

Christian Arboix Llobell

Konenäköjärjestelmän stabiiliuden seuranta

Murata Electronics Oy:lle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

Tekijä(t) Otsikko	Christian Arboix Llobell Konenäköjärjestelmän stabiiliuden mittaus
Sivumäärä Aika	26 sivua 26.11.2017
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Jari Savolainen Lehtori Janne Mäntykoski
<p>Työssä selvitettiin loppukokoonpanossa olevien konenäkölaitteiden stabiiliutta. Stabiiliuden tutkimista varten tehtiin mittalaitteanalyysi yhdelle laitteelle, joka valittiin tämän työn kohteeksi. Myös muita samanlaisia laitteita tutkittiin vertailumielessä.</p> <p>Tavoitteena oli tuottaa tietoa konenäön toimivuudesta ja siinä tapahtuvista muutoksista, jotka saattavat vaikuttaa mittausjärjestelmän luotettavuuteen tai kyvykkyyteen. Menetelmänä käytettiin näytelevyä, jonka avulla tutkittiin mittalaitteen kyvykkyyttä. Itse näytelevy suunniteltiin mahdollisimman aikaa kestäväksi, jotta tutkimuksesta tulisi mahdollisimman luotettavaa tietoa.</p> <p>Mittaustietoa analysoitiin noin kuukauden ajan stabiiliuden tutkimusta varten. Alku-analysissä tutkittiin mittausjärjestelmän toistettavuutta, lineaarisuutta ja tarkkuutta. Tämän jälkeen mittauksia kerättiin tasaisin välein ja tulosta verrattiin lähtöarvoihin jolloin pystyttiin seuraamaan mittausjärjestelmän stabiiliutta.</p> <p>Mittausjärjestelmän analyysiä varten projektissa saavutettiin riittävä datan laatu. Datan avulla pystyttiin stabiiliuden lisäksi analysoimaan mittausjärjestelmän toistettavuutta, lineaarisuutta ja tarkkuutta.</p> <p>Analyysiä ja näytelevyä on tarkoitus käyttää myös jatkossa uusien samanlaisien laitteiden analyysin apuna, sekä jatkuvana konenäköjärjestelmän stabiiliuden mittarina.</p> <p>Kehityskohteiksi jäi vielä datan automaattinen raportointi, sekä automaattinen muistutus mittauksen suorittamiseen.</p>	
Avainsanat	Konenäkö, toistettavuus, mittausanalyysi

Author(s) Title	Christian Arboix Llobell Stability measurement of machine vision system
Number of pages Date	26 pages 26 November 2017
Degree	Master's Degree
Degree programme	Electrical Engineering and Automation Technology
Specialisation options	
Instructor(s)	Jari Savolainen, Senior Lecturer Janne Mäntykoski, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to find out the stability of AOI machines which are located in the end assembly area. To measure stability, measurement system analysis was made for one machine that was selected as the target for this study. Also other identical machines were studied as comparison point of view.</p> <p>Objective of this study was to produce information about the functionality and also changes in measuring system that might affect to measurement system reliability or capability. Sample board was produced to measure the system capability. Sample board was designed so that it would withstand time as much as possible. Therefore the data would be as reliable as possible.</p> <p>For analyzing stability the measurement data was gathered for a month. Initially the measurement system repeatability, linearity and accuracy were analyzed. For measuring stability, measurement data was collected evenly and the results were compared to the start values.</p> <p>Sufficient data quality was achieved for making reliable stability analysis. Also measurement system repeatability, linearity and accuracy were able to analyze reliably.</p> <p>The analysis method used in this study was found to be good and it will be used in the future when analyzing similar machine vision systems. Sample board will be also used as tool for measuring AOI system stability continuously.</p> <p>Development of automatic reporting system was left out from this study.</p> <p>Automatic reporting, as well as an automatic reminder for performing the measurement, was still to be done.</p>	
Keywords	Machine vision, repeatability, measurement analysis

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Kohdeorganisaatio	1
1.2	Kehittämistehtävän lähtökohdat	1
1.3	Kehittämistehtävän toteutus	2
2	Teoreettinen viitekehys	3
3	Viitekehyyksen sovitus kehityskohteeseen	7
4	Tutkimuskysymykset ja tutkimusongelman mittarit	8
5	Tutkimusmenetelmät ja toimenpiteet	9
5.1	Kehittämistehtävä	9
5.2	Nykytila analysointi	10
5.3	Reliabiliteetti ja validiteetti	11
6	Kehitysprojektin toteutus	12
6.1	Näyteosa	12
6.2	Lineaarisuus ja bias analyysi	13
6.3	Toistettavuus analyysi	18
6.4	Stabiilius analyysi	22
6.5	Laitteiden vertailu näytelevyn avulla	24
7	Yhteenveto	26
	Lähteet	27

1 Johdanto

1.1 Kohdeorganisaatio

Tämän tutkimusongelman kohteena on Murata Electronics Oy Suomessa. Yritys valmistaa kiihtyvyy-, kallistus- ja kulmanopeusantureita pääosin auto- ja lääketieteeseen.

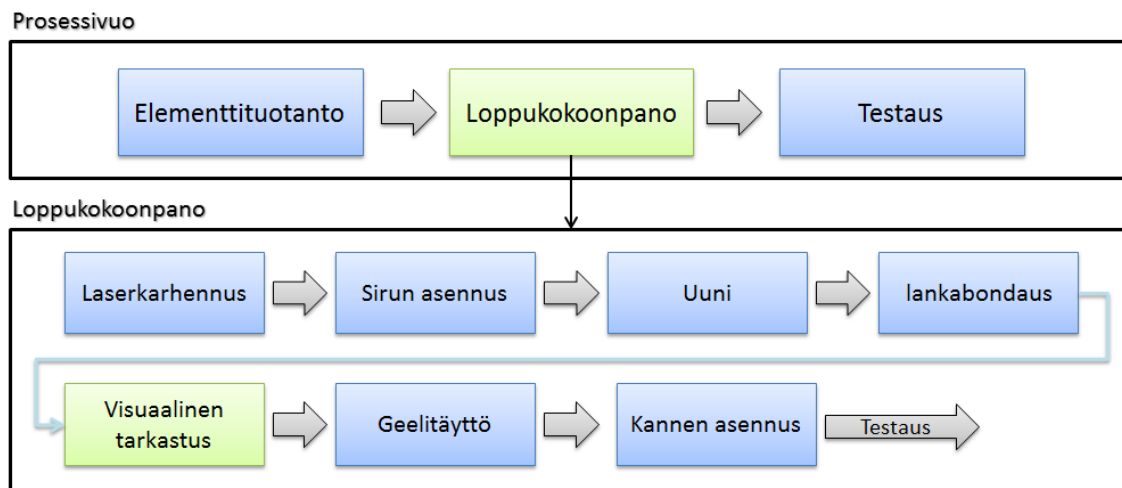


Kuva 1. Murata electronics Oy

Kirjoita tähän yrityksen historia ja muuta juttua organisaatiosta

1.2 Kehittämistehtävän lähtökohdat

Kehittämistehtävää tehdessäni työskentelin antureiden loppukokoonpanossa prosessikehitysinsinöörin tehtävässä. Alla olevassa kuvassa on hahmoteltu mihin kohtaan prosessissa tämä työ sijoittuu. Prosessivuo on jaettu kolmeen osaan alkaen elementti-tuotannosta ja siitä loppukokoonpanon kautta testaukseen. Prosessivuon alla on kuvattu loppukokoonpanon päävaiheet ja tämä työ sijoittuu vihreällä merkattuun prosessivaiheeseen eli visuaaliseen tarkastukseen, tarkemmin ottaen automaattiseen visuaaliseen tarkastukseen.

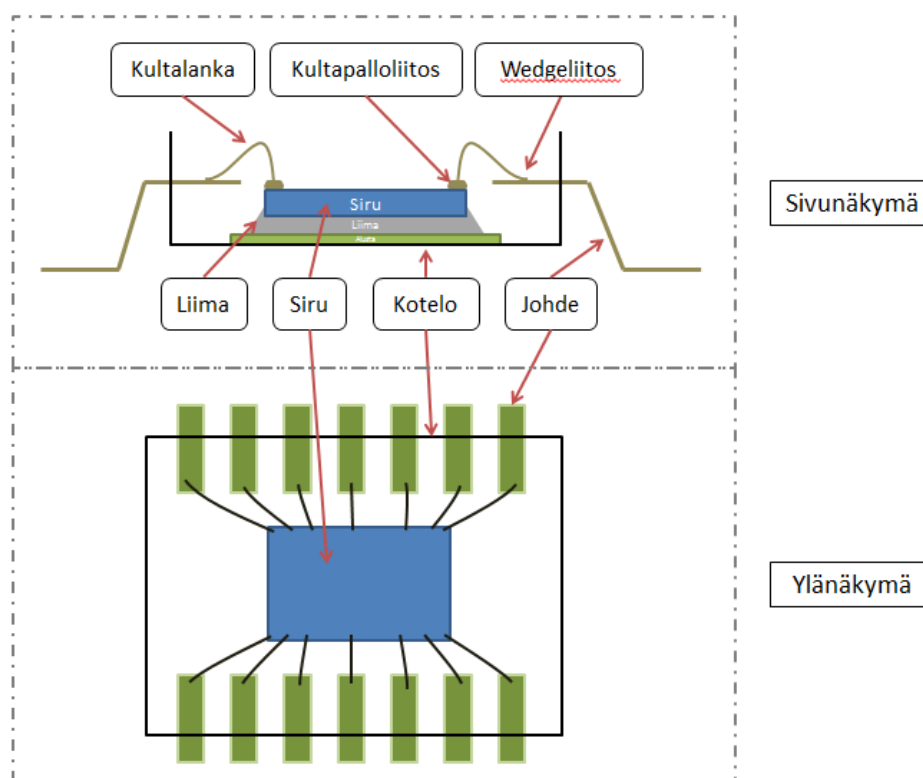


Kuva 2. Prosessikuvaus pääpiirteittäin

Visuaalista tarkastusta edellä mainitussa vaiheessa on pitkään tehty ihmisen toimesta mikroskoopin avulla. Ihmisen tekemä visuaalinen tarkastus on kuitenkin epäluotettavaa ja vaihtelu on suurta eri ihmisten välillä. Tämän takia luotettavuuden parantamiseksi on otettu käyttöön koneellinen näkö eli automaattinen optinen tarkastus (AOI). Koneellinen näkö on systemaattista ja hyvin toteutettuna myös erittäin luotettavaa eikä eri ihmisten välistä variaatiota ole.

