



**SÄÄTÖTEKNIIKAN LABORATORIO**

**Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet  
ja menetelmät**

Mika Lähteenmäki ja Kauko Leiviskä

Raportti B No 8, Lokakuu 1998

**Oulun yliopisto**  
**Säätötekniikan laboratorio**  
**Infotech Oulu ja Prosessitekniikan osasto**  
**Raportti B No 8, Lokakuu 1998**

## **Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät**

Mika Lähteenmäki ja Kauko Leiviskä

**Tiivistelmä:** Tämä raportti on projektin "SPC:n ja älykkäiden menetelmien soveltaminen elektroniikkateollisuudessa" ensimmäinen osaraportti. Projektin tavoitteena on tutkia älykkäiden tietämysjärjestelmien ja SPC:n hyväksikäyttöä elektroniikan tuotannossa. Hankkeen rahoittaa Tekes ja siihen osallistuu neljä elektroniikkayritystä: Mikrolli Oy, Incap Electronics Oy, Jutron Oy ja Tellabs Oy. Projekti kuuluu ETX-ohjelmaan ja se on käynnistynyt keväällä 1998.

Tässä raportissa on esitetty tilastollisen prosessinohjauksen perusteita ja menetelmiä lähtien tiedonkeruusta aina analysoitujen tietojen esittämiseen. Menetelminä käsitellään vuokaavioita, syyseurausdiagrammeja, FMEA-analyysiä, valvontakortteja, histogrammeja, Pareto-menetelmää ja hajontadiagrammeja. Myöhemmissä raporteissa tullaan käsittelemään myös erilaisia ohjelmallisia SPC-työkaluja.

**Hakusanat:** tilastollinen prosessinohjaus, elektroniikkateollisuus, laadunohjaus

**ISBN 951-42-5064-8**  
**ISSN 1238-9404**  
**ISBN 951-42-7520-9 (PDF)**

**Oulun yliopisto**  
**Säätötekniikan laboratorio**  
**Infotech Oulu ja Prosessitekniikan**  
**osasto**  
**Linnanmaa**  
**FIN-90570 OULU**

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. SPC:N PERUSTEET .....</b>	<b>2</b>
1.1 HISTORIA .....	2
1.2 PERUSKÄSITTEET .....	2
1.3 PERUSAJATUS.....	3
1.4. NORMAALIJAKAUMA .....	3
1.5 LAADUNTUOTTOKYKY.....	7
<b>2. SPC:N SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN.....</b>	<b>10</b>
2.1 VALMISTELEVAT TOIMENPITEET.....	10
2.2 TIEDONKERUU.....	10
2.3 TULOSTEN ANALYSOINTI.....	11
2.4 SPC:LLÄ SAAVUTETTAVAT HYÖDYT.....	11
<b>3. PERUSMENETELMÄT .....</b>	<b>12</b>
<b>4. VUOKAAVIO .....</b>	<b>13</b>
<b>5. SYY-SEURAUUS-DIAGRAMMI .....</b>	<b>14</b>
<b>6. HISTOGRAMMIT .....</b>	<b>16</b>
<b>7. HAJONTADIAGRAMMIT .....</b>	<b>19</b>
<b>8. VALVONTAKORTIT .....</b>	<b>21</b>
8.1 MUUTTUJIEN VALVONTA.....	21
8.2 ATTRIBUUTTIIEN VALVONTA.....	23
8.3 VALVONTAKORTTIEN/-KÄYRIEN TULOSTEN TULKINTA.....	25
8.4. MONIMUUTTUJAMENETELMÄT.....	28
<b>9. FMEA-ANALYYSI.....</b>	<b>30</b>
<b>10. PARETO-MENETELMÄ .....</b>	<b>32</b>
<b>11. LAATUTARINA .....</b>	<b>33</b>

# 1. SPC:N PERUSTEET

## 1.1 Historia

W.A. Shewhart kehitti SPC:n periaatteet vuosina 1925–31 Bell Telephone laboratoriossa Yhdysvalloissa. Shewhart julkaisi vuonna 1931 ”Economic Control of Quality of Manufactured Product”-kirjan, jossa hän esitteli tilastollisten menetelmien hyväksikäyttöä tuotantoprosessissa. Hänen perusajatuksenaan oli: ”Laatu ja tuottavuus nousevat, kun hajonta pienenee”. Toisen maailmansodan aikana mm. Englannissa aloitettiin virallinen koulutusohjelma W. Edwards Demingin ja Shewhartin johdolla. Euroopassa erityisesti Ford Motor Company on soveltanut SPC:tä autoteollisuudessa ja edellyttää myös alihankkijoilta SPC:n järjestelmällistä soveltamista.

## 1.2 Peruskäsitteet

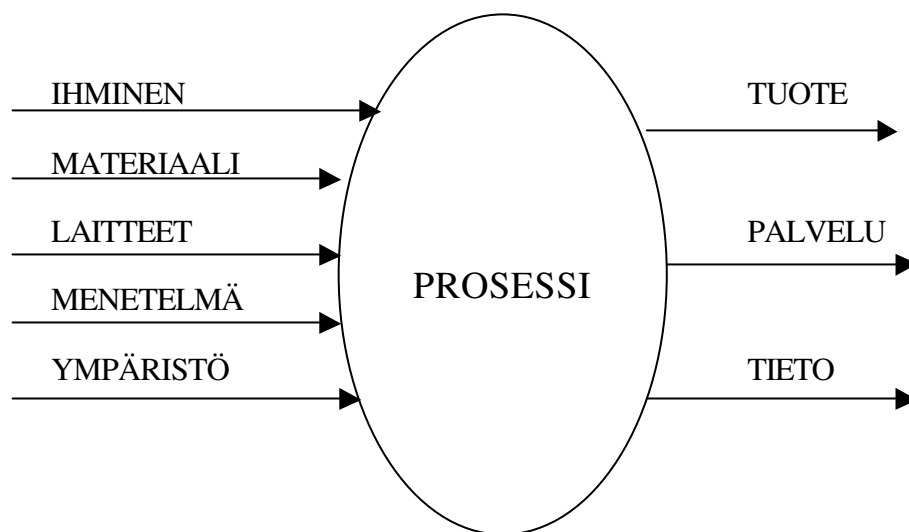
Statistical Process Control (SPC) on suomeksi käännettynä ”Tilastollinen prosessin ohjaus”. Seuraavassa on selvitetty, mitä lyhenteen avainsanat merkitsevät tässä yhteydessä:

- ◆ *Tilastollinen: Useaan havaintoon perustuva tapahtuman kuvaus / Nykysuomen sanakirja/.*

SPC:ssä tilastollinen tarkoittaa tietojen keräämistä sekä niiden käsittelyä ja analysointia.

- ◆ *Prosessi: Usean osatapahtuman muodostama tapahtumasarja / Nykysuomen sanakirja/.*

Prosessi on sisääntulevien materiaalien, toimintojen, menetelmien, jne. muuttamista tuotteeksi, palveluksi, tiedoksi tai yleisesti sanoen tavoitteeksi. Esimerkkejä prosesseista on pastanpainoprosessi ja oppimisprosessi. Kuva 1 havainnollistaa prosessia.



Kuva 1. Prosessin kaavioesitys.

- ◆ *Ohjaus: SPC:ssä prosessista kerätyistä mittaustuloksista lasketaan tilastollisia tunnuslukuja, joiden avulla valvotaan ja ohjataan prosessia.*

### 1.3 Perusajatus

SPC ymmärretään usein pelkästään tilastollisten menetelmien hyödyntämisenä prosessin valvonnassa ja ohjauksessa. Tämän seurauksena SPC:n käyttö rajoittuu usein pelkästään valvontakorttien käyttöön. Valvontakorttien avulla voidaan ainoastaan todeta, onko prosessi tilastollisesti hallinnassa ja muuttuuko se ajan suhteen. Tarvitaan kuitenkin monia muita menetelmiä, jotta voidaan määrittää prosessin muutosten syyt eli miksi prosessi ei ole tilastollisesti hallinnassa.

SPC:n perusajatuksena on seurata systemaattisesti prosessin kehittymistä ja vähentää sen vaihtelua - laatuongelmien aiheuttajaa - tuotteissa, toimitusajoissa, materiaaleissa, ... - kaikessa mahdollisessa. Pelkkä valvonta ei ole itsetarkoitus, vaan sen on tuotettava myös tulosta. Kokonaisvaltainen laatujohtaminen, Total Quality Management (TQM), kuten SPCkin, edellyttää prosessin jatkuvaa parantamista pienentämällä sen vaihtelua.

### 1.4. Normaalijakauma

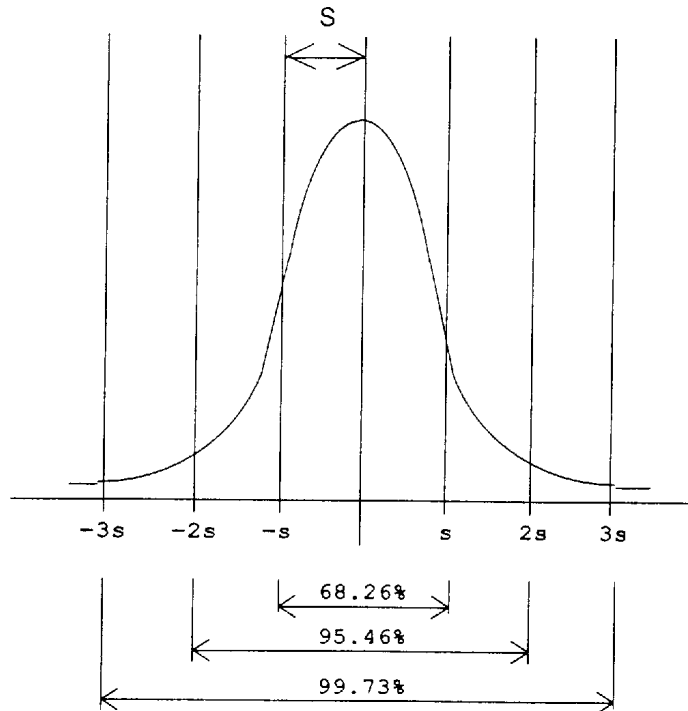
Empiiristen jakaumien malleina käytetyt todennäköisyysjakaumat ovat tärkeitä tilastollisia menetelmiä. Näistä tärkeimpiä ovat normaalijakauma ja siitä johdetut jakaumat. Normaalijakauman määrittelevät keskiarvo ja standardipoikkeama ( $s$ ). Standardipoikkeamasta käytetään hyvin usein myös nimeä sigma ( $\sigma$ ). Normaalijakaumassa on keskiarvoviivan molemmilla puolilla yhtäpaljon mittausarvoja ja ne jakautuvat seuraavasti:

- ◆ *+/- 1 s:n sisällä on 68,26 %:ia kaikista mittatuloksista,*
- ◆ *+/- 2 s:n sisällä on 95,46 %:ia kaikista mittatuloksista ja*
- ◆ *+/- 3 s:n sisällä on 99,73 %:ia kaikista mittatuloksista.*

Kuvassa 2 on esitetty normaalijakauma ja mittatulosten jakautuminen normaalijakaumassa.

Hyvin monet asiat luonnossa noudattavat normaalijakaumaa tai ainakin ovat lähellä sitä. Esimerkkejä tällaisista asioista ovat ihmisten pituuden ja painon jakautuminen normaalijakauman mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että ihmisten painon ja pituuden keskiarvojen ympärillä on suurin osa ihmisten painosta ja pituuksista, kun taas erittäin lyhyitä ja kevyitä sekä erittäin pitkiä ja painavia ihmisiä on vähän.

