



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# TILASTOLLISTEN MENETELMIEN HYÖDYNTÄMINEN KALIBRAATTOREIDEN LAADUNVALVONNASSA

Jarkko Salminen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Konetekniikka  
Koneautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Koneautomaatio

SALMINEN, JARKKO:

Tilastollisten menetelmien hyödyntäminen kalibraattoreiden laadunvalvonnassa

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Toukokuu 2018

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko Beamex Oy Ab:n kalibraattoreiden valmistukseen liittyvissä prosesseissa mahdollista ottaa tilastollinen prosessinhallinta työkaluksi jatkuvaan käyttöön. Tilastollisista työkaluista ohjauskortti valikoitui alustavaksi vaihtoehdoksi ja prosessiksi kahden tuotantoautomaatiojärjestelmän resistanssin mittausta. Työssä kartoitettiin vaihtoehtoja kyseiselle prosessille sopivimmasta ohjauskorttityypistä, jonka perusteella kortiksi valittiin  $\bar{x}/s$ -kortti.

Tilastollinen prosessinohjaus haluttiin ottaa käyttöön laadunvarmistuksessa, jotta mahdolliset prosessin häiriöt saataisiin kiinni nykyistä aiemmassa vaiheessa, ja että johto saisi päätöksentekoa helpottavaa tietoa. Tilastollisten menetelmien käyttöönotto jatkuvaa käyttöä varten voisi toteutua esimerkiksi yhdessä saannon parantamiseen liittyvän projektin kanssa.

Työn tuloksena syntyi ohjauskortti, joka toimi suunnitellun mukaisesti. Työ antoi lupauksia jatkuvaa käyttöönottoa ajatellen ja hyvän pohjan tekijälle ohjauskorttien tutkimisen ja kehittämisen jatkamiseen.

Tiedonkeruu oli osin manuaalista, joten seuraavaksi kehityskohteeksi jää tiedonkeruun kehittäminen täysin automaattiseksi.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Mechanical Engineering  
Mechanical Automation

SALMINEN, JARKKO:  
Applying Statistical Methods in Quality Control of Calibrators

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 1 page  
May 2018

---

The purpose of this study was to investigate if statistical process control can be successfully implemented into the quality assurance of calibrator manufacturing at Beamex Oy Ab. Control chart was the tool chosen as the preliminary alternative.

The process selected to test the functionality with was resistance measurement in production automation systems. Different kinds of control charts were researched to find the best alternative to meet the company's needs. Based on the information found, an  $\bar{x}/s$ -chart was chosen as the control chart which would most likely suit the selected process.

The main reason for wanting to implement statistical process control into the quality assurance processes was that possible defects could be detected at an earlier stage. It would also assist the management by giving them more facts to make decisions on. If the tool would seem appropriate, SPC implementation would become a part of a yield improvement project, which was under feasibility study at the time this study was conducted.

The result of this thesis was a functional control chart. It worked mostly according to the predefined specifications. However, the collection and sorting of data was more difficult than originally thought, and required some manual efforts as well. The following step on developing the control charts towards continuous use at Beamex will be to automate the gathering and sorting of data.

This study gave promising results towards the possible future implementation, and a good base for the author to continue investigating the implementation of control charts in more detail.

---

Key words: calibrator, statistical process control, quality assurance, control chart

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Opinnäytetyön rajausta ja rakenne.....	8
2	YRITYSESITTELY .....	9
2.1	Beamexin historiaa .....	9
2.2	Beamex tänään .....	9
2.3	Laboratorio.....	10
2.4	MC6-kenttäkalibraattori ja -kommunikaattori.....	11
3	LAADUN KÄSITTEITÄ.....	12
3.1	Laadun määritelmät .....	12
3.2	Laadun tuottaminen .....	13
3.3	Tilastolliset laatutyökalut.....	14
3.3.1	Histogrammi.....	14
3.3.2	Hajontakaavio .....	15
3.3.3	Tarkastuskortti.....	16
3.3.4	Pareto-kuvaaja.....	17
3.3.5	Syy-seuraus -analyysi.....	18
4	SPC:SSÄ KÄYTETTÄVIÄ KÄSITTEITÄ.....	19
4.1	Keskiarvo .....	19
4.2	Keskihajonta .....	19
4.2.1	Perusjoukon keskihajonta.....	19
4.2.2	Näyte-erän keskihajonta.....	20
4.2.3	Keskihajonnan estimaatti .....	20
4.3	Normaalijakauma.....	21
4.4	Hallinnassa oleva prosessi .....	22
4.5	Hallinnassa olevan prosessin suorituskyvyn arviointi .....	22
4.5.1	Suorituskyky-luku $C_p$ .....	24
4.5.2	Suorituskyky-luku $C_{pk}$ .....	25
4.6	Prosessin vaihtelun syyt.....	25
4.6.1	Yleinen syy (Chance causes of variation) .....	26
4.6.2	Erityinen syy (Assignable causes of variation) .....	27
5	TILASTOLLINEN PROSESSIN OHJAUS (SPC).....	28
5.1	Yleistä SPC:stä .....	28
5.2	SPC:n käyttöönotossa huomioitavaa .....	28
5.3	SPC:n vaiheittainen käyttöönotto .....	29
5.3.1	Vaihe I.....	29

5.3.2	Vaihe II.....	30
5.4	Ohjaukorttien hyödyt.....	30
6	OHJAUSKORTIT .....	32
6.1	Ohjaukortin valinta.....	32
6.2	Ohjaus- ja toleranssirajat .....	33
7	KOE OHJAUSKORTTIEN VALMISTELU JA RAJAUS .....	34
7.1	Nykytilan analysointi .....	34
7.2	Mittauskohteen valinta.....	34
7.3	Ohjaukorttityypin valinta .....	35
7.4	Tiedonkeruu ja -rajaus .....	36
8	X/S-KORTIN LASKENTA .....	37
8.1	Hallinnassa olevan prosessin määrittäminen .....	37
8.1.1	PS4:n mittaustulosten jakauma .....	37
8.1.2	PS3:n mittaustulosten jakauma .....	38
8.2	Kuvaajien arvojen muodostaminen .....	39
8.3	X/s-kortin suorituskykyluvut .....	40
9	PS4 TULOSTEN TULKINTA.....	42
9.1	Ohjausrajat ylittävien mittaustulosten rajaaminen .....	42
9.2	Rajauksen jälkeiset tulokset.....	43
10	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	46
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET .....	49

**LYHENTEET JA TERMIT**

ISO 9001	Laadunhallintajärjestelmästandardi, joka antaa standardivaatimuksia organisaatiolle asiakkaan tarpeiden ja odotusten täyttämiseksi ja tyytyväisyyden aikaansaamiseksi tuotetarjonnassa. Standardi on laadunvarmistusta varten.
Kalibrointi	Toimenpide, jossa selvitetään mittauslaitteen näyttämän arvon yhteys mittanormaaliin.
SPC	Tilastollinen prosessin valvonta, myös tilastollinen prosessinohjaus
Ohjauskortti	(Engl. control chart) Myös valvontakortti tai säätökortti. Työkalu, jonka avulla mitataan ja vähennetään prosessivaihteluita, ja tunnistetaan satunnaisvaihtelut erilaisista häiriöistä.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Beamexin toiminta perustuu vankasti laadukkaiden kalibraattoreiden valmistukseen. Yrityksen sloganinakin on ”better way to calibrate”. Laadun eteen on työskennelty pitkään, mutta ISO9001:n jatkuvan kehittymisen periaatteen mukaisesti aina on parannettavaa.

Opinnäytetyön aihe valikoitui sekä yrityksen tarpeiden, että tekijän mielenkiinnon perusteella. Opinnäytetyö on tehty Beamexillä suunniteltavaa suurempaa saannon parantamiseen tähtäävää projektia ajatellen. Toteutuessaan projekti keskittyy MC6 kalibraattoreiden sähkömittaus- ja generointikortin saantojen parantamiseen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda toimivat ohjausraajat Beamexin MC6 kalibraattoreiden erään piirikortin määritysajon valituille osa-alueille tilastollisia menetelmiä hyödyntäen. Tavoite on, että prosessissa esiintyvät häiriöt ja muutokset huomataan määrällisellä analyysillä nykyistä aikaisemmassa vaiheessa. Tämä johtaa myös nopeampaan korjaavien toimenpiteiden toteuttamiseen, ja parantaa sitä kautta prosessin vakautta, ja edelleen laatua. Modernin määritelmän mukaan pienempi vaihtelu prosessissa tarkoittaa parempaa laatua. SPC:n soveltamisella pyritään kehittämään kalibraattoreiden valmistuksen laadunvalvontaa.

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, onko opinnäytetyössä käsiteltyjä tilastollisia menetelmiä järkevää käyttää kalibraattoreiden valmistukseen liittyvissä prosesseissa työkaluna laadunvarmistuksen kehittämiseen. Opinnäytetyön aikana tilastolliset menetelmät tulevat tekijälle tutuksi, ja niitä voidaan jatkossa hyödyntää myös opinnäytetyön rajatun alueen ulkopuolisissa prosesseissa. Mikäli työ osoittaa, että SPC:stä saadaan hyötyä, siitä on tarkoitus tehdä pysyvä osa prosessia.

## 1.2 Opinnäytetyön rajaus ja rakenne

Tutkimuksessa käsiteltävä aihe SPC on hyvin laaja kokonaisuus, joka koostuu monesta eri osa-alueesta. Teoriaosuudessa käsitellään ohjauskorttien lisäksi erilaisia tilastollisia laatutyökaluja, joista osa on jo käytössä kohdeyrityksessä.

Myös SPC:hen, etenkin ohjauskortteihin, liittyvät oleelliset käsitteet käydään yleisesti läpi, jotta lukijan on helpompi sisäistää työn toteutusvaiheen tapahtumia. Lisäksi teoriaosiossa esitellään SPC:tä yleisesti, sekä sen tuomia etuja. Myös haasteita sivutaan teoriaosuudessa, jotta ne tiedetään kiertää.

Käytännön osuus painottuu ohjauskortin valintaan, laskemiseen, ja sen kohdeprosessiin sopivuuden analysointiin. Työssä käsitellään myös tapoja, ja edellytyksiä SPC:n, erityisesti ohjauskorttien toimivaan käyttöönottoon.



## 2 YRITYSESITTELY

### 2.1 Beamexin historiaa

Beamex perustettiin Pietarsaareen vuonna 1975. Neljä teknisesti taitavaa Schaumanin seluloosatehtaan (nykyisin kuuluu UPM-konserniin) työntekijää, Eero, Krister, Veijo ja Nils-Erik olivat turhautuneita tarjolla oleviin kalibrointilaitteisiin ja päättivät alkaa itse kehittämään tarkoitukseen paremmin sopivia laitteita. Ajatus "paremmasta tavasta" oli syntynyt. Ensimmäisten kalibrointilaitteiden kehitys alkoi Eero Halosen kotikeittiössä. (Beamex n.d; Ritamäki 2015, 187,189.)

Vuonna 1984 perheyritys Sarlin osti neljästä työntekijästä kahdeksaantoista kasvaneen Beamexin, jonka liikevaihto oli jo 8,5 miljoonaa markkaa. Sarlinin hallituksen jäsenenä toiminut Nokian varatoimitusjohtaja Kurt Wikstedt oli vaikuttanut tarkastamansa kalibraattorin käyttäjäystävällisyydestä ja käytännöllisyydestä. Jo tuolloin Beamex oli huipputeknologiayritys, jolla oli tehokas kasvustrategia ja potentiaali. Beamex käynnisti vientinsä toden teolla tullessaan osaksi Sarlin-konsernia. (Ritamäki 2015, 187-189, 223.)

Vuonna 1986 Beamex sai valmiiksi maailman ensimmäisen kalibrointiohjelman, joka pystyi kommunikoimaan kalibraattorin kanssa. Beamex vastaanotti presidentin vientipalkinnon vuonna 1989, viennin ollessa yli 90 prosenttia liikevaihdosta. Beamex oli myös yksi ensimmäisistä ISO 9001 -sertifikaatin saaneiden yritysten joukossa Suomessa. (Ritamäki 2015, 192,221, 223)

### 2.2 Beamex tänään

Tänä päivänä Beamex on ylivoimainen markkinajohtaja Suomessa, ja maailmanlaajuisestikin se on painetta mittaavien kenttäkalibraattoreiden ja vastaavan ohjelmiston sekä ohjelmistopalvelun merkittävä toimittaja. Beamexin sloganina on ”Parempi tapa kalibroida”, ja se onkin ainoa alallaan, joka valmistaa laitteisto- ja ohjelmistotuotteita ja tarjoaa niihin liittyvää huoltopalvelua. (Beamex n.d; Ritamäki 2015, 297, 309)

Beamexillä on neljä Premium-kumppania, ja yhteensä yli 80 jakelijaa. Beamexin tuotteita käyttää maailmanlaajuisesti yli 12 000 yritystä 130 maassa, työntekijöitä on yli 100 ja liikevaihto on yli 30 miljoonaa. Tuotannosta menee vientiin yli 95 prosenttia, josta noin puolet EU:n ulkopuolisiin maihin. Tärkeimmät asiakkaat ovat energia- ja lääkealala, mutta myös Formula 1 -tallit kalibroivat mittauslaitteensa Beamexin varusteilla. (Beamex n.d; Ritämäki 2015, 225,295-296)

### 2.3 Laboratorio

Beamexin Oy Ab:n kalibrointilaboratorio K026 on Finasin akkreditoima kalibrointilaboratorio.

Kalibrointialat ja suuret:

- Sähkösuureet, tasa- ja pientaajuiset sähkösuureet
  - Tasajännite 0 ... 1000 V
  - Tasavirta 0 ... 1 A
  - Resistanssi 0  $\Omega$  ... 10M $\Omega$
- Sähköinen lämpötilan simulointi, mittaus ja simulointi
  - Termoelementit -273 ° ... 2500 °C
  - Vastuslämpömittarit -200 °C ... 850 °C
- Aika ja taajuus
  - Taajuus 1 Hz ... 100 MHz
- Mekaaniset suuret, paine
  - Ylipaine (kaasu) -100 kPa ... 17,6 MPa
  - Ylipaine (öljy) 1 ... 100 MPa
  - Absoluuttipaine (kaasu) 0,13 Pa ... 4,2 MPa
- Termofysikaaliset suuret ja ominaisuudet, lämpötila
  - Vertailukalibrointi (platinavastuslämpömittarit, digitaaliset lämpömittarit)
  - Kiintopistekalibrointi veden kolmoispisteessä
  - Vertailukalibrointi (termoelementti)
  - Vertailukalibrointi (kuivalohkokalibraattorit)

(Finas 2017.)

