

Koordinaattimittauskone

Käyttöönotto ja ohjeistus

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Konetekniikan koulutus

2024

Jarkko Alava

Tiivistelmä

Tekijä(t) Jarkko Alava	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 24	Valmistumisaika 2024
Työn nimi Koordinaattimittauskone Käyttöönotto ja ohjeistus		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Refimex Machinery Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli varmistaa koordinaattimittauskoneen sujuva käyttöönotto toimeksiantajayrityksessä. Työssä dokumentoitiin asennusvaihe, osallistuttiin maahantuojan käyttöönottokoulutukseen, tutustuttiin mittauskoneen toimintaan, tehtiin mittausohjelmia ja laadittiin ohjeita. Tämä opinnäytetyö tehtiin Refimex Machinery Oy:lle</p> <p>Opinnäytetyön osana tuotannon työntekijöille järjestettiin koulutusta pienryhmissä. Koulutuksen tavoite saavutettiin, kun osa työntekijöistä oppi ohjelmoimaan ja suorittamaan mittaamisen itsenäisesti. Opinnäytetyö on jaettu teoriaan ja yrityksen mittauskoneen koskevaan osuuteen.</p> <p>Koordinaattimittauskoneen sujuvan käyttöönoton avulla yritys kykenee varmistamaan tuotteiden laadun sekä pystyy vastaanottamaan tarkempia ja parempikatteisia toimeksiantoja.</p>		
Asiasanat koordinaattimittauskone, käyttöönotto, ohjeistus		

Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Jarkko Alava	Thesis, UAS	2024
	Number of Pages	
	24	
Title of Publication		
Coordinate measuring machine		
Introduction and guidance		
Degree, Field of Study		
Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Refimex Machinery Oy		
Abstract		
<p>The aim of the thesis was to ensure the smooth implementation of the coordinate measuring machine in the client company. The work documented the installation phase, participated in the Maha-Importer commissioning training, became familiar with the operation of the measuring machine, made measurement programs, and prepared instructions. This thesis was made for Refimex Machinery Oy</p> <p>As part of the thesis, training was arranged for production workers in small groups. The goal of the training was achieved when some of the employees learned how to program and perform-land measurement independently. The thesis is divided into a theory and a measurement test part of the company.</p> <p>With the smooth introduction of the coordinate measuring machine, the company is able to ensure the quality of the products and is able to receive more accurate and better-covered measures.</p>		
Keywords		
coordinete measuring machine, introduction, guidance		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Mittaukset osana laadunvarmistusta	2
2.1	Perinteiset mittalaitteet	2
2.2	Koordinaattimittaus.....	3
3	Mittaaminen ja toleranssit	4
3.1	Mittaaminen.....	4
3.2	Mittausepävarmuus	4
3.3	Toleranssit ja sovitteet.....	5
3.4	Geometriset toleranssit.....	5
4	Mittaustilan yleiset vaatimukset.....	8
5	Koordinaattimittauskone	9
5.1	Yleistä koordinaattimittauskoneesta	9
5.2	Koordinaattimittauskoneen koordinaatisto	9
5.3	Ohjelmisto	10
5.4	Miten mitataan.....	10
6	Koordinaattimittaus yrityksessä.....	12
6.1	Mittahuone	12
6.2	Koordinaattimittauskone	12
6.2.1	Aberlink	12
6.2.2	Mittakärjet.....	13
6.2.3	Vaihtomakasiini	14
6.2.4	Ohjain.....	15
6.3	Ohjelmisto	16
7	Asennus ja käyttöönotto.....	17
7.1	Mittauskoneen asennus.....	17
7.2	Kalibrointi	19
7.3	Käyttöönotto	20
7.4	Ohjeet	20
7.5	Koulutus	20
8	Mittaukset	21
8.1	Huomiot.....	21
8.2	Mahdollisuudet	21
9	Yhteenveto ja pohdinta	22
	Lähteet	23

1 Johdanto

Refimex Machinery Oy on investoinut yritykselle uuteen koordinaattimittauskoneeseen. Tämän opinnäytetyön aiheena on koordinaattimittauskoneen asennus, käyttöönotto ja hyödyntäminen koneistusyrityksessä.

Yritys on Mänttä-Vilppulassa toimiva alihankintakonepaja. Sen palveluja ovat koneistus, tuotekehitys ja varastointi. Yrityksessä on nykyaikainen konekanta ja se työllistää noin neljäkymmentä henkilöä.

Opinnäytetyön teksti on jaettu teoriaan ja yrityksen mittauskoneen osuuteen. Lisäksi opinnäytetyön loppupuolelle on kirjattu huomioita ja mahdollisuuksia koordinaattimittauskoneen käytöstä. Koordinaattimittauskoneen käyttöönoton sujuvalla prosessilla yritys voi parantaa laatua sekä valmistaa tarkempia ja parempikatteisia tuotteita.

Opinnäytetyöprosessi eteni mittauskoneen asennuksen dokumentoinnista käyttöönotto-koulutukseen sekä mittauskoneen toimintaan perehtymisestä ohjelmointiin ja mittauksiin. Tämän jälkeen laadittiin yksityiskohtaiset ohjeet sekä järjestettiin tuotannon työntekijöille koulutusta pienryhmissä. Tavoitteena oli, että työntekijöistä osa pystyy itsenäisesti ohjelmoimaan mittauskonetta sekä suorittamaan mittaukset. Työssä on vielä huomioita laadunvalvonnan pysyvyyteen ja jatkokehitykseen.

2 Mittaukset osana laadunvarmistusta

2.1 Perinteiset mittalaitteet

Rulla- ja kehämitat ovat yksi käytetyimmistä pituudenmittausvälineistä erilaisissa teräsra-
kenne- ja levytöissä. Teräsmitat ovat levytöissä käytettävä piirrotus- ja mittausväline. Piir-
tojalka on väline tarkkojen mittojen piirrottamiseksi esimerkiksi koneistettavaan kappalee-
seen. Sillä voidaan myös tarkastaa korkeusmittoja varsin tarkasti. (Keinänen & Järvinen
2014, 43–45.)

Astemittoja on moniin eri tarkoituksiin. Yleisin käytössä oleva on suorakulman 90° määrit-
tämiseen tarkoitettu kiinteä mitta (Keinänen & Järvinen 2014, 69.)

Vesivaaka on mittaväline, jolla voidaan tarkastaa kallistuskulmia vaaka- tai pystysuorilta
pinnoilta. Lasermittauslaitteet on syrjäyttäneet monia vanhoja vaaitus- ja muita mittausta-
poja. (Keinänen & Järvinen 2014, 47–48.)

Työntömitta on ehkä käytetyin yleismittaväline noin 0,05 mm:n tarkkuudella tehtävissä pi-
tuusmittauksissa. Työntömitan avulla on helppo tarkistaa ulko- ja sisäpuolisia sekä syvyys-
mittoja. Mikrometri on tarkka mittausväline, jossa asteikkojako on 0,01 mm ja kierteen
nousu on 0,5 mm. Mikrometrejä on moniin eri tarkoituksiin. Omat mittansa on esimerkiksi
hammaspyörien, levyjen, kierteiden, reikien ja urien halkaisijoiden tarkastamista varten.
(Keinänen & Järvinen 2014, 55–65.)

