voimasta, joten toiminta voidaan todeta käsin kokeilemalla.

Mittapintojen kuntoisuus

Mittauspinnat tarkastetaan silmämääräisesti tai käyttämällä suurennuslasia apuna. Mittauspinnat voidaan myös tarkastaa mikroskoopilla. Mittauspinnoissa ei saa olla tasomaisia kulumia, jäysteitä, kolhuja tai lohkeamia. Jos mittauspinnoissa on havaittavissa mainittuja virheitä, tulee mittalaite tilanteen mukaan hylätä tai korjata.

Nollaus

Mikrometrin nollaus suoritetaan rengastulkilla. Mikrometrin nolla-aseman suurin sallittu poikkeama saadaan laskettua kaavasta $f = \pm(2 + 0,02 L) \mu\text{m}$. L on rengastulkin halkaisija millimetreinä.

Lukitussalpa

Jos mikrometrissä on lukitussalpa, niin mikrometrin lukema ei saa muuttua yli 0,002 mm:ä salvasta käännettäessä.

Näyttöpoikkeaman mittaus

Mittauslaitteen kalibroinnissa vertailuvälineinä käytetään rengastulkkveja. Tietyn kolmipistemikrometrin kalibroinnissa käytettävät rengastulkit selviävät kalibroitipöytäkirjasta. Kalibrointi suoritetaan kolmella tai useammalla kalibroidulla rengastulkilla, joista pienin ja suurin vastaavat mittausalueen suurinta ja pienintä arvoa ja muut ovat siltä väliltä. Kolme rengasta on ehdoton minimi. Taulukosta 3 löytyvät mikrometrin suurimmat sallitut kokonaisvirheet mielivaltaisessa asemassa.

Taulukko 3. Taulukko 1. Mikrometrin suurimmat sallitut kokonaisvirheet.

Mittausalue (mm)	0 - 50	50 - 100	100 - 150	150 - 200
Virhe (μm)	4	5	6	7
Mittausalue (mm)	200 - 250	250 - 300	300 - 350	350 - 400
Virhe (μm)	8	9	10	11
Mittausalue (mm)	400 - 450	450 - 500		
Virhe (μm)	12	13		

Jos kalibrointi on suoritettu useammalla kuin kolmella tulkkirenkaalla, piirretään tuloksista kuvaaja, joka havainnollistaa mikrometrin mittausalueella esiintyviä poikkeamia.

Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuuden määrittämiseen käytetään pituusmittauksen mittausepävarmuuden laskentaohjejulkaisua. Mittausepävarmuus määritellään tapauskohtaisesti.

Tämä ohje on sovellettu vanhoista Metrologian julkaisuista löytyneistä ohjeista.

5 Kalibroinnin toteutus

5.1 Esimerkki mittakelloista ja niiden kalibroinnista.

Mittakelloja on sekä analogisia että digitaalisia. Mittakelloilla mitataan esimerkiksi pyörivien kappaleiden epäkeskeisyyksiä sekä olakkeiden korkeuksia ja kappaleiden mittojen vaihtelua esimerkiksi sorvauksessa [9, s. 43]. Mittakelloja käytetään useissa eri käyttösovelluksissa, esimerkiksi paksuudenmittauslaitteissa, sisämittauslaitteissa ja pikamittauskelloina ulko- ja sisämittauksiin. Kuvassa 4 on muutamia esimerkkejä mittakellojen eri käyttösovelluksista.



Kuva 4. Ensimmäisenä kuvassa on aseteltava hakatulkki, toisena paksuusmittakello putkenseinämänmittaukseen, kolmantena mittakello mittaussillalla syvyysmittauksiin ja viimeisenä vipumittakello [10].

Yrityksellä käytössä olevat mittakellot ja niiden eri sovellukset ovat:

- vipumittakelloja
- analogisia mittakelloja
- digitaalinen mittakello syvyyssillalla
- pikasisämittauslaitteita.

Mittakellon suositeltava kalibrintiväli on 4 - 12 kk, riippuen sen käyttö olosuhteista ja stabiiliudesta [2, s. 55]. Jos mittakelloa käytetään likaisissa ja pölyisissä olosuhteissa, kuluvat mittakellon liikkuvat osat tai ne jumittuvat ja näin mittaustulokset muuttuvat virheellisiksi. Kalibrintiväli on arvioitava näiden tekijöiden pohjalta. Mittauslaite on aina toimitettava uudelleenkalibrointiin, jos huomataan että mittaustulokset ovat virheellisiä tai mittausväline on kolhiintunut. Pikasisämittauslaitteet kalibroidaan sisämittausslaitteiden tavoin.

Mittakellon kalibrintikohteita ovat:

- näyttövirhe
- toistokyky
- käännemitta
- mittauskaranvällys
- mittausvoima. [11. s. 37.]