## 2.4 MC6-kenttäkalibraattori ja -kommunikaattori

Beamex MC6 lanseerattiin helmikuussa 2012. MC6 oli alueellaan yhtä vallankumouksellinen kuin älypuhelimien käyttöönotto. MC6 maksaa perustoimituksena noin 7000 euroa, ja kattavampana toimituksena noin 20 000 euroa. Se on edistyksellinen, huipputarkka paineen, lämpötilan ja sähköisten signaalien kalibraattori, jossa on myös täysi kommunikaattoriominaisuus HART, FOUNDATION Fieldbus H1 ja profibus PA -laitteille. (Beamex 2018, Ritämäki 2015, 296, 298.)

MC6 omaa suuren 5,7 tuuman värillisen kosketusnäytön. Kestävän, IP65-luokan pöly- ja vesitiiviin koteloinnin, sekä ergonomisen suunnittelun ja kevyen painonsa ansiosta se on ideaali mittalaite kenttäkäyttöön. MC6:ssa on viisi erilaista toimintotilaa, joten sitä on helppo käyttää erilaisissa käyttötilanteissa. Käyttötilat ovat:

- Mittari
- Kalibraattori
- Dokumentoiva kalibraattori
- Tiedonkeruu
- Kenttäväyläkommunikaattori (Beamex 2018.)

MC6 kommunikoi Beamexin CMX-ohjelmiston kanssa. Tämä mahdollistaa automaattisen kalibroinnin ja dokumentoinnin nopeuttaen ja helpottaen koko kalibrointiprosessin suorittamista. Jokainen MC6 toimitetaan jäljitettävällä akkreditoidun laboratorion kalibrointisertifikaatilla. (Beamex 2018.)



KUVA 1. MC6 -kalibraattori (Beamex 2018.)

### 3 LAADUN KÄSITTEITÄ

#### 3.1 Laadun määritelmät

Laatua on alettu määritellä laatuajattelun kehittymisen myötä. Laatu voidaan määritellä monella tavalla. Perinteinen määritelmä laadusta perustuu tuotteiden ja palveluiden vaatimustenmukaisuuteen. Se voidaan jakaa kahteen osaan. Suunniteltu laatu määrittelee, kuinka hyvin tuote on suunniteltu käyttötarkoitukseen nähden. Toteutettu laatu määrittelee, kuinka hyvin tuote vastaa suunniteltua spesifikaatiota. (Montgomery 2009, 4-5; Salomäki 2003, 36.)

Modernin määritelmän mukaisesti laatu on kääntäen verrannollinen vaihteluun. Tämä tarkoittaa sitä, että tärkeiden ominaisuuksien sisältämää vaihtelua pienentämällä tuotteen laatua saadaan nostettua. (Montgomery 2009, 6.)

Vuonna 1988 julkaistussa kirjassaan *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*, Harvard Business Schoolin professori David Garvin tutki, mitä yhdysvaltalaisen valmistajien tarvitsi tehdä tuolloin kuroakseen umpeen laatueroa ulkomaalaisiin kilpailijoihin. Alla olevassa kuviossa 1, on Montgomeryn yhteenveto Garvinin kahdeksasta kriittisestä tuotelaadun ulottuvuudesta. (Aisner 2017; Montgomery 2009, 4-5.)



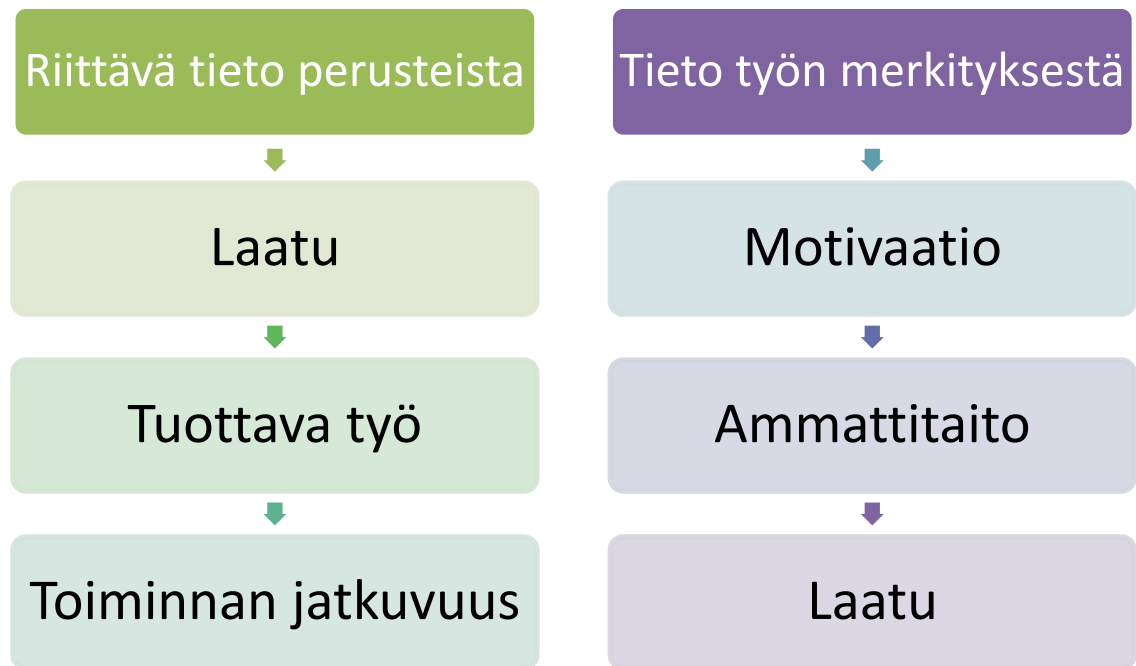
KUVIO 1. Tuotteen laadun kahdeksan kriittistä ulottuvuutta. (Montgomery 2009, 4-5)

Suorituskyky on yksi laadun ulottuvuuksista. Mahdolliset asiakkaat yleensä arvioivat tuotteita sen mukaan, pystyykö se suorittamaan tiettyjä tehtäviä, ja kuinka hyvin. Luotettavuus on toinen laadun ulottuvuuksista. Monella alalla asiakkaan laatuksitykseen vaikuttavaa negatiivisesti, jos tuote vaatii jatkuvaa korjausta. Kestävyys on kolmas laadun ulottuvuuksista. Tuotteen elinikä on esimerkiksi autojen ja kodinkoneiden osalta erittäin tärkeä laatumittari useimmille asiakkaille. Huollettavuus on neljäs laadun ulottuvuuksista. Monella alalla asiakkaan laatuksitykseen vaikuttaa suoraan, kuinka nopeasti ja taloudellisesti korjaukset, tai huoltorutiinit voidaan suorittaa. Estetiikka on viides laadun ulottuvuuksista. Tuotteen visuaalinen ulkonäkö, sen tuntuma ja ulkomuoto vaikuttavat laadun kokemukseen, ja sitä kautta ostopäätökseen. Ominaisuudet ovat kuudes laadun ulottuvuuksista. Yleensä asiakkaat liittävätkä korkean laadun tuotteisiin, joissa on lisäominaisuuksia, jotka ylittävät kilpailijoiden perustason. Koettu laatu on seitsemäs laadun ulottuvuus. Monesti asiakkaat luottavat aiemmin koettuun yrityksen laadukkaaseen maineeseen. Tämä voi syntyä hyvin hoidetusta laatuksityksestä, sekä onnistuneista aiemmista kokemuksista. Tuotteen vaatimustenmukaisuus on kahdeksas laadun ulottuvuus. Yleensä puhutaan korkeasta laadusta, kun tuotteen toteutus vastaa suunniteltua, ja esimerkiksi suunnitellut toleranssit toteutuvat, ja osat sopivat yhteen suunnitellusti. (Montgomery 2009, 4-5.)

### **3.2 Laadun tuottaminen**

Asiakkaasta riippumatta, kilpailevien tuotteiden ja palveluiden välillä laadusta on tullut yksi tärkeimmistä ostopäätöksiin vaikuttavista tekijöistä. Laadun ymmärtäminen ja kehittäminen ovat liiketoiminnan menestyksen, kasvun ja kehittyneen kilpailukyvyn avaintekijöitä (Montgomery 2009, 4.)

Kuviossa 2 on kuvattu laadun tuottamisen perustat. Salomäen (2003, 12.) mukaan riittävä tieto perusteista ja työn merkityksestä aikaansaa laatua motivaation tuoman ammattitaidon kautta. Eli laatua syntyy, kun tiedetään mitä tehdään, ja miksi. Kun valmistetaan laatua, työ on tuottavaa, joka taas takaa toiminnan jatkumisen. (Salomäki 2003, 12.)



KUVIO 2. Laadun tuottaminen

### 3.3 Tilastolliset laatutyökalut

Salomäki (2003, 338.) kertoo, että Japanissa tehdyn määritelmän mukaan ohjaukorkortti on yksi seitsemästä laatutyökalusta. Englanniksi kyseistä ryhmää kutsutaan Seven Basic (Old) Quality Tools nimityksellä. Montgomery (2009, 199) kutsuu ryhmää nimellä the Magnificent Seven, sekä puhuu niistä myös seitsemänä suurena SPC:n ongelmanratkaisu työkaluina.

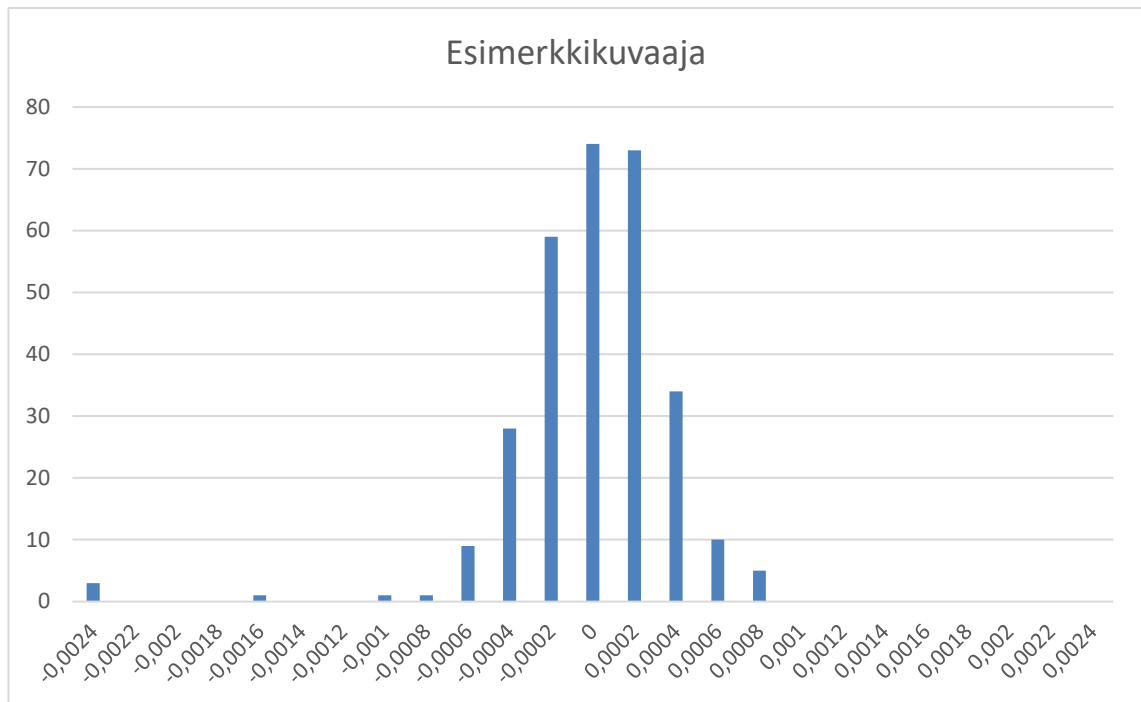
Lähteestä riippuen näiden seitsemän työkalun joukko hieman vaihtelee. Ohjaukorkortin lisäksi tilastollisia laatutyökaluja ovat histogrammi, syy-seuraus -kuvaaja, tarkastuskortti, Pareto-kuvaaja sekä hajontakaavio. Seitsemäs työkalu voi olla kuviot ja käyrät, vuokaavio tai aivoriihi. Joskus joukossa on kahdeksantena koesuunnittelu. (Salomäki 2003, 338-339.)

#### 3.3.1 Histogrammi

Histogrammi on esiintymistiheyden graafinen esitys. Histogrammilla kuvataan mittaus-tulosten määrää jakoluokissa, eli tulosten kattama alue jaetaan luokkiin. Joka luokan tulosten määrää kuvaa pylväskuvaajan korkeus. Pylväiden muodostamasta kuviosta näkee

nopeasti, missä luokassa on eniten mittaustuloksia, ja millainen on jakauma. (Salomäki 2003, 339-340.)

Kuviossa 3 nähdään esimerkki histogrammista, jossa tulokset noudattavat melko hyvin normaalijakaumaa. Toisaalta SPC:n sovelluksissa kuviossa näkyville negatiivisen alueen yksittäisille havainnoille tulisi selvittää syy, ja poistaa ne erityishavaintoina datasta järkevien ohjausrajojen luomista varten.

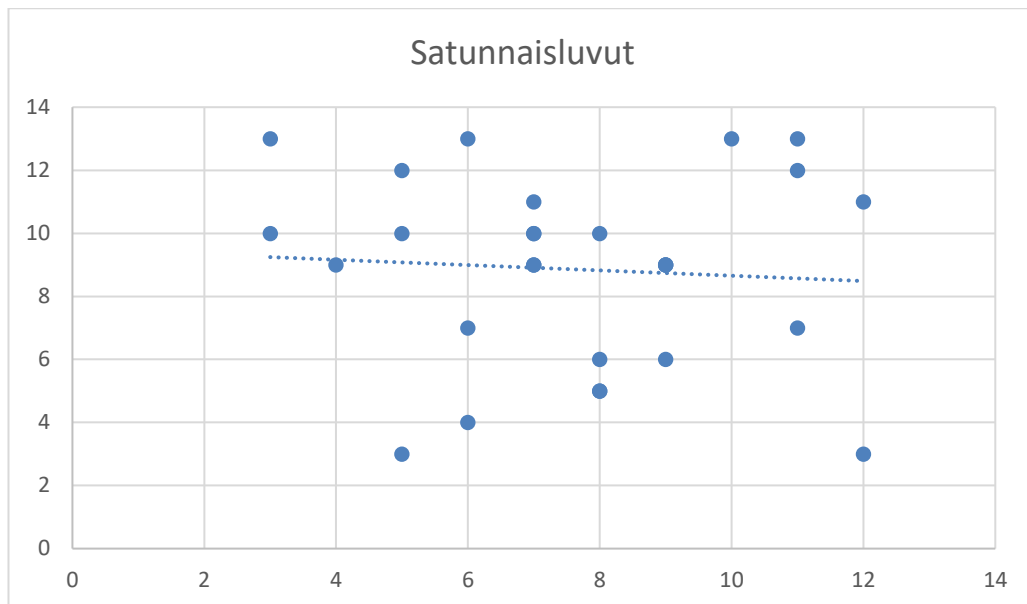


KUVIO 3. Histogrammi.

