

Matti Niemelä

**Koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuuden
määrittäminen**

Opinnäytetyö
Syksy 2011
Tekniikan yksikkö
Kone- ja tuotantotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan Yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Matti Niemelä

Työn nimi: Koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuuden määrittäminen

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja, Juho Yli- Suomi

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä:

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorio. Konelaboratorio on tarkoitettu pääasiassa opiskelija käyttöön, mutta siellä voidaan myös tarjota yrityksille erilaisia palveluita. Työn tarkoituksena oli selvittää, miten mittausepävarmuus määritetään koordinaattimittauskoneelle. Tämän jälkeen määritettiin mittausepävarmuus SeAMK konelaboratorion mittauskoneelle.

Mittausepävarmuus on määritetty standardin ISO 14523 – 2 mukaan ja asetuksen EA 4/02 suositusten mukaan. Mittausepävarmuuden määrittäminen on tärkeää mitattaessa tarkaksi toleroituja mittoja, jotta voidaan olla varmoja tulosten oikeellisuudesta. Tärkeimpinä tietoina mittausepävarmuuden selvittämiseksi ovat laskentakaavat ja ohjeet erilaisten koneen suorituskykytestien tekemiseksi. Tärkeätä oli myös tietää koneen kalibrointiin ja virheiden eliminointiin vaadittavia asioita, jotta tulosten oikeellisuudesta voitiin olla varmoja. Määrittämiseen käytettiin koululta löytyviä mittapaloja, koneelle tehtyjen kalibrointien tuloksia ja muita valmiina koululla olevia välineitä. Tähän voidaan käyttää myös porrasmittapalaa tai reikälevyä, mutta se ei ollut tässä tapauksessa tarpeellista. Kun myös mittausepävarmuuden määrittämiseen liittyvät toistettavuustestit oli suoritettu, laskettiin laajennettu epävarmuus.

Mittausepävarmuuden määrittämisen jälkeen työssä perehdyttiin tilojen akkreditoinnin teknisen puolen kehittämiseen mitattujen tulosten pohjalta. Tällaisia mitattavia mittauksen ulkopuolisia tekijöitä ovat lämpötilan vaikutukset, värinä ja suhteellinen ilmankosteus. Tämän jälkeen tutkittiin mittahuoneen sopivuutta erittäin tarkkoihin mittauksiin. Tuloksia analysoitiin ja pohdittiin kehittämiseen vaadittavia toimenpiteitä mittaustilojen teknistä akkreditointia varten. Tärkeää on huomioida se, että tilojen akkreditointi vaatii myös johdon sitoutumisen, mutta tähän asiaan työssä ei paneuduttu.

Avainsanat: Mittausepävarmuus, koordinaattimittaus, akkreditointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Matti Niemelä

Title of thesis: The uncertainty of the coordinate measuring machine

Supervisors: Kimmo Kitinoja, Juho Yli- Suomu

Year: 2011

Number of pages:58

Number of appendices:

The client for this thesis was the machine laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. The machine laboratory is generally meant for a student use but there is also possibility to offer different kinds of services for companies. The purpose for this thesis was to examine how measuring the uncertainty is determined by a coordinate measuring machine. After this we determined the uncertainty of the measurement for the coordinate measuring machine in the Seinäjoki UAS machine laboratory.

The uncertainty of the measurement is determined by the ISO standard 14523 – 2 and with setting EA 4/02 recommendations. The uncertainty of the measurement is important when measuring the accurate measures that we can be sure of those measures being right. The most important information for determining the measuring uncertainty is the formula for calculation and the guidelines of the machine performance tests. Also it is important to know about the calibration of the machines and eliminating the mistakes of measuring that we were sure about the validity of the measures. For determining we used the gauge blocks, results from the earlier calibrations and other equipment that we were able to find at school. For determining you can also use the step gauge or perforated plate but in this work it was not necessary. After we had finished the repeatability tests with the machine we were able to calculate the extended uncertainty.

After determining the uncertainty we got familiarized with the accreditation of the measuring range from the technical point of view. This was done by measuring the results of the range. These measured objects were the temperature effects, vibration and relative humidity. After this we researched the suitability of the measuring areas for accurate measuring. The results were analyzed and the development of actions needed for the technical accreditation of the measuring range considered. It is important to notice is that the accreditation requires also the commitment of the management but this work does not focus on that thing.

Keywords: measuring uncertainty, coordinate measuring, accreditation

SISÄLTÖ

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ	2
THESIS ABSTRACT	3
SISÄLTÖ	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tausta	6
1.2 Työn tavoite ja rajaus	6
1.3 Työn rakenne	6
1.4 SeAmk Konetekniikan – laboratorio	7
2 KOORDINAATTIMITTAUS.....	8
2.1 Koordinaattimittauskone.....	8
2.1.1 Koneen koordinaatisto	11
2.1.2 Laskentatavat.....	12
2.1.3 Anturit.....	14
2.1.4 Kalibrointi	16
2.2 Mittapalat	20
2.3 Erilaiset mittauksessa esiintyvät virheet.....	22
2.4 Mittausten jäljitettävyys	24
2.5 Mittaaja ja inhimillinen virhe	26
3 MITTAUSEPÄVARMUUS	28
3.1 A ja B tyyppin epävarmuudet	28
3.2 Yhdistetty- ja laajennettu epävarmuus	29
3.3 Mittaukseen vaikuttavat tekijät	29
4 MITTAUSEPÄVARMUUDEN TEORIA	32
4.1 Testit	32
4.2 Vertailumittaukset.....	34
4.3 Lähdetiedot	35
4.4 Laskenta	36
5 MITTAUSEPÄVARMUUDEN MÄÄRITTÄMINEN	38

5.1 Lähtökohdat	38
5.2 Mittausepävarmuus.....	38
5.3 Lähtöarvot	39
5.4 Tulokset	41
6 TILOJEN AKKREDITOINTI	47
6.1 Konelaboratorion mittausolosuhteet.....	48
6.1.1 Lämpötila	48
6.1.2 Ilman suhteellinen kosteus.....	49
6.1.3 Värähtely.....	50
6.1.4 Valaistus	52
6.1.5 Puhtaus.....	52
6.1.6 Ilman virtausnopeus.....	53
6.1.7 Melu	53
6.2 Tilojen kehittäminen	54
6.3 Testeissä käytetyt mittarit.....	56
7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	57
LIITTEET	61
LÄHTEET	60

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Mittausepävarmuus tarkoittaa mitattuun mittaan lisättävää, ulkoisista ja inhimillisistä syistä johtuvaa mittausvirhettä. Mittausepävarmuus esiintyy jokaisessa mittalaitteessa, mutta kaikissa sitä ei kuitenkaan tarvitse ottaa huomioon. Kuitenkin erilaisissa konepajatyöissä vaaditaan yhä tarkempia toleransseja, jolloin myös mittauksen pitää olla mahdollisimman tarkkaa ja mittausepävarmuuksien oltava mahdollisimman pieniä ja tiedossa. Nykyisin koordinaattimittauslaitteita valmistaa noin parikymmentä yritystä ja kaikille niille on määriteltävissä eri arvot epävarmuudelle tiloista, laitteista ja mittaajista johtuen.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena oli määrittää konelaboratorion koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuus ja selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat mittausepävarmuuden suuruuteen. Toisena tehtävänä oli selvittää mittaustilojen akkreditointiin vaadittavat, teknisiin yksityiskohtiin liittyvät toimenpiteet ja kehittäminen tarkempaa mittaamista varten.

1.3 Työn rakenne

Työn aluksi kerrotaan teoreettista puolta koordinaattimittauksesta ja testeissä käytetyistä välineistä ja menetelmistä. Koordinaattimittauskoneesta kerrotaan sen tärkeimmät elementit ja toimintatavat. Mittausepävarmuudesta käydään läpi sen aiheuttavat virhelähteet ja näiden laskenta kokonaisepävarmuudessa. Tämän jälkeen mittausepävarmuus määritetään ja käydään läpi saatuja tuloksia. Sitten paneudutaan akkreditoinnin tekniseen

puoleen ja sen vaatimuksiin mittaustiloissa ja analysoidaan mittaustulokset näitä vaatimuksia vasten.

1.4 Seamkin Konetekniikan laboratorio

Seinäjoen ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratorio on tarkoitettu lähinnä opiskelijakäyttöön, jotta opiskelijat voisivat opiskella siellä koneiden käyttöä ja tehdä koulutukseensa liittyviä projekteja. Siellä voidaan myös tehdä prototyyppejä yrityksille ja kehittää valmistusmenetelmiä. Oppilaat saattavat kuitenkin toisinaan valmistaa osia tilauksesta tai omaan käyttöön. Yleisimmin oppilaat tuovat sinne auton tai moottoripyörän osia korjattavaksi tai malliksi.



Kuvio1. Kuva koulun mittahuoneesta ja mittakoneesta.

2 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimittaus tarkoittaa yleisimmin 3D-avaruudessa tai 2D-tasossa tapahtuvaa mittausta. Tällöin voidaan lähes mielivaltainen piste digitoida koneen liikerajojen rajoittamassa avaruudessa. Koordinaattimittauskoneessa on geometrisesti tarkka mekaaninen akselisto, jonka avulla koneen luistit voivat liikkua mahdollisimman suoraviivaisesti ja kohtisuorasti toisiansa nähden. Lisäksi on tärkeää, että tiedetään tarkasti näiden luistien asemat koordinaattiakselistolla. Koordinaattimittauksen ehkä tärkein sovellusalue on geometrinen toleranssien tarkastus, sillä koordinaattimittauskone on näissä mittauksissa nopeampi kuin perinteiset mittaustavat. On kuitenkin painotettava, että kone ei itse tuota geometria tietoa, vaan se tuottaa ainoastaan koordinaatti-informaatiota, eli pisteitä avaruudessa, jotka tietokone digitoi ja tämän jälkeen yhdistää erilaisiksi elementeiksi. Tietokoneen mittausohjelmistolla pystytään myös vertailemaan poikkeamia tavoitemitoista tai muodoista. (Anderson & Tikka 1997, 226 - 228).

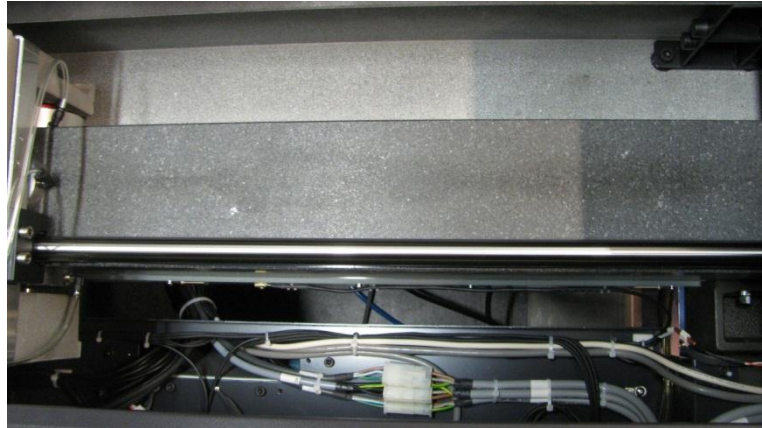
2.1 Koordinaattimittauskone

Koulun koordinaattimittauskone on Mitutoyon valmistama Crysta-ApexC 9106, joka hankittiin koulun laboratorioon vuonna 2008. KMK soveltuu parhaiten isojen kappaleiden mittaamiseen, joita ei voi tai on hankalaa mitata tavallisilla mikrometreillä tai mittavälineillä. KMK soveltuu parhaiten mittaamaan valamiseen tarkoitettuja muotteja, valettuja tuotteita, prototyyppisiä ja koneistettuja tai koneistamattomia kappaleita. Yleisimmin mitattuja kappaleita ovat erilaiset akselit, laserleikatut levyt ja niistä hitsatut kappaleet ja sekä erilaiset koneistetut moottorin osat. KMK pystyy mittaamaan kappaleita sekä 2D- että 3D-tasossa. 2D-tasossa pystytään esimerkiksi mittaamaan laserleikattuja levyjä, joista pystytään tutkimaan reikien kohtisuoruutta tasoon nähden. Koneella pystytään mittaamaan myös laserleikatun kappaleen pinnan tasomaisuutta, jolloin saadaan tietää, kuinka

paljon kappale on vääntynyt leikkauksen jäljiltä. 3D-tasoissa pystytään vertailemaan kappaleen kaikkien tasojen kohtisuoruutta tai samansuuntaisuutta toisiinsa nähden. Myös jokaiselta sivulta, paitsi sivulta joka on kiinni pöydässä tai kiinnittimessä, pystytään mittaamaan myös erilaisia koneistettuja kohtia, kuten porauksia tai uria. Kone pystyy myös mittaamaan kappaleita varsin laajalla lämpötilaskaalalla, sillä se pystyy kompensoimaan akselikohtaisesti lämpötilan aiheuttamia virheitä. Parhaat tulokset kuitenkin saavutetaan kun lämpötilan vaihtelu on mahdollisimman pientä ja se pysyy noin 20° celsius-asteessa.

Koneessa on CNC-ohjaus, mikä tarkoittaa, että ohjelma on opetettu tai etäohjelmoitu koneelle, ohjelmaa pystyy toistamaan sitä loputtomasti. Kun ohjelma on opetettu mittausohjelman nollapisteeseen, kappale ei saa vaihtaa paikkaa, sillä muuten kone ei löydä mitattavia kohtia ja ohjelmaa ei kannata ajaa loppuun. Tässä tapauksessa anturi saattaa törmätä kappaleeseen tai pöytään hallitsemattomasti.

Akselit ovat sidoksissa tarkkoihin mittajärjestelmiin koneen johteissa kiinni olevilla lasimitta-asteikoilla. Lasimittasauvat ovat sauvoja, joihin on merkitty erittäin tarkat mitta-asteikot, joiden mukaan kone liikkuu. Nämä on tehty lasista siitä syystä, että lasi ei laajene muiden materiaalien tapaan lämmitessä, vaan pysyy suhteellisen samanmittaisena. Lasimittasauvat on kiinnitetty koneeseen öljyseoksella, joka muodostaa koneen ja sauvan välille tiukan sidoksen adheesion avulla, jolloin koneen lämmöstä johtuvat laajenemiset ja muodonmuutokset eivät vaikuta niihin.



Kuvio 2. Kuva koneen johteista ja lasimittasauvasta.

Koneen akselit, jotka koskettavat pöytää, liikkuvat paineilmalla ilmalaakerin päällä. Mekaniikkaa taas liikuttaa paineilmakäyttöinen sylinteri. Tämä taas vaikuttaa koneen puhtaanapitoon, sillä johdepinnoille ei saa kertyä pölyä, muuten ilmalaakeri kerää liiaksi pölyä tai likaa ja saattaa vaikuttaa johteen liikkuvuuteen. Kone on myös riippuvainen paineilman laadukkuudesta ja sen riittävydestä. Jos paineilma ei ole tarpeeksi laadukasta, saattaa koneeseen kertyä öljyä ja vettä. Tilojen puhtaus ei ole mittaukseen vaikuttava tekijä, muuten kuin ilmalaakerien puhtauden kannalta. Tosin jos ilmankosteus laskee alle 35 %, alkaa lattialla ja muualla huoneessa oleva pöly liikkumaan huoneessa, jolloin mittauspöydän puhtaudesta on pidettävä tarkkaa huolta.



Kuvio 3. Kuvassa näkyy paineilmalaakeri, jonka päällä kone liikkuu.

Koneessa on myös lisätty CAA-korjaus, eli systemaattinen geometriavirheiden korjaus. CAA-korjaus pystyy korjaamaan kaikkien 21 virhetekijän ja niiden kinemaattisten mallien perustuvat geometriakorjaukset. Näitä virheitä ovat mm. lämpötilaeroista johtuvat virheet, mittauspään ja kärkien taipumat ja koneen oman massan aiheutuvan väännöstä johtuvat virheet. On kuitenkin hyvä muistaa, että korjaaminen toistettavuuden testaamisella on mahdollista vain toistuvuuden määräämälle tasolle asti. Jos toistuvuustestien tulokset ovat hyvät, voidaan konekin saada tarkaksi (Tikka 2009 70 – 71.)

