



Antti Härmä

Tilastollisten menetelmien soveltaminen tuotekehitysympäristössä

Powerwave Finland Oy

Tilastollisten menetelmien soveltaminen tuotekehitysympäristössä

Powerwave Finland Oy

Antti Härmä
Opinnäytetyö
Syksy 2010
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Tekijä(t): Antti Härmä

Opinnäytetyön nimi: Tilastollisten menetelmien soveltaminen tuotekehitysympäristössä – Powerwave Finland Oy

Työn ohjaaja(t): Leo Ilkko, Eemeli Vedenoja

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2010

Sivumäärä: 67

Powerwave Finland Oy toimii tutkimus- ja tuotekehitysyksikkönä tukiasematuotteiden alalla. Suomen yksikkö on osa globaalia Powerwave Technologies -konsernia. Tuotekehitysorganisaatiossa on havaittu kehittämistarpeita tuotteiden testaamisesta saatavien tulosten analysointikäytännöissä. Tuotekehitysympäristössä syntyvä mittausdata luo analysointiprosessille haasteita sen yksilöllisyyden takia. Verrattuna jatkuvan tuotannon analysoimiseen tuotekehitysdataa on hankalampi analysoida, koska datan määrä on pieni ja projektista toiseen uutta.

Tämän työn tarkoitus on tutkia tilastollisten menetelmien soveltamista tuotekehitysympäristöön ja todeta kuinka pitkälle analysointiprosessi on mahdollista automatisoida. Työn perimmäinen tarkoitus on tuoda tuotekehitysvaiheessa olevien tuotteiden analysoinnista saatavien suorituskykyanalyysiennusteiden tulokset lähemmäksi totuutta eli sitä, miten tuote toimii todellisuudessa jatkuvan tuotantoon siirryttäessä. Toinen päähaara on tutkia analysointiprosessin automatisoinnin mahdollisuudet, kun prosessi nykyisellään on työläs ja vie paljon suunnittelijan aikaa.

Lopputuloksena työ ohjaa tuotekehitysdatan analysointiprosessia kohti oikeita tapoja soveltaa tilastollisia menetelmiä nimenomaan teknisessä tuotekehitystyössä ja auttaa automatisoimaan prosessin tehtäviä oikealla tavalla.

Tilastolliset menetelmät, Six Sigma, Tilastollinen prosessinohjaus, Suorituskyky, Tuotekehitysympäristö.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences

Degree Programme in Business Information Systems, Option of Information Systems in Digital Media and Electronic Business

Author(s): Antti Härmä

Title of thesis: Applying Statistical Methods in Research and Development Environment – Powerwave Finland Oy

Supervisor(s): Leo Ilkko, Eemeli Vedenoja

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2010

Number of pages: 67

Powerwave Finland Oy operates as research and development organization in the field of base station systems. This particular unit in Finland is a part of the global Powerwave Technologies, Inc.

The R & D organization has faced problems related to product testing result analysis in different design phases. In R&D -environment data analysis requires special knowledge of data analysis methods because of the unique and non-continuous nature of the sampling process.

This particular project examines ways to apply statistical methods to target environment and also see how far the process could be technically automated without missing mandatory objects. While relating these two objects, the main target is to identify the natural process distribution and understand the reasons for deviations. Taking care of the necessary objects included in the analysis process will bring the approximations of product behavior more closer to reality when design is about to be escalated through design process to volume production environment.

This study will guide the analysis process to maintain correct ways to apply statistical methods and help build automation functionality especially in technical research and development environment in Powerwave Finland Oy.

Keywords: statistical process control, statistical methods, Six Sigma, process capability, research and development environment

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 ANALYSOINTITARPEET RAPORTOINNIN TAUSTALLA	10
3 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINNIN LÄHTÖKOHDAT R&D -YMPÄRISTÖSSÄ	12
4 ANALYSOINNIN ELINKAARI	13
5 TILASTOLLINEN AJATTELU ANALYSOINTIPROSESSISSA	16
5.1 Prosessin tilastollinen valvonta	16
5.2 Mittausprosessin hallinta yleisesti	17
5.3 Six Sigma -ajattelu ja -prosessi	18
5.4 Datan ymmärtäminen	19
6 TILASTOLLISET MENETELMÄT	22
6.1 Tilastolliset kontrollirajat	22
6.2 Jakauma	23
6.3 Jakauman muoto	24
6.4 Normaalijakauman soveltaminen	27
7 LUOTTAMUSTASO JA MITTAUSEPÄVARMUUS	29
8 SUORITUSKYKYANALYYSI	30
8.1 Suorituskykyindeksit	30
8.2 Cp, Pp	32
8.3 CpU, CpL, Cpk	33
8.4 Kokonaissuorituskyky	35
9 LUOTTAMUSVÄLIN LASKEMINEN SUORITUSKYKYINDEKSILLE	37
10. TEKNISET SPESIFIKAATORAJAT	39
10.1 Kaksipuolinen tekninen toleranssi	39
10.2 Yksipuolinen tekninen toleranssi	39
10.3 Indeksien merkitsevyys	41
11 MINITAB -ESIMERKKI YKSITTÄISEN MITTAUKSEN ANALYSOINNISTA	43
12 MENETELMIEN TESTAUS JA AUTOMATISOINNIN MAHDOLLISUUDET	50
12.1 Raportin tekninen puoli	51
12.2 Sovellettu Excel 2003 -käyttöliittymä	54
13 RAPORTISTA SAATAVA INFORMAATIO SUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA	59
14 JOHTOPÄÄTÖKSET	62

14.1 Tutkimuksen yhteenveto	62
14.2 Jatkokehitys	64
LÄHTEET	66

LYHENTEET

R&D – Research & Development – Tutkimus ja tuotekehitys

USL – Upper Specification Limit – Ylempi spesifikaatoraja

LSL – Lower Specification Limit – Alempi spesifikaatoraja

UCL – Upper Control Limit – Ylempi tilastollinen kontrolliraja

LCL – Lower Control Limit – Alempi tilastollinen kontrolliraja

μ - Populaation odotusarvo (keskiarvo)

σ – Perusjoukon keskihajonta. Jos ”hattu”, silloin estimatti

\bar{x} – Yksittäinen tulos. Jos viiva päällä, silloin otoskeskiarvo

s - Otoskeskihajonta

n - Otoskoko

d_2 – Estimointivakio

R – Range – vaihteluväli

MR – Moving Range - liukuva vaihteluväli

1 JOHDANTO

Laadun- ja prosessienhallintaan liittyvät ongelmat ovat monesti tiedonkeruuseen ja raportointiin liittyviä. Monet organisaatiot koostavat päivittäin yhteenvetoja erilaisten analyysien ja johtopäätösten tekoon. Raportoinnin ongelmallisuus kertautuu sitä suuremmaksi, mitä korkeammalle organisaatiokaaviossa kiivetään. Aina löytyy henkilö, joka tarvitsee korkeamman tason yhteenvedon tuloksista. Viime kädessä tämä henkilö on asiakas.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Powerwave Technologiesin tuotekehitys- ja tutkimusyksikkö Suomessa, Powerwave Finland Oy. Toimialana on tukiasematuotteiden kehitys, jolloin puhutaan hyvin teknisestä alasta, jossa tuotekehitysprosessissa analysoidut tulokset ovat numeerisia arvoja. Tuotekehitysprosessi on luonnollisesti laadun kannalta tärkeä, ellei tärkein osa tuotteiden elinkaarta, koska vain hyvin suunnitellulla tuotteella on mahdollisuuksia menestyä pitkäjänteisesti. Laajemmin ajateltuna laatu on avainsana, jota ohjataan ja joka ohjaa toimintaa. Tavoite on kehittää nimenomaan tuotekehitysympäristön analysointiprosessia.

Tuotesuunnittelijat ovat avainasemassa uusien analysointimenetelmien kehittämisessä, sillä he seuraavat tuotteiden toimivuutta jatkuvasti ja tarvitsevat luotettavan työkalun oikeiden johtopäätösten ja tehokkaan raportointikoosteen tekemiseen. Lähtökohta on se, että tuotesarjojen testaus tuottaa valtavan määrän mittausdataa, jonka analysointiin koetaan kuluvan kohtuuton määrä aikaa ja resursseja. Tämä tutkimus perehtyy raportoinnin kehittämistarpeisiin ja tilastollisten menetelmien soveltamiseen tuotekehitysympäristössä.

Nykyinen raportointikäytäntö pohjautuu tuotannonohjausjärjestelmästä tietokannan kautta Exceliin ajettavaan dataan, jota jaetaan suunnittelijoille vastuualueittain. Raportointipohjien puutteet jäsentelyssä ja eri mittausvaiheiden kategorioinnissa vaativat tarkastelijalta eri lähteiden käyttöä ja yhdistelyä, jotta suunnittelija saisi käsityksen tuotteen suorituskyvystä kokonaisuudessaan. Lisäksi ristiriidat ja luotettavuusongelmat eri raporttilähteiden välillä tuottavat ongelmia suunnittelijoille.

Teknisessä tuotekehitysympäristössä mittausdatan luonne vaatii paljon analysoinnin luotettavuudelta, pieleen meneviä johtopäätöksiä on helpompi tehdä kuin oikeita. Tuotekehitysdatan keruu

poikkeaa esimerkiksi tuotantodatan keräämisestä otoskokojen suuruudessa. Tuotesarjoille suoritetaan useita eri mittauksia useissa eri mittausympäristöissä, esimerkiksi eri lämpötiloissa. Tällainen tilanne ei mahdollista suurien tuotesarjojen eli otoskokojen valmistamista, joten analysoinnin haasteet kohdistuvat suurelta osin juuri pienten otoskokojen aiheuttamiin ongelmiin analysoinnin luotettavuudessa eli siinä, kuinka hyviä johtopäätöksiä voidaan tehdä kuvastamaan tuotteen laatua.

Tutkimuksen tavoite on löytää kohdeympäristöön sopivia käytäntöjä mittaustulosten analysointiprosessiin, löytää oikea matemaattinen teoria analysointifunktioiden rakentamiseen ja tutkia mitkä vaiheet analysointiprosessista on mahdollista automatisoida. Näitä puolia yhdistämällä tavoitellaan analysointiin kuluvan ajan lyhentämistä ja luotettavan raportointikäytännön luomista.

Tässä työssä perehdytään tilastomatematiikan, tilastollisen prosessinohjauksen (SPC) ja Six Sigma -metodien soveltamiseen Powerwave Finland Oy:n tuotekehitysympäristöön. Automaation mahdollisuuksia tutkitaan olemassa olevilla alustoilla eli Excel 2003 -ohjelmistolla ja Minitab 15 -tilastolaskentaohjelmistolla. Näitä työkaluja soveltamalla pyritään etsimään kohdeympäristöön sopiva teoria ja rakentamaan tehokkaampi analysointiprosessi.

2 ANALYSOINTITARPEET RAPORTOINNIN TAUSTALLA

Analysointitapoja, -tarpeita ja -tavoitteita on monenlaisia. Analysointia suorittavan henkilön pohjatiedot vaihtelevat kuten myös toimenkuvan luomat tarpeet. Raportoinnin taustalle rakennettavien funktioiden tarkoitus on luoda tilanne, jossa analysoijan tilastomatematiikan pohjatietojen puutteellisuus ei ole ongelma. Analysoijan ei tarvitse itse tuntea yksityiskohtaisesti teoriaa tilastollisten menetelmien taustalla, toki raportin antamaa informaatiota on ymmärrettävä. Tämä ei kuitenkaan poista sitä, että analysoijan ei tarvitsisi tuntea viitekehystä analysoinnin ympärillä. Analysoinnin ja johtopäätösten perustana on, että datan keruutapa ja tarkoitus tunnetaan.

Tietyt analysointityökalut soveltuvat vain tietynlaisen datan analysointiin eli analysoinnissa on otettava huomioon datan formaatti ja sille sopivin analysointityökalu. Tuotekehitysdata on tietyllä tavalla hyvin spesifi datan muoto, koska ei niinkään puhuta jatkuvasta prosessista, johon tilastollinen prosessin ohjaus soveltuu parhaiten, vaan tuotekehitysdata on usein yksilöllinen populaatio. Tuotekehitysdatan tavoite on saavuttaa luotettavia ennusteita tuotteen käyttäytymisestä volyymituotannossa, jolloin ongelmaksi muodostuvat helposti pienet tuotesarjakoot. Kun puhutaan esimerkiksi 10-50 kappaleen ”koesarjasta”, vaihtelevat otoskoon mukana luonnollisesti myös virhemarginaalit.

Koesarjojen suunnittelun lähtökohta on toleranssi- eli spesifikaatorajojen asettaminen. Tuloksille ei niinkään aseteta tavoitearvoa, vaan luonnollinen vaihtelu hyväksymällä tulosten sallitaan asetuvan tiettyjen raja-arvojen sisäpuolelle. Tarvitaan siis luotettavaa tietoa siitä, mikä on analysoitavan tuotteen luonnollinen vaihtelu ja miten se saadaan selville.

Ennustamisella tarkoitetaan sitä, että tavoitellaan lähellä todellisuutta olevia arvioita siitä, miten tuote käyttäytyisi tuotekehitysvaiheiden jälkeen volyymituotannossa ja siitä eteenpäin asiakkaalla. Esimerkiksi tilastofunktioiden rakentaminen voi tähdätä mittausaikojen lyhentämiseen volyymituotannossa, kun tietyt ominaisuudet on saatu kehitettyä niin hyvälle tasolle, että niitä ei enää tarvitse kontrolloida tuotannossa. Tuotekehityksessä tilastollisen ajattelun peruslähtökohtana on se, että mittausten tulosten halutaan asetuvan teknisten spesifikaatorajojen väliin mahdollisimman lähelle keskiarvoa eli hajonta halutaan pitää pienenä. Tällöin tilastollinen kontrolli säilytetään ja pysytään teknisten toleranssien rajoissa. Teknisen ajattelun mukaan tuloksista voidaan sitten

etsiä esimerkiksi niin sanotusti tiukin osa-alue eli osa-alueet, mitä täytyy ehdottomasti kehittää tai liialliseksi havaitun vaihtelun vuoksi ehdottomasti tuotantoympäristöön siirtymisen jälkeen aina varmistuksen vuoksi mitata. Jos tiettyjen osa-alueiden tulosten variointi voidaan ennustaa hallituksi ja todetaan tulosten pysyvän sopivalla tasolla ja ne aiotaan jättää mittaamatta volyymituotannossa, täytyy päätelmät perustaa todella pieniin virhemarginaaleihin. Näitä päätelmiä on mahdollista tehdä vain hyvin kontrollissa olevasta tuotekehitysprosessista. Kontrollissa oleva prosessi tarkoittaa, että kaikki tuloksiin vaikuttavat tekijät ovat tiedossa ja virhetilanteet tunnistetaan. Virheenhallinnan on siis oltava vahvaa tuotekehitysympäristössä.

3 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINNIN LÄHTÖKOHDAT R&D - YMPÄRISTÖSSÄ

Tekniselle tuotekehitykselle ominaista on, että analysoitavaksi tulevien mittaustulosten analysointi voidaan ajatella siten, että halutaan tuntea tuotteen ominaisuudet osa-alueittain. Esimerkiksi yksittäisestä tuotesarjasta halutaan löytää niin sanotusti huonoin tulos suhteessa asetettuihin rajoihin. Huonolla tuloksella tarkoitetaan poikkeamia ja osa-alueita, joiden suorituskyky ei vastaa tavoitteita. Tulosten analysoinnissa on otettava huomioon sekä ylä- että alaraja-arvojen asettaminen.

Mittausprosessille on tyypillistä, että mittausvaiheessa on voinut tapahtua virheitä, jotka antavat täysin vääriä tuloksia. Esimerkiksi mittaaja on jättänyt epähuomiossa kaapelin liian löysälle tai mittauspaikalla on laitteistovika. Jos myös virheelliset mittaukset on laskettu mukaan suorituskykyanalyysiin, ovat tulokset vääristyneitä. Mittausvirheen aiheuttamat tulokset poistamalla saadaan todellinen suorituskyky esiin. Tärkeitä tietoja ovat: onko tuote läpäissyt testit, eli ovatko kaikki mittaukset spesifikaatioiden sisällä? Jos yksikkö saa statuksen FAIL, etsitään osa-alue(et), jossa FAIL-tulos on saatu. PASS-statuksella yksikkö on ennalta asetettujen rajojen mukainen. Millä tavalla tekniset spesifikaatorajat on asetettu eli onko toleranssialue yksi- vai kaksipuolinen? (kts. kappale 10)

Tuotetasolla etsitään mahdolliset FAIL-tuotteet, kun taas tuotesarjasta voidaan ottaa analysoitavaksi yksittäinen mittaus. Esimerkiksi 30 tuotteen sarjasta tutkitaan yksittäistä mittausta, jolloin spesifikaatorajat ovat samat. Virhemittaukset poistettuna näiden tulosten hajonnan oletetaan olevan luonnollisesti jakautuneita eli tulokset vastaavat oletettuja mahdollisesti etukäteen simuloituja arvoja. Tyypillisesti tuotekehityksen analyysit tehdään pienistä tulossarjoista, jolloin mittaus-epävarmuus liittyy läheisesti kaikkiin laskelmiin. Mittausepävarmuuteen liittyvä luottamustaso on otettava erityisesti huomioon pieniä tulosjoukkoja analysoitaessa. Periaate on, mitä enemmän tuloksia, sitä luotettavampia laskelmat ovat. Mittausepävarmuuden sisällyttäminen laskelmiin kompensoi pienen tulosjoukon aiheuttamaa epävarmuutta.

