

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Juko Ryyänen

PROSESSIEN JA KONEIDEN SUORITUSKYKYJEN MITTAUS

Opinnäytetyö

Syyskuu 2018



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Syyskuu 2018**  
**Kone- ja tuotantotekniikan**  
**koulutusohjelma**  
Karjalankatu 3  
80230 JOENSUU  
013 260 600

Tekijä(t)  
Juko Ryyänen

Nimeke  
Prosessien ja koneiden suorituskyvyn mittaus

Toimeksiantaja  
Abloy Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyö toteutettiin Abloy Oy:n Joensuun Door Control -liiketoimintayksikössä. Työ kohdistui ovensulkimien osavalmistukseen männän hionnassa ja rungon koneistuksessa. Opinnäytetyössä tutkittiin useampien eri koneiden ja prosessien kykyä tuottaa riittävää laatua. Tätä tarkasteltiin sekä lyhyemmällä ajanjaksolla, jolloin vaihtelua aiheuttavia muuttujia oli vähemmän, että pidemmällä ajanjaksolla, jolloin vaihteluun vaikutti useampi eri muuttuja. Laaduntuottokyvyn mittaaminen riittävällä tarkkuudella edellytti perinpohjaista mittausjärjestelmän tarkkuuden ja suorituskyvyn tutkimusta.

Mittausjärjestelmän tutkimuksessa ilmenneet epäkohdat johtivat kehitystoimenpiteisiin, joilla pystytään jatkossa vähentämään vaihtelua mittaustuloksissa. Myös prosessien suorituskykymittauksissa ilmeni erityisyyppoikkeamia, joita ryhdyttiin tutkimaan. Selkeää syytä niiden syntyyn ei kuitenkaan tällä aikataululla pystytty tunnistamaan.

Opinnäytetyön rajaus muuttui hieman työn aikana. Alkuperäinen työn rajaus oli ottaa tilastollinen prosessinohjaus käyttöön männänhiontasolussa. Alkuperäisistä olettamuksista huolimatta tätä ei olisi ollut mahdollista toteuttaa sovitussa aikataulussa, joten rajaus supistettiin. Lopputuloksena saadut tutkimuksen tulokset olivat informatiivisia ja tyydyttivät toimeksiantajan tarpeen.

Kieli  
suomi

Sivuja 43

Asiasanat  
mittausepävarmuus, SPC, vaihtelu, Six Sigma, suorituskyky



**THESIS**  
**September 2018**  
**Degree Programme in Mechanical and  
Production Engineering**  
Karjalankatu 3  
FI 80230 JOENSUU  
FINLAND  
013 260 600

Author (s)  
Juko Rynnänen

Title  
Measuring Process and Machine Capability

Commissioned by  
Abloy Oy

**Abstract**

This thesis was carried out at Abloy Oy Door Control business unit in Joensuu. The thesis focuses on the part manufacturing of door closers in piston grinding and body machining. In this thesis, the ability of different machines and processes to produce the quality needed was studied. This ability was observed both in a shorter period of time, in which case there were fewer variables causing variation, and in a longer period of time, in which case there were more variables causing variation. In order to measure the ability to produce quality sufficiently accurately required a thorough investigation of the measurement system and capability.

The faults in the measurement system led to actions to improve the system in order to minimize variation in it. There were also some special cause variations in the measurement of capability, which were also studied. A clear reason for them could not be found in this short period of time.

The scope of the thesis changed a little during the study. The original aim was to put the statistical process control into use in the piston grinding cell. Despite the original assumptions, this would not have been possible on the agreed schedule, so the scope of the thesis was reduced. In conclusion, the results of the thesis were informative enough and satisfied the needs of the client.

Language  
finnish

Pages 43

Keywords  
measurement uncertainty, SPC, variation, Six Sigma, capability

# Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Työn kuvaus.....	5
1.2	Opinnäytetyön rajausta.....	5
2	Yrityksen esittely.....	6
3	Six Sigma.....	7
3.1	Six Sigman taustat.....	7
3.2	Ensiaskleet Six Sigmaan.....	8
3.3	DMAIC -menetelmä.....	9
4	SPC eli tilastollinen prosessinohjaus.....	10
4.1	SPC:n historia.....	10
4.2	Normaalijakauma.....	12
4.3	Valvontarajat ja vaatimusrajat.....	13
5	Valvontakortit.....	13
6	Valvontakorttien tulkinta.....	15
7	Mittausepävarmuus.....	19
7.1	Mittausjärjestelmän suorituskyky.....	19
7.1.1	Kohdistus.....	20
7.1.2	Toistettavuus.....	21
7.1.3	Uusittavuus.....	22
7.1.4	Pysyvyys.....	22
7.1.5	Lineaarisuus ja epälineaarisuus.....	23
7.2	Gage R&R -testi.....	24
8	Prosessin suorituskyky.....	25
8.1	Maksimisuorituskykyluku.....	26
8.2	Suorituskykyluku.....	26
9	Mittausjärjestelmän kartoitus.....	27
9.1	Lähtötilanne.....	27
9.2	Mittausjärjestelmän soveltuvuus prosessille.....	28
9.2.1	Uusittavuus ja toistettavuus.....	28
9.3	Mittausjärjestelmän kehitys.....	36
10	Suorituskykyjen mittaaminen ja analysointi.....	39
11	Pohdinta.....	46
	Lähteet.....	49

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn kuvaus

Sain toimeksiannon opinnäytetyölleni Abloy Oy:n Door Control -liiketoimintayksiköltä. Liiketoimintayksikkö valmistaa laadukkaita ovensuljintuotteita kuluttajille ympäri maailman. Yksikössä oli otettu käyttöön tilastollinen laadunhallinnan järjestelmä jo aiemmin sekä mitattuja tuloksia näyte-eristä oli tallessa jo lyhyeltä ajanjaksolta. Tehtävänäni oli ovensulkimen osavalmistusprosessin suorituskyvyn mittaaminen ja seuranta. Ovensulkimen kokoonpanovaiheessa oli törmätty ongelmiin tiettyjen osien yhteensopivuudessa pienistä välyksistä johtuen. Liiketoimintayksikkö halusi selvittää pystyvätkö laitteet tuottamaan vaatimuksenmukaisia osia ja pystytäänkö tuotteet mittaamaan olemassa olevilla mittalaitteilla riittävän tarkasti.

## 1.2 Opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyöni rajattiin Door Control -liiketoimintayksikössä siten, että tutkittaviksi osiksi valittiin vain yhden koneistuskeskuksen ja männänhiontasolun valmistamat osat. Nämä valmistettavat osat kuuluvat ovensulkijaan, jossa kokoonpano oli törmännyt yhteensopivuusongelmiin. Mittalaitteista opinnäytetyöhöni rajautui ainoastaan yksi tuotantomittauksiin käytettävä mittalaite. Tutkimukseni rajautuivat koneiden laaduntuottokyvyn sekä prosessin laaduntuottokyvyn mittauksiin ja analysointiin. Näiden mittaaminen edellytti mittausjärjestelmän suorituskyvyn arviointia. Tämä tarkoitti muun muassa uusittavuuden ja toistettavuuden osuuden selvittämistä mittauksen kokonaisvaihtelusta Gage R&R -menetelmällä. Tämän lisäksi mittausjärjestelmästä tutkittiin pisyvyys ja kohdistusvirheet. Toimeksiantajan kanssa keskusteltiin tutkimusten lisäksi myös mahdollisista kehitystoimenpiteistä. Ensisijaisena tehtävänä oli kuitenkin prosessien ja koneiden suorituskykylukujen laskeminen.

## 2 Yrityksen esittely

Abloy Oy on suureen ruotsalaiseen Assa Abloy -konserniin kuuluva lukko- ja ovensuljinvalmistaja. Assa Abloy on oviympäristöratkaisujen maailman kärkeä, joka tarjoaa asiakkailleen helppokäyttöisiä ja turvallisia sovelluksia ovien avaamiseen ja sulkemiseen. Asiakkaiden korkea luottamus on ansaittu pitkäjänteisellä työllä, innovatiivisilla ratkaisuilla ja jatkuvalla kehityksellä. Abloy on onnistunut luomaan brändin, johon luotetaan sekä kansainvälisillä markkinoilla että kotimaassa. Brändin luomiseen on vaadittu pitkäjänteistä kehittämistä valmistamisen ja asiakaspalvelun saralla. Abloyn maailmanlaajuisesta asiantuntemuksesta vastaa jo 90 maata kattava jakeluverkko. Abloy Oy:n kokonaishenkilömäärä on noin 850, joista 700 työskentelee Suomessa ja 150 ulkomailla. Yrityksen liikevaihto vuonna 2016 oli n. 180 miljoonaa euroa. Abloylla on ainoastaan yksi tehdas Suomessa, Joensuussa. Osa Abloyn toiminnasta on kuitenkin Espoossa. (Abloy Oy 2018.)

Konttorikonemekaanikko Emil Henriksson keksi jo vuonna 1907 ensimmäisen periaatteen lukon toiminnalle, joka perustuisi pyöriviin koodilevyihin kuten sen ajan kassakoneet. Näin syntyi Abloyn ensimmäinen haittalevysylinteri, jota alettiin myydä kahden vuoden kuluttua keksinnöstä. Laajemmat toimet tuotannon aloittamiseen tehtiin vuonna 1918 Lukkotehdas Oy:llä. Nykyinen yritys Abloy Oy, jonka nimi johtaa juurensa Ab Lukko Oy:n alkukirjaimista, sai alkunsa vuonna 1919, jolloin ensimmäinen patentti Henrikssonin haittalevytoimintaan perustulle lukolle saatiin. Myöhemmin Abloy alkoi valmistaa lukkojen lisäksi myös ovensulkimia Joensuussa. (Abloy Oy 2018.)

### 3 Six Sigma

Six Sigma on tilastotieteeseen perustuva menetelmä, joka pyrkii tuotteiden vaihtelun pienentämisen kautta virheiden minimoimiseen. Vaihtelu aiheuttaa valmistusprosessissa hukkaa virheiden ja vikojen seurauksena. Lopputuloksena vaihtelun vähentyessä prosessin virtaus kasvaa. Six Sigma -projektin tavoitteena on parantaa prosessia järjestelmällisesti radikaaleilla mutta oikein kohdistetuilla muutoksilla. Muutosten kohteet havaitaan tutkimalla prosessin syysuhteita. Six Sigman tavoite ( $6\sigma$ ) on maailmanluokan suorituskyky eli alle 3,4 virhettä miljoonaa virhemahdollisuutta kohden (DPMO, Defects per million opportunities). Six Sigmassa työkaluna käytetään DMAIC-menetelmää, jonka tarkoituksena on järjestelmällisesti ratkaista ongelmia. Six Sigmassa asiakkaiden tarpeet ovat tärkeimpiä, koska asiakkaat määrittävät laadun. Insinööri Bill Smith esitteli Six Sigman ensimmäistä kertaa vuonna 1986 työskennellessään Motorolan alaisuudessa. (SixSigma 2017.)

#### 3.1 Six Sigman taustat

Vuonna 1978 Philip Crosby julkaisemassa kirjassa "Quality is Free" esitettiin ensimmäisen kerran idea nollavirheestä. Ideaa ei silloin kuitenkaan osattu vielä toteuttaa. Kirjassa Crosby käsitteli myös erilaisia laatuongelmia ja ongelmanratkaisumenetelmiä. Kirjan ansiosta Suomessa yli 30 vuotta sitten laatu muuttui tarkastuksesta aktiiviseen ohjaamiseen. "Laatu on ilmaista" -kirja oli ensimmäinen suomeksi käännetty laatukirja, joka muutti suomalaisten käsityksen laadusta. Kirjassaan Crosby pohti epäkohtaa, miksi aikaa käytetään niin paljon vikojen etsimiseen ja korjaamiseen, kun niiden ehkäiseminen alkujaan olisi kannattavampaa. Tämän innoittamana Suomessa alkoi suuri laatumenetelmien ja laatukoulutuksien ajanjakso.

1980-luvun loppupuolella ilmoille nousi uusi laatujohtamisen käsite TQM, kokonaisvaltainen laatujohtaminen sekä ensimmäinen laatujohtamismästandardi ISO 9000:1987. USA:n laivaston ilmavoimien käyttämä kokonaisvaltainen laatujohtaminen otettiin useassa yrityksessä Suomessa käyttöön ja laadusta tuli johtamisen työkalu. Samoihin aikoihin W. Edwards Deming julkaisi kirjan "Out of the Crisis",

jossa listattiin 14 laatujohtamisen teesiä. Uskottiin, että myös uuden laatujohtamismästandardin avulla laatu saataisiin nousuun. Näin ei kuitenkaan käynyt. Odotukset laadulle olivat suuret, mutta liiketoiminnalliset tulokset laadun kehittymisen seurauksena jäivät pieniksi. Ympäri maailman pohdittiin, mikä laadussa on vikana, vaikka lautupalkintoja jaettiin. Myöhemmin vuonna 1994 julkaisussa artikkelissa "Is TQM dead?" todistettiin, että laatujohtamiseen liittyvä ongelmanratkaisu ei riittänyt tuomaan liiketoiminnallista muutosta yrityksille. Hetki tämän jälkeen Malcom Baldrige -lautupalkinnon kriteerit muutettiin katsomaan yritysten tulosta ja asiakastyytyväisyyttä. Samaan aikaan, kun laadun uudelleenarviointi oli aloitettu, nosti vielä toistaiseksi tuntematon metodi Six Sigma päätään. (QK Karjalainen 2017.)

### **3.2 Ensiaskeleet Six Sigmaan**

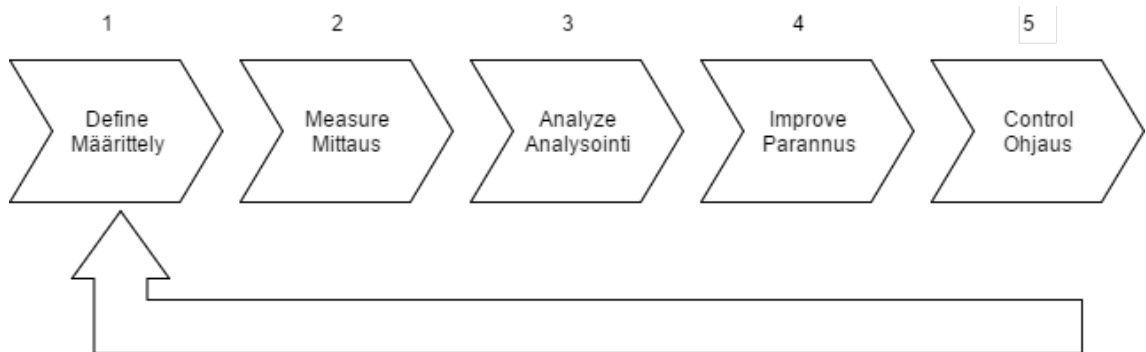
Six Sigman juuret yltävät kauas historiaan, kun Carl Frederick Gauss (1777-1855) kehitti nimensä mukaisesti konseptin Gaussin jakaumalle (normaalijakauma). Tätä käytetään Six Sigman määrittelyssä vielä nykyäänkin. Myöhemmin Walter Shewhart esitti, että kolmen sigman päässä keskiarvosta on piste, jolloin prosessi vaatii korjausta. Shewhartin mukaan kuuden sigman aluetta kutsutaan kohinaksi, joka on normaalia prosessin vaihtelua.