2.1.1 Koneen koordinaatisto

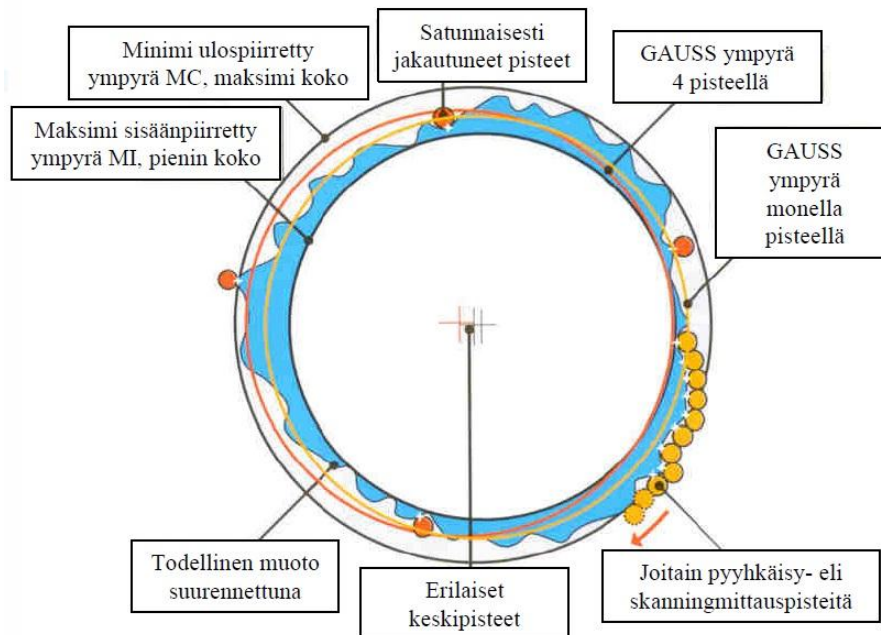
Konelaboratorion mittakoneen koordinaatiston laajuus on X-akselin suunnassa 905 mm, Y-akselin suunnassa 1005 mm ja Z-akselin suunnassa 605 mm. Koordinaatiston suuruus rajoittaa mitattavan kappaleen kokoa, mitä kone pystyy mittaamaan. Mittauksessa koordinaatiston voi määrittää joko konekoordinaatiston mukaan, tai sitten suoraan kappaleelle. Kun koordinaatiston määrittää kappaleelle, silloin ei tarvitse erikseen miettiä minkälaisessa asennossa kappale on konekoordinaatistoon nähden, jolloin mittaaminen nopeutuu. Mutta jos kappalekoordinaatisto on täysin päinvastaisessa asennossa konekoordinaatistoon nähden, muuttuu koneella ajaminen haastavaksi. Kun konetta liikutetaan konekoordinaatiston mukaan ja kappalekoordinaatisto on täysin päinvastainen, saattaa tapahtua ohjelmia toistettaessa törmäyksiä inhimillisistä virheistä johtuen. Kappalekoordinaatistoa luodessa täytyy määrittää erilaisia elementtejä ohjelman alussa, kuten yksinkertaisimmillaan tason, suoran ja pisteen, jolloin kone pystyy määrittelemään kappalekoordinaatiston. Tämän jälkeen kone löytää ohjelmia toistettaessa kappaleen samasta paikasta. (Mitutoyo User's manual)

2.1.2 Laskentatavat

Varsinaisesti eri mittausohjelmien käytöllä ei ole suurta eroa, sillä lähes kaikki ohjelmat muodostavat ohjelman samalla tavalla ja elementtien laskenta on samanlaista. Elementtien laskentaan mittausohjelmistoissa on kolme yleisimmin käytettyä tapaa. Nämä laskentatavat ovat pienimmän neliösumman mukaan, pienin arvo tai minimipoikkeama eli ns. Chebyshev-menetelmä ja tilastolliset laskentamenetelmät. Tilastolliset menetelmät käyttävät erilaisia todennäköisyysjakaumia.

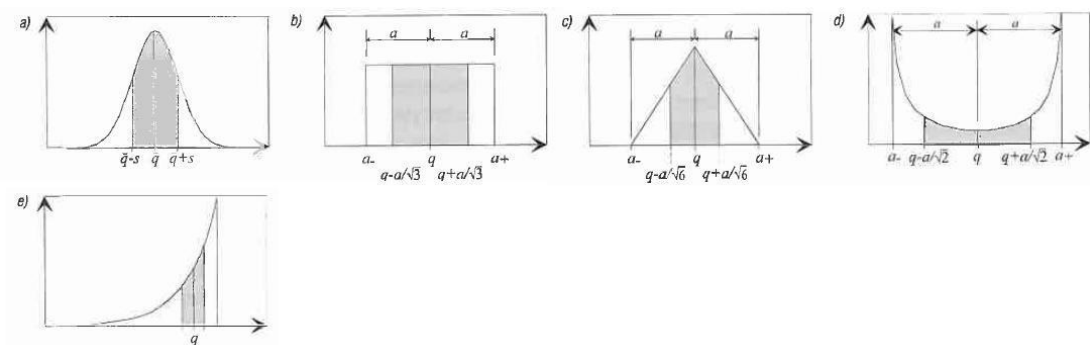
Pienimmän neliösumman, eli Gaussin menetelmän, mukaan lasketut elementit eivät ole herkkiä pienille virheille, mutta muotovirhettä voi tulla pisteiden ääripoikkeamien mukaan. Tällä tavalla määritetty suoran suunta ja paikka kulkee keskimääräisesti mitattujen pisteiden kautta. Tämä mittaustapa ei ole kuitenkaan muototoleransseja laskettaessa standardin mukainen analysointitapa.

Chebyshev- menetelmä käsittää kaksi erilaista geometrian määrittämistapaa, ulkoisen ja sisäisen rajaelementin ja pienimmän arvon tai minimipoikkeaman mukaan määritellyt elementit. Näillä pystytään analysoimaan rajaelementtien avulla muotoa ja suuntaa. Pienin muotovirhe kaikista analysointitavoista saavutetaan minimipoikkeama- määrittelyllä. Minimipoikkeama on myös standardin mukainen geometrisen muodon määrittelytapa. Chebyshev-menetelmää kannattaa käyttää, kun mitattava pinta liittyy kokoonpanossa toiseen pintaan, jolloin analysoidaan kyseinen pinta ulkoisella rajaelementillä, esim. tasolla tai ympyrällä (Andersson & Tikka 250.)



Kuvio 4. erilaiset jakaumat (TTY 2005.)

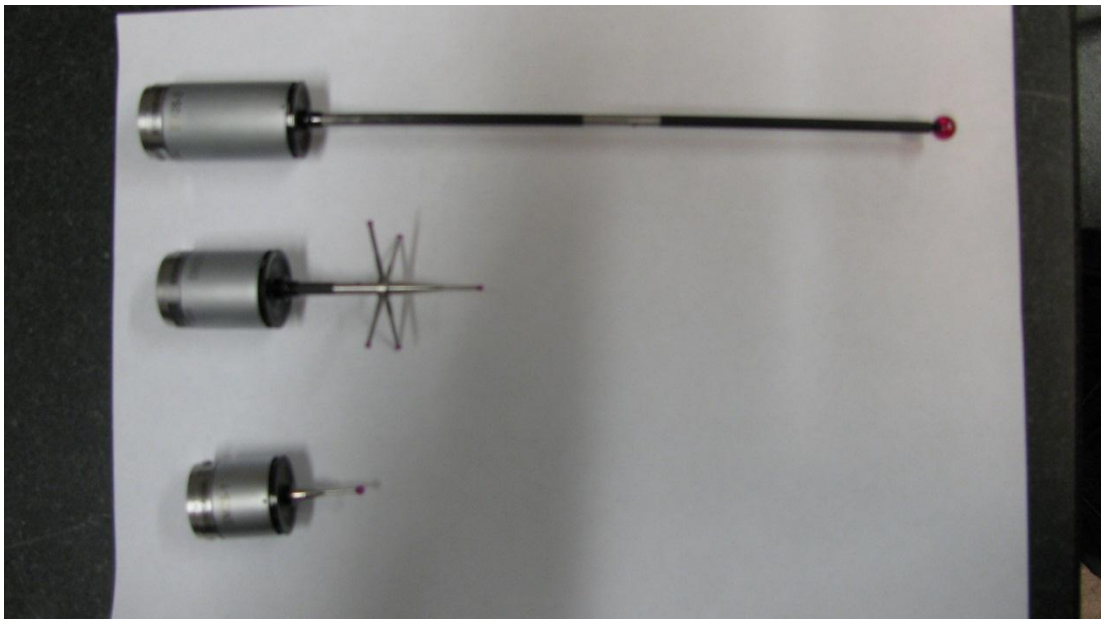
Tilastollisista menetelmistä yleisimmin mittauksessa käytettävät jakaumat ovat normaalijakauma, tasajakauma, kolmiojakauma, U-jakauma ja toispuoleinen jakauma. Näistä mittauksessa esiin tulevat jakaumat ovat yleisimmin kolmio- ja normaalijakauma. Riippuen mittauskertojen määrästä jakaumissa otetaan vertailuun mukaan vain tietty määrä tuloksia, jotka jäävät keskihajonnan mukaisten rajojen sisään jakaumassa. Ääripäät eliminoidaan pois, jolloin vaihteluväli jää pieneksi (Esala, Lehto & Tikka 2003 68.)



Kuvio 5. Erilaiset jakaumat (Esala, Lehto & Tikka 2003 68.)

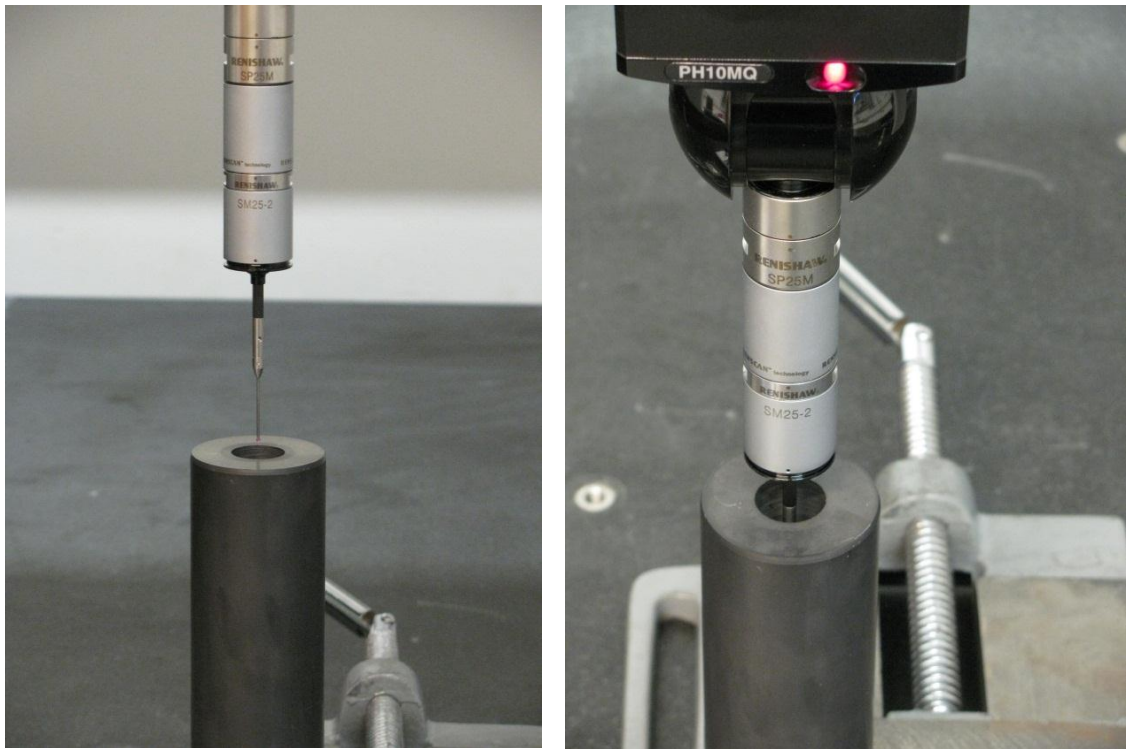
2.1.3 Anturit

Konelaboratorion mittakoneessa on kiinni Renishawin SP 25M kolmiakselinen anturijärjestelmä. Anturit on tarkoitettu koskettavaan mittaukseen. Aina kosketuksen mitattavaan kappaleeseen saatuaan anturin sisällä olevat peilit kääntävät järjestelmässä kulkevan lasersäteen, joka lähettää signaalin tietokoneelle. Signaalin saatuaan tietokone luo pisteen MCOSMOS- ohjelmaan. Tietokone liittää anturin lähettämät pisteet geometrisiksi muodoiksi ja vertailee niitä tavoitemittoihin ja muotoihin. Anturin kalibrointi vaikuttaa mittaustulokseen jonkin verran, jolloin pisteiden koordinaattien paikat muuttuvat hieman. Riippuen anturirungon pituudesta, rakennettavan anturin pituus voi vaihdella 20mm ja 200mm välillä. On myös olemassa anturirunkoja, joihin voi rakentaa pitemmän varren. Anturin päässä on synteettisestä rubiinista valmistettu pallo, jonka halkaisija vaihtelee 0,125mm n. 10mm antureihin. Vieläkin suuremmat anturipäät, jopa 25mm asti, on olemassa, mutta tällaisia ei koululla ole. Koulun koneessa olevaa anturijärjestelmää kutsutaan ns. monianturijärjestelmäksi. Tämä tarkoittaa sitä, että saman ohjelman aikana voidaan käyttää kahta tai kolmea eri anturia ja näitä voidaan käyttää myös eri asennoissa ohjelman aikana. Eri asennot tarkoittavat, että anturit on esiohjelmoitu olemaan erilaisissa kulmissa koordinaatistoon nähden, jolloin niillä on helppo mitata kappaleen sivussa olevia elementtejä. Monianturijärjestelmä tekee koneesta ennen kaikkea joustavan tuotantoa avustavan koneen, sillä se poistaa kappaleen kääntelyn ja useiden ohjelmien teon samalle kappaleelle. Tällöin myös mittauksesta riippuvat tuotannon osat nopeutuvat. Koskettavien antureiden skannaus ominaisuudella pystytään myös ottamaan kymmeniä, jopa satoja pisteitä nopeasti, mutta silti tarkasti. Tätä rajoittaa vain se, kuinka nopeasti mittaushjelma pystyy digitoimaan pisteitä muistiin ja saako anturi aina hyvän kosketuksen kappaleeseen, jottei tulisi suuria virheitä tai piste digitoimatta.



Kuvio 6. Kuva erilaisista Renishawin antureista, alimpana ns. referenssianturi.

Antureiden mittauskyvyllä on myös eroja, riippuen minkälaisella anturilla mitataan. Renishaw valmistaa ns. yhden anturin, kevyitä järjestelmiä, kun Zeiss valmistaa raskaita anturijärjestelmiä kolmen anturin kärkirakennelmilla. Zeissin järjestelmän etuna on se, ettei antureita tarvitse vaihtaa niin useasti. Haittapuolena on se, ettei kaikilla kärkirakennelman antureilla ole tilaa liikkua ja kääntyillä tarpeeksi. Tällöin suurin kerralla saavutettavissa oleva mittausalue jää pieneksi. Renishawin anturijärjestelmässä on kääntyvä nivelakseli, jolloin anturille jää tilaa liikkua. Kone pystyy myös liikuttamaan anturijärjestelmän lähes pöytään kiinni, jolloin mittausalue on laajempi kuin järjestelmällä, jossa on kerralla kiinni useita antureita. Yhden anturin ulottuvuus syviin kohteisiin on myös paljon parempi, kuin leveämmällä kärkirakennelma järjestelmällä (Tikka 2009 104 - 109.)



Kuvio 7. Anturit pystyvät mittaamaan myös syvällä olevia muotoja.

2.1.4 Kalibrointi

Antureiden kalibroinnilla tarkoitetaan anturin minimi ja maksimipoikkeaman eroavaisuutta anturin halkaisijasta. Kalibrointiohjelma määrittää anturille sen minimi ja maksimieron jokaiselle anturin asennolle erikseen. Antureiden kalibrointi tapahtuu tätä tarkoitusta varten tehdyllä kalibrointikuulalla, joka on keraaminen. Tämä kuula on myös valmistettu hyvin tarkaksi. Sen halkaisija on kalibroitu ja todennettu mikrometrin sadasosan tarkkuudella, jolloin pienimmätkin virheet paljastuvat. Kalibrointiohjelma mittaa ja skannaa n. 130 pistettä kalibrointikuualta. Kalibrointiohjelma määrittää myös anturikärkien keskipisteiden keskinäisiä sijaintieroja. Kun kalibroimisohjelma on ajettu läpi, tiedetään voidaanko anturi hyväksyä mittaamiseen, vai täytyykö se kalibroida uudelleen. Jos anturi on kalibroitu huonosti, voi se aiheuttaa jopa 0,05 mm heiton pisteen oikeaan paikkaan nähden. Useita antureita kalibroitaessa kerralla, määritetään usein lyhin anturi ns. referenssianturiksi, johon muita

anturijärjestelmiä vertaillaan. Jos referenssianturin kalibrointi epäonnistuu, epäonnistuvat myös muiden antureiden kalibroinnit. Yleensä anturin virhe johtuu heikosta kiinnityksestä tai anturijärjestelmässä tai kalibroitikuulassa olevasta liasta. Heikolla kiinnityksellä tarkoitetaan sitä, onko anturipää kierretty tarpeeksi tiukkaan anturijärjestelmään. Anturin skannatessa kalibroitikuulaa vastapäivään alkaa anturin kierteet aueta, jonka jälkeen anturipää voi jopa tippua kesken kalibroinnin pöydälle. Antureita ei siis voi kiristää paikalleen pelkästään sormien varassa, vaan kiristämiseen on käytettävä anturirunkojen pakkauksista löytyviä, anturipäiden kiristykseen, tarkoitettuja tappeja. Mittauksessa anturien pintaan saattaa joskus tarttua kappaleista öljyä tai likaa, joka aiheuttaa virhettä. Tämä pitää huomioida ennen kalibrointia, pyyhkimällä antureista lika pois nukkaamattomalla liinalla. Myös anturijärjestelmä kerää aika ajoin sisäänsä likaa, joka häiritsee mittausta ja vääristää tuloksia. Lika pitää pyyhkiä järjestelmästä aika ajoin pois siihen tarkoitetuilla liinoilla ja syvemmistä koloista lian saa pois tarkoitukseen suunnitellulla vahalla, joka ei kuitenkaan jää kiinni anturijärjestelmään (Tikka 2009 112.)