4 ANALYSOINNIN ELINKAARI

Kaiken toiminnan lähtökohta on oman prosessin ymmärtäminen ja tavoitteiden laatiminen. Oikeastaan jo spesifikaatorajojen asettaminen aloittaa mitattavien ominaisuuksien analysointiprosessin, koska silloin asetetaan mittauksille tavoitteet, joiden toteutumista mitataan. Analysoinnin tuloksilla ei siis ole mitään merkitystä, jos ei tiedetä lähtökohtia. Tavoitteiden asettaminen analyysille tarkoittaa, että lopulta raportoidaan juuri ne tulokset, joita tarvitaan. Liiallinen (turha) informaatio vain lisää hämmennystä ja vie analysoijalta enemmän aikaa oikean tuloksen etsimisessä.

Mittaustavoitteiden asettaminen edesauttaa mittauksen luotettavuutta. Mittaustavoitteilla käsitellään esimerkiksi mittausprosessissa oikeiden menetelmien noudattamista, jolloin prosessin kokonaisvariointi saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä. Mittaus eli datan keruu liittyy edellä esiteltyihin aiheisiin eli datan keruutapa ja kaikki mittaustapahtumaan liittyvät vaikuttavat tekijät tuntemalla pystytään esimerkiksi mittausrvirheet tunnistamaan.

Mittausdatan ymmärtämiseen voidaan päästä vain ymmärtämällä prosessi, tavoitteet ja mittaus-tapahtuma. Datan ymmärtämisen vaikeus tulee esiin, jos analyysi ei ymmärrä datan luonnetta ja suhdetta spesifikaatorajoihin.

Tilastollisten työkalujen soveltaminen vaatii datan luonteen tuntemista. Mittaus on oltava hallittu eli datan hajonta on luonnollista. Jos data kuitenkin sisältää virhemittauksia, ne on poistettava analyysistä. Kontrollissa olevalle mittaukselle tehdään seuraavaksi testaus jakauman sopivuudelle normaalijakaumaan. Normaalijakauma on edellytys esimerkiksi suorituskyvyn laskemiselle. Tilastolliselle analyysille saadaan luotettavuutta, kun laskelmat tehdään vain luonnollista vaihtelua sisältävälle (ei virhemittauksia) tulosjoukolle ja se on normaalisti jakautunutta.

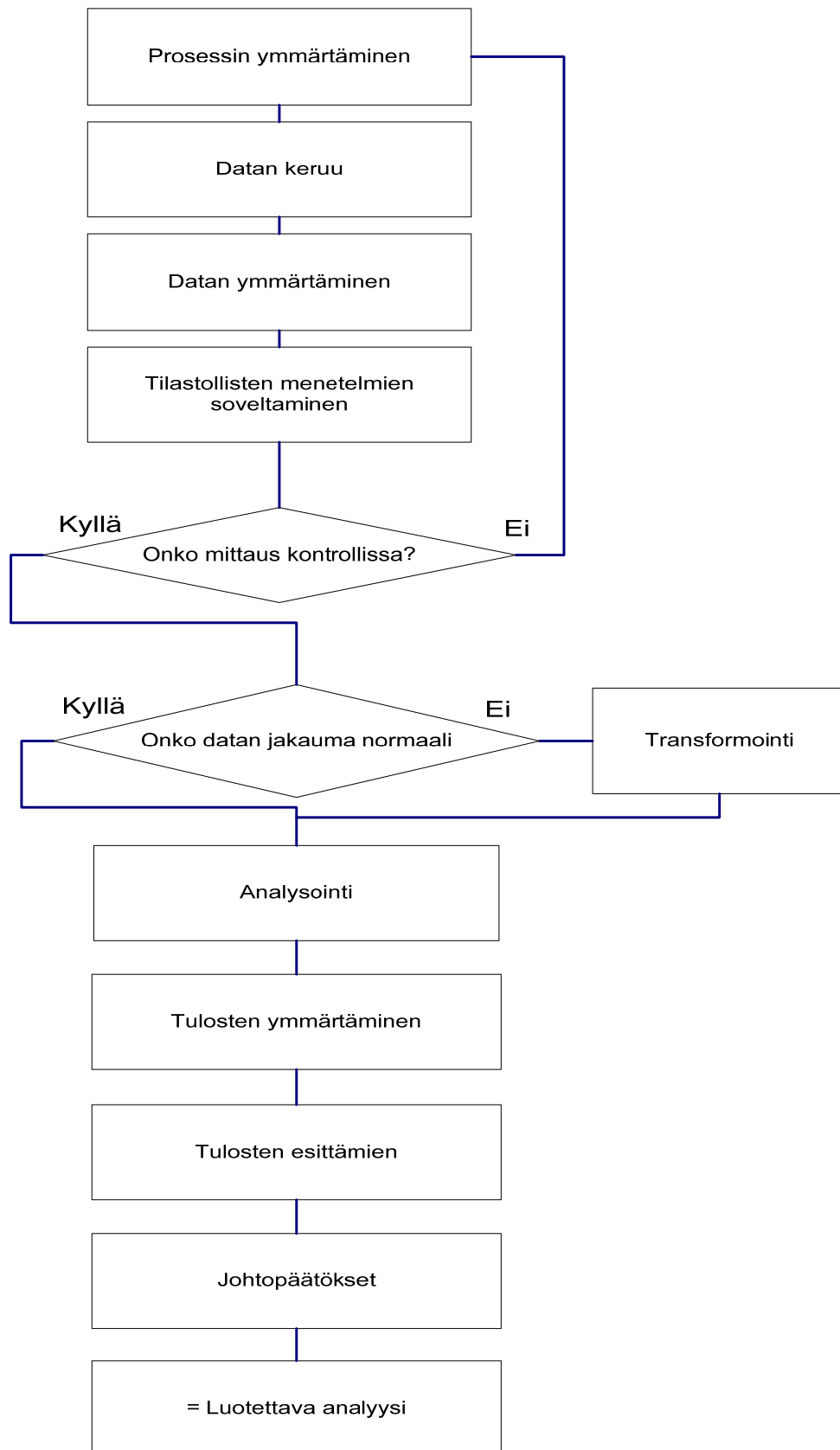
Tulosten ymmärtäminen on mahdollisuus tehdä oikeita johtopäätöksiä. Tulosten ymmärtäminen on lopputulos prosessin, teknisten tavoitteiden (speksit) ja tilastollisen menetelmien ymmärtämiselle.

Tulosten esittäminen ei vielä tarkoita raportoinnin onnistumista. Jos pystytään esittämään analysoinnin tavoitteiden mukaiset ja luotettavat tulokset helposti ymmärrettävässä muodossa, on

mahdollista edetä johtopäätöksiin eli tutkimaan, oliko laatu tavoitteiden mukainen. Analyysien tuloksia lukevat monesti monet muutkin kuin prosessia hallitsevat henkilöt, joten raportointiin täytyy miettiä järkevä muoto.

Raportin perusteella tuloksista tehdään johtopäätöksiä, joiden perustana olevan raportin luotettavuutta ei enää pitäisi joutua epäilemään. Analysoinnin elinkaaren jokaisen vaiheen on oltava oikealla, prosessiin sopivalla tavalla toteutettu, että johtopäätökset voisivat olla oikeita. Analyysin elinkaari toimii runkona myöhemmin esiteltävissä esimerkeissä ja analysoinnin soveltamisessa käytännössä.

Kaaviossa 1 on analyysin elinkaaresta vuokaavio esittelemässä vaiheittain etenevä tilastollisten menetelmien soveltamisprosessi tuotekehitysympäristöön.



KAAVIO 1. Analysoinnin elinkaari

5 TILASTOLLINEN AJATTELU ANALYSOINTIPROSESSISSA

5.1 Prosessin tilastollinen valvonta

Prosessin tilastollinen valvonta, englanniksi Statistical Process Control (SPC), tarkoittaa laatutavoitteiden toteutumisen tarkkailua luotettavista mittareista. SPC tarjoaa menetelmiä, joilla saadaan tilastollista pohjaa prosessin ohjaamiseen. (Salomäki 2007,146-148.)

Prosessin laatu vastaa asetetuista tavoitteista suoriutumista (Salomäki 2007,146-148). Laatu on käsitteenä hyvin laaja, ulottuen organisaation jokaiseen osaan. Tässä tutkimuksessa ei perehdytä laatuun organisaatiotasolla vaan kehitettävien tuotteiden tasolla eli sovelletaan tilastollista valvontaa kehitettävien tuotteiden laadun tarkasteluun.

SPC olisi parhaimmillaan jatkuvassa tuotannossa, jossa kokonaisjoukosta (populaatio) voidaan määrittää luotettavan kokoiset näyte-erät (otokset) analysoitavaksi. Isoista datamääristä valittujen näyte-erien tulosten vaihtelun ja toleranssien analysointi antaa huomattavasti vankemman pohjan luotettavien tulosten saamiseen kuin tuotekehitysympäristön pienet tulosjoukot, jotka jo itsessään voivat edustaa kokonaisjoukkoa.

SPC:tä sovelletaan siis Powerwavella tuotekehityksen mittausprosessin valvonnaksi eli tutkitaan, kuinka hyvin tuotekehityksen mittaustapahtuma vastaa tavoitteita ja ovatko saadut mittaustulokset luotettavia. Jatkuvassa tuotannossa SCP tutkii prosessin kontrollitasoa (valvonta) ja etsii selkeitä erityisyyistä johtuvia virhemittauksia. Kun tuotekehityksessä ”prosessi” voi mahdollisesti käsittää vain 20 mitattavaa yksikköä, tutkitaan vain yksittäisen mittauksen stabiilisuutta tuotesarjan yksiköiden välillä ja etsitään mittausrvirheiden aiheuttamia vääriä tuloksia, toleranssirajojen ulkopuolella olevia tuloksia sekä muita luonnollisesta hajonnasta poikkeavia tuloksia (Kontrolli). SPC soveltuu myös tuotekehityksen pieniin tulossarjoihin, koska tilastolliset päätelmät tehdään tuotteesta eikä prosessista. (Salomäki 2007,146-148.)

Tilastomatematiikassa otos toimii kokonaisjoukon estimaattina eli arvioina kokonaisjoukon ominaisuuksia. Jatkuvassa tuotannossa populaation koko ei ole kovinkaan relevantti laskelmia tehtä-

essä, mutta otoskoko vaikuttaa laskelmien luotettavuuteen ja siihen, kuinka hyvä estimaatti eli arvio tuloksista voidaan tehdä suhteessa kokonaisjoukon variointiin.

5.2 Mittausprosessin hallinta yleisesti

Mittausprosessiin ja mittaustuloksiin vaikuttaa aina erilaiset tekijät. Prosessin hallintataso on analysoitava ennen mihinkään muuhun syventymistä. Prosessin stabiilius on siis edellytys suorituskyvyn luotettavalle analysoinnille.

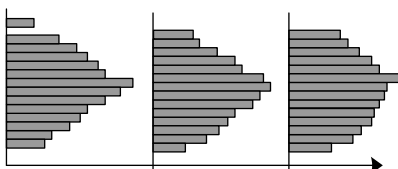
Tuotekehitysprosessin tulee siis olla kunnossa mm. seuraavilla osa-alueilla:

- Mittausinstrumentit ovat kunnossa ja kalibroituina.
- Operaattorin tekemät virheet hälyttävät.
- Ulkoiset tekijät eivät pääse vaikuttamaan tuloksiin.

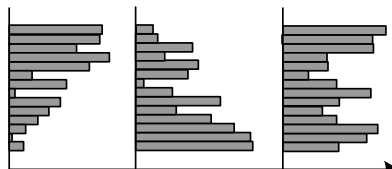
Yleisesti tämän osa-alueen analysointiin voidaan käyttää esimerkiksi Gage R&R -metodia joka muun muassa ottaa huomioon mittausepävarmuudet eri asioille. Powerwaven oman tuotannonohjausjärjestelmän työkalut esimerkiksi kalibroinnin validointi ja mittauksen manuaalisten osien ohjaus minivoivat virhetilanteiden syntymistä.

Kuviossa 2 olevat histogrammit kuvaavat ajan mennessä eteenpäin otetuista tuloksista otettuja arvoja. Vasemmanpuoleinen kuvaaja simuloi vakaata prosessia. Nähdään, että jakauma on aina lähes samanmuotoinen. Oikeanpuoleisessa kuvaajassa simuloidaan epävakaata prosessia, jossa jakauma vaihtelee suuresti. Kontrollikuvaajat olettavat, että seurataan aina samaa jakaumamallia. (Sleeper 2007, 84-85.)

Vakaa prosessi



Epävakaa prosessi



KUVIO 1. Vakaan ja epävakaan prosessin vertailu

5.3 Six Sigma -ajattelu ja -prosessi

Six Sigman perusajatus on olla liiketoiminnan parannusmenetelmä. Se pyrkii poistamaan virheitä liiketoimintaprosessista tarkastelemalla asiakkaalle tärkeitä kohteita. Toiminnassa Six Sigma -ajattelu tavoittelee tuotteen tai palvelun saattamista asiakasvaatimusten mukaiseksi ja vähentää prosessin vaihtelua. Six Sigma on myös tapa ja tavoite mitata laatua, koska tilastomatemattisesti +/- 3 sigman eli keskihajonnan kokoiseen vaihteluun pystyvä prosessi on erittäin suorituskykyinen. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2010, hakupäivä 29.3.2010.)

Tässä projektissa Six Sigmaa käytetään erityisesti analysoitavan datan ymmärtämiseen ja tuotteiden suorituskyvyn analyttiseen tarkasteluun. SPC hoitaa poikkeamien etsimisen ja Six Sigma auttaa ymmärtämään syitä ja seurauksia hajonnan vaihteluille.

Six Sigma -prosessi tavoittelee tilaa, jossa prosessin vaihtelu on mahdollisimman pientä eli periaatteessa suorituskyvyn mittarit ovat sellaisella tasolla, että prosessiin kohdistuvat toimenpiteet ovat luonteeltaan ylläpitäviä. Six Sigma tarjoaa MAIC-menetelmän johdattamaan prosessia kohti tavoitteita.

Six sigman MAIC-prosessin osa-alueet lyhyesti:

M – Measurement (Mittaus)

A – Analysis (Analysointi)

I – Improvement (Parannus ja optimointi)

C – Control (Ohjaus & valvonta)

Mittausvaiheessa valitaan tarvittavat tuoteominaisuudet mittaukseen ja mittausprosessin toimivuus ja luotettavuus määritellään ja varmistetaan. Analysointivaiheessa ominaisuuksien suorituskyky mitataan ja datasta analysoidaan myös stabiilius sekä toistettavuus. Parannus- ja optimointivaiheessa keskitytään asetetun laatutason saavuttamiseen. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2010, hakupäivä 29.3.2010.)

Mittausprosessien kehittämisen päätavoite on siis vaihtelun pienentäminen. Six Sigma -optimoinnissa keskiarvo pyritään saattamaan spesifikaatioiden väliin. Vaihtelun pienentäminen tapahtuu analysoimalla mittausprosessin tekijöiden vaikutukset lopputulokseen, eli käytännössä määritetään mittaustekijöiden optimitasot halutun lopputuloksen suhteen. Jatkuvassa prosessissa ohjaus- ja valvontavaiheeseen päästään, kun haluttu suorituskykyindeksi on suurempi kuin kaksi ja prosessi on stabiili. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2010, hakupäivä 29.3.2010.)

5.4 Datan ymmärtäminen

SPC:n ja Six Sigman työkaluja yhdistämällä ja soveltamalla pyritään tilanteeseen, jossa tuotekehitys pystyy luomaan hallitusta mittausprosessista saaduista oikeista tuloksista luotettavia johtopäätöksiä. SPC ohjaa analysointiprosessin matemaattisen puolen sopivaksi kohdeympäristöönsä ja Six Sigma auttaa ymmärtämään analysoitavan datan ja sen vaihtelun käyttäytymistä.

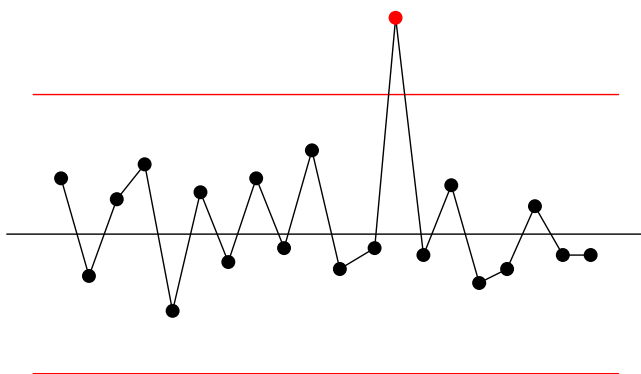
Tilastollisten menetelmien ymmärtäminen ei itsessään riitä, vaan on ymmärrettävä myös dataa tuottava prosessi. Kun kokonaisvaltainen prosessin ymmärrys on saavutettu, on mahdollista ymmärtää informaatio, jonka data ja sen analysointi antaa. Datasta on pystyttävä tekemään oikeita johtopäätöksiä.

