



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# Koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuus

Riku Ellonen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2016  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät  
Tuotantotalous



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernit tuotantojärjestelmät, Tuotantotalous

ELLONEN, RIKU:

Koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuus

Opinnäytetyö 25 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Joulukuu 2016

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Tampereen ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratorio. Työn tarkoituksena on selvittää Tampereen ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratorioon hankitun uuden Mitutoyo CRYSTA-Apex S 574 -koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuus. Tuotantotekniikan laboratorio ja uusi koordinaattimittauskone on tarkoitettu pääasiassa opiskelijakäyttöön, mutta palveluita voidaan tarjota myös muille yrityksille ja yhteistyökumppaneille.

Mittausepävarmuus tarkoittaa mittaustulosten vaihtelua, jolle on säädetty sallitut arvot virherajojen avulla. Mittausepävarmuuden selvittäminen on tärkeää, koska mittaustuloksesta tulee täydellinen vasta, kun se esitetään yhdessä mittausepävarmuuden kanssa. Mittausepävarmuuden huomioiminen on erityisen tärkeää, kun työskennellään tarkkojen toleranssien parissa. Mittausepävarmuuden määrittäminen on määritelty EA-4/02-suosituksessa. Tärkeintä mittausepävarmuuden määrittämisessä on virhelähteiden tiedostaminen ja tunnistaminen sekä laskentakaavojen soveltaminen. Tässä opinnäytetyössä mittausepävarmuuden määrittämiseen käytettiin Tampereen ammattikorkeakoulun omia asetusrenkaita ja mittapaloja. Myös porrasmittapalaa tai reikälevyä voitaisiin käyttää mittausepävarmuuden määrittämiseen.

Mittausepävarmuuden lisäksi selvitettiin mittauslaboratorion olosuhteiden vaihtelua seuraamalla ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteusprosenttia dataloggerilla noin kahden ja puolen kuukauden ajan. Yhtenä tavoitteena oli myös selvittää mittaustilan mahdollista akkreditointia varten tarvittavat kehitystarpeet, toimenpiteet ja tekniset vaatimukset.

Työn tulokset antavat hyvät lähtökohdat mittausepävarmuuden parantamiseen. Tuloksista selvisi, että itse mittauskoneesta johtuvat epävarmuustekijät ovat suhteessa hyvin pieniä ja että mittaustulosten luotettavuutta voidaan parantaa ja mittausepävarmuutta pienentää merkittävästi jo yksinkertaisillakin parannuksilla mittaolosuhteisiin.

---

Asiasanat: koordinaattimittaus, mittausepävarmuus,

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Modern Production Systems, Industrial Engineering and Management

ELLONEN, RIKU:

Uncertainty of Measurement of a Coordinate Measuring Machine

Bachelor's thesis 25 pages, appendices 1 page  
December 2016

---

The client for this Bachelor's thesis is the laboratory of production engineering in Tampere University of Applied Sciences. The purpose of this thesis is to evaluate the uncertainty of measurement for the newly acquired Mitutoyo CRYSTA-Apex S 574 coordinate measuring machine in the laboratory of production engineering in Tampere University of Applied Sciences. The laboratory of production engineering and the new coordinate measuring machine are mainly for student use but the services may also be offered to other companies or associates. One of the objectives is also to find out the necessary actions, improvements and technical requirements for a possible accreditation of the measuring laboratory.

The uncertainty of measurement means the permissible variation of the measurement results. Evaluating the uncertainty of measurement is important because the measurement result is complete only when it is displayed along with the uncertainty of measurement. Including the uncertainty of measurement is crucial especially when working with objects with strict tolerances. Evaluating the uncertainty of measurement is determined in the EA-4-02 reference. The most important things in evaluating the uncertainty of measurement are recognizing and being aware of the sources of error and applying the calculation formulas. Block and ring gauges are used for evaluating the uncertainty of measurement in this thesis. Step gauge or a perforated plate could also be used for the evaluation.

Along with the uncertainty evaluation the variation of the surrounding conditions in the measuring laboratory was monitored. The temperature and the relative humidity inside the laboratory is tracked with a datalogger for about two and a half months.

The results of this thesis provide a good basis for improving the uncertainty of measurement. The results make clear that the uncertainty factors caused by the measuring machine itself make up a very small proportion of the whole uncertainty and that the reliability and the uncertainty of the measurement can be improved significantly by improving the surrounding conditions even with some simple alterations.

---

Key words: coordinate measuring, uncertainty of measurement

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MITTAUSLABORATORIO.....	6
2.1	Mittauslaboratorio.....	6
2.1.1	Koordinaattimittauskone Mitutoyo CRYSTA-Apex S 574.....	6
2.2	Ilman lämpötila- ja kosteusmittaukset .....	7
2.2.1	Testo 177 H1 .....	7
2.2.2	Tulokset.....	7
3	AKKREDITOINTI.....	9
3.1	Mittauslaboratorion akkreditointi .....	9
3.2	Parannusehdotukset .....	10
4	MITTAUSEPÄVARMUUDEN MÄÄRITTÄMINEN .....	12
4.1	Teoria.....	12
4.1.1	Teollinen mittaus.....	12
4.1.2	Koordinaattimittaus.....	12
4.1.3	Mittausprosessi.....	13
4.1.4	Mittausohje.....	14
4.1.5	Mittausepävarmuus .....	15
4.2	Mittausepävarmuuden määrittäminen.....	15
4.2.1	Mittaus- ja lähtösuureet.....	15
4.2.2	Lähtösuureiden arviointi .....	16
4.2.3	Toistettavuuden laskeminen.....	17
4.2.4	Mittausepävarmuuden laskeminen.....	19
4.2.5	Tulosten analysointi .....	20
5	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	22
6	LÄHTEET .....	24
7	LIITTEET.....	25

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selvittää Tampereen ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratorioon hankitun uuden Mitutoyo CRYSTA-Apex S 574-koordinaattimittauskoneen mittausepävarmuus. Mittausepävarmuuden lisäksi selvitetään mittaushuoneen olosuhteiden vaihtelua seuraamalla ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteusprosenttia dataloggerilla noin kahden ja puolen kuukauden ajan. Yhtenä tavoitteena on myös selvittää mittaustilan mahdollista akkreditointia varten tarvittavat toimenpiteet, kehitystarpeet ja tekniset vaatimukset. Työssä esitellään myös parannusehdotuksia mittausolosuhteiden parantamiseksi.