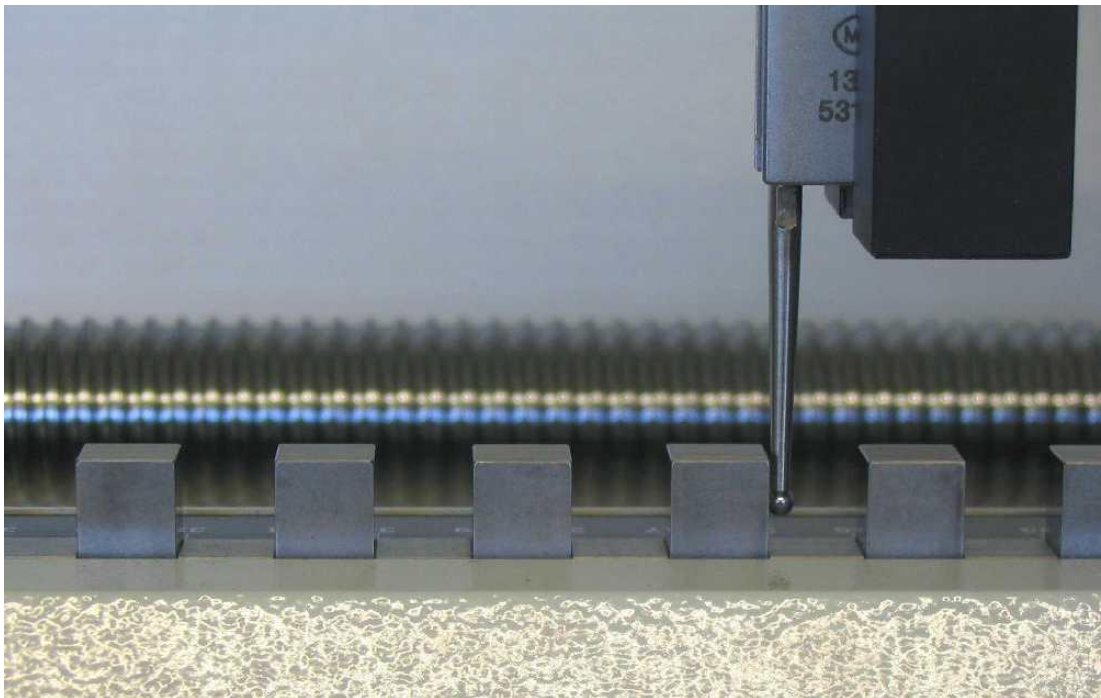


Kuvio 8. Kuva kalibroitikuulista

Koordinaattimittakoneelle on kolme erilaista kalibrointimenetelmää. Nämä menetelmät ovat mittapaloilla, porrasmittapalalla tai reikälevyllä suoritettavat kalibroinnit.

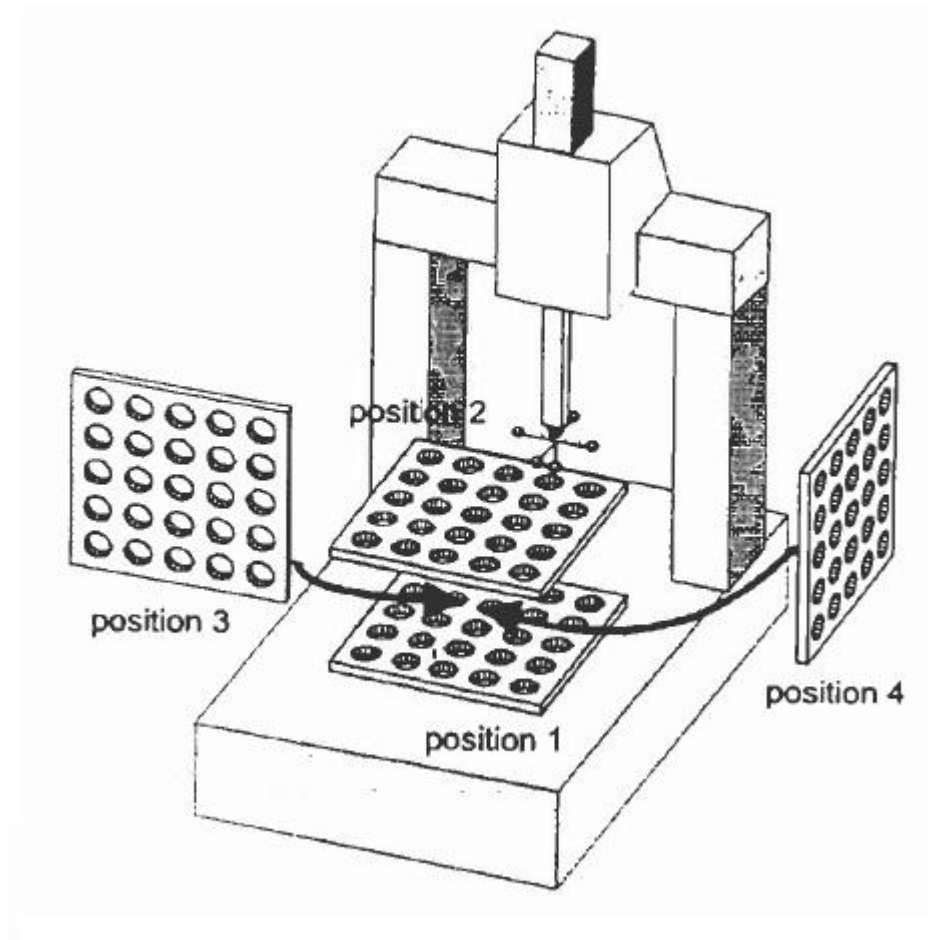
Mittapaloilla suoritettavassa kalibroinnissa mitataan eripituisia, toisiinsa imeytettyjä, mittapaloja keskellä mittausaluetta koneen akselien suunnissa sekä vinosti eri tasoissa sekä avaruudessa. Mittapaloja mitattaessa kosketukset otetaan aina poissuunnatuista tasopinnoista. Tämä kalibrointitapa on nopein ja vähiten vaivaa vaativa. Se ei kuitenkaan testaa koneen CAA- korjainten toimintaa, sillä testiä suositellaan tehtäväksi keskellä mittausaluetta. Tätä testiä käytetään lähinnä vastaanottotarkastuksissa ja määräaikaistarkastuksissa huoltojen yhteydessä sen nopeuden ja helppouden takia (Tikka 2009 365.)

Porrasmittapalalla tehtäviä kalibrointeja on monta erilaista, sillä standarditkaan eivät määrittele miten kalibrointi tulisi tehdä porrasmittapalalla. Nämä kaikki ovat kuitenkin kaikki hyvin samantyyppisiä kalibrointeja, vain mittausjärjestys vaihtelee erilaisten testien välillä. Itse mittaus tapahtuu samalla tavalla kuin mittapaloilla tehtävä kalibrointikin, mitattavia pintoja on vain enemmän. Mittauspaikat valitaan koneen äärialueilta, jolloin se kattaa koneen parhaat ja huonoimmat mittapaikat asteikkoihin nähden. Täydellinen kalibrointi vaatii kuitenkin useita mittauksia ja porrasmittapalan paikan vaihteluita, jotta koneen koko koordinaatisto tulee katettua mittauksilla. Tärkeä on kalibroida kone myös tärkeimpään mittaustasoon, yleensä XY-tasoon, nähden. Tällöin asetetaan porrasmittapala noin 40° asteen kulmaan tasoon nähden ja mitataan se. Porrasmittapalatestit ovat melko pitkiä tehdä, johtuen mittapalan useista paikan vaihteluista ja käännoistä, joten se hidastaa jonkin verran tuotantoa. Porrasmittapalalla kalibrointi on kuitenkin tarkempi kuin pelkästään mittapaloilla tehty testi ja porrasmittapala kalibroinnista voi vertailla mittausepävarmuuksia koneen aiempiin mittausepävarmuuksiin (Tikka 2009 366 - 369.)



Kuvio 9. Kuva porrasmittapalasta (Mikes 2011.)

Reikälevyllä kalibroinnissa voidaan helposti selvittää koneen 2D- tarkkuus. Tällöin mitattavien kohteiden XY-paikat tulee kuitenkin kalibroida tarkasti. Kalibrointi tapahtuu virheiden erottamisella mittauksesta. Tällä tarkoitetaan, että mittauskoneen virheet reikälevyn reikien paikoissa voidaan laskea ja vähentää mittaustuloksista. Tällöin saadaan tuloksena reikien XY-paikat tasajaolla, joissa ei ole koneen systemaattisia geometriavirheitä. Jäljelle jää referenssinormaalien, ympäristön ja koneen toistuvuudesta johtuvat epävarmuudet. Kalibrointitavassa reikälevy käännetään vähintään kolme kertaa Z-akselin ympäri. Tällöin koneen paikoitusvirheet tulevat näkyviin mittauksia toistettaessa. Kalibrointimenetelmä on helppo, mutta vaatii paljon laskemista kalibroinnin suorittamiseksi. Tämä on kuitenkin tarkimpia kalibrointitapoja, sillä testit voidaan suorittaa myös ZY- ja ZX-tasoissa jolloin saavutetaan mittavirheet myös muille anturin asennoille ja akseleille. Tällöin tiedetään myös epävarmuus akselien välillä (Tikka 2009 369 – 371.)



Kuvio 10. Kuva reikälevykalibroinnista ja testeissä tehtävistä käännoistä. (Esala, Lehto & Tikka 2003 51.)

2.2 Mittapalat

Koululla on Preisser Messtechnikin kaksi mittapalasarjaa. Mittapalojen tarkkuusluokka on 1, jonka mittausepävarmuus on $+0.10 \mu\text{m} -0.05 \mu\text{m}$. Nämä mittapalat siis ovat yksi tarkimpia pituuden mittoja, mitä koululta löytyy. Mittapalat jaetaan standardissa ISO 3650 neljään eri luokkaan kahden perusteen mukaan. Nämä ovat mittapalan virhe ja mittapalan mittapinnan virhe. Mittapalan virheellä tarkoitetaan mittapoikkeamaa nimellismittasta mittapalan mielivaltaisesta kohdasta. Mittapalan mittapinnan virheellä tarkoitetaan mielivaltaisessa paikassa mitatun pituuden eroa keskellä

mittapintaa mitattuun nähden. Eli toisin sanoen tämä tarkoittaa pinnanlaadun tarkastelemista, kuinka paljon palan paksuus vaihtelee mittapalan eri osissa. Mittapalojen tarkkuusluokat on jaettu neljää luokkaan, jossa tarkkuusluokka 0 on tarkin ja 3 epätarkin. Ero luokan 0 ja luokan 3 epävarmuuksissa on kymmenkertainen ja mittapinnan poikkeamassa noin viisinkertainen. Mittapalojen tarkkuusluokat tarkoittavat myös, mihin niitä voidaan käyttää. Luokan 2 ja 3 mittapaloja pystytään pitämään tuotannon käyttönormaaleina, joilla tarkistetaan tuotannossa käytettävien mittojen paikkansapitävyyttä. Luokan 1 mittapaloja käytetään niin sanottuina tarkistusnormaaleina mittahuoneen mittausvälineiden kalibroimiseen. Luokan 0 mittapaloja käytetään lähinnä alempien luokkien mittapalojen tarkastamiseen ja kalibroimiseen. Mittapaloille löytyy myös oma referenssinormaalinensa, luokaltaan K. Tätä käytetään 0- luokan mittapalojen kalibroimiseen ja mittapalojen jäljitettävyyden siirtoon ylemmälle tasolle jäljitettävyyssketjussa. Koulun laboratoriossa olevat luokan 1 mittapalat ovat aivan riittävät koulun käyttöön. Koska kaikki välineet laboratoriossa on tarkoitettu opetuskäyttöön, ei mittapalojen tarvitse olla tarkempaa luokkaa. Koneen kalibrointi tehdään huollon yhteydessä ja huoltaja tuo mukanaan kalibrointia varten porrasmittapalan, jolla pystyy kalibroimaan koneen tarkemmin. Tällöin laboratoriossa ei tarvita tarkempia mittapaloja (Anderson & Tikka 1997 177 - 180.)

Mittapalan mittapinnat on hierretty äärimmäisen tasomaisiksi ja keskenään yhdensuuntaisiksi, jolloin niiden mittaepävarmuudet ovat äärimmäisen pieniä. Mittapalojen leveys vaihtelee niiden nimellimitan mukaan. Alle 10,1 mm:n mittapalojen leveys on 30 mm ja yli 10,1 mm:n mittapalojen leveys on 35 mm. Mittapalojen syvyys on jokaisessa mittapalassa koosta riippumatta 9 mm. Mittapalojen leveyttä ei kannata kasvattaa tätä suuremmaksi, sillä niiden paino kasvaa tällöin huomattavasti ja käytettävyys heikkenee. Tällöin niiden imeyttäminen toisiinsa muuttuu epävarmemmaksi ja ne saattavat irrota toisistaan helpommin. Myös säilytys vaikeutuu mittapalojen suuren koon takia ja sarjan paino voi kasvaa liian suureksi. Mittapaloja imeytetään

toisiinsa kiinni, jolloin tasojen pinnat liittyvät toisiinsa. Pintojen imeytys toisiinsa onnistuu kunnolla vain, joiden mittapinnat ovat ehdottoman puhtaita ja virheettömiä. Imeytettyjen pintojen välille syntyy heikko metallinen sidos, jonka tartuntavoima voi olla jopa 400 N/cm^2 . Mittapaloja imeyttämällä saadaan rakennettua haluttu mitta vertailua varten. Rakennetulla mittapalalla vertaillaan tuotannosta saapunutta tuotetta mittapalassa olevaan tarkkaan mittaamiseen, jolloin tiedetään tuotannossa syntynyt virhe. Mittapaloja myydään erilaisina sarjoina alle kolmenkymmenen kappaleen aina yli sadan palan lajitelmiin. Ainoa ero lajitelmien välillä on niiden hinnan eroavaisuuksien lisäksi niistä rakennettavien yhdistelmien mahdollisuudet. Isommasta lajittelimesta saadaan rakennettua vähemmällä imeytyksillä haluttuja mittoja. Tällöin yhdistelmien epävarmuus on pienempi. Mittapalojen säilytys oikeissa olosuhteissa on myös tärkeää, jotta ilmankosteus ei pääse liian suureksi ja että mittapalat ovat säilytyksen aikana (hapottomassa) suojarasvassa. Ilmankosteuden ollessa yli 55 % teräksiset kappaleet alkavat ruostua, joten säilytystilan kosteuksia tulee tarkkailla. Mittapalat on myös kalibroitava tietyin väliajoin, jotta mittapalojen tarkka mitta ja epävarmuus tiedettäisiin. (Anderson & Tikka 1997 177 – 180.)

2.3 Erilaiset mittauksessa esiintyvät virheet

Mittalaitteesta johtuvia virheitä ovat lähinnä erilaiset taipumat ja venymät. Tällöin kappaleen painosta johtuen mittauspöytä painuu alas, jolloin kappaleesta mitattavat koordinaatit ovat oikeaa koordinaattia alempana. Kone tai koneen akselit voivat myös taipua oman painonsa takia tai liian painavaksi rakennetun anturin johdosta, jolloin mittauspisteet taas ovat liian ylhäällä kappaleeseen nähden. Näitä virheitä pystyy kompensoimaan pois ohjelmoimalla koneen määrittämään kappaleelle jokaisella toistolla oman, kappalekohtaisen, koordinaatistonsa. Tällöin pisteet eivät voi muodostua väärin paikkoihin. Pöydän tukevuudella voidaan myös vaikuttaa kappaleen

aiheuttamaan vääntymään. Esimerkiksi koulun koordinaattimittauskoneella on noin 2 tonnia painava graniittipöytä, mikä ei taivu pienimpien painojen alla. Suurin paino, jonka koulun koneen pöydälle voidaan laittaa, on 500 kg. Tällöin pöytä jaksaa kannatella sitä ja se ei taivu liikaa. Markkinoilla on myös mittakoneita, joilla voi mitata isojakin kappaleita, esim. laivan potkureita.

Mittauskohteesta johtuvilla virheillä tarkoitetaan kappaleen soveltuvuutta tietynlaiseen mittaukseen. Muoveista on vaikea saada tarkkoja mittoja koskettavalla mittapäällä, koska muovi taipuu niin paljon mittausvoimasta johtuen. Myös mittauskohteen erikoinen muoto voi aiheuttaa virhettä, jos anturilla ei pääse kunnolla mittaamaan kohdetta. Tällöin anturilla ei pääse tavoittamaan mitattavaa kohdetta, kun se on esimerkiksi liian syvällä kappaleessa, anturin ulottumattomissa. Mittauskohteen muoto saattaa olla joskus sellainen, että sitä on hankala mitata. Tällaisia muotoja ovat esimerkiksi terävät sisäreunat. Tällöin anturi ei välttämättä mahdu ottamaan pistettä kulmasta, sillä anturi voi olla liian suuri päästäkseen sinne. (Tikka 2009 80- 83.)