### 3.3.2 Hajontakaavio

Hajontakaaviolla saadaan visuaalinen kuva kahden muuttujan havaintoarvojen vaikutuksista toisiinsa. Sitä voidaan käyttää muutoksen vaikutuksen ennustamiseen tai poikkeavien tulosten löytämiseen. (Salomäki 2003, 356.)

Hajontakuvaaja on hyödyllinen mahdollisten korrelaatioiden havaitsemisessa. Koesuunnittelua täytyy kuitenkin käyttää kausaaliteetin verifioimiseksi. Riippuvuus ei välttämättä merkitse syy-seuraus suhdetta, vaikuttava tekijä saattaa olla kolmas muuttuja. Alla kuviossa 4 kuvattuna hajontakuvaaja, jossa luvut eivät korreloi. (Montgomery 2009, 205.)



KUVIO 4. Hajontakaavio, jossa korrelaatiota ei ole havaittavissa.

### 3.3.3 Tarkastuskortti

Prosessin kehittämisen alkuvaiheissa on monesti tarpeen kerätä joko historiallista, tai nykydataa kehitettävänä olevasta prosessista. Tässä datan keräämisessä tarkastuskortti voi olla erittäin hyödyllinen. (Montgomery 2009, 199.)

Tarkastuskorttia suunniteltaessa on tärkeää selkeästi määritellä kerättävän datan tyyppi, osan tai toiminnon numero, päivämäärä, sekä analysoija. Aikaan perustuva yhteenveto on arvokasta suuntauksien, tai muiden mahdollisten toistuvien kuvioiden havaitsemiseksi. (Montgomery, 2009, 200.)

Tarkastuskortissa havainnot jaotellaan eri ryhmiin. Ryhmät muodostetaan, kun tiedetään mitä havaintoja saattaa esiintyä. Esimerkki yksinkertaisesta tarkastuskortista on kuvattu taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tarkastuskortti



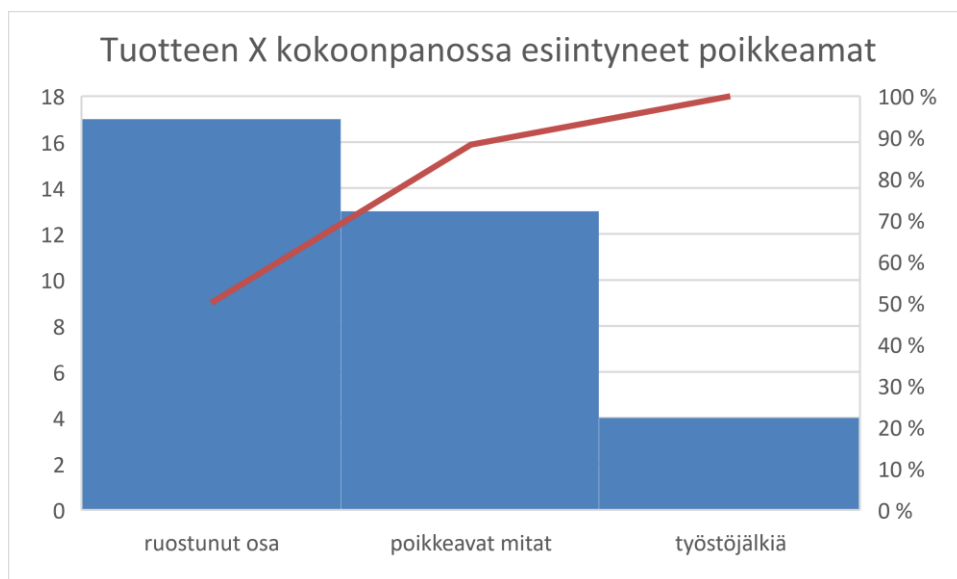
Tuotteen X kokoonpanossa esiintyneet poikkeamat				
Poikkeama	1/2015	2/2015	3/2015	4/2015
Ruostunut osa	###	### //	//	///
Poikkeavat mitat	///	/	////	###
Työstäjälkiä	/	//		/

### 3.3.4 Pareto-kuvaaja

Pareto-kuvaaja on yksinkertaisesti ominaisuusdatan esiintyvyyssjakauma jaoteltuna eri kategorioihin. Pareto-kuvaajaa voidaan käyttää työkaluna, jonka avulla määritellään mitä mitataan. Lisäksi sen avulla voidaan analysoida dataa. (Montgomery 2009, 200-201.)

Pareto ei automaattisesti tunnista tärkeimpiä poikkeavuuksia, vaan ainoastaan ne, joita esiintyy eniten. Kun kuvaaja sisältää sekä äärimmäisen vakavia, että vähemmän tärkeitä poikkeamia, voidaan käyttää painotettua kuvaajaa tai liittää kulut osaksi taulukkoa. (Montgomery 2009, 201.)

Esimerkki yksinkertaisesta Pareto -kuvaajasta on kuvattu kuviossa 5. Kuvioon on koottu edellisen esimerkin tarkastuskortissa havaitut poikkeamat. Kuvioista on helposti luettavissa, että kaksi eniten esiintyvää poikkeamaa muodostavat yhteensä noin 90 % kaikista poikkeamista.



KUVIO 5. Pareto-kuvaaja

### 3.3.5 Syy-seuraus -analyysi

Syy-seuraus -analyysissä yritetään muodostaa seuraukselle, usein ongelmalle, mahdollisimman monta syytä prosessiajattelun avulla. Analyysistä syntyvä kaavio, joka tunnetaan myös kalanruotokaaviona sekä Ishikawa-kaaviona, on hyvä apuväline epäselvien häiriöiden tunnistamisessa. (Salomäki 2003, 346.)

Analyysi muodostetaan piirtämällä haarautuva nuolikuvi. Nuolen haaroihin luokitellaan ylemmän tason syitä, kuten henkilö, laitteisto, ympäristö ja raaka-aine. Ylemmän tason syyt jaetaan tarkempiin syihin. Näistä merkityksettömät karsitaan, ja loput tutkitaan ja dokumentoidaan. (Salomäki 2003, 346-347.)

## 4 SPC:SSÄ KÄYTETTÄVIÄ KÄSITTEITÄ

### 4.1 Keskiarvo

SPC:ssä käytetään yleensä aritmeettista keskiarvoa, joka on näytteen arvojen summa jaettuna näytteen arvojen lukumäärällä. Usein laadunvalvonnan tavoitteena on laskea näytteen keskiarvot, jotta voidaan arvioida perusjoukon keskiarvon muutoksia ajan myötä. (Icenogle & Zimmerman 2003, 107; Salomäki 2003, 179.)

Toisinaan käytetään liukuvaa keskiarvoa, joka muodostetaan niin, että uusien tulosten painoarvo on aina vanhimman. Painotetussa keskiarvossa uusien tulosten painoarvo on suurempi kuin vanhojen. (Salomäki 2003, 179.)

### 4.2 Keskihajonta

Keskihajonta kertoo, miten keskittyneitä havainnot ovat. Se kertoo havaintojen keskimääräisestä etäisyydestä keskiarvoon. Mitä pienempi tämä etäisyys on, sitä keskittyneempi jakauma on. Tunnusluvusta ei voi päätellä hajonnan muotoa tai muita ominaisuuksia. (Salomäki 2003, 180; Tilastokeskus 2018.)

SPC:tä hyödyntäessä, käytännössä prosessin keskihajonta on melkein aina tuntematon, ja täytyy korvata keskihajonnan estimaatilla. Tähän käytetään tyypillisesti joko näyte-erän keskihajontaa, tai erillisiä ohjauskorttikohtaisia arvioita. (Montgomery 2009, 351.)

#### 4.2.1 Perusjoukon keskihajonta

Koko perusjoukon keskihajonnan tunnus on  $\sigma$  (sigma). Perusjoukon keskihajonta voidaan laskea kaavalla

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}, \quad (1)$$

jossa  $\sigma$  = perusjoukon keskihajonta

$N$  = perusjoukon koko

$x_i$  = yksittäisen näytteen mittaustulos

$\bar{x}$  = mittaustulosten keskiarvo

(Salomäki 2003, 180)

#### 4.2.2 Näyte-erän keskihajonta

Mikäli koko perusjoukkoa ei voida mitata, arvioidaan hajonta rajallisesta määrästä mittaustuksia, esimerkiksi yhdestä näyte-erästä. Kaavasta 1 poiketen, jakajassa käytetään pientä  $n$ -kirjainta, joka kuvaa näyte-erän kokoa. Keskihajonta näyte-erästä,  $s$ , lasketaan kaavalla

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

joka on yhtä kuin varianssin neliöjuuri. Laatuspesialistit käyttävät yleensä mieluummin keskihajontaa, kuin varianssia. (Salomäki 2003, 181; Zimmermann & Icenogle 2003, 109-110.)

Joskus näyte-erän keskihajonnan kaava määritellään jakajalla  $n$ ,  $n-1$  sijaan. Tällöin kuitenkin SPC:n muissa laskutoimituksissa käytetyt vakiot muuttuvat, eivätkä vastaa taulukoituja arvoja. (Montgomery 2009, 254)

#### 4.2.3 Keskihajonnan estimaatti

SPC:tä sovellettaessa, prosessin tuntemattomana parametrinä keskihajontaa ei voida laskea edellä mainituilla kaavoilla sellaisenaan. Sen sijaan se voidaan arvioida ohjauskorttityypeistä riippuen eri kaavoilla näyte-erien vaihteluun perustuen (Salomäki 2003, 182).

R-kuvaajaa käytettäessä keskihajonnan estimaatti lasketaan kaavalla

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (3)$$

s-kuvaajalle kaavalla

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}, \quad (4)$$

Ja MR-kuvaajalle kaavalla

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}. \quad (5)$$

Kaikissa edellä mainituissa kaavoissa laskenta perustuu siihen, että sekä näyte-erien sisäinen, että näyte-erien välinen vaihtelu voidaan ennustaa. Tämä on satunnaisten, normaalijakauman omaavan prosessin ominaisuus. (Salomäki 2003, 182-183.)

### 4.3 Normaalijakauma

Normaalijakauma on keskeinen käsite tilastotieteessä. Satunnaisvaihtelun säännönmukaisuuden lakia kutsutaan myös normaalijakauman keksijän Carl Friedrich Gaussin mukaan Gaussin jakaumaksi, ja sen tiheysfunktion kuvaajaa Gaussin käyräksi. (Salomäki 2003, 184.)

Kun tiedetään perusjoukon keskiarvo ja keskihajonta, sille voidaan laskea tiheysfunktio. Tiheysfunktio on jatkuva kellomainen käyrä. Kellon korkeus ja leveys ovat keskihajonnasta riippuvaisia. Tiheysfunktion ja histogrammin avulla voidaan arvioida havaintojoukon normalisuutta ja laskea todennäköisyydet, joilla tulokset jatkossa osuvat rajoihin. (Salomäki 2003, 184-185.)

Tiheysfunktio lasketaan kaavalla

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (6)$$

jossa  $\sigma$  on perusjoukon keskihajonta, ja  $\mu$  on perusjoukon keskiarvo. (Salomäki 2003, 185.)

#### 4.4 Hallinnassa oleva prosessi

Koska prosessin vaihtelua ei voida täysin poistaa, sen hallinta on avainasemassa. Jos prosessin vaihtelua hallitaan, prosessista tulee ennustettava. Havaitseminen perustuu nykyhetken keskiarvon ja vaihtelun vertaamiseen pitkän aikavälin keskiarvoon ja vaihteluun. Ohjauskorttien avulla voidaan verifioida, että prosessi on tilastollisesti hallinnassa. (Salomäki 2003, 168; Gupta&Walker 2007, 42)

Prosessi on hallinnassa, jos sen vaihtelu voidaan täysin tulkita prosessin sisäisistä ja jatkuvasti vaikuttavista vaihtelun lähteistä aiheutuvaksi. Lisäksi yksikään havainto ei ylitä ohjausrajaa, keskiarvon ylä- ja alapuolella tulisi olla suurin piirtein yhtä paljon tuloksia, ja noin kaksi kolmannesta tuloksista tulisi olla ohjausrajojen välin keskikolmanneksella. (Salomäki 2003, 194, 312.)

#### 4.5 Hallinnassa olevan prosessin suorituskyvyn arviointi

Suorituskykylukujen (PCR, process capability ratio) avulla voidaan kätevästi ja yksinkertaisesti ilmaista prosessin suhteellista suorituskykyä yhdellä luvulla. Niitä käytetään laajalti teollisuudessa, mutta niitä käytetään usein myös väärin. Suorituskykyluvut  $C_p$  ja  $C_{pk}$  voidaan laskea vain hallinnassa oleville prosesseille, joiden tulokset muodostavat lähes normaalijakauman. (Salomäki, 2003, 195; Montgomery 2009, 351.)

Kun tiedetään prosessin suorituskyky, voidaan arvioida prosessin tuottamien poikkeavien tuotteiden lukumäärä ppm, eli poikkeavia miljoonasta tuotteesta. Alla esitetyssä taulukossa 2 on kuvattu prosessin tuottamien virheiden määrä miljoonasosina PCR:n perusteella. (Montgomery 2009, 353.)

TAULUKKO 2. Prosessin suorituskykyluvut ja niitä vastaavat virheet miljoonas osina. (Montgomery 2009, 353, muokattu)

PCR	Yksipuolinen toleranssiraja	Kaksipuolinen toleranssiraja
1,00	1 350	2700
1,10	484	967
1,20	159	318
1,30	48	96
1,40	14	27
1,50	4	7
1,60	1	2
1,70	0,17	0,34
1,80	0,03	0,006
2,00	0,0009	0,0018

Kriittisiä oletuksia, joiden tulee olla kunnossa, jotta ppm voidaan arvioida:

1. Jakauma on normaalijakautunut
2. Prosessi on hallinnassa
3. Mikäli käytössä on kaksipuoliset toleranssirajat, prosessin keskiarvon tulee olla kohdistettuna niiden keskelle (Montgomery 2009, 353.)

