

Harri Ekola

Ohjaamorungon mittalaitteen mittauskyvyn varmistaminen

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka, YAMK

Teknologiaosaamisen johtamisen tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan Yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Teknologiaosaamisen johtaminen, ylempi AMK

Tekijä: Harri Ekola

Työn nimi: Ohjaamorungon mittalaitteen mittauskyvyn varmistaminen

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja, Sakari Impola (MSK Cabins Oy)

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 60

Liitteiden lukumäärä: 5

MSK Cabinsilla on konenäköön perustuva mittauslaite Quality Gate, jolla mitataan jokainen hitsaamosta valmistunut turvaohjaamon runko. Työn tarkoituksena oli varmistaa tämän laitteen mittauskkyky. Työn teoriaosuudessa syvennyttiin laadun ja mittaamisen teoriaan. Näitä tietoja ja mainittuja menetelmiä sovellettiin traktorin ohjaamorungon automaattisen mittausjärjestelmän antamien tulosten luotettavuuden varmistuksessa.

Työtä varten valmistettiin ohjaamorunko, jota mitattiin kahdella eri mittalaitteella. Referenssimittaukset tehtiin Faro-käsivarsimittalaitteella. Saatuja mittaustuloksia analysoitiin AIAG:n MSA-menetelmillä. Tilastollisilla menetelmillä on mahdollista tarkkailla ja kehittää erilaisia prosesseja. Jos mittaustulosten virhettä ei sen antamissa tuotteiden mittaustuloksissa tunneta, tuotantoprosessin luotettava säätö ei ole mahdollista.

Tulosten mukaan korrelaatio Faro- ja Quality Gate –laitteiden välillä on kohtuullinen ja Quality Gate –laitteen toistettavuus on hyvällä tasolla. Laitteiden mittaustulokset eroavat hieman toisistaan, mutta Quality Gaten toistotarkkuus on kuitenkin hyvä. Laitteet tekevät mittaukset eri menetelmillä, mistä erot mittaustuloksissa johtuvat. Työn tuloksista ilmenee, että Quality Gate –laitteen mittaustulokset ovat luotettavia ja oikeita, jolloin ohjaamorungon valmistusprosessin säätäminen laitteen mittaustulosten perusteella on mahdollista.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että automatisoidun mittausjärjestelmän mittauskkykyä varmistettaessa pitää tuntea tarkasti sekä mitattava tuote että mittaustulosten toimintaperiaate ja siinä käytetty ohjelmisto. Käytetyillä menetelmillä saatiin yrityksen käyttöön hyödyllistä tietoa mittaustulosten luotettavuudesta, joten tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää tuotantomenetelmiä analysoitaessa.

Avainsanat: mittaustulokset, konenäkö, kalibrointi, koordinaattimittauskone

SEINÄJOKIUNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree in Technology Competence Management

Author: Harri Ekola

Title of thesis: Cabin chassis measuring device precision and capability clarification

Supervisor: Kimmo Kitinoja, Sakari Impola (MSK Cabins Oy)

Year: 2017 Number of pages: 60 Number of appendices: 5

MSK Cabins has a measuring device based on machine vision called Quality Gate. Quality Gate is used to measure every completed tractor safety cabin after the welding process. The aim for the thesis was to ensure the capability and reliability of the measuring device. The theory section of the work focused deeply on a quality and measurement theory. The theory and the methods were adapted to analyze the results of Quality Gate and to estimate reliability and capability.

An extra cabin frame was made for the thesis, and the cabin was measured with two different measuring devices. Reference measurements were made with the Faro three dimensional arm measuring device. The received measurement results were analyzed with the MSA methods of AIAG. With statistical methods, it is possible to monitor and to develop different processes. If the measuring process error is not known in the measurement results, reliable adjustment of the manufacturing process will not be possible.

According to the results, the correlation between two measuring devices was moderate. However, the repeatability of the Quality Gate was at a good level. The measurement results of devices differed a little from each other but the repetition exactness of Quality Gate was good. Differences in the measurement results were caused by the fact that the devices made the measurement with different methods. The results of the thesis showed that the measurement results of Quality Gate were reliable and correct, in which case it would be possible to adjust the manufacturing process with them.

Based on the results one can state that, when ensuring the measuring ability of the automated measurement system, the product, the measuring system and the software used in it must be known carefully. With the used methods the company obtained useful information about measurement uncertainty of Quality Gate. In the future, the results given by Quality Gate can be utilized when analyzing production process methods.

Keywords: measurement, machine vision, calibration, coordinate measurement

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä..... | 2 |
| Thesis abstract..... | 3 |
| SISÄLTÖ..... | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo..... | 6 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 7 |
| 1 JOHDANTO..... | 8 |
| 1.1 Työn tausta..... | 8 |
| 1.2 Työn tavoite ja tarkoitus..... | 9 |
| 2 MITTAUSOSAAMINEN OSANA LAADUNVARMISTUSTA..... | 10 |
| 2.1 Laatumääritys ja laadunvarmistus..... | 10 |
| 2.2 Laadukas mittaus ja mittauksen luotettavuus..... | 13 |
| 2.3 Mittauskyvyn varmistus..... | 16 |
| 2.4 Mittausepävarmuus ja mittausvirhe..... | 17 |
| 2.5 Mittausepävarmuuden aiheuttajat..... | 18 |
| 2.5.1 Mittalaitteesta johtuva epävarmuus..... | 19 |
| 2.5.2 Käyttöedellytyksistä ja ympäristötekijöistä johtuva epävarmuus..... | 19 |
| 2.5.3 Käyttäjistä johtuva epävarmuus..... | 20 |
| 2.5.4 Mittauskohteesta johtuva epävarmuus..... | 20 |
| 2.5.5 Mittaus- tai laskuvirheestä johtuva epävarmuus..... | 21 |
| 2.6 Mittausepävarmuuden määrittäminen ja laskeminen..... | 21 |
| 3 KOORDINAATTIMITTAUS..... | 24 |
| 3.1 Koordinaattimittauskoneiden luokittelu..... | 24 |
| 3.2 Koordinaattimittauskoneella mittaaminen..... | 25 |
| 3.3 Koordinaattimittaus MSK Cabinsilla..... | 25 |
| 4 KONENÄKÖ..... | 27 |
| 4.1 Konenäkö mittausmenetelmänä..... | 27 |
| 4.2 3D-kuvausmenetelmät..... | 28 |
| 4.2.1 Stereokuvaus..... | 28 |
| 4.2.2 Rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D-kuvaus..... | 29 |
| 4.2.3 Fringe..... | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.4 Kinect..... | 30 |
| 4.2.5 Time of Flight..... | 30 |
| 4.2.6 Depth from focus..... | 31 |
| 5 QUALITY GATE –LAITE | 32 |
| 5.1 Quality Gate –laitteen kalibrointi..... | 33 |
| 5.2 Lämpötilan vaikutus Quality Gate –mittauksiin..... | 34 |
| 5.3 Kilpailevat laitteet | 37 |
| 6 MITTAUKSEN VERIFIOINTI | 39 |
| 6.1 Type-1 study | 41 |
| 6.2 Type-2 study | 43 |
| 6.3 Type-3 study | 43 |
| 7 QUALITY GATE –LAITTEEN MITTAUSKYVYN VARMISTAMINEN | |
| | 46 |
| 7.1 Huolto ja kalibrointi..... | 47 |
| 7.2 Vertailumittaus | 48 |
| 7.3 Mittausjärjestelmien korrelaatio..... | 50 |
| 7.4 Type-1 – ja Type-3–tutkimukset..... | 51 |
| 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 55 |
| LIITTEET | 59 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Valtran CM08-ohjaamorunko Mapvisionin Quality Gate –laitteessa. | 33 |
| Kuva 2. Hexagon 360 SIMS –mittalaitteen periaatekuva (Hexagon Metrology 2014)..... | 37 |
| Kuva 3. Runkovaiheen hitsausjigi ja hitsausrobotti. | 47 |
| Kuva 4. Kalibrointilevy ja siirtoportaali Quality Gate –mittalaitteessa. | 48 |
| Kuva 5. Vertailumittauksen toteutus Faro-nivelvarsimittalaitteella. | 49 |
| | |
| Kuvio 1. Todenmukaisuus (Hiltunen ym. 2011, 19)..... | 15 |
| Kuvio 2. Alkuperäiset mittaukset ja niiden tarkkuudet (Niini 2013, 5)..... | 36 |
| Kuvio 3. Kiinnityspisteiden sijainti rungossa ja niiden poikkeamat suhteessa nimellismittaan. | 50 |
| | |
| Taulukko 1. Korrelaatio mittausjärjestelmien välillä (Mapvision Oy 2017)..... | 51 |
| Taulukko 2. Study-1, tulokset (Mapvision Oy 2017)..... | 52 |
| Taulukko 3. Study-3, tulokset (Mapvision Oy 2017)..... | 53 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|----------------------------|--|
| AIAG | Automotive Industry Action Group on voittoa tavoitteilematon yhdistys, joka kehittää ja julkaisee standardeja auto-teollisuuden valmistuksen hyödyksi. |
| Faro | Liikuteltava koordinaattimittauskone, jolla on pallomainen työskentelyalue. |
| Kalibrointi | Kalibrointi käsittää toimenpiteet, joiden avulla saadaan tietoon mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla eli standardeilla toteutettujen arvojen välinen yhteys. |
| Konenäkö | Konenäköksi kutsutaan sellaista järjestelmää, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen. Järjestelmä koostuu valonlähteestä, kohteesta, kamerasta, tietokoneesta ja siinä toimivassa kuvankäsittelyohjelmasta, joka tulkitsee kuvan automaattisesti. Sovelluskohteita ovat esimerkiksi pullonpalautusautomaatti ja teollisuuden robotisolut. |
| Koordinaattimittaus | Koordinaattimittauksen avulla mitataan fyysisen kappaleen pisteitä avaruudessa tai tasossa. |
| MSA | Measurement System Analysis eli mittaussysteemin analysointi on menetelmä mittausprosessin virheen määrittämiseksi. Ymmärtääkseen mittausvirheen vaikutuksen päätöksentekoon tulee pystyä selvittämään, kuinka suuria ovat systemaattinen ja satunnainen virhe. Mittausvirheet jaetaan kahteen luokkaan: variaatiovirhe ja deviaatiovirhe. |
| Quality Gate | Mapvision Oy:n valmistama konenäköön perustuva mitta-laite. Quality Gatessa on tyypillisesti kymmeniä kameroita, joilla mitataan runkoja, akseleita sekä alikokoonpanoja. |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

MSK Cabins on työkoneiden turvaohjaamoiden valmistukseen erikoistunut perheyrittäjä. Ville Isosaari perusti yrityksen 1950-luvulla Ylihärmään, Etelä-Pohjanmaalle. Yritys on toimittanut turvaohjaamoita jo viiden vuosikymmenen ajan Valtralle, joka on Suomen ainoa ja merkittävä eurooppalainen traktoreiden ja maatalouskoneiden valmistaja. (MSK Cabins, [Viitattu 11.3.2017].)

MSK Cabins on osa MSK Group-konsernia. Konserniin kuuluvat lisäksi Junkkari Oy, MSK Plast Oy sekä Juncar Oy. Konsernin liikevaihto vuonna 2015 oli noin 95 miljoonaa euroa, josta MSK Cabinsin osuus oli noin 65 miljoonaa euroa. MSK Cabinsin palveluksessa oli vuonna 2015 noin 200 henkilöä. (MSK Cabins, [Viitattu 11.3.2017].)

Pitkälle erikoistuneen, Valtra-traktoreiden turvaohjaamoita valmistavan, yrityksen tehtaassa valmistuu yli 50 ohjaamo päivittäin ja niitä toimitetaan yli 75 maahan. Jokainen toimitettu turvaohjaamo on asiakkaan varusteluvaatimukset täyttävä yksilö. Laadukkaan ja kustannustehokkaan ohjaamorunkojen valmistuksen taustalla on syvälinen ohjaamotuntemus, jatkuva tuotannonkehitys sekä asiakkaan kanssa tehtävä yhteistyö. Jokainen tuotannon vaihe, osavalmistuksesta hitsaukseen ja kokoonpanoon, on kehitetty joustavaksi ja tehokkaaksi. Kaikki nämä tekijät ovat omalta osaltaan takaamassa toimitusvarmuutta sekä varmistamassa valmiin tuotteen laatutason. (MSK Cabins, [Viitattu 11.3.2017].)

MSK Cabinsin turvaohjaamoiden huolitellun ja tasaisen laadun taustalla on osaava henkilöstö sekä pitkälle automatisoitu prosessi. Lisäksi laadunvalvontaa tehostaa nykyaikainen mittausosaaminen, kuten hitsattujen ohjaamorunkojen automaattinen 3D-mittaus. Jokainen tehtaalta valmistuva ohjaamo käy läpi laadunvarmistusprosessin. Käytössä ovat myös sertifioidut laatu- ja ympäristöjärjestelmät ISO 9001:2008 ja ISO 14001:2004. (MSK Cabins, [Viitattu 11.3.2017].)

MSK Cabinsilla on konenäköön perustuva mittauslaite Quality Gate, jolla mitataan jokainen hitsaamosta valmistunut turvaohjaamon runko. Tähän laitteeseen työssä perehdytään.

1.2 Työn tavoite ja tarkoitus

Työn tarkoituksena on Quality Gate –laitteen käytännön mittauskyvyn varmistaminen. MSK Cabinsilla on useita erilaisia turvaohjaamomalleja, mutta tässä työssä verifiointitestit tehdään ainoastaan CM08-rungolla, jota käytetään Valtran N- ja T-sarjan traktoreissa. Näin tehdään sen vuoksi, että tällä hetkellä noin 80 % valmistetuista turvaohjaamoista on tätä kyseistä mallia. Quality Gate –laite on käytössä ja testeihin hyväksytyt jo asennusvaiheessa, mutta laitteen nykyinen toistotarkkuus ja mittauskyky haluttiin varmistaa myös tulevia turvaohjaamomalleja ajatellen.

Työ tehtiin kehittämistyönä MSK Cabinsille. Tutkimus on luonteeltaan kuvaileva eli sen tarkoituksena on kuvata mahdollisimman tarkasti ja todenmukaisesti tutkimuksen kohdetta eli tässä työssä Quality Gate –mittalaitteen mittauskykyä. Kuvailevan tutkimuksen tarkoituksena on vastata kysymyksiin mitä, millainen tai miten. Olen- naista on tiedon lisääminen sekä niiden havaintojen laatu, jotka ovat kuvailun perustana. Havaintojen on oltava tarkkoja, luotettavia sekä yleistettäviä. Kuvailevaa tutkimusta tehtäessä voidaan käyttää monipuolisesti eri metodeja. (Kajaanin ammattikorkeakoulu, [Viitattu 17.4.2017].) Työssä selvitettiin vertailumittauksia teke- mällä mittalaitteen mittauskykyä. Vertailumittausten tulokset analysoitiin MSA- menetelmän periaatteiden mukaisesti. Työn teoriaosuudessa käsitellään mittalait- teen mittauskyvyn varmistamisen teoreettisia lähtökohtia ja siihen vaikuttavia teki- jöitä.

2 MITTAUSOSAAMINEN OSANA LAADUNVARMISTUSTA

Käsitteenä laatu on haasteellinen määritellä, sillä tarkastelunäkökulmia ja siten myös tulkintoja on useita erilaisia (Lecklin 1999, 23). Eri ihmisiltä kysyttäessä laatu saa erilaisen merkityksen. Arvioijan asemalla ja sillä, mitä hän on tekemässä, on vaikutusta siihen, minkä hän arvioi olevan laatua ja laadukasta. Tuotteen tai palvelun valmistajalla, myyjällä sekä asiakkaalla on erilaiset käsitykset siitä, mikä on hyvää. Käsite on myös aika- ja kulttuurisidonnainen. (Pesonen 2007, 35-38.)

Yleisesti laatu mielletään asiakkaan tarpeiden täyttämiseksi tavalla, joka on yritykselle mahdollisimman kannattava ja tehokas (Lecklin 1999, 23). Erään määritelmän mukaan laadulla tarkoitetaan kaikkia niitä piirteitä ja ominaisuuksia, jotka kyseisellä palvelulla tai tuotteella on, ja joilla se pyrkii vastaamaan asiakkaan odotuksiin, vaatimuksiin ja tottumuksiin (Pesonen 2007, 35-38).

Laatuun liitetään usein virheettömyys. Asiat tehdään heti ensimmäisellä kerralla oikein, ja tämä toistuu joka kerta. Kokonaislaatua ajatellen virheettömyyttä jopa tärkeämpää on se, että tehdään oikeita asioita. Yrityksen näkökulmasta tuote voi olla täydellisen virheetön, mutta asiakkaalle se voi olla ylilaaatua, josta hän ei ole valmis maksamaan. Asiakkaan odotuksia korkeampi laatu ei kuitenkaan aina ole ylilaaatua. Se voi olla tarkoituksenmukaista, mikäli yritys saavuttaa korkealla laadulla kilpailuedun. Yrityksen toiminnan ja tuotteiden kehittäminen sekä suoritusasteen jatkuva parantaminen liittyvät myös olennaisesti laatuun, ja ovat tärkeitä tekijöitä kilpailukyvyn säilyttämisen kannalta. Yrityksen oma systemaattinen laatutyö, kilpailijoiden toiminta, uudet innovaatiot, markkinatilanne ja sen muutokset sekä muutokset yhteiskunnassa saavat aikaan sen, että laatuun kohdistuu täysin uudenlaisia vaatimuksia. (Lecklin 1999, 23-24.)

2.1 Laatutyö ja laadunvarmistus

Nykyaikainen laatutyö ei ole enää ainoastaan laaduntarkkailijoiden suorittamaa havainnointia ja mittausta, jonka perusteella virheelliset tai poikkeavat tuotteet erotellaan myyntikelpoisista. Käsitteen laajentumisen myötä laatu on osa niin yrityksen johtamista, strategista suunnitelmaa kuin organisaation kehittämistäkin. Laatu

sisältyy kaikkeen yrityksen toimintaan ja ulottuu myös sidosryhmiin, asiakkaista toimittajiin, yhteistyökumppaneihin ja omistajiin. Tämän kaltaisesta toiminnasta käytetään nimitystä kokonaisvaltainen laadunhallinta (Total Quality Management, TQM). Se koostuu kolmesta osa-alueesta, jotka ovat sidoksissa toisiinsa. Osa-alueet ovat tyytyväiset asiakkaat, korkealaatuinen toiminta sekä markkinoiden ja asiakkaiden ymmärtäminen. Asiakkaiden tarpeet, vaatimukset ja odotukset ovat laatutoiminnan ensisijainen perusta, joihin laatua verrataan ja mitataan. (Lecklin 1999, 20-23.)

Toiminnan tehokkuus tai virheettömät tuotteet eivät ole tae korkeasta laadusta, vaan edellytyksenä on ulkopuolisen arvioijan, asiakkaan, mielipide. Toiminta on laadukasta, mikäli asiakas on tyytyväinen tuotteeseen. Tämän saavuttamiseksi asiakkaan ja markkinoiden ymmärtäminen on ensisijaisen tärkeää. Laadunhallintajärjestelmän ja toimintaprosessien avulla toimintaa voidaan kehittää siten, että se vastaa asiakkaan odotuksiin. (Lecklin 1999, 20-23.)

Laadunhallinnalla tarkoitetaan yrityksen toiminnan jatkuvaa kehittämistä, jolla pyritään asiakastyytyväisyyteen, kannattavaan liiketoimintaan sekä kilpailukyvyyn säilyttämiseen ja kasvattamiseen. Laadunvarmistus kattaa kaikki ne toimenpiteet, joilla yrityksen eri toiminnoissa varmistetaan tuotteen laatu. Laadunhallintajärjestelmä puolestaan on asiakastyytyväisyyden takaamiseksi ja yrityksen tehokkuuden parantamiseksi kehitetty ja dokumentoitu toimintojen yhdistelmä. Käytännössä laadunhallintajärjestelmä on organisaatorakenteen, prosessien, menettelyjen sekä resurssien muodostama kokonaisuus, jossa olennaista on sen tehokas johtaminen. Järjestelmä tulee rakentaa ja sovittaa yritykselle ominaisten liiketoimien mukaiseksi ja siihen vaikuttavat niin valmistajien tarpeet ja edut kuin ostajienkin odotukset ja tarpeet. (Yritys-Suomi, [Viitattu 29.11.2016].)

Erilaisia laadunhallintajärjestelmiä koskevia standardeja on paljon, kansallisista ja toimialakohtaisista aina yritysکوhtaisiin standardeihin saakka. Kirjo on laaja ja tämän vuoksi on kehitetty ISO-laatustandardisarja, jonka lähtökohtana on laadun käsitteleminen yrityksen asiakkaan näkökulmasta katsottuna. Kyseistä järjestelmää ylläpitää globaali kansallisten standardoimisjärjestöjen liitto, International Organization for Standardization (ISO). Suomessa sitä edustaa Suomen Standardoimisliitto (SFS). (Yritys-Suomi, [Viitattu 29.11.2016].)

Sarjan standardeissa keskeistä on yrityksen ja asiakkaan yhteistyö, kun määritetään tarkoituksenmukaista vaatimustasoa. Valittavan tason tulee parhaiten tyydyttää niin yrityksen kuin asiakkaankin tarpeet. Sarjan elementtien soveltaminen on yrityskohtaista, mutta laadunhallintajärjestelmän kehittämisen tulee olla jatkuvaa eikä sen tule rajoittua vain standardin vaatimusten täyttämiseen. (Andersson & Tikka 1997, 104-111.) Sarjan standardeissa painotetaan hieman eri asioita ja niiden kattavuudessa on eroavaisuuksia. ISO 9001-standardia käytetään rakennettaessa sellaista johtamisjärjestelmää, joka tuo luottamusta tuotteen vaatimustenmukaisuutta kohtaan. Ainoastaan tämän standardin vaatimusten pohjalta ulkopuolinen taho voi sertifioida laadunhallintajärjestelmän. (Yritys-Suomi, [Viitattu 29.11.2016].)

Hyvällä laatutasolla on markkina- ja yhtiön sisäisiä vaikutuksia. Markkinoilla laadun vaikutus näkyy tyytyväisten asiakkaiden uskollisuutena yritykselle ja asiakassuhteen jatkumisena. Tämä on vahva viesti potentiaalisille asiakkaille. Korkean laadun ja tyytyväisten asiakkaiden myötä yrityksen asema markkinoilla vahvistuu, mikä lisää vapautta hinnoittelussa, jolloin tuote on mahdollista myydä paremmalla katteella. Hyvä laatu tarkoittaa tuotteiden virheettömyyttä sekä alhaisia laatukustannuksia, joiden seurauksena myös kustannustehokkuutta. Tällä taas on positiivinen vaikutus yrityksen katteeseen ja kannattavuuteen. Markkinavaikutukset ja sisäiset vaikutukset parantavat kannattavuutta. Kannattavuuden ja laadun yhdistelmä mahdollistaa yrityksen pitkäjänteisen toiminnan ja tuo mukanaan kasvumahdollisuuksia. Se auttaa kilpailuedun ja markkinajohtajuuden saavuttamisessa, yrityskuvan parantamisessa ja tuo tunnettavuutta hyvänä työnantajana. Näistä tekijöistä on apua myös osallistuvan ja motivoituneen henkilöstön sekä muutostilanteissa tarvittavan joustavuuden saavuttamisessa. (Lecklin 1999, 29-31.)

2.2 Laadukas mittaus ja mittauksen luotettavuus

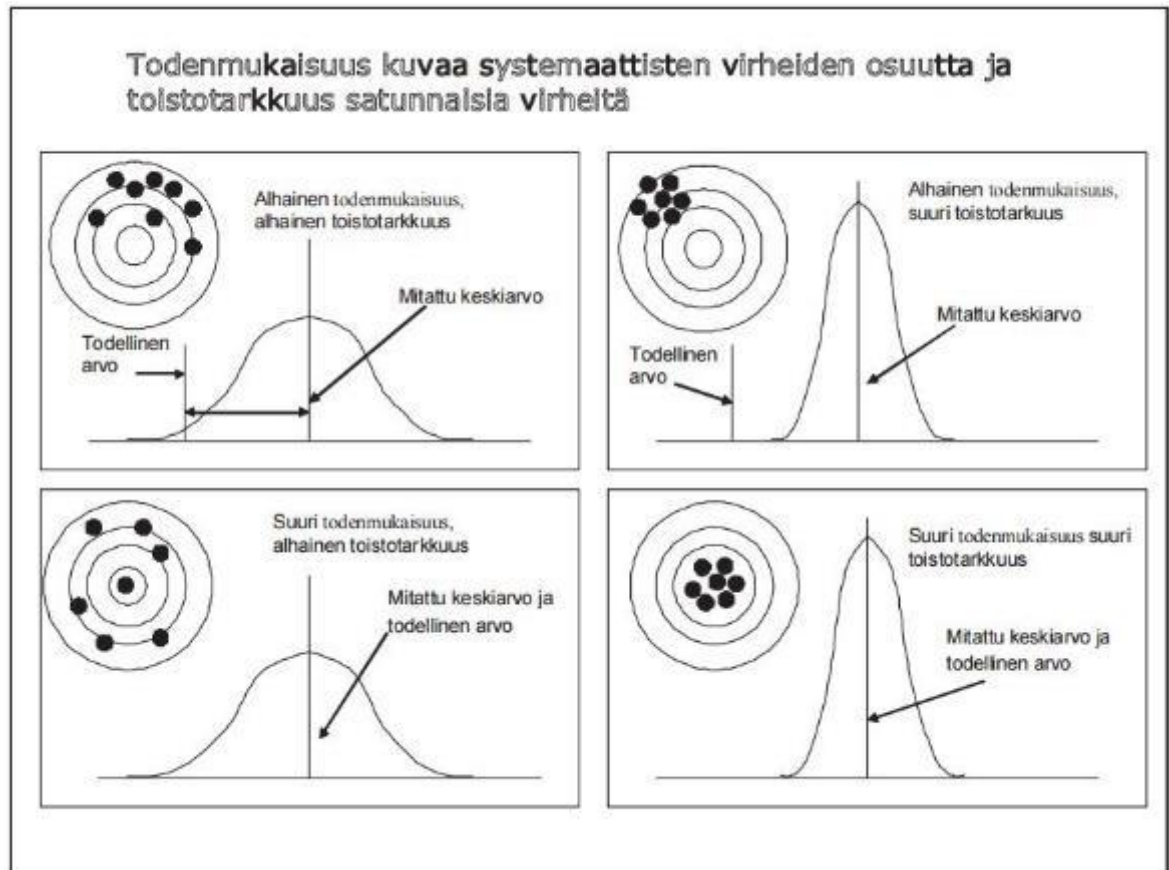
Metrologia on tieteenala, joka käsittelee mittaamista, mittaussyksiköitä ja niiden sovelluksia. Metrologia jaetaan kolmeen osaan: tieteelliseen, lakisääteiseen sekä teollisuusmetrologiaan. Tieteelliseen metrologiaan kuuluu mittanormaalien sekä niiden ylläpidon organisointi sekä kehittäminen. Tiettyjen mittausten luotettavuus ja tarkkuustaso on yhteiskunnallisesti niin tärkeää, että laissa on asetettu näille mittauksille vaatimuksia. Näistä mittauksista vastaa lakisääteinen metrologia. Teollisuusmetrologia puolestaan varmistaa teollisuudessa käytettävien mittavälineiden asianmukaisella tasolla toimimisen. Laatu ja mittaus ovat käsitteitä, jotka liittyvät kiinteästi toisiinsa. Metrologiasta puhuttaessa oletetaan toiminta-, laatu ja johtamisjärjestelmien olevan kunnossa. (Hiltunen ym. 2011, 3-8.) Mittauksien tarkoituksena on varmistaa se, että mittausmenetelmillä saavutettu lopputulos vastaa teknisiä piirustuksia. Tällöin voidaan myös selvittää, kuinka paljon lopputuloksessa on korjattavaa. Mittaustuloksen luotettavuutta arvioitaessa on huomioitava kaikki mittaukseen vaikuttavat seikat. Virheellinen tai väärin toteutettu mittaus voi johtaa virheelliseen johtopäätökseen, jota kuitenkin pidetään oikeana. Esimerkiksi teollisuudessa tai terveydenhuollossa tällaisten tilanteiden seuraukset voivat olla merkittävät. (Keinänen & Järvinen 2014, 9-11.)

Mittausten luotettavuudella on vaikutuksensa niin ihmisten ja yhteiskunnan toimintaan kuin talouselämäänkin. Mittausten luotettavuus on olennainen osa tuotteiden testausta, jota tehdään henkilö-, omaisuus- ja ympäristövahinkojen välttämiseksi. Teollisuus- ja energialaitoksissa on tarpeen tarkastaa ja mitata päästöjä. Myös työsuojeluun, terveydenhuoltoon sekä liikenteen valvontaan liittyy mittauksia. Yhteiskunnan toimintaan vaikuttaa useita erilaisia mittauksia, joiden luotettavuus on varmistettava, niiden pohjalta tehtyjen ratkaisujen virheettömyyden varmistamiseksi. Mittauksilla on suuri vaikutus myös esimerkiksi valtion maksamiin avustuksiin sekä verotukseen. Luotettavat mittaukset ovat laadukkaiden ja teknisesti korkeatasoisten tuotteiden ja palveluiden tuottamisen yksi edellytys, minkä vuoksi teollisuus tarvitsee niitä. Kilpailukyvyn kannalta on tärkeää, että Suomessa kyetään varmistamaan mittausten oikeellisuus sekä kansainvälinen vertailukelpoisuus. Myös ISO 9000-laaturjestelmä edellyttää mittaustulosten jäljitettävyyttä

kansallisiin sekä kansainvälisiin mittanormaaleihin. (Andersson & Tikka 1997, 127-129.)

Mittalaitetta valittaessa on varmistettava käytettävän laitteen mahdollisimman hyvä sopivuus kyseiseen mittaukseen, sillä käytettävä mittaustilaite ei saa häiritä koejärjestelyä ja aiheuttaa täysin virheellistä mittaustulosta. Myös laitteen käyttöön liittyvät mahdolliset rajoitukset on huomioitava. Tällöin mittalaite voidaan validoida. Tutkimusmenetelmän validoinnilla pyritään menetelmää testaamalla osoittamaan, että se on tieteellisesti pätevä vaadittavissa käyttöolosuhteissa. Siinä arvioidaan menetelmän suorituskykyä sekä sen soveltuvuutta kyseiseen mittaukseen. Joillakin aloilla tutkimustyössä on otettava huomioon myös mahdolliset viranomaisvaatimukset. Usein jo mittausmenetelmän tai -laitteen kehittäjä tekee validointia, osana menetelmänsä kehitystyötä, jolloin samalla voidaan selvittää myös mittausepävarmuutta. Tämä on usein tarpeen myös silloin, kun menetelmää käytetään uudessa ympäristössä tai uuden henkilökunnan toimesta. Validointi on suoritettava välittömästi laadunvarmistustoimenpiteiden sitä osoittaessa. Yleinen käytetty menetelmä on kahden mittausmenetelmän vertailu ja tulosten vastaavuus ja yhtäpitävyys. Tässä tapauksessa mittalaitteet pidetään omissa laboratorioissaan ja kummallakin mitataan samaa näytettä. (Hiltunen ym. 2011, 24-26.)

Mittauksen todenmukaisuus ilmoitetaan tavanomaisesti poikkeamana. Kuvio 1 kuvaa todenmukaisuuden (aikaisemmin käytetty termiä ”oikeellisuus”) ja täsmällisyyden (aikaisemmin terminä ”toistotarkkuus”, jota myös kuvassa käytetään) välistä eroa. Todenmukaisuus määritetään siten, että kyseisellä menetelmällä mitattuja arvoja verrataan referenssiarvoon. Referenssiarvo saadaan tunnetusta vertailumateriaalista tai toisella tunnetulla menetelmällä. Nämä vertailuarvot on voitava jäljittää kansainvälisiin mittanormaaleihin. Ihannetilanteessa vertailumateriaali on matriisipohjainen, sertifioitu ja vastaisi mahdollisimman paljon tutkittavaa näytettä. Vertailumateriaalin saatavuus on kuitenkin yleensä rajoitettua, ja mikäli sitä ei ole saatavilla, on validointivaiheessa mahdollista käyttää itse tehtyjäkin vertailumateriaaleja. (Hiltunen ym. 2011, 18.)



Kuvio 1. Todenmukaisuus (Hiltunen ym. 2011, 19).

Mittaaminen ei varsinaisesti paranna laatua, vaan sillä tuotetaan luotettavaa, paikkaansa pitävää ja oikeaa tietoa, jota voidaan hyödyntää tuotesuunnittelussa ja valmistuksessa. Mittaustoiminta on syytä kohdentaa oikea-aikaisesti ja järkevästi valittuihin kohteisiin taloudellisten ja tuotannollisten syiden vuoksi. Oikein valitulla mittausmenetelmällä voidaan saada mitattavasta kappaleesta jäljitettäviä ja luotettavia mittauksia nopeasti. Mittaustiedon tulee olla laatuosaston ohella muidenkin tahojen, kuten suunnittelun, valmistuksen ja mahdollisesti myös asiakkaan, käytävissä. Mittaustiedon hyödyntämiseen on syytä paneutua ja pohtia, miten mittaus tuloksista voitaisiin saada tehokkaasti ja sopivassa muodossa eri tahoja hyödyttävää tietoa. Odotukset ja vaatimukset mittaustulosten raportointia kohtaan ovat muuttuneet. Hyväksytyt/hylätyt tulos on edelleen tarpeellista, mutta sen lisäksi yhä enemmän on tarvetta tilastolliselle laadunvarmistukselle ja mittaustiedolle, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi SPC-menetelmässä eli tilastollisessa prosessinohjauksessa. (Tikka 2009, 9-13.)

