

**TEKNILLINEN KORKEAKOULU**

**SÄHKÖ- JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN OSASTO**

**Antti Hedman**

**TIETOKANNAN JA ANALYSOINTITYÖKALUJEN KEHITTÄMINEN  
PIIRIKORTTIEN TUOTANTOTESTEREILLE  
PROSESSINPARANNUSTARKOITUKSEEN**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten  
Espoossa 22.8.2007

Työn ohjaaja diplomi-insinööri Markku Järviluoto

Työn valvoja professori Jorma Kyyrä

Teknillinen korkeakoulu

Diplomityön tiivistelmä

Tekijä: Antti Hedman

Työn nimi: Tietokannan ja analysointityökalujen kehittäminen piirikorttien tuotantotestereille prosessinparannustarkoitukseen

Päivämäärä: 17.8.2007

sivumäärä: 76

Osasto: Sähkö- ja tietoliikennetekniikka  
Professori: S-81 TehoelektroniikkaTyön valvoja: Professori Jorma Kyyrä  
Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Markku Järviluoto

Piirikorttien valmistuksen ja testauksen laadun seurannassa on monenlaisia haasteita. Piirikorttien toiminnalliset testerit keräävät eriäviä tietoja ja tätä aineistoa ei myöskään analysoida samoilla menetelmillä. Alihankkijoiden eli piirikorttivalmistajien sijainti ympäri maailmaa ei myöskään osaltaan helpota tilannetta, jolloin tietoa valmistus- ja testausprosesseista on vaikea saada.

Tilannetta voidaan helpottaa pyrkimällä yhtenäiseen datamuotoon, jotta aineisto piirikorttien välillä olisi yhtenevä, mikä helpottaisi prosessien analysointia. Myös analysointimenetelmien yhtenäistäminen olisi toivottavaa, jotta eri piirikorttien laatua voitaisiin helpommin vertailla. Testeriaineiston saaminen reaaliaikaisesti analysoitavaksi tehostaisi myös toimintaa merkittävästi.

Käyttämällä prosessien tilastolliseen analysointiin tarkoitettua Minitab-ohjelmaa ja tämän valmiita tilastotyökaluja voidaan testaustuloksia analysoida hyvinkin tehokkaasti. Data-aineiston varastointiin ja hallintaan kannattaa käyttää tietokantaohjelmaa, jollainen on esim. Microsoft Access. Access voi myös käyttää suoraan testeritietokoneessa olevaa aineistoa, jos piirikorttivalmistajan kanssa ollaan luotu VPN-yhteys. Näin dataa voidaan seurata ja käsitellä reaaliaikaisesti.

Avainsanat: Piirikorttitestaus, laatu, laatureuranta, tilastollinen prosessinohjaus, Minitab

Author: Antti Hedman

Name of the thesis: Using and Developing Database and Analysing Tools for Production Testers of Printed Circuit Boards in Order to Improve the Process

Date: 17.8.2007

Number of pages: 76

Department of Electrical and Communications Engineering  
Professorship: S-81 Power Electronics

Supervisor: Professor Jorma Kyyrä  
Instructor: M.Sc. (Tech.). Markku Järviluoto

There are plenty of problems that aggravate quality analysis of the manufacturing and the testing process of printed circuit boards. Nowadays the suppliers, printed circuit boards' manufacturers, locate far away and in different locations than the factory which uses the PCBs. It means that the mentioned processes are quite difficult to survey and analyse when the test data isn't always available. Every PCB tester also uses different kind of data form which means that the analysing tools must be modified greatly for each PCB type.

If homogenous data form and analysing tools are used the quality analysis and comparison between different PCB types is much easier. When the test data is available in a real time the problems of the manufacturing and testing processes can also be handled immediately.

When a dedicated statistical analyse program Minitab is used the quality analysis can be done very efficiently because Minitab contains a wide range of tools for statistical process control. The huge amount of test data is better to be stored into databases which can be managed by e.g. Microsoft Access. Access can also link straight into the databases, which are located in PCB manufacturers' testers if VPN access is established between these two locations.

Keywords: PCB testing, quality, quality analysing, statistical process control, Minitab

## ALKUSANAT

Diplomityössä käsitellään piirikorttien tuotantotestauksen seuraamista ja kehittämistä tilastollisia menetelmiä apuna käyttäen. Tämän avulla pyritään tunnistamaan ja korjaamaan piirikorttien tuotanto- ja testausprosesseissa löytyvät epäideaalisuudet.

Olen työskennellyt opintojeni ohessa ABB Oy Drivesissa maaliskuusta 2004 lähtien. ABB on tukenut minua opinnoissani luomalla edellytykset joustavalle työskentelyyn ja opintojen yhdistämiselle, sekä antamalla rahoituksen ja aiheen diplomityön teolle. Työni laatu seurannan parissa antoi myös hyvät eväät diplomityössä onnistumiselle.

ABB:lla ohjaajani Markku Järviluodon lisäksi olen saanut korvaamattomia neuvoja laatu-päällikkö Antti Rågbackalta, jota haluan myös tässä vaiheessa kiittää avusta ja tuesta. Haluan myös kiittää pitkäaikaista esimiestäni tuoteylläpidon päällikköä Kjell Ingmania, joka on antanut tukeaan koko ajan työskennellessäni ABB:lla.

Työni valvoja professori Jorma Kyyrä on ollut aktiivisesti mukana tukemassa ja neuvomassa diplomityön tekemiseen liittyvissä asioissa, mistä haluan häntä erikseen kiittää.

Haluan myös kiittää vaimoani Lumikki Hedmania, joka on pitänyt opiskelu- ja työmotivaationi ja -huumorini yllä silloinkin, kun itselläni on ollut rankkaa. Ilman hänen tukeaan en olisi tässä tilanteessa.

Espoossa 17.8.2007

Antti Hedman

Matinkallio 8 c 70

02230 Espoo

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT .....</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 LAATU JA PROSESSINOHJAUS.....</b>	<b>13</b>
2.1 LAATU.....	13
2.1.1 Mitä laatu on?.....	13
2.1.2 Laatukustannukset.....	14
2.2 TILASTOLLINEN PROSESSINOHJAUS .....	16
2.2.1 Tilastollisia tunnuslukuja.....	17
2.2.2 Keskiarvo- ja vaihteluvälikaavio variaabelidatalle.....	20
2.2.3 First Pass Yield –seuranta .....	21
2.2.4 Onko prosessi kontrollissa?.....	22
2.2.5 Pareto.....	24
2.2.6 Gage R&R.....	25
2.3 LAADUN SEURANTA ABB OY DRIVESISSA.....	27
2.3.1 Valmistus-testaus-prosessi .....	28
2.3.2 Toimittajalaatu .....	35
2.3.3 Tuotantolaatu.....	37
2.3.4 Kenttälaatu .....	37
<b>3 LAATUSEURANNAN HAASTEET .....</b>	<b>39</b>
3.1 MITTAUSDATAAN LIITTYVÄT ONGELMAT.....	39
3.1.1 Datan saatavuus.....	39
3.1.2 Datan muoto .....	40
3.1.3 Mittausdatan analysointityökalut.....	40
3.2 PIIRIKORTTIEN ERILAISUUS JA MONINAISUUS.....	41
<b>4 TESTAUSAINIESTON KÄSITTELY .....</b>	<b>44</b>
4.1 DATAN SAATAVUUDEN PARANTAMINEN .....	44
4.1.1 Virtual Private Network (VPN).....	44
4.2 DATAMUODON PARANTAMINEN .....	46
4.2.1 Tietokannat.....	46
4.2.2 Datamuodon spesifiointi.....	48
4.3 SEURANTATYÖKALUJEN VALINTA.....	50
4.3.1 First Pass Yield -seuranta .....	51
4.3.2 Pareto.....	53
4.3.3 Normaalisuustesti .....	55

---

4.3.4	Gage R&R.....	58
4.3.5	Keskiarvo- ja vaihteluvälikaaviot.....	59
4.3.6	Capability Six Pack.....	61
4.3.7	Graafinen yhteenveto testipisteen aineistosta.....	62
4.4	TOTEUTUSVAIHTOEHDOT.....	63
4.4.1	Excel-vaihtoehto.....	63
4.4.2	Ohjelmointikielivaihtoehto.....	64
4.4.3	Minitab + Access.....	64
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>68</b>
	<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>70</b>
	<b>LIITTEET.....</b>	<b>72</b>
	LIITE 1.....	72
	LIITE 2.....	73
	LIITE 3.....	74

---

## KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

<i>c</i>	keskihajonta
ACID	Atomicity Consistency Isolation Durability
AQL	Acceptable Quality Level
CL	Control Limit
COC	Cost Of Control
COPQ	Cost Of Poor Quality
FPY	First Pass Yield
FT	Functional Test
Gage R&R	Gage Repeatability and Reproducibility
GRE	General Routing Encapsulation
HIPOT	High Potential Test
ICT	In-circuit Test
IP	Internet Protocol
LAL	Lower Action Limit
LSL	Lower Specification Limit
LWL	Lower Warning Limit
<i>n</i>	otoksen koko, näytemäärä
OSI	Open Systems Interconnection
PPP	Point to Point Protocol
PPTP	Point To Point Transfer Protocol
<i>R</i>	otoksen vaihteluväli

$\bar{R}$	vaihteluvälien keskiarvo
SPC	Statistical Process Control
TCP	Transmission Control Protocol
UAL	Upper Action Limit
UWL	Upper Warning Limit
USL	Upper Specification Limit
VPN	Virtual Private Network
$\bar{X}$	otoksen keskiarvo



# 1 JOHDANTO

ABB Oy Drivesin tuotekehityksessä ja -ylläpidossa on koettu ongelmalliseksi saada hyödynnettyä piirikorttien testauksesta saatavaa aineistoa. Mielenkiintoa olisi erityisesti toiminnallisen testerin tallentamalle datalle, sillä sen avulla pystyttäisiin luotettavasti seuraamaan piirikorttien valmistusprosessia ja siinä tapahtuvia vaihteluita. Ensisijaisesti työkalua voitaisiin käyttää etsittäessä piirikorttien systemaattisia valmistusvirheitä, huonolaatuisia komponenttieriä sekä suunnitteluvirheitä. Työkalu soveltuisi myös toiminnallisen testerin testirajojen määrittämiseen. Myös prosessiin tai itse piirikorttiin tehtyjen muutosten seuraaminen helpottuisi soveltuvan työkalun avulla huomattavasti. Tärkeimpänä tavoitteena olisikin parantaa valmistusprosessin ja sitä kautta lopputuotteen eli valmistettavan piirikortin laatua. Laadun parannustyötä työkalun avulla voitaisiin tehdä niin piirikorttituotannon aloittamisessa, valmistus-/testaus- ja suunnitteluprosessissa, kuin koko tuotteen elinkaaren ajan tuotteen ylläpitotehtävissä.

Tiukentunut globaali kilpailu on lisännyt uusien tuotteiden nopean tuotantoon viemisen tarvetta. Monesti kohdataan tilanteita, joissa valmistettava tuote siirretään valmistukseen, ennen kuin tuotteen suunnittelu on saatu lopullisesti viimeistelyä. Tällaiset tilanteet tuovat erityishaasteita laadukkaan tuotannon aikaansaamiseksi. Tilannetta ei myöskään helpota pitkä fyysinen välimatka tuotekehityksen ja tuotannon välillä, sillä suuri osa piirikorteista valmistetaan nykyään Suomen rajojen ulkopuolella. Kun tuotteen tuntemus on Suomessa, ja valmistus sekä sen tuntemus esim. Kiinassa voidaan joutua ongelmallisiin tilanteisiin.

Toiminnallisen testerin mittausdatan avulla pyritään löytämään piirikorttivalmistusta vaivaavat ongelmat. Varsinkin tuotannon alkuvaiheessa testereissäkin on ongelmia, kun laitteisto on uutta ja siinä olevia epäideaalisuuksia ei ole vielä havaittu. Testerin tyypillisiä ongelmia ovat mm. neulapedin huono kontakti mittauspisteisiin, virheitä sisältävä testausohjelmisto, sekä maadoituksesta tai mittaustarkkuudesta johtuvat virheet. Myös testifixturen sisäiset asennukset ja johtimien vedot voivat häiritä toisiaan, ja sitä kautta johtaa mittausvirheisiin ja –epätarkkuuksiin. Ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan monesti molempien ryhmittymien, eli ABB:n ja piirikorttivalmistajan yhteistyötä. Toimiva prosessin seurantajärjestelmä voi auttaa tilanteissa, joissa tarvitaan nopeita toimenpiteitä, eikä aikaa viallisten piirikorttien lähettämiseksi Suomeen tai asiantuntijan lähettämiseksi piirikorttivalmistajan luokse ole.

Uuden piirikortin tuotannon aloituksessa sattuu enemmän virheitä, kuin stabiilissa massatuotannossa. Ensimmäiset piirikorttierät ovat työntekijöille vielä tuntemattomia ja uusia, jolloin työvirheiden määrä on suuri. Toisaalta valmistusprosessiakaan ei

ole vielä hiottu, jolloin piirikorteilla voi esiintyä huonoja juotoksia tai väärin asetettuja komponentteja. Valmistus- tai testauslaitteistossa voi olla myös sellaisia ongelmia, jotka vahingoittavat prosessissa olevaa piirikorttia. Tällaista voi aiheuttaa esim. liian kuuma prosessi, tai huonosti suunniteltu neulapeti, mitkä voivat vahingoittaa piirikortilla olevia komponentteja. Tällaiset yksittäisiä komponentteja koskevat ongelmat tulevat yleensä esiin aikaisemmissa testausvaiheissa ennen toiminnallista testeriä.

Kun piirikorttituotanto on saatu käyntiin, ongelmat hieman muuttuvat. Valmistettaviin piirikortteihin voi tulla suunnittelu- ja revisiomuutoksia, joiden vaikutusta tuotantoon ei voida ennakoida etukäteen. Muutoksia voi tulla hyvin varhaisessakin vaiheessa tuotantoa, jolloin valmistetuista pilottilaitteista saadaan palautetta maailmalta. Piirikorteille voi tulla muutoksia myös käytössä olevien komponenttien osalta. Piirikorttituotannossa käytössä olevat komponentit muuttuvat havaittujen vikojen, hinnan, saatavuuden ja logistiikan mukaan. Piirikorttituotannon ollessa stabiilissa vaiheessa halutaan seurata valmistusprosessia ja siinä tapahtuvia ennakoimattomia ja epätoivottuja muutoksia. Seurannan avulla pyritään tuotannon laadun ja tehokkuuden parantamiseen, ja sitä kautta laadukkaampaan ja kilpailukykyisempään lopputuotteeseen.

Piirikorttien valmistusprosessia toiminnallisen testerin keräämän mittausdatan perusteella seuraavan työkalun pitäisi soveltua apuvälineeksi seuraaviin tehtäviin:

Viallisten piirikorttien valmistusvirheiden vianhaku ja –analysointi

Valmistusprosessin korjaaminen systemaattisten valmistusvirheiden osalta

Komponenttien laatuerokeamien ja ongelman tilastollisen ja ajallisen laajuuden selvittäminen

Toiminnallisen testerin ongelmien selvittäminen

- Sovellusohjelman debuggaus
- Sähköisten kytkentöjen ja liityntöjen vianhaku
- Mittauksien häiriintymisen vianhaku

Toiminnallisen testerin testirajojen tarkastus, analysointi ja määrittäminen

Tuotteen suunnittelulaadun seuraaminen ja parantaminen

## Kenttälaadun ja tuotantolaadun korrelaation selvittäminen

Tuotannossa esiintyvien ongelmien lajittelu aiheuttajiin (testauksen epäluotettavuus, testirajojen oikeellisuus, tuotteen suunnitteluvirheet, komponenttien laatu, valmistusvirheet)

Jotta edellä mainittuja toimintoja voitaisiin luotettavasti ja tehokkaasti tehdä, tarvitaan kattava ja täydellinen tietokanta piirikorteista ja mittaustuloksista. Toisaalta dataa tulee pystyä lajittelemaan ja suodattamaan tehokkaasti.

Tämän diplomityön tarkoituksena on kehittää sekä määritellä tietokanta ja siinä olevan tiedon analysointiin tarkoitettut työkalut piirikorttien valmistusprosessin seurantaan ja parantamista varten.

Luvussa kaksi esitellään laatua ja sen seurantaan teoriatasolla. Työn tarkoituksena on kehittää apuväline laadun parantamiseen ja sitä kautta kilpailukykyyn nostamiseen, jolloin yleisesti käytettyjen laatuun liittyvien termien ja analyysien ymmärtämisestä on apua. Samassa yhteydessä esitellään myös käsite laatukustannus, jota pienentämällä pyritään parempaan kilpailukykyyn. Toisessa luvussa kerrotaan myös tilastollisista työkaluista, joiden avulla laatusuranta ja laadun parannustyötä tehdään. Luvussa käydään myös läpi laatusurannan ja –varmistuksen vaiheet ja osat alueet ABB Oy Drivesissa piirikorttien valmistuksesta taajuusmuuttajan valmistuksen ja testauksen kautta kenttälaatusurantaan.

Luvussa kolme esitellään ongelmat, jotka tällä hetkellä vaikeuttavat piirikorttien valmistusprosessin seurantaan ja hallintaa. Toiminnallisilta testereiltä ei saada dataa systemaattisesti ja reaaliajassa, vaan tulokset saadaan viiveellä, jolloin niistä saatava hyöty on huomattavan vähäistä. Pahimmassa tapauksessa tuloksia ei saada ollenkaan, kun datan siirrosta ei ole sovittu piirikorttivalmistajan kanssa. Datan saatavuuden lisäksi ongelmia aiheuttaa spesifioimaton datamuoto. Testeridataan ei välttämättä kerätä kaikkea ABB Drivesia kiinnostavaa tietoa, sillä datan sisältöä ei ole yhteisesti sovittu. Tämän lisäksi myös Excelin käyttö datan varastointipaikkana tuottaa ongelmia sen rajoittuneisuuden takia. Piirikorttivalmistajilta saatavat testeridata-aineistot täytyy yhdistää vielä manuaalisesti suuremmaksi kokonaisuudeksi, jos jonkinlaista pidemmän aikajakson analyysiä valmistusprosessista halutaan tehdä. Valmistettavien piirikorttityyppien huomattavan suuri määrä ja korttityyppien erilaisuus tuottavat myös omat hankaluutensa. Kun erilaisia korttityyppejä on paljon, tarvitaan monia erilaisia testaustyyppiejä, eli käytettyjen testeridatamuotojen moninaisuus on vääjäämätöntä. Tämä tuo suuria hankaluuksia valmistusprosessien seurantaan, kun prosessin seurantatyökalut joudutaan luomaan jokaiselle datatyyppille, eli jokaiselle piirikortille erikseen. Tällainen menettelytapa johtaa

suureen määrään ylimääräistä työtä. Toisaalta seurantatyökalujen eroavaisuus toisistaan ei ainakaan edesauta eri piirikorttien valmistusprosessien toimivuuden ja laadukkuuden vertailua.

Luvussa neljä esitellään parannuksia vallitsevaan tilanteeseen. Datan saatavuuden parantamiseksi voidaan käyttää VPN-yhteyttä (Virtual Private Network), jonka avulla toiminnallisten testereiden mittausdata linkitettäisiin Drivesissa sijaitsevalle serverille, mistä aineisto olisi reaaliaikaisesti käytössä. Osiossa kiinnitetään myös huomiota toiminnallisten testereiden datamuodon parantamiseksi ja yhtenäistämiseksi, jotta piirikorttien valmistusprosessien seuranta ja analysointi helpottuisi. Lopuksi esitellään käytännön esimerkkien avulla prosessien analysointiin tarkoitettut työkalut. Samassa luvussa pohditaan myös lyhyesti erilaisia vaihtoehtoja, joiden avulla piirikorttien laatusuranta olisi mahdollista tehdä, verrataan näiden vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia, ja perustellaan myös ne seikat, jotka johtivat parhaan vaihtoehdon eli Microsoft Accessin ja Minitabin käyttöön.

## 2 LAATU JA PROSESSINOHJAUS

### 2.1 Laatu

#### 2.1.1 Mitä laatu on?

Laadun määritelmä on vaihtunut vuosien saatossa, mutta sen perimmäinen merkitys on kuitenkin pysynyt samana. Laadulla pyritään täyttämään asiakkaan odotukset tuotettua palvelua tai hyödykettä kohtaan. Näin ollen laadukas tuote on sopiva sen tarkoituksen mukaiseen käyttöön. Nämä asiat tulevat selkeästi esille monissa menneissä laadun määritelmässä (Oakland 2003)

”Fitness for purpose or use” (Juran 1990)

“The totality of features and characteristics of a product or service that bear on its ability to satisfy stated or implied needs” (BS 4778: Part 1: 1987 {ISO 8402: 1986})

“The total composite product and service characteristics of marketing, engineering, manufacture, and maintenance through which product and service in use will meet the expectation by the customer” (Feigenbaum 1991)

Viimeisimpänä määritelmänä laadulle voidaan pitää Six Sigman luoja Harry Mikelin ajatusta laadun liittymistä valmistajan saamaan voittoon: ”Laatu on tuotteen tai palvelun kyky täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset sekä tuottaa valmistajalleen voittoa. Laatu tuo tyytyväisyyttä ja rahaa.” (Harry 2000, vol. 33; [www.qk-karjalainen.fi](http://www.qk-karjalainen.fi) 18.5.2007) Näin ollen laatu voidaan nähdä myös hyödykettä tuottavalle yritykselle tavoiteltavana asiana. Laatu tuo mukanaan jatkuvaa kasvua ja tuloa. Se myös auttaa yritystä kilpailussa muita vastaan, sekä on avain asiakasuskollisuuden saavuttamiseksi. (Kotler & Keller 2005)

Laatu voidaan jakaa kolmeen perustekijään (Lillrank 2006):

Suunnittelun laatuun

Tuotantolaatuun

Asiakaslaatuun

Ensimmäisellä tekijällä käsitetään, kuinka hyvin vaatimukset ja ideat saadaan siirrettyä designiin; itse tuotteeseen. Hyvä tuotantolaatu merkitsee suunnitellun

tuotteen häiriötöntä ja virheetöntä valmistusta. Asiakaslaadulla tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin asiakkaan vaatimukset on ymmärretty ja saatu implementoitua sekä spesifioitua tuotteen designiin. Kuten näistä tekijöistä voidaan huomata, laadukkaan lopputuotteen saaminen vaatii laatua läpi koko tuotteen valmistusprosessin. Selvästikään laatua ei voida implementoida tuotteeseen jälkikäteen, vaan laadun tuottaminen vaatii toimia jokaisella askeleella. Usein laatua seurataan vasta tuotantoprosessin lopussa, eli testataan kuinka hyvin tuote toimii, ja voiko sitä toimittaa asiakkaalle. Tämä ei ole laatusurainta, vaan laatuselvitystä, joka ei millään tavalla paranna laatua, vähennä huonoon laatuun liittyviä kustannuksia, eikä etenkään tee tuotantoprosessista parempaa. (Oakland 2003) Laatuselvitys vastaa ainoastaan kysymykseen: Olemmeko tehneet työn tarkoituksenmukaisesti? Jotta tuotantoprosessista saataisiin parempi, ja sitä kautta lopputuotteesta laadukkaampi, tuotantosysteemin systemaattinen analysointi on tarpeen (Oakland 2003):

Voimmeko tehdä työn tarkoituksenmukaisesti?

Teemmekö työn tarkoituksenmukaisesti?

Olemmeko tehneet työn tarkoituksenmukaisesti?

Voimmeko tehdä työn paremmin?