Tilastollisessa hallinnassa oleva prosessi on välttämätön minkä tahansa suorituskykyluvun oikeaa tulkintaa varten. Valitettavan usein PCR johdetaan prosessin historiallisen datan näytteestä harkitsematta, onko prosessi hallinnassa. Mikäli prosessi ei ole hallinnassa, sen parametrit ovat epävakaita, eikä niiden arvo tulevaisuudessa ole luotettava. Tällöin PCR:n ennustavat osuudet menetetään. Historiadata saattaa myös olla epätäydellinen, tiedon tallennustavat ovat saattaneet muuttua ajan myötä, tai tietoa ei ole koskaan säästetty. (Montgomery 2009, 51, 354.)

Tulisi muistaa, että tarkkailussa on käytännössä arvio PCR:stä, koska se on riippuvainen näytteiden tilastollisuudesta. Arvio ei siis välttämättä ole luotettava. Onkin hyvä idea ilmoittaa PCR:n arvion luotettavuusvälit. Lisäksi mittausjärjestelmän kyky tulisi arvioida. (Montgomery 2009, 51, 354.)

Suorituskykyluvuille on olemassa erilaisia vähimmäisarvoja, joihin vertaamalla voidaan arvioida suorituskyvyn riittävyys. Montgomeryn (2009, 354.) suosittelemat rajat on esitetty taulukossa 3, jossa Montgomery on jaotellut prosessit olemassa oleviin, sekä uusiin prosesseihin. Määritelmän mukaan uusien prosessien rajojen tulee olla tiukemmat, kuin

olemassa olevien. Prosessin kriittisyys, oli se turvallisuudesta, lujuudesta, tai muusta kriittisestä parametrasta johtuvaa, nostaa myös suorituskykyluvun vaatimuksia. Vaatimukset ovat tiukempia kaksipuolisilla kuin yksipuolisilla rajoilla.

TAULUKKO 3. Prosessin suorituskykylukujen suositellut minimiarvot (Montgomery 2009, 354, muokattu)

Prosessi	Kaksipuoleiset rajat	Yksipuoleiset rajat
Olemassa olevat prosessit	1,33	1,25
Uudet prosessit	1,50	1,45
Olemassa olevat kriittiset prosessit	1,50	1,45
Uudet kriittiset prosessit	1,67	1,60

Montgomeryn esittelemät rajat ovat hieman melko hyvin linjassa Salomäen taulukossa 4 esittämien rajojen kanssa, vaikkakin taulukot kuvaavat suorituskykylukuja eri näkökulmista. Montgomery esittää suositellut suorituskykyluvun vähimmäisarvot tietyn tyyppisille prosesseille. Salomäki taas arvioi prosessin suorituskykyluvun avulla prosessin tilannetta.

TAULUKKO 4. Prosessin yleisarvio  $C_{pk}$ :n avulla (mukaillen Salomäki 2003, 198.)

$C_{pk}$ arvo	Prosessin tilanne
< 1,00	Heikko tilanne
1,00 ... 1,33	Huono tilanne
1,33 ... 1,50	Kohtuullinen tilanne
> 1,50	Luotettava prosessi

#### 4.5.1 Suorituskykyluku $C_p$

Prosessin suorituskykyluku  $C_p$  lasketaan kaavalla

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad (7)$$



jossa USL, sekä LSL kuvaavat ohjausrajoja, ja sigma keskihajontaa. Usein kuitenkin keskihajonta on tuntematon, ja se tulee korvata keskihajonnan estimaatilla  $\hat{\sigma}$ , jota käyttämällä saadaan laskettua suorituskykyluvun estimaatti  $\hat{C}_p$ . Keskihajonnan estimaatin laskeminen vaihtelee ohjauskorttikohtaisesti. (Montgomery 2009, 351.)

$C_p$  ei ota huomioon missä prosessin keskiarvo sijaitsee toleranssirajoihin verrattuna.  $C_p$  yksinkertaisesti mittaa toleranssirajojen hajonnan suhdetta prosessin six-sigma hajontaan verrattuna. (Montgomery 2009, 351, 354.)

#### 4.5.2 Suorituskykylukuku $C_{pk}$

$C_{pk}$  huomioi prosessin mittaustulosten keskiarvon sijainnin poikkeaman toleranssialueen keskikohtaan nähden.  $C_{pk}$ :n määrää kaksipuolisilla rajoilla määritellyn prosessin keskiarvoa lähempänä oleva toleranssiraja. Mikäli prosessin tavoitearvo on keskellä toleranssialuetta,  $C_{pk}$  saadaan laskemalla erikseen ylä- ja alatoleranssirajan etäisyys mittaustulosten keskiarvosta jaettuna vaihtelun puolikkaalla. (Salomäki 2003, 196.)

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}; \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}}\right) \quad (8)$$

$C_{pk}$ :n suuruus suhteessa  $C_p$ :hen on selkeä mittari, joka kuvaa kuinka epäkeskeisesti toleranssiin nähden prosessin tulokset ovat sijoittuneet. Kun  $C_p$  ja  $C_{pk}$  ovat yhtä suuria, prosessi on keskittynyt toleranssien puoliväliin. (Montgomery 2009, 355.)

#### 4.6 Prosessin vaihtelun syyt

Vaihtelu voidaan luokitella kahteen luokkaan: Satunnaiseen vaihteluun ja erityisyyvaihteluun. Vaihtelun lajin luokittelun ensimmäisenä esitteli Walter A. Shewhart Western Electricilla 1924. (Piirainen 2018.)

SPC:ssä on keskeistä tunnistaa yleiset ja erityiset syyt prosessin vaihtelun ja ongelmien lähteinä. Syiden jaottelu mahdollistaa tehokkaat, oikeisiin paikkoihin kohdistetut toimenpiteet. (Salomäki 2003, 192.)

Tarkkaa rajaa satunnaisten ja erityisten syiden välille ei voida vetää, sillä käytännön prosesseissa vaihtelu ei noudata täysin normaalijakaumaa, eikä ohjausrajojakaan voida ehdottomasti määritellä. (Salomäki 2003, 195)

Vaikka tilastolliset menetelmät ovat luotettavia, on aina olemassa riski tulkita tilannetta väärin. Tämä riski on kuitenkin tilastollisilla menetelmillä pienempi kuin yksittäisen havainnon perusteella. Mahdolliset virheet on luokiteltu kahteen luokkaan,  $\alpha$ -virheeseen, sekä  $\beta$ -virheeseen. (Salomäki 2003, 194.)

$\alpha$ -virheessä, jota kutsutaan myös yliohjaukseksi, tilanteeseen reagoidaan väärin. Tuote-erä hylätään, vaikka se täyttäisi vaatimukset, tai prosessia säädetään ulkoisen häiriön ilmetessä. Nämä aiheuttavat ylimääräisiä tutkimus-, hylkäys- ja säätökustannuksia, sekä riskejä prosessin hajonnan kasvamiseen. (Salomäki 2003, 194.)

$\beta$ -virheessä, jota kutsutaan myös aliohjaukseksi, tilanteeseen jätetään reagoimatta. Tuote-erä hyväksytään, vaikka se ei täytä vaatimuksia, tai prosessin poikkeama tulkitaan erityisyyksi, eikä prosessia korjata. Nämä voivat aiheuttavaa asiakastyymättömyyttä ja prosessissa olevan ongelman kasvun. (Salomäki 2003, 194.)

#### **4.6.1 Yleinen syy (Chance causes of variation)**

Missä tahansa tuotantoprosessissa esiintyy tietty määrä yleisiä syitä, eli luonnollista satunnaisvaihtelua, jota ei käytännössä pystytä täysin ehkäisemään. Tämä kohina aiheutuu monien pienten syiden kerrannaisvaikutuksesta. Kohinalle ei voida etsiä kertaluontoisesta vikaa mittaustuloksesta. Kohinan pienentämiseksi tähtäävät toimenpiteet tuleekin kohdistaa prosessiin, jota on tarkasteltava pidemmällä aikavälillä kokonaisuutena, ja etsittävä parannuksia sen osiin. (Montgomery 2009, 181; Salomäki 2003, 192.)

Kohina vaihtelee keskiarvonsa ympärillä muodostaen normaalijakauman. Kohinalle voidaan siksi määritellä matemaattisesti luotettavat rajat, jotka kuvaavat sen suuruutta. Mikäli prosessissa esiintyy ainoastaan yleisten syiden aiheuttamaa vaihtelua, sen voidaan sanoa olevan tilastollisessa hallinnassa. (Montgomery 2009, 181; Salomäki 2003, 192.)

#### 4.6.2 Erityinen syy (Assignable causes of variation)

Häiriö voi olla äkillistä, erityisestä syystä johtuvaa, joka ei ole osa normaalia vaihtelua. Erityisten syiden aiheuttama vaihtelu on yleisesti suurta verrattuna kohinaan, ja edustaa yleensä prosessin suorituskäytössä ei-hyväksytyä tasoa. Yleensä erityisyys näkyy kuvaajassa signaalina, eli luonnollisesta vaihtelusta poikkeavana piikkinä. (Montgomery 2009, 181; Salomäki 2003, 193.)

Yleensä erityiset syyt aiheutuvat väärin säädetyistä, tai ohjatuista laitteista, operaattorin virheistä, tai poikkeavasta raaka-aineesta. Prosessi, jossa esiintyy erityisyysvaihtelua, ei ole tilastollisesti hallinnassa. Yhtenä SPC:n tavoitteena on havaita prosessin erityisyydet nopeasti, jotta prosessin tutkiminen sekä korjaavat toimenpiteet voidaan aloittaa, ennen kuin montaa poikkeavaa tuotetta on ehditty valmistaa. Kun erityisyys on löydetty, sen vaikutus poistetaan prosessia säätämättä, ja pyritään estämään sen toistuminen. (Montgomery 2009, 181; Salomäki 2003, 193.)

## 5 TILASTOLLINEN PROSESSIN OHJAUS (SPC)

### 5.1 Yleistä SPC:stä

Lyhenne SPC tulee sanoista Statistical Process Control, suomeksi käännettynä tilastollinen prosessin ohjaus. Se on vakiintunut tapa soveltaa tilastollisia menetelmiä prosessin, ja samalla usein myös tuotteen laadunvalvonnassa. Menetelmää voidaan pitää tilastollisena, kun havaintoja käsitellään joukkona, eikä päätöksiä tehdä yksittäisiin havaintoihin perustuen. Tärkeimpänä menetelmänä SPC-insinööri Salomäki (2003, 166-167.) pitää ohjauskorttia.

SPC ei keskity tuotteiden laadun ja yksittäisten havaintojen tarkkailuun, vaan valmistusprosessin keskimääräiseen tilastollisen laaduntuottokyvyn parantamiseen. Tämä tapahtuu pienentämällä prosessista johtuvien huonojen tuotteiden valmistamisen tilastollista todennäköisyyttä. (Salomäki 2003, 168.)

Laajasti tulkittuna SPC pitää sisällään kaikki menetelmät, joilla saadaan tilastollista tukea prosessin ohjaamiseen liittyvään päätöksentekoon. Tilastollisen laadunvalvonnan työkaluja voidaan pitää ikään kuin ”hälytyskelloina”, jotka lähettävät signaaleja, kun prosessissa esiintyy yksi tai useampia ongelmia. Sen avulla johto pystyy ongelmatilanteissa kohdistamaan resursseja nopeasti, ja tehokkaasti kehittämään ratkaisuja kyseisiin ongelmiin. (Salomäki 2003, 167; Montgomery 2009, 43; Gupta&Walker 2007, 1.)

### 5.2 SPC:n käyttöönotossa huomioitavaa

Laatutyökaluna SPC ei ole helpoimmin opittavia, joten tehokas käyttöönotto on vaativaa. SPC tulisi saada jatkuvaan käyttöön osaksi prosessien toimintaa. SPC on hyvä ottaa käyttöön projektina, jolloin siihen varataan tarpeeksi resursseja ja asia koetaan tärkeäksi. Projektivaiheen päätyttyä tilastolliset menetelmät siirtyvät osaksi prosessien jokapäiväistä toimintaa ja turvaavat osaltaan jatkuvaa kehittymistä.” (Salomäki 2003, 8.)

Salomäen (2003, 8) mukaan ”SPC:n käyttöönotto ja tuloksellinen laatu työ sen avulla edellyttää organisaation halua ja kykyä muuttua sekä johdon osoittamaa tukea, kiinnostusta ja vaatimusta.” Myös Montgomery (2009, 205.) nostaa johdon osallistumisen ja sitoutumisen laadunkehitysprosessiin tärkeimmäksi osaksi SPC:n mahdollista menestystä ajatellen.

SPC:n käyttöönotto merkitsee ajattelutavan muutoksia ja uusien käsitteiden opettelemista ja käyttöönottoa. Sen onnistunut soveltaminen perustuu prosessien ymmärtämiseen, eikä matematiikkaan. Organisaation kaikille tasoille on kuitenkin annettava riittävästi tietoa ja osaamista muutoksen aikaansaamiseksi. Ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista kouluttaa kaikille perusteellisesti tilastollisia analysointimenetelmiä ja -teorioita.

(Salomäki, 2003, 8-9.)

### **5.3 SPC:n vaiheittainen käyttöönotto**

Ohjauksen tehokas käyttöönotto jatkuvasti käytettäväksi työkaluksi onnistuu vasta, kun prosessi ja sen ympäristö ovat siihen valmiit. Kortin tulevien käyttäjien tulisi olla mukana sen laadinnassa. Raporttikortteja voidaan seurata myös prosessin ulkoa. (Salomäki 2003, 223-224.)

Yleisesti ohjauksen käyttöönottoon kuuluu ensimmäisen vaiheen (phase I) sekä toisen vaiheen (phase II) sovellukset, jotka koostuvat kaksista eri tavoitteesta. Yleensä näissä suositetaan myös eri ohjauksen tyyppisiä. (Montgomery 2009, 198.)

#### **5.3.1 Vaihe I**

Ensimmäisessä vaiheessa prosessin dataa kerätään ja analysoidaan kerralla takautuvasti, luoden koeohjauksia, joiden avulla voidaan määrittää, onko prosessi ollut hallinnassa aikana, jolloin historiallista tietoa on kerätty. Nähdään myös, voidaanko luotettavia ohjauksia luoda tulevan tuotannon valvomista varten. (Montgomery 2009, 198.)