Luonteensa mukaisesti tuotekehitys ja tutkimus tarvitsee tuotesuunnittelun avuksi mittaustuloksia, joiden avulla kehitys- tutkimustyötä ohjataan. Ohjaamisen on perustuttava luotettaviin mittareihin ja näitä mittareita ohjataan tilastollisten menetelmien avulla. Mittausprosessiin itseensä on rakennettu jo monenlaisia hallinta- ja validointityökaluja, erityisesti tuotannonohjausjärjestelmään mutta yhtä lailla tulosten analysointiprosessi tulisi validoita aina sopivaksi. Kun suunnittelija saa tulokset käsiinsä, on hänen otettava ensimmäiseksi kantaa datan laatuun eli oikeellisuuteen ja varmistettava, mitä menetelmiä analysoinnissa on mahdollista käyttää.

Matemaattisesti R&D -ympäristössä rakennettava tuotesarja voidaan käsittää joko otoksena tai populaationa. Tämän kaltainen asettelu on haasteellinen, koska tuotesarja ei tässä tapauksessa oikeastaan ole näyte-erä mistään populaatiosta, koska sarja voi olla täysin uniikki, eli se voidaan myös käsittää populaationa. Silti analysoinnin tavoite on arvioida estimaatti mahdollisimman lähelle todellisuutta eli siis sitä, minkälainen variointi tuotteella on volyymituotannossa. Kaikille tuotteen osa-alueiden suorituskyvyille asetetaan taso, joka tulee tuotekehitysvaiheessa saavuttaa, että voidaan luottaa, että tämä tietty taso kaikkine muuttujineen pysyisi samana myös tuotantoympäristössä.

Datan analysointi on aikaa ja perehtymistä vaativa prosessi, jonka virheettömyys on varmistettava. Analysointiprosessitilanteessa, jossa tuotetta kehitetään, on tärkeää tuntea toimintaympäristö kokonaisuudessaan. Lisäksi on tiedettävä vähintään perusasiat tilastollisista menetelmistä ja millä tavalla niitä voi soveltaa aina yksilölliseen tilanteeseensa. Lähtökohta on se, että dataa on pystyttävä analysoimaan. Datan kerääminen on järjestettävä jokaisen tilanteen ominaisuuksien mukaisesti, että sitä pystytään analysoimaan. Dataa ei siis voi kerätä mielivaltaisesti tuntematta sen alkuperää tai käyttötarkoitusta. Hyvä data on sellaista, joka ei sisällä mittausvirheitä. Mittausvirheet aiheuttavat tilanteita, jotka luonnollisesti vääristävät johtopäätösten luotettavuutta. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2010, hakupäivä 29.3.2010.)

Oletusten mukaan 2 % datasta on signaalia ja 98 % kohinaa. Alla olevassa kuvaajassa yksi datapiste on ylittänyt tilastollisen kontrollirajan, joten se voidaan tulkita signaaliksi eli erityisyyden vaikutukseksi. Suoraan tällaista tulkintaa ei voi tehdä, vaan se perustetaan siihen, että mittausprosessi on stabiili ja data oletettavasti jakautuu normaalisti. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2010, hakupäivä 29.3.2010.)



KUVIO 2. Kohinan ja signaalien ymmärtäminen

Datan tulkintaa liittyy monenlaisia virhemahdollisuuksia. Esimerkiksi jos tutkimme yksittäisten datapisteiden vaihtelua ei-normaalisti jakautuneesta datasta, jossa luonnollinen vaihtelu on suurta, voi olla, että tulkitsemme signaalin normaaliksi kohinaksi eli luonnolliseksi vaihteluksi, ja päinvastoin tulkitsemme kohinasta virheellisesti signaaleja. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2010, hakupäivä 29.3.2010.)

Tuotekehittämiseen mitatuista tuloksista halutaan toimivuuden testaamisen lisäksi tehdä ”ennustuksia” siitä, miten tuote toimisi jatkuvassa tuotannossa. Prosessin on oltava stabiili ja luotettava. Asiantuntemusta prosessista voidaan hyödyntää prosessin tilan analysointiin. Ilman asiantuntemusta on mahdoton ymmärtää ja huomioida kaikkia vaikuttavia tekijöitä. Mittaus- ja analysointivirheiden riski kasvaa ilman asiantuntemusta.

6 TILASTOLLISET MENETELMÄT

6.1 Tilastolliset kontrollirajat

Prosessin tilastollinen valvonta tarkoittaa matemaattisesti tarkasteltuna tilastollisten kontrollirajojen soveltamista. Esimerkiksi tilastolaskentaohjelmisto Minitab 15 käyttää kontrollin ehtoina seuraavia kohtia:

- Arvo(t) on 3 sigman päässä keskiviivasta, puolella ei ole merkitystä.
- 9 peräkkäistä arvoa samalla puolella keskiarvosta.
- 6 peräkkäistä arvoa, jotka laskevat tai nousevat.
- 14 peräkkäistä arvoa, jotka vuorottelevat ylös ja alas.
- Kaksi kolmesta peräkkäisestä arvosta ovat enemmän kuin 2 sigman päässä samalla puolella keskiarvosta.
- Neljä viidestä peräkkäisestä arvosta ovat enemmän kuin 1 sigman päässä samalla puolella keskiarvosta.
- 15 peräkkäistä arvoa 1 sigman sisällä keskiarvosta, puolella ei ole merkitystä.
- 8 peräkkäistä arvoa enemmän kuin 1 sigman päässä keskiarvosta, puolella ei ole merkitystä.

(Lähde: MiniTab 15 ohjelmisto)

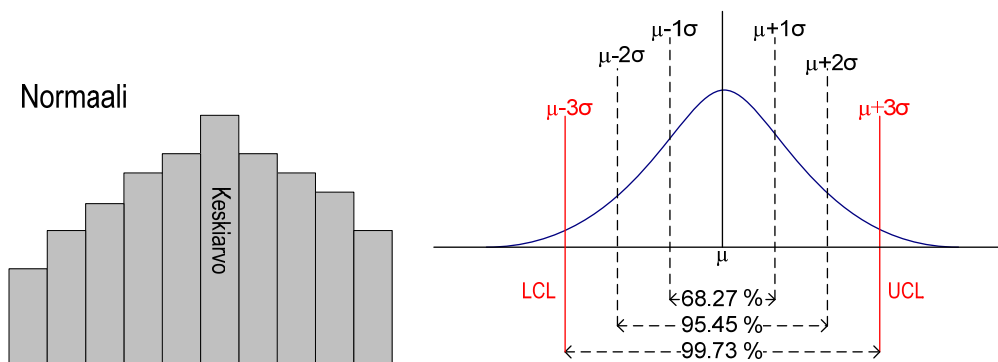
Mikäli jokin näistä kohdista ei täyty tulossarjan tuloksien hajontaa tarkastellessa, ei mittaus siinä tapauksessa ole kontrollissa tai tulossarjan jakauma ei ole normaali. Suorituskykyä mitattaessa vaaditaan stabiili mittaus ja vähintään lähes normaalisti jakautunut data. (Salomäki 1999, 175.)

Tuotekehitysdatan kohdalla kriittinen kohta on prosessin yksilöllisyyden takia +/- kolmen (3) keskihajonnan päässä tulossarjan keskiarvosta olevat tulokset. Kontrollirajojen tunnuksina käytetään Lower Control Limit (LCL) ja Upper Control Limit (UCL) nimiä eli alempi ja ylempi kontrolliraja. Koska tuotekehityksen tulossarjat ovat pieniä (ei jatkuva prosessi), on periaatteessa turhaa soveltaa muita kohtia. Riittää, että selvitetään luonnollisesta hajonnasta poikkeavat tulokset. Kappale 11 esittelee yksittäisen mittauksen analysoimisen Minitab 15 -ohjelmistolla.

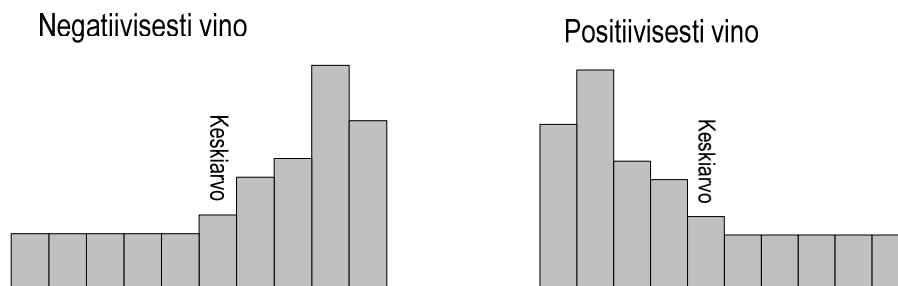
6.2 Jakauma

Kun on saavutettu tulossarja, jonka vaihtelu ei sisällä mittausvirheitä sekä todetaan mittauksen olevan kontrollissa, tarkastellaan tulosjoukon jakaumaa. Esimerkiksi suorituskyvyn mittaaminen onnistuu vain normaalisti jakautuneelle datalle. Ennen näiden laskelmien tekemistä datan jakautuneisuus täytyy tietää, jotta laskelmien luotettavuus voidaan taata.

Datan normaalisuuden arvioimiseen voi käyttää esimerkiksi histogrammia. Normaalisti jakautuneen datan kuvaaja noudattaa Gaussin käyrän (kellokäyrän muotoa). Normaalisti jakautuneen datan havaintoarvot asettuvat likimain tasaisesti otosjoukon keskiarvon ympärille. Jos data on jakautunut ei-normaalisti, jakauman kuvaaja on vino, erityisen huipukas tai erityisen litteä. (iSix Sigma 2010, hakupäivä 29.3.2010)



KUVIO 3. Normaalijakauma



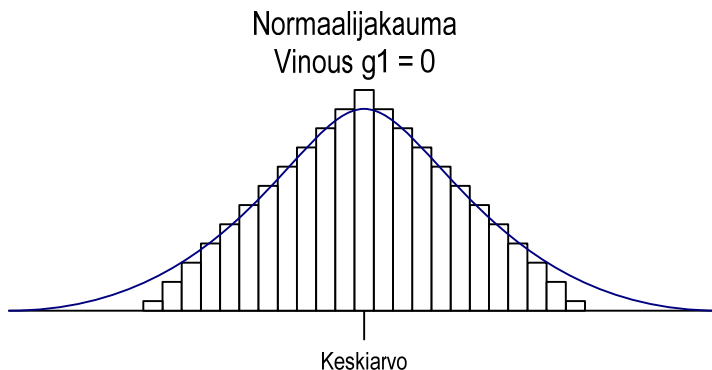
KUVIO 4. Vinot jakaumat

Datan jakauman selvittämisessä voi käyttää myös goodness-of-fit-testejä. Tuotekehitysdatan luonne ja sen käyttötarkoitus johtaa siihen, että useimmiten analyysoijaa kiinnostaa jakaumasta ns. hännät, eli halutaan tietää datapisteiden sijoittuminen jakaumalle toleranssirajojen näkökulmasta.

6.3 Jakauman muoto

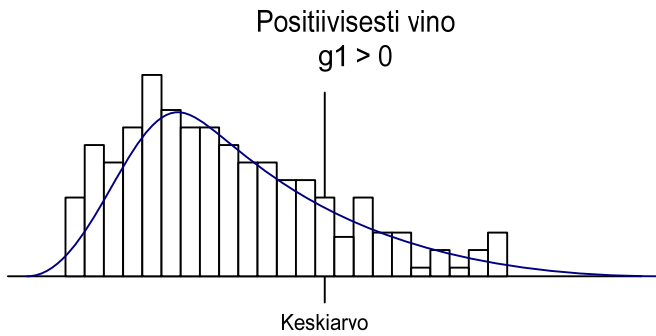
Myös jakauman muotoa kuvaavista arvoista voidaan tutkia tulosten sopivuutta normaalijakaumaan. Jakauman huipukkuus ja vinous auttavat tarkastelemaan sopivuutta, sillä normaalijakauman vinous- ja huipukkuuskertoimien arvot ovat 0. Normaalijakautunut data on siis symmetrinen keskiarvoonsa nähden tarkoittaen sitä, että datapisteet jakautuvat likimain tasaisesti keskiarvon molemmille puolille. Vinossa jakaumassa suurin osa datapisteistä jakautuu esimerkiksi keskiarvon vasemmalle puolelle, jolloin jakauman ”häntä” on pidempi oikealla puolella. Selkeästi vino jakauma ei ole normaalisti jakautunut. (Sarna 2001, 108.)

Vinous kerroin, g_1 on siis normaalijakaumassa nolla.



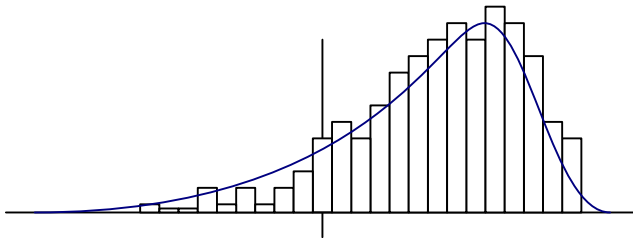
KUVIO 5. Symmetrinen jakauma

Jos $g_1 > 0$ – Jakauma on vino oikealle (positiivisesti)



KUVIO 6. Positiivisesti vino jakauma

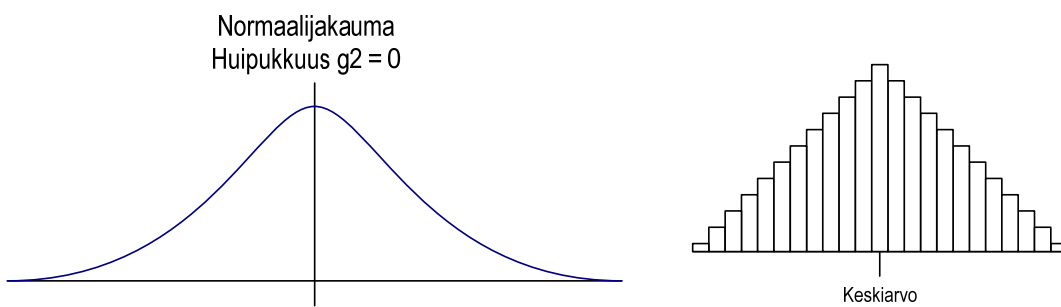
Jos $g_1 < 0$ – Jakauma on vino vasemmalle (negatiivisesti)



KUVIO 7. Negatiivisesti vino jakauma

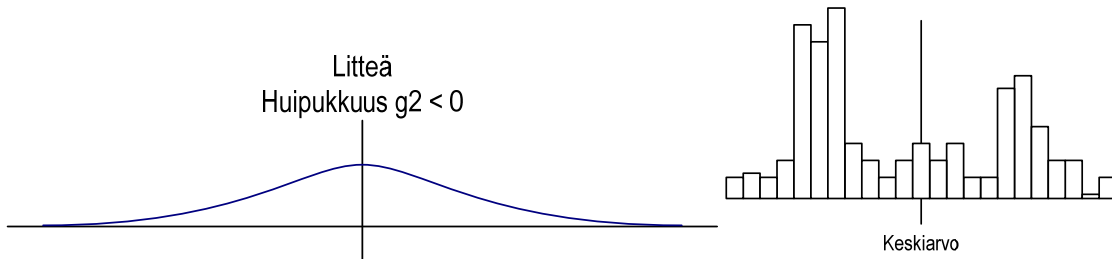
Jos siis vinouskerroin poikkeaa radikaalisti nolasta, voidaan arvioida, että tulosjoukon jakauma ei ole normaali.

Vastaavasti huipukkuuskerroin g_2 ilmaisee jakauman muotoa huipun osalta. Normaalijakaumassa kerroin on nolla. (Sarna 2001, 108.)



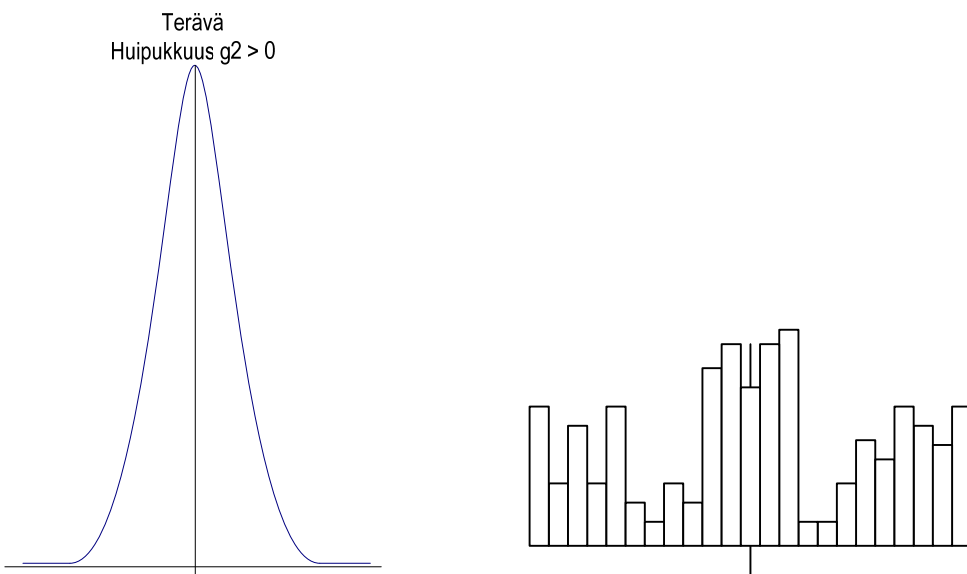
KUVIO 8. Normaalijakauman muoto

Normaalijakaumaa litteämpi jakauma eli $g_2 < 0$ tarkoittaa sitä, että tulokset jakautuva normaalijakaumaa huonommin keskiarvon lähelle. Tulokset eivät siis pysy normaalijakauman luonteen mukaisesti lähellä keskiarvoa vaan tulokset leviävät kauemmas. (Sarna 2001, 108.)



