

TILASTOLLISEN PROSESSINOHJAUKSEN
KÄYTTÖÖNOTTO PINNOITUSOSASTOLLA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2006
Riikka Antamaniemi

ALKUSANAT

Työ suoritettiin Lahdessa Foxconn Oy:lle syyskuun 2005 ja maaliskuun 2006 välisenä aikana. Tavoitteena oli tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönotto pinnoitusosastolla.

Haluan kiittää kaikkia työssäni mukana olleita, erityisesti työnvalvojaa muovitekniikan yliopettaja Pirkko Järvelää ja kannustusryhmääni Harri Leppästä, Ari Kinnusta, Hanna Laaksosta, Nina Heiniötä ja Petri Haikosta. Lisäksi haluan kiittää läheisiäni kannuksesta työni loppuun saattamiseksi.

Lahdessa 31.3.2006

Riikka Antamaniemi

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

ANTAMANIEMI, RIIKKA: Tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönotto
pinnoitusosastolla

Muovitekniikan opinnäytetyö, 38 sivua, 10 liitesivua

Kevät 2006

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönotto pinnoitusosastolla. Käyttöönottoa edelsi uuden mittalaitteen hankinta ja mittausapahtuman sekä mittakappaleiden kehittäminen. Koulutuksella taattiin sujuva käyttöönotto.

Työn kirjallisuusosassa on kerrottu tilastollisesta prosessinohjauksesta ja siihen liittyvistä, tämän projektin kannalta tärkeimmistä työkaluista. Lisäksi on tutkittu kerrospaksuuteen vaikuttavia tekijöitä tässä prosessissa. Mittatulokseen vaikuttavat virhelähteet ovat määritetty suoritettujen testien avulla. Mittalaitteista on esitelty markkinoilla saatavilla olevia mittalaitetyyppejä, joita ajateltiin hankittaviksi yritykseen.

Työn kokeellisessa osuudessa on käyty läpi projektin eteneminen pinnoitusosaston tilan kartoittamisesta tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönottoon asti. Väliin on mahtunut muun muassa mittalaitteen etsintä ja hankinta, mittalaitteen automatisointi mittakoneeksi, mittakoneen käyttöönotto, mittakappaleiden kehitystyö ja tarvittavat koulutukset.

Yritys on saanut projektin myötä käyttöönsä välineet systemaattiseen prosessin kehittämiseen. Uudella mittaussysteemillä saaduista mittatuloksista nähdään, että ollaan hyvässä alussa pinnoitusprosessin ymmärryksen parantamisessa. Prosessia on ryhdytty ohjaamaan saadun datan pohjalta, mikä on jo ehtinyt pienentämään eri mittauskertojen välistä vaihtelua. Mittatulos kuitenkin vaihtelee reilusti eri paikasta kappaletta mitattuna. Tämän vaihtelun suuruuden pienentämiseen tulee puuttua ensisijassa.

Avainsanat: SPC, ohjauskortti, pinnoitus

Lahti Polytechnic
Faculty of Technology

ANTAMANIEMI, RIIKKA: Implementation of a statistical process control in a
coating department

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 38 pages, 10 appendices

Spring 2006

ABSTRACT

The purpose of this thesis was the implementation of a statistical process control in a coating department. A new measure gauge was purchased and both the measure occurrence and the measure objects were developed before the implementation. Successful implementation was ensured with trainings of the employees.

In the literature part the statistical process control is described. It also brings out the tools that are most important for the whole process. The impressive factors of the film thickness have been investigated in this process. The sources of error which influence the measure result have been defined. The measure gauge types, which were available in the market and which the company considered to purchase, are also presented.

The experimental part explains the whole progress of the project from charting the state of the coating department to the implementation of the statistical process control.

As a result of the project the company has been received tools that help with systematic process developing. From the results it can be seen that a good start with better understanding of the coating process has been achieved. On the basis of the achieved results the variation of the different measure times has already been reduced. There is a big variation in the measure results when the measure is taken from different places of the same part. This variation needs to be reduced immediately.

Keywords: SPC, control chart, coating

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	FOXCONN OY	2
3	SPC:N HISTORIA	2
	3.1. SPC:n synty	3
	3.2. SPC:n käyttöönotto Suomessa	3
4	SPC – TILASTOLLINEN PROSESSINOHJAUS	4
	4.1. Vaatimukset hallinnassa olevalle prosessille	4
	4.2. SPC:n edut	5
	4.3. Prosessin häiriöiden aiheuttajat	6
5	SPC:N TÄRKEIMMÄT TYÖKALUT	6
	5.1. Ohjauskortit	7
	5.2. Muuttujakortit	8
	5.3. Ominaisuuskortit	9
	5.4. Kyvykkyysanalyysi	10
	5.5. Käytettävien työkalujen tulkinnasta	12
6	SPC:N KÄYTTÖÖNOTON TOTEUTUS	13
	6.1. Ruiskumaalaustekniikan vaikutus kerrospaksuuteen	14
	6.2. Käytettävien aineiden vaikutus kerrospaksuuteen	14
7	MITTALAITTEET	15
	7.1. Mittatulosten virhelähteet	15
	7.2. Saatavilla olevat mittalaitetyypit	16
	7.2.1 Induktiivinen mittalaite	16
	7.2.2 Näytettä rikkovat menetelmät	17
	7.2.3 Ultraäänitekniikka kerrospaksuuden mittauksessa	17
	7.2.4 Profilometrit	18
	7.2.5 NIR-tekniikkaan perustuva mittaus	19
8	PROJEKTIN ETENEMINEN	19
	8.1. Mittalaitteen valinta	20
	8.2. Testatut mittalaitteet	21
	8.3. Mittalaite 4 - kehitystyö	22
	8.4. Mittaustapa	23
	8.5. Mittakappale	23
	8.6. Koulutus	23
	8.7. Käyttöönotto	25
	8.8. Tulokset	25
	8.8.1 Kappale B, pinnoite 1	26
	8.8.2 Kappale B, pinnoite 2	30
9	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39

1 JOHDANTO

Laatu on yksi olennaisimmista osista kaikissa Foxconn Oy:n toiminnoissa. Se kulkee mukana tuotteen tilauksesta aina sen toimitukseen asti. Koska yrityksessä on ymmärretty laadun ja laadunvalvonnan merkitys jo pitkään, on sen eteen työskennelty, ja sille on uhrattu myös paljon resursseja. Ensimmäisiä sovellutuksia tilastollisesta prosessinohjauksesta yrityksessä on ollut käytössä jo 1980- ja 1990-lukujen vaihteesta asti. Tällöin otettiin käyttöön laatutaulut, joilla seurataan virheellisten kappaleiden lukumäärää, niiden suhdetta hyväksytyihin kappaleisiin sekä prosessin saantoja.

Koko ajan koveneva kilpailutilanne markkinoilla ja asiakkaiden kiristyvät laatuvaatimukset ovat johtaneet siihen, että jokainen yritys haluaa tehdä asiat mahdollisimman kustannustehokkaasti ja mallikkaasti hakien itselleen etua suhteessa kilpailijoihin. Tämä on johtanut Foxconnilla tilastollisen prosessinohjauksen (SPC) käyttöönottoon kaikilla osastoilla. Tämän projektin tarkoituksena on ottaa SPC käyttöön pinnoitusosastolla.

Projektin alkaessa osalla tuotanto-osastoilla oli SPC jo arkipäivää, joten yrityksellä oli omakohtaista kokemusta tilastollisesta prosessinohjauksesta. Tilastollinen prosessinohjaus oli havaittu hyväksi työkaluksi laadunohjaukseen, koska sen avulla pystytään säästämään kustannuksissa ja hallitsemaan prosessia entistä tehokkaammin. Tämä taas mahdollistaa prosessin kehittämisen entistä paremmalle tasolle.

Työn teoriaosa käsittelee SPC:tä yleisellä tasolla sekä kerrospaksuuden mittaamiseen liittyviä asioita. Työn tutkimusosuudessa kerrotaan projektin eteneminen SPC:n mahdollistavien menetelmien ja mittaustapojen löytämisestä jatkuvaan käyttöön asti.

2 FOXCONN OY

Hon Hai Precision Industryn omistama Foxconn rantautui Suomeen syksyllä 2003, kun se sopimusneuvottelujen päätteeksi osti tarkkuusmuoviosia valmistavan Eimo Oyj:n. Euroopassa Foxconnilla on toimintaa samalla alalla Suomen lisäksi myös Unkarin Komaromissa.

Vuonna 1995 perustettu Lahden tuotantoyksikkö on moderni massatuotantolaitos, jossa on automaatioteknologiaa käyttäviä laitteita. Tehdas valmistaa tarkkuusmuoviosia ruiskuvalamalla sekä perinteisesti 1-komponenttivaluna että 2-komponenttivaluna. Yhteistä valmistettaville tuotteille ovat sekä vaativa geometria että viimeistelty ulkonäkö. Loppukäyttäjälle näkyvät ruiskuvaletut muoviosat useimmiten pinnoitetaan. (Foxconn Finland 2005).

Henkilöstöä yrityksellä on hieman alle 600 (01/2006). Foxconnin laatujärjestelmä perustuu ISO/TS 16949-standardiin. Yrityksessä kannetaan vastuuta myös ympäristöstä, ja sillä on ISO 14001-sertifikaatti. (Foxconn Finland 2005).

3 SPC:N HISTORIA

Tilastollisella prosessinohjauksella on pitkä historia takanaan. Suomessa SPC:n juuret ovat kuitenkin huomattavasti lyhyemmät. Seuraavaksi kerrotaan, kuinka tilastollinen prosessinohjaus on kehittynyt ja saavuttanut nykyisen suosionsa meillä ja maailmalla.

3.1. SPC:n synty

SPC:n (Statistical Process Control) eli tilastollisen prosessinohjauksen periaatteet on kehitetty jo 1920-luvulla Walter Andrew Shewhartin (1891–1967) toimesta Bell Telephone laboratoriossa. Shewhart perehtyi tilastolliseen laadunvalvontaan muun muassa tutkimalla prosessin tulosten hajontaa. Tutkimuksissa selvisi, että prosessissa olevat ongelmat ovat sidoksissa tulosten suuriin keskinäisiin vaihteluihin. Laadittuaan ensimmäisen ohjaukortin vuonna 1924 Shewhart todisti, että prosessissa oleville ongelmille on olemassa kahdenlaisia syitä: yleisiä ja erityisiä. Syistä lisää kohdassa 4.3. (Salomäki 1999, 170; SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

Laadunvalvonnan tilastollisen hallinnan eteen tehtyä kehitystyötä jatkoivat tämän jälkeen 1930-luvulla Dodge, Roming ja Fischer. 1950-luvulla William Edwards Deming ja Joseph Juran veivät laatuajattelun vierailullaan Japaniin, jossa ajatukset omaksuttiin nopeasti. 1960-luvulta lähtien japanilaiset ovat olleet edelläkävijöitä laatu tekniikoissa. Länsimaissa SPC:n hyödyntäminen aloitettiin vasta 1970-luvulla. (Salomäki 1999, 171).

3.2. SPC:n käyttöönotto Suomessa

Suomessa saatiin ensikosketus tilastolliseen laadunvalvontaan 1980-luvulla Noriako Kanon vierailujen myötä. Tiedollisten ja teknisten puutteiden vuoksi laatuasioihin suhtauduttiin epäillen. Todellinen SPC:n hyödyntäminen alkoi 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa, kun oli hankittu enemmän ymmärrystä asiaan. Ensimmäisiä suomalaisia SPC:n hyödyntäjiä olivat muun muassa Ovako, Airam ja Uudenkaupungin autotehdas. (Salomäki 1999, 172).

Nykyisin entistä kiristyneemmässä kilpailutilanteessa teollisuusyritykset ovat alkaneet ymmärtää tehokkaan laadunvalvonnan todellisen merkityksen sekä siitä

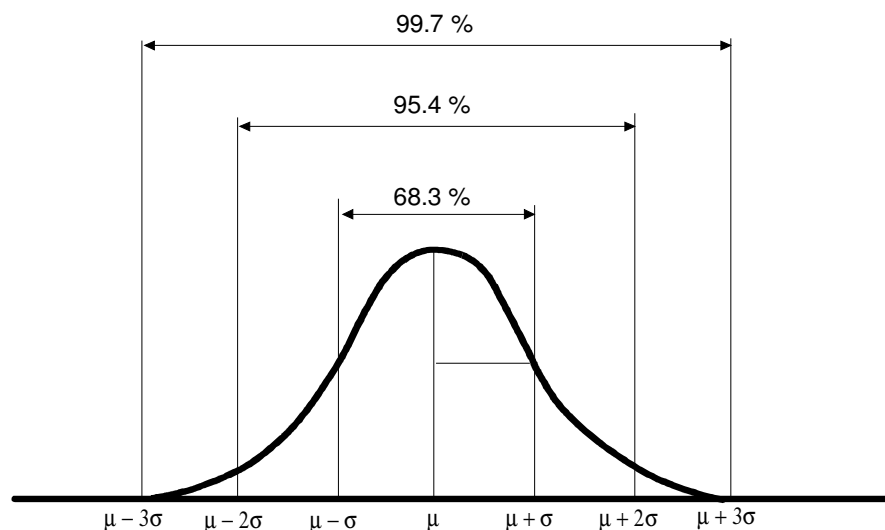
syntyvät edut. Tilastollinen prosessinohjaus on havaittu yhdeksi tärkeimmistä ja tehokkaimmista laadunvalvonnan työkaluista.

4 SPC – TILASTOLLINEN PROSESSINOHJAUS

SPC asettaa tiettyjä vaatimuksia prosessille, jotka prosessin on täytettävä ennen kuin SPC voidaan ottaa käyttöön. Kun tilastollinen prosessinohjaus on käytössä, on prosessin kaikinpuolinen parantaminen mahdollista. SPC:n avulla saadaan selville prosessissa häiriöitä aiheuttavat tekijät. Erityisen hyödyllistä tämä on sellaisten tekijöiden kohdalla, jotka ovat syytä poistaa prosessista.

4.1. Vaatimukset hallinnassa olevalle prosessille

Jotta tilastollisen prosessinohjauksen käyttö on mahdollista, täytyy tutkittavan prosessin olla hallinnassa. Prosessi on hallinnassa, kun se on stabiili, ja sen keskiarvo (μ) sekä keskihajonta (σ) pysyvät vakioina. Hallinnassa olevalle prosessille on tunnusomaista, ettei yksikään havainto sijaitse yli ohjausrajan tai muita erityisyyden ilmaiseviksi tulkittavia tilanteita ei ole. Lisäksi noin kaksi kolmasosaa (68,3 %) informaatiosta on ohjausrajojen välin keskimmaisella kolmanneksella eli $\mu \pm \sigma$ rajojen välissä. Keskiarvon ylä- ja alapuolelle sijoittuu suunnilleen yhtä paljon tarkastelujakson informaatiosta. Kuviossa 1 on esitetty keskiarvon ja hajontojen muodostamien alueiden suhde prosessista saatavaan dataan. Esimerkiksi normaalijakautuneessa prosessissa $\mu \pm 3\sigma$ muodostamalle alueelle saatavasta datasta asettuu 99,7 %. (SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).



Kuvio 1. Normaalijakautunut prosessi: yhden, kahden ja kolmen hajonnan ($\mu \pm \sigma$, $\mu \pm 2\sigma$, $\mu \pm 3\sigma$) rajaamat alueet ovat näkyvissä (Andersson 2005).

4.2. SPC:n edut

Tilastollinen prosessinohjaus on menetelmä, jolla voidaan parantaa prosessin suorituskykyä sekä ennaltaehkäistä prosessissa syntyviä häiriöitä ja virheitä. Tilastollisuus tarkoittaa sitä, että prosessia ei ohjata yksittäisten tapahtumien tai mittatulosten perusteella, vaan keskiarvojen avulla. (SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

SPC:ssä tavoitteena on päästä nollavirhetuotantoon ohjaamalla prosessia oikein. Nollavirhetuotantoon voidaan päästä vain tutkimalla ja tulkitsemalla prosessin tuottamaa tietoa, jolloin opitaan ymmärtämään prosessi paremmin. Tavoitteeseen pyritään kiinnittämällä huomio koko prosessin kehittämiseen ja tutkimiseen, ei siis yksittäiseen tuotteeseen. (Salomäki 1999, 167–168; SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005). Apukeinoina SPC:n ymmärtämiseen käytetään informaation visualisointia ja graafisia esityksiä, joista lisää kohdassa 5.

