



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joona Valli

KOORDINAATTIMITTAKONEEN KÄYTTÖÖNOTTO JA OHJEISTUS

Tekniikka ja liikenne
2012

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joona Valli
Opinnäytetyön nimi	Koordinaattimittauskoneen käyttöönotto ja ohjeistus
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	39 + 4 liitettä
Ohjaaja	Hannu Hyvärinen

Tämä opinnäytetyö on tehty Oy Wel-Mach Ab:lle. Oy Wel-Mach Ab on alihankintoihin keskittynyt konepaja. Työn tavoitteena on tarkastella koordinaattimittauskoneen toimintaa ja laatua, sekä ottaa koordinaattimittauskone yritykselle käyttöön.

Työn tutkimusaineistona on käytetty yrityksen nykyistä tuotannon toimintatavoista koostuvaa tietoa. Työssä tehtiin kirjallisuuskatsaus mittaamisesta, johon teoriaosuus perustuu. Yrityksen toiminnan havainnollistaminen ja tutkiminen toteutettiin yrityksen henkilökuntaa haastatteleamalla. Koordinaattimittauskoneen käyttöönotto toteutettiin itseopiskeluna sekä koulutuksena.

Työn tuloksena syntyivät käyttöohjeet koordinaattimittauskoneen käytölle sekä mittausohjelmistot mitattaville kappaleille. Käyttöohjeet sisältävät opetuksen koneen käytölle, kalibroinnille sekä mittausohjelmien valmistukselle. Uusien mittausmenetelmien hyödyntäminen sekä resurssien keskittäminen oikeisiin asioihin ovat yrityksen kannalta erittäin merkittäviä asioita. Työstä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää yrityksen tuotannossa.

Avainsanat käyttöönotto, koordinaattimittauskone, mittaaminen

ABSTRACT

Author	Joona Valli
Title	Introduction of the Coordinate Measuring Machine And User Instructions
Year	2012
Language	Finnish
Pages	39 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Hannu Hyvärinen

This thesis was made for Oy Wel-Mach Ab. Oy Wel-Mach Ab is focused on the engineering sub-contracting. The purpose of this thesis was to consider the operation and quality of a coordinate measuring machine and to introduce the coordinate measuring machine in the company.

As research material information made up of the company's current production practices was used. A literature review of the measurement was carried out in the thesis, forming the theory part. The research of operation reports in the company and staff interviews were the research methods used. The introduction of the coordinate measuring machine were carried out in self-study and training.

The result of the thesis is instruction manual consisting developmental proposals for measuring and measuring software for parts to be measured. The instructions include the learning of using the machine, software and calibration. Using the new methods and focusing the resources on the right areas is very important to the company. The results of this thesis can be adapted to production of the company.

Keywords Introduction, coordinate measuring machine, measuring

KÄYTETYT LYHENTEET JA NIIDEN KÄSITTEET

NC – Numerical control, numeerisesti ohjattu

SPC – Statistical Process Control

KMK – Koordinaattimittauskone

3D – 3 Dimensional, kolmiulotteinen

2D – kaksiulotteinen

ISO 9001:2008 – Laatujärjestelmä

SFS EN ISO 3834-2 – Hitsauksen laatujärjestelmä

CAA – Systemaattisten geometriavirheiden korjaus

μm – 10^{-6} metriä

MPE – Maximum permissible error

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET JA NIIDEN KÄSITTEET	1
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Työn taustat.....	6
1.2 Työn rajaukset.....	6
1.3 Österberg Group.....	6
1.4 Oy Wel-Mach Ab.....	7
2 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET.....	9
2.1 Lopputyön lähtökohdat	9
2.2 Lopputyön tavoite	9
3 JOHDANTO KOORDINAATTIMITTAUKSEEN	10
3.1 Yleistä	10
3.2 Raportit ja tulosteet	10
4 KOORDINAATTIMITTAUSKONE – KMK	12
4.1 Koordinaattikoneen koordinaatistot.....	14
4.2 Mittausanturit ja vaihtomakasiini	15
5 YRITYKSEN KOORDINAATTIMITTAUSKONE	18
5.1 Koordinaattimittakoneen osat	19
5.1.1 Mittausanturi	19
5.1.2 Mittausanturin ohjauskapula	20
5.2 Ohjelmisto.....	21
5.3 Koordinaattimittakoneen ympäristö yrityksessä.....	21
6 MITTAAMINEN	23
6.1 Mittauksen valmistelu.....	24
6.2 Koordinaatiston määrittäminen	24
6.3 Mittauskyky	25
6.4 Kalibrointi	27
6.5 Esimerkkikalibrointi	27
6.6 Työkappaleen kiinnitys	29

7	VERTAILUMITTAUS	30
8	OHJEISTUKSET	33
	8.1 Koulutus	33
	8.2 Mittausohje	34
	8.3 Koordinaattimittauskoneen huolto	36
9	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1.	Koordinaattimittauskoneessa olevat akselit	s. 14
Kuvio 2.	Koneen koordinaatisto sekä työkappaleen koordinaatisto	s. 15
Kuvio 3.	Mittauspäiden jaottelu	s. 16
Kuvio 4.	Renishaw – merkkinen nivelistukka, malli PH9	s. 17
Kuvio 5.	Yrityksen koordinaattimittauskone	s. 18
Kuvio 6.	Vaihtomakasiini Renishaw MCR20	s. 19
Kuvio 7.	Mittausanturin akselit ja niiden kulmat	s. 20
Kuvio 8.	Mittausanturin ohjauskapula, Renishaw PHD 10	s. 21
Kuvio 9.	Yrityksen koordinaattimittaustila ulkopuolelta	s. 22
Kuvio 10.	Yrityksen koordinaattimittaustila sisäpuolelta	s. 22
Kuvio 11.	Mittausprosessiin kuuluvat aikapaikat	s. 23
Kuvio 12.	Mittauskykyyn vaikuttavia tekijöitä	s. 25
Kuvio 13.	Kalibroinneissa olevat olosuhdevaatimukset	s. 27
Kuvio 14.	Hyväksytty tulos mittapään kalibroinnille	s. 28
Kuvio 15.	Hylätty tulos kalibroinnille	s. 29
Kuvio 16.	Grafiikka – ikkuna kappaleesta x.	s. 31
Kuvio 17.	Minun mittaustulokset kappaleesta x.	s. 31
Kuvio 18.	Asiakkaan mittaustulokset kappaleesta x.	s. 32

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Käynnistysohje**LIITE 2.** Kalibrointiohje**LIITE 3.** Mittausohjelman teko-ohje**LIITE 4.** Mittausohjelman ajo-ohje

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Oy Wel-Mach Ab osti koordinaattimittakoneen, koska yritys pyrkii parantamaan tuotteidensa laatua sekä välttymään turhilta reklamaatioilta. Lisäksi tavallisilla käsimittavälineillä ei pystytä mittaamaan kaikkia Oy Wel-Mach Ab:n valmistamia tuotteita, joten tarvetta koordinaattimittakoneelle oli. Ideana oli, että kaikki asiakkaan tilaamat tuotteet ensin valmistetaan yrityksessä ja sitten mitataan koordinaattimittakoneella Oy Wel-Mach Ab:n toimitiloissa ennen niiden lähettämistä asiakkaalle. Näin saataisiin parempi varmuus siitä, että tuotteet ovat halutun laisia ja oikeissa mitoissa olevia.

Oy Wel-Mach Ab on kansainvälistä teollisuutta palveleva metallialan alihankintoihin keskittynyt konepaja Vaasassa. Yritys tarjoaa asiakkaan tarpeiden mukaan olevia kokonaisratkaisuja.

Työ oli koordinaattimittakoneen käyttöönottoa sekä ohjeistuksen tekoa. Lisäksi työhön kuului työntekijöiden jatkokouluttaminen koneen käytössä ja ohjeistuksessa.

1.2 Työn rajaukset

Opinnäytetyön suurin osa-alue oli koordinaattimittakoneen käyttöönotto ja automaattisten mittausohjelmien teko kappaleille. Opinnäytetyössä tehtiin myös yleiset ohjeet koordinaattimittakoneen käytölle, kappaleohjelmien teolle, kappaleohjelmien ajolle ja mittapäiden kalibroinnille.

1.3 Österberg Group

Knut Österberg on perustanut Österberg Groupin, johon myös Oy Wel-Mach Ab kuuluu. Österberg Groupin juuret ulottuvat yli 60 vuoden taakse. Vuonna 1948 toiminta alkoi osoitteessa Gerbyntie 34, jossa oli ensimmäiset toimitilat. Vuonna 1953 tehdasrakennus valmistui Panimontielle. Vuonna 1978–1981 toiminta laajennettiin Kruunantielle, jossa yritys tälläkin hetkellä sijaitsee. Vuonna 1978 Ös-

terberg Group osti 70 % Petsmon osakekannasta, nimeksi muutettiin Petsmo Products ja samalla tuotanto siirrettiin Kruunantielle. 1983 Österbergin perhe hankki loput 30 % Petsmo Productin osakekannasta omistaen nyt täydet 100 %. Konsernin omistavat tällä hetkellä Carita Näsman, Rolf Österberg sekä Jens Österberg, joista jokainen heistä omistaa 33,3 %. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

Österberg Groupiin kuuluvat myös Oy Wel-Mach Ab:n lisäksi metallialan yritykset joita ovat Oy Petsmo Products Ab, Oy Manor Ab, Oy KGN Tool Ab sekä Hepmet Oü, joka sijaitsee Eestissä. Lisäksi Österberg Groupiin kuuluvat muovialan yritykset Oy Österberg Ab ja Österberg Baltic Oü. Yhteinen liikevaihto koko konsernilla vuonna 2009 oli 28,8 miljoonaa euroa. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