Mittausolosuhteista johtuva virhe tarkoittaa lähinnä, millaisessa lämpötilassa mittaus suoritetaan ja minkälainen lämpötilan vaihtelu mittaustilassa on. Muita vaikuttavia mittausolosuhteita ovat ilmankosteus, valoisuus, värinä, äänenpaine ja ilman virtausnopeus. Nämä jälkimmäiset vaikuttavat lähinnä mittaajan mukavuuteen ja ovat mittausepävarmuuden kannalta lähes olemattomia tekijöitä. Ilmankosteuden vaikutus mittaustiloissa näkyy lähinnä siinä, että kun ilman suhteellinen kosteus alittaa 35 % alkaa huoneessa oleva pöly liikkua ja tekee huoneen likaisemmaksi. Yli 55 % kosteudella, alkaa teräs ruostua, jolloin kappaleet ja teräksiset mittavälineet saattavat ruostua, riippuen kappaleesta ja mittausvälineestä. Värähtely vaikuttaa mittaukseen, jos mittauspöytä ei ole tarpeeksi tukevalla alustalla. Pöytä tai anturijärjestelmä saattaa päästä värähtelemään, jolloin mittaustulokset eivät ole oikeita. Valoisuus vaikuttaa eniten lähinnä mittaajan näkökykyyn. Jos mittaushuoneessa ei ole tarpeeksi valoisaa, niin mittaajan silmät väsyvät. Valaistus täytyy suunnitella ja valita tarkasti. Jotkut lamput, kuten

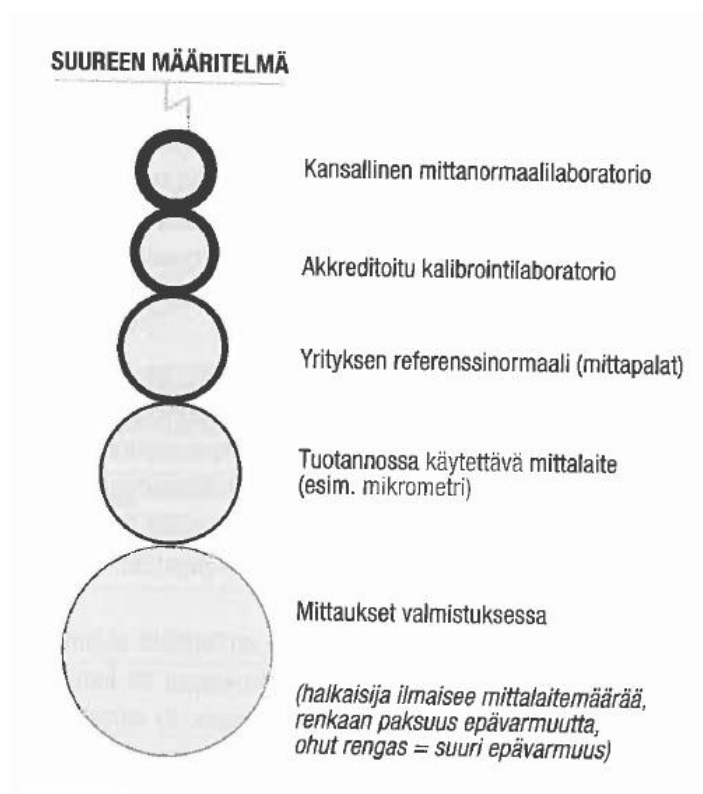
kohdevalaisimet saattavat lämmittää kappaletta. Tällöin mittauksen epävarmuus suurenee. Valaistuksesta tuleva lämpö on helppo eliminoida valitsemalla mittaustilaan sellaiset lamput, jotka eivät lämpene päällä ollessaan tai varmistamalla lampuista tulevan lämmön poistuvan ilmastoinnin mukana. Ilman virtausnopeus taas vaikuttaa kappaleen jäähtymiseen, jolloin kappale saattaa olla toiselta puolelta lämpimämpi, kuin toiselta. Liian suuri äänenpaine vaikuttaa mittaajan viihtyvyyteen, varsinkin jos äänenpaine nousee liian korkeaksi, jolloin mittaajan on käytettävä kuulonsuojaimia. (Ristonen 2011.)

Käytetyistä menetelmistä johtuva virhe tarkoittaa sitä, ovatko mittausmenetelmät soveltuvia kyseiselle mittauslaitteelle ja kappaleelle. Tämä tarkoittaa, onko mittaaja valinnut oikeat välineet mittaamiseen ja onko mittaussuunnitelma toteutuskelpoinen (Ristonen 2011.)

2.4 Mittausten jäljitettävyys

Jokaisen mittaustuloksen ja mittanormalin täytyy olla jäljitettävissä kansallisiin ja sitä kautta kansainvälisiin mittanormaaleihin ja referensseihin. Jäljitettävyys on katkeamaton kalibroitaketju mittavälineistä aina tarvittaessa kansainväliseen metrin määritelmään pituuden mittauksessa. Katkeamattoman ketjun saavuttamiseksi edellytetään dokumentointia. Tämä taas tarkoittaa sitä, että jokaisesta kalibroinnista on oltava kalibroitodistus, joko sähköisenä tai kirjallisena dokumenttina. Jokaisen näistä dokumenteista olisi myös sisällettävä tieto mittavälineen kalibroinnin mittausepävarmuudesta. Mittausten jäljitettävyyden ketju on niin vahva kuin sen heikoin lenkki. Jos mittapaloihin on ajan myötä tullut heittoa, niin silloin mittavälineidenkin heitot alkavat kasvaa. Ensimmäiset mittalaitteiden kalibroinnit tulee tehdä jo aiemmin, kuin laite on otettu käyttöön. Mittalaitteen ensimmäinen kalibrointi pitää tehdä kaikista tarkimmin ja laajimmin, sillä

laitteen mukana tullut kalibrointitodistus tai mittauspöytäkirja ei välttämättä ole oikea, jäljitettävä kalibrointitodistus. Laitteen mukana voi tulla myös ns. ”valmistajan vakuutus”, mikä tarkoittaa, että sen mittausepävarmuus on määritetty täydellisissä olosuhteissa ilman suurempia ulkoisia muuttujia. Kalibrointitodistukset ja niiden sisältämiä tietoja tulee myös ymmärtää. Kalibroinnin kulusta tulee tehdä selvitys ja kertoa kuinka se on tehty. Pitää myös ymmärtää, minkä takia konetta kalibroidaan tietyissä sykleissä. Kalibrointitodistukset arkistoidaan ja niiden tuloksia tulee siten käyttää omien kalibrointien ja mittaustulosten korjauksiin ja mittausepävarmuuslaskelmien tekemiseen. (Esala, Lehto & Tikka 2003 8, 41)



Kuvio 11. Jäljitettävyyshetju. (Esala, Lehto & Tikka 2003 41.)

2.5 Mittaaja ja inhimillinen virhe

Mittaajasta johtuvat ja inhimilliset virheet voidaan jakaa kolmeen osaan, mittaajan ammattitaitoon liittyviin, mittaajan pysyviin ja muuttuviin ominaisuuksiin sekä mittaajan näkökykyyn. (Andersson & Tikka 1997 143 – 144.)

Mittaaminen vaatii pitkällistä kokemusta ja riittävää teoreettista koulutusta, eikä työntekijän näistä tekijöistä riippuvan ammattitaidon merkitystä voi yliarvioida. Jos työntekijä ei hallitse mittaamisessa vaadittavia tietoja ja taitoja, ovat myös mittaustulokset huonoja. Myös kielitaidon osuus on merkittävä mm. manuaalien sisäistämisessä ja uusien mittauslaitteiden vieraskielisten mittaushjelmistojen käyttöönotossa. Jos mittalaitteelle joudutaan kysymään teknistä tukea, saattaa sitä joutua kysymään ulkomaiselta tekniseltä tuelta (Andersson & Tikka 1997 143 – 144.)

Pysyvillä ominaisuuksilla tarkoitetaan mittaajan sellaisia luonteenpiirteitä, joita on erittäin vaikeaa tai mahdotonta muuttaa koulutuksen tai muun vastaavan avulla. Tällaisia ovat rehellisyys, huolellisuus, stressinsietokyky ja älykkyys. Tutkimusten mukaan toisten henkilöiden mittaustulosten hajonta pitkäaikaisessa testissä on jatkuvasti suurempi kuin toisten. (Andersson & Tikka 1997 143 – 144.)

Nopeaälyisyydellä on merkitystä karkeiden virheiden välttämässä, sekä suurimmassa osassa mittaukseen liittyvistä valinnoissa ja toiminnan kehittämisessä jatkuvuudessa. Mittaajan muuttuvat ominaisuudet puolestaan voivat vaihtua päivästä toiseen, jopa saman päivän aikana. Tällaisia ovat mm. fyysinen ja henkinen kunto, väsymystila ja motivaatio. (Andersson & Tikka 1997 143 – 144.)

Näkökyvyllä, erityisesti kyvyllä erottaa kohteita, on merkittävä mittauksen lopputuloksen tarkkuudelle. Valaistuksen voimakkuus ja riittävyys on silmän erottamiskyvylle huomattavan tärkeää. Valaistuksen on oltava riittävä, mutta valo ei saa häikäistä mittaajaa. Ympäristö ei saa olla myöskään liian hämärä,

sillä tällöin silmä joutuu koko ajan sopeutumaan valaistuksen muutoksiin ja väsy. Liian kirkas näyttö vaikuttaa myös näkökykyyn, jolloin mittaajan silmä joutuu jatkuvasti tottumaan valon voimakkuuden vaihteluihin (Andersson & Tikka 1997 143 – 144.)

3 MITTAUSEPÄVARMUUS

Kaikissa mittauksissa esiintyy mittausepävarmuutta. Mutta tärkeintä on tietää kussakin tapauksessa esiintyvä mittausepävarmuus. Tällöin pystytään arvioimaan paremmin oikeaa mittaustulosta. Mittausepävarmuuden kanssa saadun mittaustuloksen tulee pysyä toleranssirajojen sisäpuolella jokaisessa tapauksessa, muuten mittaustulos ei ole hyväksyttävä. Mittausepävarmuus myös pienentää käytettävissä olevaa toleranssialuetta, jolloin mittauksen tarkkuus korostuu entisestään. Myös valmistuksen tarkkuus riippuu mittausepävarmuuden tarkkuudesta. Mitä tarkemman mittausepävarmuus pystytään saavuttamaan, sitä tarkemmin valmistusprosessi toimii (Tikka 2009 388 – 392.)

3.1 A- ja B- tyyppin epävarmuudet

Tyyppin A-epävarmuudella tarkoitetaan sellaisia epävarmuuksia, jotka voidaan määrittellä tilastollisin menetelmin ja niiden mittaukset ovat toistettavissa. Tällaisia toistettavissa olevia epävarmuuksia ovat mm. Toistettavuus ja nollapisteen vaihtelu mittauksessa. Tyyppin A-epävarmuuksia pitää testata määrääjain ja päivittää tietoja sitä mukaa, kun uutta tietämystä niistä tulee. Varsinkin toistettavuutta pitää testata KMK:n koordinaatiston eri osissa, jolloin tiedetään, pysyykö toistettavuus samana koordinaatiston eri osissa. Tärkeätä on myös testata akselikohtaisia epävarmuuksia, joissa mitataan rengastulkin halkaisijoita liikuttamalla vain yhtä akselia kerrallaan. Tällöin tiedetään akselikohtaiset heitot, jotka saattavat olla parhaimmissa koneissakin jopa muutamien mikrometrien luokkaa (Esala, Lehto & Tikka 2003 66.)

Tyyppin B-epävarmuudella tarkoitetaan sellaisia epävarmuuksia, joita ei voida määrittää tilastollisin menetelmin. Nämä epävarmuudet saadaan muilla menetelmillä. Mittalaitteiden kalibroitodistukset, laitteen spesifikaatiot ja

aikaisemmasta mittauskokemuksesta tiedettävät virheet ovat tyypillisiä lähteitä tyypin B-epävarmuuksille. epävarmuus ei muutu tarkemmaksi mittauksia toistamalla, vaan se pysyy aina samansuuruisena. Tyypin B epävarmuus voidaan arvioida tilanteen niin vaatiessa. Tällaisia ovat mm. Lämpötila ja sen vaihtelut, työkappaleen asennosta johtuva ja mittalaitteen virheestä johtuvat epävarmuudet (TKK 2007.)

3.2 Yhdistetty ja laajennettu epävarmuus

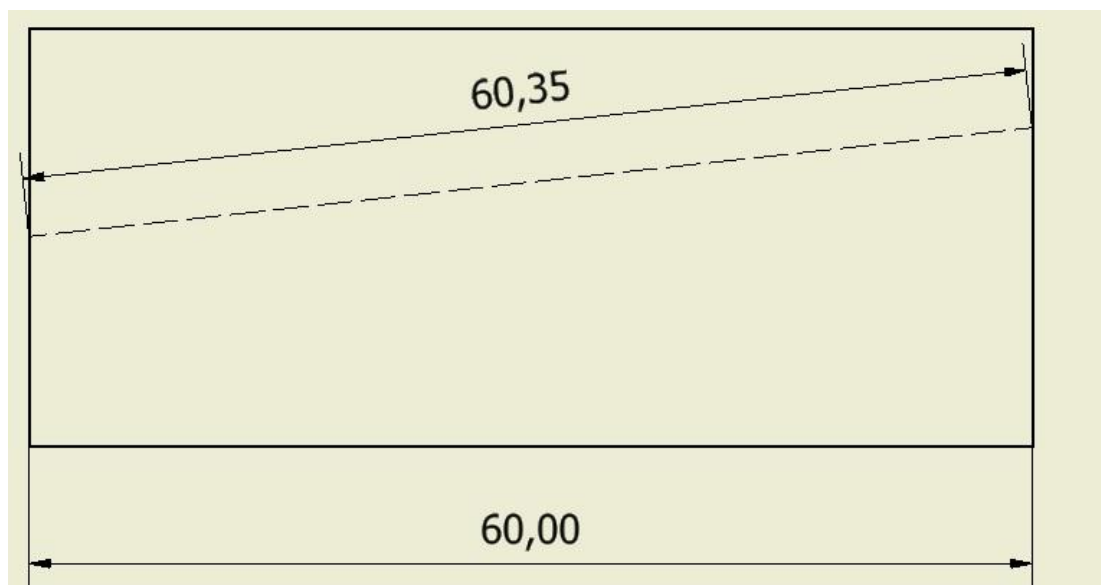
Yhdistetyllä epävarmuudella tarkoitetaan laskentamallia, jossa kaikki mittaukseen vaikuttavat epävarmuustekijät lasketaan neliöllisesti yhteen neliöjuuressa. epävarmuuksien on myös oltava toisistaan riippumattomia, jotta ne eivät vaikuttaisi toisiinsa. Tällöin saadaan laskettua yhdistetty epävarmuus. (TKK 2007.)

Laajennettu epävarmuus tarkoittaa, että millä kattavuuskertoimella epävarmuuden halutaan kattavan mittaustulokset. Tällöin kerrotaan yhdistetystä epävarmuudesta saatu lukema kattavuuskertoimella. Yleisimmin käytettävä k-kerroin on 2, joka kattaa mittaustuloksen epävarmuuden 95 % todennäköisyydellä. Muita käytettäviä k-kertoimia ja todennäköisyyksiä ovat k=1 ja 68,27 %, k=1,645 ja 90 % ja k=3 ja 99,73 % todennäköisyydet. Kattavuuskerroin voidaan valita tilanteen ja asiakkaan halun mukaan. Kokonaisepävarmuus ilmoitetaan aina \pm etukertoimella, jolloin epävarmuus toleranssirajojen sisällä pitää huomioida etumerkin mukaisesti saadusta mittaustuloksesta (Andersson & Tikka 1997, 155).

3.3 Mittaukseen vaikuttavat tekijät

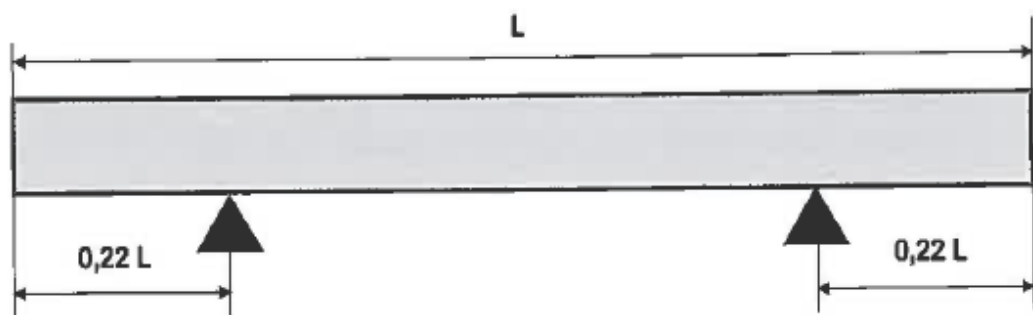
Abbe-virhettä esiintyy, jos käytetään pelkästään konekoordinaatistoa. Tässä tapauksessa kappale on asetettu esiohjelmoitua ohjelmaa vasten vinoon, jolloin mitat alkavat kasvaa. Pituuden kasvu on suoraan suhteutettavissa

kulman suuruuteen alkuperäiseen ohjelmaan nähden. Virhe tosin voidaan kompensoida pois, jos kappaleen asettelukulman virhe on tiedossa ja kappaleen pituus on tiedossa. Myös käyttämällä kappalekoordinaatistoa virhe kompensoituu itsellään pois. Virhe esiintyy toisessakin tapauksessa, kun mitataan kuutiosta leveyttä kahdella pisteellä ja kappale on vinossa. Mittauksessa pitäisi liikkua pelkästään Z- ja X-akseleilla, jolloin Abbe-Virhettä ei tule. Tässä Tapauksessa mitä enemmän pisteiden Y-koordinaateilla on eroa, sitä isompi pituusvirhe mittauksessa tulee (Mikes 2005.)



Kuvio 12. Abbe-virhe näkyy katkoviivalla.

Taipumat aiheutuvat kappaleen kiinnityksen ja maan vetovoiman vaikutuksesta. Olkoon kappale kuinka jäykkä tahansa, se taipuu aina jonkin verran. Tällaisissa tapauksissa tulee kappale tukea ns. Besselin-pisteistä. Besselin-pisteet ovat pisteitä, jotka ovat kappaleen pituus kerrottuna 0,22. Nämä pisteet löytyvät silloin tämän etäisyyden päästä kappaleen molemmissa päistä. Tällöin taipuma kappaleen eri osissa on mahdollisimman pientä verrattuna toisella lailla tuettuihin kappaleisiin (Esala, Lehto & Tikka 2003 58.)



Kuvio 13. Besselin pisteistä tuettu kappale. (Esala, Lehto & Tikka 2003 58.)