Tulkit ovat kiinteämittaisia pituudenmittausvälineitä. Ne soveltuvat erityisesti reikien ja ak-
seleiden halkaisijoiden tarkastamiseen. Käytössä on myös erilaisia muodon tai välyksen
tarkastustulkkeja, kuten kierre-, säde- ja rakotulkkeja. (Keinänen & Järvinen 2014, 71.)

Mittapalat ovat tarkkamittaisia, laadukkaasta teräksestä tai keraamista valmistettuja mit-
taus- ja kalibroitivälineitä. Metallisten mittapalojen tarkkuus on DIN 861 EN ISO 3650:n
mukaan kolmessa eri luokassa. Tarkkuusluokka 0 on mittauslaitteiden ja mittauskoneiden
asetuksia varten. Tarkkuusluokka 1 on mittavälineiden tarkastuksiin. Tarkkuusluokka 2 on
konepajamittapaloja. (Keinänen & Järvinen 2014, 75.)

Mittakellot ovat tyypillisimpiä poikkeamamittausvälineitä. Niillä ei voi suoraan mitata mitään,
vaan niiden näyttö on nollattava esimerkiksi mittarenkaaseen. Tavallisessa mittakellossa
pääasteikon jaotus on 0,01 mm. Tarkemmat mittakellot näyttävät 0,001 mm:n tarkkuudella.
(Keinänen & Järvinen 2014, 79.)

2.2 Koordinaattimittaus

Mittaaminen ei tunnetusti paranna laatua. Mittaaminen tuottaa oikeaa ja luotettavaa tietoa hyödynnettäväksi valmistuksessa, tuotesuunnittelussa. Tiedon voi tarpeen mukaan myös jakaa asiakkaille. Koska mittaaminen on hidasta ja kallista, on taloudellista kohdistaa mitaustoiminta oikea-aikaisesti valittuihin kohteisiin. Valitsemalla oikea mittaumenetelmä mitattavalle kohteelle sen mittavaatimusten, olosuhteiden ja resurssien mukaan on mahdollista saada kappaleista luotettavia ja jäljitettäviä mittaustuloksia. (Tikka 2009, 9.)

Koordinaattimittauksella tarkoitetaan koordinaattipisteiden määrittämistä avaruudessa tai joskus tasossa. Koordinaattimittauskoneet voidaan luokitella mittaumenetelmän perusteella koskettava-, video-, tai lasermittaus- ja monianturikoneiksi. (Tikka 2009, 16.)

Moderni mittaustekniikka tarjoaa kustannussäästöjä. Se mahdollistaa tilastollisen laadunvalvonnan ottamisen osaksi laatujärjestelmää. Koordinaattimittalaite mittaa nopeammin ja tarkemmin. Sen avulla vaikeatkin geometriat ovat todennettavissa. Mittausohjelmistoissa on valmiudet geometrinen toleranssien tarkkaan mittaamiseen. Koordinaattimittaus voi korvata epävarmat käsimittalaitteet. (VTT 2010a.)

3 Mittaaminen ja toleranssit

3.1 Mittaaminen

Mittaaminen on kohteen määrän eli kvantiteetin määrittämistä. Määrän lisäksi voidaan puhua paljouden tai suuruuden määrittämisestä. Mittauksen kohteena on jokin ominaisuus, kuten esimerkiksi pituus, paino tai lämpötila. Mittauksessa pitää olla tieto, mitä mitaamisella voidaan saavuttaa ja mihin tarkoitukseen tietoa voidaan käyttää. (Keinänen & Järvinen 2014, 9.)

3.2 Mittausepävarmuus

Kaikkeen mitaamiseen liittyy epävarmuus. Mittausepävarmuus koostuu monesta eri asiasta. Tärkeintä on kuitenkin tietää, mikä mittausepävarmuus kussakin mittauksessa on. (Esala ym. 2003, 56.)

Mittaus- ja valmistusprosessin jäljitettävyyden edellyttää mittausepävarmuuden tuntemista. Tuotteen testaaminen on arpapeliä, jos mittausepävarmuutta ei tunneta. On huomioitava, että mittausepävarmuus pienentää toleranssialuetta. (Esala ym. 2003, 56.)

Mittalaitteella saatu tulos on likiarvo. Laitteiden valmistajat ilmoittavat yleensä käsikirjassa laitteen tarkkuuden. Valmistajan määrittelemä mittalaitteen epävarmuus koostuu usein kahdesta osasta: mittausalueesta määräytyvästä epävarmuudesta ja mitattavasta arvosta riippuvasta suhteellisesta epävarmuudesta. (Vtt.fi 2011a, 39.)

Se että mittausepävarmuus voidaan tuntea, edellyttää syiden selkeää ymmärtämistä. Pitää olla kokemusta, koetoimintaa ja teoreettista tietoa virhelähteistä. (Esala ym. 2003, 56.)

Mittausepävarmuuden syitä on mittalaitteessa, mittauskohteessa, mitaajassa, mittausolosuhteissa ja käytetyssä menettelyssä (Esala ym. 2003, 56).

Mittausepävarmuus on arvio siitä, kuinka suuri mittausvirhe voi olla. Kalibrointitoiminnassa ja tarkkuusmittauksissa mittatulokseen tulee aina liittää mittauksen epävarmuus. Se on mitaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mitaussyöreen arvojen odotettua vaihtelua. (Keinänen & Järvinen 2014, 98.)

Mittalaitteen epävarmuuteen vaikuttavat muun muassa:

- kalibroinnin epävarmuus
- aika kalibroinnista
- nollakohdan asetus
- mittalaitteen asento. (Vtt.fi 2011a, 40.)

3.3 Toleranssit ja sovitteet

Osien tulee sopia toisiinsa ilman aikaa vievää ja kallista sovitustyötä. Osille voidaan määrittää kolme päävaatimusta:

- Osien tulee toimia niin kuin on tarkoitettu.
- Osien tulee sopia yhteen sillä tavalla, että kone voidaan koota ilman sovitustyötä.
- Osien tulee olla vaihtokelpoisia myöhempää huoltoa varten. (Peda.net 2024b.)

Valmistuksessa ei vaadita noudatettavaksi ehdottomia mittoja vaan suunnitelmissa määritetään se alue, jonka sisäpuolella kappaleen pinnan tai muun kohdan on oltava valmistuksen jälkeen. Myös valmistuksessa on pysyttävä tällä alueella, jota kutsutaan toleranssiksi. Toleranssi on mitan, muodon, suunnan ja/tai sijainnin sallittu vaihteluväli. (Peda.net 2024b.)

Piirustuksissa oleville mitoille ilmoitetaan sovitulla tavalla sallitut poikkeamat, mittatoleranssit. Näitä on sekä standardisoituja että suunnittelijan vapaasti valitsemissa ns. vapaamittatoleransseja. (Peda.net 2024b.)

Valmistuksessa tarkkuus riippuu useista osatekijöistä. Esimerkiksi reiän valmistustarkkuus riippuu mm. seuraavista seikoista:

- mittatarkkuus eli halkaisijan poikkeama perusmitasta
- muototarkkuus eli reikä on aavistuksen soikea, kartiomainen
- sijainnin tarkkuus eli reiän keskipisteen poikkeama määritetystä paikasta
- suunnan tarkkuus eli reiän akselin suunta poikkeaa annetusta akselistä
- pinnan karheus. (Peda.net 2024b.)


