4.3. Prosessin häiriöiden aiheuttajat

Prosessissa on kahdenlaisia häiriöitä aiheuttavia syitä: yleisiä ja erityisiä. Yleisiä syitä voivat olla muun muassa jatkuvasti läsnä prosessissa olevat syyt, joiden vaikutus vaihtelee tai yksittäiset syyt, joiden vaikutus vaihteluun on pieni. Myös useat sellaiset syyt, joiden vaikutus yhdessä on kohtuullinen, voivat olla prosessin yleisiä syitä. Yleiset syyt ovat satunnaisia ja ennustettavia, kokonaisvaihtelusta 94–98 % johtuu yleisistä syistä, eikä niille löydy lineaarista syy-seuraussuhdetta. Yleisiä syitä, kuten prosessiin kuuluvaa moottorin kierroslukua tai ilmaston puutetta, kutsutaankin systeemin kohinaksi. (Karjalainen & Karjalainen 2000, 11; SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

Erityissyöt tulevat prosessiin joko prosessista itsestään tai prosessin ja systeemin ulkopuolelta. Ne vaikuttavat yhtäkkisesti, sen vuoksi niiden ennustaminen on mahdotonta. Erityissyöiden aiheuttamiin häiriöihin voidaan löytää lineaarinen syy-seuraussuhde. Erityissyöitä voivat olla muun muassa materiaalipoikkeamat, inhimilliset virheet ja ohjelmointi- tai asetusvirheet. Erityissyöiden vaikuttaessa prosessiin täytyy sen aiheuttaja poistaa tai sen vaikutus prosessiin estää mahdollisimman pian. Aiheuttajaa ei saa kompensoida prosessia säätämällä. Prosessin kaikista häiriöistä vain 2-6 % johtuu erityissyistä. (Karjalainen & Karjalainen 2000, 13; SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

5 SPC:N TÄRKEIMMÄT TYÖKALUT

SPC:ssä yleisesti käytettäviä työkaluja ovat ohjauskortit, Pareto-analyysi, syy-seuraus -analyysi, histogrammit, hajontakuvaajat ja vuokaaviot. Myös useita kymmeniä kaavioita ja matriiseja sisältävää tuotekehitysmenetelmää, Quality Function Deployment (QFD), käytetään koko laajuudessaan. Yhteistä näille kaikille työkaluille on niiden helppo käyttöönotto. Lisäksi ne täydentävät toinen toistaan. (Kume 1998, 21,28,51,70).

Prosessin kokonaisvaltaista analysointia voidaan tehdä tulkitsemalla histogrammien muotoja. Pareto-analyysi auttaa löytämään harvat, mutta merkitykselliset virheiden aiheuttajat prosessissa, joihin huomio kannattaa ensisijaisesti kiinnittää. Laatuominaisuuksien ja -tekijöiden välinen suhde saadaan osoitettua syy-seuraus -analyysillä. Hajontakuvaajat auttavat kahden toisiinsa liittyvän muuttujan suhteen tutkimisessa. Vuokaavioita käytetään kaikenlaisten prosessiin liittyvien ongelmien ratkomisessa. (Kume 1998, 21,28,51,70; Ming 2001). Ohjauskorteista, jotka otettiin projektin myötä käyttöön tuotannossa, on lisää seuraavassa luvussa.

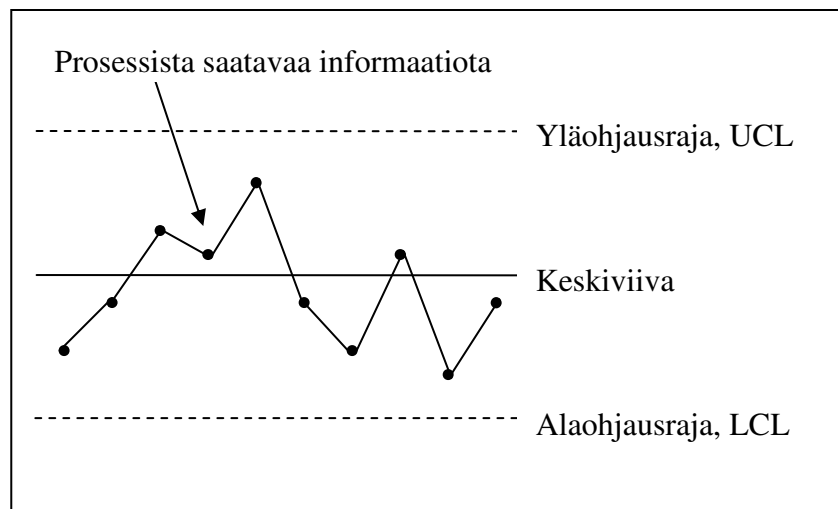
5.1. Ohjauskortit

Ohjauskortit ovat tärkein ja käytetyin osa SPC:tä. Niiden avulla seurataan prosessissa esiintyvää vaihtelua. Vaihtelu on täysin normaalia ja sallittua ennalta määrättyjen rajojen sisäpuolella. Mahdollisiin rajojen ylityksiin pystytään reagoimaan välittömästi, ja tarvittavia toimenpiteitä päästään toteuttamaan. Ohjauskorttien ideana on paikallistaa poikkeava vaihtelu erottamalla erityisyyt ja normaalia vaihtelua aiheuttavat yleiset syyt toisistaan. (Salomäki 1999, 212.).

Ohjauskorttien ajatus perustuu tiedon keräämiseen taulukkomuotoon. Tuloksia havainnollistetaan yhdellä tai useammalla graafisella kuvaajalla. Ohjauskortin laatimiseen ei välttämättä tarvita erityisiä ohjelmistoja, vaan sen voi tehdä myös käsin piirtämällä ja laskemalla. Yleisimmin nykyään ovat kuitenkin käytössä nopeat taulukkolaskentaohjelmat, erityiset SPC-ohjelmat tai valmistusjärjestelmän osaksi rakennetut ohjelmat.

Ohjauskortin perusosat on esitetty kuviossa 2. Keskiviiva kuvaa normaalisti joko keskiarvoa (μ) tai keskihajontaa (σ) riippuen korttityypistä. Katkoviivoilla merkityt viivat ovat prosessille tilastollisesti lasketut ylä- ja alaohjausrajat. Yleensä ohjausrajat sijoitetaan ohjauskorttiin keskiarvon molemmiin puolin kolmen hajonnan ($\pm 3\sigma$) päähän keskiviivasta eli siten, että 99,7 % kaikista saatavasta informaatiosta mahtuu ohjausrajojen sisäpuolelle prosessin ollessa

normaalijakautunut (ks. kuvio 1). (SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).



Kuvio 2. Ohjauskortin perusosat.

5.2. Muuttujakortit

Muuttujakortteja voidaan käyttää analysoitaessa jotain prosessin tai tuotteen mitattavaa suuretta. Tarkasteltavaksi kohteeksi sopii joko jatkuva prosessi tai erävalmistusprosessi. Lähtökohtana muuttujakortteille on, että mittaukset suoritetaan aina vakiomäärälle tuotteita tietyin väliajoin. Samanaikaisesti suoritettavat mittaukset muodostavat yhden alaryhmän. Muuttujakorteissa ohjausrajojen laskenta perustuu näyte-erien hajonnan tai vaihteluvälin avulla laskettuihin estimaatteihin. (SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

Eniten käytettyjä muuttujakortteja ovat:

- \bar{x}/R -kortti
- \bar{x}/MR -kortti
- \bar{x}/s -kortti
- \bar{x} -kortti

SPC-muuttujakorttien perustyyppinä pidetään ensimmäisenä mainittua \bar{x}/R -korttia. Tässä muuttujakorttityypissä on kaksi kuvaajaa: \bar{x} - ja R -kuvaajat. Näistä \bar{x} -kuvaaja laaditaan näyte-eräkohtaisten mittatulosten keskiarvoista kuvaamaan jakauman keskiarvoa. Hajontaa ilmaiseva R -kuvaaja laaditaan näyte-eräkohtaisista vaihteluväleistä. (Salomäki 1999, 231–239; SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

Jos näyte-eriä ei ole tai jos ne antavat vääristyneen kuvan prosessista, käytetään \bar{x}/R -kortin sijasta x/MR -korttia. Siinä on näyte-erien sijaan yksittäisiä näytteitä. Kuvaajia piirtyy kaksi: x -kuvaaja kertoo yksittäisten mittatulosten vaihtelun ja MR -kuvaaja peräkkäisten näytteiden hajonnan. (Salomäki 1999, 240–247; SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

Mittatulosten keskinäiselle hajonnalle saa parhaan arvion käyttämällä \bar{x}/s -korttia, jos näyte-erä on tarpeeksi suuri. \bar{x} -kuvaaja ilmaisee näyte-erien mittatulosten keskiarvon ja s -kuvaaja näyte-eristä lasketun keskihajonnan arvon. (Salomäki 1999, 248–255.)

Jos näyte-erien muodostaminen on mahdotonta eli tarkastellaan ainoastaan yksittäisiä arvoja, on perinteisesti mittatulosten analysoinnissa käytetty x -korttia. Kortti sisältää ainoastaan tiedon yksittäisten tulosten jakautuman keskiarvosta kuvaajan muodossa. (Salomäki 1999, 256–260.)

5.3. Ominaisuuskortit

Ominaisuuskortteja voidaan käyttää tarkasteltaessa epäjatkovaa tietoa, eli tieto on lukumäärinä laskettavaa. Tällainen tieto prosessissa voi olla esimerkiksi hylättyjen kappaleiden lukumäärä tietyllä ajanjaksolla. Ominaisuuskorttien paras tulos ja tavoite ovat yleensä nolla. (Kume 1998, 94–95.)

Perinteiset ominaisuuskortit ovat:

- np-kortti (virheellisten yksilöiden lukumäärä)
- p-kortti (virheellisten osuus)
- c-kortti (virheiden lukumäärä)
- u-kortti (virheiden lukumäärä/yksikkö)

np- ja p-kortteja käytetään kuvattaessa laatuominaisuutta virheellisten yksiköiden lukumäärällä tai virheellisten kappaleiden osuudella. np-kortti on tarkoitettu vakiokokoiselle näytteelle, kun taas p-kortissa näytteen koko vaihtelee. c- ja u-kortteja käytetään analysoitaessa ja valvottaessa prosessia tuotteen virheiden perusteella. c-korttia käytetään vakiokokoiselle näytteelle, ja u-kortti otetaan käyttöön silloin, kun näytteen koko vaihtelee. (Kume 1998, 94–95.)

5.4. Kyvykkyysanalyysi

Kyvykkyysanalyysi on myös yksi tärkeä elementti SPC:ssä. Se toimii apuvälineenä kerätyn informaation oikeanlaisessa tulkitsemisessä. Huolella tehty analyysi kertoo luotettavasti tutkittavan prosessin tilan. Kerätyn informaation pohjalta tehtyjä kuvaajia, muun muassa ohjauskortteja, histogrammeja ja normaalisuustestejä, tulkitsemalla selvitetään, onko prosessi tilastollisesti hallinnassa ja lähes normaalijakautunut, ja voidaanko olettaa, että tilanne jatkuu samanlaisena. (Salli 2003).

Ohjauskortista voidaan laskea sekä lyhyen että pitkän aikavälin hajonnat. Lyhyen aikavälin hajonta (σ) riippuu siitä, miten suurta vaihtelu alaryhmien sisällä on. Alaryhmä muodostuu esimerkiksi tiettyä ajankohtana otetuista näytteistä. Pitkän aikavälin hajonta (σ_S) kertoo, miten suurta on prosessin kokonaisvaihtelu. (Salli 2003).

Kyvykkyysanalyysiä tehdessä selvitetään myös C_p -, P_p -, C_{pk} -, P_{pk} -luvut prosessille. Maksimisuorituskyky (C_p) kertoo, mihin prosessi pystyy toleranssivaatimukseen nähden teoriassa. Se ei huomioi kuvaajan sijoittumista

toleransseihin nähden. Hallinnassa olevan prosessin suorituskykyä kuvaavassa suorituskykyluvussa (C_{pk}) huomioidaan mittaustulosten keskiarvon sijainnin poikkeama toleranssialueen keskeltä. Toimintakykyluku (P_{pk}) kuvaa prosessin todellista toimintakykyä, kun taas maksimitoimintakykyluku (P_p) kertoo, mihin prosessi teoriassa vaatimuksiin nähden pystyy. (SPC - Statistical process control, Tilastollinen prosessinohjaus 2005).

Alla olevilla laskukaavoilla, (1)-(6), voidaan laskea edellä mainitut tunnusluvut prosessille. Kaavoissa USL on ylempi toleranssirajan arvo ja vastaavasti LSL alempi. \bar{x} on prosessista saadun datan keskiarvo. Sigmat kuvaavat hajontaa: lyhyen aikavälin hajontaa kuvaa σ ja pitkän aikavälin hajontaa σ_s .

Maksimisuorituskykyluku:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

Suorituskykyluku, pienempi seuraavista:

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (2)$$

tai:

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \quad (3)$$

Maksimitoimintakykyluku:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_s} \quad (4)$$

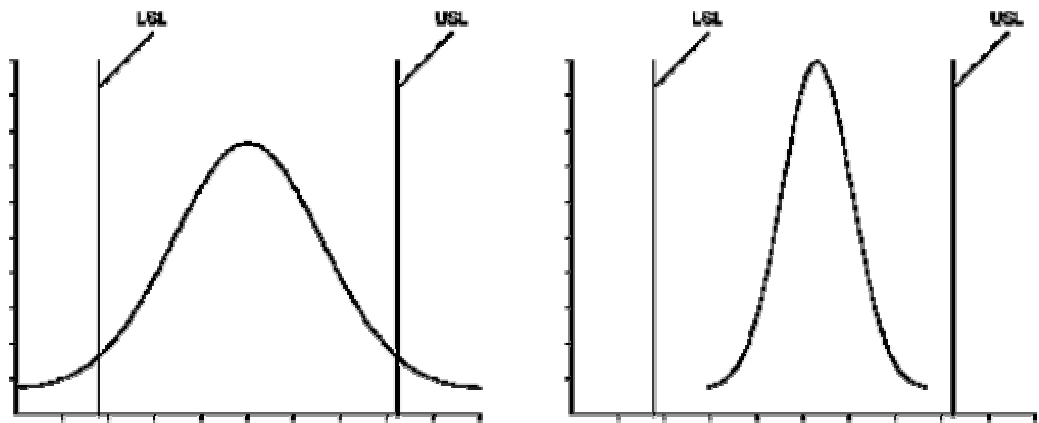
Toimintakykyluku, pienempi seuraavista:

$$P_{pk} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma_s} \quad (5)$$

tai:

$$P_{pk} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma_s} \quad (6)$$

Kyvykkyysanalyysissä tarkastellaan myös hajontakuvaajien muotoa. Kuviossa 3 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa prosessista saatava data on jakautunut leveälle alueelle yli toleranssirajojen. Prosessin vaihtelu on liian suurta, ja sille laskettavat tunnusluvut eivät ole hyviä. Saman kuvion oikeanpuoleisessa kuvaajassa prosessista saatava data on hajonnaltaan pientä, ja kuvaaja mahtuu hyvin toleranssialueen sisälle. Tällaista dataa antavaa prosessia voidaan pitää kyvykkäänä, ja sen molemmat tunnusluvut, sekä C_p että C_{pk} , ovat hyviä.



Kuvio 3. Kahden eri prosessista saatavan datan hajontakuvaajat (Ming 2001).

5.5. Käytettävien työkalujen tulkinnasta

SPC-työkalujen antamaa informaatio voidaan huolimattomalla asenteella tai tietämättömyydellä tulkita väärin, jolloin muun muassa kyvykkyysanalyysin antamaa informaatiota ei pystytäkään hyödyntämään tehokkaasti. Asianmukaisella koulutuksella tilastollisen prosessinohjauksen kanssa työskenteleville ihmisille voidaan välttää yllä olevilta ongelmilta. (Kume 1998, 107).

Alla mainitut asiat ovat poikkeuksellisia tilanteita prosessissa:

- ohjausrajojen ulkopuolella sijaitsevat pisteet
- seitsemän tai sitä useamman pisteen pituinen polku (= vähintään seitsemän peräkkäistä pistettä samalla puolen keskiviivaa)
- vähintään 10 pisteen sijaitseminen 11 peräkkäisestä pisteestä (tai 12/14 pisteestä tai 16/20 pisteestä) keskiviivan samalla puolella
- $\pm 3\sigma$ -rajoja lähestyvät pisteet, kaksi pistettä kolmesta $\pm 2\sigma$ -rajojen ulkopuolella
- lähestyminen keskiviivaa: suurin osa pisteistä $\pm 1,5\sigma$ -rajojen välissä, ei juurikaan $\pm 1,5\sigma$ -rajan ylityksiä
- jaksottaisuus: pisteiden muodostamat suuntaukset samalla jaksovälillä kohti ylä- tai alaohjausrajaa

On täysin mahdollista, että prosessin poikkeava tila johtuu virheellisestä ohjauskortin laadinnasta. Tällöin prosessia ei voida pitää hallinnassa olevana. Tällaisessa tilanteessa on ensin otettava prosessi hallintaan, ja sitten analysoitava tilanne uudelleen. (Kume 1998, 107–109).

