
**TILASTOLLISEN PROSESSINOHJAUKSEN ALOITUS
EKSTRUUSIOLINJALLA**




Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Valkeakoski, 20.5.2010

Timo Tikkala



Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Valkeakoski

Työn nimi Tilastollisen prosessinohjauksen aloitus ekstruusiolinjalla

Tekijä Timo Tikkala

Ohjaava opettaja *Juhani Henttonen*

Hyväksytty _____._____.20____

Hyväksyjä

VALKEAKOSKI
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Timo Tikkala	Vuosi 2010
Työn nimi	Tilastollisen prosessinohjauksen aloitus ekstruusiolinjalla	

TIIVISTELMÄ

Työ tehtiin Bemis Valkeakoski Oy:lle. Tarkoituksena oli selvittää miten tilastollinen prosessinohjaus (SPC) soveltuu ekstruusiolinjalle yhtenä laadunvalvonnan työkaluna.

Tavoitteena oli saada mahdollisimman paljon kokemusta SPC:n käytöstä ja toimivuudesta joustopakkausten valmistusprosessissa. Kokemusten perusteella pyritään ottamaan tilastollinen prosessinohjaus käyttöön tehtaan muillakin linjoilla ja käyttämään sitä osana prosessien jatkuvaa laadunvalvontaa.

Työssä käytettiin apuna alan kirjallisuutta, jota on tarjolla melko runsaasti. SPC on ollut käytössä useilla aloilla jo 1950-luvulta lähtien ja sen juuret ovat vuosisadan alussa. Aineistona käytettiin laboratoriomittauksista saatuja tuloksia viimeisen kahdeksan kuukauden ajalta.

Työn ansiosta päästiin pois niin sanotusta ylioheamisesta, jossa prosessia muutetaan heti virheen sattuessa. Myös prosessissa tapahtuviin muutoksiin voidaan vaikuttaa valvontakortin avulla, ennen kuin spesifikaatorajat ylittyvät ja tuote on hylättävä.

Projektin perusteella voidaan sanoa, että SPC kannattaa ottaa osaksi jokapäiväistä laadunvalvontaa. Valvontakorttien avulla päästään kiinni mahdollisiin tuotannon poikkeamiin huomattavasti nopeammin ja aikaisemmassa vaiheessa kuin tällä hetkellä. Nyt odotetaan spesifikaatorajojen ylitystä tai konerikkoa ennen kuin asiaan reagoidaan. Valvontakorttien avulla voidaan ennakoida näitä asioita ja johdonmukaisesti selvittää, mistä ongelmat johtuvat, ennen kuin aiheutuu suurempaa konerikkoa tai laatuvirhettä.

Avainsanat SPC, Ohjauskortti, Erityiset syyt, Valvontarajat

Sivut 33 s. + liitteet 4 s.

VALKEAKOSKI
Automation

Author	Timo Tikkala	Year 2010
Commissioned by	Bemis Valkeakoski Oy	
Subject of Bachelor's thesis	Introduction of statistical process control in an extrusion line	

ABSTRACT

This work was commissioned by Bemis, Valkeakoski. The aim is to determine the suitability of statistical process control (SPC), and how it works on an extrusion line and in quality control as well as on other lines. The aim is to collect as much experience of SPC use and its usability as possible. This experience aims to enable the implementation of statistical process control in line with the other extrusion lines and use it as part of continuous quality control in processes.

The work has been used as a guide in the literature of the field, of which, there is a great deal. SPC has been used in several areas starting in the late 1950s to the 1980s and the beginning of the twenty-first century. We have used the last eight months' laboratory results as resource material.

Because of this study, we have solved the problem of so-called over controlling, which means that the process is being changed immediately if an error occurs. We can react to process changes by using the control charts before the specification limits are exceeded and the product needs to be rejected.

On the basis of the Project, it can be assumed that it is a good idea to start to use SPC as a part of daily quality control. In my opinion, we can use the control charts in this kind of process. At the moment, we wait for the specification limits to be exceeded or for the machine to breakdown before we react to the problem.

Keywords SPC, Control charts, Control limits

Pages 33 p. + appendices 4 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	YRITYSESITELY	2
3	TILASTOLLINEN PROSESSIN VALVONTA.....	3
3.1	SPC.....	3
4	SPC:SSÄ KÄYTETTÄVIÄ KÄSITEITÄ JA LYHENTEITÄ.....	4
4.1	Perusjoukko, alkio.....	4
4.2	Näyte, näyte-erä	5
4.3	Otos	5
4.3.1	Yksinkertainen satunnaisotos	5
4.3.2	Systemaattinen otos	5
4.3.3	Epäsuhtainen otos	5
4.4	Keskiarvo	6
4.5	Vaihteluväli	6
4.6	Keskihajonta.....	7
4.7	Koko perusjoukon hajonta	7
4.8	Näyte-erän keskihajonta.....	7
4.9	Valvontarajat	8
4.10	Toleranssirajat	8
4.11	Tavoitearvo.....	8
4.12	Suorituskykylluku	8
4.12.1	Maksimisuorituskykylluku	9
4.12.2	Koneen maksimisuorituskykylluku	9
4.12.3	Maksimitoimintakykylluku	9
4.12.4	Suorituskykylluku.....	10
4.12.5	Toimintakykylluku	10
5	PROSESSIN VAIHTELU, JAKAUMA JA HAJONTA	10
5.1	Normaalijakauma eli Gaussin jakauma.....	11
5.1.1	Tiheysfunktio.....	11
5.1.2	Kertymäfunktio.....	12
5.2	Prosessin jakauman tutkiminen.....	12
6	PROSESSIN HÄIRIÖT ELI SYYT	12
6.1	Yleinen syy.....	12
6.2	Eriytynen syy	12
6.3	α - ja β -virheet	13
7	VAKAA JA HALLINNASSA OLEVA PROSESSI	14
7.1	Vakaa prosessi.....	14
7.2	Hallinnassa oleva prosessi.....	14
8	VALVONTARAJAT	15
8.1	Valvontarajat käytön mukaan.....	15
8.1.1	Raporttivalvontarajat	15

8.1.2	Tuotantovalvontarajat	15
8.1.3	Jatkuvan parantamisen valvontarajat.....	16
8.1.4	Apuvalvontarajat	16
8.1.5	Pre-Controlvalvontarajat	16
8.2	Liukuva prosessi.....	16
8.3	Ajelehtiva prosessi	17
8.4	Valvontarajojen päivittäminen	17
9	VALVONTAKORTIT	17
9.1	Valvontakortit käytön mukaan	18
9.1.1	Raporttivalvontakortit.....	18
9.1.2	Säätövalvontakortit	18
9.1.3	Kokeiluvalvontakortit	18
9.1.4	Seurantavalvontakortit.....	18
9.1.5	Jatkuvan parantamisen valvontakortit	19
9.2	Muuttujakortit.....	19
9.3	Ominaisuuskortit	19
10	VALVONTAKORTTIEN KÄTTÖÖNOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN.....	20
10.1	Näyte-erän koko ja näytteenottoväli	22
10.2	Laskentatarkkuus.....	22
11	VALVONTAKORTTIEN TULKINTA JA TULKINTASÄÄNNÖT	22
11.1	Kuvaajien tulkintasäännöt	23
11.1.1	Valvontarajan ylittävä tulos.....	23
11.1.2	Seitsemän tuloksen suuntaus	24
11.1.3	Seitsemän tuloksen polku	24
11.1.4	Muut polut (n tulosta m:stä keskiarvon samalla puolella).....	25
11.1.5	Kaksi tulosta kolmesta yli 2 sigman rajan	26
11.1.6	Viisi tulosta yli 1 sigman rajan	26
11.1.7	Neljä tulosta viidestä yli saman 1 sigman rajan	27
11.1.8	Äkillinen tason muuttuminen	27
11.1.9	Hyppivät tulokset.....	28
11.1.10	Epänormaali jakauma	28
12	KÄYTÄNNÖN TUTKIMUS	29
12.1	Datan kerääminen.....	29
12.2	Datan tulkinta	29
13	PEEL-LUJUUS	30
14	TYÖN TULOKSET	31
14.1	Kohdatut ongelmat	31
15	JOHTOPÄÄTÖSET	32
LÄHTEET		33
Lähdekirjallisuus		33
Artikkelit.....		33

LIITE 1 Opalen hb 65 af peel valvontakortti

LIITE 2 Opalen 65 peel valvontakortti

LIITE 3 Opalen 55 af peel valvontakortti

LIITE 4 Opalen hb 65 uv af peel valvontakortti

1 JOHDANTO

Työn tilaaja Bemis Valkeakoski Oy halusi selvittää miten tilastollinen prosessin valvonta (SPC) soveltuisi laadunvalvonnan yhdeksi työkaluksi jatkuvassa prosessissa. Aikaisempia kokemuksia SPC:n käytöstä ei ollut, joten työn ensimmäisenä osa-alueena oli tehdä kattava teoriapaketti tilastollisesta prosessin valvonnasta. Toisena tavoitteena oli aloittaa SPC:n käyttöönottoprojekti ennakkoon valitulle ekstruusiolinjalle. Valittu linja valmistaa joustopakkauksia elintarviketeollisuuden käyttöön. Työn tuloksien perusteella päätetään, missä laajuudessa SPC otetaan yrityksessä käyttöön, sekä sen laajuudesta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on saada tietoa tilastollisen prosessinvalvonnan toimivuudesta joustopakkauksien valmistavan prosessin jatkuvassa laadunvalvonnassa.

2 YRITYSESITTELY

Bemis on perustettu St.Louisissa, Missourin osavaltiossa vuonna 1858. Yritys aloitti valmistamalla juutti- ja puuvillasäkkejä silloisen maatalouden tarpeisiin. Toisen maailmasodan aikana Bemis Bro. & Bag Company valmisti taisteluissa käytettäviä hiekkasäkkejä sekä vesitiiviitä pakkauksia sotilastarvikkeille.

Muovin käytön yleistyttyä 1950-luvulla rakennettiin jo olemassa oleviin tuotantolaitoksiin ekstruusiolinjoja jatkojalostustoimintoinen. 1960-luvulla yhtiö laajensi toimintaansa Eurooppaan perustamalla tehtaan Belgiaan. Samalla yhtiön nimi vaihtui yksinkertaisempaan muotoon Bemis Company, Inc. Vuonna 1966 Bemis Company, Inc listattiin New Yorkin pörssiin.

1970-luvulla yhtiö jakoi toimialueensa kolmeen osaan: polyeteenipakkaus, paperituotteet ja erikoistuotteet. Howard Curlin tullessa yrityksen johtoon tytäryhtiö Curwoodista 1977 alkoi muovituotteiden kehitys ja valmistus lähteä huimaan nousuun. Uusia tuotantolinjoja kehitettiin valmistamaan erityisesti juuston, lihan ja muiden elintarvikkeiden pakkaamiseen soveltuvaa kalvoa. 1980-luvulla myytiin tekstiilejä valmistavat toiminnot, koska haluttiin keskittyä kasvavaan ydinalueeseen. Tässäkin työssä keskeinen peel-kalvo kehitettiin vuonna 1987.

Toiminta laajeni 1990-luvulla, kun alettiin valmistaa pakkausmateriaaleja myös lääketeollisuudelle. Myös seitsemänkerroksinen ICE-kalvo lihan ja juuston pakkaamiseen on 1990-luvun tuotekehityksen tulos. Vuonna 2002 Bemis osti Valkeakoskella toimivan Walki Filmsin tehtaan.

Nykyään Bemis Company työllistää noin 16 000 ihmistä neljällä eri mantereella, Pohjois-Amerikassa, Etelä-Amerikassa, Euroopassa ja Aasiassa, yhteensä 56 eri maassa. Säkät ovat nykyään vaihtuneet joustopakkausiiin ja tarraliiketoimintaan.

Valkeakoskella toimiva Bemis Valkeakoski Oy kuuluu joustopakkauksia valmistavan Bemis Europe flexible packagingin alaisuuteen. Näistä Bemisin yksiköistä Valkeakosken toimipaikka on Euroopan suurin eikä Suomessa ole muita Bemisin tehtaita. Työntekijöitä Valkeakosken yksikössä on noin 330. Valkeakoskella valmistettavat tuotteet ovat pääasiassa tuoreiden ja esikypsytettyjen elintarvikkeiden pakkaamiseen tarvittavia tuotteita. Esipaistetut patongit ja tuoreet lihatuotteet kuuluvat näihin elintarvikkeisiin. Yli 50 % Bemis European liikevaihdosta tulee Valkeakoskella tehtävistä tuotteista.