Joskus kokematon suunnittelija määrittää varmuuden vuoksi kohtuuttomat toleranssivaatimukset. Se lisää kustannuksia ja tarkkuusvaatimusten kustannuskäyrä ei ole lineaarinen. Aihionvalmistuksen valmistusmenetelmien tarkkuus pitäisi tuntea. Jokainen valmistuksessa ohitettu turha työvaihe parantaa kannattavuutta. Laitteiden kunnan seuranta ja ennakoiva kunnossapito tuovat säästöjä. Tällöin tarkkuus säilyy. (VTT 2010b.)

3.4 Geometriset toleranssit

Geometrinen tuotemäärittely, lyhenne GPS (Geometric Product Specifications) on kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n osa-alue. SFS-EN ISO 8015 standardi kuuluu GPS-perusstandardeihin. Siinä esitetään geometrisen tuotemäärittely ja perusteet. Se on aina voimassa ja sen periaatteita sovelletaan yleisiin ja täydentäviin ISO GPS -standardeihin. (Valtanen 2019, 684–686.)

Peruselementtien tarkoituksena on määrittellä vertailuelementti suunta- ja sijaintitoleransseille. Peruselementti lukitsee geometrisen toleranssialueen vapausasteita. Peruselementit on määritelty standardissa SFS-EN ISO 5459. (Metsta.fi 2024, 11.)

Geometriset toleranssit on määritelty standardissa SFS-EN ISO 1101:2017. Ne jaetaan neljään pääryhmään: muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleransseihin. On olennaista ymmärtää, milloin tarvitaan peruselementtiä. CAD-sovellus voi osata ohjata suunnittelijaa tekemään merkinnät oikein, mutta jotkut CAD-sovellukset antavat suunnittelijan tehdä mitä tahansa virheellisiäkin määrittelyjä. (Metsta.fi 2024, 13.) Taulukossa 1 on lueteltu kaikki geometristen toleranssien tyypit. (SFS-EN ISO 1101:2017)

Määrittely	Ominaisuus	Tunnus	Peruselementin tarve
Muoto	Suoruus	—	ei
	Tasomaisuus		ei
	Ympyrämäisyys		ei
	Lieriömäisyys		ei
	Viivan muoto		ei
	Pinnan muoto		ei
Suunta	Yhdensuuntaisuus	//	kyllä
	Kohtisuoruus		kyllä
	Kulma-asento		kyllä
	Viivan muoto		kyllä
	Pinnan muoto		kyllä
Sijainti	Paikka		ei kyllä
	Samankeskisyys (keskipisteille)		kyllä
	Sama-akselisuus (keskiviivoille)		kyllä
	Symmetrisyys		kyllä
	Viivan muoto		kyllä
	Pinnan muoto		kyllä
Heitto	Heitto		kyllä
	Kokonaisheitto		kyllä
* Pinnan muotoa käsitellään tarkemmin standardissa SFS-EN ISO 1660.			

Taulukko 1. Geometriset toleranssit (metsta.fi 2024, 13)

Geometrisillä toleransseilla määritetään ne rajat, joiden sisällä muodon, suunnan ja sijainnin poikkeamien tulee olla. Kappaleen mittojen poikkeamat perusmitasta ilmoitetaan tavallisesti mittatoleranssilla. (Peda.net 2024a.)

Geometriset toleranssit asetetaan tyypillisesti vain silloin, kun se on tarkoituksenmukaista varmistamaan taloudellisella tavalla osien toiminta- ja vaihtokelpoisuus. Toiminnalliset vaatimukset, vaihtokelpoisuus ja todennäköiset valmistusolosuhteet ovat ratkaisevassa asemassa, kun päätetään, miten täydellisiä muodon, suunnan ja sijainnin toleransseja kussakin yksittäistapauksessa on tarkoituksenmukaista käyttää. (Peda.net 2024a.)

Geometriset toleranssit voidaan jakaa neljään osaan (Peda.net 2024a):

- muototoleranssit, joita ovat suoruus, tasomaisuus, ympyrämäisyys, lieriömäisyys, tasoviivan muoto ja pinnan muoto.
- suuntatoleranssit, joita ovat yhdensuuntaisuus, kohtisuoruus ja kulma-asento.
- sijaintitoleranssit, joita ovat saman keskeisyys ja sama-akselisuus sekä symmetrisyys
- heittotoleranssit, joita ovat kartio- säteis- aksiaalinen- ja kokonaisheitto.

4 Mittaustilan yleiset vaatimukset

Mittauksissa on hyvin tärkeää ottaa huomioon mittausolosuhteiden vaikutus mittaukseen ja mittaustuloksiin. Olosuhteet pyritään pitämään vakiona. Näin varmistutaan, että mittauksissa tulee mahdollisimman vähän ympäristöstä johtuvia virheitä. Tärkeitä ympäristötekijöitä on lämpötila, ilmankosteus, värähtely, valaistus, puhtaus ja ilman virtausnopeus. (Keinänen & Järvinen 2014, 97.)

Koordinaattimittauskoneen tarkkuuden lämpöriippuvuus on määritetty laajoilla lämpötila-alueilla painottuen noin 20 °C:een. Valmistaja saattaa esimerkiksi määrittää hypoteettisen koordinaattimittauskoneen pituuden mittauksen suurimman sallitun virheen, MPEE, ISO 10360-2 mukaisesti lämpötila-alueen 18-22 °C seuraavasti:

$$MPEE=3,0+3,0 \cdot L/1000$$

Kaavassa MPEE:n arvo ilmoitetaan mikroneina ja L on mittauspituus millimetreinä. (Hexagon.com 2024.)

Lämpötilan vaihtelu on merkittävä mittausvirheitä aiheuttava tekijä. Mittaushuoneessa tehtävien vaativien mittausten vuoksi lämpötilan tulee olla $20 \pm 0,5$ °C ja lämpötilan vaihtelu saa olla maksimissaan 0,3 °C tunnissa. (Keinänen & Järvinen 2014, 97.) Taulukossa 2 esitetään eri mittausten vaatimia olosuhteita.

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	0,20 µm/200 Hz ... 3 µm/5 Hz	1 µm/20 Hz ... 3 µm/10 Hz	Ei selvästi havaittavaa tärinää	Ei selvästi havaittavaa 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	3×10^7 kpl/m ³	1×10^7 kpl/m ³		
Ilman virtausnopeus		< 150 mm/min	< 300 mm/min	Ei tuntuva vetoa	Ei selvästi tuntuva vetoa
Melu		< 40 dBA	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

Taulukko 2. Olosuhdevaatimukset mittaustiloissa (Esala ym. 2003, 16)

5 Koordinaattimittauskone

5.1 Yleistä koordinaattimittauskoneesta

Koordinaattimittakone (CMM, Coordinate Measuring Machine) on mittalaite, jolla mitataan työkappale mittakärkien, liikkuvien akselien ja ohjelmiston avulla (ISO 10360) (Tikka 2009, 25).