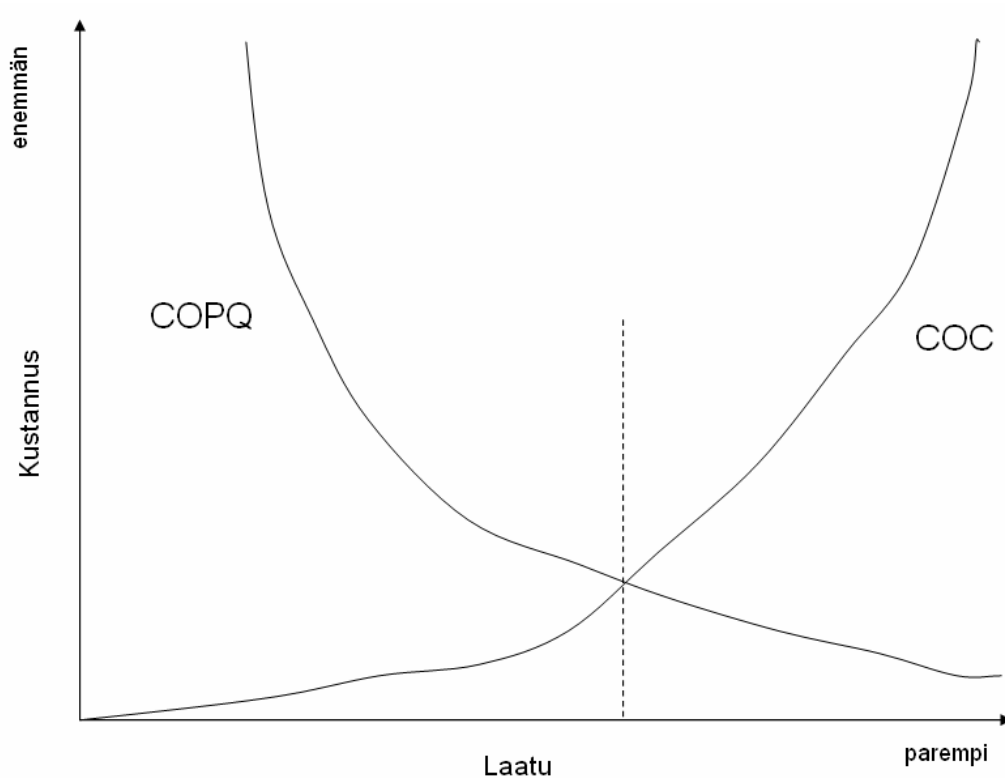
Nykyään puhutaan paljon tuottavuudesta ja tuotannon tehokkuudesta. Niinpä laadukas tuotanto ja lopputuote ovat kaikkein tärkeimmät päämäärät, joihin organisaatioiden tulisi pyrkiä. Jos ajatellaan, että yrityksen laatuksustannukset ovat kymmenyksen liikevaihdosta, niin tämä tarkoittaa, että noin 10 % tehtaan kapasiteetista on käytetty mm. korjaamiseen, romun tuottamiseen, sekä viallisten tuotteiden vaihtamiseksi toimiviin. Kaikki tämä kapasiteetti on pois tuottavasta työstä (Oakland 2003).

### **2.1.2 Laatuksustannukset**

Laatuksustannukset voidaan jakaa kahteen tekijään (Lillrank 2006):

Huonon laadun aiheuttamat kustannukset (COPQ)

Laatusurannan kustannukset (COC)



Kuva 2.1: Cost of Poor Quality (COPQ) vs. Cost of Control (COC)

COPQ sisältää kustannukset, jotka syntyvät siitä, kun asioita ei tehdä ensimmäisellä kerralla oikein, eli tuotetaan viallisia tai muuten kelpaamattomia tuotteita. Se on sen kelpaamattoman tuotetun osuuden rahallinen arvo, mikä ei kuulu tuotettuun hyödykkeeseen tai palveluun (Gygi, DeCarlo & Williams 2005). COC sisältää kustannukset, jotka sisältyvät laadun seurantaan ja varmistukseen. Nämä tekijät yhdessä muodostavat laadukustannukset. Kuten kuvasta 2.1 voidaan nähdä, COPQ ja COC käyrät leikkaavat kustannus-laatu – koordinaatistossa. Tämä leikkauspiste on toimialakohtainen optimitaso COPQ:n ja COC:n suhteelle, ja missä vikaantuneiden tuotteiden määrä on suurimmalla hyväksyttävällä tasolla (Acceptable Quality Level, AQL) (Lillrank 2006).

COPQ voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin kustannuksiin. Sisäisiä kustannuksia syntyy, kun huomataan, että tuote ei vastaa sille asetettuja vaatimuksia ennen, kuin tuote on toimitettu. Sisäiset kustannukset koostuvat esim. romutuskustannuksista, korjauskustannuksista ja vikaantumisanalyyseistä. Ulkoiset kustannukset syntyvät tuotteen osoittauduttua vajaaksi sille asetettujen vaatimusten suhteen sen jälkeen, kun tuote on toimitettu käyttäjälle. Ulkoiset kustannukset koostuvat mm. korjauskustannuksista, takuupalautuksista ja -vaihdoista, sekä huonon laadun vaikutuksesta maineeseen ja imagoon, mitkä taas vaikuttavat tulevaisuuden myynteihin.

Yleistykseenä voidaan sanoa, että yksittäinen kustannus on sitä suurempi, mitä myöhemmin tuotteen huono laatu tulee esille (Pressman 2005). Näin ollen laatusuurannan kustannukset kannattaa painottaa myös tuotantoprosessin alkupäähän, eli mm. suunnitteluun. Huonosti suunniteltu tuote tai palvelu ei tule koskaan olemaan laadukas, vaikka itse tuotanto olisi virheetöntä. Six Sigma ([www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com) 18.5.2007) määrittää COPQ:n seuraavalla tavalla:

” This cost includes the cost involved in fulfilling the gap between the desired and actual product/service quality. It also includes the cost of lost opportunity due to the loss of resources used in rectifying the defect. This cost includes all the labor cost, rework cost, disposition costs, and material costs that have been added to the unit up to the point of rejection. COPQ does not include detection and prevention cost.”

COC sisältää ennaltaehkäisyyn ja arviointiin liittyviä kustannuksia. Ennaltaehkäisevät kustannukset koostuvat menoeristä, jotta tuote olisi määrätynlainen heti ensimmäisellä kerralla. Näin ollen nämä kustannukset koostuvat esim. tuotteen suunnittelukustannuksista, sekä laatujärjestelmän suunnittelusta, ylläpidosta ja koulutuksesta. Arviointikustannukset liittyvät esim. tuotantoprosessin tai lopputuotteen laadun selvittämiseen. COC:n sisältämät kustannukset voidaan nähdä organisaation investointina tuottamansa tuotteen tai palvelun laatuun. ([www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com) 18.5.2007)

Erityisesti ennaltaehkäisevät toimet laadun varmistamiseksi auttavat kokonaislaatukustannusten pienentämiseksi, sillä sitä kautta COPQ pienenee, mutta myös tuotannon ja lopputuotteen laadun arviointiin tarvittava työmäärä, ja sitä kautta kustannukset vähenevät.

## 2.2 Tilastollinen prosessinohjaus

Tilastollisella prosessinohjauksella käsitetään menetelmää, jossa tilastotieteen, mittausten ja graafisten perustyökalujen avulla pyritään mittaamaan, analysoimaan ja hallitsemaan prosessin tilastollista vaihtelua prosessin jatkuvaksi parantamiseksi (Gygi et al. 2005). SPC:n (Statistical Process Control) avulla pyritään erityisesti löytämään prosessista luonnollisesta vaihtelusta riippumattomia häiriötekijöitä, ja tätä kautta parantamaan prosessin laatua. SPC antaa välineet prosessin jatkuvaan seuraamiseen, variaation pienentämiseen, mutta myös prosessiin tehtyjen muutosten vaikutusten näkemiseen ja vertailuun. Vaihtelu, eli variaatio prosessissa ja sitä kautta lopputuotteessa vaikuttaa suoraan laatukustannuksiin. Kun variaatiota saadaan vähennettyä, vähenee tuotteen ominaisuuksien vaihtelu, toimitusaikojen vaihtelu,



työmenetelmien vaihtelu, materiaalien vaihtelu jne. Kaikki nämä vaikuttavat koettuun tuotteen laatuun (Oakland 2003).

SPC-työkalut perustuvat prosessien normaalijakautuneeseen luonteeseen. Normaalijakauma, eli Gaussin jakauma on symmetrinen sen keskiarvonsa suhteen. Kokemus on osoittanut, että monet prosessit ja luonnolliset jakaumat ovat luonteeltaan yksihuippuisia ja symmetrisiä. Näitä prosesseja voidaan seurata ja hallita SPC:n työkalujen avulla.

Variaatio voidaan jakaa luonnolliseen ja erityisistä syistä johtuvaan vaihteluun. Kun prosessissa esiintyy ainoastaan luonnollista vaihtelua, sanotaan prosessin olevan stabiili. Erityisistä syistä johtuva vaihtelu prosessissa kertoo siitä, että prosessi ei ole stabiili, eikä se ole hallinnassa (Oakland 2003). Vaihtelun laajuutta voidaan ilmaista graafisesti esim. jakauman tiheysfunktiolla tai histogrammilla, mitkä antavat staattisen kuvan prosessista. Tällaisesta kuvaajasta nähdään prosessin täsmällisyys ja tarkkuus (accuracy & precision). Täsmällisyys kertoo prosessin kyvyn tuottaa haluttua lopputulosta. Tarkkuus taas kertoo prosessista saatujen tulosten vaihtelevuuden. Mitä täsmällisempi prosessi, sitä lähempänä prosessin keskiarvo on haluttua arvoa. Mitä suurempi tarkkuus, sitä kapeammalle alueelle prosessin jakauma levittyy, eli sitä yhdenmukaisempaa lopputuotetta saadaan.

SPC ei itsessään paranna laatua, vaan SPC:n avulla kerätyn tiedon avulla, yhdessä tehokkaan johtamisjärjestelmän kanssa, voidaan tehdä laatua eteenpäin vieviä päätöksiä. SPC:n avulla tehdyt kuvaajat ja tilastot auttavat laatuasioiden kommunikointia organisaation kaikille tasoille. Yleisesti laatu seurannan puitteissa keskitytään tilastollisen prosessinohjauksen työkaluista erityisesti histogrammeihin, Pareto-analyysiin sekä ohjaustaulukoihin. Muita SPC:n työkaluja on mm. prosessikuvaukset, erilaiset graffit, sekä syy ja seuraus – analyysit. Työkalujen valinta riippuu seurattavasta prosessista sekä halutuista mittaus- ja seurantakohteista. Toisaalta eri työkaluilla on oma käyttökohteensa, eli työkalu valitaan sen mukaan, missä vaiheessa seuranta- ja analyysiprosessi on. Esim. ohjaustaulukolla havaitaan prosessissa oleva ongelma. Pareto-analyysillä selvitetään yleisin vikatyyppejä, minkä jälkeen prosessikuvauksen ja syy-seuraus-analyysin avulla pyritään löytämään häiriön aiheuttava syy, eli yleensä epäideaalisuus komponentissa tai prosessissa.

### **2.2.1 Tilastollisia tunnuslukuja**

Prosessit, joissa mitattavat suureet ovat variaabeleja (muuttujia), käytetään erilaisia välineitä kuin attribuutteina (ominaisuuksina) käsiteltävien suureiden kanssa. Variaabeli on esim. mitattu vastuksen arvo ohmeina. Attribuutti taas on viallisten

vastusten määrä erässä. Tämän työn osalta keskitytään lähinnä variaabelimuotoiseen dataan.

Prosessista, jonka mitattavat suureet ovat variaabeleja, voidaan mitata seuraavia tunnuslukuja liittyen prosessin täsmällisyyteen:

Keskiarvo, eli havaintojen keskiarvo

$$\bar{X} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Mediaani, eli keskimäinen arvo suuruusjärjestykseen asetetuista havainnoista

Moodi, eli arvo, joka yleisimmin esiintyy havainnoissa

Samaisten prosessien tarkkuuteen, eli hajontaan liittyviä tunnuslukuja ovat seuraavat:

Vaihteluväli, eli suurimman ja pienimmän havainnon erotus otetusta näytejoukosta

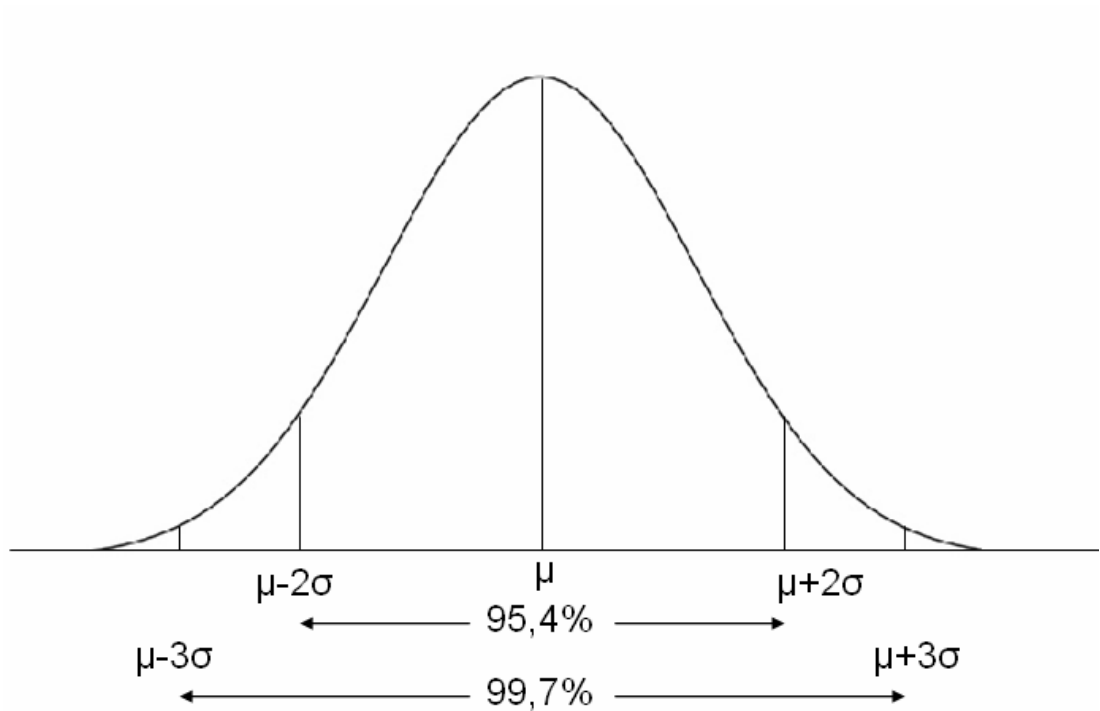
$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.2)$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^k \frac{R_i}{k} \quad (2.3)$$

otoksen keskihajonta:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

Näistä erityisesti keskihajonta, eli  $\sigma$ , eli sigma, on syytä huomioida erityisesti arvioitaessa prosessin kykyä, sillä sitä tarvitaan myös monen muun tunnusluvun laskemiseen. Normaalisti jakautuneessa prosessissa 99,7 % tapahtumista sijaitsee kolme sigmaa keskiarvon molemmin puolin, eli yhteensä kuuden sigman alueella. Samassa prosessissa 95,4 % näytteistä sijaitsee neljän sigman välillä. Kuva 2.2 havainnollistaa tilannetta:



Kuva 2.2: Normaalijakauma ja keskihajonta

Keskihajonnan avulla laskettavia tunnuslukuja ovat esimerkiksi  $C_p$  ja  $C_{pk}$ . Jotta prosessi voisi tuottaa haluttua lopputuotetta, prosessin spesifioidut ylä- ja alarajan väli pitää olla pienempi, kuin prosessin kokonaishajonta, eli  $6\sigma$ .  $C_p$ -luku ei kuitenkaan kerro, onko mitattu prosessi keskitetty, eli onko prosessin keskiarvo sama kuin tavoite. Tämän ongelman mittaamiseksi käytetään  $C_{pk}$ -lukua.  $C_{pk}$ -luvun määrittämiseksi lasketaan erilliset arvot prosessin ylä- ja alarajoille. Näistä luvuista pienempi valitaan  $C_{pk}$ :n arvoksi. Näin ollen:

Prosessin pystyvyys

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6c} \quad (2.5)$$

$$C_{pk_u} = \frac{USL - \bar{X}}{3c} \quad (2.6)$$

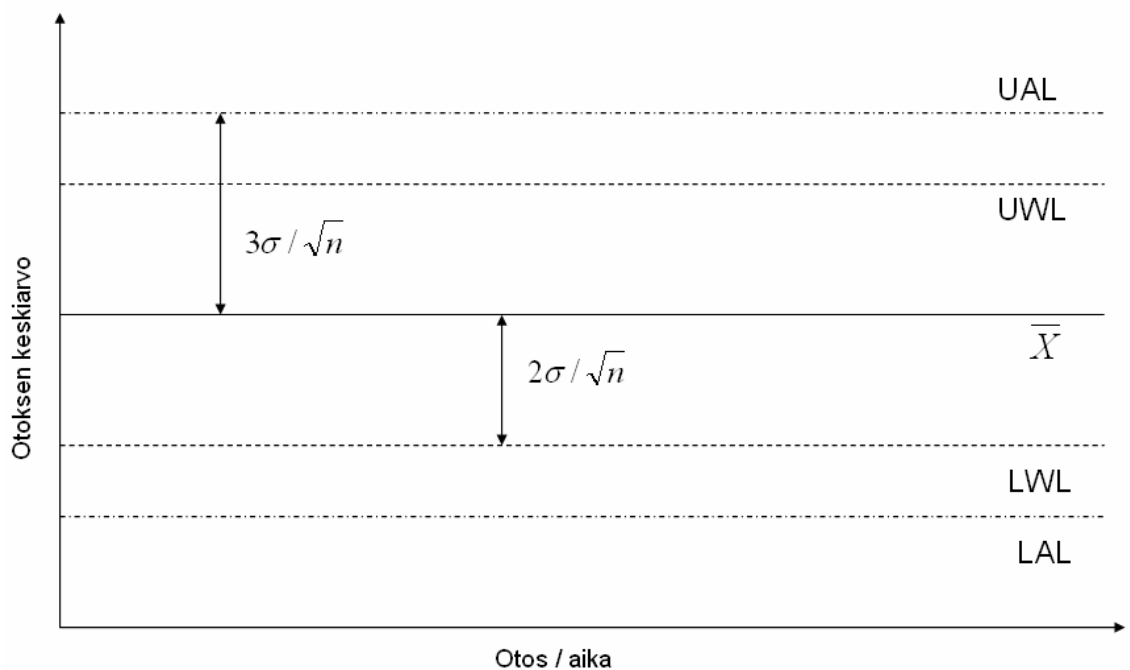
$$C_{pk_l} = \frac{\bar{X} - LSL}{3c}, \quad (2.7)$$

missä  $USL$  (Upper Specification Limit) tarkoittaa spesifikaation ylärajaa, ja  $LSL$  (Lower Specification Limit) vastaavasti alarajaa. Selvästi nähdään, että  $C_p$ -luvun

pitää olla yli 1, jotta prosessi pystyisi tuottamaan haluttua lopputulosta. Tämä siis siksi, että spesifikaatorajojen täytyy olla leveämmät, kuin prosessin kuuden sigman levyinen luonnollinen vaihtelu. Samalla periaatteella, jos Cpk-luku on 1, prosessi on vaivoin hallinnassa, eli pienikin muutos huonompaan suuntaan vie prosessin pois hallinnasta. Oakland antaa teoksessaan (Oakland 2003) Cpk:n hyvän tuloksen raja-arvoksi 2, joka jo antaa prosessille mahdollisuuden pieniin muutoksiin.

## 2.2.2 Keskiarvo- ja vaihteluvälikaavio variaabelidatalle

Keskiarvokaaviota yhdessä vaihteluvälikaavion kanssa käytetään useasti prosessin tilan seuraamiseksi. Näiden kaavioiden avulla nähdään, onko prosessi hallinnassa vai ei.



Kuva 2.3: Kaaviopohja rajoineen, Upper Action Limit (UAL), Upper Warning Limit (UWL), Lower Warning Limit (LWL), Lower Action Limit (LAL)

Kuvassa 2.3 esitetään kaaviopohja, jonka perusteella seuranta suoritetaan. Seuranta varten tarvitaan prosessin pitkäaikainen keskiarvo sekä keskihajonta. Keskihajonnan avulla saadaan laskettua prosessille varoitus- (LWL ja UWL) ja toimimisrajat (LAL ja UAL) kuvan 2.3 mukaisesti. Kaavoissa esiintyvä  $n$  on otetun näytteen koko. Näin ollen näyttekoon kasvaessa prosessin rajat tulevat lähemmäksi keskiarvoa, ja kaavio

reagoi herkemmin prosessissa tapahtuviin muutoksiin (Oakland 2003). Näytekokomääräytyy seurattavan prosessin mukaan. Näytekoon tulisi olla vähintään kaksi, mielellään neljä, jotta vaihtelu saataisiin esille. Toisaalta monet prosessit ovat luonteeltaan sellaisia, joissa näytekokona on järkevää pitää yksi (Oakland 2003).

Keskiarvokaaviota varten otetaan esim. 25 neljän näytteen otosta. Jokaisesta otoksesta lasketaan keskiarvo, ja sijoitetaan saatu lukema kaavioon. Tämän jälkeen määritetään kaavioon rajat. Rajojen avulla nähdään, onko prosessi tilastollisesti kontrollissa. Näytteiden ottoa jatketaan tasaisin väliajoin, jolloin prosessissa olevia muutoksia voidaan seurata. On tietenkin myös mahdollista raportoida jokainen testattu näyte.

Vaihteluvälikaavio on samantyyppinen kuin kuvan 2.3 keskiarvokaavio. Kaavion rajat kuitenkin lasketaan eri tavalla, sillä vaihteluvälin tiheysjakauma ei ole keskiarvonsa suhteen symmetrinen (Oakland 2003). Rajat lasketaan edellä esitetyn vaihteluvälin keskiarvon  $\bar{R}$  avulla (Oakland 2003):

$$UAL = D'_{.001} \bar{R} \quad (2.8)$$

$$UWL = D'_{.025} \bar{R} \quad (2.9)$$

$$LWL = D'_{.975} \bar{R} \quad (2.10)$$

$$LAL = D'_{.999} \bar{R} \quad (11)$$

Kaavoissa esiintyvät  $\bar{R}$ :n kertoimet löytyvät monista tilastotieteen kirjoista sekä liitteestä 1. Kyseiset kertoimet riippuvat käytetystä näytekoosta. Itse kaavio rakennetaan vastaavasti kuin keskiarvon kanssa. Nyt keskiarvon tilalla vain käytetään  $\bar{R}$ :a, ja rajoina edellä esitettyjä.

### 2.2.3 First Pass Yield –seuranta

Yhtenä erittäin yksinkertaisena prosessin pystyvyyttä ilmaisevana tunnuslukuna voidaan käyttää First Pass Yield –lukua. FPY kertoo, kuinka monta prosenttia valmistetuista laitteista ei vikaannu testissä, eli kuinka suuri osa tuotantolinjan lopputuotteesta on spesifikaatioiden mukaista. FPY-luvun laskentaperusteet on syytä määritellä tarkasti, eli lasketaanko esim. testausjärjestelmän aiheuttamat viat testatun tuotteen vikaantumisiksi vai ei. Yhteiset laskentamenetelmät ovat välttämättömiä, jotta eri tuotteita ja tuotantolinjoja voidaan vertailla keskenään.

FPY-luku on luonteeltaan attribuuttidataa, eli se kertoo vikaantuneiden määrän suuremmassa joukossa. Näin ollen prosessin seuranta-kaavioiden rakentaminen eroaa variaabelidatan tapauksesta. Tässäkin tapauksessa prosessille lasketaan

kontrollirajat keskihajonnan avulla. Koska ollaan kiinnostuneita suhteellisista osuuksista attribuuttidatassa, käytetään p-tyypin kaavioita. P-tyypin kaaviolle keskihajonta lasketaan seuraavasti (Oakland 2003):

$$\sigma = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}, \quad (12)$$

jossa  $\bar{p}$  on keskiarvo seurattavasta osuudesta, eli esim. vikaantuneiden tai virheettömien keskiarvoinen osuus kaikista lopputuotteista.  $\bar{n}$  on keskimääräinen näytekoko. ABB:n laatutilastoinnissa FPY on laskettu (Väisälä 2006) käyttäen  $\bar{p}$  :n arvona FPY:n keskiarvoa esim. kahdeksan viikon ajalta. Toisaalta näytekoolle ei lasketa keskiarvoa, vaan näytekoko on esim. kaikki viikon aikana valmistetut tuotteet. Samassa yhteydessä kontrollirajojen laskukaavaksi on esitetty:

$$CL = \bar{p} \pm 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}. \quad (13)$$

Nämä siis vastaavat toimintarajoja, eli UAL ja LAL.

$$UAL = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

$$LAL = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

Näiden lisäksi määritellään vielä UWL ja LWL:

$$UWL = \bar{p} + 2 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (16)$$

$$LWL = \bar{p} - 2 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (17)$$

## 2.2.4 Onko prosessi kontrollissa?

Seurantakaavioiden avulla voidaan selvittää onko prosessi kontrollissa vai ei. Toisin sanoen, kattaako statistinen vaihtelu kaiken prosessissa olevan hajonnan. Täytyy pitää mielessä, että vaikka prosessi olisi kontrollissa, niin se ei välttämättä tuota haluttua lopputuotetta, eli lopputuote ei mahdu sille asetettuihin spesifikaatorajoihin.