1.4 Oy Wel-Mach Ab

Oy Wel-Mach Ab on kansainvälistä teollisuutta palveleva metallialan alihankintoihin keskittynyt konepaja Vaasassa. Vahvuuksia ovat hitsaus-, koneistus-, pintakäsittelyosaaminen sekä kokoonpano. Koneistuksen vahvuus on teknisesti vaativien koneenosien valmistus valuraudasta, alumiiniseoksista sekä muista erikoisteräksistä. Koneistusosastolla on laaja konekanta, joka sisältää: CNC-koneistuskeskuksia, Vaakavaraiset, 3× Daewoo 800, Daewoo 600, Pystykaraiset, CNC-sorvit, Aarporakoneet, Hiomakoneet, 2kpl Mazak FMS-linja, CNC Aarporakoneet. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

Hitsausosasto on erikoistunut yli 3 mm vahvuisen rauta- ja teräslevyn jalostukseen. Materiaaleina käytetään tavallista terästä, ruostumatonta terästä sekä muita erikoisteräksiä. Valmiit tuotteet viimeistellään huolellisesti esim. teräskuula-, lasikuulapuhalluksella ja märkämaalauksella. Hitsausosasto seuraa SFS EN ISO 3834-2 hitsaus- laatu järjestelmää. Hitsausosaston koneet:

- CNC-särmäyskone
- CNC-ohjattu vannesaha
- Mig-, Mag- ja Tig-hitsaus

- Hydraulinen mankeli, 4-rullainen, 8-2000
- Levyleikkuri 10/4300
- Lasikuulapuhallus-, hiekka- ja rautakuula-puhalluslaitteet. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

Kokoonpano-osaston erikoisosaamista on elektroniikan, vaaitusautomaatiikan ja hydrauliiikan yhdistäminen valmiiseen tuotteeseen. Lasikuulapuhallusosastolla tehdään nopeasti ja edullisesti näyttävä pinta tuotteille. Lasikuulapuhallus sopii moniin käyttötarkoituksiin, esim. entisöintiin, ja lähes kaikille materiaaleille. Suositeltavia materiaaleja ovat:

- ruostumaton teräs
- alumiini
- messinki ja kupari
- teräs (puhdistus)
- magnesiumperustaiset kevytmetallit
- edellä mainittujen metallien valuseokset
- kumi ja lasi. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

Yrityksen laatu: Joustavuus, palvelu ja resurssit yhdessä vahvan ammattitaidon kanssa takaavat asiakkaille oikea-aikaiset toimitukset. Johtamisjärjestelmä on auditoitu, ja täyttää ISO 9001:2008 standardin, mikä on osoituksena yrityksen korkeasta laatuavoitteesta. Yritys pyrkii kaikessa toiminnassa ottamaan huomioon ympäristön ja sen hyvinvoinnin, sekä kestävän kehityksen. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

Yritys tarjoaa asiakkaan tarpeiden mukaan olevia kokonaisratkaisuja. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Jens Österberg. Oy Wel-Mach Ab:n osuus liikevaihdosta vuonna 2009 oli 8,69 miljoonaa euroa. Oy Wel-Mach Ab:n osuus oli suurin. Oy Wel-Mach Ab:lla on palveluksessa n. 40 henkilöä joista 6 henkilöä toimii konttorin puolella ja loput tehtaan puolella. (Kevät 2012. Yrityksen Power-point – esitys. Oy Wel-Mach Ab.)

2 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

Oy Wel-Mach Ab osti koordinaattimittauskoneen, koska yritys halusi parantaa tuotteidensa laatua. Yrityksessä ei ollut kouluttautunutta henkilöä koordinaattimitakoneen käyttöön. Yrityksellä oli tarve ottaa koordinaattimitakone käyttöön ja saada siihen yleiset käyttöohjeet sekä automaattiset mittausohjelmat mitattaville kappaleille, koska tavallisilla käsimittavälineillä ei pystytä mittaamaan kaikkia Oy Wel-Mach Ab:n valmistamia tuotteita. Yrityksen tavoitteena oli, että kaikki kappaleet mitataan yksitellen koordinaattimittauskoneella. Vasta mittaamisen jälkeen tuotteet lähetetään asiakkaalle.

Näin ollen toleranssien sallimissa rajoissa olevat tuotteet pystytään lähettämään asiakkaalle. Huonoja tuotteita ei lähetettäisi ollenkaan. Tuotteita valmistettaisiin niin kauan, että toleranssien sallimissa rajoissa olevia asiakkaan tilaamia tuotteita olisi tarvittava määrä. Näin säästyttäisiin turhilta reklamaatioilta ja saataisiin parannettua yrityksen laatua.

2.1 Lopputyön lähtökohdat

Tässä opinnäytetyössä käsitellään koordinaattimittauskoneen käyttöönottoa ja ohjeistusta. Oy Wel-Mach Ab:n ostama koordinaattimittauskone oli minulle uusi tuttavuus. Yrityksen ostama koordinaattimitakone on Mitutoyo Euro-Apex C 7016 CNC CMM. Ohjelmistona toimii GEOPAK – Win v2.3.RS Edition 5. Aikaisemmin en ollut käyttänyt kyseistä konetta ja sen ohjelmistoa. Koordinaattimitakoneen ja ohjelmiston käyttöön sain koulutusta suoraan Mitutoyolta.

2.2 Lopputyön tavoite

Lopputyön tavoitteena oli oppia mittaustekniikan periaatteet. Oppia käyttämään koordinaattimitakonetta niin hyvin, että selviää kaikista tulevista mittauksista ja mittauksien tuomista haasteista: oppia mittaamaan kappaleet oikein, saada koordinaattimitakone päivittäiseen käyttöön yritykselle, tehdä mitattaville kappaleille automaattiset mittausohjelmat, tehdä yleiset käyttöohjeet koordinaattimitakoneen käytölle ja mittausohjelmille.

3 JOHDANTO KOORDINAATTIMITTAUKSEEN

Mittaus ei erityisesti paranna laatua. Se tuottaa validia, luotettavaa ja oikeaa tietoa. Tätä tietoa voi hyödyntää niin tuotesuunnittelussa ja valmistuksessa sekä lisäksi sitä voidaan jakaa tarpeen mukaan asiakkaille. Valitsemalla oikea mittausmenetelmä mitattaville kohteille, niiden mittausvaatimusten, olemassa olevien olosuhteiden ja resurssien mukaan, on mahdollista saada nopeasti kappaleista luotettavia ja jäljitettäviä mittaustuloksia. (Tikka 2007, 9.)

Mitattavan kappaleen fysikaalisiin ominaisuuksiin on kiinnitettävä huomiota, kuten kappaleen koko ja massa, geometriset virheet, kappaleen kovuus, lämpölaajenemiskerroin, lämpötila ja sen jakauma, kosteus ja puhtaus. Listaa voidaan mittauksen osalta jatkaa, esimerkiksi miten kiinnitys tehdään, kuinka voidaan kappaletta koskettaa mittauksessa mittapäällä, ovatko peruselementit tarpeeksi korkealuokkaiset koordinaatistoa muodostettaessa. (Tikka 2007, 9-10.)

3.1 Yleistä

Koordinaattimittaus tarkoittaa pisteiden eli koordinaattien määrittämistä avaruudessa ja joskus tasossa. Koordinaattimittauksia voi tehdä esimerkiksi seuraavilla koneilla tai menetelmillä: fotogrametrialla, GPS:llä, laserkeilaimella, laserskannerilla, vaakituskoneella, takymetrillä, monikamerakuvauksella ja konenäöllä, holografialla, röntgenmittauksella, tomografialla, viistokuvamittauksella ja kolmiomittauksella. (Tikka 2007, 16.)

Aluksi mainittuja koordinaattimittaustapoja on tarkoitettu alun perin kovin erikoisiin ja erilaisille toimialueille sekä kohdevalikoimille. Monet edellä mainituista ovat mittausjärjestelmiä, jotka koostuvat useista laitteista, ohjelmasta, menetelmästä eivätkä ole pelkästään kompakteja koneita. Määritelmä mikä koordinaattimittauskone on ja ei ole, on häilyvä. (Tikka 2007, 16.)

3.2 Raportit ja tulosteet

Mittaustietojen hyödyntämistä olisi järkevä tehostaa valituille käyttäjille. Asiakaskohtaiset raportit, mittaustulokset sekä dokumentit ovat tallennettavissa ja jär-

jestettävissä internet- sekä extranet-verkkojen avulla, joilla tietoja pystytään jakamaan hallitusti ja suojatusti. Asiakkaiden, sidosryhmien ja suunnittelun pitäisi olla kiinnostuneita tuloksista, ei ainoastaan valmistusryhmien. Mittaustulokset pitäisi saada sellaiseen muotoon, että ne olisivat mahdollisimman monien ulottuvissa. (Tikka 2007, 10.)

Tarpeellista, mutta vanhanaikaista on ajatella pelkkä hyväksytty – hylätty tulos. Nykyään halutaan tilastollista laadunvarmistusta, sekä tuotannon ohjausta (SPC – Statistical Process Control) varten numeroarvoja, jotka pitää syöttää XR-, tms. kortteihin. Asiakas voi itse tulevaisuudessa syöksyä virtuaaliseen mittausmaailmaan. Esimerkiksi omalla tietokoneellaan asiakas voi käänellä kappaletta, katsella kappaleen sisään tai tarkastella kappaleessa näkyviä mittaustuloksia, mitattuja poikkeamia tai muuten vaan tarkastella itselle kiinnostavia kohteita kappaleesta. Jotkut haluavat pelkästään täydellisiä tekstimuodossa olevia raportteja, joissa on toleranssivertailut sekä numeeriset tulokset. (Tikka 2007, 13.)

4 KOORDINAATTIMITTAUSKONE – KMK

Koordinaattimittauskoneet ovat mittauslaitteita joilla mitataan erilaisia kappaleita mittauspöydällä liikkuvalla mittauspäällä kolmen akselin muodostamassa koordinaatistossa. akselit ovat kaikki kohtisuorassa toisiinsa nähden. KMK on hyödyllinen mittauslaite, koska sillä päästään kerralla mittaamaan erilaisia asioita kuten elementtejä ja kappaleen muotoja. Perinteisesti tällaiset mittaukset vaatisivat useita käsimittalaitteita. Mitattavat kappaleet voivat olla pieniä tai jopa kuution kokoisia. (Mikes Metrologia 2012.)

