



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Konetekniikka

SPC:n hyödyntäminen sylinteri- tuotannossa

SPC:n hyödyntämisprosessin ja toimintatavan kehitys-
työ

Tommi Tella

Opinnäytetyö, toukokuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 Joensuu
+358 13 260 600

Tekijä
Tommi Tella

Nimike: SPC:n hyödyntäminen sylinterituotannossa: SPC:n hyödyntämisprosessin ja toimintatavan kehitystyö

Toimeksiantaja
Abloy Oy Joensuun tehdas

Tiivistelmä

Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Abloyn Joensuun tehtaalle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää sylinterituotteiden valmistukseen toimintamalli, missä SPC:n tietoja hyödyntäen saavutettaisiin näkyvää kehitystä aikaiseksi. Työn tavoitteena oli löytää valmistuksen haasteet sekä kehitysideoita, joilla haasteita voitaisiin kehittää löydösten avulla.

Tutkimustyö toteutettiin DMAIC-menetelmän mukaisesti hyödyntäen Lean Six Sigman periaatteita. Opinnäytetyössä käytettiin analyysimenetelminä syy-seuraus-, viisi kertaa miksi- sekä FMEA-analyysiä sylinterivalmistuksen riskeistä. Analyysien lisäksi suoritettiin henkilöhaastatteluita osavalmistuksen koneistajille ja työnjohdolle, tuotannon laadunkehityksen henkilöstölle sekä mittaushenkilöille. Haastatteluiden tulosten pohjalta löytyi kehitettäviä kohteita, joita voitaisiin hyödyntää tuotannossa.

Työn tuloksena saatiin kehitettyä toimintamalli, missä mitattavien kappaleiden mittaus-tuloksien lisätietoihin lisätään poikkeaman ilmetessä todennäköisin syy poikkeamalle sekä mittajaan nimi. Tällä päästään seuraamaan suurimpia poikkeamien aiheuttajia ja lopulta karsimaan näitä, jolloin suorituskyky ja tuotteiden laatu paranevat. Lisäksi jatkokkehityskohteina työn tuloksista havaittiin tarve SPC-mittauksen lisäkoulutukseen koneistajille, sylintereiden mittajigin päivitys, mittausmenetelmän yhtenäistäminen ja kolarien jälkeinen terien vaihtoon.

Kieli Suomi

Sivuja 48
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat

SPC, analyysit, tuotannon kehitys, laatu, prosessin kehitys



THESIS
May 2024
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
FI 80200 Joensuu
FINLAND
+358 13 260 600

Author
Tommi Tella

Title
Utilization of SPC Method in Cylinder Production

Commissioned by
Abloy Oy Joensuu factory

Abstract

The thesis was carried out as commission for Abloy's Joensuu factory. The purpose of the thesis was to develop an operational model for the production of cylinder products, utilizing SPC data to achieve visible improvements. The goal of the work was to identify the challenges in production and to find development ideas to address these challenges based on the findings.

The research was conducted according to the DMAIC methodology, utilizing Lean Six Sigma principles. Analysis methods used in the thesis included cause-and-effect analysis, the five whys and FMEA analysis of risks in cylinder manufacturing. In addition to the analyses, personal interviews were conducted with machinists and supervisors in parts manufacturing, production quality development personnel and measurement staff. The interviews revealed the most challenging products and provided development ideas such as the importance of tool replacement after collisions, adding additional information to measurement data when deviations occur, additional training on measurement methods, updating the cylinder measurement jig and standardizing the measurement method.

As a result of the work, an operational model was developed where the most likely cause of deviations and the name of the measurer are added to the additional information of the measurement results when a deviation occurs. This allows for tracking the main causes of deviations and eventually eliminating them, thereby improving performance and product quality. Additionally, the results of the work identified further development needs, such as additional SPC measurement training for machinists, updating the cylinder measurement jig, standardizing the measurement method and tool replacement after collisions.

Language Finnish

Pages 48
Appendices 2
Pages of Appendices 2

keywords
quality, analyses, SPC, production development, process development

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tarkoitus ja tavoitteet	4
1.2	Taustaa	5
1.3	Abloy ja Joensuun tehdas	5
1.4	Käsitteet	7
2	Tietoperusta ja menetelmät	9
2.1	Six Sigma	9
2.2	DMAIC	10
2.3	SPC:n käsitteitä	11
2.3.1	Ohjauskortti	12
2.3.2	Ohjauskortinlaadinta I-MR-kortti	13
2.3.3	Ohjauskortinlaadinta x-kortti	13
2.3.4	Ohjausrajat	14
2.3.4	Muuttujakortit	15
2.3.5	Muuttujakorttien käyttökohteet	15
2.3.6	Muuttujakorttien tulkinta	16
2.3.7	Toleranssirajat	16
2.3.8	C_{pk} -Luku	17
2.3.9	C_p -luku	18
2.3.10	X-MR-kortti	19
2.3.11	FMEA-analyysi	19
2.4	Ohjauskorttien ja SPC-tilakorttien tulkinta	20
2.5	Syy-seuraus-analyysi	24
2.6	Prosessin tilan arvio	25
2.7	Haastattelut	26
2.8	Viisi kertaa miksi	27
2.9	Mittaaminen	28
3	Työn tavoitteet	29
4	Tutkimusongelmat ja tutkimustehtävät sekä kysymykset	29
5	Tutkimuksen toteutus	31
5.1	Aiheen rajaaminen	31
5.2	Tutkimusmenetelmät	32
5.3	Työn kohde	34
5.4	Aineiston hankinta	34
5.5	Haastattelut	35
5.6	Aineiston käsittely ja analyysi	36
5.7	Kehitysideat	39
6	Tulokset	40
6.1	Haastatteluiden tulokset	40
6.2	Työn tulokset	41
6.3	SPC-tilakorttien havainnot	43
7	Pohdinta	46
7.1	Työn tarkastelu	46
7.2	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	47
7.3	Työn eettisyys	47
7.4	Toimenpidesuositukset ja jatkotutkimusaiheet	48

1 Johdanto

1.1 Tarkoitus ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää toimintatapa, jossa hyödynnetään SPC:tä ja sen eri työkaluja Abloyn sylinterituotannossa, ja täten saada taiseempaa ja parempaa laatua osien valmistuksessa, sekä mahdollisesti pystyä ennakoimaan mittatulosten perusteella tulevaa vaihtelun kasvua.

Tekijälle tämän opinnäytetyön tavoite on oppia hyödyntämään tuotannonkehitysmenetelmiä, miettimään jatkotoimenpiteitä tulosten kautta ja myöhemmin opitun tiedon hyödyntäminen.

Mikäli tämän työn kautta onnistutaan löytämään keino tuotettavien kappaleiden mittojen vaihtelun pienentämiseen ja ennakointiin, tästä työstä tulee olemaan huomattavaa hyötyä sylinteri tuotannossa, jolloin tätä työtä voidaan hyödyntää vastaavien tuotteiden valmistuksessa Abloylla ja tätä kautta työn hyöty suurenee.

Tämä opinnäyte työ tehtiin Abloyn Joensuun tehtaalle ja sen tarkoituksena oli auttaa parantamaan tuotantoa saavuttamaan parempaa laatua tiettyjen tuotteiden kohdalla. Tuotannosta kerättiin tietoa valmistettavien tuotteiden mittojen vaihteluista, mutta niitä ei vielä ole hyödynnetty niin laajasti kuin pystyisi.

Opinnäytetyön yksi tavoite oli löytää mahdolliset haasteet koneistuksessa ja mahdollistaa niiden kehittäminen löydösten avulla. Löydettyjen haasteiden pohjalta pyrkimyksenä oli tehdä toimintamalli, mutta mittatietojen rajallisuus vaikeutti toimintamallin tekemistä. Laadullisia haasteita huomattiin olevan tiettyjen tuotteiden valmistuksessa, mutta tässä keskityttiin vain neljään sylinteri tuotteeseen, jottei työ kasva liian suureksi. Lopputuloksena löydettiin kehityskohteita ja nämä annettiin tiedoksi toimeksiantajalle.

1.2 Taustaa

Olen ollut Abloylla töissä vuodesta 2015 asti ja työtehtävieni ansiosta olen päässyt näkemään laajasti koko Joensuun tehtaan toimintaa. Hyvän ymmärryksen osavalmistuksesta antoi työnjohdon kesäloma sijaisuus sekä puolen vuoden sijaisuus työkaluvalmistuksessa, jonka yhteydessä myös osavalmistus tuli tutuksi.

Opinnäytetyön aihetta varten koneistuksesta valittiin kaksi sorvia, joiden valmistamista tuotteista valittiin kaksi erilaista sylinteriä, joiden laatuvariaatiota pyritään parantamaan. Näistä kahdesta sorvista valikoitui kuitenkin lopulta vain toinen, jonka valmistamia sylintereitä tarkasteltiin. Nykyisin mittatietoja kerätään talteen mutta sen hyödyntäminen on melko vähäistä näiden tuotteiden kohdalla ja tällä opinnäytetyöllä lähdettiin tekemään tähän parannusta.

Menetelmänä SPC on Abloylla käytössä koko tuotannossa, mutta jokaisella tuotannon osa-alueella sitä ei hyödynnetä parhaalla mahdollisella tavalla. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on hyödyntää SPC-tietoja paremmin tuotannon kyseisellä osa-alueella.

Opinnäytetyössä käytetään laadunhallinta menetelmiä, joiden kautta pyritään löytämään ja ratkaisemaan ongelmakohtia prosessin laadussa. Esimerkkejä näistä edellä mainituista menetelmistä ovat Lean Six Sigma ja DMAIC.

1.3 Abloy ja Joensuun tehdas

Abloy sai alkunsa vuonna 1907, kun Emil Henriksson (kuva 1) keksi levyhaitta-sylinterin ja lukon toiminnan periaatteen. Keksintö sai patentin vuonna 1919 ja lukkojen valmistusta varten syntyi Ab Låsfabriken-Lukkotehdas OY Helsinkiin. Myöhemmin yrityksen nimi muuttui Ab lukko Oy:ksi. Lyhyemmästä nimestä syntyi tavaramerkki Abloy, joka sai nimensä yrityksen alkukirjaimista. Vuonna 1923 Abloyn osti Kone- ja Siltarakennus oy, jonka johdosta Abloysta tuli osa Wärtsilä-konsernia. Maailmanlaajuinen kysyntä Abloyn lukoista johti lukkoitehtaan laajentamiseen, ja Joensuun tehdas sai alkunsa vuonna 1968. (Abloy Oy 2023a)



Kuva 1. Emil Henriksson (Abloy 2023a).

Ensimmäinen Abloysähkölukko tehtiin Suomen Pankille turvaamaan setelipainoa vuonna 1978 ja siitä lähti huima edistyminen sähkömekaanisten lukkojen kehittämisessä. Assa Abloy -konserni syntyi vuonna 1994, kun Abloy yhdistyi ruotsalaisen Assa yrityksen kanssa, joka oli Abloyn yksi suurimmista kilpailijoista. Nykyään Abloy Oy on maailmanlaajuisesti hyvin tunnettu korkealaatuisten mekaanisten ja sähkömekaanisten lukitustuotteiden valmistaja, kuten myös digitaalisten turvallisuus- ja kulunhallintaratkaisujen tuottaja. (Abloy Oy 2023a)



Kuva 2. Joensuun tehdas (Abloy 2023b).

Joensuun tehtaalla hyödynnetään uusinta teknologiaa, kevyttä materiaalivirtaa, hyödynnetään nykyaikaista automatisoitua varastohakujärjestelmää, sekä pintakäsittelylaitosta. Tehtaassa valmistetaan mekaanisia, sekä sähkömekaanisia avaimia, lukkoja ja ovisylintereitä, teollisuuslukkoja, ovenkahvoja ja -vetimiä, ovensulkijoita, sekä oviautomatiikkaa. Joensuun tehtaassa työskentelee tällä hetkellä 800 henkilöä, tehtaan pinta-ala on 21300 m² ja sieltä toimitetaan jopa 3,4 miljoonaa tuotetta vuosittain (kuva 2). (Abloy Oy 2023b)

1.4 Käsitteet

Sylinterituotteet ovat suurin tuoteryhmä Abloyn tuotevalikoimassa, joka pitää sisällään mekaaniset ja elektromeekaaniset tuotteet. Näitä tuotteita yhdistää mekaaninen sylinteri, (kuva 3) minkä toiminta on pysynyt samana Abloyn alkuajoilta saakka (Abloy 2023)



Kuva 3. Abloy sylinteri (Kuva: Tommi Tella)

Pyörähdyskappaleella tarkoitetaan kappaletta, joka on yhteen suuntaan pyörittäessä kappaleen keskiakselin suhteen lähes symmetrinen. Abloyn lukkojen sylinterit ovat hyvä esimerkki pyörähdyskappaleesta (kuva 4). (Prometalli 2024)



Kuva 4. Abloy sylinteri, pyörähdyskappale (Kuva: Tommi Tella)

Sorvi on työstökone (kuva 5), joka lastuamalla poistaa kappaleesta metallia. Sorveja voi olla manuaalisia eli käsikäyttöisiä ja cnc-ohjattuja sorveja (kuva 6). Manuaalisorvi on hyvä kone, kun tehdään melko yksinkertaisia pyörähdyskappaleita. (Prometalli 2024)

Sorvaamalla voidaan valmistaa pyörähdyskappaleita. Sorvatessa työstettävä aihio pyörii ja terä pysyy paikoillaan. Sorvatessa terää siirretään hitaasti, jolloin

lastua alkaa irrota kappaleesta. Jotta saavutetaan riittävän, hyvälaatuinen sorvikappale on sorvatessa otettava huomioon eri terät, lastuamisarvot ja työstöohjelma. (Sandvik coromant 2023)



Kuva 5. Manuaalisorvi (Kuva: Tommi Tella)

Cnc-sorvi toistaa sille annettua ohjelmaa ja näin ollen sitä käytetään yleensä tuotantokäytössä, jolloin ajettavat sarjat ovat kymmeniä, jopa tuhansia kappaleita samaa tuotetta. Cnc-sorvi on myös käytännöllinen, kun sorvattavan kappaleen mittojen täytyy olla tarkkoja, mikä voi manuaalisorvilla olla vaikea toteuttaa. (Phillips Machine tools India 2022)



Kuva 6. cnc-sorvi (Kuva: Tommi Tella)

SPC on prosessien valvonnan työkalu, jolla seurataan prosessin laadun kehitystä tilastollisin menetelmin, joita ovat erilaiset taulukot ja kuvaajat. Laajasti tulkittuna SPC tarkoittaa menetelmiä, joilla prosessin laadun ohjaamista hallitaan ja siihen liittyviä päätöksiä tehdään. (Salomäki 2003, 167.)

Mittausepävarmuudella tarkoitetaan arviota mittaustulosten paikkaansa pitävyydestä ja tarkempien mittausten kohdalla tämä arviointi tulee tehdä, jotta pystytään arvioimaan, onko saatu mittaustulos paikkaansa pitävä. Mittausepävarmuus otetaan huomioon mittaustulosten raportoinnissa. Mittausepävarmuuteen vaikuttaa monia asioita ja niitä ei aina voida tietää varmaksi. Yleisimpiä vaikuttajia ovat mittaajan taidot, mittalaitteen tarkkuus ja tarkemmissa mitoissa lämpötilan muutokset mittauksen aikana. (FINAS 2023)

2 Tietoperusta ja menetelmät

2.1 Six Sigma

Six Sigmalle on kansainvälinen standardi, joka on ISO 13053-1. Six Sigman avulla pyritään parantamaan prosesseja ja tuotannon suorituskykyä. Suorituskykyä mitataan suorituskyky mittareilla ja indekseillä, C_p sekä C_{pk} . Tämä menetelmä soveltuu toimialasta riippumatta eri prosesseihin, työsuoritteisiin ja systeemeihin. (Quality Knowhow Karjalainen. 2023.)

Menetelmän tehokkuus perustuu suurimmaksi osaksi hukkan poistamiseen, kuten odotteluun, huonojen kappaleiden määrän vähenemiseen pienentyneen laatu vaihtelun kautta, sekä muita arvottomia työvaiheita vähentämällä. Näillä menetelmillä yrityksen työntekijöille jää enemmän aikaa tuottaviin työtehtäviin ja vaiheisiin, jotka antavat tuotteille lisä arvoa. Leanin yhdistäminen Six Sigmaan perustuu molempien menetelmien etujen hyödyntämiseen, jolloin puhutaan Lean Six Sigmasta. Tämä menetelmä on tehokas pienempien ja helpompien parannusprojektien toteuttamiseen. (Jaatinen. 2023.)