Jotta prosessi olisi kontrollissa, on sen täytettävä seuraavat ehdot (Oakland 2003):

Yksikään arvo ei saa sijaita UAL:n tai LAL:n ulkopuolella

Varoitus- ja toimintarajojen välissä ei saa olla enempää kuin 1 arvo 40:stä

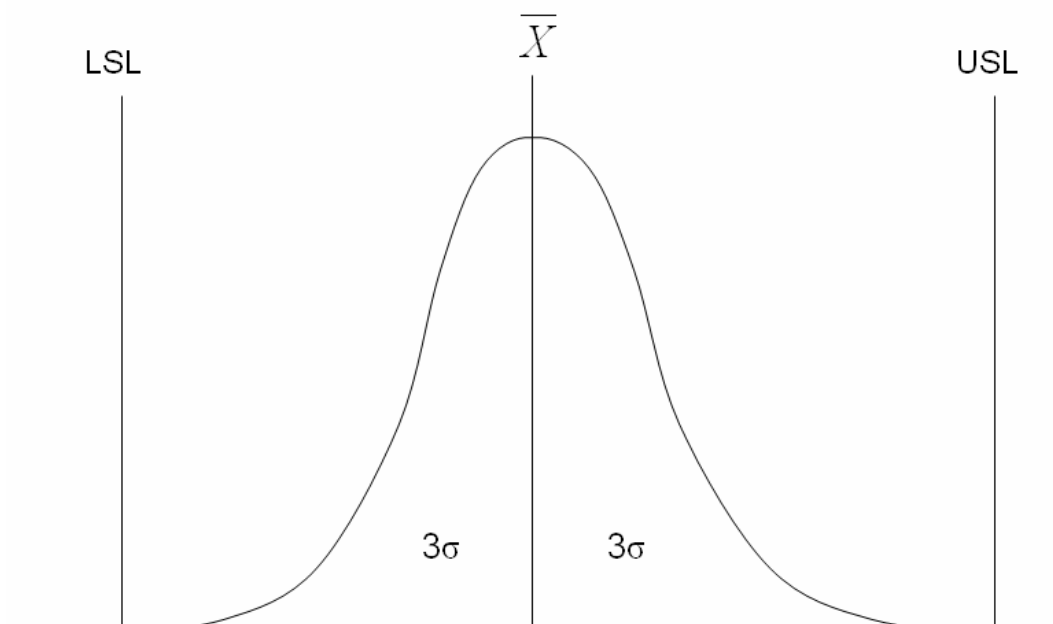
Samojen varoitus- ja toimintarajojen välissä ei saa olla kahta peräkkäistä arvoa

Viiden (5) peräkkäisen arvon kulku (run) tai trendi ei saa samalla lävistää UWL:aa tai LWL:aa

Keskiarvokaaviossa ei saa olla keskiarvon yläpuolella tai alapuolella kuutta (6) perättäistä arvoa

Keskiarvokaaviossa ei saa olla kuuden (6) arvon peräkkäistä nousua tai laskua

Kun huomataan prosessissa olevan muutakin, kuin statistista vaihtelua, pyritään nämä erityisyydet löytämään ja poistamaan. Jos halutaan varmistaa, että prosessista saadaan spesifikaatorajojen sisään mahtuvaa lopputuotetta, käytetään Cp- ja Cpk-lukuja. Näistä on kerrottu enemmän luvussa 2.2.1 Tilastollisia tunnuslukuja. Samaa asiaa voidaan tutkia myös graafisella tarkastelulla histogrammin ja spesifikaatorajojen avulla.



Kuva 2.4: Graafinen esitys prosessin pystyvyydestä.

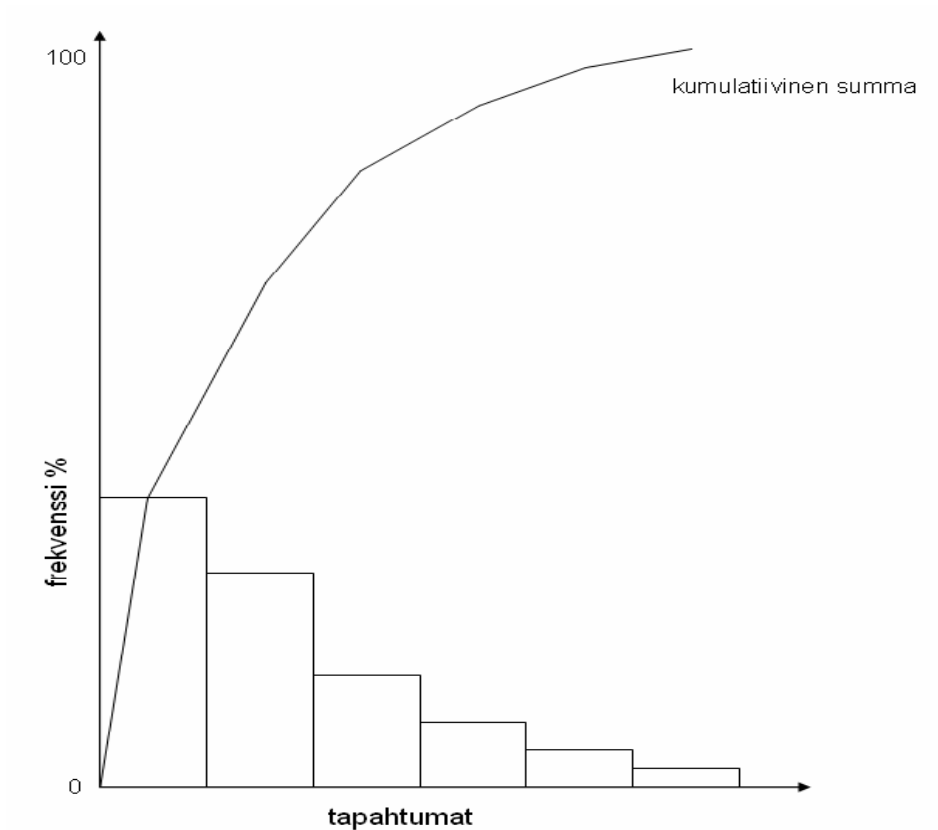
Kuvasta 2.4 huomataan, miten kuuden sigman levyinen hajonta mahtuu tässä esimerkkitapauksessa kokonaisuudessaan spesifikaatorajojen (LSL = Lower Specification Limit, USL = Upper Specification Limit) sisäpuolelle, joten käytännössä koko prosessista saatava tuotanto on validia. Jos frekvenssikäyrä leikkaisi jommankumman spesifikaatorajoista, niin tästä ylimenevä osuus tuotannosta menisi hukkaan, ja COPQ kasvaisi.

### **2.2.5 Pareto**

Pareto-analyysin avulla pyritään selvittämään kaikkein yleisin tai eniten kustannuksia tuottava erillisyys seuratussa prosessissa. Pareto-periaatteen mukaan monessa ilmiössä 80 % seurauksista johtuu 20 % syistä, eli pieni osa tekijöistä vastaa suurimmasta osasta seurauksista. Esimerkiksi 20 % vikaantuvista komponenteista kattaa 80 % koko systeemin vikaantumisista. Tästä tulee nimitys 80/20 –säntö (Oakland 2003). Pareto-analyysistä voi olla havainnollistavaa apua päätöksenteossa, ja niitä seuraavien toimenpiteiden suunnittelussa.

Jotta pareto-analyysi olisi mahdollista toteuttaa, tarvitaan tietoa seuratussa prosessista. Otetaan esimerkiksi aikaisemmin mainittu vikaantumisten seuranta. Tilastoidaan tuotannossa havaitut vikaantumiset ja niiden syyt. Tällaisia voi olla mm. komponenttivika, asennusvika ja testerivika. Vastaavasti komponenttiviaat voidaan lajitella haluttuihin luokkiin, jotta seurannasta saataisiin yksityiskohtaisempi. Samalla periaatteella asennusviat voidaan tilastoida asentajan suhteen. Valituista tiedoista rakennetaan pylväsdiagrammi, jossa tapahtumat on järjestetty niiden yleisyyden perusteella. Näiden lisäksi diagrammiin lasketaan tapahtumien kumulatiivinen frekvenssi.





Kuva 2.5: Esimerkki-pareto

Kuvaa 2.5 vastaavan diagrammin voi rakentaa kokonaiskustannuksista, jos jokaisen tapahtuman frekvenssi, ja yksittäisen tapahtuman aiheuttama kustannus ovat tiedossa.

### 2.2.6 Gage R&R

Gage R&R (Gage Repeatability and Reproducibility) on tilastollinen työkalu, jonka avulla pyritään mittaamaan mittaussysteemin mittausvirhe, eli mittaussysteemistä itsestään johtuva vaihtelu. Mittaussysteemin vaihtelu voi johtua esimerkiksi sen operaattorista eli käyttäjästä. Toisin sanoen eri operaattorit saattavat mitata saman asian erilaiseksi. Toisaalta sama operaattori voi mitata saman asian eri mittauseroilla erilaiseksi. Gage R&R:llä pyritään varmistumaan, että prosessin vaihtelu johtuu suurimmilta osin itse prosessista, tai sen osista, eikä prosessin mittaussysteemistä. On huomioitavaa, että mitattavan prosessin on oltava hallinnassa, eli prosessin vaihtelu koostuu tilastollisesta eli luonnollisesta vaihtelusta, eikä erityisyyistä. Tällöin Gage R&R antaa luotettavia tuloksia.

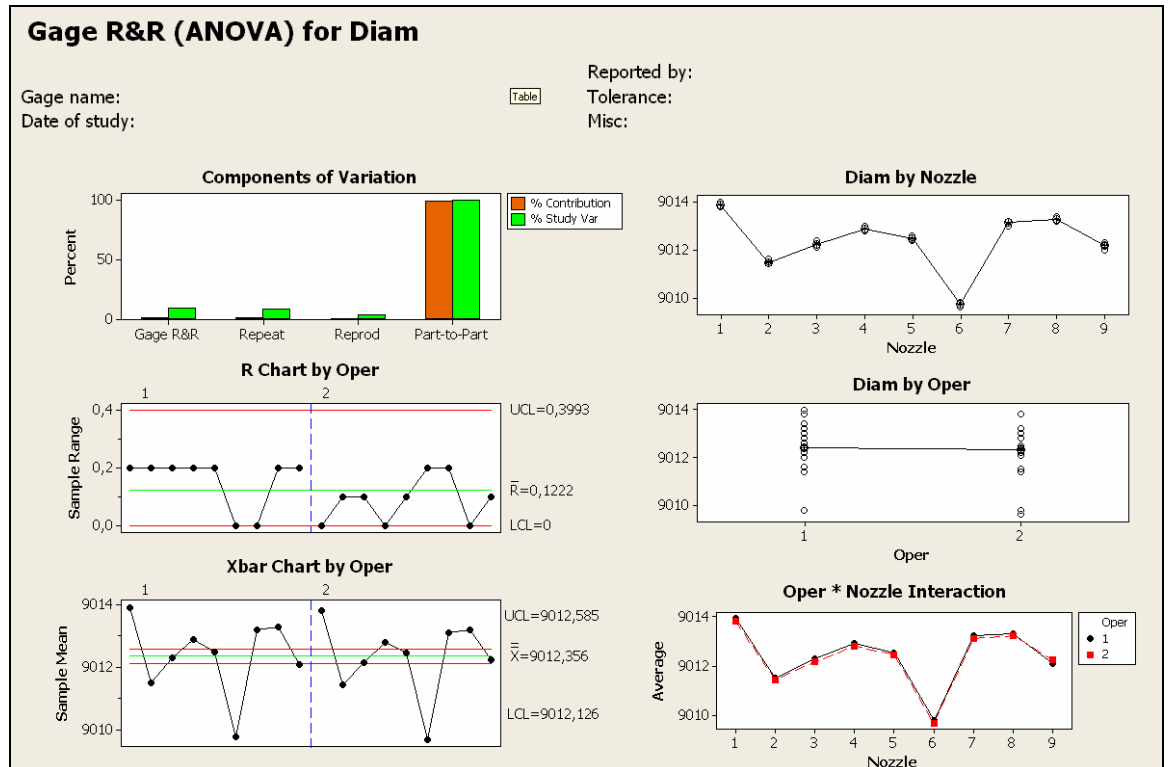
Gage R&R analysoi nimensä mukaisesti prosessin toistokykyä (repeatability) ja uusittavuutta (reproducibility). Toistokyvyllä ymmärretään mittausvälineistä

johtuvaa vaihtelua, eli kuinka paljon saman operaattorin samalla mittavälineellä tehdyt mittaukset eroavat samaa asiaa mitattaessa eri mittauskerroilla. Uusittavuudella pyritään löytämään erot eri operaattorien mittausten välillä.

Gage R&R tutkimuksen voi tehdä helposti esimerkiksi Minitab-ohjelmistolla ([www.minitab.com](http://www.minitab.com)). Quality Knowhow Karjalaisen ([www.qk-karjalainen.fi](http://www.qk-karjalainen.fi)) järjestämällä Minitab-kursseilla käydään läpi Gage R&R -harjoitus valmiilla datapohjalla, jonka tuloksia apuna käyttäen esitellään Gage R&R -työkaluja. Datapohjassa oli kerätty tiedot yhdeksän suuttimen halkaisijasta kahden eri operaattorin mittaamana. Jokainen operaattori mittasi suuttimen neljä kertaa.

Kuvan 2.6 diagrammeista nähdään, että prosessin vaihtelu tulee suurimmalta osin osien välisestä vaihtelusta ("Components of Variation"). Jos vaihtelua tulisi operaattoreista, näkyisi se diagrammissa "Oper\*Nozzle interaction". Nyt molempien operaattorien käyrät ovat lähestulkoon päällekkäin, jolloin eri operaattorien mittausten välillä ei ole juurikaan eroa. Näin ollen mittausprosessi on uusittavuudeltaan hyvä. Mittauskertojen välinen vaihtelu on laskettu diagrammissa "R Chart by Oper". Nyt keskimääräinen vaihtelu neljällä eri mittauksella pysyy annetun rajan alapuolella, joten mittausprosessilla pystytään hyvään toistokykyyn.

Diagrammi "Xbar Chart by Oper" osoittaisi prosessin olevan hallitsematon, sillä monet pisteet sijaitsevat kontrollirajojen ulkopuolella. Nyt kuitenkin otettu yhdeksän suuttimen näyte edustaa kaikkia mahdollisia suuttimia, jolloin suuri vaihtelu on toivottavaa. Tästä syystä, jotta mittausprosessi olisi käyttökelpoinen, täytyy monien mittausdatapisteen sijaita annettujen rajojen ulkopuolella. "Diam by Nozzle" -diagrammista nähdään, että yksittäisen suuttimen mittaustuloksissa ei ole juurikaan eroa eri mittauskertojen välillä. "Diam by Oper" ilmaisee käytännössä saman asian, kuin edellä mainittu "Oper\*Nozzle Interaction", eli onko eri operaattorien suorittamien mittausten välillä huomattavissa eroavaisuuksia.



Kuva 2.6: Gage R&R –tutkimus Minitabilla

## 2.3 Laadun seuranta ABB Oy Drivesissa

Tuotelaatua seurataan käytännössä kolmella tasolla:

Toimittajalaatu

Tuotantolaatu

Kenttälaatu

Toisaalta tämän työn puitteissa laadun voi myös jakaa seuraaviin osatekijöihin:

Valmistusprosessin laatu

Testauksen laatu

Suunnittelun laatu

Näitä osatekijöitä pyritään testaamaan tuotelaadun eri tasoilla. Jaottelu on erilainen ensimmäisessä osiossa esiteltyn suunnittelu-, tuotanto- ja asiakaslaatu -erotteluun, mutta käytännössä nämä kolme laadun tekijää sisältyvät yllä olevaan erittelyyn.

Laadun tarkistusta eli testausta suoritetaan monessa eri vaiheessa pitkin tuotteen valmistusprosessia. Valmistus-testaus-prosessin vuokaavio erityisesti piirikorttien osalta on nähtävissä kuvassa 2.7. Prosessissa kuljetaan kaaviota ylhäältä alaspäin, jos vikoja ei testauksessa löydy. Mikäli jossain testausvaiheessa kortti vikaantuu, siirretään kortti kuvan mukaisesti tarkastukseen ja korjaukseen, mistä kortti palautetaan takaisin tuotantoon tai piirikorttivalmistajalle.

### **2.3.1 Valmistus-testaus-prosessi**

Kuten kuvasta 2.7 nähdään piirikortin näkökulmasta taajuusmuuttajan valmistusprosessi voi sisältää jopa kahdeksan eri testausvaihetta. Eri testausvaiheissa testataan erilaisia asioita, joita ei muissa testeissä välttämättä tulisi esille. Näin pyritään mahdollisimman kattavaan testausprosessiin, joka toisi ilmi valmistusprosessin ongelmat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta laatu- ja kustannukset saataisiin pidettyä mahdollisimman alhaisina. Piirikorttitestaukseen voi kuulua seuraavia vaihteita:

Komponenttitestaus

Visuaalinen testaus

ICT eli IC-testaus (In-circuit Test)

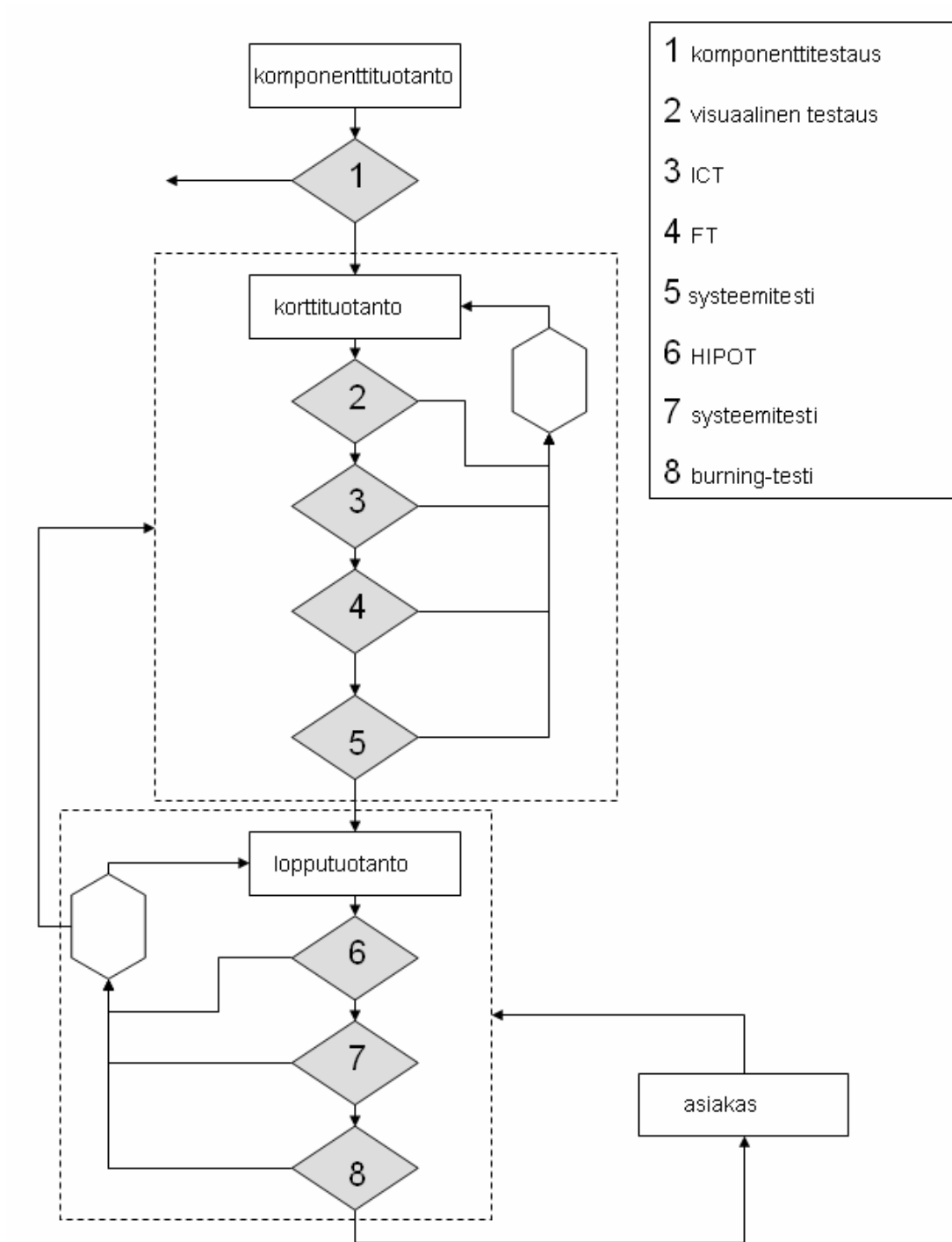
FT eli toiminnallinen testaus (Functional Test)

Systeemitesti piirikortille

HIPOT (High Potential Test) eli jännitekoestus

Systeemitesti taajuusmuuttajalle

Burn in –testi eli rasitusajotesti



Kuva 2.7: Valmistus-testaus-prosessi

### 2.3.1.1 Komponenttitestaus

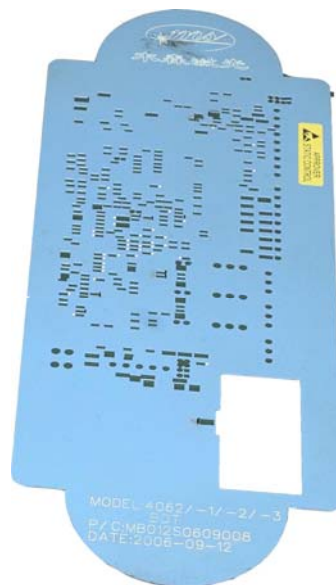
Piirikorttivalmistajalle komponentteja valmistavat ja toimittavat yritykset testaavat valmistamiensa tuotteiden laadun. Testauksessa mitataan täyttävätkö komponentit niille asetetut spesifikaatorajat, eli onko esim. vastuksen resistanssi määrättyjen

rajojen sisällä. Spesifikaatiot ylittävät komponentit hylätään eikä niitä toimiteta eteenpäin piirikorttivalmistajalle.

### 2.3.1.2 Visuaalinen testaus

Visuaalisen testauksen tarkoituksena on tarkistaa valmistetuilta piirikorteilta, että komponentit on ladottu oikein. Komponenttien orientaatio eli suunta voi olla väärinpäin kuten diodeissa ja elektrolyyttikondensaattoreissa, tai jokin komponentti saattaa puuttua kokonaan. Väärin päin oleva elektrolyyttikondensaattori saattaa myöhemmissä testausvaiheissa räjähtäessään aiheuttaa vaurioita piirikortille tai jopa testauslaitteistolle, mikä maksaa enemmän kuin alkuvaiheessa löydettyessä. Toisaalta mekaanisten komponenttien esim. liittimien väärä asettelu ei tule aina muissa testausvaiheissa esille. Piirikortti väärin kiinnitetyllä liittimellä saattaa siis joutua aina loppuasiakkaalle asti, jos visuaalista testiä ei ole suoritettu huolellisesti.

Visuaalinen testaus voidaan tehdä joko manuaalisesti tai automaattisesti. Automaattisesti (Automatic Optical Inspection, AOI) tehdessä tarkastuksessa käytetään tietokonetta, kun taas manuaalisessa testauksessa käytetään apuna esim. kuvan 2.8 mukaista maskia. Automaattisessa tarkastuksessa tietokone vertaa piirikortista otettua valokuvaa muistissaan olevaan referenssiin, eli kone suorittaa kuvan tunnistusta. Toiminnan tarkkuuden kannalta onkin tärkeää, että kuva on onnistunut, ja vertailua varten luodut algoritmit ja virherajat ovat tarkoin määriteltyjä (Talvitie 2006).



Kuva 2.8: Manuaalisen visuaalisen testauksen testimaski

Manuaalinen testaus tapahtuu vastaavasti asettamalla maski piirikortin päälle, minkä avulla voidaan varmistua komponenttien oikeasta sijoittelusta. Jos tässä vaiheessa piirikortista löydetään valmistusvirhe, niin kortissa olevat puutteet korjataan, ja kortti laitetaan eteenpäin testaukseen.

### **2.3.1.3 IC-testi (In-circuit Test)**

IC-testin avulla testataan piirikortille ladotut yksittäiset komponentit. Testi soveltuu passiivikomponenttien sekä yksinkertaisten puolijohteiden testaamiseen. Testattava kortti asetetaan neulapedin päälle, minkä avulla laitteistolla mitataan mittauspisteistä sähköisiä suureita, kuten vastusten ohmimääriä. IC-testissä vianhaku on helppoa verrattuna toiminnalliseen testeriin, sillä yhdellä mittauksella testataan tyypillisesti yhtä komponenttia. Yksittäisten komponenttien viat eivät välttämättä tule myöhemmissä vaiheissa esille, vaan häviävät toleranssirajoihin. IC-testissä on myös mahdollisuus analysoida juotosten laatua, joten se soveltuu valmistusprosessin seuraamiseen laajemmaltikin. IC-testerissä on yleensä varsin paljon mittauspisteitä eli mittaneuloja, mikä näkyy hyvin kuvan 2.9 testerissä oleviin liittimiin tulevista suuresta määrästä johtimia, joista jokainen on yhdistetty yksittäiseen mittauspisteeseen. Näistä liittimistä signaalit kulkevat laiteräkkiin, jonka laitteisto analysoi tulokset.

IC-testerin kehityksestä vastaa piirikorttivalmistaja, sillä on heidän intressiensä mukaista saada tuotannostaan oikein koottuja piirikortteja, ja toisaalta seurata ja kehittää omaa valmistusprosessiansa ladonnan oikeellisuuden ja juotosten laadun kautta. IC-testerin valmistus ei myöskään vaadi kortin toiminnallisuuden tuntemusta, vaan ainoastaan kortin layoutin, joten sen valmistus onnistuu piirikorttivalmistajalta. Mikäli piirikortista löytyy ongelmia, kortti pyritään korjaamaan kuvan 2.7 vuokaavion mukaisesti.



