



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# OPTISEN MITTALAITTEEN ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

Markus Riuttaskorpi

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio

RIUTTASKORPI, MARKUS:  
Optisen mittalaitteen asennus ja käyttöönotto

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 16 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Tässä opinnäytetyössä suoritettiin optisen mittalaitteen asennus ja käyttöönotto. Laitteen hankki Tampereen Tiivisteteollisuus Oy laadunvalvontansa tehostamiseksi. Lisäksi työssä luotiin mittalaitteelle käyttöohjeet, huolto-ohjelma sekä laskettiin investoinnin takaisinmaksuaika. Yritykselle myös tehtiin ehdotus käsimittalaitteen hankkimisesta tuotteiden paksuuden mittaamiseksi.

Optisen mittalaitteen asennus suoritettiin yhteistyössä laitteen valmistajayrityksen kanssa. Mittalaite toimitettiin Tampereelle osissa, ja laite koottiin remontoituun mittahuoneeseen. Asennuksen jälkeen järjestelmä kalibroitiin, ja sen ohjelmisto konfiguroitiin yrityksen toiveiden mukaiseksi. Käyttöönoton jälkeen laitteelle luotiin selkeät suomenkieliset ohjeet, jotka opastavat järjestelmän käytössä sekä kunnossapidossa. Säännöllisten huoltotoimenpiteiden toteutumisen edistämiseksi mittalaitteelle suunniteltiin myös huolto-ohjelma. Hankinnan edullisuutta arvioitiin laskemalla laiteinvestoinnin takaisinmaksuaika suuntaa antavasti. Lopuksi valittiin markkinoilta sopiva käsimittaväline optisen mittalaitteen oheen, ja sen hankinnasta tehtiin yritykselle ehdotus.

Mittalaitteen asennus ja käyttöönotto onnistuivat odotetusti. Järjestelmän toiminta ja käytettävyys vastasivat yrityksen odotuksia. Käyttö- ja huolto-ohjeista saatiin tiiviit ja selkeät, ja ne palvelevat täysin kokemattomiakin ihmisiä. Investoinnin takaisinmaksuaika laskettiin riittävällä tarkkuudella, ja lopputulos oli realistinen.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine Automation

RIUTTASKORPI, MARKUS:

The Installation and Commissioning of an Optical Measuring Device

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 16 pages

April 2017

---

In this bachelor's thesis the installation and commissioning of an optical measuring device were carried out. The machine was acquired by Tampereen Tiivisteteollisuus Oy in order to improve their industrial quality control. Operating and maintenance instructions were created, and the investment's payback time was calculated. In addition, a proposal for obtaining a supporting hand measuring device was offered for measuring the thickness of products.

The installation of the optical measurement device was carried out in collaboration with the manufacturer of the device. The device was shipped to Tampere in parts, and put together in a renovated quality control room. After the installation the system was calibrated and its software was configured in line with the company's wishes.

After the setup of the device, clear Finnish instructions were created in order to guide employees in the use and maintenance of the system. A maintenance program was created for the machine to remind of the regular maintenance procedures. The profitability of the investment was evaluated by calculating the approximate payback period. After that a suitable hand measuring device was selected, and a purchasing proposal was given to the company along with the calculations.

The installation and commissioning of the measuring system were successful as expected. The functionality and usability of the system met the company's expectations. Operating and maintenance instructions were made compact and clear, and they serve even completely inexperienced people well. The payback period for the investment was calculated with sufficient accuracy, and the results were realistic.