1.3 Kehittämistehtävän toteutus

Tämä tutkimusongelma keskittyy loppukokoonpanossa olevaan konenäköjärjestelmään. Loppukokoonpanossa esivalettuun koteloon asennetaan siruja jotka yhdistetään sekä toisiinsa että koteloon kultalangalla. Kuvassa 3 on esitetty periaatteellinen kuva siitä kuinka loppukokoonpano on tehty siihen vaiheeseen jossa tämän työn konenäköjärjestelmä on seuraavana vuossa. Tässä vaiheessa esivalettuun koteloon on asennettuna sirut ja ne on yhdistetty toisiinsa kultalangalla. Tässä konenäkösovelluksessa tarkastellaan loppukokoonpanossa pääasiassa sirunasennuksien ja lankaliitosten laatua. Myös muita osa-alueita tarkastellaan kuten kontaminaatioita ja kotelon vikoja.



Kuva 3. Loppukokoonpano periaatekuva

Konenäön avulla pyritään saamaan tuotteiden visuaalinen tarkastus luotettavammaksi ja ajan mittaan korvaamaan koko ihmisen tekemä visuaalinen tarkastus loppukokoonpanossa. Tällöin konenäön luotettavuutta ja suorituskykyä tarkkailevat mittarit tulevat entistä tärkeämpään asemaan. **Tutkimusongelmana on kehittää konenäön stabiili-suutta mittaava järjestelmä.** Hyötynä tästä saataisiin tietoa konenäön toimivuudesta ja siinä tapahtuvista muutoksista, jotka saattavat vaikuttaa mittaajajärjestelmän luotettavuuteen tai kyvykkyyteen. Yksi suuri tekijä luotettavuudesta puhuttaessa on turhien vikojen määrä joiden osuus oikeiden vikojen määrästä tulisi olla mahdollisimman pieni.

2 Teoreettinen viitekehys

Tuotteen tarkastaminen on tärkeä vaihe tuotantovaiheessa. Tuotteen luotettavuus on todella tärkeä tekijä useissa massatuotantolaitoksissa. Tämän takia 100 % tarkastusta kaikille osille ja vaiheille usein yritetään implementoida. Tämän johdosta tarkastukseen investoidut kulut ovat usein huomattavat. Kaikkein vaativin ja vaikein tarkastus on visuaalinen tarkastus. Visuaalisella tarkastuksella identifioidaan usein sekä toiminnallisia, että kosmeettisia virheitä. Usein tuotantoprosessien tarkastus riippuu pääosin ihmisen

tekemistä tarkastuksista joiden suorituskyky on yleisesti ottaen riittämätön ja vaihteleva. Tutkimukset osoittavat että ihmisen tekemän tarkastuksen tarkkuus laskee tylsien ja rutiininomaisten töiden parissa. Tuloksena on hidas, kallis ja arvaamaton tarkastus. Automaattinen tarkastus on selkeästi vaihtoehto ihmisen tekemälle tarkastukselle. Automaattisen tarkastuksen hyviä puolia ovat palkkakulujen eliminointi, nopeus, tarkkuus ja virheiden minimointi. Automaattisesta tarkastuksesta on myös mahdollista saada määrällistä dataa tilastoja ja seuranta varten. (1, s. 1.)

Mittausdataa käytetään useammin ja useammalla tavalla kuin koskaan aikaisemmin. Esimerkiksi päätös säätää tuotantoprosessia tehdään yhä useammin mittausdatan perusteella. Datan statistiikkaa verrataan statistisia rajoja vasten ja jos ne ylittyvät/alittuvat jotain säätöjä tehdään. Toinen tapa hyödyntää dataa on verrata esiintyykö merkittävää suhdetta kahden tai useamman muuttujan välillä. Tätä tutkimusmenetelmää kutsutaan analyttiseksi tutkimukseksi. Yleisesti analyttinen tutkimus auttaa lisäämään tietämystä prosessista. Hyöty käyttää dataan pohjautuvaa menetelmää määrittyy paljolti datan laadun perusteella. Jos data on laadultaan huonoa, niin hyöty on oletettavasti huono, jos taas data on laadultaan hyvää, niin hyöty on oletettavasti hyvä. Datan laatuun on kiinnitettävä huomiota jotta voidaan varmistaa että datasta saatava hyöty on riittävän hyvä kattaakseen kulut jotka on käytetty datan saamiseen.

Datan laatu määritellään tilastollisten ominaisuuksien perustella jossa mittausjärjestelmällä on mitattu useita kertoja stabiilissa olosuhteessa. Esimerkiksi mitataan samaa tunnettua ominaisuutta monta kertaa stabiilissa olosuhteessa, jos kaikki mittaukset ovat lähellä ominaisuuden oikeaa arvoa, voidaan sanoa että datan laatu on korkea. Jos taas jotkin tai kaikki arvot ovat kaukana oikeasta arvosta, voidaan sanoa että datan laatu on huono. Yksi yleisimmistä syistä datan huonolle laadulle on mittauksen liian suuri vaihtelu. Vaihtelu voi esimerkiksi johtua ympäristön ja mittausjärjestelmän vuorovaikutuksesta. (2, s. 3.)

Tarkkuuden ja stabiiliuden eroja on tutkittu ja standardisoitu manuaaleissa mittausjärjestelmän analyysi kuten AIAG (Automotive Industry Action Group).

Jokaisella mittalaitteella jolla mitataan jotain suuretta, on vaihtelevuutta mittausten välillä. Tämä mittauksesta aiheutuva vaihtelu täytyy ottaa huomioon mittarin luotettavuutta sekä mittaustarkoitukseen soveltuvuutta tutkittaessa. Vaikutukset eri vaihtelun lähteistä mittausjärjestelmään pitäisi evaluoida lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. (2, s. 27.) On vaka-

vaa että kuvitellaan vaihtelun tulevan tuotantoprosesseista, vaikka mittaus itse aiheuttaa vaihtelua (3, s. 142). Stabiiliuden mittaus on osa mittaussysteemin analyysiä (MSA, Measurement System Analysis). Sama teoria/malli löytyy lähes kaikista lähteistä joissa käsitellään mittausjärjestelmän analyysiä. MSA:n avulla määritetään mittarin stabiiliteetti, tarkkuus, lineaarisuus, sekä mittauksen toistettavuus ja mittaajasta aiheutuva vaihtelu. (4, s. 147.) Nämä kaikki asiat täytyy ottaa huomioon stabiilisuutta tutkittaessa. Seuraavassa on kuvattuna hieman tarkemmin edellä mainitut termit:

Toistettavuus (mittari): Mittaa kuinka paljon tuloksissa on vaihtelua kun samaa osaa mitataan samoissa olosuhteissa useaan otteeseen (4, s. 150).

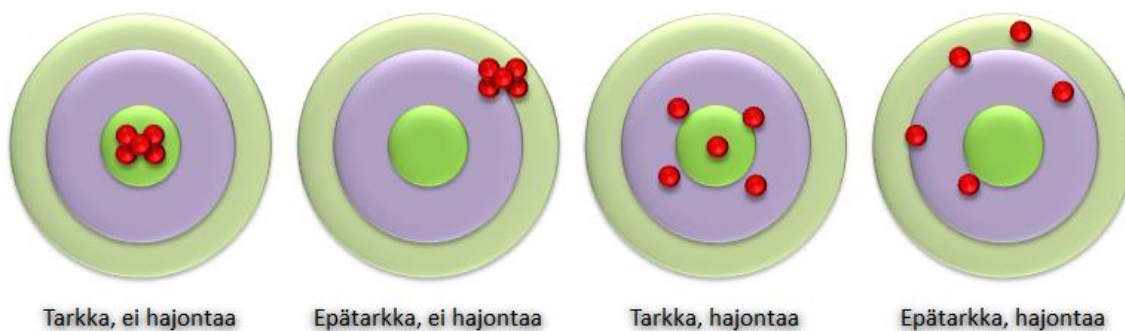
Toistettavuus (mittaaja): Mittaa kuinka paljon tuloksissa on vaihtelua kun useampi mittaaja mittaa samaa osaa samoissa olosuhteissa (4, s. 151).

Mittarin tarkkuus: Mittaa kuinka lähellä mittausten keskiarvo on oikeaa arvoa.

Stabiiliteetti: Mittaa koko mittausjärjestelmän kokonaisvaihtelua kun samaa osaa mitataan pidemmällä aikavälillä (4, s. 151).

Lineaarisuus: Mittaa kuinka tarkkaan mittari pystyy mittaamaan koko mittarin asteikolla (4, s. 151).

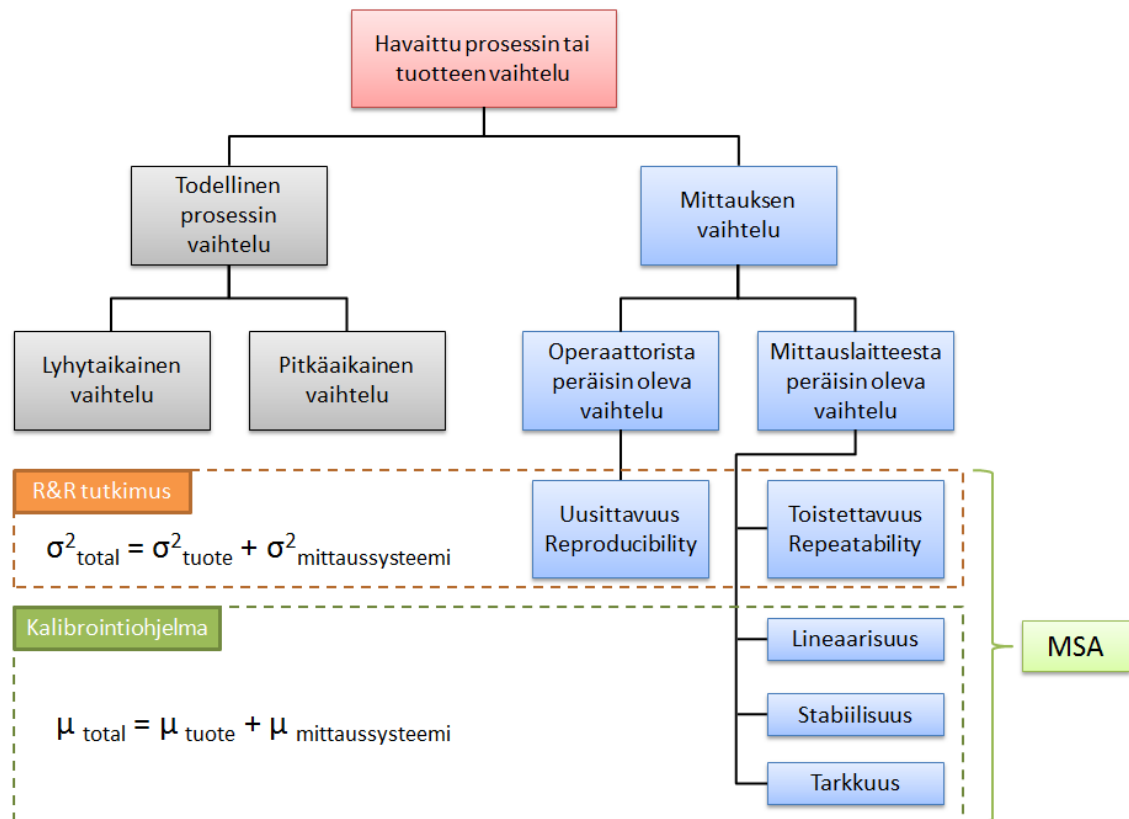
Kuvassa 4 on esitetty erilaisia mittausvirhetyyppejä. Kaksi oikeanpuoleista taulua eivät ole stabiileja kuin taas kaksi vasenta ovat. Ensimmäinen ja kolmas ovat tarkkoja vaikka kolmas ei ole stabiili. Toinen on stabiili mutta ei tarkka.