Laite mittaa yksittäisiä pisteitä, joista muodostetaan kappaleen geometria. Koskettavalla mittakärjellä mitattaessa pisteet mitataan kappaleen geometrian pinnalta. Mitattujen pisteiden käsittely ja asteikkojen lukeminen tapahtuvat aina mittausohjelmiston avulla. Ohjelmisto tulee aina koneen mukana. Kalibrointi tapahtuu myös mittausohjelmistolla. Sillä kalibroidaan mittakärjet ja mittauspäät. (Tikka 2009, 25–26.)

Numeerisesti ohjattujen koordinaattimittakoneiden tarkoitus on mitata kappaleet ilman koneen käyttäjän toimenpiteitä. Kappalekohtaisten mittausohjelmien, automaattisten pisteiden rekisteröintien ja servo-ohjattujen koneen liikkeiden avulla on mahdollista mitata kappale ilman käyttäjää. Mittausohjelmat sisältävät kaikki tarvittavat komennot ja mittauksen tulos on saatavissa raporttiin. (Tikka 2009, 25.)

Numeerisesti ohjatun mittakoneen liikkeet ovat hyvin yksinkertaisia mittausavaruudessa tapahtuvia suoraviivaisia liikkeitä pisteestä toiseen. Pisteitä on kahdenlaisia. Ensimmäiset ovat konkreettisia kappaleen pinnalla olevia pisteitä, jotka anturi rekisteröi. Toiset pisteet ovat ilmassa olevia välipisteitä, joiden avulla väistetään törmäykset. (Tikka 2009, 27.)

Mittauskoneen mittausohjelmistolla kalibroidaan koneen mittauspäät. Ohjelma käsittelee mitattuja pisteitä sekä laskee koneen liikeakseleiden paikka- ja anturitietojen perusteella kosketuskohdat ja muodostaa kosketuspisteistä geometrioita. (Tikka 2009, 26.)

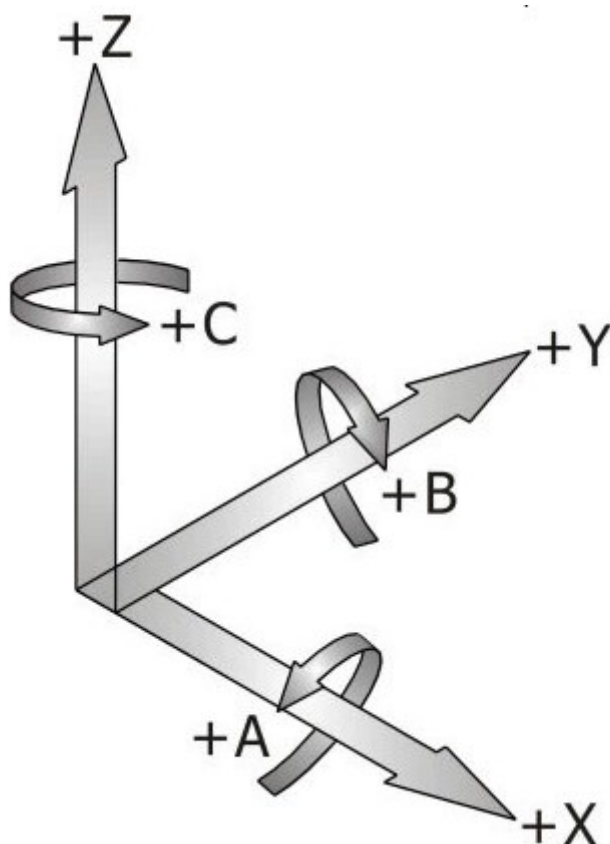
Koordinaattimittauskoneiden kalibrointia voidaan lähestyä yksittäisten virheiden kalibroinnin tai kokonaisvirheen kalibroinnin kautta (Tikka 2009, 352).

5.2 Koordinaattimittauskoneen koordinaatisto

Koordinaatiston suunnat koordinaattimittauskoneessa ovat X, Y ja Z. Niiden ympärillä pyörivät akselit ovat A, B ja C. Yleisimmin käytetään XY-koordinaatteja pöydänsuuntana ja jolloin vertikaali- eli pystysuunta on Z ja kasvaa yleensä pöydästä ylöspäin. (Tikka 2009, 29.)

Lähes aina kappale mitataan kappalekoordinaatissa. Kun kappaleelle on määritetty origo, toimii NC-ohjaus ja mittauksien tulosten muunnos sen mukaan. Kun mitattavalle kappaleelle on

tehty 3D-suuntaus, niin mittaustulosten muunnokset ovat oikein ja toistettavissa. (Tikka 2009, 32.) Kuviossa 1 on esitetty X- Y- ja Z-koordinaatisto.



Kuvio 1. Koordinaatisto (btncnmachiningpart.com 2023)

5.3 Ohjelmisto

Kaikissa koordinaattimittauskoneissa on aina tietokone ja valmistajan ohjelmisto. Ohjelmistot uudistuvat nopeasti teknologian kehityksen myötä. Mittausohjelmiston tehtävänä on käsitellä mitattuja pisteitä sekä muodostaa pisteiden avulla muotoja ja geometrioita. Se laskee elementtejä ja tilastollisia parametrejä sekä vertaa tuloksia kappaleen nimellismittoihin tai mahdolliseen CAD-malliin ja asetettuihin toleranssivaatimuksiin. (Tikka 2009, 165–167.)

Mittausohjelmissa on valmistajakohtaisia eroja käyttöliittymässä, CAD-mallin käyttämisessä ja ohjelmointikielen avoimuudessa (Tikka 2009, 170).

5.4 Miten mitataan

Mittausohjelman ollessa valmis mittauksen pääjärjestys on kärkien kalibrointi, työkappale-aseman määrittäminen, ohjelmallinen suuntaus, mittaus, tulostus ja mittauksen dokumentointi etenkin, jos niitä on useampia. (Tikka 2009, 211.)

Kun työkappaleesta tehdään uusi ohjelma, aloitetaan prosessi kappaleen valmistelulla, sen jälkeen suoritetaan mittauksen valmistelut. Seuraavaksi vuorossa on mittauksen ohjelmointi. Varsinainen mittaus on ajallisesti usein koko prosessiin nähden lyhyin aika per kappale. Toistuvissa mittauksissa koneajan osuus kasvaa, kun voidaan hyödyntää kerran tehdyt valmistelut. Jos tiedossa on, että sama kappale tai kokonainen sarja tulee myöhemmin mittaukseen, kannattaa tehdä mittausasetusten ja mittauksen huolellinen dokumentointi. (Tikka 2009, 211–212.)

6 Koordinaattimittaus yrityksessä

6.1 Mittahuone

Refimex Machinery Oy:n mittahuoneen leveys on 3,5 metriä, pituus 3,9 metriä ja korkeus on 2,4 metriä. Neliöitä huoneessa on 13,7 neliömetriä. Huone on kompakti mutta riittävä. Olosuhteiden hallinnan kannalta suurempi huone olisi parempi.

Lämpötila nousee 23 °C ovien ollessa kiinni. Tämä ylittää standardissa ISO 10360-2 esitetyn raja-arvon. Oviin on asennettu ovipumput, jottei huoneeseen tulisi pölyä. Valaistusta huoneessa on riittävästi. Kuva 1 havainnollistaa mittahuoneen koon.