2.2 DMAIC

Lyhenne DMAIC tulee sanoista, define, measure, analyse, improve ja control. DMAIC-menetelmän käyttö alkaa haasteen määrittämisellä, jossa katsotaan läpi suunnitelmat, tehtaen toimintaan vaikuttavat prosessit, tehdään arvio, onko haasteen ratkaisu taloudellisesti järkevää tai tavoitteellista, määritetään kehitystiimin tehtävät ja määritetään projektin suunnitelma. Tässä vaiheessa määritetään myös tehtävään sopivat mittarit, joita aloitetaan seurata. (SFS-EN ISO 13053-1. 2014. 44–46.)

Mittausvaiheessa haasteen määrittämisen jälkeen aletaan määrittämään tarvittavia mittareita, suunnitellaan tiedon keräysmenetelmät ja kehitysprojektin toteutus suunnitelma. Lisäksi tässä vaiheessa tunnistetaan lähtö- sekä nykytilanne yhdessä prosessin haasteen kanssa. Mittausjärjestelyjen luotettavuus arvioidaan, jotta voidaan varmistua, että saatava mittatieto on tarkkaa ja paikkansa pitävää. Lopuksi selvitetään prosessin nykytilanteen suorituskyky ja sen vaatimukset. (SFS-EN ISO 13053-1. 2014. 46.)

Analysointivaiheessa tunnistetaan kriittisimmät haasteet prosessista sekä virheet ja vaikutus tuotantoon. Lisäksi analysointivaiheessa on tarkoitus löytää haasteet, jotka vaikuttavat tavoitteiden ja lähtötason välillä. Mittausvaiheen mittatuloksia analysoidaan tarkasti tilastollisia menetelmiä käyttäen. Lopulta analysointivaiheen aikana syntyvät havainnot voivat johtaa siihen, että koko kehitysprojekti joudutaan määrittämään uudelleen. Tällöin aloitetaan samalla tavalla ongelman määrittämisestä ja jatketaan mittaus- ja analysointi vaiheeseen. Tätä jatketaan tarvittaessa niin monta kertaa, että kehitysprojektin määrittely vakiintuu. (SFS-EN ISO 13053-1. 2014. 48.)

Parantamisjaksossa on tarkoitus saada aikaan pysyvää parannusta prosessiin. Prosessin parantamisjaksossa pyritään tunnistamaan kaikki esteet ja haasteet, jotka ovat ratkaisun toteuttamisen esteenä. Ratkaisu prosessin parannusvaihtoehtoista ei aina ole selkeä, vaan saadaan useampi vaihtoehto, joista valitaan paras kyseisen haasteen ratkaisuun. Tässä valinnassa on hyvä käyttää työkaluna esimerkiksi ratkaisunvalinta matriisia tai muita sen tapaisia menetelmiä, joilla saadaan lopputulokseksi sopivin vaihtoehto, jolla prosessia aloitetaan parantamaan. (SFS-EN ISO 13053-1. 2014. 48.)

Seuraavana parantamisjakson jälkeen kehitysprojektissa on vaiheena ohjausjakso, jonka aikana on tarkoitus vahvistaa tehdyn haasteen ratkaisun vaikutus keräämällä ja analysoimalla mittatietoa nykytilanteesta ja verrattava sitä alkutilanteeseen. Kun on todettu, että ratkaisu on ollut toimiva ja kehitystä on huomattavissa, laaditaan jatkosuunnitelma siitä, miten jatkossa prosessia ohjataan, jotta prosessin laatu ei ala vaihtelevaan enää. Kun tämä suunnittelu on tehty, suunnitelma luovutetaan käyttäjälle, joka jatkaa suunnitelman toteuttamista. Kehitysprosessin aikana kerätty tieto kuten mittatiedot, projektin yksityiskohdat, muuttujat ja niiden seuraukset sekä projektin lopputulos kirjataan muistiin ja tämä tieto välitetään kaikille osapuolille. (SFS-EN ISO 13053-2. 2014. 50.)

2.3 SPC:n käsitteitä

Perusjoukolla tarkoitetaan koko tutkittavaa joukkoa tuotteita. Perusjoukko koostuu tässä tutkimuksessa kaikista tehdyistä ja tulevaisuudessa tehtävistä samantyyppisistä kappaleista, joita tutkitaan. Tästä joukosta alkio on yksittäinen osa perusjoukkoa. (Salomäki 2003, 178.)

Näyte tai otos tarkoittaa otosta perusjoukon kappaleista tilanteessa, missä josta kappaleita ei voida tutkia. Tilastotieteen näkökulmasta nähden otos määritellään perusjoukon osaksi sen perusteella, että jokainen kappale on mahdollista tulla osaksi otosta. Mikäli tämä vaatimus ei täyty kyseessä, on näyte tietystä kohdasta tuotantosarjaa. (Salomäki 2003, 178–179.)

Kun SPC:n yhteydessä puhutaan keskiarvosta, käytetään tällöin yleensä aritmeettista keskiarvoa. Tämä saadaan laskemalla tulokset yhteen ja jakamalla yhteenlaskun tulos alkuperäisten tulosten lukumäärällä. Vaihteluvälillä tarkoitetaan tulosten suurimman ja pienimmän arvon välistä erotusta. (Salomäki 2003, 179.)

Näyte-erän keskihajonta eroaa perusjoukon keskihajonnasta siten että näyte-erä koskee yleensä yhtä näyte-erää, jonka perusteella tehdään keskiarvo laskelmat muulle erälle. Näin ollen näyte-erään perustuva keskiarvo muodostaa keskiarvo arvion muusta tuotantoerästä. Näin joudutaan tekemään koska suuria tuotanto eria valmistaessa ei pystytä järkevästi toteuttamaan jokisen kappaleen mittausta. Näyte-erän keskiarvolla ei kuitenkaan voida tarkasti arvioida koko prosessin hajontaa. (Salomäki 2003, 181.)

Näyte-erän keskiarvo s , lasketaan kaavalla:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

n = Näyte-erän koko

s = Keskihajonta näyte-erälle

x_i = yksittäisen näytteen mittatulos

\bar{x} = mittaustulosten keskiarvo

(Salomäki 2003, 181.)

2.3.1 Ohjauskortti

Ohjauskortista käy ilmi graafisesti esitettyinä kerätyn tiedon perusteella laadittu prosessin tilastollinen suorituskyky. Tämän graafin perusteella voidaan ennustaa prosessin mittojen käyttäytymistä ennen, kun jotain muuttuu ja näin löydetään prosessin muutokset. Ohjauskortit jaetaan kahteen kategoriaan niihin, joita käytetään jatkuvan tiedon tutkimiseen kuten mittatiedot ja niihin, joilla tutkitaan ominaisuuksia kuten lukumäärää. Ohjaus kortilla analysoidaan SPC:ssä normaalimuuttujaa, asteikkoa ja tarkoitusta ja ohjauskorttia käytetään näiden tietojen tarkkailuun. Mikäli huomataan poikkeama edellä mainituissa mittareissa, tiedetään että kyseessä on erikois- poikkeama ja että täytyy ryhtyä tutkimaan syytä tälle ongelman aiheuttajalle. Keskiarvokortti vastaa kysymykseen, onko vaihtelun erityisyys aiheuttanut keskeisen suuntauksen muutosta tarkastelua ajan jakson aikana? (Pyzdek 2003, 393–394.)

2.3.2 Ohjauskortinlaadinta I-MR-kortti

I-MR-kortti yhdistää kaksi erillistä korttia yhteen, jolloin siitä nähdään prosessin kokonaiskuva. I-korttia kutsutaan joissain lähteissä myös X-kortiksi. I-kortti on yksittäistulosten ja MR-kortti on muuttuvan rajan taulukko. I-MR-kortilla valvotaan prosessin vaihtelua yksittäismittaus tulosten seurannalla. Tätä korttia käytetään, kun jatkuva tiedon keräys tapahtuu tiettyyn aikaväliin perustuen. I-MR-kortti auttaa sen käyttäjää havaitsemaan sen hetken, kun prosessi alkaa aiheuttaa liian suurta vaihtelua kerätyissä mitoissa ja kertoo mihin vaihtelua aiheuttavaan seikkaan kannattaa keskittyä. (Six Sigma study guide 2024.)

MR-kortti valvoo prosessin vaihtelua, kun mittaustuloksia kerätään tietyllä aikavälillä. Toisin sanoen tällä kortilla seurataan peräkkäisten mittausten eroa toisiinsa. (Six Sigma study guide 2024.)

2.3.3 Ohjauskortinlaadinta x-kortti

Yksittäisille mitoille tarkoitettua ohjauskorttia kutsutaan x-kortiksi. Tämä ohjauskortti on tilastollinen työkalu, jota käytetään arvioimaan prosessin keskeistä suuntausta ajan saatossa. X-korttia käytetään, kun ei ole järkevää käyttää prosessin keskiarvoa valvonnassa.

Keskiarvo kortin sijaan voi olla järkevämpää käyttää x-korttia koska prosessin rahallinen arvo voi olla liian kallis esimerkiksi, jos tuotteen testaus käytännössä tuhoaa kappaleen tai muuten tekee siitä käyttökelvottoman. Prosessin tuote voi olla myös liian homogeeninen, jotta siitä saisi riittävää vaihtelua esille keskiarvo kortilla. Tuotantoerä valmistuksessa käytetään usein yksittäisvalvonta korttia, tällöin yleensä erän sisäinen vaihtelu on pientä verraten aiempiin eriin. (Pyzdek 2003, 401–402.)

Keskiarvon laskukaava yksittäisluku kaaviossa

$$\bar{X} = \frac{\text{mittausten yhteenlaskettu lukuarvo}}{\text{Mittausten lukumäärä}} \quad (2)$$

(Pyzdek 2003, 401.)

2.3.4 Ohjausrajat

Ohjausrajat ovat valvontarajoja, jotka määritetään mitattavasta tuotteesta saaduista mittaustulosten keskiarvosta laskemalla. Ohjausrajoja on kaksi, alaohjausraja (LCL, Lower Control Limit) ja yläohjausraja (Upper Control Limit) ja nämä rajat asetetaan mittatulosten keskiarvon molemmin puolin symmetrisesti. (Salomäki 2003, 183.)

Ohjausrajat X-kortille lasketaan joko lisäämällä tai vähentämällä x-keskiarvosta, E_2 kerroin, joka löytyy alla olevasta taulukosta ja valitaan otoskoon n mukaan. Nämä kerrotaan vielä molemmissa kaavoissa MR:llä, joka on kuvaajan mittatulosten keskiarvo. (Salomäki 2003, 241.)

$$UCL = \bar{X} + E_2 \cdot \overline{MR} \quad (3)$$

$$LCL = \bar{X} - E_2 \cdot \overline{MR} \quad (4)$$

(Salomäki 2003, 241.)

Alla olevasta taulukosta löytyvät laskukaavojen E_2 kertoimet.

Otosten lukumäärä, n	X-korttien kerroin, E2
2	2,66
3	1,772
4	1,457
5	1,29
6	1,184
7	1,109
8	1,054
9	1,01
10	0,975
11	0,945
12	0,921
13	0,899
14	0,881
15	0,864
16	0,849
17	0,836
18	0,824
19	0,813
20	0,803

Taulukko 1. (Pyzdek 2003, 756.)

2.3.4 Muuttujakortit

Kun tarkastelun kohteena on tuotteen tai prosessin mitattavissa oleva suure, käytetään tällöin muuttujakortteja tarkasteltavan tiedon analysointiin. Tämä suure voi olla mikä tahansa mitattavissa oleva ominaisuus, eikä sen ole pakko olla ennalta määritelty mitta. Mittauksen tarkkuus riippuu käytettävästä mittausmenetelmästä ja mitta-asteikosta, joilla mittaus suoritetaan ja tulkitaan. Muuttujakortteja on useita eri versioita. Tässä alla neljä yleisimmin käytettyä mallia.

\dot{x} /R-kortti

\dot{x} /MR-0kortti

\dot{x} /s-kortti

\dot{x} -kortti

Joissain lähteissä \dot{x} -kortti on merkitty ilman yläviivaa, koska se voi olla hankala käsitellä joillain ohjelmilla ja tällöin \dot{x} merkitään normaalilla x:llä. Tästä esimerkki: x-kortti vs. \dot{x} -kortti. (Salomäki 2003, 214–215.)

2.3.5 Muuttujakorttien käyttökohteet

Muuttujakortteja käytetään siis silloin, kun mitataan jotain suuretta, josta saadaan erilaisia arvoja eri mittaushetkinä, esimerkiksi tuotantoprosessista. Tarkastelun kohteena oleva prosessi voi olla jatkuva tai erävalmistusprosessi. Prosessin ollessa erävalmistusta erät voidaan erottaa toisistaan helpommin ja yksityiskohtaisemmin, joka helpottaa tietyn erän jäljitettävyyttä. (Salomäki 2003, 215.)

Jatkuvan prosessin aikana tuotantoerää ei voida rajata ja jäljittää vaan tässä tapauksessa jäljittäminen perustuu esimerkiksi valmistusajankohtaan. Kerättävä näyte erä voi molemmissa tapauksissa olla joko muuttuva tai vakio. Valvonta rajojen laskeminen perustuu näyte-erän vaihtelun tai vaihteluvälin avulla laskettuihin arvioihin. (Salomäki 2003, 215.)

2.3.6 Muuttujakorttien tulkinta

Muuttujakortit tulkitaan tiettyjen spesifien tulkintasääntöjen mukaisesti. Muuttujakorteissa lasketaan yleensä suorituskylukuja, koska muuttujalle on lähes poikkeuksetta asetettu jokin ennalta määritelty toleranssi. Prosessi on suorituskyyinen, kun mittaustulosten vaihtelu on pientä suhteessa asetettuun toleranssiin ja kun mittaustulosten jakauma on normaali. Näille molemmille muuttujakortin osalle on tehtävä häiriöanalyysi. (Salomäki 2003, 215–216.)

Prosessin suorituskyyä seuratta voidaan havaita tilastollisesti osoitettavissa olevaa muutosta. Tämä muutos voi toisinaan olla huonompaan suuntaan ja tälle syitä voivat olla esimerkiksi muutos prosessissa, mittaustavassa, tai näytteen otossa. Mikäli muutosta havaitaan parempaan suuntaan lähtötilanteesta, tähän vaikuttaneet tekijät tulee vakiinnuttaa osaksi prosessia. Tämä on pystyttävä todentamaan prosessista saadun tiedon avulla. (Salomäki 2003, 215.)

Muuttujakortti voi osoittaa, että prosessi olisi hallinnassa, mutta sen hajonta voi olla liian suurta. Tällaisessa tilanteessa on vaihtoehtoja tilanteen korjaamiseksi, tuotanto voidaan lopettaa, laadun vaatimukset voidaan tarkastella uusiksi, valmistusmenetelmän vaihtaminen tai aloitetaan kehittämään prosessia, jotta laatu paranisi. Hallinnassa olevaa prosessia, kun aloitetaan kehittämään ei voida enää keskittyä yksittäisiin kohteisiin, vaan on aloitettava tutkimaan koko prosessia, sekä menetelmän tasaisuutta, käytettävää materiaalia, työntekijöiden ammatillista osaamista ja työn huolellista suoritusta sekä ympäristön vaikutuksia, jotta haaste löydetään. Prosessia voi olla järkevä jakaa pienempiin osiin, jolloin haasteiden löytäminen voi helpottua. (Salomäki 2003, 215.)

2.3.7 Toleranssirajat

Valmistettavan tuotteen määrityksissä on määritelty ylä- ja alatoleranssirajat. Upper Specification Limit-termi (USL) on suomennettuna ylätoleranssiraja. Tämä raja on korkein luku, minkä tuotteen mitta voi olla ilman, että se on toleranssi rajan ulkopuolella ja näin ollen hylättävä.

Lower Specification Limit-termi (LSL) on suomennettuna alatoleranssiraja ja kuten ylätoleranssiraja, tämä on vastaavasti alin raja, jota mittalukema ei saisi alittaa. Tuotteella voi olla määriteltynä vain toinen näistä rajoista, jolloin puhutaan minimi- ja maksimiarvosta mittaluvulle. (Salomäki 2003, 183.)