Mittakellosta on teoriassa mahdollista kalibroida näyttövirhe, toistokyky, käännemitta ja mittauskaranvällys mittapaloilla siten, että mittakello on kiinni mittakellonjalassa mittaustasolla. Kuvassa 5 on esimerkki mittakellon kiinnityksestä kalibroinnissa. Mittakello nolataan mittaustasoon, minkä jälkeen työnnetään erikokoisia mittapaloja vuorotellen mittakellon mittauskärjen ja mittaustason väliin. Käytännössä näin tehtävä kalibrointi on vaikeaa, koska mittauksissa on paljon epävarmuustekijöitä, joita on vaikea arvioida, ja mittauksessa on käytettävä paljon erikokoisia mittapaloja. Virhe tekijöitä ovat ohuiden mittapalojen kaarevuus ja kosini- eli asentovirheet. [5.]



Kuva 5. Esimerkki mittakellon kalibroinnista mittaustasoa vasten [10].

Suosittelavaa olisi kalibroida mittakello mittakellonkalibrointilaitteella, koska kalibrointilaitteessa on valmiiksi huomioitu mahdolliset virhetekijät. Kalibrointilaitteella saadaan

mitattua mittakellon lukemat useista eri asemista ja näin kalibroitivälineiden määrä vähenee. [5.] Mittakellonkalibrointilaitteita on käsikäyttöisiä sekä moottorikäyttöisiä. Kuvassa 6 on mittakellon kalibrointiin käytettävä kalibrointilaite.

Sarja 170



Kuva 6. Mittakellon kalibrointilaite [10].

Mittakellossa on jousi, joka liikuttaa karaa. Mittausvoiman mittaaminen on jousen oikean toiminnan tarkastamista. Mittakellon mittausvoima voidaan todeta esim. kirjevaalla. Mittakello asetetaan kirjevaakaan vasten ja painetaan haluttuun näyttämään. Kirjevaan mitta-arvo vastaa mittausvoimaa. Mittausvoiman tulee olla mittalaitteen valmistajan ilmoittamissa mittausvoima-arvoissa.

Mittauskaran välyksen kalibrointi onnistuu painamalla mittakellon jalassa oleva mittakellon mittauspää mittaustasoa vasten. Mittaus suoritetaan mittakellon lukemien ääriarvoissa. Mittauskaraa liikutellaan sivusuunnassa kiinnitysvarren reunoja vasten. Mittaus suoritetaan useista eri suunnista. Varren välykset ilmenevät näyttämien muutoksena. Välykset ovat huomiotava mittausepävarmuuden määrittämisessä. [11, s. 37 - 38.]

5.2 Kustannusten arviointia

5.2.1 Yritykselle hankittavat kalibrointilaitteet

Kalibrointilaitteita myyvät mittavälineitä toimittavat yritykset. Kalibrointilaitteita on saatavana erilaisia, kuten mittapaloja ja pituudenmittauskoneita. Kalibrointilaitteita saa eri tarkkuuksilla.

Kalibrointilaitteista tehtiin tarjouspyyntö kolmelle eri mittavälinetoimittajalle. Taulukossa 4 on laskettuna, mitä kalibroittavat mittavälineet tulevat mahdollisesti maksamaan. Hinnot ovat suuntaa antavia.

Taulukko 4. Kalibroinnissa tarvittavien mittausvälineiden kustannukset.

Mittalaite toimittaja	Kustannus kalibrointilaitteille euroina
1	9 127,30
2	8 213,00
3	8 851,75

Hintoja ei voida suoraan verrata keskenään, koska kaikki mittausvälineet eivät olleet tarjouksissa samoja. Kysytyjä kalibrointilaitteita olivat kivinen mittaustaso, mittapalasarja, mikrometrin kalibrointi -mittapalasarja, pitkät mittapalat -sarja, rengastulkit ja mikrometrin mittaussuoran mittaustaso.

Myös kalibroinnissa käytettävistä kalibrointilaitteiden kalibroinneista ja käytettävän tilan muokkauksesta mitta- ja kalibrointitoimintaan syntyy kustannuksia. Kalibrointilaitteet on kalibroitava säännöllisesti jäljitettävyyden ylläpitämiseksi. Käytettävän tilan muokkauksia voivat olla esimerkiksi huoneen ilmastointi ja valaistus.