Kuva 1. Mittahuone ulkoa

6.2 Koordinaattimittauskone

6.2.1 Aberlink

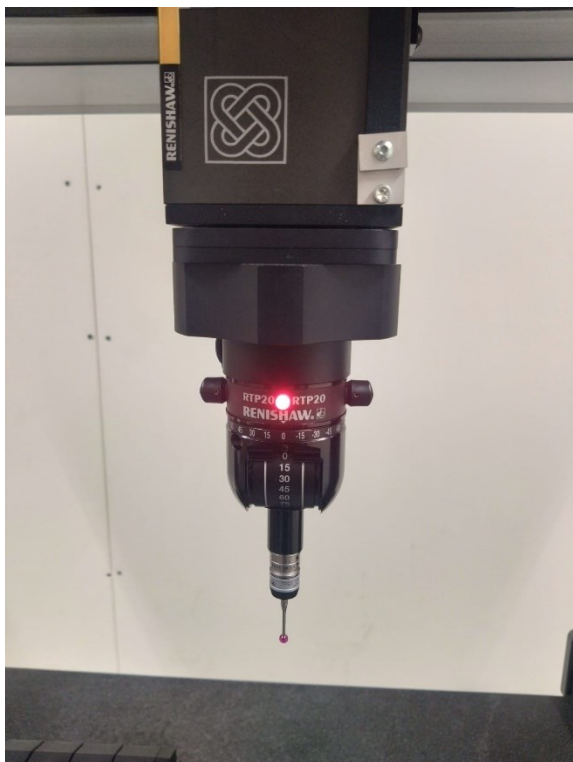
Yritykseen hankittiin käytettynä Aberlink Axiom too hs -koordinaattimittauskone. Koneessa on koskettava mittaustapa. Koneenmittauspöydälle on kiinnitettyä referenssipallo, johon kalibroidaan mittauskärjet. Lisäksi pöytään on kiinnitettyä vaihtomakasiini mittauskärjille ja

kääntötanko mittauspään kulman kääntämiseen. Pöydässä on myös neljä kierrereikää, joihin voidaan kiinnittää esimerkiksi kulmarautoja ja puristimia.

Koneen alumiininen siltarakenne takaa pienen hitausmomentin sekä suuren kiihtyvyyden ja nopeuden. Alumiinirakenteen vuoksi lämpötila tasaantuu nopeasti, joten se mahdollistaa koneen asentamisen myös lämpötilavalvomattomaan ympäristöön. Graniitti-alumiinikennopöytä auttaa lämpötilaa tasaantumaan nopeasti ja se vaimentaa myös värähtelyt mahdollistaen luotettavan tarkkuuden. (Rensi.fi 2024a.)

6.2.2 Mittakärjet

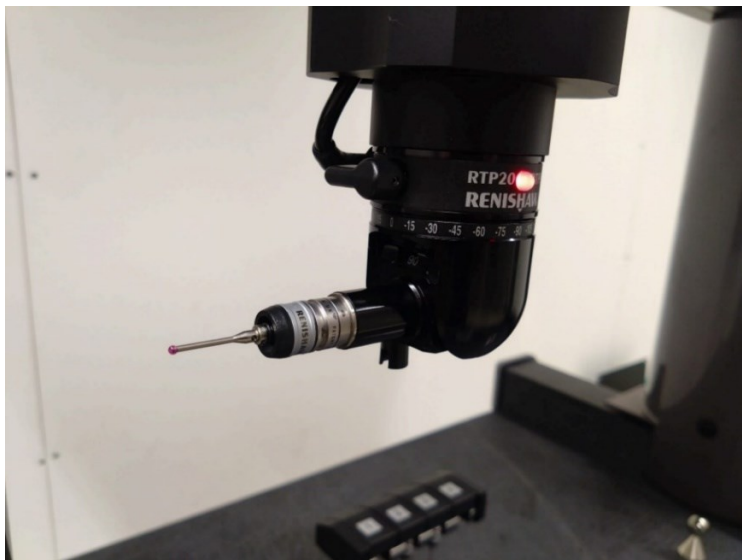
Yrityksen koordinaattimittauskoneessa on koskettavat mittauskärjet. Koneessa on Renishaw RTP20 -nivelmittauspää. Siinä käytetään TP20 standard force moduleja, joihin mittauskärjet kiinnitetään. Yrityksessä käytettävien mittauskärkien runkomateriaaleja ovat teräs ja hiilikuitu. Kärkienpäissä on rubiinista valmistetut pallot, joiden halkaisijat ovat 2 millimetriä, 4 millimetriä ja 5 millimetriä. Ohjelman teossa valitaan aina kuhunkin mittaukseen parhaiten sopiva koko. Kuvassa 2 on Renishaw RTP20 -nivelmittauspää, jossa on kiinni 4 mm:n pallolla oleva mittauskärki.



Kuva 2. Renishaw RTP20 -mittauspää

Renishaw RTP20 -nivelmittauspään voi kääntää X- ja Y-akselien suunnassa -90–90 astetta. Yrityksessä hyödynnetään mittapään kääntöä esimerkiksi o-rengasurien mittaamisessa. Joissain tapauksissa kappale on asetettava pystyasentoon. Tällöin mittaaminen suoritetaan

mittakärjen ollessa X-akselin suhteen 90 ja -90 asteen kulmassa. Mittauskone kääntää automaattisesti mittauskulman haluttuun asentoon pöydällä olevan kääntötangon avulla. Kuvassa 3 mittauspää on käännetty -90 ja 90 astetta.



Kuva 3. Mittauspää 90° kulmassa

6.2.3 Vaihtomakasiini

Mittauskoneen pöydällä on kiinnitettyä Renishaw MCR20 -vaihtomakasiini mittauskärjille. Makasiinissa on tilaa neljälle mittauskärjelle. Mittauskoneen ohjelmistosta voi määrittää halutun mittauskärjen. Kone hakee valitun kärjen automaattisesti makasiinista. Kuvassa 4 on vaihtomakasiini sekä kolme mittauskärkeä.



Kuva 4. Renishaw MCR20 -vaihtomakasiini

6.2.4 Ohjain

Koordinaattimittauskoneen akseleita liikutetaan joystick-ohjaimen avulla. Mittauskonetta ajetaan X-akselin suuntaan liikuttamalla joystickiä vasemmalle ja oikealle. Y-akselin suuntaa muutetaan liikuttamalla joystickiä eteen ja taakse. Z-akselilla liikutaan kiertämällä joystickiä. Kierto myötäpäivään ajaa Z-akselia ylöspäin ja kierto vastapäivään alaspäin.

Ohjaimen päällä on kytkin, jota käytetään mittapisteiden määrittämiseen. Kytкин liikkuu eteen, taakse, vasemmalle, oikealle sekä 45 asteen kulmissa.

Mittauskoneen nopeutta ohjataan joystickin rungossa olevalla vivulla.