2.3.8 C_{PK}-Luku

Suorituskykyluku eli C_{PK} kuvaa hallinnassa olevan prosessin mittaustulosten keskiarvon sijaintia toleranssialueen keskelle hallinnassa olevassa tuotantoprosessissa. C_{PK}:n arvon määrää keskiarvoa lähempänä oleva toleranssiraja. Mikäli prosessin tavoite C_{PK} arvo on keskellä toleranssialuetta, tällöin arvoa k, ei tarvitse laskea. ”Tässä tapauksessa C_{PK}:n arvo saadaan suoraan laskemalla toleranssirajan ja mittaustulosten keskiarvon etäisyyden suhteen vaihtelun puolikkaaseen” (Salomäki, 196.)

$$C_{PK} = \min \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} \right); \left(\frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right) \quad (5)$$

(Salomäki, 196.)

”C_{PK} voidaan määritellä vain, jos prosessi on tilastollisesti hallinnassa ja lähes normaalijakautunut” (Salomäki, 197). Yleisesti hyvän ja hallinnassa olevan prosessin C_{PK} taso, C_{PK} > 1,33, sallii vielä pienen häiriön prosessissa ennen kuin toleranssiraja ylitetään. Kun havaitaan liian suurta vaihtelua prosessissa, pyritään sitä ensin pienentämään. Kun vaihtelua on saatu pienennettyä ja C_P arvo on suurempi kuin 1,33 keskitytään ohjaamaan prosessi toleranssialueen keskelle, jolloin C_{PK} arvo on yli 1,33. Tästä eteenpäin jatketaan jatkuvan parantamisen keinoin, jotta prosessi saadaan vielä paremmalle tasolle. Lisäksi täytyy valvoa prosessin suorituskykyä, jotta voidaan havaita mahdolliset häiriöt. (Salomäki 2003, 195–198.)

$C_{pk} < 1,00$	Tilanne prosessissa on heikko ja toleranssirajoja ylitetään jatkuvasti.
$C_{PK} = 1,00-1,33$	Tilanne prosessissa on huono ja pienikin virhe voi johtaa toleranssirajan ylitykseen
$C_{PK} = 1,33-1,50$	Tilanne prosessissa on kohtuullinen ja pienet virheet sekä vaihtelu ei aiheuta toleranssirajan ylityksiä
$C_{PK} > 1,50$	Prosessi on luotettavalla tasolla ja muutokset huomataan helposti

Taulukko 2. C_{PK} -ohjearvot. (Salomäki 2003, 198.)

C_{PK} on yksinkertaisesti luku, joka kertoo numeerisesti prosessin suorituskyvyn tason. Mikäli C_{PK} -luku on alle 1 toimenpiteitä täytyy tehdä ja tavoitteena luku on yli 1.33 jottei prosessille välttämättä tarvitse tehdä mitään. Kuitenkin Six Sigma prosessin tavoite C_{PK} :lle olisi 2. (Pyzdek 2003, 474–475.)

2.3.9 C_p -luku

Maksimisuorituskykyä prosessille kuvaa C_p -luku, joka kuvaa sitä mihin toleranssin vaatimukseen nähden prosessi on kykenevä teoriassa. Tällä luvulla ilmaistaan prosessin teoreettinen maksimisuorituskyky tämänhetkisellä vaihtelun suuruudella.

C_p -luku kuvaa siis maksimisuorituskykyä, mutta se ei ota mitenkään huomioon, onko prosessin suorituskyky toleranssirajojen sisällä, vaan on mahdollista, että laskettu luku on toleranssirajan ulkopuolella. C_p lasketaan vähentämällä ylätoleranssista alateranssiraja ja jakamalla tämä kuusi kertaa sigmalla. (Salomäki 2003, 195–196.)

$$C_p = \left(\frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \right) \quad (6)$$

(Salomäki 2003, 196).

2.3.10 X-MR-kortti

X-MR-korttia käytetään X-R-kortin sijaan, jos näyte-eriä ei ole saatavilla tai erät eivät antaisi todellista kuvaa laadusta. X-MR-kortti yhdistää kaksi korttia yhteen jolloin, siitä nähdään X-kuvaaja sekä MR-kuvaaja yhdessä kuvaajassa.

X-kuvaajan kertoessa yksittäisten mittausten tai näyte-erien keskiarvon, kuten X-R-kortti ja MR-kuvaaja näyttää peräkkäisten näytteiden tai näyte-erien liukuvan vaihteluvälin ja sen hajonnan. X-MR-korttia käytetään silloin kun valmistetaan tuotantoeriä ja kun kustakin erästä saadaan vain yksittäinen mittaustulos, tai kun näyte erien välinen hajonta on pientä eri erien välillä. (Salomäki 2003, 240.)

2.3.11 FMEA-analyysi

FMEA-lyhene tulee englanninkielisestä menetelmästä Failure Mode and Effect Analysis. FMEA:n avulla pyritään kuvaamaan kaikki mahdolliset virheet, niiden vaikutukset, esiintyvyys, ja mahdollisuus sille, että virhe jää huomaamatta.

FMEA:n yksi tavoite on kohdistaa saatavilla olevat tutkimusresurssit kaikkein lupaavimpaan kohteeseen. Tämä on hyödyllistä, koska aina kaikkein suurimman riskin omaava kohde ei välttämättä ole kaikkein paras kohde, johon kohdentaa ennaltaehkäisevää tutkimusta. FMEA prosessi pitää sisällään seitsemän vaihetta ja ensimmäisenä määritetään analysoitava kohde. Tämä sisältää kohteen sisäisen ja käytön kannalta tärkeiden funktioiden määrittämisen, suorituskyvyn arvioinnin, järjestelmän rajoittavien tekijöiden- ja mahdollisen epäonnistumisien määrittämisen. (Pyzdek 2003, 596–597.)

FMEA:n rooli laadunvarmistuksessa on tärkeä ja ratkaiseva luotettavuuden varmistuksessa. FMEA analyysia voidaan käyttää hyväksi projektien suunnittelu- ja määrittäsvaiheissa. Analysoitavasta kohteesta otetaan otanta ja tästä tehdään havainnot, joita hyödynnetään sittemmin yleisellä tasolla antamaan laadullinen analyysi prosessista. Tällä analyysillä pyritään vähentämään riskiä, että prosessin eri vaiheet heikentyisivät, kuten luotettavuus, käytettävyys, huollettavuus ja turvallisuus. Analyysi koostuu taulukosta, jossa luetellaan mahdolliset haasteet ja pisteytetään niiden seuraukset, kerroin *S*, määrittämään näiden mahdollisten

haasteiden syiden esiintyminen, kerroin O , arvioidaan haasteiden havaitsemistavat, kerroin D ja lisäksi arvioidaan kriittisyys, jonka kerroin on C , tätä kutsutaan joissain lähteissä myös prioriteettiluvuksi. Kriittisyyden arvio koostuu näiden kertoimien tuloksesta, joka lasketaan seuraavasti. $S \times O \times D = C$. (SFS-EN ISO 13053-2. 2014. 60.)

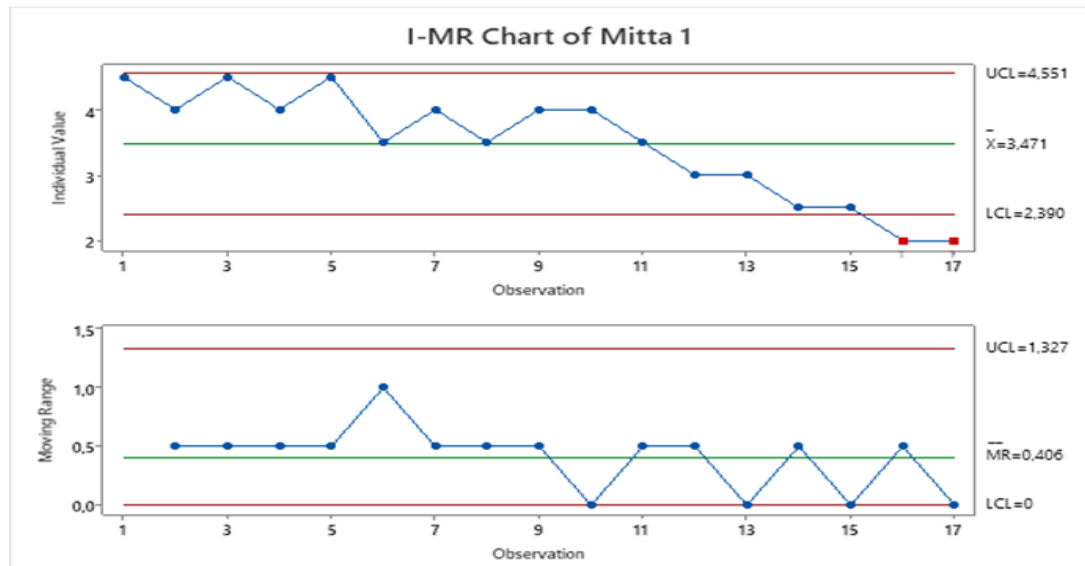
FMEA sylinterituotanto										
Tuote:	Sylinterit 1-4									
Pvm.	5.3.2024									
Laatija:	Tommi Tella									
Prosessin vaihe/tehtävä	Vaatus	Mahdollinen virhe	Virheen vaikutus	Virheen vakavuus	Virheen aiheuttaja	Valvonta menetelmä	Ilmaantuvuus	Valvonnan havainto	Korjaava toimenpide	Tehdyt toimenpiteet
Jyrsintä	Jyrsitään haittatangon ura	Terä värähtelee	Uran leveys vaihtelee	3	Kulunut terä	Terien vaihto tietyn ajomäärän jälkeen	4	Uran pinta epätasainen	Vaihdetaan terä ennakoivasti	-
Terän vaihto	Terä vaihdetaan ohjeiden mukaisesti	Karaan jää epäpuhtauksia	mahdollinen mittavirhe	4	Lika/leikkuu lastu	Silmämääräinen tarkastus vaihdon yhteydessä	2	Terä ääntää	Huolehditaan puhtaudesta	Muistutetaan puhtaudesta
Mittaus	Sylinteri mitataan ohjeiden mukaan	sylinteri asetetaan mittajigiin väärin	mahdollinen mittavirhe	6	Käyttäjän puutteellinen koulutus	Valvotaan että mittaus osataan tehdä oikein	3	kappale väärässä asennossa	koulutetaan ja valvotaan että mittaus osataan tehdä oikein	ehdotus koulutuksen pitämisestä
Koneistus prosessi	kone toimii	Kone vikaantuu	Korjaaja joudutaan kutsumaan paikalle	7	Kuluminen tai iso kolari	Kone ilmoittaa häiriöstä	2	Häiriö valo alkaa palamaan koneella	Vikaantunut osa vaihdetaan tai korjataan	-
Kolari ajon aikana	kone toimii ilman kolareita	jostain syystä kone kolaroi	terä vaurioituu	7	Kolarointi	Silmämääräinen tarkastus vaihdon yhteydessä	3	Kolari havaitaan	Vaihdetaan terä varotoimenpiteenä uuteen	Sovitaan varotoimenpiteestä

Taulukko 3. FMEA-taulukko (Kuva: Tommi Tella)

2.4 Ohjaukorkorttien ja SPC-taulukoiden tulkinta

Mittaustulosten ja niistä saatujen tulosten tulkintaan on monta eri ohje mallia ja sääntöä. Toiset asiantuntijat sanovat, että taulukossa kuuden peräkkäisen tuloksen suuntaus aiheuttaa jo erityissyhyhälytyksen ja toiset sanovat, että vasta yhdeksän tulosta voi tämän aiheuttaa. Osalle näistä tilanteista on laskettavissa tilastollisilla menetelmillä todennäköisyys, mutta osassa tilanteista tämä on mahdollista vasta jälkikäteen, kun tulokset ovat jo tiedossa, jolloin laskeminen ei ole enää kovin hyödyllistä. (Salomäki 2003, 312–316.)

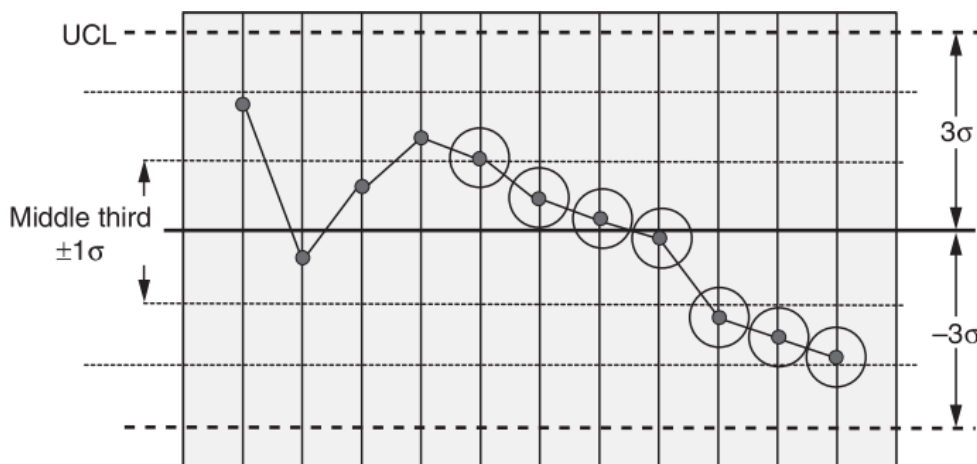
Salomäki listaa kirjassaan tulkinnan ohjeita: heti tehtävä tulkinta on tehtävä, kun tulos on käytettävissä. Esimerkiksi kun mittaustulos saadaan laadunvalvontalaboratoriosta niin heti tuloksen saatua sen perusteella tehdään tulkinta mitoista. Valvontarajan ylittävän tuloksen tulkinta: mikäli tulos ylittää valvontarajan sekä tulokset että vaihtelun kuvaajassa, voidaan olettaa, että sen aiheuttaa jokin erityisyys. Yleensä tämä tuloksen äkillinen hyppäys on huomattava aiempaan tulosten vaihteluun nähden. (Salomäki 2003, 312–316.)



Kuvio 1. Esimerkki I-MR-kaavio (Kuva: Tommi Tella)

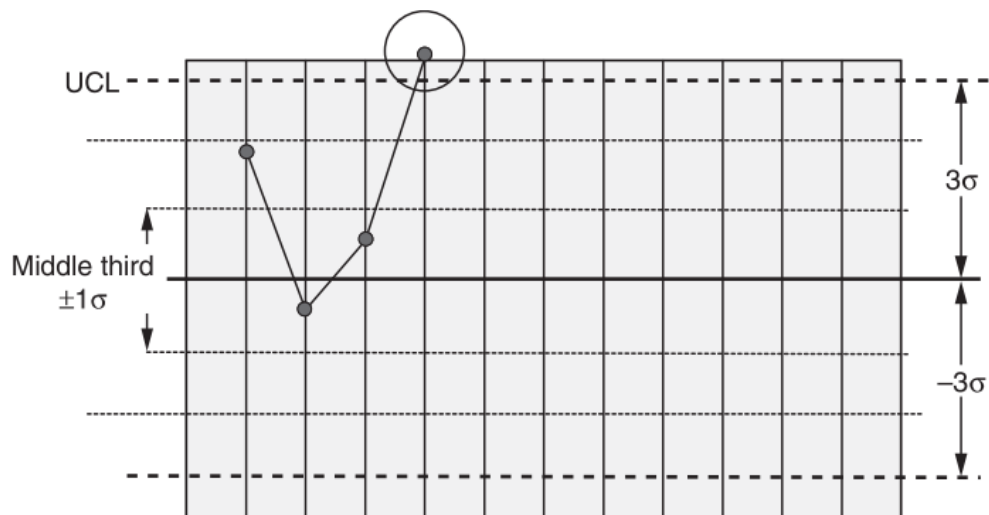
Mikäli valvottavan prosessin C_{pk} -luku on hyvä ja valvontarajan ylitys pieni, kannattaa odottaa lisää mittaustuloksia, ennen kun tehdään suurempia johtopäätöksiä. Erään teorian mukaan normaalikin vaihtelu ylittää toisinaan vaihtelurajat, eli noin 1 tulos 370 joukosta. Histogrammin tarkastelu kertoo paljon prosessista, esimerkiksi havaintojoukkojen sijaintia valvontarajojen välissä. Histogrammista nähdään, poikkeako jakauma muutoin normaalista vaihtelusta, jolloin valvontarajaa ei voida laskea normaalien sääntöjen mukaan. Kun prosessin tilanne on saatu selville ja tarvittavat toimenpiteet tehty, tilanne dokumentoidaan jatkoa varten ja tulos normalisoidaan tai poistetaan valvontakortin laskennasta.