Kuva 4. Mittausvirhetyypit

On tärkeää tuntea mistä mittausvirheet tulevat järjestelmään. Kirjassa ”Mittaus- ja laadutekniikat” on esitelty kattava syy-seuraus-diagrammi jossa on neljä pää-vaihtelun lähdettä: Mittalaite, mittaaja, kohde ja ympäristö (5, s. 139). Stabiilisuutta tutkittaessa on tärkeää pystyä sanomaan mistä mahdollinen stabiiliuden heittäminen johtuu. Onko kyseessä mittalaite, ympäristö vai muuttuuko mitattava kohde ajan kanssa.

Alla olevassa kuvaajassa on kuvattuna kuinka mittausjärjestelmä itsessään aiheuttaa virhettä ja vaihtelua mitattavaan kohteeseen. Mittaussysteemin analysoinnilla (Measurement System Analysis, MSA) pyritään määrittämään kuinka suuri osa virheestä johtuu mittauksesta ja kuinka suuri osa on todellista vaihtelua. Gage R&R avulla tunnistetaan ja määritellään eri vaihtelun lähteitä jotka vaikuttavat mittaussysteemiin. Kalibroinnin avulla voidaan pienentää tarkkuusvirhettä, mutta toistotarkkuuteen sillä ei ole merkitystä.



Kuva 5. Mittauksen vaikutus prosessin tai tuotteen vaihteluun (3, s. 143).

Tämän tutkimuksen kohteena on konenäköjärjestelmä joten mitaajista aiheutuva vaihtelu voidaan eliminoida, koska sama järjestelmä tekee käytännössä niin tuotteen käsittelyn kuin tarkastuksenkin. Jäljelle jää siis MSA:ssa esille tulleet mittarin toistettavuus, tarkkuus, lineaarisuus ja stabiileetti.

MSA teoria on koettu myös käytännössä hyödylliseksi. Texas instrumentin julkaisemassa artikkelissa, jossa tehtiin MSA jännitteen mittaukselle, huomattiin mittalaitteessa olevan vaihtelua monestakin eri syystä. Stabiilisuutta tutkittaessa huomattiin että kalibrointiväli oli liian pitkä jolloin mittalaitteen antamat tulokset vääristyivät. Myös mittarin tarkkuutta tutkittaessa huomattiin että kosteus aiheuttaa liikaa poikkeamaa referenssiin

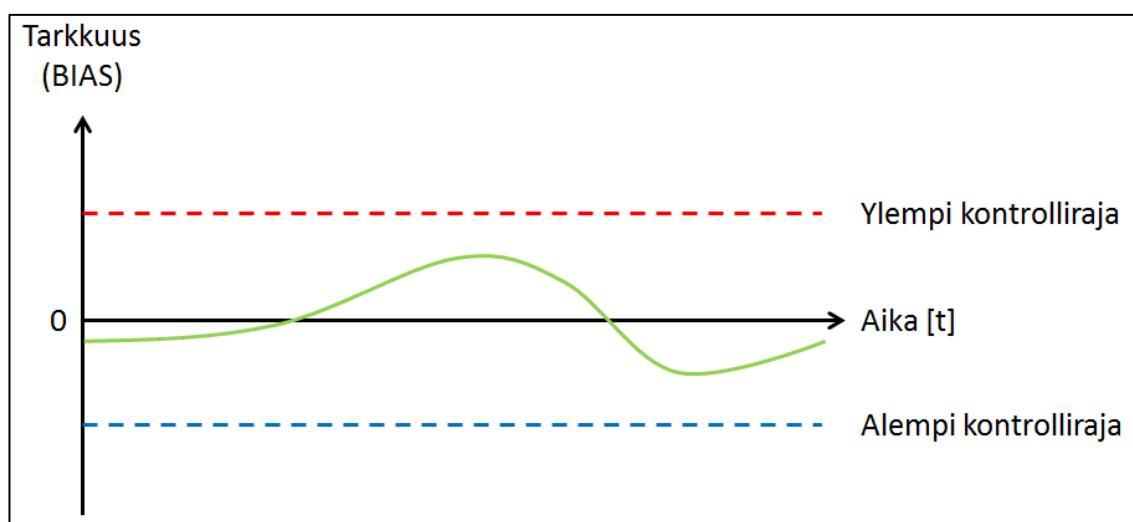
nähden. Artikkelissa todettiin lopussa että MSA tarjoaa hyvät työkalut löytämään ja seuraamaan mittalaitteessa tapahtuvia vaihteluita. (6, s. 3-4.)

Myös lääketieteessä on sovellettu AIAG MSA manuaalia onnistuneesti. Eräässä tieteellisessä artikkelissa käsiteltiin lääketieteen kannalta mittauksen tärkeyttä jossa se on potilaan kannalta elintärkeää. Lääkeannosten mittaus kuin myös potilaasta tehtävät erilaiset mittaukset pitää olla luotettavalla tasolla jotta voidaan tehdä oikeita analyysejä. Artikkelissa tehtiin mittausjärjestelmän analyysi verenpaineen mittaamiselle kahdella eri tavalla joista toinen tehtiin vanhanaikaisella manuaalisella menetelmällä ja toinen digitaalilla mittarilla. Teoria/malli antoi tähän hyvät puitteet ja tuloksena oli että digitaalinen verenpaineen mittari oli paljon kyvykkäämpi. Tulokset osoitettiin selvästi ja ymmärrettävästi. (7, s. 1-10.)

3 Viitekehyksen sovitus kehityskohteeseen

Teoreettisessa viitekehyksessä päädyttiin ainoastaan yhteen kunnon teoriaan/malliin. Tämä malli oli myös todettu käytännössä toimivaksi ratkaisuksi. Stabiilisuutta tutkittaessa tässä kehityskohteessa täytyy teorian pohjalta ottaa huomioon mittarin toistettavuus, mittarin tarkkuus ja lineaarisuus. Mittaajasta aiheutuvaa vaihtelua ei käytännössä voi olla kuten kappaleessa 2 todettiin. Onnistuneen stabiiliuden seurannan ansiosta voidaan olla varmoja että konenäköjärjestelmässä ei tapahdu mitään odottamatonta, ilman että se huomattaisiin ajoissa. Myös epäselvissä tapauksissa, jossa tuotteessa itsessään jokin on muuttunut, pystytään osoittamaan onko konenäköjärjestelmässä tapahtunut muutoksia.

Käytännössä konenäköjärjestelmän stabiilisuutta tutkittaisiin näyteosalla jonka avulla saataisiin lisäksi tutkittua myös toistettavuutta, lineaarisuutta ja tarkkuutta. Järjestelmän tuottamasta määrällisestä datasta analysoitaisiin tuloksia. Alla olevassa kuvaajassa on kuvattuna kuinka stabiilisuutta seurattaisiin ajan funktiona. Vaihtelulle tulisi asettaa rajat joiden välissä arvojen pitäisi pysyä.



Kuva 6. Mittausjärjestelmän tarkkuus ajan funktiona

4 Tutkimuskysymykset ja tutkimusongelman mittarit

Millä tavalla tuloksia analysoidaan?

Konenäköjärjestelmästä on mahdollista saada mittaustuloksia määrällisenä datana joten tämän datan avulla voidaan analysoida tuloksia luotettavasti. Mittarina käytettäisiin mahdollisesti erilaisia tilastollisia analyysityökaluja.

Kuinka usein näyteosa ajetaan tarkastuksen läpi?

Aluksi hyvä väli voisi olla kuukauden välein, mutta tulosten perusteella voisi mahdollisesti pidentää väliä tulevaisuudessa.

Kuinka monta kertaa mitataan samaa osaa jotta saadaan riittävä määrä toistoja (repeatability)?

Teoriassa tyypillisesti on rajoina minimissään kolme toistoa ja maksimissaan viisitoista.

Miten reagoidaan poikkeamiin?

Poikkeaman alkuperä tutkitaan ja tehdään korjaavat toimenpiteet ja sen jälkeen tehdään uudelleen mittaus.

Mitä näyteosan tulee sisältää (muodot ja kuviot) ja mistä materiaalista se tehdään?

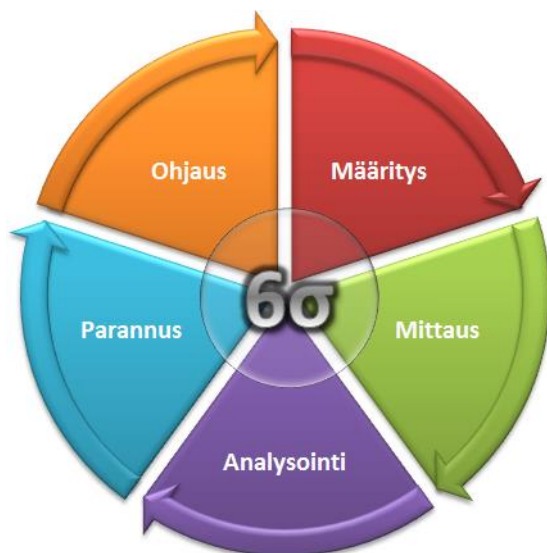
Näyteosan olisi hyvä sisältää samanlaisia muotoja ja kokoja mitä oikeasti mittarilla mitataan. Keraaminen levy jolle laserilla poltettaisiin tarkasteltavia muotoja, voisi olla hyvä. Keraamilevy kestäisi hyvin aikaa.

5 Tutkimusmenetelmät ja toimenpiteet

5.1 Kehittämistehtävä

Tässä työssä sovellettiin 6 sigma ajattelumallia. Kuvassa 7 on kuvattuna 6 sigma sykli jota on käytetty sovelletusti myös tässä työssä. Ensin määritetään tavoite, mitä halutaan saavuttaa. Sitten suoritetaan itse mittaus/mittaukset. Sitten analysoidaan tulokset ja tehdään korjaavat toimenpiteet ja parannukset. Tämän jälkeen prosessia tulee pystyä kontrolloimaan. Jos prosessi ei ole ensimmäisen kierroksen jälkeen kontrollissa, tehdään seuraava kierros jne.