Ohjaimessa on lisäksi napit seuraaville toiminnoille:

- Z-akselin lukitus
- Y-akselin lukitus
- X-akselin lukitus
- Mittapisteen ottaminen ylöspäin
- Mittapisteen ottaminen alaspäin

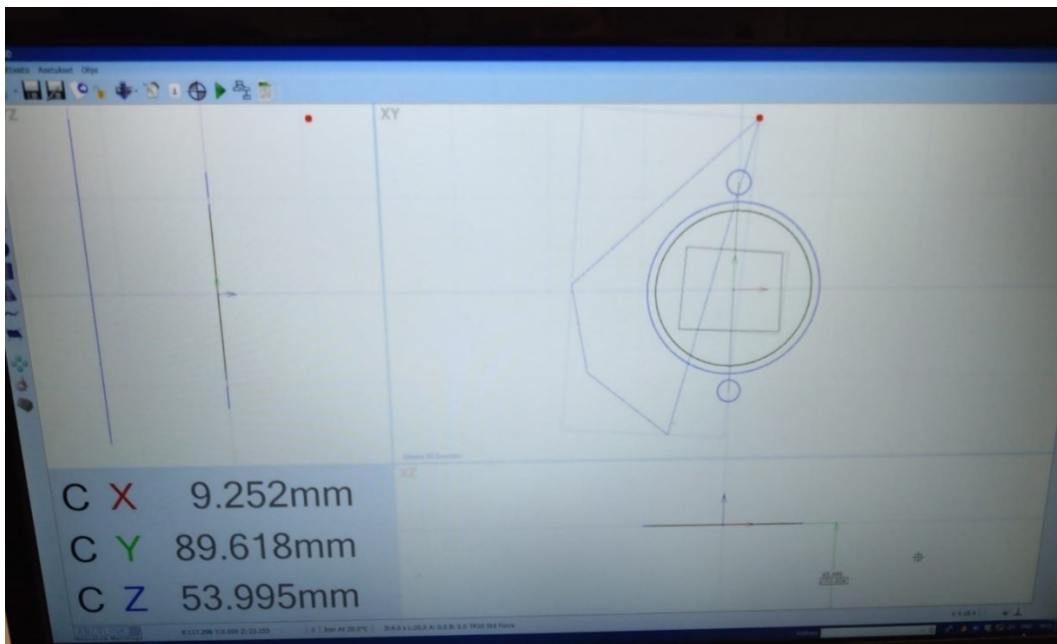
Joystickin etuosassa on liipaisinnappi. Ohjelmoinnissa tällä saadaan mittauskärki liikkumaan halutun pisteen kautta. Kuvassa 5 on Logitech Extreme 3D pro joystick-ohjain.



Kuva 5. Ohjain

6.3 Ohjelmisto

Mittauskoneessa on Aberlink3D v4 -mittausohjelmisto, joka perustuu graafiseen käyttöliittymään. Se on vuorovaikutteinen ja siinä on automaattinen mittauspiirteiden ehdotus. Ohjelmiston työalue koostuu neljästä ikkunasta. Kolme näkymää edustaa tarkasteltavaa työkappaletta tasoissa XY, XZ ja YZ. Neljäs antaa käyttäjälle tietoja komponenteista, mittauskärjestä tai koneen koordinaateista. Kuvassa 6 tietokoneen näytöllä on näkymä neljästä ikkunasta.



Kuva 6. Ohjelmiston neljä ikkunaa

Ohjelmistosta saadaan mittaustuloksista raportteja. Mittausraportit voidaan esittää täysin graafisina, numerotietoina tai molempina. Yhdessä raportissa voidaan esittää yhden kappaleen tai jopa kokonaisen sarjan mittaustulokset. Vasemmalla on valikko, josta valitaan raporttiin halutut mittaustiedot. Oikealle puolelle voi täyttää yrityksen ja kappaleen tietoja. Taulukossa 3 on ohjelmiston näkymä, josta valitaan halutut tiedot raporttiin.

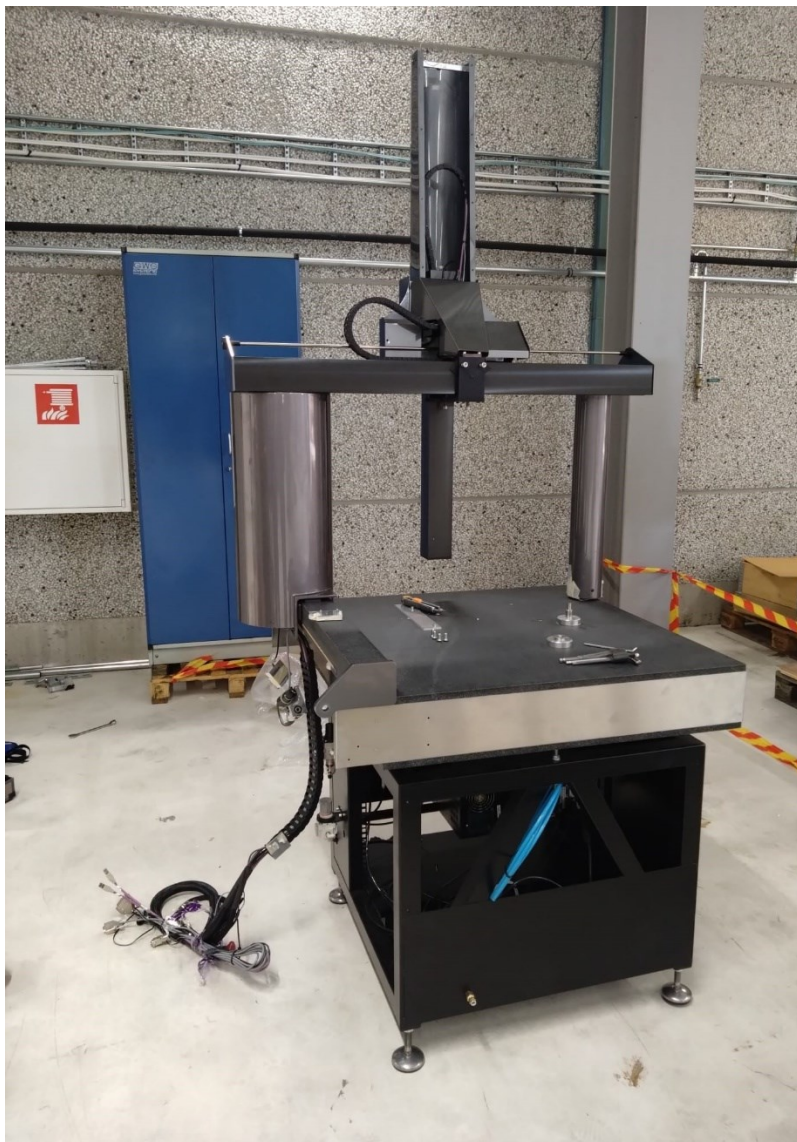


Taulukko 3. Raportti ikkuna (Rensi.fi 2024b)

7 Asennus ja käyttöönotto

7.1 Mittauskoneen asennus

Koordinaattimittauskone toimitettiin mittahuoneen eteen, jossa koneelle tehtiin valmistelut siirtoa varten. Koneen asennuksen suoritti koneen maahantuojan Rensi Oy:n asentajat. Kuvassa 7 on koordinaattimittauskone mittahuoneen edessä, koneesta jouduttiin irrottamaan osia, että se saatiin siirrettyä huoneeseen.