2.3 Mittauskyvyn varmistus

Useilla eri teollisuudenaloilla on käytössä vertailustandardeina pituuden, massan ja tilavuuden mitat. Mittojen oikeellisuus on varmistettava, jotta tuote on yrityksen laatujärjestelmän ja asiakkaiden laatuvaatimusten mukainen. Mittauksiin voi liittyä lisäksi turvallisuusnäkökohtia. Mittausten oikeellisuuden ja luotettavuuden varmistamiseksi on huolehdittava laitteiden säännöllisestä kalibroinnista ja valvonnasta. Kalibroinnilla tarkoitetaan mittausvälineen mittausepävarmuuden määrittystä, jossa näytön lukemia verrataan jäljitettäviin kansallisiin ja kansainvälisiin mittastandardeihin. Mikäli lukemat vastaavat toisiaan, laitteistolle laaditaan kalibrintodistus. Kalibrointeja voidaan tehdä niin asiakkaan tiloissa kuin kalibrointiyriyten laboratorioissakin. Kalibroinnin avulla varmistetaan oikeat ja tarkat mittaustulokset. (Keinänen & Järvinen 2014, 173-174.)

Käytännön tasolla päivittäiskalibrointitavoista eli mittauskvyn ja koneen kunnan varmistustavoista olennaisimpia ovat mittausturien ja kärkiyhdistelmien kalibroinnit. Niitä kalibroitaessa kaikki koneen toiminat ovat mukana. Tutuin mittaus paljastaa mittauskoneen käyttäjälle sen, onko kone kokonaisuudessaan kunnossa. Tämä menetelmä sopii sekä video- että lasermittaukseen ja koskettavaan mittaukseen. Yleinen mittauskvyn varmennustapa on myös aikaisempiin mittaustuloksiin vertailu, työkappaleita tai -normaaleja mittaamalla. Vastikään huolletun, kalibroroidun koneen antamat mittaustulokset ovat sopivia vertailuarvoja. Pikatestikappaleina voidaan käyttää omia stabiileja työkappaleita tai mittanormaaleja, joita ei välttämättä ole kalibroitu. Tyypillisiä käyttönormaaleja ovat esimerkiksi kalibrointipallo, mittapalat, rengastulkit, porrasmittapala, reikä- ja pallolevyt sekä pallokuutio. Ne on mahdollista kalibroida, tällöin myös koneen jäljitettävä pikatestausta on mahdollinen. Koneen mittauskvyn muuttumattomuus voidaan varmistaa päivittäin tai viikoittain toistuvilla saman kappaleen mittauksilla. Samalla voidaan arvioida koneen stabiiliutta. (Tikka 2009, 412.)

Osien sopivuuden, toimivuuden sekä vaihdettavuuden kannalta on tarpeen standardisoida niiden muodot, materiaalit sekä valmistustarkkuus. Täysin tarkkaa kappaletta on kuitenkin mahdotonta valmistaa, ja suurempien tarkkuusvaatimusten myötä kappaleen valmistus vaikeutuu ja myös kustannukset nousevat. Valmistettaville kappaleille annetaankin perus- eli nimellismitta, josta kappaleen todelliset

mitat saavat käytännössä poiketa jonkin verran, sen vaikuttamatta kappaleen sopivuuteen ja käytettävyyteen. Tästä sallitusta poikkeamasta käytetään nimitystä toleranssi eli valmistustarkkuus. Yleistoleranssit on standardisoitu, ja kaikki tarkastuksissa käytetyt mittavälineet on kalibroitu, kun toimitaan ISO 9001-laaturjestelmän mukaisesti. Seuraava kalibrointiaika tulee käydä ilmi laitteesta. Sisäinen ja ulkoinen auditointi valvoo näitä asioita. (Keinänen & Järvinen 2014, 25-27.)

Auditointi eli vertailu voi olla yrityksen sisäistä tai toisen organisaation suorittamaa ulkoista auditointia. Auditointia voivat tehdä yrityksen laaturjestelmän mukaiset valvontamekanismit tai ulkopuoliset organisaatiot. Sen avulla voidaan varmistaa mittauslaitteiden ja osoittaa mittauskyky muille. Auditointi on mahdollista kohdistaa eri tekijöihin; mittausosaamiseen, -menetelmään tai mittausepävarmuuden ja poikkeamien väliseen suhteeseen. Mittausosaamisen kohdalla arvioidaan osataanko mitata, mittaajaa ei siis auteta ohjeilla, vaan annetaan piirustus ja mitattava kappale. Mittausmenetelmää arvioitaessa taas annetaan kappale ja kerrotaan, mitä mitataan. Mittausepävarmuuden suhdetta poikkeamiin puolestaan arvioidaan tarkan ohjeen mukaisella mittauksella, jotta tuloserot voidaan verrata referenssiarvoihin. (Tikka 2009, 410.)

2.4 Mittausepävarmuus ja mittausvirhe

Mittaustuloksia käsiteltäessä on aina tiedettävä mittausepävarmuus, joka on arvio mittausvirheen suuruudesta. Sillä tarkoitetaan mittaustulokseen liittyvää muuttujaa eli parametria, joka kuvaa mittayksikön arvojen odotettua vaihtelua. (Keinänen & Järvinen 2014, 27.) Mikäli mittauksen epävarmuutta ei ole tiedossa tai sitä ei osata arvioida, ei luultavasti tiedetä, mitä mittaustulos tarkoittaa ja mistä se muodostuu. Näin ollen siitä ei myöskään voida tehdä johtopäätöksiä. (Hiltunen ym. 2011, 35-46.) Mittaustulos on arvio mitattavasta arvosta eikä se ole koskaan täysin oikea. Täydellinen mittaustulos on vasta, kun sen yhteydessä ilmoitetaan myös mittausepävarmuus. Mittausvirhe on mittaustuloksen ja mitattavan arvon välinen ero. Vaikka kaikki tunnistetut virheet korjattaisiin, jää vielä mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia epävarmuustekijöitä. (Andersson & Tikka 1997, 147.)

Mittausvirheet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: karkeisiin, systemaattisiin ja satunnaisiin. Karkeat mittausvirheet ovat selkeitä virheitä, joita epäiltäessä kyseinen tulos tavallisesti pyritään hylkäämään. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.) Systemaattinen mittausvirhe puolestaan aiheutuu käytetystä mittalaitteesta ja mittausmenetelmästä. Sillä on tunnettu suunta ja suuruus. Se pysyy samana tai muuttuu johdonmukaisella tavalla eli systemaattiset mittausvirheet noudattavat tiettyjä johdonmukaisuuksia, jolloin niiden arvo voidaan jokaisen lukeman kohdalla laskea. Tällainen mittausvirhe voidaan poistaa korjauksilla, esimerkiksi mittalaitteen standardin mukaisella kalibroinnilla. Mitä tarkemmin mittaukseen vaikuttavat tekijät ja olosuhteet tunnetaan ja hallitaan, sitä suurempi osa mittausvirheistä voidaan lukea tähän ryhmään kuuluviksi. Satunnaisen mittausvirheen suuruus taas vaihtelee satunnaisesti, kun toistetaan suureen saman arvon mittaus vastaavanlaisissa olosuhteissa. Se on seurausta useista, toisistaan riippumattomista tekijöistä, joita ei kyetä mittausteknisesti hallitsemaan eikä niiden suuruutta tai suunta voida laskea. Satunnaisia virheitä ei voida erotella yksitellen, mutta laskemalla usean mittauksen keskiarvon voidaan satunnaisten virheiden vaikutusta sekä pienentää että saada esille niiden suuruusluokkaa. (Andersson & Tikka 1997, 127-129.)

2.5 Mittausepävarmuuden aiheuttajia

Epävarmuuslähteiden tunnistaminen on haasteellista ja vaatii ammattitaitoa sekä näkemystä. Tyypillisessä mittauksessa on kuitenkin vain muutama komponentti, jotka määräävät mittausepävarmuuden. Ne komponentit, joiden vaikutus mittausepävarmuuteen on vähäinen, sivuutetaan. Kalibrointi on tärkeimpiä epävarmuuslähteitä, sillä mittaus ei voi olla tarkempi kuin epävarmuus, jolla kyseinen mittalaite on kalibroitu. Myös mittalaitteen tai -menetelmän resoluutio sekä mittausten toistettavuus ovat olennaisia epävarmuuslähteitä. Myös muiden epävarmuuslähteiden mahdollinen vaikutus tulee arvioida. Epävarmuus voi johtua mittalaitteesta, käyttäjästä tai mittauskohteesta ja siihen voivat vaikuttaa lisäksi käyttöedellytykset ja ympäristötekijät, itse näytteenotto sekä mahdolliset mittaus- ja laskuvirheet. (Hiltunen ym. 2011, 38-42.)

2.5.1 Mittalaitteesta johtuva epävarmuus

Mittalaitteella mitattu tulos on likiarvo. Laitteen käsikirjassa on tyypillisesti ilmoitettu laitteen tarkkuus, jolloin kyseisen laitteen valmistaja takaa laitteen antavan mittaustuloksen kyseisellä tarkkuudella. Edellytyksenä on, että laitteen käsittelyssä, käyttöolosuhteissa, huollossa sekä kalibroinnissa noudatetaan valmistajan ohjeita. Valmistaja määrittää laitteelle epävarmuuden, joka koostuu yleensä kahdesta osasta eli systemaattisesta ja suhteellisesta epävarmuudesta. Systemaattinen epävarmuus määräytyy mitta-alueesta ja on yhtä suuri kaikille mittaustuloksille. Suhteellinen epävarmuus taas riippuu mitattavasta arvosta. Se esitetään useimmiten prosentteina, mutta tarkkoissa mittalaitteissa voidaan käyttää yksiköitä ppm tai ppb. Näiden kahden komponentin summana saadaan kokonaisepävarmuus. Kalibroinnin epävarmuus ja siitä kulunut aika vaikuttavat mittalaitteen epävarmuuteen. Mittalaitteet ovatkin tarkimmillaan silloin, kun käyttöolosuhteet vastaavat mahdollisimman paljon kalibrointiolosuhteita. Myös lineaarisuudella, resoluutiolla, mittalaitteen asennolla ja stabiiliudella sekä nollakohdan asetuksella on vaikutusta epävarmuuteen. (Hiltunen ym. 2011, 38-39.)

2.5.2 Käyttöedellytyksistä ja ympäristötekijöistä johtuva epävarmuus

Ympäristötekijät voivat vaikuttaa mittalaitteiden mittaustuloksiin ja niiden luotettavuuteen. Ympäristön lämpötila, ilman suhteellinen kosteus sekä ilmanpaine ovat esimerkkejä näistä ympäristötekijöistä. Ympäristön lämpötilalla ja sen vaihtelulla on vaikutusta kaikkiin mittalaitteisiin, mikä on huomioitava käyttöohjeissa. Kosteudella taas voi olla vaikutusta optisiin mittalaitteisiin ja mahdollisesti mittaustulosten mekaanisiin ominaisuuksiin. Ilmanpaineen vaikutus näkyy yleensä ainoastaan todella tarkkoissa mittauksissa, kuten pituuden mittanormaaleina käytettävien taajuusstabiloitujen lasereiden aallonpituuksissa. Tietyillä aloilla ympäristötekijöiden vaikutukset mittaustulokseen ovat suuria, ja alan standardit määrittelevät mittaukseen soveltuvat ympäristöolosuhteet. Standardi voi esimerkiksi edellyttää mittaustuloksen lämpötilan olevan $(25 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ ja kosteuden $(50 \pm 5) \%$. Myös verkkojännitteeseen sekä sähkö- ja magneettikenttiin voi liittyä standardin mukaisia edellytyksiä. Mittauslaitteen eristämällä ja mittaolosuhteiden muuttumattomuudella voidaan

vähentää ulkopuolelta tulevien virhelähteiden vaikutusta. (Hiltunen ym. 2011, 40-43.) Lisäksi mittaustulokseen voi vaikuttaa mittauskohteen epäsoviva valaistus eli valaistus on liian heikko tai kirkas sekä työolosuhteiden epäsovivuus, esimerkiksi likaisuuden vuoksi. Mittauskohteen liikkuminen, esimerkiksi värähtely, voi myös vaikuttaa mittaustuloksen luotettavuuteen. (Keinänen & Järvinen 2014, 97.)

2.5.3 Käyttäjistä johtuva epävarmuus

Mittaavalla henkilöllä voi olla vaikutusta mittaustulokseen, kun käytetään mekaanisia tai analogisia mittalaitteita. Eri mittaajien on mahdollista saada hieman eri tuloksia, vaikka mitataan samaa suuretta samoilla laitteilla. Eri käyttäjillä mittarin asento saattaa poiketa toisistaan, kuten myös tarkkuus, jolla mittaaja kykenee lukemaan analogisia viisariasteikkoja. Myös mittaajan henkilökohtaisella reaktioajalla sekä odotetun tuloksen saavuttamisella saattaa olla vaikutusta. (Hiltunen ym. 2011, 40-43.) Mittausepävarmuus voi liittyä lisäksi mittaushjeeseen, mistä voi seurata väärän mittavälineen valinta tai menetelmän epäsovivuus käytännössä. Oma vaikutuksensa voi luonnollisesti olla mittaavan henkilön osaamisella ja ammattitaidolla, tarkkuudella ja kiireellä. (Keinänen & Järvinen 2014, 96.) Digitaalisia mittareita käytettäessä mittaavan henkilön vaikutus vähenee, minkä vuoksi analogisten mittareiden määrä uusista mittareista vähenee koko ajan. (Hiltunen ym. 2011, 40-43.)

2.5.4 Mittauskohteesta johtuva epävarmuus

Mittauskohde ja mittauksen vaikutukset siihen voivat myös aiheuttaa mittausepävarmuutta. Mitattavan kohteen stabiilius näkyy mittaustuloksessa statistisena vaihteluna, jota voidaan tilastollisesti tarkastella. Mittari voi myös kuormittaa mittauskohdetta ja siten vaikuttaa mittaustulokseen. (Hiltunen ym. 2011, 40-43.)

2.5.5 Mittaus- tai laskuvirheestä johtuva epävarmuus

Mittausepävarmuus saattaa liittyä inhimillisiin virheisiin, joita mittauksen aikana voi tapahtua. Näiden virheiden esiintymisestä ei ole tarkkaa tietoa, minkä vuoksi niitä ei voi sisällyttää epävarmuusanalyysiin. Ne kuitenkin saatetaan huomioida epävarmuusanalyysissä jättämällä marginaalia esimerkiksi niin, että pyöristetään yhdistettyä epävarmuutta hieman ylöspäin. Tämä menettely ei tosin ole standardin mukainen. Mittausvirheet voivat johtua esimerkiksi väärin valitusta mittalaitteesta tai väärin luetusta asteikosta. Itse mittaus on mahdollisesti suoritettu väärin tai siihen voi liittyä lasku- tai kirjoitusvirheitä, epäselviä merkintöjä havaintoja tehtäessä tai yksiköiden sekoittamista keskenään. Mittauslaitteeseen saattaa tulla hetkellinen toimintahäiriö tai ympäristöolosuhteisiin äkillinen muutos, mitkä voivat johtaa mittausvirheeseen. Karkeita virheitä on mahdollista vähentää huolellisen työskentelyn avulla. Jos tuloksissa havaitaan karkeita virheitä, ne hylätään tai niiden yhteyteen tehdään merkintä todennäköisestä virheestä. Mittaustulosten analysointivaiheessa mittausepävarmuus voi olla seurausta laskutoimituksen tekemisestä liian vähin numeroin tai laskumenetelmän rajoitteista. Kun lukuarvoja sijoitetaan lausekkeisiin, on syytä käyttää vähintään yhtä ja mielellään useampaa ylimääräistä numeroa. Näin tulee toimia sen vuoksi, etteivät pyöristysvirheet kertautuisi laskutoimituksia jaettaessa. Lopputulos tulee pyöristää mittausepävarmuuden osoittamaan tarkkuuteen. Mikäli eri suureiden painoarvot tunnetaan, lopputulos annetaan niin monella desimaalilla kuin kokonaismittausepävarmuuden kannalta on aiheellista ja tarpeen. (Hiltunen ym. 2011, 40-43.)

2.6 Mittausepävarmuuden määrittäminen ja laskeminen

Mittauksia tehtäessä saadaan mittaustulos, jonka luotettavuuden tietäminen on ensisijaisen tärkeää. Eri ympäristöissä ja eri aikoina tehtyjen mittausten vertailu on vaikeaa, ellei käytössä ole standardoitua menetelmää tulosten vertailemiseksi. Tästä johtuen on oltava kansainvälisesti hyväksytty menetelmä mittausepävarmuuden määrittämiseksi. (Andersson & Tikka 1997, 147.)

Mittaustuloksen epävarmuus muodostuu eri osatekijöistä, jotka voidaan jaotella kahteen osaan sen mukaan, millä menetelmällä osatekijöiden lukuarvot on saatu.

Erotettavissa on tulosten saaminen tilastollisilla tai muilla menetelmillä, mutta ne ovat ainoastaan kaksi keinoa määrittää epävarmuuden osatekijöitä. Epävarmuusarvo ei riipu siitä, kummalla menetelmällä komponentit on määritelty. Lopullinen epävarmuus määritetään kuitenkin samalla tavalla, tilastollisiin menetelmiin perustuen. (Andersson & Tikka 1997, 147-148.)

Epävarmuusanalyysi etenee seuraavanlaisesti: Ensin esitetään matemaattisesti mittaussuureen riippuvuus lähtösuureista, minkä jälkeen identifioidaan ja tehdään merkittävät korjaukset. Tämän jälkeen luetteloidaan epävarmuuslähteet ja lasketaan standardiepävarmuus toistettavasti mitatuille suureille (tilastollisilla menetelmillä määritetty epävarmuus). Arvioidaan muilla menetelmillä määritettävät epävarmuudet. Sitten lasketaan epävarmuuskomponenttien vaikutukset mittaussuureen epävarmuuteen. Saadut epävarmuuskomponentit lasketaan neliöllisesti yhteen ja tästä saadaan yhdistetty standardiepävarmuus (u_c). Laajennettu epävarmuus (U) lasketaan kertomalla yhdistetty standardiepävarmuus (u_c) halutulla kattavuuskertoimella k . Tavallisesti käytetään arvoa $k=2$. Tämä johtaa 95 %:n kattavuusväliin. Epävarmuuden määrittämisen yhteydessä saatetaan virheellisesti puhua mittausvirheistä ja virhearviosta. Nämä virheet kuitenkin korjataan epävarmuuden määrittämisen yhteydessä. Korjausten epävarmuudet sisällytetään epävarmuuslaskelmaan. Toisistaan riippumattomat epävarmuuskomponentit summataan yhteen neliöllisesti, jolloin ne eivät voi kumota toisiaan. Tämä johtuu siitä, että yhteenlaskettavat ovat aina positiivisia lukuja. (Hiltunen ym. 2011, 36.)

Mittausepävarmuutta määritettäessä on oltava tarkat tiedot mitattavasta kohteesta, ja mitattavan kappaleen on edustettava tarkasti todellista mittauskohdetta. Ympäristötekijöiden ja niiden satunnaisten vaihteluiden on oltava tiedossa, kuten myös inhimilliset erot analogisia mittareita luettaessa sekä mittauslaitteiden resoluutio. Mittausmenetelmien ja laskennassa käytettävien lukuarvojen vaihtelulla voi olla vaikutusta mittausepävarmuuden suuruuteen. Vaikka olosuhteet olisivat identtiset, mittaustulosten välillä voi silti ilmetä vaihtelua. (Andersson & Tikka 1997, 147-148.)

Mittausepävarmuuslaskelman tekemiseen on käytettävissä ohjeita ja standardeja. Esimerkiksi kansallisten mittanormaallilaboratorioiden määrittämät mittausepävarmuutensa Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement-oppaan mukaisesti.

Mittausepävarmuuksia on mahdollista käsitellä suhteellisena tai absoluuttisina. Suhteellisen epävarmuuden u_x / x yksikkö on 1. Absoluuttisella epävarmuuskomponentilla u_x on sama yksikkö kuin suureella x . Muita vaihtoehtoja on käyttää suuruusluokkaa ilmaisevia yksiköttömiä tunnuksia, esimerkiksi prosentti (% , 1/100) tai miljoonasosa (ppm, 1/10⁶). (Hiltunen ym. 2011, 35.)

Mittausepävarmuuden määrittävät voidaan jakaa kahteen luokkaan. Ensimmäinen luokka on tilastollisin menetelmin määritetty epävarmuus. Tästä esimerkkinä on mittauksen toistettavuus, joka määritetään toistettaessa mittaus N kertaa. Mittaustulos on tällöin N :n mittauksen keskiarvo \bar{X} , ja toistettavuuden aiheuttamana epävarmuutena voidaan käyttää keskiarvon keskihajontaa σ_x / \sqrt{N} . Toinen luokka on epävarmuus, jota ei voida määrittää tilastollisilla menetelmillä. Tämä epävarmuus on mahdollista saada esimerkiksi laitteen kalibrointitodistuksesta, laitteen spesifikaatioista, aikaisemmasta mittauskokemuksesta tai arvioimalla. Tämän toisen luokan epävarmuus ei pienene mittauksia toistettaessa. (Hiltunen ym. 2011, 38.)

Jakaumat, jotka ovat yksittäisiä epävarmuuskomponentteja, on tunnettava epävarmuuksia laskettaessa. Jakaumista yleisin on normaalijakauma, jossa mittaustulokset jakautuvat niin, että jakauman keskikohta x on todennäköisin. Jakauman keskikohdasta etäännyttäessä mittaustuloksen todennäköisyys pienenee. Mittaustuloksen todennäköisyys pienenee sitä mukaa, kun etäännyttään jakauman keskikohdasta. Jakauman keskiarvo x ja jakauman keskihajonta σ_x kuvaavat normaalijakaumaa. Mittaustuloksista 68 % on välillä $x \pm \sigma_x$, ja 95 % välillä $x \pm 2 \sigma_x$. Komponentin jakauma oletetaan usein normaalijakautuneeksi, jos sitä ei tunneta. Toistettujen mittausten jakauma noudattaa usein normaalijakaumaa. Usean epävarmuuskomponentin yhdistelmänä saatu epävarmuus noudattaa myös normaalijakaumaa, olivat lähtösuureiden jakaumat sitten mitä tahansa. Tasajakauma on toinen yleinen jakauma ja siitä esimerkkinä on digitaalisen mittalaitteen resoluutiosta johtuva epävarmuus. (Hiltunen ym. 2011, 37-38.)

3 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimittauksella tarkoitetaan koordinaattien määrittämistä avaruudessa tai tasossa, ja sitä voidaan tehdä useilla eri tavoilla. Esimerkkeinä näistä tavoista ovat GPS, fotogrammetria, laserkeilain, laserseurain, laserskanneri, kaksoisteodoliittilaitteisto, takymetri, vaakituskone, monikamerakuvaus ja konenäkö, digitaaliset nauhamitat kolmiomittauksessa, holografia, viistokuvamittaus, elektronimikroskopia, AFM, röntgenmittaus, tomografia sekä koordinaattimittauskone. (Tikka 2009, 16.)

3.1 Koordinaattimittauskoneiden luokittelu

Koordinaattimittauskoneiden luokittelumahdollisuuksia on monia. Ne voidaan luokitella mittausmenetelmän perusteella koskettaviin, video- ja lasermittauskoneisiin ja niiden yhdistelmään. Kyseiset koneet voidaan jaotella myös rakenteen, koon, mittausepävarmuuden, automaatioasteen, ympäristönsiedon, ohjelmiston sekä hinnan perusteella. Koneiden toimintaan liittyen olennaisessa osassa ovat tietotekniikka ja ohjelmisto. Avoin ohjelmointikoodi, CAD-perustaisuus sekä liittynän käyttäjäystävällisyys ovat tärkeitä ominaisuuksia. Näistä tekijöistä huolimatta ohjelmat voivat vaatia sopeutumista ja totuttautumista. Toisaalta koneen mekaniikka ei muutu ajan myötä, sitä ei myöskään ole mahdollista suurentaa tai edullisesti edes modernisoida. Ohjelmistoa kuitenkin päivitetään ja mahdollisesti myös uusia jatkuvasti. Vaikka keksitään uusia laitteita, niiden tekniset perustat pysyvät ennallaan. Koneiden käytettävyyttä ja jopa tarkkuutta voidaan edullisesti parantaa tietokoneilla, mutta uusien laitteiden kehityksessä ei tulisi unohtaa mekaniikan ja fysiikan perusteita. (Tikka 2009, 16.)

Tästä huolimatta esimerkiksi kovan kilpailun vuoksi voidaan päätyä etsimään edullisempia valmistusratkaisuja. Huonon laadun maksajaksi voi joutua loppukäyttäjä. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta on mekaanisesti epästabiili heppoinen mittauskoneen runko- ja johderakenne. Kone on ostohetkellä CAA-geometriakorjaimilla korjattu esitteessä olevaan tarkkuuteen. Kuitenkaan kone ei pysy alkuperäisessä kunnossa kuljetuksen ja asennuksen aikana. Ajan myötä se vaatii jatkuvaa korjai-

mien uusimista ja kalliita huoltomittauksia, jotta se pysyisi alkuperäisessä tarkkuudessa. (Tikka 2009, 16.)

3.2 Koordinaattimittauskoneella mittaaminen

Koordinaattimittauskoneen (KMK) tarkoituksena on määrittää pisteen koordinaatit tasossa tai avaruudessa. Koneeseen liitetään mittausohjelmisto, joka käsittelee mitattuja pisteitä ja laskee mittauspään tai -kärjen kosketuskohdat kohteen pinnalla, korjaa koneen systemaattisia virheitä ja muodostaa kosketuspisteistä geometrioita, joiden avulla se laskee uusia elementtejä, tilastollisia parametrejä sekä edelleen vertaa tuloksia nimellismuotoon tai -mittaan ja toleranssivaatimuksiin. Mittausohjelmia on erilaisia, perusgeometrian mittaamisesta aina hammaspyörien, roottoriruuvien ja kierteiden mittaamiseen sekä vapaamuotoisten pintojen digitalisointiin saakka. Koordinaattimittauskonetta voidaan nimittää yleismittauskoneeksi. Koordinaattimittauskoneen ollessa kallis investointi, se on yleensä käyttäjän avainkone ja korvaa useita tavanomaisia mittalaitteita. Huoltojen ja kalibrointien avulla varmistetaan koneen mahdollisimman ongelmaton toiminta. Tärkeää on myös tuntea mittausepävarmuus jokaisen mittaustavan kohdalla ja kaikkien olosuhteiden osalta. (Andersson & Tikka 1997, 240.)

3.3 Koordinaattimittaus MSK Cabinsilla

MSK Cabinsilla on käytössä kolme kappaletta Faro-nivelvarsimittalaitteita. Kyseessä on FARO Technologies –yrityksen valmistama niin sanottu mittakäsivarsi, jolla on pallomainen työskentelyalue. Nämä koneet sopivat hyvin liikuteltavuutensa ja joustavuutensa ansiosta kappaleiden analysointiin ja laadunvalvontaan. Lisäksi käytössä on myös Faro-nivelvarsimittalaitteeseen kiinnitettävä laserskannauslaite. Mittalaitteita käytetään osien, hitsauskiinnittimien ja valmiiden tuotteiden mittaamiseen. MSK Cabinsilla laitteet ovat erikokoisia ja suurimman ulottuvuus on 2,4 m. Tarvittaessa laitetta siirretään kohdistuspisteiden avulla, jolloin pystytään mittaamaan suurempiakin kappaleita.

3D-mittaus suoritetaan koskettavalla kärjellä tai laserskannerilla. Menetelmällä saadaan vaikeasti mitattavien ja monimuotoisten kappaleiden geometria digitaaliseen muotoon, jota verrataan alkuperäiseen CAD-malliin. Laserskannauksesta on koettu olevan hyötyä varsinkin kaarevien pintojen tarkastelussa. Vertailu ja poikkeavuuksien tarkastelu tehdään Geomagic Qualify- sekä PowerInspect-ohjelmistoilla. MSK Cabinsin Faro-nivelvarsimittalaitteet kalibroidaan vuosittain Saksassa FAROn toimesta.

4 KONENÄKÖ

Konenäöllä tarkoitetaan tietokoneella tai muulla digitaalisen laskennan järjestelmällä toteutettavaa kokonaisuutta, jossa yhdistyvät kuvan hankinta, käsittely, analysointi sekä sen perusteella tehtävät päätökset. Konenäköjärjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta kamerasta, valaisujärjestelmästä, laskentayksiköstä sekä kuvankäsittelyyn ja analysointiin tarkoitettuun ohjelmistosta. (Konenäkö elintarviketeollisuuden työkaluna, [Viitattu 31.1.2017].)

4.1 Konenäkö mittausmenetelmänä

Konenäkö perustuu optiikan ja tietotekniikan yhdistelmään. Sillä tarkoitetaan järjestelmää, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen (Kiimalainen 7.2.2014). Konenäön tarkoituksena voi olla ohjauksen automatisointi, prosessin tai laadun valvonta tai koneiden ja robottien ohjaaminen. Teknologian hyödyntämiselle voi olla monia edellytyksiä. Usein yksi suurimmista syistä on massatuotannon kustannustehokkuus. Valmiin tuotteen laatua voidaan myös parantaa, kun tuotantoon lisätään automaattista laaduntarkastusta tai tuotantoprosessia ohjataan konenäköjärjestelmällä. Lisäksi syynä voi olla manuaalisen visuaalisen tarkastustyövaiheen automatisointi työolojen parantamiseksi. (Konenäkö elintarviketeollisuuden työkaluna, [Viitattu 31.1.2017].) Konenäön hyödyntäminen mahdollistaa sellaiset tarkkailuprosessit, joihin ihmissilmä ei ole riittävän tarkka ja nopea. Sen tarkoituksena on mukailla ihmisen näkökykyä, mutta tietokoneeseen yhdistetty kamera- tai skannerisilmä kykenee seuraamaan tarkkailtavia kohteita koko ajan, väsymättä ja erittäin nopeasti. Konenäköä voidaan myös soveltaa sellaisiin ympäristöihin ja olosuhteisiin, jotka ovat ihmisille mahdottomia tai liian vaarallisia. (Kiimalainen 7.2.2014.)

Konenäköjärjestelmällä voidaan optisin keinoin saada tietoa näköjärjestelmän ympäristöstä. Näihin tietoihin perustuen tehdään päätelmiä tietystä kohteesta tai ympäristön tilasta. Päätelmien pohjalta voidaan tehdä päätöksiä jatkotoimenpiteistä, joita voi olla esimerkiksi varoitus, tuotteen hylkääminen tai koko tuotantolinjan pysäyttäminen. (Konenäkö elintarviketeollisuuden työkaluna, [Viitattu 31.1.2017].)

Ratkaisujen toteutus on usein kolmivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa järjestetään sopiva kamera, valaistus sekä muut optiseen havainnointiin vaikuttavat seikat tarkkailtavaan kohteeseen. Toisessa vaiheessa tehdään datankäsittely, jossa kuvadata analysoidaan automaattisesti tietokoneohjelmistolla. Esimerkiksi tekstuuri- tai hahmotunnistusta voidaan tässä kohdassa soveltaa. Viimeisessä vaiheessa kuvatut tuotteet voidaan esimerkiksi luokitella, erotella tai niiden laatu määritellään näkemistuloksen perusteella. (Kiimalainen 7.2.2014.)

4.2 3D-kuvausmenetelmät

3D-kuvauksella ja 3D-skannaamisella tarkoitetaan kolmiulotteisen mallin tekemistä fyysisestä kappaleesta konenäön avulla. 3D-kuvauksen kehittymistä ovat edesauttaneet kameroiden, valaistusmahdollisuuksien sekä kuvien analysointimahdollisuuksien kehittyminen. 3D-kuvaukseen käytettäviä menetelmiä on useita erilaisia ja tässä kappaleessa käydään läpi niistä tunnetuimmat. (Leino 2014, 39-42.)

4.2.1 Stereokuvaus

Ihminen saa katsottavasta kohteesta kolmiulotteisen vaikutelman, kun ihmisen silmät katsovat kohdetta hieman eri suunnista. Stereokuvaus mukailee ihmisen silmän toimintaa ja edellä mainittua toimintaa jäljitellään asettelemalla kamerat kuvaamaan kohdetta vähintään kahdesta eri kulmasta. Kuvaus voidaan tehdä myös yhdellä kameralla eri suunnista kuvaamalla. Yhden kameran käyttämisessä haasteena on kuitenkin kohteen liikkumattomuus kuvien ottamisen välillä. Kameraa on liikutettava tarkasti tunnettuihin pisteisiin. Kuvat yhdistetään tietokoneella. (Leino 2014, 39-42.)

Analysointiohjelmalla kuvia tarkastellaan kokonaisuuksina ja niiden hahmoista etsitään samoja pisteitä, jotka sitten yhdistetään. Tämän tuloksena on kohteen 3D-kuva. Stereokuvauksen haasteita ovat vähintään kahdesta suunnasta otettujen kuvien saaminen ja vastinpisteiden yhdistäminen 3D-kuvaksi. Kohteen pinnalla on myös suuri vaikutus stereokuvauksessa. Tasaisista pinnoista, joissa ei ole tekstuuria, on vaikea löytää yhdistettäviä vastinpisteitä. Toistuvia muotoja sisältävissä

pinnoissa taas muodot voidaan sekoittaa toisiinsa kuvien yhdistämisyvaiheessa. (Leino 2014, 39-42.)

4.2.2 Rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D-kuvaus

Tämä 3D-kuvausmenetelmä perustuu kohteen valaisemiseen valolla, jonka geometria eli muoto tunnetaan. Usein valona käytetään laservaloa, jolla saadaan erittäin tarkkoja valokuvia aikaiseksi. Laservaloista käytössä on yleensä laserviiva-valo. Sillä 3D-kuvausta tehtäessä laserviiva on paikallaan, kohteen liikkua viivan alta esimerkiksi kuljettimella. Viivan muoto muuttuu kohteen muotojen mukaisesti. Nämä muutokset viivan muodossa kuvataan ja tarkastetaan analysointiohjelmalla, joka muodostaa 3D-kuvan. (Leino 2014, 39-42.)