Käytännössä tavoite oli että mittausjärjestelmää pystyttiin valvomaan luotettavasti. Ensin suoritettiin mittaukset ja analysoitiin ne. Tämän jälkeen tehtiin korjaavat toimenpiteet. Sykliä jatkettiin kunnes tulokset olivat tavoitteiden mukaiset, sekä mittausjärjestelmän kontrollointi olisi määritetty.



Kuva 7. 6 sigma vuokaavio (3, s. 45).

Kehittämistehtävän kohteena oli Viscom S6056 AOI tarkastuslaite. Pääpiirteittäin laite toimii siten että laitteeseen ladataan materiaalia sisään makasiinissa ja laite automaattisesti lataa tarkastetun materiaalin takaisin tyhjään makasiiniin laitteen toisella puolella. Itse tarkastus tapahtuu kameras avulla, joka on kiinnitetty liikkuvaan x-, y- ja z- akselistöön. Laite ottaa kuvia tarkastettavasta kohteesta niin että kaikki laitteelle ohjelmoitua kohdat on kuvattuna. Itse analysointi tapahtuu laitteella olevalla tietokoneella. Analysointi perustuu matemaattisiin malleihin ja algoritmeihin joten laskentatehoa vaaditaan paljon, jotta analysointi olisi nopeaa ja pystytään tekemään sillä välin kun kamera siirtyy seuraavaan tuotteeseen, jolloin viivettä ei synny analysoinnin takia.



Kuva 8. Viscom S6056 AOI tarkastuslaite

Kuten aiemmin todettiin, kehittämistehtävänä oli kehittää mittausjärjestelmän stabiilisuutta seuraava järjestelmä.

5.2 Nykytila analysointi

Loppukokoonpanon konenäköprosessia kehitetään jatkuvasti ja tarve stabiilisuutta mit-taavalle järjestelmälle on syytä tutkia, koska sellaista ei ole. Laitemäärä loppukokoonpanossa nousee jatkuvasti kapasiteetin tarpeen takia ja koneiden välisiä eroja on myös tarve tutkia. Edellä mainittujen asioiden tutkimiseen ei ole vielä olemassa mitään kun-nollista keinoa.

Konenäkölaitteille on tehty tuotanto-osia joihin on tehty tarkoituksellisia vikoja ja näitä näyteosia ajetaan koneen läpi aika-ajoin ja analysoidaan löytääkö konenäkö samat viat ja että onko turhien vikojen määrä myös sama. Näiden näyteosien avulla ei kuitenkaan pystytä suoraan kertomaan tarkasti kuinka stabiili systeemi on. Näyteosien huono puoli on myös se että itse näyteosa voi elää ajan kanssa jolloin esimerkiksi näyteosan värit muuttuvat ja ohuet kultalangat elävät. Tällöin ei pystytä varmasti sanomaan johtuuko muutos laitteesta vai itse näyteosasta. Myös näyteosien käsittelyssä tulee olla erityisen varovainen jotta ne pysyisivät samanlaisina.

Näiden asioiden takia on päätetty tutkia tarkemmin luotettavaa tapaa tutkia konenäön stabiilisuutta jota tässä opinnäytetyössä tutkitaan.

5.3 Reliabiliteetti ja validiteetti

Stabiiliuden mittaamista varten tutkitaan ja hankitaan sopiva osa (tai osia), joka olisi mahdollisimman tarkka ja stabiili ja kestäisi aikaa. Osan tulisi sisältää komponentteja tai muotoja jotka vastaisivat varsinaisessa tarkastuksessa käytettävien osien komponentteja. Näyteosan (osien) tulisi myös sisältää yksilöllisen koodin (2D-matriisi), jotta jokainen näyteosa pystytään yksilöimään. Tällöin ei ole mahdollista sekoittaa mittaustuloksia eri näyteosien välillä (mittalaite pystyy automaattisesti tunnistamaan kohteen 2D-matriisin).

Kehityskohteen kuvan analysointi perustuu algoritmiseen kuvan analyysiin joten kuvien vertausta johonkin mallikuvaan ei ole mahdollista tehdä. Järjestelmän tuottaman datan avulla analysoidaan stabiilisuutta, tarkkuutta, lineaarisuutta ja toistettavuutta. Näiden kaikkien elementtien tulisi pysyä tietyssä raamissa eikä vaihtelua saisi tulla liikaa. Vaihteluväli täytyy analysoida aluksi, jotta saadaan hyvä kuva lähtötilanteesta. Tulosten analysointityökaluna voisi käyttää Minitab ohjelmaa jossa on riittävät työkalut tulosten tulkintaan.

Toistettavuutta mitattaessa käytetään apuna gage R&R analyysiä. Myös lineaarisuuden ja tarkkuuden tutkimiseen löytyy hyviä työkaluja ohjelmasta. Datan käsittely on manuaalista ja vaatii kopioimista raakadatasta Minitabin ymmärtämään muotoon, joten mahdollista Excel-makroa, joka tekisi analyysin automaattiseksi, voisi myös miettiä ja tutkia. Näin säästäisi aikaa sekä inhimillisiä virheitä datan käsittelyn yhteydessä. Joka mittauskerrasta tehtäisiin raportti joka olisi helposti luettavissa ja ymmärrettävissä, sekä vertailtavissa edellisiin tuloksiin.

Onnistuneen mittausjärjestelmä-analyysin avulla organisaatio pystyisi luotettavasti mittaamaan itse prosesseissa tapahtuvaa vaihtelua. Riskinä on että analyysi ei kuitenkaan anna odotettua tulosta tai tuloksia ei pystytä luotettavasti tulkitsemaan ja ongelman juurisyy jää epäselväksi. Tällöin mittausjärjestelmän kyvykkyyteen ei voida luottaa. Hyvin ja systemaattisesti toteutettuna mittausjärjestelmän analyysi (MSA) kuitenkin antaa hyvän kuvan mistä mahdolliset ongelmat johtuvat ja ongelmiin on helpompi päästä käsiksi.

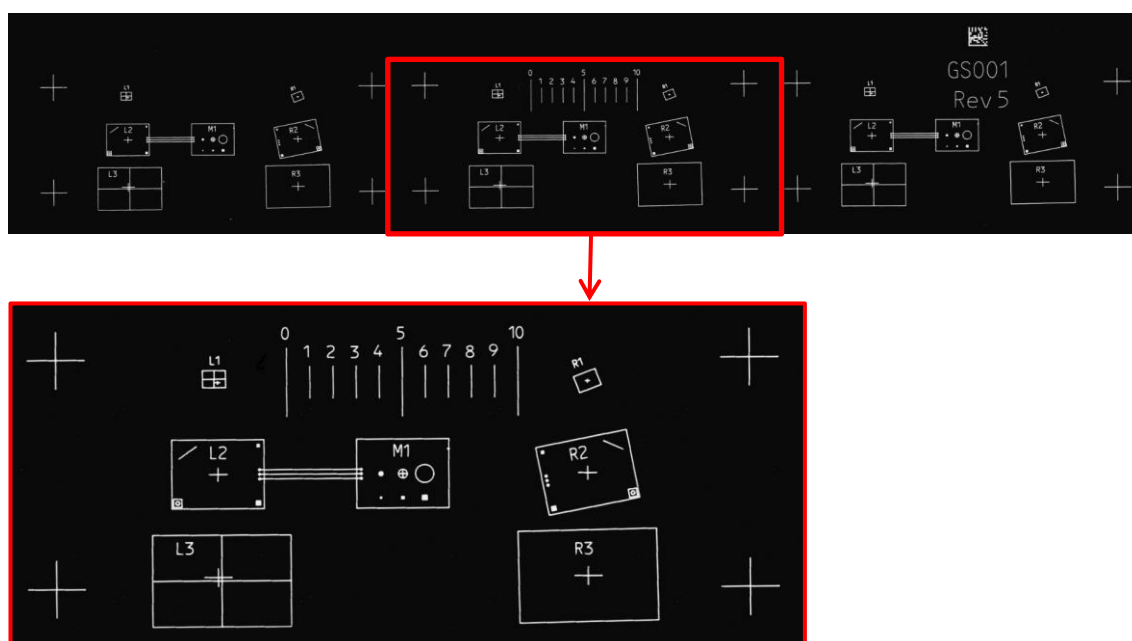
6 Kehitysohjelman toteutus

Kehitysohjelmia lähdettiin toteuttamaan tutkimalla eri tapoja tehdä stabiilisuusanalyysiä. Seuraavissa kappaleissa on esitelty kuinka projekti toteutettiin aina analyysiin asti.

Työssä tehtiin ja mitattiin näyteosaa, josta analysoitiin mittausjärjestelmän stabiilisuutta, toistettavuutta, lineaarisuutta ja tarkkuutta.

6.1 Näyteosa

Näyteosan tarkoituksena oli pysyä mahdollisimman muuttumattomana ajan funktiona jotta stabiilisuutta voitaisiin mitata luotettavasti. Näyteosa päätettiin tehdä keraamilevystä, jonka päälle liimattiin lasermerkattava tarra. Tarra kestää valmistajan mukaan hyvin eri sääolosuhteita ja aikaa. Tarraan merkattavat kuviot suunniteltiin Autocad ohjelmistolla ja kuviot valittiin analysointitarkoitukseen sopivalla tavalla. Keraamilevyn leveys ja pituus määräytyivät tarkastuskoneen mittojen mukaisiksi, jolloin näyteosaa voitiin ajaa koneessa automaattisesti. Kuvassa 9 on esitelty tässä työssä käytetty näyteosa jota analysoitiin konenäköjärjestelmällä. Levy myös identifioitiin 2D matriisin avulla jolloin mahdollisesti useamman käytettävän näytteen datat eivät sekoittuisi keskenään. Matriisin sisältö myös merkattiin matriisin alle luettavaan muotoon. Konenäköjärjestelmä pystyy lukemaan ja tunnistamaan matriisin automaattisesti.



Kuva 9. Tutkittava näyteosa

Näytteen kuviot valittiin niin että niistä olisi hyvä seurata mittausjärjestelmän lineaarisuutta, toistettavuutta ja stabiiliutta. Lineaarisuuden ja virheen mittaamista varten tehtiin erikokoisia, erilaisilla kiertymillä ja erilaisilla positioilla suhteessa kuvion keskipisteeseen olevia kuvioita.

Näyteosa merkattiin käyttämällä manuaalista laserkonetta. Lasermerkattavaa teippiä varten tehtiin kokeellinen testi (DoE, Design Of Experiment) jossa varioitiin kolmea laser parametria: tehoa, nopeutta ja pulssin taajuutta. Merkkauksen jälki arvioitiin visuaalisesti mikroskoopin avulla. Kriteereinä olivat merkattavan viivan paksuus ja yhdenmuokaisuus. Testin tuloksena saatiin laserille sopivat parametrit, jolla merkkauksen jälki oli todella hyvä ja sopiva käytettävälle materiaalille.