Kuva 2.9: IC-testeri

#### 2.3.1.4 Toiminnallinen testi (Functional Test)

Funktionaalisen eli toiminnallisen testin avulla testataan kortin toimintaa. Toimintaa testataan pienempien toiminnallisten osakokonaisuuksien kautta. Laitteisto vastaa hyvin paljon IC-testiä, mutta mittauspisteitä on yleensä vähemmän. Toiminnallisessa testissä myös mitattavat suureet poikkeavat IC-testistä, kun nämä voivat olla mm. voltteja, ampeereja tai prosessorikäskyjä ja dataliikennettä, mutta esim. hilaohjauksen taajuutta tai muistiin kirjoittamista myös testataan. Funktionaalisen testin testausvaiheet riippuvatkin testattavan kortin käyttötarkoituksesta ja toiminnoista, mikä erottaa sen selvimmin IC-testeristä.

Toiminnallisen testerin suunnittelu vaatii piirikortin toiminnan syvällistä tuntemusta. Käytännössä toiminnallinen testeri tehdään alihankintana kolmannella osapuolella, jolle piirikortin suunnittelija spesifioi ja opastaa halutun laitteiston rakentamisen. Näin ollen toiminnallisen testerin testausrajat eli mittapisteiden hyväksymisrajat mitatuille arvoille annetaan ABB:n toimesta. Koska piirikorttivalmistajalla ei ole valmistettavan tuotteen tuntemusta, testausrajojen ylläpito on ABB Drivesin vastuulla. Jos testausrajoihin ei päästä, kortti menee tarkastukseen, jossa vika pyritään löytämään ja korjaamaan.





Kuva 2.10: Funktionaalisen testerin testifixture

Kuvassa 2.10 on esimerkkikuva toiminnallisen testerin testifixturesta. Kyseisellä testerillä testataan RMIO-kortteja, joka on ABB:n ACS800-tuoteperheessä käytetty ohjauskortti. Kuvassa näkyy avattavan kannen alla oleva kellertävä levy neulapeteineen, jonka päälle testattava piirikortti asetetaan. Kortti painetaan paineilmasylinterien ja kuvassa näkyvien mustien sauvojen avulla tiukasti paikoilleen, jotta mittaneulat asettuvat tiukasti haluttuihin kohtiin. Testerifixturen takana on joukko liittimiä, joiden avulla hoidetaan kommunikaatio kuvan 2.10 mukaisen testifixturen ja kuvan 2.11 laitteiston välillä. Laiteräkin sisältö riippuu testeristä, mutta tässä tapauksessa kuvasta on nähtävissä mm. PC, virta- ja jännitelähteitä, mittausyksikkö sekä oskilloskooppi. Oskilloskoopin käyttöä pyritään yleensä välttämään, sillä sen piirtämiä kuvaajia on hankala tulkita automaattisesti ja luotettavasti. Jokaisessa räkissä on myös releitä, joilla ohjataan testerin toimintaa ja valitaan halutut mittasignaalit oikeassa järjestyksessä.

Tämän diplomityön tarkoituksena on kehittää toiminnallisten testerien mittausdatan käyttöä. Laiteräkissä oleva PC kerää ja tallentaa korttikohtaisen mittausdatan, jota diplomityössä esitellyillä menetelmillä voidaan myöhemmin prosessinparannusmielessä analysoida.



Kuva 2.11: Funktionaalisen testerin laiteräkki

### 2.3.1.5 Piirikortin systeemitesti

Piirikortin systeemitestissä sen toiminta testataan käytössä. Nyt testattavana on siis piirikorttien välinen yhteistyö, kun toiminnallisessa testissä piirikortteja testattiin erillään. Systeemitestausrakenteisto vaatii sisälleen komponentteja, jotka lopullisessakin tuotteessa toimisivat yhteistyössä testattavan piirikortin kanssa. Monesti kortteja testataankin testipenkissä, joka on kokonainen taajuusmuuttaja ilman testattavaa piirikorttia. Tällaisella menettelyllä varmistetaan korttien yhteistyön toimiminen käytännön tilanteissa.

### 2.3.1.6 HIPOT-testi (High Potential Test)

HIPOT-testissä testataan laitteiston sähköinen eristyskyky. Tämä tehdään eristysvastus- ja jännitekokeella. Taajuusmuuttajan liittimet oikosuljetaan samaan potentiaaliin, minkä jälkeen mitataan eristysvastus 1kV:n DC-jännitteellä liittimistä laitteen runkoon. Jännitekoestus toteutetaan 2,7kV:n 50Hz:n jännitteellä kolmen sekunnin ajan, minkä mahdollisesti aiheuttamia vuotovirtoja runkoon pyritään

HIPOT-testillä mittaamaan. Jännitekoestuksen jälkeen eristysvastustesti uusitaan, jotta mahdollisesti syntyneet vauriot havaittaisiin. HIPOT-testi on yleensä ensimmäinen testi piirikortille, mikä toteutetaan piirikorttivalmistajan tilojen ulkopuolella.

### **2.3.1.7 Taajuusmuuttajan systeemitesti**

Systeemitestauksessa laitteisto tarkastaa aluksi, että testattava laite on oikeaa tyyppiä. Myös ohjelmistoversion oikeellisuus tarkistetaan testauksen alkuvaiheessa. Seuraavaksi DC-jännitteen avulla nostetaan laitteen välipiirin jännitettä. Tällä testillä varmistetaan, että laitteessa ei ole suoria oikosulkuja, ja komponentit ovat suurin piirtein oikein asennettuja. Seuraavassa vaiheessa taajuusmuuttaja kytketään sähköverkkoon ja ajetaan laitteen toimintaa testaavia rutiineja. Tämän lisäksi laitteelle tehdään ylivirta ja –jännite kokeet sekä maasulkutestaus. Jarrukatkojalla varustetun laitteen katkojan toiminta varmistetaan nostamalla välipiirin jännite niin korkealle, että katkojan tulisi kytkeytyä päälle.

### **2.3.1.8 Burn in -testi**

Testauksen viimeisessä vaiheessa taajuusmuuttajaa rasitetaan nimelliskuormalla. Testauksella pyritään ns. vanhennukseen, eli yritetään löytää mahdollisia asennus- ja komponenttivikoja ajamalla laitetta kovalla rasituksella.

## **2.3.2 Toimittajalaatu**

Toimittajalaadun seurannalla pyritään kontrolloimaan alihankkijoiden toimittamien tuotteiden laatua. Piirikorttivalmistajia varten on rakennettu tuotannon ja tuotteen testausta varten korttityyppikohtaisia testereitä. Piirikorttivalmistajien käyttämät testaustyyppit, eli visuaalinen, IC-, toiminnallinen ja systeemitestaus on esitelty tässä työssä jo aiemmin. Näillä testeillä pyritään varmistamaan, että tuotetut kortit ovat laadukkaita, eli ne täyttävät piirikorttia varten asetetut spesifikaatiot. Varsinkin IC- ja toiminnallisen testerin avulla voidaan myös varmistua tuotantolinjan toimivuudesta. Toimittajalaatu on ensimmäinen osa valmistusprosessin laatua. Jos toimittajalaatu on huonolla tasolla, ei sitä myöhemminkään voi juurikaan parantaa.

Laatutavoitteet ja siihen liittyvä raportointi tehdään ja määritellään ABB Drivesin taholta. Testauslaitteisto kehitetään yhteistyössä testerivalmistajan kanssa ABB:n spesifikaatioiden pohjalta. Piirikorttiterin suunnitteluvaiheen yhteydessä täytyy sopia, missä muodossa eli formaatissa testidata tallennetaan, ja kuinka tallennettu data saadaan ABB Drivesin käyttöön. Testerivalmistaja rakentaa halutun testauslaitteiston, joka sijoitetaan toimittajan eli piirikorttivalmistajan tiloihin.

Piirikorttituotannosta toimitetaan FPY-raportit ABB:lle. Laatusuranta varten myös toiminnallisen testerin mittausdata otetaan talteen ja analysoidaan. Analysointi tapahtuu ABB Drivesissa, sillä täytyy muistaa, että valmistettava tuote ei ole piirikorttivalmistajalle tuttu, vaan osaaminen ja tieto tuotteesta on ABB:lla. Näin ollen tuotantoprosessin ja sitä kautta valmistettavan tuotteen laadun parannustyö on tehtaan, eli ABB Drivesin harteilla. Mittausdatan perusteella voidaan analysoida prosessin laatua laskemalla tilastollisia tunnuslukuja, joiden pohjalta voidaan suorittaa erilaisia kyvykkyysanalyyskejä. Mittausdatan perusteella voidaan myös pureutua tuotteen suunnittelusta tai valmistusprosessista johtuviin ongelmiin, mitä kautta laatua voidaan parantaa. Toisaalta toiminnallisen testerin mittausdatan ja Gage R&R:n avulla voidaan mitata myös laadun kolmatta osatekijää eli testauksen laatua. Yksi osa toimivaa testausta on pyrkiä pieneen vaihteluun testauslaitteistossa. Vaihtelun suuruuden määrittäminen onnistuu helposti Gage R&R –analyysillä.

Pilottituotannon käynnistyessä testidatan avulla pyritään löytämään ja selvittämään valmistusprosessin virheellisyyksiä. Testidatan avulla voidaan löytää myös dokumentaatiovirheiden aiheuttamia poikkeamia prosessista. Funktionaalisen testerin data-analyysin avulla pystytään havaitsemaan vääristä komponenteista tms. johtuvia valmistusvirheitä, jotka eivät aiemmissa testausvaiheissa ole tulleet jostain syystä esille. Kun tehokas data-analyysi on mahdollista, voidaan tarvittaviin korjaustoimenpiteisiin ryhtyä viipymättä.

Tuotannon ramp-up –vaiheessa testirajojen analysointiin ja säätämiseen käytetään tilastollisia menetelmiä toiminnallisen testerin mittausdataa hyväksikäyttäen. Testerille voidaan myös tässä vaiheessa tehdä kyvykkyysanalyyskejä, jolloin mittaus- ja testaussysteemin vaihtelu saadaan määritettyä ja sen lähteet identifioitua. Piirikorttivalmistuksen alettua, ja tuotteen siirryttyä kokopäiväiseen käyttöön, testidatan avulla valvotaan valmistusprosessia, sekä pyritään parantamaan sitä. Jos prosessissa esiintyy häiriöitä, ne pyritään korjaamaan. Korjausten aikaiseen debuggaukseen testidatatiekanta antaa myös hyvän työvälineen, sillä dataa voidaan verrata aikaisempaan tilanteeseen, jolloin tuotantoprosessi oli vielä kunnossa. Toisaalta korjaustoimenpiteiden jälkeisen tuotannon kyvykkyys on myös yksinkertaista testata soveltuvien analyysien avulla, sekä todeta tehtyjen muutosten tehokkuus. Testitietokannan avulla voidaan myös jälkeenpäin katsastaa tietyn ajanjakson piirikorttituotantoprosessin laatu, jos kenttävikaseurannassa huomataan poikkeuksellisen korkea vikaantumistasoa tietyssä piirikortissa. Näin voidaan yrittää kartoittaa vian syytä ja ongelman laajuutta.

Mitä aikaisemmassa vaiheessa laatuongelmiin päästään puuttumaan, sitä todennäköisemmin loppuasiakkaan kokema laatu on hyvällä tasolla. Toisaalta jo piirikorttien tuotantovaiheessa vaikutetaan laadun kolmeen osatekijään eli

suunnittelu-, testaus- ja valmistuslaatuun. Piirikorttitestauksessa ja testausdatan analysointivaiheessa saatetaan jo löytää piirikorteista tyyppivikoja, ja näin voidaan estää viallisten erien pääsy lopputuotantoon. Tästäkin syystä toimittajalaadun seuraaminen ja varmistus on selvästikin erittäin tärkeässä asemassa laadunparannusprosessissa.

### **2.3.3 Tuotantolaatu**

Jotta varmistuttaisiin toimitettavan tuotteen laadukkuudesta, jokainen tehtaalta lähtevä tuote on testattava. Testaamisella pyritään löytämään mahdolliset komponenttiviadat sekä valmistusvirheet. Tuotantolaadun tärkeimpänä mittarina käytetään FPY:ä, eli kuinka monta prosenttia tuotannosta on validia. FPY-luvun laskentaan sisältyy myös testausjärjestelmästä johtuvat vikaantumiset, eli samalla työkalulla voidaan seurata valmistuslaatua, mutta myös testausjärjestelmän laatua.

Tuotantoprosessin tilaa havainnollistetaan FPY-luvun avulla luoduilla kaavioilla, sekä vikalukuituksen perusteella rakennetuilla Pareto-kuvaajilla. Näiden ja tuotannossa vikaantuneiden piirikorttien tutkimisen avulla pyritään löytämään vikaantumisiin johtaneet syyt, ja ryhdytään muutoksiin tuotantoprosessissa tai tuotteessa, jotta päästäisiin parantamaan laatua toimitettavassa tuotteessa. Hyvällä tasolla oleva tuotantolaatu näkyy myös parantuneena kenttäläatuna. Näin ollen parannukset tuotantolaadussa parantavat myös kenttäläatua, mikä tuo yritykselle säästöjä laatuksennustusten pienenemisenä.

### **2.3.4 Kenttäläatu**

Kenttäläatuseuranta on käytännössä vikaseurantaa, eli kuinka paljon ja miten tehtaalta toimitetut tuotteet vikaantuvat. Seuranta mittaa siis periaatteessa tuotteen luotettavuutta käytössä. Vikaantumiseksi lasketaan toisaalta myös kuljetusvauriot, sekä vaillinaiset ja väärät toimitukset, eli kaikki asiakkaan tyytyväisyyttä vähentävät epäideaalisuudet tuotteessa.

Kenttäläatua seurataan kuukausittaisten raporttien avulla. Raportit luodaan ilmitulleiden vikaantumisten ja laitteiden valmistusmäärien perusteella. Vikatapaukset luokitellaan ennalta määrättyihin luokkiin vikaantumisen aiheuttaneen juurisyyn mukaan. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että tietojärjestelmän avulla tarkastetaan takuutoimituksen sisältämät varaosakomponentit, ja näiden ja asiakkaan antaman vikakuvauksen perusteella päätellään jokaisen tapauksen vikaluokka. Vikaantuneet tuotteet ja komponentit lähetetään maailmalta takaisin tehtaalle, jossa osa näistä asiakaspalautuksista tutkitaan. Kenttäläatuseurannalla ja asiakaspalautusten analysoinnilla saatetaan löytää myös systemaattisia

valmistusprosessin aiheuttamia vikoja. Tällaisissa tapauksissa palaute pyritään kuljettamaan kentältä aina piirikorttivalmistajalle asti. Tämä takaisinkytkentä on esitetty myös kuvassa 2.7.

Kenttäläaturaportissa tulokset perustuvat vikaprosenttien analysointiin tuotteen valmistuskuukauden mukaan. Jokaisen valmistuskuukauden vikatapaukset on myös jaettu vikaluokkiin edellä mainitun prosessin mukaan. Näiden tietojen perusteella data voidaan esittää histogrammeina sekä erilaisina graafeina. Vikatyypit voidaan esittää esim. Pareto-muodossa, jonka perusteella voidaan puuttua kaikkein yleisimpiin vikatyyppeihin. Toisaalta tuotteen kenttäläatukehitystä voidaan helposti arvioida verrattaessa nykytilannetta historiaan, esim. vuoden takaiseen tilanteeseen. Tuotteeseen tehtyjen muutosten vaikutus tulee myös esille, kun voidaan verrata laatua ennen ja jälkeen revisiomuutosten. Kenttäläaturaportti toimii työkaluna, jonka perusteella tehdään päätöksiä tuotteen laadun parantamiseksi.

Kenttäläatuseurannan ongelma on, että sen avulla tehdyt toimenpiteet ovat reaktiivisia. Näin ollen sen avulla esiin tulevat ongelmat ovat kulkeneet tuotteen mukana jo asiakkaalle. Kuten mainittua, laatu- ja kustannukset ovat sitä suuremmat yksittäistä tapausta kohden, mitä myöhemmin laatuongelma havaitaan. Myös laitteen sisältämien osien, kuten piirikorttien valmistus- ja suunnitteluvirheiden ilmi tulo vasta tässä vaiheessa on varsin haitallista liiketoiminnalle. Toisaalta suuri osa suunnitteluvirheistä tulee esille vasta pidemmän käyttöjakson jälkeen, mihin burn in-testauksella tehty vanhennus ei riitä.

## 3 LAATUSEURANNAN HAASTEET

### 3.1 Mittausdataan liittyvät ongelmat

Tällä hetkellä piirikorttien valmistusprosessista tehtävää analyysia vaikeuttaa kolmesta tekijästä johtuvat seikat:

Datan saatavuudessa on ongelmia

Dataformaateissa on epäideaalisuuksia

Mittausdatan analyysityökaluissa on puutteita

#### 3.1.1 Datan saatavuus

Tällä hetkellä mittausdatan saamisessa piirikorttivalmistajilta on ongelmia. Joko dataa ei saada ollenkaan, tai dataa saadaan valmistajalta verrattain harvoin. Datan siirto on toteutettu esim. sähköpostilla, mikä johtaa ennen pitkää datan häviämiseen ns. ”bittiavaruuteen”, kun datan siirto sähköpostista mittausdatalle tarkoitettuun kansioon verkkolevypalvelimelle syystä tai toisesta unohtuu. Näin ollen valmistusprosessin seuranta on hankala toteuttaa. Ongelmia tuo myös se, kun mittausdataa lähetetään esim. viikoittain, niin saatavilla ei ole työkaluja, joilla mittausdatan saisi yhdistettyä automaattisesti suuremmaksi kokonaisuudeksi. Tällä hetkellä mittausdata on siis erillisinä tiedostoina verrattain lyhyiltä ajanjaksoilta kerrallaan. Dataa ei myöskään tuoteta systemaattisesti, eli sen sisältö ja laatu elää, mikä johtaa pidemmän aikavälin analyyseissä ongelmiin. Jos pidemmän ajanjakson kattavaa prosessianalyysiä olisi tarve tehdä, joutuisi halutun ajanjakson mittausdatatiedostot yhdistämään manuaalisesti isommaksi kokonaisuudeksi, jolle halutut analyysit toteutettaisiin. Tämä tarkoittaa käytännössä lukuisten pienempien Excel-tiedostojen yhdistämistä kopioi-liitä –menetelmällä suuremmaksi tiedostoksi.

Suurena ongelmana on myös datan toimituksen viive, eli mahdollisiin prosessiongelmiin ei päästä puuttumaan heti, vaan vasta ajan kuluessa. Tämä johtaa mahdollisesti virheellisten piirikorttien toimittamiseen tehtaalle. Toisaalta ilman reaaliaikaista mittausdatan keräystä ja seurantamahdollisuutta piirikorttivalmistajilla on mahdollisuus jopa kaunistella prosessin sen hetkistä tilaa todellisuuteen verrattuna. Tällä tarkoitetaan mahdollisuutta jättää raportoimatta huonoja piirikorttieriä, jotta prosessin laatu näyttäisi asiakkaasta eli ABB Drivesista paremmalta.

### 3.1.2 Datan muoto

Datan saatavuus ei ole ainoa valmistusprosessin seuranta hankaloittava tekijä. Piirikorttivalmistajien lähettämien mittausdataraporttien muotoa ei ole spesifioitu tarkasti, vaan jokaisessa projektissa datamuoto on mitä todennäköisimmin erilainen. Näin ollen jokaista piirikorttia varten tarvitsee tehdä oma prosessin analysointityökalu. Datamuodon spesifioinnin puuttumisen takia kerättävästä mittausdatasta saattaa myös puuttua prosessin analysoinnin kannalta käyttökelpoista tietoa.

Useasti mittausdatan analysointi suoritetaan Excelissä, joka luo omat rajoitteensa datan keruulle. Excel rajoittaa rivien määrän 65536:een ja sarakkeet on rajoitettu 256:een. Näin ollen nämäkin rajoitukset on syytä ottaa huomioon mittausdatan muodon suunnittelussa, jotta tuotteen elinkaaren myöhäisemmässä vaiheessa ei tule yllätyksiä tilan riittämättömyyden suhteen.

### 3.1.3 Mittausdatan analysointityökalut

Kun eri piirikorttivalmistajien mittausdatatiedostot eivät ole samassa muodossa, tarvitaan jokaiselle piirikortille omat analysointityökalut. Tämä johtaa siihen, että valmistusprosessin analysointiin käytetyt työkalutkaan eivät ole piirikorttityyppien välillä yhteneväisiä. Tästä syystä eri piirikorttien valmistusprosesseja on erittäin vaikeaa, ellei mahdotonta vertailla keskenään. Myöskään luotettavaa eri piirikorttityyppien välistä laatuvertailua ei pystytä tekemään.

Yksittäisenkin piirikortin valmistusprosessin analysointi voi olla hankalaa. Kun analysointityökaluja ei ole spesifioitu, on mahdollista, että mittausdatasta ei analysoida relevantteja asioita, tai asioita mitataan väärin. Valmiiden analysointityökalujen puuttuessa työkaluja rakennellaan vajavaisin tiedoin ja mitä todennäköisimmin kiireessä, jolloin lopputuloksena saatavat mittausanalyysit saattavat olla epärelevantteja tai epäluotettavia. Tehdyt työkalut ovat, kuten mainittua Exceliin tehtyjä makroja ja vastaavia, jolloin virheelliset laskukaavat ovat mahdollisia.

Joissain tapauksissa piirikorttivalmistaja tuottaa tahollaan laatuanalyysiraportteja, jotka sitten toimitetaan ABB Drivesiin. Tällaisten raporttien ongelmana on, että raporteissa ei välttämättä ole mitattu ja analysoitu haluttuja tietoja. Myöskään data, jonka perusteella raportti on laadittu ei välttämättä ole sitä, mitä on toivottu. Raporttien löytyminen niitä tarvittaessa ei myöskään ole varmaa, kun spesifioitua prosessia niiden käsittelyyn ja tallennukseen ei ole. Tämä tuli esille pohjamateriaalia kerätessä, kun tällaisesta valmiista raportista yritettiin löytää esimerkkikappale, mutta kukaan ei tuntunut olevan tietoinen, missä nämä raportit sijaitsevat.

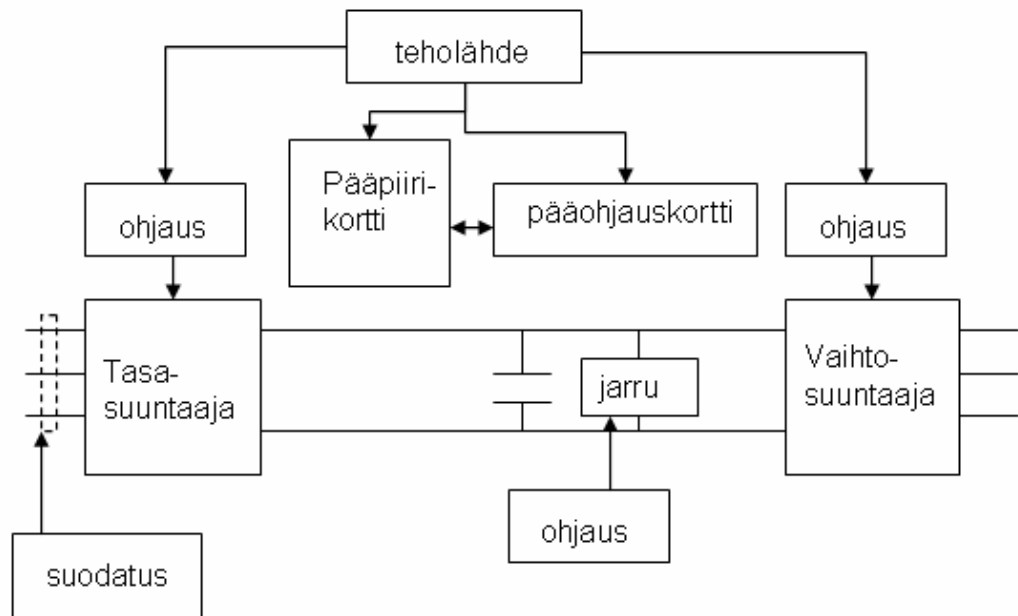


Tällaisessa tilanteessa hyvänkin raportin hyöty on melko vähäinen, jos analyysiä ei ole saatavilla, kun sitä tarvitsisi.

### **3.2 Piirikorttien erilaisuus ja moninaisuus**

ABB Drives valmistaa useita erilaisia taajuusmuuttajia, jotka jakautuvat eri tuoteperheisiin. Tuotteiden rakenne vaihtelee suuresti myös tuoteperheiden sisällä, eli jopa saman tuoteperheen taajuusmuuttajat käyttävät erilaisia piirikortteja. Tällainen tilanne vaatii monien erilaisten piirikorttien valmistamista eli alihankintaa, mikä taas vaikeuttaa piirikorttien valmistusprosessien tukemista ja seuranta, kun tarvittavia piirikortteja on niin paljon.