6 SPC:N KÄYTTÖÖNOTON TOTEUTUS

Työssä keskityttiin SPC:n käyttöönottoon kerrospaksuuden mittauksessa. Kerrospaksuus on monien asioiden summa. Suurin vaikutus on itse prosessilla ja prosessissa olevilla olosuhteilla. Ympäristössä olevan staattisen sähkön, ilmankosteuden ja lämpötilan muutokset vaikuttavat prosessiin. Myös linjanhoitajien prosessin ohjaukseen tekemillä ratkaisulla, on vaikutusta. Tämä näkyy erityisesti silloin, jos ei tarkkaan tiedetä mitä pitäisi tehdä tai säätää. Ruiskumaalaustekniikka ja käytettävät aineet vaikuttavat kerrospaksuuteen suuresti, joten niistä on kerrottu omina kappaleinaan seuraavaksi.

6.1. Ruiskumaalaustekniikan vaikutus kerrospaksuuteen

Maalauslinja perustuu ruiskumaalaustekniikkaan, jolloin kerrospaksuuteen vaikuttavat tekniikan tuomat mahdollisuudet ja rajoitukset. Esimerkiksi viuhkan leveydellä, ruiskun liikenopeudella, vetojen tiheydellä ja käytettävillä syöttömäärillä on vaikutusta.

Syöttömäärä vaikuttaa suoraan verrannollisesti kerrospaksuuteen: mitä suurempi syöttömäärä, sitä paksumpi kalvo muodostuu pinnoitettavan kappaleen pintaan. Samoin vaikuttaa myös vetojen tiheys: mitä tiheimmät vedot, sitä paksumpi kalvo. Ruiskun liikenopeus vaikuttaa kerrospaksuuteen kääntäen verrannollisesti: mitä nopeammat liikkeet, sitä ohuempi kerrospaksuus. Viuhkan leveys vaikuttaa siten, että mitä leveämpi viuhka, sen laajemmalle alueelle leviää syötettävä pinnoitemäärä. Liiallinen viuhkan leventäminen ohentaa viuhkan reunojen tiheyttä eli kerrospaksuutta suurimman pisaratiheyden ollessa aina viuhkan keskiosassa.

6.2. Käytettävien aineiden vaikutus kerrospaksuuteen

Kuten on jo aiemmin todettu, maalauksessa käytettävillä aineilla ja niiden ominaisuuksilla on vaikutusta kerrospaksuuteen. Pinnoitteen ominaisuuksista maalissa käytettävä liuotin ja muun muassa viskositeetti vaikuttavat lopputulokseen. Väriin peittokyvyllä ei ole suoranaista vaikutusta kerrospaksuuteen, mutta se vaikuttaa käytettävään maalausohjelmaan. Pelkän väriin lisäksi pinnoitteelta voidaan vaatia efektejä, kuten metallimaisuutta, jolloin maalin joukkoon lisätään tarvittavia pigmenttejä. Näiden pitäisi orientoitua pinnan suuntaisesti, mutta toisinaan ne saattavat jäädä pystyyn, jolloin ne vaikuttavat kerrospaksuuteen. Pinnoitettavalla kappaleella on vaikutusta pinnanlaatuun: suuri vaikutus on muotin kipinäasteella, jolla tuote on valmistettu.

7 MITTALAITTEET

Mittatulosten virhelähteet määritettiin eri mittalaitteille tehtyjen testien avulla. Näistä virhettä aiheuttavista tekijöistä kerrotaan seuraavaksi. Myös markkinoilla olevat eri mittalaittevaihtoehdot selvitettiin, niistä lisää luvussa 7.2.

7.1. Mittatulosten virhelähteet

Eri mittalaitteita testatessa huomattiin, että mittaustapa vaikuttaa suuresti mittatulokseen. Kappaleen pinnalle asetettavalla anturilla saadaan vaihtelevia tuloksia riippuen siitä, millä voimalla ja nopeudella sekä missä kulmassa anturi kappaleen pintaan asetetaan. Tavoitteena on, että anturi asetetaan mitattavaa pintaa vastaan kohtisuorasti. Käsivaraisessa mittauksessa tämä ei kuitenkaan onnistu. Kulman muutokset aiheuttavat vääristyneitä mittatuloksia. Anturi tulee asettaa mitattavalle pinnalle vakionopeudella, liian hitaasti tai nopeasti asetettu anturi näyttää vääriä lukemia. Tällaista tapahtuu erityisesti silloin, kun mittalaitteessa ei ole erillistä mittauspainiketta, jolla voidaan määrätä mittaajankohta. Voiman käytössä anturia asetettaessa on oltava tarkkana: mitä suuremmalla voimalla anturi asetetaan mitattavalle pinnalle, sitä suurempi vaara on anturin mittapään rikkoutumisella.

Mittatuloksiin vaikuttaa myös mitattavan kappaleen geometria. Toimiakseen hyvin anturit vaativat, että pohjamateriaalia on mitattavalta kohdalta riittävän laajalla alueella. Mittapisteen ympärillä olevan pohjamateriaalin pinta-alalla ja paksuudella on suuri vaikutus saataviin mittatuloksiin. Tulosten vaihtelu kasvaa, mitä vähemmän mitattavaa pohjamateriaalia on.

7.2. Saatavilla olevat mittalaitetyypit

Yrityksen tarpeet täyttäviä, halutulla paksuusalueella (muutamasta mikrometrinä muutamiin kymmeneen mikrometriin) ja tarkkuudella toimivia mittalaitteita on markkinoilla saatavilla rajallinen määrä. Eri mittalaitetyyppien selvitys ja sopivimman etsiminen yritykselle kuului osaksi tätä työtä.

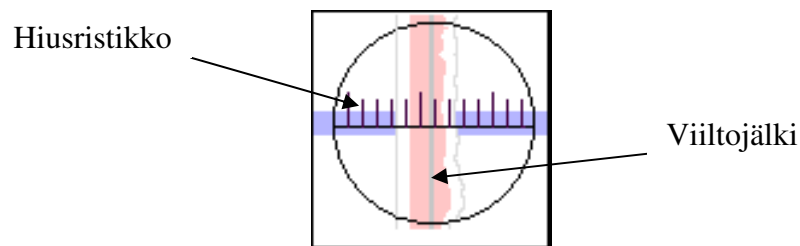
7.2.1 Induktiivinen mittalaite

Kerros­paksuuden mitta­uksessa voidaan käyttää magne­ti­smiin (ferriittiset alustat) tai pyörre­virtoihin (ei-ferriittiset alustat) perustuvaa mittaustapaa, jolloin mittaustapahtuu metallilevyn päälle asetettavan anturin avulla. Magne­ti­smiin perustuvassa mittaustavassa induktiivisen mittalaitteen anturi synnyttää muuttuvan magneettikentän, jota magneettinen alusta vahvistaa. Muuttuva magneettikenttä indusoi sekä virran että tehon muutoksen mittalaitteeseen, ja kerros­paksuus saadaan näiden funktiona. Induktion voimakkuus riippuu käytettävän alustan magneettisuudesta. Samalla idealla toimii myös pyörre­virtoihin perustuva mittaustapa. (Jalkanen 2006)

Laitteissa on yleensä digitaalinen näyttö, joka kertoo suoraan mitattavan kerros­paksuuden. Mittalaitteisiin on saatavilla erilaisilla tarkkuuksilla ja mitta­alueilla toimivia antureita tarpeen mukaan. Induktiivisen mittalaitteen mitta­alue voi yleisesti vaihdella muutamasta mikrometrinä useampaan sataan millimetriin. Tässä mittaustavassa mitattavan kappaleen pinnan kar­heudella, pinta­alalla ja paksuudella on suuri vaikutus lopputulokseen.

7.2.2 Näytettä rikkovat menetelmät

Näytettä rikkovista menetelmistä esitellään yleisesti käytetyt P.I.G testerit (Paint Inspection Gauge). Laitteistossa on viillon tekemiseen tarvittava kovametalliterä, jonka tulee olla juuri oikeassa kulmassa pintaan nähden. Kulmia on erisuuruisia riippuen siitä, millä paksuusalueella mittausta suoritetaan. Yleisesti mitta-alue on muutamasta mikrometrinä muutamaan millimetriin. Viiltoa tarkkaillaan mikroskoopilla tai luupilla, jossa on hiusristikko. Tällöin saadaan näkyviin eri pinnoitekerrokset, ja niiden paksuudet voidaan laskea. Kerrospaksuus määritetään laskemalla mikroskoopissa näkyvien viivojen määrä kerroksen päällä sekä kertomalla saatujen viivojen määrä kertoimella, joka on riippuvainen terän kulmasta (ks. kuvio 4).

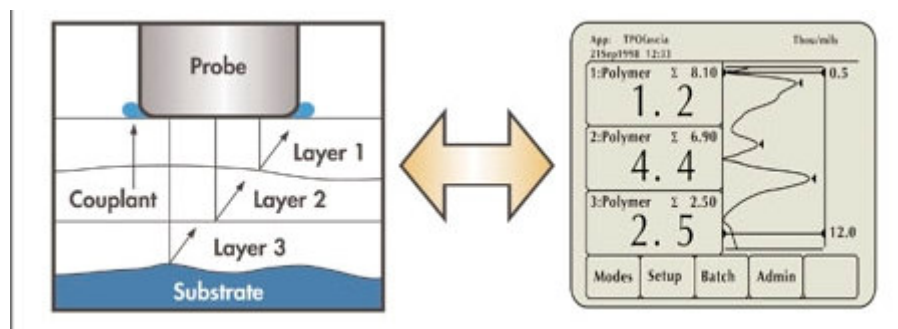


Kuvio 4. Näkymä luupista/mikroskoopista tutkittaessa kerrospaksuutta (Elcometer 2005).

7.2.3 Ultraäänitekniikka kerrospaksuuden mittauksessa

Ultraäänitekniikka kerrospaksuuden mittauksessa on yksi uusimmista sovelluksista rikkomattomasta aineen koestuksesta. Sen mitta-alue vaihtelee muutamasta kymmenestä mikrometrinä satoihin millimetreihin. Ultraäänianturi asetetaan kappaleen pinnalle, ja anturi lähettää värähtelyä tutkittavaan kappaleeseen. Tutkittavan kappaleen materiaalilla ei ole merkitystä mittaustapahtumaan. Värähtely tunkeutuu pinnoitteen läpi kerrosten rajapintaan,

josta osa värähtelyä heijastuu takaisin anturiin ja osa jatkaa matkaansa seuraavaan rajapintaan. Kuvion 5 vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty ultraääneen perustuvan mittalaitteen toimintaperiaate. Oikeanpuoleisessa kuvassa on nähtävillä ultraäänianturin kappaleesta havaitsemat kolme kerrosta, jotka ovat kuvaajassa piikkeinä, ja niiden paksuudet ovat luettavissa numeerisessa muodossa vierestä. Ultraäänestä syntyvä värähtely tunnistaa eri materiaalit eli kerrokset niiden erilaisten mekaanisten ominaisuuksien vuoksi. (Beamish 2004).



Kuvio 5. Ultraäänianturin toimintaperiaate vasemmalla ja oikealla mittalaitteen näytössä oleva näkymä, joka kertoo mittatuloksen (Beamish 2004).

7.2.4 Profilometrit

Profilometrejä on saatavilla kahta eri tyyppiä: mekaanisia tai optisia. Mekaanisessa profilometrissä timanttikärjellä varustettu mekaaninen neula liikkuu pitkin kappaleen pintaa mitaten pinnan paksuudessa tapahtuvia muutoksia. Paksuuden mittaaminen perustuu korkeuseroon pinnoittamattoman ja pinnoitetun alueen välillä. Optisessa profilometrissä ei tarvita suoraa kosketusta kappaleen pintaan, vaan mittaus tapahtuu valon avulla. (Tallqvist 2005).

7.2.5 NIR-tekniikkaan perustuva mittaus

Yksi uusimmista mahdollisuuksista mitata kerrospaksuuksia on infrapuna. Near Infra Red -tekniikkaa (NIR) käytettäessä pinnoitemateriaalin täytyy olla läpinäkyvä, alustan puolestaan läpinäkymätön, jotta säde pääsee heijastumaan alustasta takaisin. Tämä vaatimus aiheuttaa sen, että esimerkiksi runsaspigmenttiset pinnoitteet eivät tule kysymykseen. NIR-tekniikka soveltuu erittäin hyvin teräksiseltä alustalta mittaamiseen, mutta muovialustalta mittaamisesta ei ole vielä kokemusta. (Niemelä 2005).

8 PROJEKTIN ETENEMINEN

Kartoitus kerrospaksuuden mittauksen tilasta oli tehty vuonna 2004. Kartoituksessa havaituista epäkohdista ja muutoksen tarpeista oli olemassa materiaalia, joiden avulla projektissa lähdettiin etenemään. Maalaamolle oli tarve löytää entistä parempi kerrospaksuuden mittaväline tuotannon laadunvalvontaan, koska käytössä oleva laite ei täyttänyt sille asetettuja kyvykkyyksivaatimuksia.

Mittalaitteen etsimisen ja hankinnan jälkeen oli tarkoitus ottaa tilastollinen prosessinohjaus käyttöön osaksi jokapäiväistä toimintaa siten, että se jää myös projektin päättymisen jälkeen elämään. Tämä tarkoitti sitä, että käyttöönoton yhteydessä oli pidettävä kunnolliset koulutukset sekä mittalaitteen käytöstä että SPC:hen liittyvistä asioista, jotta ihmiset tiesivät mitä tehdä eri tilanteissa. Käyttöönoton jälkeistä aikaa oli myös seurattava. Työn yhteydessä luotiin suunnitelmat seurannalle, valvonnalle ja muulle toiminnalle. Projektissa eteneminen ja sen raportointi toteutettiin Design for Six Sigma -periaatteiden (DFSS) mukaisesti hyödyntäen sen tarjoamia työkaluja.

8.1. Mittalaitteen valinta

Mahdollisia mittalaitteita etsittiin ympäri maailmaa, ja vakuuttavimmat niistä testattiin käyttämällä apuna Gage R&R Analysis of Variance -testiä (Gage R&R Anova), joka määrittää mittalaitteen kyvykkyyden. Gage R&R Anova on tilastollinen testi, joka tehdään varianssianalyysien pohjalta (varianssilla tarkoitetaan hajontaa korotettuna potenssiin kaksi). Testin avulla voidaan selvittää mittaustapahtuman hajonnan suuruus sekä erottaa mittalaitteesta ja mittaajasta johtuvat hajonnat toisistaan. Mittauksessa ilmenevä vaihtelu eli hajonta saattaa johtua tuotteesta, mittausrvirheestä tai mittalaitteen vaihtelusta. Testillä voidaan tutkia myös mittadatan luotettavuutta, mutta se ei ollut tässä tapauksessa kiinnostuksen kohteena. Jotta saatavaa testitulosta voidaan pitää luotettavana, on testikappaleiden edustettava prosessin koko vaihtelua mahdollisimman hyvin eli siten, että testikappaleita on sekä toleranssien sisä- että ulkopuolelta.

Mittalaitteesta johtuvan vaihtelun suuruus kokonaisvaihtelusta korreloi mittalaitteen kyvykkyyttä. Saadut tulokset mittalaitteesta johtuvalle vaihtelulle kokonaisvaihtelusta ryhmitellään kolmeen osaan: alle 10 %, 10–30 % ja yli 30 %. Tavoitetulos on päästä alle 10 %:iin, jolloin mittalaitetta voidaan pitää luotettavana. 10–30 % tulos voidaan hyväksyä, mutta parannuksia mittalaitteelle tai mittaustapahtumalle on tehtävä. Yli 30 % antavaa tulosta ei voi hyväksyä, koska mittalaitteesta johtuva vaihtelu vie liian suuren osan kokonaisvaihtelusta.

Tässä työssä Gage R&R Anova -testit suoritettiin kolmella eri mittaajalla siten, että kukin mittaaja mittasi samat kappaleet kaksi kertaa. Saatujen tulosten perusteella laskettiin jokaisen mittalaitteen kyvykkyys. Testatut mittalaitteet ovat esiteltyinä seuraavana ja niille tehtyjen testien tulokset ovat liitteessä 1.