(Valkeakosken Sanomat 3.9.2009, Bemis Company www-sivut)

3 TILASTOLLINEN PROSESSIN VALVONTA

Prosessin laatua ja sen muutoksia on hyödyllistä seurata, jotta normaalista poikkeava tilanne havaittaisiin, ennen kuin tuotteen laatuun aiheutuu suurempia ongelmia. Tilastollisina menetelminä voidaan pitää kaikkia menetelmiä, joissa havaintoja käsitellään joukkona, eikä päätöksiä tehdä yksittäisten havaintojen perusteella. Toisin sanoen, jos voit ennakoida tilanteen hyvissä ajoin etukäteen, on siihen helpompi reagoida. (Salomäki 1999,166)

3.1 SPC

SPC (Statistical Process Control) on käytännössä vakiintunut tapa toteuttaa prosessin laadunvalvontaa tilastollisia menetelmiä soveltaen. SPC tarkoittaa laajasti tulkittuna kaikkia menetelmiä, joilla saadaan tilastollista pohjaa prosessin ohjaamiseen liittyvälle päätöksenteolle. Tärkein näistä välineistä on valvontakortti.

Käsiteltävien havaintojen määrä on aina rajallinen, mutta tilastotieteen keinoin niistä voidaan muodostaa matemaattisia malleja. Näiden mallien avulla voidaan ennakoida prosessin käyttäytymistä.

SPC:n idea lähtee siitä, että prosessissa on olemassa yleisiä ja erityisiä syitä. Huono prosessi ei kehity, jos jokaisen virheellisen tuotteen perusteella prosessia säädetään. Päinvastoin, asiat karkaavat käsistä. Prosessia tulee säätää vaihtelun keskiarvon mukaan ja sen suorituskyky mitata vaihtelun leveyden avulla. Jos vaihtelu on liian suuri, on prosessia kehitettävä, kunnes vaihtelu mahtuu vaatimusten rajoihin. Suorituskykyisissä prosesseissa normaali vaihtelu mahtuu vaatimuksiin, ja poikkeavien tapausten taustalta löytyy erityisyyttä. Erityisyyt tulee tutkia yksittäistapauksina ja poistaa ne tekemättä muita muutoksia prosessiin.

Tilastollisen laadunkehitystoiminnan isänä pidetään amerikkalaista Walter Andrew Shewhartia (1891 – 1967). W.A. Shewhart on eräs merkittävimmistä teolliseen laatuun vaikuttaneista henkilöistä. SPC:n idean hän kehitti jo 1920-luvulla työskennellessään puhelimia valmistaneen Western Electricin tehtaalla 1918 – 1924. Historiaan on merkkipaaluksi kirjattu 16. toukokuuta 1924, jolloin hän esitteli ensimmäisen valvontakortin esimiehelleen.

Shewhart tutki laadunvalvonnan tuloksia tilastollisesti, ja havaitsi tulosten käyttäytyvän normaalijakautuman mukaisesti. Hän keksi, että ongelmat johtuivat liian suuresta prosessin vaihtelusta. Prosessit eivät yksinkertaisesti pystyneet täyttämään asetettuja vaatimuksia. Säättäminen yksittäisten tulosten perusteella sai aikaan lisää vaihtelua. Huonossakin prosessissa voi syntyä hyvä tuote, mutta lähinnä se oli jakauman lakeja noudattavaa satumaa.

Monessa hyvässäkin prosessissa saattaa yllättäen ja normaalin vaihtelun ylittäen syntyä huono tuote. Tällaisessa tapauksessa huonon tuotteen syntyminen johtui jostain prosessin ulkopuolelta ilmestyneestä häiriöstä, joka oli tunnistettavissa ja poistettavissa. Tämän jälkeen prosessi palautui taas normaaliksi.

SPC:tä sovellettiin II maailmansodan aikana sotateollisuuteen. Esimerkiksi Normandian maihinnousussa käytetyt patruunat testattiin perusteellisin tilastollisin menetelmin. Japanilaiset ottivat SPC:n käyttöön 1950-luvulla, jonka avulla Japanilainen teollisuus kohosi tehokkaaksi ja laadukkaaksi. Länsimaissa tilanne huomattiin 1970-luvulla, kun yritysjohtajat hämmästyivät japanilaisten tavasta käyttää SPC:tä ja tehdä jatkuvaa työtä pienten parannusten aikaansaamiseksi. Suomessa SPC:n teoria tunnettiin, mutta sen tehokkaaseen käyttöönottoon meni lähes 20 vuotta. Todelliseen käyttöön Suomessa SPC tuli tutuksi 80- ja 90-lukujen vaihteessa kansainvälisen yhteistyön ja asiakkaiden vaatimusten myötä. (Salomäki 1999,167,170, 171)

4 SPC:SSÄ KÄYTETTÄVIÄ KÄSITEITÄ JA LYHENTEITÄ

SPC:ssä käytetään runsaasti erilaisia käsitteitä ja lyhenteitä. Osa näistä liittyy matematiikkaan, jolloin ne ovat vakiintuneita, esimerkkinä keskiarvo \bar{x} . Suurin osa lyhenteistä tulee englanninkielisistä sanoista, koska ne ovat käytössä vakiintuneet, ja niiden omaksuminen helpottaa kirjallisuuden ja tietokoneohjelmien käyttöä. Joissain suomenkielisissä teksteissä puhutaan lyhenteistä YOR (YläOhjausRaja) tai YVR (YläValvontaRaja). Nämä lyhenteet eivät ole vakiintuneet, kuten englanninkielinen termi UCL (Upper Control Limit). Sama tilanne on korttien lyhenteissä. Esimerkiksi liukuvan vaihteluvälin kortista käytetään lyhennettä MR = Moving Range.

SPC:n tärkeimmästä työkalusta, valvontakortista käytetään myös nimityksiä ohjaukortti ja säätökortti. Tämä johtuu englanninkielisen sanan ”control” erilaisista käännöksistä. (Salomäki 1999,177, 178)

4.1 Perusjoukko, alkio

Perusjoukko tarkoittaa koko tutkittavaa joukkoa. Esimerkiksi kaikki valmistuneet ja tulevaisuudessa valmistettavat samanlaiset tuotteet muodostavat perusjoukon, populaation.

Alkio on yksittäinen perusjoukon osa.

4.2 Näyte, näyte-erä

SPC:ssä näyte-nimitystä käytetään yksittäisestä tuloksesta ja yhdessä käsiteltävistä näytteistä nimitystä näyte-erä. Prosessista ei tehdä johtopäätöksiä yhden näytteen tai näyte-erän perusteella, vaan on kerättävä useita näyte-eriä ennen tilastollista tarkastelua. Näyte-erä voi käsittää yhden tai jopa tuhansia näytteitä.

4.3 Otos

Otos on menettylytapa, joissa sattuma ratkaisee mitkä yksilöt tai tapaukset valitaan tutkittaviksi. Näin muodostetusta ryhmästä käytetään nimeä otos.

4.3.1 Yksinkertainen satunnaisotos

Yksinkertainen satunnaisotos (YSO) poimitaan arpomalla, vaikkapa lapupuina hatusta. Jos perusjoukko on luetteloitu tietokoneelle, kone voi suorittaa arpomisen. Jos perusjoukko on hyvin suuri ja se ennestään jakautuu osajoukkoihin (ryppäisiin), joista kunkin sisältö on luetteloitu, voi olla käytännöllistä tehdä otanta kahdessa vaiheessa ryväotantana. Tällöin poimitaan ensin satunnaisesti sopiva määrä ryppäitä ja sitten kunkin ryppään sisältä satunnaisesti lopullinen otos.
(<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/052.htm>)

4.3.2 Systemaattinen otos

Systemaattinen otos on suuressakin perusjoukossa helppo toteuttaa myös ilman tietokonetta. Jos otantasuhteeksi on valittu 1:k, perusjoukon jäsenten luettelon alusta ensin erotetaan k ensimmäistä yksilöä ja valitaan arpomalla näistä yksi otokseen. Siitä lähtien otokseen poimitaan luettelosta joka k:s yksilö. Tällaisen otoksen edustavuus on yhtä hyvä kuin YSO:n, paitsi siinä harvinaisessa tapauksessa, että jokin perusjoukon tärkeä ominaisuus tai virhe sattuisi toistumaan perusjoukossa taajuudella k.
(<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/052.htm>)

4.3.3 Epäsuhtainen otos

Epäsuhtaista otosta kannattaa harkita, kun perusjoukossa on jokin pieni, mutta tärkeä ryhmä, jolloin yksinkertainen satunnaisotos saattaisi jäädä kokonaan ilman tällaisen pienen ryhmän edustajaa.
(<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/052.htm>)

4.4 Keskiarvo

SPC:ssä käytetään yleensä aritmeetista keskiarvoa. Tämä saadaan laske-
malla kaikki mittaustulokset yhteen ja jakamalla summa yhteenlaskettujen
tulosten lukumäärällä. Keskiarvosta käytetään joskus eri tapauksissa eri
merkkiä riippuen siitä, millaisen erän keskiarvoa tarkoitetaan. Kaava 1.

KAAVA 1 *Näyte-erän keskiarvo*

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

\bar{x} = Yksittäisten näytteiden tai näyte-erän keskiarvo

$\bar{\bar{x}}$ = Näyte-erien keskiarvojen keskiarvo

μ = Perusjoukon keskiarvo

n = näytteiden määrä

4.5 Vaihteluväli

Vaihteluväli R tarkoittaa havaintoaineiston suurimman ja pienimmän tu-
loksen välistä erotusta. Vaihteluväliä kuvaava luku on aina nolla tai suu-
rempi positiivinen luku. Vaihteluväli lasketaan näyte-erän suurimman ja
pienimmän arvon erotuksena. Kaava 2

KAAVA 2 *Vaihteluväli*

$$R_n = \max(x_{n1}; x_{n2}; \dots; x_{nk}) - \min(x_{n1}; x_{n2}; \dots; x_{nk})$$

n = näyte-erän järjestysnumero

k = näyte-erän näytemäärä

Liukuva vaihteluväli MR tarkoittaa näytteen ja edellisen näytteen tai näy-
te-erän keskiarvon ja edellisen näyte-erän keskiarvon erotuksen itseisar-
voa. Kaava 3.

KAAVA 3 *Liukuva vaihteluväli*

$$MR_n = |x_n - x_{n-1}|$$

n = näyte-erän järjestysnumero

4.6 Keskihajonta

Keskihajonta on matemaattisesti määritelty tunnusluku, joka ilmaisee tulosten leviämisen keskiarvonsa molemmin puolin. Suuri keskihajonta merkitsee, että tulokset hajaantuvat laajemmalle alueelle.

4.7 Koko perusjoukon hajonta

Keskihajonnan tunnus on σ (sigma), kun tarkoitetaan koko perusjoukon hajontaa. Kun keskihajonta lasketaan koko perusjoukosta, on kaavassa 4 jakajana koko perusjoukon lukumäärä N .