Kuvaus voidaan tehdä myös siten, että kohde pysyy paikallaan laserviivan liikkua kohteen pinnalla. Kamera kuvaa tapahtuman pysyen paikallaan tai liikkuen valaisimen kanssa. Mikäli valaisukuvio on viivaa monimutkaisempi, kohdetta tai valaisinta ei tarvitse välttämättä liikuttaa. Kun käytetään pyyhkäisytekniikkaa tai useaa valaisinkuviota, on kohteen, kameran tai valaisimen liike tunnettava tarkasti tai ne eivät saa liikkua kuvauksen aikana. Tällä kuvausmenetelmällä voidaan kuvata todella tarkasti. Kappaleen pinnalla ja esimerkiksi sen kiiltävyydellä tai karheudella on suuri merkitys kuvauksen onnistumisessa. 3D-kuvausjärjestelmiä on niin älykameran kuin perinteisinä konenäkökameroinakin. Älykamera kykenee itsenäiseen kuvien analysointiin eikä erillisillä tietokoneella ole tarvetta ohjelmointivaiheen jälkeen, sillä älykamerassa on prosessori ja muisti. Perinteisellä konenäkökameralla kuvattaessa kuvat taas lähetetään tietokoneelle, joka analysoi ne. Tällöin tukena on tietokoneen parempi laskentateho. (Leino 2014, 39-42.)

4.2.3 Fringe

Rakenteelliseen valaisuun perustuvia 3D-kuvaustapoja on monia ja yksi niistä on Fringe-projektio. Siinä tietokone luo Fringe-kuvion, joka voi olla esimerkiksi pystysuorista valkoisista ja mustista viivoista koostuva valaisukuvio. Valaisukuvio lähetetään projektorille, joka projisoi Fringe-kuvan kohteen pinnalle. Kohteen pinnan

muodot muuttavat projektion muotoa, pystysuorien viivojen taittuessa kohteen muotojen mukaisesti. Kamera kuvaa vääristyneen Fringe-kuvan ja lähettää sen analysoitavaksi. Vastinpisteiden kolmiomittaukseen perustuvan analysoinnin tuloksena saadaan kohteen 3D-kuva. Tässä menetelmässä kameran ja optiikan lisäksi myös projektorin tuottaman viivaprojektion tarkkuus vaikuttaa kuvan tarkkuuteen. (Leino 2014, 39-42.)

4.2.4 Kinect

Microsoft Kinect on Xbox 360 -pelikonsolille tarkoitettu laite. Se koostuu perinteisestä näkyvän valon aallonpituusalueen kamerasta, mikrofonista sekä 3D-kuvausteknologiasta. Kyseinen teknologia sisältää kirkkaan infrapunavalonlähteen ja infrapunavaloa näkevän kameran lisäksi niitä yhdistävän prosessoinnin. Infrapunavalonlähde tuottaa kameran kuva-alueelle niin sanotun pisteikön, joka on tarkasti määriteltä. Kamera kuvaa pisteiden sijainnin ja muodon ja sen perusteella analysointiohjelmisto kykenee päättämään, kuinka kaukana kohteen eri osat ovat kamerasta. Kinectistä on saatavilla oma versionsa myös Windows-tietokoneille, ja Microsoft on antanut sen kehitystyökalut kehittäjien käytettäväksi. Viime aikoina monilta valmistajilta on tullut Kinectin teknologiaan perustuvia laitteita myös teollisuuskäyttöön. (Leino 2014, 39-42.)

4.2.5 Time of Flight

Time of Flight -kuvaustekniikka toimii samalla periaatteen mukaan kuin ultraääni-anturi. Järjestelmä sytyttää valaisimen tarkasti tuntemallaan hetkellä ja laskee ajan, jonka valonsäteet kulkevat kohteelle ja takaisin kameralle. Käytännössä tämä teknologia toimii joko vaihe-eron havaitsemisella tai elektronisella sulkijalla, joka pulssittaa valonlähteen mukaan. Kyseessä on todella nopea kuvaustapa, jolla voidaan kuvata nopeastikin liikkuvia kohteita. Tekniikka on vielä melko uutta ja sen vuoksi laitteistotkin ovat vielä kalliita. Kuvan resoluutio ei myöskään ole kovin suuri. Markkinoiden parhaaksi arvioidun Time of Flight -järjestelmän resoluutioksi on ilmoitettu 1280x1024 pikseliä eli 1,3 megapikseliä. Kameralla tarkkuudeksi on il-

moitettu noin 2 %. Time of Flight on ohessa esitetyistä 3D-kuvaustekniikoista todennäköisesti kallein, sillä järjestelmien hinnat nousevat kymmeniin tuhansiin euroihin. (Leino 2014, 39-42.)

4.2.6 Depth from focus

Depth from focus -3D-kuvaustekniikassa kohteiden etäisyyttä kamerasta arvioidaan siten, että vertaillaan niiden tekstuurien tarkkuuksia eri tarkennusetäisyyksillä. Kamera kuvaa kohdetta useita kertoja peräkkäin optiikan tarkentaessa joka kerta eri etäisyyksille. Jokaisessa kuvassa tarkkana näkyvien kohteiden etäisyydet saadaan optiikan tarkennusetäisyystiedoista. Kuvaushetkellä kohteen on oltava liikkumatta pitkiä aikoja muihin tekniikoihin verrattuna. Tämä tekniikka ei myöskään ole kovin tarkka, mutta moniin kohteisiin tarkkuus on kuitenkin riittävä. Tämän tekniikan etuina ovat yhden kameran riittäminen sen käyttöön sekä moottoritarkennuksella toimiva optiikka. Moottoritarkennuksen sijaan kameraa voidaan liikuttaa kohtisuoraan kohdetta kohti tai siitä poispäin. Depth from focus -tekniikan käyttö edellyttää, että kohteessa on tekstuuria, josta nähdään onko kohde tarkka. (Leino 2014, 39-42.)

5 QUALITY GATE –LAITE

Mapvisionin Quality Gate on nopea tarkastusmenetelmä, joka on tarkoitettu mm. hitsattujen autonrunkojen ja alustan osia varten. Laite kykenee mittaamaan monimutkaisia hitsattuja kokonaisuuksia, kuten ristimittoja ja alikokoonpanoja sekä akselleita. Laite kuvaa jopa satoja 3D-piirteitä alle 30 sekunnissa. Quality Gate –laite koostuu monikamerajärjestelmästä, jossa kamerat on aseteltu ympäri mittakoppia. Näin laitteella saadaan kattava kuvanto mitattavista piirteistä useasta eri kuvakulmasta. Laitteella voidaan mitata piirteiden välisiä etäisyyksiä, ja sillä voidaan tarkastella, onko osat asennettu kokoonpanossa ja onko esimerkiksi mutteri paikallaan vai ei. (Mapvision Oy 2016.)

MSK Cabinsin Quality Gate –laitteessa on 44 kameraa, joilla saadaan turvaohjaamo kuvattua joka puolelta. Laitteella on pyritty siihen, että mitattava piirre nähdään viidellä kameralla. Tällä menetelmällä laite sietää muutaman kameran hajomisen ilman mittauskyvyn merkittävää heikkenemistä. Kolme kamerahavaintoa piirteelle on riittävästi mittauksen toteuttamiseen. Kuva 1 havainnollistaa laitteen käyttöä tässä työssä.



Kuva 1. Valtran CM08-ohjaamorunko Mapvisionin Quality Gate –laitteessa.

5.1 Quality Gate –laitteen kalibrointi

Mapvision on perehtynyt eri kalibrointimenetelmiin ja päätenyt siihen, että sopivin menetelmä on luoda hallittuja siirtymiä kalibrointilevylle ja mitata näitä siirtymien etäisyyksiä. Mapvisionin mukaan tällä menetelmällä voidaan hyvin seurata tuotannon kappaleiden vaihteluita eikä ainoastaan optimoida laitetta mittaamaan tarkasti tiettyä mastersamplea. (Tuominen & Niini 2008, 15.)

Quality Gate –mittalaitteen tarkkuuden perustana on kehittynyt ja tarkka kalibrointi. Patentoidun kalibroinnin lähtökohtana on vapaan verkon sädekimpputasoitus. Laitetta kalibroitaessa koordinaattijärjestelmä sidotaan todelliseen mittakaavaan siten, että havainnoidaan pituudeltaan tunnettua kappaletta ja käytetään tätä mittaa pakkoehtona. Mittauksia on tehtävä riittävästi eli noin 50–100 mittausta, ettei koordinaattijärjestelmä vääristyisi. Kyseiset mittaukset jakautuvat mielivaltaisesti kalibrointiavaruuteen. (Tuominen 2007, 19-20, Aallon 2010, 18 mukaan.)

Kalibrointilevyn asentojen on katettava vähintään koko mitattavan kappaleen alue. Ennen kalibroinnin aloittamista tarkastetaan, miten suurelle alueelle mitattava kappale sijoittuu. Tämän jälkeen virtuaaliympäristössä on mahdollista koostaa mittapisteistö, joka kattaa hyvin mitattavan kappaleen alan. Mittapisteistön avulla voidaan määrittää kalibrointilevyn asentojen määrä ja ennen kaikkea mitata levyn siirrot eri asentojen välissä. Näiden arvojen avulla voidaan määrittää levyn paikka sekä absoluuttinen paikka levyssä olevien pisteiden avulla. (Aalto 2010, 18.)

5.2 Lämpötilan vaikutus Quality Gate –mittauksiin

Mapvisionin Quality Gate –järjestelmiä käytetään yhä kasvavassa määrin, kaikkialla maailmassa. Eri maantieteellisillä alueilla toimintaympäristöt saattavat vaihdella vuodenaikojen välillä. Jopa samassa tuotantolinjassa tai tehdassalissa lämpötila saattaa vaihdella useita asteita talven ja kesän välillä. Tämän vuoksi tarvitaan kattava tutkimus lämpölaajenemisen vaikutuksesta Quality Gate –järjestelmään. Mapvision järjesti kokeen 31.5–10.6.2013 välisenä aikana Aalto-yliopiston ajoneuvotekniikan laboratorion kylmässä huoneessa. Kokeen avulla oli tarkoitus selvittää lämpölaajenemisvaikutusta laitteen mittausravoihin ja kameroihin. (Niini 2013, 1.)

Testatussa Mapvisionin järjestelmässä oli neljä Basler acA, 1300-30gm TCM -kameraa, jotka olivat mitattavan kappaleen yläpuolella neliömuodostelmassa. Tässä kokeessa käytetty lämpötilaväli oli 0°C–40°C, joka kattaa ne lämpötilaolosuhteet, joissa Quality Gate-järjestelmiä tavallisesti käytetään. Kokeen toteutus oli yksinkertainen: Laite mittasi jatkuvasti, tietyllä aikavälillä, kolmen eri materiaalista olevan tangon pituutta. Samanaikaisesti lämpötilaa muutettiin tietyissä askeleissa jostakin alkuarvosta johonkin loppuarvoon, jotta nähtäisiin, miten mitatut pituudet muuttuvat eri lämpötiloissa. Varmistaakseen luotettavat tulokset lämpötilat saivat tasaantua, ainakin kaksi tuntia ennen kuin lämpötilaa jälleen muutettiin. Mittatankojen materiaalit testissä olivat teräs, alumiini ja hiilikuitu-komposiitti. (Niini 2013, 2.)

Ennen koetta järjestelmä koottiin ja kalibroitiin kylmässä huoneessa. Kahdeksaa lämpötila-anturia ja kontrolli-PC:ta käytettiin valvomaan lämpötiloja. Kalibroinnin aikana ilman lämpötila laitteen sisällä oli 26,0 astetta, joten tätä arvoa käytettiin

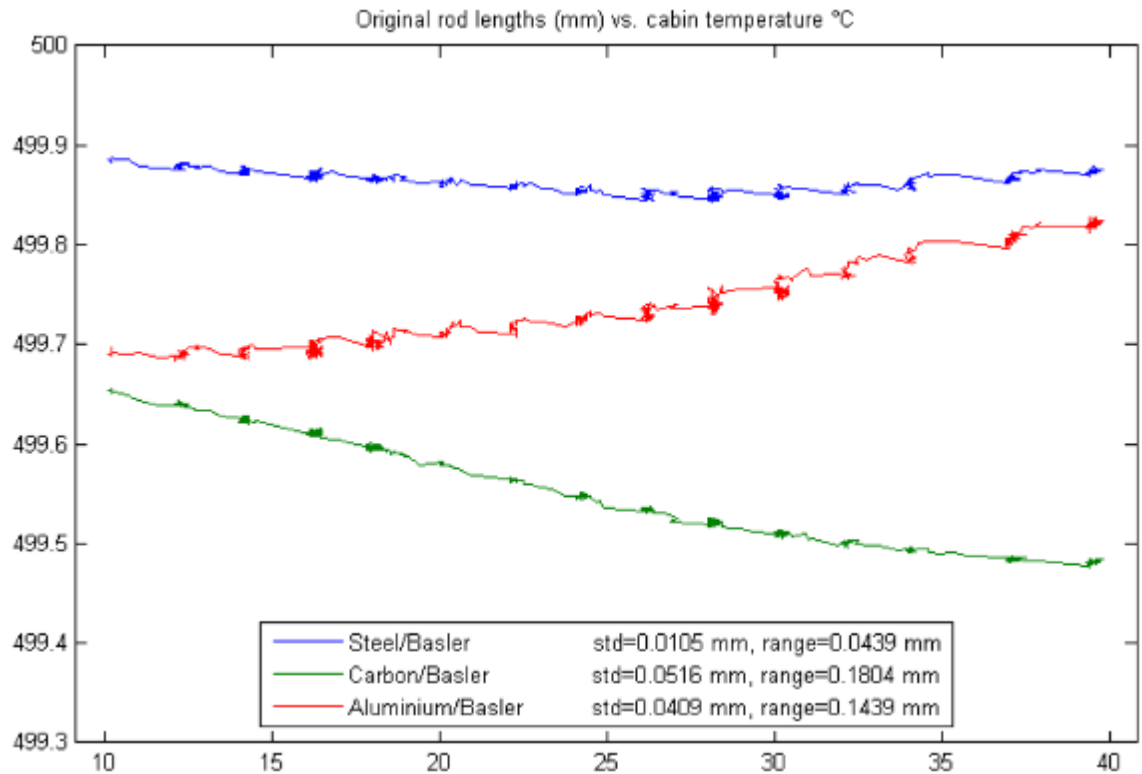
referenssilämpötilana lämpölaajenemislaskelmissa. Kalibroinnin jälkeen kohdistuspisteet mittatangoissa kuvattiin. Kuvista muodostettiin referenssimallit, joita käytettiin myöhemmissä mittauksissa. Kymmenen kuvan keskiarvoa käytettiin muodostamaan mallit. Kaikissa myöhemmissä mittauksissa verrattiin uusia mittauksia, jotka myös oli muodostettu 10 kuvan keskiarvosta, tähän 2D-referenssimalliin. Kohteiden 3D-koordinaatit saatiin tekemällä poikkileikkauksia 2D-koordinaatteihin, käyttäen kalibroitua kuvantamisgeometriaa. Kalibroinnin epävarmuus eliminoitiin projisoimalla saatuja 3D-kohtia malleilla uudelleen ja liittäen kaikkia myöhempiä mittoja näihin laskennallisiin koordinaatteihin. Tällä tavalla mittatankojen pituuden muuttumista voitiin mitata hyvin tarkkaan. Lämpötekniisiä vaikutuksia kameroiden sisällä ei mallinnettu tässä kokeessa. (Niini 2013, 3.)

Kylmähuoneen jäähdytysjärjestelmä oli säädetty pitämään lämpötila välillä $+10\text{ °C}$ -10 °C . Vaaditut korkeammat lämpötilat vaativat lisälämmittimiä, joita voitiin hallita vain karkeasti. Testissä ei ollut kriittistä saavuttaa tarkkoja lämpötila-arvoja, vaan pitää huonetta tietyssä lämpötilassa riittävän pitkän aikaa. Aluksi päätettiin lämmitellä huonetta ensin 40 asteen lämpötilaan käyttämällä lisälämmittimiä ja sitten vähitellen jäähdyttää sitä 0-asteeseen. Luonnollista jäähdytystä voitaisiin käyttää huoneenlämmön yläpuolella, ja vain sen jälkeen oli käytettävä sisäänrakennettua jäähdytysjärjestelmää. (Niini 2013, 3.)

Suunnitelmana oli laskea lämpötilaa aina noin 2 astetta ja antaa eri materiaalien lämpötilojen asianmukaisesti tasaantua, ennen kuin alettiin uudelleen jäähdyttämään tilaa alempiin lämpötiloihin. Lämpötiloja laitteen sisällä mitattiin käyttäen lämpötekniisiä erikoisantureita. Yhtä anturia käytettiin kuhunkin mittatankoon, yksi kameraa varten, yksi hytin ilmaa varten, yksi kameroiden kiinnitysrunkoon ja yksi ylimääräistä koepalaa varten. Lisäksi itse koehuoneen lämpötilaa mitattiin. (Niini 2013, 4.)

Kaiken kaikkiaan testissä otettujen pituusmittojen kokonaismäärä oli 1917. Kaikki pituusmitat säilytettiin myöhäisempää käyttöä varten. Testin aikana 43022 lämpötilaa kirjattiin samanaikaisesti. Kaikki pituusmitat ja lämpötilat merkittiin aikaleimoilla. Aikaleimoja käytettiin liittämään vastaavat mitat ja lämpötila-arvot. Kellot synkronoitiin käsin ennen koetta muutaman sekunnin tarkkuudella. (Niini 2013, 5.)

Data, jota käytettiin tarkastelussa, oli rajoitettu välille 10 °C–40 °C, koska tässä lämpötilassa Quality Gate käytännössä toimii. Kustakin kolmesta tangosta tässä lämpötilaskaalassa oli 659 mittausta. Mitatut tankopituudet, keskihajonnat ja poikkeamat materiaaleittain on eritelty kuviossa 2. (Niini 2013, 5.)



Kuvio 2. Alkuperäiset mittaukset ja niiden tarkkuudet (Niini 2013, 5).

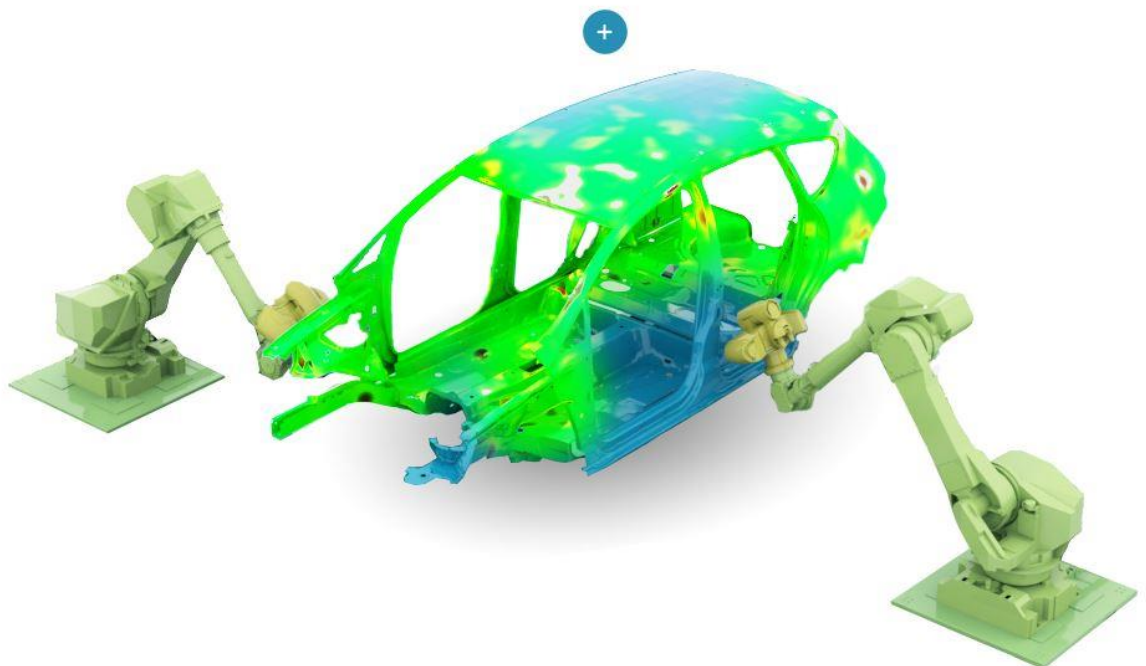
Kuten kuviosta 2 voidaan nähdä, terästangon käyrä on melkein vertikaalinen ja sillä myös on pienin keskihajonta ja poikkeama (maksimiarvo miinus minimiarvo). Muut kaksi materiaalia käyttäytyy niiden lämpölaajenemiskertoimien mukaan. Koska laitteen runko, johon kamerat on kiinnitetty, on myös terästä, lämpötilan noustessa teräsmittatangon pituuden tulisi pienentyä. Samalla tavalla, koska alumiinin lämpölaajenemiskerroin on melkein kaksi kertaa niin suuri kuin teräksisen kerroin ja hiilikuidun kerroin on lähellä nollaa, mitatun alumiinisen tangon pitäisi kasvaa suunnilleen yhtä paljon kuin hiilikuitutangon pituuden pitäisi pienentyä. (Niini 2013, 5.)

Testissä tulokseksi saatu tilasto antaa tietoa mittausepävarmuudesta. Käyttämällä toleranssia $\pm 0,1$ °C:een lämpötilalle, saatiin tulokseksi teräkselle 0,0017 mm, hiili-

kuidulle 0,0018 mm ja alumiinille 0,0029 mm. Alumiinin selvästi kehnompia tarkkuuksia oli seurausta tangoissa käytettyjen kohdistuspisteiden kontrastierosta. Alumiinille käytettiin mustia kohdistuspisteitä, kun taas muille valkoisia kohdistuspisteitä mustalla taustalla. Koska kohteen ja materiaalin välinen kontrasti oli selvästi parempi teräksen ja hiilikuidun kanssa, ne myös antoivat parempia mittausarvoja. (Niini 2013, 6.)

5.3 Kilpailevat laitteet

Vaikka muita Quality Gaten kaltaisia mittalaitteita ei vielä ole, niin samat asiat voidaan mitata muillakin mittalaitteilla. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi Atos triple scan sekä Hexagon 360 SIMS, jota kuva 2 havainnollistaa. Molemmat edellä mainituista mittausjärjestelmistä toimivat stereokamera-periaatteella ja ovat kooltaan sellaisia, että ne voidaan kiinnittää robottiin automaattisen mittauksen toteuttamiseksi kokoonpanolinjalla.



Kuva 2. Hexagon 360 SIMS –mittalaitteen periaatekuva (Hexagon Metrology 2014).

Molemmat järjestelmät luovat mitatusta kohteesta pistepilvet, joita voidaan sitten ohjemallisesti käsitellä ja mitata haluttuja piirteitä. Ei ole tiedossa, miten hyvin nämä järjestelmät käytännössä soveltuisivat traktorin turvaohjaamonrungon mittamiseen. Järjestelmien monimutkaisuuden sekä kalliin investointihinnan takia niitä ei tässä työssä käsitelty. Soveltuvuuden selvittäminen vaatisi laitteistoihin perehtymistä sekä mittauksen testaamista oikealla ohjaamorungolla.

6 MITTAUKSEN VERIFIOINTI

Tarkoille ja joustaville reaaliaikaisille optisille mittausjärjestelmille on paljon kysyntää teollisuuden laadunvalvonnassa. Kysynnän kasvu on lähtöisin lyhentyneistä vaiheajoista, korkeammista tuotantovolyymeistä ja kiristyneistä laatuvaatimuksista. Perinteisesti tuotantolinjan mittausjärjestelmät ovat joukko mekaanisia antureita tai mittajigejä. Huomattavalla määrällä tuotantolinjoja ei ole mittausjärjestelmää ollenkaan. Näillä tuotantolinjoilla laadunvalvonta perustuu tilastollisiin ennakoiteihin tai vain muutamaun satunnaisotoksen mittaamiseen. Näin ollen reaaliaikaiselle, joustavalle mittausjärjestelmälle on ymmärrettävästi kysyntää. (Tuominen & Niini 2008, 13.)

Kun esitellään uutta mittausjärjestelmää teollisuudelle, yksi suurimmista haasteista on tarkkuuden varmentamisessa. Suurimmat ongelmat ilmenevät yritettäessä tarkistaa optisen mittausjärjestelmän tarkkuutta vertaamalla tuloksia mekaaniseen koordinaattimittakoneeseen. Koordinaattimittauskoneen mittauksissa teollisessa ympäristössä esimerkiksi reiän oletetaan olevan täydellinen ympyrä ja sen muodostamiseen mitataan yleensä vain muutamia pisteitä reiän sisältä sekä ympäröivältä tasolta. Vaikka mittapisteet mitataan sadasosien tarkkuudella, ne voivat antaa reiälle väärän paikan. Tämä johtaa siitä, että teollisesti valmistettu reikä ei koskaan ole täydellinen eikä myöskään sitä ympäröivä pinta ole täydellisen tasomainen. Joskus pultti mitataan koskettamalla kierteen ulkokehää ja joskus kierteen sisäkehää. On selvää, että tulokset riippuvat mittapisteiden kosketuskohdasta, etenkin jos korjaavia algoritmeja ei ole käytetty. Näistä ongelmista keskusteleminen saattaa olla haastavaa sellaisessa työympäristössä, jossa mittaukset on tehty vuosikymmeniä samalla tavalla. Useat näistä ongelmista eivät myöskään liity optisen mittalaitteen todelliseen tarkkuuteen tai sen kykyyn mitata tuotannon laatua. (Tuominen & Niini 2008, 13.)

Verifioinnilla eli todentamisella pyritään varmistamaan se, että mittausmenetelmä tai -laite vastaa asetettuja vaatimuksia. Validointi ja verifiointi ovat olennainen osa laadunvarmistusta, ja menetelmiä voidaankin soveltaa eri aloille. Niiden erona on, että validointi vastaa kysymykseen ”valmistammeko oikeaa tuotetta?” ja verifiointi

taas kysymykseen ”valmistammeko tuotetta oikein?”. (Andersson & Tikka 1997, 240-241.)

Yleensä perinteisten mittalaitteiden verifiointimenetelmien perustana on enemmän tai vähemmän mittausten toistettavuus tai vertailu toiseen tunnettuun mittalaitteeseen. Usein käytetty menetelmä on myös niin sanotun mastersamplen käyttö. Mastersample on eräänlainen näytekappale, joka on valmistettu vakaisissa tuotanto-olosuhteissa. Tämän jälkeen mittausjärjestelmä verifioidaan vertailemalla mastersamplen tunnettuja ja uudella mittausjärjestelmällä mitattuja dimensioita toisiinsa. Näitä erilaisia menetelmiä yhdistellään joissain tapauksissa. (Tuominen & Niini 2008, 16.)

Measurement System Analysis – MSA on AIAG:n eli Automotive Industry Action Groupin kokeellinen ja matemaattinen menetelmä, jolla voidaan määrittää se, miten paljon vaihtelua mittausprosessin sisällä on suhteessa koko tuotantoprosessin vaihteluun. MSA-menetelmän avulla voidaan tutkia mittausjärjestelmän seuraavia ominaisuuksia: hajonta, lineaarisuus, stabiilius, toistettavuus ja uudelleentuotettavuus. AIAG:n mukaan mittausjärjestelmän hyväksyttävyyttä varten yleinen ohjeistus on, että alle 10 %:n virhe on hyväksyttävä. 10 % – 30 %:n virhe voidaan hyväksyä, riippuen mittauslaitteen tärkeydestä sekä korjauskustannuksen ja muiden tekijöiden kustannuksista. Yli 30 %:n virhettä pidetään ei-hyväksyttävänä ja mittausjärjestelmää tulee parantaa. (iSixSigma, [viitattu 29.1.2017].)

Measurement System Capability Reference Manual (MSCRM)–käsikirja on luotu työryhmän toimesta, jossa on jäseniä muun muassa seuraavista yhtiöistä: Audi AG, BMW AG, Robert Bosch GmbH, DaimlerChrysler AG, Fiat auto S.p.A., Ford-Werke AG, Adam Opel AG, Q-DAS GmbH, T.Q.M. Itacas.r.l. ja Volkswagen AG. Tätä käsikirjaa käytetään mittausjärjestelmien tarkastuksen ohjeena yllä mainituissa yhtiöissä sekä heidän alihankkijoillaan. Käsikirja perustuu MSA-menetelmään ja se on vapaasti kenen tahansa käytettävissä. Tämän vuoksi myös monet muut yhtiöt käyttävät kyseistä ohjeistusta. (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

6.1 Type-1 study

Type-1 study on MSA-menetelmään perustuva tutkimusmenetelmä. Sitä käytetään päätöksentekoon arvioitaessa onko mittalaite käyttökelpoinen tarkoitettuun mittaukseen todellisessa tuotantoympäristössä. Tutkimus tuottaa kaksi indikaattoria: C_g (gagepotentialindex) ja C_{gk} (gagecapabilityindex). Näillä indikaattoreilla saadaan selville mittauksen poikkeama sekä toistotarkkuus käytettäessä yhtä mitattavaa osaa ja yhtä mittaajaa. C_{gk} -indikaattoria laskettaessa tarvitaan mittauksen standardiosaa, joka on jäljitettävissä kansalliseen tai kansainväliseen standardiin. Mikäli tämä ei teknisistä syistä onnistu, C_{gk} jätetään pois. Tässä tapauksessa lasketaan ainoastaan toistettavuus C_g , käyttäen sopivaa mittakappaletta. Sopiva mittakappale tutkimuksessa käytettäväksi on sarjatuotanto-osa, joka on valmistettu ongelmitta eli se on niin sanottu stabiili sarjatuotanto-osa. (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

Indikaattorit C_g ja C_{gk} lasketaan MSCRM-käsikirjan mukaan seuraavasti:

$$C_g = \frac{0.2 * T}{4 * S_g} \quad (1)$$

$$C_{gk} = \frac{0.1 * T - |\bar{X}_g - X_m|}{2 * S_g} \quad (2)$$

missä

T = määritetty toleranssi mitatulle piirteelle

S_g = mitattujen arvojen keskiarvo

\bar{X}_g = mitattujen arvojen keskiarvo

X_m = piirteen todellinen arvo, referenssiarvo. (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

Valittu mittakappale tulee mitata vähintään 20 kertaa, mielellään 50 kertaa. Kappale tulee poistaa ja asentaa uudelleen mittalaitteeseen jokaisen mittauskerran välillä. Mittatuloksista lasketaan tulokset C_g ja C_{gk} . (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

Työn käytännön osuudessa ei lasketa C_{gk} -indikaattoria, koska MSK Cabinsilla ei ole käytössä standardiosaa, joka on jäljitettävissä suoraan kansallisiin mittanormaaleihin, vaan mittauksissa käytetään CM08-ohjaamorunkoa. Tämä ohjaamorunko on toki jäljitettävissä Faro-mittalaitteella tehtyjen vertailumittausten ja kalibroinnin kautta kansainvälisiin mittanormaaleihin.

Type-1 studyn määrittelyn mukaan mittalaite on kyvykäs kyseiseen käyttöön, mikäli C_g ja C_{gk} ovat $\geq 1,33$. Jos C_g ja C_{gk} ovat $< 1,33$, mittalaite ei ole riittävän kyvykäs. Myös sellainen tilanne on mahdollinen, jossa $S_g = 0$. Tällöin mittalaitteen tarkkuus ei riitä havaitsemaan olemassa olevia vaihteluita eikä mittalaite ole kyvykäs sille tarkoitettuun tehtävään. Tuotantolinjan vaadittava tarkkuus riippuu kappaleelle määritetyistä toleransseista ja tästä syystä myös toleranssi on mukana laskeakavaissa. (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

Asettamalla C_g ja C_{gk} alimpaan hyväksyttävään raja-arvoonsa 1,33, voidaan selvittää tiukin mahdollinen toleranssi, jolla mittausjärjestelmä vielä läpäisisi testin. Tämä voidaan laskea seuraavasti:

$$T_{min} = 26 * S_g \quad (3)$$

C_g : n tapauksessa

$$T_{min} = 26 * S_g + |\bar{X}_g - X_m| \quad (4)$$

C_{gk} : n tapauksessa.

(Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

Suurissa tutkimuksissa on todettu, että käytännön teollisissa prosesseissa sekä kalibrintilaboratorioissa +/- 2*Sg on todellinen jakauma toistettavuusmittauksissa mittausjärjestelmille. Tästä syystä laskennassa on käytetty 4*Sg Cg:n kaavassa ja 2*Sg Cgk:n kaavassa. (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

6.2 Type-2 study

Type-2–tutkimusmenetelmä perustuu MSA-menetelmään ja on niitä mittausjärjestelmiä varten, jotka ovat alttiita mittaajan tai arvioijan vaikutukselle. Kun mittaajalla ei ole mitään vaikutusta mittaukseen, voidaan soveltaa Type-3:n tutkimusta. Mittaajan vaikutus on mahdollista jättää pois, mikäli osan mittaus ja paikoitus ovat täysin automatisoituja. (Tuominen & Niini 2008, 16, Dietrich 1999 mukaan.)

MSK Cabinsilla ohjaamorungon syöttö Quality Gateen on automatisoitu kuljettimella, joten mittaajalla ei ole vaikutusta mittauksiin. Mittaajan tarvitsee painaa ainoastaan nappia, joka käynnistää syöttölaitteen mittalaitteeseen, ja tekee tämän jälkeen mittauksen täysin automaattisesti.

6.3 Type-3 study

Type-3–tutkimusmenetelmää käytetään arvioitaessa, onko mittausjärjestelmä kykenevä mittaamaan tuotanto-osia. Tätä varten lasketaan arvo %EV:n indeksille. EV kertoo laitteiston toistettavuudesta aiheutuneen variaation.

%EV määritellään seuraavasti:

$$\%EV = \frac{EV}{RF} \times 100\% \quad (5)$$

missä

RF=Referenssiarvo (tai määritetty toleranssi)

EV=Laitteiston variaatio

$$EV = 5.15 \times S_g \quad (6)$$

$$S_E^2 = \frac{1}{n \times (k - 1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - X_{i.})^2 \quad (7)$$

missä

$X_{i.}$ = mitatun kappaleen toistojen keskiarvo

X_{ij} = mitattu arvo

n = mitattujen kappaleiden määrä

k = mittausten määrä per kappale. (Tuominen & Niini 2008, 17.)