Kaikki mittaustulokset ovat aina vain arvioita eivätkä koskaan absoluuttisia arvoja mitatusta kohteesta. Kun työskennellään tarkkojen toleranssien kanssa, vaaditaan myös mittalaitteilta äärimmäistä tarkkuutta ja mitattuihin arvoihin on pystyttävä luottamaan. Mittausepävarmuuden selvittäminen on tämän takia tärkeää, koska mittaustuloksesta tulee täydellinen vasta, kun se esitetään yhdessä mittausepävarmuuden kanssa. Mittausepävarmuus tarkoittaa mittaustulosten vaihtelua, jolle on säädetty sallitut arvot virherajojen avulla. Mittausepävarmuus koostuu sekä ulkoisista että inhimillisistä syistä johtuvista mittausvirheistä.

Mittausolosuhteet ovat yksi mittausepävarmuuden merkittävimmistä tekijöistä. Erityisesti lämpötila on otettava huomioon, koska se vaikuttaa mitattavan kappaleen ja mittalaitteen lämpölaajenemiseen. Akkreditoinnilla taas voidaan todistaa mittausolosuhteiden ja muiden vaatimusten olevan halutulla tasolla.

Jokaiselle tämän työn kolmelle pääkysymykselle (mittausolosuhteet, akkreditointi ja mittausepävarmuuden määrittäminen) on omat kappaleensa. Opinnäytetyön kappaleessa 2 käsitellään mittauslaboratoriota, siellä suoritettuja ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteusprosentin mittauksia sekä itse koordinaattimittauskonetta. Kappaleessa 3 keskitytään akkreditointiin ja sen vaatimuksiin sekä esitetään parannusehdotuksia. Kappaleessa 4 käsitellään mittausepävarmuuden määrittämistä ja laskemista.

## 2 MITTAUSLABORATORIO

### 2.1 Mittauslaboratorio

Koordinaattimittauskone sijaitsee Tampereen ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratoriossa olevassa huoneessa F0-20. Huoneessa on koordinaattimittauskoneen lisäksi kaksi tietokonetta, hyllyjä sekä työkaluvaunu mm. koordinaattimittauskoneen kiinnittimille ja muille tarvikkeille. Huoneen pinta-ala on n. 18,5 m<sup>2</sup> ja tilavuus n. 48,7 m<sup>3</sup>. Huoneessa on lukittava ovi, joka aukeaa kulkukortilla, jos kulkuluvat ovat kunnossa. Huoneessa on myös suuri ikkuna, jonka läpi vierailijat voivat seurata huoneen ulkopuolelta mittauskoneen toimintaa häiritsemättä mittausta tai mittaajaa.

#### 2.1.1 Koordinaattimittauskone Mitutoyo CRYSTA-Apex S 574

Mitutoyo CRYSTA-Apex S 574 on CNC-ohjelmoitava koordinaattimittauskone, jolla on erinomaiset tarkkuusominaisuudet (TAULUKKO 1). Mittauskone kuuluu Mitutoyon CRYSTA-Apex S-mallistoon, johon kuuluu vielä erikseen neljä eri kokoluokan sarjaa, 1200-sarja, 900-sarja, 700-sarja sekä 500-sarja, johon myös CRYSTA-Apex S 574 kuuluu. Mitutoyo markkinoi CRYSTA-Apex S-mallistoa ”Tehokkaina ja edullisina CNC koordinaattimittauskoneina, jotka täyttävät kansainväliset standardit”. Mallin nimi, 574, tulee mittauskoneen akseleiden toiminta-alueiden pituuksista, X-akseli 500 mm, Y-akseli 700 mm ja Z-akseli 400 mm. (Mitutoyo)

TAULUKKO 1. Koordinaattimittauskoneen ominaisuuksia

Liikenopeus	8-300 mm/s (CNC) 0-80 mm/s (käsiäjo)
Maksimi mittausnopeus	8 mm/s
Resoluutio	0,0001 mm
Suurin sallittu mittausvirhe	1,7+3L/1000 µm
Työkappaleen suurin sallittu korkeus	545 mm
Työkappaleen suurin sallittu massa	180 kg

CRYSTA-Apex S-sarjan koneissa on lämpötilan kompensatiojärjestelmä. Mitutoyo takaa, että järjestelmä pitää huolen mittausten tarkkuudesta kun mittauslämpötilat pysyvät välillä 16-26 °C. Järjestelmään kuuluu lämpötila-anturit, jotka voidaan asettaa mitattavan kappaleen pinnalle. Järjestelmä mittaa kappaleen lämpötilan ja laskee käyttäjän aiemmin syöttämän työkappaleen materiaalille ominaisen pituuden lämpötilakertoimen ja mitatun tuloksen avulla, mitä mittaustulos olisi 20 °C -asteen lämpötilassa.

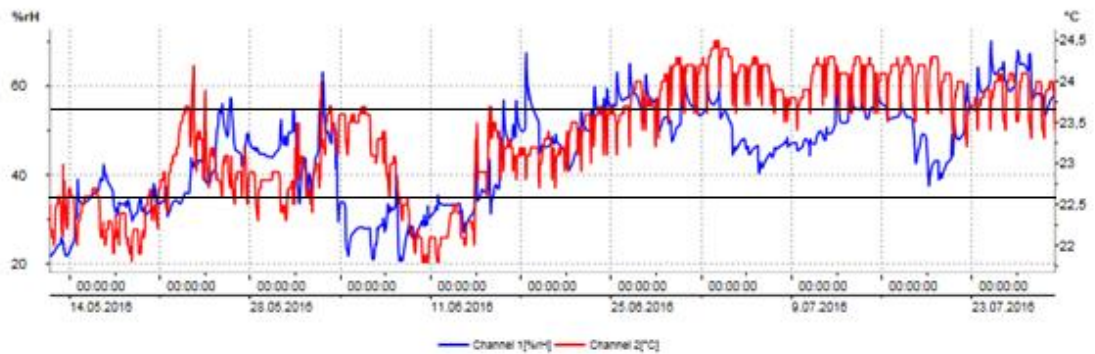
## **2.2 Ilman lämpötila- ja kosteusmittaukset**