Six Sigma sai ensiaskeleensa vuonna 1984 Motorolassa, kun Mikel J. Harry ja Bill Smith loivat yhdessä työskennellessään metodin virheiden minimoimisesta vaihtelun pienentämisen avulla. He julkaisivat myöhemmin vuonna 1988 kirjan "The nature of Six Sigma quality". Six Sigman syntymäpäivänä pidetään 1987 tammikuun puoliväliä, kun Motorola julkaisi "Six Sigma Quality Program" -ohjelman, jonka tavoitteena oli saavuttaa alle 3,4 virhettä miljoonaa mahdollisuutta kohden. Ohjelma sai julkisuutta myöhemmin vuonna 1988, kun Motorola voitti kansainvälisen Malcom Baldrige -lautupalkinnon. 1990-luvun loppupuolella Six Sigmaa kehitettiin yhä ja sovellettiin laajalla alueella. Six Sigmaa sovellettiin myynnissä, suunnittelussa ja myös palvelussa. (QK Karjalainen 2017.)



### 3.3 DMAIC -menetelmä

DMAIC on ongelmanratkaisumenetelmä, jonka avulla löydetään prosessista järjestelmällisesti sen suorituskykyä parantavat tekijät. Niitä muuttamalla onnistuneesti saadaan prosessia parannettua. Lyhenne DMAIC tarkoittaa suomeksi määrittelyä, mittausta, analysointia, parannusta ja ohjausta (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Kuvassa 1 näkyy DMAIC prosessin vaiheet ja sen syklinen kierto viimeisestä vaiheesta ensimmäiseen. DMAIC parannussykli on ydintyökalu Six Sigma projekteissa. (SixSigma 2017.)



Kuva 1. DMAIC menetelmä.

Määrittelyvaihe on DMAIC prosessin ensimmäinen vaihe. Siinä tunnistetaan ongelma ja määritellään se mahdollisimman tarkasti. Tässä vaiheessa tulisi myös rajata ongelma sekä määritellä vaatimukset. Tavoitteen asettaminen kuuluu myös tähän vaiheeseen. Seuraavassa eli mittausvaiheessa vahvistetaan ongelma ja tunnistetaan jo sen mahdolliset aiheuttajat. Mittausvaiheessa kerätään ongelmasta mahdollisimman paljon tietoa, jota voidaan myöhemmässä vaiheessa käyttää hyväksi. Analysointivaiheessa tutkitaan aiemmassa vaiheessa kerätty tieto mahdollisimman tarkasti. Analysoinnin lopputuloksena olisi tarkoituksena saada selville prosessin ongelmalähteet. Analysointivaihetta seuraa parannusvaihe. Parannusvaiheessa ongelma koitetaan ratkaista jollain keinoin ja parannuksia lähdetään testaamaan käytäntöön. Viimeisenä vaiheena DMAIC prosessissa on ylläpito. Kun parannukset on saatu käytäntöön, on niitä ylläpidettävä, jotta ne eivät unohdu tai katoa ajan kuluessa. Yleensä ylläpitovaihe tarkoittaa jonkin järjestelmän luomista, jonka avulla tapahtuu esimerkiksi tarkastuksia tietyn väliajoin. (SixSigma 2017.)

## 4 SPC eli tilastollinen prosessinohjaus

SPC (Statistical Process Control) eli tilastollinen prosessinohjaus on yksi laatutyökalu useiden muiden seassa, jonka pyrkimyksenä on parantaa laatua. Tilastollinen prosessinohjaus perustuu tuotettavien tuotteiden tai palveluiden mittaamiseen ja tulosten ymmärtämiseen tilastotieteen avulla.

Prosessi on ihmisistä, materiaaleista, välineistä, metodeista, mittauksista ja ympäristöstä koostuva kokonaisuus, joka tuottaa jotain tuotetta tai palvelua. Prosessien lopputuloksissa esiintyy aina vaihtelua ja sitä ei voida kokonaan poistaa, mutta sitä voidaan ennustaa. Vaihtelun aiheuttajia on lukemattomia esimerkiksi jo vähänkin muuttunut lämpötila tai ilmankosteus voi vaikuttaa lopputulokseen. Vaihtelun syyt voidaan jakaa yleisiin ja erityisiin syihin. Yleiset syyt ovat normaaleita vaihtelun syitä, joita esiintyy jokaisessa prosessissa. Tällaista vaihtelua kutsutaan kohinaksi. Se ei ole haitaksi, jos se sijoittuu tasaisesti valvontarajojen sisään. Prosessia ei pysty ennustamaan, jos erityissyitä ilmenee. Ne kuitenkin usein pystytään korjaamaan pois prosessista, jos niiden aiheuttaja löydetään. Esimerkiksi kulunut tai rikkiäinen työkalu aiheuttaa epänormaalia vaihtelua prosessissa. Vaihtamalla uusi työkalu prosessi palautuu normaaliin tilaan.

Tilastollisen prosessinohjauksen päätarkoitus on pitää prosessi hallinnassa. Kun prosessin vaihtelussa ei esiinny erityisiä syitä, on prosessi hallinnassa ja tiedetään, että tuotetut tuotteet ovat valvontarajojen sisällä. Vaikka prosessi onkin hallinnassa, se ei välttämättä ole suorituskykyinen tai vakaa. Yleisin ja tärkein tilastollisen prosessinohjauksen työkalu on valvontakortti (engl. control chart). (Salomäki 1999, 145–149.)

### 4.1 SPC:n historia

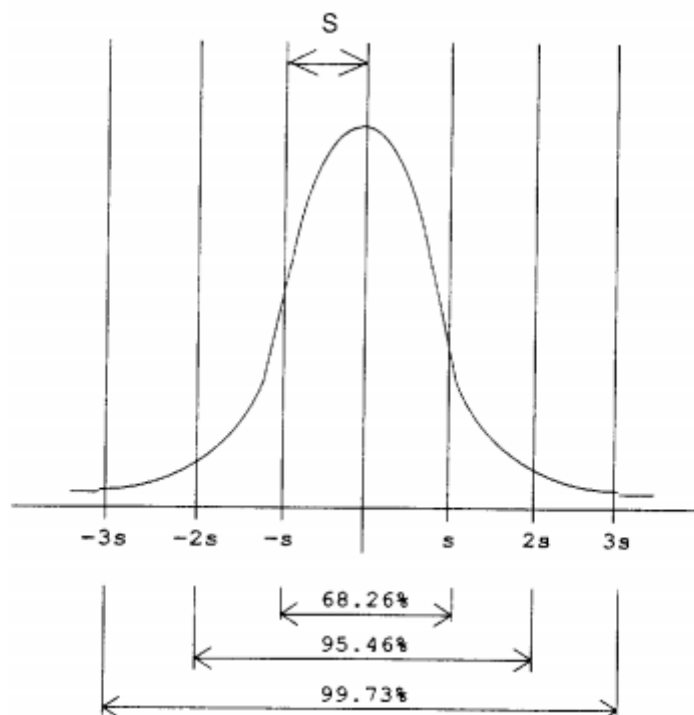
Walter Andrew Shewartia (s. 1891) pidetään tilastollisen laadunkehitystoiminnan keksijänä. Shewart kehitti idean SPC:stä työskennellessään puhelimien valmistukseen keskittyneessä Western Electricianin tehtaalla vuosina 1918-1924. Teh-

taalla työskennellessään Shewart perehtyi laadunvalvonnan esittämään ongelmaan, jossa laadun kannalta huonon tuotteen havainnon perusteella säätäminen ajoi prosessia useimmin vielä huonompaan suuntaan. Hän alkoi tutkia laadunvalvonnan tuloksia tilastollisesti ja huomasi niiden seuraavan normaalijakaumaa. Tämän huomattuaan hän ymmärsi, että tarkastusorganisaation kohtaamat laatuongelmat johtuivat prosessin liiallisesta vaihtelusta. Hyvässäkin prosessissa syntyi huonojakin tuotteita ja päinvastoin sekä tämä noudatti jakauman lakeja. Shewart esitti esimiehelleen ensimmäisen kehittämänsä valvontakortin vuonna 1924. Valvontakorttien avulla hän pystyi todistamaan, että prosessissa ongelmille on olemassa yleisiä ja erikoisia syitä. Prosessia ei tulisi säätää aina ongelman kohdatessa, vaan vaihtelun keskiarvon mukaan. Jokaiseen ongelmaan reagoimalla prosessi ajautuisi vain huonompaan suuntaan. Erikoiset syyt pitäisi osata erotella yleisien syiden joukosta, joten pystyttäisiin reagoimaan oikeisiin ongelma-kohtiin ja poistamaan ne. Prosessin suorituskyky mitataan sen vaihtelun leveyttä tarkastellen: jos vaihtelu on liian suurta, on kehitettävä prosessia, kunnes se mahtuu vaihtelun vaatimiin rajoihin. Suorituskykyisessä prosessissa vaatimusrajien ulkopuoliset syyt olisivat juurikin erityissyitä, jotka pitää tutkia ja poistaa. (Salomäki 1999, 150–151.)

Toisen maailmansodan aikana SPC:tä sovellettiin sodassa käytettävien patruunoiden testaamiseen. Tilastollisen laadunhallinnan käyttö Yhdysvalloissa kuitenkin vaimeni sotien jälkeen, kun kysyntä tuotteille oli kova eikä resursseista ollut pulaa. 1950-luvun alussa japanilaiset tutustuivat SPC:hen muun muassa amerikkalaisten asiantuntijoiden W. Edwards Demingin ja Joseph J. Juranin johdolla ja ottivat sen käyttöön pikapuoliin. Tämän avulla Japani sai kaikki resurssit tehokkaaseen käyttöön ja teollisuus kehittyi. Länsimaissa SPC:hen herättiin 1970-luvulla ja suuret kehitysprojektit laadun parantamiseen alkoivat. Erona japanilaiseen ajatteluun länsimaissa muutokset olivat suuria, kun taas Japanissa keskityttiin pieniin askeliin ja jatkuvaan kehitykseen. Suomeen tieto SPC:stä kantautui vasta 1980- ja 1990-luvulla kansainvälisen yhteistyön kautta. SPC:n merkitys on lisääntynyt jatkuvasti ja sitä pidetäänkin eniten arvostettuna laadunkehittämismenetelmänä. Tietokoneaikakauden saapuessa sen käyttö on helpottunut eri tietokonepohjaisten ohjelmien ansiosta ja siitä on tulossa prosessien jokapäiväinen työkalu. (Salomäki 1999, 151–152.)

## 4.2 Normaalijakauma

Normaalijakauman isänä pidetään saksalaista matemaatikkoa Karl Friedrich Gaussia, joka tähtitiedettä tutkiessaan keksi normaalijakauman. Normaalijakauma on tilastollisessa prosessinohjauksessa hyvinkin tärkeässä roolissa oleva kuvaaja. Se kuvaa arvojen sijoittumista jakauman keskiarvojen ympärille. Jakauman keskiarvon molemmin puolin on yhtä paljon arvoja. Eri jakaumien välillä vaihtelee jakauman leveys. Normaalijakauman määrittämisessä käytetään sen keskiarvoa ja standardipoikkeamaa ( $s$ ), usein myös sigma ( $\sigma$ ). Kuva 2 esittää standardoitua normaalijakaumaa ja sen arvojen jakautumista tasaisesti keskiarvon ympärille. Luonnossa monet asiat noudattavat likimäärin normaalijakaumaa. Tällaisia ovat esimerkiksi ihmisen pituus ja paino. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 3.)



Kuva 2. Standardoitu normaalijakauma. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 4.)

- $1 \sigma$  sisällä on 68.26 % mittaustuloksista
- $2 \sigma$  sisällä on 95.46 % mittaustuloksista

- 3  $\sigma$  sisällä on 99,73 % mittaustuloksista
- 4  $\sigma$  sisällä on 99.9937 % mittaustuloksista
- 5  $\sigma$  sisällä on 99.99943 % mittaustuloksista
- 6  $\sigma$  sisällä on 99.999998 % mittaustuloksista (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 3.)

### 4.3 Valvontarajat ja vaatimusrajat

Valvontarajat ovat SPC:ssä käytetyt laskennalliset rajat, jotka on yleensä laskettu kolmen sigman päähän keskiarvosta. Valvontarajat ilmaisevat alueen mihin prosessi luontaisesti kykenee. Tätä kutsutaan yleensä prosessin ääneksi. Valvontarajoja ei tule sekoittaa vaatimusrajoihin, jotka taas ilmaisevat yleensä tuotteen toiminnan kannalta tärkeät raja-arvot. Vaatimusrajoista voidaan käyttää myös nimitystä asiakkaan ääni.

Valvontarajoja käytetään tunnistamaan epänormaalit signaalit prosessista. Yleensä signaali ilmaisee hallitsemattomasta prosessista, joka ei toimi ennustettavasti. Tällaisiin signaaleihin tulisi reagoida, jotta prosessia voitaisiin jatkossakin ohjata. (Whatissixsigma 2018.)

## 5 Valvontakortit

Tilastollisen prosessinohjauksen tärkeimpänä työvälineenä pidetään valvontakortteja. Valvontakortteja käyttämällä saadaan selville prosessissa tapahtuvat muutokset. Pääasiassa prosessien seurannassa käytetään mitattavien suureiden eli muuttujien valvontaan tarkoitettuja kortteja. Esimerkiksi tuotteen halkaisijaa tai painoa mitataan ja tulokset kirjataan valvontakortille. Joissain tilanteissa käytetään myös attribuutti- eli ominaisuus- valvontaa (kyllä/ei) tarkoittaen onko esimerkiksi jokin tuote laadultaan hyväksyttävä vai ei. Attribuuttitietoa voi olla myös lukumäärätieto, esimerkiksi virheiden lukumäärä. Valvontakortin laatimiseen on nykypäivänä olemassa useita eri tietokoneohjelmia, mutta se on mahdollista tehdä myös käsin. Palvelu- ja tuotantoprosesseissa on lukemattomia tapoja käyttää eri valvontakortteja. Valvontakortit voidaan jaotella viiteen eri ryhmään Ronald J. Wheelerin mukaan:

- raporttivalvontakortit
- säättövalvontakortit
- kokeiluvalvontakortit
- seurantavalvontakortit
- jatkuvan parantamisen kortit.

(Salomäki 1999, 212–213.)

Valvontakorttien perusajatuksena on, että prosessista napataan tasaisin väliajoin näyte-eriä, jotka mitataan. Mittaustulosten perusteella valvontakortteihin piirretään käyrä, jonka avulla voidaan valvoa prosessin tilaa. Muuttujien valvontakortteihin asetetaan valvontarajat, yleensä kolmen sigman etäisyydelle. Jokaiselle valvontakorttityypille on omat laskukaavansa. Valvontarajojen ylitys ilmaisee todennäköistä häiriötä prosessissa.

Muuttujakorteissa seurataan jotain tuotteen tai prosessin mitattavaa suuretta. Suure voi olla esimerkiksi tuotteen halkaisija, tilavuus tai vaikka paino. Muuttujien valvonnassa yleisimmin käytettyjä valvontakorttityyppejä ovat:

- $\bar{x}/R$ -kortti, vaihteluvälikortti
- $\bar{x}/MR$ -kortti, Individual-kortti
- $\bar{x}/\bar{s}$ -kortti, keskihajontakortti
- $\bar{x}$ -kortti, yksittäisarvokortti.

Muuttujakortteja käytetään niin erävalmistuksessa kuin jatkuvassa valmistuksessa. Korttia käytetään, kun jokin suure voi saada erilaisia arvoja eri ajankohdalla.