Testi suoritetaan valitsemalla tuotanto-osia ($n \geq 5$). Näiden valittujen osien mittojen tulisi jakautua tasaisesti määritetylle toleranssialueelle. Myös mittojen määrän osaa kohti täytyy olla vähintään kaksi, mutta lisämäärityksen huomioiden. Yhteensä mitattuja tuloksia täytyy olla vähintään 20 ($n \cdot k \geq 20$). Uudelle mittausjärjestelmälle, jota ollaan ottamassa käyttöön, %EV ≤ 20 % voidaan pitää hyväksyttävänä tuloksena. Aiemmin käyttönotetulle, jo tuotantokäytössä olevalle, mittalaitteelle rajana pidetään %EV ≤ 30 %. Mikäli nämä tulokset eivät toteudu, mittausjärjestelmää ei voida pitää riittävän kyvykkäänä. (Tuominen & Niini 2008, 17.)

Asettamalla raja-arvo %EV $\rightarrow 20$ % ja muuttamalla laskukaavaa, kuten aiemmin type-1 studyn tapauksessa, saadaan selville tiukin mahdollinen valmistustoleranssi.

$$T_{min} = \frac{25.75}{n \times (k - 1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - X_{i.})^2 \quad (8)$$

Huomioitavaa on, että mittauslaitteen tulee läpäistä type-1 –tutkimus ennen type-3 –tutkimuksen toteuttamista. MSCRM-vaatimukset sekä type-1 – että type-3–

tutkimusta kohtaan ovat tiukat, joten jokainen tutkimus tulee analysoida tapauskohtaisesti. (Tuominen & Niini 2008, 17.)

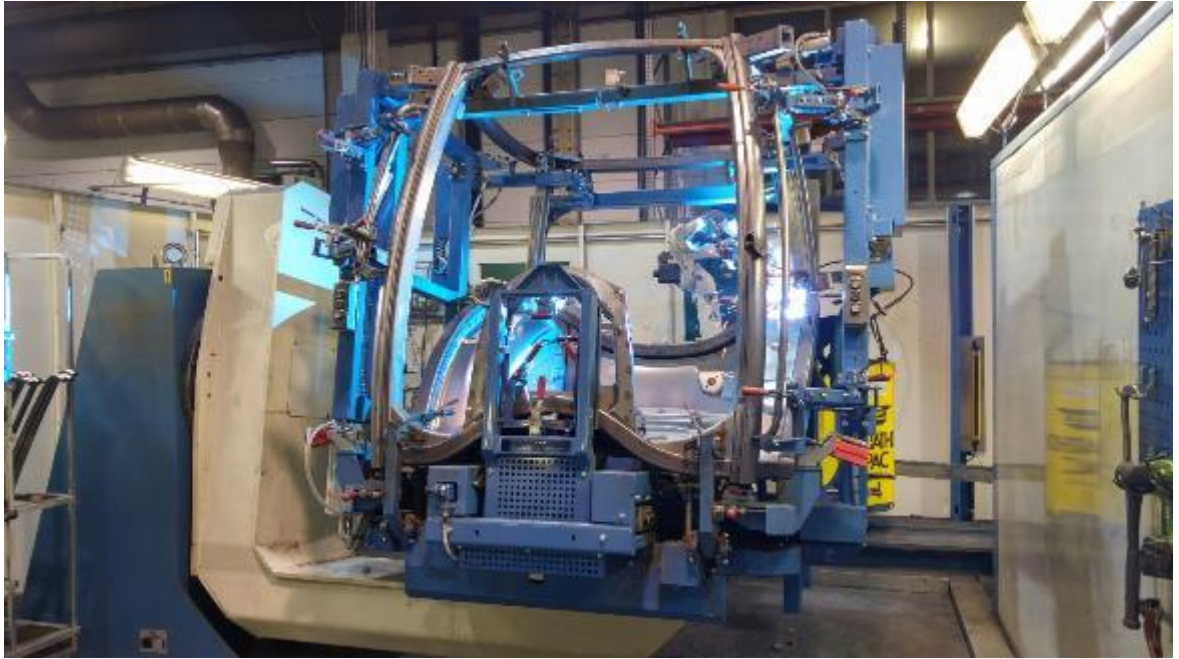
7 QUALITY GATE –LAITTEEN MITTAUSKYVYN VARMISTAMINEN

Tätä työtä varten valmistettiin laatuosaston käyttöön ylimääräinen CM08-ohjaamorunko. Runko valmistettiin referenssirungoksi, jota käytettiin tässä tutkimustyössä. Näin tehtiin sen vuoksi, että MSK Cabinsin tuotanto on jono-ohjattu eikä ylimääräisiä ohjaamorunkoja tehdä, vaan kaikille on tilaus olemassa. Näin ollen tuotannosta on hankala sitoa ohjaamorunkoa mittauksia varten pitkäksi aikaa.

CM08-ohjaamorungossa on usealla eri menetelmällä valmistettuja osia. Ohjaamorungon kehikkorakenne on putkiprofiilia, lattiassa on särmättyjä ohutlevyosia sekä syvävedettyjä osia. Lokasuojan kaariprofiili on putkiprofiilia, mutta itse lokasuoja on syvävedetty. Lisäksi ohjaamossa on pienempiä ohutlevystä särmättyjä alikokoonpanoja. Kaikki ohjaamorungon osat kiinnitetään toisiinsa hitsaamalla. Osien yhteensovittaminen sekä niiden hitsaaminen aiheuttavat lopulliseen runkorakenteeseen muotojen muutoksia.

Hitsatun rakenteen päätoiminto on siihen kohdistuvan kuorman kantaminen. Rakenteen ja sen hitsausliitosten riittävä lujuus ja kestävyys, niihin käytön aikana kohdistuvia erilaisia kuormituksia vastaan, on tämän päätoiminnon täyttymisen edellytyksiä. Hitsattavalle materiaalille ja rakenteelle hitsaus on radikaali tapahtuma. Siihen liittyvät nopeat lämpötilojen muutokset vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin sekä rakenteen ja liitosten jännitystiloihin. Hitsaus aiheuttaa rakenteeseen helposti myös muodonmuutoksia. Hitsausliitosten kohdalla kappaleen geometriassa esiintyy lisäksi epäjatkuvuuskohtia, joiden seurauksena on jännityskeskittymiä ja -huippuja. (Lukkari 2000, 2.)

CM08-ohjaamorunko hitsataan neljässä eri vaiheessa. Hitsauksen jokainen vaihe toteutetaan hitsausjigien ja robottien avulla, mitä havainnollistaa kuva 3. Eri vaiheet ovat molempien ohjaamorungon kylkien hitsaaminen, lattian hitsaaminen ja viimeinen runkovaihe, jossa osakokoonpanot hitsataan toisiinsa.



Kuva 3. Runkovaiheen hitsausjigi ja hitsausrobotti.

Ohjaamorungon osissa itsessään on toleranssit, joiden puitteissa osan mitat saavat vaihdella. Tästä syystä mittaaminen on koettu tärkeäksi ennen kuin runko päästetään varusteluun, jossa runko varustellaan valmiiksi ohjaamoksi. Tällä pyritään välttämään sitä, että esimerkiksi verhoilumuovi ei istu paikalleen kokoonpanolinjalla, vaan ohjaamon vika selviää jo hitsauksen jälkeen tehdyssä mittauksessa eikä viallinen ohjaamo näin ollen pääse kokoonpanolinjalle.

7.1 Huolto ja kalibrointi

Tutkimustyö aloitettiin huoltamalla Quality Gate –laite, millä varmistettiin koneen toimintakyky. Mittaustila siivottiin pölyttömäksi, muutamia hajonneita kameroita vaihdettiin uusiin sekä kameroiden optiikat puhdistettiin ja tarkennusetäisyydet säädettiin oikeiksi. Nämä asiat tarkistetaan aina huollon ja kalibroinnin yhteydessä. Huollon jälkeen laite kalibroitii käyttämällä siihen tarkoitettua kalibrointilevyä sekä levyn siirtoihin tarkoitettua portaalia, mikä näkyy kuvassa 4. Levyssä on kohdistuspisteitä, joiden etäisyydet on tunnettuja ja mitattuja. Kalibrointilevy on mitattu Tampereen teknillisen yliopiston mittauslaboratoriossa ja on siten johdettavissa aina kansallisiin mittanormaaleihin saakka. Kalibrointilevy kuvattiin yhteensä 76 eri

asennossa, kattaen koko Quality Gate –mittausvaruuden. Kuvasasentoja on oltava riittävästi, jotta laitteen koordinaatisto ei vääristyisi. Kalibroinnissa otetut kuvat lähtivät tämän jälkeen Mapvisionille laskentaan, jonka jälkeen uusi kalibrointi voitiin asentaa laitteeseen. Kalibroinnin laskenta perustuu sädekimpputasoitukseen. Mapvision on patentoinut tämän kalibrointitavan.



Kuva 4. Kalibrointilevy ja siirtoportaali Quality Gate –mittalaitteessa.

7.2 Vertailumittaus

CM08-turvaohjaamon vertailumittaukset toteutettiin Faro Fusion-nivelvarsimittalaitteella. Kyseistä työvaihetta esittää kuva 5. Myöhemmin tästä koordinaattimittauskoneesta käytetään nimitystä CMM. Quality Gaten mittausmenetelmä on vertaileva, joten sen tarkkuus ei voi olla parempi kuin CMM-referenssimittauksen.

Mittauksessa käytettiin koskettavaa mittauskuulaa ja 3 mm:n mittauskuulaa. Faro on kalibroitu 28.8.2016 ja tarkkuudeksi on kalibroinnissa saatu 0,089 mm. Vertailumittauksessa mitattiin samat piirteet, jotka oli CM08-ohjaamorungon tuotannon alkaessa ohjelmoitu Quality Gate –laitteelle. Samat piirteet mitattiin siis kahdella eri mittalaitteella, jotta niitä voidaan vertailla keskenään. CMM kiinnitettiin magneetti-

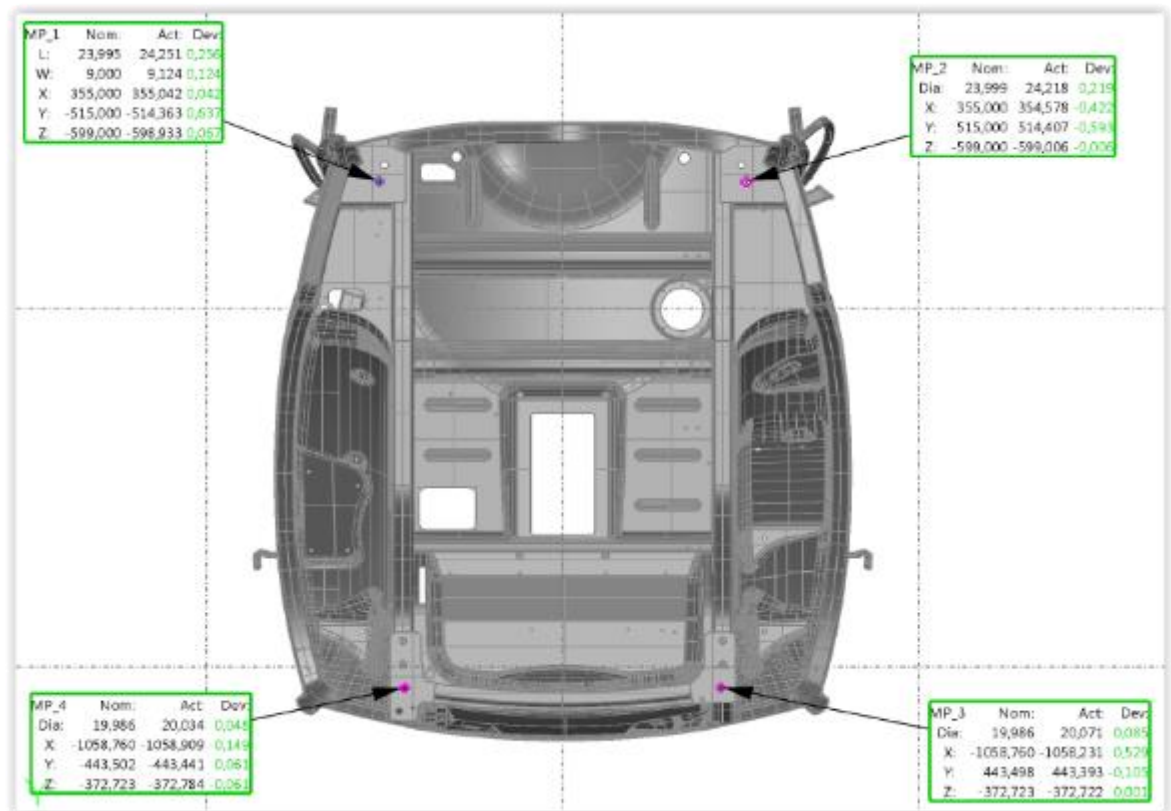
jalalla turvaohjaamon keskelle, mistä sillä ylittää rungon joka puolelle konetta siirtämättä.



Kuva 5. Vertailumittauksen toteutus Faro-nivelvarsimittalaitteella.

Mittausohjelmistona käytettiin Autodeskin PowerInspect 2017 –ohjelmistoa. Ohjelmistolla fyysinen runko ja 3D-malli paikoitettiin toisiinsa rungon alla olevista neljästä kiinnitysreiästä, jotka esitellään kuviossa 3. Näistä samoista kiinnitysrei'istä Valtra kiinnittää ohjaamon traktorin runkoon kiinni. Paikoitusperiaatteena käytettiin best fit –metodia, jossa jokaisesta neljästä reiästä on koordinaatiston kaikki akselit x, y, z määrääviä. Ohjelmisto laskee tämän jälkeen sellaisen sovituksen fyysisen mallin ja 3D-mallin välille, jossa kiinnityspisteiden poikkeamat ovat pienimmillään. Tällä metodilla päästiin 0,324 mm:n keskihajontaan kiinnityspisteiden välillä CM08-referenssirungossa. Myös Quality Gate paikoittaa rungon samoista rei'istä ja samalla best fit –metodilla. Kaikki CMM–mittaukset toteutettiin 21 °C lämpötilassa ja

Quality Gate –mittaukset 18,4 °C lämpötilassa. Lämpötilojen tarkkuus voidaan olettaa olevan luokkaa $\pm 0,5$ °C. Kuten kuvioista 2 aikaisemmin työssä ilmenee, lämpötilaerosta johtuvien virheiden voidaan olettaa olevan olemattoman pienet.

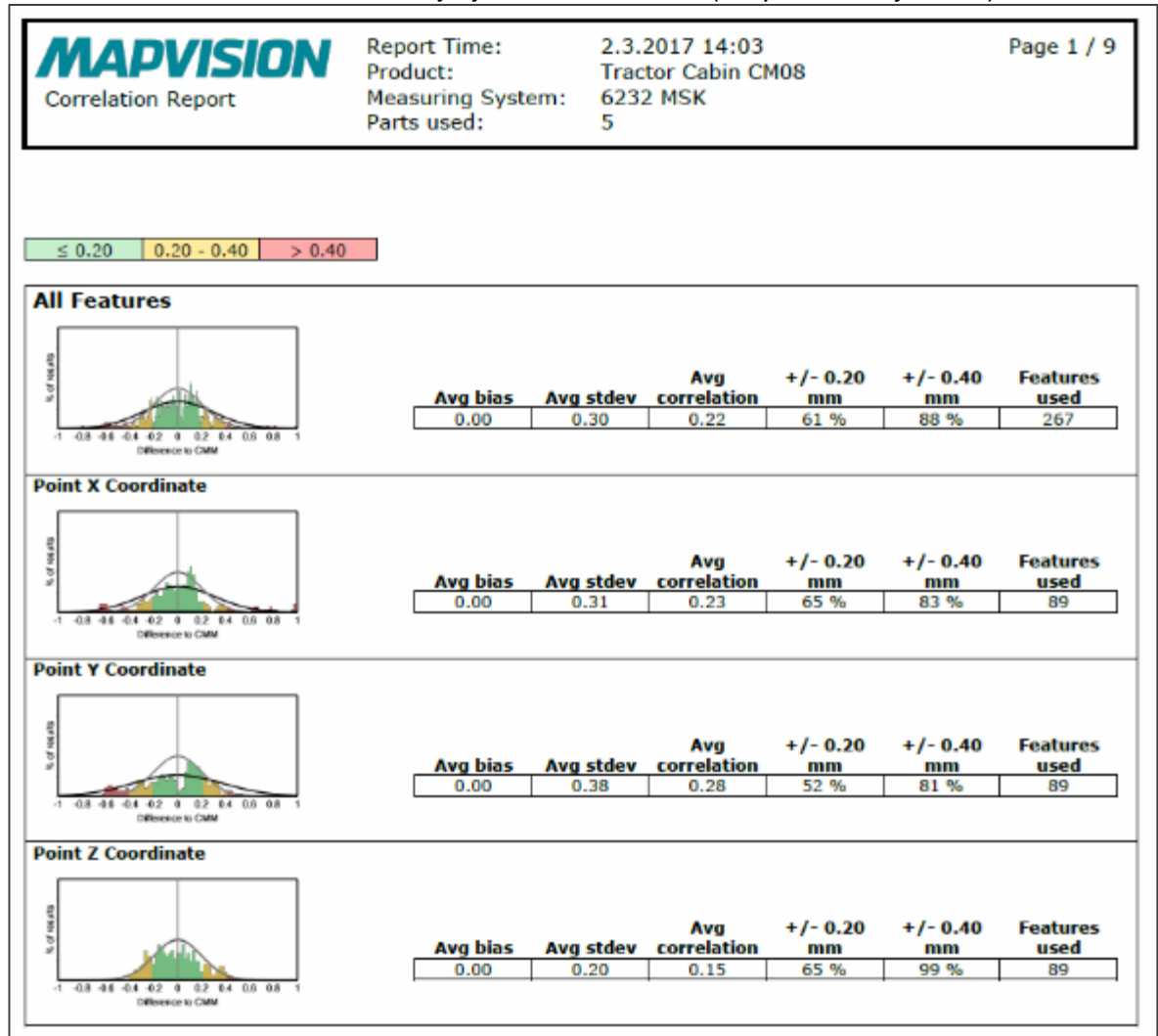


Kuvio 3. Kiinnityspisteiden sijainti rungossa ja niiden poikkeamat suhteessa nimelismittaan.

7.3 Mittausjärjestelmien korrelaatio

Huollon ja kalibroinnin jälkeen Quality Gate –laitteen mittauskyky varmistettiin ensin korrelaatiotestillä. Testi suoritettiin mittaamalla viisi CM08-runkoa ensin Faron koskettavalla kuulalla ja tämän jälkeen mittaamalla samat viisi runkoa Quality Galla. Molemmilla laitteilla mitattiin 19 eri piirrettä rungosta. Quality Gate mittaa piirteet optisesti, kun taas CMM mittaa samat piirteet koskettamalla niitä anturilla. Näiden laitteiden toimintaperiaatteet ovat erilaiset, siksi ne eivät koskaan tuota täsmälleen samoja tuloksia. Testin tuloksena saatiin jokaiselle piirteelle x-, y- ja z-poikkeavuus eri mittajärjestelmien välillä.

Taulukko 1. Korrelaatio mittausjärjestelmien välillä (Mapvision Oy 2017).



Kuten edellä olevasta taulukosta ilmenee, kaikkien mitattujen piirteiden x-, y- ja z-arvojen keskipoikkeama mittausjärjestelmien välillä on 0,22 mm. Piirteiden x-, y- ja z-arvoista 61 % on 0,2 mm:n poikkeaman sisällä ja 88 % arvoista on 0,4 mm:n poikkeaman sisällä. Tulosta ei voi pitää kuin kohtalaisena. Yleisesti hyvänä tuloksena pidetään, mikäli korrelaatio on kymmenesosa toleranssialueesta eli tässä tapauksessa 0,2 mm. Tuloksista selviää myös, että piirteiden z-arvojen keskipoikkeama on pienin eli CMM:n ja Quality Gaten korrelaatio on paras pystysuunnassa.

7.4 Type-1 – ja Type-3–tutkimukset

Korrelaatiotestin jälkeen Quality Gatelle suoritettiin Type-1 – ja Type-3–tutkimukset. Type-1–tutkimuksessa referenssirunko mitattiin CMM-koneella ja tä-

män jälkeen sama runko Quality Gatella 20 kertaa. Tutkimuksessa laskettiin kaikkien mitattujen piirteiden x-, y- ja z-arvoille toistettavuus Cg, kuten aiemmin työn teoriaosuudessa kerrottiin. Cg esitellään jokaiselle mitatulle piirteelle taulukossa 2. Cgk-indikaattoria ei laskettu, koska tutkimuksessa ei käytetty standardiosaa, vaan todellista tuotanto-osaa. Laskennassa piirteiden toleranssi on ± 2 mm.

Taulukko 2. Study-1, tulokset (Mapvision Oy 2017).

| MAPVISION | | Report Time: | 2.3.2017 12:14 | Page 2 / 9 |
|---------------------------------|----------|-------------------------|--------------------|------------|
| Type-1 Study Report | | Product: | Tractor Cabin CM08 | |
| | | Measuring System: | 6232 MSK | |
| | | Number of measurements: | 20 | |
| ≥ 1.33 | < 1.33 | | | |
| Feature | Cg | Stdev | Tolerance Range | |
| 3 Kiinnitys TO.Z | 10.21 | <0.01 | 2.00 | |
| 2 Kiinnitys TV.Z | 9.38 | 0.011 | 2.00 | |
| 1 Kiinnitys EO.Z | 8.74 | 0.011 | 2.00 | |
| 1 Kiinnitys EV.Z | 7.75 | 0.013 | 2.00 | |
| 1 Kiinnitys EV.Y | 7.30 | 0.014 | 2.00 | |
| 10 Sarana takalasi vasen.Z | 5.80 | 0.017 | 2.00 | |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste.Z | 5.53 | 0.018 | 2.00 | |
| 9 Katto kiinnitys vasen.Z | 5.52 | 0.018 | 2.00 | |
| 5 C-pilari ulkokaari VV.Z | 4.49 | 0.022 | 2.00 | |
| 6 A-pilari ulkokaari OY.Z | 4.43 | 0.023 | 2.00 | |
| 2 Kiinnitys TV.Y | 4.35 | 0.023 | 2.00 | |
| 7 A-pilari ulkokaari VV.Z | 4.16 | 0.024 | 2.00 | |
| 13 Lukkotapin korva oikea.X | 3.90 | 0.026 | 2.00 | |
| 12 Lukkotapin korva vasen.X | 3.80 | 0.026 | 2.00 | |
| 1 Kiinnitys EO.Y | 3.70 | 0.027 | 2.00 | |
| 8 Katto kiinnitys oikea.Z | 3.63 | 0.028 | 2.00 | |
| 2 Kiinnitys TV.X | 3.50 | 0.029 | 2.00 | |
| 1 Kiinnitys EV.X | 3.50 | 0.029 | 2.00 | |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste.X | 3.37 | 0.030 | 2.00 | |
| 4 Sarana OA keskipiste.X | 3.35 | 0.030 | 2.00 | |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä.X | 3.20 | 0.031 | 2.00 | |
| 1 Kiinnitys EO.X | 3.19 | 0.031 | 2.00 | |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä.Z | 3.04 | 0.033 | 2.00 | |
| 3 Kiinnitys TO.Y | 3.03 | 0.033 | 2.00 | |
| 6 A-pilari ulkokaari OY.X | 3.00 | 0.033 | 2.00 | |
| 4 Sarana OA keskipiste.Z | 2.96 | 0.034 | 2.00 | |
| 9 Katto kiinnitys vasen.X | 2.91 | 0.034 | 2.00 | |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO.Z | 2.90 | 0.034 | 2.00 | |
| 12 Lukkotapin korva vasen.Z | 2.90 | 0.034 | 2.00 | |
| 11 Sarana takalasi oikea.X | 2.84 | 0.035 | 2.00 | |
| 13 Lukkotapin korva oikea.Y | 2.77 | 0.036 | 2.00 | |
| 11 Sarana takalasi oikea.Z | 2.74 | 0.037 | 2.00 | |
| 5 C-pilari ulkokaari VV.X | 2.71 | 0.037 | 2.00 | |
| 10 Sarana takalasi vasen.X | 2.69 | 0.037 | 2.00 | |
| 8 Katto kiinnitys oikea.X | 2.68 | 0.037 | 2.00 | |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO.X | 2.67 | 0.037 | 2.00 | |
| 3 Sarana OY keskipiste.X | 2.65 | 0.038 | 2.00 | |
| 13 Lukkotapin korva oikea.Z | 2.61 | 0.038 | 2.00 | |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste.Z | 2.55 | 0.039 | 2.00 | |
| 3 Sarana OY keskipiste.Z | 2.48 | 0.040 | 2.00 | |
| 7 A-pilari ulkokaari VV.X | 2.36 | 0.042 | 2.00 | |
| 3 Kiinnitys TO.X | 2.29 | 0.044 | 2.00 | |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä.Y | 2.18 | 0.046 | 2.00 | |
| 4 Sarana OA keskipiste.Y | 2.01 | 0.050 | 2.00 | |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste.X | 1.98 | 0.050 | 2.00 | |
| 12 Lukkotapin korva vasen.Y | 1.97 | 0.051 | 2.00 | |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste.Y | 1.88 | 0.053 | 2.00 | |
| 3 Sarana OY keskipiste.Y | 1.69 | 0.059 | 2.00 | |
| 8 Katto kiinnitys oikea.Y | 1.68 | 0.059 | 2.00 | |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO.Y | 1.60 | 0.062 | 2.00 | |
| 6 A-pilari ulkokaari OY.Y | 1.58 | 0.063 | 2.00 | |
| 5 C-pilari ulkokaari VV.Y | 1.52 | 0.066 | 2.00 | |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste.Y | 1.51 | 0.066 | 2.00 | |
| 7 A-pilari ulkokaari VV.Y | 1.42 | 0.070 | 2.00 | |
| 9 Katto kiinnitys vasen.Y | 1.40 | 0.072 | 2.00 | |
| 10 Sarana takalasi vasen.Y | 1.35 | 0.074 | 2.00 | |
| 11 Sarana takalasi oikea.Y | 1.33 | 0.075 | 2.00 | |

Type-1 studyn määrittelyn mukaan mittalaite on kyvykäs kyseiseen käyttöön, mikäli Cg on yli 1,33. Kaikkien mitattujen piirteiden x-, y-, z-arvot ylittävät hyväksytyn rajan, joten laitteen toistotarkkuus on hyvällä tasolla. Tuloksista näkyy myös, että

parhaiten suorituneiden piirteiden arvot ovat koordinaatiston z-arvoja, kuten korrelaatiotestissäkin.

Lopuksi suoritettiin vielä Study-3, jonka avulla selvitettiin, onko mittausjärjestelmä kykenevä mittaamaan ja erottelemaan tuotanto-osia. Testiä varten mitattiin viisi CM08-runkoa CMM-koneella ja tämän jälkeen samat rungot mitattiin Quality Gateilla, jokainen runko viisi kertaa. Testin tulokseksi saadaan mitatuille piirteille %EV-arvo, joka kertoo laitteiston toistettavuudesta aiheutuneen variaation. Mitattujen piirteiden %EV-arvot käyvät ilmi taulukosta 3.

Taulukko 3. Study-3, tulokset (Mapvision Oy 2017).

| MAPVISION | | Report Time: | 2.3.2017 12:39 | Page 1 / 8 |
|---------------------|--|-------------------|--------------------|------------|
| Type-3 Study Report | | Product: | Tractor Cabin CM08 | |
| | | Measuring System: | 6232 MSK | |
| | | Number of parts: | 5 | |

| ≤ 20.00 | 20.00 - 30.00 | > 30.00 |
|---------|---------------|---------|
|---------|---------------|---------|

| Feature | %R&R X | %R&R Y | %R&R Z | Tolerance range X | Tolerance range Y | Tolerance range Z |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 Kiinnitys EO | 8.3 | 7.6 | 4.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 1 Kiinnitys EV | 8.6 | 7.4 | 5.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste | 14.8 | 13.9 | 14.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 10 Sarana takalasi vasen | 11.9 | 13.1 | 12.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 11 Sarana takalasi oikea | 14.1 | 14.7 | 9.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 12 Lukkotapin korva vasen | 7.8 | 12.0 | 13.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 13 Lukkotapin korva oikea | 9.0 | 9.7 | 5.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä | 7.3 | 10.0 | 5.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 2 Kiinnitys TV | 9.3 | 8.9 | 4.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste | 8.8 | 8.2 | 12.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 3 Kiinnitys TO | 11.3 | 9.0 | 4.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 3 Sarana OY keskipiste | 38.5 | 19.0 | 30.4 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO | 13.2 | 15.2 | 8.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 4 Sarana OA keskipiste | 86.9 | 31.8 | 9.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 5 C-pilari ulkokaari YV | 11.7 | 15.2 | 11.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 6 A-pilari ulkokaari OY | 13.7 | 17.1 | 4.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 7 A-pilari ulkokaari VY | 12.4 | 16.8 | 7.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 8 Katto kiinnitys oikea | 12.8 | 14.7 | 5.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 9 Katto kiinnitys vasen | 12.4 | 15.0 | 9.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

Uudelle mittausjärjestelmälle, jota ollaan ottamassa käyttöön, %EV ei saa olla yli 20 %. Aiemmin käyttönotetulle, jo tuotantokäytössä olevalle mittalaitteelle, hyväksyttävänä rajana pidetään %EV alle 30 %. Testistä saadut tulokset olivat pääosin alle 20 %, joten tuloksia voidaan pitää hyvänä. Testissä kävi kuitenkin ilmi, että rungossa olevien saranoiden kiinnitysreikien %EV oli jostain syystä huomattavan korkea. Syy tälle ei selvinnyt tutkimusta tehtäessä, ja juurisyyn selvittäminen vaatii jatkotutkimuksia.

Kokonaisuudessaan Quality Gate –laite voidaan todeta näiden testien perusteella olevan riittävä CM08-rungon mittaamiseen nykyisillä toleransseilla. Ainoastaan eri mittalaitteiden välinen riippuvuus eli korrelaatio CMM-koneen ja Quality Gate–laitteen välillä ei ollut hyvällä tasolla. Laitteen mittauskykyä on tulevaisuudessa helppo seurata, kun laatuosastolla on nyt käytössään ylimääräinen referenssirunko. Stabiiliutta eli mittatulosten tasaisuutta voidaan seurata tekemällä Study-1–testi, esimerkiksi kolmen kuukauden välein. Tällä toimintatavalla nähdään nopeasti, mikäli koneen mittauskyky heikkenee.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Quality Gate –laitteen mittauskyvyn varmistaminen tuli MSK Cabinsilla ajankoh-
taiseksi ja tarpeelliseksi, kun henkilöstömuutosten seurauksena yleistieto Quality
Gate –laitteesta oli vaillinaista. Laitteen hankinta- ja käyttöönottovaiheessa siitä
vastanneet henkilöt olivat siirtyneet muihin tehtäviin ja näin tarvittiin lisää käytän-
nön kokemusta ja tietoa laitteen mittauskyvystä. Työ oli tarpeellinen, sillä mittaus-
kyvyn varmistuttua laitteella tehtyjen mittausten tiedetään olevan luotettavia ja oi-
keita. Näin laitteella saatuja mittaustuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotan-
toprosessia muutettaessa, jolloin sen vaikutukset valmiin ohjaamorungon mittoihin
on nähtävissä.

Työ aloitettiin perehtymällä huolellisesti Quality Gate –laitteeseen, sen käyttöön ja
käyttöohjeeseen sekä laitteessa käytettävään ohjelmistoon. Tällöin havaittiin, että
laite ei toimi kunnolla, joten se oli ensin huollettava ja kalibroitava toimintakyvyn
varmistamiseksi. Huolto ja kalibrointi organisoitiin ja laitteen toimittanut Mapvision
Oy toteutti sen. Työ edellyttikin tiivistä yhteistyötä laitteen toimittaneen yrityksen
kanssa. Yhteistyö sujui hyvin, vaikka tehtävät toimenpiteet kestivätkin kauan aikaa
ja olivat tuotannollisistakin syistä haasteellisia toteuttaa. Ohjaamorunkojen tuotan-
to on jono-ohjattua, joten mittausten tekeminen, ensin Faro-
koordinaattimittauskoneella ja sen jälkeen Quality Gate –laitteella, oli tarkasti
suunniteltava ja sovittava tuotannon kanssa. Mittausten tekeminen ei saanut hi-
dastaa tai häiritä tuotantoa. Toistotestien tekemisen jälkeen mittaustulokset toimi-
tettiin Mapvisionille, joista he koostivat Study-1 – ja Study-3 –raportit ja korrelaati-
ot. Nämä tulokset analysoitiin. Tuloksien mukaan Quality Gate on soveltuva
CM08-ohjaamorungon mittaamiseen.

Kehittämistehtävä oli projektina onnistunut ja mielenkiintoinen, vaikka haasteitakin
riitti. Laite on monimutkainen eikä vastaavia esimerkiksi Suomessa ole tiedossa,
joten sen käyttöön ja toimintaperiaatteeseen perehtyminen vei oman aikansa.
Työn tavoite ja tarkoitus toteutuivat ja yritys sai tarvitsemaansa tietoa laitteen mit-
tauskyvystä. Työn aikana myös kommunikointi lisääntyi MSK Cabinsin ja laitteen
toimittaneen yrityksen välillä, mikä oli aiemmin ollut hieman vähäistä.

Mikäli jatkossa laitetta halutaan hyödyntää vielä enemmän, voitaisiin esimerkiksi mitattavia piirteitä lisätä. Näin saataisiin enemmän mittatietoa ja kattavampi kuva turvaohjaamosta. Kun laite on nyt huollettu ja mittauskyky varmistettu, saadaan laitteesta jatkuvasti lisää luotettavaa mittaustietoa, jota voidaan hyödyntää hitausprosessin kehittämisessä. MSK Cabins hakee tulevaisuudessa lisää asiakkuuksia, ja Quality Gate on sovellettavissa myös muiden työkoneiden runkojen mittauksiin. Uusissa projekteissa on varauduttava kuitenkin kohtuullisen pitkään mittauksen ylösajoon, koska mittausohjelman tekeminen ei onnistu ilman Mapvision Oy:n ohjelmointia. Quality Gate ei ole niin joustava kuin esimerkiksi Faron mittausjärjestelmät, joissa ohjelmoinnin pystyy tekemään käyttäjä itse. Työn aikana huomattiin, etteivät laitteiston käyttämät kamerat ole kovin luotettavia. Huollon yhteydessä jouduttiin vaihtamaan kuusi kameraa. Alle kuukauden päästä huollosta oli jälleen yksi kamera mennyt rikki. Mapvision Oy onkin nyt kehittämässä omaa kameramallia, jossa virtalähde ei ole kamerassa, vaan erillisenä ja näin saadaan kameran lämpötila pysymään viileämpänä. Toivottavaa on, että tämä parantaa kameroiden käyttöikä.