4 MITTAUSEPÄVARMUUDEN TEORIA

Kun mittausepävarmuutta määritetään, käytetään kolmea erilaista virhelähteiden selvittämistapaa. Kokein pystytään määrittelemään erilaisia satunnaisia mittauksessa olevia virheitä ja huomataan pidempiaikaisessa käytössä esiin tulevia ongelmia. Vertailumittauksilla pystytään selvittämään koneen mittausepävarmuus referenssipaloihin nähden. Lähdetietojen avulla löydetään koneen kalibrointitodistusten ja käyttöohjeiden avulla koneessa olevia epävarmuuksia (Esala, Lehto & Tikka 2003 59 – 65.)

4.1 Testit

Mittausepävarmuuden määrittämiseen vaaditaan aina kokeellista toimintaa koordinaattimittauskoneella, jotta voidaan selvittää mittauksessa olevia satunnaista vaihtelua. Satunnainen vaihtelu on helppo selvittää testeillä ja niiden tekeminen ei vaadi mitään muuta kuin aikaa ja viitseliäisyyttä. Tällöin mittausepävarmuus saadaan toistettujen mittausten keskihajonnasta. Keskihajonnasta saatava luotettavuus ei ole kuitenkaan luotettava, jos toistoja on alle kymmenen. Tällöin käytetään korjauskertoimia varmuuden saamiseksi toistoista (Esala, Lehto & Tikka 2003 59 – 60.)

Paitsi satunnaisten virheiden vaikutusten seurantaan, käytetään testeillä selvittämään muita virhelähteiden suuruuksia ja niiden suuntia. Tällaisia ovat mittausvoiman vaihtelu ja kiinnityksen muuttaminen. Näiden vaihteluista selvitetään, miten se vaikuttaa rakenteissa ja tilanteissa. Näiden teoreettinen laskeminen on erittäin hankalaa, ellei peräti mahdotonta. Tällöin ne on selvitettävä kokeellisesti. Tämän takia täytyy ottaa selvää lämpötilan käyttäytymisestä mittaustilassa ja miten se vaikuttaa kappaleeseen mitattaessa. Kiinnitys on joka kerralla erilainen, riippuen siitä, kuka kiinnityksen tekee ja minkälaisella voimalla kappale on kiinnitetty pöytään tai kiinnittimeen. Mittausvoimia voi vaihdella ohjelmasta vaihtamalla koskettavan

anturin mittaussnopeutta. Mitä lujemmalla vauhdilla anturilla otetaan kosketus, sitä enemmän anturijärjestelmä värähtää. Mitattaessa näitä asioita tulee muistaa, että muuttaa vain yhtä asiaa kerrallaan, eikä sitäkään kovin paljoa. Tämä voisi muuten vaikuttaa useampaan asiaan kerralla ja virheen lähdettä olisi vaikea havaita (Esala, Lehto & Tikka 2003 59 – 60.).

RR- testeillä tarkoitetaan mittaustilanteen ja mittauslaitteen toistettavuuden ja uusittavuuden testaamista. Näitä testejä tulisi tehdä määräajoin ja pitää testien teko aika mahdollisimman pitkinä, jotta ulkoisten muuttujien vaikutus kappaleeseen ja mittalaitteeseen tulisi myös otettua mahdollisimman hyvin huomioon. Testeillä olisi hyvä olla vähintään kaksi tekijää, jolloin mittaajasta johtuvat virheet tulevat hyvin esille. Testit voi kuitenkin tehdä myös yksin tilanteen niin vaatiessa, mutta paras tapaus olisi, jos tekijöitä olisi vähintään kolme. Tässä tapauksessa mittaajasta johtuvat virheet tulevat parhaiten esiin (Esala, Lehto & Tikka 2003 60.)

Toistettavuudella tarkoitetaan, kuinka hyvin mittaaja tai mittalaite pystyy mittaamaan saman tuloksen. Lyhyessä testissä vaaditaan kolme mittausta kymmenestä kappaleesta ja pitkässä testissä kolme mittaajaa mittaa kymmenen kappaletta vähintään kolme kertaa. Lyhyt ja pitkä testi on myös mahdollista suorittaa yhdellä kappaleella mitaten se kymmenen kertaa. Pitkässä testissä on helppo erotella mittaajasta ja mittalaitteesta johtuvat virheet. Lyhyessä testissä on haastavaa arvioida mittaajasta johtuvaa virhettä. Kummallakaan testillä ei kuitenkaan saada esiin mittauksessa olevia systemaattisia virheitä. Toistettavuus lasketaan mittaajien kappalekohtaisten mittaerojen keskiarvojen keskiarvosta kertomalla se kertoimella, joka kuvaa mittauskertojen määrää (Esala, Lehto & Tikka 2003 60 - 61.)

Uusittavuudella tarkoitetaan mittaajan ammattitaidon mittaamista, vaikka uusittavuuden suuruuteen vaikuttavat työkappaleen ja mittauslaitteen ominaisuudet. Uusittavuus lasketaan eri mittaajien kaikkien mittaustulosten absoluuttisten keskiarvojen, toistettavuuden, mittaajien lukumäärän ja mitattujen kappaleiden avulla (Esala, Lehto & Tikka 2003 60.)

Tutkittavan kohteen RR- arvo saadaan yhdistämällä neliöllisesti nämä kaksi aiempaa testiä. Tämän jälkeen saatua arvoa voidaan verrata tuotannossa olevien kappaleiden toleransseihin. Tästä johtuen RR- testi sopii hyvin sarjatuotannon mittauksissa käytettäväksi laadunvarmistus työkaluksi, jollei jopa välttämättömäksi työkaluksi. Testeistä käytettävien mittauslaitteiden edellytetään olevan jäljitettävästi kalibroituja ja hyvälaatuisia. Testeissä käytettävät kappaleet mitataan vielä testien jälkeen tarkemmilla mittalaitteilla, jolloin niille saadaan tosimittoina pidettäviä arvoja. Tällöin RR- testistä syntyy samalla vertailumittaus, jolloin selviää myös mittauksessa olevat systemaattiset virheet (Esala, Lehto & Tikka 2003 61 – 62.)

4.2 Vertailumittaukset

Vertailumittaukset voidaan jakaa kolmeen eri alueeseen, kansainvälisiin, kansallisiin ja yrityskohtaisiin vertailumittauksiin. Tässä työssä kuitenkin keskitytään yrityksen sisäisiin vertailumittauksiin. Yrityksen sisäiset vertailumittaukset palvelevat melko useasti koulutuksellisia tarpeita, mutta toimivat samalla mittausepävarmuuden arvioinnin tarkoituksien selvittämiseen. Vertailumittauksia tehdään todellisuudessa päivittäin, mutta näitä ei dokumentoida jolloin tiedot jäävät vain mittaajien oman ammattitaidon kehittämiseen ja ylläpitämiseen. Tällöin mittaustulokset pysyvät oikeina ja mittalaitteiden virheen suuruuden ja suunnan tietää jatkuvasti toistettavien mittausten ansiosta. Keskeistä osaa vertailumittauksissa näyttelee E_n - arvo. Tämä lasketaan vähentämällä vertailuarvo mittaukseen osallistuneesta mittaustuloksesta ja jakamalla tämä sisällä olevilla vertailuun osallistuvanmittaustuloksen ja vertailuarvon epävarmuuden neliöllisellä summalla neliöjuuressa. Jos E_n - arvon itseisarvo on suurempi kuin yksi, on mittaustulos virheellinen tai määritetyt epävarmuudet liian pieniä. Jos arvo on alle yksi, voi mittaaja olla tulokseen tyytyväinen. Jos arvo on toistuvissa mittauksissa lähellä nollaa, on todennäköistä, että määritetyt epävarmuudet

ovat liian pieniä. Useimmiten tavoitearvona käytetään 0,5, kun systemaattiset virheet ovat mukana mittauksessa. Tämä menetelmä on standardoitu suhteellisen tarkasti koordinaattimittauskoneelle, mutta sitä voi käyttää myös muille mittausvälineille. Useilla toistokerroilla lasketaan mittaustavan antama systemaattinen ero referenssiarvoon ja menetelmässä oleva standardihajonta (Esala, Lehto & Tikka 2003 62 – 63.)

Vertailumittaus testeissä toistetaan tunnetun kalibroidun normaalin tai vertailukappaleen mittaus useasti. Edellytettävä määrä toistoja on noin 20 kertaa. Jos toistoja on vähän tai korjaus on epämääräinen, tyydytään pienempiin toistomääriin. 5 -10 toistolla lasketaan tuloksista keskimääräinen poikkeama vertailumittaan nähden. Poikkeama kertoo mittauksen virheen, sillä normaalin mittaa on pidettävä tosimitana ja sillä pystytään korjaamaan kappaleista saatuja mittaustuloksia. Vertailumittauksen epävarmuus lasketaan mittausprosessin keskihajonnan, normaalin kalibroinnin epävarmuuden ja kohteen vaikutuksen neliöllisellä summalla neliöjuuressa. Jollei mittauksia pystytä tekemää samoissa olosuhteissa kaikilla toistokerroilla, on otettava myös huomioon ympäristöolojen vaikutus. Jos mitattavan kappaleen pinnanlaatu, muotovirheet ja muut ominaisuudet vastaavat referenssinormaaleita, voidaan määrittää myös kokonaisepävarmuus. Tämä kuitenkin vaatii muuttuvia olosuhteita ja eri mittaajia toistoille (Esala, Lehto & Tikka 2003 63 – 64.)

4.3 Lähdetiedot

Lähdetiedoista saatavilla tiedoilla tarkoitetaan kalibroitodistuksista, esitteistä ja käyttöohjeista löytyviä mittausepävarmuuden lähteitä. Esitteistä ja käyttöohjeista saatavat lähteet ovat usein valmistajien täydellisissä olosuhteissa täydellisillä laitteilla saavutettuja epävarmuuksia. Nämä pitää kuitenkin ottaa huomioon kokonaisepävarmuuden laskennassa. Kalibroitodistuksista saatavilla epävarmuuksilla pystytään laskemaan korjauksia mittaustuloksiin, joskin näihin on suhtauduttava jossakin määrin

epäilevästi. Kalibroinnit tehdään usein stabiileissa olosuhteissa, jolloin kaikkia virhetekijöitä ei ole otettu huomioon mittausepävarmuutta määritettäessä. Perättäiset kalibroitodistukset helpottavat koneen stabiiliuden seurantaan. Tämän seurauksen saadaan mittausepävarmuuteen koneen iän tuoma ajautuma mukaan laskuihin. Ajautumalla taas tarkoitetaan mittaustulosten hidasta muuttumista ajan funktiona esimerkiksi lämpötilan muutoksen vuoksi, kun todellinen mitattava arvo pysyy muuttumattomana (Aumala 1989). Ajautuman suuruutta määriteltäessä pitää ottaa huomioon, että kalibroinnin mittausepävarmuus voi peittää alleen tai kasvattaa todellista ajautumaa. Tällöin oikea kuva ajautumasta saadaan vasta monen kalibroinnin jälkeen. Ajautuman lisäksi tarkastellaan mittausasteikkojen vuosittaista virhettä ja tämän suuruutta (Esala, Lehto & Tikka 2003 64 – 65.)

4.4 Laskenta

Mittausepävarmuutta arvioitaessa oletetaan, että kaikki suureet, joita ei tunneta tarkasti, ovat satunnaismuuttujia. Satunnaismuuttuja pystyy saamaan minkä tahansa arvon todennäköisyysjakaumien mukaisesti. Mittausepävarmuutta arvioitaessa myös vaikutussuureita käsitellään satunnaismuuttujina. Mittauksessa määritellään vain yksi suure, esimerkiksi sylinterin halkaisija. Sylinterin halkaisijaa ei määritellä pelkästään yhden yksittäisen mittauksen tuloksesta, vaan se määritetään muiden suureiden avulla. Nämä ovat lähtösuureita. Tällaisia ovat lämpötila, mittausvoima ja mittanormaalien pituus. Tämän jälkeen pystytään esittämään mittaussuureen riippuvuus muista suureista. Joissakin tapauksissa mittauskäsittelyn tuloksen matemaattinen malli saattaa olla hyvinkin monimutkainen, mutta yleisimmin matemaattiset mallit pystytään esittämään yksinkertaisina summina tulokseen vaikuttavista tekijöistä (Esala, Lehto & Tikka 2003 65 – 66.)

Lähtösuureiden epävarmuuden arvioinnissa käytetään apuna A ja B tyyppien epävarmuuksia. Tällöin ne voidaan jakaa sen hetkisistä tai toistetuista mittauksista saatavista arvoista ja lähdetiedoista saataviin lähtösuureisiin.

Lähtösuureiden tulee olla parhaita laskettuja arvoja ja niiden korjauksia. Jos korjauksia ei tehdä, tulee ne käsitellä omina lähtösuureinaan. Mittaussuureen tulee sisältää kaikki lopputuloksen kannalta merkittävät korjaukset. Näin tulee tehdä, vaikka joku aiempi epävarmuus sisältäisi jo korjauksesta johtuvan epävarmuuden. Tyypin A-epävarmuuden laskentakaavassa käytetään mittaustulosten keskiarvon keskihajontaa. Tyypin B-epävarmuuden laskemisessa lähtösuureiden todennäköisyysjakauma joko tunnetaan tai se voidaan arvioida. Tällöin suurelle käytetään jakauman keskiarvoa ja sen epävarmuudelle jakauman hajontaa (Esala, Lehto & Tikka 2003 66 – 67.)

Kun kaikki lähtösuureet tiedetään, saadaan mittaussuureen standardiepävarmuuden neliö lähtösuureiden standardiepävarmuuksien neliöllisestä summasta. Lähtösuureisiin liittyy myös herkkyyskerroin, joka kuvaa epävarmuuden riippuvuutta lähtösuureista. Herkkyyskerroimet pystytään määrittelemään analyttisesti, kokeellisesti tai numeerisesti. Yleensä herkkyyskerroimet eivät ole vakioita, vaan niiden arvot riippuvat lähtösuureista. Yleisimmin kuitenkin herkkyyskerroin on yksi, mikä tarkoittaa sitä, että komponentti vaikuttaa epävarmuuteen täsmälleen omalla määrällään. Mittauksista tulee laatia epävarmuuslaskelma, joka sisältää kaikki lähtösuureet korjaimineen ja herkkyyksineen. Normaalisti laskelma on hyvä laatia taulukko muotoon, jolloin sen laskenta on helpompaa ja mahdollisten virheiden löytäminen helpompaa. Seuraavaksi lasketaan laajennettu epävarmuus kattavuuskertoimen avulla. Tämän jälkeen laskelma on valmis. Ilmoitettaessa tulosta tulee käyttää yleisiä pyöristyssääntöjä, epävarmuuden edessä \pm merkkiä ja järkevää määrää desimaaleja, yleensä kolme riittää, mutta useampaa voi käyttää tarvittaessa (Esala, Lehto & Tikka 2003 66 – 68.)

5 MITTAUSEPÄVARMUUDEN MÄÄRITTÄMINEN

5.1 Lähtökohdat

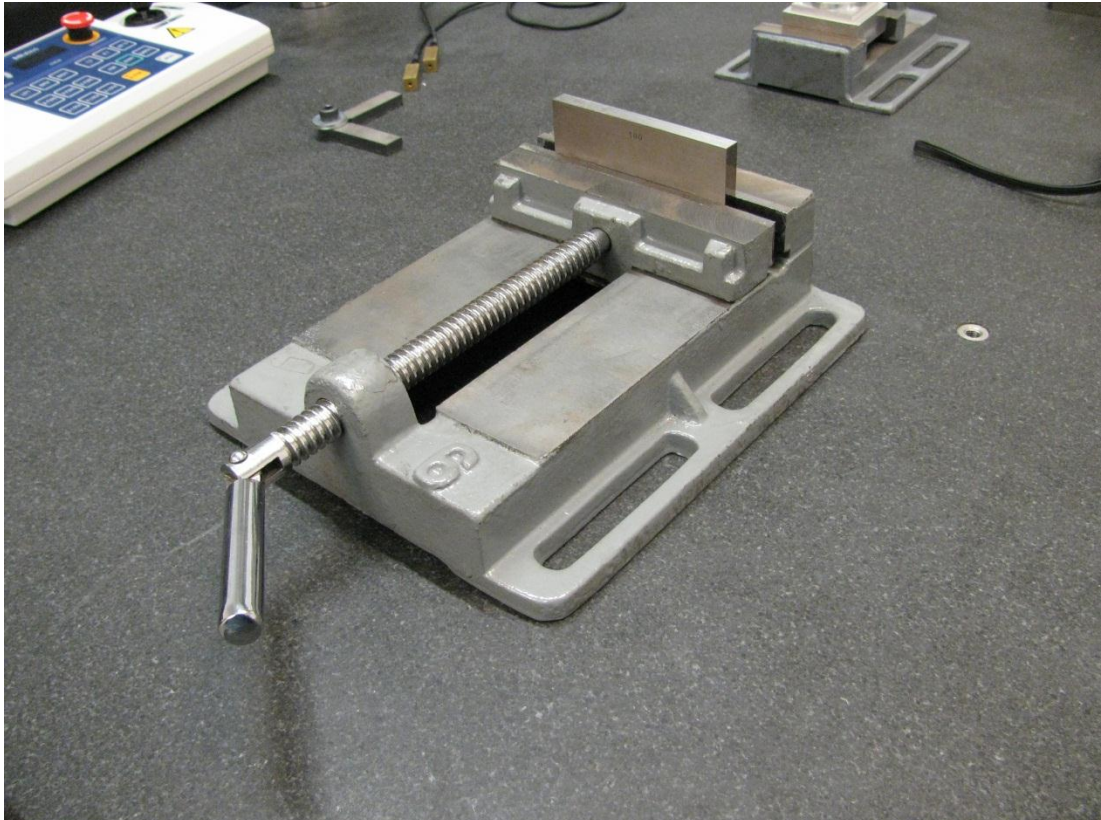
Kokonaismittausepävarmuutta ei ollut määritetty aiemmin koulun koordinaattimittauskoneelle ja koululla ei kenelläkään ollut täyttä tietämystä määrittämisen teoriasta ja käytännöstä. Mittausepävarmuuden määrittäminen auttaisi parantamaan koululla tapahtuvaa laadunvalvontaa ja yrityksille tehtävien mittauksien tarkkuuden parempaa tietämistä. Palvelua pystytään myös tämän jälkeen markkinoimaan paremmin yrityksille, mittausepävarmuus on tarkasti tiedossa.