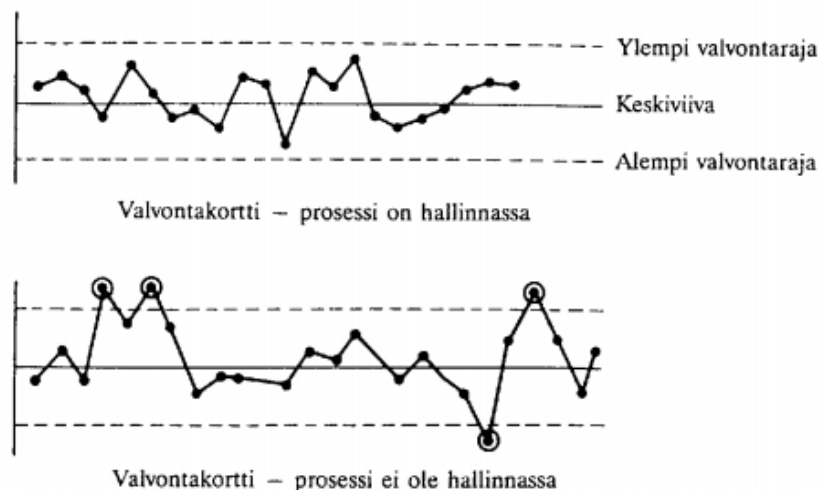
Attribuuttivalvontakortteja ei ole niin monia erilaisia kuin muuttujakortteja. Tärkeimmät niistä kuitenkin ovat:

- u-kortti
- np-kortti
- c-kortti
- p-kortti.

P- ja np-korteilla mitataan, kuinka monta määrättyllä ominaisuudella omaavaa näytettä on näyte-erässä. U- ja c-korteilla taas mitataan ominaisuuksien määrää näyte-erässä. U- ja c-korttien välinen ero on näyte-erän koossa. (Salomäki 1999, 214–217.)

## 6 Valvontakorttien tulkinta

Valvontakortteja käytettäessä on niitä myös osattava tulkita oikein, jotta niiden käytöstä hyödyttäisiin. Valvontakäyristä voidaan havaita kahdenlaisia ongelmia: ongelmia, joissa valvontarajat ylittyvät ja ongelmia, joissa valvontarajat eivät ylity, mutta prosessi ei silti ole hallinnassa. Jos valvontarajat ylittyvät on prosessissa tapahtunut muutos, joka täytyy selvittää ja on ryhdyttävä korjaaviin toimenpiteisiin. Syyn on aiheuttanut jokin erityisyys eikä prosessi ole enää hallinnassa. Prosessin muutoksia ennen valvontarajojen ylittymistä voidaan myös ennakoida oikealla valvontakäyrien tulkinnalla. Vaikka käyrä ei ylitä valvontarajoja, voi se olla poissa hallinnasta. Kuvan 3 valvontakortissa ylempi kuva esittää hallinnassa olevaa prosessia, jossa valvontarajat eivät ylity. Alemmassa kuvassa taas valvontarajat ovat ylittyneet, eikä prosessi ole enää hallinnassa. (Salomäki 1999, 310–314.)



Kuva 3. Valvontakortti. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 25.)

Hallinnassa olevan prosessin valvontakortissa esiintyy vain valvontarajojen väliin sijoittuvaa kohinaa. Vaikka valvontarajat eivät ylity, voidaan prosessi tulkita olevan poissa hallinnasta, jos tietyn kuvion piirteet esiintyvät käyrissä. Tällaisia prosessin muutoksia ja epähallittuja tiloja ovat siirtymä, suuntaus, jaksollinen vaihtelu, valvontarajojen lähestyminen ja vaihtelun vähyys. (Salomäki 1999, 310–314.)

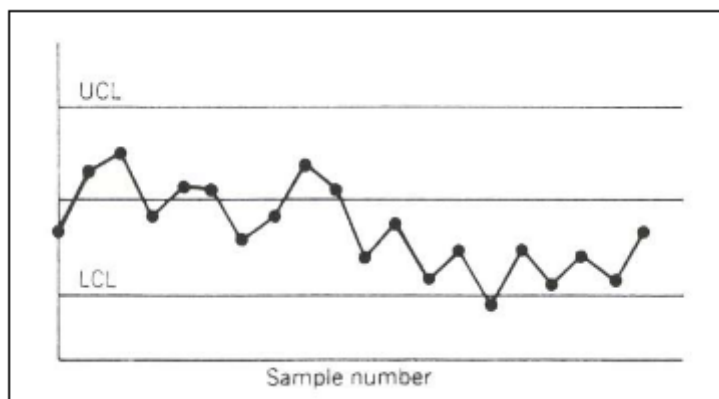
## Siirtymä

Prosessissa voi esiintyä keskiarvon siirtymistä toiselle puolelle keskiarvoa. Kuvassa 4 esitetyssä siirtymässä kymmenen pistettä kymmenestä on sijoittunut keskiviivan alapuolelle. Tämä tarkoittaa muutosta prosessissa eikä prosessi ole enää hallinnassa. Jo keskiarvon toiselle puolelle sijoittunutta seitsemää peräkkäistä pistettä pidetään epänormaalina. Epänormaalia on myös, jos keskiviivan toiselle puolelle sijoittuu:

- 10 pistettä 11 peräkkäisestä
- 12 pistettä 14 peräkkäisestä
- 16 pistettä 20 peräkkäisestä.

(Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 26.)

Siirtymä voi johtua uusista työntekijöistä, materiaaleista, metodeista tai koneista.

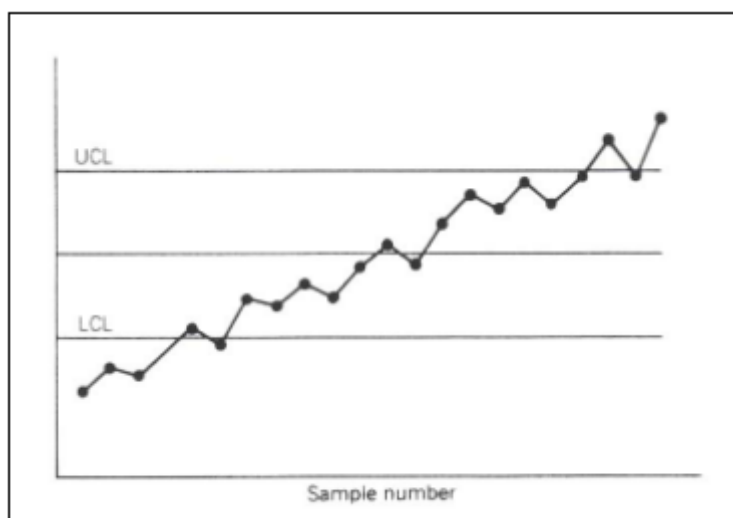


Kuva 4. Siirtymä. (Eastern Illinois University 2017.)



## Suuntaus

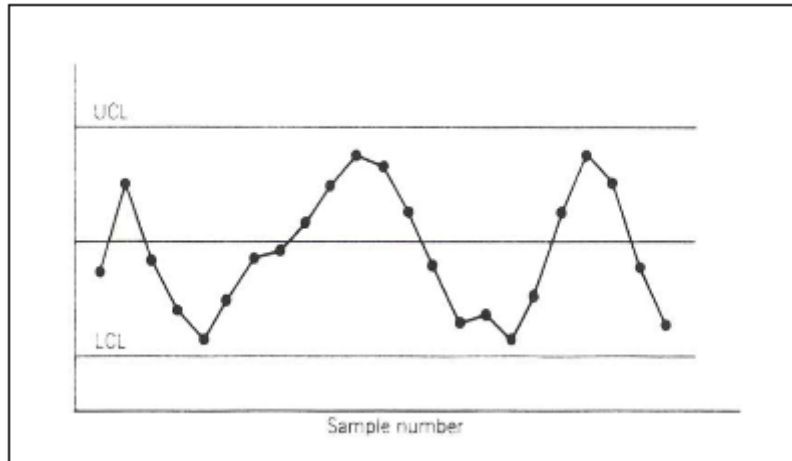
Suuntaus on jatkuvaa liikettä yhteen suuntaan, kuten kuva 5 esittää ylöspäin nousevaa suuntausta. Seitsemän peräkkäisen pisteen laskeva tai nouseva käyrä on epänormaalia. Seitsemän peräkkäisen pisteen suuntauksen todennäköisyys on vain 0,1 %. Suuntaus on hidasta muutosta prosessissa, joka voi johtua työkalun tai tärkeän komponentin kulumisesta tai ympäristöolosuhteiden heikentymisestä. (Eastern Illinois University 2017.)



Kuva 5. Suuntaus. (Eastern Illinois University 2017.)

## Jaksollinen vaihtelu

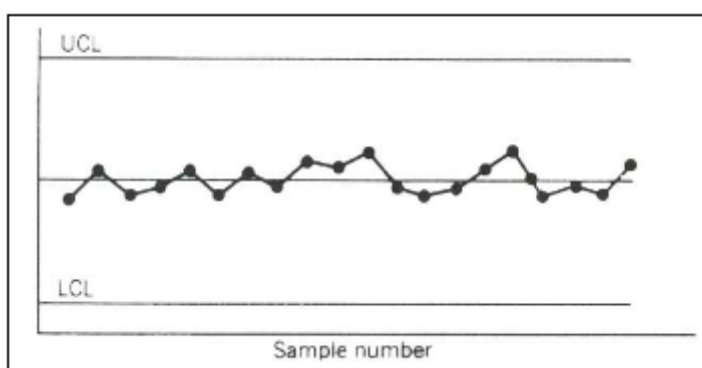
Epänormaalina tilana pidetään myös tulosten jaksollista vaihtelua. Kuva 6 esittää hyvin tyypillistä aaltokäyrää jaksollisesta vaihtelusta. Työntekijöiden vuorottelu sekä lämpötilan vaihtelu voivat aiheuttaa jaksollista vaihtelua. On huomattu myös, että laitteiden jaksotetut huollot saattavat piirtää tällaista käyrää valvontakortteihin. Jaksottaisen vaihtelun esiintyessä on tärkeää kirjata ylös jaksoaika ja esiintymistaajuus. Näiden avulla usein pystytään selvittämään mistä vaihtelu on peräisin. (Interpretation of X-bar and R charts. Eastern Illinois University. 2017.)



Kuva 6. Jaksollinen vaihtelu. (Eastern Illinois University. 2017.)

### Vaihtelun vähyys

Valvontarajojen välisen vaihtelun vähyys on epänormaali tilanne. Jos kohina sijoittuu todella kapealle alueelle valvontarajojen väliin, on syytä tehdä korjaavia toimenpiteitä. Normaalissa tilanteessa 67 % pisteistä pitäisi sijoittua 1,5 sigmaraajojen väliin. Jos kuitenkin reilusti useampi pisteistä sijoittuu tähän väliin, on todennäköistä, että valvontarajat on laskettu väärin. (Lähteenmäki ja Leiviskä 1998, 27.)



Kuva 7. Vaihtelun vähyys. (Eastern Illinois University 2017.)

## 7 Mittausepävarmuus

Prosessien lopputuloksen, tuotteen tai palvelun kelvollisuus tarkastetaan mittamalla se jollain keinolla. Mittauksen ainainen ongelma on kuitenkin se, että tarkimmallakin mittausmenetelmällä tulokseksi saadaan vain mitattavan kohteen likiarvo, koska mittausprosessi itse sisältää vaihtelua prosessin vaihtelun lisäksi. Todellinen ja luotettava kuva prosessista saadaan vain suorituskkyisellä mittausjärjestelmällä, jossa vaihtelu on mahdollisimman pientä ja tulokset tarkkoja. Tällöinkin saadulle mittaustulokselle tulee määritellä rajat, joiden sisällä mittaus tulokset ovat, esimerkiksi 95 % tai 99 % varmuudella, koska tulokset eivät ole absoluuttisia. Useiden eri sarjojen standardit kuten ISO9000 ja QS9000 vaativat, että mittausjärjestelmän mittausepävarmuus tunnetaan. Prosessin tehokkaaseen ohjaamiseen tarvitaan suorituskkyinen mittausjärjestelmä, jotta mittausepävarmuus ei aiheuta tarpeettomia tuotteiden hylkäämisiä, hylättävien tuotteiden hyväksymistä tai vääriä kehitystoimenpiteitä. (Salomäki 1999, 117–118.)

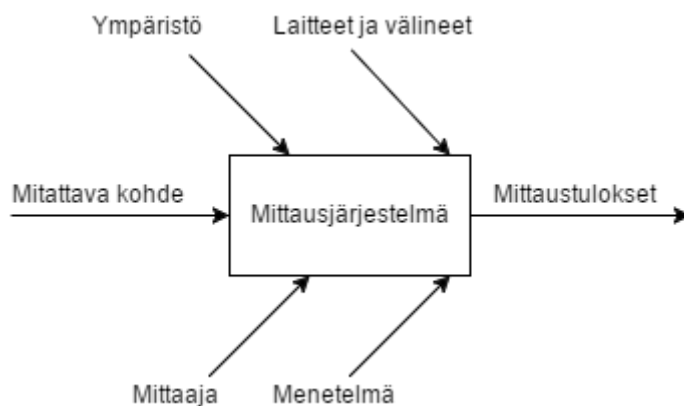
Luotettavin keino mittausprosessin suorituskvyn selvittämiseen on samojen näytteiden mittausten toistaminen. Luotettavalla mittausprosessilla saman henkilön pitäisi saada samasta näytteestä aina sama tulos, mutta tämä ei käytännössä ole vielä mahdollista nykyteknologialla mittauksesta johtuvan epävarmuuden vuoksi. Useamman mittaajan ottamisella mukaan saadaan mittausprosessista ulos vielä mittaajista johtuva vaihtelu lopputuloksessa. (Salomäki 1999, 118.)

### 7.1 Mittausjärjestelmän suorituskky

Mittausprosessia voidaan pitää luotettavana, kun sen kokonaisvaihtelu on korkeintaan 10 % prosessin toleranssialueesta. Mittausepävarmuuden selvittämisessä Gage R&R -testit ovat hyvin tunnettuja. Mittausjärjestelmän suorituskvyn vaikuttaa hyvinkin moni eri tekijä. Tärkeimpiä suorituskvyn vaikuttavia tekijöitä ovat kohdistus, toistettavuus, uusittavuus, pysyvyys, lineaarisuus, epälineaarisuus, näytevaihtelu ja näytteen vaihtelu. Myös mittausepävarmuuden määrittelyseen sisältyy mittausepävarmuutta. Kuva 8 esittää mittausjärjestelmän syötteitä

ja ulostulona saatavaa mittaustulosta. Ideaalissa tilanteessa mittaussysteemissä mitattavan kohteen tulos olisi aina tosimitta, eikä siihen vaikuttaisi vaihtelu tai kohdistusvirheet.

Mittaussysteemää pidetään vakaana, kun siihen ei vaikuta erikoissyyt ajan mitaan. Systeemän vakaus todetaan ohjauskaaviolla, jossa samaa mittanormaalialia tai tunnettua kappaletta on mitattu useita kertoja pitkällä aikajänteellä. (Barrentine 2003, 7-15.)



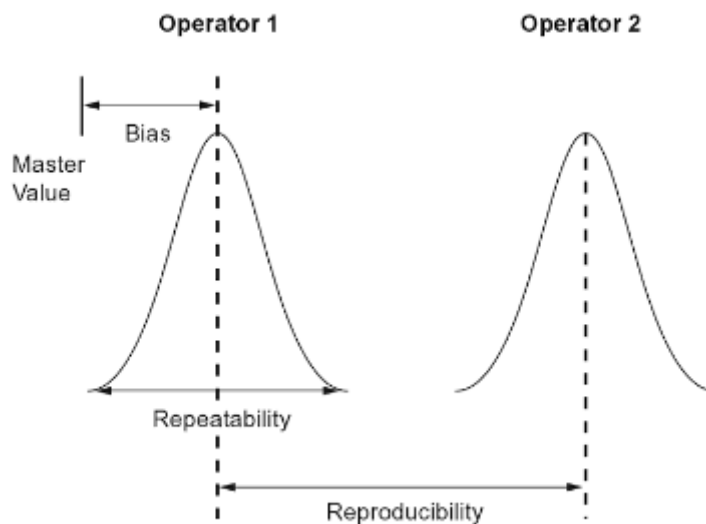
Kuva 8. Mittausprosessi.