### **2.2.1 Testo 177 H1**

Mittaushuoneen ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteusprosenttia seurattiin Testo 177 H1-dataloggerilla. Laite voidaan ohjelmoida yhdistämällä se tietokoneeseen, jossa on Testo ComSoft-ohjelma. Ohjelmalla määritellään mm. mitä halutaan mitata, tässä tapauksessa lämpötila ja kosteus, mittauksen ajankohta ja kesto sekä mittausintervalli eli aika, jonka välein laite tallentaa mitatut arvo muistiinsa. Dataloggerin tarkkuudeksi on manuaalissa määritelty kosteusmittauksille  $\pm 2$  %RH ja lämpötilamittauksille  $\pm 0,5$  °C. (Testo)

### **2.2.2 Tulokset**

Testo 177 H1-dataloggerilla mitattiin jatkuvasti mittauslaboratorion lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteusprosenttia. Laite tallensi viiden minuutin välein lämpötilan ja ilman kosteuden arvot muistiinsa 12.5.-29.7.2016 välisenä aikana. Seurantakäyrää (KUVIO 1) silmäilemällä huomataan nopeasti, että huoneen lämpötila liikkuu selvästi optimaalisen 20-celsiusasteen yläpuolella. Alinkaan mitattu lämpötila (21,80 °C) ei yllä kovin lähelle toivottua (TAULUKKO 2). Keskilämpötila seurantajaksolla oli 23,34 °C, joten kovin hyvistä mittausolosuhteista ei voida puhua, vaikka mittauskoneessa lämpötilan kompensatiojärjestelmä onkin.



KUVIO 1. Lämpötilan ja ilman kosteuden seurantakäyrät. Sinisellä ilman suhteellinen kosteusprosentti ja punaisella ilman lämpötila. Mustat viivat edustavat kosteusprosentin ylä- ja alarajoja.

TAULUKKO 2. Taulukko seurantajakson tuloksista

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Lämpötila °C	21,80	24,50	23,34
Kosteusprosentti	20,40	70,30	45,130

Kosteusprosentinkin vaihtelee huomattavan suurella välillä. Ilman suhteellisen kosteusprosentin mitattu minimi oli 20,40 % ja maksimi 70,30 %, jotka molemmat ovat suositeltujen rajojen ulkopuolella. Mittaustulosten keskiarvo 45,13% sen sijaan osuu hyvin rajojen sisään. Seurantakäyriä tarkkailemalla huomataan, että suurimman osan ajasta ilman suhteellinen kosteusprosentti on ollut sallituissa rajoissa. Mittaushuoneelle suositeltava ilman suhteellinen kosteusprosentti on 35-55%. Alaraja 35% perustuu mm. siihen, että kostea ilma sitoo pölyä kuivaa paremmin. Yläraja 55% perustuu taas siihen, että rajan yläpuolella riski rautametallien ruostumiselle kasvaa. Todellisuudessa kosteusprosenttiin on suhteellisen vaikeaa vaikuttaa, koska vuodenaajat vaikuttavat ilman suhteelliseen kosteusprosenttiin merkittävästi, talvisin ilma on kuivaa, kun taas kesällä ilma on kosteampaa. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003, 19)

Seuranta tehtiin kesäkuukausina, jolloin tilan käyttö on minimissään henkilökunnan ja opiskelijoiden kesälomien vuoksi, joten oven aukomisen tai ihmisten läsnäolon vaikutusta huoneen ilman lämpötilaan ja kosteusprosenttiin on vaikea arvioida. Lisäksi kesäinen sää ja siitä johtuva lämmin ulkoilma saattoi myös vaikuttaa mittaukseen. Mittaus olisi ehkä syytä suorittaa uudestaan hieman kiireisempänä aikana ja viileämpään vuodenaikaan.



### 3 AKKREDITOINTI

#### 3.1 Mittauslaboratorion akkreditointi

Akkreditointi tarkoittaa pätevyyden todentamista ja valtuuttamista. Akkreditoinnin suorittaa jokin ulkopuolinen taho, jolloin arvio on kaikille tasapuolinen ja puolueeton. Akkreditointeja tehdään, koska jotkut yritykset tai organisaatiot saattavat vaatia akkreditointia yhteistyökumppaneiltaan. Akkreditoinnin myötä tulokset ovat tunnustettavissa sekä vaihtokelpoisia akkreditoitujen tahojen kesken, lisäksi akkreditointi saattaa olla merkittävä kilpailuetu akkreditoimattomaan toimijaan verrattuna. (Sinervo, T. 2013)

Tässä tapauksessa akkreditointi tarkoittaisi mittauslaboratorion valtuuttamista tietyn laatuisiin mittauksiin. Jos mittauslaboratorio halutaan akkreditoida vaativia mittauksia varten, tiettyjen ehtojen on täyttyttävä. Suomen kansallinen akkreditointielin FINAS nimeää laboratoriotoiminnan akkreditoinnin edellytyksiksi seuraavat kohdat:

- Toimiva johtamis/laadunhallinta-järjestelmä
- Pätevä henkilökunta
- Validoidut testaus/kalibrointi-menetelmät
- Testausmenetelmien/kalibrointien jäljitettävyyys
- Tehokas laadunvarmistus
- Asiakkaan tarpeita vastaava toiminta

Näiden lisäksi tiloille on annettu tiettyjä teknisiä vaatimuksia (TAULUKKO 3).

TAULUKKO 3. Olosuhdevaatimukset mittaustiloissa. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 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 <sup>7</sup> kpl/m <sup>3</sup>	1 x 10 <sup>7</sup> kpl/m <sup>3</sup>		
Ilman virtausnopeus		< 150 mm/min	< 300 mm/min	Ei tuntuvaa vetoa	Ei selvästi tuntuvaa vetoa
Melu		< 40 dBA	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

### 3.2 Parannusehdotukset

Mittaushuoneen keskilämpötilaa olisi alennettava muutamalla asteella. Tämä onnistuisi parhaiten ilmastointia tehostamalla. Rakennuksessa on keskusilmastointi, jota säätämällä lämpötilaa saataisiin laskettua. Pelkästään mittauslaboratorion ilmastointiin ei voida vaikuttaa keskuilmastointia säätämällä, vaan tällöin koko F-siiven ilmastointia olisi säädettävä, mikä ei kuulosta kovin mielekkäältä vaihtoehdolta. Lisäksi keskusilmastoinnilla ei voida vaikuttaa ilman kosteuteen (Tiainen, J. 2016). Toinen vaihtoehto olisi tuoda mittahuoneeseen pienikokoinen siirreltävä ilmastointilaitte, jota säätämällä huoneen lämpötilaa voisi nopeasti muuttaa halutuksi. Ilmastointilaitetta varten mittaushuoneen seinään täytyisi porata reikä laitteen poistoilmaletkua varten.