Tilastolliset menetelmät yhdistetään yleisesti normaalijakauman hyväksikäyttöön. Vaikka normaalijakauma soveltuu moneen käytännön tapahtumaan, sen käyttö ei saa olla itsestäänselvyys. Tilastollisessa päättelyssä tarkasteltavan tapahtuman jakauma oletetaan joksikin, mutta oletukselle on oltava empiiristä tukea. Muita jakaumatyyppöjä ovat mm. log-normaali- ja gamma-jakauma. Joissakin SPC-ohjelmistoissa ohjelmisto automaattisesti hakee tarkasteltavaa tilannetta parhaiten vastaavan jakauman. Seuraavassa kappaleessa on käsitelty, miten normaalijakaumaa hyödynnetään käytännön tuotantoprosessien SPC:ssä.

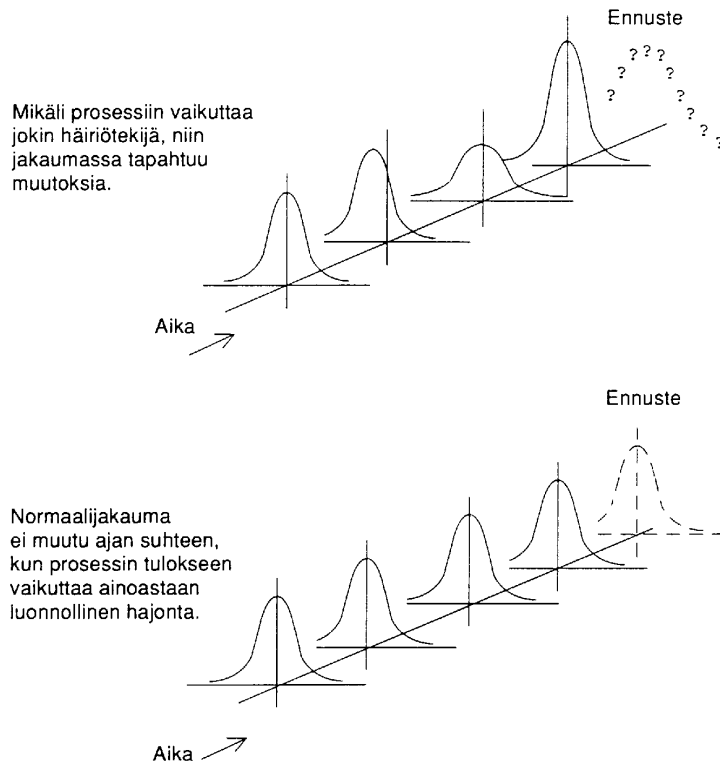


Kuva 2. Mittaustulosten jakaantuminen normaalijakaumassa.

#### 1.4.1 Normaalijakauman hyödyntäminen

Jos prosessissa käytetyt materiaalit, laitteet, menetelmät ja ympäristöolosuhteet olisivat täysin identtisiä, kaikki valmistuvat tuotteet olisivat täsmälleen samanlaisia. Niin kauan kuin edellä mainittu ehto toteutuisi, valmistuisi täysin identtisiä tuotteita. Tämä ei kuitenkaan käytännön tuotantoprosesseissa ole mahdollista. Syynä tähän on em. tekijöiden vaihtelu. Tietty vaihtelu on jokaiselle prosessille luonnollista ja se johtuu prosessin eri osien toiminnan tarkkuuden rajallisuudesta sekä prosessiin vaikuttavien tekijöiden luonnollisesta vaihtelusta. Tämän johdosta tuotantoprosesseissa ei valmisteta tuotetta tarkasti nimellismittaan, vaan spesifikaatioiden salliman toleranssialueen keskelle. Toisin sanoen tarkan absoluuttimitan saavuttaminen ei ole käytännössä mahdollista, vaan kaikkien tuotteiden todellinen mitta vaihtelee absoluuttimitan ympärillä.

Jos mikään ulkopuolinen häiriötekijä ei vaikuta tuotantoprosessiin, mittatulokset muodostavat normaalijakauman. Eli *prosessi on hallinnassa, jos ainoa prosessin tulokseen vaikuttava tekijä on sen luonnollinen hajonta. Tällöin prosessiin ei vaikuta mikään systemaattinen häiriötekijä (erikoisyys)*. Yleisesti on todettu, että *erityisyytiä*, jotka voidaan korjata paikallisesti, on 5 – 15 %:ia ja *yleisiä syitä*, jotka voidaan korjata systeemitasolla, on 85 – 95 %:ia. Jos prosessiin vaikuttaa jokin ulkopuolinen häiriötekijä, niin jakaumassa tapahtuu muutoksia. Seuraamalla prosessia tilastollisia menetelmiä hyväksikäyttäen voidaan ajoissa havaita, jos jokin häiriötekijä alkaa vaikuttaa prosessin toimintaan. Tällöin myös häiriötekijä voidaan korjata ennen kuin prosessi alkaa tuottaa virheellistä tuotetta. Kuvassa 3 on havainnollistettu kyseistä asiaa.



Kuva 3. Prosessin tilan ennustaminen normaalijakauman avulla.

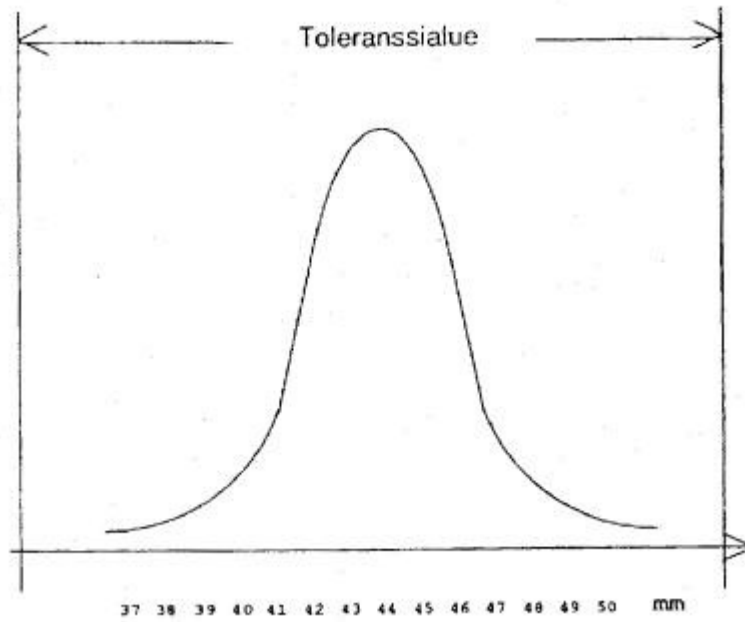
### 1.4.2 Spesifikaatorajat

Yleensä tuotantoprosessissa valmistettaville tuotteille on määritelty spesifikaatorajat, jotka tuotteen pitää täyttää, jotta valmistuva tuote olisi hyväksyttävää. Mikäli spesifikaatioiden ilmoittama toleranssialue on huomattavasti suurempi kuin prosessin luonnollinen hajonta (keskihajonta), vaaraa virheellisten tuotteiden syntymisestä ei ole. Tämän ehtona on, että mittatulosten normaalijakauma sijoittuu toleranssialueelle (kuva 4).

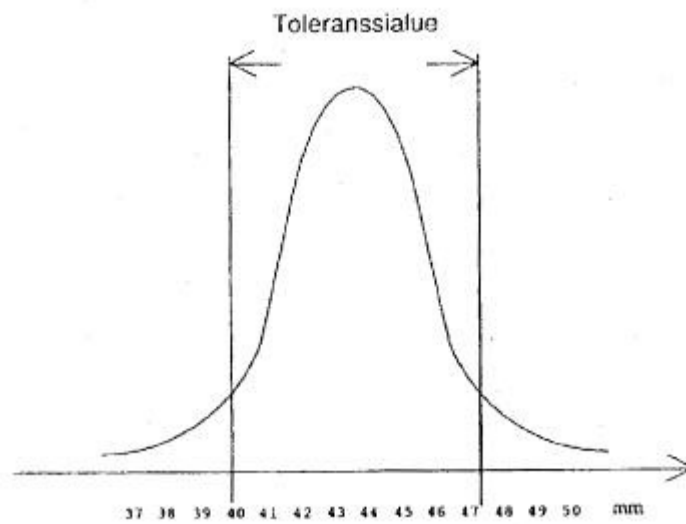
Jos taas prosessin luonnollinen hajonta on toleranssialueeseen nähden suuri, on selvää, että virheellisten tuotteiden syntyminen on todennäköistä, vaikka jakauma olisikin keskellä toleranssialuetta (kuva 5).

Vaikka prosessi olisi hallinnassa, voi siitä valmistua hylättäviä tuotteita ja päinvastoin. Valvontarajat on määritelty, jotta voidaan nähdä, onko prosessi hallinnassa vai ei. Spesifikaatorajojen avulla määritellään, onko tuote virheellinen vai ei. Kuvan 6 mukaisesti voi olla neljä erilaista tapausta:

- Prosessi ei ole hallinnassa ja virheellisiä tuotteita valmistuu.*
- Prosessi on hallinnassa ja virheellisiä tuotteita valmistuu.*
- Prosessi ei ole hallinnassa, mutta tuotteet ovat virheettömiä.*
- Prosessi on hallinnassa ja tuotteet ovat virheettömiä*

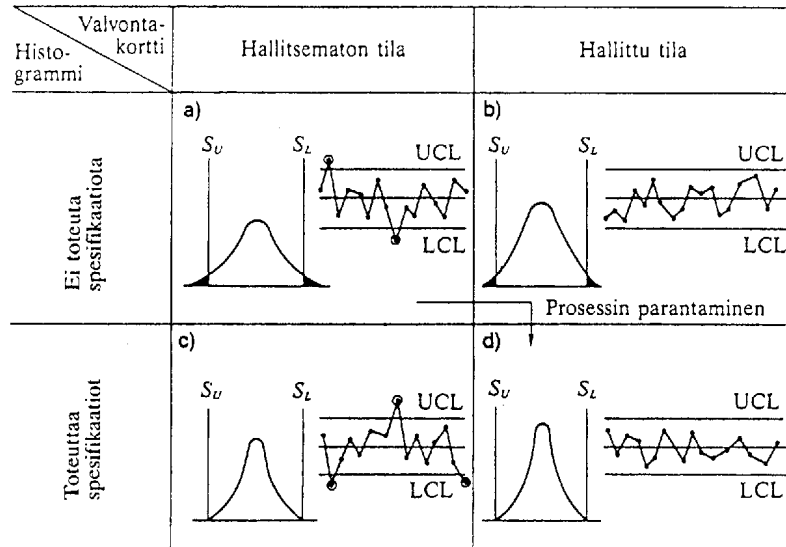


Kuva 4. Normaalijakauma toleranssialueen keskellä.



Kuva 5. Normaalijakauma on toleranssialueen ulkopuolella.





Kuva 6. Spesifikaatioiden vertaaminen valvontakortteihin.