KAAVA 4 *Koko perusjoukon hajonta*

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

σ = perusjoukon keskihajonta
 N = perusjoukon koko
 x_i = yksittäisen näytteen mittaustulos
 \bar{x} = mittaustulosten keskiarvo

4.8 Näyte-erän keskihajonta

Koko perusjoukkoa (s) ei voida käytännössä mitata, vaan joudutaan tyytymään rajalliseen määrään mittauksia ja niiden perusteella arvioimaan (estimoimaan) hajonta. Keskihajonta joudutaan siis käytännössä laskemaan tunnetusta ja rajallisesta tulosjoukosta, esimerkiksi näyte-erästä. Näyte-erästä lasketun keskihajonnan tunnus on s -kirjain. Kun keskihajonta lasketaan näyte-erästä (mm x_i/s -kortissa), käytetään kaavaa 5. (Salomäki 1999,181)

KAAVA 5 *Näyte-erän keskihajonta*

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

s = näyte-erän keskihajonta
 n = näyte-erän koko
 x_i = yksittäisen näytteen mittaustulos
 \bar{x} = mittaustulosten keskiarvo

4.9 Valvontarajat

Valvontarajat eli ylävalvontaraja (Upper Control Limit, UCL) ja alavalvontaraja (Lower Control Limit, LCL) määritellään mittaustulosten perusteella lasketun keskihajonnan estimaatin avulla. Normaalisti rajat sijoitetaan symmetrisesti keskiarvon molemmin puolin kolme kertaa keskihajonnan estimaatin etäisyydelle. Tällöin niiden väli kattaa 99,73 % kaikista tuloksista. (Salomäki 1999,183)

4.10 Toleranssirajat

Ylätoleranssiraja = USL (Upper Specification Limit)

Alatoleranssiraja = LSL (Lower Specification Limit)

Spesifikaatiossa tuotteelle määritelty ylä- ja alaraja, jonka ylittävä tai alitettava tuote on hylättävä tai muuten erikseen tarkasteltava ennen hyväksymistä. Spesifikaatio voi määritellä myös vain toisen rajan, jolloin kyseessä on minimi- tai maksimiarvo. (Salomäki 1999,183)

4.11 Tavoitearvo

Tavoitearvo (T) on normaalisti toleranssirajojen keskellä tai yksipuolisen toleranssin tapauksessa mahdollisimman kaukana. Tilastolliset menetelmät ovat ainoa keino määriteltäessä kuinka lähelle toleranssirajaa prosessin voi turvallisesti ohjata. (Salomäki 1999,184)

4.12 Suorituskykyluku

Suorituskykyluku kuvaa prosessista tai tuotteista mitattuja toteutuneita mittoja tilastollisessa suhteessa vaatimukseen eli toleransseihin. Se kuvaa myös prosessin kykyä tehdä vaatimuksen mukaisia tuotteita. Suorituskykyluvut C_p ja C_{pk} voidaan laskea vain prosesseille, jotka ovat hallinnassa ja tulokset muodostavat lähes normaalijakauman. (Salomäki 1999,184, 195)

4.12.1 Maksimisuorituskyky

C_p (Capability index) kuvaa, mihin prosessi toleranssivaatimukseen nähden teoriassa pystyy. Toleranssialue jaetaan kuusikertaisella prosessin keskihajonnan estimaatilla (Kaava 6), joka on prosessin vaihtelun 99.73-prosenttisesti kattava alue. (Salomäki 1999,195)

KAAVA 6 *Maksimisuorituskyky*

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}}$$

4.12.2 Koneen maksimisuorituskyky

Ennen koneen maksimisuorituskykyluvun C_m laskemista on varmistettava, että materiaali (raaka-aine) on mahdollisimman tasalaatuista, esimerkiksi samaa materiaalierää. Määrittämisen aikana konetta ei saa säätää tai tehdä muita toimenpiteitä, joita ei normaalisti tehdä jokaisen tuotteen välillä. Myöskään mittavälineitä ei saa säätää ja koneenhoitajana tulee olla koko ajan sama henkilö. Mittaustuloksia C_m :n määrittämiseen tarvitaan vähintään 50 kappaletta.

C_m on käyttökelpoinen koneen kalibrointivälineenä. Säännöllisten suorituskyvyn määrittämisen avulla saadaan tilastollisesti luotettavaa tietoa koneen kunnosta ja sen säilymisestä.

Käytännössä C_m määritetään peräkkäisten tuotteiden mittaustulosten avulla ja tuloksia on käytettävänä paljon. Tässä tapauksessa mittaustuloksia voidaan käsitellä yhtenä näyte-eränä, josta lasketaan tulosten keskihajonta. (Salomäki 1999,199)

KAAVA 7 *Koneen maksimisuorituskyky*

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_t}$$

$\hat{\sigma}_t$ = kokonaiskeskihajonta

4.12.3 Maksimitoimintakyky

Maksimitoimintakyky P_p kuvaa maksimisuorituskykyluvun tavoin sitä, mihin prosessi vaatimukseen nähden teoriassa pystyy.

4.12.4 Suorituskykyluku

C_{pk} on koneen todellinen suorituskykyluku (Kaava 8). C_{pk} voidaan määrittellä vain, jos prosessi on tilastollisesti hallinnassa ja lähes normaalijakautunut. Yleisesti pidetään hyvän prosessin vaatimuksena suorituskykyä, jossa $C_{pk} > 1,33$. Tämä sallii pienen häiriön ennen toleranssirajan ylittymistä. (Salomäki 1999,198)

KAAVA 8 *Suorituskykyluku*

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

T = prosessin tavoitearvo, joka on useimmiten toleranssin keskellä
 \bar{x} = prosessin mittaustulosten keskiarvo

4.12.5 Toimintakykyluku

P_{pk} eli Performance index on tunnusluku, jonka laskennassa käytetään kaikki käytettävissä olevat tulokset. Tuloksista ei ole poistettu erityisyyttä tai muita vastaavia tilanteita. Erityisyyt on siis hyväksytty osaksi prosessia, mutta ne on tunnistettu ja hallinnassa. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi raaka-aineiden välillä oleva vaihtelu.

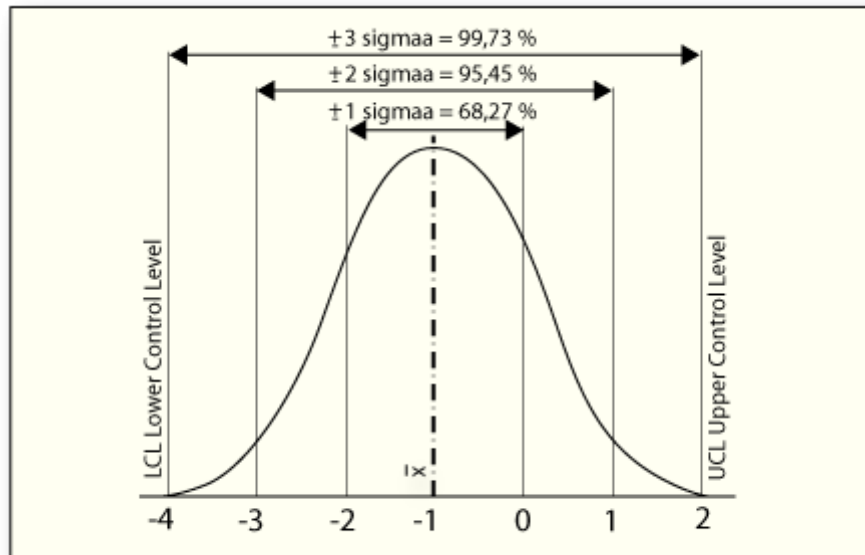
Hyväksyttävänä prosessin P_{pk} :n rajana pidetään lukua 1,67(Salomäki 1999, 200, 201)

5 PROSESSIN VAIHTELU, JAKAUMA JA HAJONTA

Vaihtelulla on säännönmukaisuutta, jota tutkimalla saadaan lisää tietoa prosessista. Yksi tulos ei ole vielä kovin arvokas, mutta keräämällä niitä riittävästi saadaan selville prosessin tunnuslukuja. SPC perustuu prosessin käyttäytymisen tutkimiseen ja epänormaalien tilanteiden erityisesti juuri vaihtelun muutoksista.

5.1 Normaalijakauma eli Gaussin jakauma

SPC:n käyttämän keskeisen käsitteen, normaalijakauman, keksi saksalainen matemaatikko ja fyysikko Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855). Satunnaisvaihtelun säännönmukaisuutta koskevaa lakia kutsutaan gaussin jakaumaksi ja sen viiva esitystä eli tiheysfunktion kuvaajaa Gaussin käyräksi eli kellokäyräksi (KUVA 1, <http://www.kotiposti.net/tuurala/Kuvat>).



KUVA 1 Gaussin käyrä

5.1.1 Tiheysfunktio

Mille tahansa perusjoukolle voidaan laskea tiheysfunktio, kun tunnetaan keskiarvo ja keskihajonta. Normaalijakauman tiheysfunktio on jatkuva käyrä, joka muodostaa kellomaisen kuvion. Gaussin käyrän korkeus ja leveys riippuu keskihajonnasta. Hajonnan ollessa pieni, on käyrä kapea ja terävähuippuinen. Hajonnan kasvaessa käyrä levenee ja loivenee. Käyrän ja x-akselin väliin jäävän alueen pinta-ala on yksi.

Esimerkiksi kellokäyrän huipun kautta vedetty pystyviiva jakaa pinta-alan kahteen alueeseen, joiden pinta-ala on 0,5. Todennäköisyys, että tulos esiintyy kummallakin alueella on 50 %. Kun rajataan alue, joka kattaa $\pm 3\sigma$:n suuruisen alueen, on sen pinta-ala 0,9973, eli tulokset sattuvat sille välille 99,73 prosentoin todennäköisyydellä. (Salomäki 1999, 185)

5.1.2 Kertymäfunktio

Kertymäfunktio on summakäyrä, jonka arvo vastaa kullakin x :n arvolla pinta-alaa, joka on tiheysfunktion vastaavalle kohdalle piirretyn pystysuoran ja käyrän väliin vasemmalle jäävä pinta-ala. Tiheysfunktion ja histogrammin avulla voidaan arvioida minkä tahansa havaintojoukon normaaliutta ja laskea, millä todennäköisyydellä tulokset myöhemmin osuvat määrättyihin rajoihin. (Salomäki 1999, 185)

5.2 Prosessin jakauman tutkiminen

Jakauman muotoa kuvaava histogrammi on tarkastelun tärkein graafinen apuväline. Muutaman yksittäisen tuloksen perusteella ei vielä voida histogrammia ja luotettavia johtopäätöksiä prosessista. Kun tuloksia alkaa kertyä joitakin kymmeniä, jakauman muoto alkaa tulla näkyviin. Normaalijakauman leveyttä kuvaa keskihajonnan arvo.

Jakauman vinous tai muu normaalista poikkeava muoto kuvaa prosessin vaihtelun luonnetta. Prosessin jakauman normalisuutta voidaan selvittää vertaamalla histogrammia silmämääräisesti normaalijakauman käyrään.

6 PROSESSIN HÄIRIÖT ELI SYYT

SPC:n keskeisin kysymys on, miten tunnistaa prosessista erityiset ja yleiset syyt vaihtelun ja ongelmien lähteinä ja miten reagoida oikein eri tilanteissa. Tämä syiden ryhmittely mahdollistaa tehokkaat ja oikeisiin kohteisiin suunnatut toimenpiteet. (Salomäki 1999, 192)

6.1 Yleinen syy

Prosessissa oleva häiriösuure voi olla koko ajan vaikuttava yleinen syy, jolloin se aiheuttaa prosessin luonnollista vaihtelua, kohinaa. Kohina vaihtelee keskiarvonsa ympärillä niin, että tulokset muodostavat normaalijakauman. Kohinalle voidaan määritellä matemaattisesti varsin luotettavat rajat, jotka kuvaavat prosessin luonnollisen vaihtelun suuruutta. Rajat määritellään mittaamalla kohisevia tuloksia ja määrittelemällä niiden vaihtelun rajat.

6.2 Erityinen syy

Erityinen syy ei ole normaalisti mukana prosessissa. Yleensä tämä näkyy luonnollisesta vaihtelusta poikkeavana piikkinä. Itse prosessia ei saa signaalin perusteella säätää, vaan on löydettävä tämän syyn aiheuttaja ja poistettava sen vaikutus prosessista. Lisäksi on pyrittävä löytämään keinot häiriön uusiutumisen estämiseksi. (Salomäki 1999, 193)

6.3 α - ja β -virheet

α -virhe tehdään, jos reagoidaan väärin, esimerkiksi säädetään prosessia, vaikka kyseessä on ulkoinen häiriö (huono raaka-aine). Tätä sanotaan myös yliohtaukseksi, joka aiheuttaa turhia hylkäyksiä ja säätöjä sekä riskinä prosessin hajonnan kasvamiseen.

β -virhe tehdään, jos jätetään reagoimatta, esimerkiksi prosessin poikkeama tulkitaan erityisyyksi, eikä prosessia laiteta kuntoon. Tämä saattaa aiheuttaa prosessissa olevan ongelman kasvun, kunnes ollaan todella vaikeuksissa.

α - ja β -virheen mahdollisuus liittyy läheisesti valvontarajojen määrittelyyn ja siten mm. jakauman tulkintaan. Käytännön prosesseissa vaihtelu ei koskaan noudata tarkoin normaalijakaumaa. Tämän takia valvontarajoja ei voida määrittellä täsmällisesti, joten tarkkaa rajaa yleisten ja erityisten syiden välillekään ei voida vetää. (Salomäki 1999, 194)

7 VAKAA JA HALLINNASSA OLEVA PROSESSI

Seuraavassa esitellään vakaan ja hallinnassa olevan prosessin ominaisuuksia ja tunnusmerkkejä.

7.1 Vakaa prosessi

Prosessi on vakaa, jos sen keskiarvo ja vaihtelu tai liukuvassa prosessissa suuntaus ja vaihtelu säilyvät lähes muuttumattomina. Vaihtelu keskiarvon ympärillä aiheutuu vain yleisistä syistä. Prosessi voi olla vakaa, vaikka se ei olisi suorituskykyinen. Tällöin luonnollinen vaihtelu on liian suuri. (Salomäki 1999, 194)

7.2 Hallinnassa oleva prosessi

Hallinnassa oleva prosessi on perusteltavissa tilastollisesti. Kun prosessi on hallinnassa:

- yksikään havainto ei sijaitse yli valvontarajan tai muitakaan erityisyyksi luettavia tilanteita ei ole
- noin kaksi kolmasosaa tuloksista on valvontarajojen välin keskimmäisellä kolmanneksella
- keskiarvon ala- ja yläpuolella sijaitsee suunnilleen sama määrä tarkastelujakson tuloksista.