Koordinaattimittauskoneen perusominaisuuksia ovat:

- tarkkuus
- koordinaatiston tekeminen kappalekohtaisesti
- nopeus & joustavuus
- mittaustuloksille automaattinen laskenta
- mittauspäiden kalibrointi
- tulosten tallentaminen. (Mikes Metrologia 2012.)

Koordinaattimittakoneella liikuttamalla anturia, optista tai mekaanista, määritetään kohteesta pisteiden koordinaatit tasossa tai avaruudessa. Mittauskoneet voivat olla motorisoituja, numeerisesti ohjattuja tai käsikäyttöisiä. Numeerisesti ohjattulla mittakoneella (NC – Numerical Control) pystytään ja olisi tarkoitus mitata työkappale ilman koneen käyttäjää. Työkappale on mahdollista mitata automaattisen pisteiden rekisteröinnin, työkappalekohtaisten mittausohjelmien ja servo-ohjattujen koneen liikkeiden avulla. Numeerisesti ohjatuilla koneilla pystytään kesken mittausohjelman siirtymään automaattisesta mittauksesta käsimittaukseen ja päinvastoin. (Tikka 2007, 25.)

Koordinaattimittauskoneella mitataan yksittäisiä pisteitä, joista muodostetaan kappalegeometria. Koskettavalla mittauskärjellä mitattaessa pisteet mitataan aina kappaleen geometrioiden pinnalta. Mitattujen mittauspisteiden käsittely ja asteikkojen lukeminen tapahtuvat aina mittausohjelmiston avulla. Mittausohjelmisto tulee aina koordinaattimittauskoneen mukana. Kalibrointi tapahtuu myös mittaus-

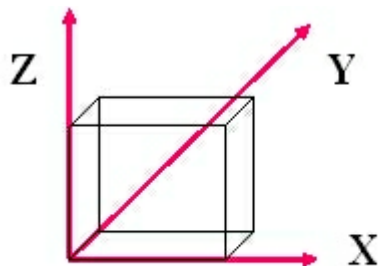
ohjelmiston avulla, jolla kalibroidaan koordinaattimittakoneen mittakärjet ja mitauspäät. (Tikka 2007, 26.)

Kalibroinnissa ohjelmisto käsittelee mitattuja pisteitä sekä laskee kosketuskohdat koordinaattimittakoneen liikeakseleiden paikka- ja anturitietojen perusteella kohteen pinnalta, korjaa mittauskoneen systemaattisia virheitä, muodostaa geometrioita kosketuspisteistä, laskee geometrioiden avulla uusia elementtejä sekä tilastollisia parametrejä ja edelleen vertaa niiden tuloksia nimellismuotoon tai – mitataan, sekä sijainti- ja muototoleranssivaatimukseen ja lopuksi voi lähettää tulokset halutussa muodossa tulostimelle tarpeen vaatiessa. Työkappaleohjelma voi sisältää näiden lisäksi mittauskärkien vaihdot, koneen liikkeet, kosketus- ja lähestymistavat, pyyhkäisymittauksen. Mittausohjelmia voi olla mitä erikoisimpia perusgeometrian; reikien, tasojen, suorien, kartioiden, akseleiden mittaamisesta aina hammaspyörien, kierteiden, roottoriruuvien, ja peltiosien sekä putkien mittaamiseen. Koordinaattimittauskoneesta käytetään ilmaisua ”yleismittauskone”. Koordinaattimittakoneen investointi on kallis, täten se on usein avainkone ja korvaa monia tavanomaisia mittalaitteita. Kalibroinneilla ja huollolla varmistetaan koneen häiriötön toiminta. (Tikka 2007, 26.)

Koordinaattimittauskoneiden, jotka ovat numeerisesti ohjattuja, on tarkoitus mitata kappaleet ilman koneen käyttäjää. Työkappalekohtaisten mittausohjelmien, automaattisten pisteiden rekisteröinnin sekä servo-ohjattujen koneen liikkeiden avulla mahdollistetaan mittaaminen ilman koneen käyttäjää. Mittausohjelmat sisältävät kaikki tarvittavat komennot ja täten se on erinomainen dokumentti mittauksesta ja sen tuloksista. Numeerisesti ohjatun koordinaattimittakoneen liikkeet ovat hyvin yksinkertaisia mittausavaruudessa tapahtuvia suoraviivaisia liikkeitä. Pisteestä A pisteeseen B. Pisteitä on olemassa kahdenlaisia joiden kautta liikutaan. Toiset ovat ilmassa olevia välipisteitä, joiden avulla väistetään törmäykset ja toiset mittauspisteet ovat kappaleen pinnalla olevia pisteitä, jotka anturi rekisteröi. (Tikka 2007, 27.)

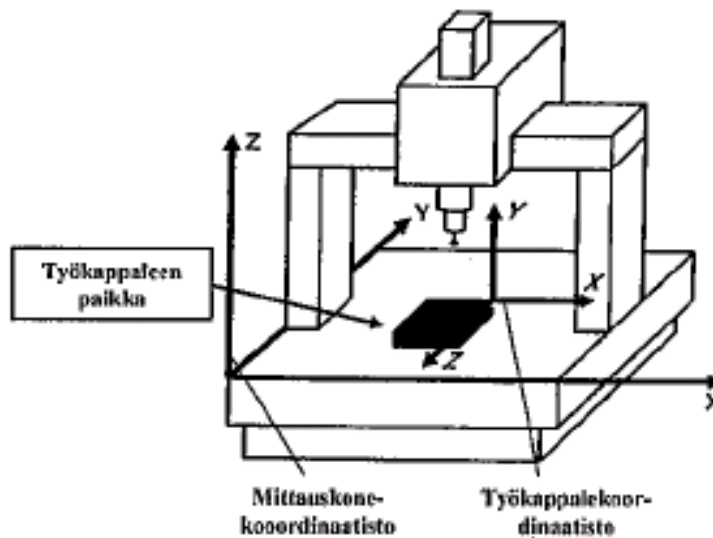
4.1 Koordinaattikoneen koordinaatistot

Koordinaatiston suunnat koordinaattimittauskoneessa ovat X, Y ja Z, kuviosta 1 näkee suunnat. Kuviosta käy ilmi, että akseleiden suunnat ovat 90° kulmassa toisiinsa nähden. Ympäri pyörivät akselit ovat A ja B. Nimet akseleille on merkitty valmistajan perinteiden mukaan. Yleisesti käytetään XY-piirustuspöytien suuntia. Pystysuunta on Z, joka yleensä kasvaa ylöspäin liikkuessa. Vaakatason pääliikesuunta on X. Tässä voi tietysti olla poikkeuksia. Koordinaattikoneen origon paikka voi vaihdella, joskus se voi olla käyttäjistä katsottuna takana, joskus alhaalla, joskus ylhäällä, joskus edessä. Tällöin X- ja Y-akseleiden suunnat vaihtelevat. Pisin liike mittauspöydällä voi siis olla X- tai Y-akseli. (Tikka 2007, 29.)



Kuvio 1. Koordinaattimittauskoneessa olevat akselit. (Mikes Metrologia 2012.)

Koordinaattimittauskoneessa olevat akselit ovat kiinteästi nimetty ja suunnattu, silti työkappaleessa oleva koordinaatisto voi olla täysin erilainen. Työkappaleen koordinaatisto muodostetaan mittaustulosten perusteella ohjelmallisesti kappaletta suunnattaessa. Mitattavalle kappaleelle määritetään oma koordinaatisto mittaamalla, tarvittaessa määritetään useita koordinaatistoja. (Tikka 2007, 30–31.)



Kuvio 2. Koneen koordinaatisto sekä työkappaleen koordinaatisto. (Tikka 2007, 31.)

Kuviossa 2 nähdään mitattavan kappaleen koordinaatisto joka on lähes aina toisen suuntainen kuin koneen koordinaatisto. Lisäksi referenssikoordinaatisto portaali-koordimittauskoneessa on kiinteä ja mahdollisimman suorakulmainen sekä suora-johteinen. NC-ohjatuissa koneissa on myös kappaleohjelman koordinaatisto eli työkappaleen paikka, joka muodostetaan itse. (Tikka 2007, 31.)

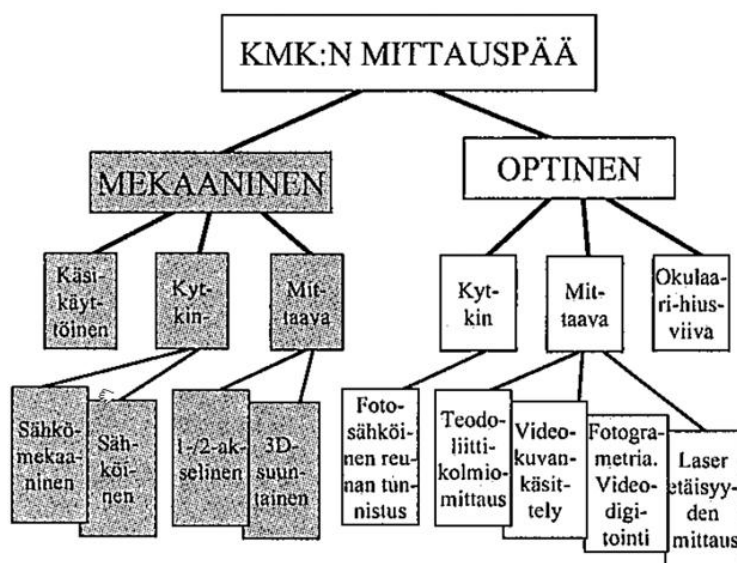
Lähes aina kappaleet mitataan kappalekoordinaatistossa. Origin määritettyä kappaleeseen mittaustulosten muunnos ja NC-ohjaus toimivat sen mukaan. Täydellisen 3D-suuntauksen tehtyä työkappaleeseen, mittaustulosten muunnokset ovat oikein sekä toistettavissa; näin ollen koordinaattikoneen kuljettama anturi paikoittuu entistä paremmin haluttuihin mittauspisteisiin. (Tikka 2007, 32.)