8.2. Testatut mittalaitteet

Kaikki käytännössä testatut mittalaitteet olivat induktioon perustuvia, erillisen anturin avulla mittaavia kerrospaksuuden mittalaitteita. Aiemmin esiteltyt muut mittaustavat (ultraääni, infrapuna, profilometri, ks. kohta 7.2.) osoittautuivat jo ennen varsinaista testaamista sopimattomiksi. Ne olivat joko liian epätarkkoja tai soveltumattomia tämäntyypiseen prosessiin tai liian herkkiä sekä vaikeakäyttöisiä tuotannolle.

Käytössä oleva mittalaite 1 oli jo aiemmin todettu riittämättömäksi yrityksen tarpeisiin. Laitteelle oli tehty useita Gage R&R Anova -testejä erilaisten mittajigien kanssa ja ilman, mutta tavoiteltuun tulokseen ei ole koskaan päästy.

Mittalaitteeseen 2 kohdistui suuret odotukset, koska sen kuviteltiin antavan ratkaisu mittalaitteasiassa. Laitteen 2 antamat tulokset olivatkin melko hyviä, mittalaitteesta johtuva vaihtelu oli ainoastaan 16 % kokonaisvaihtelusta. Kuitenkaan mittalaite 2 ei vakuuttanut melko hyvistä testituloksista huolimatta. Suurimpana syynä tähän oli se, että mittalaitteissa 1 ja 2 oli käytössä samanlaiset anturit, ainoastaan mittaustapahtuma suoritettiin eri tavalla.

Mittalaite 3 antoi huonoimmat tulokset testatuista mittalaitteista. Mittalaitteesta johtuva vaihtelu oli 39 % kokonaisvaihtelusta. Laitteen mittaustekniikka oli muista laitteista poikkeava, jonka ajateltiin voivan olla ratkaisu asiassa. Tämä oli myös syy, miksi tämä laite haluttiin testata, vaikka ennakkotiedot laitteesta eivät eronneet perusmittalaitteiden suuresta massasta.

Mittalaite 4 antoi testatuista mittalaitteista parhaat tulokset, kokonaisvaihtelusta ainoastaan 12 % johtui itse mittalaitteesta. Mittalaitteelle 4 tehtiin myös muita tutkimuksia, jotta vakuutettiin laitteiston todellisesta kyvykkyydestä. Koska mittalaite 4 antoi luotettavimmat tulokset, eikä mistään parempaa laitetta löytynyt, hankittiin se yritykselle uudeksi kerrospaksuuden mittalaitteeksi.

8.3. Mittalaite 4 - kehitystyö

Mittalaitteen hankinnan jälkeen mittaustapahtumaa alettiin kehittää eteenpäin. Tavoitteena oli tehdä mittaustapahtuma mahdollisimman riippumattomaksi ihmisestä. Kehitystyö johti mittarobotin ja uusien mittakappaleiden käyttöönottoon, joista lisää kohdissa 8.4 ja 8.5. Mittalaitteen toistettavuus mittarobotilla voitiin tehtyjen testien avulla todeta olevan suuruusluokkaa 99 %. Koko mittaussysteemistä (hankittu mittalaite, mittarobotti ja tietokoneohjattu mittaohjelma) käytetään tästä eteenpäin nimitystä mittakone.

Tekemissämme testeissä käytettiin neljää erilaista pinnoittamatonta mittakappaletta (A-D). Testin aikana säädettävissä olevat tekijät, kuten pisteiden paikoitus ja robotin liikenopeus, vakioitiin. Testissä käytettiin apuna standardikalvoja (paksuudet 13,0 μm ja 23,1 μm), joihin mittalaitteen antamia mittatuloksia verrattiin. Testitulosten yhteenveto on liitteessä 2, ja liitteessä 3 mittapisteiden sijoittuminen eri mittakappaleissa.

Testien tärkein anti oli mittalaitteesta itsestään saatu informaatio. Mitta-anturin asettamisnopeuden vaihteluilla huomattiin suuri merkitys mittaustarkkuuteen. Mittalaite havaittiin erittäin hyväksi toistamaan itseään pidettäessä kaikki muutettavissa olevat tekijät, kalibrointia lukuun ottamatta, vakioina (ks. liitteen 2 kuvaajat). Liitteen 2 kuvaajissa on jokaisen yksittäisen mittatuloksen sijoittuminen mittapisteittäin tavoitteen ollessa 0,0 μm , 13,0 μm tai 23,1 μm . Vaihtelua samassa mittapisteessä eri mittauskerroilla on havaittavissa vähän. Ne mittapisteet, joissa oli poikkeamia 0,0 μm tuloksesta, saatiin hallintaan korjaamalla pisteiden paikoitusta. Koska kyseessä on erittäin minimaaliset paksuudet, käytettyjen standardikalvojen asettelulla mittakappaleiden pinnalle oli suuri merkitys saatuun mittatulokseen. Kalvon alle jäänyt ilma nosti mittatulosta.

8.4. Mittaustapa

Uuden mittalaitteen myötä sekä mittaustapaa että mittakappaletta ohjattiin entisestä luotettavampaan ja ammattimaisempaan suuntaan. Mittaustapahtuma muutettiin lähes kokonaan automaattiseksi tietokoneohjatun ohjelman ja mittarobotin avulla, jolloin saatiin mittaajasta johtuva virhe eliminoitua. Mittaajasta johtuva virhe oli suurin ongelma edellisen mittalaitteen (mittalaite 1) ollessa käytössä. Sen sijaan inhimillisestä erehdyksestä johtuvaa virhettä ei kokonaan poistettu, mutta sitä pienennettiin huomattavasti. Uuden mittakoneen ollessa käytössä mittaajan tehtäviin kuuluu ainoastaan asettaa mitattava kappale mittajigiin ja syöttää tietokoneelle tiedot mitattavasta kappaleesta. Mittaustapahtuma saatiin mittaajalle helpommaksi toteuttaa kuin aiemmin.

8.5. Mittakappale

Mittakappaleet saivat uuden todenmukaisemman muodon. Niiden avulla pystytään saamaan prosessista varmempaa tietoa, kun mittakappaleesta johtuva virhe eliminoitiin. Uusien mittakappaleiden ideaan liittyi osana myös ekologinen ajatus, koska ne ovat uudelleen käytettäviä, eikä jätettä näin ollen synny entiseen tapaan. Mittakappaleista suunniteltiin projektin kuluessa parannellut versiot aluksi käyttöönotettujen mittakappaleiden korvaamiseksi, kun käytännössä nähtiin, mitä mittakappaleilta vaaditaan, ja millaiset toimivat parhaiten.

8.6. Koulutus

Koulutukset käynnistettiin varhaisessa vaiheessa projektia henkilöille, jotka tulivat projektin myötä työskentelemään SPC:n kanssa. Näin myös tuotannon työntekijät saatiin otettua mukaan hyvissä ajoin. Koulutusten jaksottaminen pidemmälle aikavälille mahdollisti asioiden paremman ymmärtämisen, kun uusi

iso kokonaisuus oli jaettu pienempiin osiin. Eri tehtävissä olevien henkilöiden koulutustarpeet selvitettiin, ja koulutusta järjestettiin tarpeen mukaan. Koulutusten suunnittelu, järjestäminen ja toteuttaminen muodostivat yhden ison kokonaisuuden tähän työhön.

Koulutukset aloitettiin lokakuussa 2005 teoriaosuudella tilastollisesta prosessinohjauksesta. Samalla kerrottiin tuotannolle asioista, jotka tulevat muuttumaan projektin myötä kerrospaksuuden mittauksessa.

Mittakoneen käyttöön järjestettiin oma koulutuksensa välittömästi koneen valmistumisen jälkeen tammikuussa 2006. Tuotannon työntekijät saivat rauhassa harjoitella uuden mittakoneen käyttöä ennen SPC-seurannan käynnistymistä. Koulutus sisälsi teoria- ja käyttökoulutusosuuksia. Teoriaosuudessa kerrottiin mittakoneesta, ja sen käyttöön liittyvistä asioista. Käytännön osuudessa neuvottiin mittakoneen oikeanlaista käyttöä.

SPC-koulutus järjestettiin helmikuussa 2006. Koulutuksessa kerrattiin ja syvennettiin lokakuussa 2005 esitettyjä asioita sekä käytiin läpi eri henkilöille tulevia vastuita ja tehtäviä. Tulevaa toimintaa käytännössä pyrittiin helpottamaan käymällä SPC:n mukanaan tuomat uudet asiat kohta kohdalta läpi.

Projektin kuluessa huomioitiin käyttäjien kokemuksia. Saadun palautteen avulla tehtiin muutoksia tai parannuksia, jos ne koettiin tarpeellisiksi. Tärkeimmät palautteen kautta esille tulleet asiat käytiin koulutuksissa läpi. Lisäksi tuotannon työntekijöillä oli mahdollisuus lähes milloin tahansa saada henkilökohtaista lisäkoulutusta, jos he tunsivat epävarmuutta toimissaan SPC:n parissa.

8.7. Käyttöönotto

Käyttöönotto sujui mittakoneen osalta melko kivuttomasti. Tuotannossa oltiin innostuneita, ja mittakone otettiin käyttöön ilman suurempaa vastarintaa tammikuisen koulutuksen jälkeen. Kritiikkiä aiheutti uuden mittaustapahtuman kesto, koska uusi mittaustapahtuma kaikkineen toimenpiteineen vie hieman kauemmin aikaa kuin entinen. Ajasta suurin osa kuluu kuitenkin mittaustapahtuman valvomiseen, joten konkreettisen työn osuus pieneni. Myös mittalaitteen luotettavuutta epäiltiin aluksi tuotannossa, koska toisinaan mittalaitteen antama lukema ei miellyttänyt. Käytyjen keskustelujen jälkeen päästiin yhteisymmärrykseen mittalaitteen luotettavuudesta ja prosessin vaatimista toimenpiteistä.

Uudet mittakappaleet otettiin hyvin vastaan, eikä negatiivisia kommentteja juuri kuulunut. Pieniä ongelmia aiheutti aluksi mittakappaleiden pysyminen linjalla. Ongelma pystyttiin kuitenkin melko nopeasti poistamaan hyödyntämällä käyttäjien kokemuksia ja näkemyksiä suunnittelun apuna paranneluille versioille projektin myötä käyttöönotetuista mittakappaleista.

8.8. Tulokset

Uusi mittakone yhdessä tilastollisen prosessinohjauksen kanssa antaa arvokasta lisätietoa maalausprosessista, ja sen hallitsemisesta. Prosessiin tehdyillä muutoksilla on saatu hyviä tuloksia aikaan jo nyt.

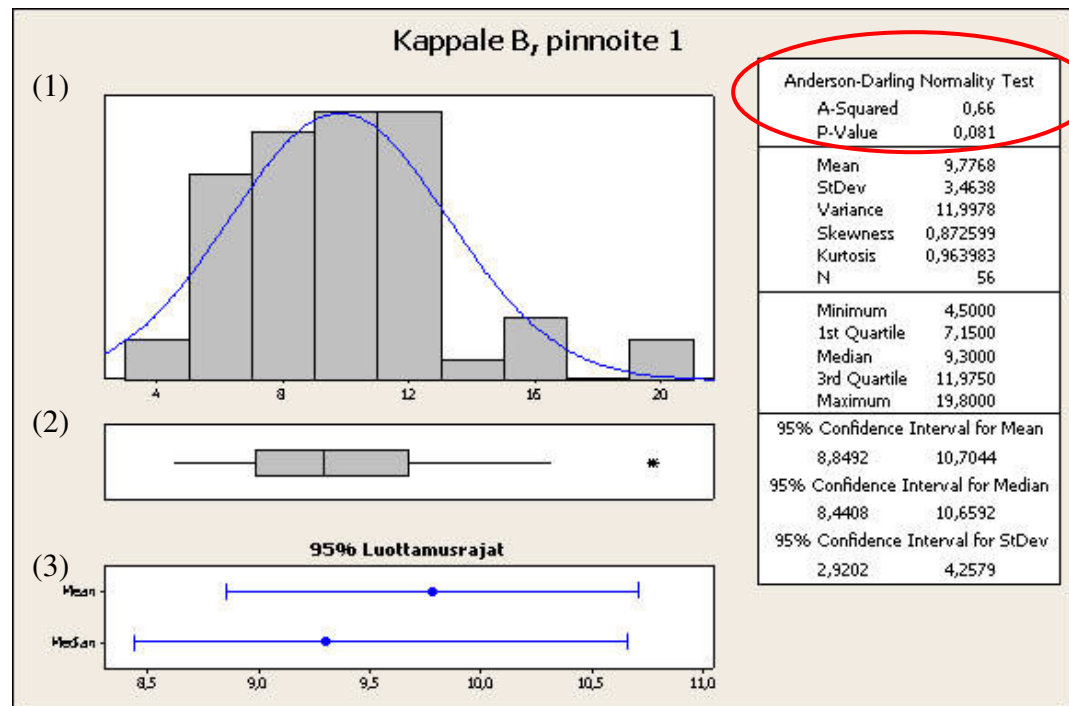
Mittakoneella mitattua dataa analysoitiin kappaleittain ja eri pinnoittein. Mittatulokset olivat hyvin samankaltaisia kappaleesta ja pinnoitteesta riippumatta. Tässä työssä tarkastellaan kappaleen B pinnoitteilla 1 ja 2 saatuja tuloksia, koska kappaleesta B oli eniten mittadataa saatavilla. Tutkittu mittadata on nähtävillä liitteessä 4.

8.8.1 Kappale B, pinnoite 1

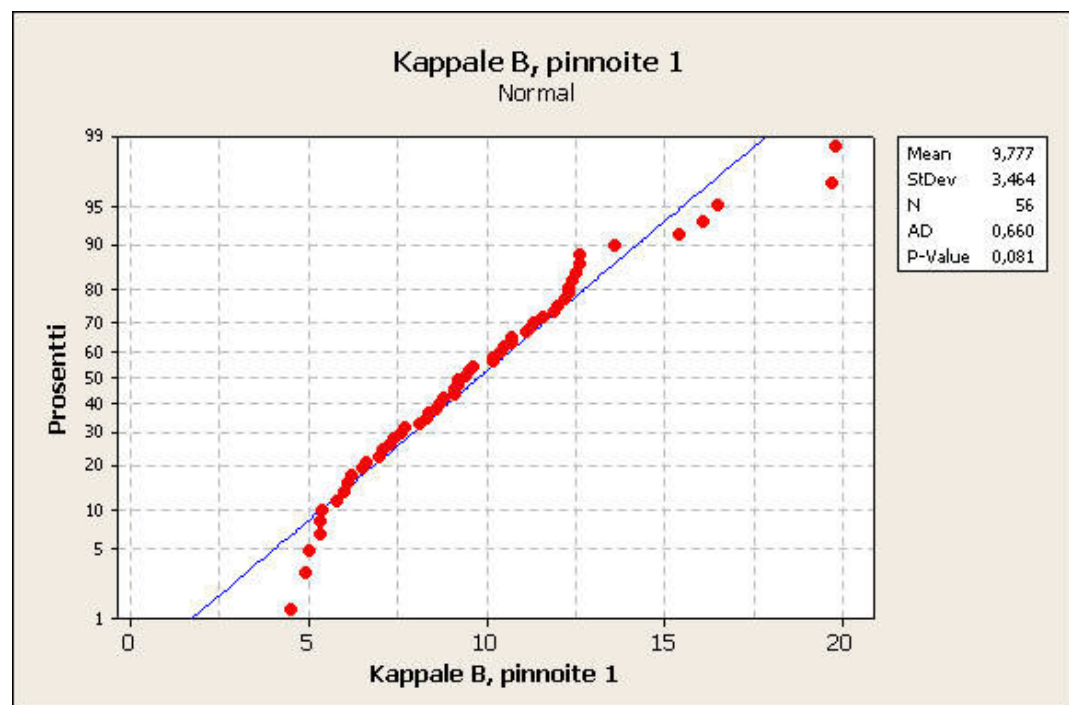
Vaikka kuviossa 6 oleva histogrammi (1) ei täytä kaikkia normaalijakautuneen datan tunnusmerkkejä, niin Anderson-Darling -testin (p-arvo = 0,081) tulos osoittaa mittadatan olevan normaalijakautunutta kappaleessa B pinnoitteella 1. Anderson-Darling -testistä saatavan p-arvon tulee olla suurempi kuin 0,05, jotta data voidaan katsoa normaalijakautuneeksi. p-arvo voi vaihdella nollan ja ykkösen välillä. Mitä lähempänä tulos on ykköstä, sitä enemmän tutkittava data on normaalijakautunut. Myös tutkittavan joukon suuruus vaikuttaa normaalijakauman muodostumiseen: mitä enemmän dataa on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä se noudattelee normaalijakaumaa.