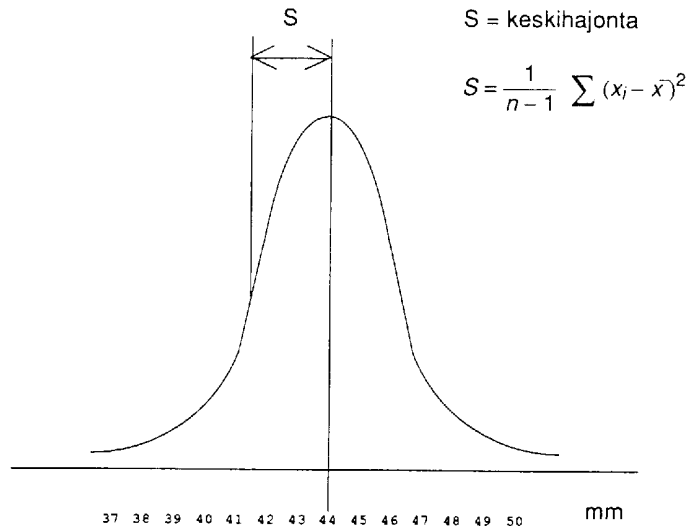
Kuvan 6 tilanteista tapaus d) on toivotuin. Tapauksissa b) ja c) on prosessin suorituskyvyn ja spesifikaatioiden välinen ristiriita. Tapauksessa b) prosessin suorituskyky on puutteellinen spesifikaatioon nähden eli prosessille on asetettu kovat spesifikaatorajat suhteessa prosessin suorituskykyyn. Jotta estettäisiin virheellisten tuotteiden synty, prosessin suorituskykyä pitäisi parantaa. Tapauksessa c) prosessin suorituskyky on riittävä spesifikaatioon nähden, mutta tuotannon tehokkuuden parantamista pitäisi harkita.

## 1.5 Laaduntuottokyky

Laaduntuottokyky voidaan laskea kullekin prosessille tai tuotantokoneelle erikseen. Laaduntuottokykyindeksi saadaan lasketuksi vertaamalla prosessin tai koneen suorituskykyä asetettuihin toleranssirajoihin. Laaduntuottokykyä merkitään  $c_p$ - tai  $c_{pk}$ -indeksillä.  $C_p$ -indeksillä verrataan prosessin hajontaa toleranssialueeseen, mutta keskiarvon sijaintia ei oteta huomioon.  $C_{pk}$ -indeksiä käytettäessä voidaan ottaa huomioon myös keskiarvon sijainti eli jakauman sijainti toleranssialueeseen nähden.

### 1.5.1 Prosessin suorituskyky

Prosessin suorituskykyä mitataan sillä, kuinka hyvin prosessin jakauma mahtuu toleranssialueelle. Prosessin normaalijakauman leveyttä kuvaa keskihajonnan arvo (kuva 7).



Kuva 7. Keskihajonta kuvaa prosessin jakauman leveyttä.

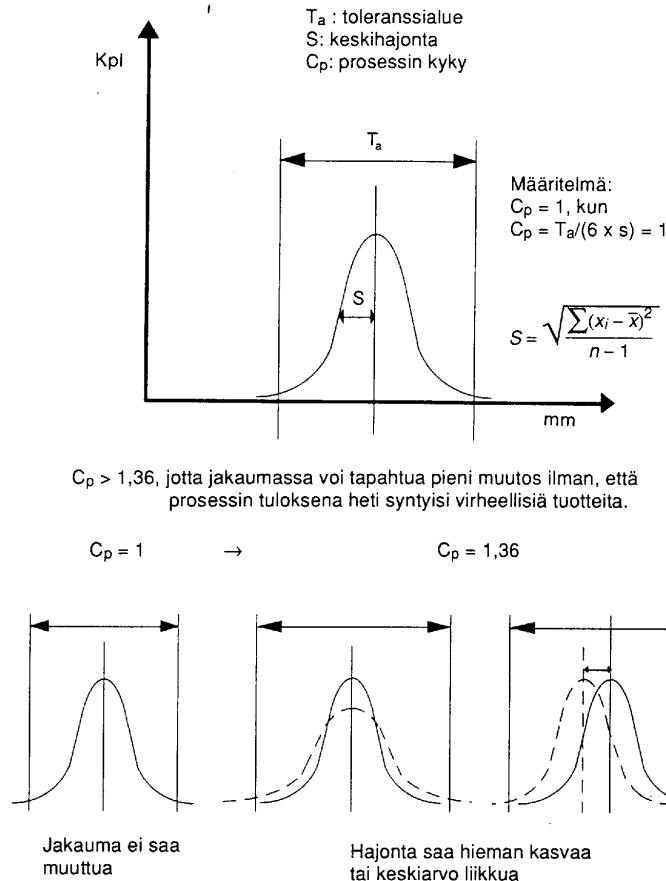
Keskihajonnan kuuden mitan sisälle mahtuu 99,73 %:ia kaikista arvoista, kuten kuvassa 2 esitettiin. Prosessin suorituskyky,  $c_p$ , määritellään toleranssialueen suhteena kuuden keskihajonnan mittaan (kuva 8). Prosessin suorituskyky on riittävä, kun  $c_p > 1$ . Yleisenä sääntönä kuitenkin pidetään, että prosessin suorituskyvyn pitäisi olla vähintään 1,33. Tämä mahdollistaa jakauman vähäisen liikkumisen toleranssialueella ilman, että syntyy heti virheellisiä tuotteita.

Vaikka  $c_p > 1$ , se ei takaa, että prosessista syntyy virheettömiä tuotteita (kuva 6). Prosessin keskiarvon on sijaittava keskellä toleranssialuetta, ettei jakauman toinen laita sijaitisi toleranssialueen ulkopuolella. Prosessin suorituskykyä ja jakauman sijaintia toleranssialueeseen nähden kuvataan  $c_{pk}$  -indeksillä, joka lasketaan seuraavan yhtälön mukaisesti:

Seuraavista arvoista valitaan pienempi  $c_{pk}$ :n arvoksi:

$$C_{PK} = \frac{(T_y - X)}{3 \times s} \text{ tai } \frac{(X - T_a)}{3 \times s}$$

missä  $T_y$  on ylempi toleranssialueen raja,  
 $T_a$  on alempi toleranssialueen raja,  
 $X$  on jakauman keskiarvo ja  
 $s$  on standardipoikkeama.



Kuva 8. Prosessin suorituskyvyn vaikutus normaalijakaumaan.

### 1.5.2 Koneen suorituskyky

Kuten aikaisemmin todettiin, prosessiin vaikuttavat materiaali, menetelmä, ihminen, laitteet ja ympäristö. Kone on vain osa prosessia ja sen suorituskyvyn analysointi eroaa hieman prosessin analysoinnista. Koneen suorituskykyä analysoitaessa on peräkkäisiä mittatuloksia oltava vähintään 50. Lisäksi mittatulosten on oltava suhteellisen lyhyeltä ajanjaksolta, sillä muuten analysoidaan prosessia eikä konetta.

Merkittävin ero koneen suorituskykyä laskettaessa on, että *koneen suorituskyvyn vähimmäisrajana pidetään kahdeksaa eikä kuutta keskihajontaa*. Tämä johtuu siitä, että koneen suorituskyvyn vähimmäisvaatimuksen tulee olla huomattavasti parempi kuin prosessin, koska prosessi koostuu koneen lisäksi muista tekijöistä.

Koneen suorituskyvyn laskemiseksi käytetään samaa kaavaa kuin prosessin suorituskyvyn laskemiseksi. Tästä johtuen koneen suorituskyvyn vähimmäisvaatimus on 1,33. Käytännössä koneen suorituskyvyn tulee olla 1,67 tai enemmän, jotta muutokset eivät heti aiheuttaisi virheellisiä tuotteita.

## 2. SPC:N SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN

Oikein sovellettuna SPC:stä on mahdollisuus kehittää tehokas ja helppokäyttöinen työkalu prosessin tarkkailun, hallintaan ja laadun jatkuvaan parantamiseen. SPC:n soveltaminen käytäntöön voi olla vaikeaa ja vastenmielistä, jos sitä sovelletaan väärin tai väärin kohteisiin.

### 2.1 Valmistelevat toimenpiteet

Jos yrityksessä ollaan aloittamassa SPC:n soveltamista, ensimmäisenä asia pitää ”myydä” johdolle. Johdon sitoutuminen on erittäin tärkeää projektin onnistumisen kannalta. Yrityksen johdolle pitää antaa perustiedot SPC:stä ja kertoa, miten sitä aiotaan soveltaa ja mitä hyötyjä siitä on. Myös muu henkilöstö pitää kouluttaa ajoissa ja selvittää, miksi SPC:n käyttö aloitetaan, ettei sitä nähdä ”ylimääräisenä työnä”, josta ei ole mitään hyötyä”.

SPC:n avulla seurataan prosesseja, joissa tuotteet valmistetaan, ei tuotteita. Tämän vuoksi pitää tunnistaa prosessit, joiden läpi tuotteet menevät. Tuotantoprosessi pitää jakaa osaprosesseihin (esim. elektroniikkateollisuudessa pastanpaino, ladonta, ...). Määrittelyssä voidaan käyttää apuna syy-seuraus –diagrammia.

Kun osaprosessit on tunnistettu, pitää määritellä prosessikohtaisesti tekijät, jotka vaikuttavat valmistettavaan tuotteeseen. Kun mitattavat muuttujat on selvitetty, pitää määritellä mittausmenetelmä, jolla ko. muuttujia mitataan. Mittausmenetelmää suunniteltaessa on pyrittävä eliminoimaan kaikki ”ylimääräinen” vaihtelu mittaustuloksista. Kaikki tarpeeton vaihtelu materiaalien, työkalujen, työvuorojen, yms. tekijöiden välillä pitäisi minimoida. Myös itse mittausjärjestelmän tarkkuus ja luotettavuus on määriteltävä.

### 2.2 Tiedonkeruu

Ensimmäiseksi tiedonkeruussa on määriteltävä, onko kyse mitattavista muuttujista vai attribuuttitiedon keräyksestä. Mitattavia muuttujia ovat esimerkiksi kappaleen paino ja pituus sekä kemiallisen aineen tiheys ja pitoisuus. Attribuuttitietoa on esimerkiksi tuotteen visuaalinen tarkastus (hyväksytyt/virheellinen) ja virheiden lukumäärä. Molemmista tapauksista on määriteltävä tiedonkeruuseen soveltuva näyttekoon suuruus ja näytteenottotaajuus. Mitattavien muuttujien seurannassa tyypillinen erä koko on viisi. Attribuuttitiedon keräyksessä erä koko on tyypillisesti suurempi. Esimerkiksi seurattaessa virheellisten tuotteiden lukumäärää, näyte-erän koko pitää määritellä siten, että siinä on todennäköisesti vähintään yksi virheellinen tuote (miehellään 1 – 4 virheellistä).

Näytteenottotaajuus riippuu prosessin valmistuskapasiteetista. Näytteenottotaajuuden on oltava sellainen, että se kuvastaa prosessissa tapahtuvia muutoksia. Aluksi näytteitä on syytä ottaa tiheämmin ja kun prosessi on saatu stabiiliin tilaan, näytteenotto-

taajutta voidaan harventaa. Tyypillisesti näytteenottotaajuudet vaihtelevat välillä muutamana kerran tunnissa (suuri valmistuskapasiteetti) ... kaksi kertaa työvuorossa.

Lisäksi on päätettävä, tapahtuuko tiedonkeruu manuaalisesti perinteisiä valvontakortteja käyttäen tai käytetäänkö siihen jotakin kaupallista SPC-ohjelmistoa. Yleensä SPC:n soveltaminen aloitetaan manuaalisilla valvontakorteilla ja myöhemmin siirrytään SPC-ohjelmistojen käyttöön. Manuaalisten valvontakorttien pohjana käytetään yleensä standardoituja korttipohjia (esim. SFS 4360).

SPC:tä sovellettaessa on otettava huomioon, että vastuu prosessin laadusta on siirrettävä sen tuottajalle eli lattiatasolle, jossa tuotteen tekeminen tapahtuu. Tällöin virheisiin voidaan reagoida nopeasti ja voidaan ryhtyä välittömästi toimenpiteisiin virheiden aiheuttajien löytämiseksi ja niiden korjaamiseksi. Lisäksi työntekijä saa näin palautetta omasta työstään.