Mittaustuloksilla voi olla histogrammista havaittava trendi, joka kuvaa selkeää tiettyyn suuntaan tapahtuvaa muutosta mittaustapausten suhteen. Mittaustulokset voivat joko laskea tai nousta, jolloin trendi havaitaan. Salomäen mukaan tämän trendin havaitsemiseen tarvitaan seitsemän peräkkäistä tulosta, jotka suuntautuvat samansuuntaisesti histogrammissa. (Salomäki 2003, 312–316.) Jotta ohjauskortteja voidaan tulkita, edellytyksenä sille on, että prosessi on lähes normaalijakautunut ja valvontarajat ovat oikein määritetty. (Salomäki 2003, 310).

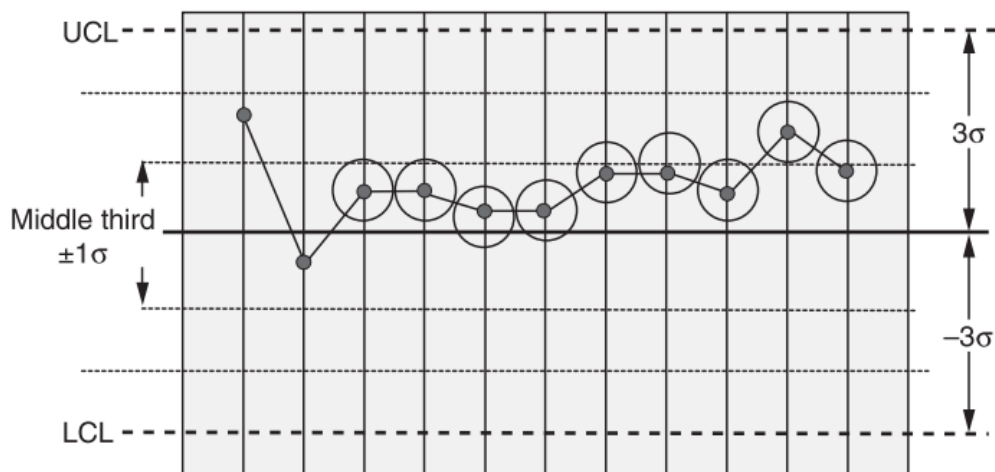


Kuvio 2. Seitsemän pisteen laskeva trendi. (Munro, Ramu ja Zrymiak 2015, 407).

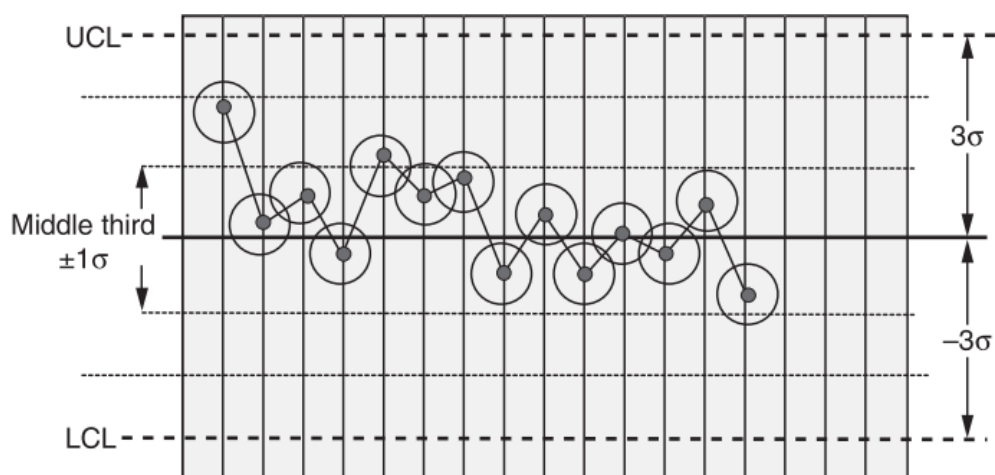
Ohjauskorttien kuvaajien tulkintaan on eri sääntöjä, joiden perusteella tehdään tulkinta prosessin kehityksestä. Näitä sääntöjä, joilla erityisyyttä tulkitaan ovat valvontarajan ylittävä mittatulos (kuvio 3), jolloin mittaus ylittää valvontarajan. Seitsemän tuloksen suuntaus (kuvio 2) on tilanne, kun seitsemän peräkkäistä mittaustulosta muodostaa joko nousevan tai laskevan trendin kuvioon. Seitsemän tuloksen polku on tilanne, jossa seitsemän peräkkäistä tulosta sijoittuu keskiarvon samalle puolelle (kuvio 4) tai kun seitsemän peräkkäistä tulosta, jotka edustavat tilastollista todennäköisyyttä suurempaa määrää sijoittuvat keskiarvon samalle puolelle. Äkillinen tason muutos (kuvio 7) kertoo jostain muutoksesta prosessissa, joka voi olla muutos parempaan tai huonompaan. Tason muutos voi kertoa tehdyistä kehitystoimenpiteistä, jonka seurauksena mittaustulokset muuttuvat huomattavasti edellisiin. Hyppivät tulokset (kuvio 5) ovat tuloksia, jotka vaihtelevat vuorotellen alas ja ylös. Tällöin syntyy sahakuvioinen kuvio, joka ei ole tilastollisesti todennäköinen ja täten tulkitaan erityisyyden aiheuttamaksi. Hyppivät tulokset ovat kuvaajassa saman näköiset kuin kuviossa viisi, vuorotellen nousevat ja laskevat tulokset. Kaksi kolmesta tuloksesta kahden sigman verran yli keskiarvon (kuvio 6) on tilanne, jossa normaalista poiketen kaksi tulosta kolmesta sijoittuu yli kahden sigman päähän keskiarvosta. Tilastollisesti tämä on hyvin harvinaista ja esiintyvyyden todennäköisyys on 0,6 %, syynä tälle voi olla mittausvirhe, vaihtelun kasvu tai prosessin pysyvä tai tilapäinen siirtymä. (Salomäki 2003, 314–323.)



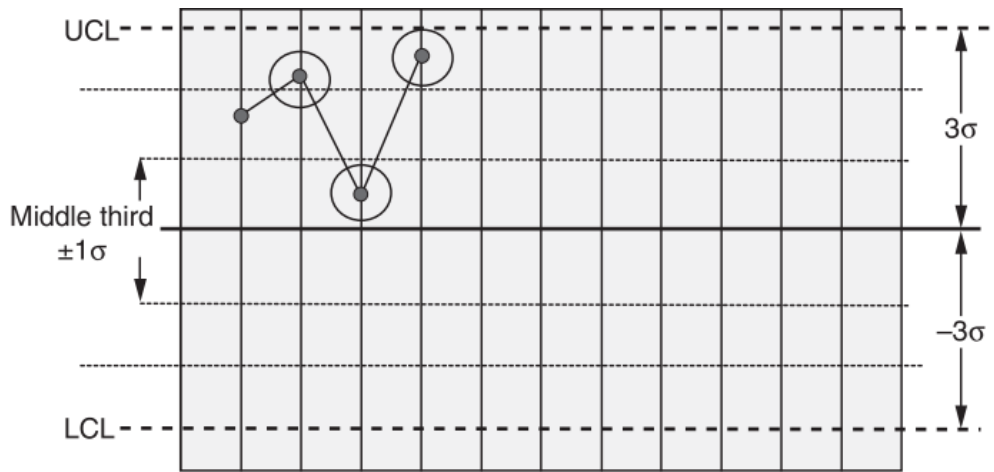
Kuvio 3. Valvontarajan ylittävä mittaustulos. (Munro Ramu ja Zrymiak 2015, 406).



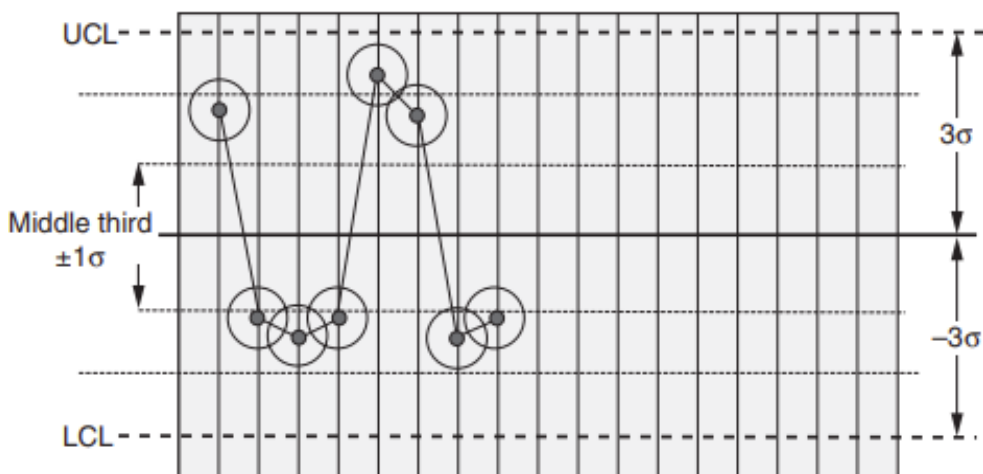
Kuvio 4. Seitsemän mittaustuloksen polku. (Munro Ramu ja Zrymiak 2015, 406).



Kuvio 5. 14 peräkkäistä mittaustulosta vuorotellen laskeva ja nouseva. (Munro Ramu ja Zrymiak 2015, 407).



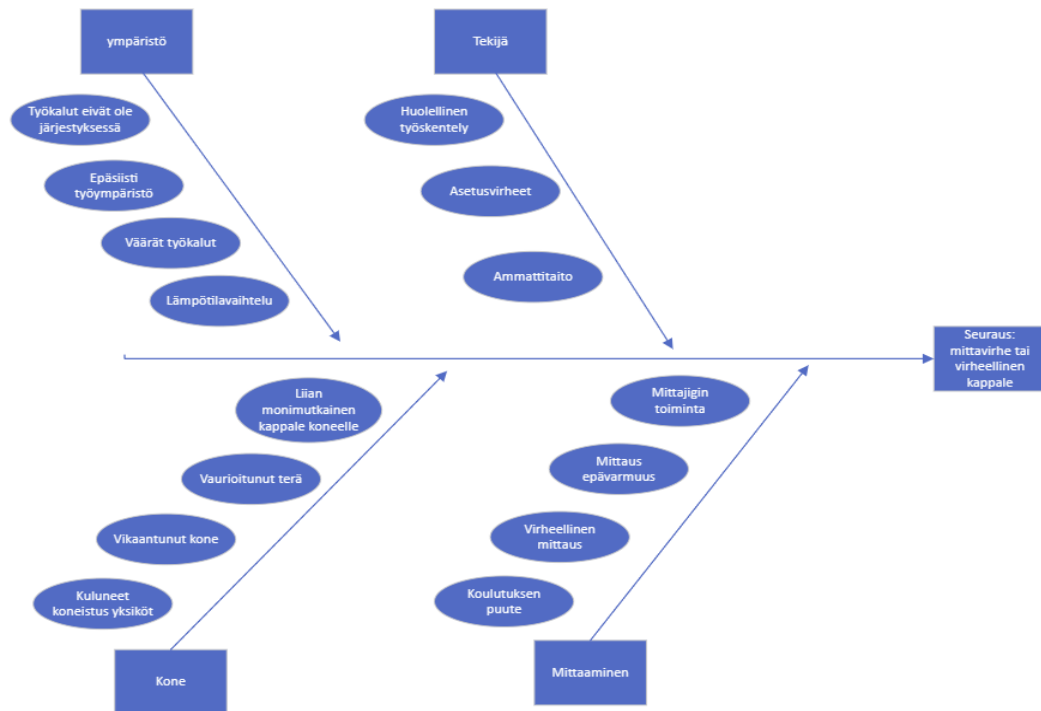
Kuvio 6. Kaksi kolmesta tuloksesta yli kahden sigman verran keskiarvosta. (Munro Ramu ja Zrymiak 2015, 407).



Kuvio 7. Äkillinen tason muutos. (Munro Ramu ja Zrymiak 2015, 408).

2.5 Syy-seuraus-analyysi

Syy-seuraus-analyysillä pyritään löytämään tunnetulle ongelmalle tai haasteelle mahdollisimman monta syytä ja mitä enemmän mahdollisia syitä löytyy, sitä todennäköisempää on, että ongelman aiheuttaja on yksi listatuista. Syy-seuraus-analyysi (Kuvio 8) esittää visuaalisesti käsillä olevan haasteen mahdolliset aiheuttajat. Analyysi aloitetaan prosessiajattelusta ja oletetaan haasteen olevan seurausta jostakin prosessin vaiheesta tai sen tekijästä. Ongelman ilmetessä ei välttämättä tule ajatelleeksi perimmäistä syytä vaan otaksutaan sen johtuvan ensimmäisestä tekijästä, joka mieleen tulee. Syy-seuraus-analyysi tunnetaan myös nimillä kalanruotokaavio sekä Ishikawa-kaavio. (Salomäki 2003, 346–348.)

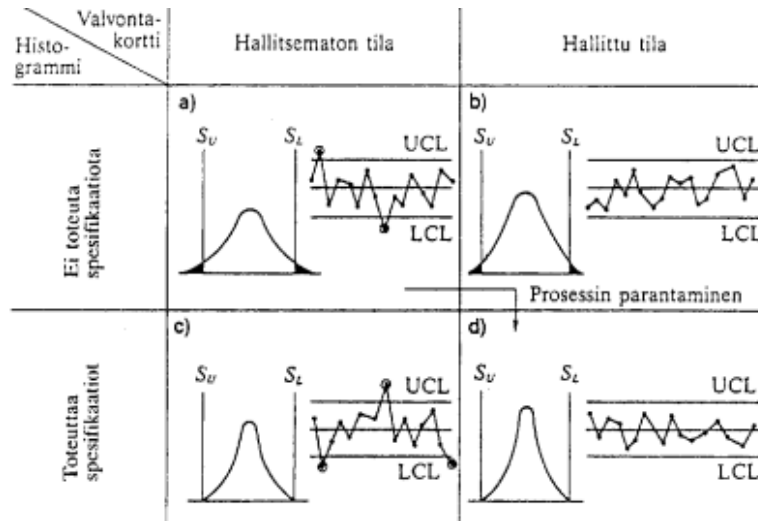


Kuvio 8. Syy-seuraus-kaavio (Kuva: Tommi Tella)

2.6 Prosessin tilan arvio

Prosessi voi olla hallinnassa ja silti virheellisiä kappaleita saattaa silti syntyä, myös hallitsemattomassa prosessissa syntyy hyviä kappaleita, joten prosessin tila ei vaikuta pelkästään siihen minkälaisia tuotteita prosessista syntyy. Prosessin tilan arviota varten on määriteltävä valvontarajat, jotta nähdään onko prosessi hallinnassa. Tuotteen spesifikaatio rajat määritetään, jotta voidaan erottaa hyvät ja huonot tuotteet mittaustuloksista. Kuvion yhdeksän mukaan voidaan määrittellä, onko prosessi hallinnassa vai ei.

Kohdassa a, prosessi ei ole hallinnassa ja virheellisiä tuotteita valmistuu. Kohdassa b, prosessi on hallinnassa mutta virheellisiä tuotteita syntyy. B kohdassa valmistettavalle tuotteelle on asetettu tiukat spesifikaatio rajat verraten prosessin suorituskykyyn, tällöin prosessin suorituskykyä tulisi parantaa. Kohdassa c, prosessi ei ole hallinnassa mutta silti valmistettavat tuotteet ovat virheettömiä. D kohdan tilanne on toivotuin näistä ja siinä prosessi on hallinnassa ja valmistuvat tuotteet ovat virheettömiä. (Lähteenmäki ja Leiviskä 1998, 5,7.)



Taulukko 4. Prosessin tilan arviointi-taulukko (Lähteenmäki ja Leiviskä 1998, 7).

2.7 Haastattelut

Kun halutaan tietoa toiselta ihmiseltä jostain toiminnasta tai näkemyksestä, kysytään siitä. Haastattelijan tulee miettiä ennen haastattelua mitä rajoituksia tekee kysymyksiin, miten kysymykset muotoillaan ja millä tyylillä asioita kysellään, nämä vaikuttavat suuresti siihen millaisia vastauksia saadaan. Haastattelusta saadun aineiston pohjalta voidaan analysoida tosiasioita, kokemuksia ja eri näkemyksiä aiheesta. (Hyvärinen, Suoninen & Vuori 2024, Haastattelut.)