LÄHTEET

- Aalto, T. 2010. Automaattinen kalibrintilaite. [Verkkójulkaisu]. Metropolia ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka. Insinööriyö. [Viitattu 16.1.2017]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010060711659>
- Andersson, P. H. & Tikka, H 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: Sanoma Pro.
- Dietrich, E, Dr. et. al. "Measurement System Capability" Reference Manual. Version 2.1 D/E, 22nd December 1999.
- Hexagon Metrology 2014. Detailed Analysis - Visual Colormap SPC. [Verkkosivusto]. Hexagon Metrology. [Viitattu 3.4.2017]. Saatavana: <https://360sims.hexagonmetrology.com/>
- Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. & Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. [Verkkójulkaisu]. Espoo: Mittatekniikan keskus MIKES. Julkaisu J4/2011. [Viitattu: 20.10.2016]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>
- iSixSigma. Ei päiväystä. Measurement System Analysis – MSA. [Verkkosivusto]. iSixSigma. [Viitattu 29.1.2017]. Saatavana: <https://www.isixsigma.com/dictionary/measurement-system-analysis-msa/>
- Kajaanin ammattikorkeakoulu. Ei päiväystä. Kuvaileva tutkimus. [Verkkosivusto]. Kajaanin ammattikorkeakoulu, [Viitattu 17.4.2017]. Saatavana: <http://www.kamk.fi/opari/Opinnaytetyopakki/Teoreettinen-materiaali/Tukimateriaali/Tutkimustyytit/Kuvaileva>
- Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Kiimalainen, K. 17.2.2014. Kone näkee paremmin. [Verkkolehtiartikkeli]. Reset-lehti 1/2014. [Viitattu 31.1.2017]. Saatavana: <http://reset-lehti.fi/kone-nakee-paremmi/>
- Konenäkö elintarviketeollisuuden työkaluna. Ei päiväystä. [Verkkolehtiartikkeli]. Kehittyvä Elintarvike & Elintarviketieteiden Seura r.y. [Viitattu 31.1.2017]. Saatavana: <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/26-konenako-elintarviketeollisuuden-tyokaluna>
- Lecklin, O. 1999. Laatu yrityksen menestystekijänä. 3. uudistettu painos. Jyväskylä: Talentum oyj.

- Leino, M. 2014. Teknologiatiedolla tuottavuutta: Ammattikorkeakoulut kansainvälisen teknologiatiedon tulkkeina pk-yrityksille. [Verkkójulkaisu]. Pori: Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sarja B, Raportit 11/2014. [Viitattu 27.10.2016]. Saatavana:
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/80149/2014_B_11_Teknologiatiedolla_tuottavuutta.pdf?sequence=2
- Lukkari, J. 2000. Hitsien laatu ja hitsausvirheet – Hitsausuutisissa julkaistut artikkelit, osat 1-5. [Verkkójulkaisu]. Oy ESAB. [Viitattu 9.2.2017]. Saatavana:
http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/hitsien_laatu_ja_hitsausvirheet.pdf
- Mapvision Oy 2016. Quality Gate 4200 Series. [Verkkosivu]. Mapvision Oy. [Viitattu 5.10.2016]. Saatavana: <http://www.mapvision.fi/en/products/quality-gate-4200-series>
- Mapvision Oy 2017. Mittausraportti. Sähköpostiviesti 3.3.2017.
- MSK Cabins. Ei päiväystä. Prosessit. [Verkkosivu]. MSK Cabins Oy. [Viitattu 11.3.2017]. Saatavana: <http://www.msccabins.fi/prosessit>
- Niini, I. 2013. Effect of temperature changes on Mapvision results. Tutkimusraportti. Oy Mapvision Ltd. Julkaisematon.
- Pesonen, H. 2007. Laatu! – Asiantuntijaorganisaation laatuopas. Juva: Infor.
- Tikka, H. 2009. Koordinaattimittaus. 2. painos. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Tuominen, V. & Niini, I. 2008. Verification of the accuracy of a real-time optical 3D-measuring system on production line. [Verkkójulkaisu]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008. [Viitattu 16.1.2017]. Saatavana:
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/03.pdf
- Tuominen, V. 2007. Reaaliaikaisen optisen 3D-mittalaitteen tarkkuuden verifiointi. Teknillinen Korkeakoulu. Espoo. Diplomityö. Julkaisematon.
- Yritys-Suomi. Ei päiväystä. Laadunhallintajärjestelmä. [Verkkosivu]. Työ- ja elinkeinoministeriö. [Viitattu 29.11.2016]. Saatavana:
<https://yrityssuomi.fi/laadunhallintajarjestelma>

LIITTEET

1. FARO KALIBROINTITODISTUS

2. MAPVISION KALIBROINTILEVYN JÄLJITETTÄVYYS JA MITTAUS

3. KORRELAATIOTULOKSET

4. STUDY-1 RAPORTTI

5. STUDY-3 RAPORTTI

FARO Customer Service Europe Headquarters

FARO

7/15/2016

Repair Letter

Rensi Finland OY
Yrittäjätie 28
1800 Klaukkala
Finland

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| RMA-NUMBER: | 00806463 |
| SERIAL NUMBER: | U10051227709 |
| DEVICE: | Fusion |
| SERVICE-DESCRIPTION: | Annual Cleaning & Calibration |

Dear customer,

We are pleased to inform you that the service has been performed successfully on your FARO device. Hereby we want to inform you about the work carried out:

- 15 Point Check - No Error Noted By Tech
- Firmware updated to latest version
- Rubber Bumpers Replaced
- Compensation & Calibration

Your device has been set to factory specifications. If you have any further questions concerning your service please contact the FARO Customer Service Department.

Kind Regards,
FARO - Customer Service

FARO Europe GmbH & Co. KG
Lingwiesenstrasse 11/2
D-70825 Komtal Münchingen

Calibration Certificate

Part Description: Fusion **Certification Date:** 2015-07-08 **Setlist:** U10-05-12-27739
Single Point - (Max-Min)/2 Specification: U10-05 0.060mm (0.0035") **Certificate#:** U10051227709-7132016-0154
Volumetric (Max Deviation) Specification: U10-05 +/-0.124mm (+/-0.0049") **Temperature:** See attached data.

Measurement Standards Traceability

| | | | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|--|
| Kinematic Scale Bar - Short | Asset Number: TQ1580 | Calibration Due: 9/17/2016 | *S1 Traceability: 23487616-16A9-4af2-b1fc-1e1d1d6b1c19 |
| Kinematic Scale Bar - Long | Asset Number: TQ1576 | Calibration Due: 9/17/2016 | *S1 Traceability: 2267dd62-67aa-4e77-b25a-e0c9ed1b1zab |
| Thermometer | Asset Number: 3333 | Calibration Due: 10/30/2015 | *S1 Traceability: T65370 D-K-15070-01-01 |
| Calibration Probe | Asset Number: 3549 | Calibration Due: 10/29/2016 | *S1 Traceability: 15-331-01223 |
| Reference Sphere | Asset Number: 3637 | Calibration Due: 11/7/2015 | *S1 Traceability: 15-331-01219 |

The artifacts above have been calibrated with a device traceable to the International System of Units (SI) through a National Metrological Institute (NMI) or through an ISO/IEC 17025 Accredited Laboratory. Calibration was performed in compliance with ISO/IEC 17025. This procedure was developed in accordance with ASTM B97.4-13-2014. See attached data for measurement results.

Calibration Results*

| | |
|---|--------|
| 3 Single Point Articulation Tests at <=20%, 20%-80%, and >=80% range. | PASSED |
| 1 Effective diameter sphere test. | PASSED |
| 20 Volumetric ball bar tests in 4 quadrants and 3 orientations. | PASSED |

Instrument condition as received:

N/A

Instrument condition outgoing:

Within specifications

This certificate invalidates all other certificates generated before 7/13/2016 8:11:03 AM
 This certificate is valid for 12 months, unless noted. Without permission of FARO Technologies, Inc.
 The results of this certificate remain valid as long as the items calibrated are stored.

FARO Technologies, Inc.
 PH: 1-800-327-6737
 FX: 1-49 (715) 939-970
 FAX: 1-49 (715) 939-9744

Cal Cert Technician

Matias Ritterbach

Approved By:

Matias Ritterbach

Date: 2015-07-08

Lingwiesstrasse 11/7
 D-70825 Kornblum-Münchingen
 Germany



Certification



Serial Number: U10-05-12-27709

Date: 2016-07-08

Effective Diameter Performance Test Results

| Test | Quadrant | Calibrated Diameter (Dcal) | Reference Temperature (Tref) | CTE (PPM) | Measured Temperature (Tmea) | Adjusted Diameter (Dadj)* | Measured Diameter (Dm) | Diameter Deviation (Dm-Dadj) | Test Results | |
|------|----------|----------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------|--------|
| 1 | 3/4 | 25.4009 | 20.0 | 10.2 | 22.4 | 25.4015 | 25.3976 | -0.0039 | Passed | |
| 2 | 3/4 | 25.4009 | 20.0 | 10.2 | 22.4 | 25.4015 | 25.3969 | -0.0026 | Passed | |
| 3 | 3/4 | 25.4009 | 20.0 | 10.2 | 22.4 | 25.4015 | 25.3991 | -0.0023 | Passed | |
| | | | | | | | | Maximum Deviation | 0.0039 | Passed |
| | | | | | | | | Effective Diameter Specification | 0.0445 | |

* Dadj = Dcal x (1 + ((CTE/1,000,000) x (Tmea - Tref)))
 Measurement Uncertainty is 1 micrometer

Single Point Articulation Performance Test Results

| Region | Quadrant | (Max-Min)/2 | Test Results | |
|--------|----------|----------------------------|--------------|--------|
| < 20% | 1/2 | 0.0224 | Passed | |
| 20-80% | 3/4 | 0.0533 | Passed | |
| >80% | 2/3 | 0.0615 | Passed | |
| | | Maximum | 0.0615 | Passed |
| | | Single Point Specification | 0.0880 | |

Measurement Uncertainty is 0.41 micrometer

Volumetric Performance Test Results

| Quadrant | Position | Calibrated Length (Lcal) | Reference Temperature (Tref) | CTE (PPM) | Measured Temperature (Tmea) | Adjusted Length (Ladj)** | Measured Length (Lm) | Length Deviation (Lm-Ladj) | Test Results | |
|----------|----------|--------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------|
| 1 | Flat | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9458 | -0.0441 | Passed | |
| 1 | Flat | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.0688 | -0.0459 | Passed | |
| 2 | Flat | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9403 | -0.0505 | Passed | |
| 2 | Flat | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.0674 | -0.0453 | Passed | |
| 3 | Flat | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9476 | -0.0432 | Passed | |
| 3 | Flat | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.0674 | -0.0453 | Passed | |
| 4 | Flat | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9587 | -0.0321 | Passed | |
| 4 | Flat | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.0618 | -0.0309 | Passed | |
| 1 | 45° | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9795 | -0.0114 | Passed | |
| 1 | 45° | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.1361 | 0.0234 | Passed | |
| 2 | 45° | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9634 | -0.0274 | Passed | |
| 2 | 45° | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.1590 | 0.0453 | Passed | |
| 3 | 45° | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9816 | -0.0090 | Passed | |
| 3 | 45° | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.1395 | 0.0258 | Passed | |
| 4 | 45° | 1849.9897 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 1849.9908 | 1849.9844 | -0.0065 | Passed | |
| 4 | 45° | 850.1122 | 17.9 | 0.1 | 22.4 | 850.1127 | 850.1159 | 0.0032 | Passed | |
| 1 | Vertical | 950.0752 | 18.0 | 0.1 | 22.4 | 950.0757 | 950.0414 | -0.0344 | Passed | |
| 2 | Vertical | 950.0752 | 18.0 | 0.1 | 22.4 | 950.0757 | 950.0449 | -0.0308 | Passed | |
| 3 | Vertical | 950.0752 | 18.0 | 0.1 | 22.4 | 950.0757 | 950.0560 | -0.0097 | Passed | |
| 4 | Vertical | 950.0752 | 18.0 | 0.1 | 22.4 | 950.0757 | 950.0521 | -0.0137 | Passed | |
| | | | | | | | | Maximum Deviation | 0.0505 | Passed |
| | | | | | | | | Volumetric Specification | 0.1240 | |

** Ladj = Lcal x (1 + ((CTE/1,000,000) x (Tmea - Tref)))
 Measurement Uncertainty is 3.5 micrometer
 Uncertainty is expressed at approximately a 95% level of confidence using k=2.00.

Single Point Articulation Test Quadrant 3-4, <20%

FARO

FaroArm Serial Number: U10-05-12-27709
Firmware Version: 312

FaroArm Temperature: 24.89
Probe: Ball Probe X: -.061 Y: .065 Z: 219.749
Probe 2*Sigma: 0.024812792
Date of Test: 7/8/2016
Number of Points Taken: 10

Maximum X: -221.6878967
Minimum X: -221.7276764
(Max-Min)/2: 0.019889832

Maximum Y: -263.9630737
Minimum Y: -264.007843
(Max-Min)/2: 0.022384644

Maximum Z: -198.723053
Minimum Z: -198.7618408
(Max-Min)/2: 0.019393921

| Index | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | -221.7060242 | -263.9630737 | -198.7527008 |
| 2 | -221.7110901 | -263.9758911 | -198.7618408 |
| 3 | -221.7075195 | -263.9773865 | -198.7524109 |
| 4 | -221.7276764 | -263.9795227 | -198.7379303 |
| 5 | -221.6933746 | -263.9871826 | -198.7404327 |
| 6 | -221.6962433 | -263.9960632 | -198.7550659 |
| 7 | -221.6914063 | -263.9822388 | -198.723053 |
| 8 | -221.6878967 | -263.9953613 | -198.7406311 |
| 9 | -221.6947937 | -264.0041199 | -198.7409515 |
| 10 | -221.6928558 | -264.007843 | -198.7379608 |

Single Point Articulation Test Quadrant 3-4, 40%

FARO

FaroArm Serial Number: U10-05-12-27709
Firmware Version: 312

FaroArm Temperature: 24.91
Probe: Ball Probe X: -.061 Y: .065 Z: 219.749
Probe 2*Sigma: 0.024612792
Date of Test: 7/8/2016
Number of Points Taken: 10

Maximum X: 67.56035278
Minimum X: 67.49417877
(Max-Min)/2: 0.043087006

Maximum Y: -123.2458801
Minimum Y: -123.3524857
(Max-Min)/2: 0.053302765

Maximum Z: 887.1553955
Minimum Z: 887.1154175
(Max-Min)/2: 0.019989014

| Index | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
|-------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | 67.58035278 | -123.2458801 | 887.1373901 |
| 2 | 67.55706024 | -123.276825 | 887.1553955 |
| 3 | 67.56673431 | -123.2812196 | 887.1328125 |
| 4 | 67.57207489 | -123.3125839 | 887.1268311 |
| 5 | 67.57992554 | -123.3228828 | 887.1217041 |
| 6 | 67.5674057 | -123.3145065 | 887.1448975 |
| 7 | 67.5665741 | -123.3469549 | 887.1181499 |
| 8 | 67.55477905 | -123.333931 | 887.1312256 |
| 9 | 67.52307129 | -123.3524857 | 887.1154175 |
| 10 | 67.49417877 | -123.3072052 | 887.1260986 |

Single Point Articulation Test Quadrant 3-4, >80%

FARO

FaroArm Serial Number: U10-05-12-27709
Firmware Version: 312

FaroArm Temperature: 24.86
Probe: Ball Probe X: -.061 Y: .065 Z: 219.749
Probe 2*Sigma: 0.024612792
Date of Test: 7/8/2016
Number of Points Taken: 10

Maximum X: 1195.447876
Minimum X: 1195.41272
(Max-Min)/2: 0.017578125

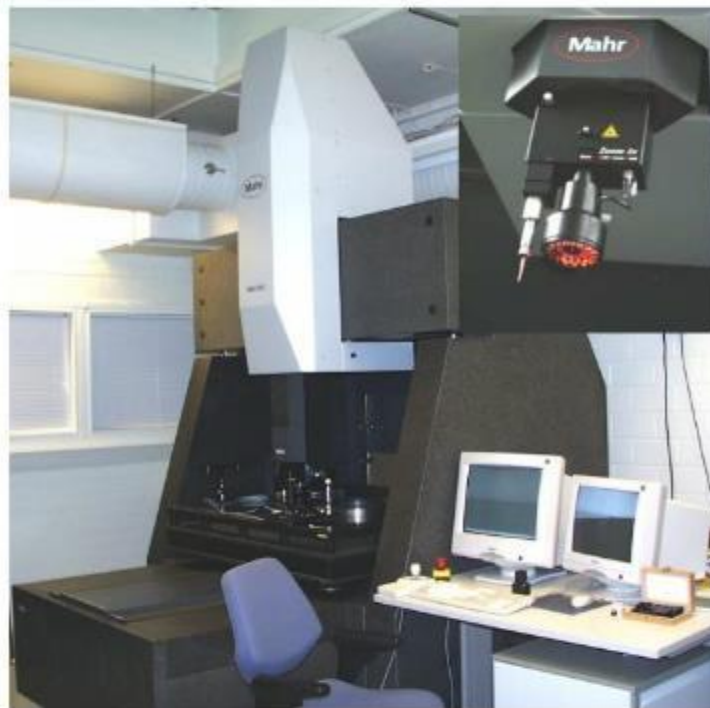
Maximum Y: -144.2273102
Minimum Y: -144.3504028
(Max-Min)/2: 0.061546328

Maximum Z: -457.6870117
Minimum Z: -457.7295227
(Max-Min)/2: 0.021255493

| Index | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
|-------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | 1195.447876 | -144.2273102 | -457.7295227 |
| 2 | 1195.443237 | -144.2282582 | -457.7250671 |
| 3 | 1195.434082 | -144.2619629 | -457.7130737 |
| 4 | 1195.426758 | -144.289917 | -457.7134094 |
| 5 | 1195.425293 | -144.2970123 | -457.7294617 |
| 6 | 1195.414551 | -144.3095398 | -457.7150879 |
| 7 | 1195.421875 | -144.3105316 | -457.7165222 |
| 8 | 1195.420044 | -144.3302155 | -457.7028809 |
| 9 | 1195.41272 | -144.3504028 | -457.6987 |
| 10 | 1195.431274 | -144.3487701 | -457.6870117 |



TRACEABILITY OF MULTI SENSOR CO-ORDINATE MEASURING MACHINE MAHR OMS 1000



by

Heikki Tikka

Dr.Tech, Professor

Head of the Accredited Calibration Laboratory K003 (Dimensional Quantities)
Specialist in Co-ordinate Measuring and CAD/CAM technology

Postal address:
PL 589
33101 Tampere
Finland

Visiting address:
Korkeakoulunkatu 6
33720 Tampere
Finland

Delivery address:
Hall 1, Hermiankatu 5
33720 Tampere
Finland

Tel: +358 40 5567673
Fax: +358 3 3115 2753
e-mail: heikki.tikka@tut.fi
<http://www.pe.tut.fi>



1 Technical specification of MAHR OMS 1000

Installed year 2000 at TUT - Tampere University of Technology.

Granite portal type body (8 tons) with moving table (Y-axis)

Measuring Volume: (1000 x 1000 x 600) mm³

Volumetric Accuracy: $U_3 = \pm (2.2 + L/300) \mu\text{m}$, as L = mm (k=2) according to VDI/VDE 2617 length measuring test

Sensors are: Two CCD-cameras: so called reference camera and 0.5x smaller magnification, and two lenses 3x and 10x, Renishaw probe TP200 and laser focusing distance sensor through the optics into Z-direction.

Table 1. Resolutions and Field of Views of the two Cameras

| Lens | Magnification | Field of View (mm x mm) | Resolution ($\mu\text{m}/\text{pixel}$) | Magnif. View on 16" screen |
|------|---------------|----------------------------|--|-------------------------------|
| 3x | 1.5x | 4.5 x 3.4 | 5.9 | 75 x |
| 3x | 3x | 2.2 x 1.6 | 2.8 | 150 x |
| 10x | 5x | 1.3 x 1.0 | 1.7 | 250 x |
| 10x | 10x | 0.6 x 0.5 | 0.8 | 500 x |

Number of Pixels of the Cameras is 768 x 572

Subpixeling yields 1/4x resolution and is 0.2 μm by the 10x lens.

Lights are: top, back and ring type

Software: MAHR Soft, Vision 3D (year 2004). Three sensors are available at any time to choose and measure the features of work piece by the most suitable method. The results of any sensor will be given in the work piece co-ordinate system and printed out into the same report.

2 Traceability of the measurements

2.1 Calibration of the sensors and probes

The next calibration plate with three different normals is used to determine the parameters of the three sensors of the Mahr multisensor co-ordinate measuring machine.

Postal address:
PL 589
33101 Tampere
Finland

Visiting address:
Korkeakoulunkatu 6
33720 Tampere
Finland

Delivery address:
Hall 1, Hermiankatu 5
33720 Tampere
Finland

Tel: +358 40 5567673
Fax: +358 3 3115 2753
e-mail: heikki.tikka@tut.fi
<http://www.pe.tut.fi>

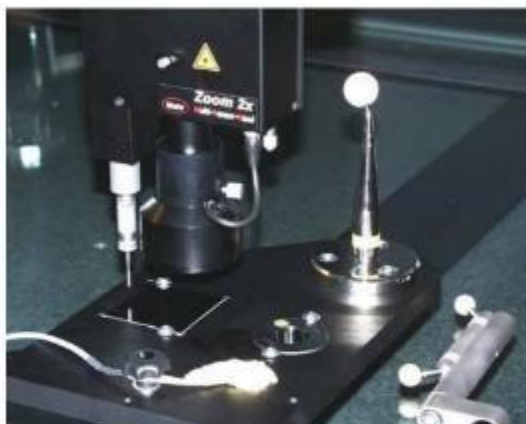


Fig. 1. The Calibration plate and the normals for the three sensors: two CCD Cameras, the stylus of Renishaw TP 200 probe and the Laser distance sensor (focusing type)

The resolutions and offset of the two cameras are determined by the reference Glass Plate with 13 different size of not etched "holes". The radii variate from 0.09 to 6.4 mm. The plate is manufactured by Leica Microsystems Lithography GmbH and calibrated in their own accredited laboratory DKD-K-12401.

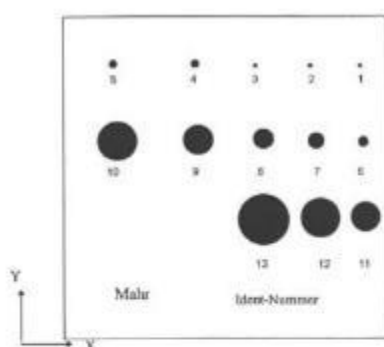


Fig. 2. The reference glass plate used for calibration of the two cameras and their offset.

The Stylus diameters and their locations of Renishaw TP200 Probe are calibrated by 24 mm diameter reference sphere. It is produced by Swip and is originally calibrated by Saphirwerk and later by MIKES – Centre for metrology and accreditation in Finland.

Postal address:
PL 589
33101 Tampere
Finland

Visiting address:
Kortteiskoulunkatu 6
33720 Tampere
Finland

Delivery address:
Hall 1, Hermiankatu 5
33720 Tampere
Finland

Tel: +358 40 5567873
Fax: +358 3 3115 2753
e-mail: heikki.tikka@tut.fi
<http://www.pe.tut.fi>



Fig. 3. The reference sphere to calibrate the styles of Renishaw TP200 probe



Fig. 4. The reference gauge ring to determine offsets of the three different sensors.

The X-, Y-offset of Renishaw reference stylus and the reference camera is determined by the gauge ring diameter 25 mm. It is calibrated by DKD - K - 11901.

The offsets of the reference stylus and the laser distance sensor according to the reference camera in Z-direction are determined using the top surface of the ring gauge.

Postal address:
PL 589
33101 Tampere
Finland

Visiting address:
Korkeakoulunkatu 6
33720 Tampere
Finland

Delivery address:
Hall 1, Hermiankatu 5
33720 Tampere
Finland

Tel: +358 40 5567673
Fax: +358 3 3115 2753
e-mail: heikki.tikka@tut.fi
<http://www.pe.tut.fi>

3 The measurement method of Calibration Plate for Mapvision

The Calibration Plate of Mapvision is shown in the figure 7. below.

The plate was measured by 3x lens and using the reference camera. The center points of the white spots were measured as circles. The edges of the circles were automatic focused by "edge focus" procedure. Each circle was measured by four points. The centers of the three balls locating outside the plate were measured as ball. The points were three at the equator by "edge focus" and the fourth point on the pole by "surface focus" method.

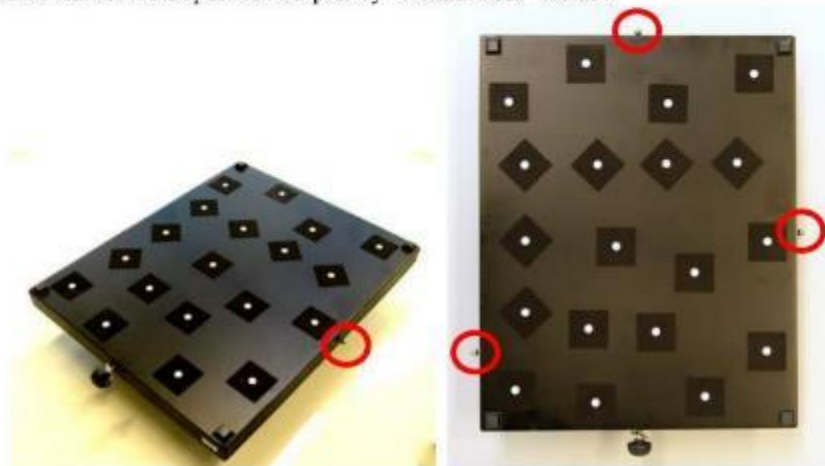


Fig. 7. Calibration Plate for Mapvision. The positions of white spots (circles) on both side are calibrated There are three balls to fix the results into the same coordinate system.

Because the white spots locate on opposite planes of the plate they must be measured one side at the time. The plate must be turned round between these two independent measurements. To merge the two results into the same coordinate system there are three balls locating at the edges of the plate. These three balls fix the locations of the white spots (centers of the circles) of both sides and are used to merge together all the spots into one same coordinate system.

Postal address:
PL 589
33101 Tampere
Finland

Visiting address:
Korkeakoulunkatu 6
33720 Tampere
Finland

Delivery address:
Hall 1, Hermiankatu 5
33720 Tampere
Finland

Tel: +358 40 5567673
Fax: +358 3 3115 2753
e-mail: heikki.tikka@tut.fi
<http://www.pe.tut.fi>



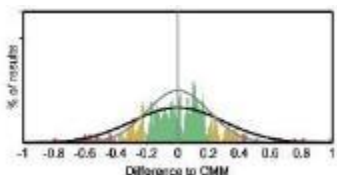
Correlation Report

Report Time:
Product:
Measuring System:
Parts used:

2.3.2017 14:03
Tractor Cabin CM08
6232 MSK
5

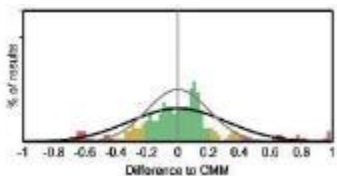
| | | |
|--------|-------------|--------|
| ≤ 0.20 | 0.20 - 0.40 | > 0.40 |
|--------|-------------|--------|

All Features



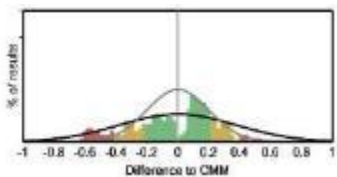
| Avg bias | Avg stdev | Avg correlation | +/- 0.20 mm | +/- 0.40 mm | Features used |
|----------|-----------|-----------------|-------------|-------------|---------------|
| 0.00 | 0.30 | 0.22 | 61 % | 88 % | 267 |

Point X Coordinate



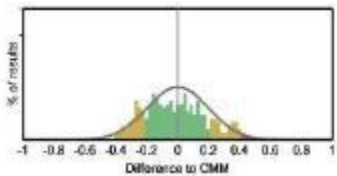
| Avg bias | Avg stdev | Avg correlation | +/- 0.20 mm | +/- 0.40 mm | Features used |
|----------|-----------|-----------------|-------------|-------------|---------------|
| 0.00 | 0.31 | 0.23 | 65 % | 83 % | 89 |

Point Y Coordinate



| Avg bias | Avg stdev | Avg correlation | +/- 0.20 mm | +/- 0.40 mm | Features used |
|----------|-----------|-----------------|-------------|-------------|---------------|
| 0.00 | 0.38 | 0.28 | 52 % | 81 % | 89 |

Point Z Coordinate



| Avg bias | Avg stdev | Avg correlation | +/- 0.20 mm | +/- 0.40 mm | Features used |
|----------|-----------|-----------------|-------------|-------------|---------------|
| 0.00 | 0.20 | 0.15 | 65 % | 99 % | 89 |

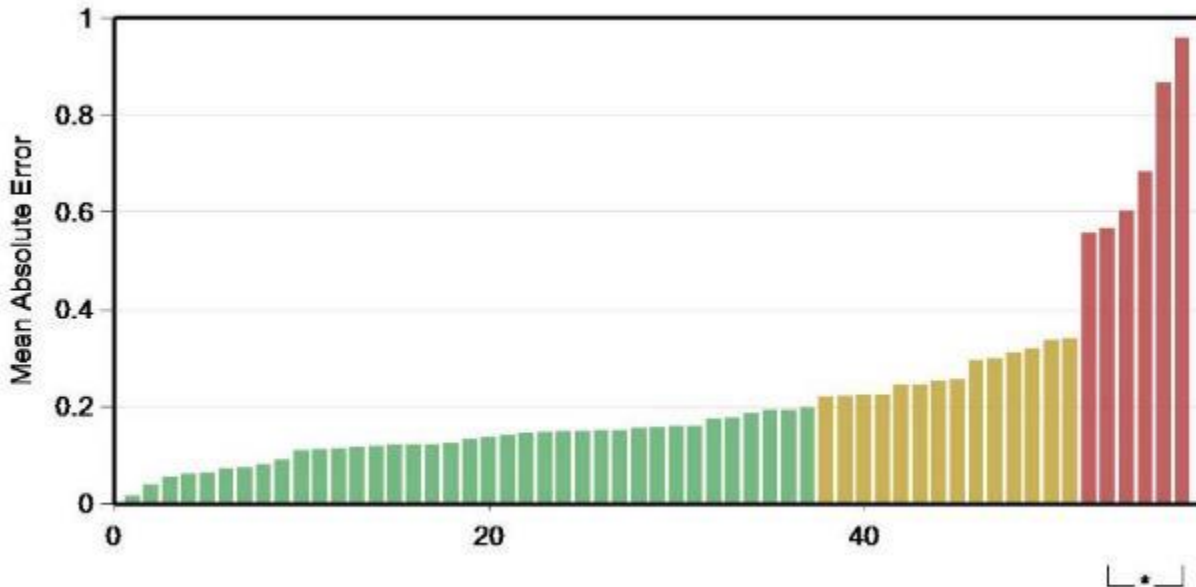


Correlation Report

Report Time: 2.3.2017 14:03
 Product: Tractor Cabin CM08
 Measuring System: 6232 MSK
 Parts used: 5

| Quality Gate Result | | CMM Result | |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|--|
| 2629 | 3/2/2017 2:00:13 PM | CM08 Measured 6.2.2017 | |
| 2634 | 3/2/2017 2:00:18 PM | CM08 Measured Osa 2 10.3.2017_2 | |
| 2646 | 3/2/2017 2:01:00 PM | CM08 Measured Osa 3 10.3.2017 | |
| 2670 | 3/2/2017 2:01:37 PM | CM08 Measured Osa 4 10.3.2017 | |
| 2662 | 3/2/2017 2:01:58 PM | CM08 Measured Osa 5 10.3.2017 | |

| | | |
|--------|-------------|--------|
| ≤ 0.20 | 0.20 - 0.40 | > 0.40 |
|--------|-------------|--------|

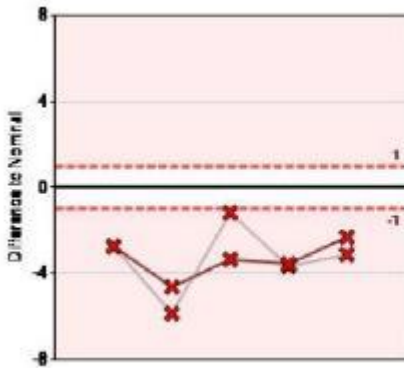


* Last 5 features

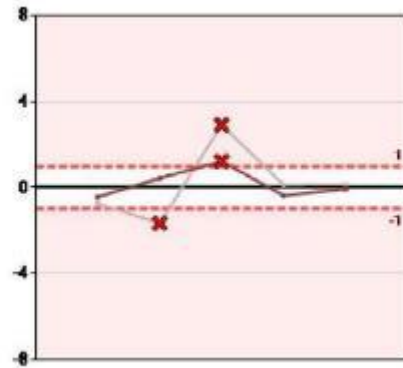
| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 7 A-pilari ulkokaari VY.X | 6 A-pilari ulkokaari OY.X | 6 A-pilari ulkokaari OY.Y | 4 C-pilari Ulkokaari YO.X | 4 C-pilari Ulkokaari YO.Y |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|