Ensimmäistä näyteosaa analysoitaessa huomattiin että lasermerkattujen kuvioiden koko ja paikat eivät vastanneet täysin mekaanisia piirroksia vaan niissä oli heittoa siirryttäessä lasermerkkauksen keskipisteestä x- ja y-suuntaan. Tämän takia näyteosa jouduttiin mittaamaan erillisellä tarkalla mittalaitteella jossa tarkkuus ja toistettavuus olivat sopivalla tasolla. Tuloksena saatiin tarkat mitat näyteosan analysointia varten.

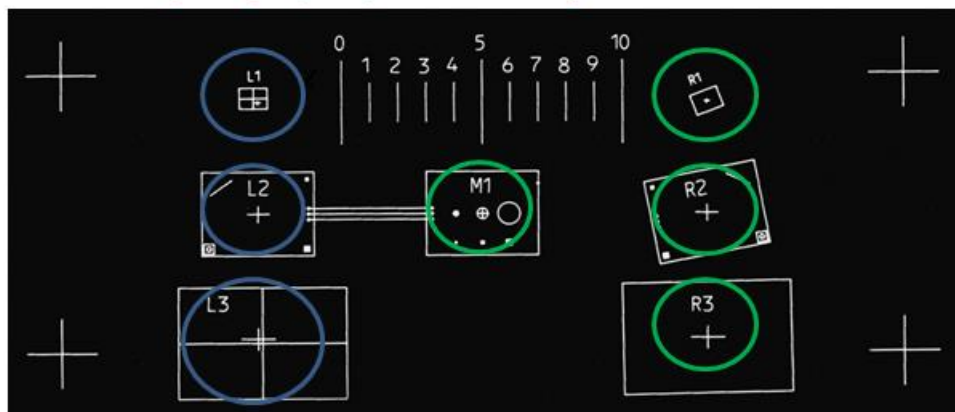
Näyteosan valmistuksesta tehtiin työohje jotta uusien näytteiden valmistaminen onnistuisi keneltä vain jos näyteosa sattuisi hajoamaan.

6.2 Lineaarisuus ja bias analyysi

Lineaarisuutta ja biasta analysoitaessa apuna käytettiin Minitab työkalua. Biaksella tarkoitetaan tässä yhteydessä siirtymän ja kiertymän eroa todelliseen mittaan. Biaksen ja lineaarisuuden analysoimiseksi valittiin komponentit alla olevan kuvan mukaisella tavalla näyteosasta. Komponentteja L1, L2 ja L3 käytettiin x- ja y-suunnan analysoimiseksi siten, että L1 ja L3 oli siirretty keskipisteestä x- ja y-suunnassa eri suuntiin ja L2 siirtymä suhteessa keskipisteeseen oli jätetty nolnaan. Komponentteja R1, R2 ja R3 kierrettiin jokaista eri määrä, kun taas komponentissa M1 ei ollut lainkaan kiertymää.

Bias x- ja y-paikoitus (L1, L2, L3)

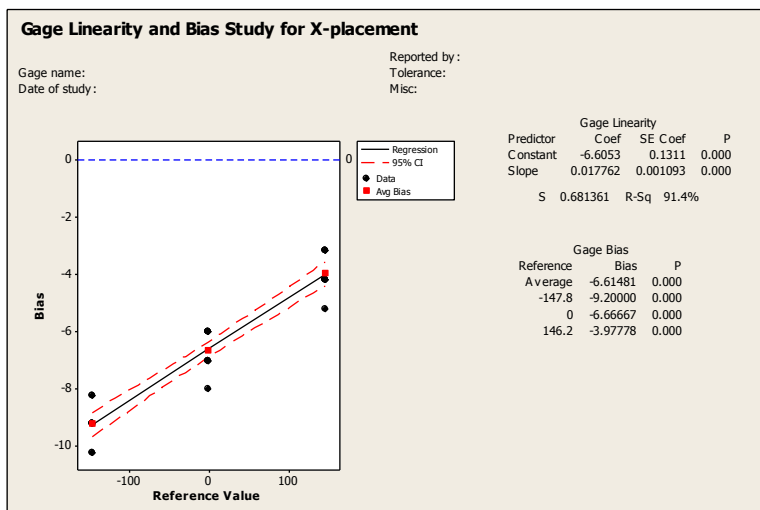
Bias kiertymä (R1, R2, R3 and M1)



Kuva 10. Bias analyysiin käytetyt kuvat

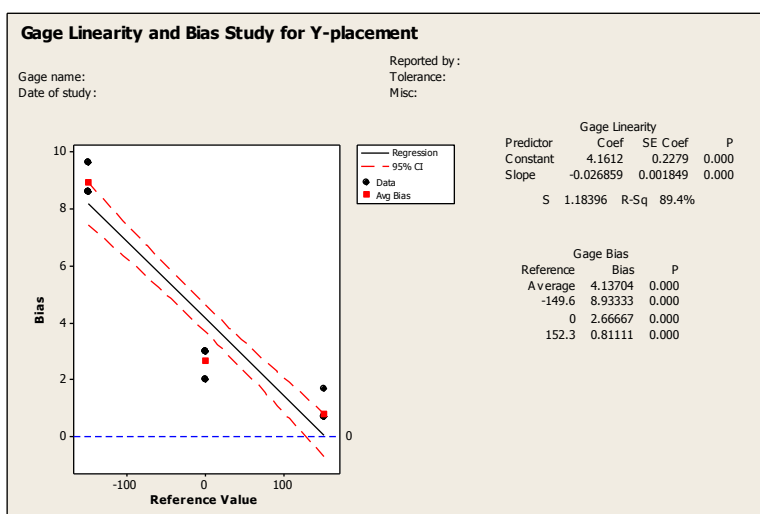
Näyteosa tarkastettiin yhdeksän kertaa jokaisen komponentin x- ja y-suunnasta, sekä rotaatiosta. Tulokset syötettiin Minitabin taulukkoon, josta laskettiin virhe suhteessa oikeaan positioon eli bias ja myös lineaarisuutta tarkasteltiin eli kuinka paljon virhe suhteessa oikeaan positioon lisääntyy siirryttäessä kauemmaksi keskipisteestä. Minitab käyttää analyysissä keskiarvostusta, jotta mittauksesta itsestään aiheutuva vaihtelu jäisi mahdollisimman pieneksi.

Alla olevassa kuvaajassa on tarkasteltu x-suunnan biasta ja lineaarisuutta. Bias eli virhe suhteessa oikeaan positioon on jokaisella mitatulla komponentilla hieman nollan alapuolella, mutta kuitenkin hyväksyttävissä. Kriteerinä käytettiin biakselle ± 10 um rajaa. Lineaarisuus myös hieman pienenee siirryttäessä x-suunnassa negatiiviseen suuntaan, mutta muutos on vain muutamia mikrometrejä.



Kuva 11. Minitab lineaarisuus ja bias analyysi X-suunnalle

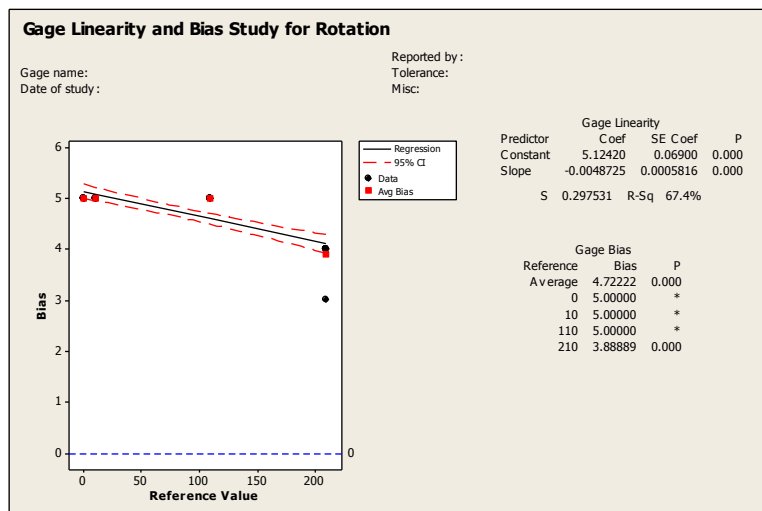
Seuraavassa kuvaajassa on tarkasteltu y-suunnan biasta ja lineaarisuutta. Bias eli virhe suhteessa oikeaan position on jokaisella mitatulla komponentilla hieman nollan yläpuolella, mutta kuitenkin hyväksyttävissä. Kriteerinä käytettiin biakselle ± 10 um rajaa. Lineaarisuus myös hieman suurenee siirryttäessä y-suunnassa negatiiviseen suuntaan, mutta muutos on vain muutamia mikrometrejä.



Kuva 12. Minitab lineaarisuus ja bias analyysi Y-suunnalle

Seuraavassa kuvaajassa on tarkasteltu rotaation biasta ja lineaarisuutta. Bias eli virhe suhteessa oikeaan position on jokaisella mitatulla komponentilla reilusti nollan yläpuolella ja ei läpäissyt annettuja kriteereitä. Kriteerinä käytettiin rotaatiolle ± 0.1 asteen rajaa (kuvaajassa arvo siis 1.0). Huomiona että kuvaajan arvot ovat asteen kymmenesosia. Lineaarisuus näyttäisi pienentyvän mitä enemmän komponentti on kääntynyt,

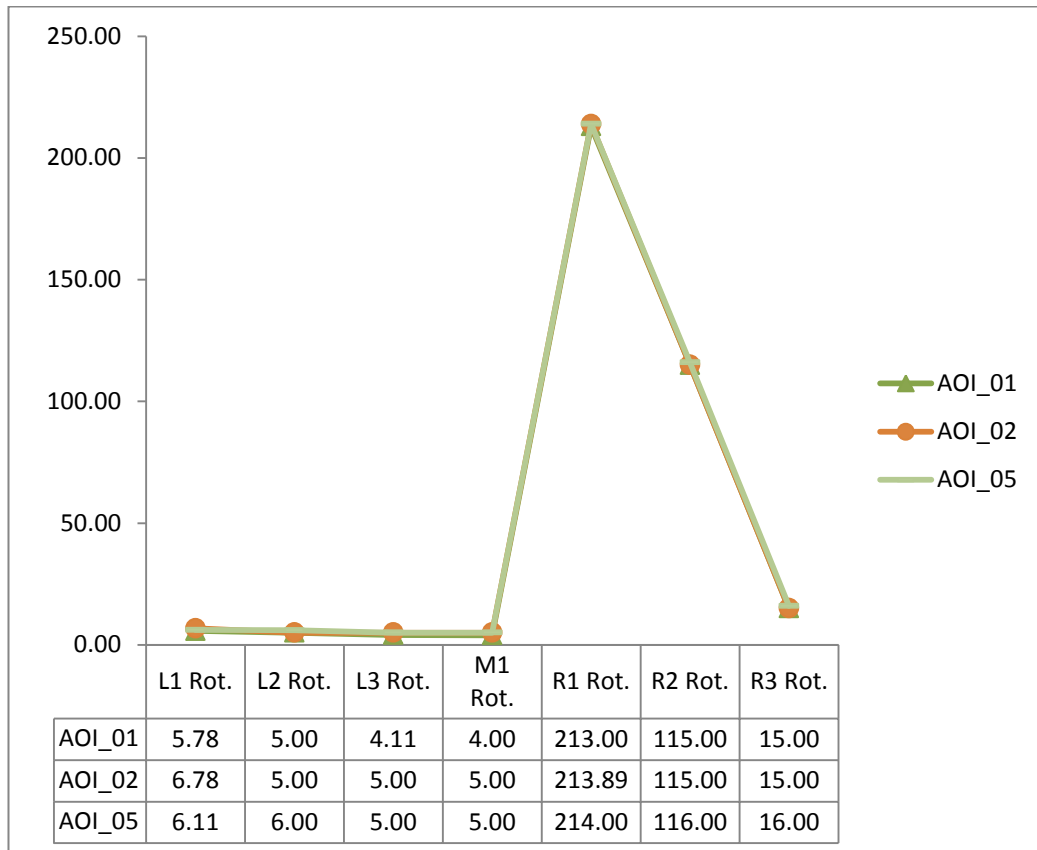
mutta tulokset eivät ole luotettavia, koska datapisteet eivät näytä asettuvan lineaarisesti.