5.2.2 Kalibroinnin teettäminen

Mittalaitteiden kalibrointipalveluita tarjoavat monet eri yritykset ja mittalaitteiden maa-hantuoja. Mittauspaikkoja on sekä akkreditoituja että akkreditoimattomia. Akkredi-toidulla mittauspaikalla tarkoitetaan, että toimivaltainen elin on todennut kalibrointi- ja testauslaboratorion päteväksi suorittamaan mittaus- ja kalibrointitoimintaa. Pätevyys on todettu suorittamalla sarja tarkastuksia, joilla on saatu selville, onko toiminta ohjeineen pätevää ja täyttääkö se siitä esitetyt dokumentit. [2, s. 10.] Taulukossa 5 on kahden eri mittauspalveluja tarjoavan yrityksen kalibrointihinnat muutamalle mittalaitteelle.

Taulukko 5. Kalibrointi hintoja muutamalle mittauslaitteelle.

	Akkreditoitu mittaus labora- torio	Akkreditoimaton mittauslabora- torio
Kaarimikrometri 75-00 mm	149 €	50 €
Kolmipistemikrometri 75-100 mm	151 €	69 €
Työntömitta 0-150 mm	132 €	34 €

Hinnat sisältävät mittalaitteen kalibroinnin, tulosten arvioinnin ja kalibroitodistuksen. Hintoihin lisättäviä kuluja ovat lähetyskulut, käsittelykulut, mahdolliset aloitusmaksut ja mittausseläitteen viritykseen ja huoltoon liittyvät kulut. Lisäksi kustannuksia voi syntyä, kun mittalaite on pois tuotantokäytöstä kalibroinnin aikana. Kun mittalaite on pois tuotantokäytöstä, on se korvattava tarvittaessa jollakin muulla mittalaitteella.

5.3 Mittanormaalit

Yrityksen kalibroinnissa käytössä olevat mittanormaalit kannattaa antaa akkreditoidun mittausselätorion kalibroitavaksi, koska näin yrityksen ei tarvitse hankkia vertailulaitteita kalibrointilaitteiden kalibrointiin, eikä sillä tarvitse olla erikseen referenssinormaalit. Kalibroinnin teettäminen akkreditoidussa mittausselätoriossa takaa jäljitettävyyden.

Kalibroinnissa käytettävät mittanormaalit säilytetään mittausselähuoneessa niille varatussa kaapissa. Jokaiselle kalibroitilaitteelle määritellään kalibroitijakson pituus laitekohtaisesti. Kalibroitijakson pituus on enintään neljä vuotta ja lyhimmillään neljä kuukautta [2, s. 54]. Jokaiselle kalibroitilaitteelle luodaan sähköinen mittavälinekortti.

5.4 Kalibroitijakson pituus

Kalibroitijakson pituuden määrittäksessä käytetään apuna kirjallisuudesta löytyviä suosituksia ja määrittäsohjeita. Kalibroitijaksoa pidentäviä tekijöitä ovat:

- Mittausseläitteella on useita peräkkäisiä kalibroitituloksia, joiden aikana mittausseläitteessä ei ole havaittu muutoksia.
- Mittausseläitteen mittausseläpävarmuus on selvästi parempi kuin tarvittava tarkkuus.
- Mittausseläitteen voidaan olettaa olevan erityisen stabiili. [2, s. 54.]

Kalibrointijaksoa lyhentäviä tekijöitä ovat:

- Mittalaitteella on useita peräkkäisiä kalibrointituloksia, joissa mittalaitteella on havaittu satunnaisesti suuria vaihteluita.
- Mittauslaitteen mittausepävarmuus on kriittinen tuotteen valmistuskustannuksien kannalta.
- Mittauslaitteella tehtävät mittaukset ovat kriittisiä tuoteturvallisuuden kannalta.
- Mittauslaitetta käytetään olosuhteissa, jotka ovat omiaan vaarantamaan laitteen tarkkuuden. Esimerkiksi kuljetukset ovat vaikeita olosuhteita, samoin kylmät ja kuumat mittausolosuhteet sekä magneettiset ja sähköiset häiriöt.
- Mittauslaitteiden käyttö on erittäin runsasta tai harvoin toistuvaa. [2, s. 54.]

Kalibrointijakson pituutena voidaan pitää keskimäärin 1 vuotta. Tyypillisiä kalibrointijaksonpituuksia:

- toleranssitulkit 4 - 24 kk
- rengastulkit 24 kk
- mittakellot ja anturit 4 - 12 kk
- mittauskoneet 12 - 24 kk
- työntömitat 6 - 48 kk
- rullamitat 48 kk
- kivitasot 24 - 48 kk
- kivisuorakulmat 24 - 48 kk
- vaaituskoneet 4- 24 kk
- optiset laitteet 12 kk
- koordinaattimittauskoneet 12 kk. [2, s. 55.]

Kalibrointijakson pituudet määritellään mittalaittekohtaisesti. Jos mittalaite kolhiintuu jostakin syystä tai päivittäisessä kalibroinnissa huomataan mittalaitteessa jokin vika, niin mittalaite toimitetaan uudelleen kalibrointiin kalibrointiajanjakson kohdasta riippumatta.