Quality Gate CMM

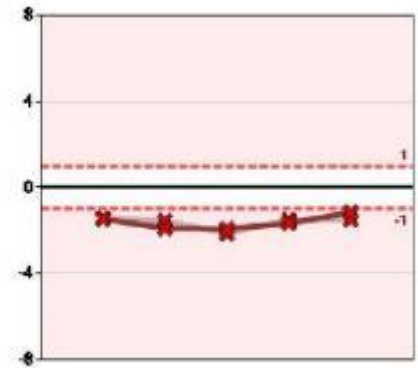
4 C-pilari Ulkokaari YO



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 1.31 |
| Bias X | 0.00 |

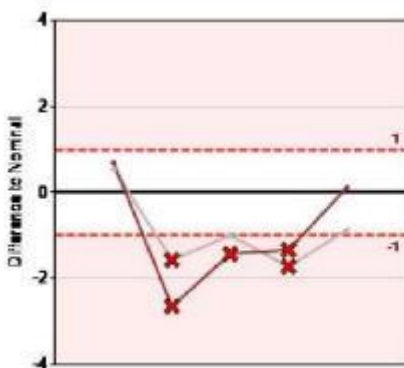


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 1.38 |
| Bias Y | 0.00 |

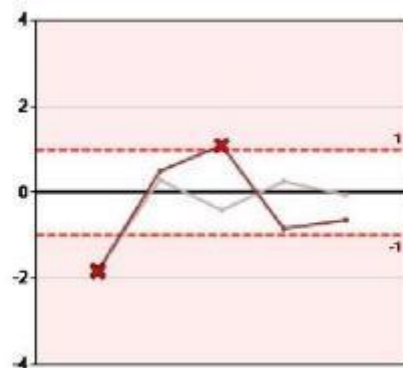


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.28 |
| Bias Z | 0.00 |

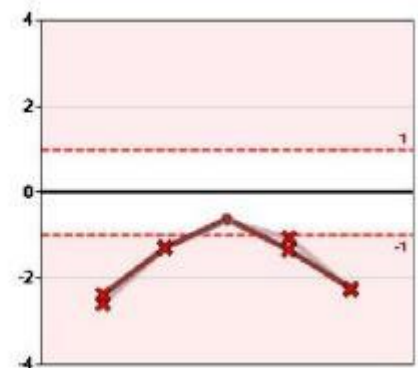
6 A-pilari ulkokaari OY



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.79 |
| Bias X | 0.00 |

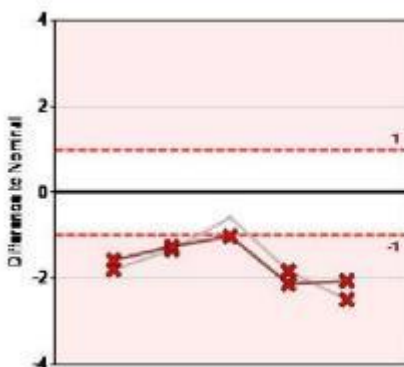


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.98 |
| Bias Y | 0.00 |

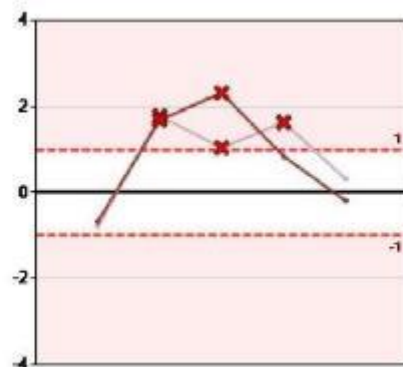


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.17 |
| Bias Z | 0.00 |

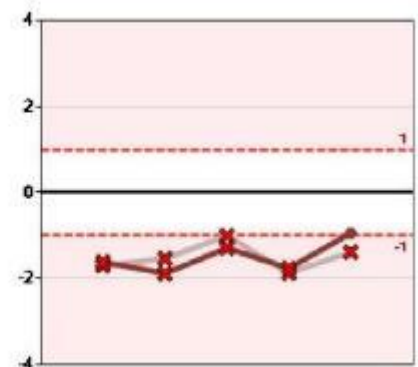
5 C-pilari ulkokaari YV



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.36 |
| Bias X | 0.00 |



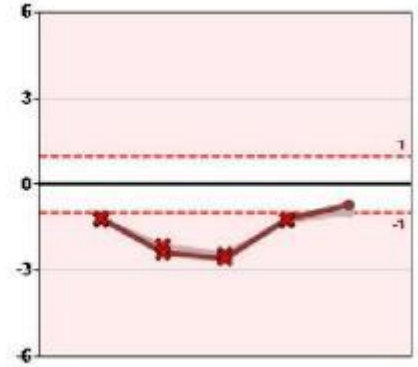
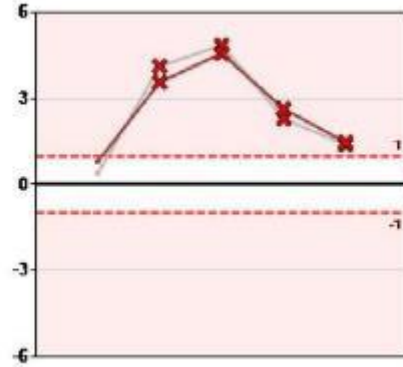
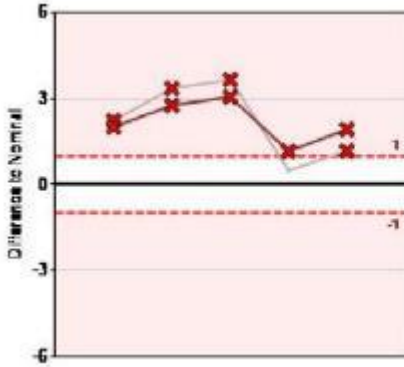
| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.80 |
| Bias Y | 0.00 |



| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.32 |
| Bias Z | 0.00 |

Quality Gate CMM

7 A-pilari ulkokaari VY

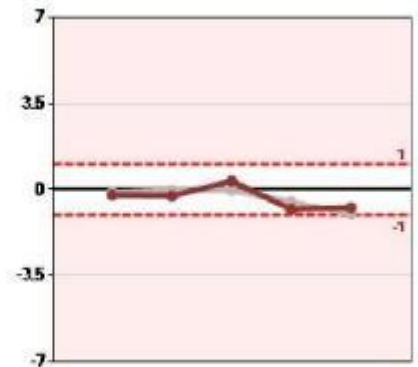
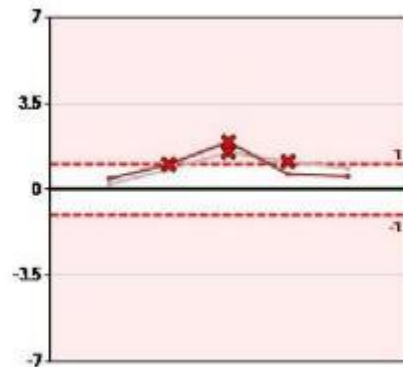
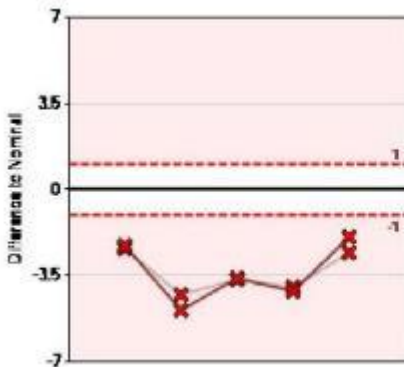


| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.67 |
| Bias X | 0.00 |

| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.42 |
| Bias Y | 0.00 |

| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.19 |
| Bias Z | 0.00 |

8 Katto kiinnitys oikea

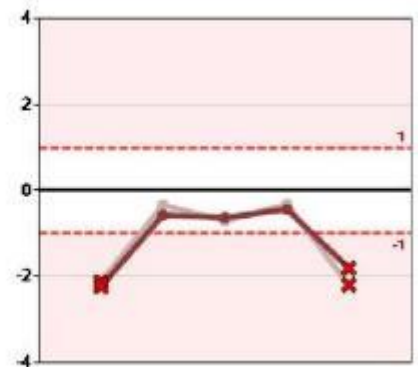
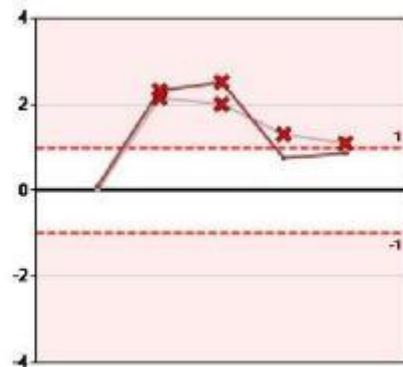
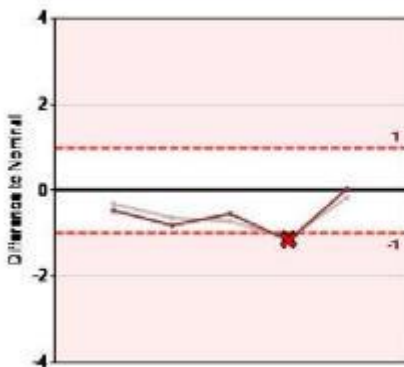


| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.46 |
| Bias X | 0.00 |

| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.40 |
| Bias Y | 0.00 |

| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.30 |
| Bias Z | 0.00 |

10 Sarana takalasi vasen



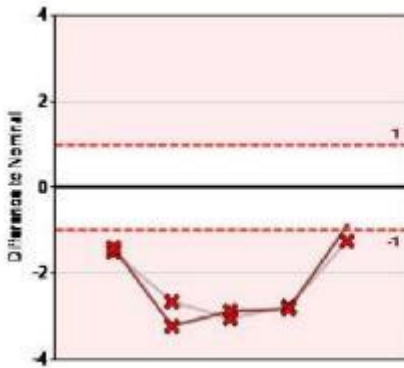
| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.18 |
| Bias X | 0.00 |

| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.40 |
| Bias Y | 0.00 |

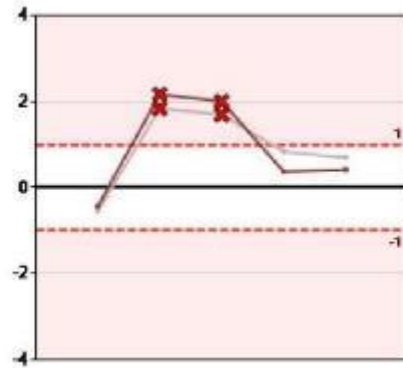
| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.25 |
| Bias Z | 0.00 |

— Quality Gate — CMM

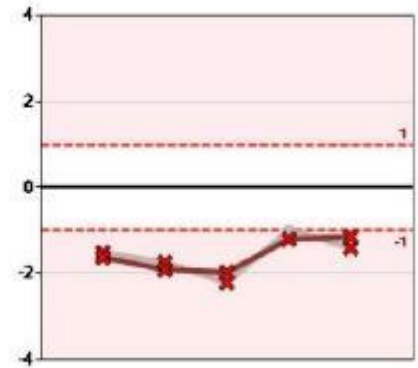
11 Sarana takalasi oikea



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.35 |
| Bias X | 0.00 |

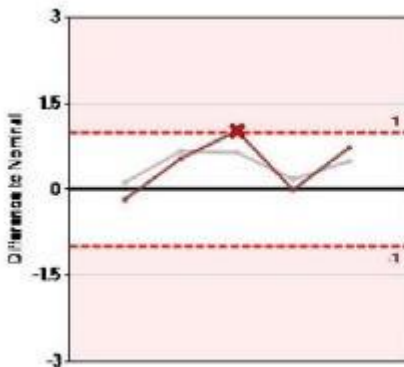


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.36 |
| Bias Y | 0.00 |

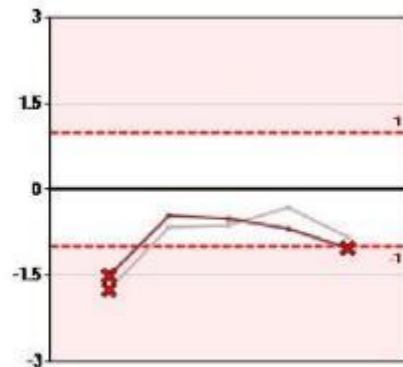


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.23 |
| Bias Z | 0.00 |

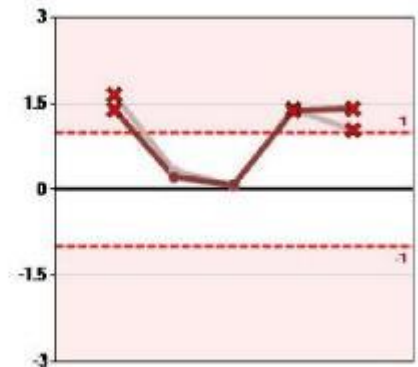
1 Sarana vasen ylä keskipiste



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.29 |
| Bias X | 0.00 |

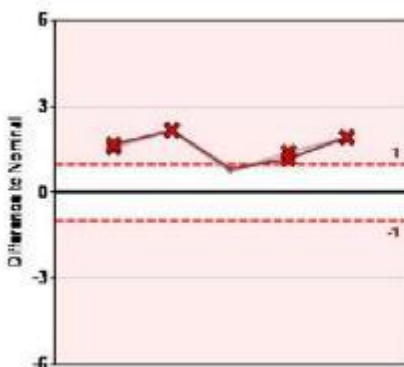


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.27 |
| Bias Y | 0.00 |

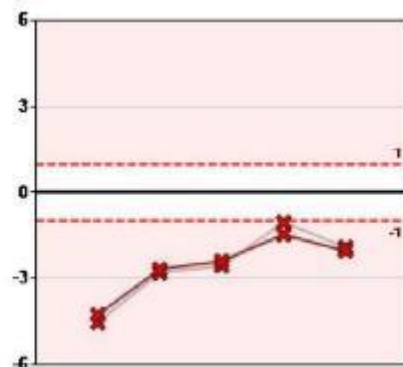


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.23 |
| Bias Z | 0.00 |

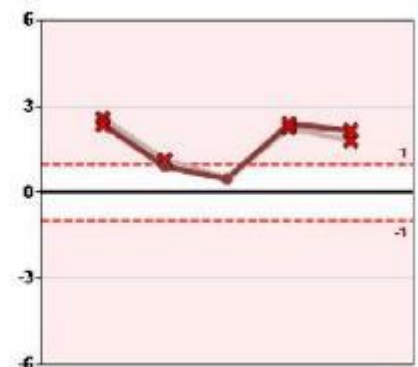
2 Sarana vasen ala keskipiste



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.13 |
| Bias X | 0.00 |



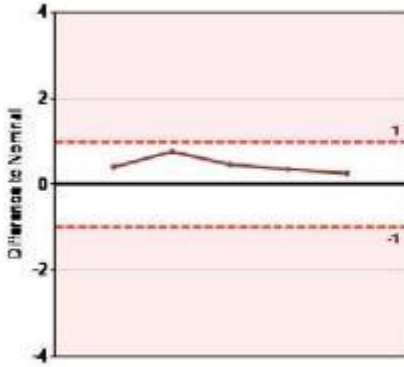
| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.28 |
| Bias Y | 0.00 |



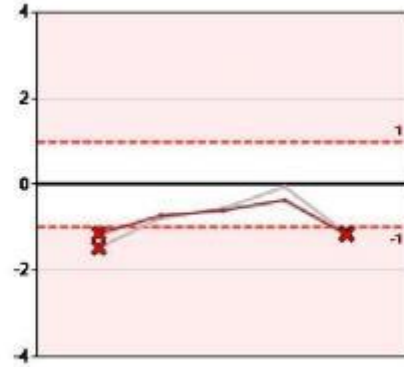
| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.24 |
| Bias Z | 0.00 |

— Quality Gate — CMM

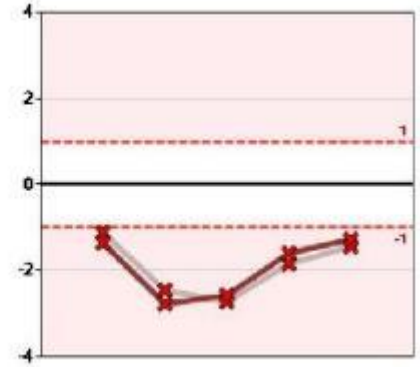
12 Lukkotapin korva vasen



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.02 |
| Bias X | 0.00 |

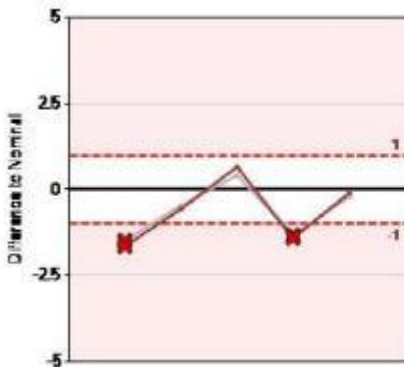


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.23 |
| Bias Y | 0.00 |

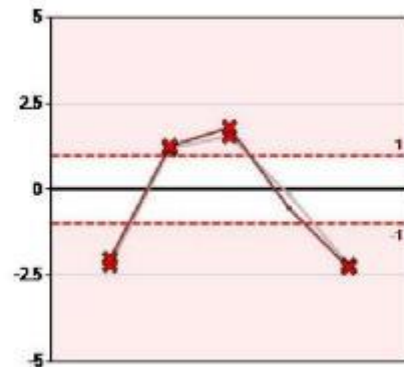


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.26 |
| Bias Z | 0.00 |

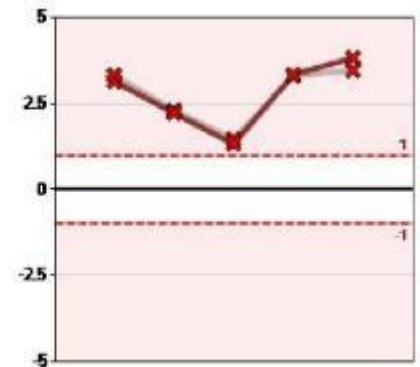
9 Katto kiinnitys vasen



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.17 |
| Bias X | 0.00 |

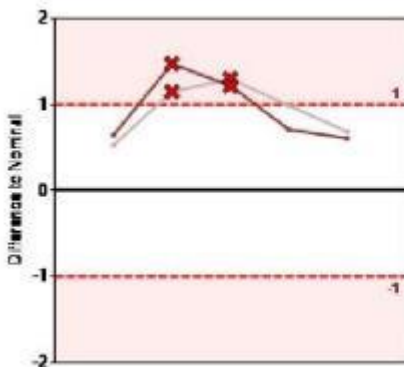


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.25 |
| Bias Y | 0.00 |

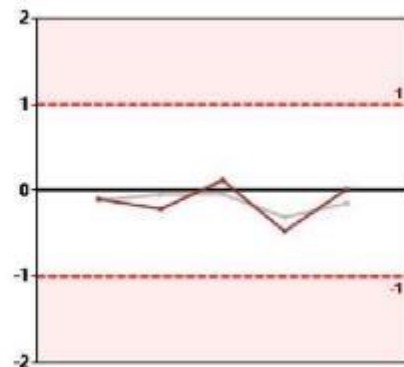


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.22 |
| Bias Z | 0.00 |

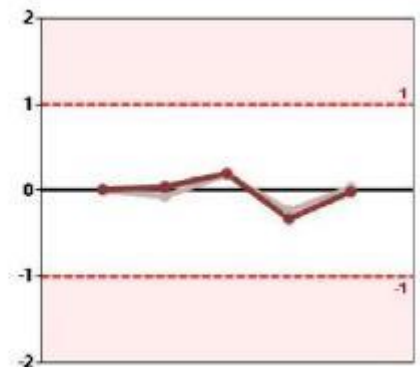
2 Kiinnitys TV



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.23 |
| Bias X | 0.00 |



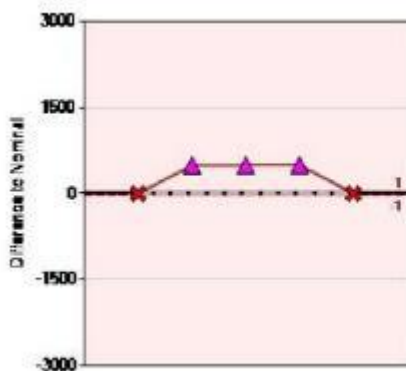
| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.16 |
| Bias Y | 0.00 |



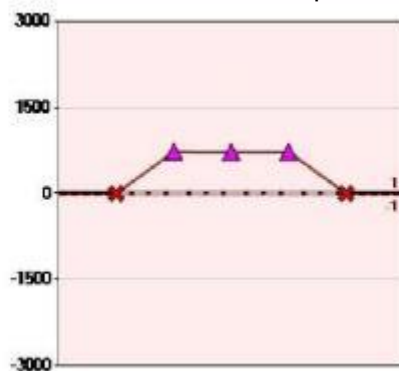
| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.08 |
| Bias Z | 0.00 |

— Quality Gate — CMM

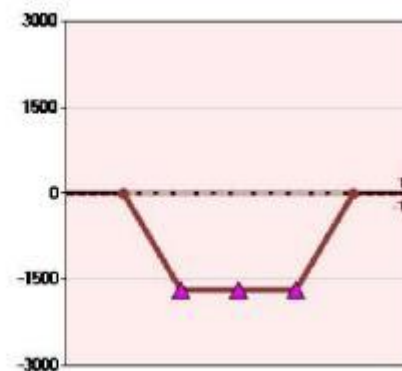
4 Sarana OA keskipiste



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.10 |
| Bias X | 0.00 |

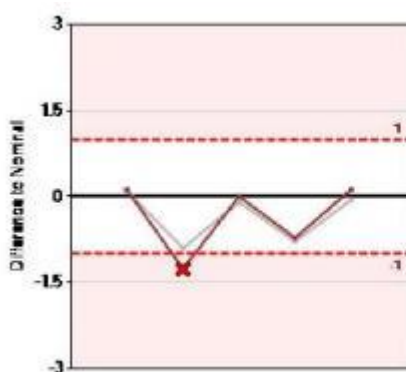


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.22 |
| Bias Y | 0.00 |

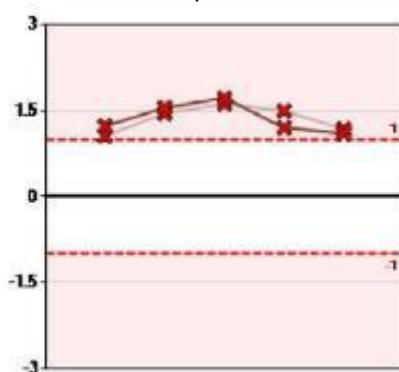


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.21 |
| Bias Z | 0.00 |

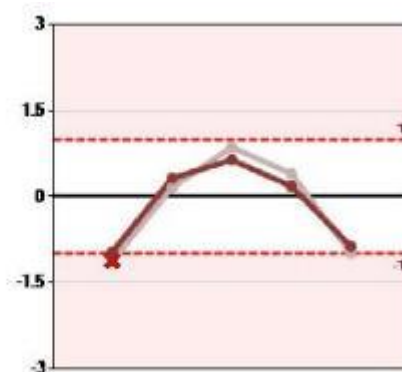
13 Lukkotapin korva oikea



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.21 |
| Bias X | 0.00 |

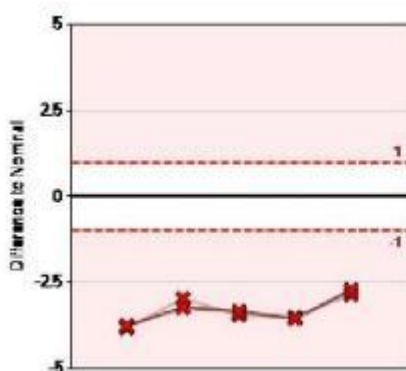


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.19 |
| Bias Y | 0.00 |

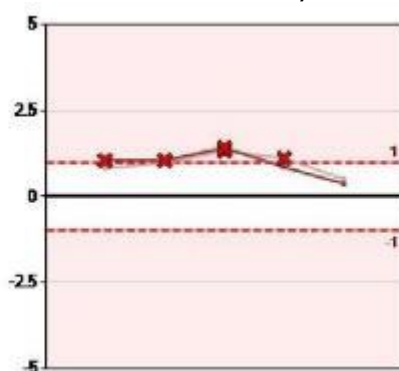


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.20 |
| Bias Z | 0.00 |

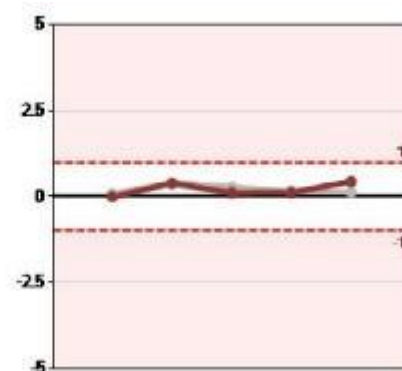
14 Etukotelo kaari yläreikä



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.16 |
| Bias X | 0.00 |



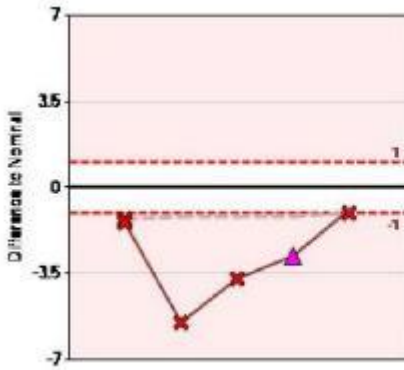
| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.20 |
| Bias Y | 0.00 |



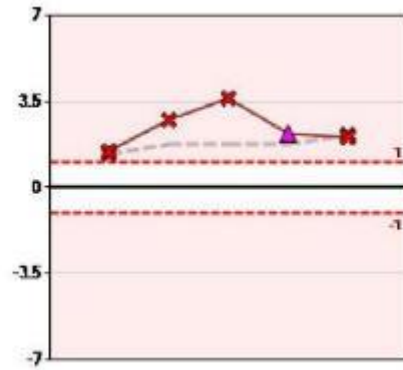
| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.18 |
| Bias Z | 0.00 |

— Quality Gate — CMM

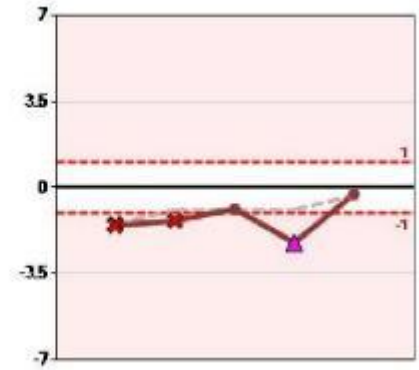
3 Sarana OY keskipiste



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.19 |
| Bias X | 0.00 |

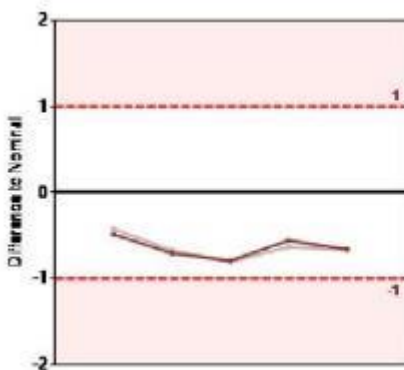


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.17 |
| Bias Y | 0.00 |

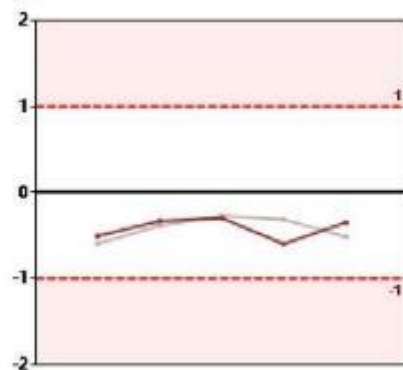


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.09 |
| Bias Z | 0.00 |

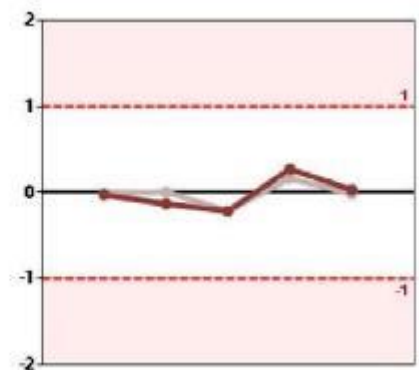
1 Kiinnitys EV



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.05 |
| Bias X | 0.00 |

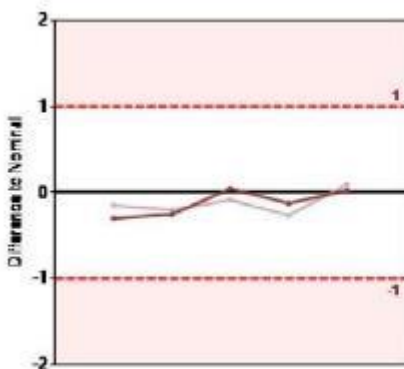


| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.17 |
| Bias Y | 0.00 |

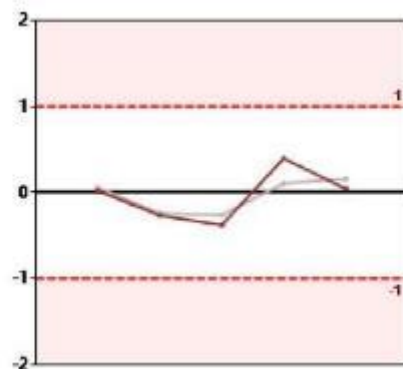


| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.09 |
| Bias Z | 0.00 |

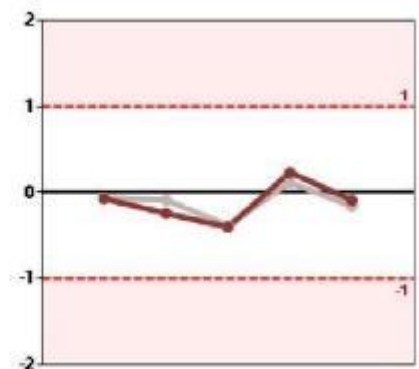
3 Kiinnitys TO



| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.13 |
| Bias X | 0.00 |



| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.17 |
| Bias Y | 0.00 |



| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.10 |
| Bias Z | 0.00 |



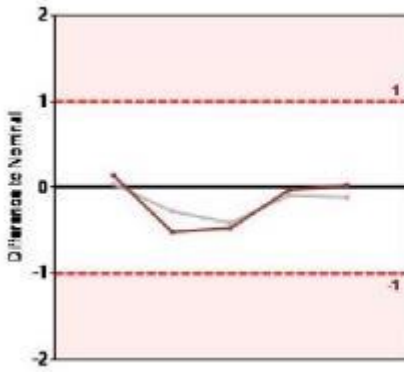
Correlation Report

Report Time:
Product:
Measuring System:
Parts used:

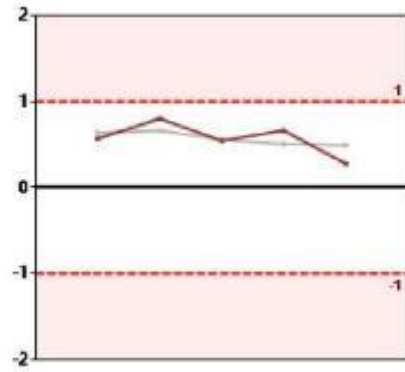
2.3.2017 14:03
Tractor Cabin CM08
6232 MSK
5

— Quality Gate — CMM

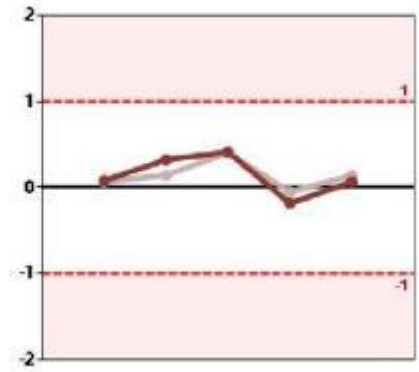
1 Kiinnitys EO



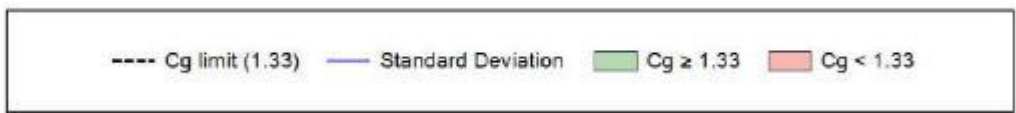
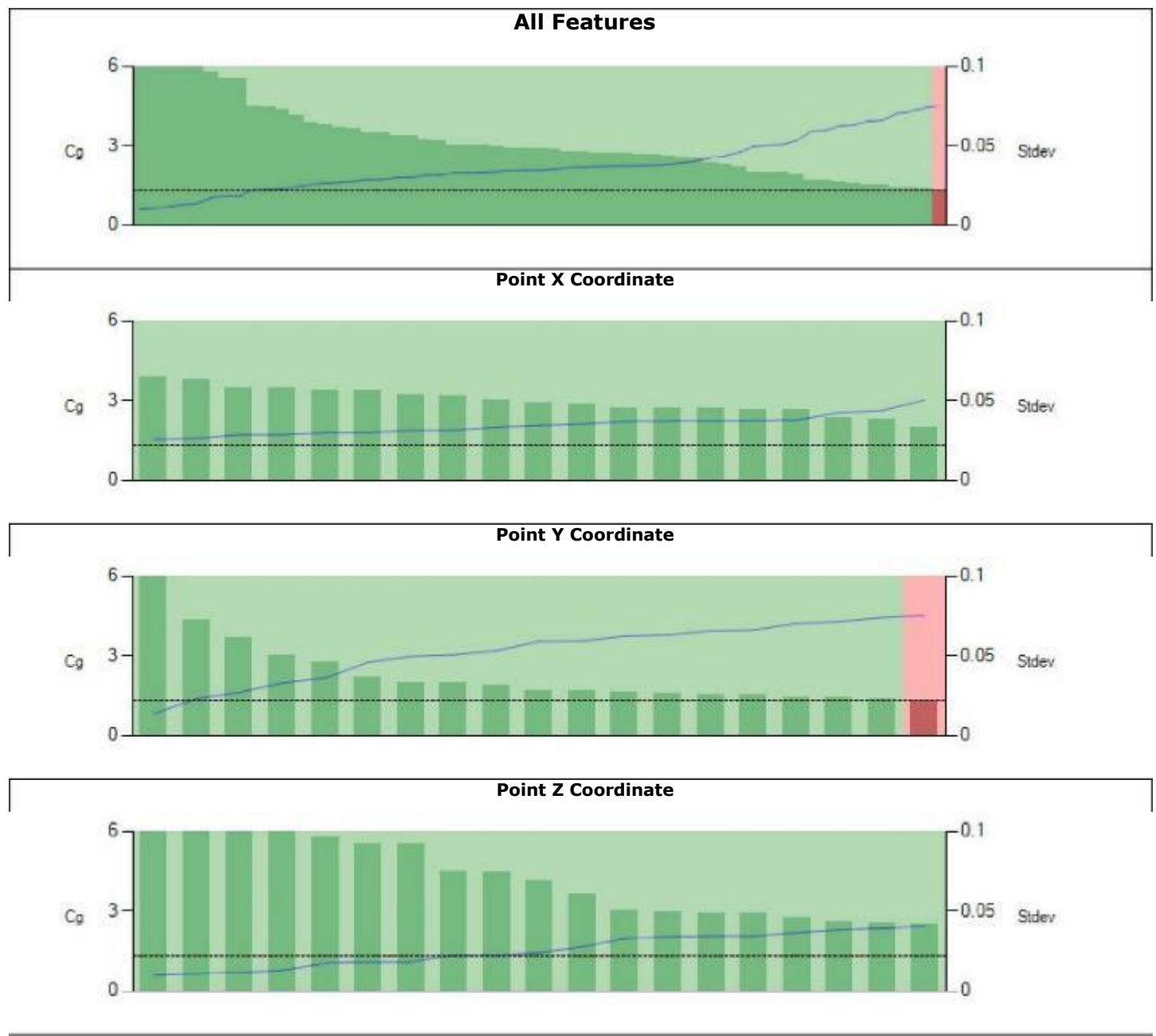
| | |
|---------|------|
| Stdev X | 0.15 |
| Bias X | 0.00 |



| | |
|---------|------|
| Stdev Y | 0.15 |
| Bias Y | 0.00 |



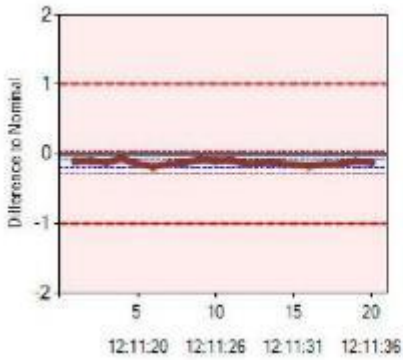
| | |
|---------|------|
| Stdev Z | 0.12 |
| Bias Z | 0.00 |