Tyypillisesti ensimmäisessä vaiheessa käytetään 20:tä tai 25:tä näyte-erää, joiden avulla määritellään koeohjauksia. On melko yleistä olettaa, ettei prosessi ole hallinnassa, joten

tavoitteena on tuoda prosessi hallintaan. Lasketaan ohjausrajat näyte-erien perusteella, ja verrataan ohjauskortille piirtyvää kuvaajaa ohjausrajoin. Ohjausrajojen ulkopuoliset pisteet poistetaan, ja uudet rajat lasketaan, kunnes kaikki pisteet ovat rajojen sisällä. (Montgomery 2009, 198)

### **5.3.2 Vaihe II**

Toinen vaihe voidaan aloittaa, kun prosessin data on siivottu, ja prosessi on tilastollisesti hallinnassa. Toisessa vaiheessa oletetaan yleensä, että prosessi on kohtuullisen vakaa. Toisessa vaiheessa esiintyvät erityisyydet johtavat usein pienempiin prosessin muutoksiin, sillä pahimmat vaihtelun aiheuttajat on karsittu jo ensimmäisessä vaiheessa. (Montgomery 2009, 198-199)

Toinen vaihe keskittyykin prosessin seurantaan, eikä heikosti käyttäytyvän prosessin hallintaan saattamiseen. ARL on oiva perusta arvioimaan ohjauskortin suorituskykyä toisessa vaiheessa. (Montgomery 2009, 199.)

## **5.4 Ohjauskorttien hyödyt**

Ohjauskortit ovat toimivaksi todettu menetelmä tuottavuuden parantamisessa. Onnistunut ohjauskorttiohjelma vähentää hylkyä ja korjausta, jotka ovat ensisijaiset tuottavuuden tappajat missä tahansa toiminnassa. Hylkyä ja korjausta vähentämällä tuottavuus nousee, kulut laskevat, ja tuotantokapasiteetti nousee saannon parantumisen johdosta. (Montgomery 2009, 189.)

Ohjauskortit ovat tehokkaita poikkeamien ehkäisemisessä. Ohjauskortti auttaa pitämään prosessin hallinnassa. On aina edullisempaa tehdä kerralla hyvää, kuin lajitella hyvät huonoista myöhemmin. (Montgomery 2009, 189.)

Ohjauskortit ehkäisevät tarpeetonta prosessin säätämistä. Ohjauskortti voi erotella kohinan epätavallisesta vaihtelusta. Mikäli prosessia säädetään säännöllisiin, ohjauskortin ulkopuolisiin testeihin perustuen, usein tapahtuu ylireagoitua taustameluun, joka aikaansaa

tarpeettomia säätöjä. Tarpeettomat säädöt voivat johtaa prosessin suorituskyvyn heikkenemiseen. (Montgomery 2009, 189.)

Ohjauskortit antavat tietoa vianmäärittelyyn. Usein ohjauskortin pisteiden muodostamasta kuvaajasta saadaan vianmäärittelyyn tärkeää tietoa. Tämä tieto mahdollistaa prosessin parannukseen johtavien muutosten toteuttamisen, ja antaa tietoa johdolle, mihin toimenpiteet tulee suunnata. (Montgomery 2009, 189.; Gupta&Walker 2007, 56.)

Ohjauskortit antavat tietoa prosessin suorituskyvystä. Ohjauskortti tarjoaa tietoa prosessin tärkeiden parametrien arvoista ja niiden vakaudesta. Tämä mahdollistaa prosessin suorituskyvyn arvioinnin. Tämä tieto on tärkeää tuotteiden, ja prosessien suunnittelijoille. (Montgomery 2009, 189.)

Hallinnassa olevassa prosessissa voidaan SPC:n avulla määrittellä todennäköisyys virheellisen tuotteen syntymiseen. Tämän todennäköisyyden avulla voidaan vähentää tarkastuksia ja kohdistaa vapautuvat resurssit prosessin edelleen kehittämiseen. SPC:n tuoman eri tekijöiden välisten korrelaatioiden tuntemisella voidaan karsia päällekkäisiä tarkastuksia. (Salomäki 2003, 230.)

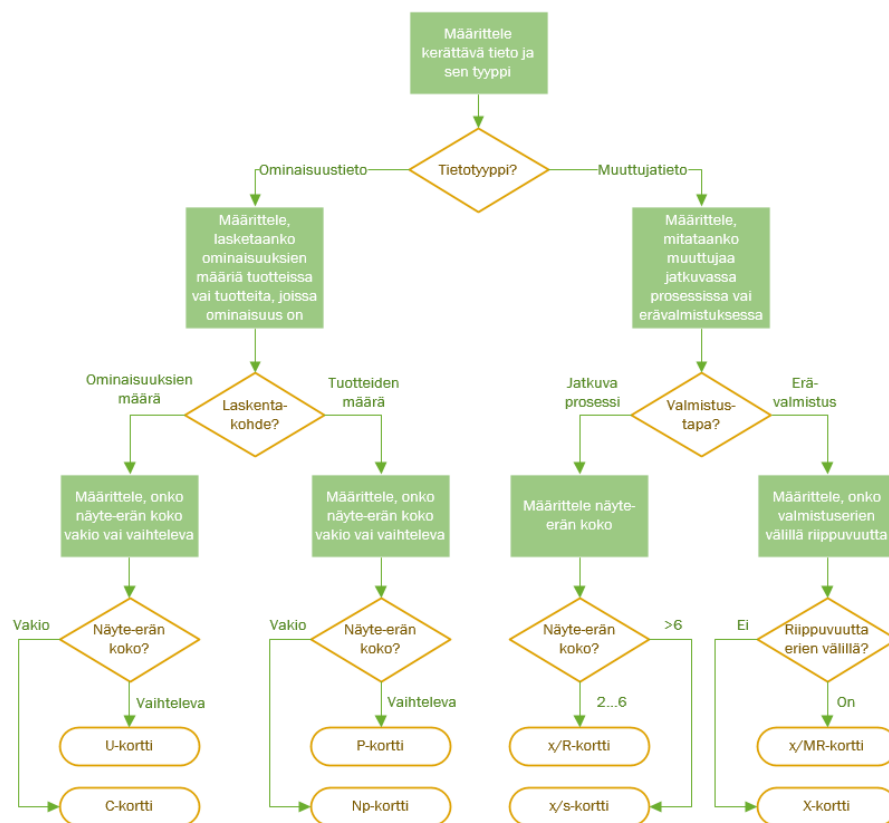
Asiakkaalle voidaan luvata parempia ja tasalaatuisempia tuotteita, kun laatutaso on tiedossa. Tämä voi johtaa asiakkaan hinnan nostamiseen. Toisaalta tuote syntyy edullisemmin ja tarvittaessa hintaa voidaan laskeakin.” (Salomäki 2003, 230.)

## 6 OHJAUSKORTIT

### 6.1 Ohjauskortin valinta

Ohjauskortin valinnassa voidaan noudattaa oheista kaaviota (kaavio 6.), jossa on esitetty ohjauskorttien yleisimmät perustyytit. Kaavion mukaisesti ensin tulee määrittellä mitä mitataan, ja millä. Salomäen mukaan tulisi pyrkiä muuttujatietoon, mikäli sitä voidaan soveltaa. (Salomäki 2003, 218.)

Ominaisuustietoa kerätessä tulee määrittellä, onko kyseessä viallisten tuotteiden määrä vai vikojen lukumäärä. Jos kerätään muuttujatietoa, määrittellään, onko kyseessä jatkuva prosessi vai erävalmistus. Tämän jälkeen määrittellään näyte-erän koko, ja tarvittaessa mahdollinen erien välinen riippuvuus. (Salomäki 2003, 219.)



KUVIO 6. Ohjauskorttityypin valintakaavio (mukaiillen Salomäki, 2003, 221)



## 6.2 Ohjaus- ja toleranssirajat

Ohjausrajat eli alaohjausraja (engl. Lower Control Limit, LCL) ja yläohjausraja (engl. Upper Control Limit, UCL) määritellään kerätyn historiallisen datan perusteella lasketun keskihajonnan arvion avulla. Eri korteissa ohjausrajat lasketaan eri tavoin. Yleensä ohjausrajat sijoitetaan symmetrisesti keskiarvon molemmille puolille kolme kertaa arvioitun keskihajonnan etäisyydelle, jolloin tilastollisesti rajojen sisälle jää 99,73 % kaikista havainnoista. (Salomäki 2003, 183, 206.)

Toleranssirajat, USL ja LSL (Upper- ja Lower Specification Limit) tarkoittavat spesifikaatiossa määriteltyjä ylä- ja alarajoja, joiden ulkopuolelle jäävä tuote on hylättävä tai erikseen käsiteltävä ennen kuin se voidaan hyväksyä. (Salomäki 2003, 183.)

Tavoitearvo on yleensä toleranssirajojen keskellä. Esimerkiksi taloudellisista syistä johdun tavoitearvo voi olla myös niin lähellä toleranssirajaa kuin mahdollista. Tilastollisten menetelmien avulla voidaan määritellä kuinka lähelle toleranssirajaa prosessin voi turvallisesti ohjata. (Salomäki 2003, 184.)

## **7 KOEOHJAUSKORTTIEN VALMISTELU JA RAJAUS**

### **7.1 Nykytilan analysointi**

Nykytilassa ohjauskortit eivät ole Beamexillä käytössä, vaikkakin muuta tilastollista prosessin ohjausta sivuavaa toimintaa tapahtuu jo toimialan luonteenkin vuoksi; Eri prosesseille ja järjestelmille määritellään mittausepävarmuudet, ja toleranssirajat määritellään testitulosten perusteella niin, että laskennallisesti pystytään lupaamaan tietyllä varmuudella tuotteiden vastaavan spesifikaatiota.

Laatuosaston vuoden 2018 tavoitteisiin liittyen on tehty päätös, että tilastollisten menetelmien parempaan hyödyntämiseen panostetaan laadunvalvonnassa tämän vuoden aikana.

### **7.2 Mittauskohteen valinta**

Koska ohjauskortteja ei ole aiemmin käytetty Beamexillä, päätettiin varmistaa, että käyttöön otettavat kortit mittaavat sitä, mitä halutaankin mitattavan. Toisin sanoen halutaan, että ohjauskortti havaitsee järjestelmän poikkeamat. Tästä syystä päätettiin aloittaa laatimalla historiatietoon perustuva ohjauskortti mittapisteelle, jossa on aiemmin esiintynyt järjestelmästä aiheutunut ongelma, jonka syy on selvitetty ja korjattu.

Rajauksen perusteella ensimmäiseksi mittauskohteeksi valikoitui MC6:en prosessiautomaatiojärjestelmän PS3 suorittama resistanssin mittausta, jossa esiintynyt vika saatiin aiemmin korjattua. Vertailukohteeksi valikoitui prosessiautomaatiojärjestelmän PS4 vastaava mittausta, jossa vastaavia häiriöitä ei ole esiintynyt.

Tarkastelemalla jo korjatun virheen historiallista dataa, voidaan ikään kuin toistaa tilanne, ja nähdä olisiko virhe jäänyt kiinni jo aikaisemmassa vaiheessa, mikäli SPC olisi ollut käytössä. Samalla sovelletun ohjauskorttityypin toiminta tulee verifioiduksi. Mikäli vian havaitseminen epäonnistuu, voidaan käydä läpi muut mahdolliset valintakorttityypit, ja pohtia olisiko toinen vaihtoehto parempi.

### 7.3 Ohjauskorttityypin valinta

Työ alkaa valitsemalla kappaleessa 6.2 esitetyn valintakaavion polkua seuraamalla prosessille sopivin ohjauskortti. Valitun ohjauskortin toimintaa seurataan, ja sen epäonnistuksessa saatetaan palata takaisin ohjauskorttityypin valintaan. SPC-insinööri Salomäen (2003, 219) mukaisesti: ”paras kortti löytyy viime kädessä kokeilemalla”, mutta myös ”Väärä kortti voi viedä asian täysin harhaan”. (Salomäki 2003, 224)

Kaavion ensimmäisessä vaiheessa määritellään, onko kyseessä ominaisuustieto, vai muuttujatieto. Ensimmäisessä vaiheessa valinta kohdistui muuttujatietoon. Ominaisuustietoa käyttämällä luokittelu perustuisi ainoastaan hyväksytyihin ja hylättyihin tuotteisiin. Koska erittäin tarkkaa mittausdataa on saatavilla monesta prosessista, sen hyödyntäminen nähdään myös järkevänä.

Kaavion toisessa vaiheessa tulee valita erävalmistuksen, ja jatkuvan prosessin välillä. Järjestelmät PS3 ja PS4 käsittelevät tietyn määrän tuotteita tietyssä ajassa, joka tukisi erävalmistuksen valintaa kaavion seuraavalla portaalla. Vaikka valmistus onkin eräkohtaista, suuri osa prosessista toimii jatkuvan prosessin tavoin. Esimerkiksi järjestelmä, ja sen sykli säilyvät aina samoina, ja niihin tehdään erittäin harvoin säätöjä tai muokkauksia.

Muuttujakorteissa usein oletetaan näyte-erien olevan saman kokoisia. Käytännössä näyteerä koko tarkasteluun valituissa järjestelmissä vaihtelee hieman. Tästä syystä päätettiin käyttää näyte-erien koon keskiarvoa, joka oli PS4:lle 19, ja PS3:lle 20 kappaletta. Näyteerien lukumäärä voi vaihdella hieman. Suuria muutoksia se ei kuitenkaan aiheuta, sillä vaihtelu on varsin pientä, koska järjestelmiä pyritään yleensä käyttämään täydellä kapasiteetilla. Voidaan siis valita kaaviosta x/s kortti ensimmäiseksi vaihtoehdoksi, sillä näyte-erän koko on suurempi kuin kuusi.

Mikäli olisi seurattu kaaviota erävalmistuksen puolelle, olisi päädytty toteamaan, että erien välillä on riippuvuutta, ja olisi valittu x/MR -kortti. Salomäki ilmaisee x/MR kortin olevan käyttökelpoinen, kun kustakin erästä saadaan vain yksi mittaustulos.

Tutkituissa prosesseissa mittaustuloksia saadaan kuitenkin useampia. x/MR-kortissa yleensä myös oletetaan prosessin ryömivän. Tämäkään oletus ei sovi kyseisiin prosesseihin, sillä prosessissa ei ole havaittu ryömintää. Salomäki kirjoittaa myös, että tulisi pyrkiä löytämään kohde, josta saadaan näyte-eriä, jolloin voidaan käyttää x/R tai x/s -kortteja. Tämäkin tukee x/s -kortin valintaa.