KUVIO 9. Litteähuippuinen jakauma $g_2 < 0$

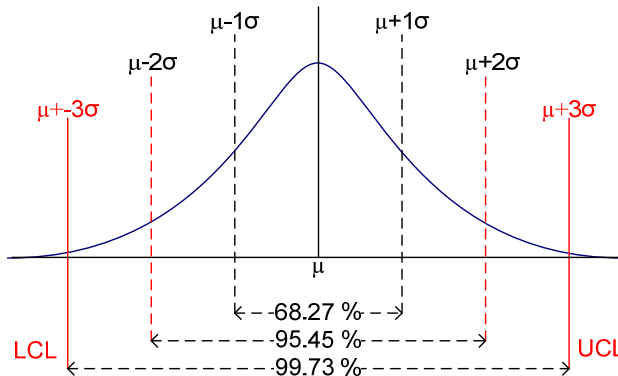
Normaalista huipukkaammassa jakaumassa huipun muoto on terävä ja kerroin, $g_2 < 0$. Terävä huippu tarkoittaa sitä, että tulokset asettuvat normaalista enemmän lähelle keskiarvoa ja vastaavasti enemmän jakauman "häntiin". (Sarna 2001, 108.)



KUVIO 10. Terävähuippuinen jakauma

6.4 Normaalijakauman soveltaminen

Normaalijakautuneesta datasta oletetaan 99,73 % mahtuvan 6 hajonnan, 95,45 % 4 ja 68,27 % 2 hajonnan väliin. Toleranssirajojen ulkopuolella olevat tulokset ovat luonnollisesta hajonnasta poikkeavia ja periaatteessa ei hyväksyttäviä. Jos kaikki tulokset mahtuvat toleranssirajojen sisäpuolelle, ovat kaikki tulokset ns. hyväksyttäviä perustuen tilastollisiin kontrollirajoihin.



KUVIO 11. Normaalijakauman luonne

Z on standardi normaalijakauman satunnaismuuttuja, joka noudattaa keskiarvoa $\mu = 0$ ja standardipikkeamaa (hajontaa) $\sigma = 1$, jotka ovat normaalijakauman kaksi parametria. Jokainen normaalijakauman satunnaismuuttuja voidaan siis standardisoida ns. Z-arvoksi (z-score). Z-score, kertoo kuinka kaukana (eli monenko hajonnan päässä) datapiste on "nollasta" eli keskiarvosta. (Sleeper 2007, 317-318.)

KAAVA 1. Normitettu normaalijakauma

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

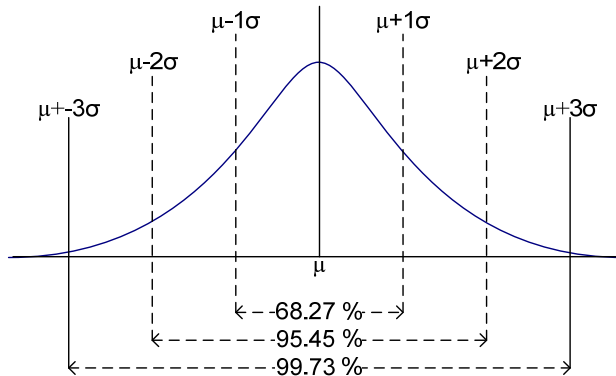
missä

x on havaintoarvo

μ keskiarvo

σ keskihajonta

Normitettu normaalijakauma, jossa $\mu = 0$ ja $\sigma = 1$.



KUVIO 12. Normitettu normaalijakauma

TAULUKKO 1. Normitetun normaalijakauman kriittiset arvot

~68 % välillä	$\mu - \sigma - \mu + \sigma$
~95 % välillä	$\mu - 1,96\sigma - \mu + 1,96\sigma$
~99 % välillä	$\mu - 2,58\sigma - \mu + 2,58\sigma$
~99,9 % välillä	$\mu - 3,30\sigma - \mu + 3,30\sigma$

(Holopainen & Pulkkinen 1997, 73.)

Normaalijakauman luonnetta tarkastellessa huomataan, että se normaalijakauman oletuksena on tietty määrä datapisteitä tietyllä etäisyydellä keskiarvosta. Datan voidaan olettaa olevan normaalisti jakautunutta, jos noin 95 % tuloksista on 4 keskihajonnan sisäpuolella. Vastaavasti normiteulla normaalijakaumalla kriittiset pisteet ovat -1.96 ja $+1.96$ keskiarvosta 0:lla.

7 LUOTTAMUSTASO JA MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittaukseen liittyy aina mm. seuraavat termit:

- mittausepävarmuus
- mittausvirhe
- luottamusväli
- luottamustaso.

Mittausepävarmuus tarkoittaa luottamustason ja otoskoon mukaan määräytyvää muuttujaa, joka ilmaisee tulokselle luottamusvälin tietyllä luottamustasolla. Mittausepävarmuus ilmaistaan esimerkiksi näin: ” 95 %:n varmuudella tulos on välillä X-X. Mittausvirhe on ero ”oikean tuloksen” ja mitatun tuloksen välillä. Koska mittaukseen aina vaikuttavat monenlaiset muuttuvat tekijät, ei ”todellista arvoa” koskaan saavuteta.

Luottamusvälin laskemiseen tarvitaan siis haluttu luottamustaso. Normaalijakauman mukaisesti haluttu luottamustaso saa kriittisen arvon. Esimerkiksi 95 % luottamustason kriittinen arvo on normitetulla normaalijakaumalla 1,96. Kriittistä arvoa käytetään kertoimena luottamusvälin laskemiseen. Luottamustaso merkitään $1-a$, jossa a on α eli haluttu luottamustaso. Esimerkiksi luottamustaso 95 % on $1-a = 1-0,05 = 0,95$. Tämän mukaan saadaan normaalijakaumasta kriittinen arvo, 1,96. (Holopainen & Pulkinen 1997, 84-86 ; Bell 1999, 1-3.)

8 SUORITUSKYKYANALYYSI

8.1 Suorituskykyindeksit

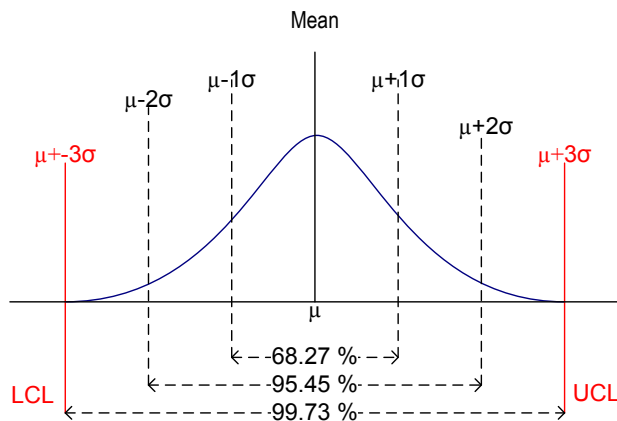
Suorituskykyindeksejä eli suorituskykylukuja ilmaisee prosessista tai tuotteesta mitattuja arvoja suhteessa teknisiin toleransseihin. Suorituskykyluvut kuvaavat siis kykyä tehdä vaatimusten mukaisia tuotteita. (Salomäki 1999, 164.)

Tuotekehityksessä voidaan siis kuvata suorituskykylukujen avulla tuoteominaisuuksien toimivuutta suhteessa asetettuihin teknisiin toleranssirajoihin eli spesifikaatorajoihin. Tarkemmin tuotekehitysympäristön mittausprosessiin liitettynä suorituskykyindekseillä halutaan selvittää tuotesarjan suorituskyky ja löytää epäkohdat. Kun tuotekehitystoiminta tähtää lopulta tuotteen siirtymiseen volyymituotantoon, on pakko ottaa huomioon monenlaisia tuloksiin vaikuttavia tekijöitä mittausprosessissa. Mittausprosessin tavoite on saavuttaa taso, jossa vaihtelu on vain luonnollista. (vrt. prosessin tilastollinen valvonta)

Suorituskykylukuja on erilaisia, joten on valittava analyysin tavoitteisiin sopiva indeksi. Periaatteessa suorituskyvyn tarkastelu jaetaan kahteen osioon, prosessin tilaa kuvaavaan arvioon ja tarkkaan yksittäisen mittaustapahtuman arvioon. Prosessin tilaa kuvaavasta arviosta on ”siivottu” tulokset, joihin katsotaan vaikuttaneen jokin mittaustapahtuman virhe. Yksittäisen mittaustapahtuman arvio sisältää tulokset ”siivoamattomana” eli tämä suorituskyky mittaa niin sanotusti kokonaisvaltaista onnistumista tuottaa haluttua. Siivoamalla tulossarja saadaan arvio siitä, mikä potentiaali prosessilla on tuottaa haluttua. Suorituskykylukuja laskettaessa on mittausprosessin oltava stabiili ja jakauman vähintään lähes normaali. (Salomäki 1999, 175-180.)

Kun tiedetään, että indeksit noudattavat normaalijakaumaa, voidaan indekseistä arvioida myös saantolukemia. Saantolukema-arviot ovatkin syy siihen, miksi suorituskykyindeksejä kannattaa ylipäättänsä soveltaa tuotekehityksenkäyttöön. Indeksit ei itsessään kerro mitään, mutta kun tiedetään vastaavuudet saantoprosenteille, päästään käsiksi konkreettisempiin johtopäätöksiin.

Suorituskykyindeksit noudattavat normaalijakaumaa.



KUVIO 14. Saantoa vastaavat sigma-tasot

Huomioi, että kuvaajassa 3:n sigman rajat (UCL - LCL) ovat tilastollisia kontrollirajoja joilla ei ole mitään tekemistä teknisten spesifikaatorajojen kanssa. Suorituskykyindeksit lasketaan teknisiä toleransseja käyttäen, mutta kuten taulukko 2 osoittaa, normaalijakauman luonteen mukaista sigma-tasoa pidetään suorituskyvyn vertailukohtana. Taulukossa esiintyvä Cpk (capability index) on suorituskykyindekseistä yleisin ja yleensä kuvaavin (kts. kappale 8.3).

TAULUKKO 2. Cpk indeksin arvojen vastaavuudet normaalijakaumalla

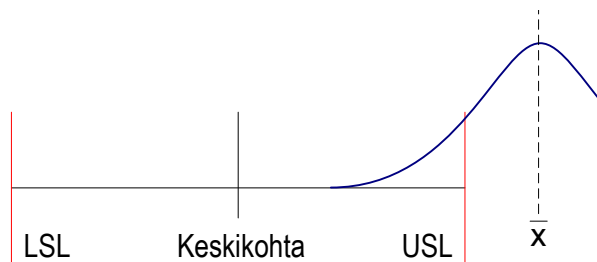
Cpk	Sigma	Vastaava saantoprosentti
0.33	1	68.27 %
0.67	2	95.45 %
1.00	3	99.73 %
1.33	4	99.99 %
1.67	5	99.9999 %
2.00	6	99.9999998 %

(Wikipedia 2010, hakupäivä 3.9.2010.)

8.2 Cp, Pp

"Potentiaalinen maksimisuorituskyky" ja "potentiaalinen kokonaissuorituskyky" lasketaan Cp- ja Pp-kaavoilla. Nämä arvot voi käsittää myös maksimisuorituskykylukuna ja maksimitoimintakykylukuna. Toleranssien välinen alue jaetaan kuusinkertaisella keskihajonnalla. Nämä laskelmat eivät kuitenkaan välitä tulosjakauman sijainnista suhteessa toleranssiväliin, joten jakauma voi olla myös alueen ulkopuolella. (Salomäki 1999, 175-176.)

Mitä suurempia luvut ovat, sitä kapeampi on tulosten vaihteluväli eli sitä tarkemmin (Engl. precise) "prosessi" on jakautunut keskiarvoonsa nähden. Näihin laskelmiin tarvitaan molemmat rajat, koska toleranssialue jaetaan kuusinkertaisella keskihajonnalla. (Salomäki 1999, 175-176.)



KUVIO 15. Keskitämätön prosessi

$$\text{Keskikohta} = (\text{USL} + \text{LSL}) / 2$$

$$\text{Vaihteluväli } R = \text{Max} - \text{Min}$$

KAAVA 2. Cp

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

KAAVA 3. Pp

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

8.3 CpU, Cpl, Cpk

Cpu, Cpl ja Cpk kuvaavat suorituskykyindekseinä prosessin niin sanottua potentiaalista suorituskykyä. Ennen indeksien laskemista on määriteltävä mittauksen tavoitearvo. Cpk:ssa lasketaan keskiarvon poikkeama toleranssialueen keskikohdasta eli oletetaan, että tulosten tavoitearvo on toleranssialueen keskikohdassa. Cpk siis ottaa huomioon tulosten keskiarvon poikkeaman toleranssivälin keskikohdasta. (Salomäki 1999, 176.)

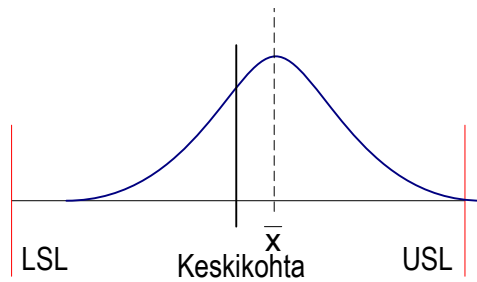
Tiedetään, että Cpk -funktio valitsee "todelliseksi arvoksi" Cpl:n ja CpU:n väliltä pienemmän, joten Cpk -laskelma ei ole silloin luotettava jos tavoitearvo ei ole keskellä (kts. kpl 10). Cpk -arvo ei ole myöskään luotettava, jos toleranssi on yksipuolinen eli on olemassa vain ylä- tai alaraja ja laskelma on tehty kahdella rajalla. Näin voi olla jos toinen raja on ääretön, teknisesti mahdoton tilanne, 0 tai 100 %. Yksipuolisen toleranssin tapauksessa indeksin laskeminen tapahtuu vain määritettyä toleranssirajaa vasten.

Powerwaven toleranssisuunnittelussa mittaukselle asetetaan spesifikaatoraja (speksi) ja raja (boundary). Jos on esimerkiksi mittaus, jossa raja on 0 ja speksi 5 ja on teknisesti mahdotonta, että mittauksen tulos menee negatiiviseksi, alarajalle ei voi tulla ylityksiä. Kyseessä on siis yksipuolinen toleranssi. Indeksi lasketaan 5:tä vasten ajattelemalla se ylärajaksi.

Cpk:n laskeminen ns. keskittää tulokset keskikohtaan, eli Cpk ottaa huomioon tulosten keskiarvon poikkeaman toleranssivälin keskikohdasta.

KAAVA 4. Cpk

$$Cpk = \text{MIN} \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} ; \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right)$$



KUVIO 16. Keskitetty prosessi

Cpk -kaavaan sisältyvät siis laskelmat molempia toleranssirajoja vasten. Cpk -indeksin arvoksi valitaan pienempi arvo eli keskiarvoa lähempänä olevan toleranssirajan suhteen laskettu.

Cpk -kaava sisältää molempia rajoja vasten lasketut:

KAAVA 5. C_{pL}

$$C_{pL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}}$$

KAAVA 6. C_{pU}

$$C_{pU} = \frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}$$

Koska todellinen keskihajonta on aina tuntematon parametri, täytyy tyytyä arvion laskemiseen. Cpk:n laskemiseen käytettävä keskihajonnan estimaatti lasketaan peräkkäisten tulosten vaihteluvälien keskiarvosta. (Salomäki 1999, 162-163.)

KAAVA 7. Estimoitu keskihajonta

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$$
$$n = 2$$
$$d_2 = 1.128$$

\overline{MR} Tarkoittaa vaihteluvälien keskiarvoa, kun laskelma on:

KAAVA 8. Estimoidun keskihajonnan kaava purettuna

$$\hat{\sigma} = \frac{\left(\frac{(X_2-X_1) + (X_3-X_2) + \dots + (X_n-X_{n-1})}{\text{Yksiköiden määrä}} \right)}{d_2 = 1.128}$$

missä

d_2 on vakio, jonka arvo muuttuu otoskoon mukaan.

(Salomäki 1999, 162-163.)