---

Key words: measuring system, installation, commissioning, payback period

## SISÄLLYS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO.....                                       | 6  |
| 2 | OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET .....            | 7  |
| 3 | TEORIA .....  | 8  |
|   | 3.1 Optinen mittaaminen.....                        | 8  |
|   | 3.2 Koneenasennus .....                             | 10 |
|   | 3.3 Takaisinmaksuaika investoinneissa .....         | 11 |
| 4 | PLANAR P70.20 -MITTALAITE .....                     | 12 |
|   | 4.1 Toimintaperiaate .....                          | 13 |
|   | 4.2 Mittalaitteen rakenne .....                     | 13 |
|   | 4.3 Planar-tietokoneohjelma .....                   | 14 |
|   | 4.3.1 Mittaaminen ja raportointi.....               | 15 |
|   | 4.3.2 Takaisinmallinnus .....                       | 16 |
| 5 | MITTALAITTEEN ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO .....         | 18 |
|   | 5.1 Asennuksen esivalmistelut.....                  | 18 |
|   | 5.2 Mittalaitteen asennus .....                     | 19 |
|   | 5.3 Tietokoneen asennus.....                        | 21 |
|   | 5.4 Mittalaitteen kalibrointi .....                 | 22 |
|   | 5.5 Koulutus.....                                   | 28 |
| 6 | KÄYTTÖOHJEIDEN JA HUOLTO-OHJELMAN LUOMINEN .....    | 29 |
|   | 6.1 Käyttöohjeet.....                               | 29 |
|   | 6.2 Huolto-ohjelma .....                            | 30 |
| 7 | TAKAISINMAKSUAJAN LASKEMINEN.....                   | 31 |
|   | 7.1 Tiedonkeruu .....                               | 31 |
|   | 7.2 Laskeminen.....                                 | 34 |
| 8 | LAITEKARTOITUS PAKSUUDEN MITTAAMISEEN .....         | 36 |
| 9 | POHDINTA.....                                       | 40 |
|   | LÄHTEET.....  | 43 |
|   | LIITTEET .....                                      | 45 |
|   | Liite 1. Esimerkkiraportti mittaustuloksista .....  | 45 |
|   | Liite 2. Manuaalisen mittaamisen ohje.....          | 48 |
|   | Liite 3. Automaattisen mittaamisen ohje.....        | 53 |
|   | Liite 4. Takaisinmallinnuksen ohje .....            | 54 |
|   | Liite 5. 2D-kalibrointiohje.....                    | 56 |
|   | Liite 6. Huolto-ohjeet mittalaitteelle .....        | 58 |
|   | Liite 7. Takaisinmaksuajan laskentapöytäkirja ..... | 59 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|                   |   |
|-------------------|---|
| 2D                | Kaksiulotteinen   |
| 3D                | Kolmiulotteinen   |
| CAD-piirustus     | Computer-aided Design, digitaalinen piirustus kappaleesta |
| I/O               | Input/Output, sisään tulevat ja ulos lähtevät signaalit   |
| Kalibrointi       | Laitteen virittäminen näyttämään todenmukaiset tulokset   |
| Takaisinmallinnus | CAD-piirustuksen luominen valmiista tuotteesta            |
| Verifiointi       | Laitteen toiminnan varmistaminen                          |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on optisen mittalaitteen asennus ja ylösajo. Työssä käsitellään optisen mittalaitteen hankkimisprosessin perusteita, sekä tarkastellaan mittalaitteen käyttöönottoa koneenasennuksen näkökulmasta. Lisäksi opinnäytetyössä esitellään käyttöohjeet mittalaitteen käyttöä varten ja huolto-ohjelma säännöllisen kunnossapidon toteuttamiseksi.

Opinnäytetyö sai alkunsa, kun tarve mittalaitteen hankkimisesta tuli esille. Teollisuusalan yrityksissä on tärkeää valvoa työn laatua, jotta pystytään varmistamaan valmistettavan tuotteen toiminta ja tasokkuus. Mikäli laadunvalvonnassa on puutteita, saattaa asiakkaille päästä viallisia tuotteita, jonka seurauksena reklamaatioiden määrä kasvaa. Optinen mittalaite parantaa laadunvalvontaa huomattavasti perinteiseen käsin mittaamiseen nähden, sillä sen avulla voidaan mitata tuotteista tuhansia mittoja nopeasti ja tarkasti.

Laitehankinnan suunnittelussa tulee olla hyvä teoriapohja aiheesta, sekä ajankohtaista tietoa markkinoiden tarjonnasta. Markkoinoilla on useita erilaisia optisia mittalaitteita, jotka eroavat toisistaan pääosin hinnan, tarkkuuden, monipuolisuuden ja mitta-alueen suuruuden osalta. Opinnäytetyön yhteistyöyrityksen laitehankinnaksi valikoitui InspecVision Ltd:n valmistama Planar P70.20 –mittalaite.