### 2.3 Tulosten analysointi

Näytteitä pitäisi kerätä vähintään 25 kappaletta (noin 100 mittausta), jotta mittatuloksista tehtävillä johtopäätöksillä olisi tilastollista luotettavuutta. Myös prosessin valvontarajojen laskemisessa on järkevää kerätä vähintään 20 näyte-erän tulokset ennen kuin lasketaan käytettävät rajat. Näin minimoidaan yksittäisten poikkeavien arvojen vaikutus valvontarajoihin. Kun prosessille on valvontarajat kerran määritetty, niitä ei saa muuttaa, ellei itse prosessi muutu.

Tulosten analysointia on käsitelty kappaleissa 4 – 10, joissa on esitelty joitakin SPC:n perusmenetelmiä.

### 2.4 SPC:llä saavutettavat hyödyt

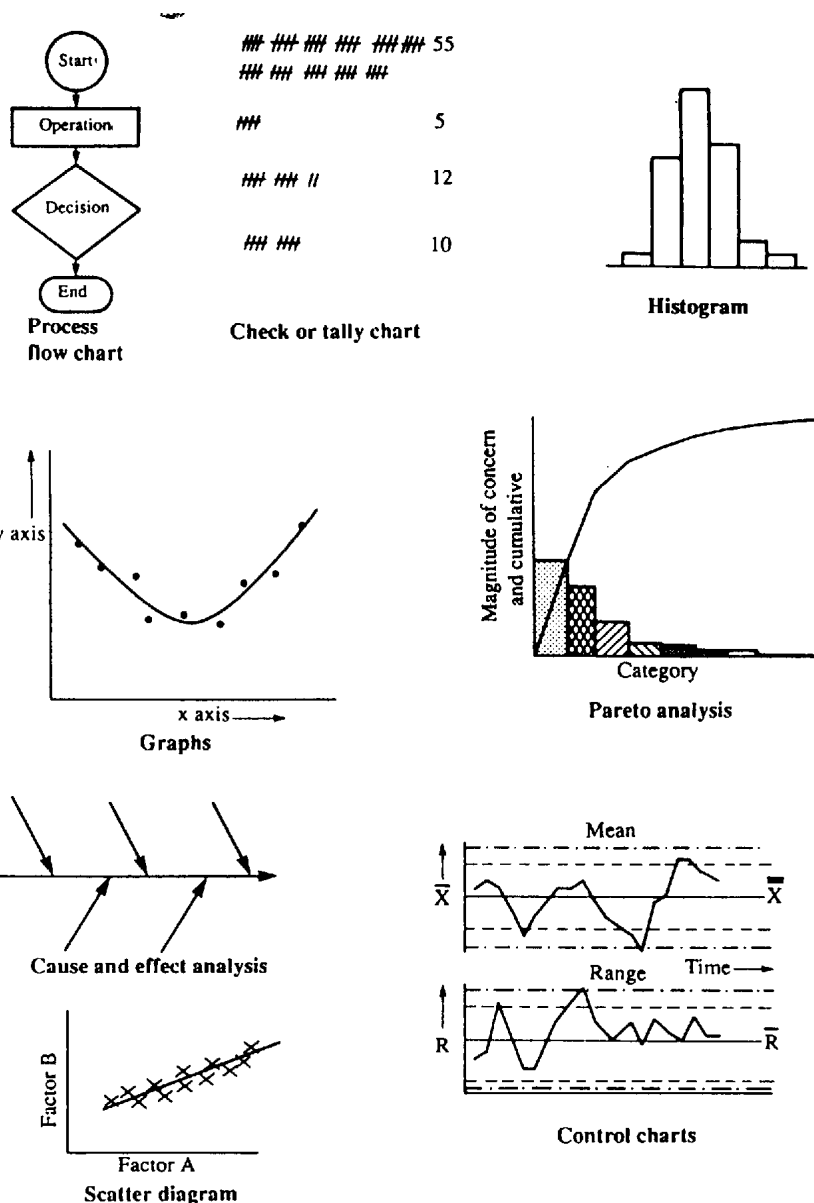
SPC:n avulla voidaan saavuttaa useita hyötyjä:

- ◆ *Prosessin muutokset havaitaan nopeasti → nopeat korjaustoimenpiteet.*
- ◆ *Löydetään helposti kriittiset prosessiparametrit ja korjaustoimenpiteitä vaativat kohteet.*
- ◆ *Prosesseille saadaan yhtenäiset laatumittarit (→ jatkuva parantaminen).*
- ◆ *Opitaan tuntemaan oma tuotantoprosessi paremmin.*
- ◆ *Ihmiset saavat palautteen omasta työstään.*

### 3. PERUSMENETELMÄT

Tunnetun japanilaisen professori Ishiwakan mukaan 95 % laatuongelmista voidaan ratkaista käyttämällä seitsemää työkalua, jotka ovat SPC:n perusmenetelmiä. Seuraavassa on mainittu seitsemän työkalua:

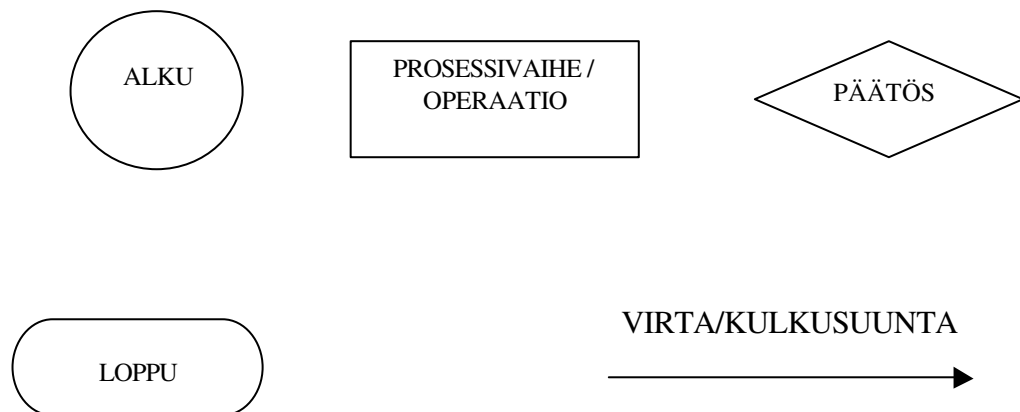
- ◆ Vuokaavio,
- ◆ Syy-seuraus-analyysi,
- ◆ Histogrammit,
- ◆ Hajontadiagrammit,
- ◆ Valvontakortit,
- ◆ FMEA-analyysi ja
- ◆ Pareto-menetelmä.



Kuva 9. SPC:n perusmenetelmiä.

## 4. VUOKAAVIO

Perinteisesti vuokaaviota on käytetty tietokoneohjelmoinnissa, mutta on olemassa myös vuokaaviotekniikoita, jotka on tarkoitettu prosessien parantamiseen. Vuokaavion tekeminen on tärkeä toimenpide, kun aloitetaan prosessin parantaminen. Se antaa tutkittavasta kohteesta hyvän kokonaiskuvan ja auttaa määrittelemään parannuskohdet. Vuokaavion merkitys korostuu, mitä laajempi prosessi on tutkittavana. Kuvassa 10 on esitetty symboleita, joita yleensä käytetään vuokaavioissa.



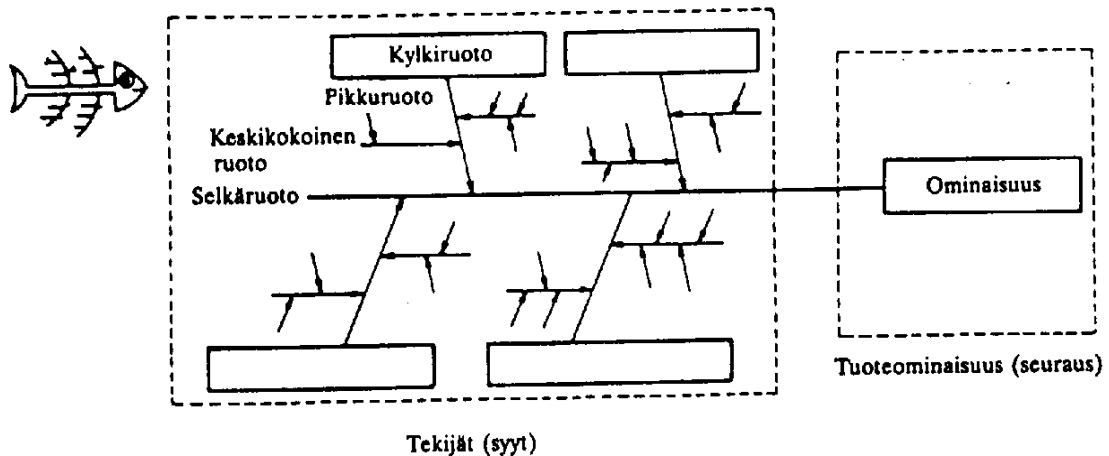
Kuva 10. Vuokaavion symboleita.

## 5. SYY-SEURAUS-DIAGRAMMI

Tutkimalla prosessia systemaattisesti voidaan löytää syy-seuraus -suhteita eli tietyt prosessin tulosuureet vaikuttavat prosessin lähtösuureisiin tietyllä tavalla. Syy-seuraus-diagrammi on visuaalinen apuväline prosessin kehittämisessä. Diagrammia kutsutaan usein kalanruotokuvioksi sen ulkonäön perusteella. Seuraavassa on esitetty syy-seuraus-diagrammin laatimisen vaiheet:

- ◆ Määrittele tutkittavan prosessin laatumuuttujat. Valitse tutkittava laatumuuttuja ja aseta sille realistinen tavoite.
- ◆ Kirjoita valittu laatumuuttuja oikeaan reunaan ja piirrä kalanruoto-kaavio.
- ◆ Kerää kaikki tutkittavaan laatuominaisuuteen ensisijaisesti vaikuttavat syyt, ja kirjoita ne pääruotojen kärkiin.
- ◆ Kirjaa ensisijaisiin syihin (pääruotoihin) vaikuttavat syyt (toissijaisia syyt) ja kirjoita ne keskikokoisten ruotojen kärkiin. Tämän jälkeen kirjaa näihin vaikuttavat syyt pikkuruotoihin.
- ◆ Analysoi diagrammi ja ryhdy tarvittaviin toimenpiteisiin.

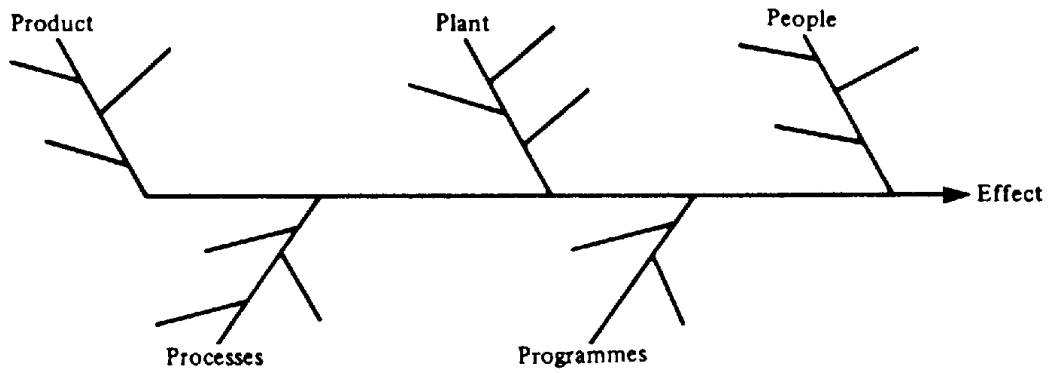
Kuvassa 11 on esitetty syy-seuraus -diagrammin perusrakenne.