8 VALVONTARAJAT

Kerätyille havainnoille voidaan tilastotiedettä soveltaen laskea rajat, joiden sisään havainnoista jää tilastollisesti määrätty osuus. Käytännössä tämä määrittäminen on osoittautunut toimivaksi.

Ongelmana valvontarajojen määrittelyssä on, että rajallisen tietomäärän (näytteiden) perusteella olisi tehtävä johtopäätöksiä koko tutkimuksen kohteena olevasta prosessista. Tämän takia valvontarajojen ja suorituskykylukujen laskenta perustuu keskihajonnan estimaattiin ($\hat{\sigma}$). Vaikka tuloksien graafinen esittäminen on tehokkaampaa, kuin pelkillä numeroilla esittäminen, ei johtopäätöksiä saisi tehdä ilman tilastollisia määritelmiä. Avuksi tarvitaan vähintään keskiarvo ja valvontarajat. Esimerkiksi ylä- ja alatoleranssirajat lasketaan seuraavasti (KAAVA 9).

KAAVA 9 *Valvontarajat*

$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \bar{\bar{x}} + 3\hat{\sigma} \\ \text{LCL} &= \bar{\bar{x}} - 3\hat{\sigma} \end{aligned}$$

$\bar{\bar{x}}$ = havaintojen keskiarvo

$\hat{\sigma}$ = prosessin keskihajonnan estimaatti

8.1 Valvontarajat käytön mukaan

Valvontarajat voidaan jakaa viiteen ryhmään niiden käyttötarkoituksen mukaan.

8.1.1 Raporttivalvontarajat

Raporttivalvontarajat ovat ensimmäiset rajat, jotka muodostetaan, kun käytössä riittävä määrä mittaustuloksia, jotka on kerätty esimerkiksi mitausraporteista tai ajopäiväkirjoista. Näiden rajojen avulla voidaan arvioida prosessin nykytilaa miten asiat ovat tähän mennessä sujuneet. Raporttivalvontarajoja laskettaessa mukana ovat kaikki tulokset ja vaihtelu. Myös erityisyydet ja mittausjärjestelmästä johtuvat syyt ovat mukana. (Salomäki 1999, 208)

8.1.2 Tuotantovalvontarajat

Kun erityisyys on poistettu ja prosessi in hallinnassa voidaan prosessille määrittää tuotantovalvontarajat. Ne voivat olla pysyvät, joita käytetään hyväksi prosessin hallinnassa, tai siihen asti, kunnes prosessi muuttuu ja rajat on päivitettävä uudelleen. (Salomäki 1999, 208)

8.1.3 Jatkuvan parantamisen valvontarajat

jatkuvan parantamisen valvontarajat ovat periaatteessa samat kuin tuotantovalvontarajat, mutta näitä päivitetään aktiivisesti. Tavoitteena on hajonnan pienentäminen, joka näkyy valvontarajojen lähestymisenä vaihtelun keskiarvoa. Rajat voidaan päivittää eli laskea uusiksi aina, kun mukaan otettu mittaustulos on todettu normaaliksi. (Salomäki 1999, 209)

8.1.4 Apuvalvontarajat

Valvontakortin lukemisen helpottamiseksi voidaan määritellä erilaisia apurajoja. Esimerkiksi yhden ja kahden sigman rajat ovat tällaisia. (Salomäki 1999, 209)

8.1.5 Pre-Controlvalvontarajat

Pre-Control-menetelmää käytettäessä rajataan toleranssialueesta ylin ja alin neljännes pysäytysrajoiksi nimitetyillä rajoilla. Menetelmää ei ole yleensä luokiteltu SPC:ksi, mutta se perustuu tilastolliseen todennäköisyyteen.

8.2 Liukuva prosessi

Liukuvalla prosesilla tarkoitetaan tilannetta, jossa mittaustulosten keskiarvo siirtyy jonkin luonnollisen syyn seurauksena kohti toleranssirajaa tai pois päin siitä. Tuloksissa ilmenee tällöin nouseva tai laskeva suuntaus. Esimerkiksi nesteen viskositeetti muuttuu sen vanhetessa tai reiän koko pienenee terän kuluessa.

Liukumisen vuoksi SPC:n soveltaminen on näissä tilanteissa hankalaa. Valvontarajoja ja suorituskykyä ei voida määritellä normaalin kortin tapaan, jakauma ei näytä normaalijakautuneelta ym. SPC voi tuoda uusia ulottuvuuksia liukuvan prosessin hallintaan, kun vain valitaan tällaiselle prosessille soveltuva muuttajakortti. Liukuvaan prosessin soveltuvat kortit ovat

- liukuman kompensoiva xz_c/MR - kortti
 - valvontarajat liukuman suuntaan laskeva xz/MR - kortti
 - vain liukuman huonoimman tapauksen huomioiva x_w/MR - kortti
- (Salomäki 1999, 210)

x = selittävä muuttuja

z = liukuva muuttujan arvo

z_c = liukumattomaksi kompensoitu liukuvan muuttujan arvo

x_w = liukuvan muuttujan arvon pahin tapaus

8.3 Ajelehtiva prosessi

Ajelehtivassa prosessissa mittaustulosten keskiarvo liukuu ja huojuu pitkällä aikavälillä prosessista itsestään johtuvista syistä. Tulos käyttäytyy siten, että prosessia ei voida pitää vakaana. Tyypillinen syy ajelehtimiseen on ilman kosteus tai lämpötila. Nämä vaikuttavat sitten materiaalin ominaisuuksiin, tuotteen kuivumiseen ja kitkoihin. Valvontakortin avulla voidaan havaita silmämääräisesti pitkän aikavälin hidas ajelehtiminen, kun tuloksia saadaan samaan kuvaajaan riittävästi.

Kun ajelehtiminen on opittu tuntemaan, voidaan käyttää valvontakortteja, jotka kompensoivat tai huomioivat muutokset, esimerkiksi liukuvan prosessin korttia. (Salomäki 1999, 211)

8.4 Valvontarajojen päivittäminen

Kerran määritellyjä valvontarajoja voidaan käyttää, kunnes prosessissa itsessään tapahtuu joku muutos. Muutoksen pitää olla sellainen joka muuttaa prosessin suorituskykyä. Uusien rajojen laskentaan johtaneet syyt on dokumentoitava ja rajojen laskemisen jälkeen niiden käyttökelpoisuutta on seurattava, kunnes tuloksia on saatu riittävästi.

Toinen vaihtoehto on hyödyntää tietokoneiden laskentakykyä, ja määrittää liukuvat valvontarajat esimerkiksi kahdenkymmenen edellisen tuloksen perusteella ja verrata uutta tulosta aina ensiksi näihin. Uusi tulos voidaan ottaa mukaan laskentaan, kun se todettu normaaliksi. Tämän jälkeen vanhin tulos pudotetaan laskuista pois. (Salomäki 1999, 211)

9 VALVONTAKORTIT

Valvontakortin ajatuksena on, että kerätyn tiedon perusteella määritellään prosessin tilastollinen suorituskyky. Tieto esitetään graafisessa muodossa. Sen perusteella ennustetaan tulevaa prosessin käyttäytymistä ja löydetään prosessin muutokset.

Valvontakortissa on taulukko, johon mittaustulokset merkitään. Tuloksia havainnollistaa yksi tai useampi kuvaaja. Korttia käytetään myös apuna prosessin tunnuslukujen laskentaan. Valvontakorttiin on hyvä yhdistää histogrammi, joka tarvittaessa antaa heti tietoa ongelmatilanteesta. Valvontakortteille on annettu myös erilaisia nimityksiä amerikkalaisten laatuasiantuntijoiden mukaan, esimerkiksi:

Lloyd Nelson: ”when to fix it” – ”koska korjataan sitä (prosessia)”

Ed Halteman: ”has a change occurred” – ”onko tapahtunut muutoksia?”

Sophronia Ward: ”process behavior” – ”prosessin käyttäytymisen”

Kaikki nämä nimitykset korostavat valvontakortin ja prosessin käyttäjän vuorovaikutusta.

9.1 Valvontakortit käytön mukaan

Ronald J Wheeler on luokitellut valvontakortit viiteen ryhmään niiden käyttötarkoituksen mukaan. (Salomäki 1999, 213)

9.1.1 Raporttivalvontakortit

Raporttivalvontakortteihin kerätään tietoja jo toteutuneesta prosessista. Näitä kortteja käytetään satunnaisesti tutkittaessa miten asiat ovat menneet. Tilastollisia johtopäätöksiä varten on erityisyyt poistettava kortista ja määriteltävä hajonta. Tämä on usein ensimmäinen kortti, joka prosessista laaditaan. (Salomäki 1999, 213; www.spcpress.com)

9.1.2 Säätovalvontakortit

Säätovalvontakortin avulla kuvataan mittaustuloksia ja keskiarvoja graafisessa muodossa ja tulosta käytetään prosessin säätämisen kohti tavoitearvoa. Tämä kortti havainnollistaa numerotietoa, eikä siihen lasketa valvontarajoja. Tästä johtuen erityisyyttä ei havaita. Tavoitteena on yhdenmuukaistaa prosessia. Edellä mainitut korttityypit ovat hyvä alkuvaihe valvontakorttien tehokkaampaan käyttöön. (Salomäki 1999, 213)

9.1.3 Kokeiluvalvontakortit

Kokeiluvalvontakortteja käytetään aineiston analysointiin, joka on koottu ennen ja jälkeen yksinkertaisen kokeen. Tämä helpottaa kokeilun vaikutusten selvittämistä ja antaa lisää tietoa keskiarvon ja vaihtelun muuttumisesta kokeen aikana. (www.spcpress.com)

9.1.4 Seurantavalvontakortit

Seurantavalvontakortteja käytetään useampaa yhtä aikaa. Tulokset otetaan jokaiseen korttiin yhtä aikaa. Esimerkiksi erilaisten kokeiden aikana kannattaa käyttää useampaa valvontakorttia lisätietojen saamiseksi. usean kortin käytöllä voidaan myös etsiä sopivaa vaihtoehtoa pysyvään käyttöön tarkoitetuksi kortiksi. (Salomäki 1999, 214; www.spcpress.com)

9.1.5 Jatkuvan parantamisen valvontakortit

Jatkuvan parantamisen valvontakortit on tarkoitettu käytettäväksi säännöllisesti ja pitkäaikaisesti. Niillä seurataan yleensä prosessin tärkeimpiä muuttujia. (Salomäki 1999, 214)

9.2 Muuttujakortit

Muuttujakortteja on lukemattomia eri tyyppisiä, mutta perinteiset kortit riittävät varsin pitkälle. Nämä perinteiset kortit ovat

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

Muuttujakortteja käytetään, kun mitataan jotain suuretta, joka voi saada erilaisia arvoja eri hetkinä. Kohteena oleva prosessi voi olla jatkuva ja erävalmistusprosessi. Jatkuvassa prosessissa valmistuseriä ei voida rajata ja jäljittäminen perustuu valmistusaikaan, kun taas erävalmistuksessa valmistuserät voidaan erottaa toisistaan.

