

Juho Viitanen

## 2D-mittalaitteen hankintaprojekti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

25.3.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Juho Viitanen 2D-mittalaitteen hankintaprojekti 48 sivua + 1 liite 25.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaajat	Tuntiopettaja Tero Karttiala  Tehdasjohtaja Juha Tolvanen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Meconet Oy:lle, joka on pohjoiseurooppalainen jousien, lanka-, meisto- ja syvävetotuotteiden valmistaja. Työssä keskitytään laadunseurannan parantamiseen. Työn tarkoituksena on hankkia yritykselle käyttötarkoitukseen sopiva 2D-mittalaite tuotannon aikaisen laadunseurannan tueksi.</p> <p>Tavoitteena on 2D-mittalaitteen hankinnan avulla minimoida mittausepävarmuutta sekä nopeuttaa mittausprosessia. Mittalaitteen avulla pyritään vähentämään mittauksessa aiheutuvaa vaihtelua operaattorien välillä.</p> <p>Työn aikana tutustuttiin markkinoilla oleviin erilaisiin mittalaitteisiin, suoritettiin laitteiden kilpailutusta ja testimittauksia sekä tehtiin tutkimusta siitä, minkälainen laite palvelisi parhaiten yritystä toivotussa käyttötarkoituksessa. Työssä käsitellään mittalaitteiden tekniikkaa sekä laajasti mittaukseen liittyvää teoriaa siihen sopivaksi valitun kirjallisuuden pohjalta.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin laaja vertailu markkinoilla olevista mittalaitteista, mikä perusteella yritykselle hankittiin käyttötarkoitukseen sopiva 2D-mittalaite tuotannon laadunseurannan tueksi. Lisäksi yrityksen tavoitteena on 2D-mittalaitteen avulla hyödyntää tilastollista prosessin ohjausta (SPC).</p>	
Avainsanat	Konenäkö, 2D-mittalaitteet, SPC, mittausepävarmuus

Author Title	Juho Viitanen Acquisition Project of 2D Measuring Instruments
Number of Pages Date	48 pages + 1 appendix 25 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production technology
Instructors	Tero Karttiala, Lecturer  Juha Tolvanen, Plant Director
<p>This Bachelor's thesis was carried out for Meconet Oy which is a North-European manufacturer of springs, stampings, deep drawn products and qualified assembly works. The thesis focuses on improving the company's quality control. The aim was to acquire a suitable 2D measuring device for the company to support the quality control of the production process.</p> <p>The purpose of the 2D measuring device is to minimize the measuring uncertainty and speed up the measuring process. The objective is to reduce variation in the measuring process between operators.</p> <p>During the project, the markets of 2D measuring devices were studied and test measurements were made. Comprehensive research about the most suitable measuring instruments was also carried out. In addition, the principles of measuring instruments were examined and the theory of the measuring process was described on the basis of topic-related literature.</p> <p>As a result, a comprehensive comparison of measuring instruments was made and 2D measuring units were acquired by the company to support quality control. Furthermore, the company will implement the Statistical Process Control (SPC) with the acquired 2D measuring instruments.</p>	
Keywords	Machine vision, 2D-measuring device, SPC, measurement uncertainty

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn rajaus	1
1.2	Työn tavoite	2
2	Meconet Oy	2
2.1	Yrityksen toiminta ja historia	2
2.2	Vantaan tehdas	3
3	Konenäkö	4
3.1	Konenäön periaate	4
3.2	2D-mittaus	5
3.3	3D-mittaus	7
4	Käytössä olevat mittausmenetelmät Meconet Oy Vantaan tehtaalla	7
4.1	Työntömitta	7
4.2	Profiiliprojektori	8
4.3	3D-videomittalaite	9
4.4	Koordinaattimittakone	10
5	Mittausepävarmuus	12
5.1	Mittausjärjestelmän suorituskyky	12
5.2	Mittausjärjestelmän vaihteluun vaikuttavat tekijät	14
5.3	Gage R&R -testi	16
5.4	Mittalaitteen kalibrointi	17
6	Tilastollinen prosessinohjaus, SPC	18
6.1	SPC:n historia	19
6.2	SPC:n yleisimpiä menetelmiä	19

6.3	Prosessin vaihtelu, jakauma ja hajonta	22
6.4	Valvontarajat	26
6.5	Toleranssirajat	26
6.6	Tavoitearvo	26
6.7	Valvontakortit	26
6.8	SPC-ohjelmistot	28
6.8.1	Mitutoyo Measurlink	28
6.8.2	Mittaustietojen käsittelyohjelmistot	29
7	Lean	30
7.1	Poka yoke	30
7.2	Kaizen	31
7.3	Kanban	31
7.4	SMED	32
7.5	5S-menetelmä	32
8	Projektin vaiheet	33
8.1	Tutustuminen konenäköjärjestelmiin	33
8.2	Yhteydenotto toimittajiin	33
8.3	Testimittaukset	33
8.3.1	Mitutoyo	34
8.3.2	Keyence	38
8.3.3	OGP	41
8.4	Yhteenveto	42
8.5	Laitteen valinta ja tilaaminen	43
9	Käyttöönottosuunnitelma Meconet Oy:llä	45
10	Päätelmät	47
10.1	Projektin onnistuminen	47
10.2	Toimeksiantajan tyytyväisyys projektiin	47
10.3	Projekti oppimisen kannalta	47
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1. Keyence IM-6225, tekniset tiedot	

## Lyhenteet

CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus.
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
QFD	Quality Function Development. Lyhenne menetelmistä, joita käytetään tuotekehityksessä ja kehitykseen liittyvässä vaatimusten hallinnassa.
SMED	Single Minute Exchange of Dies, Lean-työkalu, jonka avulla pyritään minimoimaan tuotannossa laadunvaihtoon kuluva aika.
SPC	Statistical process control. Prosessinohjausmenetelmä, joka perustuu tilastotieteeseen ja mittaamiseen. Laatu työkalu, jota käytetään prosessin hallintaan ja laadunvarmistukseen.

## 1 Johdanto

*Aikoinaan myyjä ja ostaja olivat välittömästi tekemisissä toistensa kanssa. Tuotteen laatu arvioitiin heti markkinoilla ja kauppapaikoilla. Hinta määräytyi lopputuotteen laatuominaisuuksien perusteella. Laadulla on siis ollut aina suuri merkitys liiketoiminnassa. (Lecklin 2006, 15.)*

Nykyään laadun merkitystä yritykselle ei voi vähätellä. Laatu on yrityksen suurimpia kilpailuvaltteja. Jatkuva laatuun panostaminen ja kehittäminen ovat avainasemassa yrityksen menestyksen näkökulmasta. Yritykset kehittävät laatutoimintaansa nykyään jatkuvasti erilaisilla projekteilla.

Tämä insinööriyö keskittyy laatuun, sen kehittämiseen ja seurantaan. Työ tehtiin Meconet Oy:lle, joka on pohjoiseurooppalainen jousien, lanka, meisto- ja syvävetotuotteiden valmistaja. Työn tarkoitus on hankkia yritykselle käyttötarkoitukseen sopiva 2D-mittalaite tuotannonaikaisen laadunseurannan tueksi. Tämän hetkinen tuotannonaikainen laadunseuranta suoritetaan työntömittaa tai projektorilla käyttäen operaattorien toimesta. Lisäksi yrityksellä on myös 3D-videomittauslaite tarkempia mittauksia varten sekä koordinaatiomittauskone. 3D-mittalaitteen tarkkuus ja luotettavuus ovat erittäin hyvät, mutta sen hitaus on este tuotannonaikaiseen (ONLINE) laadun seurantaan, sillä tuotannonaikaiset volyymit ovat usein hyvin suuria ja mittauksia pitää tehdä paljon. Tavoitteena on saada vastaavaa tarkkuutta myös tuotannonaikaiseen laadun seurantaan.

### 1.1 Työn rajaus

Mittalaitteiden toimitusajat vaihtelevat usein ja saattavat olla useita kuukausia tilauksesta. Tästä syystä mittalaitteen käyttöönotto on rajattu työn ulkopuolelle. Työhön sisältyy tutustuminen markkinoilla oleviin konenäkölaitteisiin, laitteiden kilpailutus, testimittaukset, tutkimus siitä minkälainen laite palvelisi parhaiten yritystä toivotussa käyttötarkoituksessa sekä lopulta esitys yrityksen johdolle laitevalinnasta.

## 1.2 Työn tavoite

2D-mittalaitteen hankinnan tavoitteena on minimoida mittausepävarmuutta sekä nopeuttaa mittausprosessia. Operaattorien välillä mittaustapa voi vaihdella, jokaisella on oma tyyhinsä ja tapansa tehdä mittaus, mistä aiheutuu epäsuotuisaa vaihtelua mittauksien välillä. Tämä vaihtelu aiheuttaa mittausepävarmuutta, mikä taas heikentää laatua. Mittausepävarmuutta on mahdollista tutkia eri menetelmillä, joista ehkä tunnetuin on Gage R&R -testi.

Tavoitteena on myös ottaa käyttöön yrityksellä jo entuudestaan oleva, mutta lähes olemattomalle käytölle jäänyt Mitutoyo MeasureLink ohjelma, sekä yhdistää 2D-mittalaite ohjelmaan SPC-tiedon (tilastollinen prosessin ohjaus) keräämistä varten.

## 2 Meconet Oy

### 2.1 Yrityksen toiminta ja historia

Meconet on pohjoiseurooppalainen jousien, lanka-, meisto- ja syvävetotuotteiden valmistaja. Yritys suunnittelee ja valmistaa tarkkoja metallikomponentteja ja tekee vaativia kokoonpanoja asiakkaiden tarpeisiin. Tyypillisiä asiakkaita ovat tietoliikenne-, sähkötuote-, elektroniikka- ja kuljetusalan yritykset, sekä terveyden- ja rakennusalan yritykset. (Meconet Oy 2017.)

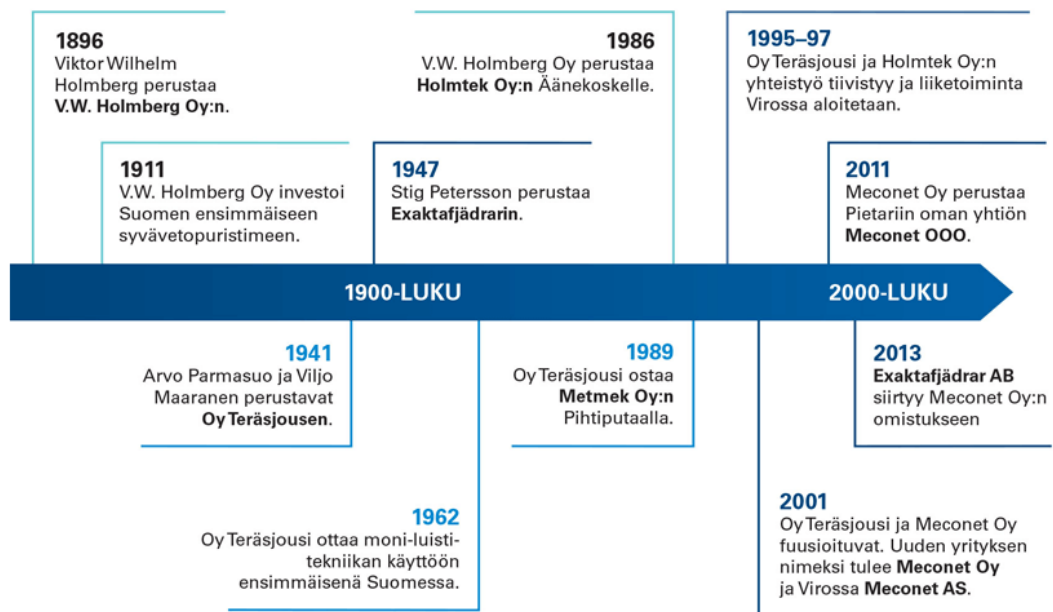
Meconetin valmistus tapahtuu viidessä omaan osaamisalueeseensa keskittyvässä tehtaassa. Toimipisteitä ovat Vantaa, Äänekoski, Pihtipudas, Tallinna ja Tukholma. Meconet AS on Meconetin virolainen tytäryhtiö, joka tekee vaativia kokoonpanoja Tallinnassa laadukkaasti ja kustannustehokkaasti. Meconet on toiminut Baltiassa jo vuodesta 1997. Meconet OOO on Meconetin venäläinen tytäryhtiö, joka hoitaa myyntiä ja asiakaspalvelua Pietarissa. Se on toiminut Venäjällä vuodesta 2011, ja strategiana on lokalisoida valmistusta Venäjällä. Exaktafjädrar AB on Meconetin ruotsalainen tytäryhtiö, joka suunnittelee ja valmistaa jousituotteita Tukholmassa. Meconet on hankkinut yrityksen omistukseensa vuonna 2013. Yrityksen tavoitteena on panostaa vahvasti kasvuun Euroopan markkinoilla. Tämä työ tehtiin Vantaan Honkanummentien tehtaalle, joka toimii myös Meconetin pääkonttorina. (Meconet Oy 2017.)



Meconet Oy tarjoaa kattavasti koko palveluketjun asiakkaalle sopivista tuoteratkaisuista, sekä suunnittelusta ja valmistuksesta. Suunnittelu kattaa vaiheet, joita voivat olla tuotemallinnus, simulointi, valmistusmenetelmien valinta, prototyöt ja piensarjat, sekä tuotannossa käytettävien työkalujen suunnittelu ja valmistus. Yrityksen toiminta perustuu Lean filosofiaan ja tehtaalla on käytössä useita Lean-työkaluja, kuten Kaizen, SMED, Poka-yoke, Kanban ja 5S. Kerron näistä Lean työkaluista tarkemmin opinnäytetyön myöhemmässä osassa. (Meconet Oy 2017.)

Meconet on perheyhtiö, jolla on yli 100 vuoden historia ja kokemus. Kuva 1 havainnollistaa Meconetin historian ja kehityksen nykyiseen muotoonsa.

#### KOKEMUSTA JA KEHITYSTÄ KOLMELLA VUOSISADALLA



Kuva 1. Meconet Oy:n historia ja kehittyminen (Meconet Oy 2017).