### 7.1.1 Kohdistus

Kohdistuksella (engl. bias) tarkoitetaan mittaussysteemän antaman tuloksen poikkeavuutta todellisesta mitasta. Hyvällä kohdistuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa kerta toisensa jälkeen mitatut tulokset sijoittuvat lähelle tosimittaa, eli poikkeama todellisesta mitasta on pieni. Huonolla kohdistuksella mitatut tulokset eivät sijoitu tosimitan ympärille tasaisesti. Tuotteen tosimittaa ei pysty varmaksi tietämään, mutta se voidaan arvioida esimerkiksi ottamalla keskiarvo selvästi tarkemman mittalaitteen antamista tuloksista. On myös mahdollista käyttää mitta-normaalialia, joka vastaa tilannetta mahdollisimman hyvin, esimerkiksi mittapalaa. Kohdistusvirhe on systemaattinen ja se korjataan kalibroimalla laite oikein. Ku- vassa 9 Master value esittää tosimittaa tai tarkalla mittalaitteella mitattujen tulosten keskiarvoa. Kohdistusvirhe on mittaajan 1 (Operator 1) saamien mittaustulos- ten keskiarvon ja tosimitan välinen etäisyys.

Esimerkiksi jos lämpömittari näyttää 15 °C lämpötilan tosimitan ollessa 17 °C ja 32 °C tosimitan ollessa 34 °C. Tällöin kohdistusvirhe on 2 °C ja tämä voidaan korjata kalibroimalla laite oikein. (Salomäki 1999, 136-137.)

$$\text{Kohdistus} = m(\text{tosimitta}) + b$$



Kuva 9. Kohdistus, toistettavuus ja uusittavuus. (Joglekar 2003, 242.)

### 7.1.2 Toistettavuus

Toistettavuudella (engl. repeatability) tarkoitetaan hajontaa, joka syntyy saman henkilön mitatessa samaa tuotetta useita kertoja samoissa olosuhteissa. Toistettavuusvirheet mukailevat yleensä lähes normaalijakaumaa. Hyvä toistettavuus tarkoittaa, että sama mittaja saa lähes saman tuloksen joka kerta mitattavasta kohteesta samoissa olosuhteissa samalla mittalaitteella sekä lyhyellä aikavälillä. Tämä harvoin kuitenkin on mahdollista, koska mittaja ei välttämättä pysty itse vaikuttamaan toistettavuusvirheisiin. Kuvassa 9 toistettavuutta kuvaa normaalijakauma repeatability. Toistettavuusvirheet voivat syntyä esimerkiksi mittalaitteen sisäisistä kitkoista, asentovaihtelusta, välyksistä tai mittausvoiman vaihtelusta. Mittausjärjestelmän huono toistettavuus kertoo, että joitain mittausprosessin päätekijöitä ei ole toistettu riittävän tarkasti. Mittausprosessin päätekijät on löydettävä

ja niitä on pystyttävä seuraamaan toistettavuuden parantamiseksi. (Salomäki 1999, 137.)

### **7.1.3 Uusittavuus**

Uusittavuudella (engl. reproducibility) tarkoitetaan hajontaa, joka syntyy, kun eri mittaajat mittaavat samaa tuotetta samalla mittalaitteella. Kuvassa 9 näkyy kahden eri mittaajan saamien tuloksien hajonta täsmälleen samasta tuotteesta samalla mittauslaitteella. Tulos voi molemmilla mittaajilla olla tarkka, mutta se ei sijoitu samaan kohtaan. Hyvä uusittavuus tarkoittaa tilannetta, kun eri mittaajat saavat lähes samat tulokset samasta tuotteesta samalla mittalaitteella. Uusittavuusvirheitä syntyy eri mittaajien välillä, kun käytetään eri menetelmiä tai tekniikoita mittauksessa. Kappaleen mittauksessa käytettävät voimat eri henkilöiden välillä vaikuttavat uusittavuusvirheisiin, samoin kuten tuotteiden kiinnitys. Uusittavuusvirheet voidaan poistaa kokonaan tai vähentää, jos mittauslaitteisto on automaattinen, eikä tuotetta voida asettaa mitattavaksi kuin yhdessä asennossa. Tällöin mittausvoimasta sekä tuotteen asetuksesta johtuvat virheet saadaan karistua pois. Ideaalissa tilanteessa mittausjärjestelmän uusittavuus olisi nolla eri mittaajien välillä päivästä tai paikasta riippumatta. (Salomäki 1999, 137.)

### **7.1.4 Pysyvyys**

Pysyvyysvirhe (engl. stability) tarkoittaa mittausvirhettä, jossa samasta tuotteesta samalla mittalaitteella, mutta pidemmällä aikavälillä mitatut tulokset eivät vastaa toisiaan. Mittaustulosten hajontaan vaikuttavat mittalaitteen kuluminen, kitkojen ja välysten muuttuminen sekä jossain tilanteissa ympäristön muuttuminen. Pysyvyys voidaan säilyttää tai sitä voidaan parantaa mittalaitteiden ajantasaisilla huolloilla, harjoittelulla sekä koulutuksella. (Salomäki 1999, 138.)

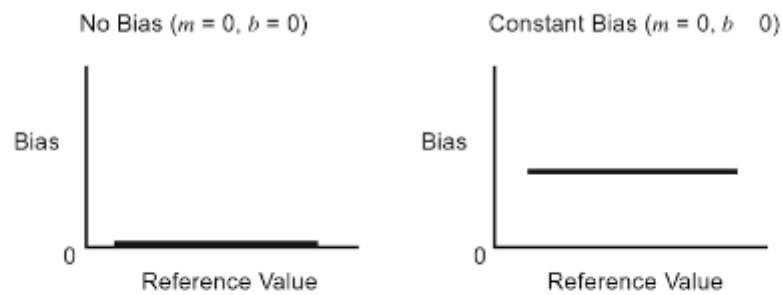
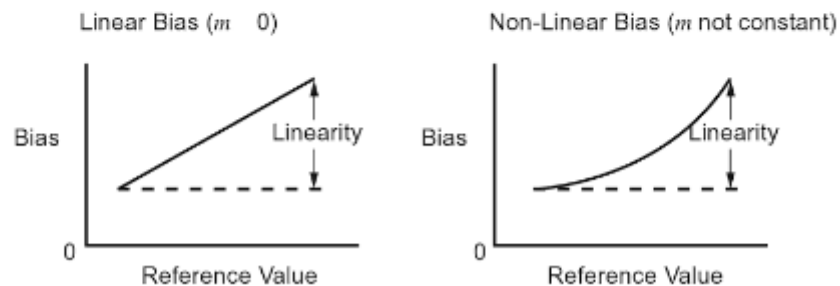
### 7.1.5 Lineaarisuus ja epälineaarisuus

Lineaarisuusvirheellä (engl. linearity) tarkoitetaan mittavirhettä, jossa mittaustuloksen kohdistus muuttuu suoraviivaisesti mittausalueella liikuttaessa. Hyvällä lineaarisuudella tarkoitetaan, että mittaustuloksen kohdistus on hyvä mittausalueen jokaisessa kohdassa. Kuva 10 esittää graafisesti hyvän ja huonon lineaarisuuden eroja. Kohdistusvirheeseen verrattuna lineaarisuusvirhettä ei voi kalibroida pois pelkästään vähentämällä tai lisäämällä saadusta mittaustuloksesta kohdistusvirheen verran.

Esimerkiksi jos lämpömittari näyttää todellisen 20 °C sijaan 18 °C ja 50 °C sijaan 45 °C. Tällöin lineaarisuusvirhe on -10 %. Tosimitta saadaan, kun mittaustulokseen lisätään  $5 / 45 * 100 \% = 11,11 \%$ . Kuvassa 10 lineaarista kohdistusvirhettä esittää kuvaaja Linear Bias.

Epälineaarisuusvirhe (engl. inlinearity) tarkoittaa kohdistusvirhettä, joka muuttuu epälineaarisesti mittausalueella liikuttaessa (Kuva 10, Non-Linear Bias). Epälineaarisuusvirhettä ei pystytä kalibroimaan samoin kuten kohdistus- ja lineaarisuusvirhettä. Epälineaarisuusvirhettä esiintyy, kun esimerkiksi kuluneen mittalaitteen sisäiset kitkat ovat erilaisia mittaosalueen eri kohdissa.

Esimerkiksi jos lämpömittari näyttää todellisen 20 °C sijaan 22 °C, 30 °C sijasta 33 °C ja 40 °C sijasta 46 °C. Mittatulosten heitto tosimitasta ei ole suoraviivainen ja tällöin on kyseessä epälineaarisuusvirhe. Epälineaarisuusvirheen toteamiseksi on tuloksia tutkittava useassa eri kohdassa mittausaluetta. Virheen kompensoimiseksi epälineaarisuudesta on laadittava korjauskäyrä. (Salomäki 1999, 138.)

**(a) Good Linearity****(b) Poor Linearity**

Kuva 10. Lineaarisuus. (Joglekar 2003, 244.)

## 7.2 Gage R&R -testi

Gage R&R -testi, (engl. mittari, gauge) tarkoittaa toistettavuus ja uusittavuus -testiä. Testin nimi tulee englanninkielisistä sanoista reproducibility ja repeatability. Alunperin Ford, GM ja Chrysler laativat testin alihankkijoilleen mittausepävarmuuden selvittämiseksi. Nykyisesti testi on käytössä maailmanlaajuisesti päivittäin. Mittauksien ongelmana on, että tuloksissa näkyvä virhe voi olla tuotantoprosessista tai mittausprosessista johtuvaa. Gage R&R -testin tarkoituksena on selvittää mittausprosessin todellinen suorituskyky ja mittausprosessista johtuva vaihtelu kokonaisvaihtelussa. Mittausepävarmuus ilmoitetaan pääsääntöisesti, joko 95 %:n tai 99 %:n luottamustasolla. Testin lopputulos antaa uusittavuuden ja toistettavuuden yhteisvaikutuksen prosentteina. Yleisenä nyrkkisääntönä pidetään, että:

- alle 10 % on hyvä
- 10...30 % tilanne on arvioitava
- yli 30 % mittausepävarmuus on liian suuri.

(Salomäki 1999, 140–141.)



Testin lopputuloksesta ei saada selville muista vaihtelun lähteistä johtuvia virheitä, joita käytiin läpi edellisessä luvussa. Testin laskelmien suorittamiseen on olemassa erilaisia tietokoneohjelmia kuten Minitab, joka tekee testeistä paljon helpomman. Eri mittaaajilta saadut tulokset kirjataan ohjelmaan ja ohjelma ratkaisee toistettavuuden ja uusittavuuden osuuden.

R&R -testin suorittamiseen vaaditaan vähintään kaksi mittaaajaa ja 10 näytettä tuotannosta, jotta tuloksesta saadaan luotettava. Jokainen mittaaaja mittaa näytteen vähintään kaksi kertaa. Useampi mittaaaja ja mittaus testistä luotettavaman. Mittaajat mittaavat näytteet satunnaisessa järjestyksessä, minkä jälkeen tulokset kirjataan ylös joko käsin laskemista tai ohjelmaan syöttämistä varten. Jos mittaajien vuorottelemisen ei jostain syystä onnistu, pitäisi mittauserien välissä pitää tauko luotettavan tuloksen varmistamiseksi. Selvästi poikkeavat ja virheelliset mittaustulokset pitäisi karsia pois testin onnistumisen varmistamiseksi. Jos virheellisiä tuloksia ilmenee testissä useampia, olisi suositeltavaa arvioida koe ja mittausjärjestelmä ennen kokeen loppuun suorittamista. (Salomäki 1999, 141–143.)

## **8      Prosessin suorituskyky**

Hallinnassa oleva prosessi ei tarkoita suoraan suorituskykyistä prosessia. Prosessissa ei välttämättä esiinny vaihtelun erityisyyttä, mutta hajonta voi silti olla suurta. Prosessia voidaan pitää suorituskykyisenä, kun sen vaihtelu on määriteltyjen rajojen sisäpuolella. Prosessin suorituskykyä voidaan ilmaista erilaisilla mittareilla. Vain vakaan prosessin suorituskyky voidaan laskea. Yleisimpiä prosessin suorituskykyä ilmaisevia mittareita ovat Cp- ja Cpk-lukemat. Suorituskykylukuja ei voida pitää äärettömän tarkkoina, koska niihin vaikuttaa myös mittausepävarmuus. (Salomäki 1999, 195.)

## 8.1 Maksimisuorituskykyluku

Cp-luvulla (engl. Process capability) tarkoitetaan prosessin teoreettista maksimisuorituskykyä toleranssivaatimuksiin nähden. Vain jos prosessin keskiarvo sijoittuu UCL ja LCL arvojen väliin, voidaan Cp-luku laskea, muutoin on käytettävä Cpk -indeksiä. Luku voidaan määrittellä vain kaksipuoleisen toleranssin tapauksissa. Maksimisuorituskyky on koko toleranssialue jaettuna kolmen sigman etäisyydeltä keskiarvosta sijaitsevat arvot. Kolme sigmaa kattaa 99,7% keskihajonnasta.

$$Cp = \frac{UCL - LCL}{6\sigma}$$

$\sigma$  = Perusjoukon keskihajonta

UCL = Ylempi valvontaraja

LCL = Alempi valvontaraja

Cp-lukema 1.33 ilmaisee, että prosessin vaihtelu mahtuu 75 % alueen sisään määrätyistä toleranssirajoista. Toisin sanoen määrätyt toleranssirajat ovat 1.33 leveämmällä kuin prosessin vaihtelu. (Salomäki 1999, 195-196.)

## 8.2 Suorituskykyluku

Suorituskykyluvulla Cpk (engl. Process capability index) kuvataan prosessin suorituskykyä huomioiden prosessin epäkeskeisyys. Luku voidaan laskea vain, jos prosessi on hallinnassa. Korjauskerroin  $k$  lasketaan suorituskykylukuun mukaan, kun vaihtelun sijainti on epäkeskeinen toleranssirajoihin nähden. Cpk-indeksi voidaan laskea myös yksipuoleisen toleranssin tapauksissa. Mitä isompi Cpk lukema on sitä suurempi häiriö prosessiin voi kohdistua ennen toleranssirajojen ylittymistä. Prosessia voidaan pitää hyvänä, kun sen Cpk on yli 1.33. Cpk = 3

puolestaan tarkoittaa, että hajonnan leveys voi kasvaa kolminkertaiseksi ennen toleranssirajojen ylittymistä. (Salomäki 1999, 196.)

$$k = \frac{T - \bar{x}}{\frac{1}{2}(USL - LSL)}$$

T = tavoitearvo, yleensä toleranssin keskellä

$\bar{x}$  = mittaustulosten keskiarvo

$$C_{pk} = (1 - k) * C_p$$

Lukema voidaan laskea myös alla olevilla kaavoilla, joista pienempi arvo valitaan

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad \text{tai} \quad \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}$$

## 9 Mittausjärjestelmän kartoitus

### 9.1 Lähtötilanne

Työ aloitettiin kartoittamalla nykyinen mittausjärjestelmä ja sen sopivuus nykyiseen prosessiin. Työn tarkoituksena oli mitata prosessin pitkäaikaista suorituskykyä ja koneiden hetkellistä suorituskykyä. Prosessin ja koneiden suorituskykyjen mittauksilla halutaan saada tietoon tuotannon nykyinen laaduntuottokyky ja osaltaan samalla lähestyä tilastollista prosessinohjausta. Jotta näitä suorituskykyarvoja saataisiin mitattua ja niihin pystyttäisiin luottamaan, täytyy mittausjärjestelmän suorituskyky todentaa riittäväksi tuotteelle määritetyille hyväksyntärajoille. Jos mittausjärjestelmän tarkkuus ei ole riittävä prosessille, ei sitä myöskään voida seurata saatikka ohjata. Männänhionnan laadunvarmistuksessa käytetään sekä käsimittavälineitä että optista mittakonetta. Tuotannon työntekijöiden on mahdollista mittauttaa kappaleet myös koordinaattimittakoneella, jonka tarkkuus on parempi kuin optisen mittalaitteen.