4.2 Mittausanturit ja vaihtomakasiini

Nykyään yhä useammat koordinaattimittauskoneet on varustettu erilaisilla ja eri merkkisillä mittapäillä, että koordinaattimittauskone olisi monipuolisempi ja pysyttäisiin mittaamaan enemmän. Tunnetuin merkeistä on Renishaw, joka valmistaa

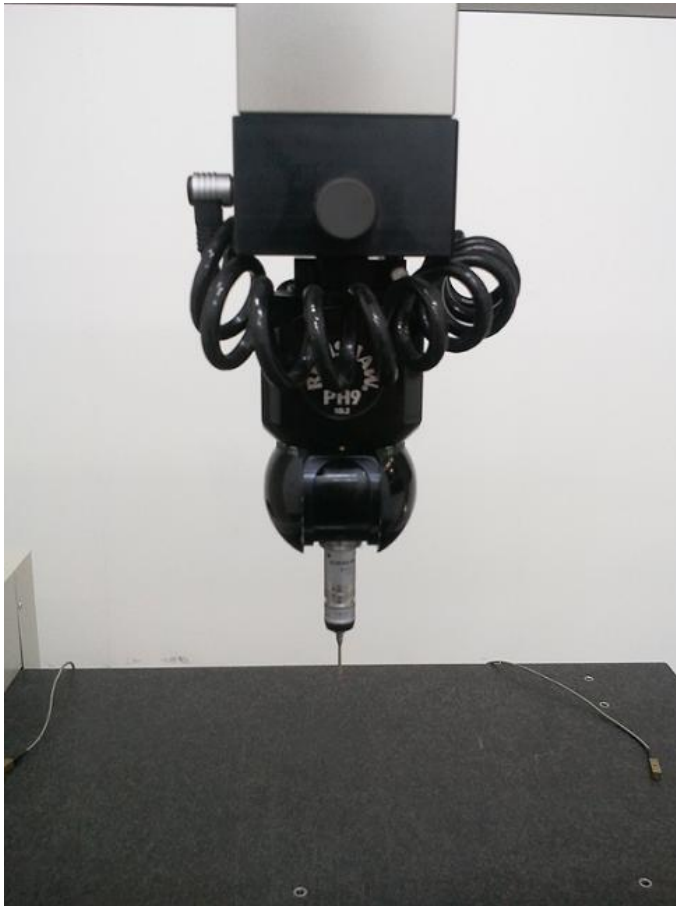
moninaisia koskettavia antureita ja optisia antureita sekä nivelistukoita. (Tikka 2007, 34.)

Kuviossa 3 Tikka on jaotellut mittauspää omiin luokkiin. Optisella – sekä mekaanisella mittauspäällä on omat vahvuutensa ja niitä pystytään nykyään käyttämään samassa koordinaattimittauskoneessa. Tavallisimmat koordinaattimittauskoneet on varustettu yhdellä anturilla. (Tikka 2007, 34.)



Kuvio 3. Mittauspäiden jaottelu. (Tikka 2007, 34.)

Nivelistukka on antureiden kääntelyyn tarkoitettu osa, joka näkyy Kuviossa 4. Nivelistukka on liikkeiltään tarkka ja se välittää sähköliittimiensä kautta kaiken antureiden tarvitseman tietovirran ja energiaa. Renishaw PH10 on suosittu nivelistukka koordinaattimittauskoneille sillä se on voimakas ja jaksaa kantaa painaviakin antureita jatkovarsineen. (Tikka 2007, 33.)



Kuvio 4. Renishaw – merkinen nivelistukka, malli PH9.

Vaihtomakasiiniin pystytään asettamaan halutessaan erilaisia koskettavia mittauskärkiä ja mittausantureita, jatkovarsia, laser- ja videomittauspäitä sekä pinnankarheus-, kappaleen lämpö-, ja kovuusmittareita. Markkinoilla on muitakin mittausantureiden valmistajia kuin Renishaw, joita ovat: Mitutoyo, Cary, Leitz ja Zeiss. Nykyään voi valita muilta anturivalmistajilta antureita eikä ainoastaan omistamaltansa konevalmistajalta. Esimerkiksi Renishawn tuotteita voi valita mihin tahansa mittauskonemerkkiin. (Tikka 2007, 33.)

5 YRITYKSEN KOORDINAATTIMITTAUSKONE

Oy Wel-Mach Ab:n ostama koordinaattimittauskone on Mitutoyo Euro-Apex C 7016 CNC CMM. Ohjelmistona toimii GEOPAK – Win v2.3.RS Edition 5 – ohjelmisto, jota käytetään tietokoneella. Koneessa on automaattinen lämpötilan virheen korjaus, jonka vuoksi se sopii käytettäväksi konepajoissa. Koordinaattimittauskone on numeerisesti ohjattu mittauskone. Mittaaminen tapahtuu mekaanisesti.

Koneen tiedot:

- akseleiden mittauspituudet: X 705 mm, Y 1005 mm, Z 605 mm
- tarkkuus: $\pm(1.7 + 0.3L/1000)$ μm , L = mittauspituus [mm]
- mittausnopeus 1–3 mm/s
- maksiminopeus 430 mm/s
- mitattavan kappaleen maksimipaino 800 kg
- pöydän materiaali, Graniitti.



Kuvio 5. Yrityksen koordinaattimittauskone.

5.1 Koordinaattimittakoneen osat

Vaihtomakasiini, joka on kiinnitetty koordinaattimittauspöytään on Renishaw MCR20 – merkinen. Vaihtomakasiini näkyy kuviossa 6. Makasiiniin voi asettaa yhteensä kuusi mittauspäätä, joista yksi on aina käytössä. Makasiinin tiedot: korkeus 145 mm, syvyys 60 mm, leveys 200 mm (Renishaw 2012).

Makasiini toimii ilman sähköä. Jokaisen anturipaikan päällä nähdään kannet 1–6, jotka suojelevat pölyn pääsystä mittapäiden magneettipintoihin. Mittapään vaihdon yhteydessä törmäyksen sattuessa makasiinissa on jouset, jotka suojelevat suurimmilta vahingoilta. Makasiini taipuu taaksepäin hieman välttyäkseen vahingoilta. (Renishaw 2012.)

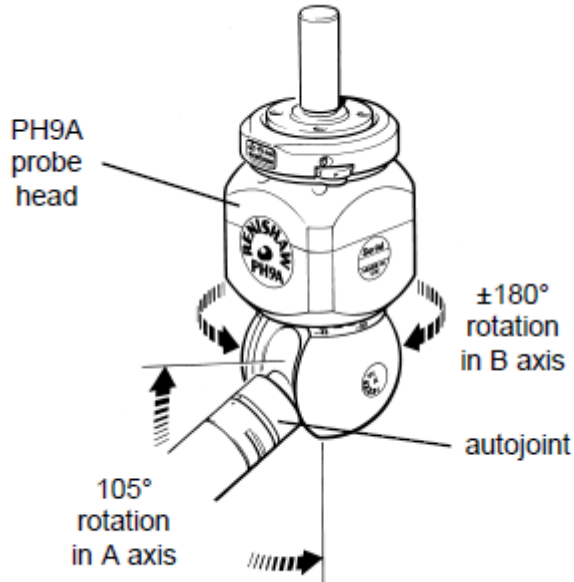


Kuvio 6. Vaihtomakasiini Renishaw MCR20.

5.1.1 Mittausanturi

Yrityksen KMK:ssa oleva mittausanturi on Renishaw PH9. Kuviosta 4 näemme kyseisen anturin. Mittausanturi on liikkeiltään tarkka. Anturissa on nivelistukka, jota pystytään säätämään eri asentoihin. Kuviosta 7 näemme mittausanturin akselit A ja B. A – akseli on 0–105 ° kuvion mukaisesti. B – akseli on $\pm 180^\circ$ kum-

paankin suuntaan kuvion mukaisesti. Mittapää kiinnitetään mittausanturiin magneetilla.



Kuvio 7. Mittausanturin akselit ja niiden kulmat. (Renishaw 2012.)

5.1.2 Mittausanturin ohjauskapula

Mittausanturille on oma ohjauskapula, joka näkyy kuviossa 8. Mittausanturin ohjauskapula on Renishaw PHD 10. Mittausanturin ohjauskapulasta voidaan säätää erilaisia asentoja mittapäille.

Ohjauskapulassa on neljä nappia, joista käännetään mittapää haluamaan asentoon. Ohjauskapulassa on kaksi pientä LED – näyttöä, jotka osoittavat suoraan missä asennossa mittapää on. Ohjauskapulasta voi manuaalisesti kääntää mittapäää haluamaan kulma-asentoon sekä automaattisesti ohjelmoida tietokoneelta.



Kuvio 8. Mittausanturin ohjauskapula, Renishaw PHD 10.

5.2 Ohjelmisto

Ohjelmistona koordinaattimittauskoneelle toimii Mitutoyon valmistama ohjelmisto. Ohjelmisto tuli koneen mukana, eikä sitä pysty vaihtamaan muuhun ohjelmistoon. Ohjelmisto on GEOPAK – Win v2.3.R2 Edition 5 – ohjelmisto. Ohjelmistoa käytetään tietokoneella.

5.3 Koordinaattimittakoneen ympäristö yrityksessä

Koordinaattikoneelle rakennettiin omat tilat huolellista ja tarkkaa mittaamista varten. Tilan leveys toiseen suuntaan on noin 4 metriä ja toiseen suuntaan noin 9 metriä. Tila on noin 36 neliön kokoinen ja se on noin 3.5 metriä korkea. Tilaan rakennettiin kunnan valaistus. Katossa on viisi kappaletta loisteputkivalaisimia, joissa jokaisessa on kaksi loisteputkilamppua. Yhteensä kymmenen loisteputkilamppua valaisee tilan. Loisteputkivalaisimet on asetettu kattoon tasaisin välein, että valaistus olisi mahdollisimman kirkas ja tasainen joka kohdassa.



Kuvio 9. Yrityksen koordinaattimittaustila ulkopuolelta.