Asiantuntijoita haastatellaan, kun heiltä halutaan tietoa jostakin tutkittavasta aiheesta mistä he tiedettävästi omaavat tietoa. Haastattelun voi tehdä kyselemällä aiemmin mietittyjä kysymyksiä tai joissain tapauksissa voi olla havainnollistavampi keino saada tietoa kävelyhaastattelulla. Tällöin haastattelu tapahtuu samalla kun liikutaan tutkittavassa ympäristössä ja tällöin haastateltavan voi olla helpompi kertoa asioita mitkä hänelle ovat rutiinin omaisia ja eivät välttämättä tulisi muuten esille. (Tutkimushaastattelu käsikirja, 9 asiantuntijahaastattelu.)

Kävelyhaastattelua tehdessä haastateltavasta henkilöstä saa mahdollisesti luonnollisemmin kyselyä tietoa haastattelun aiheesta. Kävellessä eri aistit heräävät ympäristön vaikutuksesta ja tällöin kiinnitetään huomiota eri tavalla mitä ympärillä on ja näin tietoa voi saada paremmin esille. Liikkumalla hitaasti voidaan keskittyä paremmin yksityiskohtaisiin asioihin. Kävelyhaastattelun yksi

hyvä ominaisuus on yhdessä tekemisen tunteen luominen, jonka ansiosta yhteisiä näkemyksiä voidaan luoda helpommin. Yhdessä käveleminen vaikuttaa myös henkilöiden väliseen vuorovaikutusdynamikkaan. Tämä vaikuttaa siihen millaisessa valtasuhteessa haastattelija ja haastateltava on keskenään sekä siihen mitä asioita haastattelun avulla voidaan saada esille. Perinteisesti haastattelija ohjaa haastattelun etenemistä, kuitenkin kävelyhaastattelua tehdessä ympäristössä tapahtuvat seikat vaikuttavat siihen, miten haastattelu sujuu vai keskeytykö se jostain syystä. (Tutkimushaastattelu käsikirja, 11 Kävelyhaastattelu.)

2.8 Viisi kertaa miksi

Kun kohdataan haasteita esimerkiksi prosesseissa, joiden syitä ei täysin tunneta, voidaan käyttää tässä apuna viisi kertaa miksi metodia. Kysymällä viisi kertaa miksi samaan ongelmaan alkaa jokaisella kysymyskerralla löytyä uusia näkökulmia haasteeseen ja sen ratkaisemiseen. Tätä metodia käyttäessä ei ole pakko kysyä aina miksi, niin tai näin vaan tärkeintä on penkoa asiasta uusia näkökulmia ja taustoja esiin, jolloin kysymyksiin saadaan todennäköisesti vastauksia. Monesti haasteen havaittua todetaan, että se on vain yksittäistapaus, joka ei aiheuta toimenpiteitä. Tämä ei kuitenkaan ole aina oikein vaan lähes jokaista haastetta tulisi analysoida tarkemmin, jottei niitä aina tulkita esimerkiksi huolimattomuusvirheeksi vaan pohditaan haasteen oikea tausta syy. (Salomäki 2003, 370.)

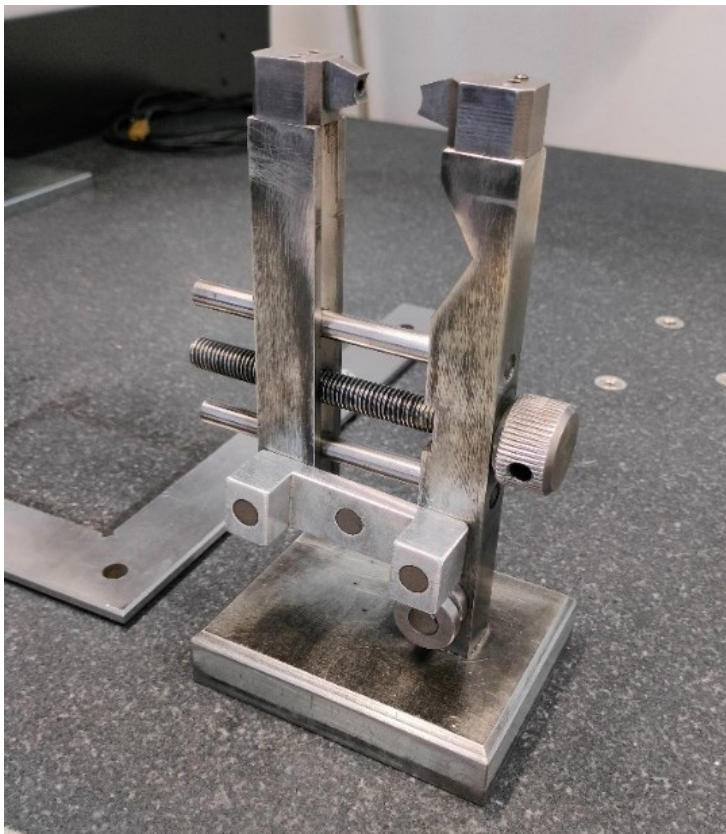
Miksi tietoja ei kirjata measurlink järjestelmään?

1. Käyttäjä ei tiedä miten tehdä kirjaus.
2. Käyttäjää ei olla opastettu miten kirjaus tehdään.
3. Laadun kehitystiimin aika ei ole riittänyt koulutukseen.
4. Ajan käyttö on priorisoitu muualle.
5. Tietojen kirjaus ei ole ollut aiemmin tärkeässä roolissa.

2.9 Mittaaminen

Sylintereiden mittaaminen tapahtuu lämpötilavalvotussa mittahuoneessa, missä on työskentelemässä tätä tehtävää varten koulutettu henkilö, joka pääasiassa suorittaa SPC-mittaukset. Toisinaan koneistajat itse suorittavat mittaukset ja tämä tapahtuu yleensä ilta- ja yövuorojen aikana, jolloin mittahuoneen henkilö ei ole paikalla. Nämä tiedot sain selville suorittamieni haastatteluiden aikana, joita suoritin tehtaalla.

Haastatteluiden yhteydessä tutustuin mittauslaitteeseen ja siinä käytettävään mittajigiin (kuva 7), jonka käytöstä huomasin, että mittaajalla on mahdollista kiristää mitattava sylinteri liian kireälle, jolloin tutkimani sylinterin muoto voi puristuksesta johtuen muuttua muotoaan. Tähän katsoisin järkeväksi vaihtaa erilainen säätöruuvien tai sen nuppi, jossa on esiasetettu momentti. Tällöin jokainen mitattava sylinteri kiristettäisiin samaan tiukkuuteen ja sylinterin puristuma olisi mahdollisimman sama jokaisella mittaus kerralla. Lisäksi mahdollista olisi keulla erilaisia jigin puristuskärkiä, jotka ottavat sylinteristä kiinni ja näitä pitäisi vaihtamalla tukevampiin ja isommalta alalta puristaviin voitaisiin mahdollisesti pienentää sylinteriin kohdistuvaa puristusta ja sitä kautta muodon muutosta.



Kuva 7. Sylinterin mittajigi (Kuva: Tommi Tella)

3 Työn tavoitteet

Aloitin tutkimustyön tekemällä haastatteluja Abloylla, haastattelemani henkilöt olivat koneiden ajajia ja osavalmistuksen työnjohtoa. Heiltä sain lisätietoa käsillä olevaan haasteeseen. Lisäksi haastattelin Abloyn laadunkehityksen henkilöitä, jotka ovat päivittäin tekemisissä tuotannonlaadun haasteiden kanssa ja käsittelevät niitä vastaavilla tutkimusmenetelmillä kuin tässä opinnäytetyössä. Laadunkehityksen henkilöiden kanssa keskusteltaessa minulle ilmeni, että SPC on Abloylla yritetty ottaa käyttöön jo aiemmin siinä kunnolla onnistumatta käytännön tasolla. Tietoja tuotannosta ja sen laadusta kerätään päivittäin, mutta sitä ei hyödynnetä kaikkein tehokkaimmalla tavalla, tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada siihen ratkaisu. Laadunkehityksen henkilöt osasivat hyvin kertoa minulle heidän näkemyksiänsä aiheesta ja sen haasteista, tämän lisäksi keskustelimme käytettävistä menetelmistä ja ohjelmista. Kerättävää mitta tietoa ei siis joka tilanteessa hyödynnetä sen täyden potentiaalin mukaan, vaan toisinaan se unohdetaan kokonaan ja valmistetaan vain toimivia tuotteita, jotka ovat asetettujen toleranssien rajoissa. Tuotannosta kerättävää mittatietoa kerätään talon sisäisen mittaus palvelun kautta, joka mittaa tarvittavat kappaleet ja lisää tulokset Measurlink nimiseen ohjelmaan.

Measurlink on Mitutoyo:n oma lisäohjelma, jolla luodaan mittaustiedon perusteella SPC-taulukoita, joista nähdään tuotannon laadun kehitys. SPC-tietoja ei tässä työssä tarvitse erikseen kerätä erillisiin taulukoihin vaan kaiken tarvittavan tiedon saa Abloyn järjestelmistä.

4 Tutkimusongelmat ja tutkimustehtävät sekä kysymykset

Haasteena tiedon keräämisessä oli se, että Measurlink järjestelmään ei tähän mennessä ole aina merkitty, mikäli toimenpiteitä on tehty mittojen korjaamiseksi tai mistä mahdollinen virhe johtuu. Tieto laitteen säädöistä ja terien vaihdoista jää laitteen ajajien tietoon eikä viikkoa vanhempaa tietoa voi luotettavasti saada selville. Mietittävä on, voidaanko tämänhetkisen SPC-tiedon perusteella tehdä

johtopäätöksiä siitä, mikä voi aiheuttaa mittojen vaihtelua. Rajallisen tiedon takia tämä ei onnistu. Mikäli tähän saadaan kehitystä tämän työn myötä, niin jatkossa taulukosta käy ilmi mittoihin merkityt lisätiedot, jotka auttavat tulkitsemaan suurimpia virheiden aiheuttajia ja näitä virheiden aiheuttajia karsimalla saadaan tulevaisuudessa parannettua tuotteiden laatua. Onko prosessi hallinnassa SPC:n näkökulmasta? SPC:n näkökulmasta prosessi ei ole hallinnassa minkään tuotteen kohdalla, joita tarkasteltiin. Ohjausrajoja on taulukoista nähtävästi ylitetty, joka ei vielä aiheuta virheellisiä tuotteita, mutta prosessi ei ole hallinnassa, kun näin suurta vaihtelua ilmenee. Saako SPC-taulukoista riittävää tietoa tässä työssä tutkittavien mittojen parannukseen? Valitettavasti ei saada, koska taulukoiden tarjoama tieto on rajoittunut näyttämään vain mittaustuloksia ja koska mittaukset tehdään ajon aikana sen verran harvoin, ettei selkeitä trendejä ole mahdollista havaita näistä taulukoista.

Voisiko tutkittavan muodon valmistaa toisella menetelmällä kuin kiekkojyrsimellä, esimerkiksi jrsintapilla? Valitettavasti ei ainakaan tutkitulla koneella onnistu jrsintapilla jrsintä. Tämä voisi olla seuraavan koneen päivitys kohde, mikäli se on lähivuosina suunnitelmissa. Onko koneiden käyttäjillä riittävä tietotaito tai perehdytys SPC-mittauksiin, jotta voidaan luottaa siihen, että heidän tekemät mittaukset ovat luotettavia? Lisäksi täytyy pohtia pitäisikö mittausta standardoida, jotta mittaukset olisivat ohjeistuksen puolesta kaikilla mittaajilla samanlaisia keskenään. Koneiden käyttäjiä on perehdytetty, miten mittaus tehdään, mutta tässä perehdytyksessä on haastatteluiden mukaan puutteita ja eroavaisuuksia, miten mittaus tulee tehdä. Tähän pyritään jatkossa saamaan yhtenäisen linja sille, miten mitataan. Tällä hetkellä mittaukset pitävät todennäköisesti suurimmalta osin paikkansa mutta on mahdollista eri mittaus tapojen takia syntyä mittausvirheitä. Mittausmenetelmä tulisi mielestäni yhtenäistää ja selkeät ohjeet laatia kaikkien mittausten tekijöiden luettavaksi mittahuoneeseen.

Lisähaastatteluita tehdessäni sain selville, että koneen suorituskyky on hyvä ja sen parantamiseksi voisi tehdä päivitystä koneistussyksiköihin, jotka ovat suurimmaksi osaksi mekaanisia. Näistä mekaanisista asemista voisi yhden päivittää cnc-ohjatuksi. Tämä cnc-asema mahdollistaisi jonkin sylinterin muodon työstön tarkemman säätömahdollisuuden, joka parantaisi mahdollisesti työn laatua. Lisäksi ilmeni, että toisinaan kolarin sattuessa on mahdollista, että terä tai sen pi-

din voivat vaurioitua, jolloin mittavirhettä varmasti ilmenee työstettävään kappaleeseen.

5 Tutkimuksen toteutus

Ajatuksena tuli erityisesti SPC-taulukoista havaituissa suurissa mittavirheissä, että tällä hetkellä ei ole mitään merkintää mistä ne johtuvat. Tavoitteeksi otetaan, että jatkossa kaikki mittauksia tekevät henkilöt merkitsevät SPC- taulukkoon muistiinpanon, mikäli huomataan että normaalista poikkeava mittaus on havaittu ja tähän muistiinpanoon merkittäisiin tekijän nimi sekä todennäköisin syy mittavirheelle. Näin päästään jatkossa tutkimaan taulukoista mistä nämä suuret vaihtelut johtuvat, koska taulukkoon jäisi merkintä mittavirheestä ja sen mahdollisesta aiheuttajasta. Tällä menetelmällä päästään tekemään listausta yleisimmistä virheen aiheuttajista ja näitä virheitä karsimalla saadaan parannettua suorituskykyä valmistusprosessissa. Lisäksi osavalmistuksen koneistajien tulisi jatkossa seurata aktiivisemmin kerättävää mittatietoa, jotta mahdollinen mittaustulosten siirtymä voitaisiin havaita ja siihen ennakoida ennen, kun suurta vaihtelua esiintyy.

Toisena kehityskohteenä on parempi SPC-mittauksen perehdytys kaikille henkilöille jotka mittauksia tekevät ja käyttävät mittalaitteita. Tällä tavalla pääsemme todennäköisesti eroon henkilöstä johtuvista mittausvirheistä, jotka näkyvät sitten virheellisenä mittauksena SPC-taulukoissa. Lisänä perehdytykseen suosittelisin sylinterituotteiden SPC-mittauksen standardointia, koska tällä vielä tarkemmin voidaan varmistua siitä, ettei mittaajien välillä ole niin suurta eroa tuloksissa.

5.1 Aiheen rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään lopputuloksen parantamiseen eli tiettyjen mittojen vaihtelun korjaantumiseen, joten pois jääviä aiheita ovat prosessin suorituskyvyn arviointi ja mittaamisen tarkempi tutkiminen. Tuotannosta valittiin

sorvi, jonka valmistamista tuotteista valittiin kaksi tuotetta joiden mitoissa oli eniten vaihtelua. Sylintereitä valmistava laite valittiin Hydromat merkinen monitoimisorvi, jonka tuottamien sylintereiden laatua alettiin tutkia.

Mittojen tarkasteluun valittiin tietty ajanjakso, jonka ajalta mittoja tutkittiin. Tämä aika oli puoli vuotta, mutta alkuperäisestä aikarajauksesta huolimatta päädyttiin tarkastelemaan kuvaajien 4–7 näyttämien ajanjaksoja, jotka olivat noin kaksi vuotta. Tällä tavalla pystyin havaitsemaan suurempia poikkeamia, joilla on mahdollisesti keskenään samoja tekijöitä mistä poikkeamat johtuvat.