Tutkittavana olleen datan suppeasta määrästä johtuen haluttiin mittadatan normaalijakautuneisuutta selvittää vielä normaalisuustestin avulla (kuvio 7). Mittatuloksista suurin osa seuraa hyvin sinistä suoraa, jolloin tutkittavaa dataa voidaan pitää normaalijakautuneena. Alimmat ja ylimmät arvot kuitenkin poikkeavat sinisestä suorasta melko huomattavasti. Tällaisten tulosten syntyminen pitää estää prosessia ohjaamalla.

Boxplot-kuvaajasta (2) nähdään, että puolet mittadatasta asettuu välille 7,150–11,975 (kuvio 6). Mittadatan kahtia jakava, eli keskimmäistä arvoa kuvaava, mediaani on 9,300 kohdalla (kuvaajat (2) ja (3)). Tämä on hieman pienempi kuin mittadatasta laskettu keskiarvo 9,777. 95 % luottamusrajakuvaajasta (3) nähdään mille välille 95 % varmuudella mittatulos asettuu sekä keskiarvon että mediaanin asettamien rajojen avulla. Voidaan todeta, että molemmat, sekä keskiarvo että mediaani, ovat samaa suuruusluokkaa, mikä on ominaista normaalijakautuneelle mittadatalle. Täydellisesti normaalijakautuneen datan mediaani ja keskiarvo asettuvat täsmälleen saman lukuarvon kohdalle, ja niille lasketut luottamusrajat ovat yhtä suuret.

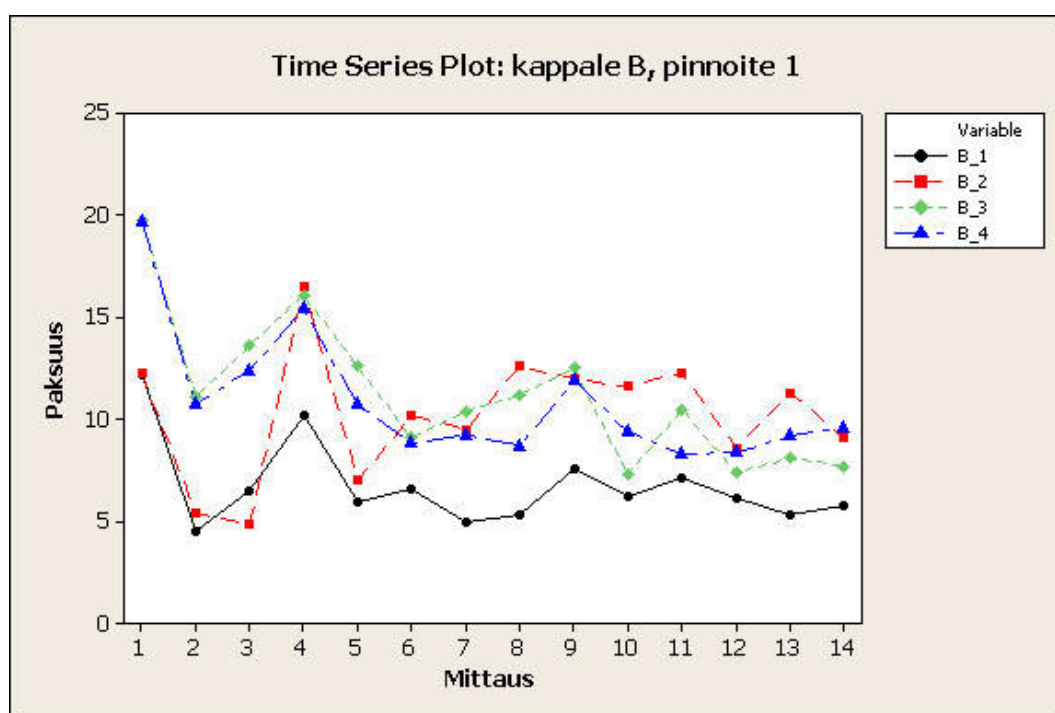


Kuvio 6. Histogrammi, boxplot-kuvaaja ja 95 % luottamusrajat kappaleen B, pinnoitteen 1 mittatuloksista.



Kuvio 7. Normaalisuustesti kappaleen B, pinnoitteen 1 mittatuloksille.

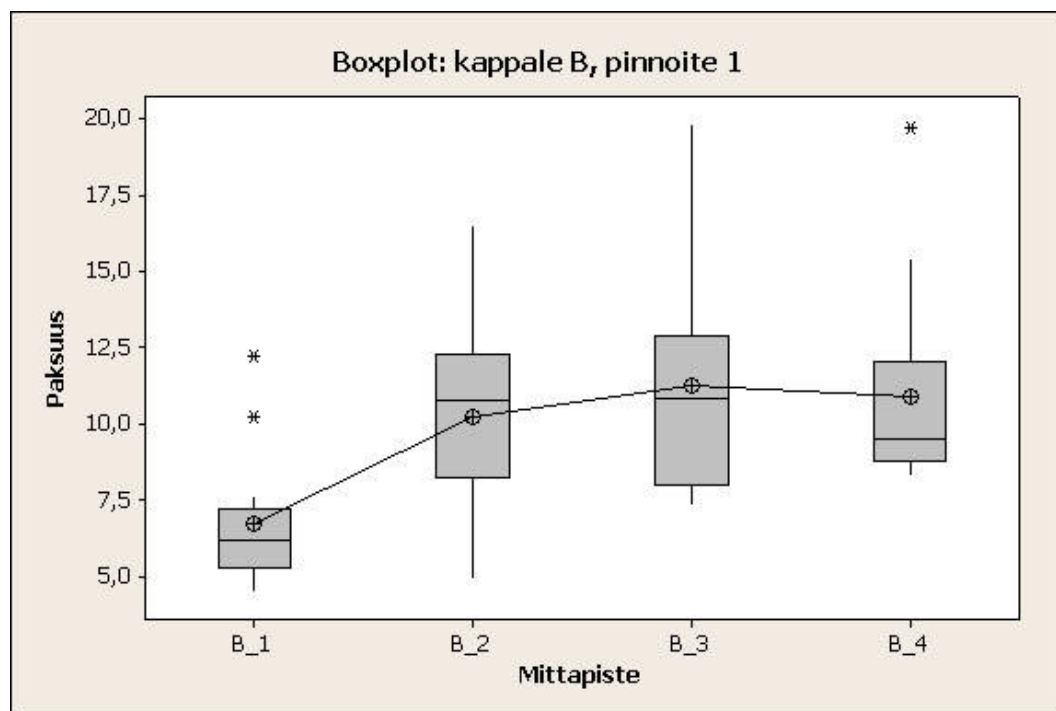
Histogrammin poikkeavan muodon (kuvio 6) ja normaalisuustestin osoittamien poikkeamien (kuvio 7) vuoksi haluttiin selvittää syyt, mistä nämä johtuvat. Syiden selvittämiseksi täytyi tuloksia tarkastella myös mittapisteittäin, kun kuvioissa 6 ja 7 tuloksia tulkittiin välittämättä mittapisteistä. Kuvion 8 time series plot -kuvaajista nähdään, että aluksi on yliohtettu prosessia voimakkaasti, jolloin mittauskertojen välistä vaihtelua on syntynyt runsaasti. Viidennestä mittauskerrasta eteenpäin yliohtajasta ei ole enää juurikaan tapahtunut mittadatan tasoittuessa sekä mittapisteiden välisen vaihtelun pienentyessä.



Kuvio 8. Mittapisteiden vaihtelu mittauskerroittain kappaleessa B pinnoitteella 1 (B_1 = mittapiste 1, B_2 = mittapiste 2, B_3 = mittapiste 3, B_4 = mittapiste 4).

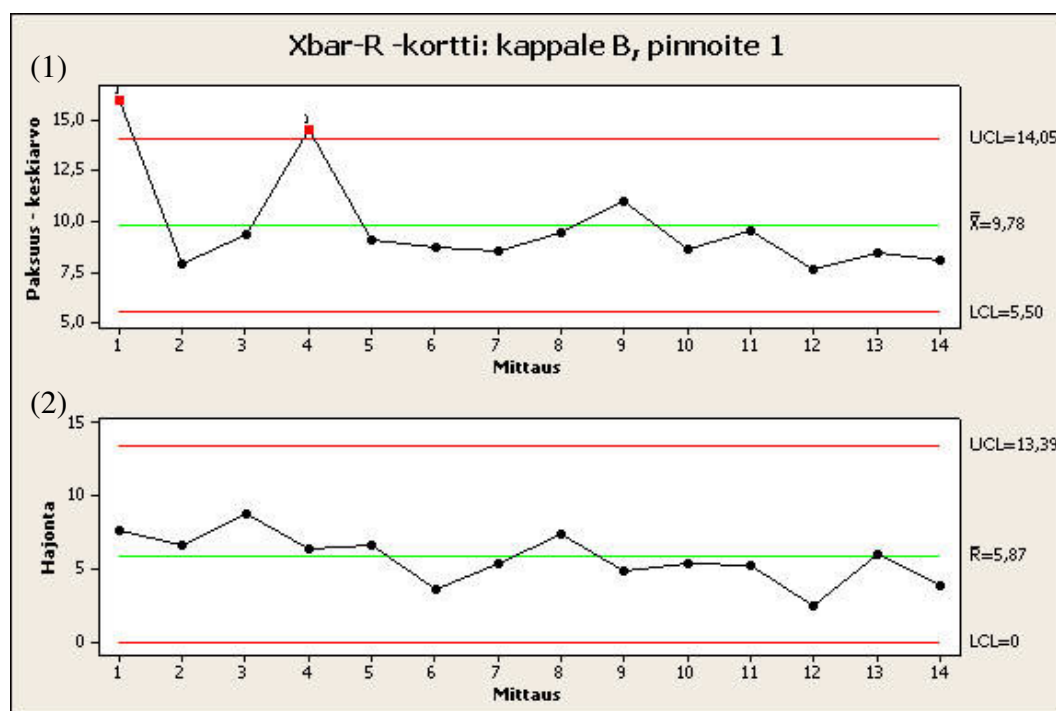
Koska kuvio 8 vahvisti mittapisteiden välisen suuren vaihtelun todeksi, haluttiin sitä tutkia vielä lisää. Kuvion 9 boxplot-kuvaajien pinta-alat kertovat, että hajonta on pienintä mittapisteessä 1 ja suurinta pisteessä 3. Boxplot-kuvaajat ovat laskettu 95 % luottamusrajoilla, kuten oli kuvion 6 boxplot-kuvaajakin. Alue, jolle 95 % varmuudella mittatulokset asettuu, on mittapisteellä 1 huomattavasti muita mittapisteitä kapeampi. Mitä kapeampi luottamusrajojen muodostama alue on, sitä parempi se on prosessin kannalta. Mittapisteen 1 mediaani on lukuarvoltaan

selvästi muita mittapisteitä alhaisempi. Mittapisteiden 2 ja 3 mediaanit ovat samaa suuruusluokkaa, eikä mittapisteen 4 mediaanikaan ole niistä kaukana. Mittapisteestä toiseen piirtyvä viiva havainnollistaa vielä eri mittapisteiden välistä vaihtelua.



Kuvio 9. Boxplot-kuvaajat mittapisteittäin kappaleessa B pinnoitteella 1.

Seuraavana tarkasteltiin mittatulosten sijoittumista ohjauskortille. Jokainen mittauskerta muodostaa ohjauskorttiin oman alaryhmänsä. Kuviossa 10 alaryhmille laskettujen keskiarvojen pisteet näkyvät ohjauskortin kuvaajassa (1). Mittatuloksista kaksi on mennyt yli yläohjausrajan, jolloin prosessia on jouduttu säätämään. Tämän jälkeen mittadata on tasoittunut, eikä ylityksiä ole enää tullut. Kuvion 10 kuvaaja (2) esittää sekä alaryhmän sisäisen että alaryhmien välisen vaihtelun suuruutta. Alaryhmän sisäisen vaihtelun olemassaolo on todettu jo aiemmin, ja se on havaittavissa myös tässä kuvaajassa. Prosessin parantamisessa tuleekin ensisijaisesti tehdä toimenpiteitä alaryhmien sisällä tapahtuvan vaihtelun pienentämiseksi.



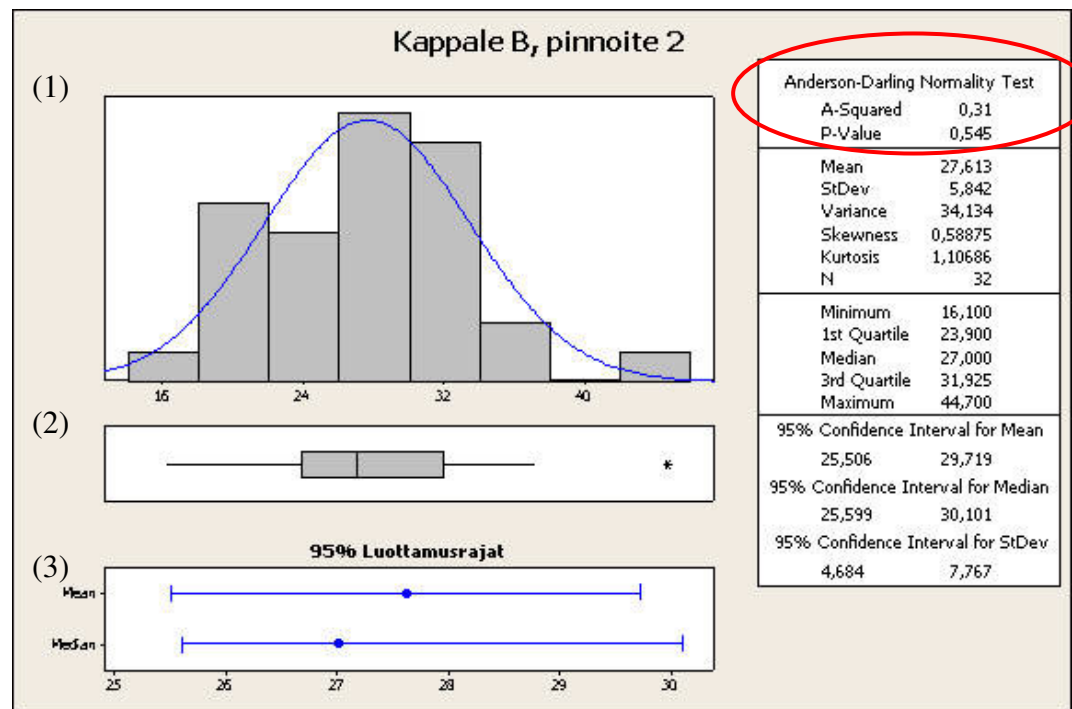
Kuvio 10. Ohjauskortti kappaleen B, pinnoitteen 1 mittatuloksista.

8.8.2 Kappale B, pinnoite 2

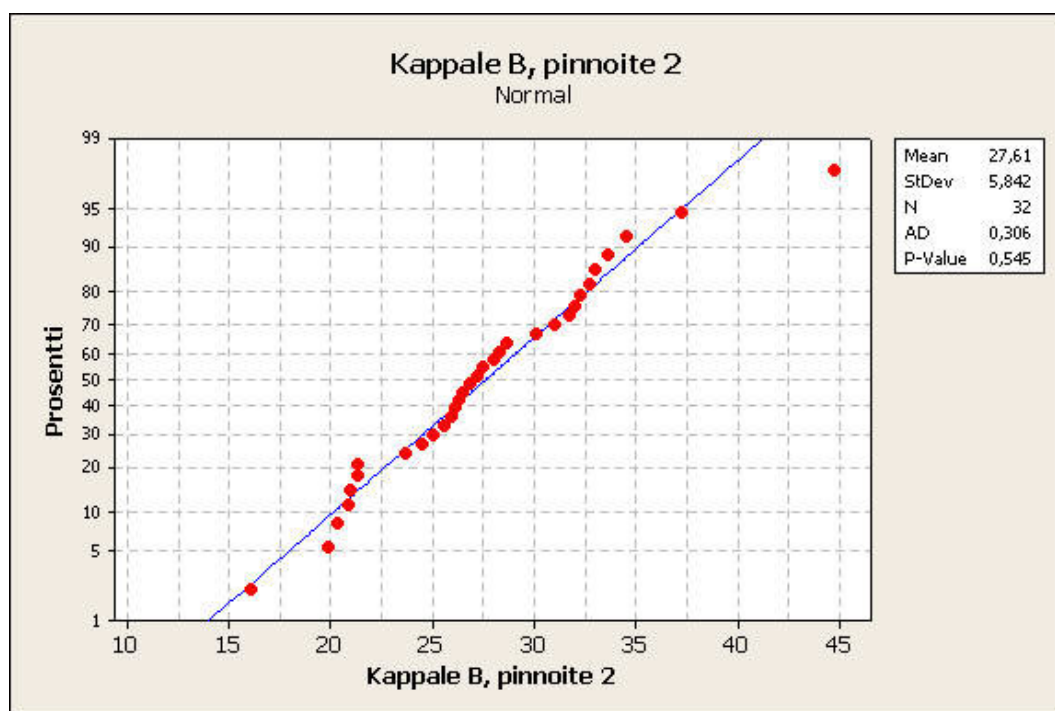
Kappaleen B pinnoitteen 2 antama mittadata on hyvin pitkälle samankaltaista kuin mitä se oli pinnoitteella 1. Histogrammin muoto kuviossa 11 ei ole täysin normaalijakauman mukainen, mutta Anderson-Darling -testi kertoo datan kuitenkin jakautuvan normaalisti. Normaalisuutta tutkittiin myös normaalisuustestillä (kuvio 12). Sekä normaalisuustesti että Anderson-Darling -testin tuloksena saatava p-arvo (0,545) kertovat, että pinnoitteen 2 mittadata on paremmin normaalijakautunut kuin pinnoitteen 1. Normaalisuustestissä ainoastaan ylin mittatulos poikkeaa tavoitellusta sinisestä suorasta huomattavasti.