Tilaan on suunnitteilla ilmalämpöpumppu, että mittaaminen suoritettaisiin aina samassa lämpötilassa. Tilan oviaukko on suurehko. Se on noin 3 metriä leveä ja 2.8 metriä korkea, näin tilaan pystytään tuomaan suurempiakin mitattavia kappaleita trukilla joita ei voi käsin kantaa. Oviaukkoon asennettiin Mesvac Oy:n tekemä nosto-ovi. Rullaovi toimii nappia painamalla ylös ja alas. Tilan ulkopuolella on ilmansäätövipu, josta laitetaan ilmat aina päälle ennen mittaamista. Koordinaattimittauskone tarvitsee pneumatiikkaa toimiakseen.




Kuvio 10. Yrityksen koordinaattimittaustila sisäpuolelta.

6 MITTAAMINEN

Monesti ajatellaan, että mittaaminen on helppoa ja nopeaa. Tietysti mittaaminen voi olla helppoa sekä nopeaa, jos esivalmistelut on tehty huolellisesti ja hyvin sekä ohjelmat ovat helppokäyttöisiä. Monesti varsinaista mittausa edeltää ja seuraa monenlaisia toimenpiteitä, jotka ovat ns. sivuaikoja. Sivuaikoihin kuuluu helposti enemmän aikaa kuin itse mittaamiseen. (Tikka 2007, 36.)

Kuviossa 11 Tikka esittelee koko mittausprosessin kappaleen valmistelusta aina tulosten raportointiin.

	Apu- aika	Kone- aika	Mit- taaja	Etäoh- jelmoin- ti
KAPPALEIDEN VALMISTELU				
Tarjous, tilaus tai mittausmääräys	X		X	
Kuljetus mittaushuoneeseen	X			
Vastaanotto ja tarkistus	X		X	
Välivarastointi	X			
Pakkausten avaaminen	X			
Kappaleiden valmistelu (puhdistus, purseiden poisto, ...)	X		X	
MITTAUKSEN VALMISTELU				
Piirustuksiin (CAD-malli ja piirustus) perehtyminen	X		X	X 
Mittaussuunnitelman laatiminen	X		X	X
Kiinnittimen suunnittelu, valmistaminen ja valmistelu	X		X	X
Kiinnittimen asettaminen koneeseen		X	X	
Optien ja/tai mekaanisen kärkiyhdistelmän valmistelu. (linssin valinta ja kiinnitys, kärkiyhdistelmän rakentaminen ja makasiiniin asettaminen, valaistuksen asennus)	X		X	X
Videokameran- ja mittauskärkien kalibrointi		X	X	
Kappaleen kiinnittäminen ja suuntaaminen mekaanisesti		X	X	
Kiinnittimen tai kappaleen paikan määrittäminen mitaamalla		X	X	
OHJELMOINTI				
Mittausradan ohjelmointi (kappaleen paikka ja ohjelmallinen suuntaus)		X	X	X
Toleranssietojen syöttäminen		X	X	X
Tulostusmuodon määrittäminen. Tulostustiedostoon tallennus		X	X	X
Ohjelman käynnistystoimet (hakeminen ja aloitus). Ovat erilaiset uusiutuviissa mittauksissa, yhdelle tai usealle kappaleelle		X	X	
MITTAUS				
Automaattinen NC-mittaus, tai ohjattu manuaalimittaus (yksi tai useita kappaleita)		X	(X, man.)	
Tulostus ja muokkaus		X		
Tulosten siirto (esim. verkkoon)		X	X	
Mittausepävarmuuden määrittäminen	X		X	
JÄLKITOIMET				
Kappaleen irrottaminen		X	X	
Kiinnittimien irrottaminen ja purkaminen		X	X	
Kappaleiden suojaus, pakkaus, välivarastointi ja lähettäminen	X			
Mittaus tulosten muokkaus ja jatkokäsittely	X		X	
Raportointi, tulosten toimittaminen ja selitykset	X		X	
Laskutus	X			
Mittauksen dokumentointi tulevaa, uusiutuvaa käyttöä varten	X		X	

Kuvio 11. Mittausprosessiin kuluvat aikapaikat. (Tikka 2007, 37.)

6.1 Mittauksen valmistelu

Mittausta voidaan kutsua prosessiksi. Mittaaminen alkaa mittaussopimuksista, josta se jatkuu mittauksen suunnitteluun ja päättyy raportointiin. Pääjärjestys mitaamisessa:

1. kärkien kalibrointi
2. työkappaleen paikan määrittäminen mittauspöydällä
3. ohjelmallinen suuntaus
4. mittaus
5. tulostus
6. mittauksen dokumentointi. (Tikka 2007, 211.)

Mitattavien kappaleiden valmisteluun tarvitaan neuvotteluita, että tiedetään mitä pitää ja mitä halutaan mitata: työkappaleet, paino, koko, lukumäärä, materiaali, peruselementit, koordinaatistot, toleranssit ja mitattavat piirteet, ja niiden merkitseminen, mittausepävarmuudet ja aikataulu sekä miten mittauksen tulokset raportoidaan. Mittausten automaatio on suunniteltava huolella sarjatuotteiden osalta, että niissä on oikeanlaiset jikit, paletit ja kiinnittimet. (Tikka 2007, 211.)

Uusiin mitattaviin kohteisiin tarvitaan runsaasti suunnittelua ja perehtymistä. Mittauksen valmisteluihin kuluu aikaa ja se sitoo mittaajan. Mitat, toleranssit sekä peruselementit kohteen suuntaamista varten on tarkastettava. Näiden jälkeen on suunniteltava kappaleen kiinnitys ja mahdollisen jikin rakentaminen sekä miettiä mitä mittakärkiä kannattaisi käyttää. (Tikka 2007, 211.)

Mittausjärjestyksen suunnittelu täytyy tehdä aloittaessa mittauksen ohjelmointia. Mittaustöitä voi etukäteen hahmotella paperille. Näin helpottuu ohjelmoinnin teko, kun on jo mietitty mitä missäkin vaiheessa tehdään ja mitattavat asiat on käyty läpi. (Tikka 2007, 211.)

6.2 Koordinaatiston määrittäminen

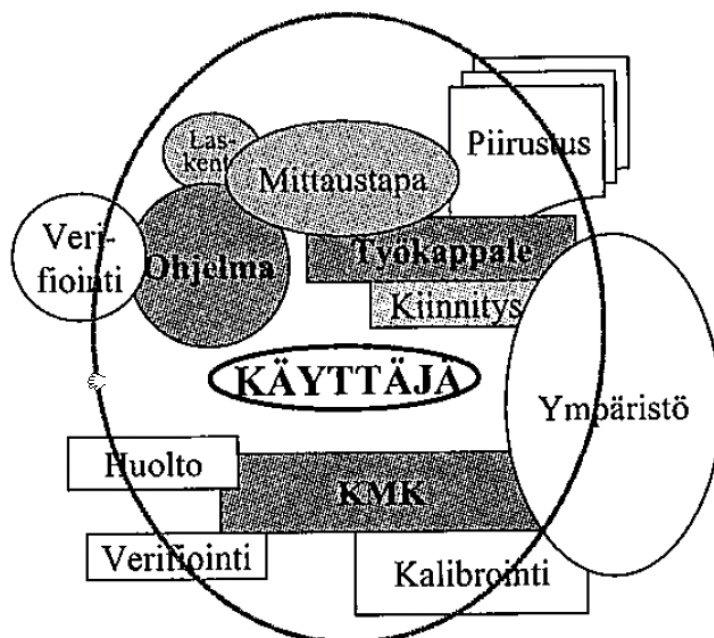
Koordinaattimittauskoneella mitataan yksittäisiä pisteitä avaruudessa eli koordinaatistossa. Kappalekoordinaatiston määrittäminen on tärkeää, että saadaan mit-

taustulokset oikeiksi. Koordinaatisto luodaan työkappaleen peruselementtien kautta. Koordinaatiston määrittäminen työkappaleeseen on suunnittelijan vastuulla. Peruselementtien tulee olla korkealuokkaisia. (Rantamarkkula 2011, 19.)

Näiden perusteella koordinaatiston suuntaus ja origo pitää olla uusittavissa ja toistettavissa missä ja milloin vain. Koordinaatiston suuntaus sallii työkappaleen olevan hieman vinossa, kuitenkin se ei saa olla niin paljon vinossa ettei tule varsi-kosketuksia. (Rantamarkkula 2011, 19.)

6.3 Mittauskyky

Koordinaattimittauskone ei ole ainoa epävarmuustekijä mittaamisessa. Kuviossa 12 esitetään epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustuloksiin. Monet epävarmuustekijöistä vaikuttavat keskenään toisiinsa ja ne on piirretty kuviossa päällekkäin havainnollistamaan asiaa paremmin. Tärkein näistä epävarmuustekijöistä on kuitenkin koneen käyttäjä itse. Käyttäjän vastuulla on tehdä ratkaisut eli hallita kuvan kokonaisuus. Käyttäjän täytyy kokoajan valvoa myös ympäristöä, koneen kuntoa sekä ilmastointia. (Tikka 2007, 38.)



Kuvio 12. Mittauskykyyn vaikuttavia tekijöitä. (Tikka 2007, 38.)

Neljä suurinta vaikuttavaa tekijää koordinaattimittauksen epävarmuuteen ovat:

1. koordinaattimittakoneen käyttäjä, 30–50 %
2. mitattava kappale, 10–30 %
3. ympäristö, 5–20 %
4. koordinaattimittauskone, 5–20 %. (Mikes Metrologia 2012.)