Käsimittavälineillä varmistetaan tuotteiden laatu tiheämmin kuin optisella mittalaitteella. Optisen mittalaitteen tulokset siirtyvät sisäiseen tietokantaan, josta niitä

voidaan analysoida tarvittaessa. Tätä ominaisuutta hyödynnetään erityisesti prosessin tilastollisessa ohjauksessa.

AIAG -yhdistys määrittelee viimeisimmässä mittausjärjestelmä analyysi teoksessaan (Measurement System Analysis) suuntaviivoja mittausjärjestelmän suorituskyvyn arviointiin. Teoksessa suositellaan muun muassa kohdistuksen, uusittavuuden, toistettavuuden, kohdistuksen ja säilyvyyden arviointia mittalaitteelle. Käytännössä uusittavuuden ja toistettavuuden arviointi tarkoittaa Gage R&R -testin tekemistä mittauslaitteelle ja sitä käyttävälle henkilöstölle. Kohdistusta voidaan arvioida mittanormilla tai vertaamalla mittakappaleen tulosta selvästi tarkemman mittalaitteen antamaan tulokseen. Tässä työssä selvästi tarkempaa mittalaitteena käytetään Mitutoyo:n koordinaattimittalaitetta. Teoksessa mainitaan myös lineaarisuusvirheen arvioinnista, joka on myös vaikuttava virhelähde, joka saattaa usein jäädä huomioimatta.


## **9.2 Mittausjärjestelmän soveltuvuus prosessille**

### **9.2.1 Uusittavuus ja toistettavuus**

Mittausjärjestelmän analysointi aloitettiin suorittamalla uusittavuus ja toistettavuus (Gage R&R) testi optiselle mittalaitteelle. Tuotannosta kerättiin parin päivän aikana satunnaisesti kymmenen ovensulkijan männän näyte-erä, joka kuvastaisi koko prosessin hajontaa. Kappaleet merkittiin numeroin yhdestä kymmeneen, puhdistettiin tarkoin ja niistä mitattiin halkaisija. Puhdistus prosessi koostuu liuotinpesusta, huuhtelusta, kuivauksesta ja mekaanisesta nukattomasta puhdistuksesta. Joissain tapauksissa isojen määrien puhdistamiseen mittauksia varten käytetään kuumavesipesua. Tarkoissa mittauksissa olisi erityisen tärkeää käyttää puhdistuksessa korkeasti etanolipitoista puhdistusainetta, joka poistaisi pinnasta epäpuhtaudet, eikä jättäisi kappaleen pintaan kalvoa. Korkeasti etanolipitoiset aineet ovat luvanvaraisia, eikä niitä ollut saatavilla Door Control -liiketoimintayksikön mittaushuoneeseen mittauksien aikana. Aiemmin mainitsemassani puhdistusprosessissa tuotteen pintaan voi jäädä määrittelemättömän paksuinen kalvo

puhdistusmenetelmästä johtuen, mikä taas lisää vaihtelua mittaustuloksissa. Opittinen mittalaite ei fyysisesti kosketa kappaletta mittauksen aikana, joten tällöinen vaihtelun lähde on mahdollinen, toisin kuin koordinaattimittakoneella.

AIAG:n MSA teoksessa suositellaan Gage R&R -testin suorittamista tuotannon työntekijöille. Testi kuitenkin suoritettiin toimihenkilöiden kesken häiritsemättä tuotantoa, koska optisella mittalaitteella ja oikeanlaisella kiinnittimellä henkilön vaikutus uusittavuuteen ja toistettavuuteen on marginaalisen pieni. Testiä varten arvottiin satunnainen mittausjärjestys henkilöille ja männille. Jokainen henkilö mittasi saman männän kolmeen kertaan, millä selvitettiin mittalaitteen mittaustuloksen toistettavuus. Kappale puhdistettiin mekaanisesti nukkaamattomalla liinalla aina mittausten välissä ja asetettiin kiinnittimeen uudelleen. Pyöreän kappaleen kanssa, tässä tilanteessa männän, oli erityisen tärkeää toistettavuuden kannalta, että kappale mitataan samassa asennossa uudestaan. Koska mikään kappale ei ole koskaan täydellisen ympyrämäinen, aiheuttaa väärässä asennossa mittaaminen aina vaihtelua, joka taas ei johdu mittalaitteesta. Männässä oli näkyvässä selkeä taso, jota pystyimme käyttämään männän kohdistamisessa kiinnittimeen silmämääräisesti. Teoreettisesti on mahdollista, että kohdistusvirhe vaikutti lopputulokseen jossain määrin. Mittauksen päätteeksi kolmelta henkilöltä ja kymmeneltä männältä saatiin talteen yhteensä 90 mittaustulosta, jotka tallentuivat sisäiseen tietokantaan. Tietokannasta tulokset saatiin helposti noukittua analysoitavaksi. Uusittavuus ja toistettavuus testille kehitettiin selkeä ja helppokäyttöinen taulukko, joka kykenee laskemaan testin vaatimat arvot mittaustuloksista ja toleranssialueesta.

		Gage R&R testin mittaustulokset										
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1											#JAKO/0!	
2											#JAKO/0!	
3											#JAKO/0!	
KA	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	$\bar{X}_A$	#JAKO/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0,0000	$R_A$	0
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1											#JAKO/0!	
2											#JAKO/0!	
3											#JAKO/0!	
KA	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	$\bar{X}_B$	#JAKO/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	$R_B$	0
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1											#JAKO/0!	
2											#JAKO/0!	
3											#JAKO/0!	
KA	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	$\bar{X}_C$	#JAKO/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	$R_C$	0
Kappale keskiarvo	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	#JAKO/0!	$\bar{X}$	#JAKO/0!
$\bar{X}_{DIFF} =$	#JAKO/0!		$UCL_R =$	0		$LCL_R =$	0				$R$	0

Kuva 11. Mittaustulosten syöttäminen.

Taulukkoon syötetään sisäiseen tietokantaan tallentuneet mittaustulokset henkilöittäin. Taulukosta saadaan lopputulokseksi:

- kokonaisvaihtelu
- mittalaitteesta johtuva vaihtelu ja sen osuus kokonaisvaihtelusta
- mittajasta johtuva vaihtelu ja sen osuus kokonaisvaihtelusta
- uusittavuus ja toistettavuus ja sen osuus kokonaisvaihtelusta
- kappaleiden välinen vaihtelu
- mittalaitteen erottelukyky (ndc, number of distinct categories).

ABLOY®		Pitkän Gage R&R testin raportti	
Koneen numero:		Koneen nimi:	
Osan nimi:		Materiaali:	
Tuotantonumero:		Materiaalin toimittaja:	
Pirustusnumero:		Materiaalin koko:	
Mittalaite:		Näytteenoton aloitus:	
Testin suorittaja:		Näytteenoton lopetus:	
Mittajat:			
Mitattava ominaisuus:		Ulkoalkaisija	
Nimellismitta:	0	Tavoitemitta:	0
Ylätoleranssi	0	USL	0,000
Alatoleranssi	0	LSL	0,000
Toleranssialueen laajuus T	0,000		
Prosessin, mittauksen ja ympäristön muuttajat: Huomioitavia muuttavia ja poikkeavia tilanteita.			
Keskiarvo $\bar{R} = 0$		$X_{DIFF} = 0$	
Mittalaite analyysi		% osuus kokonaisvaihtelusta (TV)	
Repeatability - Equipment Variation (EV) Mittalaitteesta johtuva vaihtelu		$\%EV = 100 * \left[ \frac{EV}{TV} \right]$	
$EV = \bar{R} * K_1$	Mittauksia $K_1$	=	
=	2 0,8862		
	3 0,5908		
Reproducibility - Appraiser Variation (AV) Mittajasta johtuva vaihtelu		$\%AV = 100 \left[ \frac{AV}{TV} \right]$	
$AV = \sqrt{(\frac{DIFF}{n} * K_2)^2 - \left( \frac{EV^2}{n * r} \right)}$	Mittajia $K_2$	=	
=	2 0,7071		
	3 0,5231		
Repeatability & reproducibility (GRR) Uusittavuus ja toistettavuus		$\%GRR = 100 * \left[ \frac{GRR}{TV} \right]$	
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$		=	
=			Hyväksyttävä
Part Variation (PV) Kappaleiden välinen vaihtelu		Kappaleita $K_3$	
$PV = R_p * K_3$	2 0,7071		
=	3 0,5231		$\%PV = 100 * \left[ \frac{PV}{TV} \right]$
	4 0,4467		=
	5 0,4030		
Total Variation (TV) Kokonaisvaihtelu		6 0,3742	
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$	7 0,3534	ndc	=
=	8 0,3375		
	9 0,3249		
	10 0,3146		Ei Hyväksyttävä

Kuva 12. Raporttitaulukko.

Uusittavuuden ja toistettavuuden (GRR) osuus lasketaan mittajasta ja mittalaitteesta johtuvasta vaihtelusta, kuten kuvassa 12. Kappaleiden välinen vaihtelu (PV) lasketaan kertomalla kappaleiden keskiarvomittausten vaihteluväli arvolla K3. Tämä arvo on riippuvainen mitattavien kappaleiden lukumäärästä. Kokonaisvaihtelu lasketaan uusittavuuden ja toistettavuuden sekä kokonaisvaihtelun neliöjuurena. Mittalaitteen erottelukyky (ndc) saadaan kertomalla PV ja GRR erotus vakiolla 1.41.

Tärkeimpänä vertailuarvona näistä pidetään uusittavuuden ja toistettavuuden osuutta kokonaisvaihtelusta. Uusittavuutta ja toistettavuutta voidaan verrata myös toleranssialueeseen. Tämä on tarpeellinen siinä tapauksessa, kun arvioidaan mittalaitteen suorituskykyä hyväksyntämittauksiin. Minun tapauksessa selvitettiin mittalaitteen suorituskykyä tuotannon suorituskykymittauksiin ja tilastolliseen prosessinohjaukseen.

Uusittavuuden ja toistettavuuden osuus kokonaisvaihtelusta sekä erottelukyky optisella mittalaitteella oli hyväksytyissä rajoissa, joskaan ei täydellinen. AIAG:n teoksen mukaan uusittavuuden ja toistettavuuden osuus kokonaisvaihtelusta tulisi olla alle 30 %, jotta mittalaitetta voidaan vielä käyttää tilastollisessa prosessinohjauksessa ja suorituskykyarvojen laskemisessa. (AIAG 2010, 79.) Taulukosta pystytään päättämään, onko vaihtelu peräisin henkilöstä vai mittalaitteesta. Ideaalissa tilanteessa kappaleiden välinen vaihtelu olisi 100 % ja muita vaihtelun lähteitä ei olisi. Tämän avulla mittausjärjestelmää pystytään kehittämään, kun ongelmalähteet tiedostetaan. Optisella mittalaitteella henkilöstä johtuva vaihtelu pitäisi saada mahdollisimman lähelle nollaa, jolloin henkilö ei pystyisi vaikuttamaan lopputulokseen.

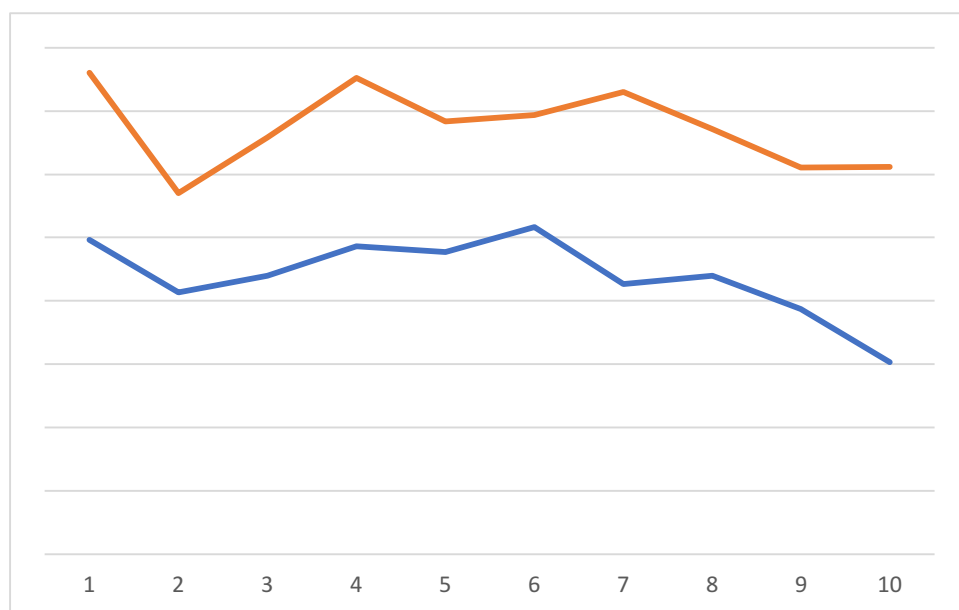
Sama testi suoritettiin myös tehtaan tarkimmalle mittalaitteelle, koordinaattimittakoneelle. Toisessa mittahuoneessa kappaleet pystyttiin puhdistamaan entistä paremmin, koska käytössä oli etanolia ja paineilmaa. Tämän mittahuoneen olosuhteet olivat myös paremmat verrattuna edellisen mittahuoneen olosuhteisiin. Lämpötila ja ilmankosteus oli vakioitu, jotta nämä eivät vaikuttaisi tuloksiin. Mitattavien kappaleiden lämpötila annettiin tasautua vuorokausi mittausahuoneessa ennen mittausten aloittamista. Tämän jälkeen kappaleet puhdistettiin suihkuttamalla etanolia kappaleen pintaan ja pyyhkimällä se nukkaamattomalla liinalla. Lopuksi kappale vielä puhallettiin varmuuden vuoksi paineilmalla. Kappale siirrettiin koordinaattimittalaitteen kiinnittimeen mahdollisimman nopeasti koskettamatta mittauspintaa, jotta käden lämpö ei nostaisi kappaleen lämpötilaa merkittävästi. Koordinaattimittakoneelle oli testiä varten kehitetty mittausohjelma, joka ainoastaan mittaa männän halkaisijan tietyltä korkeudelta. Mittauksessa käytettiin mittakoneen skannaus -ominaisuutta, jolloin mittakärki kulkee kappaleen pintaa pitkin keräten mittapisteitä. Mitattavan männän kanssa mittapisteitä kertyi n.2000



kpl. Mittausohjelmisto suodattaa tulokset Gaussin -suodattimen läpi, jolloin virheelliset mittauspisteet hylätään. Lopputulokseksi lasketaan mittauspisteiden keskiarvohalkaisija.

Koordinaattimittakoneen uusittavuuden ja toistettavuuden suhde kokonaisvaihteluun oli pienempi kuin optisella mittalaitteella, muttei kuitenkaan merkittävästi. Mittalaitteen luvattu tarkkuus oli parempi kuin optisella mittalaitteella, kuten myös olosuhteet mittalaitteen ympäristössä. Koordinaattimittalaite mittasi kappaleen keskiarvohalkaisijaa, joten virhettä kappaleen asettamisesta kiinnittimeen ei voinut syntyä. Koordinaattimittakone sijaitsee kaukana männähiontasolusta ja se on päivittäin muussa käytössä, joten mäntien tuotannonaikainen mittaus suoritetaan jatkossakin optisella mittalaitteella hiontasolun omassa mittahuoneessa tämän ollessa riittävä.

Seuraavaksi optiselle mittalaitteelle tehtiin keskitys- ja lineaarisuusvirheen arviointi. Kohdistusvirhettä arvioitiin mittaamalla kymmenen kappaletta mäntiä tuotannosta sekä tarkimmalla mittalaitteella että optisella mittalaitteella. Tarkin mittalaite oli vastikään tarkistettu MIKES:in mittanormeilla, joten tämän mittatuloksiin pystyttiin luottamaan.