Esimerkkinä tilanteesta voidaan ottaa ACS800-tuoteperhe. Pienimmissä tuoteperheen laitteissa suuri osa toiminnoista on integroitu pääpiirikortille, kun taas suuremmissa laitteissa käytetään paljon erillisiä piirikortteja, jotka hoitavat esim. tasa- tai vaihtosuuntaajan ohjausta. Suuressa osassa piirikortteja on kaiken lisäksi eri malliversiot eri kokoluokissa, joten tuotannossa olevien piirikorttien määrä on erittäin suuri. Erilaiset piirikortit saattavat tarvita myös erilaisia testausmenetelmiä, joten jos piirikorttien valmistusprosessia halutaan seurata ja sitä kautta parantaa, tehokkaaseen työkaluun on selvästi tarvetta. Toisilla piirikorteilla, kuten pääohjauskortilla on erittäin paljon toiminnallisuutta mm. prosessorien ja muistien muodossa, kun taas esim. suodatuskortilla ei ole itsessään mitään älyä, vaan kortti koostuu lähinnä suodatinkondensaattoreista. Kuten arvata saattaa, näiden korttien testaus sisältää varsin erilaisia toiminnallisuuksia, joten niiden laadun vertailu keskenään ilman spesifioituja menetelmiä on hyvin hankalaa.



Kuva 3.1: Yksinkertaistettu esimerkki taajuusmuuttajan lohkokaaviosta ja piirikorteista

Kuvasta 3.1 voi saada käsityksen tarvittavien piirikorttien määrästä. Kuva on yksinkertaistettu, ja toimintojen kuin myös tarvittavien piirikorttien määrä on huomattavasti tätä suurempi. Teholähteeltä ja pääpiiri- sekä -ohjauskortiltakaan ei ole piirroksen luettavuuden vuoksi piirretty yhdistäviä linjoja jokaiseen lohkoon ja korttiin. ACS800-tuoteperheen pienimmissä tuotteissa kuvan 3.1 kaikki osa-alueet pääohjauskorttia ja verkkupuolen suodatusta lukuun ottamatta on integroitu pääpiirikortille. Toista ääripäätä ACS800-tuoteperheessä edustaa suuret monesta toiminnallisesta moduulista rakennetut Multidrive-laitteet, joissa on erilliset syöttö- ja invertteriyksiköt. Näissä laitteissa erilaisten piirikorttien määrä voi kasvaa reilusti yli kymmeneen. ABB Drivesin uusi tuote ACSM1 toisaalta edustaa ajattelumallia, jossa toiminnot on integroitu muutamalle piirikortille. Kyseinen taajuusmuuttaja koostuu ohjaus-, teho- sekä muistiyksiköstä, johon laitteen käyttämä ohjelmisto on tallennettu. Tällaisella ratkaisulla on pyritty mm. helppoon huollettavuuteen, kun viallinen yksikkö on helposti korvattavissa uudella.

Yleistykseenä voidaan sanoa, että mitä suurempi ja tehokkaampi taajuusmuuttaja, sitä enemmän siinä on erillisiä piirikortteja. Tämä johtuu ensinnäkin kustannuksista, eli pienissä laitteissa on kustannustehokasta integroida toimintoja yhdelle piirikortille. Näin saadaan laitteen fyysistä kokoa myös pienemmäksi, mikä tehokkaiden laitteiden kohdalla ei ole niinkään suunnittelukriteeri mm. niiden vaatiman suuremman jäähdytystehon vuoksi. Integroimisella voidaan myös ajatella helpottavan laitteen

huoltoa, kuten edellä ACSM1:n kohdalla mainittiin. Edullisten taajuusmuuttajien kohdalla ei kannata korjata vikaantunutta laitetta varaosilla, koska kokonaiskustannuksista työn hinta veisi suuren osan. Tällöin toimintojen integrointi on hyvinkin kannattavaa. Tehokkaissa ja arvokkaissa laitteissa vikaantuneen yksilön korjaaminen on kannattavaa, jolloin integroimista kannattaa välttää.

## 4 TESTAUSAINEISTON KÄSITTELY

### 4.1 Datan saatavuuden parantaminen

Jotta piirikorttien valmistusprosessien tehokas analysointi olisi mahdollista, testauslaitteistosta saatava mittaustulodata olisi saatava käyttöön mahdollisimman reaaliaikaisesti. Tällä hetkellä piirikorttivalmistajat eivät ole sitoutuneita lähettämään aineistoa systemaattisesti ja säännöllisesti. Aineiston siirtäminen tapahtuu myös lähinnä sähköpostin välityksellä, joka yhdistettynä mainittuun sitoutumattomuuteen on kenties kaikkein huonoin vaihtoehto:

Dataa saadaan harvakseltaan

Saatava data ei välttämättä sisällä kaikkia mittaustuloksia

Data ei ole käytössä, kun sitä tarvittaisiin

Sähköpostin käyttö siirtotienä ei ole kovinkaan tietoturvallista

Puutteellinen ja myöhässä saatava testausdata ei ainakaan edesauta laadun seurantaa, valmistusprosessin kehittämistä, ja sitä kautta laadun parantamista. Toisaalta salaamattomien viestien lähetys IP-verkossa ei ole mielestäni paras tapa hoitaa kyseisen datan siirtämistä. Nykyään tietoturva-asioihin kiinnitetään muutenkin kasvavassa määrin huomiota, joten tämäkin osa-alue kaipaisi parannusta.

Ratkaisu kaikkiin mainittuihin ongelmiin, eli datan reaaliaikaiseen saamiseen, ja sitä kautta datan eheyteen, sekä tietoturvallisempaan siirtotiehen löytyy VPN-yhteyden käyttämisestä. VPN-yhteyden avulla piirikorttivalmistajan tiloissa olevalta testeri-PC:ltä linkitettäisiin testausaineisto Drivesin tiloissa olevalle serverille.

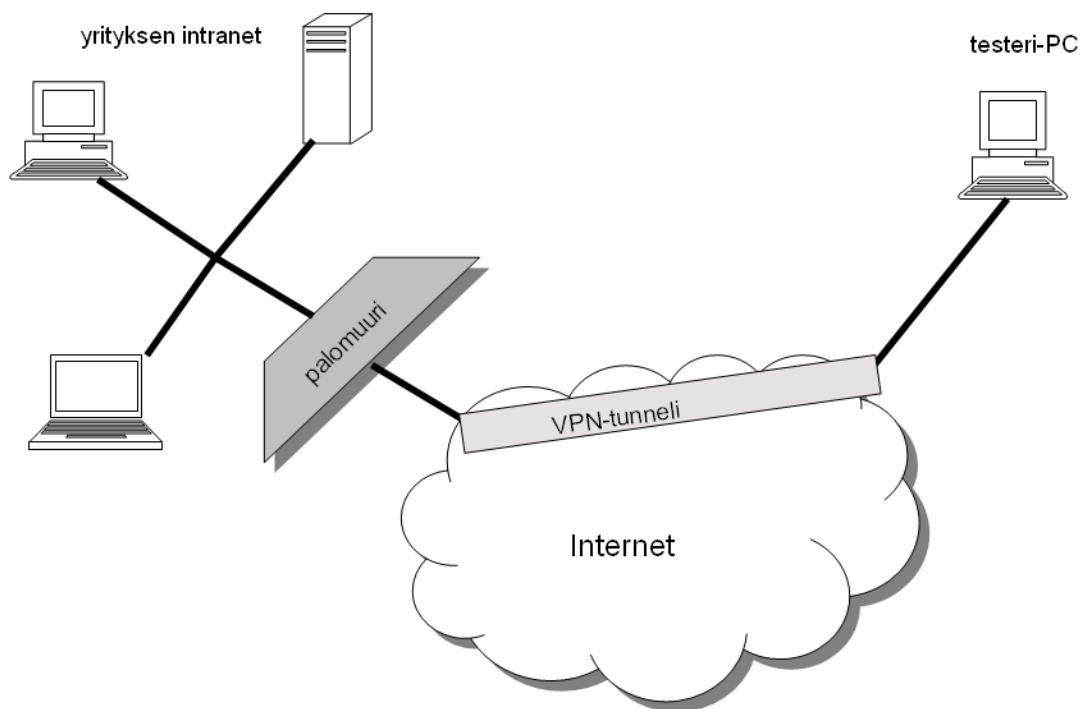
#### 4.1.1 Virtual Private Network (VPN)

Virtual Private Network, eli VPN on niin sanottu virtuaalinen sisäverkko, jonka avulla voidaan liittää saman organisaation fyysisesti erilliset verkot yhdeksi yhtenäiseksi verkoksi. VPN-nimeä käytetään myös yksittäisten terminaalien, eli työasemien liittämiseksi organisaation sisäverkkoon. Tässä tapauksessa on tarkoitus yhdistää piirikorttivalmistajan tiloissa oleva testauslaitteistoon liitettävä PC yrityksen intranettiin. VPN-yhteyden avulla mittaustulodata siirretään testeri-PC:ltä sisäverkossa olevaan tietokantapalvelimeen. Tietokantapalvelimella oleva datatietokanta on tällöin jatkuvasti ajan tasalla ja sisäverkossa olevien työasemien avulla käytettävissä prosessin analysointi- ja seurantatarkoitukseen. On huomattavaa, että testeri-PC on

osa toiminnallista testeriä, ja sen takia ABB:n omaisuutta, joten VPN-yhteys voidaan määrittää siten, että tietoturvaongelmia ei synny. VPN-ratkaisuun liittyvät tekniset yksityiskohdat löytyvät tarkasti IETF:n RFC 2764:stä (IETF RFC 2764 2007).

VPN-yhteyden avulla voidaan siis luoda virtuaalinen yhteys usean pienemmän verkon välille, jolloin nämä toimivat IP-verkon ylitse kuin yksi yhtenäinen verkko. Ilman VPN-ratkaisua verkot pitäisi yhdistää fyysisesti toisiinsa, kun taas VPN:n avulla päästään kustannustehokkaaseen ratkaisuun, kun käytetään jo olemassa olevaa verkkoinfrastruktuuria eli Internetiä. VPN on myös helposti laajennettavissa, kun fyysistä verkon rakentamistarvetta ei ole, ja käytetään avoimen avaimen salausta.

Koska Internet on luonteeltaan avoin ja suojaaton verkko, tarvitaan turvallisen yhteyden luomiseksi ja ylläpitämiseksi erityistoimia. Yhteys luodaankin niin sanotusti tunneloimalla, eli suojaattoman IP-verkon läpi rakennetaan virtuaalinen tunneli, jota pitkin data siirretään VPN-pisteiden välillä Kuvan 4.1 mukaisesti.



Kuva 4.1: VPN:n idea

Tunneloinnin idea on kuljettaa dataa avoimen verkon yli siten, että verkon reitittimet eivät tiedä reitittävänsä suljetun verkon liikennettä. Tämä tarkoittaa sitä, että VPN-yhteyden yli siirrettävä data paketoidaan, eli hyötydatapaketti paketoidaan siirtoa varten toisen paketin sisälle. Tällöin tunneloituun dataan ei pääse käsiksi, vaan

reitittäminen hoidetaan paketoituun dataan lisätyn kehyksen reititystietojen avulla.

VPN ei ole erityisen tiukasti standardoitu tekniikka, vaan VPN-yhteyden muodostamiseksi on monia erilaisia vaihtoehtoja. Vaihtoehdot eroavat jopa siinä määrin arkkitehtuuriltaan, että sovellus ja sitä kautta tunnelointi toimivat OSI-verkkomallin eri kerroksilla, ja näin ollen ne eivät ole keskenään yhteensopivia.

ABB Drivesin ja piirikorttivalmistaja Venturen kanssa tehty VPN-pilottiprojekti, joka pyrkii piirikorttivalmistuksen laadun tehokkaampaan seuraamiseen ja parantamiseen, käyttää VPN-tunnelin muodostamiseksi PPTP:a (Point-to-Point-Tunneling-Protocol) (IETF RFC 2637), joka on siirtoyhteyserroksen protokolla. Datan paketointiin PPTP käyttää GRE:a (Generic Routing Encapsulation). PPTP-sessio luodaan PPP-session avulla (Point-to-Point-Protocol) lähettämällä GRE-paketoitu data kohteeseen. PPTP vaatii kuitenkin myös toisen session, eli ennen varsinaista datasiirtoa avataan TCP-sessio GRE-session luomista ja hallinnointia varten. Tällainen kahden session tiedonsiirto tuottaa omat ongelmansa palomuurin takana olevien tietokoneiden saavuttamiseksi, sillä TCP:lle joudutaan avaamaan portti 1723 käytetystä palomuurista (IETF RFC 2637).

Käynnissä olevan pilottiprojektin satoa voi varmasti käyttää tulevaisuudessa hyväksi myös muiden piirikorttivalmistajien kanssa. VPN-yhteyksien käyttöönotto toimittajien kanssa tulee erittäin hyvään aikaan ajatellen tämän diplomityön ajankohtaa, minkä ansiosta piirikorttivalmistajien tuotannon laatua päästään seuraamaan.

## **4.2 Datamuodon parantaminen**

Testausdatan käyttöä hankaloittaa standardoimaton ja tehoton datamuoto. Excel-pohjaiset ratkaisut ovat myös helposti monimutkaisia. Exceliä ei myöskään ole tarkoitettu datan varastointiin. Tilannetta saadaan parannettua siirtymällä tietokannan käyttämiseen, ja spesifioimalla standardi datamuoto, jota käytettäisiin jokaisessa tulevassa piirikorttiprojektissa. Kun käytetään siirtotienä piirikorttivalmistajan ja ABB:n välillä VPN-yhteyttä, voidaan tietokantaa päivittää automaattisesti ja lähes reaaliaikaisesti. Tietokannan käyttäminen on erinomainen ratkaisu, kun tässäkin tapauksessa tiedoilla on monta käyttäjää, ja vaaditaan koordinaatiota näiden käyttäjien välillä.

### **4.2.1 Tietokannat**

Tietokanta on järjestetty tietovarasto, jonka tiedoilla on yhteys toisiinsa. Tietokannasta haetaan haluttuja tietoja siihen tarkoitettujen hakujen avulla. Samaan

tietokantaan voidaan tallentaa eri formaateissa olevaa tietoa, eli samassa kannassa voi olla esim. tekstiä että numeerisia lukuja. Tietokantatyyppejä on monia erilaisia, mutta testeridatan tallentamiseen relaatiotietokanta sopii hyvin.

Relaatiotietokanta koostuu yhdestä tai useammasta relaatiosta. Relaatio eli taulu on paikka, mihin tallennettu tieto on järjestetty. Taulut luodaan ja järjestetään siten, että yhden taulun tiedot käsittävät yhtenäisen asiakokonaisuuden (Vesterholm & Kyppö 2003). Taulujen ja niissä olevien tietojen välillä on jokin looginen yhteys. Tauluissa oleva tieto on järjestetty kenttiin eli sarakkeisiin ja tietueisiin eli riveihin. Saman sarakkeen sisällä oleva tieto on samassa formaatissa, mutta sarakkeiden välillä voi olla formaattityypissä eroa.

Taulujen välisten relaatioiden avulla tietoja ei tarvitse kirjoittaa moneen tauluun, vaan yksi tieto yhdessä taulussa riittää. Tietueisiin viitataan niin sanotuilla avaimilla. Perusavain on kenttä, joka yksilöi tietueen (Vesterholm & Kyppö 2003). Perusavain voisi olla esimerkiksi piirikortin sarjanumero, jolloin kortin muita tietoja ei tarvitsisi kirjoittaa muihin tauluihin, vaan perusavaimen avulla tiedot haettaisiin toisesta taulusta. Tietokantojen suunnittelun perusperiaatteena onkin, että jokainen tieto on tietokannassa ainoastaan yhden kerran. Tähän ainakin tulisi pyrkiä tietokannan suunnittelussa.

Tietokannan hallintajärjestelmä on tietokantaa hallinnoiva ohjelma. Sen tehtävänä on valvoa tietokannan käyttöä ACID-kriteerien pohjalta (Vesterholm & Kyppö 2003). ACID muodostuu sanoista:

Atomicity

Consistency

Isolation

Durability

Atomicityllä ymmärretään jakamattomuutta, eli tietokannan tapahtumasta suoritetaan joko kaikki operaatiot tai ei mitään. Tästä voidaan pitää esimerkkinä tilannetta, jossa halutaan siirtää tieto yhdestä taulusta toiseen. Jos tieto on jo poistettu alkuperäisestä taulusta, mutta siirto kohdetauluun jostain syystä epäonnistuu, tieto palautetaan alkuperäiseen tauluun, eli palataan tilanteeseen, jolloin yhtään operaatiota ei ollut vielä suoritettu.

Consistencyllä tarkoitetaan sitä, että tapahtuman suorittaminen ei saa viedä kantaa sallitusta eli johdonmukaisesta tilasta pois. Toisin sanoen tapahtuman täytyy pitää

kanta myös operaatioiden suorittamisen jälkeen sallitussa tilassa. Sallitun tilan kriteerit, eli yhtenäisyyden rajoitukset (integrity constraints) voidaan määrittellä kannalle. Tällainen voi olla esim. määräys pitää kaikki tilit positiivisina.

Isolation eli eristyvyys merkitsee, ettei suoritettavan tapahtuman tulokset tule muille käyttäjille tai operaatioille näkyville, ennen kuin tapahtuman suoritus on viety loppuun asti.

Durabilityn mukaan tietokannan hallintajärjestelmän tulee säilyttää suoritettavat operaatiot mahdollisen tulevan virheen varalta. Järjestelmän tulee siis säilyttää loppuun asti tehtyjen tapahtumien myötä tulleet muutokset, vaikka järjestelmään tulisikin jokin virhe. Operaatiot tallennetaankin tästä syystä lokiin, josta voidaan tarpeen vaatiessa palauttaa järjestelmä siihen tilaan, jossa se oli ennen virheen tapahtumista. Näin voidaan taata jakamattomuus, eli ainoastaan loppuun suoritettavat tapahtumat noteerataan.

## 4.2.2 Datamuodon spesifiointi

Jotta toiminnallisen testerin mittausdatan analysointi olisi mahdollisimman tehokasta, tarvitaan yhtenäinen ja sovittu datamuoto. Työssä päädyttiin erääseen ratkaisuun datamuodon spesifioinniksi. Ensinnäkin tietokannassa tulisi olla kolmenlaisia tauluja:

Status

Results

Limits

Jokaisella korttityypillä olisi omat taulunsa. Toisaalta Status-taulun sisältö olisi yhteneväinen jokaisella korttityypillä, millä pyritään selkeyttämään tilannetta verrattuna nykyiseen käytäntöön, sekä poistamaan seurantatyökalujen modifiointitarve eri piirikorttityypeille.

### 4.2.2.1 Status

Status-tauluun on tarkoitus kerätä jokaisen piirikortin ja sille suoritettujen toiminnallisten testien yleistietoja. Aina kun piirikortti ajetaan toiminnallisesta testeristä status-tauluun luodaan uusi rivi, johon lisätään testiin liittyvät tiedot. Jos kortti testataan enemmän kuin kerran, kyseiselle piirikortille tulee myös yhtä monta riviä. Tämä tehdään sen takia, jotta jokaisen epäonnistuneenkin testikerran tiedot jäävät talteen myöhempää analysointia varten. Status-taulussa tulisi olla seuraavat



kentät:

Serial number eli piirikortin identifiointinumero, joka sisältää seuraavat tiedot muodossa MRPserialMANUFACTURER

- MRP-code eli ABB:n käyttämä materiaalikoodi piirikortille
- Serial eli testattavan piirikortin sarjanumero revisiokirjaimineen
- Manufacturer eli piirikorttivalmistajan tunnus

Test time, testausaika eli minä päivänä ja mihin aikaan testaus on suoritettu

Result eli testin tulos; PASS tai FAIL

Step count, eli kuinka monta testipistettä kortti on käynyt läpi. Jos piirikortti ei läpäise testiä, tähän tulee kyseisen testistepin

- Index eli numero
- Name eli testistepin nimi

Test software version, testerin ohjelmistoversio

Test limits version eli testausrajojen revisioversio

Tester version, testerin revisioversio

The number of test eli kuinka mones testi kyseiselle piirikortille on kyseessä

The ID of the operator eli testerin käyttäjän tunnus

The ID of the tester eli testerin tunnistenumero

The ID of the fixture eli käytetyn testifixturen tunnistenumero

Comments, kommentteja, onko tehty testi ollut normaalia tuotantotestausta, pilotointia, proto-testausta, huoltoa, Gage R&R –kyvykkyysanalyysia, vai onko kyseessä ramp-up –vaiheen toimenpiteitä

#### **4.2.2.2 Results**

Results-tauluun tallennetaan testistepien mittaustulokset, joiden perusteella piirikortti joko hyväksytään tai hylätään testissä. Jokainen testauskerta luo tauluun

oman rivinsä samoin kuin status-aulun tapauksessa. Results-aulussa tulee olla seuraavat kentät:

Serial number eli testatun kortin MRP-koodi, sarjanumero ja valmistaja ilmoitettuna samoin kuin Status-aulussa

The number of test, vastaava kuin status-aulussa eli kuinka mones testikerta kyseiselle piirikortille on kyseessä

P1...Pn eli testipisteiden mittaustulokset; määrä riippuu piirikorttityypistä

#### 4.2.2.3 Limits

Limits-auluun tallennetaan piirikorttien testipisteiden mittausrajat eli hyväksytyjen arvojen ylä- ja ala-arvot. Näitä arvoja verrataan todellisiin mittaustuloksiin, ja toimitaan tilanteen mukaisesti. Jos tietty mittaesarvo ylittää raja-arvon, testi keskeytyy, ja status-auluun annetaan result-kentän arvoksi FAIL. Limits-aulussa on seuraavat kentät:

MRP-code eli piirikortin tyyppikoodi

Test point eli minkä testipisteen raja-arvot on kyseessä

- Index eli testipisteen numero
- Name eli testipisteen nimi

Test limits version eli testirajojen revisioversio

MIN, hyväksytyyn mittaustuloksen ala-arvo

MAX, hyväksytyyn tuloksen yläarvo

### 4.3 Seurantatyökalujen valinta

Piirikorttien valmistusprosessin seuraamiseen voi käyttää monenlaisia työkaluja.

Erilaisilla työkaluilla pyritään selvittämään prosessin tilaa ja kyvykkyyttä, mutta myös tutkia testauslaitteiston toimivuutta ja luotettavuutta. Prosessinseurantadataksi valitaan toiminnallisen testerin mittausdatasta jokin tai joitakin testisteppejä, joille analyysi suoritetaan. Mitä enemmän yksittäisiä steppejä valitaan, sitä tarkempaa ja luotettavampaa tietoa valmistusprosessista saadaan. Seuraavissa työkalujen esittelyissä käytän aineistona RMIO-testerillä yhdessä Mika Kiviniemen kanssa keräämäämme mittausdataa (Liite 2). RMIO-korttia käytetään ACS800-tuoteperheen taajuusmuuttajissa pääohjauskorttina. On huomattavaa, että mittaus on tehty Gage R&R-analyysia varten, joten korttien määrä on suhteellisen pieni, mutta jokainen piirikortti on testattu useasti. Toisena aineistona käytetään JINT-A1 –kortin toiminnallisen testerin mittausdatan pohjalta rakennettua esimerkkinä toimivaa tietokantaa. JINT-A1 on ACSM1-taajuusmuuttajan pääpiirikortti, johon suuri osa toiminnoista on integroitu. Analyysien tekemiseen on käytetty Minitab 15 -ohjelmistoa.

Valmistusprosessin seuranta saattaa lähteä esimerkiksi siitä, että huomataan FPY:n tippuneen halutun raja-arvon alapuolelle. Seuraavaksi voidaan tehdä Pareto-analyysi yleisimmän vikaantumispisteen löytymiseksi. Tästä voidaan jatkaa normaalisuustestillä, eli analysoidaan prosessin normaalijakautuneisuus. Myös prosessin kyvykkyyttä saatetaan mitata tässä vaiheessa esim. Capability Six Pack –työkalulla. Prosessin kyvykkyyden laskentaa tarvitaan myös testausrajojen asettamisen ja muuttamisen yhteydessä. Gage R&R –analyysillä voidaan identifioida muilla työkaluilla havaitun prosessin vaihtelun tekijät, eli mistä vaihtelu koostuu.