8.4 Kokonaissuorituskyky

Niin sanotusti kokonaishajonnan huomioivilla P-luokan indekseillä käytetään samoja laskukaavoja kuin C -indekseillä. Ainoa ero on hajonnan estimaatti, joka johtaa siihen, että Ppk on ns. kokonaissuorituskyky. Ppk -arvoon lasketaan kaikki tulokset erityisyyt mukaan lukien eli esimerkiksi materiaalien välinen vaihtelu, mittausvälineiden laadun vaihtelu (kaapelinvaihto), jne. P indeksien hyväksyminen edellyttää, että erityisyyt on kuitenkin tunnistettu, eli lähtökohta on tässäkin se, että prosessin kontrollitaso on tiedossa. (Salomäki 1999, 175-180.)

KAAVA 9. PpL

$$PpL = \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}}$$

KAAVA 10. PpU

$$PpU = \frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}$$

KAAVA 11. Ppk

$$Ppk = \text{MIN} \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} ; \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right)$$

P indeksien hajonnan estimaattina on otoskeskihajonta (Salomäki 1999, 161).

KAAVA 12. Otoskeskihajonta

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

9 LUOTTAMUSVÄLIN LASKEMINEN SUORITUSKYKYINDEKSILLE

Luottamusvälin laskeminen Cpk:lle:

KAAVA 13. Luottamusväli Cpk:lle

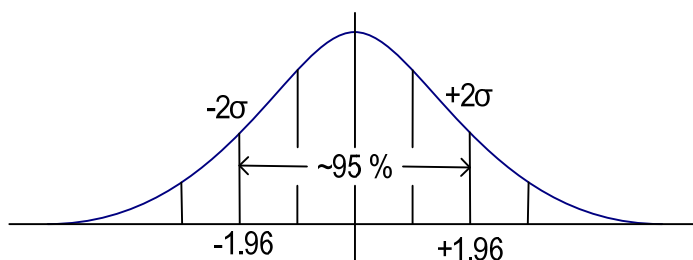
$$\hat{C}_{pk} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n} + \frac{\hat{C}_{pk}^2}{2n-2}}$$

Yllä oleva kaava laskee sekä ylä- että alarajat Cpk:n luottamusvälille. Luottamusvälien laskemisen periaatteiden mukaisesti $Z_{\alpha/2}$:a eli normaalijakauman kriittistä arvoa käytetään kaksipuolisuuden mukaisesti.

TAULUKKO 3. Luottamustasoja vastaavat kriittiset arvot normitetulla normaalijakaumalla, $Z_{\alpha/2}$

99.9 %	~ 3.29
99 %	~ 2.58
95 %	~ 1.96
90 %	~ 1.64

Esimerkki: 95 % luottamustasolla normaalijakauman kriittinen arvo on 1.96



KUVIO 17. Normaalijakauman ~95 % tason kriittiset arvot

Molempien luottamusrajoiden laskeminen on periaatteessa turhaa, koska ylärajaa ei tarvita. Suorituskykyanalyysissä kiinnostaa oikeastaan vain alarajan varmuus eli lasketaan vain se:

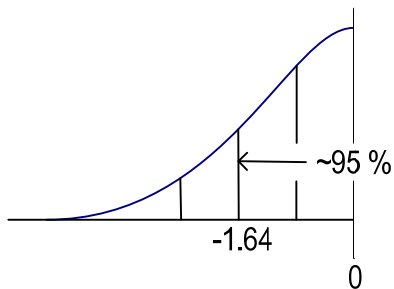
KAAVA 14. C_{pk} :n luottamusvälin alaraja

$$\hat{C}_{pk} - Z_a \sqrt{\frac{1}{9n} + \frac{\hat{C}_{pk}^2}{2n-2}}$$

TAULUKKO 4. Luottamustasoja vastaavat kriittiset arvot luottamusvälin alarajaa laskettaessa, Z_a

99.9 %	~ 3.09
99 %	~ 2.33
95 %	~ 1.64
90 %	~ 1.28

Esimerkki: 95 % luottamustasolla normaalijakauman kriittinen arvo alarajan laskemisessa on ~1.64



KUVIO 18. ~95 % kriittinen arvo luottamusvälin alarajaa laskettaessa

Näistä laskelmista tehtävä päätelmä on seuraavanlainen. "Laskettu C_{pk} ei ole varma, mutta asetun luottamustason varmuudella se ei ole alle lasketun luottamusvälin alarajan". (Minitab technical support document ei julkaisuvuotta, 1-3 ; Quality Digest 2005, hakupäivä 30.4.2010 ; Quality Digest 2010, hakupäivä 30.4.2010.)

10. TEKNISET SPESIFIKAATORAJAT

Kappaleessa kahdeksan esiteltiin suorituskykyindeksit, jotka ovat siis riippuvaisia teknisistä toleranssirajoista. Toleranssiasettelu määrittelee, miten suorituskyky lasketaan, että saadaan oikea indeksi johtopäätösten tekemiseen. Toleranssisuunnittelusta riippuen niin sanottu toleranssialue voi olla erilainen.

10.1 Kaksipuolinen tekninen toleranssi

Kaksipuolisen toleranssin tapauksissa tavoitearvo pyritään keskittämään ylemmän ja alemman spesifikaatorajan välillä sijaitsevaan keskikohtaan. Kaksipuolisesta toleranssista suorituskykyindeksit lasketaan keskitetysti eli tulosten keskiarvon poikkeama keskikohdasta eli todelliseksi indeksiksi tulee USL:n tai LSL:n mukaan se, kumpaa lähempänä tulosten keskiarvo on. Toleranssivälin keskikohtaa ei huomioida laskemissa. Se vain jakaa välin havainnollistaen, kumpaa speksiä lähempänä ollaan.

Kaksipuolinen toleranssi LSL- USL

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

KUVIO 19. Kaksipuolinen toleranssi

10.2 Yksipuolinen tekninen toleranssi

Yksipuolisen toleranssin tapauksissa toista spesifikaatorajaa ei ole. Toinen rajoista määritellään "rajaksi". Kyseessä voi olla esimerkiksi fyysinen mahdottomuus (tulos ei voi ylittää) tai kauas speksattu ns. varmistava raja. Indeksit lasketaan vain määritellyä speksiä vasten. Keskikohdalla ei ole merkitystä, koska "rajaa" ei määritellä spesifikaatorajaksi.

Powerwaven toleranssisuunnittelussa rajan ja speksin käyttö on suunniteltu niin, että ominaisuudella voi olla fyysinen raja (esimerkiksi nolla) tai raja, jota käytetään ikään kuin toisena speksinä.

Esimerkiksi ominaisuudella on speksi 10 ja raja 2. Tässä tapauksessa tulos ei saa ylittää 10:tä. Mitä kauempana tulos on speksistä, sitä parempi se on. Raja, tässä esimerkissä 2 tarkoittaa, että tulos ei saa alittaa 2:ta. Tässä speksi ja raja toimivat periaatteessa kuten LSL ja USL, mutta koska ns. tavoitearvo määritellään mahdollisimman kauas speksistä rajaa ylittämättä, suorituskykyä ei lasketa Cpk:n MIN funktiolla vaan asetetun speksin suhteen.

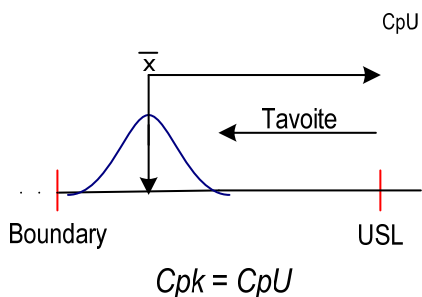
Oikean Cpk:n laskemisessa on tiedettävä kumpi on speksi, ylä- vai alaraja, koska se voi mittauksesta riippuen olla kumminpäin tahansa.

Speksi > Raja → USL

Raja > Speksi → LSL

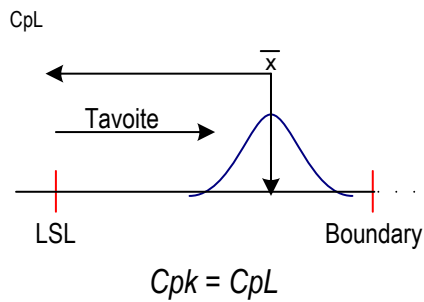
Peruseriaate on siis, että ominaisuuden suorituskyky paranee pois päin speksistä. Tällöin ei lasketa keskitettyä Cpk:ta, koska se voi antaa keksiarvon sijoittumisesta riippuen väärän arvon. Jos keskiarvo sijoittuisi kuten kuvaajassa, laskisi keskitetty Cpk arvon rajaa (boundary) vasten, vaikka todellisuudessa analysoijaa kiinnostaa suorituskyky speksiin nähden eli, kuinka kauas siitä päästään.

Yksipuolinen toleranssi USL



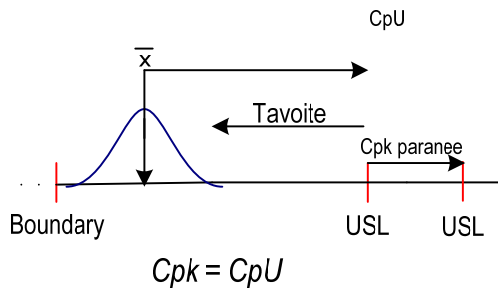
KUVIO 20. Yksipuolinen toleranssi USL

Yksipuolinen toleranssi LSL



KUVIO 21. Yksipuolinen toleranssi LSL

Havainnollistetaan Cpk :n laskemista yksipuolisen toleranssin tapauksessa. Ajatellaan, että tulosten halutaan jakautuvan mahdollisimman kauas speksistä. Jos siirretään speksiä kauemmas keskiarvosta, Cpk -arvo paranee. Huomaa, että keskiarvo pysyy samana (paikallaan).



KUVIO 22. Yksipuolisen toleranssin suhde toleranssirajaan

10.3 Indeksien merkitsevyys

Suorituskyvyn voi periaatteessa laskea myös yksittäiselle tulokselle, mutta sillä ei juuri ole merkitsevyyttä. Indeksien laskeminen soveltuu parhaiten isoista tulosjoukoista laskettuihin korkean tason näkyymiin. Powerwaven tapauksessa indeksi koostetaan yksittäisestä mittauksesta. Yksittäisen tuloksen analysointiin käytetään mieluummin PASS / FAIL -tarkastusta eli, onko tulos sallittujen rajojen sisäpuolella. Kun tuloksen tavoitearvo on määritelty tietyn speksin mukaan, voidaan tuloksen hyvyttä arvioida esimerkiksi marginaalilla speksiin.

Ennen suorituskykyindeksien laskemista tulee poistaa virhemittausten aiheuttamat tulokset vääristämästä suorituskykyä. Suunnitteluvirheiden aiheuttamat spesifikaatioiden ylityksen voidaan sallia mukaan analyysiin, koska se on todellinen kokonaiskuva tuotesarjan suorituskyvystä.

Lasketun indeksin merkitsevyyttä pitää siis arvioida kerätyn datan käsittelyvaiheiden jälkeen. Indeksien merkitsevyyteen vaikuttaa aina tulosjoukon suuruus ja hajonta. Laskettu suorituskyky ei koskaan ole todellinen vaan estimaatti. Luottamustasojen, toleranssialueen ja niin edelleen mukana ottaminen tuo estimaattia kuitenkin lähemmäs todellista.

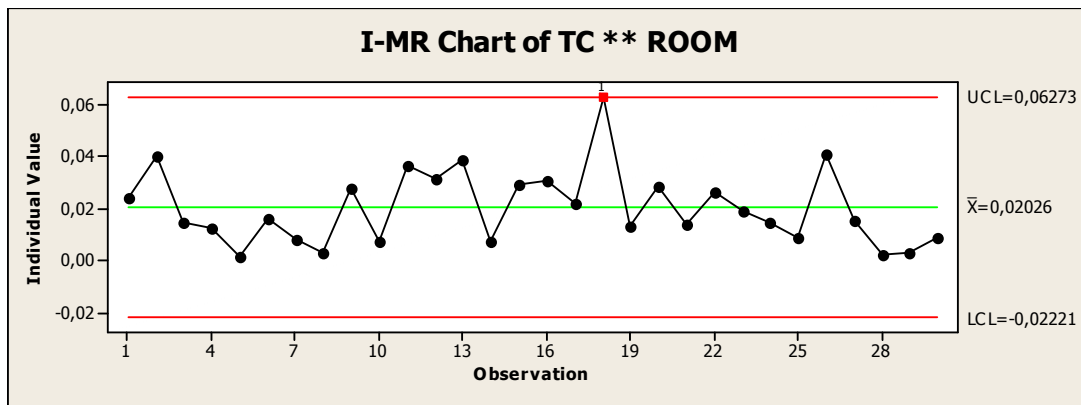
11 MINITAB -ESIMERKKI YKSITTÄISEN MITTAUKSEN ANALYSOINNISTA

Luku 11 esittelee edellisissä luvuissa esitellyn teorian sovellettuna tuotekehitysympäristössä Minitab 15 –tilastolaskentaohjelmiston avulla.

Prosessi aloitetaan ajamalla tuloksista SPC:n mukainen prosessin tilaa kuvaava ”valvontakaavio” (kuva1). Huomataan, että kontrollin testaus löytää tuloksista datapisteen, joka on ylittänyt tilastollisen kontrollirajan. Taulukossa 5 tulokset ovat mittaussjärjestyksessä, jotta mittauksen todellinen käyttäytyminen saadaan näkyviin. Kuva 1 esittää yksiköiden välisten mittauksen trendin. Tässä esimerkissä tuotesarjan koko on 30 yksikköä.

TAULUKKO 5. Esimerkkitulokset yksittäisestä mittauksesta

Järjestys	Tulos	Järjestys	Tulos
1	0,024024	16	0,030868
2	0,040331	17	0,022095
3	0,014607	18	0,063023
4	0,012494	19	0,012908
5	0,001562	20	0,028801
6	0,015756	21	0,013826
7	0,007901	22	0,026136
8	0,002618	23	0,018833
9	0,027607	24	0,014837
10	0,00689	25	0,008498
11	0,036472	26	0,041157
12	0,031788	27	0,014929
13	0,038998	28	0,002297
14	0,007441	29	0,003032
15	0,02949	30	0,008636



KUVA 1. Minitab kuvaaja valvontakortista

Kuvaajaa luetaan siten, että tarkistetaan mahdollisesti tilastollisten kontrollirajojen ulkopuoliset datapisteet ja aloitetaan poikkeaman syyntutkiminen.

Kontrollitestausta laajimmillaan edellyttää myös seuraavia asioita:

- Arvo(t) on 3 sigman päässä keskiviivasta (keskiarvosta), puolella ei ole merkitystä.
- 9 peräkkäistä arvoa samalla puolella keskiviivasta.
- 6 peräkkäistä arvoa, jotka laskevat tai nousevat.
- 14 peräkkäistä arvoa, jotka vuorottelevat ylös ja alas.
- Kaksi kolmesta peräkkäisestä arvosta ovat enemmän kuin 2 sigman päässä samalla puolella keskiviivasta.
- Neljä viidestä peräkkäisestä arvosta ovat enemmän kuin 1 sigman päässä samalla puolella keskiviivasta.
- 15 peräkkäistä arvoa 1 sigman sisällä keskiviivasta, puolella ei ole merkitystä.
- 8 peräkkäistä arvoa enemmän kuin 1 sigman päässä keskiviivasta, puolella ei ole merkitystä.

(Lähde: MiniTab 15 ohjelmisto)

Minitab ilmoittaa myös sanallisesti testin tulokset

Test Results for I Chart of TC ** ROOM

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from centre line.

Test Failed at points: 18

Suomeksi: Testissä ilmeni yksi tulos yli kolmen hajonnan verran poikkeava tulos. Tulos löytyy mittauksesta 18.

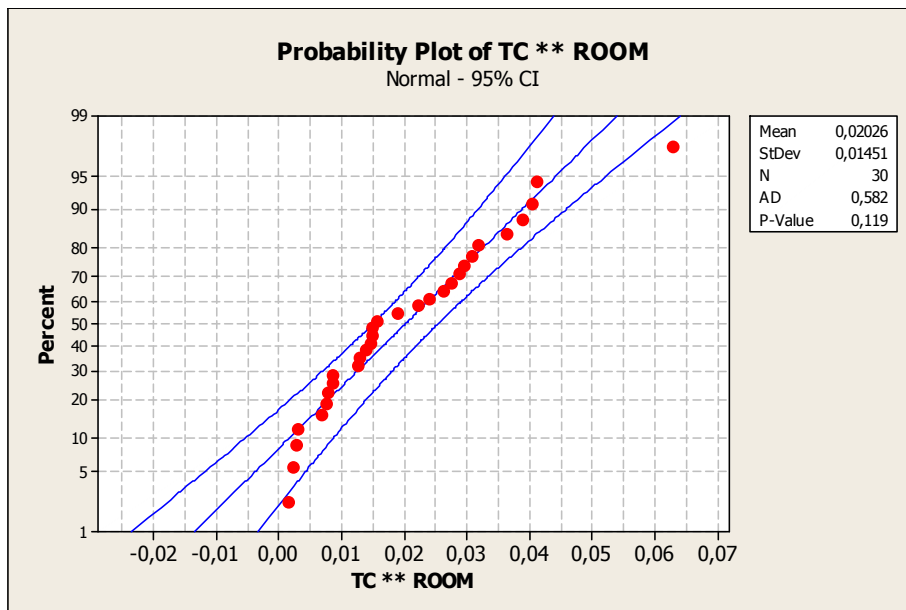
Testin mukaan mittausprosessi ei ole kontrollissa ja virheellisen datapisteen aiheuttaja voidaan selvittää. Tueksi voidaan ottaa vielä statistiikka.