Työn keskeiset osat olivat mittalaitteen asennus, takaisinmaksuajan laskeminen, käyttöohjeiden luominen sekä laitehankintaehdotus tuotteiden paksuuden mittaamiseksi. Opinnäytetyön yhteistyökumppanina toimi Tampereen Tiivisteteollisuus Oy, joka on tiivisteratkaisuja valmistava perheyritys.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

Tampereen Tiivisteteollisuus Oy on erilaisia tiivisteratkaisuja valmistava perheyritys, joka valmistaa tuotteita pääosin vesi- ja laserleikkaamalla. Yrityksen liikevaihto on 15 miljoonaa euroa ja se työllistää 75 työntekijää. Yrityksessä on panostettu jatkuvaan parantamiseen, jotta asiakkaille voidaan tarjota lisäarvoa tiivisteratkaisuihin sekä nostaa palvelun tasoa entisestään. Jatkuvan parantamisen ideologian pohjalta tehtiin päätös optisen mittalaitteen hankinnasta laadunvalvonnan tehostamiseksi ja lisäarvon tuomiseksi asiakkaille.

Opinnäytetyön tehtävänantona oli asentaa mittalaite käyttövalmiiksi, luoda sille selkeä käyttöohje ja laskea mittalaitteen investoinnin takaisinmaksuaika. Lisäksi työssä tuli kartoittaa tuotteiden paksuuden mittaamiseen sopiva mittaväline, sillä optisella mittalaitteella pystyy tarkasti mittaamaan vain tuotteiden kaksiulotteiset muodot.

Opinnäytetyön tavoitteina oli

- saada mittalaite asennettua oikein ja ammattimaisesti
- kalibroida laite toimimaan tarkasti ja luotettavasti, eli virittää mittalaite näyttämään totuudenmukaiset mittaustulokset
- luoda laitteelle yksinkertaiset ja selkeät käyttöohjeet
- laskea mittalaitteen takaisinmaksuaika riittävällä tarkkuudella
- kartoittaa markkinoilta käytännöllinen ja kustannustehokas työkalu tuotteiden paksuuden mittaamiseen
- ohjeistaa yritystä mittalaitteen tehokkaaseen käyttöön ja automatiikan hyödyntämiseen.

Opinnäytetyö on tehty toiminnallisilla menetelmillä. Työn alussa esitetään käsiteltävien asioiden teoreettinen tausta, jota seuraa työn toiminnallinen osuus. Toiminnallinen osuus sisältää mittalaitteen asennuksen, ohjeiden luomisen, taloudelliset laskelmat sekä mittatyökalun valitsemisen.

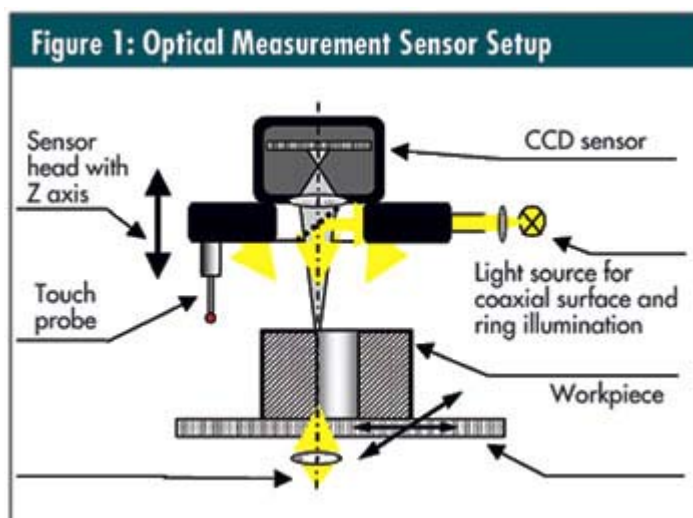
### 3 TEORIA

Teoriaosuudessa käsitellään optisen mittaamisen käsitteitä, koneenasennuksen perusteita sekä investoinnin takaisinmaksuaikaa. Optiikan perusteiden tunteminen on työssä merkityksellistä, jotta asennusvaiheessa pystytään huomioimaan mittaamisen kannalta tärkeät asiat. Tällaisia ovat esimerkiksi kameran asennon ja valaistuksen vaikutukset mittautuloksiin. Työssä on myös tunnettava koneenasennuksen sekä koneenosaopin perusteet, jotta asennus voidaan suorittaa oikeaoppisesti.