5.2 Tutkimusmenetelmät

Työssä hyödynnettiin Lean Six Sigman keinoja prosessin laadun parantamiseen. Työssä pyrittiin kehittämään toimintamallin lisäksi Abloyn sylinterituotannon laatua tiettyjen tuotteiden kohdalla. Nämä tuotteet valittiin yhdessä tuotannon laadunkehityksen kanssa, jotta tuotteiden joukosta löytyisi yhdet tärkeimmistä tuotteista, joita kehittää. Kun tuotteet olivat valittu, aloitin tutkimustyön perehtymällä SPC:n käsitteisiin, joihin perehdyttyäni keskityin eri tuotannon kehitysmenetelmiin. Lean Six Sigman kautta pääsin alkuun tutkiessani sylinterituotannon mahdollisia haasteita, joita minulle oli ilmennyt toimeksiannon yhteydessä.

Tämän jälkeen aloin pohtia DMAIC-menetelmän kautta hieman käsillä olevaa haastetta, joka oli tässä vaiheessa pelkkä mittojen liian suuri vaihtelu. Prosessia ja sen haasteita tutkiessani sain määritettyä suurimmat haasteet, joita olivat mittauksen puutteellinen ohjeistus kaikille mittaajille, ja se aiheutti mahdollisuuden eriäviin tuloksiin mittaajien kesken. Tässä vaiheessa pääsin käsiksi varsinaisiin mittatietoihin, jotka löytyivät Measurlink ohjelmasta missä oli valmiit ohjaukortit, joita alkaa tutkia. Ohjaukorteista on nähtävillä tässä tutkimustyössä tarvittavat suorituskyky lukemat jokaisen tuotteen kohdalla. Näitä lukuja tutkiessa huomasin hyvin nopeasti, ettei prosessi ole näiden mittojen kohdalla kunnolla hallinnassa, vaan liian suurta vaihtelua esiintyy SPC:n näkökulmasta. C_p -luku kertoi, että osavalmistuksessa ei olisi mahdollista päästä tavoite suorituskykyyn, vaan tulos jäisi selkeästi heikommaksi kuin haluttaisiin.

Osavalmistuksessa on määritetty C_{pk} -luvun tavoitteeksi 1,33, joka on SPC:n mukaan kohtuullisen hyvä tulos, jolloin pienet virheet sekä prosessin vaihtelu eivät aiheuta vielä toleranssirajojen ylityksiä. Lisäksi SPC-taulukoista näkyy C_p -luku, joka kertoo prosessin tämänhetkisen maksimisuorituskyvyn, johon prosessi pystyy ja tämä luku oli jokaisessa tuotteessa hieman alle tavoitteen vaihtelusta johtuen.

Taulukoihin ja niiden tarjoamaan tietoon perehdyttyäni löysin selkeitä erikoisyyttä. Havaittiin että taulukoista puuttui tieto siitä mikä oli mahdollisesti aiheuttanut virheellisen mittaustuloksen. Tähän puuttuvaan tietoon halusin saada kehitystä ja tätä ideaa esittelin tuotannon työnjohdolle. Idea oli toimiva ja helppo ottaa käyttöön, joten se otettiin käytäntöön, jotta tuloksia tästä saataisiin mahdollisesti kerättyä vielä tämän opinnäytetyön aikana.

Kehitysideoita miettiessäni aloin pohtia muita keinoja, joiden avulla voisi löytyä kehityskohteita tutkittavasta prosessista. Näitä tapoja on syy-seuraus-analyysi, jossa ilmeni yleisiä syitä, jotka aiheuttavat mahdollisia mittavirheitä koneistuksessa. Tässä lähestymistavassa ilmeni, olivat mahdolliset henkilöiden taitojen puutteet, mittausvirheet ja mittajigin toiminta ovat todennäköisimpiä mittavirheen aiheuttajia. Mittausta tekevän henkilön koulutukseen oli tässä vaiheessa ajatuksena yhtenäistää mittauksen tekeminen, jotta jokainen mittaaja mittaisi sylinterit samalla tavalla kuin mittahuoneen henkilöstö, joille mittaus on perehdytetty oikein. Yhtenäinen mittaustapa minimoisi mittausvirheet, sekä mittausepävarmuus pienentyisi. Mittajigin käyttöä tutkiessani havaitsin, että mittahuoneen mittaaja käyttää jigia kuten pitää, mutta koneistajille on neuvottu kaksi eri tapaa mitata, mikä aiheuttaa mahdollisuuden mittausvirheeseen ja nämä seikat ilmenivät tehdessäni henkilöhaastatteluita. Lisäksi mittajigin käyttöön liittyvä huomio oli, että kiristysruuvi, jolla jigin leukojen kireyttä säädetään. Tämä kiristysruuvi on käsikäyttöinen ja siinä ei ole minkäänlaista momentin säätöä, joka puolestaan mahdollistaa sen, että mittaaja kiristää jokaisen sylinterin jigin eri kireydelle. Tämä vaikuttaa sylinterin tutkittavan muodon mittoihin, koska sylinteri voi liiallisen kiristymisen seurauksena puristua liikaa.

Haastatteluissa ilmeni kaksi kehityskohdetta, joilla voisi olla positiivinen vaikutus tuotteiden laatuun. Näistä yksi on yhden cnc-yksikön lisääminen Hydromatille, joka mahdollistaisi yhden koneistus vaiheen tarkemman säätämisen. Lisä cnc-

yksikkö voisi olla yksi hyvä kehityskohde koneeseen, joka tuottaisi varmasti positiivisia tuloksia. Toinen huomio on, että mikäli koneella ajetaan kolari, niin terä tai sen pidin voi vaurioitua, jolloin työn laatu kärsii. Tähän voisi korjaavana toimenpiteenä terien osalta sopia, että terä tarkastetaan ensin silmämääräisesti ja mikäli terä on ehjän näköinen, niin se mitattaisiin, jotta tiedetään ettei siihen ole tullut vaurioita tai vääntymiä. Halvemmat terät voisi toki suoraan vaihtaa uusiin, jolloin ei olisi pientäkään mahdollisuutta, että ajettaisiin vähänkään vaurioituneella terällä. Terien vaurioista johtuvia mittaheittoja voitaisiin seurata SPC- taulukoista ja mikäli huomataan, että jokin tietty syy aiheuttaa ongelmia, keskityttäisiin sen poistamiseen. FMEA-analyysin kautta ilmeni huomattavana riskinä koneen vikaantuminen, terien ja mittavirheen vaikutus mittaustuloksiin.

5.3 Työn kohde

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Abloyn neljää lukkosylinteriä, joiden valmistuksessa on havaittu haasteita. Nämä neljä tuotetta valikoituivat siksi, että ne ovat suurivolyymisiä tuotteita ja siksi niiden laadun kehitys on tärkeää. Nämä tässä työssä tutkitut sylinterit valmistetaan kaikki samalla monitoimisorvilla, joten eroja tuotteiden laadun välillä ei koneesta johtuvien vaihteluitten takia pitäisi olla, tai ainakin ne rajoittuvat koneen yleiseen laadun suorituskykyyn.

5.4 Aineiston hankinta

Aineisto opinnäytetyötä varten kerättiin Abloyn käyttämän Mitutoyo:n Measurlink-ohjelman kautta, mistä saatiin tarvittava tieto tutkittavien tuotteiden laadun kehityksestä. Tämän lisäksi haastattelin osavalmistuksen työntekijöitä tästä aiheesta ja heidän haastatteluiden perusteella tein tulkintoja siitä, mitä asioita kannattaa tutkia ja huomioida. Haastattelin myös tuotannon laadunkehitystä ja työnjohtoa, heiltä sain hyviä ajatuksia ja ideoita mitä ottaa huomioon. Haastatteluihin valmistauduin miettimällä ennakkoon kysymyksiä, joihin halusin saada vastauksia.

5.5 Haastattelut

Haastatteluiden teorian pohjalta aloitin miettimään kysymyksiä, joihin halusin saada vastauksia. Ennen haastatteluita mietin, että keneltä voisin saada vastauksia tiettyihin kysymyksiin. Tuotannon laadunkehityksestä sain tietoa SPC:stä ja sen käytöstä Abloylla, tuotannon työnjohdolta sain tietoa yleisellä tasolla prosessin nykytilasta, sekä koneistajilta ketkä tietävät parhaiten kertoa tutkittavan koneen mahdollisista haasteista ja sen kehityskohteista. Näiden tietojen pohjalta laadin seuraavia kysymyksiä: Mitä asioita tuotannon laadunkehitys haluaisi otettavan huomioon? Onko joitain tiettyjä tuotteita tai mittoja mitä haluttaisiin kehitettävän? Minkä aikaikkunan sisällä olevia mittaustuloksia aloitetaan tutkimaan? Tuotannon työnjohdon kanssa heräsi avoimen keskustelun tuloksena kaksi kehitys ideaa, joilla saisi näkyviä tuloksia prosessin kehitykseen. Lisäksi sain listan koneistajista, joiden kanssa kannatti jutella ja kysyä kehitysideoista tarkemmin. Kehitysideoita olivat mittaustulosten lisätietojen kerääminen ja mittauskoulutus.

Koneistajien kanssa keskustellessani ja heiltä kysyessäni sain selville hyviä ajatuksia miten tutkittavien sylintereiden valmistuksen laatua, saataisiin kehitettyä. Koneistajien ajatuksina oli, terien vaihdon merkitys kolarin jälkeen. Vaikka terä näyttää silmämääräisesti ehjältä, niin se ei välttämättä sitä ole ja tästä syystä olisi hyvä varotoimenpiteenä vaihtaa terä uuteen. Uudella terällä ei ole sitä riskiä, että ajon jatkuessa terä rikkoontuu kuten käytetyllä kolarissa vaurioituneella terällä voi käydä. Koneistajat keitä haastattelin, olivat lähes kaikki sitä mieltä, että myös kappaleiden mittaustarkkuus on liian tarkka tuotantoon. Tämä mittaustarkkuus on 0,001 mm, kun koneistuksessa mitatessa käytetään 0,01 mm tarkkuutta, joka on riittävän tarkka kyseisille tuotteille. Isoimpana muutoksena ja ainoana, joka vaatisi koneeseen muutosta, oli cnc-yksikön hankinta ja asennus, joka mahdollistaisi yhden koneistuksen vaiheen tarkemman säädön ohjelmallisesti. Näiden haastatteluiden tulosten tulkintaa tehdessä täytyi ottaa huomioon ideoiden toteuttamisen kannattavuus, helppous ja toteutettavuus, jotta parhaat sekä helpoiten toteutettavissa olevat ideat saataisiin käytäntöön.

5.6 Aineiston käsittely ja analyysi

Aineisto kerättiin Abloyn laadunkehityksen käyttämän Measurlink-ohjelman kautta. Measurlinkistä saatiin tarvittava mittatieto sekä laadunkehityksen tiimiltä ohjeita sen käsittelyyn. Mittatuloksia tulkittiin aiheen kirjallisuuden antaman tiedon ja oppien mukaan. Erilaisia kuvaajien trendejä yritettiin löytää ja selkeitä erityistilanteita onnistuttiin löytämään. SPC-taulukoita tulkittaessa ja analyysejä tehdessä otettiin huomioon suorituskykyluvut, mutta niitä ei Abloyn toiveesta julkaista.

Toimeksiannon ja siihen liittyvän alkuohjeistuksen siivittämänä aloitin tutkimaan aihetta ja selvittämään mitä tähän työn kokonaisuuteen kuuluu. Toimeksiannossa minulle kerrottiin käsillä olevasta haasteesta sylinterituotannossa, johon toivottiin löytyvän kehitysideoita ja tapoja SPC:n ja Lean Six Sigman menetelmistä. Tavoitteeksi asetettiin toimintamallin kehitys, jolla olisi mahdollista parantaa sylinterien valmistuksen laatua ja pienentää sen vaihtelua. Työn alkuvaiheessa aloitin tutkimaan sylintereiden valmistusmenetelmää ja sitä, miten valmistuneet kappaleet mitataan sekä miten mittatulokset ovat hyödynnettävissä tuotannossa. Lean Six Sigma oppien mukaisesti aloitin tutkimaan, onko valmistuksessa havaittavissa hukkaa eli tuottamatonta työtä. Pohdittuani hukan esiintymistä, siirryin tutkimaan prosessia DMAIC-menetelmän kautta, jossa aluksi tutkin ja määritin saatavilla olevista SPC-taulukoista tutkittavat suorituskykymitarit, joita aloitin myöhemmässä vaiheessa tutkimaan. Suorituskykymitarit löytyivät kätevästi tuotannosta kerättävän mittatiedon taulukoista ja ne ovat C_p - sekä C_{pk} -luvut, joiden avulla on helppo tulkita, onko prosessi hallinnassa vai olisiko siinä kehitettävää.

Mittareiden määrittämisen jälkeen siirryin määrittämään mittaustiedon keräystavan, joka osoittautui kohtuullisen helpoksi valmiiden mittaustaulukoiden kautta, joista näkee selkeästi mitattujen mittojen vaihtelun ja mittavirheen asetetusta tavoitteesta. Mittausjärjestelyn arviointi suoritettiin seuraavana ja siinä tuli miettiä mittausvaiheeseen vaikuttavia tekijöitä, joita olivat esimerkiksi mittausepävarmuus, mittalaitteiden kyvykyys mitata riittävän tarkasti, mittaajan taidot ja mittaustapahtuman suorittaminen kokonaisuudessaan. Näiden tutkittavien mittauksen vaikuttavien tekijöiden määrittämisen jälkeen selvitin prosessin nykyti-

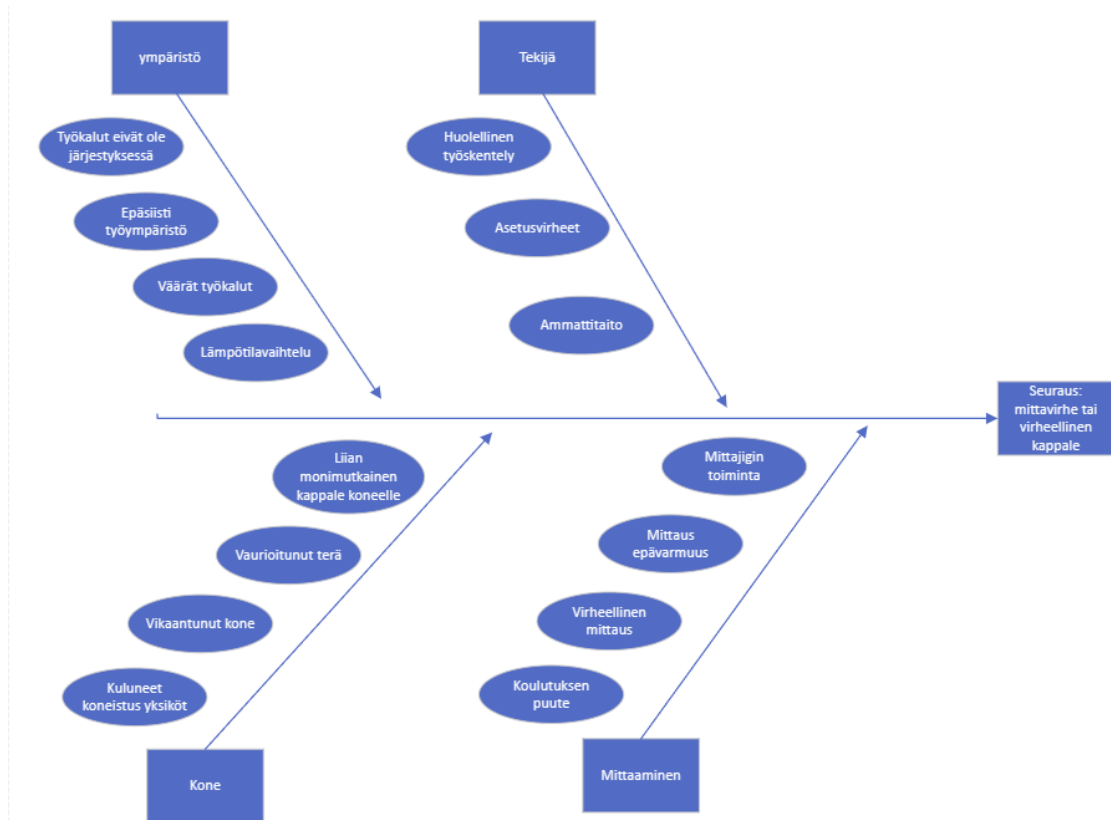
lanteen suorituskyyvyn ja sen vaatimukset. Abloy on määrittänyt heidän tuotannostansa valmistuville tuotteille vähimmäissuorituskykyluvun, joka on 1,33. Analysointivaihetta tehdessäni pyrin parhaani mukaan tunnistamaan tuotannon kriittisimmät haasteet, virheet sekä niiden vaikutukset tuotantoon. Näitä haasteita löytääkseni suoritin haastatteluita, joita varten mietin ennakkoon jokaiselle haastateltavalle kysymyksiä, joihin halusin saada vastauksia. Kysymyksiä miettiessäni mietin myös niin sanottuja toivottuja vastauksia, joiden kaltaisia vastauksia toivoin saavani, ettei vastaukset olisi esimerkiksi en tiedä tai kaikki on ok tyyppisiä tyhjiä vastauksia.