5.2 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuuden määrittäminen aloitettiin lähdetietojen hankkimisella. Tällaisia, määrittämisen kannalta oleellisia lähteitä ovat, standardit ISO 14523 – 2 ja siihen perustuva suositus EA-4/02. Näistä saatiin standardissa olevat määrittämistavat ja menetelmät. Standardi ei kuitenkaan ole määrittely suoraan koordinaattimittauskoneen epävarmuuden määrittelemiseen, vaan on enemmänkin yleisluontoinen ja mikrometreille tarkoitettu. Suosituksessa taas kerrotaan standardin pohjalta epävarmuuden määrittäminen yksityiskohtaisemmin koneelle. Muita lähdetietoja olivat koneen kalibrointitodistukset ja esitteissä luvatut epävarmuudet.

Mittauksien kautta saavutettuja lähtöarvoja olivat mittaustilan lämpötilan ja kosteuden vaihtelut. Nämä vaihtelut mitattiin kahdella eri mittarilla, joiden välillä oli jonkin verran tarkkuuseroja. Kappaleen ja koneen lämpötiloja mitattaessa käytettiin myös koneen omia lämpötila-antureita. Itse koneella mitattiin sen toistettavuuden ja uusittavuuden aiheuttamat epävarmuudet. Testien läpiviemisessä käytettiin 100 mm mittapalaa, vaikka mittapalan pituudella ole mitään väliä toistettavuus ja uusittavuus testejä tehdessä.

Testeissä selvitettiin myös koneen akseleiden väliset epävarmuudet rengastulkin avulla. Tässä testissä mitattiin tulkin halkaisijaa liikuttamalla kerrallaan vain yhtä akselia. Sen jälkeen kun halkaisijat oli mitattu XY-tasossa, käännettiin tulkki XZ-tasoon, jolloin sama testi voitiin toistaa siinä tasossa. Tämän jälkeen tiedettiin akselien väliset mittaheitot.



Kuvio 14. Kuva toistettavuus testien kappaleesta kiinnityksineen.

5.3 Lähtöarvot

Koneen edellisen kalibroinnin yhteydessä määritetty MPE_e mittausepävarmuus otettiin huomioon kokonaisuudessaan. Tämä oli koneelle tehdyistä kalibroinneista kolmas, joten koneen ajautumaa ja koneen iän tuomaa epävarmuutta ei vielä pystynyt arvioimaan kunnolla. Epävarmuus edellisessä kalibroinnissa koneelle oli $MPE_e = 0,4 \times 6,6 \times 10^{-6} \times L$, jossa L tarkoittaa kaavaan syötettävää, mitattavasta pituudesta johtuvaa virhettä.

Esimerkiksi mitattaessa 100 millimetrin kappaletta, syötetään kappaleen mitta millimetreinä kohtaan L kaavassa ja vastaukseksi saadaan mikrometrejä. Tällöin pituuden epävarmuudeksi saadaan $\pm 0,4 \mu\text{m}$. Anturista johtuva virhe mittauksessa on edellisessä kalibroinnissa saavutettu $\pm 0,6 \mu\text{m}$, kun se koneen lähtötiedoissa se ilmoitetaan olevan $\pm 1,7 \mu\text{m}$. Anturista johtuvassa virheessä on otettu huomioon myös mittausvoimista johtuvat virheet anturille, joten näitä ei tarvitse ottaa huomioon mittausepävarmuutta määritettäessä.

Mittauksissa käytetyn mittapalan tarkkuusluokka oli yksi, joten sen pituuden epävarmuus oli $\pm 0,6 \mu\text{m}$. Vaikka toistettavuus testeissä käytetyllä kappaleella ollutkaan merkitystä, on kuitenkin mitattavan kappaleen pinnanlaatu otettava huomioon, mikä tulee esiin mittapalan epävarmuudesta.

Mittaustilan lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin kahdella eri anturilla, joilla saatiin muodostettua lämpötilojen vaihtelusta ja lämpölaajenemisesta johtuvat epävarmuudet. Suhteellista kosteutta vain seurattiin, ettei se ylitä tiettyjä raja-arvoja. Anturit mittasivat lämpötilaa ja kosteutta joka neljäs minuutti, ensimmäisessä vaiheessa klo 10–16 ja toisessa vaiheessa ympärivuorokautisesti. Mittauslaitteen ja kappaleen lämpötilaa mitattiin koneen omilla lämpötila-antureilla. Tällöin saatiin tarkempaa tietoa kappaleen lämpötiloista, kuin kahdella erillisellä mittarilla, Mittauspöydän ja kappaleen lämpötilavaihtelut olivat mittausjaksolla välillä $19,8^\circ - 20,7^\circ$ astetta. Kappaleet tulisi standardin ISO 14523- 2 mukaan mitata 20° asteen lämpötilassa. Myös kaikki epävarmuudet koneelle ja mittanormaaleille on määritetty 20° asteen lämpötilaan. Mittaustilan lämpötilaerojen vaihtelu oli $3,6^\circ$ astetta. Tämä vaikuttaa mitattavan kappaleen lämpötilan tasaisuuteen mitattaessa ja se oli otettava huomioon toistettavuus testejä tehtäessä. Tällöin niitä ajettiin eri aikaan työpäivän aikana ja mitaustilassa pyrittiin toistamaan mittaukset mahdollisimman erilaisissa olosuhteissa, jotta niille saataisiin

Kappaleen lämpölaajenemisesta johtuva epävarmuus saatiin ottamalla teräksen lämpölaajenemiskerroin $L = 12 \times 10^6 \times (C^\circ - \Delta C^\circ)$, jossa C°

tarkoittaa kappaleen lämpötilaa ja ΔC° tarkoitetaan standardin mukaista 20° asteen lämpötilaa. Tämän jälkeen, kun lämpötila on mitattu, kerrotaan tulos lämpötilan jakauman mukaisella kertoimella. Lämpötilan jakauma on määritetty standardissa U- jakauman mukaiseksi, jolloin saatu tulos kerrotaan kertoimella 0,7. Mittaustilan lämpötilaerojen jakauma saadaan seuraavasta kaavasta $U = \frac{Max-Min}{2\sqrt{2}}$, jossa Max tarkoittaa lämpötilaerojen maksimiarvoa ja Min minimiarvoa. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan tiedetä jakauman muotoa, joten sen oletettiin olevan U- jakauman muotoinen.

5.4 Tulokset

Taulukko 1. Toistettavuuden laskentakaavat.

Pvm	Lämpötila	Numero	Lukema: xi	Lämpölaajeneminen	xi -mx	(xi -mx) ²
28.9.	20,2	1	99,935	0,00024	-0,0125	0,0001563
29.9.	19,8	2	99,934	-0,00024	-0,0135	0,0001823
30.9.	19,8	3	99,936	-0,00024	-0,0115	0,0001323
3.10.	20,5	4	99,937	0,0006	-0,0105	0,0001103
4.10.	19,8	5	99,944	-0,00024	-0,0035	1,225E-05
5.10.	20,2	6	99,935	0,00024	-0,0125	0,0001563
6.10.	20,7	7	99,937	0,00084	-0,0105	0,0001103
6.10.	20,2	8	99,933	0,00024	-0,0145	0,0002102
10.10.	20,5	9	99,997	0,0006	0,0495	0,0024502
11.10.	20,6	10	99,987	0,00072	0,0395	0,0015603
	Summa		999,475		0,00	0,0050805
	Keskiarvo		99,9475			

Toistettavuuden epävarmuus

$$uA(xi) = \sqrt{\frac{s^2(x_i)}{n}}$$

$$uA(xi) = 0,007513322$$

Kuten taulukosta 1. voi lukea, kaksi viimeistä mittaustulosta ovat noin 0,05 mm suurempia kuin aiemmat tulokset. Aiempien tuloksien keskinäinen poikkeama on alle 0,01 mm:n luokkaa, joten nämä kaksi viimeistä aiheuttavat toistettavuudelle huomattavan paljon suuremman epävarmuuden. Mutta näiden tuloksien mittaamisessa on tullut systemaattista virhettä, jolloin nämä kaksi tulosta voidaan eliminoida tuloksista. Tällöin käytettäessä kahdeksan tuloksen mukaan tulevaa epävarmuutta kerrotaan tulos korjauskertoimella 1,2. Jos toistoja on vähemmän kuin kymmenen, käytetään korjauskertoimia.

Taulukko 2. Toistettavuuden kaavat korjattuina.

Pvm	Lämpötila	Numero	Lukema: xi	Lämpölaajeneminen	xi -mx	(xi -mx) ²
28.9.	20,2	1	99,935	0,00024	-0,00138	1,89E-06
29.9.	19,8	2	99,934	-0,00024	-0,00238	5,64E-06
30.9.	19,8	3	99,936	-0,00024	-0,00038	1,41E-07
3.10.	20,5	4	99,937	0,0006	0,000625	3,91E-07
4.10.	19,8	5	99,944	-0,00024	0,007625	5,81E-05
5.10.	20,2	6	99,935	0,00024	-0,00138	1,89E-06
6.10.	20,7	7	99,937	0,00084	0,000625	3,91E-07
6.10.	20,2	8	99,933	0,00024	-0,00338	1,14E-05
Summa			799,491		0	7,99E-05
Keskiarvo			99,93638			

Toistettavuuden epävarmuus

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{s^2(x_i)}{n}}$$

$$u_A(x_i) = 0.00113$$

Tällöin saadaan yllä olevasta taulukosta toistettavuudesta johtuvaksi epävarmuudeksi 1,13 µm.

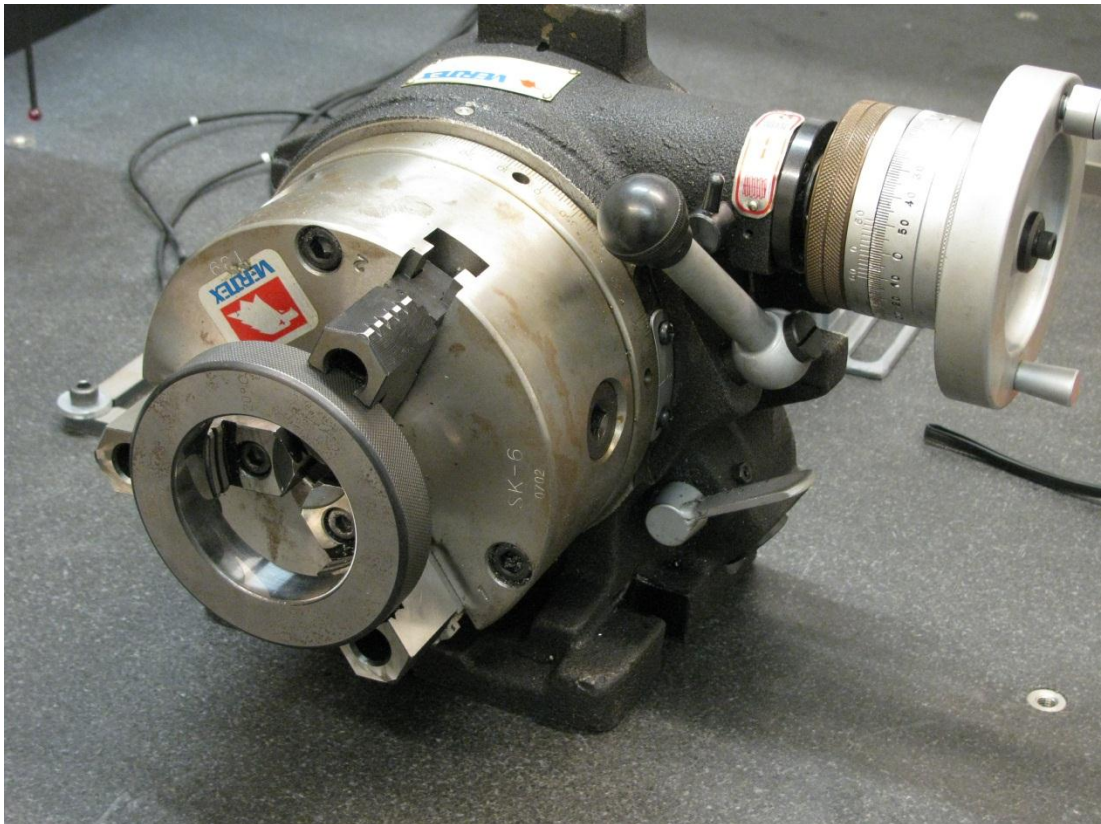
Näin ollen mittausepävarmuudeksi saatiin seuraavan taulukon mukainen tulos.

Taulukko 3. Mittausepävarmuuden laskeminen

<u>Mittausepävarmuus</u>		<u>Teräs</u>		<u>Korjauskerroin epävarmuus epävarmuus²</u>		
			μm			
<u>Lämpölaajenemiskerroin</u>	C°	20,5	0,006	0,7	0,0042	0,00001764
<u>pituudesta johtuva virhe</u>	$L=\text{mm}$	100	0,40066	1	0,40066	0,160528436
<u>Lämpötilan erot</u>	C°	3,6	1,27279221	0,7	0,89095454	0,7938
<u>Anturivirhe</u>			0,6	1	0,6	0,36
<u>toistettavuus</u>			1,13	1	1,13	1,2769
<u>kappaleen pinnan epävarmuus</u>			0,6	1	0,6	0,36
<u>referenssipisteen paikka</u>			0,5	1	0,5	0,25
						1,789202637 μm
				K=	2	3,578405274 μm

Kuten taulukosta 3. voidaan lukea, on mittauskoneen mittausepävarmuus $k=2$ (95 %) kattavuuskertoimella noin $3,6 \mu\text{m}$.

Akseleiden väliseksi heitoiksi mitattiin 70 mm rengastulkilla 90° -asteen käännöllä virheiden poistamiseksi $X= 70,006 \text{ mm}$, $Y= 70,009 \text{ mm}$ ja $Z= 0,008 \text{ mm}$.



Kuvio 15. Kuva akselitestien kappaleesta ja kiinnityksestä

Tulos on hyvällä tasolla käyttötarkoitukseensa nähden, sillä mittakone on hankittu tuotantoa palvelevaan mittaukseen jolloin pienemmät epävarmuusluokat eivät ole tarpeellisia. Myöskään akseleiden väliset erot eivät ole liian suuria, vaan ovat vielä hyväksyttävien rajojen sisällä. Vertailutuloksia muihin samassa käyttötarkoituksessa oleviin mittalaitteisiin saimme selvitettyä Sisu Acgolta, joiden mittauskoneiden epävarmuudet olivat $\pm 3-5$ mikrometrin luokkaa tuotantoa palvelevilla koneilla (Moisio 2011.) Tampereen Teknillisen Yliopiston mittakoneeseen, joka on akkreditoitu erittäin tarkkaan mittaamiseen ja laboratoriotasoiisiin mittauksiin. Tämän koneen epävarmuus on noin $\pm 0,5 \mu\text{m}$ jolloin se on erittäin tarkka (Ristonen 2011.) Erona tuotantoa palvelevan mittauskoneen ja laboratoriokäyttöön tarkoitetun mittauskoneen epävarmuuksilla on se, että tuotannon koneella epävarmuus pyritään määrittämään mahdollisimman pieneksi ja

laboratoriokoneella mahdollisimman suureksi. Tämä johtuu mittauskoneilla tehtävien mittauksien luonteesta, sillä laboratoriotasoisessa mittauksessa mittauksen pitää olla mahdollisimman tarkkaa ja kaikki vaikuttavat tekijät täytyy tietää (Ristonen 2011.) Taasen tuotantoa palvelevan koneen käyttäjät luottavat kalibroinneista saatuihin arvoihin ja tarvitsevat pelkästään niitä (Moisio 2011.)

Akseleiden väliset erot ovat myös hyväksyttävällä tasolla, eivätkä ne ole kasvaneet liian suuriksi. Akseleiden välisiin eroihin ovat ulkopuoliset tekijät suurimpina vaikuttimina, sillä esimerkiksi pöydän likaisuus voi vaikuttaa konelaboratorion mittakoneella y-akselin liikuttamiseen huomattavasti.

5.5 Mittausepävarmuuden soveltaminen käytäntöön

Käytännön mittaamisessa epävarmuudella tarkoitetaan, kuinka mittausepävarmuus otetaan huomioon mitattaessa kappaleita. Kappaleiden ollessa toleroituina tarkkoihin mittoihin, vaaditaan myös mahdollisimman tarkkaa tietämystä mittausepävarmuudesta ja sen suuruudesta. Varsinkin, jos kappaleen muodot ovat erittäin tarkkoja, esim. ympyrämäisyys, on täydellisen muodon mittaaminen lähes mahdotonta. Tällöin tehdään vertailumittaus samankokoiseen, kalibroituun rengastulkkiin, josta tiedetään erittäin tarkasti sen halkaisija ja sen ympyrämäisyys. Tällöin pystytään vertailemaan niiden muotoja, jolloin saadaan käsitys kappaleen muodoista, olivatpa ne minkälaisia tapauksia tahansa. Näissä tapauksissa pyritään myös pitämään mittausvoimat mahdollisimman pieninä, jotta anturin voimasta johtuvat virheet olisivat mahdollisimman pieniä ja mittausolosuhteet mahdollisimman tasaisina, jotteivät niistä johtuvat vaihtelut aiheuta suuria epävarmuuksia (Moisio 2011.)