Ajan myötä on vakiintunut puhua koordinaattimittauskoneiden pituusmittauskyvystä ja toistuvuudesta. Aluksi oli epämääräinen tarkkuus A (accuracy), ja sitten mittaausepävarmuus U (uncertainly) sekä virhe E . Nykyään ISO 10360-2 käyttää maksimivirhettä MPE . Nimitykset ja määritelmät ovat muuttuneet, on silti testaus-tapaan vakiintunut tarkkuuta kuvaava kaava:

$$MPE = A + L/K < B \text{ tai } U = A + KL < B \text{ (Tikka 2007, 38)}$$

Kaikissa (U , E ja MPE) on mukana etuliite \pm vaikka se olisikin jätetty pois ja ne merkitään kattavuuskertoimella $k = 2$ mikrometreinä. Tämä tarkoittaa 95 % varmuutta vanhaa ilmausta käyttäen. Kaavassa oleva kirjain A tarkoittaa mittauspituudesta L riippumatonta osaa. Tämä kuvaa hyvin mittauksien toistuvuutta. KL ja L/K ovat mittauspituudesta riippuvat osat. L on merkitty usein millimetreinä tai metreinä. B tarkoittaa maksimivirhettä mitä isommaksi MPE tai U ei voi kasvaa. (Tikka 2007, 38–39.)

MPE :lle ISO-standardin käsitteet pituuden mittausvirheelle E ja toistuvuusvirheelle P lyhyesti ovat: $MPE_E =$ pituuden mittaus. Mitataan viisi eri mittauspituutta seitsemässä eri kohdassa ja mittaukset toistetaan kolme kertaa. Näin saadaan 105 eri mittautulosta, joista yksikään tulos ei saa mennä valmistajan määrittelemien rajojen yli. (Mikes Metrologia 2012.)

$MPE_P =$ kosketuspoikkeama eli 3D-toistuvuus. Mitataan 25 pistettä, kaikki tasajakoisesti halkaisijan ympäri esimerkiksi kalibrintipallosta, joka on 10–50 mm kokoinen. Mittautulosten avulla lasketaan keskimääräinen pallo. Palloon nähden maksimi-minimi poikkeama (säteittäinen) ei saa mennä valmistajan määrittelemien rajojen yli. (Mikes Metrologia 2012.)

6.4 Kalibrointi

Mittapäät täytyy kalibroida tietyin aikavälein, riippuen mittaamisesta, kuinka paljon sitä tehdään ja kuinka usein. Mittapään kalibroinnilla tarkoitetaan mittauserävyyden pienentämistä. Mittapäät täytyy kalibroida, että mittaustulokset saataisiin tarkemmiksi. Esimerkiksi, jos aloitetaan mittaus ja siihen tarvittavia mittapäitä ei ole kalibroitu, mittaustulokset voivat heittää toleranssirajojen yli vaikka oikeasti mitattava kappale olisikin toleranssirajojen sisällä.

Kuviossa 13 on kuvattuna kalibroinnin olosuhdevaatimukset riippuen eritasoisista mittauksista. Vaativissa mittauksissa on paljon tarkemmat säädökset, kun välttävissä mittauksissa. (Hakala 2009.)

Ominaisuus	Vaativat mittaukset ja tavalliset kalibroinnit	Normaalit mittaukset ja vaatimattomat kalibroinnit	Välttävät mittaukset
Lämpötila työtasossa	20 °C ± 1 °C	19 ... 24 °C	15 ... 25 °C
Lämpötilaerot tilan eri osissa	Maks. 2 °C	Maks. 4 °C	–
Lämpötilan vaihtelu tunnissa	Maks. 0,3 °C	Maks. 1 °C	Maks. 1,5 °C
Lämpötilan vaihtelu vuorokaudessa	Maks. 1 °C	–	–
Ilman suhteellinen kosteus	35 ... 55 %	20 ... 70 %	Maks. 80 %
Värähtelyt (Amplitudi/taajuus)	1µm/20 Hz ... 3µm/10 Hz	Ei selvästi havaittavaa värähtelyä	Ei selvästi häiritsevää värähtelyä
Valaistus	800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	500 ... 1500 lux
Puhtaus (koko/määrä)	< 5µm/1x10 ⁷ kpl/m ³	Puhtaudesta huolehditaan hyvin	Puhtaudesta huolehditaan normaalisti
Ilman virtausnopeus	< 300 mm/min	Ei tuntuvaa vetoa	Ei selvästi tuntuvaa vetoa
Melu	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

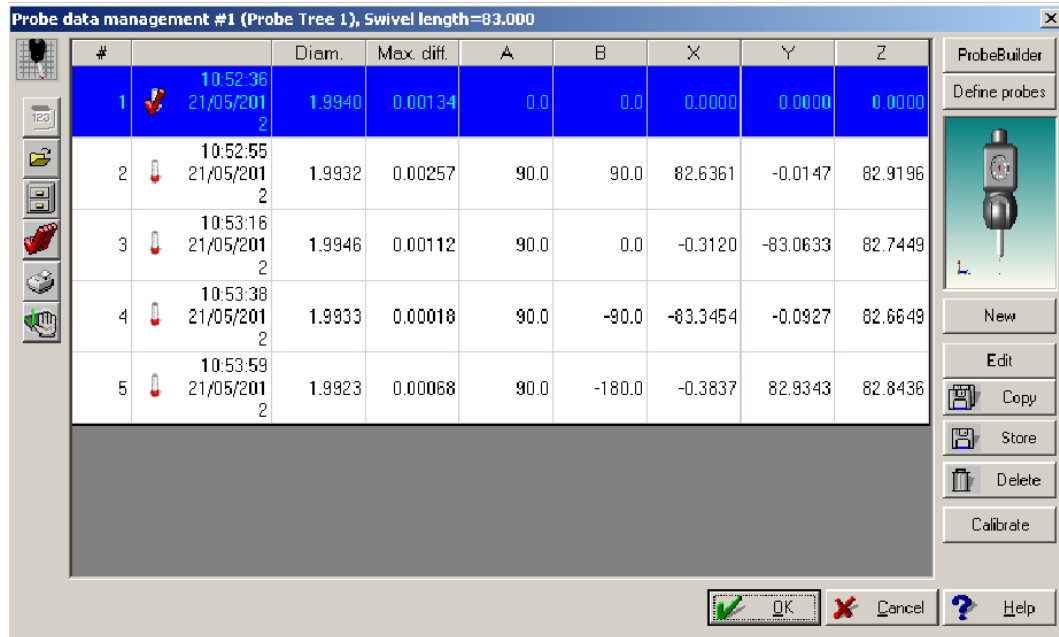
Kuvio 13. Kalibroinneissa olevat olosuhdevaatimukset. (Hakala 2009, 9.)

6.5 Esimerkkikalibrointi

Kuviosta 14 nähdään mittaustulokset mittapään kalibroinnille. Max. diff. = anturivirhe ja sen sarakkeessa on kalibroinnista saadut tulokset. Kaikki tulokset pitää

olla alle 0.003, että kalibrointi on hyväksytty. Tässä tapauksessa tulokset ovat hyväksytty. (Rikkinen 2012.)

Kuviosta nähdään myös anturiasennot, joita on viisi kappaletta. Sarakkeesta A ja B nähdään anturiasennot. Esimerkiksi anturiasennon numero viisi anturiasento on $A = 90^\circ$ ja $B = -180^\circ$.



#		Diam.	Max. diff.	A	B	X	Y	Z
1	10:52:36 21/05/2012	1.9940	0.00134	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000
2	10:52:55 21/05/2012	1.9932	0.00257	90.0	90.0	82.6361	-0.0147	82.9196
3	10:53:16 21/05/2012	1.9946	0.00112	90.0	0.0	-0.3120	-83.0633	82.7449
4	10:53:38 21/05/2012	1.9933	0.00018	90.0	-90.0	-83.3454	-0.0927	82.6649
5	10:53:59 21/05/2012	1.9923	0.00068	90.0	-180.0	-0.3837	82.9343	82.8436

Kuvio 14. Hyväksytty tulos mittapään kalibroinnille.

Kuviossa 15 näkyy kalibroinnin tulokset toisesta kalibroinnista. Tuloksista nähdään, että kalibrointi on epäonnistunut, koska anturiasennot 2–5 ovat menneet yllä sallitun rajan, joka on 0.003. Anturiasento numero yksi on ainoastaan pysynyt rajojen sisällä. Kalibrointi joudutaan suorittamaan uudestaan niin kauan, että tulokset ovat alle 0.003. Esimerkkinä kannattaa puhdistaa kalibrointipallo uudestaan sekä mittapää. Virheet voivat johtua näistä tapauksista.

#		Diam.	Max. diff.	A	B	X	Y	Z
1	12:39:20 21/05/201 2	3.9339	0.00296	0.0	0.0	-0.7115	0.5075	80.3637
2	12:39:40 21/05/201 2	3.9294	0.00393	90.0	90.0	162.2839	0.8980	163.9681
3	12:40:03 21/05/201 2	3.9332	0.00713	90.0	0.0	-0.6131	-162.9419	163.6175
4	12:40:25 21/05/201 2	3.9402	0.00409	90.0	-90.0	-164.4316	-0.0110	163.4667
5	12:40:48 21/05/201 2	3.9318	0.00418	90.0	-180.0	-1.5112	163.7889	163.8173

Kuvio 15. Hylätty tulos kalibroinnille.

6.6 Työkappaleen kiinnitys

Aloittaessa uutta mittausta, on mietittävä työkappaleelle sopiva paikka pöydällä. Paikan tulee olla sellainen, että kaikki tarvittavat mitat saataisiin mitattua. Mittapään pitää myös päästä kulkemaan työkappaleen yli tarpeen vaatiessa. Mittapään käännöt täytyy ottaa myös huomioon välttyäkseen törmäyksiltä.

Paras kiinnitys työkappaleelle olisi sellainen, että koko työkappale saadaan mitattua yhdellä kiinnityksellä. Näin ollen työkappaleelle pitäisi tehdä vain yksi mittausohjelma. Tämä kuitenkin ei ole aina mahdollista, jos mitattavat kappaleet on monimutkaisia.

Automaattiajo työkappaleelle voidaan aloittaa vasta, kun työkappale saadaan kiinnitettyä aina samaan paikkaan pöydällä. Työkappaleen paikka pitää olla aina sama paikka pöydällä, että koordinaattimittauskone löytää työkappaleen ja pystyy mittaamaan sen. Suunniteltaessa työkappaleen kiinnitystä on otettava huomioon kiinnityksen voimat. Voimat eivät saa olla liian suuria, ettei työkappaleeseen tule muotovirheitä. Kiinnityksen voimat eivät kuitenkaan saa olla liian pieniä ettei työkappale heilu. Työkappaleen on pysyttävä paikoillaan koko mittauksen ajan.