Valaistus aiheuttaa myös ylimääräistä lämpöä mittaushuoneeseen. Valaisimien aiheuttama lämpö riippuu valaisintyyppistä. Loisteputket lämpenevät maltillisesti verrattuna perinteisiin hehkulamppuihin, joiden energian kulutuksesta yli 95% kuluu lämmöntuottoon. Loisteputkien käyttämästä energiasta n. 20% kuluu näkyvän valon tuottoon. Käytännössä loput loisteputken käyttämästä energiasta kuluu lämmöntuottoon. Myös loisteputkilamppujen kuristimet lämpenevät merkittävästi. Esimerkiksi LED-valaisimet ja energiansäästölamput hukkaavat energiaa huomattavasti vähemmän, eivätkä näin ollen lämpene juurikaan. Vaihtamalla valaisimet LED-valaisimiin tai

energiansäästölamppuihin, saataisiin huoneen lämpötilaa laskettua. Myös lämpötilan vaihtelu pienenesi, kun lämpötila ei lähtisi nousuun aina kun valot laitetaan päälle.

Optimaalisen ilman suhteellisen kosteusprosentin ylläpitoon mittaustilaan olisi hankittava laitteistoa ilman kuivaamiseen sekä kostuttamiseen. Talvisin kuivaa ilmaa täytyy kostuttaa ja kesäisin kosteaa ilmaa kuivata, jotta ilman kosteus olisi mittausten kannalta otollinen.

## 4 MITTAUSEPÄVARMUUDEN MÄÄRITTÄMINEN

### 4.1 Teoria

#### 4.1.1 Teollinen mittaus

Mittaukset kuuluvat kaikkeen tuotantotoimintaan erittäin oleellisena osana. Mittauksilla saadaan aikaan luotettavaa informaatiota tuotannosta, jota voidaan käyttää edelleen tuotannon ja tuotteiden kehittämiseksi. Erilaisia mittauksia tehdään teollisuudessa ennen kaikkea laadunvalvonnan takia. Valmistettaville kappaleille on määriteltu oikeat mitat teknisissä piirustuksissa ja mittauksilla voidaan varmistua siitä, että kappaleen mitat täsmäävät piirustusten kanssa ja, että ne osuvat vaadittuihin toleransseihin.

Useimmiten teollisissa mittauksissa käytetään käsikäyttöisiä työntömittoja ja mikrometrejä, joiden avulla voidaan nopeasti ja helposti tarkistaa haluttuja mittoja. Työntömittoilla voidaan mitata millin kymmenyksien tarkkuudella ja mikrometreillä millin sadasosien tarkkuudella. Kun mittauksiin tarvitaan vieläkin tarkempia laitteita tai mitattava kohde on liian haastava käsikäyttöisille laitteille, yksi varteenotettava vaihtoehto on koordinaattimittauskone, jonka tarkkuus voi ylittää jopa millin kymmenestuhannesosiin. Muita yleisesti käytettyjä mittalaitteita ovat mm. mittakellot, optiset mittalaitteet ja mittapalat.

#### 4.1.2 Koordinaattimittaus

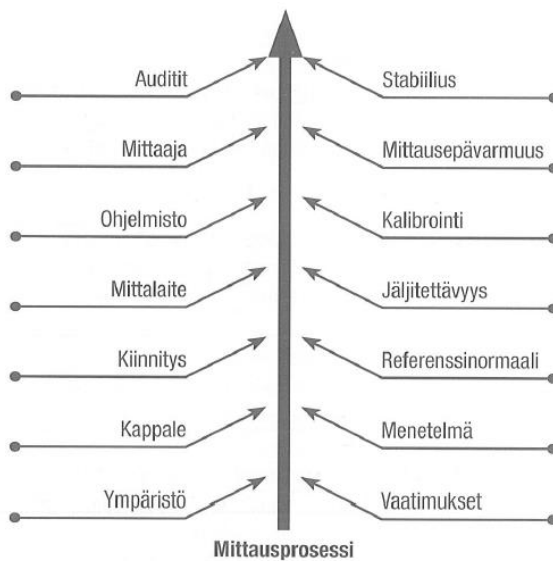
Koordinaattimittaus tarkoittaa pisteiden paikkojen määrittämistä mittauskoneen rakenteen rajoittamassa kolmiulotteisessa avaruudessa. Koordinaattipaikkatiedot muutetaan digitaaliseen muotoon, jolloin ne voidaan tallentaa ja analysoida halutulla tavalla. Mitattuja ja tallennettuja koordinaattipisteitä tutkimalla ja vertailemalla voidaan selvittää mitatusta kappaleesta hyvin tarkasti haluttuja ominaisuuksia, kuten mittoja, tasomaisuuksia ja ympyrämaisyyksiä. (Andersson, P. Tikka, H. 1997. 226)

Koordinaattimittausta käytetään tyypillisimmin geometrinen toleranssien tarkastuksiin. Koordinaattimittauskoneella suoritettavat mittaukset ovat huomattavasti nopeampia kuin perinteisemmällä menetelmällä, kuten mikrometreillä, mittapala-asetelmilla tai

mittakelloilla tehdyt mittaukset, etenkin suuremmissa sarjoissa etu on jo merkittävä. Lisäksi monia mittauksia ei voida suorittaa muuten kuin koordinaattimittauskoneella. Koordinaattimittauskone on erittäin monipuolinen mittalaite, jolla voidaan mitata monenlaisia kappaleita ja geometrioita.