Muuttujakorteissa valvontarajojen laskenta perustuu näyte-erien hajonnan tai vaihteluvälin avulla laskettuihin estimaatteihin. (Salomäki 1999, 215)

9.3 Ominaisuuskortit

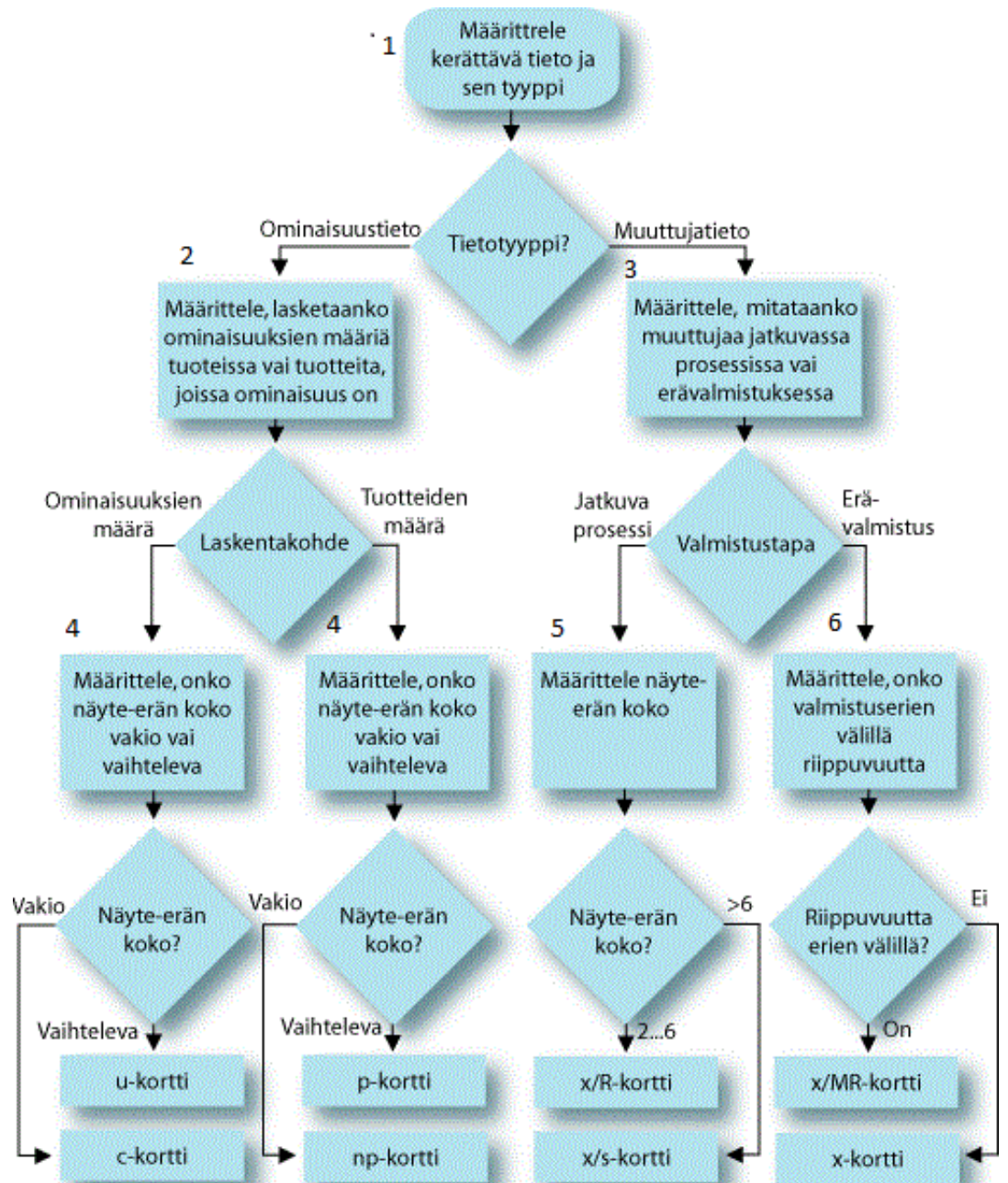
Ominaisuuskortteja käytetään lukumäärinä esitettävän tiedon käsittelyyn. Näitä kortteja ei ole niin monia tyyppisiä kuin muuttujakortteja. Perinteisiä ominaisuuskortteja ovat

- c – kortti
 - u – kortti
 - p – kortti
 - np – kortti
- (Salomäki 1999, 216)

10 VALVONTAKORTTIEN KÄTTÖÖNOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN

Alla olevassa valintakaaviossa esitetään tilastollisessa prosessin valvonnassa käytettävien valvontakorttien yleisimmät perustyyppit ja korttityypin valinnan vaiheet. Kaaviossa on esitetty vain valvontakorttien yleisimmät tyypit. Numerot viittaavat valintakaavioon, (KUVA 2).

1. Määrittele, millaisia asioita ja millaisella mittarilla niitä mitataan. Pyri muuttujatiedon keräämiseen, mutta jos se ei sovellu, niin aloita ominaisuustietojen keräämisellä. Todennäköisesti myöhemmin opitaan tunnistamaan joitakin prosessin tilaa kuvaavia prosessisuureita.
2. Jos kerätään ominaisuustietoa, määrittele, onko tieto ominaisuuksien määrätietoa vai ominaisuuden sisältävien tuotteiden määrätietoa. Jos on vaikeuksia tulkita kumpaa tyyppiä kerättävä tieto on, kannatta asiaa miettiä seuraavasti: Tuotteita luokiteltaessa tiedetään eri luokkiin sijoittuvien määrä tarkasti. Esimerkiksi hylättyjen tuotteiden määrää vastaan tiedetään hyväksytyjen määrä. Tutteiden ominaisuuksia laskehtaessa tiedetään havaintojen määrä, mutta koska yhdessä tuotteessa voi olla useita ominaisuuksia, ei vastalukua voi määrittää(puuttuvat ominaisuudet).
3. Jos kerätään muuttujatietoa, määrittele, kerätäänkö tietoa jatkuvasta prosessista vai erävalmistuksesta. Jatkuvassa prosessissa eriä ei voida selkeästi erotella toisistaan.
4. Muuttujatietoa kerätessä määrittele, onko näyte-erän koko vakio vai vaihteleva.
5. Jatkuvassa prosessissa muuttujia seurattaessa näyte-erä voi olla yksi tai enemmän. Jos näyte-erä on yksi, niin silloin ei voida käyttää \bar{x}/R - korttia. Tällaisessa tapauksessa prosessia valvotaan kuten erä valmistusta. Näyte-erien koko tulisi olla \bar{x}/R - kortissa vähintään 4, mieluiten 5-6. Jos määrä on selvästi suurempi, saadaan prosessista parempi kuva \bar{x}/s -kortilla. Paras kortti löytyy viimekädessä kokeilemalla.
6. Erävalmistuksessa on määriteltävä, onko erien muuttujien välillä jonkinlainen riippuvuus vai ovatko ne yksilöllisiä. Riippuvuus voi olla esimerkiksi sellaista, että prosessin säätö säilyy erästä toiseen samanalaisena, eikä asetuarvoja jouduta aina laittamaan uudelleen.



Lähde: Salomäki Rauno. Suorituskykyiset prosessit - hyödynnä SPC .MET 1999

KUVA 2 Valvontakorttien valintakaavio

10.1 Näyte-erän koko ja näytteenottoväli

Näyte-erän koko ja näytteenottoväli määräytyvät prosessin mukaan, mutta asian ratkaisemiseksi voi olla useita vaihtoehtoja. Näytemäärää voidaan lisätä ottamalla näytteitä kerralla enemmän tai useammin.

On olemassa ominaisuuskortit muuttuvalle ja vakiolle näyte-eräkoolle. Muuttujakorteissa yleensä oletetaan, että näyte-erät ovat vakiosuuruisia. Jos vakioerää ei jostain syystä saada, voidaan menetellä jollakin seuraavista tavoista:

- Käytetään vain samansuuruisien näyte-erien tuloksia samassa kortissa.
- Tehdään eristä samankokoisia pudottamalla ylimääräiset tulokset pois. Poisjätettäviä tuloksia ei saa valita
- Käytetään keskimääräistä näyte-erän kokoa.
- Lasketaan valvontarajat eräkohtaisesti.
- Normalisoidaan erät vastaamaan toisiaan.

Näytteenottoväli voi olla sitä pidempi, mitä vakaampi ja suorituskykyisempi prosessi on. Yleensä tuotteen laadunvalvonta tuottaa riittävästi mittaustuloksia, joita voidaan hyödyntää prosessin valvonnassa. (Salomäki 1999, 220)

10.2 Laskentatarkkuus

SPC:n laskennassa pätevät matematiikan laskenta säännöt. Laskenta tarkkuudesta huolehtiminen on helppoa, kun tietokone laskee ja muistaa kaikki väliarvot tarkasti. Lopputuloksia käsiteltäessä on hyvä muistaa, että vastaukset eivät tule tarkemmiksi, vaikka desimaaleja lisätään. Tarkkuus määräytyy mittaustuloksista. Valvontarajat ja keskiarvot on tarpeellista laskea desimaalin tarkemmiksi havainnollisuuden lisäämiseksi. Esimerkiksi 2,3,4 ja 5 keskiarvoksi merkitään 4,5 ei 4 (Salomäki 1999, 223).

11 VALVONTAKORTTIEN TULKINTA JA TULKINTASÄÄNNÖT

Valvontakorteista todetaan erityisyyt, suuntaukset ja siirtymät erityisten tulkintasääntöjen avulla, jotka ilmaisevat prosessissa tapahtuvan muutoksen. Valvontakortin tulkinta edellyttää, että prosessi on lähes normaalijakautunut ja valvontarajat on oikein määritelty. Tulkintasäännöt auttavat havaitsemaan tilastollisesti epätodennäköisiä tilanteita normaalisti jakautuneesta prosessista.

Tulosten tilanteen tulkinta on tehtävä heti. Tarkista yhteys tuotelaatuun. Erityisyyden ilmetessä on mietittävä, milloin se on alkanut vaikuttaa, mikä on sen vaikutus laatuun, ja tarvitaanko välittömiä laadun turvaavia toimenpiteitä.

Joskus tilastollisen poikkeaman aiheuttaja jää selvittämättä, koska prosessinkäyttöä on pakko jatkaa. Tällöin se on kirjattava mahdollista myöhempiä käyttöä varten. On myös arvioitava, tarvitaanko laadun varmistamiseksi laadunvalvonnan tehostamista.

Välillä prosessissa ilmennyt häiriö jää lyhytaikaiseksi ja palaa nopeasti normaaliksi. Tässäkin tapauksessa häiriö on dokumentoitava, koska häiriöillä on taipumus ilmaantua uudelleen.

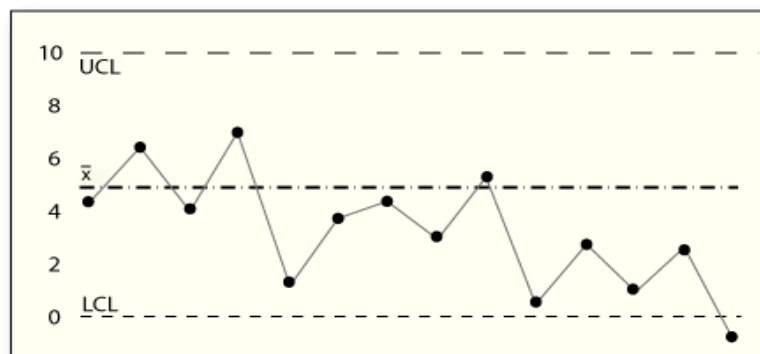
Jos erityisyyttä ilmenee jatkuvasti, ei prosessi ole hallinnassa. Valvontarajojen ja C_{pk} :n määrittely on hyödytöntä. Prosessi on ensin saatava hallintaan. Erityisyyden arvioinnissa tilannetta tulee lähestyä monipuolisesti. Hajontakuvaajan, kuvaajan ja histogrammin tutkiminen ja tulkinta tulee tehdä näiden kuvaajien suhteen yhtäaikaaisesti (Salomäki 1999, 293,310).

11.1 Kuvaajien tulkintasäännöt

Seuraavassa esitellään keskeisimmät säännöt, joilla voidaan tunnistaa erityisyyshäilytyksiä kuvaajista. Erityisyyshäilytys tarkoittaa tilannetta, jossa prosessiin saattaa vaikuttaa jokin erityisyyksiä katsottava asia (Salomäki 1999, 314).

11.1.1 Valvontarajan ylittävä tulos

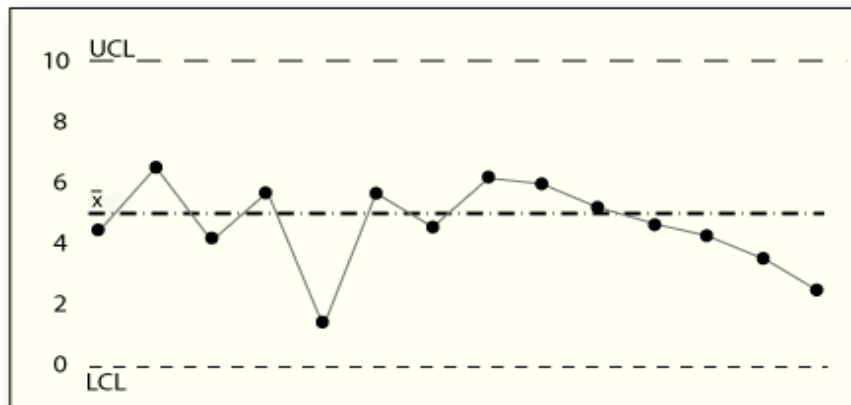
Valvontarajan ylitys on tärkein ja helpoimmin havaittavissa oleva tilanne (KUVA 3). Jos tulos ylittää valvontarajan sekä tulosten että vaihtelun kuvaajassa, on syytä olettaa kyseessä olevan erityisyyden. Kun tilanne on selvitetty ja tarvittavat toimenpiteet tehty, tilanne dokumentoidaan ja tulos poistetaan tai normalisoidaan kortin valvontarajojen laskennasta (Salomäki 1999, 315).