## 2.2 Vantaan tehdas

Meconet Oy:n Vantaan tehtaalla tuotanto perustuu suurimmaksi osaksi meistoon eli meistaukseen. Sillä tarkoitetaan metallituotteiden käsittelyssä käytettävää menetelmää, jolla viimeistellään käsiteltävänä oleva pintamateriaali leikkaamalla tai puristamalla se haluttuun muotoon. Meistettävien tuotteiden valmistuksessa käytetään joko puristin- tai moni-luistiteknologiaa. Puristimilla valmistettavia osia ovat esimerkiksi erilaiset kotelot, häiriösuo-

jat ja sähkötekniset ohutlevyosat. Raaka-ainerainan eli koneeseen kelalta syötettävän ohutmetallilevyn leveys vaihtelee yleisesti 5–400 mm:n ja paksuus 0,1–5 mm:n välillä. Moniluistiautomaateilla valmistetaan muotojousia, kiinnittimiä ja liittimiä esimerkiksi sähkötuote- ja elektroniikkateollisuudelle. Moniluistiteknologian etuna on pieni materiaalihukka. (Meconet Oy 2017.)

Lisäksi Bihler Multicenter -automaateilla valmistetaan useampaa komponenttia samanaikaisesti sekä kokoonpannaan komponentteja isommiksi tuoteyksiköiksi. Teknologian avulla on mahdollista käyttää useampia tekniikoita komponenttien liittämiseen toisiinsa. Tällaisia tekniikoita ovat esimerkiksi ruuvaus, niittaus, hitsaus tai juotos. Erityisesti hopeakontaktipintojen hitsaus kupari- tai messinkinauhaan voidaan tehdä Bihler Multicenter -tekniikalla tehokkaasti. (Meconet Oy 2017.)

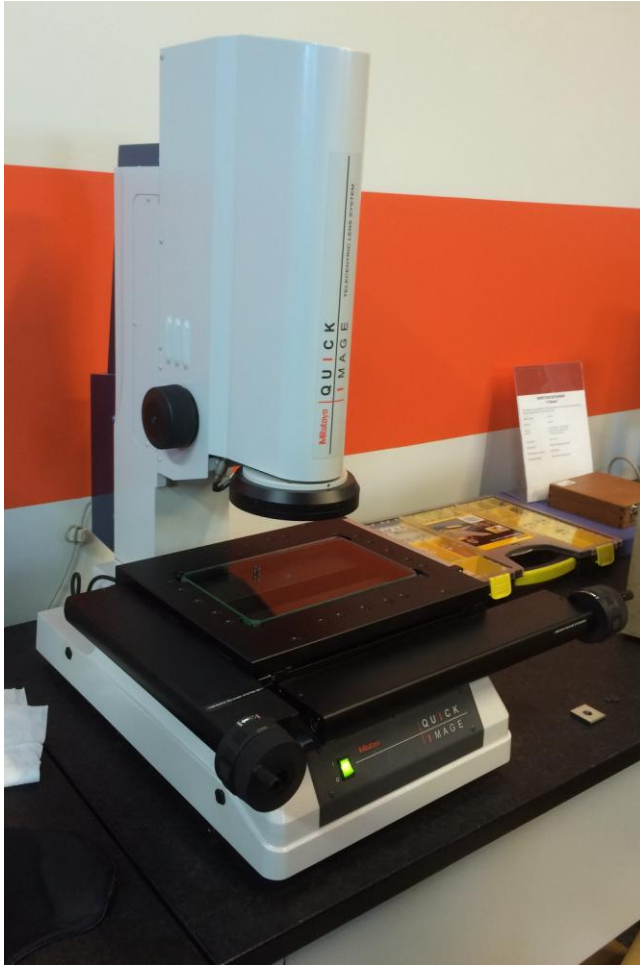
Meconet Vantaan toimipisteellä on tuotannon lisäksi oma työkalunvalmistus-, myynti-, proto- sekä suunnitteluosasto.

### **3 Konenäkö**

#### **3.1 Konenäön periaate**

Konenäkö perustuu kameran ja tietokoneohjelman väliseen yhteistyöhön. Tietokoneohjelma opetetaan analysoimaan kameran ottamasta kuvasta haluttuja parametreja. Näiden mitattujen parametrien avulla ohjelma pystyy tunnistamaan kuvasta mahdolliset laatupoikkeamat, ottamaan tarkat mitat ja tehostamaan tuotantoprosessia. Konenäön avulla helpotetaan myös työntekijöiden arkea nopeuttamalla mittauksia sekä parantamalla mittauksen tarkkuutta. Yksinkertaistettuna konenäköjärjestelmät perustuvat tietokoneesta, ohjelmistosta, kamerasta, optiikasta ja valaistuksesta. Valaistus valaisee kuvattavaa kohdetta, jonka kamera kuvaa ja tietokone tekee ohjelmistonsa mukaisesti halutut analyysit. (Hiottu Oy 2016.)

Kuvassa 2 on Mitutoyon QuickImage 2D-mittalaite. Laitteen akseleiden liikkeet toimivat manuaalisesti käsin liikuttamalla. Laitteesta on kehitteillä myös CNC-toiminen malli, missä akseleiden liikkeet toimivat automaattisesti.

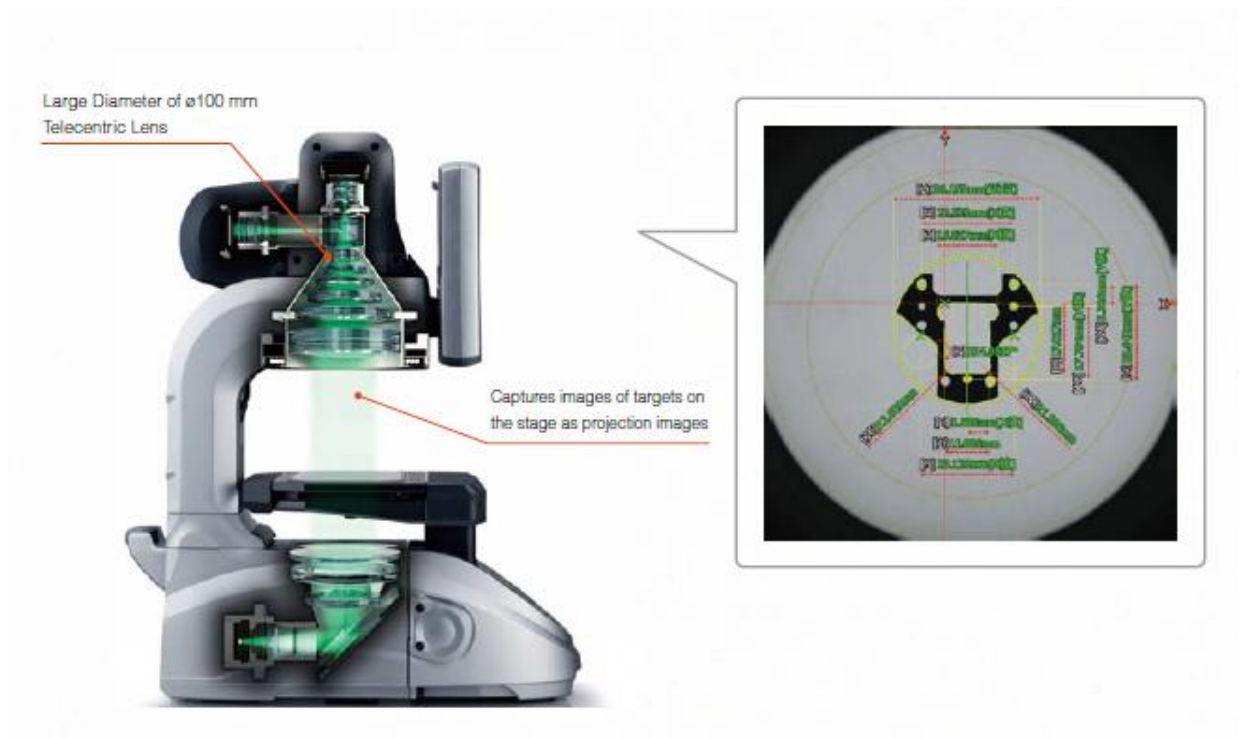


Kuva 2. Mitutoyo QuickImage 2D-mittalaite.

### 3.2 2D-mittaus

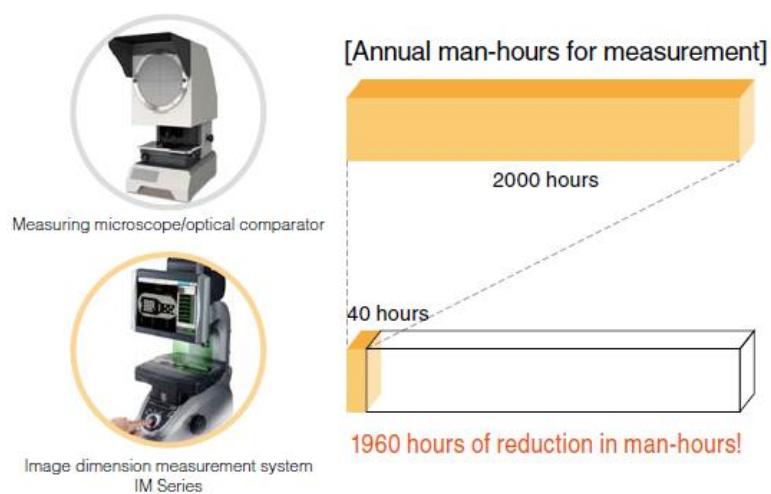
Mittaus perustuu mittalaitteen kameran telesentrisiin linssihin. Telesentrinen optiikka parantaa mittaustarkkuutta, kun kappaleen etäisyys suhteessa kameraan ei pysy vakiona. Tämä tuo selkeän parannuksen verrattaessa normaaliin optiikkaan Telesentrisessä linssissä valo kennolle tuotetaan aina samansuuntaisesti. Menetelmän ansiosta kuvan koko ei muutu etäisyyden muuttuessa. Tämä tarkoittaa sitä, että mittatarkkuus säilyy riippumatta kappaleen etäisyydestä kameraan.

Kuva 3 havainnollistaa mittalaitteen rakennetta sekä laitteen kameran muodostamaa kuvaa tietokoneelle, missä ohjelma tekee halutut mittaukset kappaleelle.



Kuva 3. Keyence IM-6225 2D-mittalaitteen rakenne, sekä esimerkki minkäläisen kuvan laitteen kamera muodostaa kappaleesta tietokoneelle (Keyence 2017).

Kuvassa 4 vertaus, kuinka paljon on mahdollista säästää aikaa mittauksessa verrattaessa 2D-mittausta profiiliprojektorilla tai mittausmikroskoopilla mittaamiseen. Säästetty aika voidaan näin käyttää kokonaisuudessaan tuotantotyöhön.



Kuva 4. 2D-mittaus vs. profiiliprojektori/mikroskooppi (Keyence 2017).

### 3.3 3D-mittaus

Puhuttaessa 3D-mittauksesta huomioidaan xy-tason lisäksi myös syvyysmittaus eli z-suuntainen mittaus. Syvyysmittausta on mahdollista tehdä optisesti ilman kosketusta, mutta yleisesti siihen käytetään kosketusanturia. Useisiin optisiin mittalaitteisiin saa lisävarusteena kosketusanturin, mutta se nostaa laitteen hintaa huomattavasti. Kuvassa 7 on esitelty OGP SmartScope 3D-videomittauslaite, jolla on mahdollista mitata kappaleita kolmiulotteisesti.

## 4 Käytössä olevat mittausmenetelmät Meconet Oy Vantaan tehtaalla

Meconet Oy Vantaan tehtaalla laadunseurantaan käytetään digitaalisia työntömittoja, projektoria, 3D-videomittalaitetta sekä erilaisia kovuusmittareita. Lisäksi tehtaalla on myös pieni koordinaattimittakone, mutta se on jäänyt lähes kokonaan ilman käyttöä.

### 4.1 Työntömitta

Työntömitta on eniten käytetty mittaväline tuotannonaikaisessa laadunseurannassa. Käytettävät mitat ovat digitaalisia. Kuvassa 5 on tuotannossa käytettävä työntömitta.



Kuva 5. Mitutoyon digitaalinen työntömitta

## 4.2 Profiiliprojektori

Mitutoyon profiiliprojektoriä (kuva 6) käytetään tuotannon aikaiseen laadunvalvontaan. Laite on käytössä päivittäin.



Kuva 6. Mitutoyon profiiliprojektori.



#### 4.3 3D-videomittalaite

OGP SmartScope 3D-videomittalaite (kuva 7) on käytössä jatkuvasti. Kone ei ole uusi, mutta toimii käyttötarkoitukseensa vielä hyvin.



Kuva 7. OGP SmartScope 3D-videomittalaite.

#### 4.4 Koordinaattimittakone

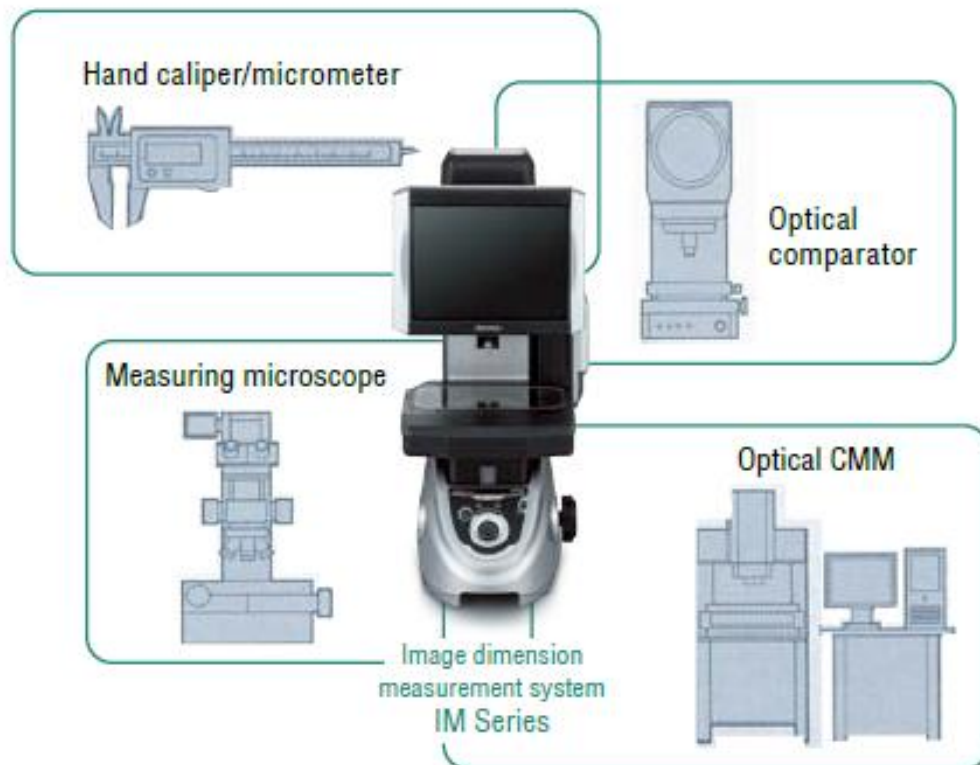
Koordinaattimittakone (kuva 8) on peräisin Meconetin Äänekosken tehtaalta, mutta on jäänyt lähes kokonaan pois käytöltä.