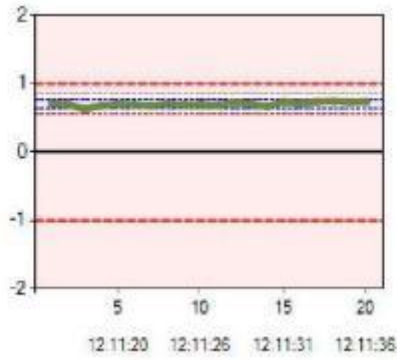
≥ 1.33
< 1.33

| Feature | Cg | Tolerance | |
|---------------------------------|-------|-----------|-------|
| | | Stdev | Range |
| 3 Kiinnitys TO.Z | 10.21 | <0.01 | 2.00 |
| 2 Kiinnitys TV.Z | 9.38 | 0.011 | 2.00 |
| 1 Kiinnitys EO.Z | 8.74 | 0.011 | 2.00 |
| 1 Kiinnitys EV.Z | 7.76 | 0.013 | 2.00 |
| 1 Kiinnitys EV.Y | 7.30 | 0.014 | 2.00 |
| 10 Sarana takalasi vasen.Z | 5.80 | 0.017 | 2.00 |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste.Z | 5.53 | 0.018 | 2.00 |
| 9 Katto kiinnitys vasen.Z | 5.52 | 0.018 | 2.00 |
| 5 C-pilari ulkokaari YV.Z | 4.49 | 0.022 | 2.00 |
| 6 A-pilari ulkokaari OY.Z | 4.43 | 0.023 | 2.00 |
| 2 Kiinnitys TV.Y | 4.35 | 0.023 | 2.00 |
| 7 A-pilari ulkokaari VY.Z | 4.16 | 0.024 | 2.00 |
| 13 Lukkotapin korva oikea.X | 3.90 | 0.026 | 2.00 |
| 12 Lukkotapin korva vasen.X | 3.80 | 0.026 | 2.00 |
| 1 Kiinnitys EO.Y | 3.70 | 0.027 | 2.00 |
| 8 Katto kiinnitys oikea.Z | 3.63 | 0.028 | 2.00 |
| 2 Kiinnitys TV.X | 3.50 | 0.029 | 2.00 |
| 1 Kiinnitys EV.X | 3.50 | 0.029 | 2.00 |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste.X | 3.37 | 0.030 | 2.00 |
| 4 Sarana OA keskipiste.X | 3.35 | 0.030 | 2.00 |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä.X | 3.20 | 0.031 | 2.00 |
| 1 Kiinnitys EO.X | 3.19 | 0.031 | 2.00 |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä.Z | 3.04 | 0.033 | 2.00 |
| 3 Kiinnitys TO.Y | 3.03 | 0.033 | 2.00 |
| 6 A-pilari ulkokaari OY.X | 3.00 | 0.033 | 2.00 |
| 4 Sarana OA keskipiste.Z | 2.96 | 0.034 | 2.00 |
| 9 Katto kiinnitys vasen.X | 2.91 | 0.034 | 2.00 |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO.Z | 2.90 | 0.034 | 2.00 |
| 12 Lukkotapin korva vasen.Z | 2.90 | 0.034 | 2.00 |
| 11 Sarana takalasi oikea.X | 2.84 | 0.035 | 2.00 |
| 13 Lukkotapin korva oikea.Y | 2.77 | 0.036 | 2.00 |
| 11 Sarana takalasi oikea.Z | 2.74 | 0.037 | 2.00 |
| 5 C-pilari ulkokaari YV.X | 2.71 | 0.037 | 2.00 |
| 10 Sarana takalasi vasen.X | 2.69 | 0.037 | 2.00 |
| 8 Katto kiinnitys oikea.X | 2.68 | 0.037 | 2.00 |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO.X | 2.67 | 0.037 | 2.00 |
| 3 Sarana OY keskipiste.X | 2.65 | 0.038 | 2.00 |
| 13 Lukkotapin korva oikea.Z | 2.61 | 0.038 | 2.00 |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste.Z | 2.55 | 0.039 | 2.00 |
| 3 Sarana OY keskipiste.Z | 2.48 | 0.040 | 2.00 |
| 7 A-pilari ulkokaari VY.X | 2.36 | 0.042 | 2.00 |
| 3 Kiinnitys TO.X | 2.29 | 0.044 | 2.00 |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä.Y | 2.18 | 0.046 | 2.00 |
| 4 Sarana OA keskipiste.Y | 2.01 | 0.050 | 2.00 |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste.X | 1.98 | 0.050 | 2.00 |
| 12 Lukkotapin korva vasen.Y | 1.97 | 0.051 | 2.00 |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste.Y | 1.88 | 0.053 | 2.00 |
| 3 Sarana OY keskipiste.Y | 1.69 | 0.059 | 2.00 |
| 8 Katto kiinnitys oikea.Y | 1.68 | 0.059 | 2.00 |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO.Y | 1.60 | 0.062 | 2.00 |
| 6 A-pilari ulkokaari OY.Y | 1.58 | 0.063 | 2.00 |
| 5 C-pilari ulkokaari YV.Y | 1.52 | 0.066 | 2.00 |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste.Y | 1.51 | 0.066 | 2.00 |
| 7 A-pilari ulkokaari VY.Y | 1.42 | 0.070 | 2.00 |
| 9 Katto kiinnitys vasen.Y | 1.40 | 0.072 | 2.00 |
| 10 Sarana takalasi vasen.Y | 1.35 | 0.074 | 2.00 |
| 11 Sarana takalasi oikea.Y | 1.33 | 0.075 | 2.00 |

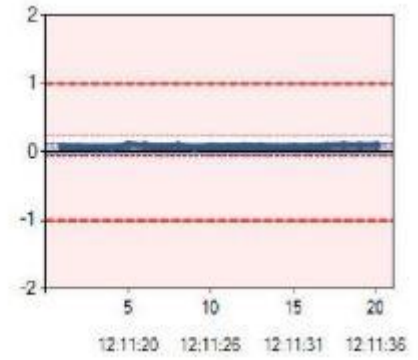
1 Kiinnitys EO



Cg 3.19

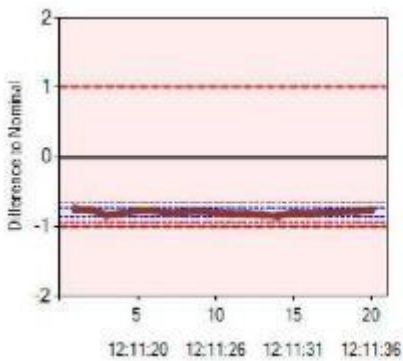


Cg 3.70

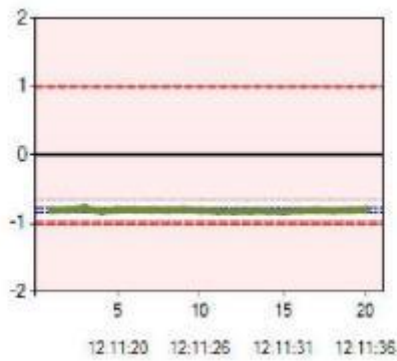


Cg 8.74

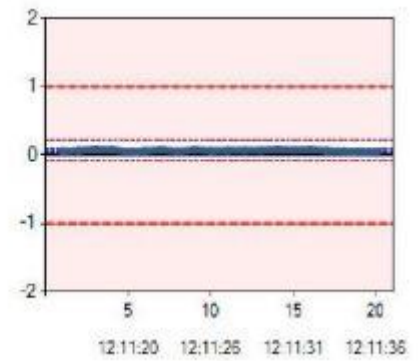
1 Kiinnitys EV



Cg 3.50

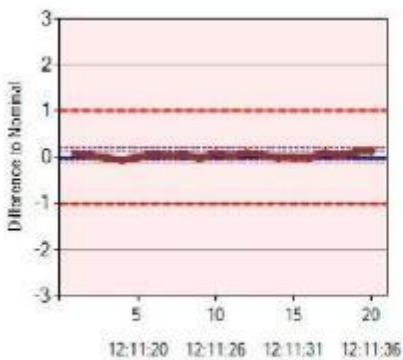


Cg 7.30

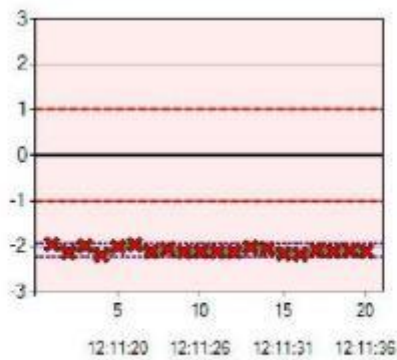


Cg 7.76

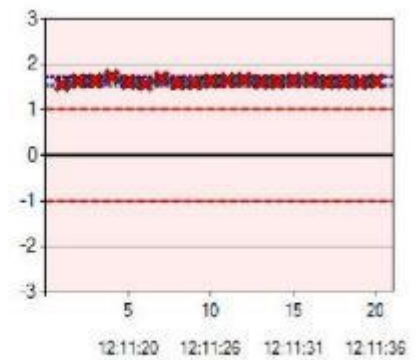
1 Sarana vasen ylä keskipiste



Cg 1.98

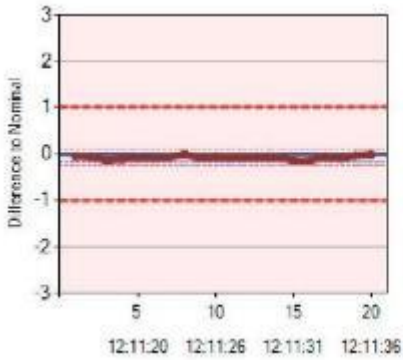


Cg 1.51

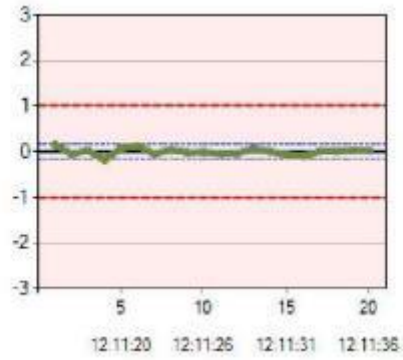


Cg 2.55

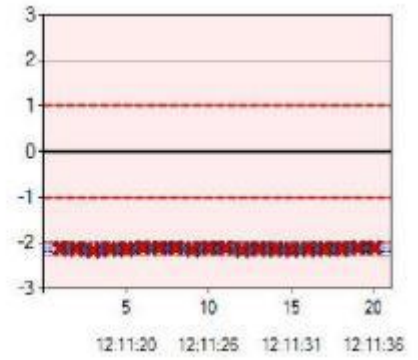
10 Sarana takalasi vasen



Cg 2.69

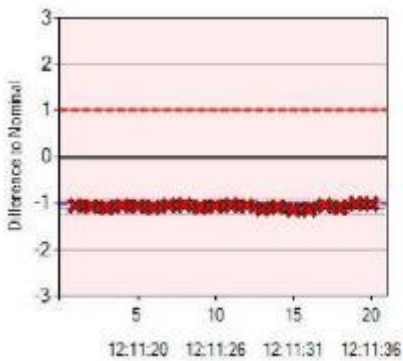


Cg 1.35

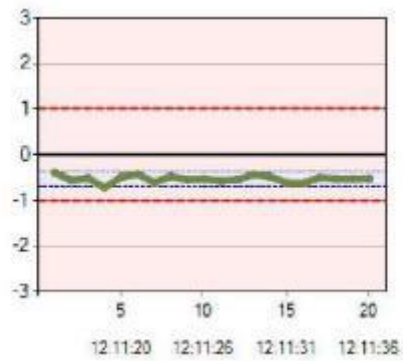


Cg 5.80

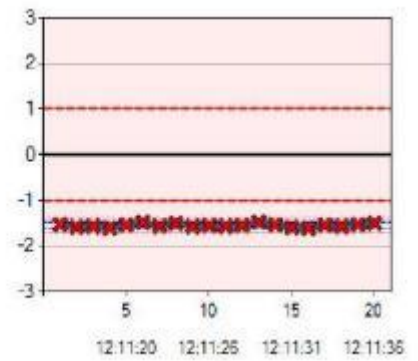
11 Sarana takalasi oikea



Cg 2.84

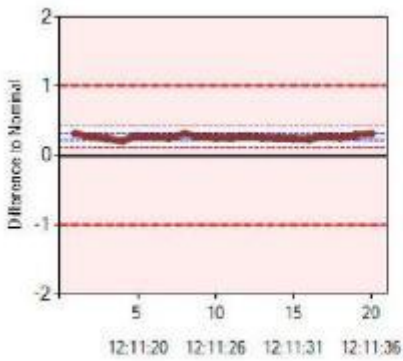


Cg 1.33

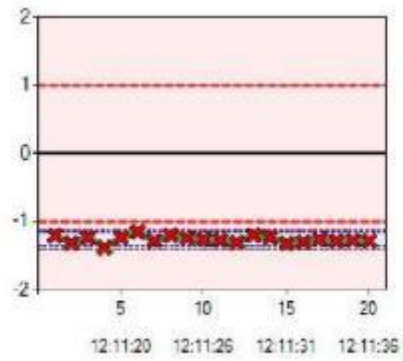


Cg 2.74

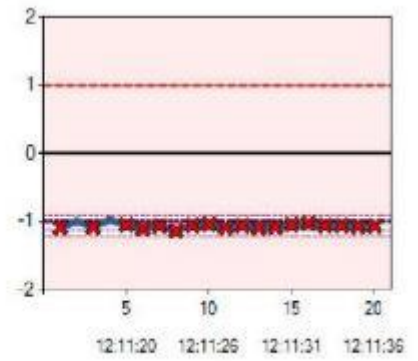
12 Lukkotapin korva vasen



Cg 3.80

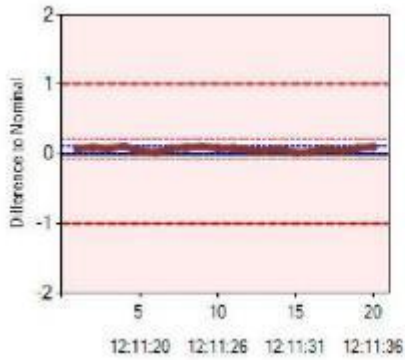


Cg 1.97

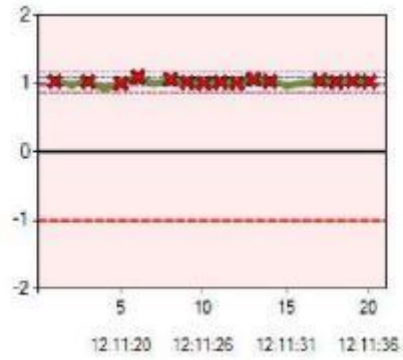


Cg 2.90

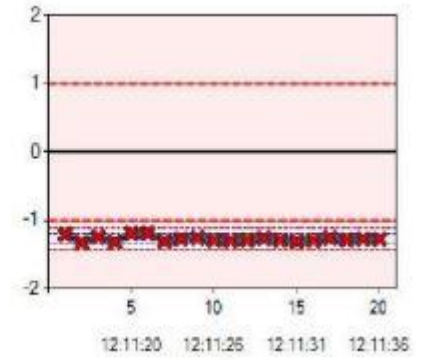
13 Lukkotapin korva oikea



Cg 3.90

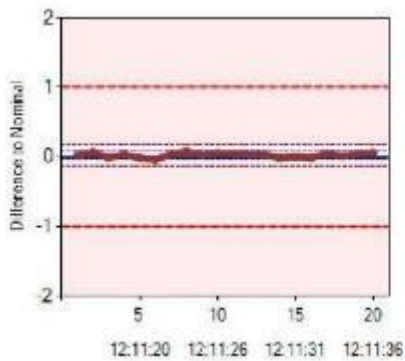


Cg 2.77

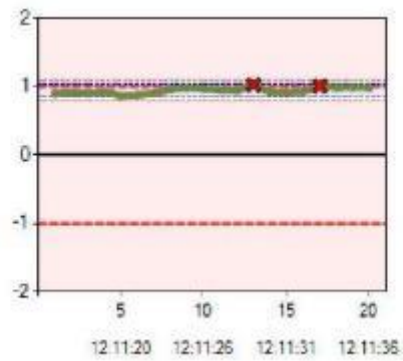


Cg 2.61

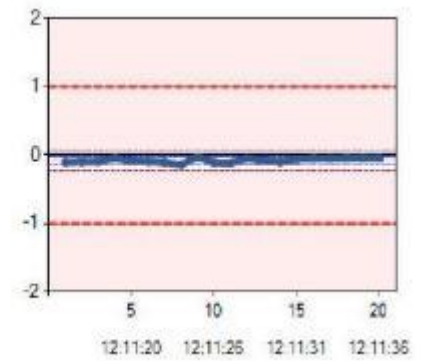
14 Etukotelo kaari yläreikä



Cg 3.20

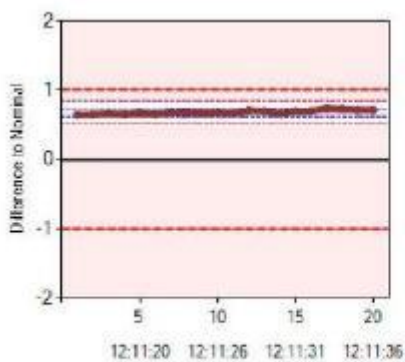


Cg 2.18

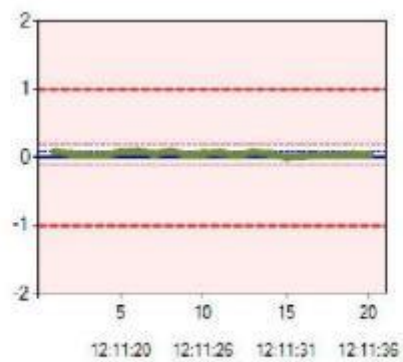


Cg 3.04

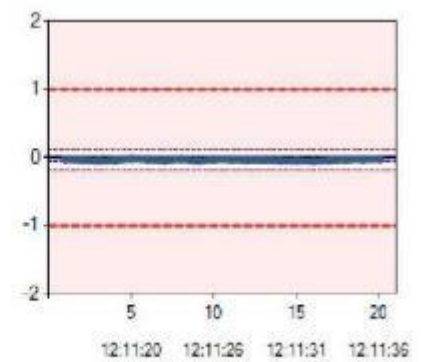
2 Kiinnitys TV



Cg 3.50

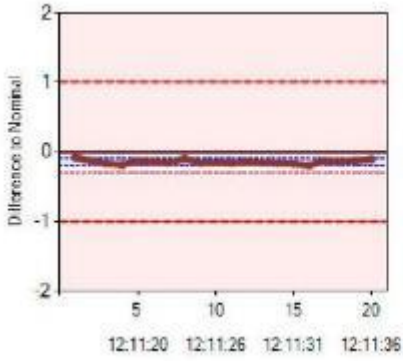


Cg 4.35

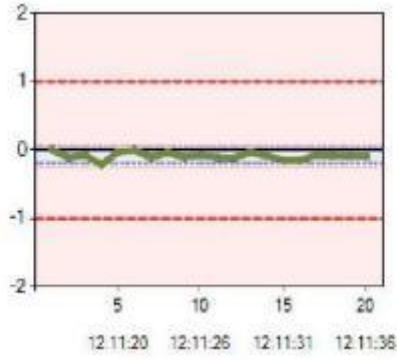


Cg 9.38

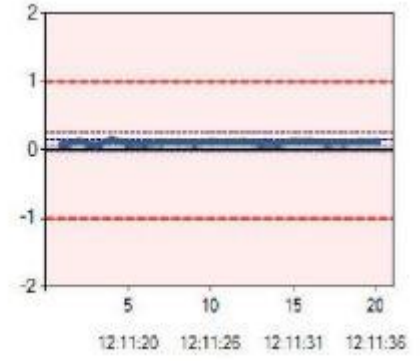
2 Sarana vasen ala keskipiste



Cg 3.37

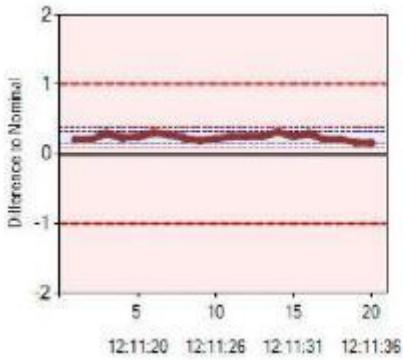


Cg 1.88

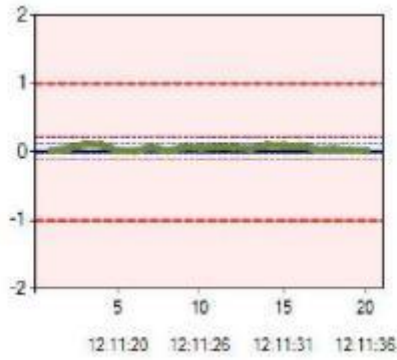


Cg 5.53

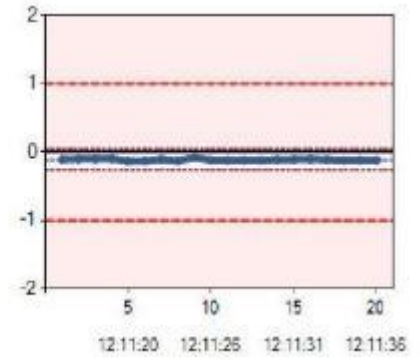
3 Kiinnitys TO



Cg 2.29

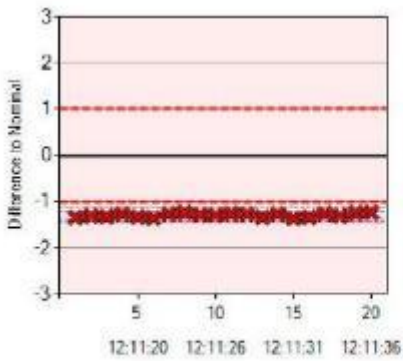


Cg 3.03

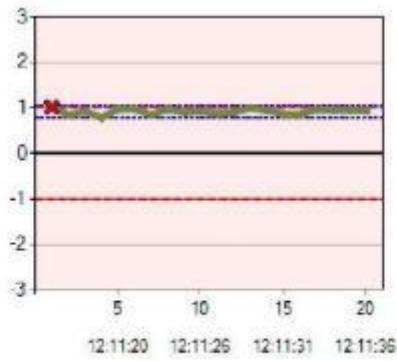


Cg 10.21

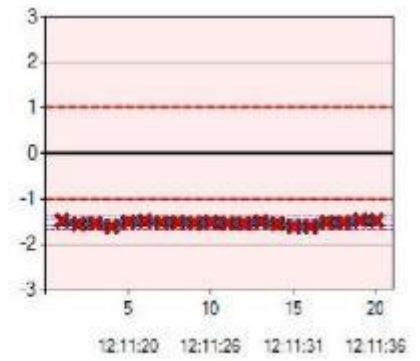
3 Sarana OY keskipiste



Cg 2.65



Cg 1.69



Cg 2.48



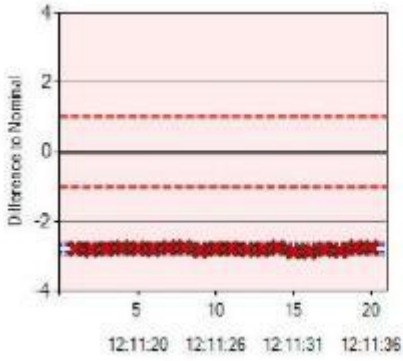
Type-1 Study Report

Report Time:
Product:
Measuring System:
Number of measurements:

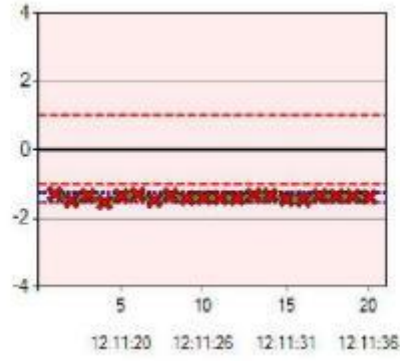
2.3.2017 12:14
Tractor Cabin CM08
6232 MSK
20

Page 7 / 9

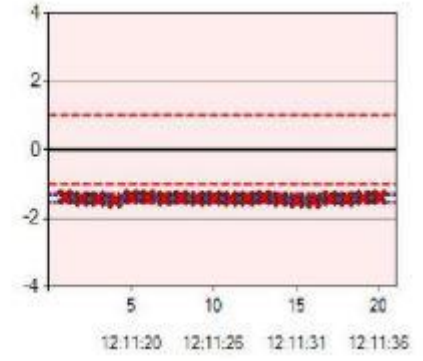
4 C-pilari Ulkokaari YO



Cg 2.67

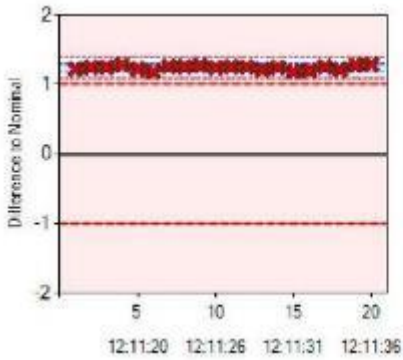


Cg 1.60

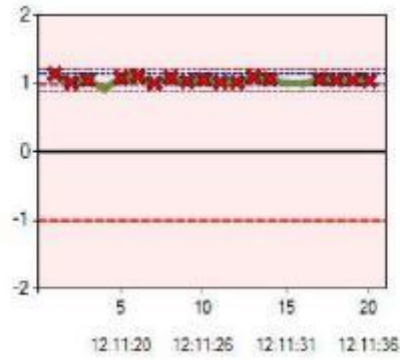


Cg 2.90

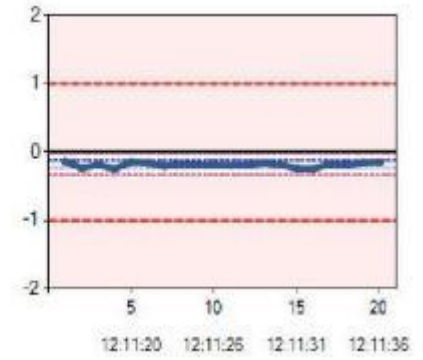
4 Sarana OA keskipiste



Cg 3.35

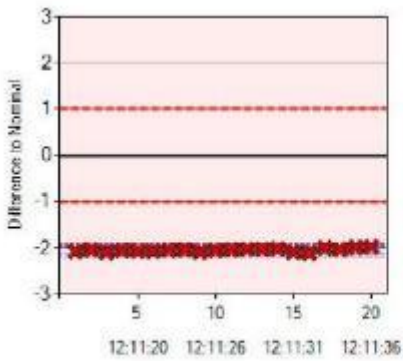


Cg 2.01

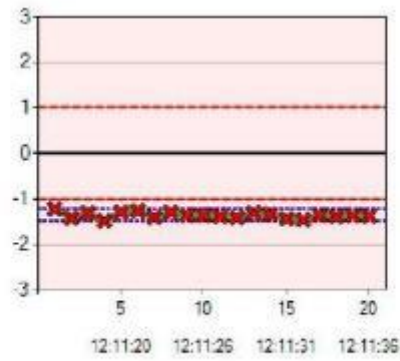


Cg 2.96

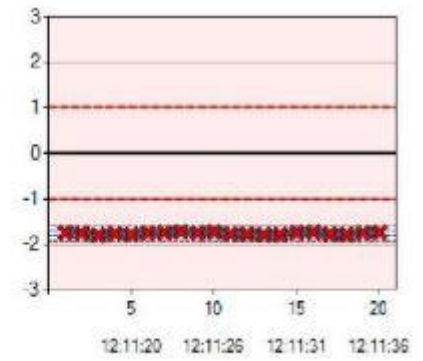
5 C-pilari ulkokaari YV



Cg 2.71

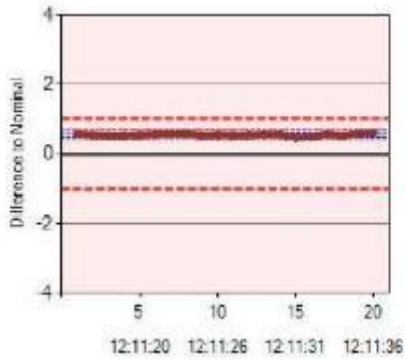
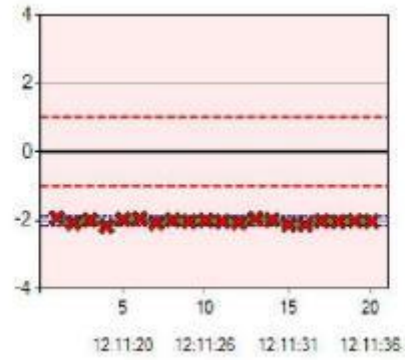
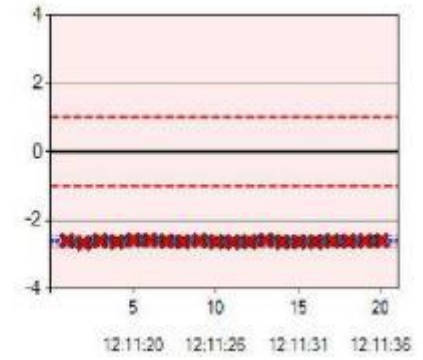


Cg 1.52

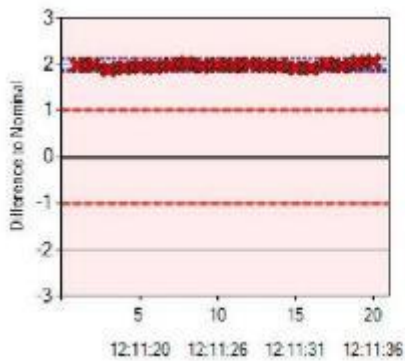
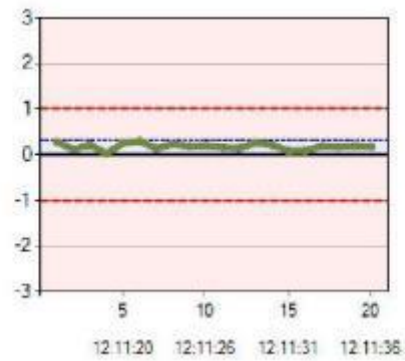
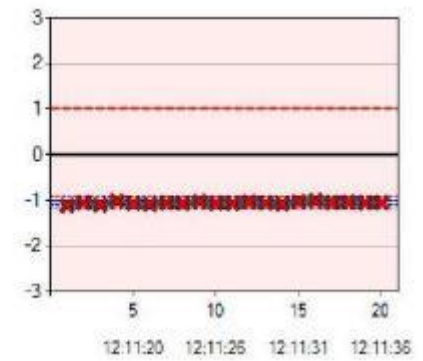


Cg 4.49

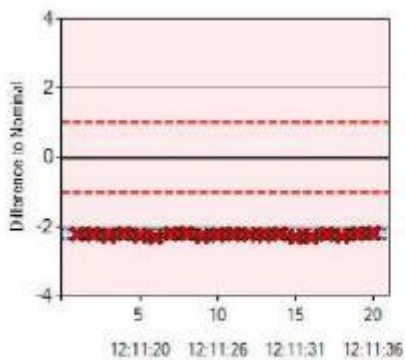
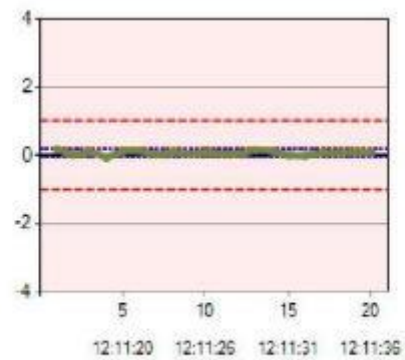
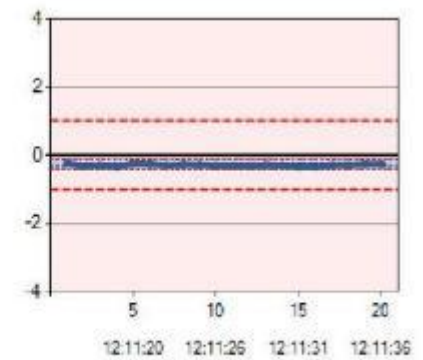
6 A-pilari ulkokaari OY