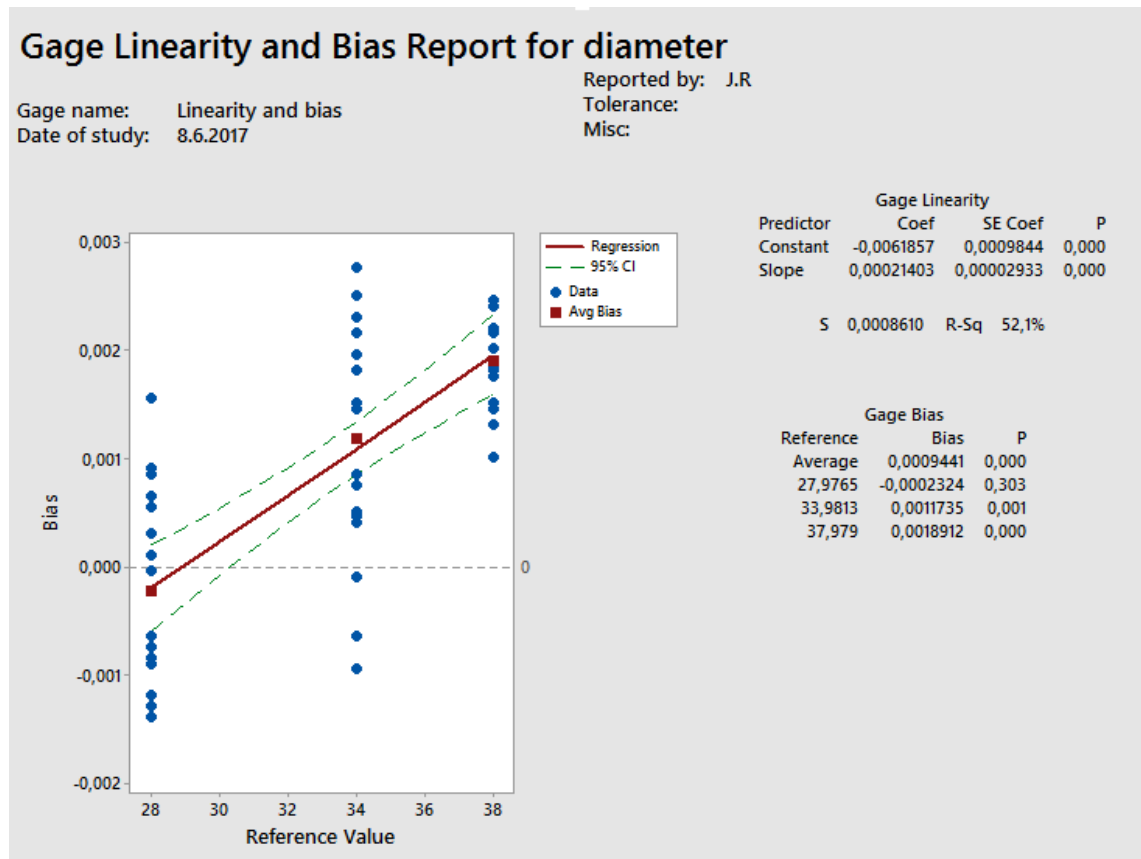
Kuva 13. Kohdistusvirhe.

Kuva 13 esittää kohdistusvirheen määrää optisella mittalaitteella. Optisen mittalaitteen mittatulokset näkyvät kuvassa sinisellä ja tarkimman mittalaitteen tulokset oranssilla. Keskimäärin keskitysvirheen suuruudeksi saatiin laskemalla 0,0024mm. Osaltaan tämän selittävät mittahuoneiden lämpötilaerot. Tarkimman mittalaitteen ympäristössä vaikuttaa 20 celsius asteen lämpötila, kun taas optisen mittalaitteen huoneessa 23 celsius astetta. Lämpötilan vaikutusta kohdistusvirheeseen arvioitiin lämpölaajentumisen kautta. Männän materiaali laajenee yhden celsiusasteen noususta noin 12 mikrometriä metrille. Tästä laskettiin, että kohdistusvirheen arvioinnissa käytetyt mittakappaleet laajenevat

$$34 \text{ mm} \cdot 3 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} = 0,00122 \text{ mm}$$

Lämpölaajenemisella voidaan osittain selittää kohdistusvirhe. Optinen mittalaite kalibroitiin siihen tarkoitetuilla kalibrointipaloilla, joiden halkaisija oli määritelty mikrometrin kymmenesosan tarkkuudella toimittajan puolesta. Kalibrointipalat olivat halkaisijaltaan n. 1 mm ja n. 60 mm. Näiden avulla kohdistusvirhe saatiin laskettua hyväksyttävälle tasolle lämpölaajeneminen huomioon ottaen.

Lineaarisuusvirheen arviointiin käytettiin kolmea mittanormia, jotka kuvaavat tuotannossa mitattavien kappaleiden mitta-alueita. Mittanormit kalibroitiin tarkimalla mittalaitteella, tässä tapauksessa koordinaattimittakoneella. Lineaarisuusvirheen arvioinnissa tarkistettiin, muuttuuko kohdistusvirhe siirtyessä mitta-asteikolla eteenpäin. Lineaarisuusvirheen arvioinnissa käytetyt mittakappaleet olivat halkaisijaltaan 28 mm - 38 mm. Koordinaattimittakoneella kalibroitaessa kappaleesta mitattiin halkaisijaa skannaamalla. Jotta referenssiarvo olisi vertailukelpoinen, tuli mittakappaleesta mitata keskiarvohalkaisijaa myös optisella mittalaitteella. Optinen mittalaite kykenee mittaamaan kappaleesta halkaisijan vain yhdestä kohtaa, joten keskiarvohalkaisijan mittaaminen vaati manuaalista kappaleen kääntämistä yhden kierroksen verran sekä useita eri mittauksia. Jokaisesta mittakappaleesta tallennettiin n. 12 mittausta, joista laskettiin keskiarvotulos halkaisijamitalle. Tätä voitiin käyttää vertailukelpoisena mittaustuloksena kalibrointiarvolle. Minitab -ohjelmaa käytettiin lineaarisuusvirheen kuvaamisessa.

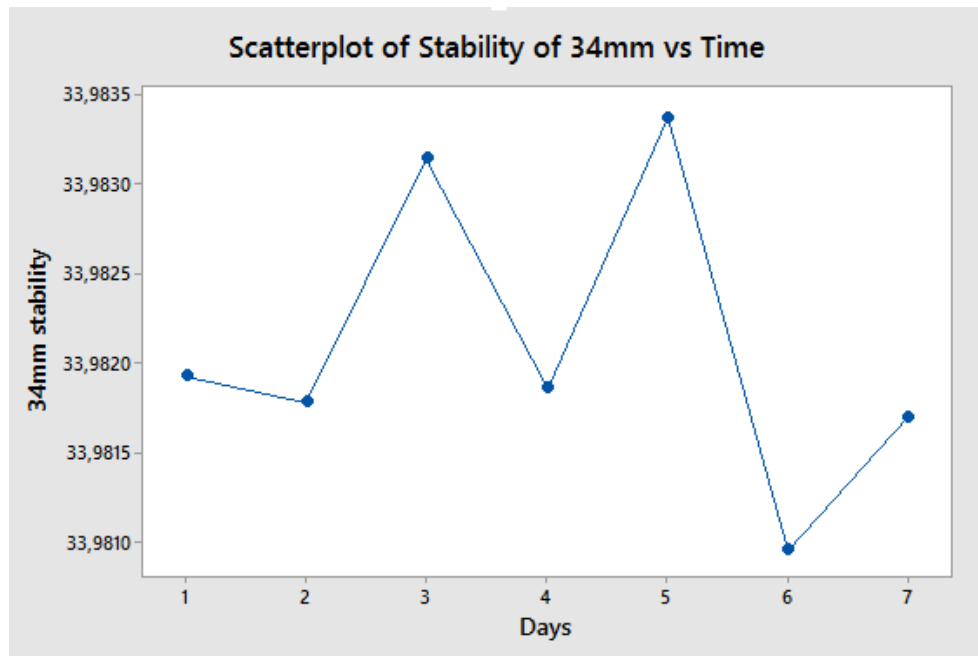


Kuva 14. Lineaarisuus ja kohdistusvirhe.

Kuvassa 14 punaiset pisteet kuvaavat optisen mittalaitteen kappaleen mittauksien keskiarvoa. Punainen viiva kuvaa lineaarisuusvirhettä. Viivan ollessa vaakasuora lineaarisuusvirhettä ei esiintyisi. Mitta-asteikon yläpäässä kohdistusvirheen määrä kasvaa eteenpäin siirryessä. Keskellä mitta-asteikkoa todellinen kohdistusvirhe on lähellä nollaa, kun huomioidaan edellisessä kappaleessa laskettu lämpölaajeneminen. Laitteen kalibrointi uudestaan ei vaikuttanut merkittävästi lineaarisuusvirheeseen uusintamittauksessa. Lineaarisuusvirheen todettiin olevan enemmän ominaisuus kuin vika laitteessa, johon ei pystytä normaalein toimenpitein vaikuttamaan. Suurin osa tuotannossa mitattavista kappaleista sijoittuu tarkastellun mitta-asteikon keskiosaan, jossa kohdistusvirheen osuus on marginaalisen pieni suhteessa muihin virhelähteisiin.

Viimeisenä vaiheena mittausjärjestelmän analysoinnissa oli pysyvyyden arviointi. Pysyvyyden arvioinnissa kahta mittakappaletta mitattiin päivittäin täsmälleen samasta kohdasta. Pysyvyyttä tarkasteltiin 7 päivän ajanjaksona, kahdesta mittakappaleesta yhteensä 14 mittaustulosta. Mittakappaleet oli valittu kuvaamaan

tuotannon yleisien mittakohteiden kokoa. Jokaisella mittauskerralla mittakappaleet kävivät saman puhdistusprosessin läpi ja ne asetettiin mittalaitteen kiinnittimeen täsmälleen samaan asentoon. Tällä testillä selvitettiin, miten ympäristön muuttuvat olosuhteet ja laite itse vaikuttaa lopputulokseen.



Kuva 15. Pysyvyyden tarkastelu.

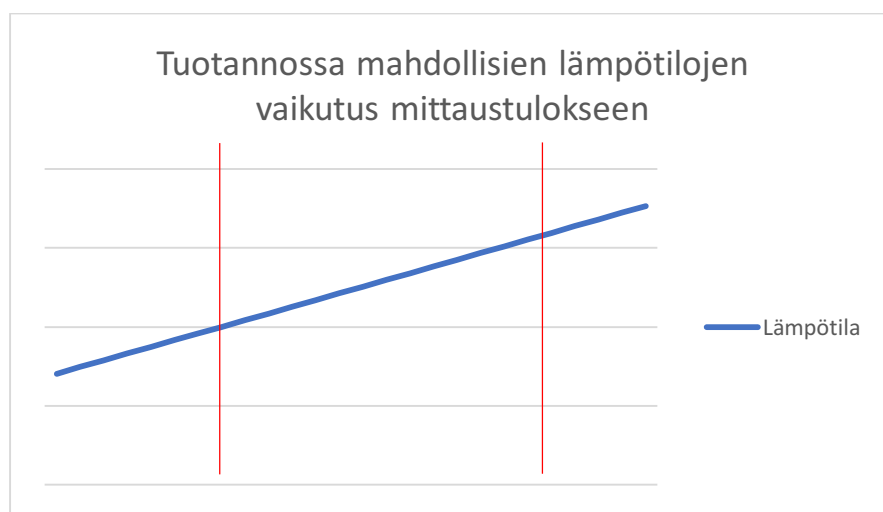
Testissä selvisi, että mittaustulokset samasta kappaleesta täsmälleen samasta kohdasta erosivat eri päivinä. Tähän syyksi todettiin huoneen muuttuvat olosuhteet, kuten lämpötila. Lisäksi vaikka kappale puhdistettiin samalla tavalla ennen jokaista mittausta, saattoi siihen jäädä lopputulosta väärentävää määrittelemättömän kokoista likaa. Suurin ero mittaustuloksissa oli n. 3 mikrometriä. Pysyvyyden parantamiseksi huoneen lämpötila ja myös kosteus pitäisi saada vakioitua tiettyyn lämpötilaan. Myös kappaleiden puhdistusprosessia pitäisi kehittää, jotta sen aiheuttama vaihtelu saataisiin poistettua. Kuvan 15 grafiikka esittää mittaustulosten värähtelyä.

### 9.3 Mittausjärjestelmän kehitys

Kun mittausjärjestelmän nykytilanne saatiin kartoitettua, lähdettiin sitä kehittämään eteenpäin mahdollisuuksien rajoissa. Uusittavuus ja toistettavuus optisella mittalaitteella oli prosessin hajontaan suhteutettuna hyvällä tasolla. Pysyvyy-

dessä huomattiin kohtalaisen suurta vaihtelua, jonka osasyiksi todettiin lämpötilan muutokset mittahuoneessa. Näiden kehittämiseen lähdettiin hakemaan ratkaisuja.

Sattumalta tutkiessa mittausjärjestelmää löydettiin tuotannon ja omien mittauksien väliltä suuria ristiriitoja. Tuotanto käyttää käsimittovälineitä ja optista mittalaitetta kappaleiden hyväksyntämittauksessa. Hyväksyttävien kappaleiden joukosta löytyi jopa kappaleita, jotka alittivat hyväksyntäraajat. Näitä kappaleita oli hyväksytty sekä käsimittovälineillä että optisella mittalaitteella. Tuotannon mittauksien ja omien tarkastusmittauksien välinen mittaero saattoi lähennellä jopa 80 % toleranssialueesta. Vaihtunut henkilöstö tuotannossa mittasi kappaleita vaihtelevissa lämpötiloissa ja vaihtelevalla puhdistusmenetelmällä. Koneesta saapuneen hiotun männän lämpötila nousee riittävän korkeaksi hiontaprosessin aikana vaikuttaakseen mittaustulokseen. Hiottu mäntä pitää lämpöä yllä hetken aikaa ja se pitää jäähtyä tai antaa jäähtyä huoneen lämpöön ennen mittausta. Öljyinen ja lämmin mäntä antoi käsimittovälineellä mittaushetkellä todellisuutta isomman lukeman, jonka mukaan konetta saatettiin säätää väärään suuntaan. Samaa virhettä todettiin tapahtuneen myös optisella mittalaitteella. Käsimittovälineitä tarkemmin tutkiessa huomattiin kalibroinnin kadonneen laitteen kaltoin kohdeltun johdosta. Mittalaitte ei näyttänyt enää huoneenlämpöiselle kappaleelle samaa lukemaa kuin kalibroinnissa. Nämä mittalaitteet vietiin korjattavaksi ja uudestaan kalibroitavaksi, sekä tilalle hankittiin uusia.



Kuva 16. Lämpötilan vaikutus mittaustulokseen.

Kuvassa 16 sininen viiva kuvaa hiontaprosessista ulostulevien kappaleiden mahdollisia mittauslämpötiloja ja punaiset viivat hyväksyntärajoja. Tarkemmat arvot on salattu toimeksiantajan pyynnöstä. Kappaleen mittauslämpötila vaikuttaa suuresti saatavaan mittatulokseen. Kuumana mitattu hyväksyntärajojen ylärajalla oleva kappale voi todellisuudessa olla alimittainen huoneenlämpöön jäähtyessä.