### **4.3.1 First Pass Yield -seuranta**

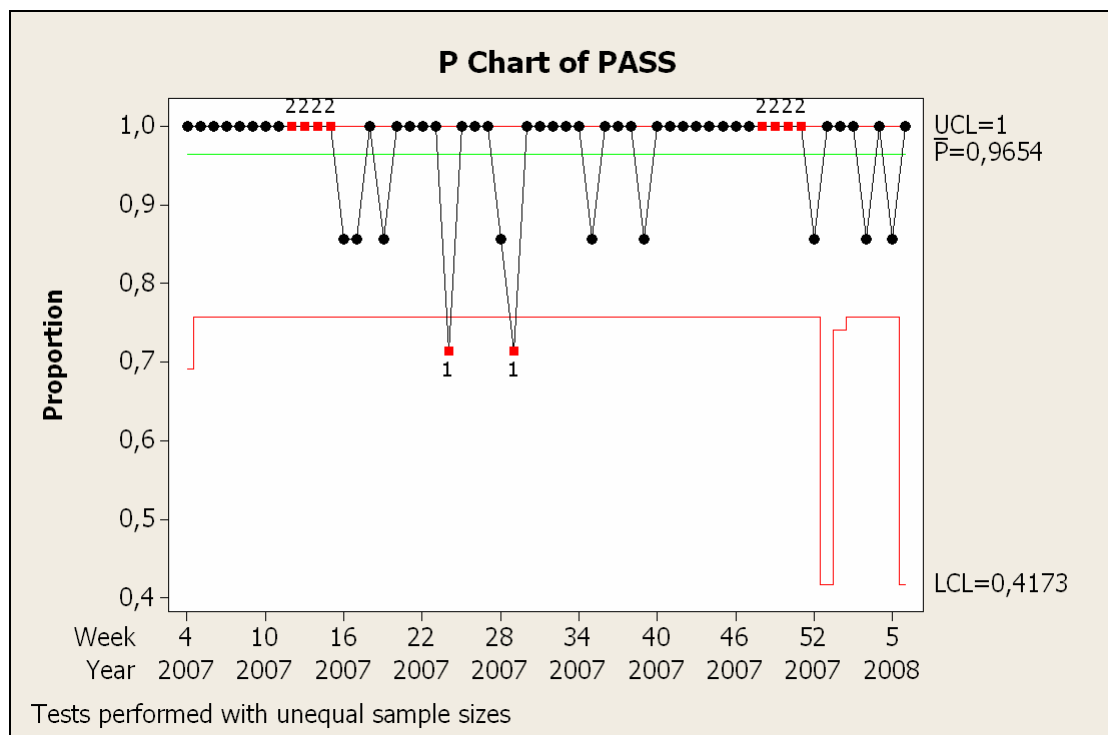
FPY-seurannalla saadaan monesti ensimmäinen tieto prosessia mahdollisesti vaivaavista ongelmista. Kun FPY-luku laskee, jokin prosessissa on muuttunut, minkä takia piirikortteja hylätään toiminnallisessa testerissä aiempaa enemmän. Kun FPY-seurannassa käytetään varoitusrajoja, työkalun avulla voidaan todeta myös valmistusprosessin vaihtelun muoto. FPY:n ollessa varoitusrajojen sisällä, valmistusprosessi on ainakin näennäisesti tilastollisessa hallinnassa, ja vaihtelulla ei ole erityisyyttä. Jos valmistusprosessista tulee ongelmia FPY-seurannalla esille, tilanteeseen voidaan puuttua nopeasti, ja ongelman lähde ja syyt voidaan alkaa tutkia muilla tilastollisilla työkaluilla.

FPY-seuranta onnistuu Minitab-ohjelmistolla, kunhan sille annettu data-aineisto on oikeassa muodossa. Aineistosta tulee tulla esille piirikortin valmistusajankohta sillä tarkkuudella, millä FPY-seuranta halutaan tehdä. Jos seuranta halutaan tehdä esim. viikon tarkkuudella, tarvitaan piirikortin valmistusviikko. Lisäksi tarvitaan vastaavana ajanjaksona valmistettujen ja testattujen piirikorttien määrä. On

huomattavaa, että ainoastaan ensimmäinen testauskerta jokaiselta piirikortilta otetaan mukaan laskuihin. Lopuksi laskentaan tarvitaan testin läpäisseiden ja läpäisemättömien piirikorttien määrä. FPY-seurantatyökalu itsessään on p-tyyppin seuranta-kaavio.

#### 4.3.1.1 Käytännön esimerkki

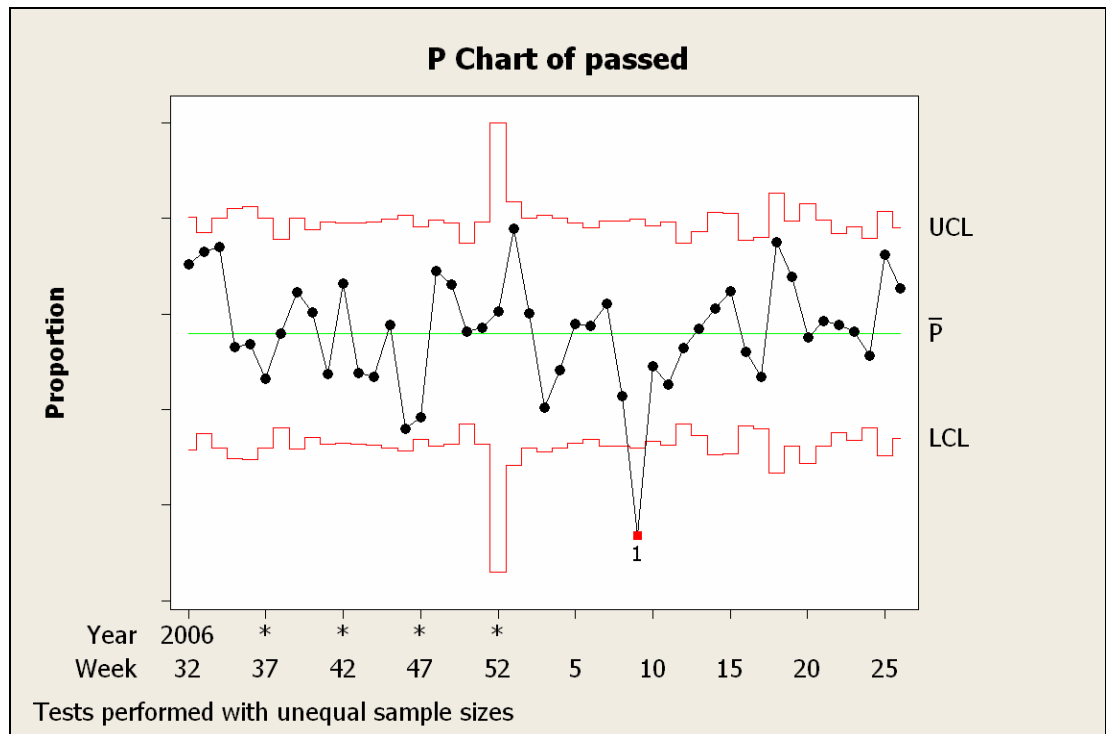
Kattavan ja pitkäaikaisen mittausdatan johdosta hyvän ja havainnollisen FPY-seuranta-kaavion esittäminen on melko hankalaa. Tämähän on toisaalta yksi tärkeimmistä motivaatioista koko diplomityölle. Muokkaamalla JINT-A1 –piirikortin mittausaineistoa saadaan jonkunlainen pohja FPY-kaaviolle tehtyä. Saatavilla olevan mittausdatan ongelmana on se, että aineisto kattaa ainoastaan yhtenä päivänä testattujen piirikorttien tiedot. Muokkaamalla aineisto esimerkkiä varten muotoon, jossa ajatellaan, että yhtenä päivänä on testattu ainoastaan yksi piirikortti, saadaan jonkinlainen esimerkkitapaus muodostettua. Tämän muokatun aineiston pohjalta on tehty FPY-seuranta-kaavio, joka on nähtävissä kuvassa 4.2.



Kuva 4.2: FPY-esimerkki muokatulle mittausdatalle

Kuvassa punaisella näkyvät pisteet merkitsevät tilanteita, joissa jokin prosessin tilastollista vaihtelua testaavista testeistä on indikoinut prosessin olevan pois

tilastollisesta vaihtelusta. Kuten mainittua, käytetty aineisto ei kuitenkaan vastaa reaali maailman tilannetta, joten niistä ei tällä kertaa voi suurempia päätelmiä tehdä.



Kuva 4.3: Toinen FPY-esimerkki

Kuva 4.3 kuvaa ACS800-tuotteen yhden valmistuslinjan viikko-yieldiä. Kuvasta nähdään havainnollisesti prosessin luonnollinen vaihtelu. Viikolla 9 vuonna 2007 on selvästi havaittavissa prosessissa oleva ongelma, jolloin yield laski kontrollirajojen alapuolelle. Tällöin prosessissa on ollut yksi tai useampi erityisyys, joiden takia valmistus-testausprosessi ei ole toiminut parhaalla mahdollisella tavalla.

### 4.3.2 Pareto

Pareto-analyysillä voidaan nopeasti ja yksinkertaisesti havaita kerättävästä mittausdata-aineistosta testipisteet, joissa piirikortit jäävät useimmiten kiinni eli eivät läpäise testiä. Esimerkkiaineistona käytettiin JINT-A1 -kortin testausdataa, josta selvitettiin testipisteet, joita piirikortit eivät ensimmäisellä kerralla ole läpäisseet. Tähän käytetään tietokannasta löytyvää Pareto-hakua. Kyseinen haku perustuu Status-taulun Step count -kenttään, jonka avulla voidaan todeta kortin läpikäymien testipisteiden määrä, sekä Number of test -kenttään, jonka avulla haetaan jokaisesta piirikortista ainoastaan ensimmäiset testauskerrat. Pareto-analyysi voidaan toteuttaa

suoraan Minitabilla, johon tietokannan haulla saatu aineisto siirretään.

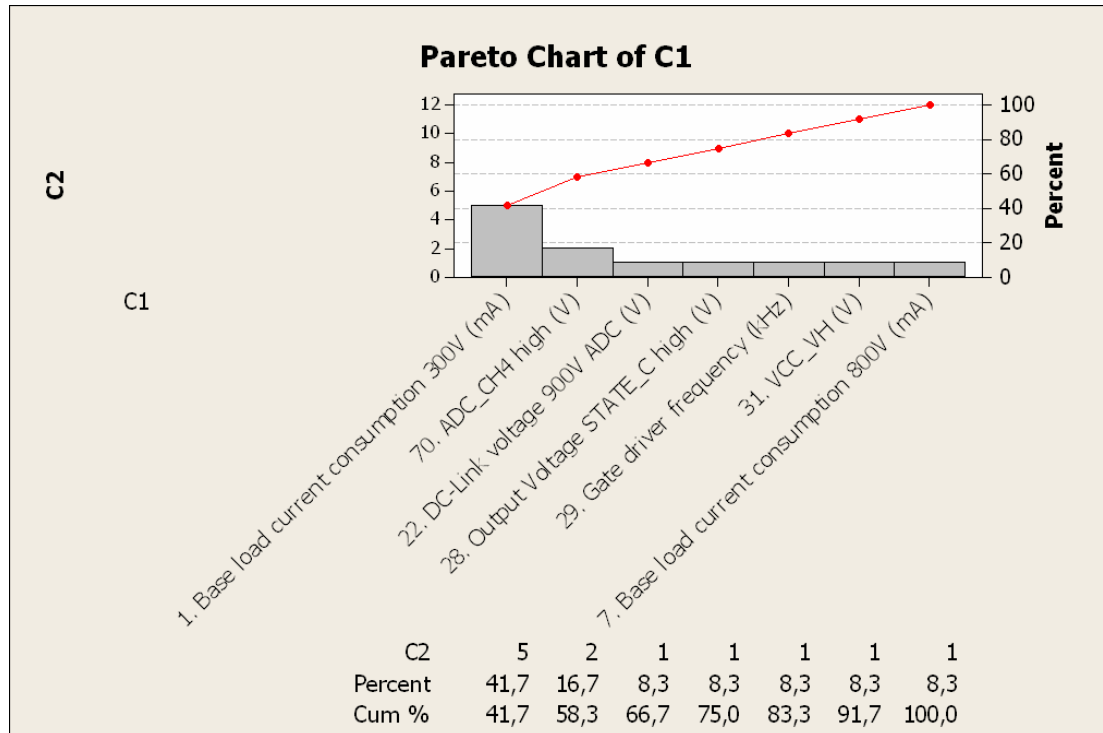
#### 4.3.2.1 Käytännön esimerkki

Tietokantahaku antaa taulukon 4.1 –mallisen aineiston. Tyhjä rivi merkitsee testikertoja, joissa piirikortti on läpäissyt koko testisekvenssin, kun taas muut rivit osoittavat testirajojen ulkopuolelle jääneet testipisteet ja niiden määrän.

Taulukko 4.1: Pareto-aineisto JINT-A1 –kortin mittausdatasta

	364
1. Base load current consumption 300V (mA)	5
22. DC-Link voltage 900V ADC (V)	1
28. Output Voltage STATE_C high (V)	1
29. Gate driver frequency (kHz)	1
31. VCC_VH (V)	1
7. Base load current consumption 800V (mA)	1
70. ADC_CH4 high (V)	2

Jo tästä taulukosta voidaan nähdä vallitseva tilanne, mutta halutessaan aineistosta voi muodostaa graafin Minitabilla. Vastaava analyysi tosin onnistuu helposti myös esim. Excelillä. Kuvassa 4.4 on nähtävissä Minitabin muodostama Pareto-kuvaaja. Kuvan perusteella voidaan todeta testipisteen yksi (Base load current consumption 300V (mA)) olevan kaikkein ongelmallisin, sillä se kattaa 41,7% kaikista vikatapauksista kyseisessä otannassa.



Kuva 4.4: Pareto JINT-A1 –kortin testausdatalle

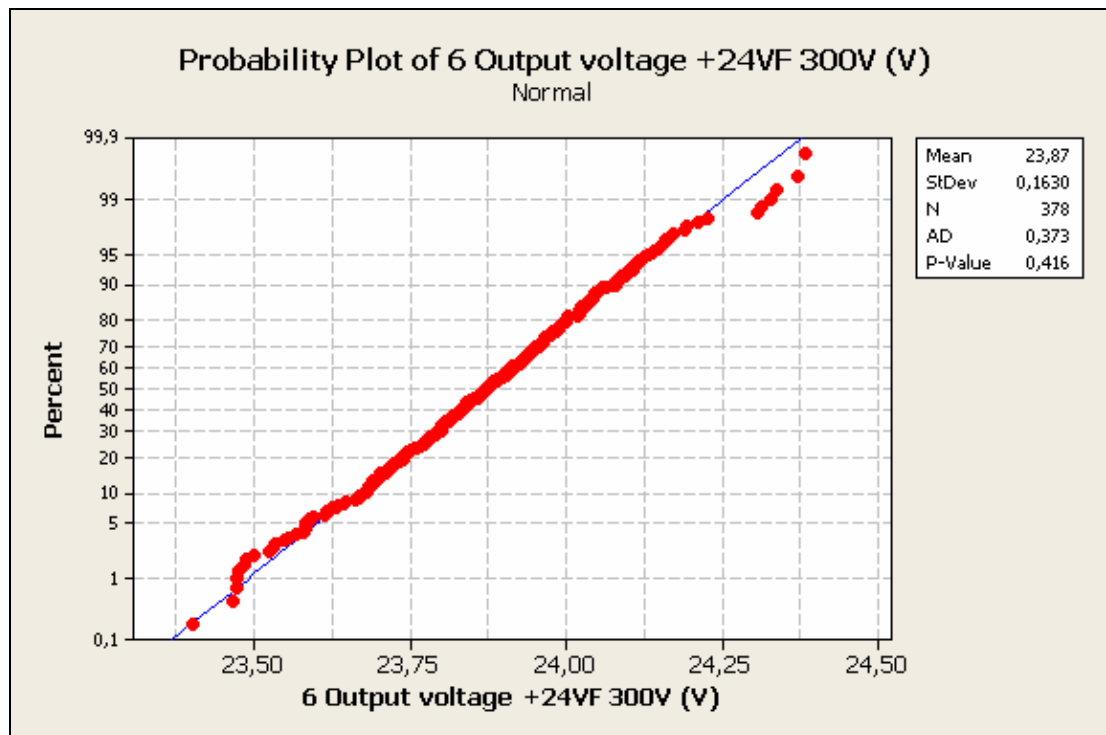
### 4.3.3 Normaalisuustesti

Aineiston normaalisuustestillä voidaan todeta mittausdatan normaalijakautuneisuus. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi Anderson-Darling testillä. Testi laskee aineistolle p-luvun, jonka suuruus ilmaisee datan normaalisuuden. Jos p-luku on alle 0,05, aineisto ei ole normaalisti jakautunutta. Jos p-luku on 0,05 tai yli, hypoteesia aineiston normaalijakautumisesta ei voida hylätä. Käytännön tilanteissa aineisto voidaan tällöin olettaa normaalijakautuneeksi. Luku 0,05 tulee yleisesti käytetystä merkittävyystasosta eli  $\alpha$ :sta (Quality Knowhow Karjalainen 2007).

Normaalisuustestin aineistoa varten Access-kannasta on haettu kaikkien korttien mittaustulokset, mitkä ovat läpäisseet testin kokonaisuudessaan ensimmäisellä kerralla. Results-tilusta haetaan siis kaikki tapaukset, joissa Result-kentän tulos on ”PASS” ja Number of test kentän arvo on ”1”. Näin vältetään mahdollisilta duplikaatioilta mittaustuloksissa. Tätä varten JINT-A1 –kantaan on rakennettu haku eli query nimellä Normality. Haun tuloksista valitaan se sarake, jota vastaavaa testipistettä halutaan tutkia. Tämän sarakkeen tiedot siirretään Minitabiin, jossa analyysi on yksinkertaisinta suorittaa. Normaalisuustestillä saadaan kyseiselle testipisteelle laskettua p-luku sekä piirrettyä havainnollistava kuvaaja.

### 4.3.3.1 Käytännön esimerkki

Edellä mainitun JINT-kortin mittausdatan perusteella voidaan tehdä normaalisuustesti esimerkiksi testipisteelle 6, joka mittaa +24V lähtöjännitettä. Tietokantahaulla saadusta aineistosta kopioidaan vastaavaa testipistettä kuvaava sarake ja liitetään Minitabiin, tai käytetään suoraan Minitabilla tarvittavaa Access-hakua. Normaalisuustestin tulos on nähtävissä kuvassa 4.5.

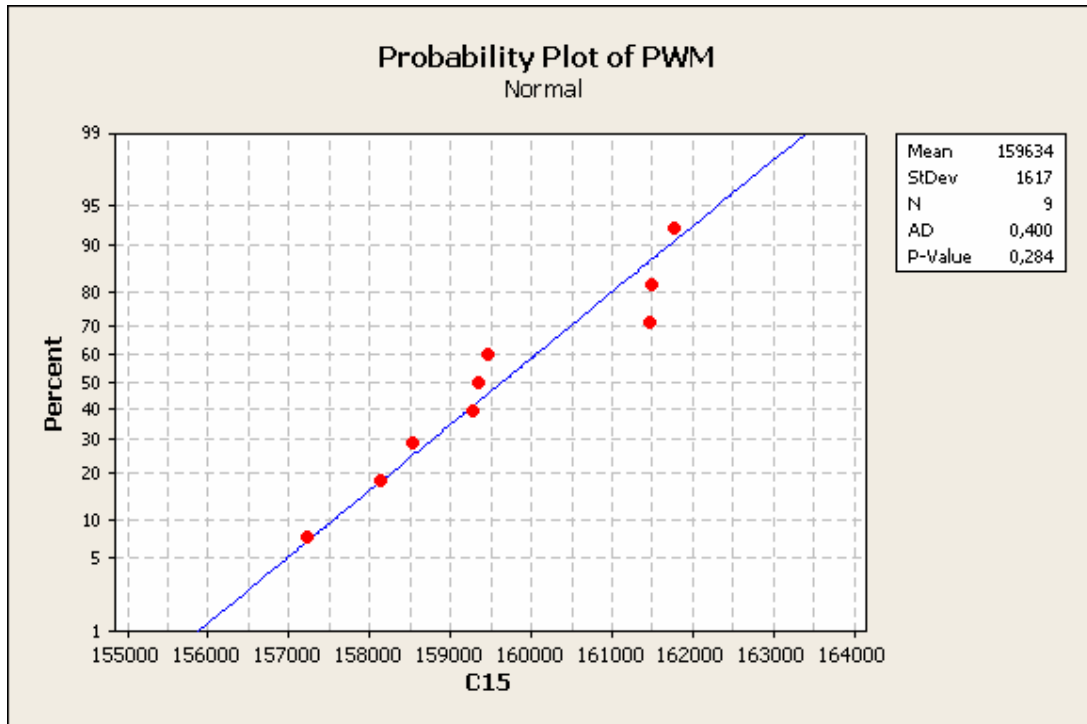


Kuva 4.5: Anderson-Darling –testi JINT-kortin aineistosta

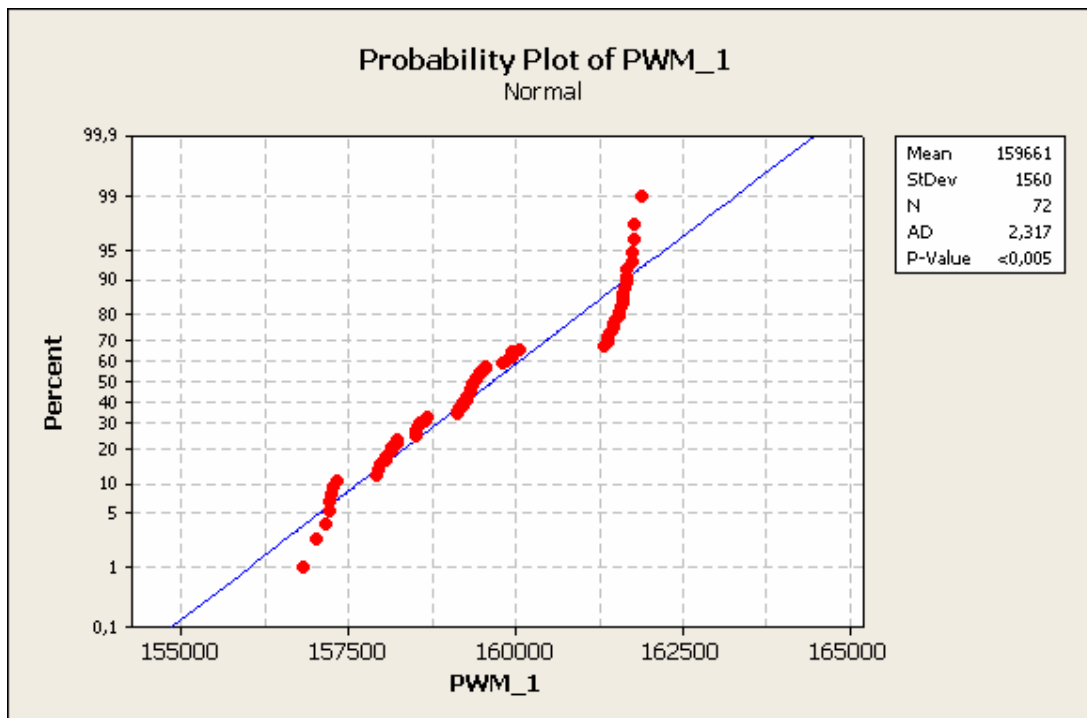
Kuten kuvasta nähdään p-luku kyseiselle aineistolle on 0,416, joka käytännössä tarkoittaa kyseisen mittauspisteen datan olevan normaalisti jakautunutta.

Gage R&R –analyysiä varten aineiston pitäisi olla normaalisti jakautunutta. Tähän soveltuva aineisto RMIO-kortin toiminnallisesta testeristä löytyy liitteen 2 taulukosta, josta valitaan jokaisesta piirikortista yksi mittaustulos, ja lasketaan tälle näytteelle Anderson-Darling-testi. Esimerkin vuoksi valitaan piirikortilla olevan PWM-modulaattorin taajuus. Kuvan 4.6 mukaan aineiston voidaan ajatella olevan normaalisti jakautunutta, kun p-luvuksi saadaan  $> 0,05$ . Jos testi tehdään koko aineistosta, eli samasta kortista on tällöin monta mittaustulosta, ei aineisto ole tietenkään enää normaalijakautunut, vaan p-luku on  $< 0,05$  kuten kuvan 4.7 kokeilusta on nähtävissä.