### 4.1.3 Mittausprosessi

Mittaustapahtumaa voidaan hyvin kuvata prosessina. Mittausprosessi pitää sisällään lukuisia tekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustulokseen, mittausvirheeseen sekä mittausepävarmuuteen (KUVIO 2). Mittausprosessin osatekijät voidaan rajata karkeasti ulkoisiin, sisäisiin sekä inhimillisiin tekijöihin. Ulkoisiin osatekijöihin kuuluu mm. ympäristön vaikutus, kuten lämpötila ja muut olosuhdetekijät. Sisäisiin osatekijöihin kuuluu taas itse mittalaitteeseen liittyvät tekijät, kuten mittalaitteen tarkkuus, resoluutio ja ohjelmiston vaikutus. Inhimillisiin osatekijöihin kuuluu ihmisen vaikutus mittauksiin, kuten esimerkiksi mittajaan ammattitaito, kokemus ja vireystila.



KUVIO 2. Mittausprosessin osatekijät. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003, 32)

Mittausprosessia tulisi aina pyrkiä kehittämään, kuten mitä tahansa muutakin prosessia, sillä harvoin mittauksia päästään tekemään optimaalisissa olosuhteissa ja optimaalisella tavalla. Monesti mittauksia suunniteltaessa joudutaan tekemään kompromisseja laitteiston, ympäristön ja mittajaan osalta. Jatkuvalla kehitystyöllä voidaan löytää uusia parempia vaihtoehtoja oikeampien mittaustulosten saavuttamiseksi, systemaattisten virhetekijöiden eliminoimiseksi sekä pienemmän mittausepävarmuuden saamiseksi.

#### 4.1.4 Mittausohje

Kuten laatuasioissa yleensäkin, vain kirjallisia toimintaohjeita voidaan arvioida, joten kirjallisen ohjeistuksen tekeminen mittauksista on ensiarvoisen tärkeää. Kirjallisesta ohjeesta mittaja voi tarkistaa unohtuneet tai epäselvät asiat, sitä voidaan käyttää koulutusmateriaalina uusille mittaajille, se antaa perusteet mittausepävarmuuden määrittämiselle ja lisäksi kirjallisesta ohjeesta voidaan esitellä toimintatapoja helposti asiakkaille ja ulkopuolisille arvioijille.

Ohjeet on myös aina nimettävä ja versioitava esimerkiksi päivämäärän mukaan. Mittausohjettakin olisi hyvä kehittää jatkuvasti esimerkiksi arviomalla se sisäisesti määräajoin. Täydellisen pääohjeen, josta selviää mittauksen taustat, välineet ja työohjeet, lisäksi on hyvä tehdä pikaohje, joka on yksinkertainen, helppolukuinen ja, josta selviää mittauksen pääkohdat ja tärkeimmät huomiot.

Kokonaan omien mittausohjeiden lisäksi saatavilla on myös valmiita mittausohjeita mm. MIKESin kalibrointikansio, IFV-ohjeet ja niistä käännetyt METin tekniset tiedotukset 1/76 Mittauslaitteiden kalibrointi ja käsittely ja 6/78 Mittauslaitteiden kalibrointi ja käsittely osa 2, EA:n julkaisemat ohjeet ja DIN-käsikirja 122. Monesti valmiita ohjeita soveltamalla löydetään sopiva ohje omia mittauksia varten. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003, 32)

Koordinaattimittausohjeen tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

1. Työkappaleen valmistelu (kuten puhdistus, purseiden ja magneettisuuden poistot, kiinnitys- ja suuntapintojen laadun arviointi)
2. Stabiloituminen. (milloin saa mitata, olosuhteiden kirjaus)
3. Kiinnitystapa (myös kuvana)
4. Kuvaus mittauskärkiyhdistelmästä ja valintakriteereistä
5. Mittauskärjen kalibrointi (mittausvoima ym.)
6. Kappaleen suuntaus (peruselementit), pistemäärät ja kosketuskohdat, käytetyt mittauskärjet
7. Mittaustapa, pistemäärät ja kosketuskohdat, lämpötilakorjaus
8. Mittaustulosten tilastollinen analyysi ja pisteiden tuhoaminen, suodatustapa
9. Geometrinen toleranssien analysointitapa

10. Epävarmuuden määrittystapa (yleinen kuvaus ja Excel-pohja)

11. Liitteiksi:

- kuva mittausasetuksesta (kiinnitystapa, lämpömittareiden paikat)
- kuva mittauskärkiyhdistelmästä
- miten työkappaleasema on määritettävä ja millä kärjellä
- mittausohjelman nimi ja tallennuspaikka
- NC-ohjelman tulostus
- epävarmuuden määrittäminen tässä tapauksessa

#### 4.1.5 Mittausepävarmuus

Mittaustuloksien luotettavuus on erittäin tärkeää. Yleinen virheellinen käytäntö mittaustuloksia tarkasteltaessa onkin mittaustuloksen hyväksyminen, jos se osuu toleranssialueelle. Kaikki mittaustulokset ovat vain arvioita todellisesta arvosta ja mittaustuloksesta tulee täydellinen vasta, kun se esitetään yhdessä mittausepävarmuuden kanssa, joten mittaustuloksen tulisi olla toleranssialueella senkin jälkeen, kun ilmoitetussa mittaustuloksessa on otettu mittauksen mittausepävarmuus huomioon. Mittausepävarmuus tarkoittaa mittaustulosten vaihtelua, jonka sallitut arvot on määritelty virherajojen avulla. (Andersson, P. Tikka, H. 1997, 147-148) (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003, 56)

## 4.2 Mittausepävarmuuden määrittäminen

### 4.2.1 Mittaus- ja lähtösuureet

Mittauksia tehtäessä pyritään usein selvittämään yksittäisiä mittoja eli mittaussuureita (esim. reiän halkaisija). Mittaussuure  $Y$  koostuu yleensä yhdestä tai useammasta lähtösuureesta  $X_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ). Lähtösuureet voivat käytännössä olla mitä vain mittaukseen vaikuttavia suureita (esim. mittanormaanin pituus (esim. mittapalan pituus), mitan lämpötila (esim. mittauskoneen asteikon lämpötila) ja mittauskoneen mittausvoima). Lähtösuureita, joiden tarkka arvo ei ole tiedossa, pidetään satunnaismuuttujina. Satunnaismuuttujiin pätevät usein tietyt todennäköisyysmallit. Satunnaismuuttujille määritetään arvo todennäköisyysjakaumien mukaan.