Kuva 11. Syy-seuraus-diagrammi.

Diagrammi voidaan muodostaa myös listaamalla ensin kaikki tutkittavaan muuttuajaan vaikuttavat syyt ja määrittelemällä niiden keskinäiset riippuvuussuhteet ja tärkeysjärjestykset. 5P-diagrammia voidaan hyödyntää etsittäessä muuttuajaan vaikuttavia tekijöitä. P-kirjaimet tulevat englanninkielisistä sanoista: products (tuote), plant (tehdas), people (ihminen), processes (prosessi) ja programmes (ohjelmistot).





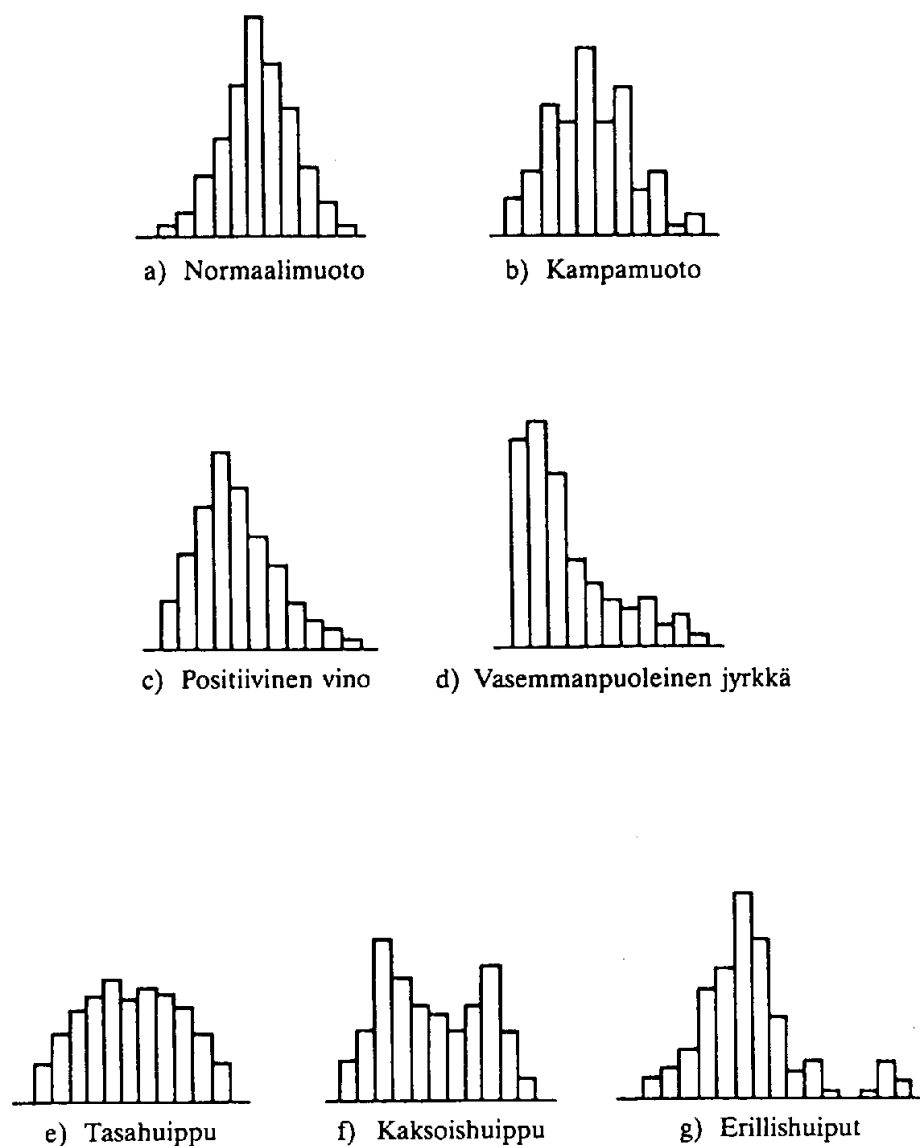
Kuva 12. 5P-diagrammi.

Syy-seuraus-diagrammi on hyvä tapa kirjata aivoriihen tuloksia. Sen avulla voidaan organisoida vapaasti esitettyjä ajatuksia loogisella tavalla. Syy-seuraus-kaaviosta voidaan edetä kvantitatiivisempiin esitystapoihin kuten hajontadiagrammeihin, korrelaatioanalyysiin, jne.

## 6. HISTOGRAMMIT

Tuotteen laatua koskevat johtopäätökset perustuvat usein tuotejoukosta otettuihin näytteisiin, koska kaikkia tuotteita tai koko tuotevirtaa ei voida analysoida tai mitata. Mitä suurempi näytemäärä on käytettävissä, sitä varmemmat perusteet päätöksenteolle on olemassa. Näytemäärän kasvattaminen merkitsee kuitenkin samalla myös käsiteltävän tietomäärän kasvattamista ja tietojen merkityksen arvioinnin vaikeutumisesta. Histogrammi on yleisesti käytössä oleva työkalu suurten näytemäärien sisältämän tiedon esittämisessä.

Histogrammissa esitetään mittausarvot vaaka-akselilla ja kunkin mittausarvon (tai mittausarvoalueen) esiintymistiheys pystyakselilla. Kuvassa 13 on esitetty tyypillisimmät histogrammien muodot ja niiden tulkintaa tarkastellaan seuraavassa.



Kuva 13. Eri tyyppisiä histogrammeja.

## **Normaalimuoto**

Histogrammin keskiarvo on alueen (vaihteluvälin) keskellä. Frekvenssi (esiintymistiheys) on suurin alueen keskellä ja pienenee asteittain alueen reunoja kohti. Muoto on symmetrinen. Kyseinen histogrammin muoto on yleisin. Ei ole olemassa mitään ”eriyssyyttä”, mikä aiheuttaa kyseisen muodon (normaali).

## **Kampamuoto**

Joka toisessa luokassa on matalampi frekvenssi. Muoto syntyy, kun mittausarvojen määrä muuttuu luokasta toiseen tai mittausarvot on pyöristetty väärään suuntaan poikkeavasti.

## **Positiivinen (negatiivinen) vino**

Histogrammin keskusta sijaitsee vaihteluvälin keskipisteen vasemmalla (oikealla) puolella. Frekvenssi pienenee jyrkästi vasemmalle (oikealle) mentäessä ja hitaasti oikealle (vasemmalle) mentäessä. Kyseinen muoto syntyy, kun alarajaa (ylärajaa) on ohjattu teoreettisesti tai spesifikaatorajojen avulla (esim. virheitä/tuote) tai kun tiettyä arvoa pienempiä (suurempia) arvoja ei esiinny.

## **Vasemmanpuoleinen (oikeanpuoleinen) jyrkkä**

Histogrammin keskiarvo sijaitsee kaukana vasemmalla (oikealla) vaihteluvälin keskipisteestä. Frekvenssi laskee jyrkästi vasemmalle (oikealle) ja loivasti päinvastaiseen suuntaan. Tämä muoto esiintyy, kun on tehty 100 %:n tarkastus prosessin dhaisen suorituskyvyn vuoksi (esimerkiksi elektroniikan komponentit). Kyseinen muoto tulee esille myös silloin, kun positiivinen (negatiivinen) vinous menee äärimmäisyyksiin.

## **Tasahuippumuoto**

Frekvenssi on jokaisessa luokassa likimain sama, lukuunottamata reunimmaisista luokista. Luokissa on saman verran arvoja. Muoto esiintyy, kun yhdistetään useita jakaumia, joilla on eri suuret keskiarvot esimerkiksi, kun eri koneilla on tehty samaa kappaletta.

## **Kaksoishuippumuoto**

Frekvenssi on alhainen alueen keskikohdan lähellä ja sen molemmiin puolin on frekvenssihuippu. Kyseinen muoto syntyy, kun yhdistetään kaksi eri jakaumaa ja niiden keskiarvot ovat kaukana toisistaan (esim. kaksi eri muovityökalumuottia).

## **Erillishuiput**

Pieni erillinen huippu lisättyä normaalimuotoiseen histogrammiin. Tämä muoto esiintyy silloin, kun mukana on muutamia arvoja eri jakaumista, kuten prosessin häiriö, mittausvirhe tai arvoja eri prosesseista.

Muodon lisäksi histogrammi mahdollistaa myös kerätyn tiedon kvantitatiivisen käsittelyn. Siitä nähdään

- ◆ *Tarkasteltavan suureen suurin ja pienin arvo,*
- ◆ *Vaihteluväli,*
- ◆ *Keskittyminen ja keskiarvo (normaalista jakaumasta) ja*
- ◆ *Pysyvätkö tarkasteltavan suureen arvot spesifikaatioissaan.*

## 7. HAJONTADIAGRAMMIT

Hajontadiagrammia käytetään tutkittaessa kahden toisiinsa liittyvän muuttujan välistä korrelaatiota. Muuttujat voivat olla:

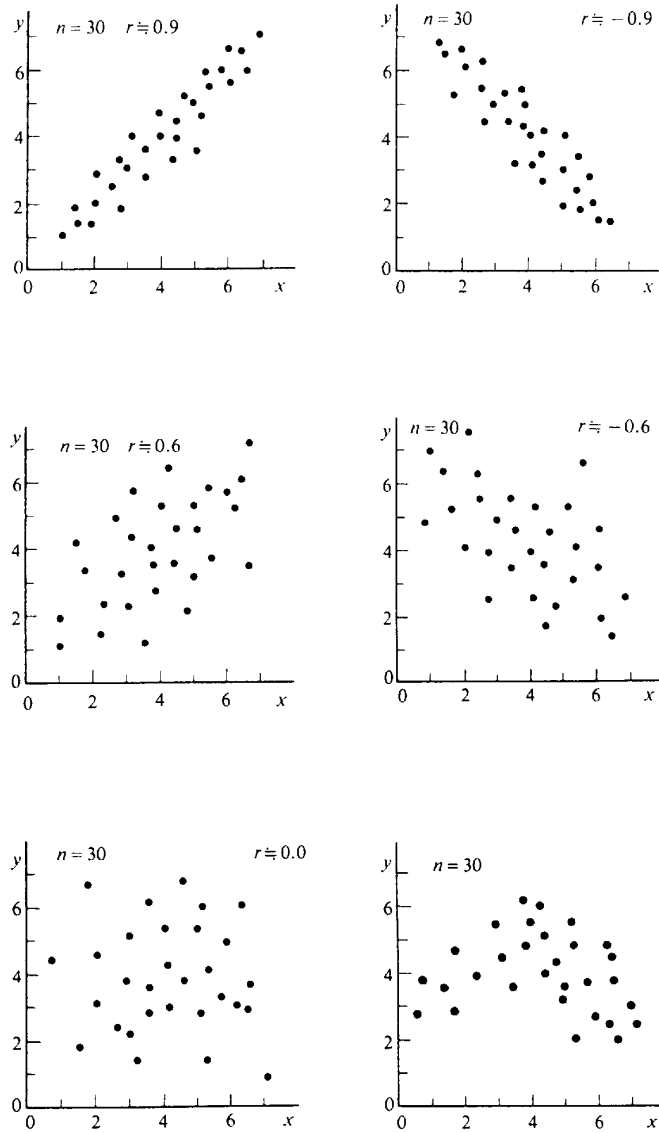
- ◆ *Laatuominaisuus ja siihen vaikuttava tekijä,*
- ◆ *Kaksi toisiinsa sidoksissa olevaa laatuominaisuutta tai*
- ◆ *Kaksi tekijää suhteessa yksittäiseen laatuominaisuuteen*

Hajontadiagrammin käyttö seuraa usein syy-seuraus-analyysiä. Sen avulla voidaan selvittää muuttujien keskinäinen riippuvuus. Kun tehdään muuttujien välistä korrelaatioanalyysiä, ensimmäisenä on tutkittava, onko diagrammissa epäsäännöllisiä pisteitä. Yleensä voidaan olettaa, että kaukana pääjoukosta sijaitsevat pisteet ovat mittausvirheitä tai ne johtuvat muuttuneista prosessiolosuhteista. Tällaiset pisteet pitää jättää korrelaatioanalyysin ulkopuolelle. Kuitenkin pisteiden poikkeamien aiheuttajat pitää selvittää. Jäljelle jäävien pisteiden avulla voidaan päätellä, onko tarkasteltavien muuttujien välillä riippuvuussuhdetta.