#### **7.4 Tiedonkeruu ja -rajaus**

Kaikki tarvittava historiallinen tieto on saatavilla. Tieto tuotiin tietokannasta Excel -taulukkolaskentaohjelmaan. Koska x/s -kortti keskittyy näyte-eriin, ensimmäisessä vaiheessa tiedosta päätettiin rajata alle 15 näyte-erän näytteet pois, ja käyttää näyte-erien näytteiden keskiarvoa taulukkokertoimille.

Järjestelmä käytännössä vertaa kahta lukemaa toisiinsa, ja lukujen erotuksen suuruuden perusteella hyväksyy tai hylkää näytteen. Tästä johtuen myös ohjauskortissa esiintyvät luvut ovat lukujen erotuksia.

Kyseisten tulosten osalta PS4:n toleranssirajoja oli kiristetty kesken näytteiden seuranta-jakson. Itse x/s -kortissa tapahtuvissa laskutoimituksissa päätettiin käyttää uudistuneita, tiukempia toleranssirajoja, jotta voidaan seurata, olisiko ollut mahdollista kiristää toleransseja jo aiemmin.

## 8 X/S-KORTIN LASKENTA

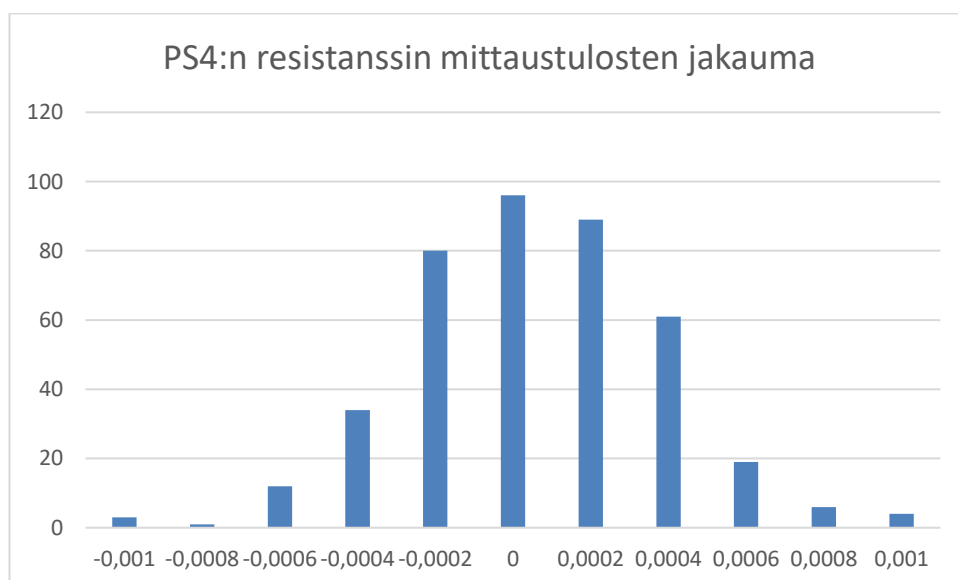
### 8.1 Hallinnassa olevan prosessin määrittäminen

Kun oli tiedossa mitä mitataan ja miten, korttien laskenta voitiin aloittaa. Jotta varmistetaan siitä, että SPC:ssä käytettävä tilastomatematiikka on sovellettavissa, tulee ensin selvittää, kuinka tilastollisesti mittaustulokset ovat jakautuneet.

Tavoitteena on saada prosessin tuloksista muodostuvalle histogrammille lähes normaalijakauman mukainen jakauma. Sitä tarvitaan, jotta tilastollista prosessinhallintaa voidaan luotettavasti käyttää.

#### 8.1.1 PS4:n mittaustulosten jakauma

PS4:n tulosten hajonnan pikaisen tarkastelun, ja muutaman epäonnistuneen yrityksen jälkeen, histogrammi päätettiin jakaa 11:ta eri luokkaan kuvion 7 mukaisesti. Kuvaajasta nähdään, että jakauma noudattaa melko hyvin normaalijakaumaa.

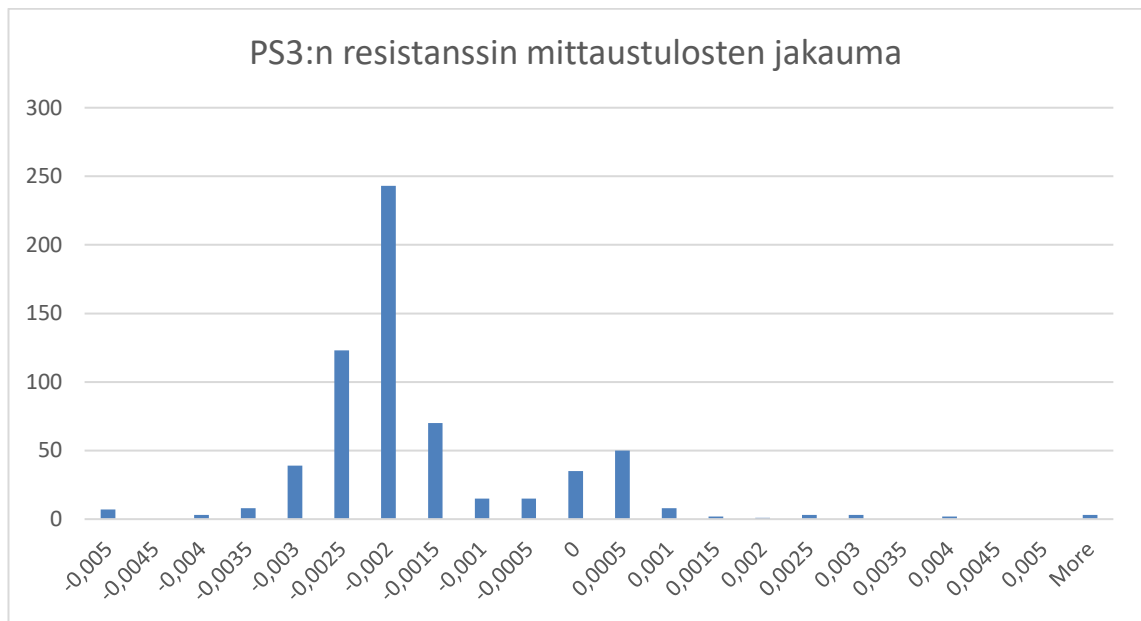


KUVIO 7. Mittaustulosten histogrammi.

Seuraavaksi käytiin läpi tulosten jakauma keskiarvon molemmin puolin. Todettiin, että tulokset olivat erittäin tasaisesti jakautuneet molemmin puolin keskiarvoa. Yhteensä 205 mittaustulosta ylitti, ja 203 mittaustulosta alitti mittaustulosten keskiarvon.

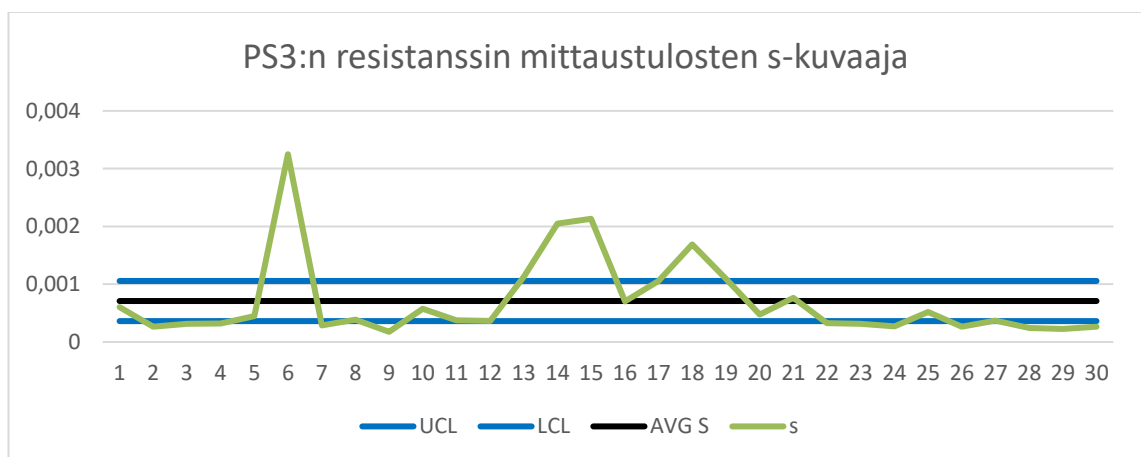
### 8.1.2 PS3:n mittaustulosten jakauma

PS3:n tulosten tarkastelussa huomataan jo histogrammin dataa kerätessä, että mittaustulokset eivät sijaitse toleranssialueen keskellä, vaan ovat painottuneet negatiiville alueelle. Kuvion 8 histogrammista voidaan todeta mittaustulosten poikkeavan normaalijakaumasta. Mittaustulosten keskiarvon ylittää 158 tulosta, ja alittaa 448 tulosta.



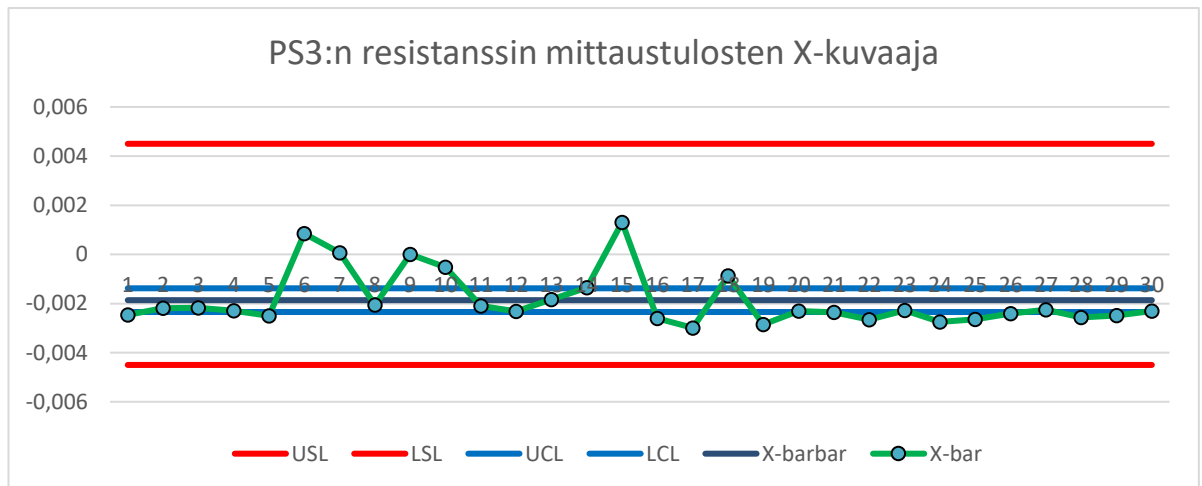
KUVIO 8. PS3:n resistanssin mittaustulosten jakauma

Tuloksista päätettiin laatia ohjauskortti, jotta voitiin selvittää mistä kaksoishuippuinen jakauma on aiheutunut. Huomataan, että prosessin historiadata noudattaa alustavia oletuksia, joiden mukaan prosessissa aiemmin esiintynyt häiriö korjattiin. Silmämääräisesti häiriö osuu kuvio 9:n s-kuvaajan perusteella erien 6 ja 19 väliselle alueelle.



KUVIO 9. PS3:n s-kuvaaja

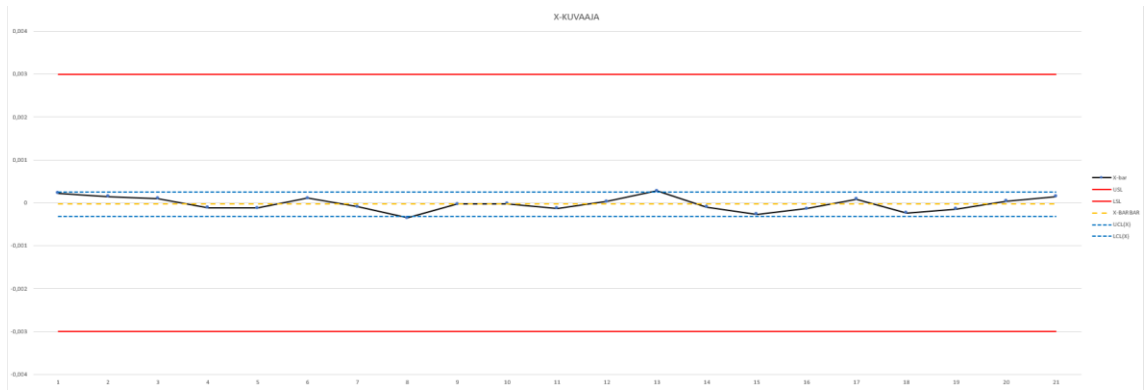
X-kuvaajankin perusteella häiriö sijoittuu kuvio 10 mukaisesti jonnekin erien 6 ja 19 välille. Molemmista kuvioista voidaan huomata prosessin sittemmin palanneen sen normaalille tasolle. Korjauksen jälkeisten näytteiden lukumäärä on kuitenkin liian pieni tilastollisten olettamusten tekemistä varten. Tästä johtuen työn seuraavissa vaiheissa kuvataan ainoastaan PS4 -järjestelmän tuloksia. Huomataan kuitenkin, että PS3:n suorituskykyä voidaan parantaa, mikäli keskiarvo onnistutaan siirtämään toleranssirajojen keskelle.