Mittaussuureen ja lähtösuureen välinen riippuvuus yhtälömuodossa:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

Joskus mittaussuureen ja lähtösuureiden välinen riippuvuussuhde  $f$  esitetään useiden yhtälöiden avulla, joskus se määritetään kokeellisesti. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003, 65-66)

#### 4.2.2 Lähtösuureiden arviointi

Lähtösuureiden epävarmuusarviot jaetaan kahteen eri päätyyppiin, A-tyyppiin ja B-tyyppiin. Lähtösuureiden tulisi aina olla tarkimpia mahdollisia oletusarvioita ja niihin on sisällyttävä myös kaikki tarvittavat korjaukset. Korjauksia voidaan pitää myös omina lähtösuureinaan. Korjauksina voidaan pitää esimerkiksi lämpötilakorjauksia. Lopullisten mittaussuureiden arvojen tulisi aina sisältää kaikki mittausten lopputulosten kannalta merkittävät korjaukset. Jos tämä on käytännön syistä mahdotonta, käsitellään korjaukset epävarmuuksina (esim. mittalaitteen ilmoitettu virhe). Myös korjausten epävarmuudet lasketaan mukaan epävarmuusarvioon.

Keskihajontaa käytetään yksittäisen lähtösuureen arvon  $X_i$  vaihtelun oletusarviona. Tämä saatu arvio on myös kyseisen lähtösuureen standardiepävarmuus  $u(X_i)$ . Mittaussuureen standardiepävarmuus koostuu lähtösuureiden epävarmuuksien  $u(X_i)$  yhteisvaikutuksesta. Mittaussuureen  $Y$  standardiepävarmuus  $u(Y)$  muodostuu lähtösuureiden arvoista ja niiden epävarmuuksista sekä mittaussuureen ja lähtösuureiden välisestä riippuvuudesta eli funktion  $f$  muodosta.

A-tyypin epävarmuudet pitävät sisällään arvioita mittaasepävarmuudesta, jotka saadaan arvioimalla useita mittaustuloksia tilastollisin menetelmin. Tyypin B epävarmuusarviot perustuvat puolestaan tilastoanalyysien sijaan mm. aiempiin mittaustuloksiin sekä kyseiseen mittauskoneeseen liittyviin ulkopuolisiin lähteisiin, kuten kalibrointitodistuksiin ja valmistajan lupaamiin spesifikaatioihin. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003, 66-67)



### 4.2.3 Toistettavuuden laskeminen

Toistettavuudella voidaan mitata mittaajan ammattitaitoa ja mittaajasta johtuvaa virhettä ja tästä syystä toistettavuus tulee myös ottaa huomioon mittausepävarmuutta laskettaessa. Toistettavuutta voidaan mitata testeillä, joissa mittaaja tai mittaajat suorittavat samat mittaukset samoille kappaleille useita kertoja. Saaduista tuloksista saadaan selville, kuinka paljon samoille kappaleille tehtyjen mittausten tulokset eroavat toisistaan.

Yksi tapa tutkia toistettavuutta on RR-testit. RR-testit ovat kansainvälisesti tunnustettuja koemittauksia. Testin nimi tulee sanoista repeatability eli toistettavuus ja reproducibility eli uusittavuus. RR-testejä on kolme erilaista: lyhyt ja pitkä testi sekä aistinvarainen testi, joka ei varsinaisesti liity mittausepävarmuuteen.

Lyhyen testin suorittaa yksi mittaaja, joka suorittaa koemittaukset yhdelle tai useammalle kappaleelle yleensä vähintään kolme kertaa. Mittaukset kirjataan taulukkoon taulukon 4 mukaisesti, jonka jälkeen saman kappaleen mittaustulosten suurimpien erojen keskiarvo kerrotaan RR-kertoimella 5,15 ja jaetaan taulukosta (liite 1.) saatavalla kertoimella  $d_2$ , joka määräytyy kappaleiden ja mittausten lukumäärän perusteella. Saatu RR-arvo kuvaa kyseiselle mittaajalle tietyllä mittalaitteella ja valituilla kappaleilla syntyvää satunnaisvirhettä 99 %:n luotettavuustasolla.

Mittausepävarmuuden selvittämistä varten suoritettiin lyhyt RR-testi mittaamalla teräksisen 125 mm asetusrenkaan sisähalkaisijaa (TAULUKKO 4). Yhden mittauksen aikana sisähalkaisija mitattiin kymmenen kertaa. Mittaus suoritettiin yhteensä kolme kertaa. RR-testin  $d_2$ -kerroin on taulukosta luettuna 1,72. Toistettavuuden arvoksi saatiin 0,0002994 mm, joka on n. 2,5 % mitatun kappaleen toleranssista.

TAULUKKO 4. Toistettavuuden laskenta

RR-tutkimus, lyhyt menetelmä						
Mittaja:	Riku Ellonen					
Mittausten toistomäärä:	3	kertaa				
Mittalaite ja resoluutio	Koordinaattimittakone 1/10000 mm					
Koekappaleet:	Asetusrenkas (teräs)					
Kappaleiden toleranssi:	±0,006					mm
					Oikea	Mittaus-
No.	1. koe	2. koe	3. koe	Ero	arvo	virhe
1	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
2	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
3	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
4	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
5	125,004	125,004	125,003	0,001	125,000	0,004
6	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
7	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
8	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
9	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
10	125,004	125,004	125,004	0,000	125,000	0,004
Yhteensä	1250,040	1250,040	1250,039	0,001		
	Summa	3750,119	R=	0,0001		
	Xa	125,00397				
Kerroin D2	1,72					
	RR-luku:					
	$RR=5,5 \cdot R / (d2)=$	0,0002994 mm				
	RR-prosentti:					
	$RR\%=RR \cdot 100 / dL=$	2,495155 % toleranssista				

Pitkässä RR-testissä mittaajia tarvitaan useampia. Testin suoritetaan hyvin pitkälti samalla tavalla kuin lyhytkin, mutta testistä saatava informaatio ja tulosten käsittely eroaa lyhyestä testistä. Koska pitkässä testissä mittaajia on useampia, mittaajasta ja mittalaitteesta johtuvat virheet voidaan erottaa toisistaan. (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. s. 60-61)

#### 4.2.4 Mittausepävarmuuden laskeminen

Mittausepävarmuus laskettiin 125 mm asetusrenkaan halkaisijan mittaukselle Asetuksen EA-4/02 mukaisesti. Mittausepävarmuus määritetään tunnistamalla ensiksi lähtösuureet  $X_i$ . Lähtösuureita ovat lämpölaajenemiskerroin, pituudesta johtuva virhe, lämpötilan vaihtelu, anturivirhe, toistettavuus ja mitattavan kappaleen epävarmuus.