Kuvion 11 boxplot-kuvaaja (2) kertoo, että puolet mittadatan asetuu välille 23,900–31,925. Keskimmäistä mittadatan arvoa kuvaava mediaani on 27,000 (kuvaajat (2) ja (3)), joka on aavistuksen pienempi kuin mittadatan laskettu keskiarvo 27,613. Mediaanin ja keskiarvon voidaan kuitenkin katsoa kuuluvan samaan suuruusluokkaan. 95 % luottamusrajakuvaajasta (3) nähdään, mille välille 95 % varmuudella mittatulos asetuu sekä keskiarvon että mediaanin asettamien

rajojen avulla. Pinnoitteella 2 sekä mediaanin että keskiarvon avulla määritetyt alueet ovat suurempia kuin pinnoitteella 1. Prosessin parempi tuntemus kaventaa mittatuloksen sijoittumisaluetta (95 % todennäköisyys mittatuloksen sijoittumisella alueelle), jolloin prosessin ohjaaminen on helpompaa.

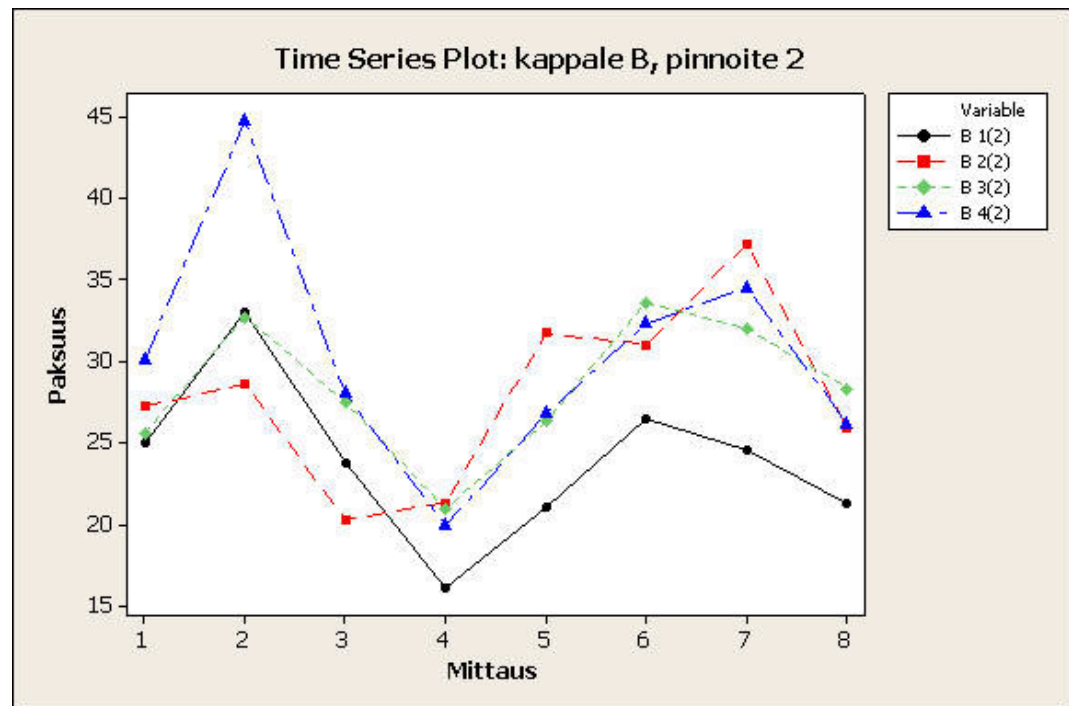


Kuvio 11. Histogrammi, boxplot-kuvaaja ja 95 % luottamusrajat kappaleen B, pinnoitteen 2 mittatuloksista.



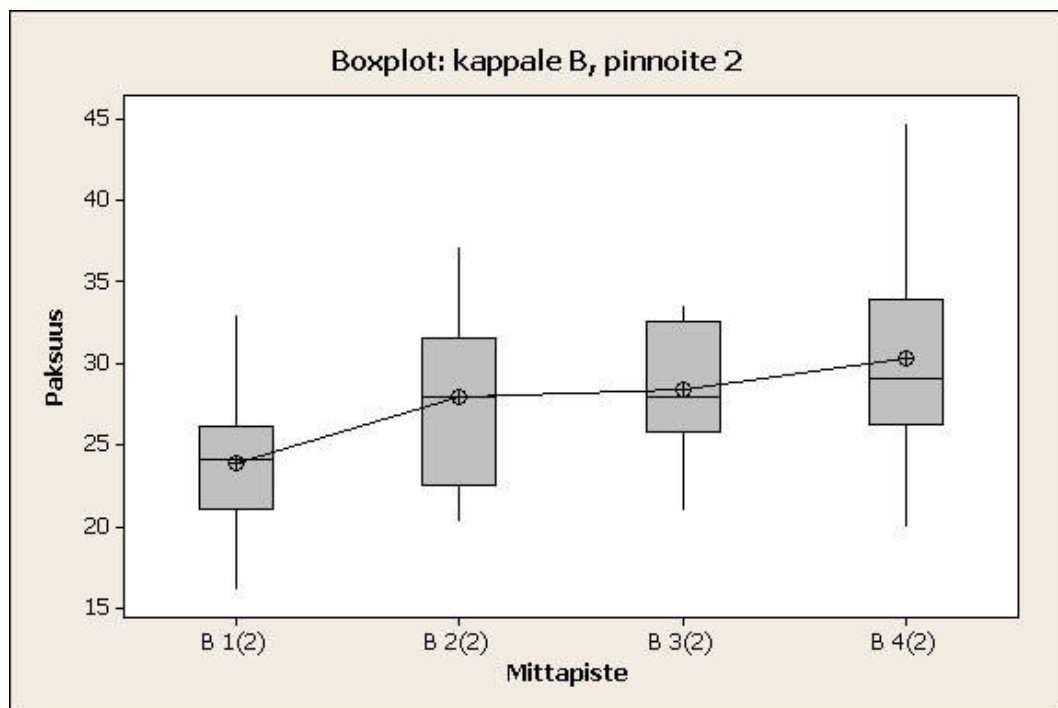
Kuvio 12. Normaalisuustesti kappaleen B, pinnoitteen 2 mittatuloksille.

Pinnoitteelle 2 tehtiin tarkempaa analyysia mittapisteiden välisestä vaihtelusta samalla tavoin kuin pinnoitteelle 1. Histogrammin monihuippuisuus antoi vihjettä monijakautuneesta datasta histogrammin takana, joka viittasi jälleen mittapisteiden väliseen suureen vaihteluun. Time series plot -kuvaajista nähdään, että yliohjausta on tapahtunut myös pinnoitteella 2 (kuvio 13). Selvä trendi kuitenkin on, että mittapisteet ovat tasoittumassa lähemmäksi toisiaan mittauskertojen lisääntyessä. Mittapisteen 1 tulokset poikkeavat huomattavasti muiden mittapisteiden tuloksista, kun taas mittapisteiden 2, 3 ja 4 välinen vaihtelu on melko pientä. Mittapistestä 1 saatavat poikkeavat tulokset muihin mittapisteisiin verrattuna johtuvat mittapisteiden sijainnista sekä pinnoitteella 1 että 2. Kappaleessa B mittapiste 1 sijaitsee keskellä kappaletta, kun muut pisteet ovat kappaleen reunoilla (ks. liite 3). Ruiskumaalaustekniikan tuomat rajoitukset aiheuttavat sen, että kappaleen reunoille tulee enemmän pinnoitettavaa materiaalia kuin keskelle kappaletta. Tällaisessa tilanteessa on pyrittävä säätämään prosessia siten, että mittapistestä 1 saatavat tulokset asettuisivat lähemmäksi muista mittapisteistä saatavia tuloksia.



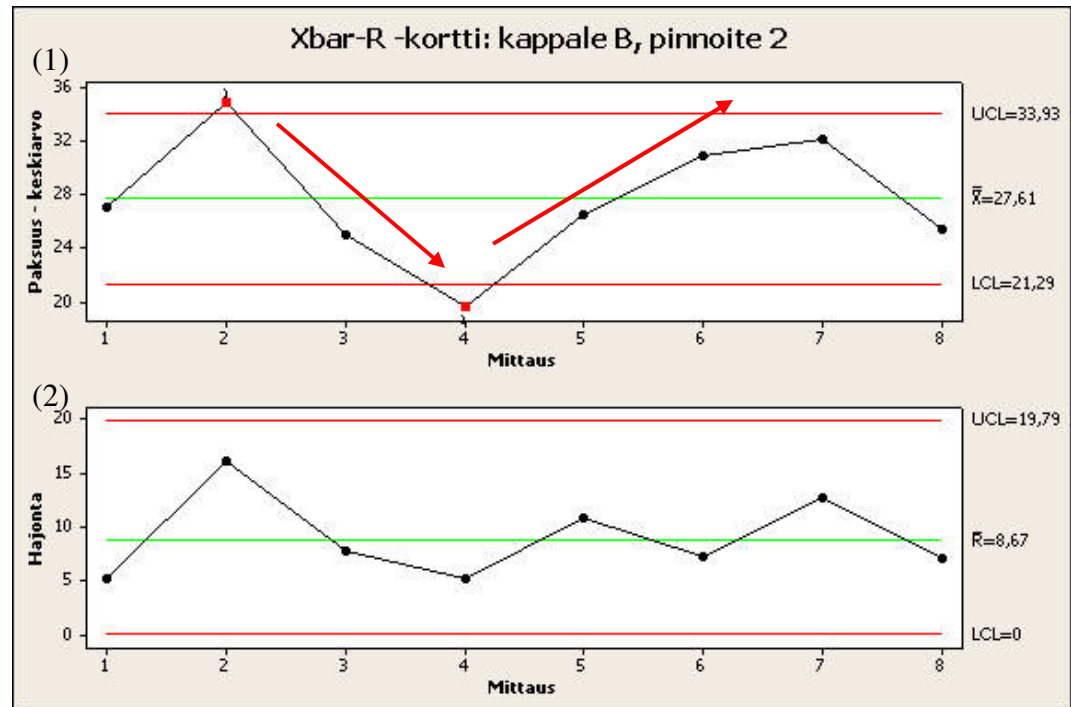
Kuvio 13. Mittapisteiden vaihtelu mittauskerroittain kappaleessa B pinnoitteella 2 ($B\ 1(2)$ = mittapiste 1, $B\ 2(2)$ = mittapiste 2, $B\ 3(2)$ = mittapiste 3, $B\ 4(2)$ = mittapiste 4).

Mittapisteiden välistä vaihtelua selvitetiin vielä boxplot-kuvaajien avulla (kuvio 14). Kuvaajat ovat hyvin samansuuntaisia kuin mitä ne olivat pinnoitteella 1. Ainoastaan mittapisteen 3 boxplot-kuvaaja asettuu eri kohdalle suhteessa muiden mittapisteiden kuvaajiin pinnoitteilla 1 ja 2. Hajonta on pienintä mittapisteessä 1. Muissa mittapisteissä hajonta on suurempaa, mutta keskenään samansuuruista. Pinnoitteella 2 ei ole havaittavissa, että jokin mittapiste käyttäytyisi muita paremmin muodostaen kapeamman alueen 95 % lasketuilla luottamusrajoilla, kuten oli pinnoitteella 1. Mittapisteillä 2, 3 ja 4 mediaanit asettuvat samaan suurusluokkaan, kun taas mittapisteen 1 mediaani on näitä lukuarvoltaan alhaisempi. Mittapisteestä toiseen piirtyvä viiva käyttäytyy pinnoitteella 2 maltillisemmin kuin pinnoitteella 1. Voidaankin todeta, että pinnoitteella 2 mittapisteiden välinen vaihtelu on pienempää kuin pinnoitteella 1. Kuitenkin molempien pinnoitteiden mittapisteiden välinen vaihtelu on niin suurta, että vaihteluun tulee puuttua.



Kuvio 14. Boxplot-kuvaajat mittapisteittäin kappaleessa B pinnoitteella 2.

Ohjaukortit on laadittu samalla tavoin eri pinnoitteille (pinnoitteet 1 ja 2). Pinnoitteelle 2 laaditussa ohjaukortissa alaryhmien keskiarvot näkyvät kuvion 15 kuvaajassa (1). Mittatuloksista kaksi on mennyt ohjausrajojen yli, jolloin on tarvittu reagointia prosessissa. Ohjausrajat ylittäneet pisteet ovat punaisella. Ohjaukortissa on näkyvillä suuntauksia, alaspäin menevä suuntaus mittauskertojen 2 ja 4 välillä ja ylöspäin menevä suuntaus mittauskertojen 4 ja 7 välillä. Suuntaukset eivät ole toivottavia SPC:ssä, ja ne ovat merkitty punaisilla nuolilla kuvaajaan (1). Kuvaaja (2) vahvistaa aiemmin todetun mittadatan vaihtelun alaryhmän sisällä eli mittapisteiden välillä. Vaihtelua on havaittavissa myös eri alaryhmien, toisin sanoen eri mittauskertojen, välillä.



Kuvio 15. Ohjauskortti kappaleen B, pinnoitteen 2 mittatuloksista.

9 YHTEENVETO

Tässä työssä keskityttiin tilastollisen prosessinohjauksen käyttöönottoon maalaamossa. Projektin eteneminen ja raportointi tapahtui yrityksessä Design for Six Sigma -menetelmää hyödyntäen. SPC:n käyttöönottoa edelsi sopivan mittalaitteen löytäminen, modifiointi ja käyttöönotto. Koulutukset eri vaiheessa projektia mahdollistivat käyttöönoton sujuvan etenemisen.

Hankitun mittalaitteen rakentaminen mittakoneeksi antoi yritykselle runsaasti tietoa induktiivisesta mittauksesta, ja mittatulokseen vaikuttavista tekijöistä. Saatuja tietoja voidaan jatkossa hyödyntää uusien mittalaitteiden kehitystyössä ja rakentamisessa.

Uusien mittakappaleiden kehittäminen ja niiden valmistus sekä jatkokehittely näyttivät suunnan, millaisiin mittakappaleisiin tulee pyrkiä tulevaisuudessa. Yritys sai tietoa mittakappaleiden vaatimuksista ja ongelmakohtista sekä valmistuksen että käytön näkökulmasta katsottuna.

Koulutukset järjestettiin pitkällä aikavälillä jaoteltuina useampaan pienempään kokonaisuuteen. Järjestely mahdollisti uusien asioiden vaivattomamman sisäistämisen ja tuotannon ihmisten mukaan ottamisen projektiin jo aikaisessa vaiheessa. Kaikille SPC:n kanssa työskenteleville annettiin yhteisten koulutustilaisuuksien lisäksi henkilökohtaista koulutusta tarpeen vaatiessa.

SPC-seuranta käyttöön otettaessa oli mittakoneen käyttö ja uusi mittaussysteemi jo rutiinia. Reagointi ohjaus- ja toleranssirajojen ylityksiin tuntui aluksi monimutkaiselta ja työläältä. Kun SPC käy tutuksi ja reagoitaessa on selvä visio siitä, kuinka tulee toimia, ei vastalauseita SPC:stä enää kuulu. Myös tuotannossa ymmärretään SPC:n mukanaan tuomat hyödyt prosessin parantamiselle. Visuaalinen mittadata on yrityksessä kaikkien saatavilla, mikä lisää avoimuutta mittaustoimintaan. Halukkuus mittadatan parantamiseen prosessia ohjaamalla kasvaa.