Kuvan 14 kahdessa ylimmässä tapauksessa on muuttujien välillä selvä riippuvuussuhde, keskimmaisissa kuvissa mahdollisesti jonkin asteinen korrelaatio, kun taas alimmaisissa kuvissa ei ole havaittavissa korrelaatiota muuttujien välillä.

Hajontadiagrammien käyttö etenee seuraavan vaihejaon mukaisesti

- ◆ *Valitse riippuva ja riippumaton muuttuja. Tässä voidaan hyödyntää syy-seuraus-analyysiä*
- ◆ *Suunnittele tiedonkeruu*
- ◆ *Valitse tarkastelussa käytettävät riippumattoman muuttujan arvot (koesuunnitelma)*
- ◆ *Kerää eo. valintaa vastaavat riippuvan muuttujan arvot (kokeet) ja talleta tulokset*
- ◆ *Piirrä tulokset hajontadiagrammin muotoon*
- ◆ *Analysoi diagrammia.*



Kuva 14. Eriaisia hajontadiagrammeja.

## 8. VALVONTAKORTIT

Valvontakortit ovat SPC:n tärkein työväline. Niiden avulla valvotaan prosessia ja seurataan, tapahtuuko prosessissa muutoksia. Valvontakortteja on kahta päätyyppiä – muuttujien eli mitattavien suureiden valvontaan tarkoitettut kortit ja kortit attribuuttitiedon (on/ei) valvontaan.

### 8.1 Muuttujien valvonta

Käsitteellä muuttuja tarkoitetaan jotakin tiettyä tuotteen tai prosessiparametrin ominaisuutta, joka voidaan mitata ja ilmaista numeerisena suurena. Esimerkkejä muuttujista on tuotteen fyysinen mitta, paino tai lämpötila.

Muuttujien valvontakortin perusajatuksena on prosessista otettujen näyte-erien perusteella piirtää käyrä, jonka avulla valvotaan prosessin tilaa. Valvontakortteihin asetetaan valvontarajat yleensä kolmen standardipoikkeaman etäisyydelle keskiarvosta. Tällöin tiedetään, että jos jokin valvontakäyrän piste on valvontarajojen ulkopuolella, syynä on todennäköisesti jokin häiriötekijä.

Muuttujien SPC-valvontaan on useita hieman toisistaan eroavia korttityyppejä. Tärkeimpiä valvontakorttityyppejä ovat:

- ◆ *X-R-kortti*,
- ◆ *X-S-kortti ja*
- ◆ *Mediaanikortti*.

#### 8.1.1 Valvontarajojen laskeminen

##### **X-R –kortin valvontarajat:**

X-R-kortti on SPC:ssä yleisin muuttujien valvonnassa käytetty korttityyppi. X-R-kortissa prosessin jakauman paikan valvontaan käytetään näyte-erien keskiarvoa. Seuraavassa on esitetty, kuinka X-R-kortin valvontarajat lasketaan.

X-VALVONTA:

$$YVR = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$AVR = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

missä YVR on ylempi valvontaraja,  
 AVR on alempi valvontaraja,  
 X on kaikkien näyte-erien keskiarvojen keskiarvo,  
 R on vaihteluvälien keskiarvo ja  
 A<sub>2</sub> on vakio.

Vakio A<sub>2</sub> saa Euroopassa ja Yhdysvalloissa hieman eri arvoja. Eurooppalainen laskutapa on seuraavan yhtälön mukainen, missä d<sub>4</sub> on Hartleyn kerroin ja n on havaintojen

määrä kussakin näyte-erässä. Amerikkalaisessa käytännössä kerroin 3.09 korvataan kertoimella 3.0.

$$A_2 = \frac{3.09}{d_n \sqrt{n}}$$

Hartleyn kerroin riippuu näyttekoosta seuraavasti:

Koko	2	3	4	5	6	7
$d_n$	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704

R-VALVONTA:

$$YVR_R = D_4 \times \bar{R}$$

$$AVR_R = D_3 \times \bar{R}$$

missä YVR on ylempi valvontaraja,  
AVR on alempi valvontaraja,  
 $\bar{R}$  on vaihteluvälien keskiarvo,  
 $D_4$  on vakio ja  
 $D_3$  on vakio.

Vakioiden arvot riippuvat havaintojen määrästä kussakin näytteessä. Taulukoituja arvoja löytyy SPC-oppikirjoista. X-R-kortteja voidaan piirtää myös liukuvan keskiarvon ja vaihteluvälin tapauksille.

### X-S –kortin valvontarajat:

Keskiarvon ja keskihajonnan valvontakortti eroaa X-R-kortista ainoastaan siinä, että vaihteluvälin (R) sijasta kunkin näyte-erän mittaustuloksille lasketaan keskihajonta (s) kuvaamaan prosessin luonnollista hajontaa.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

missä  $x_i$  on yksittäinen näyte-erän mittaustulos,  
 $\bar{X}$  on näyte-erän mittaustulosten keskiarvo,  
 $n$  on näyte-erän koko ja  
 $s$  on näyte-erän keskihajonta.

$$\bar{s} = \frac{\sum s_i}{k}$$

missä  $s_i$  on yksittäisten näyte-erien keskihajonta,  
 $k$  on näyte-erien lukumäärä ja  
 $\bar{s}$  on näyte-erien keskihajontojen keskiarvo.

Yleensä keskihajonnan ymmärtäminen ja laskeminen on työntekijöille vaikeaa, minkä vuoksi X-S-korttia ei usein käytetä manuaalisessa valvonnassa. Sen sijaan SPC-ohjelmistoissa on automaattinen laskenta SPC:ssä tarvittaville yhtälöille ja tunnuslu-



vuille. Jos yrityksessä on käytössä SPC-ohjelmisto, X-S-korttia kannattaa käyttää, koska näyte-erän keskihajonnan käyttäminen vaihteluvälin sijasta on tarkempaa ja näin ollen suositeltavaa.

X-VALVONTA:

$$\begin{aligned} AVR_x &= \bar{X} - (A_3 \times \bar{s}) \\ YVR_x &= \bar{X} + (A_3 \times \bar{s}) \end{aligned}$$

Vakion  $A_3$  arvoja löytyy taulukoituna oppikirjoista.

S-VALVONTA:

$$YVR_y = B_4 \times \bar{s}$$

**Mediaanikortti:**

Mediaanikortin valvontarajojen laskeminen eroaa X-R-kortin valvontarajojen laskemisesta siinä, että vakio  $A_2$  muuttuu näyte-erän koon mukaan ja kaikkien näyte-erien keskiarvojen keskiarvon sijasta käytetään keskimmäistä arvoa (mediaania). Eli mediaanikortissa prosessin jakauman paikan valvomiseen käytetään keskiarvon sijaan mediaania. Mediaanikortissa hajonnan valvonta tapahtuu mittaustulosten vaihteluväliä käyttäen, samoin kuin X-R-kortissa.

Mediaanin määrittäminen on erittäin helppoa, kun valitaan näyte-erän kooksi pariton luku. Yksinkertaisen matematiikan puolesta mediaanikortti soveltuu hyvin manuaalisesti tapahtuvaan valvontaan.

## 8.2 Attribuuttien valvonta

Attribuuteilla tarkoitetaan sellaisia tietoja prosessin tai tuotteen ominaisuuksista, joita ei voida ilmaista jonkin suureen mittana. Attribuuttitieto voidaan jakaa kahteen luokkaan:

- ◆ *Luokitteleva tieto (Kyllä tai ei -tieto, Conforming or not-conforming)*
- ◆ *Lukumäärätieto (Virheiden lukumäärä, Conformities or non-conformities)*

Mitattavan attribuuttitiedon perusteella valitaan käytettävä analysointimenetelmä seuraavasti:

- ◆ **np-kortti:** *Näyte-erän koko on vakio ja valvotaan virheellisten yksiköiden määrää (esim. virheellisiä savukkeita 20 savukkeen rasiassa, jolloin eräkoko on luonnollisesti vakio).*
- ◆ **p-kortti:** *Näyte-erän koko ei ole vakio, vaan se muuttuu erästä toiseen. Valvotaan virheellisten yksiköiden esiintymissuhdetta.*
- ◆ **c-kortti:** *Näyte-erän koko on vakio ja valvotaan yksittäisten virheiden lukumäärää.*

- ◆ **u-kortti:** Näyte-erä ei ole vakio; valvotaan yksittäisten virheiden lukumäärää.

### 8.2.1 Valvontarajojen laskeminen

#### NP-kortti:

NP-kortin valvontaraja lasketaan yhtälöstä

$$VR = np + 3\sqrt{np(1-p)}$$

jossa  $n$  on näytekoko ja  $p$  on viallisten tuotteiden osuus.

#### P-kortti:

P-kortille vastaava rajan laskeminen tapahtuu yhtälöllä

$$VR = \bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

jossa  $\bar{p}$  on viallisten tuotteiden osuuden keskiarvo ja  $\bar{n}$  on keskimääräinen näytekoko. Keskimääräistä näytekokoja voi käyttää, jos yksittäiset näytekoot vaihtelevat korkeintaan 25 % keskimääräisen näytekoon ympäristössä. Muussa tapauksessa näytteille joudutaan laskemaan yksilölliset valvontarajat.

#### C-kortti:

C-kortille valvontaraja lasketaan yhtälöstä

$$VR = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

jossa  $\bar{c}$  on virheiden keskiarvo.

#### U-kortti:

U-kortille valvontaraja saadaan yhtälöstä

$$VR = \bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

jossa  $\bar{n}$  on näytekoon keskiarvo ja  $\bar{u}$  on virheiden keskiarvo (virhettä / näyte-erä).

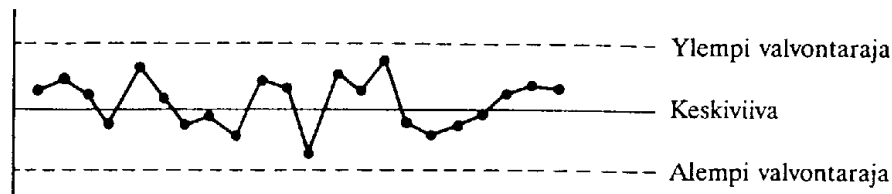
### 8.3 Valvontakorttien/-käyrien tulosten tulkinta

Valvontakorttia käytettäessä on prosessia kuvaavaa valvontakäyrää osattava tulkita oikein. SPC:n teorian perusteella prosessissa on tapahtunut muutos, jos jompikumpi valvontarajoista ylittyy. Valvontakäyriä oikein tulkittaessa on mahdollista saada informaatiota prosessin tilasta ja muutoksista jo ennen valvontarajan ylittymistä. Valvontakäyrien tulkitseminen perustuu yleisiin sääntöihin, jotka on seuraavassa esitetty:

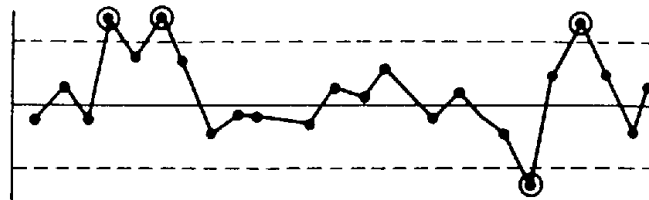
- ◆ *valvontarajojen ulkopuolella*
- ◆ *suuntaus (trendi)*
- ◆ *siirtymä*
- ◆ *jaksollinen vaihtelu*
- ◆ *valvontarajoja lähestyminen*
- ◆ *keskiviivaa lähestyminen.*

#### Valvontarajojen ulkopuolella

Jos valvontakäyrä ylittää valvontarajan, prosessissa on hyvin todennäköisesti tapahtunut muutos (kuva 15). Sattumanvaraisen ylityksen todennäköisyys on pienempi kuin 1/1000. Muutoksen aiheuttaja on selvitettävä heti ja pyrittävä poistamaan.