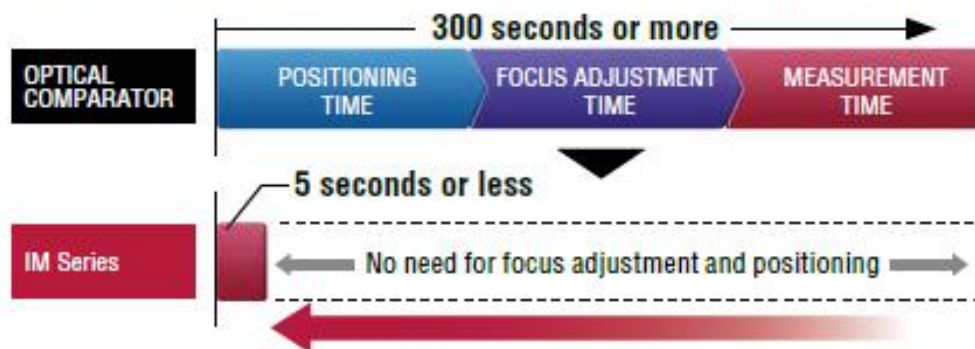
Kuva 8. Mitutoyon koordinaattimittakone.



Kuva 9 esittää 2D-mittauksen nopeutta sekä mahdollisuutta korvata muita mittalaitteita.



When it takes 300 or more seconds to measure 10 points with an optical comparator



Kuva 9. 2D-mittalaitteella on mahdollista nopeuttaa selkeästi mittausta sekä korvata muita mittalaitteita (Keyence 2017).

## 5 Mittausepävarmuus

Minkä tahansa prosessin lopputuloksen kelvollisuus ja vaihtelu selvitetään mittaamalla se tavalla tai toisella. Mittaamisen ongelma on, että tarkallakin menetelmällä saadaan tietää vain mittauskohteen likiarvo. Prosessin mittaamalla havaittu vaihtelu sisältää siis myös mittausprosessin vaihtelua. Mitä parempi mittausjärjestelmän suorituskyky on, sitä luotettavampi ja todellisempi kuva prosessista saadaan mittaamalla. (Salomäki 1999, 117.)

Mittauksen vaihtelu suhteessa todelliseen mittaan antaa vääristyneen kuvan yrityksen laaduntuottokyvystä. Pahimmassa tapauksessa suuri mittausepävarmuus voi aiheuttaa tuotteiden turhia hylkäyksiä, sekä toisinpäin kelvottomien tuotteiden hyväksymistä.

### 5.1 Mittausjärjestelmän suorituskyky

Mittausprosessin suorituskyvyn selvittämiseksi luotettavin tapa on mitata samaa näytettä useita kertoja. Tuloksen pitäisi olla aina sama, mutta mittausepävarmuudesta johtuen vaihtelua esiintyy, vaikka mittaaja olisi sama. Tämä mittauksissa esiintyvä hajonta kuvaa mittausjärjestelmää. Kun taas useampi mittaaja mittaa samaa näytettä, saadaan selville mittaajista aiheutuva vaihtelu. Mittausjärjestelmän käyttöönotossa on huomioitava muutakin kuin mittaustarkkuus, kustannukset, mittauksen nopeus, järjestelmän pysyvyys, kalibrointi jne.

Yleissääntönä voidaan pitää, että luotettavan mittaustuloksen saamiseksi, mittalaitteen tulisi pystyä jakamaan toleranssialue vähintään kymmeneen osaan eli esimerkiksi toleranssin ollessa 0,1 mm tulisi mittalaitteen erottelukyvyn olla vähintään 0,01 mm.

Seuraavassa on esimerkki mittausjärjestelmän suorituskyvyn merkityksestä Salomäen kirjasta Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC:

*Prosessista valmistuu tuotteita, joita ei voida valmistuksen jälkeen korjata. Tuotteen yhteensopivuuden takaavan mitan toleranssi on  $100 \pm 0,2$ . (Mittayksiköllä ei ole merkitystä asian tarkastelussa, joten se jätetään käsittelystä pois.) Tuote mitataan välineellä, jona asteikkoväli on 0,002 ja sitä pidetään luotettavana menetelmänä. Tarkastuksessa todetaan tuotteen kriittisen mitan olevan 100,220 (=hylättävä). Tuotanto mittaa omine välineineen saman tuotteen ja saa tulokseksi 100,192 (=hyväksyttävä). Eroa on 0,028! Miten tilanteessa tulisi menetellä? (Salomäki 1999, 119.)*

Kyseisessä esimerkissä kumpikaan mittaajista ei voi pitää tulostaan täysin varmana. Kummassakaan mittauksessa ei ole huomioitu mittausepävarmuutta. Tulokseen pitäisi lisätä mittausepävarmuuden vaikutus mittaustavasta riippuen. Tulos voitaisiin ilmoittaa esimerkiksi tarkastuksen puolelta  $100,220 \pm 0,050$  ja tuotannon puolelta  $100,192 \pm 0,100$ . Näin ollen mittaustulos voisi olla tarkastuksen puolelta maksimissaan 100,270 ja tuotannon puolelta 100,292. Minimissään näillä molemmilla mittaustavalla tuote läpäisisi toleranssit helposti, joten tämä ei ole luotettava tapa kummaltakaan osalta. Mittaustuloksen tulisi olla tarkastuksessa välillä 99,85 - 100,150 ja tuotannossa 99,900 - 100,100, jotta tulos olisi riittävän luotettava. Toleranssiaste siis pienenee huomattavasti, kun otetaan mukaan mittausepävarmuus. Esimerkin tilanne on hyvin tavallinen, tarkastuksessa mittalaitteet ovat huomattavasti tarkempia kuin tuotannossa. Tätä tilannetta pyritään myös tämän projektin kautta muuttamaan toimeksiantoyrityksellä.

## ISO-mittatoleranssijärjestelmä

ISO-toleranssit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Tarkimpia toleransseja sovelletaan mittausvälineisiin ja tarkkuuskoneisiin (IT1-IT4), keskimmäisiä käytetään tavanomaisessa koneenrakennuksessa (IT5-IT11) ja karkeimpia toleransseja karkeassa valmistuksessa (IT12-IT18). (Kivioja 2006, 4.)

Kuvassa 10 on havainnollistettu IT-perustoleranssiasteiden lukuarvot perusmitan mukaan.

Perusmitta mm		Perustoleranssiasteet																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
>	≤	Toleranssit μm												mm					
-	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7

Kuva 10. IT-perustoleranssiasteiden lukuarvot (SFS-EN 20286-1) (Kivioja 2006, 4).

### 5.2 Mittausjärjestelmän vaihteluun vaikuttavat tekijät

Ongelmana on, että tarkimmallakin mittalaitteella saadaan tietää vain mittauskohteen likiarvo, joten prosessin havaittu vaihtelu sisältää myös mittausprosessin vaihtelua. Mitä parempi ja suorituskykyisempi mittalaite on sitä luotettavamman kuvan se antaa prosessista mittaamalla. (Salomäki 1999, 117.)

Seuraavissa kappaleissa esitetään tärkeimmät mittausjärjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat tekijät Salomäen (199, 120–121) mukaan.

## Kohdistus

Kohdistuksella tarkoitetaan mittausjärjestelmän antaman tuloksen poikkeamaa ilmoituksesta tosimitasta. Kohdistus on hyvä, kun usealla mittauksella poikkeama on aina hyvin pieni verrattaessa tosimitaan. Kohdistusvirhe on systemaattinen ja sitä voidaan parantaa kalibroinnilla.

## Toistettavuus

Toistettavuudella tarkoitetaan hajontaa, jota syntyy saman mittajaan samasta näytteestä otetuissa mittatuloksissa samoissa olosuhteissa. Tuloksien ollessa lähes samat jokaisella kerralla toistettavuus on hyvä. Virhe toistettavuudessa syntyy usein hyvin pienistä seikoista, kuten mittalaitteen sisäisestä kitkasta sekä välyksistä, mittalaitteen asennon vaihtelusta ja mittausvoiman vaihtelusta.

## Uusittavuus

Uusittavuudella tarkoitetaan hajontaa, kun mukaan otetaan useampi mittaja tekemään mittauksia samalla laitteella sekä samaa näytettä käyttäen. Jos mittalaite on automaattinen, voi virhe uusittavuudessa olla nolla.

## Pysyvyys

Pysyvyydellä tarkoitetaan hajontaa, joka tulee ilmi pidemmällä aikavälillä samalla mittalaitteella samasta kohteesta otetuista mittatuloksista. Mittaukset tulisi tehdä kohteista, joiden omat muutokset mittausajankohdasta riippuen eivät ole merkittäviä. Mittalaitteen kulumisesta, kitkan ja välysten muuttumisesta sekä mittausympäristön muuttumisesta aiheutuu pysyvyydevirhettä. Virhettä voidaan kompensoida kalibroinnilla. Pysyvyyttä ei voida tarkastella, jos kalibroinnin yhteydessä laite säädetään aina uudelleen.

## Lineaarisuus

Lineaarisuudella tarkoitetaan mittalaitteen kohdistuksen muutosta sen mitta-alueella. Lineaarisuusvirhe on suhteellinen mittaustulokseen nähden eli se on suoraviivainen.

## Epälineaarisuus

Epälineaarisuudella tarkoitetaan, että mittalaitteen kohdistus eri mitta-alueilla muuttuu epälineaarisesti. Tämä voi aiheutua, jos mittalaite on kulunut epätasaisesti. Tällöin kalibrointi tulisi suorittaa erikseen mittalaitteen eri kohdissa ja tehdä kompensoinnin avuksi korjauskäyrä.

## Näytevaihtelu

Näytevaihtelu tarkoittaa näytteiden keskinäistä vaihtelua. Uusittavuus ja toistettavuus tulisi määrittää samoista näytteistä, mutta jos tämä ei syystä tai toisesta onnistu, tulisi näytteiden olla mahdollisimman samanlaisia.

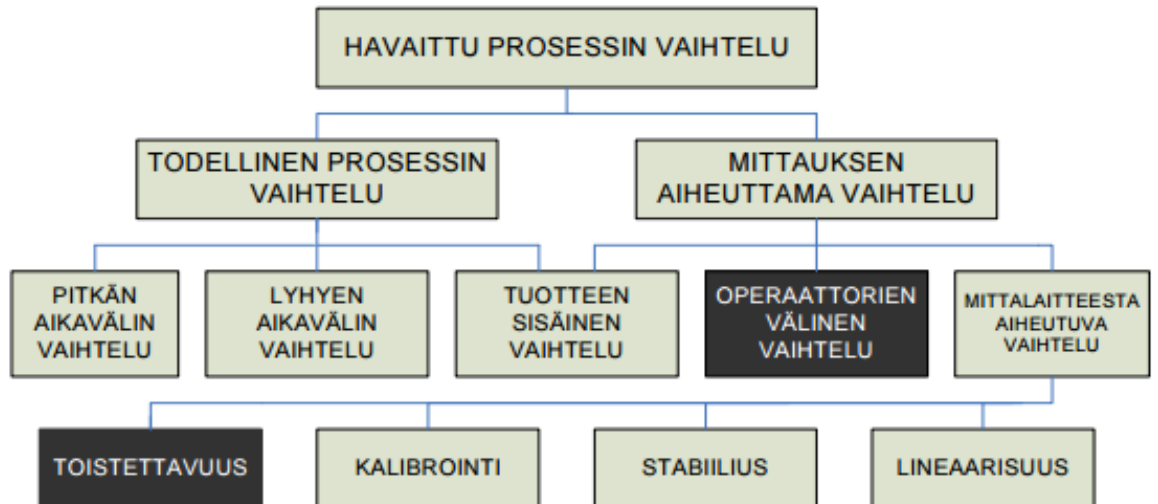
## Näytteen vaihtelu

Näytteen vaihtelu tarkoittaa yhden näytteen sisäistä vaihtelua, esimerkiksi kovuusmittauksessa näytteen pinta ei ole aivan samanlainen joka kohdassa. Mittalaite voi myös aiheuttaa näytteen vaihtelua, jos se muuttaa näytettä.

## 5.3 Gage R&R -testi

Ford, GM ja Chrysler ovat kehittäneet alihankkijoilleen Gage R&R -testin, joka on sen jälkeen melko selkeäpiirteisenä yleistynyt laajaan käyttöön. Gage R&R ilmaisee uusittavuuden ja toistettavuuden yhteisvaikutuksen prosentteina toleranssialueesta tai prosessin mitatusta vaihtelusta. (Salomäki 1999, 123 – 124.)

Kuva 11 havainnollistaa, mitkä tekijät aiheuttavat prosessissa vaihtelua. Tummanharmaat laatikot kuvaavat, mihin tekijöihin testillä päästään käsiksi. Testin tarkoitus ei ole selvittää mittalaitteen variaationlähteitä pitkällä aikavälillä, kuten stabiiliutta tai lineaarisuutta, myöskään laitteen kalibroinnin aiheuttamaa vaihtelua ei oteta testissä huomioon.



Kuva 11. Gage R&R -menetelmällä tutkittavia prosessin vaihtelun aiheuttamia tekijöitä (Kuusisto 2007, 26).

Yleinen tapa Gage R&R-testin suoritukseen on niin sanottu pitkä menetelmä (General Motors long form). Testissä käytetään vähintään kahta operaattoria ja kymmentä näytettä. Näytteet numeroidaan mittaajalle näkymättömällä keinolla, jonka jälkeen operaattorit mittaavat vuorotellen näytteet satunnaisessa järjestyksessä. Näytteiden vaihtelun tulisi kattaa todellisten mittausten vaihtelualue, toisaalta vaihtelu ei saisi olla niin suuri, että mittaajat tunnistavat kappaleet, sillä se ohjaisi mittausta. Testissä käytetään pohjaa, johon kirjataan mittaustulokset, niistä lasketut vaihteluvälit, keskiarvot sekä toistettavuus- ja uusittavuuslukemat. (Kuusisto 2007, 26; Salomäki 1999, 125–126.)