KUVA 3 Valvontarajan ylittävä tulos

11.1.2 Seitsemän tuloksen suuntaus

Hidas, systemaattinen prosessin muutos on usein nähtävissä vaihteluvälin (R) tai keskiarvon (X) valvontasarakkeessa useamman peräkkäisen pisteen arvon nousevasta tai laskevasta järjestyksestä. Todennäköisyys, että valvontakäyrässä on sattumalta seitsemän tulosta nousevassa tai laskevassa järjestyksessä on erittäin pieni 1/1000. Kun käyrässä on seitsemän pisteen pituinen nousu tai lasku, prosessi on hitaasti muuttumassa. (Järnefelt 1990, 28)

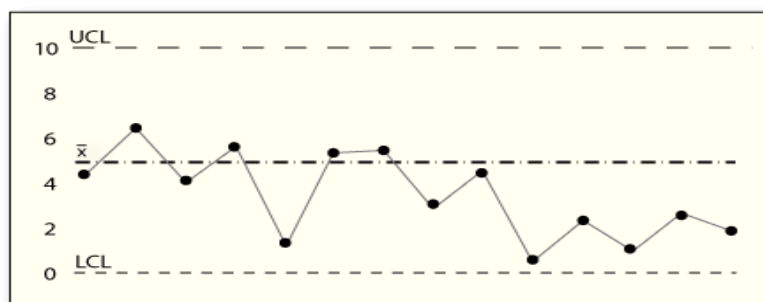


KUVA 4 Seitsemän tuloksen suuntaus

11.1.3 Seitsemän tuloksen polku

Seitsemän tuloksen polun viesti perustuu uhkaan prosessin siirtymästä. Siirtymä voi olla hallitsematon ja prosessi voi jatkossa käyttäytyä ennakoimattomalla tavalla.

Polun löydyttyä on arvioitava, onko prosessissa tapahtunut siirtymä materiaalierän, tekijän, huollon tai muun vastaavan johdosta, jolloin se on hyväksyttävä osaksi prosessia ja samalla mietittävä keinoja muutosten eliminoinemiseksi. Prosessia kannattaa joissakin tapauksissa tarkastella eri aikaväleillä, jotta todellisen tasomuutoksen ajankohta saadaan selville. (Salomäki 1999, 318)



KUVA 5 Seitsemän tuloksen polku

11.1.4 Muut polut (n tulosta m:stä keskiarvon samalla puolella)

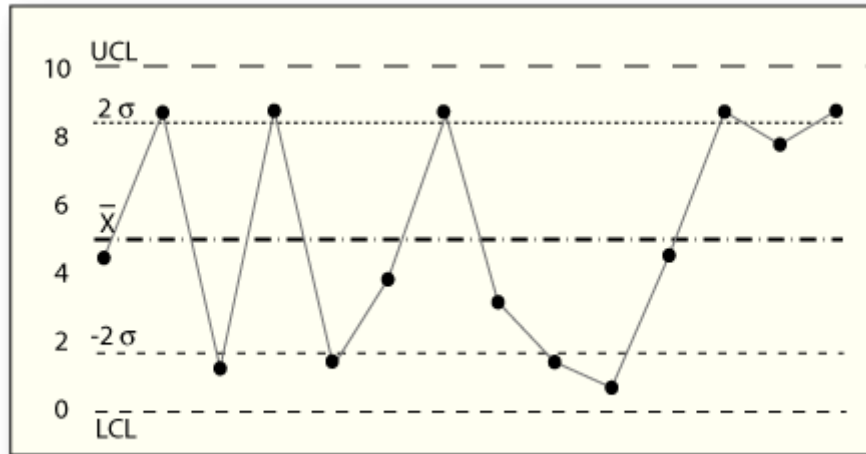
Erityisyyksiä tulkitaan tässä tilanne, jossa tulokset jakautuvat epänormaalisti painottuen toiselle puolelle keskiarvoa. Seitsemän tuloksen polun yhteydessä käytettyä noin 0.7 %:n todennäköisyyttä vastaavat seuraavat tulosjakaumat. TAULUKKO 1. (Salomäki 1999, 299)

TAULUKKO 1

TULOSTA	TULOKSESTA
9	10
10	11
11	12
11	13
12	14
13	15
13	16
14	17
15	18
15	19
16	20
16	21
17	22
18	23
18	24
19	25
19	26
20	27
21	28
21	29
22	30

11.1.5 Kaksi tulosta kolmesta yli 2 sigman rajan

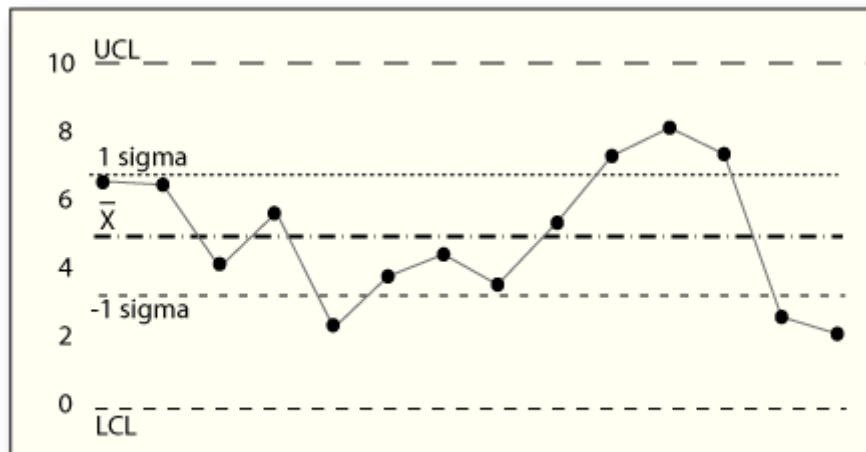
Normaalijakauman mukaan hajonta-alueen rajoilla tulosten tulisi olla niin harvoin, että kaksi tulosta kolmesta ei sinne normaalisti asetu. Ilmiön syyinä saattaa olla tilapäinen tai pysyvä prosessin siirtymä, vaihtelun kasvu tai mittausvirhe.



KUVA 6 Kaksi tulosta kolmesta yli 2 sigman rajan

11.1.6 Viisi tulosta yli 1 sigman rajan

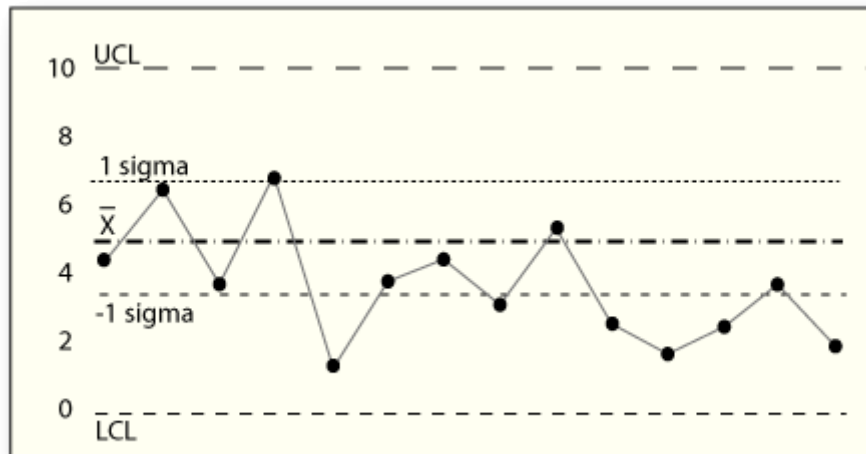
Viisi tulosta yli 1 sigman rajan tarkoittaa peräkkäisiä tuloksia, joita verrataan yhden sigman rajaan. Eli saadaan viisi tulosta siten, että yhtään ei osu prosessin keskialueelle, kuten (KUVA 7) viisi viimeistä tulosta.



KUVA 7 Viisi tulosta yli 1 sigman rajan

11.1.7 Neljä tulosta viidestä yli saman 1 sigman rajan

Prosessissa neljä tulosta viidestä ylittää yhden sigman rajan samalla puolella toleranssia. Todennäköisyys neljälle ylitykselle viidestä on noin 0.27 %.(KUVA 8) viisi viimeistä tulosta.

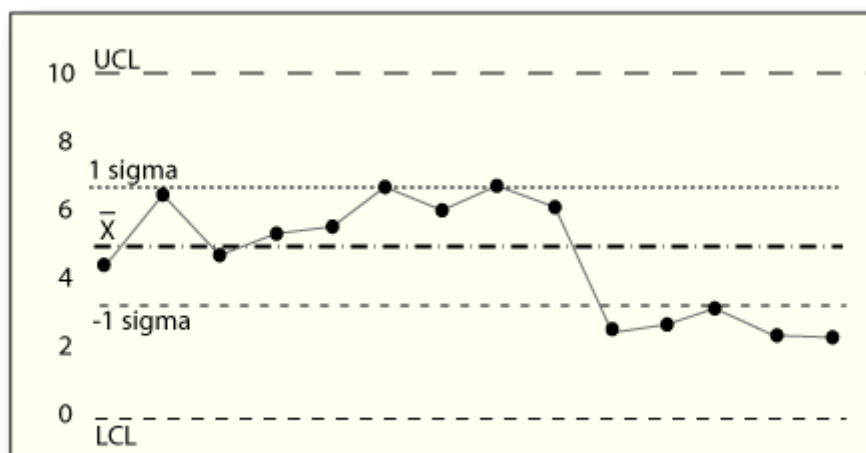


KUVA 8 Neljä tulosta viidestä yli 1 sigman rajan

11.1.8 Äkillinen tason muuttuminen

Äkillinen tason muuttuminen voi olla huono tai hyvä asia. Hyvässä tapauksessa tasomuutos voi ilmaista parantunutta suorituskkyä, joka on seurausta tehdyistä kehitystoimenpiteistä. Tällöin määritellään uudet valvontarajat ja ollaan tyytyväisiä hyvin tehdystä työstä.

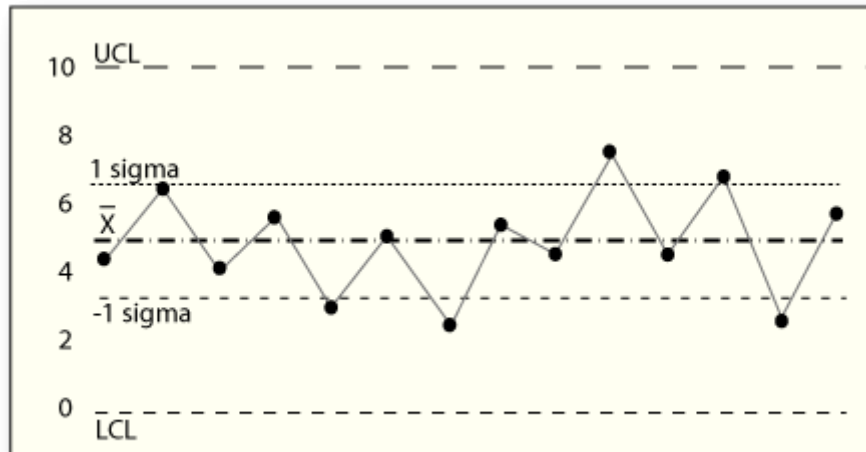
Huonommassa tapauksessa tasomuutos osoittaa suorituskvyn heikentyneen tai vaihtelun keskiarvon siirtyneen toiselle puolelle. Syyn tunnistamine ja poistamine on tärkeää. KUVA 9.(salomäki 1999, 301)



KUVA 9 Äkillinen tason muuttuminen

11.1.9 Hyppivät tulokset

Jos peräkkäiset tulokset vaihtelevat vuorotellen ylös ja alas, muodostuu sahalaitainen kuvio, joka ei ole todennäköinen. Jos tulokset vaihtelevat keskiarvon molemmiin puolin, on tilanne epätodennäköinen samalla tavalla kuin aikaisemmin mainittu polku. Syynä voi olla esimerkiksi mittalaite joka pitäisi kalibroida uudestaan.