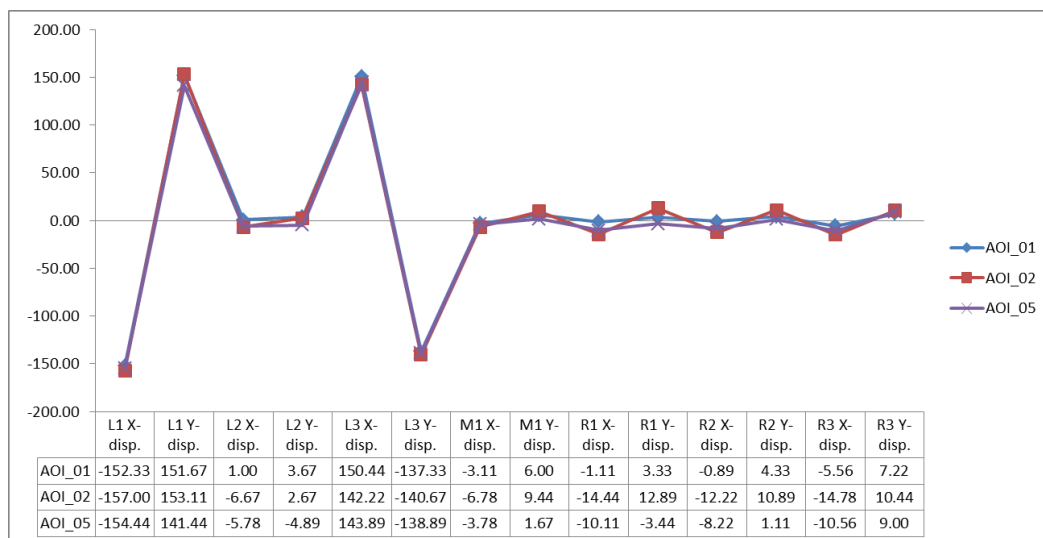
Kuva 13, Minitab lineaarisuus ja bias analyysi rotaatiolle

Hylätty tulos tutkittiin tarkemmin ja juurisyyksi selvisi ohjelmassa oleva virhe, joka antoi virheellisesti rotaation tulokset, jotka näyttivät olevan suhteessa levyn rotaatioon. Tulokset kommunikointiin laitevalmistajalle ja heidän analysoinnin jälkeen varmistui että kyseessä oli ohjelmavirhe. Ohjelmavirhe ei kuitenkaan valmistajan mukaan aiheuttanut varsinaiseen tarkastukseen virhettä vaan kyseessä oli virhe jonka ohjelma antoi tilassa jossa analysointi tapahtui.

Samanlaisia laitteita myös vertailtiin saman näyteosan avulla. Alla olevassa kuvaajassa vertailtiin kolmea samanlaista laitetta keskenään ja voidaan nähdä että tulokset laitteiden välillä olivat rotaation osalta lähes täysin samat. X- ja y-suunnassa näkyy pientä vaihtelua laitteiden välillä. Laitteet pitäisivät olla täysin samanlaisia, mutta kuitenkin pieniä eroja on havaittavissa tuloksissa. Tämä voisi johtua siitä että laitteet ovat kalibroitu eri aikoihin ja jonkin verran ajan kanssa tulokset hieman lähtevät valumaan. Syyinä valumiseen voisi olla valaistuksen muuttuminen tai kameran siirtäjien akselien paikoituksen muuttuminen. Voi myös olla että kalibrointi ei anna identtistä tulosta jolloin pientä eroa jää laitteiden välille. Ero on kuitenkin niin pieni että se ei käytännössä aiheuta mitään eroa itse tuotteiden tarkastukseen laitteiden välillä. Jos kuitenkin valumista tapahtuisi enemmän, niin se alkaisi jo näkyä varsinaisessa tuotteiden tarkastuksessa. Tämän takia stabiiliuden tarkastelu on tärkeää jotta voidaan ajoissa reagoida muutoksiin ennen kuin muutokset aiheuttavat liikaa virhettä itse varsinaiseen tuotteiden tarkastukseen. Laitteiden välistä eroa on tarkasteltu tarkemmin kappaleessa 6.5.



Kuva 14. Kiertymän referenssiarvojen vertailu eri koneiden välillä



Kuva 15. X- ja Y-paikoitusten referenssiarvojen vertailu eri koneiden välillä

6.3 Toistettavuus analyysi

Toistettavuustestin avulla katsottiin kuinka hyvin tulokset pysyvät samoina kun samaa näyteosaa mitattiin useaan kertaan. Mittauksessa ei käytetty keskiarvostusta vaan vaihtelu haluttiin saada näkyviin.

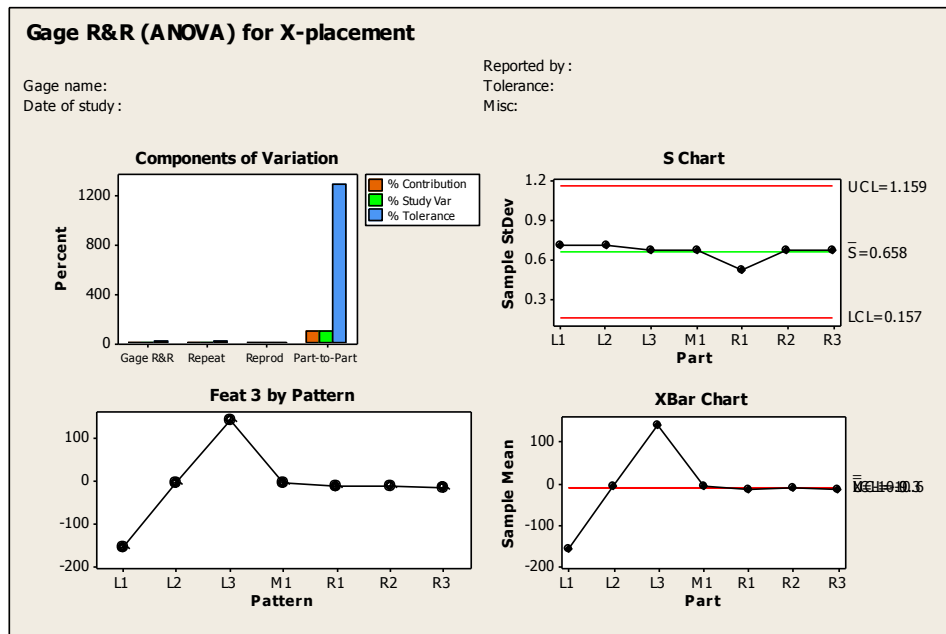
Mittauksen asettelu tehtiin niin että yksi operaattori tarkasti koneella samaa näyteosaa 9 kertaa. Tutkittavina kohteina olivat x- ja y-paikoitus sekä kiertymä. Kaikkia näyteosan komponentteja tarkasteltiin (L1, L2, L3, M1, R1, R2 ja R3).

Alla olevasta kuvaajasta nähdään x-paikoituksen tulokset. Analyysityökaluna käytettiin Minitab ohjelmaa. Rajoina laskentaa varten käytettiin ± 20 um (USL, LSL) mikä on tiukka raja suhteessa oikeisiin tarkastuksessa käytettyihin rajoihin. Kuvaajassa vasemman yläkulman palkkidiagrammi kuvaa mistä vaihtelun lähde johtuu. "Part-to-part" on selvästi hallitseva mikä tarkoittaa sitä että vaihtelun lähde tapahtuu näyteosassa itsessään, joka on hyvä asia. Jos toistettavuus (repeatability) olisi hallitseva, niin tällöin valtaosan vaihtelusta aiheuttaisi mittalaite. Jos taas toistettavuus (reproducibility) olisi hallitseva, niin tällöin operaattori aiheuttaisi vaihtelun.

Kuvaajassa oikealla ylhäällä oleva "S-chart" kertoo, että pysyykö komponenttien (L1-R3) sigma laskettujen kontrollirajojen sisällä ja onko mittaus stabiili.

Kuvaajassa vasen alakulma näyttää kaikkien yksittäisten mittausten tulokset. Tulokset ovat hyvin nipussa jokaisella komponentilla, joka tarkoittaa sitä että mittaus on hyvin toistettava.

Kuvaajassa oikealla alakulmassa kuvataan jokaisen komponentin kaikkien mittausten keskiarvot (XBar chart). Nähdään että ne ovat hyvin linjassa yksittäisten tulosten kanssa.



Kuva 16. X-suunnan toistettavuuden tulokset

Alla on kuvattuna numeerisessa muodossa tulokset. X-suunnan mittauksen keskihajonta eli sigma on noin 0.66 μm ja kuuden sigman hajonta noin 4 μm , mikä tarkoittaa sitä että 99.73 % tuloksista osuu tälle alueelle. Keskihajontaan vaikuttaa vain mittalaitteen hajonta ja operaattorin aiheuttamaa vaihtelua ei käytännössä ole. Valituilla tiukoilla toleranssirajoilla % Tolerance arvo on alle kymmenen mikä tarkoittaa sitä että mittaus on toistettava ja ei vaadi mitään toimenpiteitä. Jos tulos olisi yli 10 mutta pienempi kuin 30 voitaisiin tulos hyväksyä ehdolla että se ei vaikuttaisi liikaa. Jos taas tulos olisi yli 30, pitäisi toistettavuudesta hylätä.