#### 5.4 Mittalaitteen kalibrointi

Mittalaite kalibroidaan mittausjärjestelmän suorituskyvyn ylläpitämiseksi. Tehokas kalibrointi edellyttää mittausjärjestelmän tilastollista arviointia ja luotettaviin tietoihin perustuvaa säätöä. Kalibroinnissa mahdollisesti todettavien mittalaitteiden kohdistus- ja lineaarisuusvirheiden lisäksi on tärkeää kiinnittää riittävästi huomiota muihin mittaus-epävarmuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Kalibrointi yhden mittauksen perusteella on mitattaväliseen peukalointia, joka pitkällä aikavälillä johtaa mittausjärjestelmän suorituskyvyn heikkenemiseen. (Salomäki 1999, 137).

Tässäkin hankintaprojektissa 2D-mittalaitteen kalibrointi ja sen helppous ovat yksi hankinnan päätökseen vaikuttava tekijä. Joidenkin mittalaitteiden kalibrointi on hyvin kallista, jos laitteella ei ole kotimaista edustusta. Kalibroinnin suorittava henkilö joudutaan kyseisessä tapauksessa usein pyytämään ulkomailta, ja yritys joutuu maksamaan matkakustannukset. Vastakohtana on myös mittalaitteita, joiden kalibrointi onnistuu ohjeiden avulla ilman, että joudutaan kutsumaan erillinen henkilö suorittamaan kalibrointi. Pitkällä aikavälillä kalibroinneista aiheutuvat kustannukset ovat jo merkittäviä.

## **6 Tilastollinen prosessinohjaus, SPC**

SPC tulee englanninkielisistä sanoista Statistical Process Control. SPC on tilastollinen prosessinohjausmenetelmä, joka nähdään yhtenä laatutyökaluna. Menetelmä perustuu tilastotieteeseen ja mittaamiseen. SPC ei ole helpoin mahdollinen laatutyökalu, mutta sen onnistuneen käyttöönoton kautta voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä laadun kannalta. Menetelmässä laadun parannus tapahtuu prosessien kautta. Onkin tärkeää, että käytetty valmistusmenetelmä ja prosessi tunnetaan hyvin, jotta saatujen tulosten analysointi ja mahdollisiin virheisiin johtaneiden syiden selvitys onnistuu.

SPC:n onnistunut käyttöönotto edellyttää aina johdon tukea ja johdolta saatavia riittäviä resursseja. Usein tuotannossa yksittäisten työntekijöiden tieto koskien yritystoimintaa, prosesseja ja laatua voi olla hyvin suppea tai puuttua lähes kokonaan. Tämän vuoksi menetelmän käyttöönoton yhteydessä olisi tärkeää antaa menetelmästä joka tasolle riittävät tiedot. Ei ole tarkoituksenmukaista, että kaikista työntekijöistä yritettäisiin tehdä menetelmän asiantuntijoita, mutta jokaisen tulisi tuntea vähintään perusajatus ja ideologia.

Onnistuneen SPC:n käyttöönoton myötä yritys pystyy hallitsemaan paremmin tuotantoprosessejaan ja vähentämään prosessissa tapahtuvaa vaihtelua. SPC:n perusajatus on ennakointi ajoissa, jotta prosessi ei pääsisi hallitsemattomaksi ja virheiden määrä pysyisi tilastollisesti epätodennäköisenä. Virheille on aina syy ja niistä päästään eroon, mikäli ne löydetään, juuri tähän tarkoitukseen SPC on erinomainen laatutyökalu. (Uuk-sulainen 2013, 9 - 10.)



## 6.1 SPC:n historia

Walter A. Shewartia voidaan pitää tilastollisen laadunkehitystoiminnan isänä. SPC:n perusidea on lähtöisin vuosilta 1918–1924. Näinä vuosina Walter A. Shewart työskenteli Western Electric-nimisessä yrityksessä. Yrityksessä työskennellessään hän tutustui tarkemmin laadunvalvontaan käyttämällä tilastollisia menetelmiä ja huomasi, että prosessien vaihtelu noudattaa normaalijakaumaa. Shewart kehitti ensimmäiset valvontakortit huomattuaan, että prosessien säätöjen tekeminen yksittäisten tulosten perusteella vain pahensi lopputulosta. Shewart todisti, että virheille on olemassa yleisiä ja erityisiä syitä.

Toisen maailmansodan aikana SPC tuli käyttöön sotateollisuuteen, mutta unohtui nopeasti, sillä tehtailla oli varaa tuhlaata tehottomaan toimintaan. Myöhemmin japanilaiset tutustuivat menetelmään yhdessä amerikkalaisten asiantuntijoiden kanssa muun muassa W. Edwards Demingin ja Joseph J. Juranin johdolla. Japanissa menetelmä otettiin tehokkaasti käyttöön, sillä ei ollut varaa tehottomaan toimintaan tai raaka-aineiden tuhlaamiseen. Länsimaissa yritysten johto huomasi 1970-luvulla, että Japanissa osataan hyödyntää erinomaisesti SPC:tä laatukehityksessä, ja näin menetelmä otettiin käyttöön myös niissä. Suomessa SPC otettiin käyttöön 1980- ja 1990-luvun vaihteessa.

## 6.2 SPC:n yleisimpiä menetelmiä

Laadun vaihtelun syitä on lukemattomia, eivätkä kaikki syyt vaikuta laatuun samassa määrin. Jotkut niistä vaikuttavat todella paljon laatuun ja toiset teoriassa hyvinkin tärkeinä pidetyt tekijät eivät vaikuta juuri ollenkaan. (Kume 1998, 9).

Pareto-kuvaaja, syy-seurausanalyysi, histogrammit, hajontakuvaajat ja vuokaaviot ovat SPC:ssä yleisimmin käytetyt menetelmät. Näiden menetelmien avulla päästään käsiksi juuri niihin tekijöihin, ”juurisyihin”, jotka aiheuttavat suurimman osan prosessin vaihtelusta. Prosessin vaihteluun vaikuttavat syyt voidaan yleisesti jakaa neljään osaan, joita ovat materiaalien vaihtelu, koneiden ja työkalujen vaihtelu, henkilöiden ja menetelmien vaihtelu sekä olosuhteet ja ympäristö sekä mittauksen vaihtelu. Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin SPC:n yleisistä menetelmistä, Salomäen (1999, 318 – 336) mukaan.

*Pareto-kuvaajassa* luokat asetetaan suuruusjärjestyksessä vasemmalta oikealle, mutta ryhmä "muut" asetetaan yleensä aina oikealle. y-akselilla on prosenttiosuus ja x-akselilla tekijät kuvattuna pylväillä, kuten myös histogrammeissa.

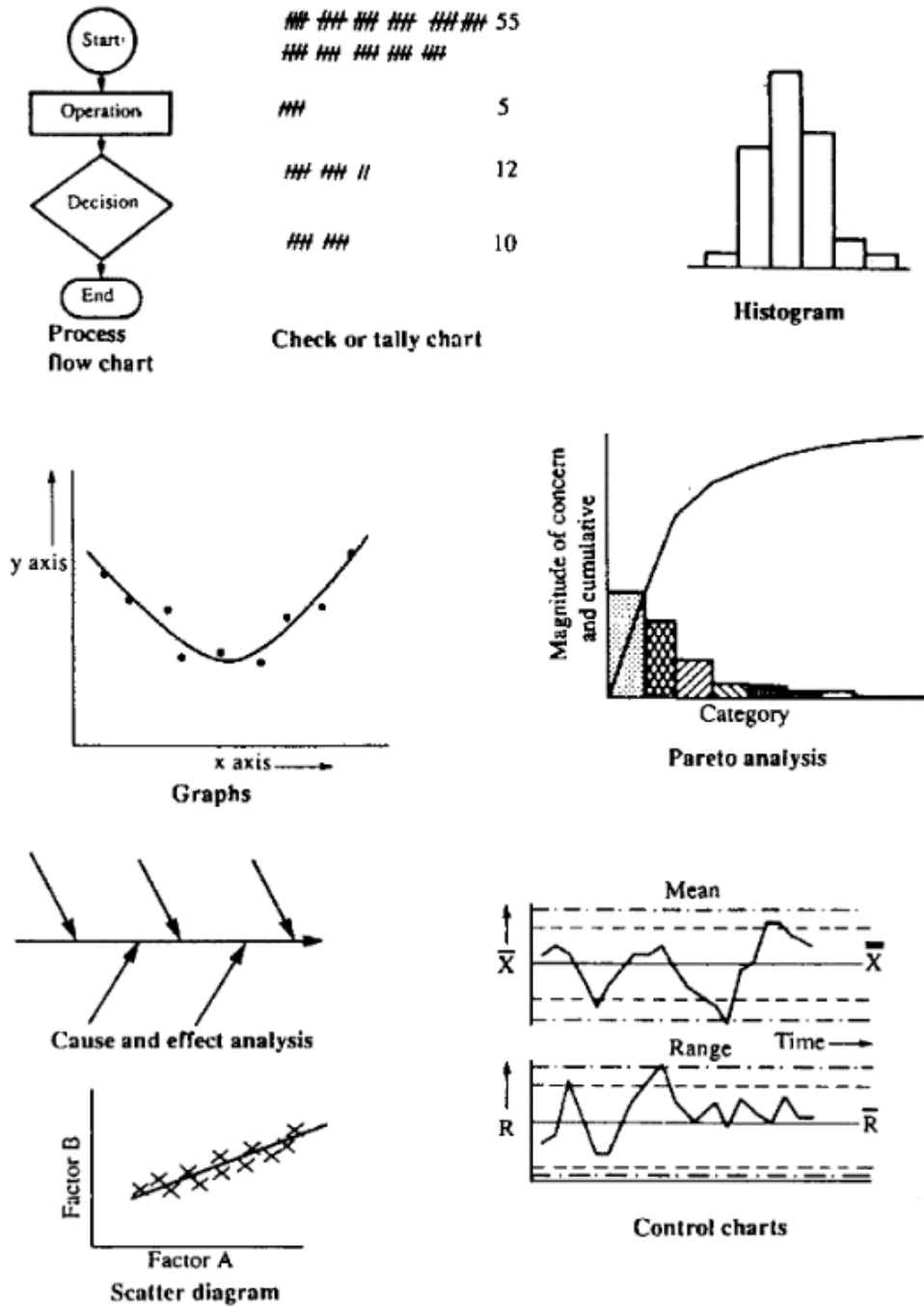
*Histogrammi* on frekvenssijakauman graafinen esitys. Frekvenssillä tarkoitetaan taa-juutta tai esiintymistiheyttä. Histogrammilla kuvataan siis mittaustulosten määrää valituilla asteikkoväleillä eli jakoluokissa. Kuhunkin luokkaan osuneiden tulosten määrää vastaa pylväskuvaajan pituus.

*Hajontakuvaajassa* x- ja y-asteikoille merkitään kahdesta muuttujasta mitatut toisiaan vastaavat havaintoparit, kuten esimerkiksi ajonopeus ja jarrutusmatka. Kuvaajan avulla saadaan visuaalinen kuva, josta voidaan löytää poikkeavat tulokset.

*Vuokaavio*-menetelmässä kuvataan nuoliviivojen ja symbolien avulla prosessin etenemistä ja vaiheiden välisiä riippuvuuksia. Kaavioissa nuolet kuvaavat asian etenemistä ja symbolit eri tapahtumia. Vuokaaviot soveltuvat hyvin tapahtumien havainnollistamiseen.

*Syy-seuraus-menetelmän* tavoitteena on löytää seuraukselle (prosessin ongelmalle) mahdollisimman monta syytä, mitä enemmän syitä löydetään sitä todennäköisemmin ongelmaan johtaneet suurimmat syyt löytyvät. Usein ei osata ajatella riittävän pitkälle mahdollisiin syihin vaan jämähdetään siihen mikä ensimmäiseksi tulee mieleen. Syy-seurausanalyysistä muodostuu kaavio, jota kutsutaan myös ulkonäkönsä vuoksi kalanturkokaavioksi. Kaavio on erittäin tehokas menetelmä etsittäessä vikaan johtaneita syitä.

Kuvassa 12 on esitetty SPC:n yleisimmin käytettyjä menetelmiä.



Kuva 12. Kuvassa SPC:n yleisimpiä menetelmiä (Lähteenmäki & Leiviskä 1988, 12).

### 6.3 Prosessin vaihtelu, jakauma ja hajonta

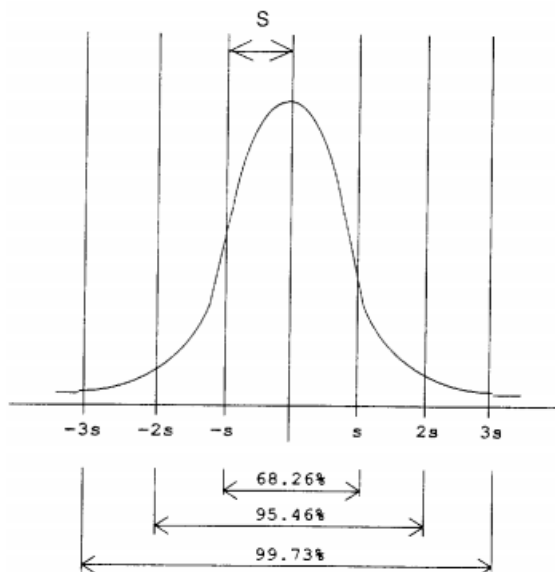
Jos pystyisimme kokoamaan tiedot prosessista, missä kaikki tekijät eli ihmiset, koneet, materiaalit, menetelmät ja niin edelleen olisivat täysin vakioita, olisivat arvot täsmälleen samat. Todellisuudessa on mahdotonta pitää kaikki tekijät samoina samanaikaisesti. (Kume 1998, 39.)

Mittaustulosten ollessa usein samanlaisia kertoo se mittausjärjestelmän erottelukyvyn ja herkkyuden riittämättömyydestä. Jokainen yksittäinen mitta vaihtelee. Vaihteluun sisältyy säännönmukaisuutta, jota tutkimalla pystytään sisäistämään tietoa prosessista. Riittävästi tietoa keräämällä saadaan selville prosessien tunnuslukuja. SPC perustuu prosessin käyttäytymisen tutkimiseen ja epänormaalin toiminnan havaitsemiseen. (Salomäki 1999, 164.)