Mittausvirheiden johdosta mittahuoneeseen hommattiin Fluke 62 MAX infrapunalämpömittari, jolla mitattavan kappaleen lämpötila tarkastetaan aina ennen mitausta. Laitteen käytölle luotiin selkeä työhjeohje ja toimintarajat, jotka laminoitiin mittahuoneen seinälle. Samalla lanseerattiin myös uusi säätökäytäntö hiontaprosessille, jonka mukaan koneiden säätö tapahtuu aina optisen mittaväli-  
neen kautta. Näin lämpötilasta johtuvaa virhesäätöä ei pitäisi pystyä syntymään enää. Samoin mittahuoneeseen hankittiin parempia puhdistusliinoja, jotka eivät jätä kalvoa pintaan edellisten kosteiden liinojen sijasta.



Kuva 17. Fluke 62 MAX infrapunalämpömittari. (Fluke 2018.)

Optisen mittalaitteen toistettavuutta yritettiin parantaa vaimentamalla mittalaitte tärinältä. Mittalaitte oli alun perin pöydällä ilman vaimennusta. Mittalaitteen alle

hommattiin 40 mm kumimatto paikallisesta kumiliikkeestä. Uusittavuuden kehitystä tarkasteltiin 50:lla saman kappaleen mittauksella ennen ja jälkeen kumimaton. Kumimaton vaikutus uusittavuuden pienentymiseen oli olemattoman pieni. Testistä saadut tulokset voivat selittyä myös sattumalla.

Lopulta mittausjärjestelmän suorituskyky saatiin riittävälle tasolle, jotta suorituskykymittauksia voitaisiin luotettavasti tehdä. Myöskin tilastolliseen prosessinohjaukseen tämä mittausjärjestelmä on kyvykäs. Tästä huolimatta tehtiin päätös, että opinnäytetyössä tehtävät suorituskykymittaukset tehdään koordinaattimittalaitteella varmuuden lisäämiseksi. Koordinaattimittalaite oli todettu olevan hiukan tarkempi kuin optinen mittalaite ja se kykenee skannaamaan kappaleen keskiarvohalkaisijan verrattuna optisen mittalaitteen kaksipistemittaukseen.

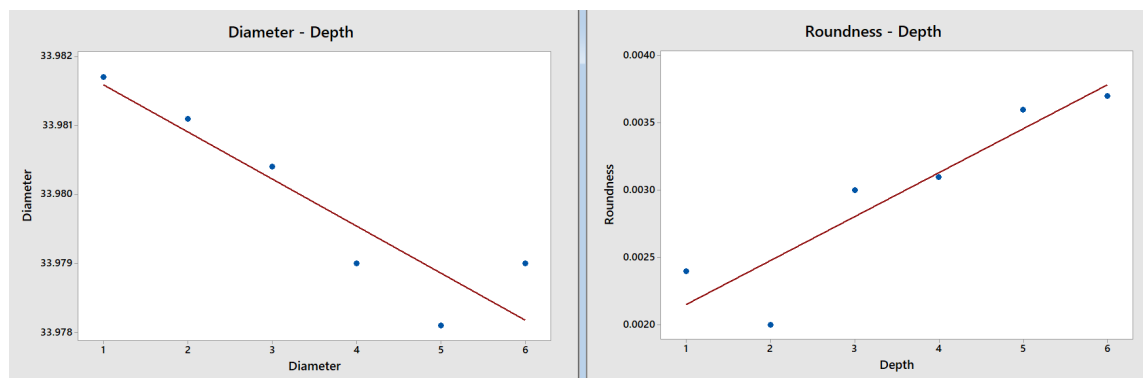
## **10 Suorituskykyjen mittaaminen ja analysointi**

Opinnäytetyön suorituskykymittaukset oli rajattu toimeksiantajan puolesta kattamaan männänhiontasolu sekä ovensuljinrunkojen koneistuskone. Suorituskykymittauksissa lähdettiin liikkeelle ensimmäisenä koneiden suorituskykymittauksista, joiden on tarkoitus kuvata koneen hetkellistä laaduntuottokykyä. Tämän jälkeen siirryttiin mittaamaan prosessin suorituskykyä, joka kuvastaa prosessin pitkäaikaisempaa laaduntuottokykyä.

Männänhiontasoluun kuuluu kolme automaattista hiontakonetta. Laitteissa on automaattinen sisäinen mittausjärjestelmä, jonka avulla kone lopettaa hionnan määrämian saavuttaessa. Konekuljettaja on kykenevä muuttamaan mittausjärjestelmän korjauskertoimia, jonka avulla männän halkaisijan hajonnan keskiarvo mitataan voidaan ohjata haluttuun suuntaan. Koneisiin on ohjelmoitu tietyn kappalemäärän välein tehtävä timantointi, jolloin kone automaattisesti itse oikaisee kulluvan hiontakiven ja kalibroi sisäisen mittausjärjestelmän. Koneuskien haastattelujen pohjalta koneiden mittausjärjestelmä ei ole aina virheetön ja korjauskertoimia muutetaan tiheään tahtiin pitämään männät toleranssialueella. Etenkin koneen ylösajovaiheessa konetta säädetään tiheämmin, kunnes kone on toimintalämpötilassa. Prosessin yliohjauksen vähentämiseksi yrityksellä onkin tavoite tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönottoon männänhiontasolussa.

Tällä pyritään eritoten vähentämään ylioijauksesta aiheutuvia hukkakustannuksia ja vähentämään konekuljettajien ylimääräistä työtä. Suorituskykymittauksilla lähdettiin pohjustamaan tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönottoa ja tarvetta.

Tuotekuviin ei ollut määritelty tarkkaa paikkaa halkaisijan tai ympyrämäisyyden mittaukselle, joten tuotekehityksestä lähdettiin hakemaan kriittistä kohtaa männästä tuotteen toiminnan kannalta. Tuotekehityksen mukaan männän yläpään mitat vaikuttavat suuremmissa määrin ovensulkimen toimintaan. Tuotekehityksestä avautui samalla pieni tutkimusprojekti männän kartiomaisuudesta hionnan jälkeen. Samalla tuotekehityksellä oli epäily ympyrämäisyyden heikentymisestä männässä alaspäin siirtyessä. Kartiomaisuudesta oli tuohon mennessä ollut pelkkää epäilyä ja satunnaisia yksittäisiä mittaustuloksia. Tarkemmin ja suuremmalla otannalla asiaa ei ollut tutkittu ja siitä haluttiin saada realistista tietoa. Kartiomaisuutta lähdettiin tutkimaan pienellä otannalla, n. 5 kpl mäntiä mitattiin viideltä eri syvyydeltä yläpäästä alaspäin. Mittaussyvyyksien välinen ero oli 5 mm, ensimmäinen mitta 2 mm korkeudelta. Mittaus suoritettiin koordinaattimittakoneella skannaamalla. Mittaustulokset osoittivat männän halkaisijan pienenevän yläpäästä alaspäin siirtyessä, sekä samalla ympyrämäisyyden heikkenemisen. Kartiomaisuus oli tuotteen vaatimuksiin nähden melko merkittävä, mutta tuotekehityksen mukaan toiminnan kannalta taas merkityksetön.



Kuva 18. Ympyrämäisyys ja halkaisija

Männän ympyrämäisyys heikkeni 25 millin matkalla 0,002 mm kun taas halkaisija pieneni 0,04mm. Tämä tutkimus osaltaan vahvisti näkökulmaa männän oikeasta mittauskohdasta, joka myöhemmin tarkentui kahteen milliin männän yläpinnasta. Suorituskykymittaukset kahdesta millistä männän yläpinnasta katsottiin oikeaksi



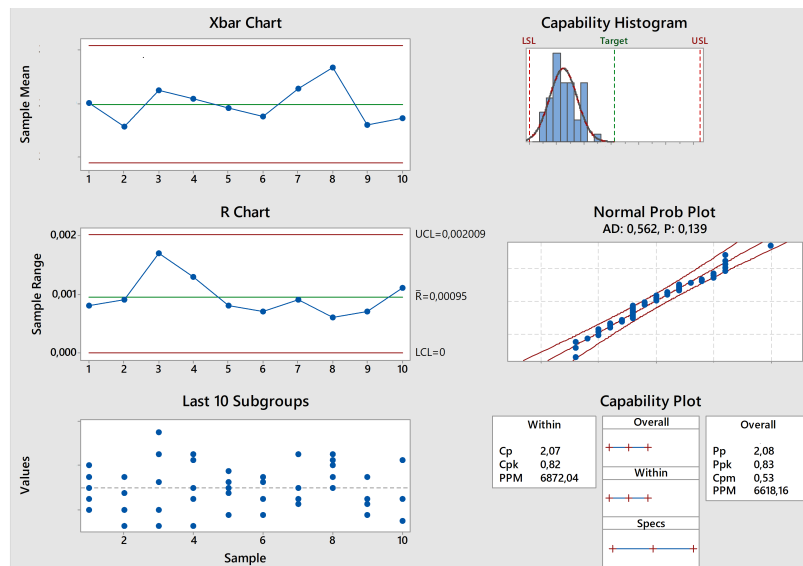
kuvaamaan koneen suorituskykyä annettuihin vaatimuksiin. Lähempää yläpintaa mitatessa purseen vaikutus mittaustulokseen kasvaisi.

Erilaisia mäntiä hiotaan männänhiontasolussa eri koneilla. Kaksi koneista oli uudempia ja yksi selkeästi vanhempi. Vanhempi kone erosi uudemmista myös leikkuunesteeltään. Koneiden suorituskykymittauksissa lähdettiin liikkeelle koneesta, jolla valmistetaan mäntiä tiukimmille vaatimuksille. Koneen suorituskykyä tarkisteltiin piirteillä, joita hiontaprosessissa valmistuu. Hiontaprosessista ulostulleville kappaleille oli määrätty vaatimuksiksi ympyrämäisyys- sekä halkaisijamitta. Riittäväksi näyte-eräksi suorituskykymittauksille arvioitiin 50 kpl. Kone säädettiin kuljettajien toimesta mahdollisimman lähelle keskiarvoa ennen näyte-erän keräämistä. Näyte-erän kerääminen aloitettiin konekuljettajien ohjeistamisella. Keräämisen aikana konetta ei säädetty, eikä muitakaan muutoksia tehty. Hiontaprosessin lopputuotteisiin annettiin vaikuttaa vain koneen sisäinen vaihtelu. Kerätyt kappaleet ladottiin pesuhäkkeihin valmistusjärjestyksessä ja ajettiin kuumavesipesurin läpi. Mittahuoneessa männät stabiloituivat huoneen lämpötilaan aina kokonaisen vuorokauden ennen mittauksen suorittamista. Lisäksi ennen mittausta koordinaattimittakoneella männät huuhdeltiin etanolilla ja pyyhittiin mekaanisesti nukkaamattomalla liinalla. Mittausdata siirtyi koordinaattimittakoneelta verkkoon, josta se voitiin hakea analysoitavaksi. Mittausdatan analysoinnissa käytettiin sekä Minitab ohjelmistoa, että itse rakennettua Excel taulukkoa.

Tuloksia analysoidessa huomiota kiinnitettiin koneiden hetkelliseen suorituskykyyn sekä maksimaaliseen suorituskykyyn. Maksimaalinen suorituskyky ei ota huomioon jakauman sijoittumista toleranssialueeseen. Jokainen hiontakone kävi läpi saman näyte-erien keräily- ja mittausprosessin. Ympyrämäisyydelle maksimaalinen suorituskyky on sama kuin hetkellinen suorituskyky, koska ympyrämäisyyden jakaumaa ei voida siirtää säätämällä konetta kuten halkaisijamitalla. Abloy'n tavoitteeksi prosessin suorituskyvylle on annettu Cpk 1,67. Prosessin suorituskyvyn ollessa lähes aina heikompi muuttujien lisääntymisestä johtuen on koneen suorituskyvylle asetettu tavoite Cmk 2.0. Jokaisen piirteen ja koneen suorituskykyanalyysi käytiin tarkoin läpi, jotta tulokset olivat riittävän varmasti luotettavia. Analyseista tarkastettiin tulosten vakaus ja normaalius. Minitab laski todennäköisyysarvon hypoteesille, että näyte-erä on normaalisti jakautunut. Jos

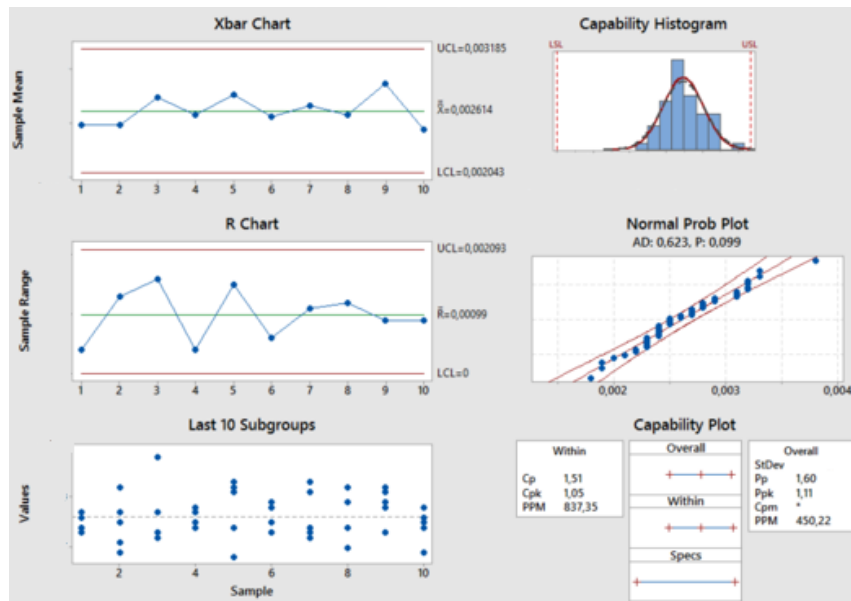
arvo olisi ollut alle 5 %, ei tulosten oikeellisuuteen olisi voitu luottaa, koska suorituskykylaskenta perustuu tilastomatematiikkaan ja täten normaalisti jakautuneisiin arvoihin.

Kuva 19 esittää hiontakoneen nro. 1 suorituskykyä halkaisijamitassa. Hetkellinen suorituskyky ei ylittänyt tavoitteita johtuen mittatulosten jakauman epäkeskisestä sijoittumisesta toleranssialueella. Koneen maksimaalinen suorituskyky taas ylitti tavoitearvon. Toleranssialueen keskelle säädettynä kone olisi kykenevä tuottamaan 6 sigman laatua, jos muut kuin koneen sisäiset muuttujat eivät vaikuttaisi valmistusprosessiin.



Kuva 19. Suorituskykyanalyysi halkaisijamitalle.

Kuvasta 20 voidaan nähdä, että ympyrämäisyys oli hallinnassa ja normaalisti jakautunut. Ympyrämäisyudessa kone ei ollut suorituskyvyltään vaatimukseen nähden yhtä kyvykäs kuin halkaisijamitassa. Tulosten perusteella toleranssialueen ylittäviä kappaleita ilmeni koneelta kuitenkin ulos vain alle 500 kpl per miljoona tuotosta. Ympyrämäisyys ei ole kuljettajien kokemuksen mukaan millään tavoin säädettävissä. Koneelle oli haettu ajan saatossa optimaalisimmat arvot ympyrämäisyysvirheen pienentämiseksi.



Kuva 20. Suorituskykyanalyysi ympyrämäisyydelle.