Valvontakortti – prosessi on hallinnassa

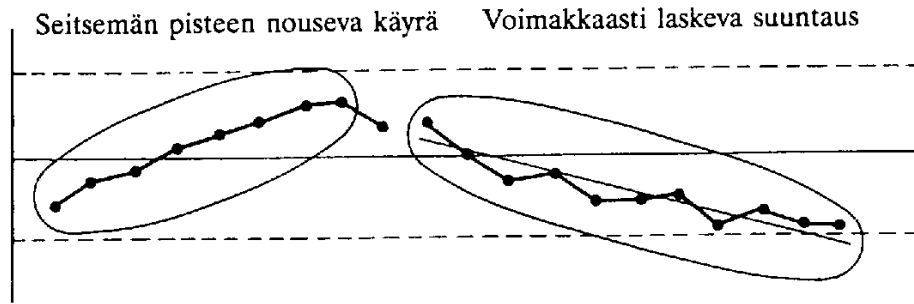


Valvontakortti – prosessi ei ole hallinnassa

Kuva 15. Valvontakortti.

#### Suuntaus (trendi)

Hidas, systemaattinen prosessin muutos on usein nähtävissä vaihteluvälin (R) tai keskiarvon (X) valvontasarakkeesta useamman peräkkäisen pisteen arvon laskevasta tai nousevasta käyrästä. Yleisenä sääntönä pidetään, että seitsemän peräkkäistä laskevaa tai nousevaa pistettä merkitsee, että prosessi on hitaasti muuttumassa (kuva 16). Todennäköisyys, että valvontakäyrässä on sattumalta seitsemän peräkkäistä pistettä laskevassa tai nousevassa järjestyksessä, on erittäin pieni (1/1000).

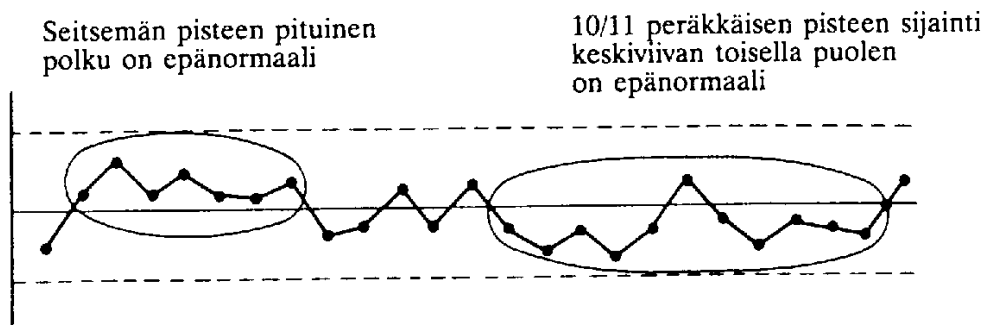


Kuva 16. Prosessissa hitaasti tapahtuva suuntaus (trendi).

### Siirtymä

Käyrän pysyminen pidemmän aikaa keskiarvon toisella puolen on myös osoitus prosessin muutoksesta. Seitsemää peräkkäistä pistettä keskiarvon toisella puolin pidetään epänormaalina (kuva 17). Vaikka peräkkäisiä pisteitä ei olisi seitsemää, pidetään myös seuraavia tapauksia epänormaaleina:

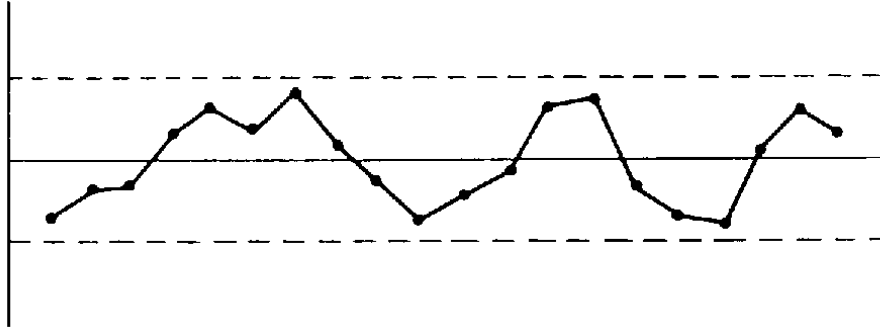
- ◆ Vähintään 10 pistettä 11 peräkkäisestä sijaitsee keskiiviivan toisella puolella.
- ◆ Vähintään 12 pistettä 14 peräkkäisestä sijaitsee keskiiviivan toisella puolella.
- ◆ Vähintään 16 pistettä 20 peräkkäisestä sijaitsee keskiiviivan toisella puolella.



Kuva 17. Prosessissa tapahtunut siirtymä.

### Jaksollinen vaihtelu

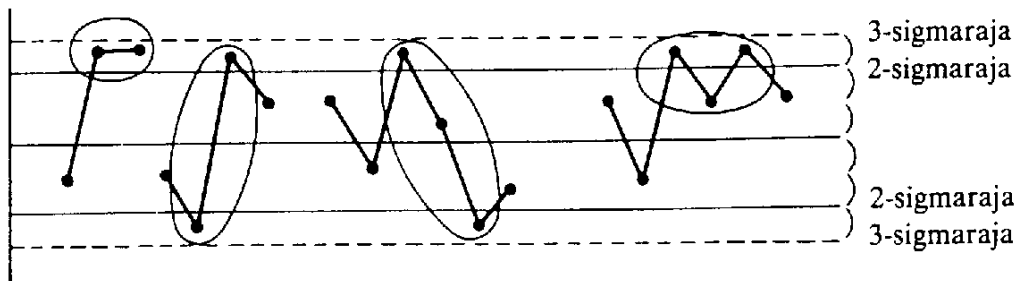
Kun valvontakäyrän muoto muuttuu säännönmukaiseksi (esim. aaltomaiseksi), on kyseessä epänormaali tila (kuva 18). Vaihtelun voi aiheuttaa esimerkiksi eri vuorossa olevien työntekijöiden erot työtavoissa tai eri vuorokaudenaikojen lämpötilavaihtelut. Jaksottaiset prosessin vaihtelun syyt voidaan usein todeta seuraamalla tuotteista riippumattomia prosessiparametria, kuten em. työntekijöitä tai lämpötilaa.



Kuva 18. Prosessissa tapahtuu jaksollista vaihtelua.

### Valvontarajoja lähestyminen

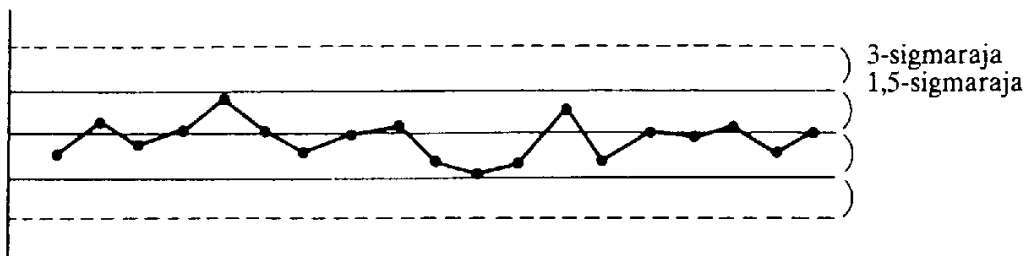
Jos kaksi kolmesta pisteestä esiintyy 2-sigmarajojen ulkopuolella pidetään tapausta epänormaalina (kuva 19).



Kuva 19. Valvontarajojen lähestyminen.

### Keskiviivaa lähestyminen

Pisteistä  $2/3$  osaa tulisi olla keskimmäisessä kolmanneksessa (keskiarvon ympärillä) ja vastaavasti  $1/3$  osaa reunimmaisissa kolmanneksissa. Kun suurin osa (yli  $2/3$  osaa) pisteistä on järjestäytynyt 1,5-sigmarajojen keskelle (keskimäinen kolmannes), se johtuu todennäköisesti epätarkoituksenmukaisesta alaryhmiin jaosta (kuva 20). Keskiviivaa lähestyminen ei tarkoita hallittua tilaa, vaan alaryhmissä sekoittuvat eri perusjoukkojen arvot ja valvontarajojen etäisyys on liian suuri. Tällaisessa tilanteessa on muutettava alaryhmiin jakotapaa.



Kuva 20. Keskiviivaa lähestyminen.

## 8.4. Monimuuttujamenetelmät

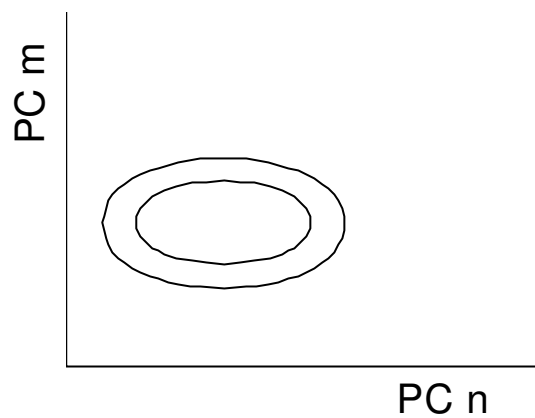
Yhden muuttujan valvontakortit mahdollistavat muuttujakohtaisten poikkeamien seuraamisen, mutta niillä ei voida seurata muuttujien välisten vuorovaikutusten vaikutuksia laatusuureisiin. Tämän vuoksi ne voivat johtaa virhepäätelmiin monimutkaisissa, vuorovaikutteisissa tapauksissa, joita käytännön prosesseissa aina esiintyy.

Monimuuttujaiset tilastollisen prosessinohjauksen menetelmät perustuvat suurien datamäärien käsittelyyn ja muuttujien välisten vuorovaikutusten huomioonottamiseen. Ne perustuvat tilastollisiin projektiomenetelmiin, esimerkiksi PCA (pääkomponenttianalyysi, Principal Component Analysis) ja PLS (Projection to Latent Structures). Molemmissa menetelmissä käsiteltävän tietomassan dimensionaalisuutta pienennetään ja tuloksena saadaan uudet muuttujat, jotka ovat aikaisempien muuttujien lineaarinen kombinaatio ja jotka selittävät datan vaihtelua.

Monimuuttujamenetelmissä käytetyt valvontakortit perustuvat tiedon keräämiseen tilanteesta, jossa prosessi on hallinnassa ja laatu spesifikaatioidensa sisäpuolella. Tämä data voidaan hankkia prosessikokeilla tai keräämällä prosessitietoja ”normaalitilanteessa”. Lähestymistapa perustuu siihen, että muuttujat riippuvat toisistaan ja erilaiset muuttujakombinaatiot voivat johtaa samanlaiseen lopputulokseen. Käytännössä esimerkiksi pääkomponenttianalyysillä muodostetaan ”normaalitilannetta” kuvaava malli, jolla laskettuun ennusteeseen uusia mitattuja arvoja verrataan.