Gage R&R

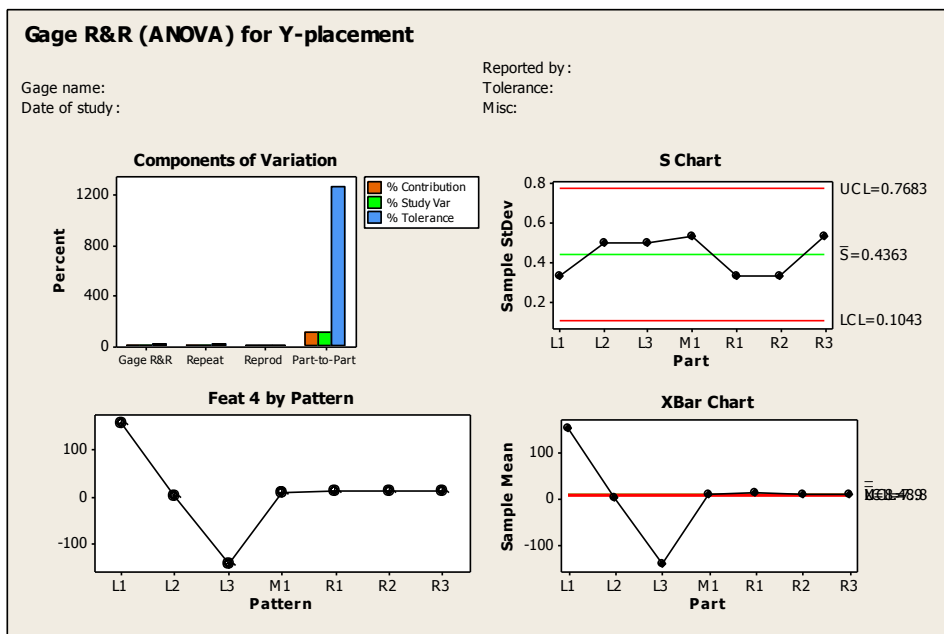
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.44	0.01
Repeatability	0.44	0.01
Part-To-Part	7474.89	99.99
Total Variation	7475.32	100.00

Process tolerance = 40

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.6607	3.964	0.76	9.91
Repeatability	0.6607	3.964	0.76	9.91
Part-To-Part	86.4574	518.745	100.00	1296.86
Total Variation	86.4599	518.760	100.00	1296.90

Number of Distinct Categories = 184

Alla olevasta kuvaajasta nähdään y-paikoituksen tulokset. Tässäkin tulokset näyttävät että suurin hajonta aiheutuu näyteosasta ja mittauksesta aiheutuva vaihtelu on pieniä.



Kuva 17. Y-suunnan toistettavuuden tulokset

Alla on kuvattuna numeerisessa muodossa tulokset. Y-suunnan mittauksen keskihajonta eli sigma on noin 0.45 μm ja kuuden sigman hajonta noin 2.7 μm , mikä tarkoittaa sitä että 99.73 % tuloksista osuu tälle alueelle.

Gage R&R

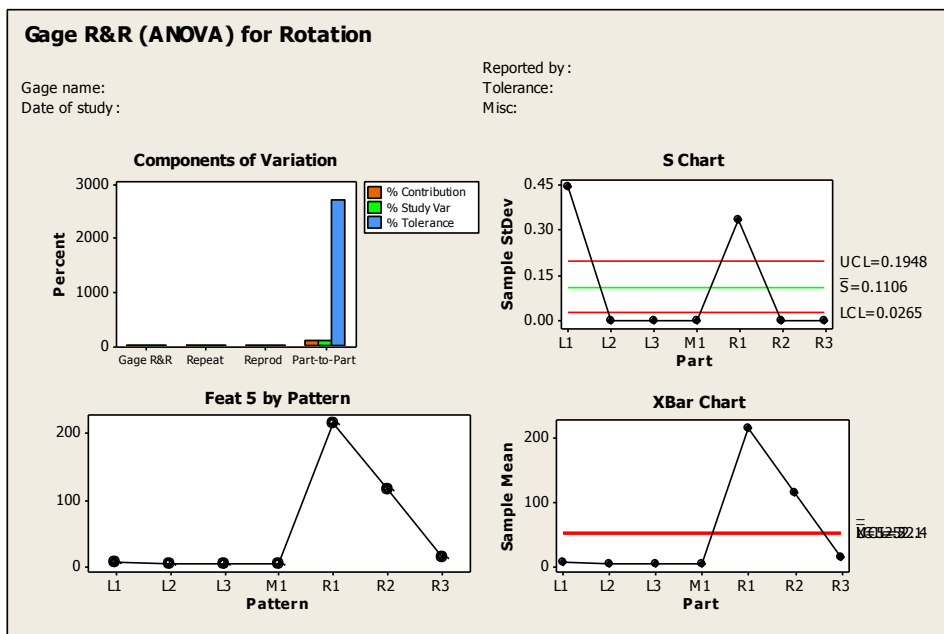
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.20	0.00
Repeatability	0.20	0.00
Part-To-Part	7204.42	100.00
Total Variation	7204.62	100.00

Process tolerance = 40

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.4454	2.673	0.52	6.68
Repeatability	0.4454	2.673	0.52	6.68
Part-To-Part	84.8789	509.273	100.00	1273.18
Total Variation	84.8800	509.280	100.00	1273.20

Number of Distinct Categories = 268

Alla olevasta kuvaajasta nähdään kiertymän tulokset. Tässäkin tulokset näyttävät että suurin hajonta aiheutuu näyteosasta ja mittauksesta aiheutuva vaihtelu on pientä. Huomiona että kiertymän tulokset ovat asteen kymmenesosa.



Kuva 18. Kiertymän toistettavuuden tulokset

Alla on kuvattuna numeerisessa muodossa tulokset. Kiertymän mittauksen keskihajonta eli sigma on noin 0.021 astetta ja kuuden sigman hajonta noin 0.13 astetta, mikä tarkoittaa sitä että 99.73 % tuloksista osuu tälle alueelle.

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.04	0.00
Repeatability	0.04	0.00
Part-To-Part	6702.94	100.00
Total Variation	6702.98	100.00

Process tolerance = 18

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.2089	1.254	0.26	6.96
Repeatability	0.2089	1.254	0.26	6.96
Part-To-Part	81.8715	491.229	100.00	2729.05
Total Variation	81.8717	491.230	100.00	2729.06

Number of Distinct Categories = 552

6.4 Stabiilius analyysi

Stabiilisuutta analysoitiin näyteosalla joka on kuvailtu kappaleessa 6.1. Stabiiliuden tarkasteluajana käytettiin yhtä kuukautta ja sen aikana tehtiin seitsemän mittausta alla olevan taulukon mukaisesti.

Tarkastus Nro.	Päivämäärä
1	27.6.2016
2	12.7.2016
3	13.7.2016
4	15.7.2016
5	18.7.2016
6	19.7.2016
7	20.7.2016

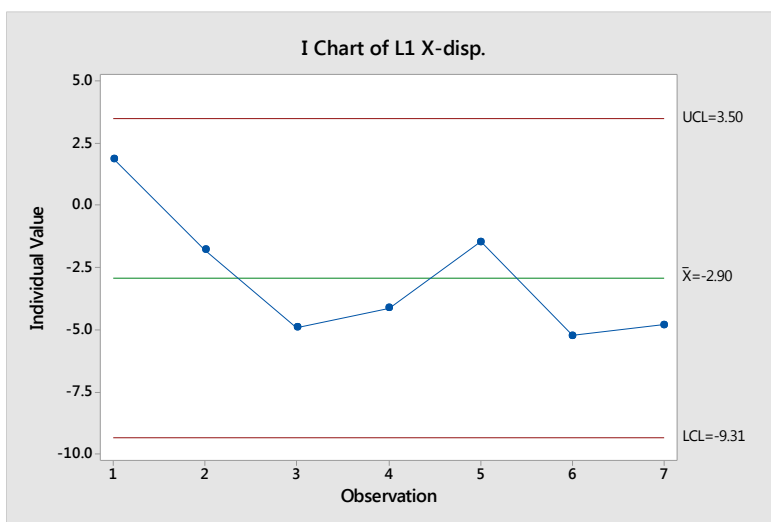
Taulukko 1. Stabiiliuden mittausajankohdat

Stabiiliutta analysoitiin biaksen muutoksena ajan funktiona. Tätä varten tehtiin alkumittaus, jossa asetettiin alkuarvot kullekin tutkittavalle komponentille. Tutkittavat parametrit olivat analyysissä x- ja y-paikoitus ja kiertymä. Jokaisella mittauskerralla osa mitattiin yhdeksän kertaa ja niistä laskettiin keskiarvo ja tulos vähennettiin alkumittauksen arvosta.

Tarkastelujakson päätyttyä tulokset analysoitiin. Analysointityökaluna käytettiin Minitab ohjelmaa. Kritisointiin käytettiin tarkastelujakson yksittäisten tarkastuskertojen keskiarvoa. Myös laskennallisten kontrollirajojen ylityksiä tarkasteltiin käyttäen Minitabin I-Chart kaaviota. Alla on esimerkki yhden komponentin mittauksista koko tarkastelujaksolla. Muiden komponenttien tulokset olivat samankaltaisia ja kaikkien komponenttien tulokset läpäisivät stabiiliusanalyysin annetuin kriteerein. Kuvaajien kontrollirajat ovat laskettu kaikkien näytteiden perusteella koko tarkastusajanjaksolta. Kontrollirajat tulee aina laskea uudelleen kun uusi mittaustulos lisätään. Minitab ohjelma laskee kontrollirajat automaattisesti seuraavalla kaavalla:

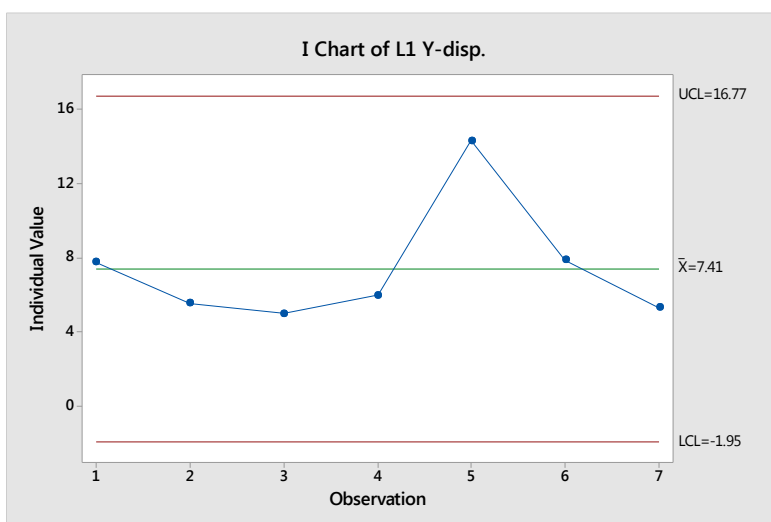
$$UCL = \bar{X} + 2.66 * \overline{MR}, \quad LCL = \bar{X} - 2.66 * \overline{MR}$$

Missä \bar{X} on mitattujen pisteiden keskiarvo koko tarkasteluajanjaksolta ja \overline{MR} on liikkuvan alueen keskiarvo.