#### Normaalijakauma

Normaalijakauma on tilastotieteen käyttämä keskeinen käsite. Käsitteen keksi saksalainen matemaatikko ja fyysikko Carl Friedrich Gauss. Mille tahansa perusjoukolle voidaan laskea tiheysfunktio, kun tunnetaan sen keskiarvo ja keskihajonta. Normaalijakauman tiheysfunktio on jatkuva käyrä. Käyrän ja x-akselin väliin jäävän alueen pinta-ala on aina yksi. Alueen korkeus ja leveys riippuvat keskihajonnasta. Jakauman avulla pystytään määrittämään todennäköisyyksiä. Todennäköisyydet voidaan kuvitella massaksi, jonka arvo on yksi ja joka jakaantuu  $x$ :n eri arvojen kesken sen mukaan, mikä kunkin arvon todennäköisyys on. (Salomäki 1999, 164–165.)

Kuva 13 havainnollistaa normaalijakauman muotoa sekä todennäköisyyksien muodostumista jakaumaan.



Kuva 13. Normaalijakaumassa tulosten todennäköisyyksien jakautuminen (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 4).

#### Prosessin jakauman tutkiminen

Samanaikaisesti prosessissa vaikuttaa suuri määrä muuttujia, joiden vaikutus lopputulokseen vaihtelee. Lopputulos muodostuu näiden eri tekijöiden yhdistelmästä. Useimmiten lopputulos on yllättävänkin normaalijakautunut. Histogrammit ovat tärkein graafinen apuväline jakauman muotoa tutkittaessa. (Salomäki 1999, 166–170.)

#### Yleinen syy

Prosesseissa esiintyy luonnollista vaihtelua, ”kohinaa”. Kohinaan vaikuttavia tekijöitä kutsutaan yleisiksi syiksi, jotka voivat vaikuttaa prosessissa koko ajan. Kohina vaihtelee keskiarvonsa ympärillä muodostaen normaalijakauman. Kohinalle pystytään määrittämään matemaattisesti hyvin luotettavat rajat, jotka kuvaavat prosessin luonnollisen vaihtelun suuruutta. Jatkuvan parantamisen avulla on mahdollista pikkuhiljaa vähentää prosessin luonnollista vaihtelua. Prosessia on silloin tarkasteltava pitkällä aikavälillä ja etsittävä sen vaihtelua aiheuttavien syiden osatekijöitä. Yleensä tarvitaan toimintatavan muutoksia ja investointeja. (Salomäki 1999, 172.)

## Erityinen syy

Erityinen syy on häiriö, joka ei normaalisti ole mukana prosessissa. Yleensä nämä syyt erottuvat luonnollisesta prosessin vaihtelussa piikkinä, signaalina. Yhden signaalin perusteella prosessia ei saa alkaa säätämään, vaan on löydettävä tämä erityisyys ja poistettava se prosessista. Tämän jälkeen on tärkeää tehdä toimenpiteet häiriön uusiutumisen estämiseksi. Luonnollisen vaihtelun eli kohinan seasta voi joskus olla vaikeaa tunnistaa vaihteluun vaikuttavia erityisyyttä. (Salomäki 199, 173.)

*Jos esimerkkinä kohinasta käytetään taustamelua ja halutaan saada aikaan siitä erottuva signaali, eli ääni kuuluviin sen yli, on se kirjastossa hyvin helppoa, mutta rock-konsertissa melko toivotonta. (Salomäki 1999, 173).*

## Vakaa prosessi

Prosessi on vakaa, jos sen vaihtelu aiheutuu vain yleisistä syistä sekä vaihtelun keskiarvo tai liukuvassa prosessissa suuntaus ja vaihtelu pysyvät lähes muuttumattomina. On huomioitavaa, että prosessi voi olla vakaa, vaikka se ei olisi suorituskyykyinen, jos luonnollinen vaihtelu on liian suuri.

## Hallinnassa oleva prosessi

Prosessi on hallinnassa, jos sen vaihteluun ei vaikuta erityisyyttä. Kaikki vaihtelun tekijät ovat näin ollen tulkittavissa prosessille ominaisista, sisäisistä ja aina vaikuttavista vaihtelun tekijöistä. Hallinnassa oleva prosessi käyttäytyy ennustettavasti. Se ei välttämättä aina ole vakaa, vaan siinä voi olla pitkällä aikavälillä prosessin sisäisten ominaisuuksien muutoksia, kuten toistuvia vaihteluja.

## Prosessin suorituskyyky

Prosessia, joka sisältää toleranssivaatimuksen on mahdollista kuvata tunnusluvuilla. Suorituskyykyluvut kuvaavat yhden numeron avulla prosessin suhteellisen suorituskyydyn.

Maksimisuorituskykyluku,  $C_p$

$C_p$  kuvaa mihin prosessi teoriassa pystyy toleranssivaatimusten mukaan. Maksimi suorituskykyluku  $C_p$  saadaan laskettua kaavalla:

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

$\sigma$  on perusjoukon keskihajonta

Suorituskykyluku,  $C_{pk}$

$C_p$ -luku ei huomioi prosessin vaihtelun sijaintia toleranssiin nähden. Kun halutaan huomioida vaihtelu, on otettava käyttöön korjauskerroin  $k$ , joka lasketaan kaavasta:

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

$T$  on prosessin tavoitearvo

$x$  on prosessin mittaustulosten keskiarvo

Kerrointa  $k$  käyttämällä voidaan laskea prosessin todellinen suorituskyky:

$$C_{pk} = (1 - k)C_p$$

$C_{pk}$  kuvaa hallinnassa olevan prosessin suorituskykyä. Se huomioi keskiarvon sijainnin poikkeaman toleranssialueen keskeltä. Jos prosessin tavoitearvo on keskellä toleranssialuetta, ei korjauskerroin  $k$ :ta tarvitse käyttää, jolloin  $C_{pk}$  saadaan laskettua kaavasta:

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

#### 6.4 Valvontarajat

Valvontarajat, LCL, alavalvontaraja (engl. Lower Control Limit) ja UCL, ylävalvontaraja (engl. Upper Control Limit) määritellään mittaustulosten perusteella lasketun keskihajonnan estimaatin avulla. Yleensä valvontarajat sijoitetaan symmetrisesti keskiarvon molemmille puolille kolme kertaa keskihajonnan estimaatin etäisyydelle, jolloin niiden väli kattaa 97,73 % kaikista tuloksista. (Salomäki 1999, 163.)

#### 6.5 Toleranssirajat

Ylätoleranssiraja USL (engl. Upper Specification Limit) ja alatoleranssiraja LSL (engl. Lower Specification Limit) määrittelevät alueen, jonka ylittävä tai alittava tuote on hylätävä. (Salomäki 1999, 163.)

#### 6.6 Tavoitearvo

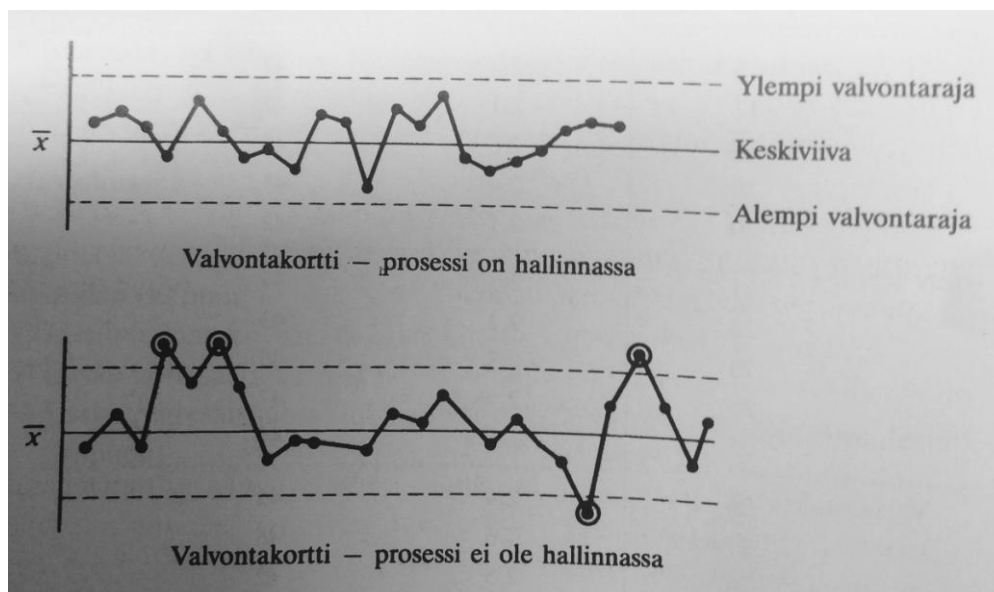
Yleensä tavoitearvo on toleranssirajojen keskellä tai, jos toleranssi on yksipuolinen niin mahdollisimman kaukana siitä. Käytännössä esimerkiksi taloudellisista syistä voi tavoitearvo olla myös muualla, kuten mahdollisimman kaukana tai lähellä toleranssirajasta. Tilastollisten menetelmien avulla voidaan määrittää, kuinka lähelle toleranssirajaa on turvallista mennä. (Salomäki 1999, 163.)

#### 6.7 Valvontakortit

Valvontakortit auttavat graafisesti esittämään prosessin mittaustulokset. Valvontakortin ajatus on eliminoida epänormaali vaihtelu erottamalla selvitetävissä olevista syistä johtuva vaihtelu sekä sattumanvaraisista syistä johtuva vaihtelu toisistaan. (Kume 1998, 92.)

Kuva 14 havainnollistaa kahta eri prosessia, joista toinen on hallinnassa ja toinen ei. Ylemmässä valvontakortissa tulokset pysyvät valvontarajojen sisällä ja prosessi on hallinnassa. Alemmassa valvontakortissa osa tuloksista ylittää sekä ylärajan että alarajan ja prosessi ei selvästi ole hallinnassa.





Kuva 14. Esimerkki, jossa prosessi on hallinnassa sekä prosessi, joka ei ole hallinnassa (Kume 1998, 92).

#### x-R-kortti

x-R-korttia käytetään prosessin seurantaan ja analysointiin jatkuvilla arvoilla, kuten pituudella tai painolla.  $x$  on alaryhmän keskiarvo ja  $R$  sen vaihteluväli. Tavallisesti R-korttia käytetään yhdessä x-kortin kanssa alaryhmän sisällä tapahtuvan vaihtelun kontrolloimiseksi.

#### x-kortti

x-korttia käytetään, kun prosessista saadaan arvot pitkällä aikavälillä ja alaryhmiin jakamisella ei ole vaikutusta. Arvot esitetään graafisesti kukin erikseen ja korttia voidaan käyttää valvontakorttina. Valvontarajat saadaan laskemalla edellisten havaintojen vaihteluvälistä  $R_s$ .

#### np-kortti, p-kortti

Kyseisiä kortteja käytetään, kun määritetään virheellisten yksilöiden lukumäärää tai osuutta laatuominaisuutta kuvatessa. Näytekoon ollessa vakio käytetään np-korttia ja näytekoon vaihdellessa käytetään p-korttia.

c-kortti, u-kortti

c- ja u-korttia käytetään, kun analysoidaan ja seurataan prosessia virheiden perusteella, kuten naarmujen metallilevyn pinnassa. c-korttia käytetään vakiokokoiselle näytteelle ja näyte koon vaihdellessa u-korttia.

## 6.8 SPC-ohjelmistot

Tietotekniikkaa pystytään hyödyntämään nykyään erittäin hyvin tilastollisessa prosessinohjauksessa. On olemassa useita eri SPC-ohjelmistoja, joiden käytöstä on hyötyä, kunhan mittaustulokset siirtyvät suoraan ohjelmaan ja sieltä valvontakortteihin. Tietotekniikan avulla pystytään välttämään inhimillisiä virheitä. Ohjelmistot tarjoavat paljon erilaisia työkaluja mittaustulosten analysointiin. (Uuksulainen 2013, 21.)

### 6.8.1 Mitutoyo Measurlink

Measurlink on SPC:n hallintaan kehitetty ohjelmisto. Ohjelmiston avulla voidaan reaaliajassa seurata mittausta, kerätä rajattomasti mittaustietoa sekä hallinnoida, analysoida, rekisteröidä, dokumentoida ja jäljittää mittaustietoja.

**Real Timen** avulla voidaan seurata ja saada tuloksia reaaliajassa mittalaitteilta. Tulokset on mahdollista saada tekstimuodossa sekä graafisessa muodossa. Ohjelmalla voi myös tulostaa erilaisia raportteja sekä käyttää laskimen toimintoja mittaustulosten laskemisessa.

**Process manager** on SPC:n seurantajärjestelmä. Kun tiedot on kerätty ohjelman tietokantaan, Process manager näyttää kaikki käynnissä olevat mittaukset reaaliajassa. Havainnollistamiseksi käyttäjä voi tarpeen mukaan käyttää erilaisia histogrammeja sekä kaavioita.

**Process analyzer** on prosessin analysoinnin työkalu. Ohjelman avulla voidaan laatia raportteja ja tehdä yhteenvetoja mittauksista sekä yhdistää, suodattaa, verrata ja tulostaa tietoja Measurlink tietokannasta.

**Gage R&R** -ohjelma on tarkoitettu mittalaitteiden suorituskyvyn ja toistettavuuden määrittämiseen.

**Gage management** on tarkoitettu mittalaitteiden seurantaan. Ohjelmaan tallentuvat kaikki tiedot mittalaitteista sekä niiden kalibroinneista. Järjestelmä tallentaa myös Gage R&R -testien tulokset.

### 6.8.2 Mittaustietojen käsittelyohjelmistot

On yleistä, että mittalaitteelta ei suoraan saada siirrettyä mittaustuloksia SPC-ohjelmaan. Ratkaisu ongelmaan on mittaustietojen käsittelyohjelmistot. Esimerkiksi QC-CALC Real-Time on tähän tarkoitukseen kehitetty ohjelmisto.

QC-CALC Real-Time- ohjelmaa käytetään keräämään ja näyttämään mittaustulokset mittalaitteilta, ilman käyttäjän toimia. Ohjelmalla voi luoda raportteja ja viedä tietoja taulukoihin, tietokantoihin ja muihin SPC-ohjelmiin. Tämä tarkoittaa, että tietoa voi siirtää kaikilta mittalaitteilta mihin tahansa SPC-ohjelmaan yhden ohjelman avulla. Kuvassa 15 havainnollistetaan mittaustiedon siirtoa tiedonkeruuohjelmistoihin QC-CALC Real-Time-ohjelmiston avulla.