Monimuuttujamenetelmät antavat useita mahdollisia keinoja seurata prosessin toimintaa graafisesti:

- ◆ *Yksittäiselle pääkomponentille voidaan piirtää aikaisemman esityksen mukainen ohjauskortti*
- ◆ *Kahdelle tai kolmelle pääkomponentille piirretään useampidimensionoinen ohjauskortti (kuva 21)*
- ◆ *Normaalitilanteen mallista ennustetun ja todellisen pääkomponentin arvojen erotuksen neliö (SPE) piirretään aikasarjana yhdessä esimerkiksi 95 %:n luottamusvälin kanssa*
- ◆ *Tärkeimmille pääkomponenteille laskettu Hotelling  $T^2$  arvo piirretään aikasarjana yhdessä esimerkiksi 95 %:n luottamusvälin kanssa*
- ◆ *Tärkeimmille alkuperäisille muuttujille lasketut kontribuutiokuvaajat, jotka kuvaavat po. muuttujassa tapahtunutta muutosta normaalitilanteen mallin ja uuden, esimerkiksi out-of-control tilanteen välillä. Tämä auttaa selvittämään, millä muuttujilla on ollut vaikutusta prosessin toiminnan muuttumiseen.*



Kuva 21. Kahden pääkomponentin valvontakortti. Suljetut käyrät kuvaavat normaali-tilanteen mallia 95 % ja 99 %:n luottamusväleillä.

## 9. FMEA-ANALYYSI

FMEA-analyysi on tekniikka, jonka avulla voidaan *määritellä ja tunnistaa sekä eliminoida tunnetut ja potentiaaliset virheet prosessissa*. FMEA on lyhenne sanoista *Failure Mode and Effect Analysis eli vika- ja vaikutusanalyysi*. FMEA-analyysi voidaan jakaa kahteen päätyyppiin:

- ◆ *DFMEA (Design FMEA)*
- ◆ *PFMEA (Process FMEA)*.

DFMEA:lla tutkitaan, mitä mahdollisia suunnittelusta johtuvia heikkouksia/virheitä tuotteessa on, jotka voivat aiheuttaa tuotteen vioittumisen valmistusprosessissa. DFMEA voidaan käyttää myös suunnitteluvaiheen laadunvarmistuksessa. PFMEA:ta käytetään valmistusprosessin vika- ja vaikutusanalysointiin, jolloin tavoitteena on eliminoida virheiden aiheuttajat. Lisäksi PFMEA kertoo, kuinka valmistusta pitäisi ohjata ja valvoa, jotta virhe vältettäisiin.

FMEA:ssa lasketaan jokaisen vian jokaiselle alkusyyllle riskin suuruutta kuvaava lukuarvo – RPN (Risk Priority Number). RPN-luku lasketaan seuraavan yhtälön mukaan:

$$RPN = \text{vikatiheys} \times \text{vakavuusaste} \times \text{löydettävyys}$$

Yhtälössä vikatiheydellä tarkoitetaan vikatyypin esiintymistiheyttä tietyn suuruudessa erässä (Huom! Aina käytettävä yhtenäistä menetelmää). Vikatiheyden määrittämiseen on olemassa eri vaihtoehtoja. Ohessa on esitetty Fordin asteikko.

Taulukko 1. Fordin asteikko vikatiheyden määrittämiseen.

ESIINTYMISTODENNÄKÖISYYS	VIKATHEYS
1 : 100 000	1
1 : 20 000 – 1 : 10 000	2 – 3
1 : 2 000 – 1 : 1 000 – 1 : 200	4 – 5 – 6
1 : 100 – 1 : 20	7 – 8
1 : 10 – 1 : 2 tai suurempi	9 – 10

Vakavuusaste arvioidaan käsittelijän/käyttäjän näkökulmasta, miten vakavaksi virhetyyppi koetaan. Vakavuusasteen määrittelyssä voidaan käyttää esimerkiksi Fordin asteikkoa, joka on esitetty taulukossa 2.



Taulukko 2. Fordin asteikko vakavuusasteen määrittämiseen.

VAKAVUUSASTE	VAKAVUUSASTE
Ei vaikutus tuotteeseen tai prosessiin	1
Vähäinen vaikutus	2 – 3
Tuotteen tai prosessin toimintahäiriö	4 – 5 - 6
Suuri toimintahäiriö tuotteessa tai prosessissa	7 – 8 - 9
Henkilövahinkoriski	10

Löydettävyydellä tarkoitetaan sellaista todennäköisyyttä, että virhe havaitaan normaalin valmistusprosessin aikana ennen kuin tuote päätyy asiakkaalle. Taulukossa 3 on esitetty Fordin asteikko löydettävyydelle.

Taulukko 3. Fordin asteikko löydettävyydelle.

LÖYTYMISTODENNÄKÖISYYS (%)	LÖYDETTÄVYYS
99,99	1
99,97	2 – 3
98	4 – 5 - 6
95,4	7 – 8
68,3	9 – 10

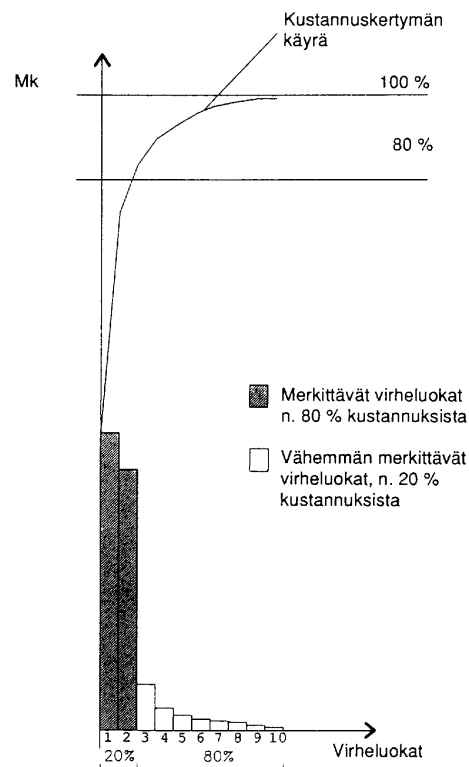
RPN-luku on painoarvoluku, joka kertoo virheen aiheuttajien kriittisyyden eli sen perusteella korjaukset voidaan kohdistaa suurimpiin riskeihin. Jos RPN-luku on alle 60, toimenpiteitä ei tarvita. Jos luku on yli 120, pitää tehdä välittömästi jotain. Tällöin SPC:stä on usein apua. Sen avulla voidaan pienentää RPN:n kahta osatekijää: vikatiheyttä ja löydettävyyttä. Vakavuusastetta ei voi muuttaa mitenkään.

## 10. PARETO-MENETELMÄ

Pareto-analyysi on menettelytapa, jolla voidaan seuloa merkittävien tekijöiden vaikutukset esille suuremmasta havaintoryhmästä. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi vika-analyysissä työkaluna, jonka avulla määritetään korjaustoimenpiteiden prioriteetteja. Menetelmä on sinällään yksinkertainen ja tulokset voidaan esittää havainnollisessa muodossa.

Pareto-analyysissa tietoa järjestetään sen prioriteetin tai tärkeyden mukaan. Sen avulla saadaan helposti selville suurimmat virheen aiheuttajat.

- ◆ *Vaihe 1: Listaa kaikki vaihtoehdot (elementit).*
- ◆ *Vaihe 2: Mittaa elementit. Mittaamisesta on huomattava, että kaikkia vaihtoehtoja täytyy arvioida yhteismitallisesti rahan, esiintymistiheyden, ajan tai muun tekijän suhteen.*
- ◆ *Vaihe 3: Järjestä elementit. Pareto-analyysissä luokittelu tapahtuu mittauksen mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että kun analyysi tehdään esiintymistiheyden mukaisesti, kohteet luokitellaan esiintymistiheyden mukaan laskevaan järjestykseen. Vastaava luokittelu tehdään kustannusten suhteen.*
- ◆ *Vaihe 4: Laske kumulatiiviset jakaumat. Eo. luokittelun perusteella lasketaan kumulatiiviset esiintymistiheydet ja kustannukset ja ne annetaan myös prosentteina kokonaisarvoista.*
- ◆ *Vaihe 5: Piirrä Pareto-käyrät (Kuva 22).*
- ◆ *Vaihe 6: Pareto-käyrien tulkinta. Yleisesti käytetään 20/80-sääntöä; esimerkiksi 20 % vioista aiheuttaa 80 % kustannuksista.*



Kuva 22. Pareto-analyysi.

## 11. LAATUTARINA

Käytännön ongelmien ratkaisut vaativat järjestelmällistä lähestymistapaa. Eräs käytökelpoinen menettelytapa ongelmien ratkaisussa on QC-story eli laatutarina. Sen mukaan ongelma ratkaistaan seitsemää vaihetta noudattaen:

- ◆ Ongelma: *Ongelman tunnistaminen.*
- ◆ Tarkkailu: *Ongelman piirteiden havaitseminen.*
- ◆ Analysointi: *Pääsyiden etsiminen.*
- ◆ Toiminta: *Toimenpiteet syiden eliminoimiseksi.*
- ◆ Tarkastus: *Toiminnan tehokkuuden vahvistaminen.*
- ◆ Standardisointi: *Syiden pysyvä eliminointi.*
- ◆ Päättely: *Toimintojen uusi tarkastelu.*

### Ongelma:

- ◆ *Osoita, että käsiteltävä ongelma on vakavin (esimerkiksi pareto-analyysiä käyttäen).*
- ◆ *Rajaa ongelma selvästi.*
- ◆ *Aseta tavoite.*
- ◆ *Laadi työryhmä, aikataulu ja budjetti ongelman ratkaisemiseksi.*

### Tarkkailu:

- ◆ *Tutki neljä seikkaa (aika, paikka, tyyppi ja oire) löytääksesi ongelman erityispiirteet.*
- ◆ *Tarkastele ongelman erityispiirteitä eri näkökulmista.*

### Analysointi:

- ◆ *Etsi pääsyyt syy-seurausdiagrammia käyttäen.*
- ◆ *Varmista, että pääsyyt, jotka olet löytänyt ovat oikeat testaamalla.*

### Toiminta:

- ◆ *Tee selvä ero parannustoimenpiteiden (välitön parannus) ja syiden eliminointitoimenpiteiden (uudelleen esiintymisen estäminen) välillä.*
- ◆ *Listaa ehdotukset toimenpiteiksi – tutki jokainen ja valitse parhaat.*
- ◆ *Varmista, että tehtävät toimenpiteet ovat oikeat, eikä ne aiheuta muita ongelmia.*

### Tarkastus:

- ◆ *Varmista, että ongelman uudelleen esiintyminen on estetty.*
- ◆ *Vertaa parannettua tilaa ongelmaa edeltävään tilaa ja listaa saavutetut tulokset.*

### Standardisointi:

- ◆ *Poista ongelman syyt pysyvästi.*
- ◆ *Tehdyn parannuksen yksi K ja viisi M:ää - kuka, milloin, missä, mitä, miksi, miten – on tunnistettava ja standarsoitava.*
- ◆ *Aloita standarsoinin vaatimat toimenpiteet, mm. koulutus ja opastus.*

### Päättely:

- ◆ *Tarkastele tehtyä ongelmanratkaisutyötä uudelleen ja suunnittele, mitä tehdään mahdollisesti jäljelle jääneiden ongelmien ratkaisemiseksi.*