Pituudesta johtuva virhe on laskettu koneen valmistajan antamalla mittausepävarmuuden laskentakaavalla:

$$MPE = \left(1,7 + \frac{3L}{1000}\right)\mu m, \quad (2)$$

jossa  $L$  on mitattavan kappaleen pituus. Anturivirhe on myös laskettu valmistajan antamalla kaavalla:

$$MPE = \left(1,7 + \frac{4L}{1000}\right)\mu m, \quad (3)$$

jossa  $L$  on samalla tavalla mitattavan kappaleen pituus. Lämpötilan vaihtelusta tuleva virhe on laskettu jakamalla lämpötilavaihtelun maksimi- ja minimiarvojen erotus kertoimella  $2/\sqrt{2}$ . Kerroin tulee asetuksen mukaan, koska lämpötilajakauma on määritelty U-jakauman mukaisesti, jolloin lämpötilavaihtelun virhe lasketaan kaavalla:

$$U = \frac{\max - \min}{2/\sqrt{2}}. \quad (4)$$

Toistettaavuudesta aiheutuva virhe tulee toistettavuuslaskelmien mukaisesti (TAULUKKO 4). Mitattavan kappaleen epävarmuus riippuu kappaleen tarkkuudesta. Tässä tapauksessa kappale oli 125 mm asetusrenkas, jonka tarkkuus oli  $\pm 0,006 \mu m$ .

Kun lähtösuureiden arvot on määritelty, kukin niistä kerrotaan virhetyypilleen ominaisella korjauskertoimella, jonka jälkeen korjatut arvot korotetaan toiseen potenssiin ja nämä summataan yhteen. Summasta otetaan vielä neliöjuuri ja neliöjuuren tulos kerrotaan kattavuuskertoimella  $k$ , joka ilmoittaa kuinka suurella todennäköisyydellä mittaustulos on ilmoitetulla mittausepävarmuusalueella totta. Tässä

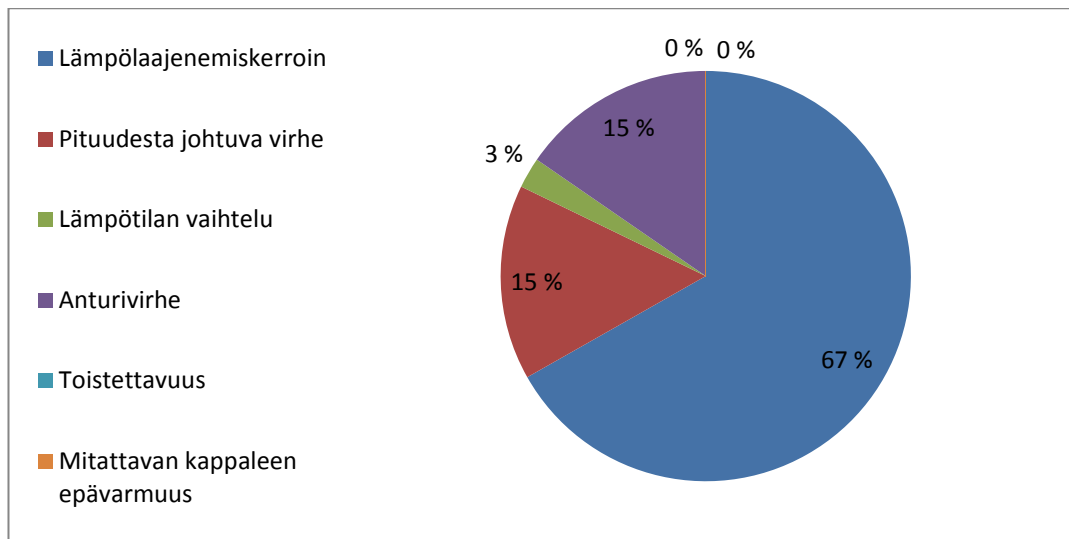
tapauksessa  $k=2$ . Kattavuuskertoimia  $k=1$ ,  $k=2$  ja  $k=3$  vastaavat todennäköisyydet ovat n. 68,3 %, 95,5 % ja 99,7 %. Laskelmien jälkeen kyseisen mittauksen mittausepävarmuudeksi saadaan 8,6692  $\mu\text{m}$  (TAULUKKO 5). (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. s. 68-69)

TAULUKKO 5. Mittausepävarmuuden laskenta

Mittausepävarmuus (asetusrenkas)		$\mu\text{m}$	korjauskertoin	epävarmuus	epävarmuus <sup>2</sup>
Lämpölaajenemiskerroin	23,34 C	5,01	1/ $\sqrt{2}$	3,542604974	12,55005
Pituudesta johtuva virhe		1,700375	1	1,700375	2,891275141
Lämpötilan vaihtelu	2,7	0,954594	1/ $\sqrt{2}$	0,675	0,455625
Anturivirhe		1,7005	1	1,7005	2,89170025
Toistettavuus		0,000299	1	0,000299419	8,96515E-08
Mitattavan kappaleen epävarmuus		0,012	1	0,012	0,000144
				7,630779392	18,78879448
					4,334604305
				k=2	8,6692

#### 4.2.5 Tulosten analysointi

Saatu mittausepävarmuuden arvo on oletetusti melko pieni, koska mittauksessa käytettiin koordinaattimittauskonetta, joka on hyvin tarkka ja mitattavana kappaleena oli asetusrenkas, jonka mitat tiedetään tarkasti. Tämän takia itse mittalaitteesta ja mitattavasta kappaleesta johtuvien mittausepävarmuuden lähtöarvojen osuus koko mittausepävarmuudesta jäivät suhteellisen pieniksi ja ne muodostavat koko mittausepävarmuuden arvosta n. 30 % (pituudesta johtuva virheen, anturivirhe ja mitattavan kappaleen epävarmuus), kuten piirakkadiagrammista (KUVIO 3) nähdään. Lämpötilasta johtuvat tekijät aiheuttavat mittausepävarmuudesta suurimman osan yhteensä n. 70 % (lämpölaajenemiskerroin ja lämpötilan vaihtelu).