Koneen tuottamien kappaleiden ympyrämäisyyden keskihajonta oli alle  $0,5 \mu\text{m}$ , vaikkakaan suorituskyky ei ylettänyt tavoitellulle tasolle. Hiomakoneen nro. 2 kanssa suoritettiin samat toimenpiteet ja analysoinnit kuten edellisenkin kanssa. Männän halkaisijan mittatuloksia analysoidessa huomattiin valvontarajojen ylittävä tulos, joka ilmaisee yleensä prosessin olevan epävaka. 50 kappaleen näyte-erässä, joka ei kuvasta täydellisesti koko populaatiota on mahdollisuus hypoteesin virheellisyyteen. Tulosten perusteella mittaustulokset olivat kuitenkin normaalisti jakautuneita, joten suorituskykyarvoihin pystyttiin luottamaan. Koneen suorituskyky halkaisijamitassa ei ylittänyt tavoitteita, mutta kone oli vaatimukseen nähden kohtalaisen kyvykäs. Mittaustulosten jakauma ei tämänkään koneen kanssa sijoittunut toleranssialueen keskelle. Ympyrämäisyydessä kone oli erittäin suorituskykyinen vaatimukseen nähden. Verrattuna edelliseen koneeseen, parempaan suorituskykyyn vaikuttaa merkittävästi laajempi toleranssialue. Koneen valmistamista kappaleista nolla prosenttia ylittää toleranssialueen ympyrämäisyydessä.

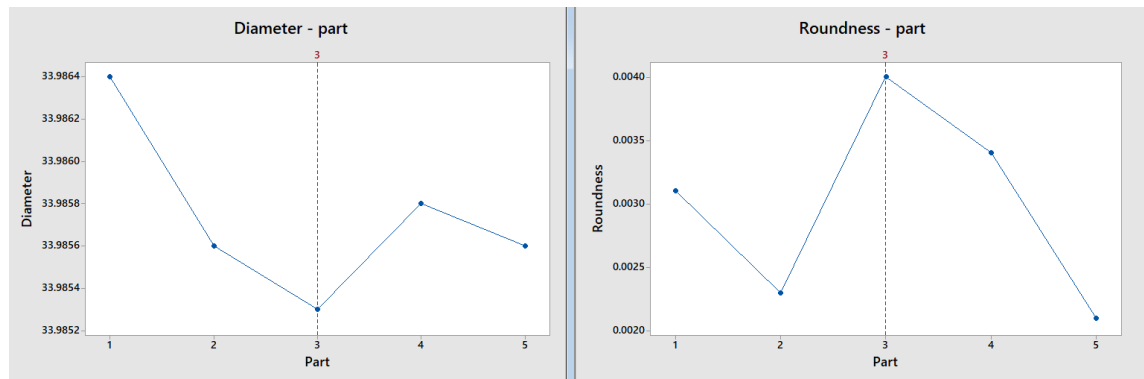
Hiomakoneen nro. 3 suorituskyky sekä halkaisijassa, että ympyrämäisyydessä oli kohtalainen vaatimukseen nähden. Tavoitteita koneen suorituskyvylle ei kuitenkaan ylitetty ympyrämäisyydessä tai halkaisijamitassa.

Hiontakoneiden laaduntuottokyvyn selvittämisen jälkeen siirryttiin ovensuljin runkoja koneistavan koneen suorituskyvyn mittaamiseen. Ovensuljinrungot koneistetaan valukappaleesta. Opinnäytetyön aiheena oli runko-mäntä sovitteeseen liittyvien koneiden ja prosessin suorituskykyjen mittaaminen, joten koneistuskeskuksen suorituskykyä lähdettiin mittaamaan mäntätilan halkaisijalla ja ympyrämäisyydellä. Mäntätila kalvataan mekaanisesti säädettävillä teräpaloilla kahdesta eri suunnasta. Halkaisijamitan säätö tapahtuu kalvaimen säätämällä pöydällä siihen tarkoitettuun penkissä. Tarkkaa säätöintervallia kalvaimelle ei ollut määritetty johtuen valuaihioiden vaihtelevasta laadusta ja oksidikeskittymistä. Kalvaimen säätäminen tarkoittaa aina tuotannon pysäyttämistä säädön ajaksi, joten koneistajien keskuudessa runkojen mäntätilojen kalvaaminen toleranssirajalta toiselle oli normaalia. Kalvaimen säätäminen osoittautui koneistajien mielestä myöskin epämukavaksi tehtäväksi. Runkojen kanssa koneistajilla oli tiedossa koneen heikosta suorituskyvystä ympyrämäisyyden suhteen. Mäntätilan halkaisijamittaa ja ympyrämäisyyttä mitattiin tuotekehityksen määrittämästä toiminnan kannalta kriittisimmistä kohdista.

Rungot kulkivat saman mittaus ja puhdistusprosessin läpi kuin männät. Runko-koneen mittaustuloksia analysoitaessa huomattiin selkeä terän kulumisesta johtuva trendi halkaisijamitassa. Halkaisijamitta pieneni 50 kpl erässä jo riittävästi näkyäkseen valvontakortissa laskevana janana. Trendi aiheutti valvontakortissa valvontarajoja ylittäviä mittatuloksia. Kone on hankalasti hallittavissa terän nopeasta kulumisesta ja vaihtelevasta materiaalista johtuen. Näyte-erän keräilyhetkellä koneen suorituskyky halkaisijamitassa oli heikko johtuen väärin säädetyistä kalvaimista. Kalvaimen virhesäädön mahdollisuus on suuri, koska lämpölaajeneminen vaikuttaa merkittävästi mäntätilan mitattuun halkaisijaan. Koneesta ulostulevien kappaleiden lämpötila nousee jopa yli 60 asteeseen. Runkojen tulisi jäähtyä huoneenlämpöön ennen säätöön johtavien mittauksien suorittamista. Pienikin lämpötilaero huoneen ja kappaleen välillä aiheuttaa säätövirhettä, koska toleranssialue kappaleelle on suppea. Mittaustuloksien analysoinnin mukaan kone kuitenkin olisi kykenevä tuottamaan erinomaista laatua tiheämmällä säätöväälillä. 50 - 100 kpl välein oikein säädetty kalvain toteuttaisi tällä materiaalilla 0 % virheosuuden halkaisijamitassa. Ympyrämäisyydessä koneen suorituskyky ei ylittänyt tavoitteita. Runkoja mitatessa mäntätilassa ilmeni selkeä ovaalimuoto,

joka toistui aina samaan suuntaan. Tästä johtuen tuotteen ympyrämäisyysvaatimukseen ei kaikilla rungoilla päästy. Runkojen mäntätiloja mitattiin myös toiselta korkeudelta. Johtuen reilusti laajemmista toleranssialueista toisella korkeudella, koneen suorituskyky oli erinomainen. Keskihajonta kahden korkeuden kesken oli kuitenkin lähestulkoon sama. Myös lähes sama ympyrämäisyyden keskihajonta saatiin molemmilta korkeuksilta.

Koneiden suorituskykymittauksien jälkeen siirryttiin mittaaman prosessien pitkäaikaisempaa suorituskykyä, jossa mukana olisi mahdollisimman moni muuttuja. Koneen suorituskykyä mitatessa mittaustulosten hajontaan vaikutti pääasiassa pelkästään koneen sisäiset vaihtelut. Prosessin suorituskykymittaukset ovat koneen suorituskykymittauksiin nähden työläämpiä ja enemmän aikaa vieviä. Tästä johtuen prosessin suorituskykymittaus tehtiin vain yhdelle hiontakoneelle. Oven-suljin runkojen koneistuskeskukselle suorituskykymittausta olisi ollut merkityksentöntä tehdä terän kulumisesta johtuen. Riittäväksi näytteiden määräksi prosessin suorituskykymittaukselle päätettiin 125 kpl mäntiä. Kerättävät näytteet jaettiin 5 kpl näyte-eriin, jotka kerättiin tasaisin väliajoin neljän vuorokauden ajan. Yksi näyte-erä koostu viidestä peräkkäin valmistetusta kappaleesta. Näytteet kerättiin ja mitattiin näyte-erä ja aikajärjestyksessä, jonka jälkeen tuloksia lähdettiin tarkemmin analysoimaan Minitab ohjelmalla. Valvontakortissa oli halkaisijamitalle selkeästi näkyvissä valvontarajoja ylittäviä useampia erityisyyttä. Suorituskykyarvoja näistä mittatuloksista ei voitu suoraan laskea, koska mittaustulokset eivät olleet normaalisti jakautuneita. Männät jotka ylittivät valvontarajat, olivat halkaisijaltaan aina poikkeuksetta alimittaisia. Nämä männät mitattiin useampaan kertaan mittausvirheen poissulkemiseksi. Erityisyyden löydön yhteydessä heräsi epäily hiontakiven timantoinnin vaikutuksesta hetkellisesti halkaisijamittaan. Timantoinnin vaikutusta lähdettiin tutkimaan lyhyellä kokeella mittaamalla kappaleita sekä ennen timantointia, että timantoinnin jälkeen. Kappaleista mitattiin edellisten mittauksien tapaan halkaisija ja ympyrämäisyys. Kaksi kappaletta mäntiä mitattiin ennen timantointia ja kolme jälkeen. Epäily timantoinnin vaikutuksesta halkaisijaan tai ympyrämäisyyteen osoittautui tutkimuksen tulosten analysoinnin jälkeen virheelliseksi. Kone osaa kompensoida timantoinnin jälkeisen hiontakiven muutoksen, jotta vaikutus ei ilmene valmistettavissa kappaleissa.



Kuva 21. Mittaukset ennen ja jälkeen timantoinnin.

Kuvan 21. mukaisesti timantointi tapahtui kappaleen 2 jälkeen, eikä normaalista hajonnasta eroavaa muutosta tapahtunut ympyrämäisyydessä eikä halkaisijassa. Tämä syy erityisyyden syntyyn voitiin poissulkea. Tämän opinnäytetyön aikataulun rajoissa erityisyyden syntyyn syventyminen olisi ollut hankalaa.

Kun oletetut erityisyyt poissuljettiin laskelmista, tulokset olivat normaalisti jakautuneita ja hallinnassa. Näin ollen tuloksien pohjalta voitiin laskea prosessin suorituskykyarvoja. Prosessin suorituskykyarvo ei ylittänyt Abloyn tavoitteeksi asettamaa arvoa. Prosessi oli epäkeskisesti sijoittunut toleranssialueelle. Prosessin maksimaalista suorituskykyä kuvaava  $C_p$  arvo ylitti kuitenkin yleisesti maailmalla käytetyn hyvän prosessin raja-arvon. Tuloksissa oli erotettavissa päivittäisiä trendejä, jotka oletettavasti johtuivat koneen lämpötilavaihteluista ja työvuoroista. Ympyrämäisyydessä prosessin suorituskyky oli tyydyttävä. Suorituskyky vastasi keskiarvoltaan koneen suorituskykyä. Muutos koneen suorituskykymittauksiin verrattuna ympyrämäisyydessä oli jakauman leventyminen. Keskihajonnan suurenemisen johdosta suorituskykyarvot laskivat ja näin ollen virheellisten tuotoksien osuus kasvoi. Prosessista pitkällä aikavälillä ulostulevien ympyrämäisyydessä virheellisten kappaleiden osuus on noin 20 %. Tulokset vahvistivat entisestään tilastollisen prosessinohjauksen tarvetta männänhiontasolussa.

## 11 Pohdinta

Opinnäytetyötä aloittaessa minulla oli perustietämys tilastollisesta prosessinohjauksesta ja suorituskykylukujen laskennasta teoriatasolla. Työtä aloittaessa huo-

masin kuitenkin pian teorian ja käytännön välillä ammottavan aukon. Teorian soveltaminen käytäntöön ei ollutkaan niin yksinkertaista kuin miltä se paperilla ja ajatuksissa oli vaikuttanut. Hiukan asioita tutkittuani soveltaminen käytäntöön selventyikin pian. Toimeksiantajayritys antoi työn tekemiseen kaiken tarpeellisen, perehdytyksen toimintaan sekä työkalut työn tekemiseen.

Opinnäytetyön aihe ja rajaus muuttuivat työni aikana, koska alkuperäinen rajaus olisi ollut liian laaja toteutettavaksi suunnitellulla aikataululla. Alkuperäinen rajaus tuntui aluksi mahdolliselta suunnitellussa aikataulussa, mutta tämä ajatus kariutui hyvinkin äkkiä. Uuden rajauksen myötä sovitut tutkimukset oli mahdollista toteuttaa sovitussa aikataulussa. Uuden rajauksen tutkimukset ovat kuitenkin pohjatyötä tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönotossa, joten tutkimukset olivat tarpeellisia.

Tutkimuksen tulokset toivat mukanaan sekä positiivisia että negatiivisia yllätyksiä. Tutkimukset osoittivat todellisia epäkohtia mittausprosessissa ja laaduntuotokyvyssä tiettyjen koneiden ja osien piirteiden kohdalla. Joissain tapauksissa asioiden kuviteltiin olevan paremmin kuin ne todellisuudessa olivatkaan. Liiketoimintayksikössä on jo pidemmän aikaa mietitty oman koordinaattimittakoneen hankkimista. Tutkimuksen tulokset vahvistivat myös tämän hankintatarpeen tärkeyttä, varsinkin jos tilastollinen prosessinohjaus tullaan ottamaan käyttöön. Lisäksi tulokset toivat selkeästi ilmi teollisuudessa hyvinkin suuren ongelman, yliohjauksen. Kykenemättömät mittalaitteet ja väärin tehdyt mittaukset operaattoreiden keskuudessa aiheuttivat ylimääräisiä säätöjä koneilla. Ylimääräiset säädöt siirsivät vaihtelun keskiarvoa kauemmaksi vaatimusrajojen keskipisteestä, eli mittatuloksiin reagoitiin väärin. Kaikilla koneen operaattoreilla ei ollut myöskään selkeää käsitystä prosessin vaihtelun tarkoituksesta ja tilastollisen prosessinohjauksen merkityksestä koneen säätämiseen. Matalan prosessin suorituskyvyn ja yliohjauksen kautta virheellisiä kappaleita pääsee jatkovaiheisiin, joka aiheuttaa kokoonpanossa osien välisiä yhteensopivuusongelmia. Yliohjauksen ehkäisemiseen tilastollinen prosessinohjaus olisi ainoa keino. Prosessivalmistuksessa sen käyttöönotto ja soveltaminen olisi vielä varsin helppoa verrattuna erävalmistukseen.

Kokonaisuutena opinnäytetyö onnistui mielestäni hyvin. Uudestaan määriteltyihin tavoitteisiin päästiin ja molemmat osapuolet olivat tyytyväisiä lopputuloksiin. Vaikkakin alkuperäisestä tavoitteesta jouduttiin luopumaan, on tämän työn pohjalta hyvä lähteä sitä tavoittelemaan.



## Lähteet

Abloy Oy. 2018.

<http://www.abloy.fi>. 15.6.2018.

SixSigma. 2017. Mitä on SixSigma.

<http://www.sixsigma.fi/fi/six-sigma/>. 23.6.2017.

QK Karjalainen. 2017. Taustaa Six Sigmalle.

<http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/taustaa-six-sigmalle/>.  
12.6.2017.

Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit - Hyödynnä SPC. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

SixSigma. 2017. Lean Six Sigma DMAIC.

<http://www.sixsigma.fi/fi/six-sigma/dmaic/>. 25.6.2017.

Whatissixsigma. 2018. Control and Specification limits.

<https://www.whatissixsigma.net/control-limits-vs-specification-limits/>. 20.6.2018.

Joglekar, A. 2003. Statistical Methods for Six Sigma: In R&D and Manufacturing.

Barrentine, B. 2003. Concepts for R&R Studies. ASQ.

Lähteenmäki, M. & Leiviskä, K. 1998. Tilastollisen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät.

<http://herkules.oulu.fi/isbn9514275209/isbn9514275209.pdf>.  
29.3.2017.

AIAG. 2010. Measurement system analysis. Fourth edition.

Fluke. 2018. Fluke 62 MAX+.

<https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/lampotilan-mittaus/infrapunalam-pomittarit/fluke-62-max-plus>. 24.6.2018.

Eastern Illinois University. 2018. Interpretation of X-bar and R charts.

[http://castle.eiu.edu/pingliu/int4843/resources/Control\\_chart.htm](http://castle.eiu.edu/pingliu/int4843/resources/Control_chart.htm).  
16.6.2017.