6 Päätelmät

Tavoitteena oli tutkia miten, yrityksen käytössä olevat mittauslaitteet voitaisiin kalibroida niin, että ISO 9001-standardin vaatimukset mittauslaitteiden varmentamiselle täyttyisivät. Käytössä olevat mittauslaitteet rekisteröitiin ja laadittiin ohjeita kalibrointia varten.

Kalibroinnin suoritustavan valinta jää yrityksen päätettäväksi, eli miten kalibroinnit tullaan suorittamaan, tehdäänkö itse vai teetetäänkö ulkopuolisen kalibroijan toimesta.

Mittausvälineiden toimittajien mittaväline-esitteistä kävi ilmi, että uudet pienet käsimitalaitteet, kuten pienet kaarimikrometrit kalibroituina eivät ole kovinkaan kalliita. Niiden vuosittainen kalibrointi tulee kalliimmaksi kuin niiden hankintahinta. Tästä voisi päätellä että joka vuosi kannattaisi hankkia uusi kalibroitu mittalaite vanhan mittalaitteen tilalle ja näin pitää kalibrointia yllä. Näin ei kuitenkaan voida toimia, koska kalibroimalla mittalaite voidaan todeta mittalaitteella ennen kalibrointia tehdyt mittaukset oikeellisiksi tai virheellisiksi ja tehdä tarvittavat toimenpiteet.

Kalibrointitoiminta asettaa paljon vaatimuksia. Vaatimuksia on itse kalibroitavalle mittalaitteelle, kalibroinnissa käytettäville mittalaitteille, kalibroinnin suorituksessa käytettävälle mittaustilalle ja kalibroinnin suorittajalle. Kalibroinnin suorittajalta vaaditaan ammattitaitoa ja huolellisuutta, samalla kykyä tehdä mittaus epävarmuuden määrittäminen. Kalibrointitoiminnan toteuttaminen ei ole kovin yksinkertaista siihen liittyvien vaatimusten takia.

Mittalaitteiden kalibrointi on kallista ja mittalaite on pois käytöstä kalibroinnin aikana parista päivästä muutamaan viikkoon riippuen, siitä missä kalibrointi suoritetaan. Toisaalta kalibroinnista koituu säästöä, koska mittalaitteista aiheutuvien mittavirheiden määrä laskee.

Lähteet

- 1 Hitsaus- ja Rakennustyö Aho Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.aholaser.com/>> Luettu 25.4.2014.
- 2 Esala, V., Lehto, H. & Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Tekninen tiedotus 3/2003. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.
- 3 SFS-EN ISO 9001. Laadunhallintajärjestelmät. 2008. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 4 Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. & Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Julkaisu J4/2011. Espoo: Metrologian neuvottelukunta ja mittatekniikan keskus, Mikes.
- 5 Esala, V -P. 2013. Erikoistutkija, Mittatekniikan keskus, Espoo. Sähköposti-haastattelu 21.8.2013.
- 6 Mittanormaali- ja vertailulaboratoriotoiminnan kokoamista selvittänyt työryhmä. 2010. Verkkodokumentti. Mittanormaali- ja vertailulaboratoriotoiminnan kokoamista selvittäneen työryhmän muistio. <http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/01_julkaisut/04_hallinnon_kehittaminen/20100129Mittan/Mittanormaali-_ja_vertailulaboratoriotoiminnan_kokoamista_selvittaeneen_tyoryhmaen_muistio.pdf> 2010. Luettu 6.1.2014.
- 7 Vitikainen, E. 1993. Mittauslaitteiden kalibrointi –Ohjeita järjestelmän rakentamiseen. Tekninen tiedotus 12/93. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto.
- 8 Metrologia neuvottelukunnan pituustyöryhmän asiantuntijatyöryhmä. 1997. Pituusmittauksen mittausepävarmuuden laskentaohje. Julkaisu J12/1997.
- 9 Autio, A. & Räsänen, O. 1986. Mittaustekniikka 1. Kone- ja metallitekniikka. Porvoo: WSOY.
- 10 Teräskonttorin tuoteluettelo FI-14001 osa 4. Verkkodokumentti. <www.teraskonttori.fi/fi/tuotevalikoima/tyokalut/mittausvalineet>. Luettu 4.1.2014.
- 11 Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitto. 1976. Mittauslaitteiden kalibrointi ja käsittely. Tekninen tiedotus 1/76. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- 12 Aaltonen, K. Konepajatoiminnan laatu. Konepajamittaukset. Verkkodokumentti. <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kon-15.3122/materiaali/konepajatoiminnan_laatu.pdf>. Luettu 15.4.2014.