Mittausepävarmuuden pienentäminen on tämän ensimmäisen määrittämisen jälkeen melko helppoa taulukon päivittämistä. Suurimmat ongelmat koulun mittahuoneessa johtuivat lämpötilasta ja suurimmaksi osaksi sen vaihteluista.

Tällöin huonetta tulisi kehittää, ja lähinnä sen ilmastointia, jolloin pystyttäisiin paremmin hallitsemaan lämpötilaa ja sen muutoksia. Toistettavuudesta johtuvaa virhettä pystytään pienentämään tekemällä testejä jatkuvasti, sopivan aikavälein, jolloin siitä saadaan hyöty irti. Pituudesta johtuvaa virhettä ja anturista johtuvaa virhettä voidaan pienentää kalibroimalla kone useammin. Ainoa ongelma tässä kuitenkin on, että koneen täydelliset kalibroinnit vievät aikaa ja rahaa. Tällöin pitää katsoa myös, milloin saavutetaan tässä tapauksessa paras hyöty kalibroinneista. Jos kone kalibroidaan kerran vuodessa, se riittää aivan hyvin tämän suuruisen epävarmuuden ylläpitämiseen. Jos nämä virheet halutaan mahdollisimman pieniksi, tulee konetta kalibroida useammin. Aina kun tehdään joitain mittausepävarmuuteen liittyviä testejä, tulee tiedot päivittää mittausepävarmuustaulukkoon, jolloin sieltä saadaan ajankohtaisia tuloksia. Tällöin muutaman kalibroitikerran jälkeen pystytään huomioimaan myös koneen ajautumaa, mikä tulee ottaa huomioon tulevaisuudessa mittausepävarmuutta määritettäessä.

6 TILOJEN AKKREDITOINTI

Tilojen akkreditoinnilla tarkoitetaan tilojen kehittämistä tiettyyn tilaan ja toiminnan tasoon, jolloin mittauksen ja mittaustulosten laatu paranevat. Akkreditoinnilla on kaksi erilaista vaatimusta. Ensimmäinen ja tärkein on johdon sitoutuminen akkreditoinnin ylläpitoon ja järjestämiseen. Toinen on tilojen ympäristövaikutuksien selvittäminen mittaukseen nähden ja tätä kautta tapahtuva tilojen kehittäminen aina vain tarkempaa mittaamista tukeviin tiloihin. Tässä työssä keskitytään enemmän mittaustilojen olosuhteiden kehittämiseen, kuin johdon sitoutuneisuuden selvittämiseen ja akkreditoinnin ylläpitoon.

Seuraavassa taulukossa on esitelty olosuhdevaatimuksia mittaustiloille, johon mittausten arvoja on verrattu.

Taulukko 4. Tilojen akkreditoinnin tekniset vaatimukset (Esala, Lehto & Tikka 2003 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

Näihin arvoihin ei kannata tuijottaa sokeasti ja luottaa niihin, sillä ne ovat lähinnä ohjeellisia. Tärkeimmät arvot, jotka pitää saavuttaa, liittyvät lämpötiloihin ja niiden vaihteluihin ja suhteellisen kosteuteen tilan eri osissa.

6.1 Konelaboratorion mittausolosuhteet

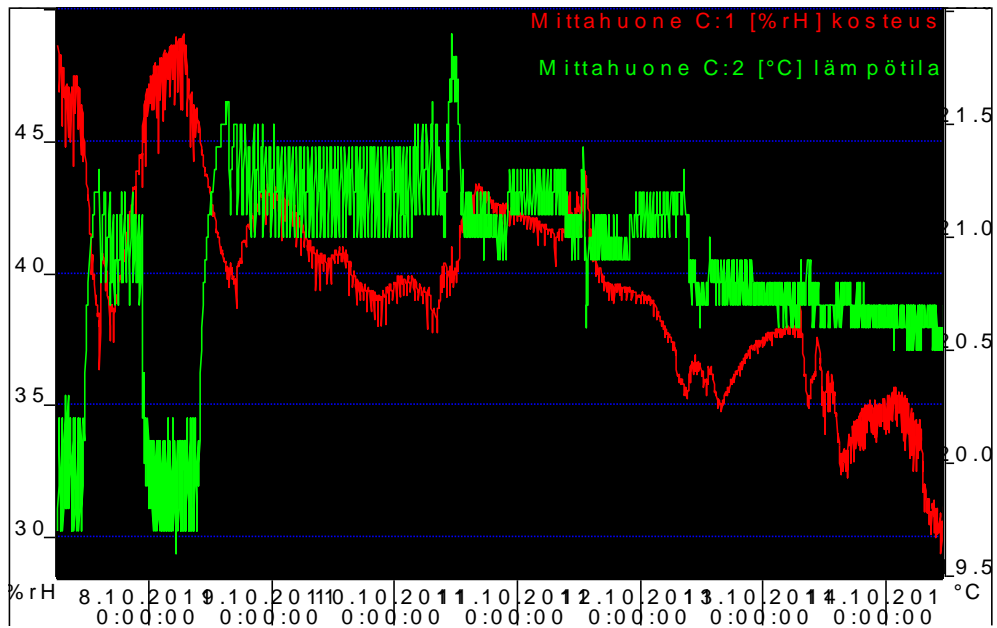
6.1.1 Lämpötila

Lämpötilan vaihtelulle on kolme erilaista vaatimusta, joita tulee tarkastella. Nämä ovat lämpötila työtasossa, lämpötilan vaihtelu mittaustilan eri osissa ja lämpötilan vaihtelu tietyssä ajassa.

Lämpötila vaihtelu työtasossa mitattiin viidessä eri pisteessä koneen mittaustasossa kahdella erilaisella lämpötilan ja kosteuden mittalaitteella. Alimmaksi lämpötilaksi mittaustasolla mitattiin 20.5 °C ja korkeimmaksi 21,0 °C. Suurimmaksi lämpötilan vaihteluksi yhtenä päivänä mitattiin yhden asteen vaihtelu ja pienimmäksi vaihteluväliksi 0,2 astetta. Nämä arvot kattavat normaaleille mittauksille ja vaatimattomille kalibroinneille koskevan vaatimuksen.

Lämpötilan vaihtelu mittaustilan eri osissa mitattiin myös kahdella eri ja kosteuden mittalaitteella. Suurin mitattu lämpötila mittaushuoneessa oli 21,9° ja matalin 18,3°. Tästä on otettava huomioon, että mittaustulokset eivät ole tehty samana päivänä, vaan tämä vaihteluväli on saavutettu eri päivinä mittausajanjaksolla. Tämä noin neljän asteen vaihteluväli kattaa normaaleille mittauksille ja vaatimattomille kalibroinneille vaaditun tason.

Lämpötilan vaihtelu yhden päivän aikana mittausjaksolla oli minimissään 0,3° astetta ja suurimmillaan 2,7° astetta. Tästä maksimituloksesta tulee kuitenkin ottaa huomioon että se on mitattu mittahuoneen ilmastointilaitteen edestä, jolloin ilmastointilaitteen kompensoidessa huoneen kokonaislämpötilaa oikeaksi, mittalaite on saanut liioiteltuja lämpötiloja mitattavakseen. Tällöin seuraavaksi isoimmat lämpötilan vaihtelut ovat 1,8° asteen luokkaa. Tämä kattaa normaaleille mittauksille ja vaatimattomille kalibroinneille asetetun tason.



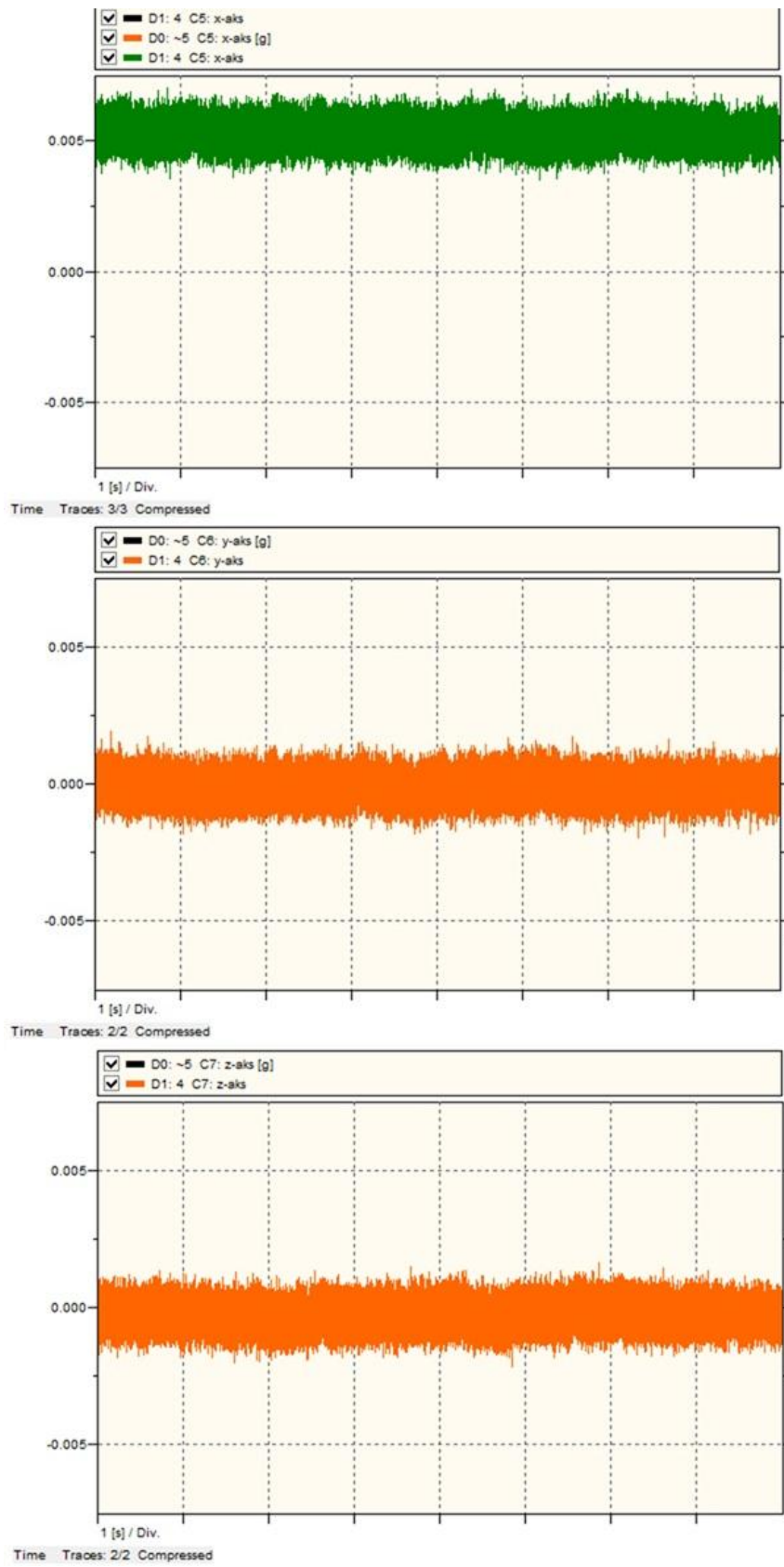
Kuvio 16. Lämpötilan ja kosteuden vaihtelut jälkimmäisellä mittausjaksolla.

6.1.2 Ilman suhteellinen kosteus

Ilman suhteellinen kosteus ei käytännössä vaikuta suoraan mittaukseen ollenkaan. Tämä kuitenkin vaikuttaa tilojen yleiseen puhtauteen ja kappaleiden ruostumiseen. Kun ilman suhteellinen kosteus laskee alle 35 % huoneessa oleva pöly ja lika alkavat liikkumaan herkemmin ilmavirtauksien mukana. Tällöin taas tilojen puhtaanapito vaikeutuu ja se pitää tehdä huolellisemmin. Suhteellisen ilmakehän kosteuden noustessa yli 55 % teräksiset mittalaitteet ja kappaleet alkavat ruostua. Ruostuttuaan teräksisten kappaleiden pinnanlaatu kärsii ja muuttuu epätasaiseksi. Tämä aiheuttaa mittaukseen epävarmuutta ja mittaustulosten heittelyä. Mittaustiloissa mitattu suhteellisen kosteuden jakauma oli välillä 29,4 % ja 67,1 %. On taas otettava huomioon, että maksimitulos on mitattu ilmastointilaitteen edestä, jolloin toinen ääripää on korostunut tässä tapauksessa. Tämä on tulos on myös saavutettu huomattavasti huonommin skaalatulla mittauslaitteella, sillä se on pesty painepesurilla, jolloin sen mitta-asteikko on vääristynyt. Asteikon skaalaus heitti siinä siten, että mitä korkeampia arvoja mitattiin, sitä enemmän mittari näytti lukemalle ylimääräistä.

6.1.3 Värähtely

Värähtelyn vaikutuksella tarkoitetaan, värähtelee kö mittauspöytä tai laite, jos sen lähellä työskentelytilassa ajetaan trukilla tai työstetään työstökoneilla. Tämä saattaa aiheuttaa mittakoneelle pitkäaikaisen vaikutuksen alaisena jopa vaurioita. Värähtelyä mitattiin tarkoitukseen tehdyllä värinänmittauslaitteella, jolla pystyttiin mittaamaan kerralla kaikkien kolmen akselien värähtelyt. Kone on kuitenkin sijoitettu eristetyn laatan päälle ja se on eristetty niin hyvin, etteivät mittarit havainneet taustakohinan takaa minkäänlaista piikkiä mittaukseen. Aiemmissa testeissä mittapöytään piti lyödä kumivasaralla, jotta havaittiin edes jonkinlaista värähtelyä mittauspöydässä. Alla olevasta kuvasta näkee värähtelyjen taajuudet asteikolla g/1s. Antureita ei voitu kiinnittää kunnolla pöytään kiinni liimaamalla, sillä antureita ei olisi tämän jälkeen voinut käyttää muualla. Liimaamisen sijaan anturit kiinnitettiin pöytään kiinni vahalla, jotta antureita voisi käyttää myöhemmin uudelleen muihin mittauksiin. Vaha on kuitenkin siitä huono liitosaine pöydän ja anturin välille, että se vaimentaa jonkin verran värähtelyjä. Testin aikana mittauspöydän vierelle metrin päähän tiputettiin 45 kg painoinen teräslevy, jolloin mittauspöytään ei tullut minkäänlaista, havaittavissa olevaa värinää. Tällöin täytyy todeta, että kone on tukevalla alustalla ja värähtelyt eivät vaikuta siihen lähes lainkaan, jolloin se läpäisee korkeatasoisen kalibroinnin vaatimukset.



Kuvio 17. Pöydän värähtelyn taajuuden kuvaajat

6.1.4 Valaistus

Valaistusta mitattiin kahdella eri luksimittarilla tärkeimmiltä paikoilta mittaushuoneesta. Kahta mittaria käytettiin vertailtavuuden saamiseksi, jotta oltiin varmoja tuloksien oikeellisuudesta. Mittareita myös pidettiin mahdollisimman lähekkäin, jottei paikasta johtuvaa virhettä pääsisi syntymään. Mittauspöydällä valaistuksen tasoja mitattiin kolmesta eri pisteestä, koneen sillan ollessa keskellä pöytää jättäen molemmille puolilleen valoisan alueen ja alleen varjon. Varjossa mittarit antoivat noin 260 luxin lukemia ja valoisilla puolilla, edessä noin 650 luxia ja takaosassa noin 500 luxia. Ero johtuu siitä, että mittaushuoneen yhdellä lampulla on toimintaongelmia ja se ei suostu vaihdoista huolimatta palamaan. Molemmilta mittahuoneen työpöydiltä saatiin tulokset reiluista 600 luxin arvoista. Valaistuksella on lähinnä väliä mittaajan omille silmille. Tämä tarkoittaa, mitä suuremmat valaistuksen erot ovat, sitä enemmän mittaajan silmät joutuvat työskentelemään tottuakseen valon vaihtelevuuteen. Lämpötilan vaihteluihin lamput eivät vaikuta, sillä ne ovat jatkuvasti päällä, jolloin niistä lähtevä lämpö pysyy tasaisena.

6.1.5 Puhtaus

Puhtaudella tarkoitetaan, kuinka paljon mittaushuoneessa on pölyä ja kuinka iso pöly on. Huoneessa olevan pölyyn vaikuttaa eniten ilmastointilaitteen suodattimen toimivuus ja läpäisykyky. Jos suodatin on tukossa, alkaa pölyn määrä ja koko huoneessa kasvaa. Suodattimen toimiessa pölyn koko ja määrä ilmassa ja mittauspöydällä vähenee. Myös tilojen joka viikkoisella siivoamisella pystytään vaikuttamaan huomattavasti huoneessa esiintyvän pölyn määrään. Jollei tiloja siivota, mittaaminen alkaa kärsiä liiasta liasta ja pölystä, jolloin tulokset huononevat. Laboratorion mittaushuoneen puhtaus taso läpäisee vaativalla mittauksella ja tavallisille kalibroinneille vaaditun

tason, sillä ilmastointilaitteen ilmansuodatin ei päästä liian suuria määriä liian suuria hiukkasia lävitse liikkumaan mittahuoneessa.