TAULUKKO 6. Tärkeimmät tilastolliset tunnusluvut

Tulosten määrä	Keskiarvo	Keskihajonta	Pienin tulos	Suurin tulos
30	0,02026	0,01451	0,00156	0,06302

Nähdään, että minimin ja maksimin erotus ja datapisteen erotus keskiarvoon on aika suuri, joten kyseessä voi olla mittaustulokseen vaikuttava erityisyys. Sääntöjen mukaan kyseinen tulos tulisi poistaa mutta vain tuntemalla analysoitava asia voidaan todeta, onko kyse virhemittauksesta vai normaalista tuloksesta. On mahdollista, että kyseinen tulos on vain poikkeama, joka kertoo viasta tuotteessa itsessään.

Seuraavaksi on hyvä tutkia jakauman luonne. Suorituskykyjen laskeminenhan edellytti stabiilia prosessia ja normaalisti jakautunutta dataa. Seuraava vaihe on siis testata tulokset normaalijakaumaa vasten. Testaus on mahdollista monella tavalla, mutta kuvaavin on Minitabin probability plot (kuva 2), joka esittää tulokset datapisteinä hajontansa mukaan.



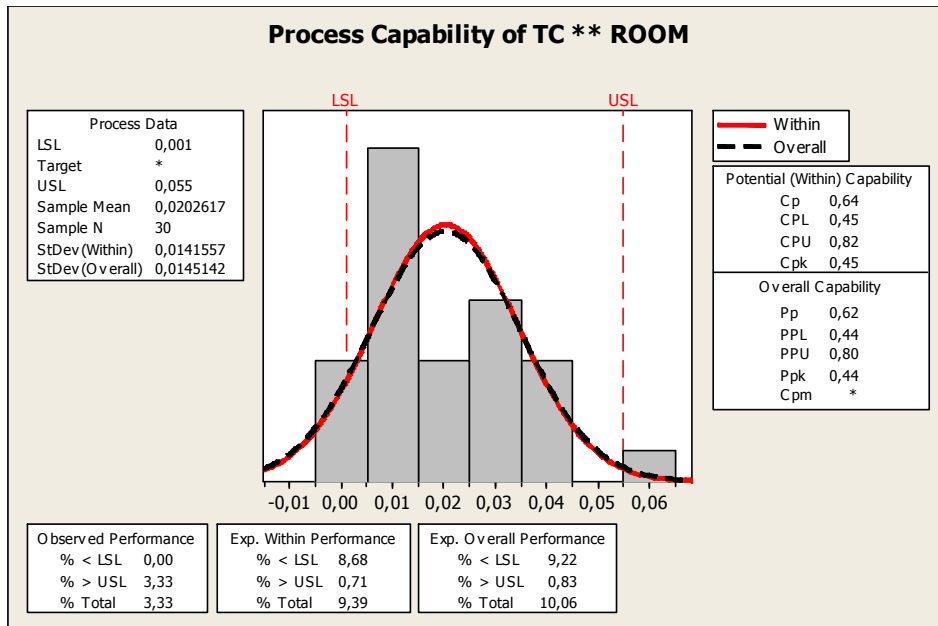
KUVA 2. Minitab -kuvaaja, Probability plot

Kuvaajaa tarkastelemalla nähdään tuloksissa pientä hajontaa, mutta silmämääräisesti katsottuna ei kriittisen paljon. Selkeästi poikkeavaksi nähdään heti 0,06:n kohdalla oleva tulos, joten tarkempi tutkiminen on paikallaan.

Minitabin ilmoittaa oletuksen jakauman luonteesta normaalijakaumaa vasten, p-arvolla, joka perustuu tilastolliseen 5 %:n riskitasoon. Minitabin esittämä p-arvo on todennäköisyys sille, että tulossarja sisältää signaaleja eli luonnollisesta hajonnasta poikkeavaa dataa. Mitä pienempi p-arvo on, sitä todennäköisemmin jakauma poikkeaa normaalista.

Kuvaajasta arvo löytyy nimellä P-value ja, kun arvo on suurempi kuin 0.005, voidaan jakauma todeta normaaliksi. Tämän 30 tuloksen sarjan voidaan olettaa siis olevan normaalisti jakautunutta. Datapiste 18 on vielä mukana ja jos se poistetaan ennen kuvaajan piirtämistä, on hajonta luonnollisesti parempi.

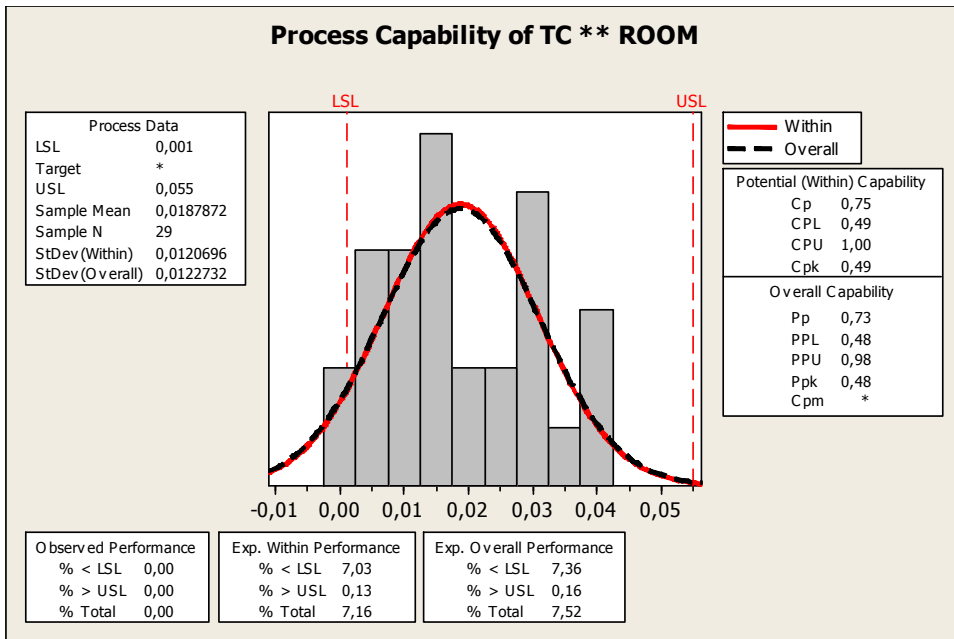
Normaalisti jakautuneesta datasta voidaan mitata suorituskyky. Tässä esimerkissä on käytetty Minitabin suorituskyvyn laskevaa toimintoa, joka ilmoittaa tarvittavat indeksit asetettujen toleranssien suhteen. (kuva 3)



KUVA 3. Minitab -kuvaaja, suorituskykyanalyysi

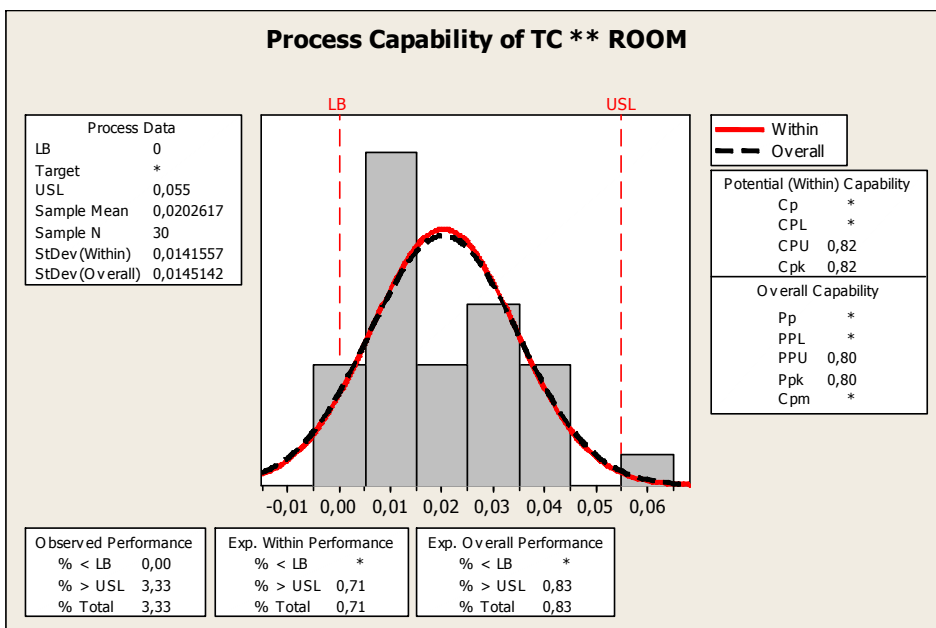
Tekniset rajat on asetettu LSL 0.001 ja USL 0.055 ja datapisteen 18 mukana ollessa nähdään, että kyseinen tulos ei mahdu toleranssien väliin.

Sama analyysi datapiste 18 poistettuna muuttaa hieman tuloksia. Suorituskykyindeksien muutosta tapahtuu, koska keskihajonnan estimaatti muuttuu. Jakauma on entistä paremmin normaalijakautunut. Lisäksi päästään kriittiseen tavoitteeseen eli mittaustulosten vaihtelu on pelkästään luonnollista.



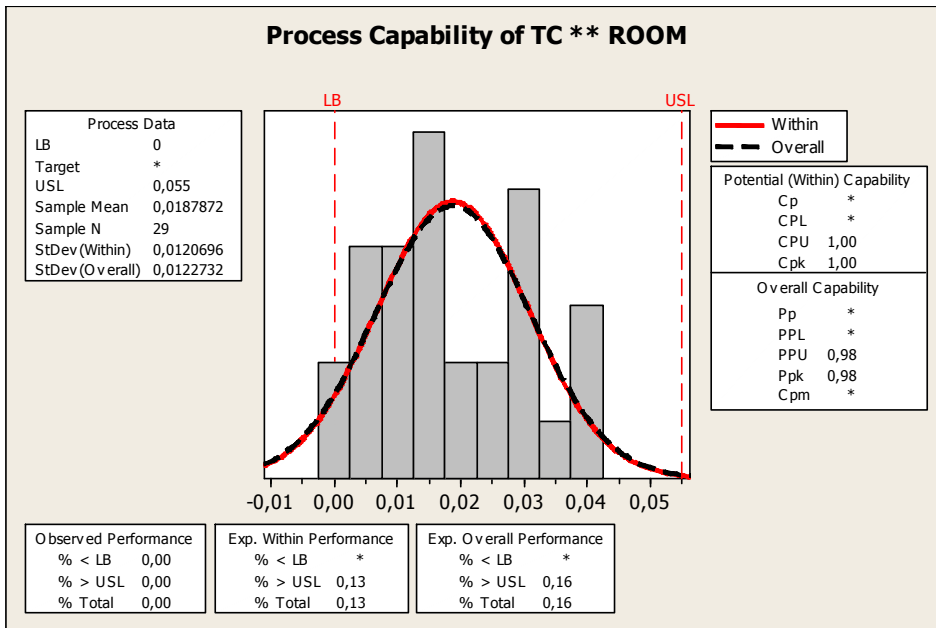
KUVA 5. Minitab -kuvaaja, suorituskykyanalyysi poikkeava datapiste poistettuna

Otetaan vielä esimerkiksi samalle datalle LSL:n arvoksi fyysinen raja esimerkiksi 0. Nollan alittamisen pitäisi siis olla mahdoton tilanne. Indeksi siis USL: vasten.



KUVA 6. Minitab -kuvaaja, suorituskykyanalyysi yksipuolisella toleranssilla

Datapiste 18:sta poistettuna suorituskyky paranee, koska samalla hajonta pienenee.



KUVA 7. Minitab -kuvaaja, suorituskykyanalyysi yksipuolisella toleranssilla ja poikkeava datapiste poistettuna

12 MENETELMIEN TESTAUS JA AUTOMATISOINNIN MAHDOLLISUUDET

Tämän projektin perimmäinen tarkoitus on vähentää mittaustulosten analysointiin kuluva aikaa, löytää oikeat tulostenkäsittelyn menetelmät ja tutkia, kuinka pitkälle prosessi voidaan automatisoida. Tämä kappale esittelee mahdollisuuksia ja ongelmia soveltaa teoriassa tutkittuja menetelmiä. Menetelmien soveltamisen tutkimiseen käytetään Excel 2003 -ohjelmistoa, Minitab 15 -tilastolaskentaohjelmistoa ja Excelliin integroitua Visual Basic -ohjelmointikieltä.

Tilastolliseen analysointiin tarkoitettua Minitab 15 -ohjelmistoa käytetään tukemaan prosessia. Automatisoinnin toiminnallisuus noudattelee tilastollisen analysointiprosessin menetelmiä, kuten tämän työn teoriaosassa on kuvattu. Automatisoinnin tavoite datan käsittelyssä on saavuttaa nopeasti selkeä raportti / kooste raakadatasta.

Menetelmien testaus toteutettiin todellisilla tuloksilla. Tavoite on todeta aikaisemmin esiteltyjen tilastollisten analysointimenetelmien soveltuvuus kohdeympäristöön. Analysointiprosessin / automatisoinnin tulee löytää mahdolliset poikkeavuudet tuloksista / tuotteen suorituskyvystä ja ilmoittaa todellinen suorituskykyindeksi kun teoriassa esitetyt asiat on otettu huomioon. Excel itsessään toimii hyvin rajallisesti tämän kaltaisten laskelmien tekemiseen funktioiden monimutkaisuuksien takia.

Excel 2003:n soveltaminen tilastollisen analyysin käyttöliittymänä mahdollistaa perusanalyysien tekemisen, mutta syvällisemmän analyysin tekeminen matemaattisesta näkökulmasta on nopeampaa ja luotettavampaa jollakin muulla työkalulla, esimerkiksi MiniTab -ohjelmistolla. Suurimmat puutteet Excelin käytössä ovat jakaumaa kuvaavien piirrosten tekeminen. Histogram-toiminto löytyy mutta automaattinen frekvenssien laskenta ei anna jakaumasta oikeanlaista kuvaa. Lisäksi tämän projektin vaatimuksien mukaisia monimutkaisimpia matemaattisia funktioita ei löydy valmiiksi rakennettuna. Tehokkaan raportin tekeminen Excelillä vaatii taustalle Visual Basic Application -ohjelmointia.

Excel soveltuu kuitenkin hyvin tulosten raportointiin ja joitakin valmiita perusfunktioitakin löytyy kaavojen rakentamiseen. Visual Basic -ohjelmointia käyttämällä voidaan luoda Excelliin lisää toi-

mivuutta esimerkiksi automatisoimalla toimintoja taustalle, eli periaatteessa Excel jää vain käyttöliittymäksi

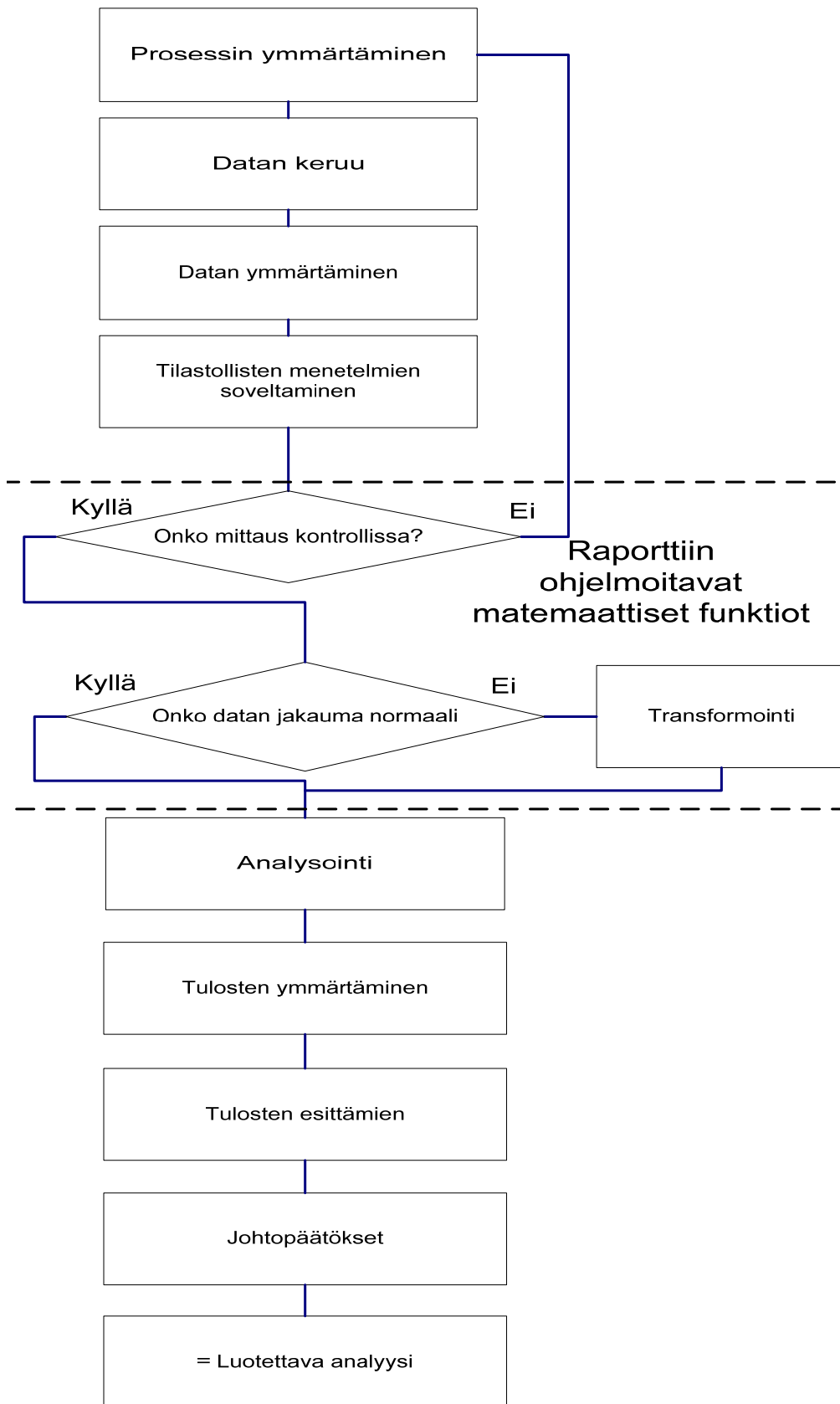
Tavoitellut hyödyt jo olemassa oleviin raporttipohjiin nähden ovat ennen kaikkea siinä, miten raportti voisi nopeasti esittää todellisempia arvoja tuotteiden suorituskyvylle ja löytää poikkeamat niin sanotusta datapuurosta, jonka analysoiminen aikaisemmillä menetelmillä on ollut vähintäänkin työlästä. Edellisten raporttipohjien suurimpina ongelmina on havaittu suorituskykyindeksien luotettavuuden puutteet. On puhuttu Cpk -indeksistä, kun todellisuudessa itse luku on ollut Ppk (katso kpl.8). Lisäksi ongelmana on ollut indeksin ”tavoitearvojen” määrittämien analysoitavissa ominaisuuksissa. Indeksien laskukaava on käytössä ollut kahta spesifikaatorajaa käyttävä kaava, kun taas toleranssisuunnittelussa käytetään muoto $\text{speksi} - \text{raja}$. Tämä tarkoittaa siis sitä, että suorituskyky halutaan arvioida yhtä rajaa vasten. Silloin myös indeksi on laskettava vain haluttua rajaa vasten.