Kuva 4.6: Anderson-Darling-testi



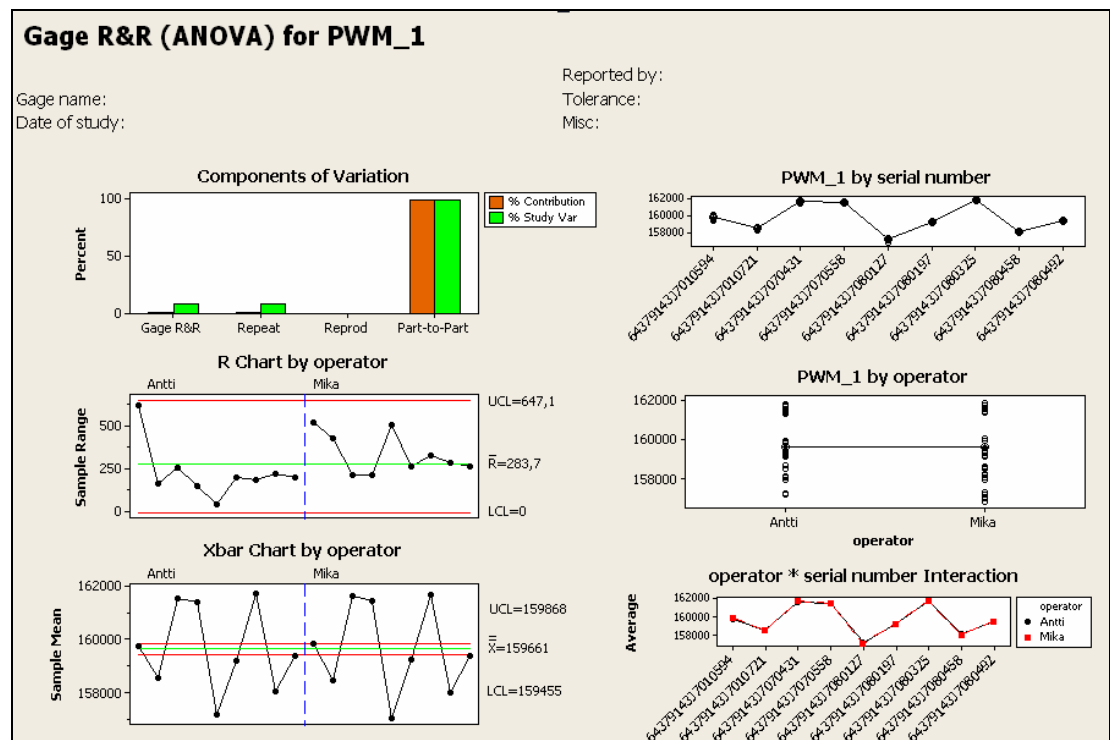
Kuva 4.7: Väärästä datasta laskettu Anderson-Darling-testi

### 4.3.4 Gage R&R

Gage R&R:n ongelmana on, että sen tekemiseen tarvitaan monta testiä samasta piirikortista, joten analyysiä ei voida suorittaa normaalitestauksen yhteydessä tai normaalin mittausdatan pohjalta, vaan sen suorittaminen vaatii erityisjärjestelyjä. Itse analyysi on toisaalta hyvin suoraviivainen Minitabin valmiin työkalun avulla.

#### 4.3.4.1 Käytännön esimerkki

Kuvassa 4.8 on liitteen 2 PWM-mittausdatan perusteella tehty Gage R&R-analyysi. Analyysi voidaan tehdä, koska prosessi on havaittu normaalijakautuneeksi. Gage R&R analyysi vaatii samalle tuotteelle monta erillistä mittauskertaa, joten liitteen 2 aineisto käy tähän tarkoitukseen erittäin hyvin.



Kuva 4.8: Gage R&R-analyysi PWM:lle

Kuten kuvasta nähdään, mittausarvojen vaihtelu johtuu lähes kokonaan piirikorttien välisistä eroista. Mittaajien tai mittauskertojen välillä ei ole lähestulkoon ollenkaan eroja. Näin ollen mittauslaitteiston toistokyky ja uusittavuus ovat ainakin tämän testipisteen mittaamalla alueella erittäin hyvässä kunnossa. Gage R&R –analyysi kannattaa tehdä aika-ajoin, jotta voidaan olla varmoja, että mittauslaitteiston mittavirhe ei ole lisääntynyt tai muuttunut. Varsinkin mittauslaitteistoon tehtyjen

muutosten jälkeen Gage R&R on paikallaan. Jos prosessin lopputuote on muuttunut, eli testauksessa havaitaan muutos aikaisempaan tilanteeseen verrattuna, Gage R&R-analyysillä voidaan sulkea pois mittauslaitteistosta johtuvat muutokset. Myös tilanteissa, joissa testauksessa aletaan käyttämään uusia operaattoreita, suoritetaan usein Gage R&R –analyysi. Tällä pyritään havaitsemaan mahdolliset mittauserot operaattorien välillä. Piirikorttien toiminnallisessa testauksessa tätä eroa tuskin on missään tilanteessa, kun operaattorin tehtävänä on ainoastaan asettaa piirikortti neulapedille ja käyttää testi-PC:tä.

### 4.3.5 Keskiarvo- ja vaihteluvälikaaviot

Kun esimerkiksi Pareto-analyysillä ollaan huomattu jonkun testipisteen tuottavan piirikorteille ongelmia, voidaan tätä kyseistä testistepiä seurata keskiarvo- ja vaihteluvälikaavioilla. Kaavioiden avulla kartoitetaan tilanteet, joissa piirikortit eivät läpäise testiä, ja pyritään tätä kautta löytämään ongelmien aiheuttajat. Tarvittava aineisto saadaan tietokannasta Capability-haulla, joka hakee Results-taulusta kaikkien piirikorttien ensimmäisen testikerran piirikorttien sarjanumeron mukaan järjestettynä. Noudetusta datasta voidaan tämän jälkeen siirtää halutun testistepin mittaustulokset Minitabiin, jolla kaavioiden luonti sujuu helposti. Käytettävä näytekoko voidaan valita tarpeen mukaan.

#### 4.3.5.1 Käytännön esimerkki

Tässäkin esimerkissä käytetään JINT-A1 –piirikortin testausdataa, josta valitaan tarkasteltavaksi testipiste 70. Kuvassa 4.9 ylemmässä kuvaajassa on nähtävissä yksittäisten näytteiden asettuminen ja prosessissa tapahtuva vaihtelu. Alemmassa kuvaajassa on kahden perättäisen näytteen välinen vaihtelu. Molempiin kuviin Minitab piirtää automaattisesti kolmen sigman kontrollirajat. Punaisilla merkityissä pisteissä on kyseessä jokin erityisyys, minkä takia prosessi ei ole tilastollisessa hallinnassa. Näitä erityisyyttä on mainittu luvussa 2.2.4, mutta Minitab testaa nämäkin haluttaessa automaattisesti. Testit läpäisemättömät pisteet on vielä erikseen eritelty Minitabin Session-ikkunassa seuraavalla tavalla:

#### **Test Results for I Chart of 70 ADC\_CH4 high (V)**

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.  
Test Failed at points: 184; 219; 273; 300; 376

TEST 2. 9 points in a row on same side of center line.

Test Failed at points: 126; 372

TEST 4. 14 points in a row alternating up and down.  
Test Failed at points: 287; 288; 289; 290; 291

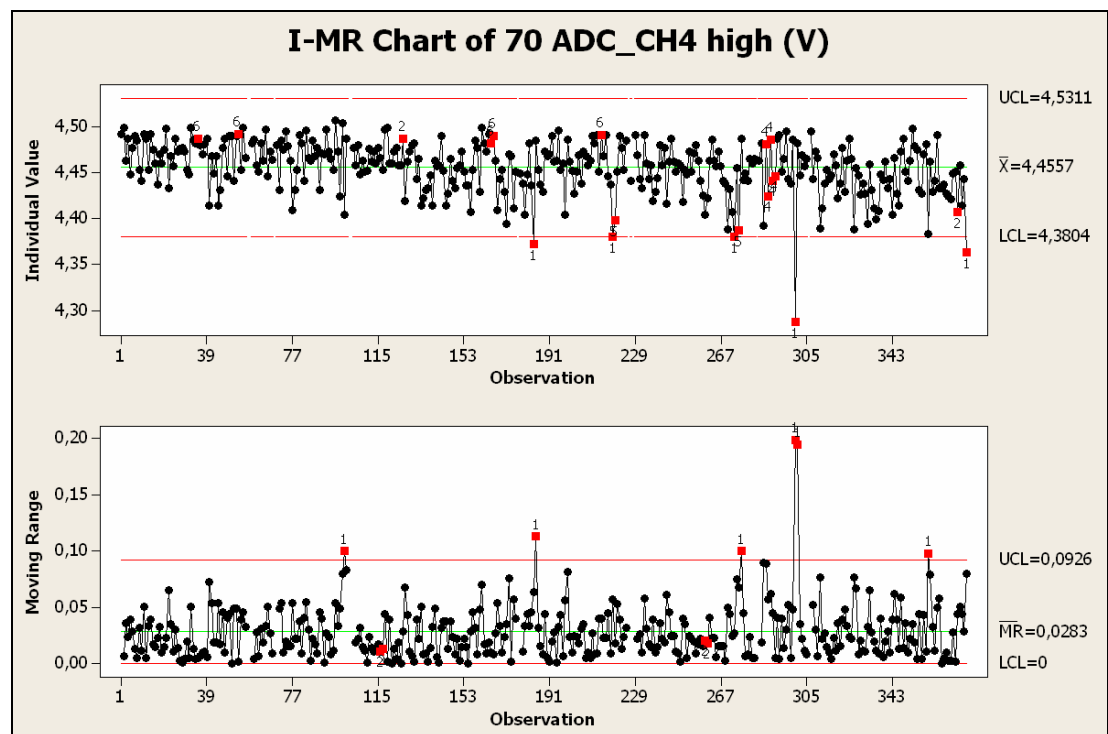
TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).  
Test Failed at points: 220; 275

TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).  
Test Failed at points: 35; 53; 165; 166; 214

### Test Results for MR Chart of 70 ADC\_CH4 high (V)

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.  
Test Failed at points: 100; 185; 276; 300; 301; 359

TEST 2. 9 points in a row on same side of center line.  
Test Failed at points: 116; 117; 260; 261



Kuva 4.9: Prosessin seuranta-kaaviot; näytekokoo 1

Kuten nähdään, prosessissa on ainakin tämän pisteen osalta ongelmia, kun mietitään, onko prosessi tilastollisesti hallinnassa vai ei. Toisin sanoen prosessissa oleva vaihtelu ei johdu ainoastaan tilastollisesta eli satunnaisesta vaihtelusta, vaan vaihtelu

sisältää myös erityisyyttä, joista pitäisi pyrkiä pääsemään eroon.

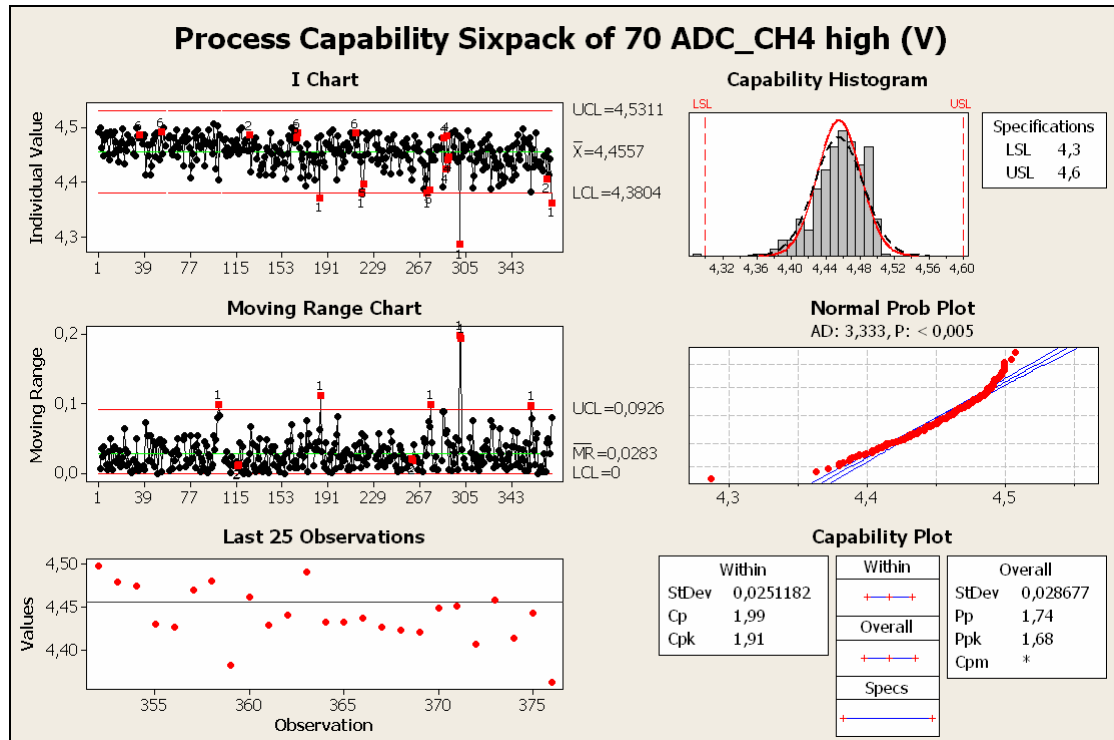
### 4.3.6 Capability Six Pack

Minitabista löytyvä Capability Six Pack –työkalu on erittäin havainnollistava ja nopea väline valmistusprosessin seuraamiseksi kiinnostavan testipisteen osalta. Se sisältää monta jo aiemmin esiteltyä kaaviota, joiden lisäksi se laskee myös Cp- ja Cpk-luvut sekä keskihajonnan. Tarvittava aineisto haetaan mittausdatatietokannasta Capability-haulla, sekä kyvykkyysanalyysiä varten kyseisen testipisteen spesifikaatorajat, jotka saadaan mittausdatatietokannan Limits-taulusta. Työkalulla voidaan myös testata testirajojen muuttamista, eli miltä prosessi ja siihen liittyvät tunnusluvut näyttäisivät toisenlaisilla spesifikaatioajoilla. Itse työkalu löytyy valikosta Stat – Quality Tools – Capability Six Pack.

#### 4.3.6.1 Käytännön esimerkki

Kuvan 4.10 aineisto on JINT-A1 –piirikortin testausdatasta testipistestä 70 kerätty. Aineisto on siis saatu tietokannan Capability haulla, joka antaa tietokannasta jokaisen piirikortin ensimmäisen testauskerran tuloksen sarjanumeroiden mukaan järjestettynä. Kuvassa näkyy jo tuttuja ja esiteltyjä kaavioita, kuten seuranta-kaaviot yksittäisille testatuille piirikorteille ja kahden peräkkäisen arvon vaihteluvälille, sekä aineoston normaalisuustestin esitettyinä kahdella eri tavalla. Kuvaaja ”Capability Histogram” esittää prosessin sijoittumista spesifikaatioajoihin. Lisäksi kuvassa 4.10 on nähtävillä prosessiin liittyviä tunnuslukuja.

Prosessia tämän testipisteen osalta analysoitaessa voidaan todeta, kuten jo aiemminkin, ettei prosessi sisällä ainoastaan satunnaista tilastollista vaihtelua, vaan joukossa on myös erityisyyttä. Toisaalta prosessin kyvykkyys vertailtuna spesifikaatioajoihin on hyvällä tasolla, sillä  $Cpk \sim 2$ .



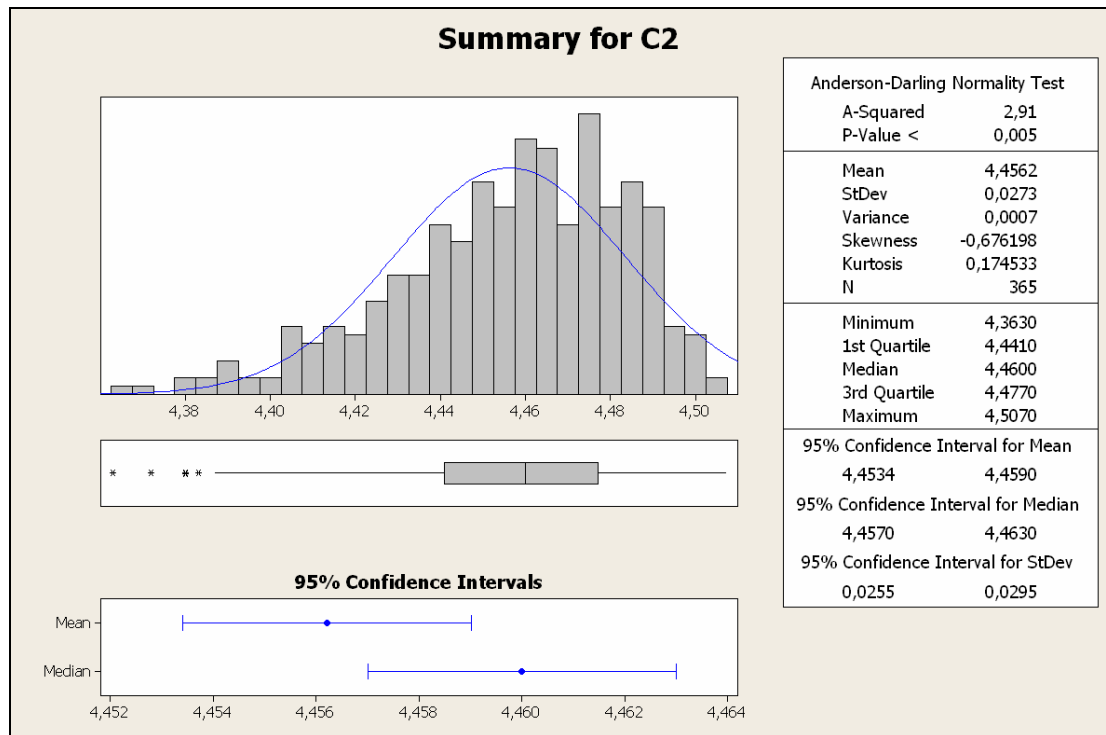
Kuva 4.10: Process Capability Six Pack JINT-A1 –piirikortille, testisteppi 70

### 4.3.7 Graafinen yhteenveto testipisteen aineistosta

Jos yhdestä testistepistä kaipaa enemmän tilastollista tietoa ja tunnuslukuja, se onnistuu Minitabilla erittäin helposti työkalulla, joka löytyy Stat – Basic Statistics – Graphical Summary. Tarvittava aineisto saadaan tietokannan Capability-haulla, jonka jälkeen mielenkiintoisen testistepin data siirretään Minitabiin.

#### 4.3.7.1 Käytännön esimerkki

Kuvasta 4.11 näkee hyvin JINT-A1 –piirikortin testipisteen 70 aineiston jakauman. Kuvan oikeassa reunassa olevat tunnusluvut ilmaisevat tuttuun tapaan lisäksi esim. Skewness ja Kurtosis –arvot. Skewness-luku ilmaisee, kuinka symmetrinen jakauma on kyseessä. Negatiivinen arvo kertoo jakauman leviävän vasemmalle, mikä näkyy selvästi myös graafisessa esityksessä. Positiivinen luku taas ilmaisee jakauman levinneen oikealle. Kurtosis kertoo jakauman huipun terävyydestä verrattuna normaalisti jakautuneeseen aineistoon. Positiivinen arvo ilmaisee huipun olevan terävämpi kuin normaalisti jakautuneessa tilanteessa. Negatiivinen arvo kertoisi jakauman olevan litteämpi, kuin mitä ideaalisessa normaalijakaumassa olisi.



Kuva 4.11: Graafinen yhteenveto testipisteen 70 statistiikasta

## 4.4 Toteutusvaihtoehdot

Laatuseurannan toteuttamiseksi on monenlaisia vaihtoehtoja. Yhtenä vaihtoehtona on toteuttaa seuranta Microsoft Excelin avulla. Toisena vaihtoehtona olisi analyysityökalun rakentaminen jollain ohjelmointikielellä. Kolmantena vaihtoehtona on käyttää tiedon varastointiin ja hallintaan tietokantaa. Tietokantaohjelmana voidaan käyttää esim. Microsoft Accessia. Analyysi taas toteutettaisiin siihen tarkoitettulla kaupallisella ohjelmalla kuten Minitabilla.

### 4.4.1 Excel-vaihtoehto

Microsoftin Excel on tähän asti ollut aktiivisessa käytössä ABB Drivesilla, kun on haluttu tehdä tilastollista seuranta ja analyysiä. Excel ei ole kuitenkaan tähän tehtävään suunniteltu, eikä siihen myöskään erityisen hyvin soveltuva. Excelin yhteen tiedostoon ei mahdu rajattomasti tietoa, mikä asettaa rajoituksia tiedon varastointikäytössä. Jonkun tietokantaohjelman käyttö, kuten Access olisi siis ollut tarpeellista Excelin rinnalla. Tämä ei olisi niinkään ollut ongelma, sillä Access ja Excel keskustelevat varsin helposti keskenään. Ongelmallisempaa olisi ollut

tarvittavien analyysityökalujen tekeminen. Excelissä ei ole kovinkaan hyvät valmiit tilastolliset työkalut, jolloin ne olisi pitänyt tehdä itse Visual Basicillä. Itse tekeminen on tietenkin hyvä vaihtoehto, jolloin ominaisuuksista tulee juuri sellaiset kun tekijä haluaa. Muutosten tekeminen toisen kirjoittamaan Visual Basic makroon on kuitenkin varsin työlästä. Myöskään analysointiin käytettyjen työkalujen perustana olevien tilastollisten teorioiden oikea ja toimiva käyttö ei ole ollenkaan taattua, vaan täysin tekijän huolellisuuden ja tietämyksen varassa. Exceliä käytettäessä lisenssiasiatkaan eivät ole ongelma, kun jokaisella käyttäjällä on Excel lisensseineen työkoneellaan.

#### **4.4.2 Ohjelmointikielivaihtoehto**

Yhtenä toteutusvaihtoehtona olisi ollut analyysityökalun kehittäminen alusta lähtien jollain ohjelmointikielellä. Tällä tavoin ohjelmasta olisi voinut tehdä juuri sellaisen ja sellaisilla ominaisuuksilla kuin haluaa ja mihin on tarvetta. Itse tehdyn ohjelman hyvänä puolena voisi myös laskea sen, ettei ohjelma vaatisi käyttäjiltään erillisiä lisenssejä, jolloin se olisi helposti kaikkien käytössä. Kokemuksesta kuitenkin on tiedossa, että laatureurannassa käytettäviä työkaluja on tarpeellista muokata, ja niihin halutaan uusia ominaisuuksia, jolloin ohjelmaa pitäisi päivittää. Tällaisessa tilanteessa kohtaamme ongelman, joka on vielä hankalampi, kuin Excelin makroja päivittäessä ja niitä lisättäessä. Harvalla ihmisellä on pätevyyttä, puhumattakaan aikaa, lähteä päivittämään jonkun muun kirjoittamaa koodia organisaatiossa, jossa tietokoneohjelmien tuottaminen ei kuulu yhteisön ydinosaamiseen. On myös kyseenalaista, kuinka järkevää olisi ”keksiä pyörää uudestaan”, kun työkalulta vaadittavat analyysit voi tehdä myös valmiilla kaupallisilla ohjelmilla.

#### **4.4.3 Minitab + Access**

Microsoft Accessia käytetään esiteltyssä ratkaisussa tiedon varastointiin ja hallintaan. Tietokannasta tehdään hakuja, joiden avulla saadaan haluttua dataa analyysijä ja seuranta varten. Accessiin on yksinkertaista määritellä ja luoda uusia hakuja, jos jossain vaiheessa niille nähdään tarvetta. Accessin käyttö on hyvä ratkaisu myös lisenssien kannalta, sillä se on asennettuna lähes jokaiselle ABB Oy Drivesin tietokoneelle, ja näin ollen tietokannat ovat kaikkien käytössä.

Minitabin käyttöä analyysien tekemiseen puoltaa se, että kyseinen ohjelma on tarkoitettu tilastollisten analyysien tekoon. Ei ole siis mitään syytä olettaa, että se ei toimisi myös ABB:n käytössä. Käyttökelpoisuus on toisaalta jo tullut todettua aiemmin esiteltyjen tilastollisten työkalujen avulla. Ohjelma on jo nykyisellään ABB Drivesin työntekijöiden käytettävissä, mutta omien kokemuksieni mukaan vähäisessä



käytössä. Suuri osa potentiaalisista käyttäjistä ei edes tiedä ohjelmiston olemassaolosta. Minitab keskustelee sujuvasti Accessin kanssa, joten laatureurantaan tekevän henkilön ei tarvitse tuntea eikä käynnistää Accessia. Accessin tietokantoihin luotuja hakuja voidaan käyttää siis suoraan Minitabista, jolloin haku palauttaa aineiston suoraan Minitabiin käyttäjän ulottuville. Tällä Accessista saadulla datalla voidaan suorittaa haluttuja analyyssejä.

Minitab on myös melko yksinkertainen käyttää. Jonkinlaista tietoa tilastollisista menetelmistä kuitenkin tarvitaan, jotta oikeanlaisten kuvaajien käyttö onnistuu, ja niitä osattaisiin vielä tulkitakin. Tulkitkaa helpottaa huomattavasti Minitabin Statguide, joka kertoo ja opastaa kaikkien työkalujen avulla luotujen analyysien sisällön yksityiskohtaisesti. Tämän avulla käyttäjä oppii helposti tulkitsemaan kuvaajia, ja myös oppii tilastotieteen teorioita. Käyttöliittymältään ohjelma muistuttaa jonkun verran Exceliä, joten sen pariin on mielestäni melko helppoa siirtyä. Minitabin avulla voi esim. suodattaa, lajitella tai järjestää aineistoa käyttäjän tarpeiden mukaisesti. Vastaavasti kuten Excelillä, myös Minitabilla voidaan luoda käyttäjää helpottavia makroja. Makrojen toiminta kuitenkin on jonkin verran erilaista, kuin mihin Excelin käyttäjät ovat tottuneet. Minitabin makrojen avulla voidaan esimerkiksi luoda pikakuvake, jota klikkaamalla ohjelma hakee automaattisesti Accessista tarvittavat aineistot. Makroon voi myös sisällyttää tarvittavien kuvaajien piirtämisen. Tällaisena apuvälineenä voitaisiin nähdä sovellus, joka piirtää FPY- ja pareto-kuvaajat tietyltä halutulta ajanjaksolta. Näiden lisäksi makro voisi edelleen luoda vaikka ”Capability Six Pack” –kuvaajat jokaisesta testipisteestä. Kuvaajista näkisi nopeasti yleisvaikutelman seurattavasta ajanjaksosta. Makrojen luominen on erittäin yksinkertaista. Kun Minitabilla tekee jonkun toiminnon esim. luo kuvaajan tai jakaa aineiston pienempiin osiin, Minitabin loki tallentaa tehdyt komennot Makrojen mukaisessa muodossa, minkä käyttäjä voi tallentaa. Näin ollen Makroja ei tarvitse itse kirjoittaa, vaan niiden muodostaminen muistuttaa paljon Excelin Makrojen nauhoitusta.