Kuva 15. QC-CALC Real-Time-ohjelman avulla mittaustiedot saadaan siirrettyä haluttuun ohjelmistoon (Prolink 2015).

## 7 Lean

Lean on filosofia, jonka avulla pyritään pääsemään eroon hukasta. Hukalla tarkoitetaan tuotannossa vaiheita, jotka eivät tuota tuotteelle lisäarvoa. Leanin avulla pyritään parantamaan asiakastytyvyyttä, laatua, laskemaan kustannuksia ja lyhentämään tuotannon läpimenoaikoja. Lean-ajattelun mukaan hukkaa aiheuttaa kahdeksan eri turhuutta, jotka ovat seuraavat:

1. Ylimääräiset kuljetukset
2. Turha varastointi
3. Turhat liikkeet
4. Odotusaika
5. Ylituotanto
6. Yliprosessointi
7. Viallinen tuote
8. Työntekijän luovuuden käytön jättäminen

Kyseisten turhuuksien poistamiseen Lean tarjoaa useita työkaluja. Seuraavaksi kerrotaan Lean-työkaluista, joita myös Meconet Oy käyttää tuotannossa.

### 7.1 Poka yoke

Poka yoke on japanilaisen Shigeo Shingon kehittämä malli siitä, miten tuotannossa saavutetaan nollavirhetaso. Poka yoke on japania ja tarkoittaa ”virheitä osoittavaa järjestelmää”. Perinteinen tuotteen lopputarkastus perustuu ”pitkän kierron” menetelmään, kun taas Shingon kehittämä alkuperäistarkistus on ”lyhyen kierron” valvontaprosessi. Prosessin avulla ylempi johto saa reaaliaikaista informaatiota, mikä nopeuttaa mahdollisten korjaavien toimien suorittamista.

Nollavirhekontrollijärjestelmä koostuu neljästä perusajatuksesta, joita ovat seuraavat:

1. Tutkitaan perinpohjainen virheiden alkuperä sekä toimenpiteiden kohdistus siihen tuotannon vaiheeseen, mistä virheet ovat peräisin.
2. Tehdään aina 100-prosenttinen alkuperän tutkimus mieluummin kuin näytteenottotutkimus.
3. Korjaustoimenpiteisiin kuluva aika tulee minimoida.
4. Nimetään erillisiä Poka yoke -henkilöitä ja -laitteita tuotannon valvontaan.

## 7.2 Kaizen

Kaizen on yhdistelmä kahdesta japanilaisesta sanasta, joita ovat kai ja zen. Kai on japaniksi muutos ja zen on japaniksi hyvä. Kaizen on työkalu jatkuvan parantamisen toteuttamiseen tuotannossa, jossa hukat eliminoidaan yksi kerrallaan. Kaizeniin osallistuu aina koko organisaatio. Kaizenin perusajatus on, että aina yritetään keksiä jotain parannusta tai kehitystä tuotantoon lopputuloksen parantamiseksi.

## 7.3 Kanban

Kanban on myös japania ja tarkoittaa signaalia. Kanbania käytetään tuotannon imujauksessa, jossa se antaa signaalin, milloin tietyn tuotannon tulisi alkaa. Esimerkiksi kortit, taulut, valot ja korit ovat muotoja, joita Kanban voi tuotannossa saada. Tuotannossa menetelmän tarkoitus on varmistaa, että tarvittavia osia tai raaka-ainetta on riittävästi tuotannon pysymiseen käynnissä.

## 7.4 SMED

SMED on lyhenne englanninkielisistä sanoista, Single Minute Exchange of Dies. Tämä liittyy tuotannonaikeisten laadunvaihtojen asetusajan lyhentämiseen. Asetusaikaa voidaan lyhentää esimerkiksi varaamalla kaikki tarvittavat työkalut ja osat välittömään läheisyyteen missä niitä tarvitaan sekä varmistaa, että osaavaa henkilökuntaa on välittömästi paikalla.

## 7.5 5S-menetelmä

5S on lyhenne viidestä japaninkielisestä sanasta joita ovat, Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu ja Shitsuke. Suomeksi samat sanat ovat sorteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta. Seuraavaksi esitetään jokaisen eri "S:n" merkitys menetelmässä:

- Seiri (sorteeraus): Poistetaan työpisteeltä kaikki ylimääräinen, kuten tarpeettomat työkalut.
- Seiton (systematisointi): Selkeytetään ympäristöä. Asiat merkitään nimilapuilla ja/tai kylteillä. Rajataan työpisteitä ja muita alueita, tehdään käytävät selkeiksi ja kehitetään erilaisia säilytysmenetelmiä ja varmistetaan, että roskakoreja on riittävästi.
- Seiso (siivous): Pidetään huolto päivittäin siivouksesta ja järjestyksestä.
- Seiketsu (standardointi): Standardoidaan parhaat käytännöt, kuten työpisteelle kuuluvat työkalut, jätehuolto ja siivousaikataulu.
- Shitsuke (seuranta): Pidetään huolta, että menetelmiä noudatetaan ja seurataan, miten menetelmä käytännössä toimii.

## 8 Projektin vaiheet

### 8.1 Tutustuminen konenäköjärjestelmiin

Projektin aloitettiin tutustumalla konenäköjärjestelmiin, koneiden käyttötarkoitukseen ja koneiden toimintaan käytännössä sekä tutustuttiin markkinoilla oleviin laitteisiin ja laitteiden toimittajiin. Tietoa etsittiin lähinnä Internetistä, mistä löytyikin hyvin laajasti aiheesta. Alussa perehdyttiin myös teoriassa, miten laitteet toimivat ja mihin käyttötarkoituksiin niitä yleisimmin käytetään.

### 8.2 Yhteydenotto toimittajiin

Järjestelmiin tutustumisen jälkeen otettiin yhteyttä potentiaalisiksi todettuihin laitetoimittajiin sähköpostitse sekä osaan puhelimitse. Eri toimittajia olivat: Mitutoyo AB Finland, Movetec Oy, Carl Zeiss Oy, OGP Scandinavia AB ja Jaso Oy. Laitetoimittajille kerrottiin koneen käyttötarkoituksista sekä vaatimuksista ja pyydettiin tietoa heidän konenäköjärjestelmistään.

### 8.3 Testimittaukset

Pelkkiä esitteitä lukemalla ei saa usein riittävän hyvää kuvaa, miten laite käytännössä toimii. Testimittauksia tehtiin markkinoilla olevilla laitteilla, joita pidettiin potentiaalisina yrityksen käyttötarkoituksen kannalta. Näytekappaleiksi valittiin muutamia Meconetin Vantaan tehtaalla valmistettavia tuotteita, joiden mittaus on hankalaa vanhoilla menetelmillä eli työntömitalla ja/tai projektorilla. Näytekappaleisiin valittiin sekä isoja että hyvin pieniä kappaleita, jotta selviäisi suoriutuuko laite kaiken kokoisten kappaleiden mittaamisesta.

### 8.3.1 Mitutoyo

Mitutoyon testimittaukset suoritettiin Pirkkalassa Mitutoyo Scandinavia AB:n tiloissa. Testattavat laitteet olivat Mitutoyo QuickImage 2D-mittalaite ja Mitutoyo QuickVision Apex 3D-mittalaite.

#### *QuickVision Apex*

Mitutoyo QuickVision Apex 3D-mittalaite ei kuitenkaan ollut laite, jonka hankintaa pidettiin vaihtoehtona, sillä sen hankinta hinta ylitti budjetin reilusti. Apex antoi kuitenkin hyvän referenssin, sillä Mitutoyolla on QuickVision Active -mittalaite, jota voidaan pitää Apexin ”pikkuveljenä”. Apexissa on Activeen verrattuna parempi tarkkuus ja optiikka, mutta käytettävä ohjelma on sama, joten mittaukset antoivat riittävän kuvan QuickActive mallista.

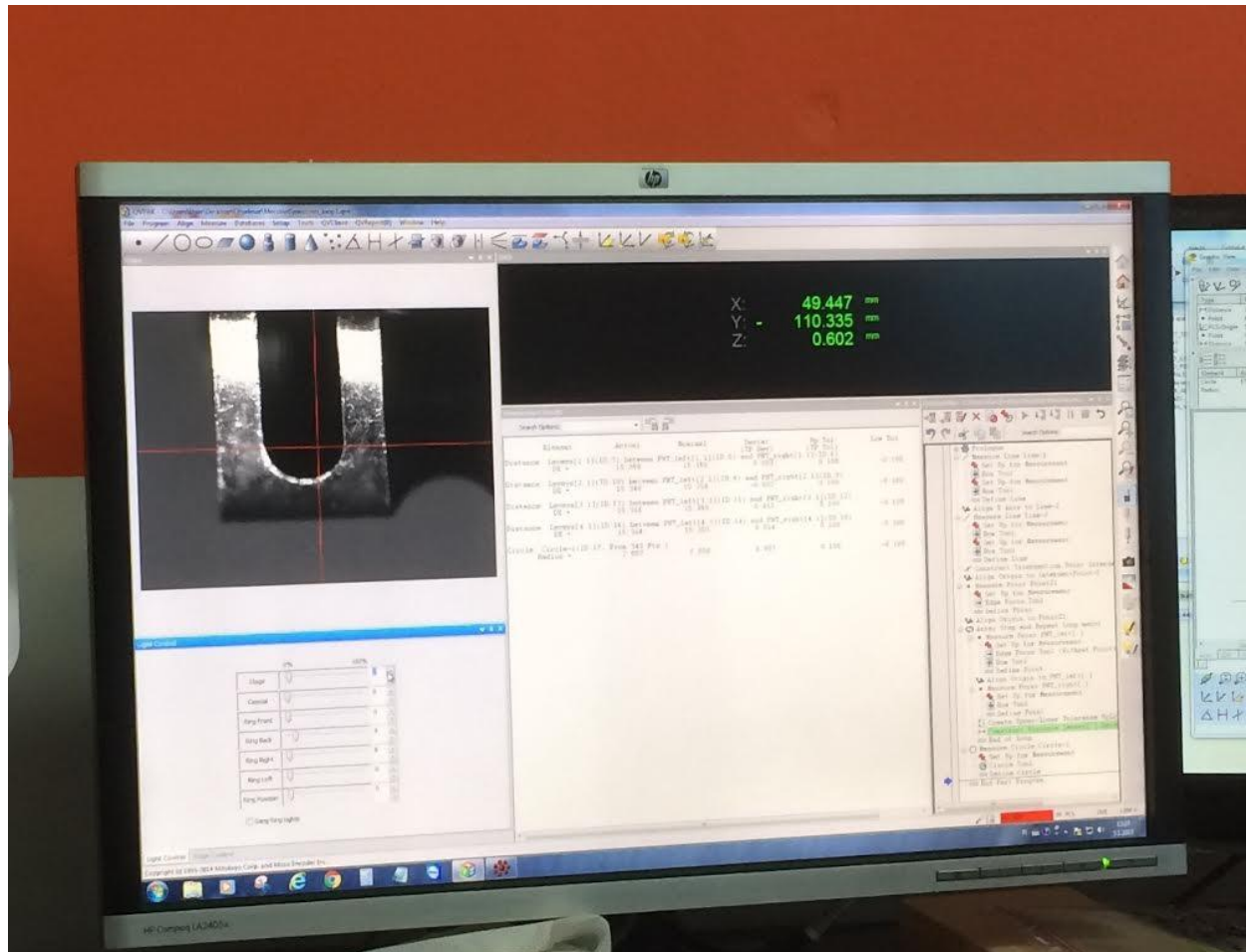
Kuvassa 16 Mitutoyon 3D-videomittalaite QuickVision Apex.



Kuva 16. Mitutoyo QuickVision Apex.



Testimittauksien perusteella osoittautui, että QuickVision Apex on tarkka ja ominaisuuksiltaan erittäin hyvä mittalaite, mutta tuotannon aikaiseen laadunseurantaan liian hidaskäyttöinen. Laitetta saa myös kosketusantureilla. Kuvassa 17 on esitetty kameran ottamaa kuvaa tietokoneen näytöllä.

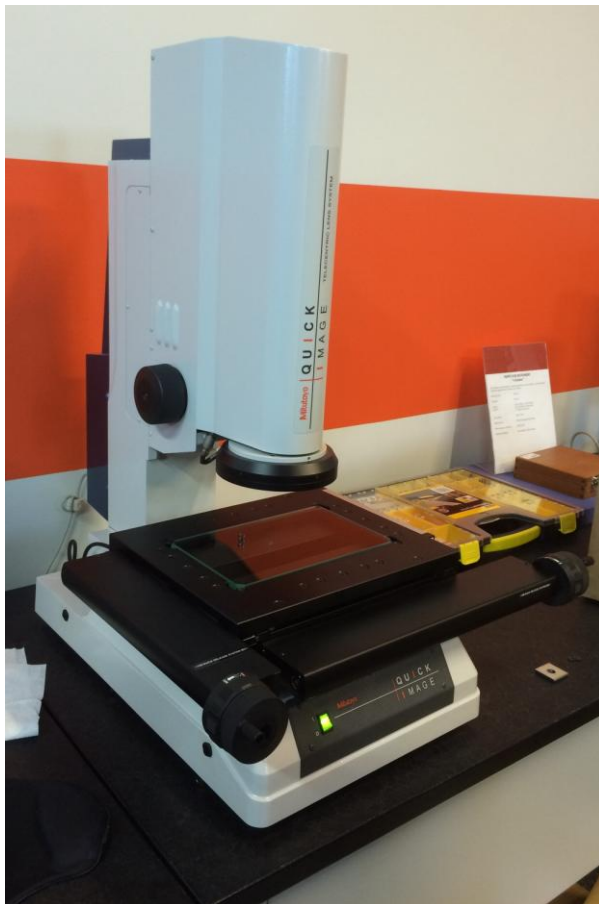


Kuva 17. Näyttekappaleen mittausta QuickVision Apexilla.

## QuickImage

QuickImage on Mitutoyön 2D-mittalaite. Laitteessa on automaattinen kappaleen tunnistus. Automaattinen tunnistus tarkoittaa sitä, että tietokoneen ohjelmaan luodaan manuaalisesti ohjelma kappaleen mitoista ja muodoista, minkä jälkeen laite tunnistaa automaattisesti kappaleen. Ohjelmaan syötetään tiedot mitoista, muodoista ja niiden toleransseista, joita koneen halutaan tarkastelevan.