Maalausprosessin parantamisessa on päästy jo hyvään alkuun. Tuotannossa ylityksiin on ryhdytty reagoimaan tehokkaammin ja päämäärätietoisesti. Maalausprosessin ohjaamiseen on saatu lisää informaatiota luotettavan mittakoneen myötä. Mittadata osoittaa selvästi tämän hetken suurimman ongelmakohdan prosessissa, liian suuren vaihtelun. Prosessin kehittämisessä tulisi ensisijassa kiinnittää huomiota sekä mittauskertojen välisen vaihtelun että erityisesti samalla mittauskerralla mitattujen eri mittapisteiden muodostaman alaryhmän vaihtelun pienentämiseksi.

Valmistunut projekti otettiin hyvillä mielin vastaan kaikilla tasoilla yrityksessä. Luotettavaa mittalaitetta oli kaivattu jo kauan, samoin SPC:n mukanaan tuomaa lisäinformaatiota maalausprosessista. Projektin monimuotoisuudesta johtuen projektissa toteutetuista asioista saatiin sekä uutta tietoa että lisäkokemusta runsaasti maalaamon lisäksi myös muilla osastoilla. Työn aikana luotua konseptia voidaan pitää niin toimivana, että tarvittaessa SPC:n laajennus on toteutettavissa helposti myös muihin maalaamon mittauksiin, kuten värisävy- ja viskositeetin mittaukseen.

LÄHTEET

1. Julkaistut materiaalit

Beamish, D. Using Ultrasonic Coating Thickness Gages [verkkodokumentti]. DeFelsko Corporation, 2004 [viitattu 13.10.2005]. Saatavissa: <http://www.defelsko.com/technotes/ultrasonic-thickness/using-ultrasonic-thickness-gages.htm>

Elcometer – Inspection Equipment [online]. [viitattu 13.9.2005]. Saatavissa: <http://www.elcometer.com/international%20index%20pages/international/product%20pages%20-%20English/product%20pages/test%20methods/pig.htm>

Karjalainen, T. E. & Karjalainen, E. E. 2000. Laatujohtamisoppien (TQM) soveltaminen PK-yritykseen – SPC, systeemitheoria, TOC-teoria – 2. uudistettu painos. Quality Knowhow Karjalainen Oy, Hollola.

Kume, H. 1998. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. 2. uudistettu painos. Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Helsinki.

Ming, T. An Introduction to SPC [verkkodokumentti]. Newcastle: University of Newcastle upon tyne, Chemical engineering and advanced materials, 2001 [viitattu 13.9.2005]. Saatavissa: <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/spc/spc2.htm>

Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit – hyödynnä SPC. 2. uudistettu painos. Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tampere.

Laatuakatemia-tietokanta [online]. SPC – Statistical Process Control, Tilastollinen prosessinohjaus [verkkodokumentti]. Laatuakatemia, 2005 [viitattu 13.9.2005]. Saatavissa: www.kotiposti.net/tuurala/SPC.htm

2. Julkaisemattomat materiaalit

Andersson, P. H. 2005. Laatutyökalut. Koulutusmateriaali. Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Tuotantotekniikan laitos.

Foxconn Finland. 2005. Power Point esitys, Foxconn Oy:n sisäinen tietoliikenneverkko.

Salli, M. 2003. Kyvykkyys. Esitelmä. Foxconn Finland, Foxconn Oy:n sisäinen tietoliikenneverkko.

3. Suulliset materiaalit

Niemelä, P. Erikoistutkija. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Kaitoväylä 1, PL 1100, 90571 Oulu. Sähköpostikeskustelu 22.9.2005.

Tallqvist, T. Spectral Solutions, Box 10004, S-18110 Lidingö, Ruotsi. Sähköpostikeskustelu 2.10.2005.

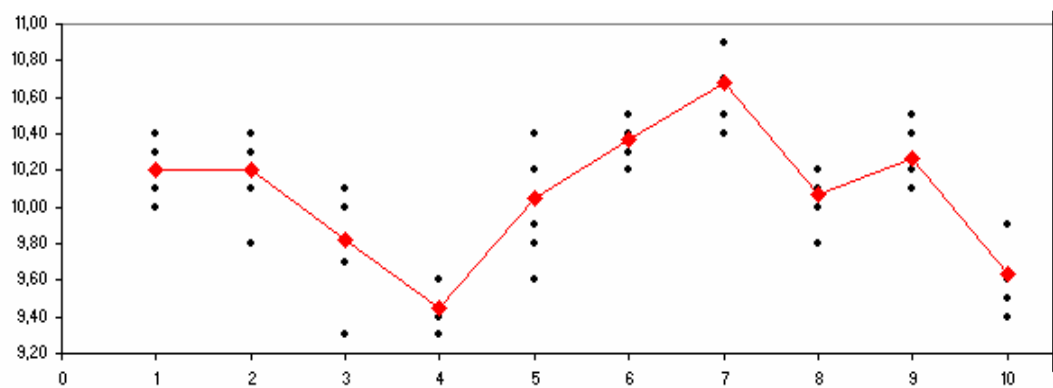
Jalkanen, R. Lehtori, fysiikka. Lahden ammattikorkeakoulu, Ståhlberginkatu 10, 15110 Lahti. Sähköpostikeskustelu 16.2.2006

Mittalaite 1

Mittatulokset

Testi- kappale	Mittaja 1		Mittaja 2		Mittaja 3		Keski- arvo	Keski- hajonta
	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2		
1	10,3	10,4	10,3	10,1	10,1	10,0	10,20	0,15
2	10,1	9,8	10,4	10,3	10,2	10,4	10,20	0,23
3	10,1	9,8	9,7	9,3	10,0	10,0	9,82	0,29
4	9,4	9,6	9,3	9,4	9,4	9,6	9,45	0,12
5	10,4	10,4	9,9	10,2	9,8	9,6	10,05	0,33
6	10,5	10,3	10,2	10,5	10,4	10,3	10,37	0,12
7	10,9	10,7	10,4	10,7	10,5	10,9	10,68	0,20
8	10,1	10,2	10,1	10,0	9,8	10,2	10,07	0,15
9	10,5	10,1	10,2	10,2	10,2	10,4	10,27	0,15
10	9,5	9,9	9,4	9,6	9,5	9,9	9,63	0,22
Keski- arvo	10,18	10,12	9,99	10,03	9,99	10,13		
Keski- hajonta	0,46	0,34	0,40	0,46	0,36	0,40		

Mittatulosten hajonta testikappaleittain ja testikappaleiden keskiarvo

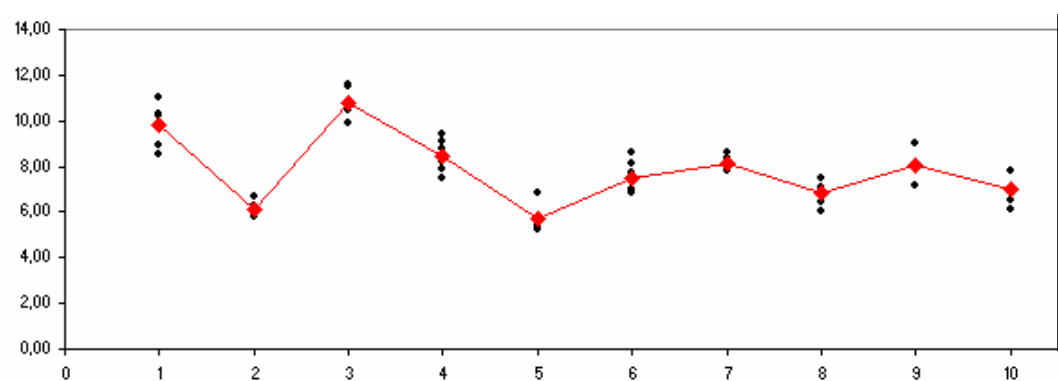


Mittalaite 2

Mittatulokset

Testi- kappale	Mittaja 1		Mittaja 2		Mittaja 3		Keski- arvo	Keski- hajonta
	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2		
1	11,0	10,2	9,9	10,3	8,9	8,5	9,78	1,04
2	6,0	6,7	5,8	6,1	5,8	6,3	6,18	0,34
3	10,7	10,7	10,5	9,9	11,6	11,5	10,82	0,64
4	9,4	9,1	8,8	7,9	7,5	8,2	8,48	0,74
5	6,8	5,7	5,3	5,6	5,5	5,2	5,68	0,58
6	8,1	8,6	6,8	7,7	7,0	6,8	7,50	0,75
7	7,9	8,6	8,0	8,2	8,4	7,8	8,15	0,31
8	6,4	7,1	7,0	6,8	6,0	7,5	6,80	0,53
9	8,0	7,9	8,1	9,0	7,9	7,2	8,02	0,58
10	7,0	7,8	6,8	7,8	6,5	6,1	7,00	0,69
Keski- arvo	8,13	8,24	7,6625	7,93	7,51	7,51		
Keski- hajonta	1,74	1,54	1,57	1,52	1,83	1,73		

Mittatulosten hajonta testikappaleittain ja testikappaleiden keskiarvo

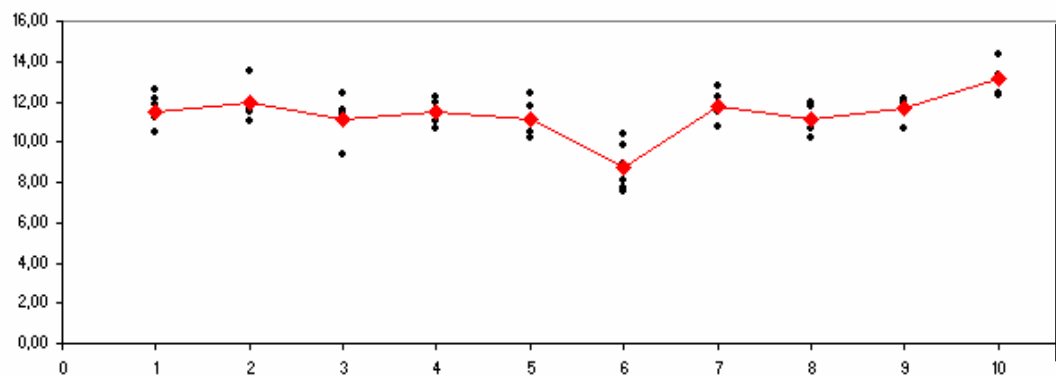


Mittalaite 3

Mittatulokset

Testi- kappale	Mittaja 1		Mittaja 2		Mittaja 3		Keski- arvo	Keski- hajonta
	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2		
1	12,6	11,2	11,9	10,5	10,5	12,1	11,47	0,87
2	12,0	11,7	13,5	11,8	11,0	11,5	11,92	0,85
3	11,4	12,4	11,1	11,6	11,1	9,4	11,17	0,99
4	10,7	12,2	11,3	12,0	11,6	11,0	11,47	0,58
5	12,4	11,8	11,1	10,2	11,0	10,5	11,17	0,82
6	9,8	8,9	10,4	8,1	7,7	7,5	8,73	1,18
7	12,2	11,8	11,6	12,8	11,5	10,8	11,78	0,68
8	11,8	12,0	10,7	11,2	10,2	10,9	11,13	0,68
9	11,9	12,1	12,0	11,5	10,7	11,9	11,68	0,52
10	13,3	14,3	13,3	13,1	12,3	12,4	13,12	0,73
Keski- arvo	11,81	11,84	11,69	11,28	10,76	10,8		
Keski- hajonta	0,99	1,32	1,03	1,43	1,23	1,45		

Mittatulosten hajonta testikappaleittain ja testikappaleiden keskiarvo

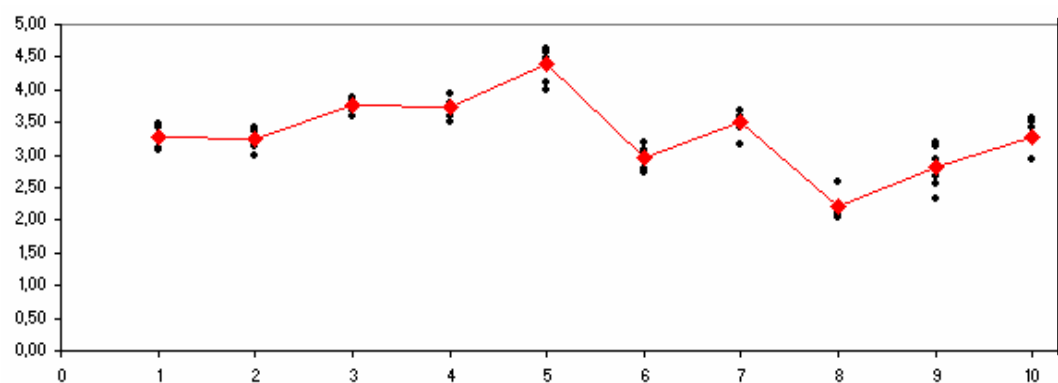


Mittalaite 4

Mittatulokset

Testi- kappale	Mittaja 1		Mittaja 2		Mittaja 3		Keski- arvo	Keski- hajonta
	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 1	Mittaus 2		
1	3,4	3,1	3,5	3,1	3,4	3,2	3,28	0,17
2	3,4	3,4	3,0	3,2	3,1	3,4	3,25	0,18
3	3,8	3,6	3,9	3,7	3,8	3,8	3,77	0,10
4	3,8	3,5	3,8	3,9	3,6	3,8	3,73	0,15
5	4,6	4,5	4,0	4,6	4,1	4,6	4,40	0,28
6	3,1	2,8	2,9	2,7	3,0	3,2	2,95	0,19
7	3,7	3,6	3,4	3,5	3,2	3,7	3,52	0,19
8	2,1	2,2	2,1	2,1	2,6	2,2	2,22	0,19
9	2,9	2,3	3,1	2,6	2,7	3,2	2,80	0,33
10	3,6	2,9	3,3	2,9	3,4	3,5	3,27	0,30
Keski- arvo	3,44	3,19	3,3	3,23	3,29	3,46		
Keski- hajonta	0,66	0,68	0,57	0,72	0,47	0,61		

Mittatulosten hajonta testikappaleittain ja testikappaleiden keskiarvo

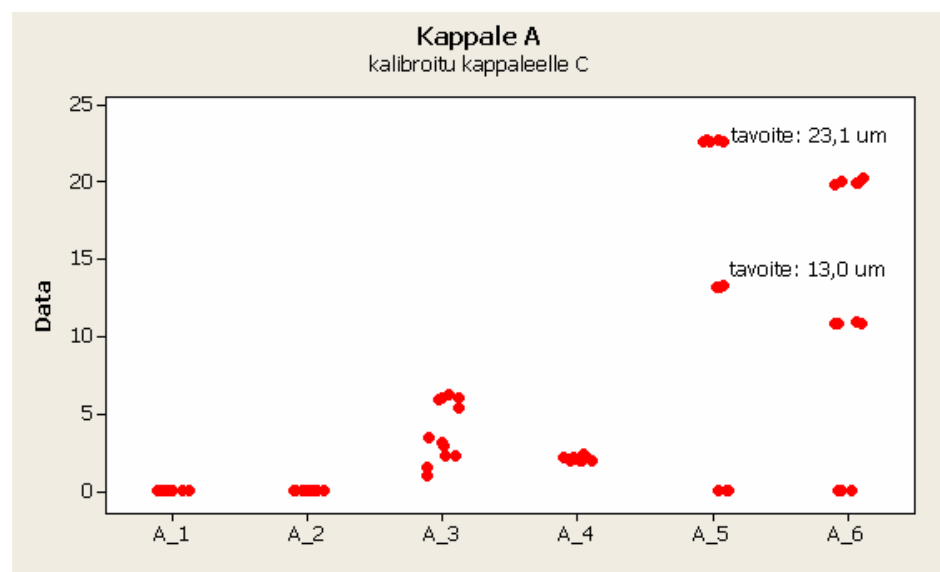


Mittakoneen testitulokset

Kappaleen A testitulosten keskiarvot ja -hajonnat:

Kappale A											
tavoite 0,0 μm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle		ei desimaaleja! tavoitteeseen	
		mittapiste	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)		keski- hajonta
	1	0,00	0,00		1,61	0,07		2,0	0,0		
	2	0,00	0,00		6,25	0,10		0,0	0,0		
	3	3,80	2,04		2,14	0,50		2,4	0,6		
	4	2,14	0,08		2,95	0,09		3,0	0,0		
	5	0,00	0,00		0,73	0,34		0,8	0,4		
	6	0,00	0,00		0,00	0,00		0,0	0,0		
	keskiarvo		0,35			0,18			0,2		
tavoite 13,0 μm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle		ei desimaaleja! tavoitteeseen	
		mittapiste	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)		keski- hajonta
	5	13,23	0,05	98,27							
	6	10,83	0,05	83,27	13,27	0,22	97,95	13,3	0,6	97,4	
	keskiarvo		0,05	90,77	13,27	0,22	97,95	13,3	0,6	97,4	
tavoite 23,1 μm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle		ei desimaaleja! tavoitteeseen	
		mittapiste	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)		keski- hajonta
	2	-	-	-	18,74	0,29	81,13	-	-	-	
	5	22,64	0,05	98,01	-	-	-	-	-	-	
	6	19,96	0,15	86,41	23,62	0,08	97,75	24,0	0,0	96,1	
	keskiarvo	21,30	0,10	92,21	21,18	0,19	89,44	24,0	0,0	96,1	