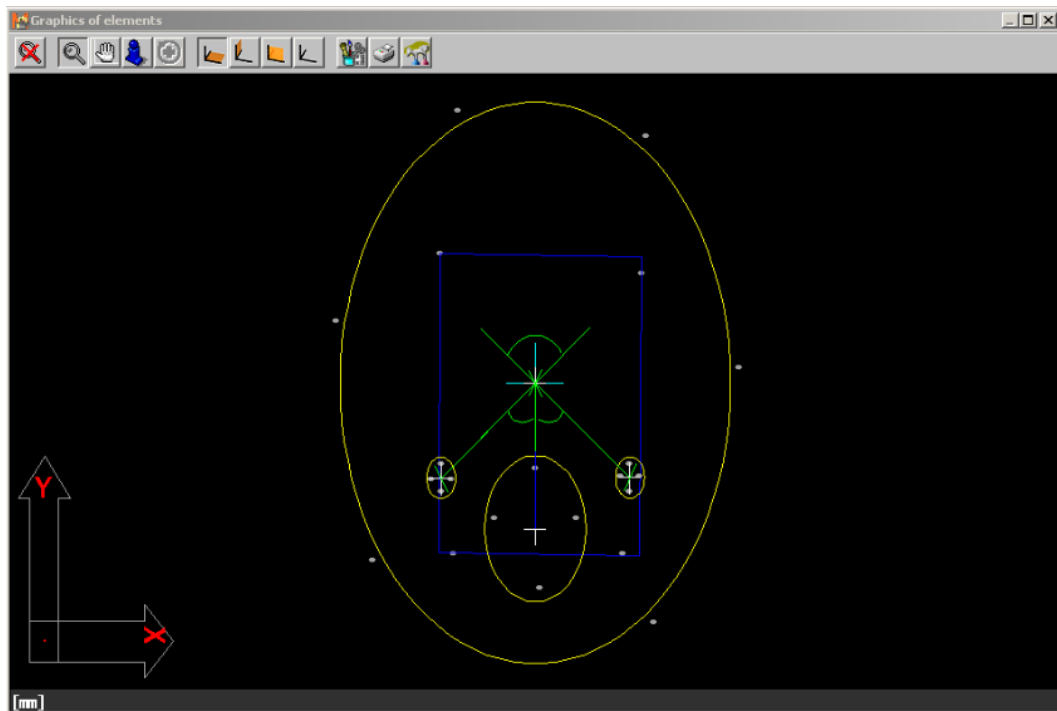
7 VERTAILUMITTAUS

Koordinaattimittauskoneella töitä tehdessäni, tein vertailumittauksia eri kappaleille ja tarkkailin tuloksia miten ne heittelevät keskenään. Tein vertailumittauksen kappaleesta x asiakkaan kanssa. Asiakas oli tilannut Oy Wel-Mach Ab:lta kappaleita x tietyn määrän. Vertailumittaus tehtiin kyseisen kappaleen valmistuksen alussa. Näin saatiin luotettavat tulokset keskenään. Kappaleiden valmistuksen alussa huomasin virheitä mitoissa ja informoin niistä kappaleen valmistamalle henkilölle. Näin saatiin oikeat arvot kappaleiden valmistamaan koneeseen ja alkoi tulla hyviä kappaleita.

Kuviosta 16 nähdään ohjelmistosta otettu kuva, jossa mittausohjelmisto on piirtänyt kappaleen x yläpuolelta. Yläpuolelta katsottuna kappale on ympyrän muotoinen, jonka kehän sisällä on yhteensä kolme reikää, jotka ovat ympyrän muotoisia. Kaksi pienempää reikää ovat samankokoiset.

Kappaleesta x piti mitata ulkokehä, kaksi pienempää reikää ja yksi vähän suurempi reikä ja tehdä suorat ulkokehän keskipisteestä pienien reikien keskipisteisiin ja ulkokehän keskipisteestä kolmannen reiän keskipisteeseen. Näistä piti laskea ulkokehän keskipisteestä etäisyydet pienien reikien keskipisteisiin ja niiden väliset kulmat. Kappaleesta x saadut mitat on esitetty kuvioissa 17 ja 18. Mitat ja kulmat piirustuksen mukaan ovat:

- etäisyydet ulkokehän keskipisteestä pienempiin reikiin ovat 25mm
- ulkokehän keskipisteen ja pienien reikien välinen kulma on 110°
- pienien reikien ja niiden välissä olevan reiän kulmat ovat 55° .



Kuvio 16. Grafiikka – ikkuna kappaleesta x.

Alla olevissa taulukoissa nähdään minun mittaustulokset kappaleesta x sekä samasta kappaleesta asiakkaan mittaustulokset. Asiakas mittasi kappaleen x koordinaattimittauskoneella. Minun tulokset kappaleesta x ovat kuviossa 17 ja asiakkaan tulokset kuviossa 18.

Mittaustulokset WEL-MACH					
Element	Tolerance	Up/Lo	Nominal	Actual	Dev./Error
Etäisyys25_vasen	Distance XY	±0.0500	25.0000	24.9849	-0.0151
Etäisyys25_oikea	Distance XY	±0.0500	25.0000	25.0239	0.0239
Kulma110	XY-angle	±0.1150	110.0000	110.0139	0.0139
Kulma55_vasen	XY-angle	±0.1150	55.0000	54.9255	-0.0745
Kulma55_oikea	XY-angle	±0.1150	55.0000	55.0885	0.0885

Kuvio 17. Minun mittaustulokset kappaleesta x.

Mittaustulokset Asiakas					
Element	Tolerance	Up/Lo	Nominal	Actual	Dev./Error
Etäisyys25_vasen	Distance XY	±0.0500	25.0000	24.996	0.004
Etäisyys25_oikea	Distance XY	±0.0500	25.0000	24.983	0.017
Kulma110	XY-angle	±0.1150	110.0000	110.050	-0.05
Kulma55_vasen	XY-angle	±0.1150	55.0000	54.965	-0.035
Kulma55_oikea	XY-angle	±0.1150	55.0000	55.085	-0.085

Kuvio 18. Asiakkaan mittaustulokset kappaleesta x.

Tuloksista nähdään, että kummankin mittaustulokset ovat toleranssirajojen sisällä. Kumpikin oli tyytyväinen mittaustuloksiin. Kappaleiden valmistusta jatkettiin ja kaikki kappaleet mitattiin yksitellen. Toleranssirajojen sisällä olevat kappaleet lähetettiin asiakkaalle. Kappaleita valmistettiin niin kauan, että kaikki asiakkaan kappaleet tuli valmistettua ja mitattua.

8 OHJEISTUKSET

Suunniteltaessa uusien koordinaattimittaajien koulutusta ja kehitystä seuraava ohje saattaa olla avuksi. Ensinnäkin mittauskokemusten hankkiminen kestää vuoden verran. Koordinaattimittaamiseen hyötyä on, jos jo entuudestaan tuntee valmistusmenetelmät, peruspintojen merkityksen, geometriset toleranssit. Esimerkiksi työkaluvalmistajan ja koneistajan ammateista on hyötyä. (Tikka 2007, 318.)

CAD-mallintajan kokemuksesta on myös hyötyä, koska 3D-mallien tajuaminen 2D-piirustusten kanssa helpottaa havainnollistamaan mittausohjelman toimintaa. Kappalekoordinaatiston muodostaminen ja sen merkitys mittaustuloksissa on vaikeinta hahmottaa. Koskettavalla kärjellä mittaaminen yksittäisillä pisteillä ja sen tulos etäisyysmittauksessa pisteillä mitattaessa kahden tason välillä on myös vaikea hahmottaa. (Tikka 2007, 318.)

8.1 Koulutus

Valmistajan luona konekohtainen koulutus on mahdollista ja usein myös parasta, sillä kysymyksiin saadaan vastaus aina tehtaalta. Maahantuojalta saatava koulutus on yleensä kevyempää eikä asioita ymmärretä aina oikein, jos ollenkaan. Tällöin vastaukset saadaan viiveellä koneen valmistajalta. Koneen hankittua on liitettävä kaksivaiheinen koulutus. Ensimmäinen koulutus tulisi olla ennen koneen asennusta ja koulutuksen kesto voisi olla noin 4 päivää. Ensimmäisellä koulutuksella olisi tarkoitus saada näppituntuma alkeisiin ja samalla nähdä kuinka laitetta voidaan käyttää mittaamiseen. Toinen koulutus pitäisi olla mahdollisimman äkkiä, kun KMK on asennettu. Sen keston pituudeksi suositellaan yhtä viikkoa. Näiden koulutusten jälkeen olisi suotavaa saada täydennyskoulutusta muutaman kuukauden kuluttua muutaman päivän verran, esimerkiksi 3 päivää. Huomattavan tärkeää on, että koulutettava itse joutuu nappulatyöhön, eikä seuraa vierestä kun kouluttaja tekee. (Tikka 2007, 318–319.)

Koneen ja ohjelmiston toimintaperiaatteet olisi ymmärrettävä eikä ainoastaan hallita valikoita. Toiminnot, kuten mittauskärkien kiinnittäminen, kalibroiminen, geometrinen toleranssien, kulmien ja etäisyyksien laskentatavat, työkappaleen

asema ja NC-ohjauskoordinaatisto kerrotaan manuaalissa, mutta se missä järjestyksessä kaikki tulee suorittaa ja miten laskenta tapahtuu jää usein vieraaksi. (Tikka 2007, 319.)

8.2 Mittausohje

Mittaus sisältää paljon tekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustuloksiin, mittausvirheisiin ja mittausepävarmuuteen. Mittaus on omanlainen prosessi. Mittaukset pyritään tekemään aina parhaalla mahdollisella tavalla, mutta se ei läheskään aina ole mahdollista. Näin ollen joudutaan valitsemaan seuraavaksi paras vaihtoehto eli tehdään kompromissi koskien esimerkiksi mittaajaa, laitteistoa ja ympäristöä. Kaikissa mittauksissa on pyrittävä kehittämään mittausprosessia eikä vaan tyytyä tiettyyn valittuun kompromissiin. Aktiivisella mittausprosessin kehittämisellä löydetään uusia ja varteenotettavia vaihtoehtoja erilaisille mittausmenetelmille, joilla saadaan oikeampia mittaustuloksia, eliminoidaan systemaattisia virheitä ja tärkein asia, saavutetaan pienin mahdollinen mittausepävarmuus. (Tikka 2007, 308.)