Tunnistettava kappale voi olla missä tahansa kohtaa laitteen pöytää, myöskään asennolla ei ole väliä, kunhan se pysyy z-akselin suhteen samassa asennossa. Kappale on haettava manuaalisesti akseleita liikuttamalla kameran kuva-alan alle, ennen kuin se pystyy tunnistamaan kappaletta. Tämän jälkeen laite tunnistaa automaattisesti kappaleen tai kappaleet. Pöydälle voi asettaa useamman kappaleen samaan aikaan, kunhan ne eivät tule toistensa päälle. Laitteen mitattua kappaleet se ilmoittaa läpäiseekö mittaukset annetut toleranssit. Kuvassa 18 Mitutoyön QuickImage-malli.



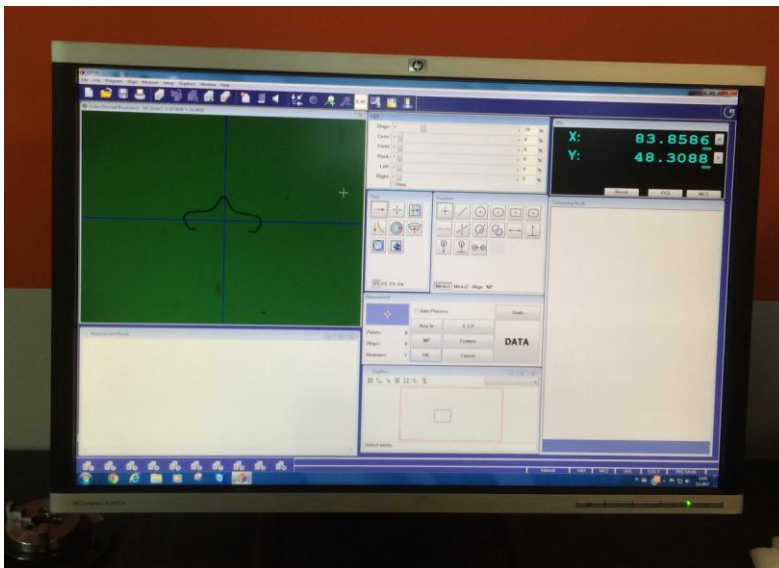
Kuva 18. Mitutoyön manuaalinen QuickImage 2D-mittalaite.

Kuvassa 19 on tehtaalla valmistettava pieni "napsujousi" kynän vieressä, jotta koon hahmottaisi. Jousi oli hyvä näytekappale testimittauksiin sen hyvin pienen koon vuoksi.



Kuva 19. "Napsujousi" Mitutoyon testimittauksia varten.

Kuvassa 20. Napsujousi on kuvattuna QuickImagella. Laite tunnisti kappaleen hyvin. Kappaleen paikan vaihdon jälkeen laite ei aina tunnistanut kappaletta. Mitutoyon henkilökunta lupasi selvittää asiaa.



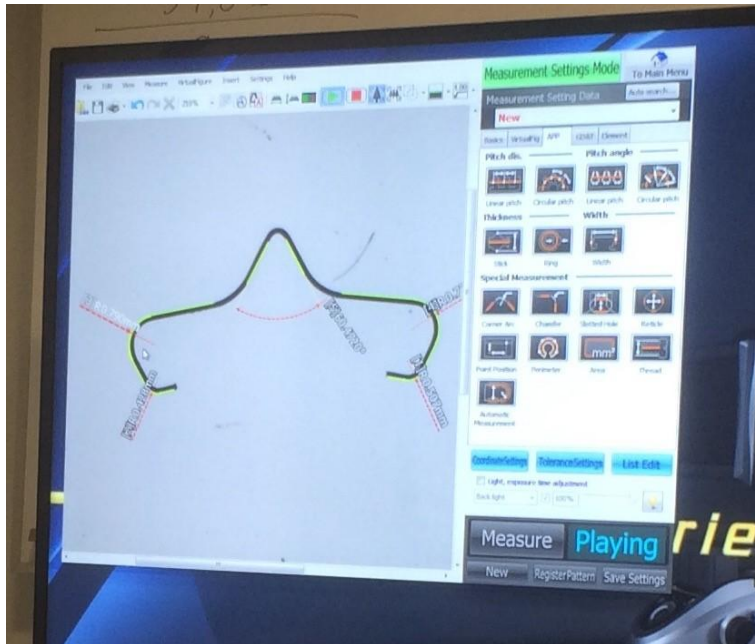
Kuva 20. "Napsujousi" kuvattuna ja mitattavana QuickImagella.

### 8.3.2 Keyence

Testimittaukset järjestettiin Keyencen IM-6225 mittalaitteella Keyencen maahantuojan Movetec Oy:n kautta Meconetin Vantaan tehtaalla. Keyencen tuotepäällikkö esitteli laitteen tehtaalla. Testimittauksia tehtiin sopiviksi valituilla kappaleilla. Kuvassa 21 Keyence-mittalaite ja kuvassa 22 ohjelman luontia jo aikaisemmin mainitulla ”napsujousella”.



Kuva 21. Keyence IM-6225-mittalaite. Kuvassa näytekappale on kiinnitettynä jigiiin.



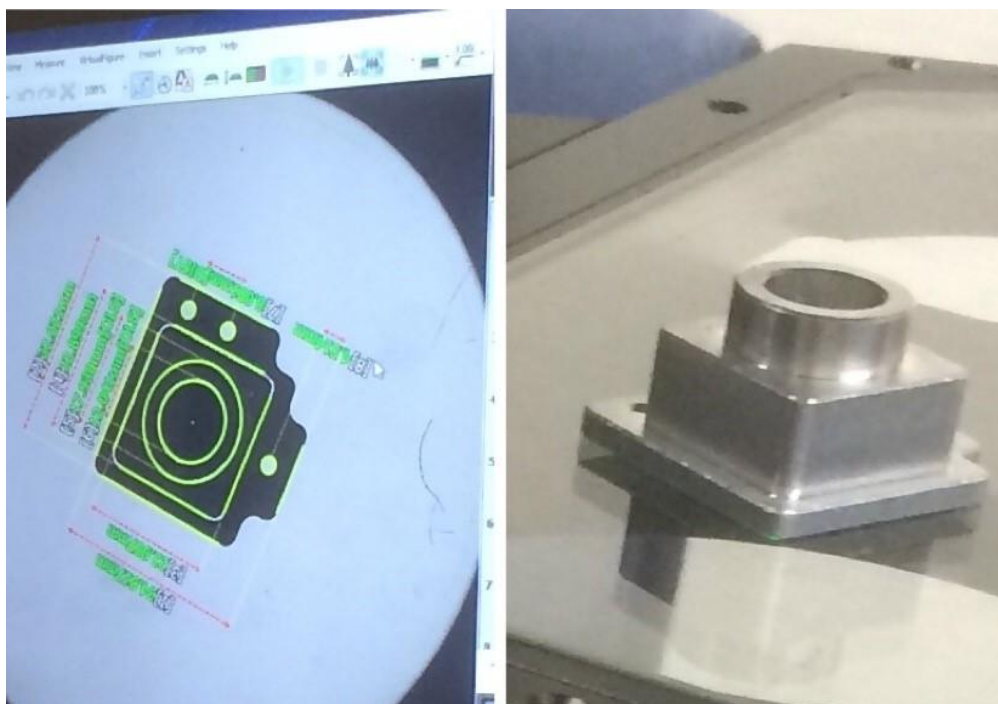
Kuva 22. Ohjelman tekoa ”napsujouselle” Keyencen IM-6225 mittalaitteella.

Keyencen mittalaite osoittautui erittäin hyväksi. Seuraavaksi listataan laitteen käyttötarkoituksen kannalta positiivisia ominaisuuksia:

- Kuva-ala on 100 mm. Markkinoilta ei löydy isompaa kuva-alaa vastaavissa laitteissa.
- Mittaa kappaleen ilman ohjelman luontia, ilmoittaa silloin kaikki mitat, jotka löytyä.
- On mahdollista mitata monta kappaletta samaan aikaan.
- Mittaus on erittäin nopea ja tarkka.
- Nappia painamalla tulostuu visuaalisesti erittäin hyvä raportti.
- Opetusvideot auttavat mittausohjelman luonnissa kappaleille.
- Minimi paksuus, jonka laite tunnistaa on 0,010 mm.



- Laitteen voi sijoittaa tuotantotiloihin. Tärinä ja epäpuhtaudet ilmassa, kuten öljy, eivät haittaa laitteen toimintaa.
- Tuki on ilmainen.
- Kalibroinnin voi suorittaa itse mittapaloja käyttäen.
- Koulutus laitteen käyttöön on ilmainen
- Tämän hetken mittavälineiden avulla hankalasti mitattavien muotojen mittaus onnistui varsin helposti Keyencen mittalaitteella.
- Tunnistaa ylävalon avulla eri korkeuksissa olevat tasot kappaleessa. Kuva 23 havainnollistaa tilannetta.



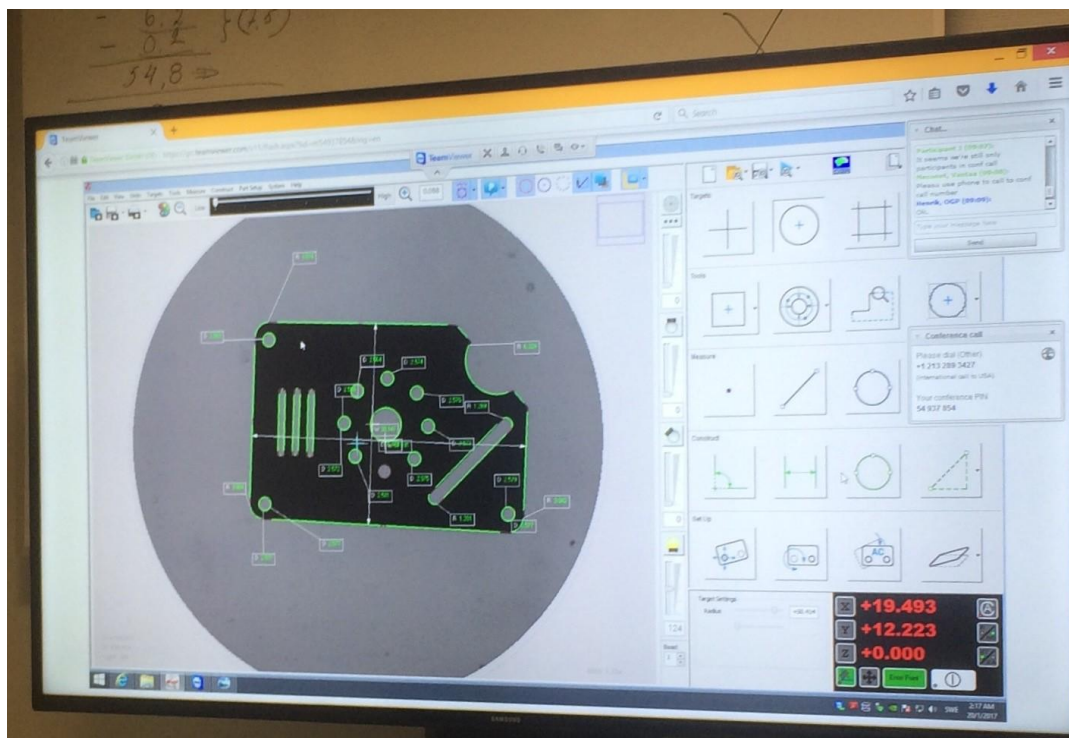
Kuva 23. Oikealla mitattava kappale ja vasemmalla näytön antama kuva mittauksesta. Ylävalon avulla laite pystyy tunnistamaan eri tasoissa olevat muodot ja mittaamaan ne. Korkeuksien mittaamiseen vaadittaisiin lisäksi vielä kosketusanturi.

### 8.3.3 OGP

OGP Scandinavia AB:n kanssa käytiin Teamviewer-palaveri. Palaverissa yhteyshenkilö esitteli mittausta OGP Snap 350-mittalaitteella. Teamviewer-palvelun kautta. Kuvassa 24 OGP Snap DM-200-mittalaite ja kuvassa 25 Teamviewerin kautta jaettu näyttökuvaa, jossa suoritetaan testimittauksia.



Kuva 24. OGP Snap DM-200-mittalaite (OGP 2016).



Kuva 25. OGP Snap DM-350-mittalaitteen testausta Teamviewerin kautta.

OGP:n mittalaite osoittautui myös hyväksi ja käyttötarkoitukseen sopivaksi. Kuitenkin verrattaessa aiemmin esitettyyn Keyencen mittalaitteeseen oli OGP jonkin verran hitaampi ja hankalakäyttöisempi. Testit tehtiin Snap DM-350-mittalaitteella, tätä laitetta ei pidetty vaihtoehtona hankintaan, koska se ylitti budjetin reilusti. Kuitenkin pienempään DM-200 malliin verrattuna ohjelmat ovat laitteissa vastaavat, joten testaus isommalla laitteella antoi riittävän hyvän kuvan mittauksesta.

#### 8.4 Yhteenveto

Tutustuminen 2D-mittalaitteisiin, yhteydenotot jälleenmyyjiin, testimittaukset sekä tarjousten kilpailutus ja erittely antoivat varsin hyvän kuvan markkinoiden tarjonnasta. Osa mittalaitteista on toisiinsa nähden varsin samankaltaisia käytöltään sekä ohjelmistoltaan, kuten OGP Snap DM 200 ja Keyencen IM-mittalaitteet. Molemmissa laitteissa on suuri kuva-ala, helppokäyttöinen ohjelmisto sekä suurin piirtein sama mittausalue ja tarkkuus. Nämä kaksi mittalaitetta päätyivätkin lopulta vaihtoehdoiksi, joista oli valittava toinen. Muut mittalaitteet karsiutuivat pois riittämättömän mittausalueen, pienen kameran kuva-alan, ohjelmiston vaikeakäyttöisyyden sekä hitauden vuoksi.