Kuva 19. L1 komponentin x-suunnan vaihtelu

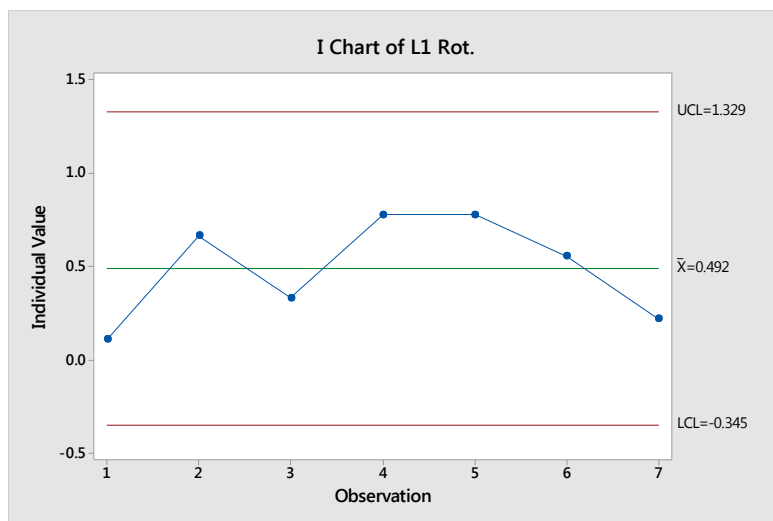
Kuten kappaleessa 6.3 kerrottiin, oli x suunnan toistettavuus 6 sigman tasolla noin 4 μ m. Kuvaajasta nähdään että vaihtelu on hieman suurempaa kuin toistettavuudesta aiheutuva, joten muutakin mittausjärjestelmässä tapahtuu. Tällä tarkasteluajanjaksolla ei kuitenkaan liikaa. Tuloksista myös nähdään että arvot heittelevät keskiarvon molemmin puolin, eivätkä lähde vain yhteen suuntaan.



Kuva 20. L1 komponentin y-suunnan vaihtelu

Kuten kappaleessa 6.3 kerrottiin, oli y suunnan toistettavuus 6 sigman tasolla noin 3 μ m. Kuvaajasta nähdään että vaihtelu on hieman suurempaa kuin toistettavuudesta aiheutuva, joten muutakin mittausjärjestelmässä tapahtuu. Tällä tarkasteluajanjaksolla tarkastelukerralla 5 on tapahtunut jotain poikkeavaa, mutta syy jäi epäselväksi. Lisäksi nähdään että seuraava tulos oli jo palannut normaalille tasolle. Tuloksista myös näh-

dään että arvot heittelevät keskiarvon molemmin puolin, eivätkä lähde vain yhteen suuntaan.

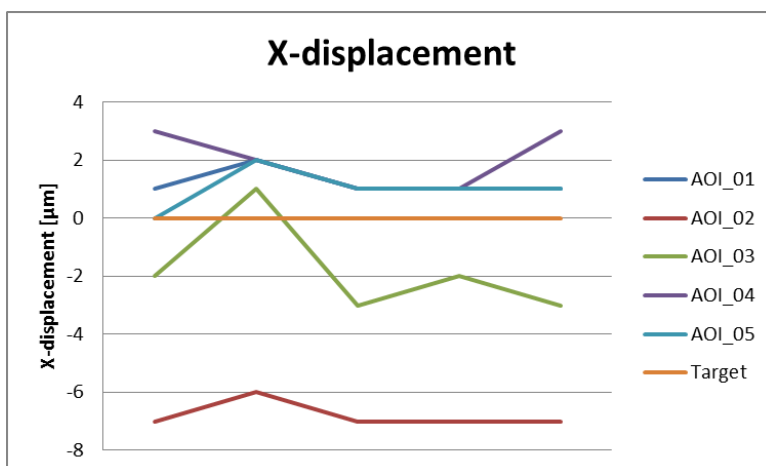


Kuva 21. L1 komponentin kiertymän vaihtelu

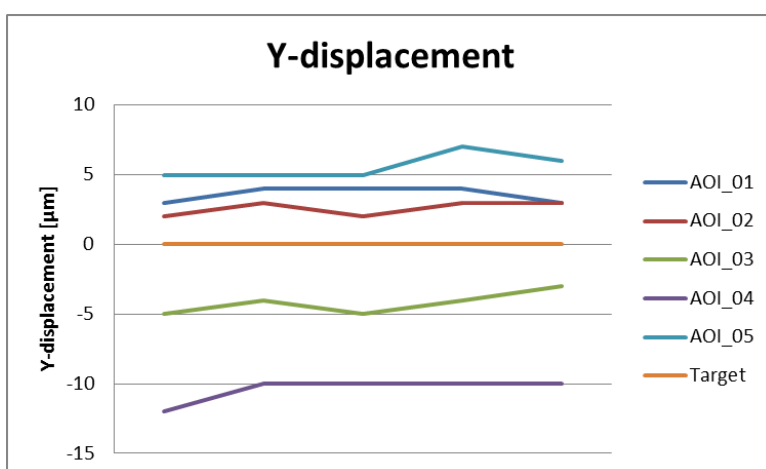
Kuten kappaleessa 6.3 kerrottiin, oli kiertymän toistettavuus 6 sigman tasolla noin 0.13 astetta. Kuvaajasta nähdään että vaihtelu on kokonaan toistettavuudesta aiheutuvaa. Tuloksista myös nähdään että arvot heittelevät keskiarvon molemmin puolin, eivätkä lähde vain yhteen suuntaan. Huomiona että kuvaajan vertikaaliakselissa tulokset ovat asteen kymmenesosissa.

6.5 Laitteiden vertailu näytelevyn avulla

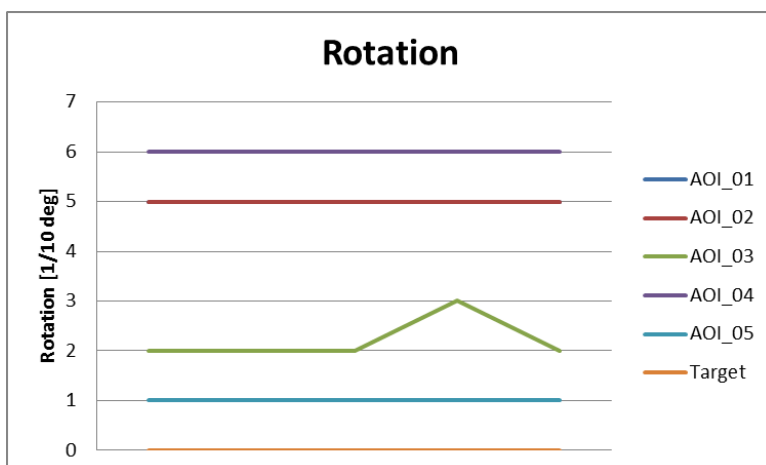
Näytelevyn huomattiin sopivan hyvin myös laitteiden väliseen vertailuun. Työssä vertailtiin viittä samanlaista laitetta keskenään. Kuten jo kappaleessa 6.2 todettiin, niin laitteiden välillä on eroja. Alla olevissa kuvaajissa on analysoitu tarkemmin eroja x-suunnassa, y-suunnassa ja kiertymänä. Laitteiden eroihin ei vaikuttanut kalibrointi jota kokeiltiin. Ongelma reklamoiitiin laitevalmistajalle ja pitkän analyysin tuloksena laitevalmistaja huomasi että jos kamera ei ole asennettu suoraan niin myös tulokset heittävät. Kiertymän virheen huomattiin olevan täysin sama kuin kamerasuunnituksen kiertymän virheen. Kiertymän virhe aiheuttaa myös virhettä x- ja y-paikoitukselle.



Kuva 22. X-suunnan virhe laitteiden välillä



Kuva 23. Y-suunnan virhe laitteiden välillä



Kuva 24. Kiertymän virhe laitteiden välillä

7 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja kehittää konenäköjärjestelmälle sen stabiilisuutta mittaava prosessi. Työn tuloksena kehitettiin näytelevy, jonka avulla stabiilisuutta tutkittiin. Näytelevyn avulla tutkittiin myös mittalaitteen toistettavuutta, lineaarisuutta ja tarkkuutta. Samanlaisia laitteita myös vertailtiin keskenään.

Projektissa saavutettiin riittävä datan laatu luotettavien tulosten analysoimiseksi. Laitteen todettiin olevan riittävän toistettava ja myös stabiili tutkitulla aikavälillä. Laitteen virhe kuitenkin tuntui olevan kohtuullisen suuri ja sen juurisyyhyn keskityttiin tässä työssä paljon. Juurisyyn selvittämiseksi apuna käytettiin vertailevaa tutkimista, missä samanlaisia laitteita vertailtiin keskenään. Laitteiden välillä oli myös huomattavia eroja virheessä. Laittevalmistajan kanssa tehtiin tiivistä yhteistyötä syyn selvittämiseksi. Lopulta syyksi selvisi laitteen kameran fyysinen kiertyminen, mikä aiheutti virheen ja myös eron laitteiden välillä.

Näytelevyä tullaan käyttämään myös jatkossa laitteiden stabiiliuden tarkkailuun, sekä osana uusien laitteiden hyväksyntäkriteerinä.

Jatkokehitystoimenpiteinä datan käsittelyn ja raportoinnin voisi automatisoida. Näin nopeutettaisiin analysointia ja välttyttäisiin manuaalisesta datan käsittelystä aiheutuville virheiltä.

Lähteet

- 1 Chin, Roland T. & Harlow, Charles A. 1982. Automated Visual Inspection: A Survey.
<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.metropolia.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4767347>. Luettu 25.3.2016
- 2 Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation 2010. Measurement system analysis. Fourth Edition.
- 3 Karjalainen, Tanja & Karjalainen, Eero E 2002. SIX SIGMA. Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Quality Knowhow Karjalainen Oy, Hollola.
- 4 Gupta, Brishman C & Walker, H.Fred 2007. Statistical Quality Control for the Six Sigma Green Belt. ASQ Quality Press, USA. ProQuest ebrary. Ilmestynyt ensimmäisen kerran 2007. Luku 7: Measurement System Analysis.
<Http://site.ebrary.com.ezproxy.metropolia.fi/lib/metropolia/detail.action?docID=10907779&p00=statistical+quality+control+six+sigma+green+belt>. Luettu 4.10.2015
- 5 Andersson, Paul H. & Tikka, Heikki 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. WSOY, Porvoo.
- 6 Ashok, Sivaji 2006. Measurement system analysis.
<Http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.metropolia.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1581245>. Luettu 4.10.2015
- 7 Dalalah Doraid & Diabat Ali 2015. Repeatability and reproducibility in med labs: a procedure to measurement system analysis.
<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.metropolia.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7296772>. Luettu 28.3.2016