Yksittäisten mittatulosten asettuminen mittapisteittäin tavoitteen ollessa 0,0 μm , 13,0 μm ja 23,1 μm :

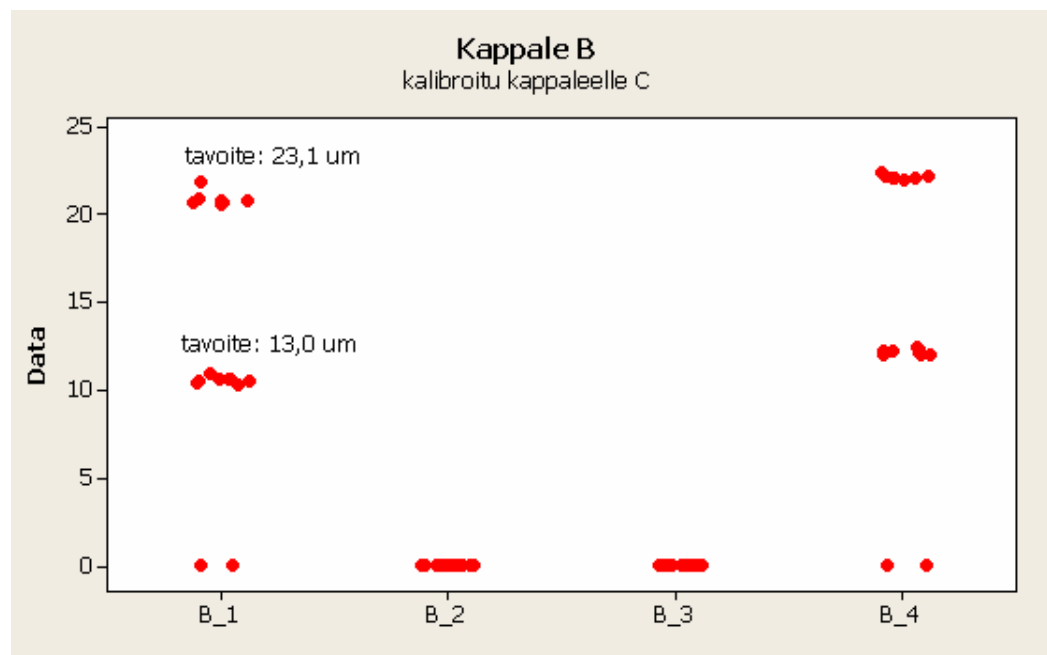


Mittakoneen testitulokset

Kappaleen B testitulosten keskiarvot ja -hajonnat:

Kappale B											
tavoite 0,0 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle			ei desimaaleja!
		keski- tulos (ka.)	hajont a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	
	mittapiste										
	1	0,00	0,00		0,00	0,00		0,0	0,0		
	2	0,00	0,00		0,00	0,00		0,0	0,0		
	3	0,00	0,00		1,03	0,08		0,7	0,4		
	4	0,00	0,00		0,00	0,00		0,0	0,0		
	keskiarvo		0,00			0,02			0,1		
tavoite 13,0 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle			ei desimaaleja!
		keski- tulos (ka.)	hajont a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	
	mittapiste										
	1	10,60	0,22	81,54	13,30	0,62	97,69	13,7	0,6	94,9	
	4	12,24	0,17	94,13	13,88	0,13	93,23	14,7	0,6	87,2	
	keskiarvo	11,42	0,19	87,84	13,59	0,38	95,46	14,2	0,6	91,0	
tavoite 23,1 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle			ei desimaaleja!
		keski- tulos (ka.)	hajont a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski- hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	
	mittapiste										
	1	20,91	0,45	90,54	24,55	0,64	93,72	24,3	0,5	95,0	
	4	22,16	0,13	95,92	25,55	0,33	89,39	26,0	0,0	87,4	
	keskiarvo	21,54	0,29	93,23	25,05	0,48	91,56	25,1	0,3	91,2	

Yksittäisten mittatulosten asettuminen mittapisteittäin tavoitteen ollessa 0,0 µm, 13,0 µm ja 23,1 µm:

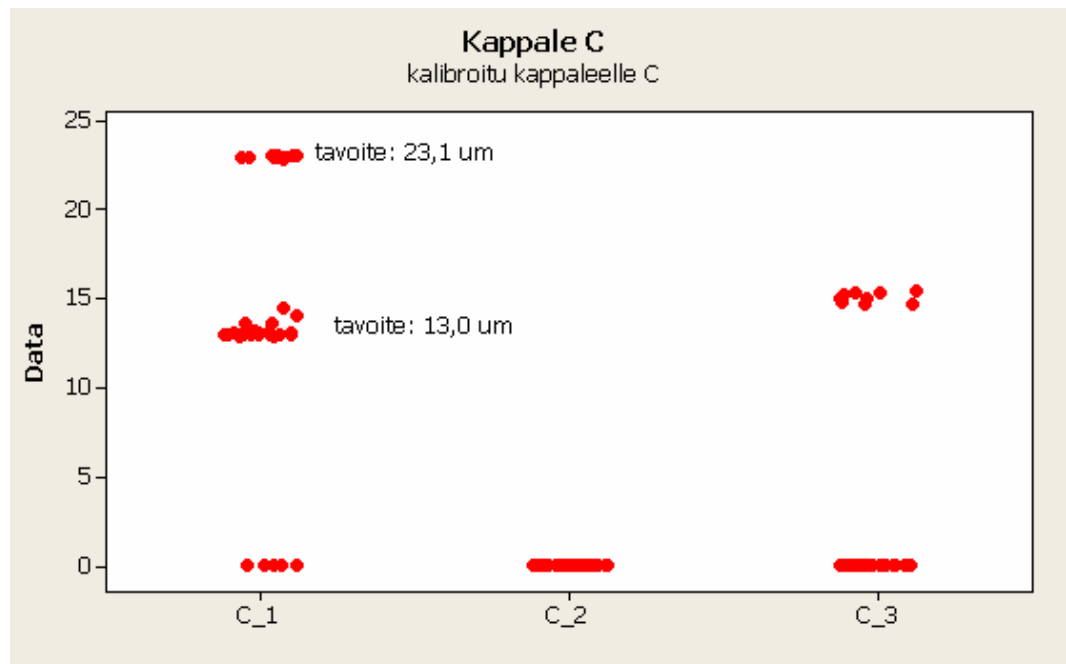


Mittakoneen testitulokset

Kappaleen C testitulosten keskiarvot ja -hajonnat:

Kappale C											
tavoite 0,0 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle			ei desimaaleja!
	mittapiste	tulos (ka.)	keski-hajonta a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	
	1	0,00	0,00		0,00	0,00		0,0	0,0		
	2	0,00	0,00		1,40	0,23		1,0	0,0		
	3	0,00	0,00		1,20	0,36		1,8	0,4		
	keskiarvo		0,00			0,20			0,1		
tavoite 13,0 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle			ei desimaaleja!
	mittapiste	tulos (ka.)	keski-hajonta a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	
	1	13,19	0,29	98,52	15,90	0,21	77,69	16,0	0,0	76,9	
	3	15,06	0,26	84,15	-	-	-	-	-	-	
	keskiarvo	14,13	0,27	91,34	15,90	0,21	77,69	16,0	0,0	76,9	
tavoite 23,1 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle			ei desimaaleja!
	mittapiste	tulos (ka.)	keski-hajonta a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	
	1	22,93	0,07	99,26	26,94	0,05	83,38	27,0	0,0	83,1	
	keskiarvo	22,93	0,07	99,26	26,94	0,05	83,38	27,0	0,0	83,1	

Yksittäisten mittatulosten asettuminen mittapisteittäin tavoitteen ollessa 0,0 µm, 13,0 µm ja 23,1 µm:



Mittakoneen testitulokset

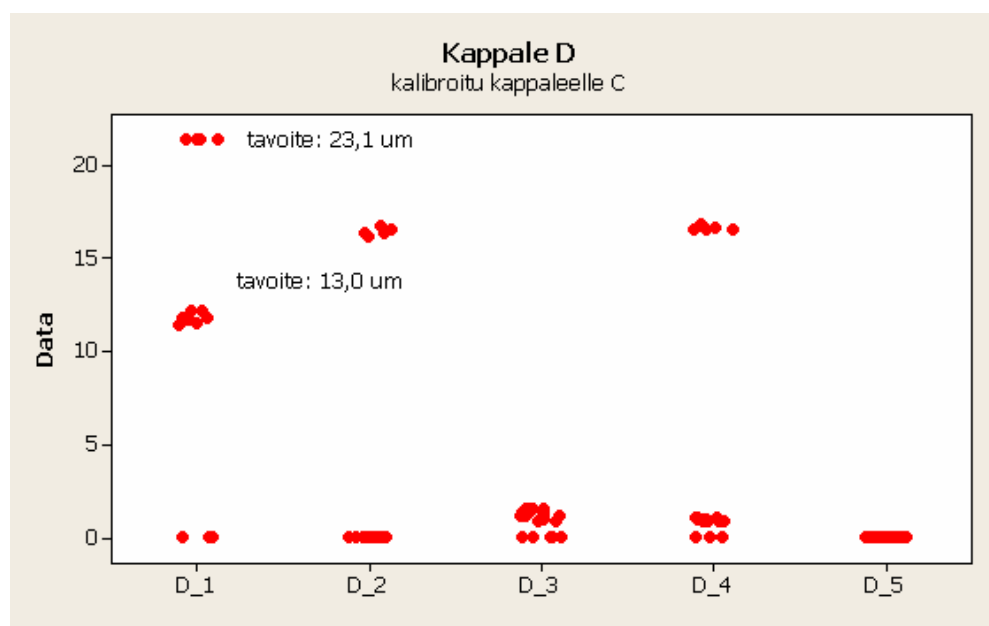
Kappaleen D testitulosten keskiarvot ja -hajonnat:

Kappale D										
tavoite 0,0 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle		ei desimaaleja! tavoitteeseen
		tulos (ka.)	keski-hajonta a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	
mittapiste										
1		0,00	0,00		0,00	0,00		0,0	0,0	
2		0,00	0,00		0,07	0,15		0,1	0,2	
3		0,82	0,24		1,71	0,81		1,5	0,7	
4		0,80	0,17		1,54	0,07		1,5	0,4	
5		0,00	0,00		0,94	0,38		0,2	0,4	
keskiarvo			0,08			0,28			0,3	

tavoite 13,0 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle		ei desimaaleja! tavoitteeseen
		tulos (ka.)	keski-hajonta a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	
mittapiste										
1		11,80	0,13	90,77	13,80	0,19	93,85	14,0	0,0	92,3
2		16,30	0,20	74,62	-	-	-	-	-	-
4		16,53	0,06	72,82	-	-	-	-	-	-
keskiarvo		14,88	0,13	79,40	13,80	0,19	93,85	14,0	0,0	92,3

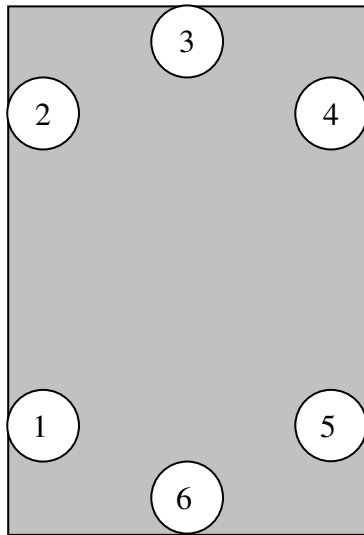
tavoite 23,1 µm	kalibrointi	kappaleelle C			palikalle			palikalle		ei desimaaleja! tavoitteeseen
		tulos (ka.)	keski-hajonta a	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	tavoitteeseen pääsy, % (ka.)	tulos (ka.)	keski-hajonta	
mittapiste										
1		21,40	0,00	92,64	24,78	0,08	92,73	25,0	0,0	91,8
keskiarvo		21,40	0,00	92,64	24,78	0,08	92,73	25,0	0,0	91,8

Yksittäisten mittatulosten asettuminen mittapisteittäin tavoitteen ollessa 0,0 µm, 13,0 µm ja 23,1 µm:

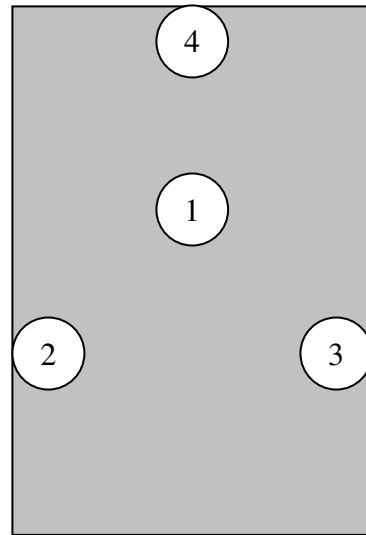


Mittapisteiden sijoittuminen eri mittakappaleissa

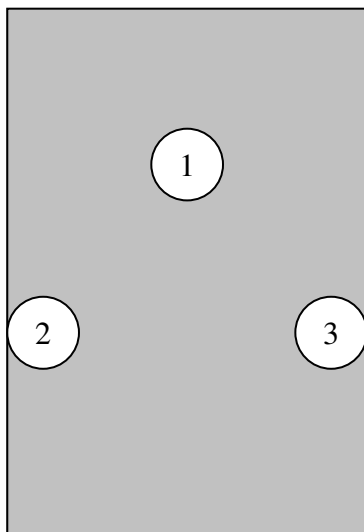
Mittakappale A:



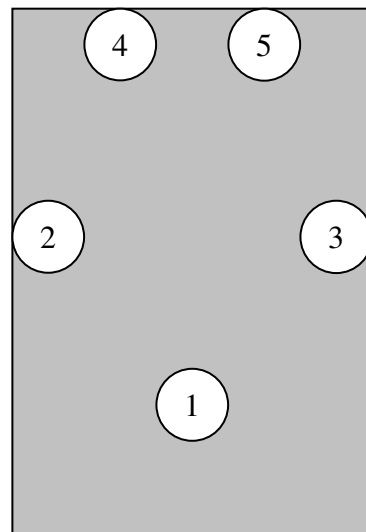
Mittakappale B:



Mittakappale C:



Mittakappale D:



Mittadataa kappaleesta B

Pinnoite 1:

Mittaus	Mittapiste				Keskiarvo	Keskihajonta
	1	2	3	4		
1	12,2	12,3	19,8	19,7	16,00	4,33
2	4,5	5,4	11,1	10,7	7,93	3,46
3	6,5	4,9	13,6	12,4	9,35	4,29
4	10,2	16,5	16,1	15,4	14,55	2,94
5	6,0	7,0	12,6	10,7	9,08	3,10
6	6,6	10,2	9,1	8,8	8,68	1,51
7	6,3	9,5	5,0	6,7	6,88	1,89
8	5,0	9,5	10,4	9,2	8,53	2,40
9	5,3	12,6	11,2	8,7	9,45	3,20
10	7,6	12,0	12,5	11,9	11,00	2,28
11	6,2	11,6	7,3	9,4	8,63	2,39
12	7,1	12,3	10,5	8,3	9,55	2,31
13	6,1	8,6	7,4	8,4	7,63	1,14
14	5,3	11,3	8,1	9,2	8,48	2,50
15	5,8	9,1	7,7	9,6	8,05	1,70
Keskiarvo	6,71	10,19	10,83	10,61		
Keskihajonta	2,02	3,01	3,79	3,27		

Pinnoite 2:

Mittaus	Mittapiste				Keskiarvo	Keskihajonta
	1	2	3	4		
1	25,0	27,2	25,6	30,1	26,98	2,28
2	33,0	28,6	32,7	44,7	34,75	6,93
3	23,7	20,3	27,5	28,0	24,88	3,60
4	16,1	21,3	20,9	19,9	19,55	2,37
5	21,0	31,7	26,3	26,8	26,45	4,37
6	26,5	31,0	33,6	32,3	30,85	3,09
7	24,5	37,2	32,0	34,5	32,05	5,46
8	21,3	25,9	28,3	26,1	25,40	2,94
Keskiarvo	23,89	27,90	28,36	30,30		
Keskihajonta	4,89	5,57	4,27	7,29		