KUVA 10 Hyppivät tulokset

11.1.10 Epänormaali jakauma

SPC:n perussäännön mukaan prosessi on normaalijakautunut. Jos jakautuma on luonteeltaan tästä poikkeava, täytyy se huomioida. Normaalijakaumasta poikkeava jakauma on yleensä niin sanottu vino jakauma. Muita epänormaaleja jakautumia ovat ainakin kaksihuippuinen jakauma, tasahuippuinen jakauma sekä leikkautunut jakauma. (Salomäki 1999, 304 – 306)

12 KÄYTÄNNÖN TUTKIMUS

Työ aloitettiin keräämällä mahdollisimman paljon erilaista dataa prosessista, minkä jälkeen valittiin yksi keskeinen parametri seurantaan SPC:n avulla.

12.1 Datan kerääminen

Valittiin runsaasti erilaisia parametreja, joita kerättiin eri aikajaksoilla. Näytteitä otettiin välillä 15 minuuttia – 10 kuukautta. Pienen aikavälin näytteitä kerättiin kaikkiaan kaksi viikkoa. Näytteiden keräämisessä olivat apuna myös muiden vuorojen koneenhoitajat.

12.2 Datan tulkinta

Tärkeä asia seurattavan parametrin löytämiseen on, että se on keskeisessä asemassa prosessin onnistumisen kannalta. Tämän lisäksi valitun parametrin pitää olla säädettävissä. Ei ole mielekästä seurata parametreja, joihin ei voida vaikuttaa.

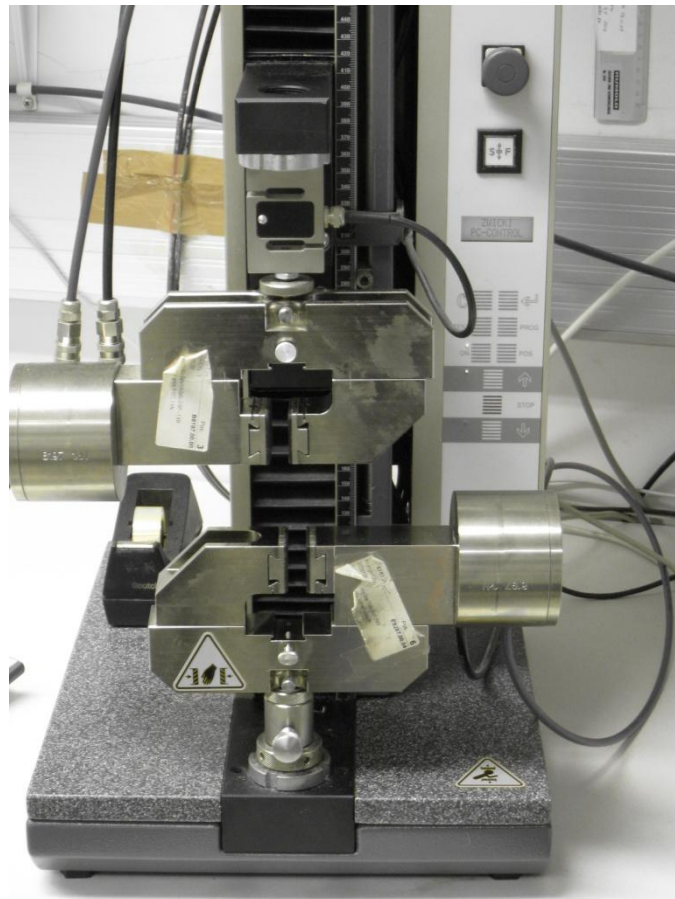
Päätettiin aloittaa peel-lujuuksien kerääminen siten, että lasketaan I- ja II-laidan sekä radan keskiosan näytteistä keskiarvo ja näiden kolmen tuloksen keskihajonta. Peel-lujuuksia tarkasteltiin noin kahdeksan kuukauden ajan, lokakuusta 2009 alkaen.

Saatujen tulosten perusteella perustetaan koneelle \bar{x}/R - kortti, jonka avulla seurataan peel-laatuksen hajontaa R ja keskiarvoa \bar{x} .

13 PEEL-LUJUUS

Kalvon peel-lujuus (peelautuvuus) tarkoittaa voimaa, joka tarvitaan sauman aukeamiseen, kun peelikalvo saumataan vastakalvoon, esimerkkinä leikkelepaketin kannen tai päälikalvon avautuvuus. Jos kalvolle peel ominaisuuden antavaa raaka-ainetta on liian vähän, niin paketti ei aukea. Vastaavasti jos sitä on liian paljon, niin sauma ei pysy kiinni. Peel-lujuudelle on määritelty spesifikaatorajat, joita ei saa ylittää tai alittaa. Mittayksikönä peel-lujuudelle käytetään N/m.

Mittauksessa käytetään Zwick-merkkistä saumanlujuusmittaria, joka vetää kahta leukojen väliin puristettua, kuumasaumattua liuskaa eri suuntiin. Tästä saadaan näytölle voima, joka tarvitaan sauman aukeamiseen.



KUVA 11 Saumanlujuus mittalaite

14 TYÖN TULOKSET

Työn antamat tulokset olivat alkukankeuden jälkeen positiivisia. Ainakin kahteen tuotteen laatuun vaikuttavaan erityisyyhyn päästiin käsiksi valvontakorttien avulla, ennen kuin prosessiin ryhdyttiin tekemään mitään muutoksia. Ensimmäisessä tapauksessa raaka-aineen syöttö oli epätasaista, joka aiheutti vaihtelua peel-lujuudessa. Tämä korjaantui, kun vaihdettiin raaka-aineen syöttö toiseen yksikköön.

Toisessa tapauksessa peel-lujuudet laskivat äkisti alle spesifikaatiorajojen, jolloin syytä alettiin etsiä ilman, että prosessiin vielä tehtiin mitään muutoksia. Lopulta vika löytyi mittalaitteesta, joka kalibroitiin uudestaan. Tarkistusmittaukset osoittivat laadun olevan kunnossa myös näissä alarajan alittaneissa tuotteissa.

14.1 Kohdatut ongelmat

Datan keräyksessä tehtiin aluksi sellainen virhe, että dataa kerättiin vain yksi tulos jokaista näytteenottokertaa kohden. Näin ollen tuloksista ei saatu laskettua keskiarvoa \bar{X} . Tämä SPC-seurantaan kelpaamaton data hyödynnettiin muissa projekteissa, joissa etsittiin syitä tiettyihin linjalla olleisiin ongelmiin, joten sekin päästiin hyödyntämään.

Lisäksi alussa oli vaikea löytää sellainen parametri, jota oikeasti kannattaa seurata, koska sen pitää olla myös keskeisessä asemassa prosessin onnistumisen kannalta. Tulevaisuudessa seuraavat parametrien valinnat tulevat olemaan helpompia, kun nyt kokemuksesta siitä, millainen seurattavan parametrin tulee olla tämälampaisessa prosessissa.

15 JOHTOPÄÄTÖSET

SPC:n käyttöönoton jälkeen on ongelmiin päästy käsiksi paremmin kuin aikaisemmin. Varsinkin niiden havaitseminen on ollut helpompaa ja nopeampaa valvontakortin avulla. Graafisesta esityksestä huomataan tuotannon poikkeamat, ennen kuin ollaan edes lähellä asetettuja spesifikaatorajoja (LSL, USL). Näitä seikkoja ei ole aikaisemmin seurattu, eikä pystytty seuraamaan, koska minkäänlaista graafista esitystä ei ollut. Poikkeamiin reagoitiin vasta, kun LSL alittui tai USL ylittyi.

Tämän pilottiprojektin perusteella kannattaa aloittaa SPC:n käyttö muillakin linjoilla. Mielestäni valvontakorttien avulla päästään kiinni mahdollisiin tuotannon poikkeamiin huomattavasti nopeammin ja aikaisemmassa vaiheessa kuin tällä hetkellä. Nyt odotetaan spesifikaatorajojen ylitystä tai konerikkoa ennen kuin asiaan reagoidaan. Valvontakorttien avulla voidaan ennakoida näitä asioita ja johdonmukaisesti alkaa selvittää, mistä ongelmat johtuvat, ennen kuin aiheutuu suurempaa konerikkoa tai laatuvirhettä.

Tulevan kevään ja kesän aikana tullaan kouluttamaan myös työn kohteena olleen linjan koneen hoitajat siihen, miten korttia tulkitaan ja täytetään. Tavoitteena on ensin pitää kaikille teoriapainotteinen esitys, jossa käytännön esimerkkeinä käytetään heidän ohjaamansa linjan tuotteita. Käytännön harjoitteluna opetellaan kortin täyttöä. Yritämme löytää harjoituksissa valvontarajojen ylityksiä, polkuja ja trendejä. Kun näiden tunnistaminen onnistuu, niin asiaan pystytään reagoimaan entistä nopeammin.

LÄHTEET

Lähdekirjallisuus

Salomäki Rauno. Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC. 1999 Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tammer - Paino Oy, Tampere 2003.

Donald J. Wheeler & David S. Chambers. Understanding statistical process control. 1992 SPC Press, Inc.

Gustaf Järnefelt. Tuoteprosessin tilastollinen valvonta – SPC. Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tammer – Paino Oy, Tampere 1990

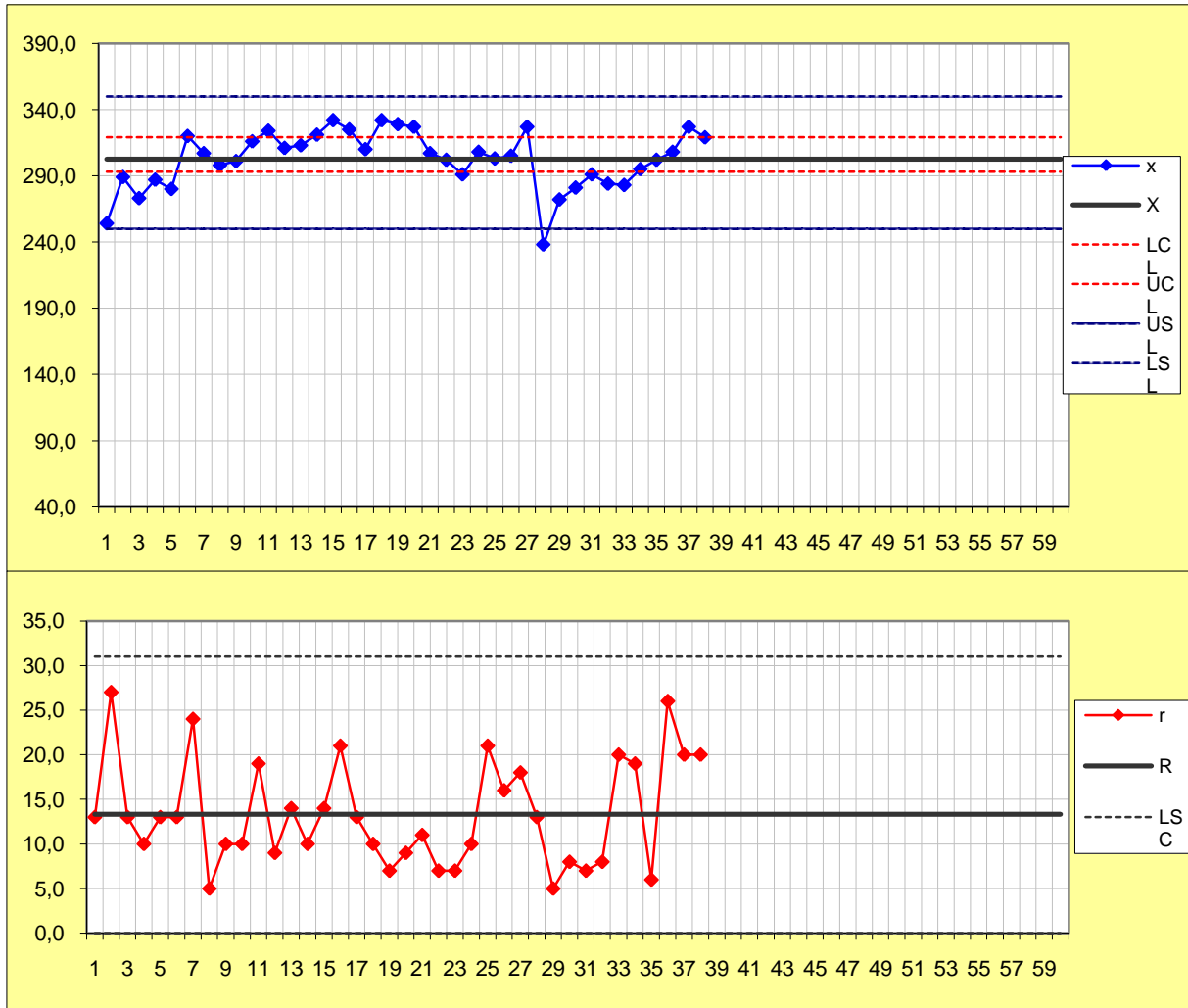
Artikkelit

Valkeakosken Sanomat 3.9.2009, Eila Saukkonen: Bemis Valkeakoski Oy leipoo "jyvistä joustopakkauksia" artikkeli http://www.valkeakoskensanomat.fi/cs/Satellite?c=AMArticle_C&childpage=VKS_newssite%2FAMLayout&cid=1194603348112&p=1992554210102&pagename=VKSWrapper