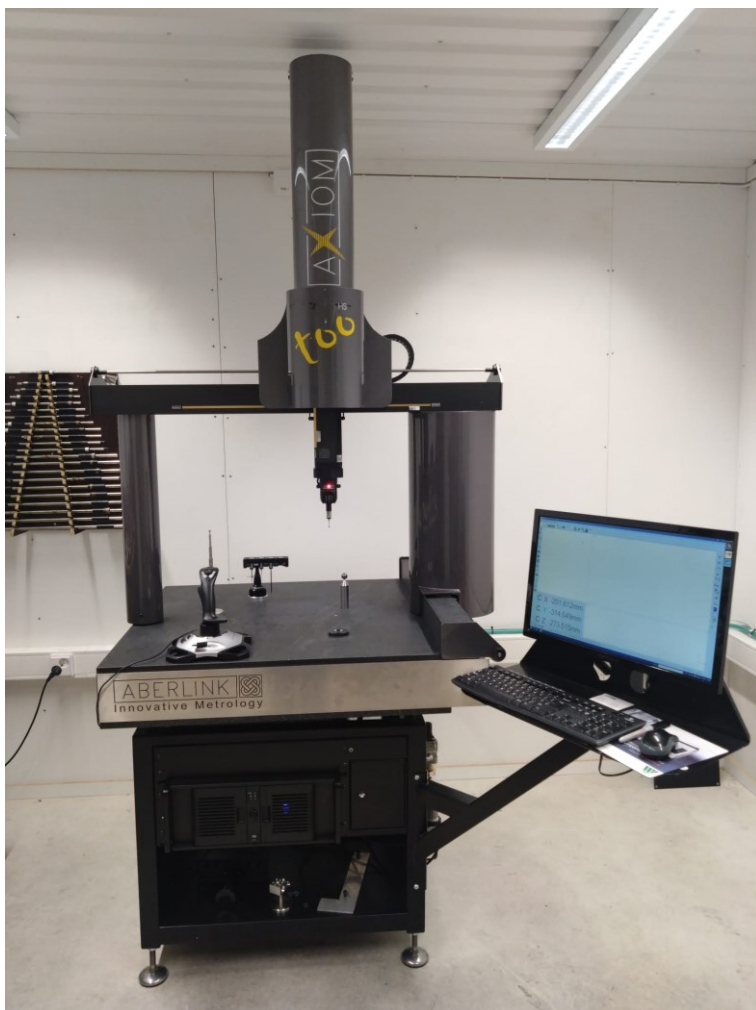
Kuva 7. Koordinaattimittauskone ennen siirtoa

Koordinaattimittauskone siirrettiin pumppukärryllä mittahuoneeseen, jossa asennus suoritettiin loppuun. Mittauskone sijoitettiin keskelle huonetta, koska valaisimet estivät sijoituksen muualle. Tilanne näkyy kuvassa 9. Kuvassa 8 on koordinaattimittauskone asennusvaiheessa mittahuoneessa.



Kuva 8. Asennusvaihe

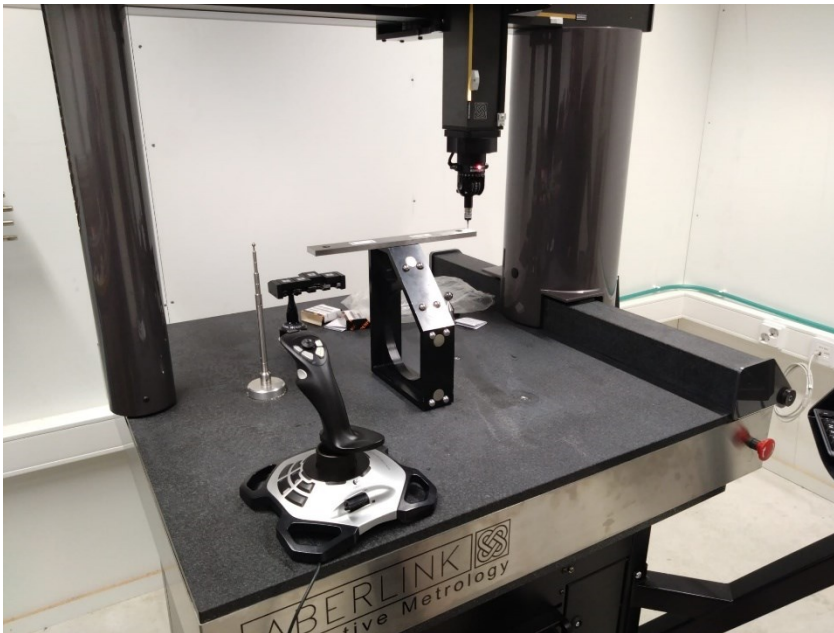
Siirron jälkeen koordinaattimittauskone säädettiin vesivaa'an avulla vaakasuoraan ja siihen kiinnitettiin mekaaniset osat paikoilleen. Seuraavaksi asennettiin sähköt ja kytkettiin paineilma. Tämän jälkeen asennettiin mittausanturit, vaihtomakasiini ja referenssipallo. Lopuksi kiinnitettiin vielä tietokoneen näyttö. Kuvassa 9 on valmiiksi asennettu koordinaattimittauskone.



Kuva 9. Yrityksen koordinaattimittauskone

7.2 Kalibrointi

Ennen kuin kone voitiin ottaa käyttöön, oli sille suoritettava käyttöönottokalibrointi. Sen tarkoitus oli saada mittaustulokset vastaamaan mahdollisimman lähelle mittanormaalia ja vähentämään mittauserävarmuutta. Kalibroinnin suoritti Rensi Oy:n kalibroinneista vastaava henkilö. Kalibrointi suoritettiin standardin ISO 10360-2 vaatimusten mukaisesti. Mittaustarkkuuden varmistamiseksi kalibrointi tulee suorittaa kerran vuodessa. Koneenkalibrointi on käynnissä kuvassa 10.



Kuva 10. Koneenkalibrointi

7.3 Käyttöönotto

Käyttöönottokoulutus järjestettiin Rensi Oy:n toimesta. Koulutuksessa käytiin läpi koordinaattimittauskoneen toiminta virtojen päälle laitosta mittapöytäkirjan tulostukseen asti.

7.4 Ohjeet

Yritykselle laadittiin ohjeet koordinaattimittauskoneen käyttöön. Ensimmäisenä on käynnistysohje, seuraavaksi tehtiin ohjeet mittapään valintaan ja sen kalibrointiin sekä uuden mittapään luontiin.

Tämän jälkeen laadittiin ohjeet valmiin mittausohjelman valintaan. Tilanteeseen, että valmiista ohjelmaa ei vielä ole, laadittiin ohjeet uuden mittausohjelman luontiin.

Kolmelle tuotannossa usein olevalle kappaleelle laadittiin kaikki työvaiheet sisältävät ohjeet. Yhden kappaleen ohje sisältää pöytään tulevan kiinnittimen tai ohjainpalan asetuksen, ohjelman valinnan, kalibrointimuistutuksen ja kappaleen paikoitus- tai kiinnitysohjeen. Lisäksi ohjeistettiin mittausprosessi ja mittaus tulosten käsittely. Uusia ohjeita laaditaan aina kun kriteerit täyttäviä kappaleita tulee mitattavaksi.