#### 3.1 Optinen mittaaminen

Optisesta eli valoon perustuvasta mittaamisesta on paljon hyötyä mekaaniseen mittaamiseen verrattuna, vaikkakin sillä on vielä toistaiseksi runsaasti rajoitteita. On lukuisia käyttökohteita, joissa optista mittaustekniikkaa ei voida tai ei ole järkevää käyttää, mutta oikeissa olosuhteissa optinen mittaaminen voi olla erittäin tarkkaa ja nopeaa. Optinen mittaustekniikka sopii erittäin hyvin ohuille kappaleille, joita voidaan mitata siluettina. (Bibee 2009.)

Bibee (2009) kertoo, että optisessa mittausjärjestelmässä havainnoivana komponenttina voi olla esimerkiksi kameroissa käytettävä CCD-kenno. Kuvassa 1 on esitetty yksi esimerkki optisesta mittausjärjestelmästä. Kuvan kosketuspää on tarkoitettu kappaleen paksuuden mittaamiseen, mutta kaksiulotteisten muotojen mittaamiseen sitä ei tarvita.

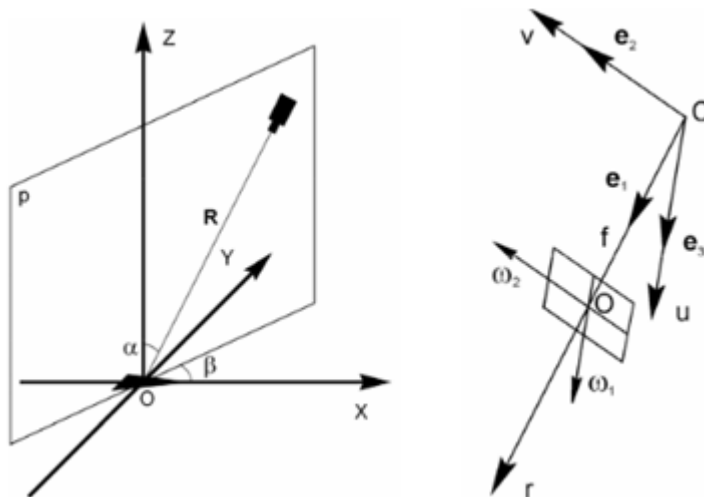




KUVA 1. Esimerkki optisesta mittausjärjestelmästä (Bibee 2009)

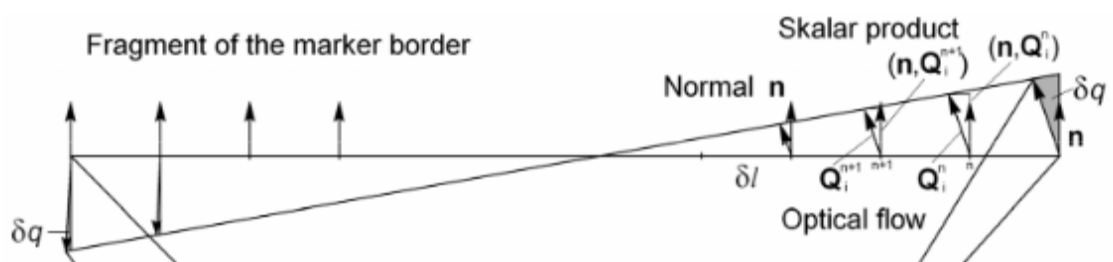
Kappaleen reunojen havaitsemiseksi tarvitaan valaistusta luomaan selkeä kontrastiero kappaleen ja mittausalustan välille. Bibeen (2009) mukaan valaistusvaihtoehtoja on pääosin kolme; mittausalustan läpi tuleva taustavalo, suora valonsäde kamerasta alaspäin sekä kameran linssin ympärillä oleva rengasvalo. Valaistusvaihtoehdot on havainnollistettu kuvassa 1 keltaisin merkinnöin.

Kameran asento vaikuttaa kuvattavan objektin mittaustuloksiin huomattavasti, minkä vuoksi kamera pyritään saamaan mahdollisimman suoraan kuvausalueen yläpuolelle. Kameran ollessa vinossa mittausalustaan nähden täytyy ohjelmallisesti laskemalla kompensoida koordinaatistojen poikkeama, joka on havainnollistettu kuvassa 2.