Menetelmien kehittäminen koskee myös R&D datalle ominaisten pienten otoskokojen huomioonottamista. Todellisen suorituskyvyn indeksoimisessa tämä asia tuottaa varmasti eniten ongelmia, mutta on asia, jota ei voi sivuuttaa. Luottamusvälien laskeminen tarkoittaa tässä ympäristössä sitä, että tarvitaan vähintäänkin luottamusvälin alaraja, kun suorituskyvyn vähimmäisarvo käännetään arvioiksi saantoprosentista. (katso kpl 8.1 ja 9.)

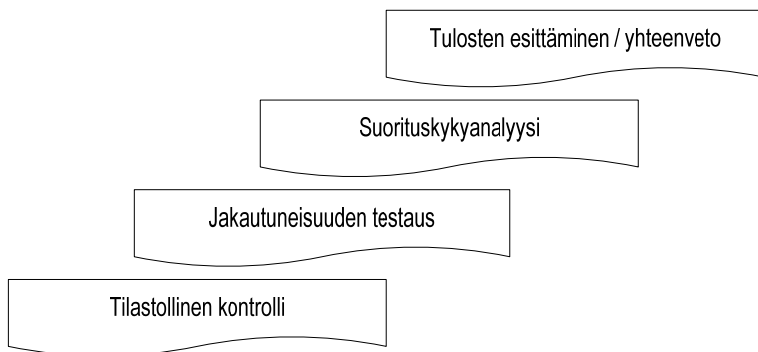
Vianetsinnässä pyritään pidemmälle kuin löytämään tekniset epäkohdat, toki niitä unohtamatta. Tilastollisten kontrollirajojen käyttö löytää ja esittää ”datapuurosta” luonnollisesta hajonnasta poikkeavat tulokset. Tämän soveltamisen etu on löytää nopeasti virhemittausten lisäksi muunlaisia poikkeamia yksiköiden käyttäytymisestä.

12.1 Raportin tekninen puoli

Kappaleessa 5 esitelty analysoinnin elinkaari upotetaan teknisen toteutuksen taustalle. Automaatioinnin mahdollisuuksia mietittäessä eritellään vaiheet kahteen osaan. Toinen osa sisältää tekniset vaiheet esimerkiksi, laskelmat, visualisoinnit ja poikkeamien etsinnän. Toisessa osassa on tehtävät, joita kone ei voi tehdä. Suunnittelijan on siis tutkittava ja eriteltävä poikkeamaksi merkätyt tulokset ja poistettava ei-halutut tulokset, joita poikkeamien joukossa ovat mahdolliset mittaus-tapahtuman virheet.



KAAVIO 2. Analyysin elinkaari ja ohjelmoitavat funktiot



KUVIO 23. Analysointiprosessin tekniset vaiheet

Analysointiprosessi etenee vaiheittain kohti korkeantasonnäkyä. Tässä ympäristössä korkeantasonnäky vastaa mahdollisimman todelliseksi saatettujen Cpk -indeksien esittämistä.

Testausalustana käytettävässä Excel 2003 –ohjelmistossa käyttöliittymä jaotellaan seuraavalla tavalla:

- Excel -työkirja
 - o SQL-kysely tietokannasta halutun tuotesarjan tuloksista
 - o Excel sheet – raakadata
 - o Excel sheet – tilastollinen analysointisivu
 - o Excel sheet – siivottu ja hyväksytty data
 - o Excel sheet - yhteenveto tärkeimmistä tilastollisista tunnusluvuista
 - o Excel sheet – yhteenveto suorituskykyindekseistä
- Visual Basic -ohjelmapaketin tuominen Excel 2003 -käyttöliittymään oman valikon avulla

12.2 Sovellettu Excel 2003 -käyttöliittymä

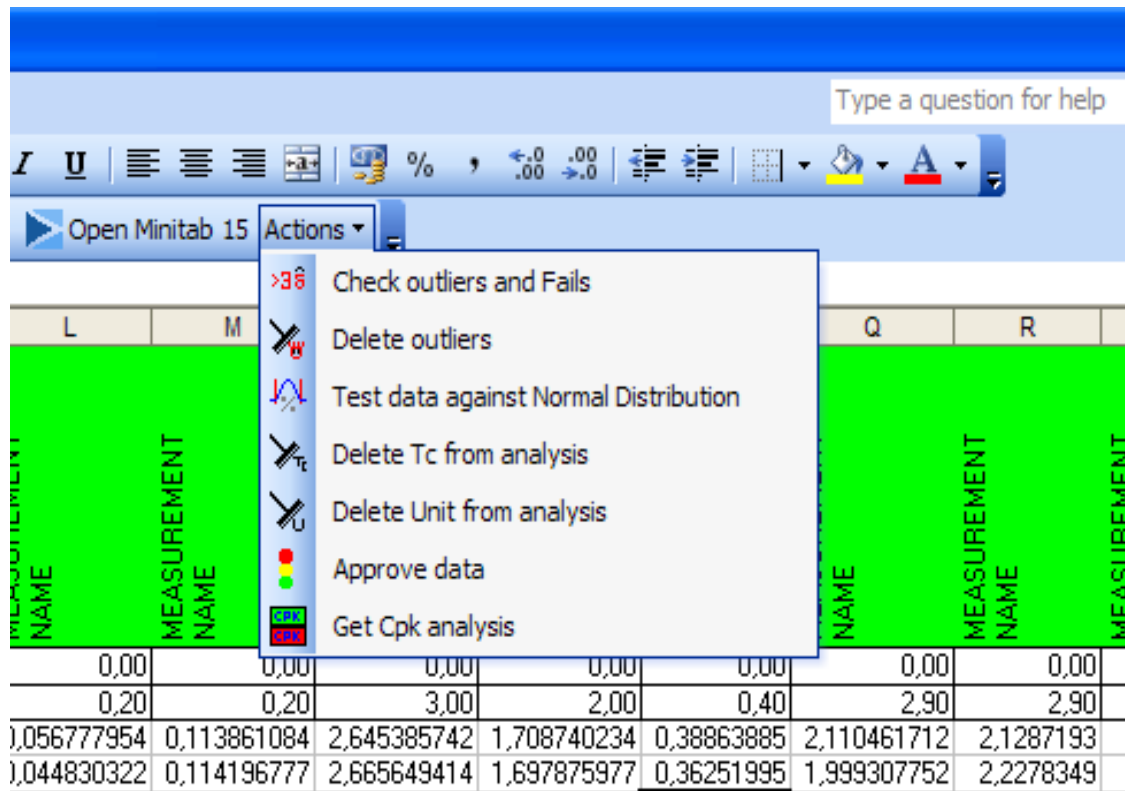
Excel -käyttöliittymänä ja Visual Basic -ohjelmoinnin avulla tutkitaan automatisoinnin mahdollisuuksia laskelmien ja yhteenvetojen ohjelmitavuuden kannalta. Analysointiprosessin automatisoiminen täytyy myös tutkia suunnittelijan kannalta, eli kohdat joissa tarvitaan niin sanotusti ihmisen silmää, täytyy jättää automatisoinnin ulkopuolelle. Seuraavat kappaleet esittelevät näitä mahdollisuuksia.

Ensimmäinen vaihe on hakea data tietokannasta Excel-työkirjaan.

	Mittauksen nimi
Raja	0,09
Speksi	0,15
*UNIT SERIAL *	0,131649
*UNIT SERIAL *	0,132125
*UNIT SERIAL *	0,132139
*UNIT SERIAL *	0,131111
*UNIT SERIAL *	0,129142
*UNIT SERIAL *	0,130975
*UNIT SERIAL *	0,133023
*UNIT SERIAL *	0,132892
*UNIT SERIAL *	0,132015
*UNIT SERIAL *	0,132842
*UNIT SERIAL *	0,131404
*UNIT SERIAL *	0,129334
*UNIT SERIAL *	0,132707
*UNIT SERIAL *	0,132675
*UNIT SERIAL *	0,132405
*UNIT SERIAL *	0,133153
*UNIT SERIAL *	0,132225
*UNIT SERIAL *	0,13135
*UNIT SERIAL *	0,131834
*UNIT SERIAL *	0,132058

KUVIO 24. Taulukointimalli raakadatan esittämiseen Excelissä

On tärkeä huomioida jokaiselle mittaukselle asetetut spesifikaatiot. Ohjelma laskee suorituskyvyn aina ns. speksiä vasten. Datan asettelu tällä tavalla tukee ja helpottaa Minitabin kanssa toimimista.



KUVA 8. Analysoinnin ohjausvalikko

malla valikosta "detele outliers" Inappia. Myös Minitab tunnistaa tähden, joten ongelmia ei tule siellä puolella, jos suunnittelija katsoo tarpeelliseksi tutkia esimerkiksi tulosten jakaumaa siellä.

Seuraavaksi tutkitaan jokaisesta mittauksesta saaduista tulosjoukoista jakauma oletuksena normaalijakauma (Test data against Normal Distribution). Ohjelma laskee normaalijakauman luonteen mukaisesti, että sijaitseeko ~95 % tuloksista vähintään kahden keskihajonnan päässä keskiarvosta. Mikäli ehto täyttyy, merkkautuu mittauksen nimen sisältämä solu vihreäksi ja, jos ei, väriksi tulee punainen. Pienien otosten tapauksessa voidaan puhua vain oletuksista jakauman suhteen. Tässä tilanteessa voi varmistava työkaluna käyttää Minitab 15 -ohjelmistoa ja ajaa dataalle jakauman testaus.

Kun halutut liikkeet datan oikeellisuuden varmistamiseksi on tehty, tulokset vielä hyväksytään (Approve Data – nappi), jolloin data siirtyy vielä puhtaalle sheetille, eli datalle on mahdollista tehdä muutoksia tämänkin jälkeen, koska suorituskykylaskelma suoritetaan hyväksytyyn datan sheetiltä. Datan hyväksyntä on tärkeää, koska voidaan joutua palaamaan takaisin raakadataa ja tekemään muutoksia. On siis hyvä pitää "puhdas data" ja raakadata erillään.

Get Cpk analysis -nappi tekee siis suorituskykyanalyysin hyväksytystä datasta.

MEASUREMENT NAME	CPK	CPK 95% LB
MEASUREMENT NAME	0.399	0.24
MEASUREMENT NAME	0.603	0.40
MEASUREMENT NAME	1.803	1.31
MEASUREMENT NAME	1.833	1.33
MEASUREMENT NAME	1.85	1.34
MEASUREMENT NAME	1.852	1.34
MEASUREMENT NAME	1.861	1.35
MEASUREMENT NAME	2.031	1.48
MEASUREMENT NAME	2.08	1.51
MEASUREMENT NAME	2.172	1.58
MEASUREMENT NAME	2.366	1.72
MEASUREMENT NAME	2.847	2.08
MEASUREMENT NAME	2.886	2.11
MEASUREMENT NAME	3.133	2.29
MEASUREMENT NAME	3.421	2.50
MEASUREMENT NAME	3.432	2.51
MEASUREMENT NAME	3.734	2.73
MEASUREMENT NAME	4.028	2.95
MEASUREMENT NAME	4.041	2.96
MEASUREMENT NAME	4.051	2.96
MEASUREMENT NAME	4.873	3.57
MEASUREMENT NAME	5.135	3.76
MEASUREMENT NAME	5.306	3.88
MEASUREMENT NAME	5.529	4.05
MEASUREMENT NAME	5.654	4.14
MEASUREMENT NAME	6.416	4.70

	A	B	C
1		*ENV*	
2			
3			
4		CPK	CPK 95% LB
5	MEASUREMENT NAME	0.399	0.24
6	MEASUREMENT NAME	0.603	0.40
7	MEASUREMENT NAME	1.803	1.31
8	MEASUREMENT NAME	1.833	1.33
9	MEASUREMENT NAME	1.85	1.34
10	MEASUREMENT NAME	1.852	1.34

KUVA 10. Analysoinnin yhteenveto

Suorituskyky-yhteenveto ilmoittaa Cpk -indeksit huonoimmasta parhaimpaan. Indeksistä voidaan arvioida saantolukemia mikäli, tällä suorituskyvyllä lähdettäisiin massatuotantoon. Tulokset ovat pienien otoskokojen vuoksi vain suuntaa antavia, joten mukaan on lisätty Cpk:lle luottamustaso, eli 95 % varma luottamusvälin alaraja ilmoitetaan otoskoosta riippuvana tuomaan indeksiluvun arvion lähemmäksi todellista. Raportti merkkää halutuksi asetetun Cpk -rajan mukaisesti läpi menneet indeksi ja vastaavasti ei-hyväksyttävät. Raportti kerää myös luonnollisesta hajonnasta poikkeavat tulokset, niiden mittaukset ja kappaleen(tuote/yksikkö).

13 RAPORTISTA SAATAVA INFORMAATIO SUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA

Analyysinlinkaaren mukaisesti suunnittelija kiinnittää ensimmäisenä huomion tulossarjoista mahdollisesti löytyviin poikkeamiin. Ensimmäiseksi poistetaan analyysistä selkeät mittausvirheet eli niin sanotusti mahdottomaksi todettavat tulokset. Sen jälkeen huomion voi kiinnittää mahdollisesti tuloksiin teknisten toleranssirajojen ulkopuolella. Nämä tapaukset löytyvät helposti ja vianetsintä on jo sen suhteen päättynyt eli korjauskohde on löytynyt.

Vaikeampi vaihe on löytää poikkeavuudet toleranssirajojen sisäpuolella. Tämän työn teoriaosassa on esitelty menetelmäksi tilastolliset kontrollirajat per mittaus. Kuvasta 11 eteenpäin on ote analysoitavan tuotesarjan tuloksista ja löydöksistä, joita raportti esittelee poikkeamiksi. Tulokset on aseteltu siten, että vasemmalta oikealle mittaukset ovat järjestyksessä ja jokaisen alapuolelta löytyvät tekniset spesifikaatorajat ja edelleen niiden alapuolelta yksiköt mittausjärjestyksessä. Suunnittelija voi siis seurata mittausprosessin tuloksia mittausjärjestyksessä.

Jokaisen yksittäisen mittauksen tulokset muodostavat tulosjoukon(otoksen), josta ohjelma laskee tarvittavat tilastolliset laskelmat. Tilastollisten kontrollirajojen ulkopuoliset tulokset ilmoitetaan värittämällä solu esimerkiksi punaisella. Toleranssirajojen ulkopuoliset tulokset lasketaan vastavalla tavalla ja ilmoitetaan formatoimalla solua tuomalla vahvennetut rajat.