Makrojen tuomasta automaattisuudesta huolimatta Minitabin parhaana ominaisuutena Excelin tai itse tehdyn ohjelman avulla rakennettuun analyysityökaluun verrattuna on se, kuinka helppoa ja nopeaa Minitabilla on tehdä erilaisia analyyssejä. Tämä siitä syystä, että Minitabissa on erittäin paljon valmiita tilastollisia työkaluja, joiden implementointi johonkin toiseen ratkaisumalliin toisi aina paljon uutta työtä. Minitab sisältää myös Excelin kanssa hyvin samanlaiset datan lajitteluominaisuudet. Toisaalta kuvaajia ja näkymiä ei aina saa juuri sen näköisiksi, kuin käyttäjä haluaisi, kun taas itse tekemällä saisi juuri sellaisen kuin itse haluaa ja mihin ohjelmointitaidot riittävät.

Nykyisessä siirtymävaiheessa, jossa jokainen testeri tuottaa erilaisessa muodossa

olevaa dataa, joka ei ole myöskään reaaliaikaisesti saatavilla, joudutaan jokainen datapaketti siirtämään manuaalisesti omaan tietokantaansa. Tässä vaiheessa data on käytettävä aina Excelin kautta, jotta muutamat tarvittavat sarakkeet saadaan lisättyä aineistoon. Tarvittavat lisätiedot riippuvat aina käytettävän datan muodosta, tai toisin sanoen siitä, mitä analysoinnin kannalta tärkeitä tietoja aineistosta puuttuu.

Johdannossa on määritelty ne tavoitteet ja ominaisuudet, joita seurantatyökalun tulisi täyttää. Minitabin ja Accessin avulla näihin tavoitteisiin päästään kun ohjelmia käytetään tehokkaasti. Seuraavaksi näitä tavoitteita tarkastellaan yhdessä Minitabin ominaisuuksien kanssa.

Viallisten piirikorttien valmistusvirheiden selvittäminen onnistuu Minitabilla esim. Pareto-analyysillä, jonka avulla saadaan selville ne testipisteet joissa testattavat piirikortit tulevat hylätyiksi. Tämän jälkeen analysointia voidaan tarkentaa näille ongelma-alueille.

Systemaattiset valmistusvirheiden löytäminen voidaan tehdä kenties helpoiten keskiarvo- ja vaihteluvälikaavioilla, joista nähdään tietyn testipisteiden trendi ajan suhteen. Ongelmallinen ajanjakso voidaan selvittää mm. FPY-seurannalla, kun taas ongelmalliset testipisteet löytyvät Pareto-analyysillä.

Testeriin liittyvien ongelmien haku voidaan yksinkertaisimmillaan toteuttaa histogrammilla, jonka avulla nähdään onko testipisteiden sähköisessä liittynässä jotain ongelmia. Tällaisia ongelmia on esim. huono kontakti kortin ja neulapedin välillä tai testerissä oleva oikosulku. Testerissä olevia vikoja voidaan todeta myös Gage R&R –analyysillä.

Testerin testirajojen vertaaminen prosessin saantoon, eli kuinka suuri osa prosessista osuu testirajojen sisälle, voidaan tutkia Minitabin Capability Six Pack –työkalulla käyttäen erityisesti histogrammikuvaajaa.

Suunnittelulaatua voidaan parantaa käytettäessä jo mainittuja työkaluja. Niiden avulla pyritään löytämään ongelmia, jotka voisivat korjautua korttia muuttamalla. Tällainen analyysi ei ole kuitenkaan koskaan kovinkaan yksiselitteistä. On mahdollista, että kortti on huonosti suunniteltu, vaikka se läpäisisi kaikki testistepit hyvinkin suurella prosentilla. Kuten ensimmäisessä luvussa todettiin, suunnittelun laatu on sitä, kuinka hyvin kortille asetetut vaatimukset saadaan siirrettyä tuotteeseen.

Jos kenttäläadussa havaitaan poikkeuksellisen suurta vikaantumista tietyn piirikortin kohdalla, voidaan Access kannasta hakea tämän ajanjakson valmistetut piirikortit, ja pyrkiä analysoimaan vikaantumisen syyt ja laajuutta. Tämän pohjalta voidaan

tehdä kustannusanalyysijä sekä ryhtyä ongelman laajuuden vaativiin toimenpiteisiin.

Ongelmien lajittelu ei ole myöskään aivan yksinkertainen tehtävä, vaikka se esitellyillä työkaluilla onnistuukin kohtuullisen hyvin. Testauksen epäluotettavuutta voidaan tutkia Gage R&R –analyysillä. Testirajojen oikeellisuutta jo mainitulla Capability Six Pack –työkalulla. Suunnittelu- tai valmistusvirheitä ja komponenttien laatuongelmia onkin jo huomattavasti vaikeampi havaita suoraan tilastollisilla menetelmillä. Tällaisien ongelmien identifiointi vaatii jo tutkimusta suorittavalta henkilöltä näkemystä ja kokemusta tutkittavasta piirikortista sekä jonkinlaista ennakkotietoa esim. mikä komponenttiera voisi mahdollisesti olla virheellinen ja millä tavalla. Näiden tietojen perusteella voidaan ruveta tutkimaan tiettyä testisteppiä halutulla ajanjaksolla, ja yrittää löytää aineistosta haettuun ongelmaan viittaavaa säännönmukaisuutta.

## 5 YHTEENVETO

Nykyisessä tiukassa kilpailutilanteessa elektroniikkateollisuudessa uusilta tuotteilta odotetaan entistä lyhyempiä ramp-up -aikoja. Tällaisessa tilanteessa tuotteita siirretään tuotantoon ennen kuin niiden suunnittelu on viety loppuun asti. Suomen ABB:n taajuusmuuttajien loppukokoonpanon käyttämät piirikortit valmistetaan suurilta osin Suomen ulkopuolella jolloin tehtaiden välinen etäisyys tuo mukanaan vielä lisäongelmia. Laadun varmistaminen heti piirikorttituotannon ja -testauksen aloituksessa onkin erittäin suuri haaste, eikä prosesseissa saisi olla laajoja ja vakavia puutteita ja epäideaalisuuksia. Laadukkailla tuotteilla pyritään parempaan kustannustehokkuuteen ja sitä kautta parantuneeseen kilpailukykyyn.

Tuotannon ja testauksen toimintaa sekä laatua voidaan seurata ja sitä kautta kehittää. Erityisen hyväksi tietolähteeksi on havaittu toiminnallisen testerin mittausaineiston analysointi. Ongelmia on kuitenkin havaittu niin aineistossa kuin myös sen saatavuudessa. Mittausaineisto vaihtelee eri piirikorttien välillä, jolloin näiden prosessien välinen vertailu on vaikeaa. Jokaista piirikorttityyppiä varten tarvitaan myös mittausaineiston pohjalta kehitetyt omat analyysityökalut. Erilaisia piirikorttityyppejä on niin runsaasti käytössä, että yhtenäisemmälle linjalle on tarvetta. Mittausaineisto ei ole myöskään reaaliaikaisesti saatavilla vaan data siirretään piirikorttivalmistajalta ABB:lle sähköpostitse.

Jotta prosessien toimivuutta ja lopputuotteen laatua voitaisiin ylipäänsä analysoida, tarvitaan taustatietoa; mitä mitataan, miten mitataan ja mitä mittauksista voidaan saada selville. Tilastollisten ilmiöiden seuraamiseen ja analysointiin on kehitetty monia työkaluja, joiden käyttöä voidaan kutsua tilastolliseksi prosessinohjaukseksi (SPC). Erilaisia työkaluja käytetään erilaisia käyttökohteita varten ja niitä yhdistämällä voidaan saada hyvinkin yksityiskohtaista tietoa prosessin käyttäytymisestä. Tätä kautta päästään parantamaan niin prosessin kuin myös lopputuotteen laatua.

Piirikorttivalmistajan ja ABB:n välille rakennettavalla VPN-yhteydellä toiminnallisen testerin mittausdata saadaan reaaliaikaisesti hyödynnettyä. Valmistusprosessissa olevien ongelmien takia piirikorttituotanto saattaa seistä. VPN-yhteyden avulla prosessissa olevia ongelmia päästään välittömästi havainnoimaan ja korjaamaan. Tämä nopeuttaa vian selvitystä ja lyhentää tuotantokatkon pituutta.

Laatuseurantaa voidaan käytännössä toteuttaa erilaisilla tavoilla. Yhtenä vaihtoehtona on käyttää Microsoft Excelillä luotuja työkaluja, jotka perustuvat SPC:n hyväksikäyttöön. Tällaisia menetelmiä on tähän asti käytetty runsaasti laatuseurannan eri tasoilla. Toinen vaihtoehto olisi ohjelmoida itse käyttöön

soveltuva tietokoneohjelma, mutta parhaana vaihtoehtona voidaan pitää valmiiden kaupallisten ratkaisujen käyttöä. Koska ABB:lla on jo käytössä Minitab-lisenssi, oli kyseisen ohjelmiston valinta varsin luonnollinen. Minitab sisältää runsaasti erilaisia valmiita tilastollisia työkaluja, joiden avulla toiminnallisen testerin mittausdataa voidaan tehokkaasti analysoida. Datan varastointiin ja hakuun käytetään lisäksi Microsoft Accessia. Nämä ohjelmat keskustelevat sujuvasti keskenään, mikä helpottaa ohjelmien yhteiskäyttöä.

VPN-yhteyttä tai standardoitua datamuotoa ja analysointityökaluja ei kuitenkaan vielä päästy kokeilemaan käytännössä uusissa piirikorttiprojekteissa. Työssä mainittuja parannuksia kuitenkin testattiin jo käytössä oleviin tuotteisiin keräämällä mittausdataa tietokantoihin ja analysoimalla aineistoa Minitabin avulla.

## LÄHDELUETTELO

Gygi, C. & DeCarlo, N. & Williams, B. 2005. Six Sigma For Dummies. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley Publishing. 344 s. ISBN 0-7645-6798-5

Harry, M. J. 2000. "A new definition aims to connect quality with financial performance", Quality Progress, Vol. 33 No.1, s.64-6.

Kotler, P. & Keller K. L. 2005. Marketing Management. 12<sup>th</sup> ed. Boston, Massachusetts, USA: Prentice Hall. 816 s. ISBN 0-1214-5757-8

Lillrank, P. 2006. TU-22.1302 Quality Management –kurssimateriaali. Versio 6.4.

Oakland, J. S. 2003. Statistical Process Control. 5<sup>th</sup> ed. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann. 445 s. ISBN 0-7506-5766-9

Pressman, R. S. 2005. Software Engineering: A Practitioner's Approach. 6<sup>th</sup> ed. New York, New York, USA: McGraw – Hill. 912 s. ISBN: 0-07285-3182

Quality Knowhow Karjalainen: Minitab 15 –kurssimateriaali. 2007

Talvitie, O. 2006. Diplomityö: Procket-tuotantotestausaseman vaatimat tuotekohtaiset muutokset eri komponenttilevyjen tuotantotestauksessa. Espoo. 83 s.

Vesterholm, M & Kyppö, J. 2003. Java-ohjelmointi. 3. painos. Talentum Media Oy. 514 s. ISBN 951-762-832-3

Wheeler, D. J. & Poling, S. R. 1998. Building Continual Improvement. Knoxville, Tennessee, USA: SPC Press, Inc. 320 s. ISBN 0-945320-50-7

Väisälä, T. 2006. Napa 10: Quality measurement project, Literature Study. [00522247.doc](#)

Quality Knowhow Karjalainen: Mitä laatu tarkoittaa ja kuinka on saavuttu tämän päivän laatuun? (viitattu 18.5.2007). Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/?sivu=Artikkelit&id=61>

Cost of Poor Quality – COPQ (viitattu 18.5.2007). Saatavissa: [http://www.isixsigma.com/dictionary/Cost\\_of\\_Poor\\_Quality\\_-\\_COPQ-63.htm](http://www.isixsigma.com/dictionary/Cost_of_Poor_Quality_-_COPQ-63.htm)

Cost of Conformance (viitattu 18.5.2007). Saatavissa: [http://www.isixsigma.com/dictionary/Cost\\_Of\\_Conformance-498.htm](http://www.isixsigma.com/dictionary/Cost_Of_Conformance-498.htm)

Internet Engineering Task Force (IETF). RFC 2764. Virtual Private Network – VPN. (viitattu 18.5.2007). Saatavissa: <http://tools.ietf.org/html/rfc2764>

Internet Engineering Task Force (IETF). RFC 2637. Point-to-Point Tunneling Protocol. (viitattu 18.5.2007). Saatavissa: <http://tools.ietf.org/html/rfc2637>

# LIITTEET

## Liite 1

Taulukko: Vakioita kontrollirajojen laskemiseksi (Oakland 2003)

Sample size (n)	Constants for use with mean range (R)				Constants for use with standard deviation ( $\sigma$ )				Constants for use in USA range charts based on R	
	$D'_{0.999}$	$D'_{0.001}$	$D'_{0.975}$	$D'_{0.025}$	$D_{0.999}$	$D_{0.001}$	$D_{0.975}$	$D_{0.025}$	$D_2$	$D_4$
2	0.00	4.12	0.04	2.81	0.00	4.65	0.04	3.17	0	3.27
3	0.04	2.98	0.18	2.17	0.06	5.05	0.30	3.68	0	2.57
4	0.10	2.57	0.29	1.93	0.20	5.30	0.59	3.98	0	2.28
5	0.16	2.34	0.37	1.81	0.37	5.45	0.85	4.20	0	2.11
6	0.21	2.21	0.42	1.72	0.54	5.60	1.06	4.36	0	2.00
7	0.26	2.11	0.46	1.66	0.69	5.70	1.25	4.49	0.08	1.92
8	0.29	2.04	0.50	1.62	0.83	5.80	1.41	4.61	0.14	1.86
9	0.32	1.99	0.52	1.58	0.96	5.90	1.55	4.70	0.18	1.82
10	0.35	1.93	0.54	1.56	1.08	5.95	1.67	4.79	0.22	1.78
11	0.38	1.91	0.56	1.53	1.20	6.05	1.78	4.86	0.26	1.74
12	0.40	1.87	0.58	1.51	1.30	6.10	1.88	4.92	0.28	1.72



## Liite 2

Taulukko: RMIO-testerin mittausdataa

operator	serial number	sn	PWM	fixture ID	resistor	supply current	date
Antti	64379143J7010594	J7010594	159877,7		2009,28	0,374	12:56:27 PM
Antti	64379143J7010594	J7010594	159822,1		2008,497	0,373	2:11:22 PM
Antti	64379143J7010594	J7010594	159338,1		2007,826	0,371	3:40:48 PM
Mika	64379143J7010594	J7010594	160065,5		2010,119	0,375	12:41:05 PM
Mika	64379143J7010594	J7010594	159943		2008,519	0,374	1:54:27 PM
Antti	64379143J7010594	J7010594	159957,5		2008,184	0,375	2:43:44 PM
Mika	64379143J7010594	J7010594	159545,5		2008,105	0,372	2:47:21 PM
Mika	64379143J7010594	J7010594	159957,6		2007,848	0,374	3:38:27 PM
Antti	64379143J7010721	J7010721	158687,8		2009,817	0,375	1:14:15 PM
Antti	64379143J7010721	J7010721	158524,6		2008,564	0,366	2:00:00 PM
Antti	64379143J7010721	J7010721	158521,2		2007,949	0,366	3:12:49 PM
Antti	64379143J7010721	J7010721	158522,5		2008,24	0,366	4:13:30 PM
Mika	64379143J7010721	J7010721	158662,6		2010,31	0,374	12:38:46 PM
Mika	64379143J7010721	J7010721	158529,6		2008,967	0,373	1:34:45 PM
Mika	64379143J7010721	J7010721	158560,1		2008,139	0,366	2:44:34 PM
Mika	64379143J7010721	J7010721	158232,4		2008,027	0,365	3:18:17 PM
Antti	64379143J7070431	J7070431	161669,8		2009,269	0,373	1:26:36 PM
Antti	64379143J7070431	J7070431	161597,2		2008,363	0,371	2:16:24 PM
Antti	64379143J7070431	J7070431	161410,4		2008,251	0,371	2:55:09 PM
Antti	64379143J7070431	J7070431	161499,2		2008,642	0,371	4:04:06 PM
Mika	64379143J7070431	J7070431	161772,7		2009,828	0,379	12:45:57 PM
Mika	64379143J7070431	J7070431	161558,9		2008,732	0,371	1:44:35 PM
Mika	64379143J7070431	J7070431	161624,5		2008,217	0,371	2:41:13 PM
Mika	64379143J7070431	J7070431	161636,7		2007,871	0,37	3:36:01 PM
Antti	64379143J7070558	J7070558	161484,4		2009,392	0,374	1:24:10 PM
Antti	64379143J7070558	J7070558	161330		2008,419	0,373	2:13:47 PM
Antti	64379143J7070558	J7070558	161383,2		2008,318	0,373	2:57:35 PM
Antti	64379143J7070558	J7070558	161468,3		2008,34	0,372	4:11:14 PM
Mika	64379143J7070558	J7070558	161601,8		2009,381	0,375	12:53:38 PM
Mika	64379143J7070558	J7070558	161399,7		2008,642	0,372	1:49:39 PM
Mika	64379143J7070558	J7070558	161381,8		2008,273	0,373	2:38:49 PM
Mika	64379143J7070558	J7070558	161434,2		2007,882	0,371	3:33:42 PM
Antti	64379143J7080127	J7080127	157266,6		2009,773	0,375	1:16:46 PM
Antti	64379143J7080127	J7080127	157221,4		2008,296	0,375	2:18:59 PM
Antti	64379143J7080127	J7080127	157245,1		2007,982	0,375	3:10:02 PM
Antti	64379143J7080127	J7080127	157223		2008,464	0,375	4:08:53 PM
Mika	64379143J7080127	J7080127	157327,9		2009,951	0,375	12:43:27 PM
Mika	64379143J7080127	J7080127	157174,4		2008,989	0,375	1:37:09 PM
Mika	64379143J7080127	J7080127	156820,7		2008,229	0,374	2:22:42 PM
Mika	64379143J7080127	J7080127	157020,7		2007,994	0,374	3:20:36 PM
Antti	64379143J7080197	J7080197	159325,3		2009,079	0,375	1:31:36 PM
Antti	64379143J7080197	J7080197	159123,6		2008,575	0,375	2:03:47 PM
Antti	64379143J7080197	J7080197	159172,5		2008,296	0,375	3:00:12 PM
Antti	64379143J7080197	J7080197	159281		2008,128	0,375	4:15:49 PM
Mika	64379143J7080197	J7080197	159409,7		2009,482	0,375	12:51:08 PM
Mika	64379143J7080197	J7080197	159143,5		2008,676	0,375	1:47:07 PM
Mika	64379143J7080197	J7080197	159221,3		2008,273	0,375	2:36:16 PM
Mika	64379143J7080197	J7080197	159212,1		2007,938	0,375	3:31:13 PM
Antti	64379143J7080325	J7080325	161795,6		2009,549	0,376	1:21:42 PM
Antti	64379143J7080325	J7080325	161605,6		2008,609	0,376	2:09:01 PM
Antti	64379143J7080325	J7080325	161762,9		2008,083	0,376	3:07:32 PM
Antti	64379143J7080325	J7080325	161767		2008,553	0,376	4:06:25 PM
Mika	64379143J7080325	J7080325	161894,9		2009,728	0,377	11:22:18 AM
Mika	64379143J7080325	J7080325	161662,6		2008,945	0,376	1:39:34 PM
Mika	64379143J7080325	J7080325	161666,3		2008,229	0,376	2:25:03 PM
Mika	64379143J7080325	J7080325	161561,1		2008,005	0,376	3:22:59 PM
Antti	64379143J7080458	J7080458	158151,5		2009,694	0,372	1:19:12 PM
Antti	64379143J7080458	J7080458	157929,7		2008,62	0,372	2:06:27 PM
Antti	64379143J7080458	J7080458	158051,3		2008,128	0,372	3:05:03 PM
Antti	64379143J7080458	J7080458	158138,6		2007,982	0,373	4:20:27 PM
Mika	64379143J7080458	J7080458	158234,8		2010,466	0,373	12:34:24 PM
Mika	64379143J7080458	J7080458	158069,2		2008,587	0,372	1:52:06 PM
Mika	64379143J7080458	J7080458	157976,7		2008,195	0,373	2:27:35 PM
Mika	64379143J7080458	J7080458	157943,8		2007,971	0,372	3:25:21 PM
Antti	64379143J7080492	J7080492	159462,6		2009,157	0,376	1:29:04 PM
Antti	64379143J7080492	J7080492	159270,7		2008,497	0,376	1:59:08 PM
Antti	64379143J7080492	J7080492	159361,1		2008,206	0,376	3:02:37 PM
Antti	64379143J7080492	J7080492	159470,2		2008,061	0,376	4:18:11 PM
Mika	64379143J7080492	J7080492	159566,1		2009,638	0,376	12:48:27 PM
Mika	64379143J7080492	J7080492	159300,1		2008,844	0,376	1:42:00 PM
Mika	64379143J7080492	J7080492	159423,7		2008,318	0,376	2:33:44 PM
Mika	64379143J7080492	J7080492	159363,2		2007,915	0,376	3:27:42 PM

## Liite 3

Seuraava ohjeistus toimitetaan toiminnallisten testerien valmistajille, jotta testeriin ja sen keräämään data-aineistoon saadaan halutut ominaisuudet.

### Data format

The data format that the functional tester collects must be according the following instructions. The data must be stored to a database accessible with Microsoft Access. This database is divided to three tables

Status

Results

Limits

### *Status*

Every time a PCB is tested in the functional tester a new row is generated to the Status table. So if the same PCB board is tested for e.g. three (3) times the status table contains three rows with the same serial number.

There must be following fields in the status table:

Serial number, which includes information about

- MRP-code, which is the material code of the PCB
- Serial, which is the serial number of the PCB
- Manufacturer, which is the manufacturer code

Test time, the time and date when the test took place

Result, did the PCB PASS or FAIL the test

Step count, which tells how many test steps the PCB has taken in the functional tester. If the PCB fails the test the index and the name of the specific test steps are stored to this field.

Test software version

Test limits version

Tester version

The number of test, when a PCB is tested first time in the functional tester the field gets a value of 1. If the same specific PCB is tested another time the field gets a value of 2 etc.

The ID of the operator, which is the ID number of the tester operator

The ID of the tester

The ID of the fixture

Comments, a fixed text is stored here to inform if the test made is normal production test, pilot testing, proto testing, maintenance, Gage R&R analyse or if the test was done during ramp-up phase

- NORMAL
- PILOT
- PROTO
- MAINTENANCE
- GAGE R&R
- RAMP-UP

### ***Results***

Likewise with the Status table a new row is generated to the Results table every time a PCB is tested in the functional tester. Results table contains the actual test results of the each test step. In addition some information about PCB and test count must be stored.

Serial number, similar field with the Status table in order to identify the tested PCB.

The number of test, this is also a similar field with Status table. This field is used to connect the correct information together from Status and Results

tables. E.g. if a PCB is tested two times in the functional tester some identification is needed to distinguish these tests from another.

P1...Pn, the actual results of the test steps. The result of the first step is stored to the P1 and so on.

### ***Limits***

Limits table contains the test limits of the each test steps. Also information about test limit revisions are stored in this table.

MRP-code, which is the material code for the PCB tested in the tester

Test point, this field contains following information about the specific test point

- Index, the number of the test step
- Name, the name of the test step

Test limits version, revision number of the test limits

MIN, lower limit of the test step

MAX, upper limit of the test step

### **Data accessibility**

The data collected by the functional tester must be available to FIDRI. The best way to handle this is to establish VPN (Virtual Private Network) connection between FIDRI and PCB manufacturers' tester computer. With VPN connection the tester data can be monitored and analyzed in real time by FIDRI personnel. When the tester data is always accessible the analysis of the manufacturing and testing processes can be done by FIDRI and there is no need to generate any quality reports by the manufacturer when FIDRI can make the needed actions they think is necessary. The VPN connection establishment must be arranged case by case in cooperation with FIDRI.