6.1.6 Ilman virtausnopeus

Ilman virtausnopeudella on koulun mittahuoneessa kaksi vaikutusta. Ensimmäiseksi se saattaa lämmittää tai viilentää kappaletta, jolloin mittauksen epävarmuus kasvaa. Toiseksi lämpötilojen vaihtelut johtuvat pääosin ilmastointilaitteesta lähtevästä ilman virtauksesta, joka aiheuttaa myös lisää epävarmuutta. Vaikutus koneen liikkuville osille on suhteellisen vakio. Tällöin siitä aiheutuvat virheet kompensoituvat pois. Mittaushuoneen ilmastointilaitte on kuitenkin sijoitettu niin, että se puhaltaa tietokoneella työskentelevää mittaajaa päin, jolloin se kompensoi mittaajasta johtuvia lämpötilaeroja pois mittausalueelta. Mutta ilmastointilaitteen lämpötilantureiden ollessa ilmastointilaitteen sisällä, vaikuttaa myös mittaajan läheinen läsnäolo liioittelevasti lämpötilan vaihteluihin näille antureille. Tällöin ilmastointilaitte usein kompensoi liikaa mittaajasta johtuvaa lämpöä viilentäessään tilaa. Mittauspöydän keskeltä mitattuna ilman virtausnopeus oli 0,13 m/s, eli 7800 mm/min. Tämä tulos saattaa kuitenkin olla liioiteltu, sillä ilmanvirtausnopeuden anturia ei ole kalibroitu yli 20 vuoteen ja pienin lukema minkä mittarilla pystyi saamaan oli 600 mm/min. Tällöin sillä ei edes pystytty mittaamaan vaativien mittauksien ja normaalien kalibrointien vaatimalla tasolla.

6.1.7 Melu

Melulla tarkoitetaan mittahuoneen ulkopuolelta tulevien äänien vaikutusta mittaajan viihtyvyyteen ja työskentelykykyyn. Jos melu mittaushuoneessa ylittää 85 dB, tulee mittahuoneessa olevien käyttää kuulonsuojaimia. Melu mitattiin mittahuoneessa, kun mittahuoneen vieressä olevalla CNC- sorvilla sorvattiin kappaletta. Sorvin edestä mitattuna melun ollessa 80 dB, oli

mittaushuoneen melutaso 55 dB. Melun kuvaajan mennessä lineaarisesti, tulee mittaahuoneessa alkaa käyttää kuulonsuojausta sorvin aiheuttaessa 110 dB äänenpaineen.

6.2 Tilojen kehittäminen

Tilojen kehittämiseen on muutamia parannuksia, jotka vaikuttavat paljon tilojen arvojen parantumiseen mittaustiloissa. Valaistuksessa tulisi käyttää sellaisia valoja, jotka eivät lämpene ja valaisisivat mieluummin viistosti sivulta kuin suoraan ylhäältä päin. Valaistuksessa voidaan myös käyttää lämpeneviä lamppeja, mutta tällöin lämmönpoistosta tulee huolehtia. Valoista johtuvan lämmön voi eliminoida kahdella tavalla. Ensimmäinen, ja halvempi, tapa on hankkia lamppejen eteen valon hajottimet, jotka hajoittavat lampuista tulevan valon ja lämmön tasaisesti, eivätkä mitattavat kohteet tällöin pääse lämpenemään. Toinen tapa on johtaa mittaushuoneen ilmanpoisto lamppejen läpi, jolloin poistuva ilma kuljettaa mukanaan valoista johtuvan lämmön. Jos aurinko pääsee paistamaan mittaushuoneeseen, pitää mittaushuoneen ikkunan eteen ostaa sälekaihtimet tai tummennusverhot, jottei auringonvalo pääse vaikuttamaan kappaleen lämpötilavaihteluihin. Verhon tai kaihtimen tulee kuitenkin olla sellainen, että yritysvieraat pääsevät näkemään mittauksien tekoja käymättä itse mittaushuoneessa (Ristonen 2011.)

Toinen lämpötiloihin suuri vaikuttava tekijä on ilmastointilaitte. Ilmastointilaitte on Chillerin valmistama ja siinä on µac carel ohjausyksikkö. Ostettaessa ilmastointilaitetta keskitytään yleensä sen kykyyn viilentää mittaushuone nopeasti. Tässä tapauksessa kuitenkin tämä saattaa aiheuttaa suurempia ilmanvirtausnopeuksia ja suurempia mittaushuoneen ja – alueen lämpötilaerojen vaihteluita. Ostettaessa ilmastointilaitetta tulisi vaatia sellaista ilmastointilaitetta, joka pystyisi pitämään mittaushuoneen lämpötilan mahdollisimman tasaisena mahdollisimman pitkiä aikoja. Tällöin poistuisivat suurimmat mittaushuoneessa olleet, lämpötiloista johtuvat suuret ulkopuoliset virheiden aiheuttajat mittaukseen. Ilmastointikoneella pystytään myös

säätämään mittaushuoneen kosteuksia. Jos mittakone pystyy pitämään suhteellisen ilmankosteuden lähes vakiona, noin 45 %, poistuu myös suuri osa pölystä aiheutuvasta epävarmuudesta ja kappaleet ja mittausvälineet eivät ruostu. Tällöin myös siivoamisen tarve vähenee ja tilat on helpompi pitää puhtaana.



Kuvio 18. Kuva mittaushuoneen ilmastointilaitteesta

Jos haluaa tehdä mittaushuoneesta meluttomamman tilan, tulisi huone äänieristää sen mukaisesti. Tällä hetkellä mittaushuoneessa on suhteellisen ohuet seinät, jotka päästävät melua läpi. Samalla hoituisi huoneen lämmöneristys, jolloin tilojen ulkopuolelta tuleva lämpötilan vaihtelu pienenesi.

Näillä parannuksilla täytettäisiin korkeatasoiselle kalibroinnille vaaditut olosuhteet. Mutta akkreditointia haettaessa pitäisi keskittyä enemmän johdon sitoutuneisuuteen ja laatukäsikirjaan, kuin helposti korjattavissa oleviin teknisiin vaatimuksiin. Johdon sitoutuneisuudella tarkoitetaan, sitoutuuko johto akkreditoinnin vaatimaan laatujärjestelmän ylläpitoon ja mittauksen jatkuvaan kehittämiseen entistä laadukkaampaan suuntaan. Jos johto ei ole näihin sitoutunut, tulee todennäköisesti akkreditointi poistumaan. Akkreditointi on myös yllättävän kallis ylläpitää, jolloin johdon kiinnostus akkreditoinnin ylläpitoon saattaa lopahtaa.

6.3 Testeissä käytetyt mittarit

Lämpötilan mittauksessa käytetyt anturit

- Testo 175 H2
- Extech EA25

Värinän mittauslaite:

- Tiedonkeruu: LMS International SCADAS Mobile SCM 01
- Anturit: PCB PIEZOTRONICS

Äänenpaine: Rion NL-20

Luksimittarit:

- Tes 1332A
- Lutron Lx- 101

Virtausnopeusmittari: Compuflow GGA- 65P

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarve mittausepävarmuuden tutkimiseen tuli jo esille tehdessäni projektia koordinaattimittauskoneella noin vuosi sitten. Mittausepävarmuuden tietäminen KMK:lla on sellaisilla valmistettavilla osilla, joiden täytyy olla tarkkojen toleranssivaatimusten mukaisia. Seinäjoen ammattikorkeakoululla ei ole aiemmin ollut mahdollisuutta toteuttaa mittausepävarmuuden määrittämistä, joten työni teko osui hyvän aikaan.

Mittausepävarmuuden määrittämiseksi oli käytävä läpi alan kirjallisuutta, standardeja ja tehtävä vierailu Tampereen Teknilliseen Yliopistoon tarvittavien lähtötietojen selvittämiseksi. Tärkeimpinä tietoina mittausepävarmuuden selvittämiseksi ovat laskentakaavat ja ohjeet erilaisten koneen suorituskykytestien tekemiseksi. Tärkeää oli myös tietää koneen kalibrointiin ja virheiden eliminointiin vaadittavia asioita, jotta tulosten oikeellisuudesta voitiin olla varmoja.

Mittausepävarmuuden määrittäminen aloitettiin tekemällä erilaisia mittauksia olosuhteista ja niiden annettiin jatkua pisimmillään kahden viikon ajan. Testien aloittamisen jälkeen koneelle tehtiin toistettavuus- ja uusittavuuskokeita, jotka käsittivät käytännössä vain lyhyen ajon päivittäin. Samaan aikaan pystyttiin hankkimaan lähdetietojen antamia epävarmuuden lähteitä kalibrointitodistuksista ja mittapalojen tarkkuusluokista. Mittausepävarmuuden määrittämiseen ei valittu mitenkään erikoisen muotoista tai kokoista kappaletta, vaan siihen käytettiin tavallista mittapalaa. Koska kappaleen koolla tai muodolla ei ole mitään väliä, päädyttiin käyttämään määrittämisessä mittapalaa. Mittapaloja oli myös helppo käyttää, sillä ne olivat heti saatavissa ja ne olivat muodoiltaan helpompia mitata, joten se nopeutti mittausten tekemistä. Toistettavuustestejä olisi pitänyt tehdä aina eri paikoissa ja tasoissa, jotta olisi saatu toistettavuuden epävarmuus laajemmalta mittausalueelta. Tieto tästä tuli kuitenkin niin myöhäisessä vaiheessa, että niitä ei ehditty toteuttaa.

Mittausepävarmuuden määrittäminen aloitettiin jaottelemalla epävarmuudet A- ja B-tyyppien mukaan jolloin tiedettiin, miten ne jakautuvat. A-tyypin epävarmuuksilla tarkoitetaan epävarmuuksia, jotka pystytään toistettavasti mittamaan ja niiden jakaumat tiedetään. B-tyypin epävarmuudet saadaan erilaisista lähdetiedoista ja mittauksista, joista on vaikea muodostaa jakaumaa. Tällaisia mitattavia arvoja ovat esimerkiksi lämpötila ja sen vaihtelu. A-tyypin epävarmuudet vaikuttavat kokonaisina ja B-tyypin epävarmuudet jakaumansa mukaisella kertoimella. B-tyypin epävarmuuksille piti myös laskea vaikutuskertoimet. Vaikutuskerroin määräytyy aina sen mukaan, minkälainen todennäköisyysjakauma mitatuille arvoille tulee. Esimerkiksi lämpötilalle ja sen vaihteluille se on U-jakauman muotoinen, jolloin se saa vaikutuskertoimen 0,7. Kun toistettavuustestit oli suoritettu, pystyttiin laskemaan laajennettu epävarmuus. Tämä laskettiin siten, että kaikki aiemmat epävarmuudet, jotka oli kerrottu vaikutuskertoimella, korotettiin toiseen potenssiin. Tämän jälkeen ne summattiin neliöjuuren sisällä, jolloin saatiin kaikkien epävarmuuksien laajennettu epävarmuus. Kokonaisepävarmuuden laskemisen jälkeen tulos kerrottiin halutun kattavuuskertoimen mukaan, joka oli tässä tapauksessa 2, joka tarkoittaa 95 % epävarmuutta. Kattavuuskertoimella tarkoitetaan kerrointa, kuinka paljon se kattaa jakaumassa olevasta alueesta. Mitä pienempi kerroin, sitä pienempi epävarmuusalue tulee jakaumassa. Mittakoneen mittausepävarmuudeksi saatiin näiden testien ja laskujen jälkeen $3,6 \mu\text{m}$.

Tulos on hyvällä tasolla käyttötarkoitukseensa nähden, sillä mittakone on hankittu tuotantoa palvelemaan mittaukseen jolloin pienemmät epävarmuusluokat eivät ole tarpeellisia. Vertailutuloksia muihin samassa käyttötarkoituksessa oleviin mittalaitteisiin ei ole, mutta Tampereen Teknillisen Yliopiston mittakoneeseen, joka on akkreditoitu erittäin tarkkaan mittaamiseen. Tämän koneen epävarmuus on noin $\pm 0,5 \mu\text{m}$ jolloin se on erittäin tarkka.

Tilojen akkreditoinnista käytiin läpi sille vaadittavat, ulkopuolisia muuttujia koskevat, arvot. Näitä olivat lämpötila ja sen vaihtelut, ilman suhteellinen

kosteus, värinä, ilman virtausnopeus, tilojen valaistus, tilojen puhtaus ja mittaus tilan ulkopuolelta kantautuva melu. Lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta seurattiin koko mittausajanjakso ja muita testattiin kerran otollisissa olosuhteissa simuloiden niille niiden mahdollisia maksimiarvoja. Mitatut arvot olivat kohtuullisen hyviä koulun mittatiloissa ja melko helposti parannettavissa akkreditoinnin vaatimustasoon.

Opinnäytetyö sujui projektina hyvin ja mittausepävarmuuden määrittäminen onnistui hyvin. Mittausepävarmuutta määritettäessä tulee kuitenkin muistaa, että se on aina arvio eikä välttämättä ole oikea. Täysin oikeaa mittausepävarmuutta ei pysty määrittämään millekään mittalaitteelle, vaan jopa kansainvälisissä metrin määritelmämitoissa on epävarmuus, josta ei tiedetä, onko se tarkka. Akkreditoinnin vaatimat mittaukset onnistuivat ja kertoivat mittahuoneen todelliset puutekohdat, joita voi jatkossa lähteä kehittämään. Nämä parannukset on vielä suhteellisen helppoja tehdä, jolloin jopa vaativan kalibroinnin taso olisi saavutettavissa.

Työn suoritukseen seuraavilla kerroilla tulisi tehdä seuraavat parannukset. Toistettavuutta tulisi mitata eri paikoissa ja tasoissa, jotta saataisiin parempi käsitys koko mittausalueen epävarmuudesta. Lämpötilan mittauksia tulisi myös tehdä mahdollisimman erilaisina vuodenaikoina, jotta tiedettäisiin ulkoisista tekijöistä johtuvat lämpötilojen vaihtelut paremmin.

LÄHTEET

Andersson, P.H. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. WSOY Konepajan tuotantotekniikka. Helsinki. WSOY.

Aumala O. 1989. Mittaustekniikan perusteet. 9., korjattu painos. Oy Yliopistokustannus/Otatieto.

Esala. V-P. Lehto. H. & Tikka. H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Teknologiateollisuus. Tekninen tiedotus 3.Tampere. Tammerpaino Oy

Mikes. 2005. Laserista kaikki varmuus irti – Lasermittaus. [www- dokumentti].

Mikes. [viitattu 27.10.2011.] Saatavissa:

<http://www.mikes.fi/documents/upload/pituus-interferometria.pdf>

Mikes. Infernometria. [www- dokumentti]. Mikes [viitattu 23.10.2011].

Saatavissa:

<http://www.mikes.fi/frameset.aspx?categoryID=3&url=page.aspx%3FpageID%3D886%26contentID%3D416>

Moisio M. 2011. Laatujohtaja. Agco Sisu Power Oy. Puhelinhaastattelu. 2.12.2011.

Ristonen T. 2011. Laboratorioinsinööri. TTY. Haastattelu 7.10.2011.

Tikka H. 2009. Koordinaattimittaus. Tampereen Yliopistopaino OY – Juvenes Print. Tampere. Juvenes Print

Tikka H. 2005. Ohutlevytuotteiden ja työkalujen mittaaminen. [www- dokumentti]. TTY. [viitattu 27.10.2011.] Saatavissa:

http://www oulu.fi/http://www oulu.fi/fmt/FMT5/PDF/MittausWorkShop280205/Heikki_Tikka_Ohutlevymittaus_280205.pdf

TKK. 2008. Mittausepävarmuus luento. [www- dokumentti]. TKK. [viitattu 20.10.2011]. Saatavissa:

http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.1010/Luento7_2007.pdf

LIITTEET

Liite 1. Lämpötilan ja kosteuden mittauksen tuloksia

Päivä	Kosteus%		Lämpötila °C		Mittauspaikka nro
	Min	Max	Min	Max	Layoutissa
26.9.	40,9	54,2	19	20,8	1
27.9.	42,5	52,9	18,7	20,3	1
28.9.	42	50,2	18,3	21	2
29.9.	45,6	58,2	18,6	20,3	3
30.9.	57	67,1	18,8	20,3	3
7.10.	36,4	48,2	19,7	21,3	4
8.10.	38,7	49,1	19,6	21,6	4
9.10.	38	43,3	21	21,4	4
10.10.	37,8	43,4	20,9	21,9	5
11.10.	38,9	43,9	20,6	21,4	6
12.10.	34,8	39,2	20,6	21,3	7
13.10.	32,3	39,6	20,6	20,9	8
14.10.	29,4	36,6	20,5	20,7	8

Liite 2. Värinän mittauksen tuloksia X- akselilta

Traces

Trace 1		Trace 2		Trace 3	
General		General		General	
Dataset	D1: 4	Dataset	D0: ~5	Dataset	D1: 4
Date	05.10.11	Date		Date	05.10.11
Time	14:28:31	Time		Time	14:28:31
Title 1		Title 1		Title 1	
Title 2		Title 2		Title 2	
Title 3		Title 3		Title 3	
Channel	C5: x-aks	Channel	C5: x-aks	Channel	C5: x-aks
Y-Unit		Y-Unit	[g]	Y-Unit	
Sensor		Sensor		Sensor	
Dimension		Dimension		Dimension	
Point ID		Point ID		Point ID	
Point Direction		Point Direction		Point Direction	
Information 1		Information 1		Information 1	
Information 2		Information 2		Information 2	
Information 3		Information 3		Information 3	
Information 4		Information 4		Information 4	
FS	51 200,000			FS	51 200,000
XMIN	,000			XMIN	,000
XMAX	22640,000			XMAX	22640,000
YMIN	,003			YMIN	,003
YMAX	,007			YMAX	,007
YMEAN	,005			YMEAN	,005
YRANGE	,004			YRANGE	,004
YRMS	,005			YRMS	,005
VARIANCE	,000			VARIANCE	,000
STDDEV	,000			STDDEV	,000

XY-Values		
	X	Y
	[s]	[g]
	0,000	0,000
	0,002	0,000
	0,004	0,000
	0,006	0,000

Liite 3. Mittahuoneen Layout ja lämpötilan ja kosteuden mittauspisteet