7.5 Koulutus

Yrityksessä järjestettiin mittalaitteen käyttökoulutus tuotannon työntekijöille. Koulutukseen osallistuneiden odotetaan osaavan käytön perusteet. Osalle annettiin tarkempaa koulutusta mittausohjelmien laatimista varten.

8 Mittaukset

8.1 Huomiot

Uudella koordinaattimittauskoneella mitattiin kappaleita, joita ei ollut aikaisemmin pystytty mittaamaan tarkasti geometrioiden osalta. Mittauksissa tuli esille muun muassa kiinnityksestä johtuvia yhdensuuntaisuus-, kohtisuoruus-, tasomaisuus- ja ympyrämäisyysvirheitä. Kappaleiden toleranssit eivät ole olleet tiukkoja, joten asiakkaat ovat hyväksyneet kappaleet.

Esimerkiksi ympyrämäisyysvirheiden todentamiseen pitää ottaa seitsemän mittauspistettä. Muissa virhe tyypeissä mittauspisteiden määrä riippuu kappaleen muodosta.

Koulutuksessa mitattiin alumiinikappale. Mittauksessa havaittiin tasomaisuus virheitä. Tämän jälkeen tutkittiin työstökoneella virheiden alkuperää. Tarkastelussa havaittiin kappaleen menevän kaarelle leukojen puristusvoiman vuoksi. Tästä johtuvat tasomaisuusvirheet, jotka ilmenevät koneistuksen ja irrotuksen jälkeen.

8.2 Mahdollisuudet

Koordinaattimittauskoneella huomataan työstökoneesta aiheutuvat poikkeamat sekä kiinnityksestä johtuvat virheet. Näihin pystytään reagoimaan, kun asiat ovat tiedossa. Tuotannossa saadaan tehtyä tarkempia ja laadukkaampia kappaleita. Näin vältetään reklamatioilta ja se tuo myös säästöjä. Yritys pystyy ottamaan vastaan tilauksia, joissa on tiukemmat toleranssi vaatimukset ja parempi kate.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Tämä opinnäytetyö mahdollistui, kun Refimex Machinery Oy investoi yritykselle uuteen koordinaattimittauskoneeseen. Uudella mittauskoneella halutaan saavuttaa parempaa laadunvarmistusta.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsiteltiin mittauksia perinteisillä mittalaitteilla ja koordinaattimittausta osana laadunvarmistamista. Huomiota kiinnitettiin myös mittausepävarmuuteen ja geometrisiin toleransseihin.

Työssä esitettiin myös laatuvaatimukset mittaustilalle, johon koordinaattimittauskone asennettiin sekä käsiteltiin myös sitä, millainen laite koordinaattimittauskone on yleisesti.

Seuraavaksi työssä käsiteltiin yrityksen mittahuonetta. Se on pieni ja lämpenee liikaa. Huoneeseen pitäisi järjestää kunnollinen ilmanvaihto sekä harkita olosuhteiden vakauttamiseksi esimerkiksi ilmalämpöpumppua. Nykyinen tilanne aiheuttaa turhaa mittausepävarmuutta. Muutoksissa on kuitenkin otettava huomioon, ettei ilmanvirtausnopeus kasva liian suureksi.

Koska opinnäytetyön aiheena oli yrityksen koordinaattimittauskone, siinä keskityttiin myös koneen esittelyyn. Yritykselle tehty työ käsitti koordinaattimittauskoneen asennuksen dokumentoinnin, käyttöönottokoulutukseen osallistumisen, mittausohjelmien teon sekä käyttöohjeiden laadinnan ja henkilöstön kouluttamisen.

Uuden mittauskoneen käyttöönoton jälkeen on mitatuissa kappaleissa havaittu geometrisiä virheitä, joita ei ole aikaisemmin pystytty todentamaan. Lisäksi havaittiin yrityksen toimintatavoissa muutostarve. Mitattavat kappaleet pitää puhdistaa paremmin. Likainen kappale aiheuttaa vääriä mittaustuloksia. Lika tarttuu myös mittauspäihin ja -pöytään.

Aberlink-koordinaattimittauskone on helppokäyttöinen ja sen ohjelmointi on yksinkertaista. Työ ja koulutus onnistuivat hyvin. Järjestettyjen pienryhmä koulutusten jälkeen riittävä määrä työntekijöitä osaa tehdä mittausohjelmia ja käyttää mittauskonetta itsenäisesti. Yritys pystyy jatkossa parempaan laadunvarmistamiseen. Lisäksi yritys voi ottaa vastaan tarkempia ja parempia katteisia töitä.

Lähteet

Btcncmachiningpart.com. Kuinka monta akselia on CNC-sorvissa. Viitattu 16.12.2024 Saatavissa <https://fi.btcncmachiningpart.com/info/how-many-axis-are-in-a-cnc-lathe-82665266.html>

Esala, V-P. Lehto, H. & Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibrointi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Hexagon.com. Koordinaattimittauskoneen tarkkuus tuotantotiloissa. Viitattu 11.12.2024 Saatavissa <https://hexagon.com/fi/resources/resource-library/coordinate-measuring-machine-accuracy-shop-floor>

Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Metsta.fi. Mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) perusteet ja standardien mukainen soveltaminen. Viitattu 4.12.2024 Saatavissa <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2024/05/Mallipohjaisen-tuotemaarittelyn-MBD-perusteet-ja-soveltaminen-2024.pdf>

Peda.net. a. Geometriset toleranssit. Viitattu 24.11.2024 Saatavissa <https://peda.net/ksao/oppimisymparisto/koulutusalat/tjla/alv/lentokoneasentaja/lph/m7hijkl/7sjv/7gt:file/download/9a52b58de3d94bd6835ff4fd28a6c98012040947/7.6%20Geometriset%20toleranssit.pdf>

Peda.net. b. Toleranssit ja sovitteet. Viitattu 22.11.2024 Saatavissa <https://peda.net/ksao/oppimisymparisto/koulutusalat/tjla/alv/lentokoneasentaja/lph/m7hijkl/7sjv/7tjs:file/download/66f33b283b632433e8538c841b656dfd6910dad7/7.6%20Toleranssit%20ja%20sovitteet.pdf>

Rensi.fi. a. Axiom too -mittakone. Viitattu 12.12.2024 Saatavissa https://www.rensi.fi/tuotteet/mittauskoneet/aberlink/axiom-too-koordinaattimittauskone/?gad_source=1&qclid=EAlaIQobChMI3fOrvdzMiQMVEGeRBR0YfwRyEAAYASAAEgl4qPD_BwE

Rensi.fi. b. Mittausohjelmisto. Viitattu 15.12.2024 Saatavissa <https://www.rensi.fi/tuotteet/ohjelmistot/mittausohjelmistot/aberlink/3d-mittausohjelmisto/>

Tikka, H. 2009. Koordinaattimittaus. Tampere. Tampereen yliopistopaino Oy - Juvenes Print.

Valtanen, E. 2019. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli. St Michel Print Oy.

Vtt.fi. a. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Viitattu 7.12.2024 Saatavissa

<https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>

Vtt.fi. b. Standardien hyödyntäminen teollisuuden mittauksissa. Viitattu 22.11.2024

Saatavissa https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/MIKES/2010-J2_1.pdf