KUVIO 3. Epävarmuustekijöiden suhteelliset osuudet

Näin tarkoilla mittalaitteilla mitatessa, kun laitteesta ja kappaleesta johtuvat virheet voidaan minimoida, ulkoisten tekijöiden aiheuttamien virheiden osuus korostuu. Tämän takia mittausepävarmuuden määrittäminen onkin myös hyvä työkalu mittausprosessin kehittämiseen. Kuten diagrammista (KUVIO 3) nähdään mittausolosuhteista aiheutuva virhe aiheuttaa n. 70 % koko mittausepävarmuudesta. Voidaankin siis ajatella, että jos mittaukset olisi suoritettu optimaalisissa olosuhteissa, mittausepävarmuus olisi n. 70 % pienempi, joka olisi jo valtava parannus mittausepävarmuuteen. Helpoin tapa mittausepävarmuuden pienentämiseen olisi selvästi siis mittausolosuhteiden parantaminen, koska pienikin parannus olosuhteisiin pienentää merkittävästi koko mittausepävarmuutta, vaikka optimaalisiin mittausolosuhteisiin ei päästäisikään.

## 5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteina oli mittausepävarmuuden määrittäminen koordinaattimittauskoneelle, mittauslaboratorion mittausolosuhteiden selvittäminen sekä mahdollista akkreditointia varten tarvittavien parannusten ja toimenpiteiden selvittäminen. Vastaavia selvityksiä ei oltu aikaisemmin tehty uudelle koordinaattimittauskoneelle eikä mittauslaboratoriolle.

Työ aloitettiin tutustumalla alan kirjallisuuteen ja standardeihin. Näiden perusteella tehtiin suunnitelma tarvittavista mittauksista. Ensimmäisenä varsinaisena toimenpiteenä oli dataloggerin ohjelmointi ja asettaminen mittauslaboratorioon seurantajaksoa varten. Ensimmäisinä mittauksina suoritettiin toistettavuusmittauksia RR-testiä varten, joiden jälkeen siirryttiin varsinaisiin mittausepävarmuuden mittauksiin.

Ilman lämpötilan ja kosteuden seurantajakson päätyttyä, dataloggerin tallentamat tulokset kerättiin talteen tarkempaa analysointia varten ja muidenkin mittaustulosten kertyessä, niitä alettiin sijoittamaan erilaisiin taulukoihin analysointia varten. Kirjallisuudesta ja EA-4/02 –asetuksesta löytyi hyvät ohjeet tulosten käsittelyyn sekä virhelähteiden etsimiseen ja laskemiseen. Itse mittausepävarmuuden laskemisen kaavat vaikuttivat aluksi hieman epäselviltä erilaisine kertoimineen, mutta lopulta niidenkin logiikka avautui.

Mielestäni tulokset ovat melko lailla odotetun kaltaisia. Mittausepävarmuus muodostui lopulta melko pieneksi, mikä olikin oletettavissa mittalaitteen ja mitattavien kappaleiden tarkkuuden vuoksi. Arvelin ennen mittauksia myös mittauslaboratorion lämpötilan olevan hieman optimaalista korkeampi, minkä saadut tulokset lopulta todistivatkin. Akkreditoinnin vaatimuksista minulla oli ennen työn aloitusta hyvin ohuesti tietoa ja itseäni ehkä hieman yllätti, kuinka suuri osuus vaatimuksista liittyy henkilökuntaan, johtoon ja organisaation toimintamalleihin pelkkien teknisten vaatimusten lisäksi.

Työn suurin oivallus on kenties se, kuinka suuren osuuden olosuhdetekijät muodostavat mittausepävarmuudesta tarkoissa mittauksissa. Pelkästään mittausolosuhteita parantamalla, vieläpä suhteellisen yksinkertaisilla toimenpiteillä, voidaan mittausepävarmuutta pienentää merkittävästi. Suurinpana yllätyksenä työn aikana tuli

kenties se, kuinka paljon mittauslaboratorion lämpötila heittelee yksittäisen vuorokaudenkin sisällä ja se, kuinka paljon mittausolosuhteet ja lämpötila todellisuudessa vaikuttavat mittausten mittaasepävarmuuteen.

Kokonaisuudessa opinnäytetyö oli todella mielenkiintoinen projekti. Mittaustekniikka oli kyllä kiinnostanut aikasemminkin, mutta oli kiinnostavaa päästä syventymään aiheeseen vielä paremmin. Sen osilta työ täytti kyllä odotukseni. Opin paljon uutta mittauksista ja koordinaattimittauskoneesta, jota muuten ei olisi välttämättä koulun puitteissa oppinut. Työ itsessään oli hyvin itsenäistä, mikä kyllä sopi minulle.

## 6 LÄHTEET

Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY

Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Teknoliateollisuus. Tekninen tiedotus 3. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy

Mitutoyo. 2015. CRYSTA-Apex S-series –manual.

Sinervo, T. 2013. Akkreditoinnin vaatimukset testausmenetelmille ja kalibroinnille. FINAS-akkreditointipalvelu. Luettu 17.10.2016

[https://www.fimea.fi/documents/160140/744738/22922\\_FIMEA\\_tilaisuus\\_05022013\\_akkreditointi\\_ja\\_kalibrointi\\_Sinervo\\_Tuija.pdf](https://www.fimea.fi/documents/160140/744738/22922_FIMEA_tilaisuus_05022013_akkreditointi_ja_kalibrointi_Sinervo_Tuija.pdf)

Testo. 2007. Instruction manual

Tiainen, J. 2016. Ylläpitoinsinööri. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähköpostikeskustelu. 14.12.2016



## 7 LIITTEET

Liite 1. RR-testin kerrointaulukko (Esala, V-P. Lehto, H. Tikka, H. s. 60)

	Mittauskertoja →						
	KPL	2	3	4	5	6	7
Kappaleita	1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83
↓	2	1,28	1,81	2,15	2,4	2,6	2,77
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74
	5	1,19	1,74	2,1	2,36	2,56	2,73
	6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72
	8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72
	11	1,16	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71
	>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704