## 8.5 Laitteen valinta ja tilaaminen

Lopulta 2D-mittalaitteista pidettiin esitys yrityksen johdolle. Meconetin virolainen tytäryhtiö Meconet AS osallistui myös esitykseen, sillä myös heillä on ollut tavoitteena hankkia 2D-mittalaite tuotannonaikaiseen laadunseurantaan. Esityksessä kerrottiin tärkeimmät tekniset tiedot mittalaitteista, eriteltiin tarjouksien sisällöt sekä vertailtiin kahden parhaaksi valitun mittalaitteen ominaisuuksia. Kuvassa 26 vertaillaan OGP:n sekä Keyencen ominaisuuksia. Kuvassa 27 on esitettyä mittalaitteiden tärkeimmät tekniset tiedot sekä tarjousten sisällöt. Meconetin virolainen tytäryhtiö Meconet AS osallistui myös esitykseen, sillä heillä on ollut myös tavoitteena hankkia 2D-mittalaite tuotannon laadunseurantaan.

Device		<b>OGP</b>	<b>Keyence</b>
		<b>SNAP DM-200</b>	<b>IM-6225</b>
<b>Table size</b>		228x100 mm	200x100 mm
<b>Measuring area</b>		D78mm	D100mm
<b>Maintenance/calibration</b>		Need annual calibration	Doesn't need annual calibration free support
<b>Placement to production facilities</b>		Need some cabin	Doesn't need cabin oil in the air and some vibration doesn't matter
<b>Creating measuring programs</b>		Easy	Easier and faster
<b>Measuring</b>		Easy	Easier and faster
<b>Report printing</b>		Not as good as Keyence	Very good( after test drive you can give report straight to the customer)
<b>Price (about)</b>		xxx	xxx

Kuva 26. OGP Snap DM 200 vastaan Keyence IM-6225.

Device	Mitutoyo	Keyence	Keyence	OGP	OGP	OGP
	QuickImage 3017 CNC	IM-6125	IM-6225	QVI SNAP DM200	QVI SNAP DM200	QVI SNAP DM200
Table size	300x170 mm	200x100 mm	200x100 mm	210x45mm	228x100mm	250x100 mm
Measuring area						
High	32x24 mm	25x25 mm			19,5 mm	D 25 mm
Low	-	D 100 mm	D100 mm	60x45 mm	D78mm	D 100 mm
Axial moves	Automatical	Automatical	Automatical	Automatical	Automatical	Automatical
Accuracy						
High	$\pm (3.5+0.02L) \mu\text{m}$	$\pm(4 + 0.02 L) \mu\text{m}$	$\pm(4 + 0.02 L) \mu\text{m}$	5 $\mu\text{m} + L/150$	5 $\mu\text{m} + L/150$	5 $\mu\text{m} + L/150$
Low	-	$\pm(7 + 0.02 L) \mu\text{m}$	$\pm(7 + 0.02 L) \mu\text{m}$	10 $\mu\text{m} + L/150$	10 $\mu\text{m} + L/150$	10 $\mu\text{m} + L/150$
Lighting						
table light	X	X	X	X	X	X
coaxial light	X	Option	X	X	X	X
Ringlight	X	X	X	X	X	X
Software						
Maintenance/calibration	Finnish	German/Japanese "free support"	German/Japanese "free support"	Sweden	Sweden	Sweden
Delivery time		will be agreed separately(fast)	will be agreed separately(fast)	4-6 week	4-6 week	4-6 week
Varanty				12 month	12 month	12 month
Price	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>
Contents of quotation	Device will be established between March to May. Specifications should be almost same with manual model plus CNC-axels and stitching function.	Measuring head with wide area The control unit CAD-import option Measurement data processing software Sapphire glass Delivery Training 2x4h for free	Measuring head with wide area plus ring illumination unit The control unit CAD-import option Measurement data processing software Sapphire glass Delivery Training 2x4h for free	Device Installation and calibration/training 1day Delivery 27" LED-monitor wireless mouse/keyboard	Device Installation/calibration 1 day Training 2 days Delivery 27" LED-monitor wireless mouse/keyboard	Device Installation/calibration 1 day Training 2 days Delivery 27" LED-monitor wireless mouse/keyboard

Kuva 27. Mittalaitteiden tärkeimmät tekniset tiedot sekä tarjousten sisällöt.

Lopulta valinta oli Keyence IM-6225-mittalaite. Seuraavaksi listataan valintaan vaikuttaneet tekijät:

- Laitteen koko on kompakti.
- Mittaus sekä ohjelman luonti on nopeaa ja helppoa.
- Laitteen sijoitus tuotannon tiloihin onnistuu vaivattomasti.
- Laitteen vuosittaisen kalibroinnin voi suorittaa itse mittapalojen avulla.
- Laite on erittäin tarkka.
- Laitteen raportointi on erittäin hyvin toteutettu.

Laitevalinnan jälkeen tehtiin vielä yrityksen hallitukselle investointiesitys, jossa hankintapäätöstä vielä puollettiin. Puoltamisen jälkeen mittalaitteet tilattiin. Meconet AS päätyi myös hankkimaan saman mittalaitteen.

## **9 Käyttöönottosuunnitelma Meconet Oy:llä**

Mittalaitteelle tehtiin alustava käyttöönottosuunnitelma. Suunnitelmaan sisältyy laitteen käyttöönottokoulutus vastuuhenkilöille sekä tuotannontyöntekijöille, laitteen sijoitus tuotantoon, sen käyttö ja seuranta.

### ***Laitteen käyttöönottokoulutus toimittajalta***

Yleisesti laitteen tilauksen yhteydessä laitetoimittaja tarjoaa laitteen käyttökoulutuksen. Koulutus kestää useimmiten noin yhdestä kolmeen päivään, riippuen miten sovitaan. Tässä vaiheessa on sovittava ketkä osallistuvat koulutukseen.

### ***Mittalaitteen sijoitus***

Mittalaite tulee sijoittaa niin, että se on mahdollisimman lähellä siellä missä sitä tarvitaan. Valaistus on myös huomioitava, sillä taustavalo saattaa häiritä mittausta. Alueen ympärille on mahdollista tehdä valosuoja, mikä estää häikäisyn. On myös otettava huomioon, onko laite herkkä värinälle tai ilman epäpuhtauksille, kuten öljylle.

### ***Testimittaukset ja mittausepävarmuuden määrittäminen (Gage R&R -testi)***

Laitteella tulee tehdä testimittauksia ennen tuotannon käyttöönottoa. Lisäksi tullaan määrittämään laitteelle mittausepävarmuus. Gage R&R-testi on todennäköisin tapa määrittää mittausepävarmuus.

### ***Laitteen kapasiteetin määrittäminen***

Mittalaitteelle tulee määrittää kapasiteetti, jotta saadaan selville, kuinka suuren osan mittauksista laite pystyy mittaamaan tuotannon aikana.

### ***Laitteella mitattavien tuotteiden rajaus***

Määritetään mitä tuotteita on kannattavaa mitata uudella menetelmällä ja mitkä tuotteet kokonsa puolesta on ylipäättään mahdollista mitata mittalaitteella.

***Mittausohjelmien luominen***

Luodaan mittaohjelmat valituille tuotteille.

***Jigit***

Tarvittavien jigien suunnittelu ja valmistus/tilaus.

***Koulutus tuotannon työntekijöille***

Koulutetaan tuotannon työntekijät käyttämään mittalaitetta.

***Seuranta***

Seurataan laitteen käyttöä tuotannossa.

***Palautekysely tuotannon työntekijöille***

Tehdään palautekysely tuotannon työntekijöille, jotta saadaan selvitettyä, miten se palvelee ja helpottaa tuotannon mittauksia.

***Mahdolliset muutokset***

Mahdollisia muutoksia tehdään, jos ne todetaan tarpeelliseksi seurannan ja palautekyselyn pohjalta.

***SPC-tiedon keräys***

Aloitetaan SPC-tiedonkeräys valituille tuotteille. Määritellään missä vaiheessa data siirretään mittalaitteelta MeasurLink-ohjelmaan.

## 10 Päätelmät

Työn tavoitteena oli tehdä kattava vertailu markkinoilla olevista 2D-mittalaitteista mittalaitehankinnan tueksi. Hankinnan tarkoituksena on parantaa tuotannon aikaista laadunseurantaa. Työn aluksi tutustuttiin 2D-mittaukseen ja eri laitetoimittajiin. Tutustumisen jälkeen tehtiin testimittauksia potentiaalisiksi valituilla mittalaitteilla sekä pyydettiin tarjouksia laitteista. Testien ja tarjousten käsittelyn jälkeen päädyttiin valitsemaan käyttö-tarkoitukseen sopivin mittalaite.

### 10.1 Projektin onnistuminen

Projekti onnistui erittäin hyvin. Tutkimus oli kattava selvitys markkinoilla olevista eri mittalaitteivaihtoehdoista. Lopullinen laitevalinta (Keyence IM-6225) osoittautui erittäin hyväksi valinnaksi Meconetin Vantaan tehtaalle sekä Meconet AS:n tehtaalle.

### 10.2 Toimeksiantajan tyytyväisyys projektiin

Toimeksiantoyritys oli tyytyväinen projektiin. Projektia oli jo aikaisempina vuosina suunniteltu, mutta kiireiden vuoksi sen toteuttaminen ei ollut aikaisemmin mahdollista. Myös Meconet AS oli tyytyväinen projektiin.

### 10.3 Projekti oppimisen kannalta

Oppimisen kannalta projekti oli kokonaisuudessaan erittäin kattava. Projektiin sisältyi tutkimusta teoriatasolla eri mittalaitteista sekä mittauksesta yleensä. Yhteydenpito eri laitetoimittajiin, testimittaukset, tarjousten pyyntö ja erittely ja itsenäinen työskentely aiheen parissa sekä palaverit yhdessä muiden työntekijöiden olivat hyödyllisiä oppimisen kannalta. Yleisesti projekti antoi hyvän kuvan insinöörityöstä ja sen aikana oppi paljon uutta sekä tuli kerrattua vanhoja opittuja asioita.

## Lähteet

Haverila, M. 2009. Teollisuustalous. Tampere. Hämeen Kirjapaino Oy.

Hiottu Oy. Verkkosivut. [<http://www.hiottu.fi/>]. Viitattu 20.12.2016.

Keyence. Verkkosivut. [<http://www.keyence.eu/>]. Viitattu 24.1.2017.

Kivioja S. 2006. Toleranssit ja pinnankarheus. Opetusmoniste, Metropolia AMK.

Kume, H. 1998. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. Helsinki. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Kuusisto L. 2007. Gage R&R-menetelmän soveltaminen taajuusmuuntajan ohjauskortin funktionaalisessa testauksessa. Verkkodokumentti. [<http://lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn009964.pdf>]. Viitattu 6.3.2017.

Lecklin, O. 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. Hämeenlinna. Karisto Oy.

Lähteenmäki, M. & Leiviskä, K. 1998. Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät. Verkkodokumentti. [<http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514275209.pdf>]. Viitattu 13.1.2017.

Meconet Oy. Verkkosivut. [<http://www.meconet.net/fi/>]. Viitattu 26.1.2017.

OEM Automatic. Verkkosivut. [<http://www.oem.fi/>] Viitattu 20.1.2017.

OGP. Verkkosivut. [<http://ogp.se/>]. Viitattu 25.1.2017.

Prolink. Verkkosivut. [<https://www.prolinksoftware.com/>]. Viitattu 25.1.2017.

Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC. Helsinki. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Uuksulainen, T. 2013. SPC-toimintamallin käyttöönotto lukot-liiketoimintayksikölle. Verkkodokumentti.

[[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61212/Uuksulainen\\_Terho.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61212/Uuksulainen_Terho.pdf?sequence=1)].

Viitattu 13.1.2017.

## Keyence IM-6225, tekniset tiedot

Model		IM-6225	
Type		Head	
Image pickup device		1" 6.6 mega pixel monochrome CMOS	
Display		10.4" LCD monitor (XGA: 1024 × 768) External monitor connectable (clone output)	
Light receiving lens		Double telecentric lens	
Field of view		Wide field: $\phi 100 \times L200$ mm, High precision: $25 \times L125$ mm	
Minimum display unit		0.1 $\mu\text{m}$	
Repetition accuracy	W/o stage movement	Wide field: $\pm 1 \mu\text{m}$ , High precision: $\pm 0.5 \mu\text{m}$	
	With stage movement	Wide field: $\pm 2 \mu\text{m}$ , High precision: $\pm 1.5 \mu\text{m}$	
Measurement accuracy ( $\pm 2\sigma$ )	W/o binding	Wide field: $\pm 5 \mu\text{m}^2$ , High precision: $\pm 2 \mu\text{m}^2$	
	With binding	Wide field: $\pm(7 + 0.02 L) \mu\text{m}^2$ , High precision: $\pm(4 + 0.02 L) \mu\text{m}^2$	
Height measurement	Measuring range	-	
	Measurement force	-	
	Measurement position accuracy (XY)	-	
	Minimum display unit	-	
	Measurable area (XY)	Standard probe	-
		Wide-range probe	-
	Repetition accuracy	Standard probe	-
		Wide-range probe	-
Measurement accuracy	Standard probe	-	
	Wide-range probe	-	
External remote input		Non-voltage input (with and without contact)	
External output	OK/NG/FAIL	Relay output/rated load: 24 VDC, 0.5 A/ON resistance	
	LAN	RJ-45 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T)	
	USB 2.0 series A	6 ports (front: 2, rear: 4)	
Record	Hard disk drive	250 GB	
Illumination system	Transparent	Telecentric transparent illumination	
	Epi	Four division, multi-angle illumination (electric) Slit ring (directivity) illumination (electric)	
X stage	Moving range	100 mm (electric)	
Z stage		30 mm (electric)	
	Withstand load	2 kg	
Rating	Power voltage	100 to 240 VAC 50/60 Hz	
	Power consumption	310 VA max.	
Environmental resistance	Operating ambient temperature	+10°C to 35°C	
	Operating ambient humidity	20% RH to 80% RH (no condensation)	
Weight		Approx 31 kg	

<sup>1)</sup> In the range of  $\phi 80$  mm from the centre of the stage within the operating ambient temperature range of +23°C  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  at the focused focal point position

<sup>2)</sup> In the range of  $\phi 20$  mm from the centre of the stage within the operating ambient temperature range of +23°C  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  at the focused focal point position

<sup>3)</sup> In the range of  $\phi 80 \times 180$  mm from the centre of the stage, within the operating ambient temperature range of +23°C  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  at the focused focal point position, and with a load weighing 1 kg or less on the stage (L = amount of stage movement in mm units)

<sup>4)</sup> In the range of  $\phi 20 \times 120$  mm from the centre of the stage, within the operating ambient temperature range of +23°C  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  at the focused focal point position, and with a load weighing 1 kg or less on the stage (L = amount of stage movement in mm units)