Tässä vaiheessa aloitin myös tutkimaan ja analysoimaan saamiani mittaustuloksia SPC-tilukuista, joista oli helposti nähtävissä ilman apu ohjelmia, ettei prosessi ole ennustettavissa tai kunnolla hallinnassa näiden mittojen osalta. Taulukoista oli jo silmämääräisesti havaittavissa erityisyyttä tutkittavissa mitoissa. Tästä seitsemän peräkkäisen mittaus tuloksen sijainti keskiarvon toisella puolella on esimerkki kuviossa 3 ympyröitynä punaisella. Samassa taulukossa havaittavissa on toleranssirajan ylittänyt mittausulos, joka ympyröity vihreällä.



Kuvio 8. Sylinteri 1:n SPC-kuvaaja (Kuva: Tommi Tella)

Laadin myös syy-seuraus-analyysin keskeisimmistä ja yleisimmistä prosessiin vaikuttavista tekijöistä, jonka tekemiseen vaikuttivat haastatteluiden vastaukset olennaisena osana koska sitä kautta sain hyvää tietoa, miten koneen käyttäjät ja työnjohto näkivät ympäristön, tekijöiden, koneen kyykkyyden sekä mittaamisen muuttujien vaikutuksen prosessiin. Syy-seuraus-analyysiä tehdessä löytyi joukko muuttujia, jotka vaikuttavat siihen millaista laatua prosessi tuottaa. Näitä muuttujia olivat mittajigin virheellinen käyttö ja mittauskoulutuksen puute.



Kuvio 9. Syy-seuraus-kaavio (Kuva: Tommi Tella)

Analyysien jälkeen siirryin pohtimaan prosessille parannusmenetelmiä, jotka pohjautuvat aiempiin analyysihin ja haastatteluihin. Näitä parannusmenetelmiä tai kehityskohteita, joita haastatteluissa tuli esille oli tässä työssä tutkittavan Hydromat monitoimisorvin mahdollinen päivitys. Hydromat on varustettu sekä manuaalisesti säädettävillä koneistusyksiköillä että muutamalla cnc-yksiköllä, joita saadaan ohjelmallisesti säädettyä. Näitä yksiköitä voisi lisätä koneeseen vielä yhden ja tämä lisäyksikkö voisi tuoda lisää säätömahdollisuuksia yhden tietyn työvaiheen mitoittamiseen. Mikäli koneella sattuu ajon aikana kolari, terän pidin voi vääntyä, jolloin sillä terällä koneistettava muoto ei ole enää halutuissa mitoissa. Tässä yhteydessä voi terärikko olla myös mahdollinen, joka pitäisi kyllä tulla ilmi kolarin jälkeisten korjaustoimenpiteiden aikana.

5.7 Kehitysideat

Työn edetessä ja tutkimuksesta saamieni tietojen seurauksena ilmeni hyviä kehitysideoita, joilla voitaisiin saada parannusta tutkittavien tuotteiden valmistusprosessiin. Ensimmäinen kehitysidea on, että jokainen mittaaja aloittaa merkitsemään mittaustuloksen lisäksi oman nimen ja mahdollisen syyn mitta virheelle tai suurelle mittapoikkeamalle, mikäli tällainen havaitaan. Näitä syitä kirjaamalla saadaan listattua yleisimpiä syitä, mistä virheellinen kappale tai suuri mittaheitto johtuu. Lisäksi nähdään, kuka on mitannut kappaleen ja häneltä voidaan tarvittaessa käydä kysymässä lisätietoa tapahtuneesta. Näitä poikkeamien syitä eliminoimalla saadaan ajan kuluessa parannettua tuotteiden laatua ja vähennettyä virheitä. Mittapoikkeamien aiheuttajia voivat olla mahdolliset terärikot ja kolarit, jotka voivat vääntää terien pitimiä, lämpötilavaihtelut ja mittausvirheet.

Toisena kehitysideana heräsi ajatus mittausvirheiden mahdollisuuden vähentämisestä ja tähän helpoin ja nopein tapa on lisäkouluttaa SPC-mittauksia suorittavia koneistajia, jotta heidän mittauksensa taidot ja menetelmät saataisiin mahdollisimman lähelle samaa tasoa varsinaisen mittaajan kanssa. Haastatteluiden yhteydessä ilmeni, että mittaustapoja on ilmeisesti kahta erilaista, kun tuotteet tulisi mitata kaikki samalla tavalla, jottei eroja pääsisi syntyymään. Mittajigin kehitys olisi myös tärkeätä, koska nykyisellä versiolla on mahdollista aiheuttaa muodonmuutosta mitattavaan kappaleeseen.

Terien vaikutuksesta keskustellessa ilmeni, että kolarin yhteydessä, jos terä ei hajoa käyttökelvottomaksi, niin se voi mahdollisesti vääntyä sen verran, että sillä alkaa olemaan vaikutusta mittojen vaihteluun negatiivisesti. Terät voisi siis mitata ja tarkastaa tarkemmin kolarin jälkeen, jotteivat ne aiheuta virheellisiä kappaleita. Toisena vaihtoehtona terien mittaukselle on vaihtaa terä suoraan uuteen, mikäli terän arvo on riittävän pieni, jotta vaihto on kannattavaa tehdä. Tämä terien vaihto tulee arvioida teräkohtaisesti koska terät ovat eri hintaisia ja kaikkia teriä ei kannata alkaa vaihtamaan varotoimenpiteenä.

Koneistajien toiveena ja kehitysideana sylintereitä valmistavan hydromatin päivitykseen olisi vaihtaa yksi koneen mekaanisesti säädettävän koneistusyksikön tietokone cnc-ohjattuun, jolloin tässä vaiheessa tehtävän vaiheen mittojen säätö on helpompaa nykyiseen nähden.

6 Tulokset

6.1 Haastatteluiden tulokset

Haastatteluiden tuloksia täytyi arvioida sen mukaan, miten luotettavana lähteenä haastateltavaa voidaan pitää. Luotettavuuteen vaikuttaa henkilön tausta ja tietotaito haastattelun aihepiiristä. Koneistajien vastausten ja heiltä saadun tiedon luotettavuus ja paikkaansa pitävyys on tässä tapauksessa erittäin luotettavalla tasolla, ottaen huomioon heidän pitkän kokemuksensa tutkittavasta koneesta ja sen ympärillä tapahtuvasta toiminnasta.

Mittausteknisistä asioista kysyessä täytyi hieman kriittisesti pohtia mikä on todellisuudessa totta ja mikä ehkä enemmän koneistajan omaa mielipidettä. Mittaajan ja tuotannon laadunkehityksen vastauksiin voi suhtautua luottavaisesti, koska heillä on vahva tuntemus ja tietotaito aiheesta. Mittaajilla on taustana hyvät koulutukset mittaamiseen ja mittalaitteiden käyttöön. Laadunkehityksen henkilöstön vastaukset ovat myös erittäin luotettavia, koska heillä on pohjana vähintään amk-tason koulutus ja lisäksi Abloyn tarjoamat koulutukset.

Haastatteluissa käytettyjä kysymyksiä. Laadunkehitykseltä kysyttiin, Mitä mittaohjelmaa käytetään? Mitä tuotetta ja mitä mittoja tai mittaa aloitetaan tutkimaan tarkemmin? Minkä aikaikkunan sisällä olevia mittaustuloksia aloitetaan tutkimaan? Koneistajilta kysyttiin heidän näkemyksiänsä mahdollisista virheistä ja niiden vaikutuksista tuotteen laatuun, yleisiä kehitysideoita, joilla voisi olla positiivisia vaikutuksia laatuun. Mittaustarkkuus ilmeni yhtenä yhteisenä seikkana, jota pidetään liian tarkkana valmistettavien tuotteiden kohdalla. Mittaustarkkuus on 0,001 mm ja tuotteiden valmistustoleranssit ovat 0,01 mm suuruusluokkaa. Tämä herätti keskustelua koneistajien kanssa koska heidän näkemyksensä on, että tuotannon laadunkehitys haluaa mitata kappaleita liian tarkasti. Todellisuudessa mittaustarkkuus, joka on tarkempi kuin kappaleen valmistus tarkkuus on hyvä siksi, että kappaleiden laatua voidaan mitata tarkemmin ja sen myötä tehdä tarkempia tulkintoja laadun kehityksestä.

6.2 Työn tulokset

Selkeitä kehityskohteita, joilla sylinterituotannon laatua saadaan parannettua, löytyi useampia. Ensimmäinen havainto on mittaustuloksien lisätietojen kirjaamisen aloittaminen, joka mahdollistaa tarkemman tiedon saamisen, kun poikkeava mittaustulos ilmenee. Mittaustulosten lisäksi Measurlink järjestelmään voisi mittatiedon yhteyteen lisätä lisätieto merkinnän, johon voidaan kirjata lisätietoa kyseisestä mittaustuloksesta. Tähän lisätieto kenttään voitaisiin alkaa kirjaamaan mahdollisen virheen aiheuttaja, mikäli sellainen havaitaan ja tunnistetaan. Esimerkkeinä terärikosta, lämpötilavaihtelusta tai kolarista johtuva muutos koneessa, joka aiheutti virheellisen kappaleen. Näitä tietoja kirjaamalla mittaustietojen lisäksi voidaan ajan kuluessa alkaa tekemään taulukointia yleisimmistä virheen aiheuttajista ja näitä syitä karsimalla saadaan suuret poikkeamat väheneeseen. Tämä taas vaikuttaa positiivisesti suorituskykyyn ja suorituskykylukuihin, joka oli tämän opinnäytetyön yksi tavoite.

Toisena havaintona selvisi, että sylintereiden mittauksessa käytetään valitettavasti kahta mittaustapaa, joka aiheuttaa riskin sille, että mittaustulokset eroavat menetelmien välillä. Tästä päästäisiin helposti eroon käyttämällä vain yhtä tapaa mitata sylintereitä. Yhtenäiseen mittausmenetelmään päästään kouluttamalla kaikki henkilöt mittaamaan oikein ja samalla tavalla keskenään. Mittajigin vaikutus ilmeni yhtenä merkittävänä tekijänä, joka voi vaikuttaa suuresti mittaustuloksiin. Jigin kiristysruuvien kireyden säätö on kokonaan käyttäjän käsistä kiinni ja tämä on mahdollinen virheen aiheuttaja. Kiristysruuvien vääntönupin voisi korvata momenttirajoitteisella vääntönupilla, jolloin mittaajan taidoista riippumatta mitattava kappale kiristettäisiin aina yhtä kireälle mittausta varten.

Mittoihin vaikuttaminen ja koneen säätämisen helpottaminen paranisi, jos tässä työssä tutkittuun Hydromat:iin saisi lisättyä cnc-ohjatun koneistussyksikön manuaalisesti säädettävän tilalle. Tämä lisä cnc-asema helpottaisi yhden vaiheen säätöä huomattavasti, koska ohjelmaa on helppo säätää verraten manuaalisesti säädettäviin asemiin. Tämä toki vaatisi investoinnin uudelle yksikölle, joka täytyisi laskea onko sen hankinta kannattavaa verraten mitä hyötyjä se toisi valmistukseen.

FMEA riskien arviointi kaavion käyttö jäi vähäiseksi mutta siitä nähdään suurimpien riskien aiheuttajat tässä työssä. FMEA-taulukko suurempana liitteenä 1. Kaaviota käytettiin kuitenkin siinä määrin että havaittiin mittausmenetelmän vaikutuksen olevan huomattava riskitekijä, joka vaikuttaa mittatuloksiin ja niiden luotettavuuteen. Riskien kriittisyyden arviointi oli mielestäni tässä tapauksessa tarpeetonta tehdä, koska riskit tunnetaan osavalmistuksessa entuudestaan ja niiden ilmaantuvuutta on vaikea arvioida tämän työn tiedoilla.

Syy-seuraus-analyysiä tehdessä ilmeni joukko tekijöitä, jotka vaikuttavat kaikki mittavirheen syntymiseen. Näitä muuttujia olivat vaurioituneet terät, koneen viikaantuminen tai kuluminen, mittajigin virheellinen käyttö ja mittauskoulutuksen puute.

Viisi kertaa miksi-menetelmän kysymykset ja niiden tulokset:

Tietoja ei kirjata measurlink järjestelmään

1. Käyttäjä ei tiedä miten tehdä kirjaus.
2. Käyttäjää ei olla opastettu miten kirjaus tehdään.
3. Laadun kehitystiimin aika ei ole riittänyt koulutukseen.
4. Ajan käyttö on priorisoitu muualle.
5. Tietojen kirjaus ei ole ollut aiemmin tärkeässä roolissa.

Kuvaajien suorituskyky luvut ovat heikot

1. Vaihtelu on liian suurta erien välillä.
2. Koneen säätöjen saaminen samalle tasolle aikaisempien kanssa on haastavaa.
3. Koneita on vaikea saada säädettyä riittävän tarkasti aiempiin ajoihin verraten.
4. Osa asemista on cnc-ohjattuja ja osa manuaalisesti säädettäviä, joka luo haasteet säätämiseen.
5. Täysin cnc-ohjatun koneen hankinta on kallis investointi, ja siitä ei välttämättä ole vastaavaa taloudellista hyötyä.

Mittaustietoja kertyy pieniä määriä

1. Jokaisesta sarjasta mitataan vain tietyn väliajoin kappaleita.
2. Koneistus sarjat ovat pieniä.
3. Sarjakokoja pyritään pitämään pieninä.
4. Kappaleita valmistetaan tilauskohtaisesti.
5. Ylimääräisten kappaleiden varastointi ei ole taloudellisesti kannattavaa.

6.3 SPC-tilukoiden havainnot

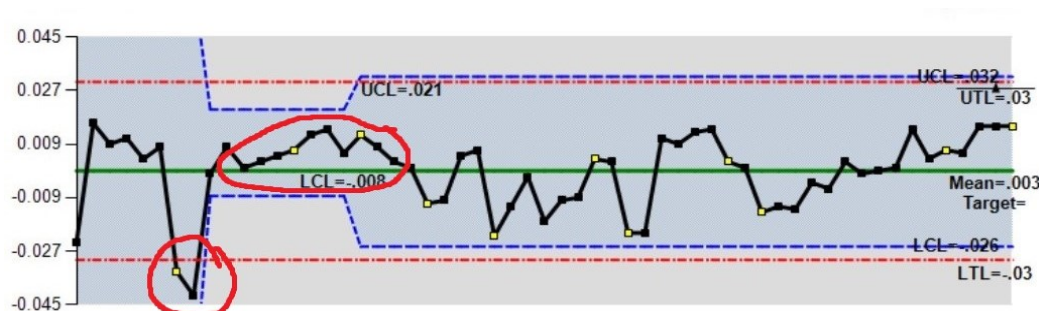
Tutkituista SPC-tilukoista löytyi erityisyyttä, joista havaitaan, että valmistuksessa on haasteita tutkittavien sylinterin mittojen osalta. SPC-tilukoiden analysointi ja tutkinta vaiheessa havaitsin, että sarjakoot ovat olleet pieniä ja tästä johtuen jokaisesta erästä on mitattu mahdollisesti vain ensimmäiset ja viimeiset sekä yksittäisiä kappaleita ajon aikana riippuen sarjan koosta. Mittaustulosten rajallisuudesta johtuen tilukoiden tiedot eivät anna parasta mahdollista kuvaa siitä, miten tuotteiden laatu on kehittynyt sarjojen aikana. Tästä johtuen ennakoitavuus tulevien sarjojen laadusta on lähes mahdotonta ja tämä olisi ollut toivottua. Vaikka tutkittujen sylintereiden muotojen vaihtelu on tilukoista nähden huomattavaa, tuotteiden toimivuuteen sillä ei ole vielä vaikutusta.