KUVIO 10. PS3:n x-kuvaaja

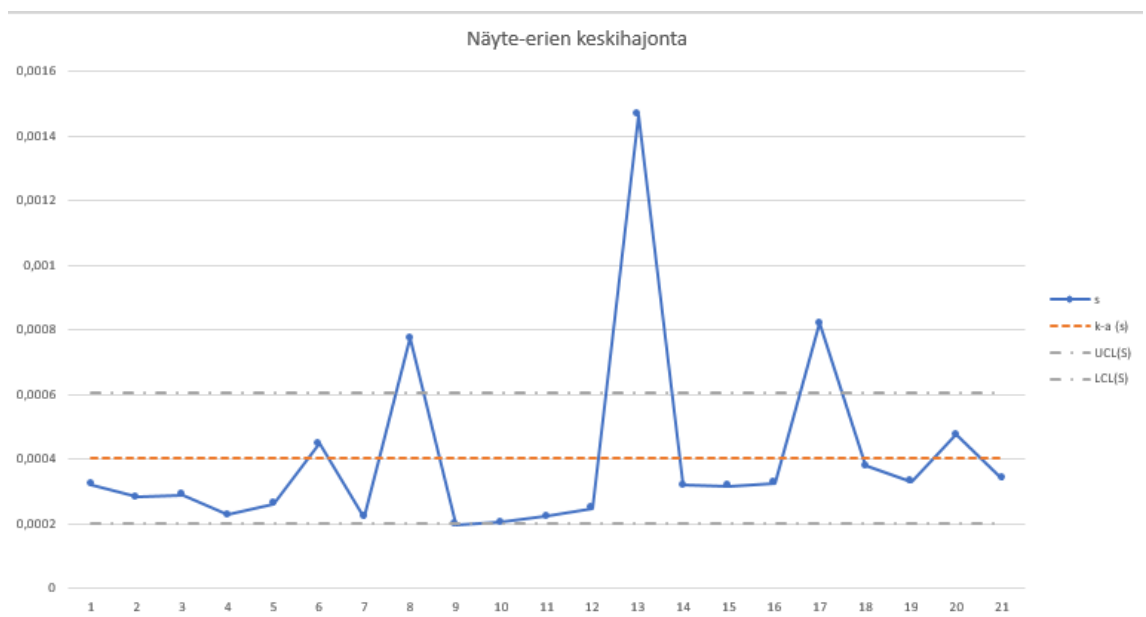
## 8.2 Kuvaajien arvojen muodostaminen

X/s-kortti koostuu x-kuvaajasta ja s-kuvaajasta. X/s-kortin taulukko data on kuvattu liitteessä 1. X-kuvaajassa lasketaan erikseen jokaisen näyte-erän keskiarvot, sekä lisäksi keskiarvojen keskiarvo. X-kuvaajaan piirretään myös ohjausrajat, sekä toleranssirajat. Ohjausrajojen laskemisessa käytettiin taulukkoarvoja apuna, toleranssirajat saatiin suoraan järjestelmästä. Alla esitetyssä kuviossa 11 on nähtävillä järjestelmän mittaustuloksista muodostettu x-kuvaaja.



KUVIO 11. PS4:n x-kuvaaja.

S-kuvaajaan lasketaan joka näyte-erälle keskihajonta näyte-erän keskihajonnan kaavalla. Lisäksi s-kuvaajaan lasketaan näyte-erien keskihajontojen keskiarvo. Ohjausrajat muodostettiin myös s-kuvaajalle, niin ikään taulukkokertoimien avulla. Alla esitettynä kuviossa 12 järjestelmän mittaustulosten s-kuvaaja.



KUVIO 12. PS4:n s-kuvaaja.

### 8.3 X/s-kortin suorituskykyluvut

PS4:n x/s -korttiin laskettiin suorituskykyluvut  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$  ja  $P_{pk}$ . Mittaustuloksiin kuului kolme toleranssit ylittänyttä tulosta 408:sta, joten suorituskykylukujen oletettiin olevan asiallisia. Laskuissa käytettiin kesken seurantajakson tiukennettuja toleranssirajoja,



joka myös heikentää tuloksia hieman, sillä suorituskykyluvut käyttävät toleranssirajoja vertailupisteinä.

Aiemmin, kappaleessa 4 esitettyjen arvioiden mukaan prosessi on luotettava, kun Cpk ylittää 1,50. Tämän perusteella voimme kuvata taulukossa 5 esitettyjä tuloksia erinomaisiksi jo ennen erityisyyden rajausta.

TAULUKKO 5. Suorituskykyluvut ennen erityisyyden rajausta

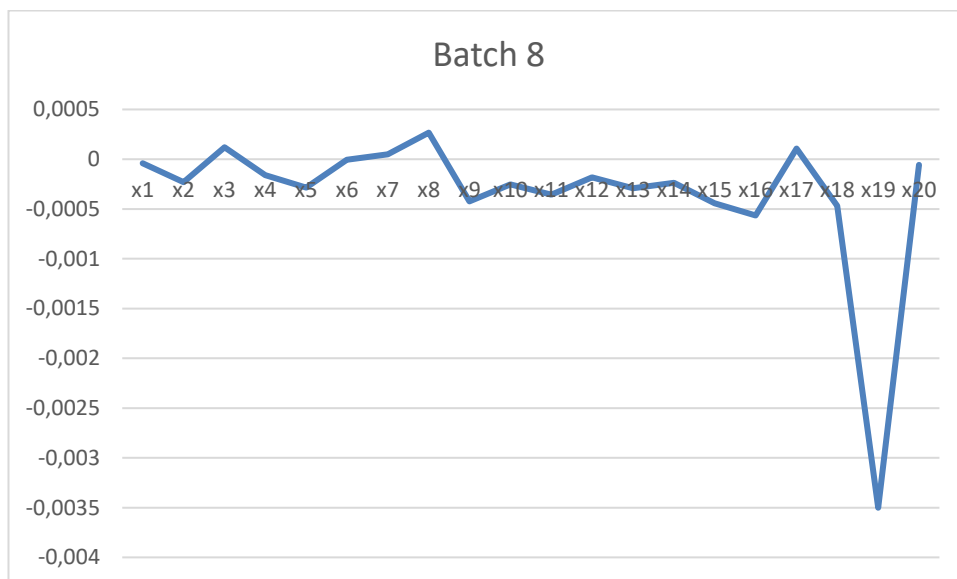
Suorituskykyluku	Arvo
Cp	2,45
Cpk	2,42
Pp	2,00
Ppk	1,98

## 9 PS4 TULOSTEN TULKINTA

### 9.1 Ohjausrajat ylittävien mittaustulosten rajaus

X-kuvaajassa, joka on kuvattuna kuvio 8:ssa, huomataan, että erät 8 ja 13 ylittävät ohjausrajan. Tarkemmin tarkastelemalla voidaan todeta, että erän 8 näyte numero 19 ja erän 13 näyte numero 8 ovat jopa toleranssien ulkopuolella. Näyte-erät 8 ja 13, jotka alustavasti erottautuivat signaaleina x-kuvaajasta, tekivät näin myös s-kuvaajassa.

Kuvio 13:en on kerätty kaikki erän 8 näytepisteet samaan kuvaajaan. Tulkitsemalla kuvaajaa, havaitaan selkeä ero näytteen 19 kohdalla, joka näkyy kuvaajassa piikkinä. Eron suuruudesta voidaan tehdä johtopäätös, ettei toleranssien ylitys johdu kohinasta, vaan erityisyydestä. Erän 13 näytteessä 8 havaitaan vastaava toleranssien ylitys.



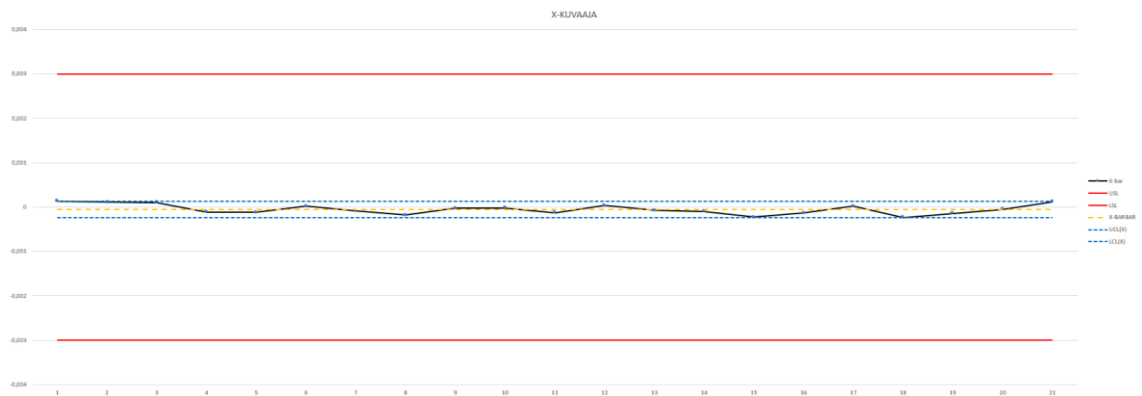
KUVIO 13. Näyte-erän numero 8 näytteiden mittaustulokset

Edellä mainitut toleranssit ylittävät tulokset poistettiin, ja näyte-erät, joihin ne sisältyivät, siirtyivät ohjausrajojen sisäpuolelle. Toisaalta sen johdosta uudelleen laskettujen, tiukentuneiden ohjausrajojen ulkopuolelle jäi jälleen x-kuvaajalla kaksi näyte-erää; erät 1 ja 15. Näiden erien äärimmäiset lukemat olivat toleranssirajojen sisäpuolella. Tuloksia poistettiin silti näyte-erästä 1 kaksi kappaletta, ja näyte-erästä 15 yksi kappale. Poistettujen näytteiden jälkeen kaikki näyte-erät olivat x-kuvaajan ohjausrajojen sisäpuolella.

Vaikka x-kuvaaja saatiinkin hallintaan, näyte-erä 17 poikkesi muista eristä s-kuvaajassa selkeänä piikkinä. Näyte-erä 17 sisälsikin toleranssin ylittävän tuloksen, joka ei aiheuttanut x-kuvaajassa hälytystä. Näyte-erä 17:sta jouduttiin poistamaan toinenkin piste, jotta se saatiin s-kuvaajan rajojen sisäpuolelle. Tämän lisäksi näyte-erästä 20 poistettiin kaksi näytettä, jotta sekin saatiin s-kuvaajan rajojen sisälle. Lopuksi s-kuvaajien pisteiden poiston jälkeen x-kuvaajasta täytyi poistaa vielä neljä pistettä.

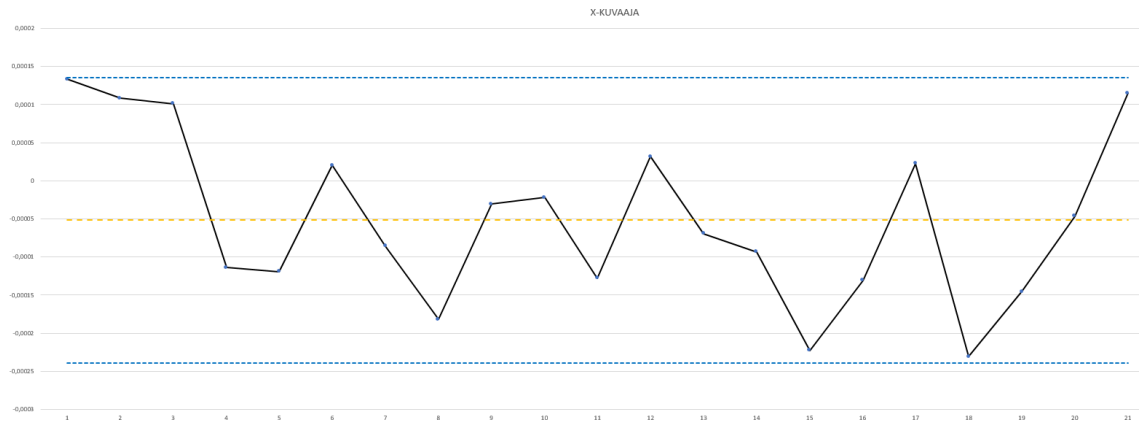
## 9.2 Rajauksen jälkeiset tulokset

Edellä mainittujen 13 pisteen poistamisen jälkeen molemmat, sekä x-kuvaaja, että s-kuvaaja sisälsivät ainoastaan ohjausrajojen sisäpuolelle sijoittuvia näyte-eriä. Niiden keskimääräinen näytemäärä säilyi edelleen samana, 19:ssä kappaleessa, joten siihen perustuvia kertoimia ei tarvinnut muuttaa. X-kuvaajassa osa näyte-eristä sijaitsee lähellä ohjausrajaa. Ohjausrajat ovat kuvion 14 mukaisesti niin kaukana toleranssirajoista, että silmäilemällä on hankala tulkita kummalla puolella ohjausrajoja tulokset sijaitsevat.



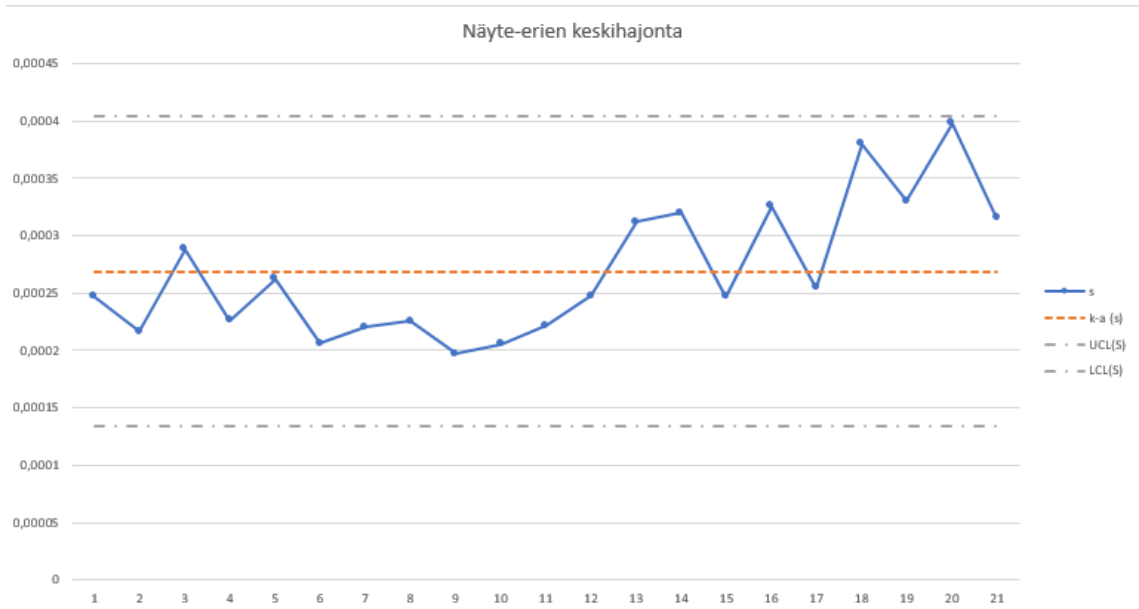
KUVIO 14. X-kuvaaja rajauksen jälkeen.

Toisaalta on hyvä, että ohjausrajojen ylittyessäkin prosessi sisältää paljon pelivaraa ennen kuin toleranssirajat ylitetään. Tämä vihjaa prosessin korkeasta suorituskykyluvusta. Erityisyyt on kuitenkin vaikea havaita yhdellä vilkaisulla, joten väliaikaisesti tulkintaa varten toleranssirajat poistettiin kuvaajasta, jotta ohjausrajat skaalautuisivat paremmin. Lopputulos, joka näkyy kuviossa 15, on jo paljon helpompi tulkita kuin kuvion 14 vastaava.