Bemis Company www-sivut http://www.bemis-europe.com/lang/en/about/?page_id=4.6&title=Bemis%20Valkeakoski,%20Finland

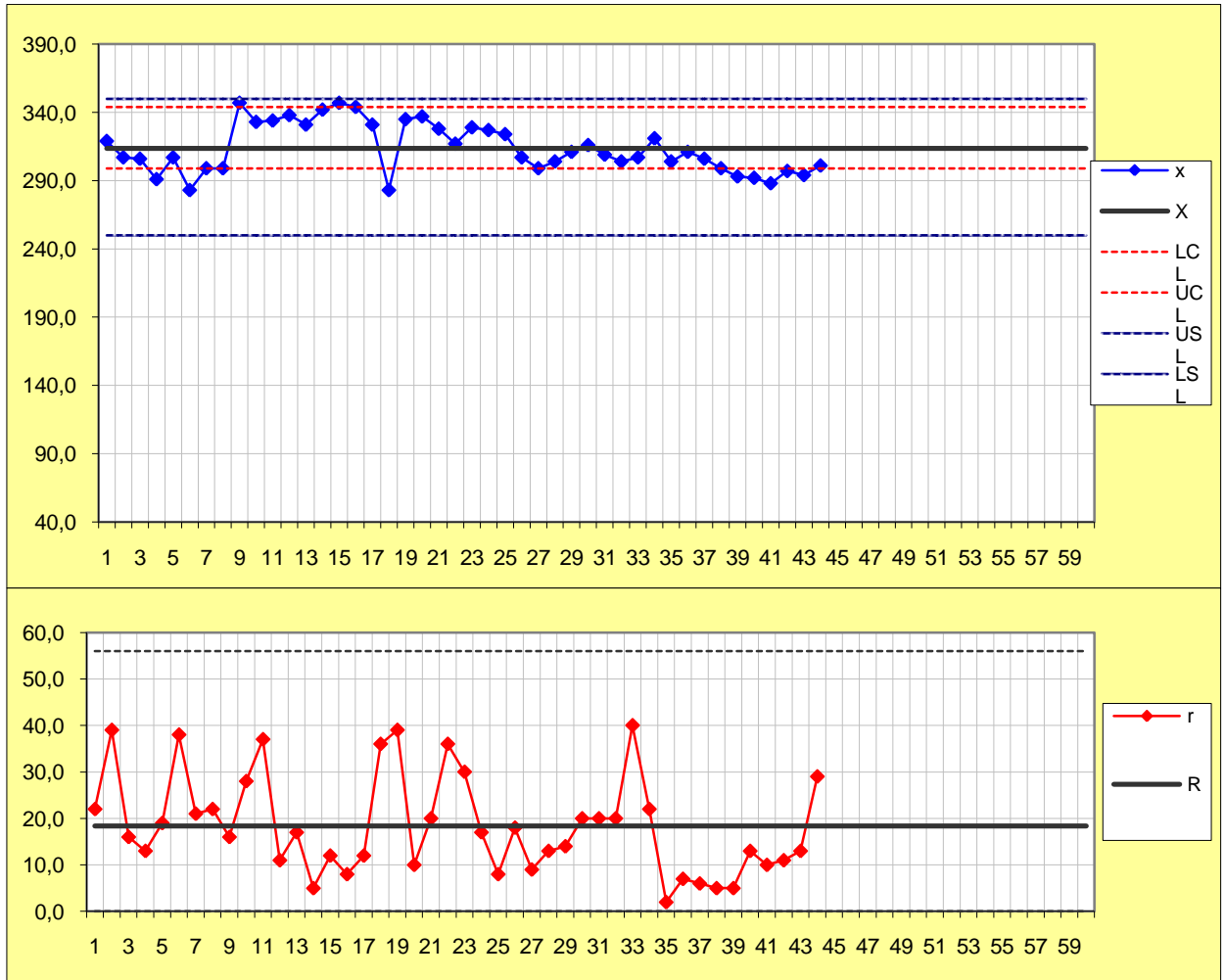
<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/052.htm>

OPALEN HB 65 AF PEEL VALVONTAKORTTI



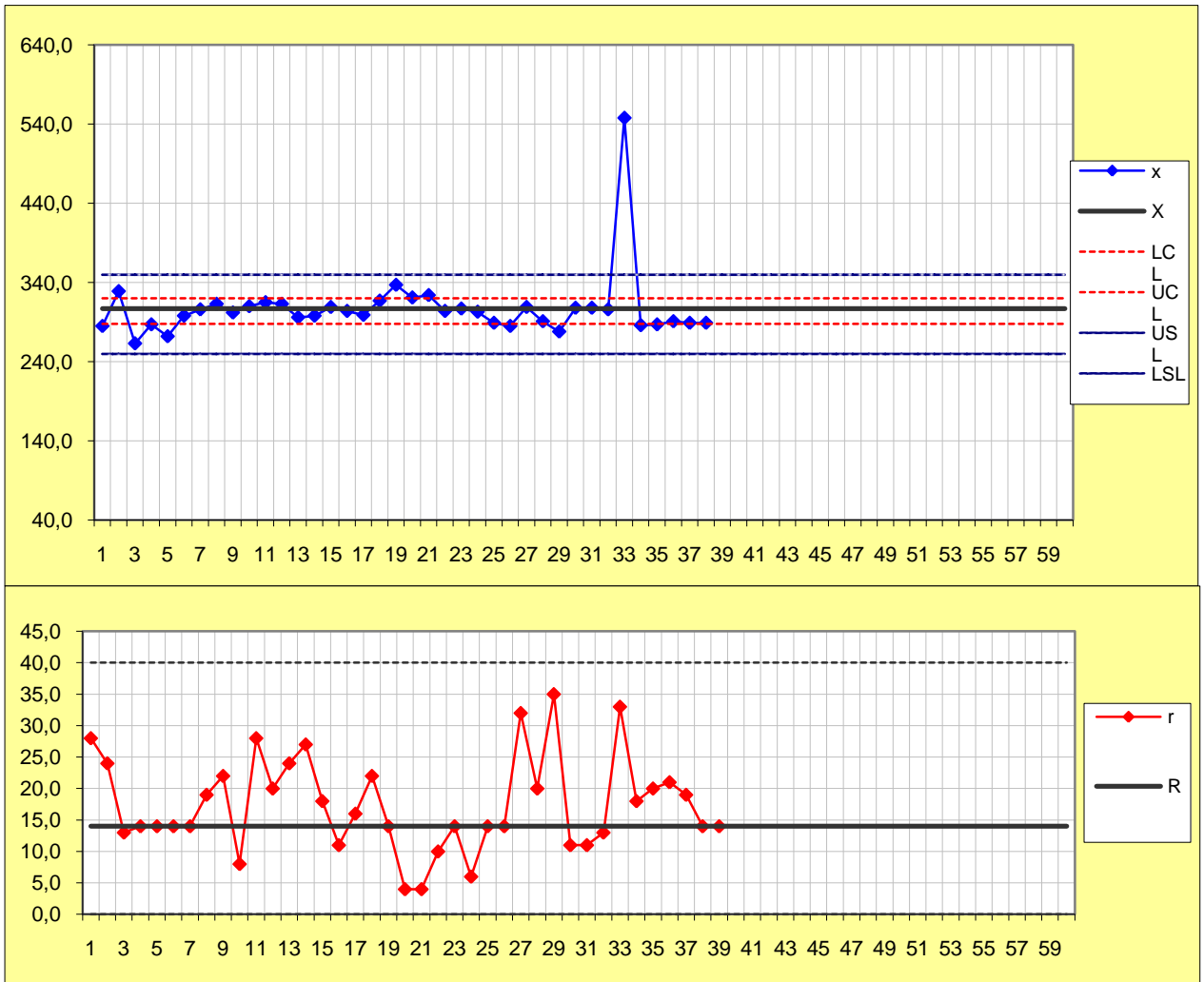
Opalen hb 65 af peel valvontakortti

OPALEN 65 PEEL VALVONTAKORTTI



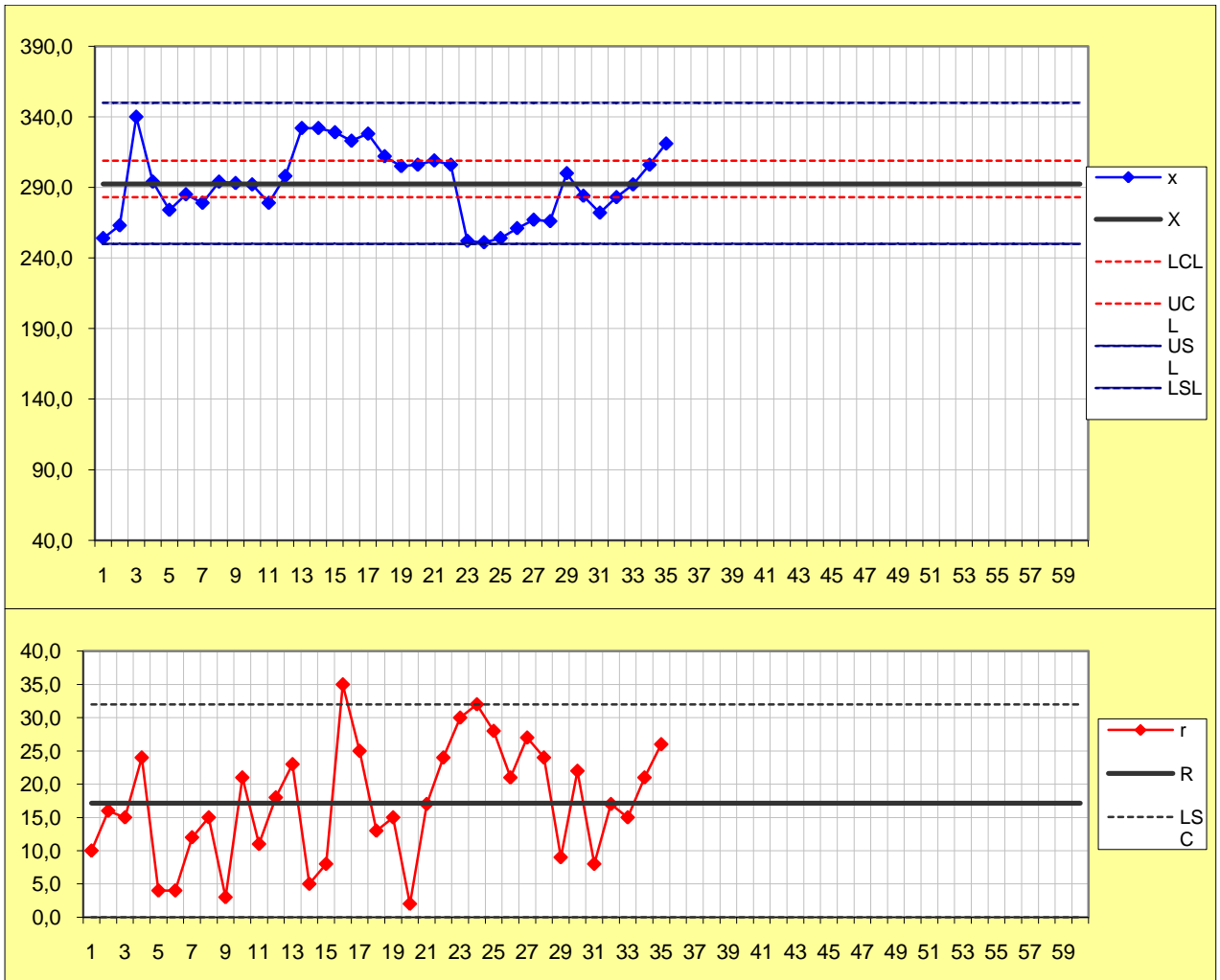
Opalen 65 peel valvontakortti

OPALEN 55 AF PEEL VALVONTAKORTTI



Opalen 55 af peel valvontakortti

OPALEN HB 65 UV AF PEEL VALVONTAKORTTI



Opalen hb 65 uv af peel valvontakortti