Sylinteri 1:n kuviossa 10, on havaittavissa seitsemän tuloksen polku, jossa on seitsemän tai useamman mittaustuloksen asettuminen keskiarvo viivan toiselle puolelle. Tämän sylinterin 1 kohdalla kuvion keskiosasta vasemmalle päin nähdään kun 17 mittaustulosta asettuu keskiarvon alle ja tästä löydetään erityisyys. Lisäksi havaittavissa on äkillinen tasomuutos mittaustuloksissa, jolloin mittatulokset muuttuvat rajusti vastakkaiseen suuntaan aiemmasta. Tämä näkyy kuviossa oikeassa päädyssä. Samaan aikaan kun tulokset vaihtavat rajusti suuntausta, yksi mittaustulos asettuu toleranssi rajan alle, nämä osoittavat erityisyyden, jolle ei nykyisellään löydetä syytä tiedon puutteen vuoksi. Sylinteri 1:n valmistusprosessi on hallitsemattomassa tilassa, koska alatoleranssiraja on alitettu. Kuitenkin viimeisimpiä mittaustuloksia arvioidessa tulokset pysyvät valvontarajojen sisällä, joten prosessi on saatu hallintaan.



Kuvio 10. Sylinteri 1:n SPC-kuvaaja (Kuva: Tommi Tella)

Sylinteri 2:n kuvio 11 osoittaa vastaavaa haastetta kuin sylinterin 1:n ja tästäkin kuviosta on havaittavissa seitsemän tuloksen polku keskiarvon yläpuolella. Sylinterin 2:n taulukosta havaitaan myös selkeä toleranssirajan alitus kuvion alku päässä, jossa seitsemäs ja kahdeksas mittaus alittaa alatoleranssirajan. Nämä kaksi tulosta luovat samalla erityssyyntä, jossa kaksi kolmesta mittatuloksesta on yli kahden sigman verran alle keskiarvon. Prosessin tilan arvioksi täytyy antaa hallitsematon, mutta tarkastellessa myöhempiä tuloksia, prosessi on saatu hallittuun tilaan.



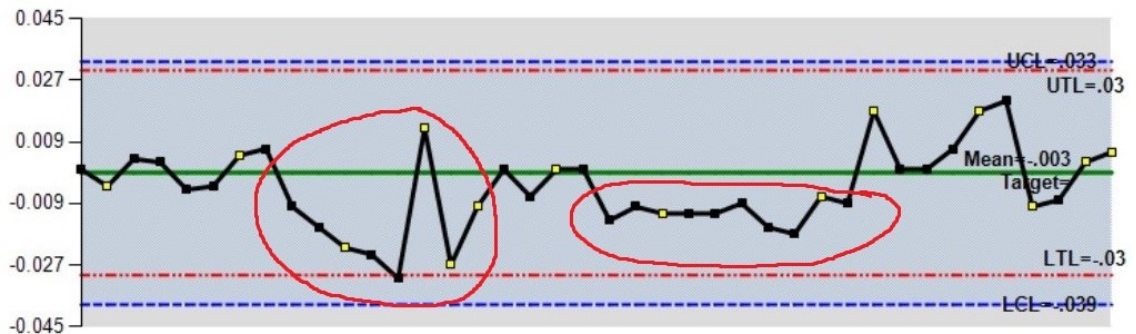
Kuvio 11. Sylinteri 2:n SPC-kuvaaja (Kuva: Tommi Tella)

Sylinteri 3:n kuviosta mittaustuloksia löytyy muita tutkittavia sylintereitä enemmän ja sitä kautta antaa mahdollisuuden tarkempaan tulkintaan prosessin laadusta tämän tuotteen kohdalla. Kuviossa 12 on havaittavissa myös seitsemän tuloksen polku useaan otteeseen, jotka merkittynä vihreällä sekä toleranssirajan ylitys. Suurien mittaussuureiden ansiosta voidaan havaita myös tietyn tasoista säännöllisyyttä tuloksissa. Tämä viittaisi siihen, että prosessia on säädetty melko suurilla liikkeillä ja mistä äkilliset suuntauksen vaihtelut sekä niiden peräkkäisten tulosten ryhmittäminen. Mittojen vaihteluille olisi varmasti olemassa selitys, mikäli tietoja olisi jostain saatavilla jälkeen päin. Sylinterin kolme prosessi on hallitussa tilassa mutta suurta vaihtelua esiintyy.



Kuvio 12. Sylinteri 3:n SPC-kuvaaja (Kuva: Tommi Tella)

Sylinteri 4:n kuvio osoittaa myös seitsemän tuloksen polun, jossa kymmenen peräkkäistä tulosta kuvion 13 keskikohdan oikealla puolella on alle keskiarvon. Myös tämän sylinterin tuloksista on havaittavissa äkillisiä tason muutoksia tulosten välillä. Tämä johtuu todennäköisesti suurista säätöliikkeistä, joiden seurauksena peräkkäiset tulokset vaihtelevat rajusti. Toisaalta ennen näitä suuria peräkkäisiä vaihteluita on havaittavissa laskeva suuntaus mittaustuloksissa, mistä johtuen prosessia on mahdollisesti säädetty parempien mittatuloksien toivossa missä on lopulta onnistuttu. Prosessi arvioidaan olevan nykyisin hallinnassa.



Kuvio 13. Sylinteri 4:n SPC-kuvaaja (Kuva: Tommi Tella)

7 Pohdinta

7.1 Työn tarkastelu

Tässä työssä käytettiin teoriapohjan mukaisia tuotannonkehitys menetelmiä. Lean Six Sigma toimi taustana työlle, missä hukkaa pyritään vähentämään ja suorituskykylukuja pyritään parantamaan. DMAIC-menetelmää käytettiin työssä pää menetelmänä ja siihen tietopohjana toimi ISO 13053-2 standardi. Tämän standardin tietojen perusteella tutkittavaa haastetta aloitettiin tutkimaan ja DMAIC-menetelmän vaiheita käytettiin kerätyn tiedon mukaan siltä osin kuin oli mahdollista. Tämän opinnäytetyön aika ei riittänyt seuraamaan työn tuloksia, joten seuranta vaihe jäi vajaaksi. Kehitys ideoista mittatietojen keräämisen aloittaminen ehdittiin aloittamaan ja siitä toivotaan löytyvän tuloksia. Mittatietojen keräämisen lisäksi terien vaihtoa kolarien jälkeen aletaan harkita niiden aiheuttaman riskin takia.

DMAIC-menetelmän mukaan tutkitusta aiheesta onnistuttiin löytämään haasteita ja kehitys kohteita, joita alettiin kehittämään tietopohjan tietojen mukaisesti. Työn edetessä erilaisia käsitteitä täytyi avata, jotta tutkittavan tiedon analysointi onnistuisi. Tässä Salomäen kirja oli erittäin hyödyllinen ja se sisälsi paljon tärkeätä taustatietoa eri käsitteistä, mittaustulosten- ja SPC-tilukoiden analysoinnista. FMEA-analyysiä tehdessä merkittävimminä havaintoina nousivat mittauksen virheen mahdollisuus, koneen vikaantumisen riski ja ajon aikana tapahtuvan kolarin riski. Mittavirheen ilmaantuvuus on arvion mukaan kuitenkin melko pieni, joten sillä ei uskota olevan suurta riskiä, vaikka riskitekijä onkin merkittävä. Syy-seuraus-kaaviosta havaittiin mittavirheeseen vaikuttavia tekijöitä ja näistä kaaviossa listatuista tekijöistä ainakin kuluneen tai vikaantuneen koneen, mittajigin toiminnan, virheellisen mittauksen ja mahdollisen vaurioituneen terän vaikutukset ilmenivät tämän opinnäytetyön tuloksista. Tutkittavien sylintereiden SPC-tilukoita tutkittiin Salomäen listaamien valvontakorttien tulkinta ohjeiden mukaan ja selkeitä erityisyyttä onnistuttiin taulukoista löytämään. Haastatteluiden tuloksien merkitys oli tässä työssä suuri, koska haastatteluiden kautta saatiin tärkeää tietoa prosessista ja sen muuttujista sekä niiden vaikutuksista laatuun. Haastatteluiden eri menetelmiä hyödynnettiin onnistuneesti ja niistä saatiin hyviä tuloksia.

Toimintatavan kehityksessä onnistuttiin. Kaksi toimivaa toimintatapaa saatiin tämän työn tuloksena kehitettyä ja näillä uskon sylinterituotannon laadun kehittyvän parempaan suuntaan. Ensimmäinen toimintatapa on mittaustulosten lisätiedon kirjaamisen aloittaminen ja toinen terien kunnon tarkastus tai vaihto kolaarien jälkeen. Tämän työn toimintatapoja voidaan hyödyntää muuallakin Abloyn tuotannossa, jonka ansiosta tutkimustyö on hyvin hyödyllinen. Mittaustulosten ennustettavuus oli yksi opinnäytetyön mahdollisista tuloksista mutta mittatietojen vähyyden takia siinä ei kuitenkaan onnistuttu.

7.2 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Tämän opinnäytetyön tekemisessä käytetyt tietolähteet ja niiden sisältö ovat kerätty luotettavista ja tunnetuista lähteistä, jotka takaavat luotettavan tietopohjan työlle. Luotettavuuden arviointiin vaikuttaa olennaisesti käytettyjen lähteiden luotettavuus, jotka arvioisin olevan vähintään luotettavia ja enimmäkseen erittäin luotettavia tietojen jäljitettävyyden ja niiden tekijöiden tunnettavuuden ansiosta.

Opinnäytetyön sisältö ja aihe on sellainen, jotta sitä voi yleistää monen tyyppisessä sarjatuotannossa. Työssä ilmenneet havainnot eivät rajoitu pelkästään SPC:n maailmaan, vaan tuotantoprosessin kehitykseen yleisesti ja siihen vahvistuksena ja perustana toimii SPC-mittaukset.

7.3 Työn eettisyys

Työn eettisyyden arviointi kohdistuu pääasiassa haastatteluihin ja lähteisiin. Tässä työssä käytyt haastattelut suoritettiin oikeiden ihmisten kanssa, eikä yksikään haastattelu tai sen tulos ole tekaistu. Haastateltavat henkilöt on otettu huomioon tässä työssä siten, ettei heitä voida yksilöidä tai tunnistaa. Käytetyt lähteet ovat tunnettuja ja laajasti käytettyjä, jonka ansiosta niitä voidaan pitää luotettavina tiedon lähteinä tälle työlle.

Vilpillistä toimintaa ei myöskään ole harrastettu, vaan kaikki tulokset, analyysit ja aineiston paikkaansa pitävyys ovat luotettavia sekä tunnetuista lähteistä kerättyjä, jolloin lukija voi luottavaisin mielin lukea tätä opinnäytetyötä. Mittaustulokset sekä tutkittavat tuotteet on kerrottu siten että niitä ei voida tunnistaa, joka on Abloyn vaatimus. Opinnäytetyö tehtiin Karelia ammattikorkeakoulun opinnäytetyön ohjeiden mukaisesti ja näitä ohjeita seurattiin parhaan ymmärryksen mukaan.

7.4 Toimenpidesuosituksien ja jatkotutkimusaiheet

Seuraavalle opinnäytetyön tekijälle kehitettävää olisi tämän työn kehityskohteiden tutkiminen, onko kehitystä havaittavissa vai ei. Lisäksi tutkimustyötä voisi laajentaa muihinkin tuotteisiin Abloylla ja tutkia laajemmin kehitysideoiden ja ratkaisujen vaikutuksia tuotannon laatuun.

Kehitysideoita, joita ei tämän työn aikana ehditty viedä käytäntöön ja joita voisi olla hyvä ottaa käyttöön on koneistajien jatkokoulutus mittaamisesta ja mittatiedon tulkitsemisesta, sylinterien mittajigin kehitys ja SPC:n lisäkoulutus koneistajille, jotta mittatiedosta saataisiin osavalmistuksessa enemmän hyötyä. Mittaustuloksia tarvittaisiin myös enemmän, jotta SPC-taulukoista nähtäisiin paremmin mittojen kehitystä.

Lähteet

- Abloy. 2023a. Abloyn tarina ja Kuvat 1, 2, 3, 4. <https://www.abloy.com/global/fi/about-abloy/history>. 25.8.2023
- Abloy. 2023b. Tehdas esittely. <https://www.abloy.com/global/fi/about-abloy/factory>. 25.8.2023
- FINAS. 16.8.2023. Mittausepävarmuus. <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Mittausepavarmuus.aspx>. 6.9.2023
- Hyvärinen M. Nikander P. ja Ruusuvuori J. 2017. Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino
- Hyvärinen M. Suoninen E. ja Vuori J. 3.4.2024. Haastattelut. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>.
- Jaatinen B.V. 2023. Six Sigma. <https://www.leansixsigmakoulutus.fi/blogit/389-mit%C3%A4-lean-six-sigma-on.html>. 12.9.2023
- Lähteenmäki M. ja Leiviskä K. 1998. Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät. Oulun yliopisto. säätötekniikan laboratorio
- Munro R. Ramu G. ja Zrymiak D. 2015. The Certified Six Sigma Green Belt Handbook Second Edition. ASQ Quality Press. Milwaukee Wisconsin
- Phillips Machine Corporation India Pvt. Ltd. 27.4.2022. CNC-sorvaus. <https://phillipscorp.com/india/what-is-cnc-lathe-machining-parts-operations-processes>. 10.9.2023
- Prometalli. 2024. Sorvaus. Pyörähdyskappale. <https://www.prometalli.fi/natiivi/62/konepajojen-sorveista-on-moneksi>. 7.2.2024
- Pyzdek, T. 2003. The Six Sigma Handbook. United States of America the McGraw-Hill Companies, Inc.
- Quality KnowHow Karjalainen Oy. 2023. Six Sigma. <https://sixsigma.fi/leansixsigmasta/>. 15.9.2023
- Salomäki, R. 2003. Suorituskykyiset prosessit - Hyödynnä SPC. Tampere: Tammer-Paino Oy
- Sandvik coromant. 2023. Sorvaus. <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/general-turning>. 5.9.2023
- SFS-EN ISO 13053-1. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 1: DMAIC-menetelmä. Suomen Standardisointiliitto SFS.
- SFS-EN ISO 13053-2. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 2: Työkalut ja tekniikat. Suomen Standardisointiliitto SFS.
- Six Sigma Study Guide. 2024. I-MR kortti. <https://sixsigmastudyguide.com/i-mr-chart/>. 22.2.2024

FMEA-taulukko

FMEA sylinterituotanto										
Tuote:		Sylinterit 1-4								
Pvm.		5.3.2024								
Laatija:		Tommi Tella								
Prosessin vaihe/tehtävä	Vaatimus	Mahdollinen virhe	Virheen vaikutus	Virheen vakavuus	Virheen aiheuttaja	Valvonta menetelmä	Ilmaantuvuus	Valvonnan havainto	Korjaava toimenpide	Tehdyt toimenpiteet
Jyrsintä	jyrsitään haittatangon ura	Terä värähtelee	Uran leveys vaihtelee	3	Kulunut terä	Terien vaihto tietyn ajomäärän jälkeen	4	Uran pinta epätasainen	Vaihdetaan terä ennakoivasti	-
Terän vaihto	Terä vaihdetaan ohjeiden mukaisesti	Karaan jää epäpuhtauksia	mahdollinen mittavirhe	4	Lika/leikkuu lastu	Silmämääräinen tarkastus vaihdon yhteydessä	2	Terä ääntää	Huolehditaan puhtaudesta	Muistutetaan puhtaudesta
Mittaus	Sylinteri mitataan ohjeiden mukaan	sylinteri asetetaan mittajigiin väärin	mahdollinen mittavirhe	6	Käyttäjän puutteellinen koulutus	Valvotaan että mittaus osataan tehdä oikein	3	kappale väärässä asennossa	koulutetaan ja valvotaan että mittaus osataan tehdä oikein	ehdotus koulutuksen pitämisestä
Koneistus prosessi	kone toimii	Kone vikaantuu	Korjaaja joudutaan kutsuma paikalle	7	Kuluminen tai iso kolari	Kone ilmoittaa häiriöstä	2	Häiriö valo alkaa palamaan koneella	Vikaantunut osa vaihdetaan tai korjataan	-
Kolari ajon aikana	kone toimii ilman kolareita	jostain syystä kone kolari	terä vaurioituu	7	Kolarointi	Silmämääräinen tarkastus vaihdon yhteydessä	3	Kolari havaitaan	Vaihdetaan terä varotoimenpiteenä uuteen	Sovitaan varotoimenpiteistä

Syy-seuraus-kaavio