KUVIO 15. X-kuvaaja rajattuna ohjausrajoihin.

Kuviossa 16 kuvatun s-kuvaajan viimeisimmät tulokset kaikkien rajausten jälkeen ovat paikoitellen melko lähellä ohjausrajaa. On kuitenkin muistettava, että ohjausrajojen sisäiset tulokset lukeutuvat normaalin hajonnan sisälle.



KUVIO 16. S-kuvaaja rajauksen jälkeen

Jo taulukon 5 suorituskykyluvut olivat hyviä. Erityisyyden rajauksen jälkeen suorituskykyluvut luonnollisesti paranevat. Näytteiden rajauksen jälkeen lasketut, taulukossa 6 kuvatut suorituskykyluvut olivat erinomaisia.

TAULUKKO 6. Suorituskykyluvut rajauksen jälkeen.

Suorituskykyluku	Arvo
$C_p$	3,67
$C_{pk}$	3,60
$P_p$	3,45
$P_{pk}$	3,39

## 10 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikki kolme PS4:n toleranssit ylittänyttä tulosta nähtiin s-kuvaajassa signaaleina. X-kuvaajakin tunnisti kaksi kolmesta poikkeamasta. Tämä antaa positiivisen kuvan x/s-kortin mahdollisesta soveltuvuudesta jatkuvaan käyttöön.

Usean mittaustuloksen poistaminen, ennen kuin mittaustulosten voitiin todeta sijaitsevan ohjausrajojen sisällä, tuli hienoisena yllätyksenä työn tekijälle. Rajattuja pisteitä PS4:ssä kertyi yhteensä jopa 13 kappaletta alkuperäisten näytteiden lukumäärän ollessa 408. Osa näistä vaikuttaa melko varmasti erityisyyden aiheuttamilta poikkeamilta, mutta osa ei välttämättä ole erityisyyistä aiheutuvia, vaan mittausepävarmuus sekä normaali kohinakin voivat selittää nämä. Täytyy muistaa, että vian lähteenä saattaa olla myös virhe x/s-kortin laskennassa tai poikkeava komponentti piirilevyllä.

Joka tapauksessa kaikki havaitut poikkeamina poistetut tulokset on erityisyyden varalta selvitettävä ja tutkittava, ja niiden aiheuttajat poistettava. Näin saadaan kehitettyä prosessia jatkoa ajatellen. Vasta tämän analyysin jälkeen voidaan tehdä lopullisia johtopäätöksiä ohjauskorttien soveltuvuudesta. Tämän analyysin perusteella PS4:n kyseinen prosessi on suorituskykyinen riippumatta luetaanko poistettuja tuloksia mukaan vai ei. Suorituskykylukujen perusteella PS4:n toleranssirajoja olisi voitu tiukentaa jo aiemmin.

Toisen järjestelmän, PS3:n osalta huomattiin heti, ettei jakauma noudattanut normaalijakaumaa. Tämä oli kuitenkin toivottu havainto, sillä tiedettiin järjestelmässä olleen häiriöitä aiemmin, jonka johdosta se tarkasteluun valittiinkin. Ohjauskortin kuvaajista huomattiin, että häiriöt olivat jatkuneet kohtuullisen kauan, ennen kuin ne korjattiin. Mikäli SPC olisi ollut käytössä, vaikuttaa todennäköiseltä, että ne olisi voitu korjata jo aiemmin.

PS3:n osalta tulisi selvittää, voidaanko prosessin keskiarvo ohjata keskelle toleranssialuetta. Näiden toimenpiteiden jälkeen voidaan uudelleen yrittää luoda järkevät ohjausrajat. Tulee kuitenkin muistaa, että tässä, heikommin suoriutuneessa järjestelmässäkin ainoastaan 9 tulosta 630:stä ylitti toleranssit, eli kriittistä korjattavaa ei ole, etenkin kun järjestelmä havaitsee poikkeavat automaattisesti.

SPC vaikuttaa erittäin potentiaaliselta työkalulta testattujen prosessien tilastollista seurainta varten. SPC:n avulla saatiin toivottuja, lupaavia tuloksia. Tulosten pohjalta on hyvä jatkaa SPC:n kehittämistä tiedonkeruun kannalta automaattisemmaksi, ja edetä aina jatkuvaan käyttöönottoon asti.

## LÄHTEET

Aisner, J. 2017. Harvard Business School Professor David A. Garvin Dies at 64. HBS. Julkaistu 5.5.2017. Luettu 22.4.2018. <<https://www.hbs.edu/news/releases/Pages/david-garvin-dies-at-64.aspx>>

Beamex. N.d. Luettu 17.12.2017 <<https://www.beamex.com/fi/>>

Beamex. 2018. Beamex MC6 advanced field calibrator and communicator. Luettu 28.4.2018. <<https://www.beamex.com/wp-content/uploads/2018/03/Beamex-MC6-brochure-ENG.pdf>>

Finas. 2017. Beamex Oy Ab, Kalibrintilaboratorio. Luettu 22.4.2018. <<https://www.finas.fi/Documents/K026%20A14%202017.pdf>>

Montgomery, D. 2009. Introduction to statistical quality control. 6. painos. Yhdysvallat: John Wiley & Sons, Inc.

Piirainen, A. 2018. Tilastollisen prosessinohjauksen (SPC) perusteet. Koulutusmateriaali. 12.3.2018. Lahti. Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Ritamäki, T. 2015. Sarlin, teollisuuden ja yhteiskunnan palveluksessa – yrityksen historia. Suom. Piippola, S. Vantaa: Sarlin Group Oy Ab.

Salomäki, R. 2003. Suorituskykyiset prosessit - hyödynnä SPC. 2. painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Zimmermann, S. & Icenogle, M. 2003. Statistical Quality Control using Excel, 2. painos. Yhdysvallat: ASQ Quality Press.

Tilastokeskus. (2018). Hajonnan kuvaaminen. Luettu 10.03.2018 <[http://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu\\_v2.xql?page\\_type=sisalto&course\\_id=tkoulu\\_tlkt&lesson\\_id=4&subject\\_id=5](http://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?page_type=sisalto&course_id=tkoulu_tlkt&lesson_id=4&subject_id=5)>



**LIITTEET**

Liite 1. PS4 x/s-kortin taulukcodata

x/s ohjaukordi:		USL																					
Prosessi	PS4 R2 meas	USL	0,003																				
Mittaukokoide	X ohm	USL-1SL	0,006																				
Toleranssi	X +0,003 ohm	Max	0,00584257																				
Mittausohje	Autom. Keruu	Mitt	-0,0035012																				
Mittalaite	PS4	Vii-k-an	205																				
GageR&R		Alle-k-an	203																				
		Etoker.	3																				
		k-a(k-x)																					
		k-a(s)	-2,572E-05																				
		UCL(k)	0,00025666																				
		LCL(k)	-0,0003071																				
		UCL(s)	0,0006059																				
		LCL(s)	0,00020036																				
		sigma	0,00040885																				
		E2	0,698																				
		D4	1,503																				
		d4	0,487																				
		Cp	2,4458372																				
		Cpk	2,42488756																				
		Pp	1,99552878																				
		Ppk	1,97843478																				
Column1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
pvm	0,000485324	0,00039421	0,00025689	0,0001282	0,0001203	0,00012813	0,00015845	-4,0002E-05	-9,765E-05	0,00037961	0,00019129	0,00019577	-0,0003035	-5,347E-05	0,00019296	0,00015888	0,000418696	0,000181832	6,994E-05	1,24E-05	0,00030766		
x1	0,000297957	-0,0002894	0,00019496	-2,299E-06	0,000113	-0,0001353	0,00039022	-0,000290209	-3,956E-05	0,0001804	-6,693E-05	0,00025225	0,00019484	0,00025087	-0,0005561	0,00026254	0,000182993	-0,00023113	-0,000178	0,0005322	0,00048652		
x2	0,000204237	-0,000245	-0,0002995	4,2609E-05	0,000123	-0,0001762	3,1109E-05	0,000120544	4,999E-06	0,0001052	1,8127E-05	3,4126E-05	-0,0001512	-0,00016204	-7,057E-05	0,00043209	-1,9214E-05	-0,0002392	0,0005493	0,00023368			
x3	0,000444213	0,00016024	-0,0001026	-5,97E-05	0,0001026	3,7832E-05	4,9337E-05	-0,000158291	0,00022895	8,168E-05	3,5696E-05	-0,0003888	0,00012457	-0,0001996	-0,00019258	0,00028066	0,000265368	-0,00063202	-1,333E-05	0,00035282			
x4	-3,435E-06	0,00016133	0,00025482	-0,0002751	0,0003442	0,00029364	0,00013619	-0,000286656	7,7748E-05	0,00031291	8,0076E-05	-0,0003312	0,00010529	-1,036E-05	-4,151E-05	-0,0003387	-0,00015107	0,0006519	0,0001358	0,0008734	0,00040241		
x5	0,000321294	-5,999E-05	0,00039789	-0,0002946	-0,000326	0,00020079	-0,0001028	-4,471E-06	-6,273E-05	-0,0001214	6,1111E-05	-0,0002215	-0,0002295	-0,000252	-0,00016688	-0,0006108	0,000327488	-0,00028333	0,000625	0,0004064	0,00027108		
x6	0,000170151	0,00031188	-6,781E-05	-0,000433	-0,0001433	-0,0001712	8,4967E-05	4,9387E-05	0,000259	-0,0001719	-0,0001263	0,0003981	0,00025373	-0,0002208	-0,00023608	-0,0001193	-0,0002977	-0,00011036	-0,0004354	0,0001812	0,0003479		
x7	0,000486882	1,0203E-05	-0,0001763	-0,0002044	-1,39E-05	0,00024323	-0,0002169	0,00026697	-0,0003209	-8,563E-05	3,9642E-05	7,1185E-05	0,00054257	-0,0005434	0,00011683	2,7802E-05	0,000152775	-0,00010574	-0,000551	1,861E-05	0,0004226		
x8	-0,000142717	0,00026448	0,00023597	3,851E-05	-0,00024	-0,000103	-6,951E-05	-0,000424767	-0,000189	-0,0002078	0,00014635	3,5351E-05	1,058E-05	-0,0002431	-0,0003249	-0,0001492	-0,00171819	-0,0001699	6,925E-05	-0,0002727	-0,0001198		
x9	0,000294889	0,00090418	0,00047124	0,00035306	-0,000279	9,3081E-05	-0,0003487	1,9534E-05	0,00036198	-0,0004988	0,00014012	-0,0001078	-0,0001599	-0,00016813	-0,0007888	0,00030818	-0,00033059	-0,0001932	0,0006744	0,00024837			
x10	-0,00011151	0,00010901	-4,671E-05	-0,0003946	-0,000449	-2,298E-05	-2,183E-06	-0,000357257	0,00033036	2,1357E-05	0,0001324	0,00045217	1,1801E-05	-4,502E-05	5,8933E-05	0,0001973	2,0532E-05	-0,00041097	-0,0006058	-0,0001875	0,00041059		
x11	0,00011562	3,5895E-05	0,00037213	-0,0002945	-0,000109	0,00039421	-0,00021066	-0,000183178	-0,0004206	-0,0001841	-0,000143	4,5586E-05	0,00029211	0,00046364	0,00010264	0,00028895	6,4574E-05	0,000517416	1,318E-06	0,0006985	0,00023992		
x12	-0,00046402	0,00042219	-0,0007245	-0,0004125	-0,000264	0,00023742	-0,0004011	-0,00029162	-0,0002594	-0,0001713	-0,0003706	-0,0001467	-0,0001558	0,0001676	-3,513E-05	-0,0002771	-0,00012588	-0,00033764	-0,0002419	-0,0002301	-9,496E-05		
x13	0,000784668	0,00024908	-0,0003885	-6,571E-05	-0,000507	-0,0002499	-0,0002086	-0,00023729	1,6938E-05	-5,134E-05	-0,0001699	0,00023037	-0,0008718	-2,147E-06	-0,00034777	-0,0002765	-0,00013321	-5,1632E-05	-0,0004643	-0,0003706	-0,0001634		
x14	0,000167739	-0,0001894	0,00046855	-0,0004489	-0,000368	0,00019038	-0,0004585	-0,000444321	9,283E-05	7,2863E-05	-0,0003539	0,00012783	-9,278E-05	-0,00020639	-0,00038962	0,00018211	-2,5108E-05	-0,00067649	-0,0005964	-0,0002622	-0,0001399		
x15	0,000120894	6,72E-07	0,00010411	0,00014389	2,812E-05	-0,0002809	-0,0002212	-0,000563858	2,237E-06	-0,000286	-0,0004541	0,00023783	-0,000462	0,00020639	-0,00032628	0,00011646	-0,00029992	-0,00079968	7,844E-05	-0,0002622	-0,0001399		
x16	-0,00010196	0,00018118	1,783E-05		0,0002012	8,2125E-05	-0,0002245	0,000105654	-0,0002191	-0,0001985	-0,0002792	0,00026078	0,00037649	-0,0003404	-0,00023886	-0,0001237	0,00022795	-0,00037973	-7,997E-05	8,844E-05	0,0002231		
x17	0,000808045	0,00033662	0,0002387		-0,0002102	-0,0002546	-0,00046949	8,3032E-05	-0,0002282	-0,0002545	-0,0001442	0,0001063	0,000394432	-0,00034235	-0,0004966	-0,00024038	-0,00025744	-0,0001943	-0,0006	-0,00044335			
x18	0,000384589	0,00053312			-0,0001674	-0,0001674	-0,0003501219	-1,598E-05	-0,0001258														
x19																							
x20																							
x21																							
k-a(k)	0,000225333	0,00015252	0,00010117	-0,0001442	-0,000119	0,00010994	-8,588E-05	-0,000347956	-3,057E-05	-2,182E-05	-0,0001277	3,145E-06	0,00027826	-9,343E-05	-0,0002676	-0,0001306	8,54219E-05	-0,00023084	-0,0001454	4,498E-05	0,00014601		
s	0,000321586	0,00023833	0,00022632	0,00022632	0,00044853	0,00022034	0,000774024	0,00019707	0,00020518	0,0002217	0,00024749	0,00146539	0,00031957	0,00031692	0,00032542	0,00032542	0,000820682	0,00037959	0,0003298	0,0004748	0,000339		