Tutkimalla esimerkkidataa huomataan yksi toleranssirajavirhe(kuva 9), yksi mittaus tapahtuman virhe(kuva 9) sekä lukuisia poikkeamia. Mittausvirhe voidaan poistaa analyysistä, mutta muiden poikkeamien tutkimiseen tarvitaan ehdottomasti suunnittelijan asiantuntemusta. Esimerkissä olevat poikkeamat eivät ole niin sanottuja mittaus tapahtuman virheitä vaan todellisia tuloksia. Nämä tulokset luettaisiin normaalien tilastomatemiikan käytäntöjen mukaisesti luonnollisesta hajonnasta poikkeaviksi mutta, tässä tapauksessa tulokset säilytetään todellisina, koska voidaan havaita syy-seuraussuhde poikkeamien välillä, kun tutkitaan tuloksia kokonaisuudessaan. Yksittäisen yksikön tuloksia seuraamalla suunnittelija voi tutkia sen käyttäytymistä mittausprosessissa ja havaita, mikäli syy-seuraussuhteita ilmenee. Esimerkkidatassa erityisesti yksikkö numero kahdeksan tuloksia seurattaessa havaitaan lukuisia poikkeamia. Raportti on suorittanut vianetsinnän

ja visualisoinut sen suunnittelijan käytettäväksi. Voidaan siis todeta, että tilastolliset kontrollirajat soveltuvat tähän ympäristöön poikkeamien etsimiseen.

ENV	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*
bound	0,09	0,09	270,00	0,00	0,00
spec	0,15	0,22	295,00	2,00	0,40
UNIT SERIAL	0,1316495	0,1956672	Ei hyväksyttävä	1,7087402	0,388639
UNIT SERIAL	0,1321253	0,1948193	tulos	1,697876	0,36252
UNIT SERIAL	0,1321388	0,1952072		1,6356201	0,405628
UNIT SERIAL	0,1311106	0,1934529		1,670166	0,398477
UNIT SERIAL	0,1291421	0,1901157		1,6536865	0,381072
UNIT SERIAL	0,1309753	0,1929997	284,82361	1,6760254	0,39696
UNIT SERIAL	0,1330227	0,1957574	284,82361	1,6541138	0,37696
UNIT SERIAL	0,1328919	0,1965556	284,82361	1,9534302	0,377912
UNIT SERIAL	0,1320148	0,1958972	284,82361	1,7036133	0,398111
UNIT SERIAL	0,1328423	0,1959062	284,82361	1,6560059	0,370273
UNIT SERIAL	0,1314037	0,1938362	283,91364	1,7080078	0,379088
UNIT SERIAL	0,1293337	0,1908372	282,09366	1,7277832	0,39099
UNIT SERIAL	0,132707	0,1962625	282,09366	1,7592163	0,39421
UNIT SERIAL	0,1326755	0,1956581	283,00363	1,7055664	0,389544
UNIT SERIAL	0,1324049	0,1955589	284,82361	1,612793	0,382603
UNIT SERIAL	0,1331535	0,1973696	284,82361	1,6976318	0,394958
UNIT SERIAL	0,1322245	0,1952523	283,91364	1,6895142	0,385422
UNIT SERIAL	0,1313496	0,1931823	285,73358	1,6983032	0,394339
UNIT SERIAL	0,1318344	0,1943684	284,82361	1,6367188	0,358598
UNIT SERIAL	0,1320576	0,1945668	283,00363	1,6329956	0,347187

KUVA 11. Poikkeamat ja ei hyväksyttävä tulos

MEASUREMENT NAME	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*
12,00	12,00	12,00	12,00	0,00
14,00	14,00	14,00	14,00	1,60
13,17383	12,85156	13,5957	12,15869	1,03095
13,13037	12,8252	13,68359	12,20654	0,994389
13,2251	12,90332	13,68408	12,35107	1,01489
13,146	12,84326	13,64063	12,21191	1,01876
13,0791	12,78076	13,65283	12,26025	1,47728
13,13428	12,86279	13,64893	12,19141	1,04686
13,10205	12,81152	13,61133	12,2583	0
12,86719	12,65283	13,66895	12,25732	1,247
13,17383	12,85693	13,65723	12,16309	0,994219
13,17383	12,87354	13,77295	12,37988	0,973221
13,13525	12,83594	13,60693	12,2793	0,99892
13,15674	12,83838	13,67578	12,28613	1,0059
13,12354	12,81152	13,63135	12,2207	0,978405
13,17334	12,86523	13,6626	12,23096	1,04737
13,11475	12,80469	13,59912	12,24121	1,03578
13,06934	12,78467	13,52393	12,10254	1,0009
13,26563	12,96875	13,85449	12,44287	0,974497
13,18359	12,85205	13,74756	12,29443	1,03095
13,22021	12,89746	13,72705	12,33984	0,988441
13,17188	12,90088	13,70996	12,354	0,981017

Mittaustapahtuman virhe

KUVA 12. Poikkeamat ja mittaustapahtuman virhe

MEASUREMENT NAME	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*	*MEASUREMENT NAME*
0,00	0,00	11,00	10,00
1,60	2,40	30,00	30,00
1,11695	2,04456	13,0295	12,2855
1,08589	1,9778	12,971	12,4565
1,10561	2,02395	13,355	12,805
1,15564	2,07618	15,2845	15,0365
1,10357	2,01887	15,2	14,2995
1,13259	2,11272	13,435	12,43
1,10935	2,02956	13,395	12,475
1,36045	2,04264	13,425	12,55
1,0876	2,08152	13,0695	12,4635
1,15604	1,99392	13,0925	12,539
1,08626	2,01774	13,505	12,595
1,18615	2,03179	13,335	12,53
1,12749	2,03308	13,225	11,3495
1,11604	2,07454	13,015	12,2525
1,1271	2,00422	13,305	12,405
1,13097	1,99852	15,378	15,016
1,1069	2,06744	13,405	12,65
1,15269	2,0465	13,32	12,495
1,1168	2,00421	13,0395	12,3775
1,10375	2,00991	13,41	12,565

KUVA 13. Poikkeamat

14 JOHTOPÄÄTÖKSET

14.1 Tutkimuksen yhteenveto

SPC:n tai Six Sigman soveltaminen suoraan mihinkään prosessiin ei ole yksiselitteinen asia. Tilastollisten analyysien tekeminen vaatii kokonaisvaltaisen asiantuntemuksen analysoitavasta prosessista. Tilastollisten menetelmien soveltaminen riippuu prosessin luonteesta ja monenlaisista vaihtelevista tekijöistä, kuten tavoitteet analyysille ja tekniset tavoitteet analysoitavalle ominaisuudelle.

Tuotekehitysympäristössä haasteet tilastollisten menetelmien soveltamiselle tulevat pääosin ongelmallisuudesta luoda jatkuva prosessi, jolloin analyysin luotettavuus kasvaisi otoskokojen mukana ja monesti käytännöllinen historiallinen data puuttuu. Lisäksi suunnitteluvaiheessa olevat tuotteet voivat vaihdella paljon muutoksia tehtäessä, eli tilastollisen analyysin prosessin luotettavuus on oltava taattu, että vääriä johtopäätöksiä tuloksista ei tehdä.

Excelin käyttö raportoinnin käyttöliittymänä on mahdollista, mutta tilastollisten analyysien tekemiseen se ei tarjoa tehokkaita työkaluja. Tämän työn analyysiosan tekemisen tukena on käytetty MiniTab 15 -ohjelmistoa, joka on syytä säilyttää edelleen tukityökaluna vaativimpien analyysien tekemistä varten. MiniTab on juuri tilastolliseen analyysiin suunniteltu työkalu, jonka tehokkuutta lisää datasta saatavat kuvaajat, joiden rakentaminen Excelissä vaatii paljon manuaalista työtä.

Tilastollinen analyysi perustuu prosessin ymmärtämiseen, datan ymmärtämiseen, tilastollisten työkalujen soveltamiseen, tulosten esittämiseen sekä saadun informaation ymmärtämiseen. On totta, että vääriä johtopäätöksiä on helpompi tehdä kuin oikeita. Analysoinnin elinkaaren jokaiseen osa-alueeseen on tarpeen panostaa, että varmistetaan analyysin luotettavuus.

SPC- ja Six Sigma -metodit tiivistyvät lopulta yhteenvetoraporttiin yhdeksi arvoksi, jonka taustalla on kuitenkin paljon asiaa. Tämän työn esittelemä analysoinnin elinkaari tähtää aluksi mittauspahtuman kontrollointiin, jonka yhteys laatuun ja organisaation toiminnan edellytyksiin on selkeä. Kontrollioimattoman prosessin tuottama lopputulos ei vastaa haluttua.

SPC:n ”työ” loppuu periaatteessa kontrollitason ilmoittamiseen. Sen jälkeen Six Sigma ottaa saavutetut, kontrolloidut tulokset haltuun ja alkaa tulosten syvällisempi tutkiminen. Kaikkein helpoin lähtökohta olisi, jos data olisi aina normaalisti jakautunutta. Näin ei kuitenkaan ole, vaan asian varmistamiseksi on tehtävä tarvittavat testit. ”Jakaumaperheitä” on useita, mutta tässä työssä perehdyttiin vain normaalijakauman analysointimahdollisuuksiin. Joissakin tapauksissa on olemassa keinoja transformoida ei-normaalisti jakautunut data noudattamaan normaalijakaumaa, mutta näiden tapauksien soveltaminen Exceliin on hyvin vaikeaa ja epäluotettavaa ilman kaupallisia lisäohjelmia. Excelille on olemassa useita laajennuksia, etenkin SPC:en liittyviä.

Tämä työ antaa siis lähtökohdat tilastollisten menetelmien soveltamiseen Powerwave Finland Oy:n tuotekehitysorganisaatiolle. Tutkimuksen lähteinä on käytetty tilastolliseen prosessin ohjaukseen ja Six Sigmaan liittyviä aineistoja sekä Powerwaven sisäisiä työohjeita ja materiaaleja.

Työn tavoitteiden mukaisesti tämän työn mukainen analysointikäytäntö ilmoittaa nopeasti raakadatassa ilmenevät poikkeamat kuten mittausvirheet, poikkeuksellisen suuret vaihtelut tuloksissa ja teknisiin spesifikaatioihin verrattuna ei-hyväksyttävät tulokset.

Analysoinnin ensimmäinen vaihe eli mittausvirheiden poistaminen voidaan todeta toimivaksi, kun käytetään tilastollisia kolmen sigman kontrollirajoja. Selkeät mittausvirheet löytyvät nopeasti mutta vaaditaan käyttäjän ammattitaitoa analysoimaan muutoin normaalista vaihtelusta poikkeavat tulokset, joita ei voida laskea mittausvirheiksi. Käyttäjän on tunnettava analysoitavaan ”tuotteeseen” liittyvät tekniset asiat löytääkseen tuotekehitysprosessille tärkeää informaatiota.

Suorituskykyindeksien taustalla tulisi olla oletus jakauman normaalisuudesta, eli luonnollisen vaihtelun tulee pysyä ~95 -prosenttisesti kahden sigman sisäpuolella. Pienien otoskokojen ongelmassa tämä oletus on hyvin likimääräinen ja verrattaessa Minitab -ohjelmiston laskemaan parvoon voidaan saada poikkeavia oletuksia tulossarjojen jakaumasta.

Organisaatiossa jo käytössä olleella Excel 2003 –ohjelmistolla on nyt tämän työn myötä todistettu, että tuotekehitykselle voidaan luoda suunnittelijan työtä nopeuttava raportti. Tutkimalla analysointiprosessin automatisoinnin mahdollisuuksia löydettiin useita kehitysmahdollisuuksia. Esitettyjen analysointifunktioiden ohjelmoiminen testattiin Visual Basic kielellä ja todetaan, että on mahdollista jäsentää automatisointi kattamaan niin matemaattiset funktiot kuin tulosraportin koos-

taminen tehokkaasti. Tuotekehitysympäristön käyttöön tuleva datan luonne tuo paljon haasteita matemaattisten estimaattien tarkkuuden suhteen, mutta kuten suunnittelijan näkökulmasta esitelty esimerkki osoittaa, SPC:n ja Six Sigman metodeja voidaan automatisoida tuotekehittäjälle sopivaksi. Automatisointi ei kuitenkaan koskaan poista suunnittelijan vastuuta tulosten oikeellisuuden tarkastelussa. Automatisointi tuleekin rajata, siten että suunnittelija pystyy ohjamaan ja kontrolloimaan dataa läpi ohjelman etenemisen.

Tuotekehitysympäristö on suorituskykyanalyysille vaikea ympäristö mutta selkeitä edistysaskeleita saavutettiin. Koska tuotekehitysdata koostuu usein pienistä populaatioista tai otoksista, joudutaan ratkaisemaan ongelmia todennäköisyyslaskennan perusteista lähtien. Todennäköisyyksien arvioiminen on aina ongelmallista kun tulostenmäärä on pieni tai historiallinen ja vertailtava data useimmiten puuttuu. Kuitenkin ottamalla huomioon suorituskyvyn laskemisessa luottamusväli sekä virhemittausten poistaminen saadaan edelleen estimaatiksi jäävä indeksi lähemmäksi totuutta. Suuri edistysaskel on nopea keino visualisoida poikkeamat perustuen tilastollisiin kontrollirajoihin. Menetelmän toimivuus todistettiin esimerkillä suunnittelijan näkökulmasta.

14.2 Jatkokehitys

Jatkokehitys tulee suunnitella tuotekehityksen tavoitteiden mukaisesti siten, että tuotekehitysdatasta saaduista arvoista voitaisiin päästä lähemmäksi todellisia ennusteita ja sen myötä parempia arvioita tuotekehitysprosessin onnistumisesta. Tässä työssä esitelty analysointiprosessi tuo tuotekehityksen tilastollisia estimaatteja lähemmäksi jatkuvan tuotannon ympäristöä eli ympäristöä, jota tuotekehityksessä yritetään ikään kuin ennustaa tuotteen käyttäytymisen suhteen. Integroimalla tarkemmin tuotannon ja tuotekehityksen menetelmiä erityisesti hajontaa kuvaavissa asioissa on todennäköisesti mahdollista lisätä ennusteisiin jo pienissäkin protosarja-analyyseissä tarkkuutta.

Teknisen toteutuksen puolella olisi varmasti tarpeellista tutkia raportoinnin käyttöliittymän ja tuotannonohjausjärjestelmän kommunikointia. Nykyisellä mallilla saatetaan kohdata ongelma suorituskyvyn laskennassa oikeaa toleranssirajaa vasten. Suurin osa mittauksista suoritetaan asettamalla vain yksi spesifikaatoraja, mutta silti raportoidaan kahdella rajalla laskettu Cpk. Tähän tilanteeseen sisältyy ongelma, sillä toleranssien asettelutapa vaihtelee muutamissa tapauksissa. Jos tämä asia voitaisiin ratkaista jo ennen datan hakemista suorituskykyä analysoivaan raportointioh-

jelmaan, ei suunnittelijan tarvitsisi enää tarkistaa tai asettaa suorituskykylaskentaa oikein. Tärkeä jatkokehityksen kohta olisi siis tarkempi integrointi raportointityökalun ja tuotannonohjausjärjestelmän välillä.

LÄHTEET

Kirjat

Andrew Sleeper 2007, Six Sigma Distribution Modeling, 1st edition. USA: McGraw-Hill,

Matti Holopainen & Pekka Pulkkinen 1997, Tilastolliset menetelmät, 1.-4 Painos, Porvoo: WSOY
yhtymä Weilin+Göös

Rauno Salomäki 1999, Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC. Helsinki: MET

Digitaaliset lähteet

Bell S. 1999 A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement, hakupäivä 30.4.2010
http://www.wmo.ch/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/UK_NPL/mgpg11.pdf

Grossley M. 2010 Size Matters – How good is your Cpk, really? hakupäivä 30.4.2010
<http://www.qualitydigest.com/may00/html/lastword.html>

Karjalainen E. 1999, Six Sigma, hakupäivä 29.3.2010 <http://sixsigma.fi/?sivu=Arkisto&id=56>

Karjalainen E & Piirainen A. 2009, Mitä pitäisi ymmärtää datasta – Tilastoista? OSA1 hakupäivä
22.4.2010
[http://www.sixsigma.fi/?sivu=Artikkelit&id=127&SixSigmaSessionID=32ceaced60b836d7aa6e3b7
b85718cd6](http://www.sixsigma.fi/?sivu=Artikkelit&id=127&SixSigmaSessionID=32ceaced60b836d7aa6e3b7b85718cd6)

Minitab technical support document – Confidence interval formulas for cp and Cpk, hakupäivä
30.4.2010
<http://www.minitab.com/support/documentation/Answers/ConfidenceIntervalsCpCpk.pdf> (ei jul-
kaisu päivää)

Piirainen A. 2007, Mitä pitäisi ymmärtää datasta – Tilastoista? OSA1, hakupäivä 29.3.2010
<http://www.sixsigma.fi/?sivu=Artikkelit&id=123>

Quality Digest 2005, Recognizing Statistical Error in Quality, hakupäivä 30.4.2010
<http://www.qualitydigest.com/inside/six-sigma-article/recognizing-statistical-error-quality#>

Sarna S. 2001 hakupäivä 3.5.2010, <http://www.terkko.helsinki.fi/kurssikirjasto/c10/sarna.pdf> (Julkaisulla ei nimeä)

Sherman P, Tips for Recognizing and Transforming Non-normal Data, hakupäivä 29.3.2010
http://www.isixsigma.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=1206:&Itemid=208

Wikipedia 2010, Process capability index, hakupäivä 3.9.2010
http://en.wikipedia.org/wiki/Process_capability_index, Process capability index

Muut lähteet

Minitab 15 -tilastolaskentaohjelmisto