Kirjallinen ohje on välttämätön olla muille mittaajille. Ainoastaan kirjalliset toimintaohjeet pystytään arvioimaan. Kirjoitetulla ohjeella on monta hyvää tarkoitusta ja se palvelee ainakin neljää asiaa:

1. toimii mittaajalle ohjeena, josta voi tarkistaa halutun asian, unohtuneen tai epäselvän asian
2. toimii loistavana koulutusmateriaali uusille mittaajille
3. antaa mittausepävarmuuden määrittämiselle perusteet
4. pystytään näyttämään asiakkaalle tai ulkopuoliselle arvioijalle kuinka toimitaan. (Tikka 2007, 308.)

Koordinaattimittausohjeet pitää nimetä selvästi ja niiden tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

1. mitattavan kappaleen valmistelu, eli kappaleen puhdistus huolellisesti
2. stabiloituminen, eli odottaa mitattavan kappaleen olevan oikeassa lämpötilassa

3. kappaleen kiinnitys, kuva mukaan
4. kuvaus mitä mittäkärkiä käytetään ja miksi
5. mittauskärjen/-kärkien kalibrointi
6. kappaleen suuntaus, kosketuskohdat sekä pistemäärät
7. mittaustapa, miten mitataan, kosketuskohdat
8. oikea lämpötilakerroin kyseiselle materiaalille
9. mittaustulosten analyysi
10. geometristen toleranssien analysointi
11. liitteiksi
 - kuva mittauksesta, sen kiinnitystapa ja lämpömittarien paikat
 - mittakärkiyhdistelmästä kuvat
 - työkappaleaseman määrittäminen ja millä mittauskärjellä se tehdään
 - mittausohjelman nimi
 - tulostus NC-ohjelmasta
 - kalibroimisesta mallikappale. (Tikka 2007, 308–309.)

Jokaisen valmistelevan työn vaihe sekä mittauksen vaiheet olisi jaettava. Näin ol-
 len dokumenttiin tulee kaikki tarvittava tietämys kirjatuksi. Tämä helpottaa tie-
 donsiirotokatkoksia, jos tulee mahdollisia henkilövaihdoksia. Työvaiheiden sisäl-
 löstä löytyy vastaukset seuraaviin asioihin:

Miksi mitataan, miksi tehdään?

Miten tehdään?

Mitä välineitä käytetään?

Miksi mitataan, miksi tehdään – kohdassa kerrotaan perusteet asioille miksi mita-
 taan, valitaan oikeat mittauskärjet, valitaan kiinnitystapa. Miten tehdään - kohdas-
 sa kerrotaan valokuviiin perustuen miten mittaus suoritetaan vaihe kerrallaan. Tä-
 mä auttaa uusia mitaajia selviämään mitaamisesta. Mitä välineitä käytetään –
 kohdassa kerrotaan työn välivaiheista ja mitä mittäkärkiä kussakin vaiheessa käy-
 tetään. Kriteerit miksi juuri nämä mittakärjet helpottaa työn aloittamista. (Tikka
 2007, 309.)

8.3 Koordinaattimittauskoneen huolto

Yksinkertaisia huoltotoimenpiteitä pystyy tekemään itse, mutta KMK kannattaa huoltaa valmistajalla tai maahantuojalla, koska he ovat ainoat, jotka pystyvät tekemään suuremmat säädöt koneelle. Valmistajalta tai maahantuojalta ostettu huolto ei ole halpaa, mutta se on suotavaa. Ostetussa huollossa KMK huolletaan kunnolla, esimerkiksi huollon yhteydessä joudutaan säätämään ilmalaakereiden ilmavälejä, antamaan uusia asteikon kulmakertoimen korjaimia ja kohtisuoruuden korjaimia sekä säätämään mittauspäättä. (Tikka 2007, 323.)

Huolloilla on aina tavoitteena saada KMK alkuperäiseen tarkkuuteen. Huollosta kirjoitetaan todistus ja koneelle tehdään kalibrointityyppisiä asioita. Tulokset dokumentoidaan ja annetaan asiakkaalle, kun kaikki tarpeellinen on mitattu valmistajan ohjeen mukaan. Suositeltava huoltoväli riippuu koneen käytöstä, käyttöolosuhteista. Esimerkiksi kaksivuorotyössä KMK olisi suotavaa huoltaa vuoden välein. (Tikka 207, 323.)

Esimerkkih huolto, joka on tilattu maahantuojalta kestää noin 2.5 päivää. Esimerkkih huolto sisältää koneen perushuollon, työn ja koneen tilan verifiointin sekä mitaukset ja CAA-korjausten muuttamiset. Huollossa käytetään erikoisohjelmistoja yhdessä kalibroittujen mittanormaalien kanssa. (Tikka 2007, 324.)

9 YHTEENVETO

Työ aloitettiin tutustumalla koordinaattimittauskoneeseen, toimintaan ja sen periaatteisiin. Työn alkuvaiheessa oli päivän mittainen koulutus koordinaattimittaamiseen, jonka jälkeen oli paljon itseopiskelua. Työn loppupuolella oli vielä toinen koulutuspäivä. Lopputyön teosta sai huomattavan avun koordinaattimittaamiseen liittyen. Lisäksi koulutuksista oli suunnaton apu mittaamiseen ja koordinaattimittauskoneen toiminta oli helpompi hahmottaa.

Työtä tehdessä huomasin, että ennen koordinaattimittauskoneen ostamista kannattaa huolella tarkastaa kaikki asiat moneen kertaan, ennen kuin valitsee ja ostaa koordinaattimittauskoneen. Ennen koordinaattimittauskoneen ostamista kannattaa miettiä tarkkaan, että mitä sillä tullaan mittaamaan. Tarvitaanko sellaista konetta? Minne koordinaattimittauskone asetetaan? Kuinka suuri koordinaattimittauskone ostetaan? Pitääkö rakentaa omat tilat koordinaattimittauskoneelle? Asioita mitä pitää ottaa huomioon, ostaessa koordinaattimittauskonetta on ainakin kunnollisen koulutuksen saaminen sekä jatkokouluttautuminen.

Töitä tehdessä huomasi kuinka kiireellisiä kaikki työt yleensä ovat eikä mittaamiselle ole hirveästi aikaa. Mitattavaan kappaleen piirustuksiin kannattaa perehtyä jo ennen mittaamista ja suunnitella kuinka aiotaan mitata kappale. Kannattaa tarkistaa kaikki toleranssit piirustuksesta sekä muut mitat. Yleensä ajatellaan, että mittaaminen on yksinkertaista, nopeaa ja helppoa. Näin se valitettavasti ei ole, ainakaan koordinaattimittaamisessa. Aikaa kuluu muihin töihin enemmän kuin itse mittaamiseen. Ensin pitää purkaa mitattavat kappaleet laatikoista, tarkastaa ne päällisin puolin, puhdistaa kaikki mitattavat kappaleet sekä suunnitella mitattavalle kappaleelle kiinnitys.

Mittaaminen täytyy suorittaa aina huolellisesti. Alusta loppuun saakka. Ennen mittaamista kappale on puhdistettava huolellisesti, ettei liasta tulisi virheitä mittaustuloksiin, tarkastella mitattavan kappaleen piirustuksia ja toleransseja. Mitattavan kappaleen kiinnitys on mietittävä miten se aiotaan tehdä, että päästään mittaamaan kaikki tarvittavat mitat, miettiä miten aiotaan tehdä mittaushjelma. Mit-

tausohjelman teko on mielenkiintoista, ja siinä pitää olla koko ajan mukana ajatuksen kanssa, ettei tule vahinkoja.

Työn tuloksena syntyivät käyttöohjeet koordinaattimittauskoneen käytölle sekä mittausohjelmistot mitattaville kappaleille. Käyttöohjeet sisältävät opetuksen koneen käytölle, kalibroinnille sekä mittausohjelmien valmistukselle. Työ koordinaattimittauskoneen kanssa auttoi hahmottamaan kappaleiden valmistusta alusta loppuun saakka. Opinnäytetyö antaa valmiudet koordinaattimittauskoneen käyttöön sekä tuo kustannussäästöjä yritykselle.

LÄHTEET

Hakala, I. 2009. Konepajateknisen mittauksen kehittäminen oppilaitosympäristössä. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Tekniikka ja liikenne. Viitattu 25.5.2012

<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8648/Hakala.Ilkka.pdf?sequence=2>

Mikes Metrologia 2012. Koordinaattimittauskone KMK (CMM). Viitattu 27.5.2012

<http://www.mikes.fi/frameset.aspx?categoryID=3&url=page.aspx%3FpageID%3D891%26contentID%3D427>

Rantamarkkula, T. 2011. 3D-Mittakoneen käytön tehostaminen. Opinnäytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu, Tekniikka ja liikenne. Viitattu 27.5.2012

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/35306/Lopputyö.pdf?sequence=4>

Renishaw 2012. MCR20. Viitattu 27.5.2012

<http://www.renishaw.com/en/mcr20--7403#ElementMediaList13947>

Renishaw 2012. PH9 and PH9A Automated Inspection System User's Guide. Viitattu 27.5.2012

<http://coordinate-measuring-machine.net/wp-content/uploads/2010/12/Renishaw-PH9-andPH9A-User-Guide.pdf>

Rikkinen, A-P. Mitutoyo service engineer. Koulutukset 28.2.2012, 16.5.2012.

Tikka, H. 2007. Koordinaattimittaus. Tampere. Tampereen yliopistopaino Oy - Juvenes Print.

Julkaisemattomat lähteet

Kevät 2012. Yrityksen Power-point –esitys. Oy Wel-Mach Ab.