Cg 3.00Cg 1.58Cg 4.43

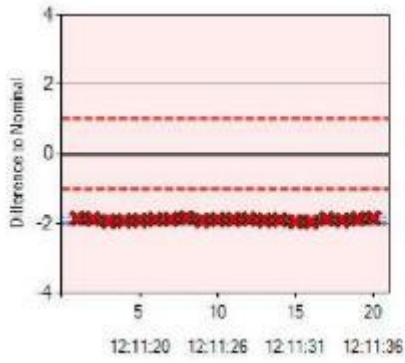
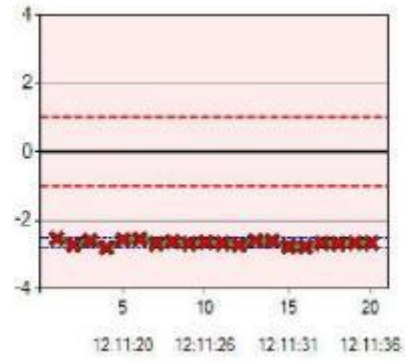
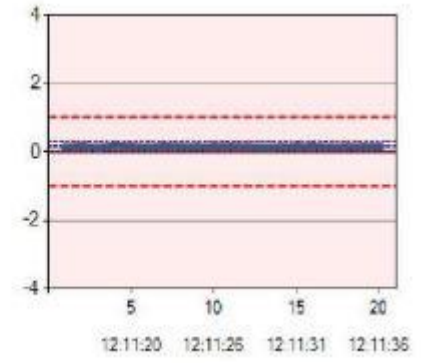
7 A-pilari ulkokaari VY

Cg 2.36Cg 1.42Cg 4.16

8 Katto kiinnitys oikea

Cg 2.68Cg 1.68Cg 3.63

9 Katto kiinnitys vasen

Cg 2.91Cg 1.40Cg 5.52

| | | |
|---------|---------------|---------|
| ≤ 20.00 | 20.00 - 30.00 | > 30.00 |
|---------|---------------|---------|

| Feature | %R&R X | %R&R Y | %R&R Z | Tolerance range X | Tolerance range Y | Tolerance range Z |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 Kiinnitys EO | 8.3 | 7.6 | 4.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 1 Kiinnitys EV | 8.6 | 7.4 | 5.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 1 Sarana vasen ylä keskipiste | 14.8 | 13.9 | 14.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 10 Sarana takalasi vasen | 11.9 | 13.1 | 12.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 11 Sarana takalasi oikea | 14.1 | 14.7 | 9.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 12 Lukkotapin korva vasen | 7.8 | 12.0 | 13.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 13 Lukkotapin korva oikea | 9.0 | 9.7 | 5.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 14 Etukotelo kaari yläreikä | 7.3 | 10.0 | 5.9 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 2 Kiinnitys TV | 9.3 | 8.9 | 4.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 2 Sarana vasen ala keskipiste | 8.8 | 8.2 | 12.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 3 Kiinnitys TO | 11.3 | 9.0 | 4.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 3 Sarana OY keskipiste | 38.5 | 19.0 | 30.4 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 4 C-pilari Ulkokaari YO | 13.2 | 15.2 | 8.8 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 4 Sarana OA keskipiste | 86.9 | 31.8 | 9.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 5 C-pilari ulkokaari YV | 11.7 | 15.2 | 11.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 6 A-pilari ulkokaari OY | 13.7 | 17.1 | 4.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 7 A-pilari ulkokaari VY | 12.4 | 16.8 | 7.2 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 8 Katto kiinnitys oikea | 12.8 | 14.7 | 5.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 9 Katto kiinnitys vasen | 12.4 | 15.0 | 9.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |



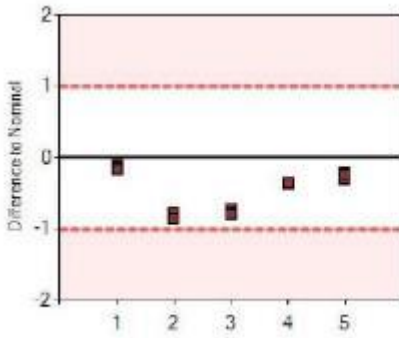
Type-3 Study Report

Report Time:
Product:
Measuring System:
Number of parts:

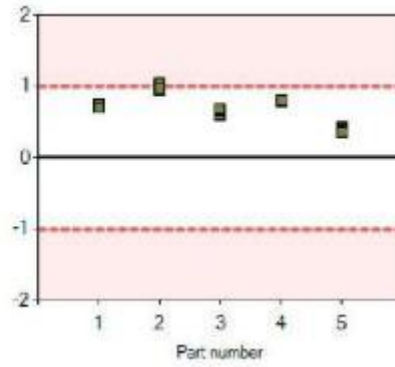
2.3.2017 12:39
Tractor Cabin CM08
6232 MSK
5

Page 2 / 8

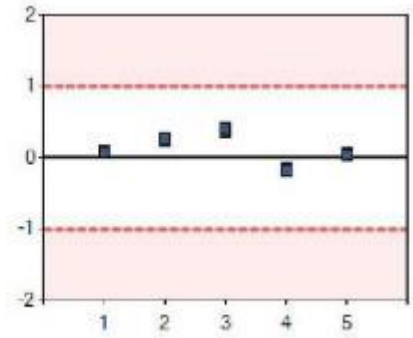
1 Kiinnitys EO



%R&R X 8.3

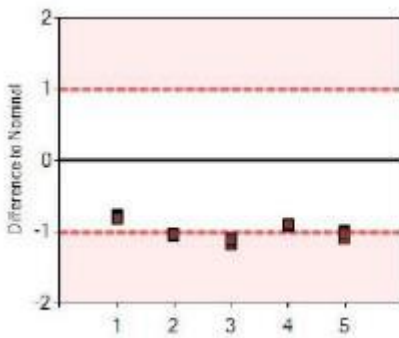


%R&R Y 7.6

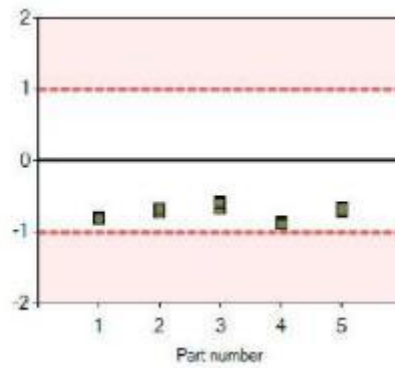


%R&R Z 4.9

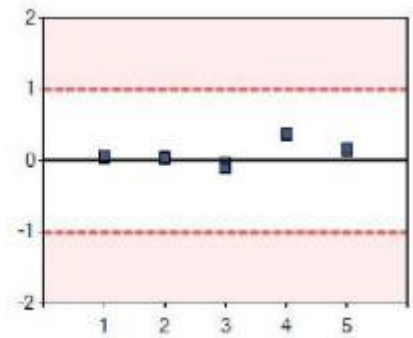
1 Kiinnitys EV



%R&R X 8.6

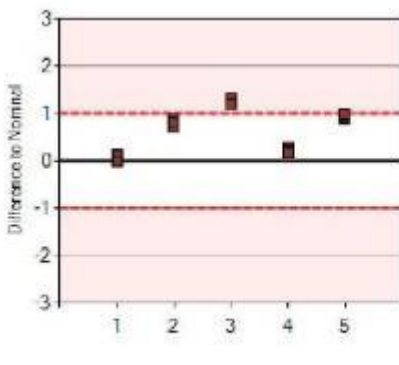


%R&R Y 7.4

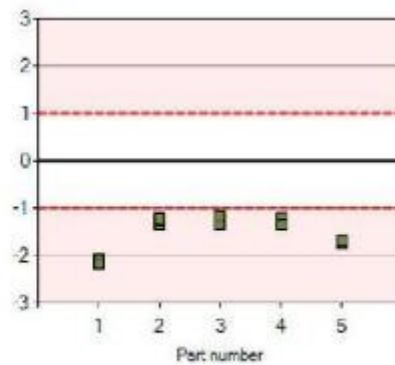


%R&R Z 5.0

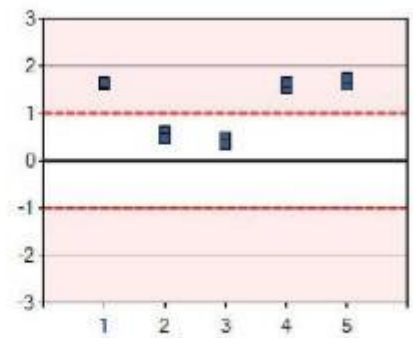
1 Sarana vasen ylä keskipiste



%R&R X 14.8

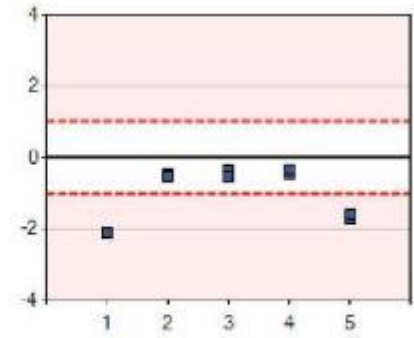
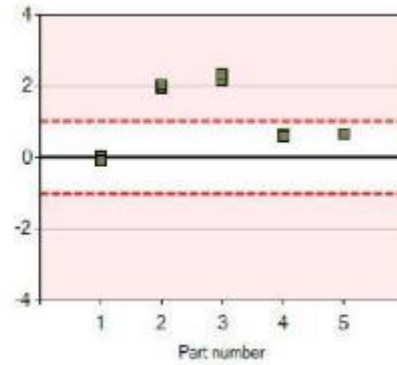
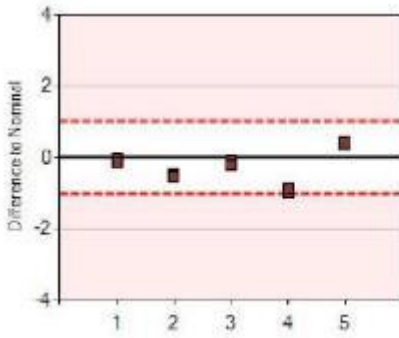


%R&R Y 13.9



%R&R Z 14.8

10 Sarana takalasi vasen

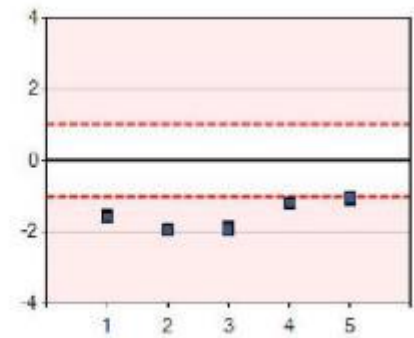
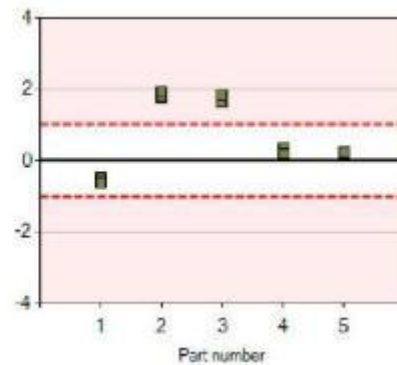
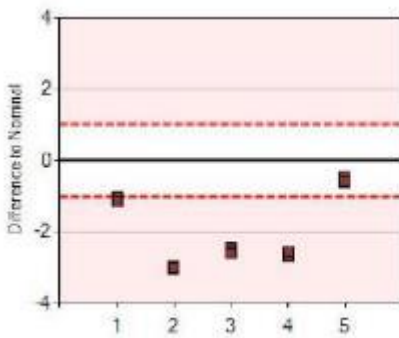


%R&R X 11.9

%R&R Y 13.1

%R&R Z 12.6

11 Sarana takalasi oikea

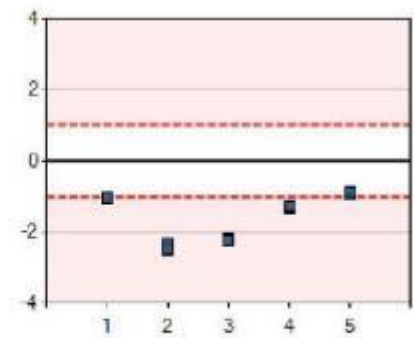
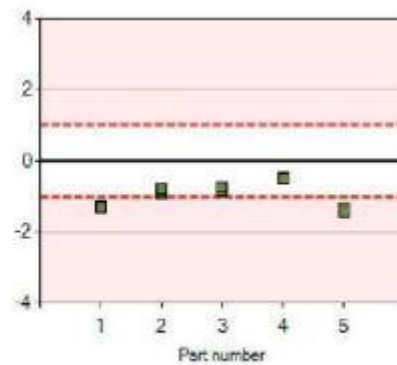
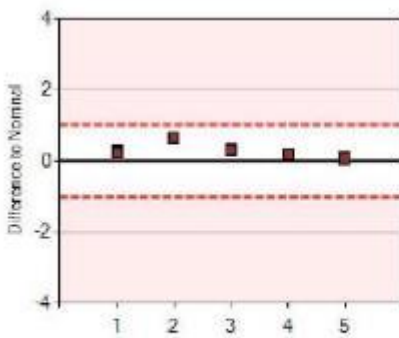


%R&R X 14.1

%R&R Y 14.7

%R&R Z 9.8

12 Lukkotapin korva vasen

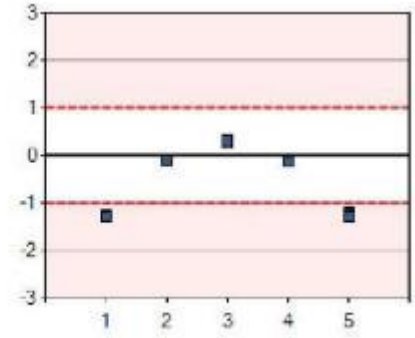
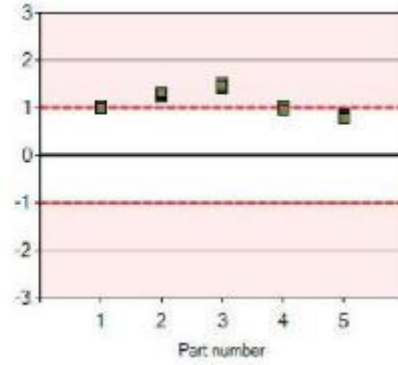
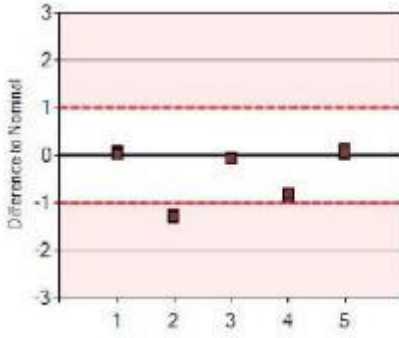


%R&R X 7.8

%R&R Y 12.0

%R&R Z 13.2

13 Lukkotapin korva oikea

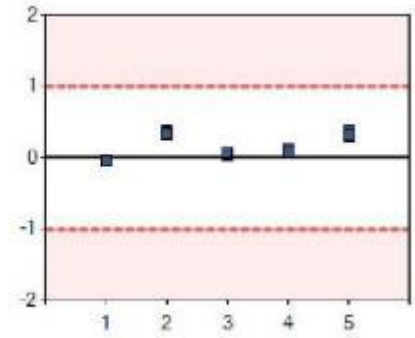
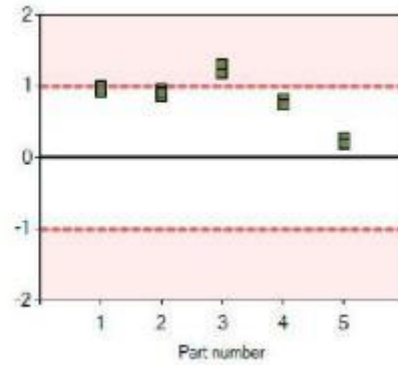
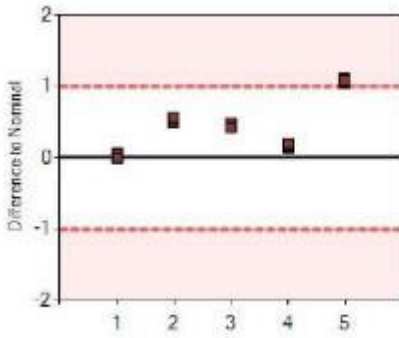


%R&R X 9.0

%R&R Y 9.7

%R&R Z 5.2

14 Etukotelo kaari yläreikä

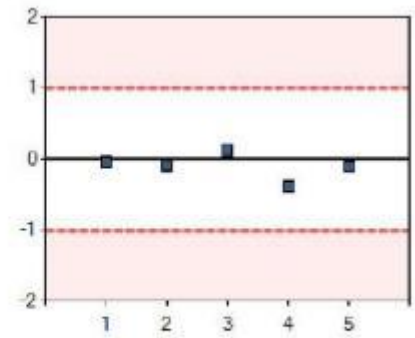
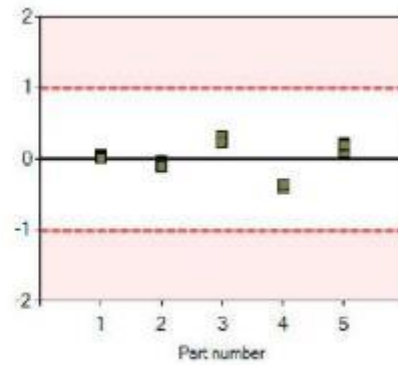
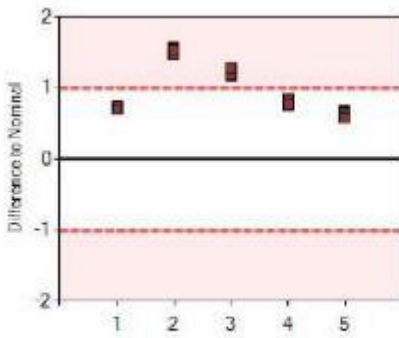


%R&R X 7.3

%R&R Y 10.0

%R&R Z 5.9

2 Kiinnitys TV

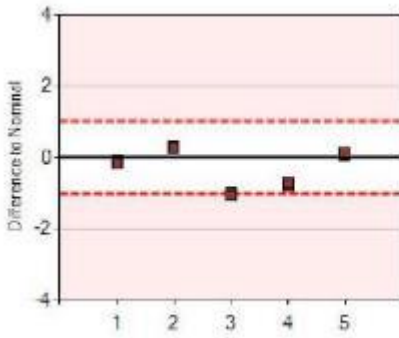


%R&R X 9.3

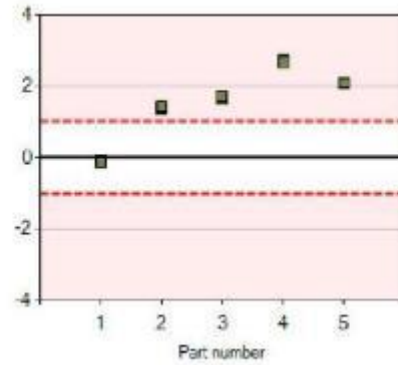
%R&R Y 8.9

%R&R Z 4.1

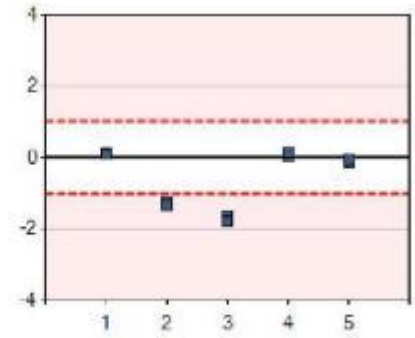
2 Sarana vasen ala keskipiste



%R&R X 8.8

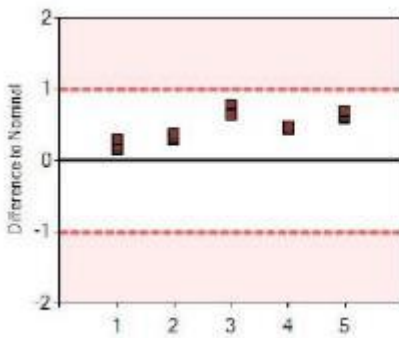


%R&R Y 8.2

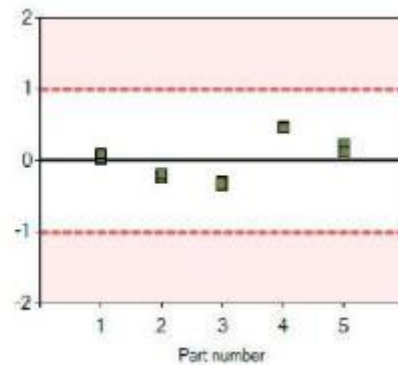


%R&R Z 12.1

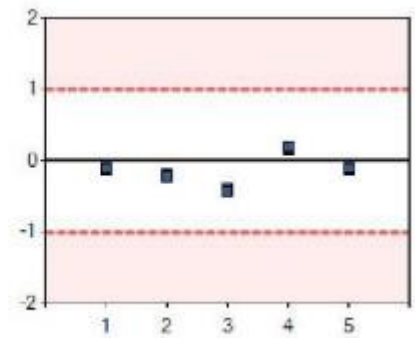
3 Kiinnitys TO



%R&R X 11.3

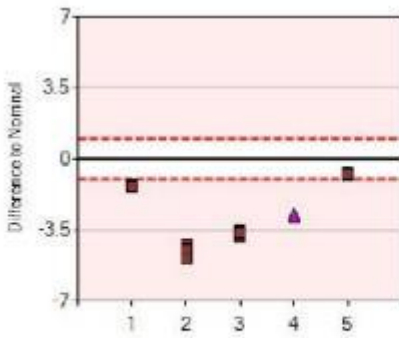


%R&R Y 9.0

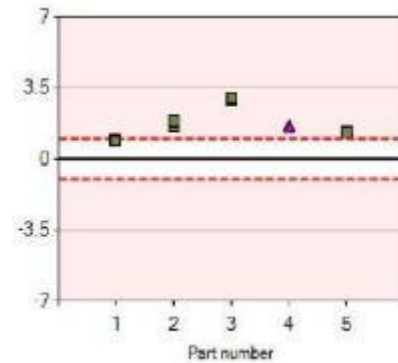


%R&R Z 4.1

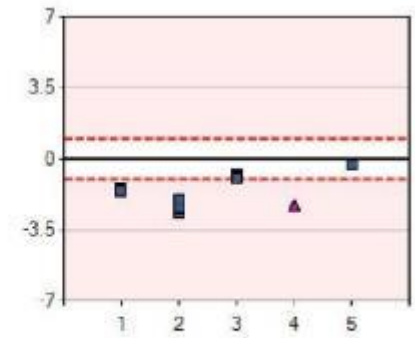
3 Sarana OY keskipiste



%R&R X 38.5

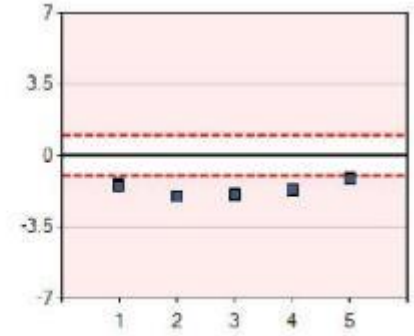
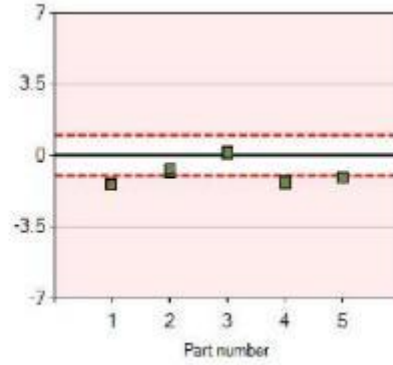
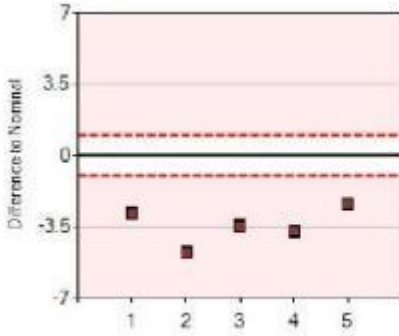


%R&R Y 19.0



%R&R Z 30.4

4 C-pilari Ulkokaari YO

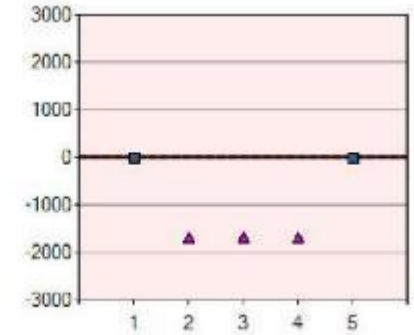
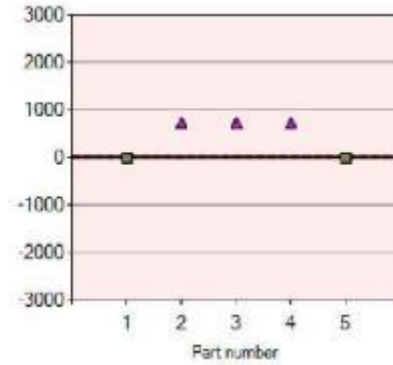
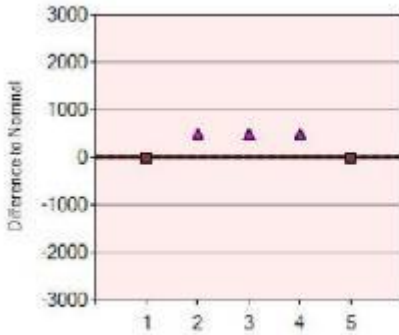


%R&R X 13.2

%R&R Y 15.2

%R&R Z 8.8

4 Sarana OA keskipiste

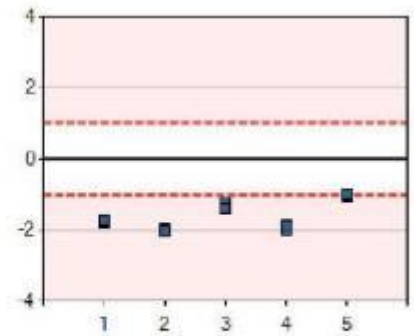
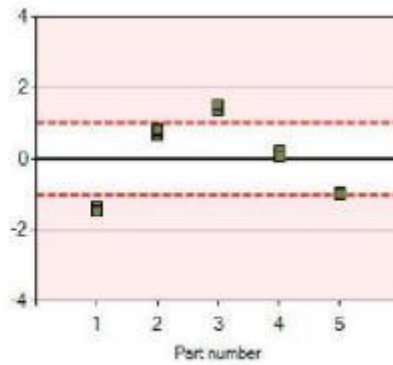
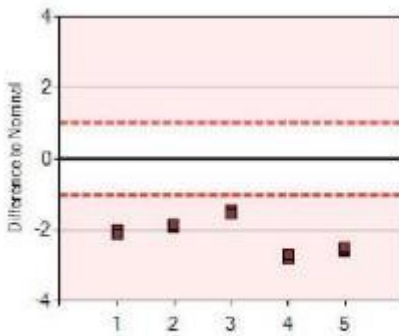


%R&R X 86.9

%R&R Y 31.8

%R&R Z 9.3

5 C-pilari ulkokaari YV

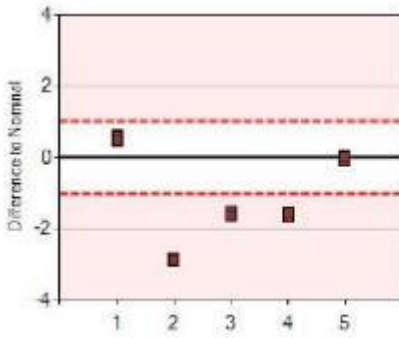


%R&R X 11.7

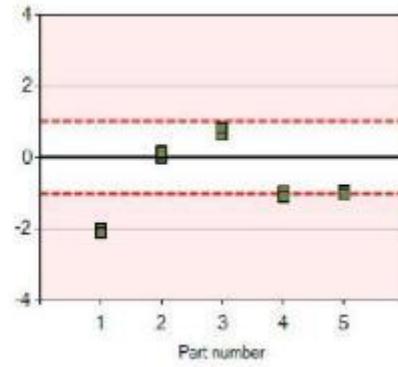
%R&R Y 15.2

%R&R Z 11.6

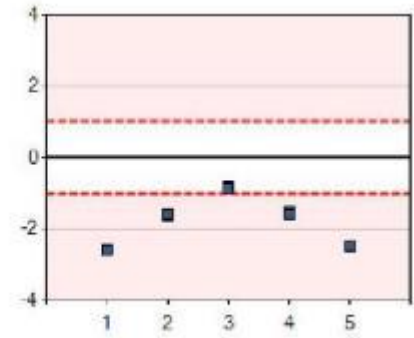
6 A-pilari ulkokaari OY



%R&R X 13.7

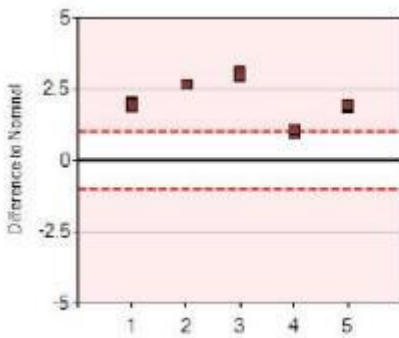


%R&R Y 17.1

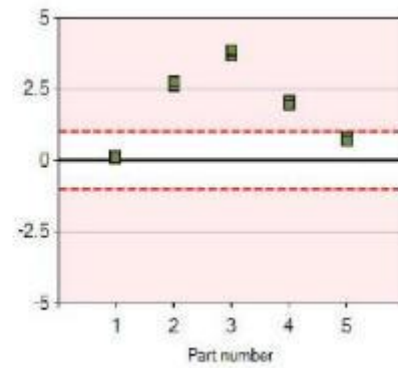


%R&R Z 4.5

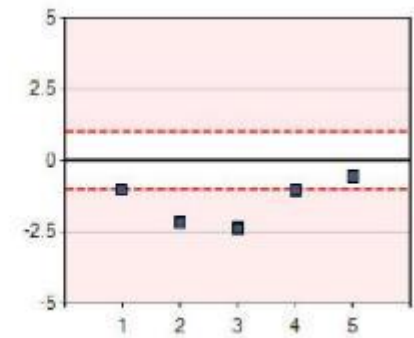
7 A-pilari ulkokaari VY



%R&R X 12.4

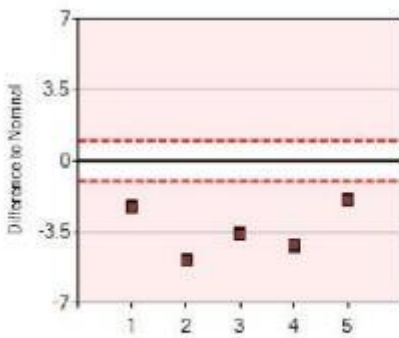


%R&R Y 16.8

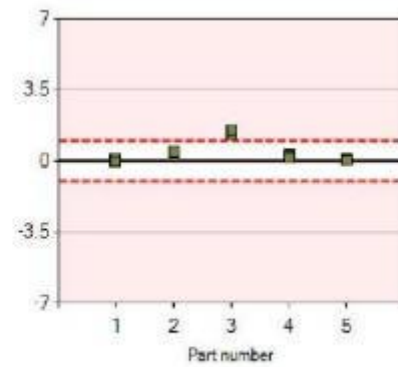


%R&R Z 7.2

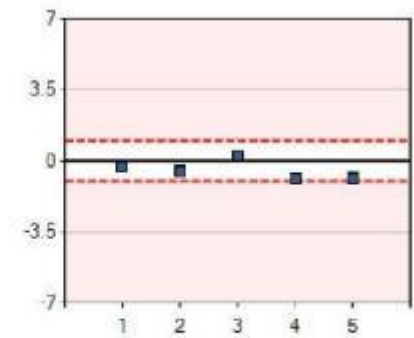
8 Katto kiinnitys oikea



%R&R X 12.8



%R&R Y 14.7



%R&R Z 5.6



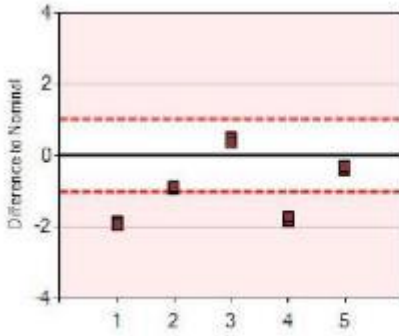
Type-3 Study Report

Report Time:
Product:
Measuring System:
Number of parts:

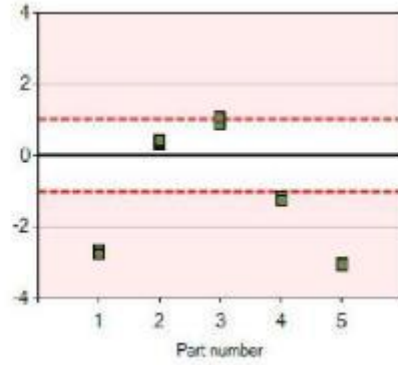
2.3.2017 12:39
Tractor Cabin CM08
6232 MSK
5

Page 8 / 8

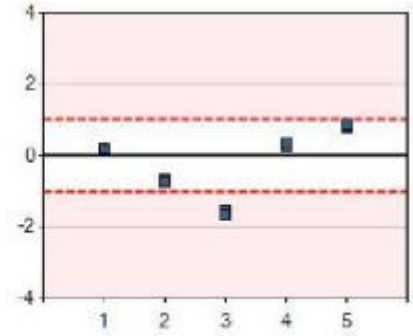
9 Katto kiinnitys vasen



%R&R X 12.4



%R&R Y 15.0



%R&R Z 9.6