KUVA 2. Kameran ja ympäristön koordinaatistojen poikkeama (Grishin 2010, muokattu)

Kun järjestelmä tietää kameran asennon, se pystyy trigonometrian avulla laskemaan mitattavan kappaleen todellisen koon. Ohjelmallinen koordinaatistopoikkeaman kompensointi on esitetty kuvassa 3.



### KUVA 3. Koordinaatistopoikkeaman kompensoiminen laskemalla (Grishin 2010)

Laskennallinen kompensointi sisältää pyöristystä laskutoimituksissa, joka johtaa aina mittavirheisiin riippuen koordinaatistojen poikkeaman suuruudesta. Lisäksi kappaleen paksuus voi kuvakulmasta johtuen vääristää mittaustulosta. (Grishin 2010.)

## 3.2 Koneenasennus

Koneenasennus tarkoittaa koneiden ja laitteiden kokoamista ja paikalleen asentamista. Asennuksessa koneet ja laitteet kootaan piirustusten ja osaluetteloiden avulla. Asentajan tehtäviin kuuluu myös toimitettujen koneenosien ja komponenttien tarkastaminen sekä niihin tarvittavien muutosten tekeminen käsi- ja konetyökaluilla. Lisäksi asentajan tehtävänä on huolehtia koekäytöstä, asennuksen tarkistuksesta sekä tarvittaessa huollosta. Koneen tai laitteen kokoamisessa asentaja käyttää apunaan erilaisia asennustyökaluja ja -laitteita, mittalaitteita sekä työohjeita, taulukoita ja käsikirjoja. Suuria koneita asennettaessa käytetään apuna nosto- ja siirtolaitteita. (Ammattinetti n.d.)

Koneenrakennuksessa ruuviliitos on yleisin irrotettavissa oleva liitos, sillä se on helppo asentaa ja purkaa, se on oikein käytettynä luotettava ja sitä voidaan käyttää monissa olosuhteissa. Lisäksi standardikiinnikkeet ovat halpoja liitoselimiä. Luotettavan ruuviliitoksen aikaansaamiseksi ratkaiseva merkitys on oikealla esikiristyksellä. Esikiristyksen on oltava riittävän tiukka jottei liitos aukea, mutta ei liian kireä murtaakseen kiinnikkeen tai kiinnitettävän kappaleen rakennetta. Mitä tarkemmin esikiristys voidaan suorittaa tiettyyn momenttiin, sitä kevyemmäksi ja edullisemmäksi liitos voidaan suunnitella, mutta toisaalta esikiristysmenetelmät ovat yhä kalliimpia tarkkuuden kasvaessa. Ruuviliitoksen on säilytettävä riittävä kireys koko suunnitellun elinikänsä ajan. (Ferrometal Oy n.d.)

Koneenasennuksessa on tärkeää huomioida oman työskentelyn lisäksi rakennettavan työpisteen työturvallisuus. Hyrian (2012) mukaan työpisteen turvallisuuteen vaikuttavat esimerkiksi sähköjohtojen ja paineilmaletkujen sijoittelu, työtilan ja valon määrä, työskentelytason korkeus sekä hyvä järjestys työskentelyalueella. Työpisteelle on hyvä

tehdä riskianalyysi, jotta mahdolliset riskit pystytään paikantamaan ja eliminoimaan ennen kuin mahdollinen tapaturma pääsee sattumaan (Hyria 2012).

### 3.3 Takaisinmaksuaika investoinneissa

Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jona investointi tienaa hankintahintansa takaisin, eli nettotuottoja kertyy perushankintamenon verran. Investointi voidaan tehdä, mikäli takaisinmaksuaika on pienempi kuin investoinnille sallittu maksimaalinen takaisinmaksuaika. Investointi on sitä edullisempi, mitä lyhyempi on sen takaisinmaksuaika. (Hänninen 2016.)

Perinteisesti investoinnin takaisinmaksuajan voi laskea kahdella tavalla. Yksinkertaisimmillaan takaisinmaksuajan voi laskea karkeasti kaavalla 1, missä  $n^*$  on takaisinmaksuaika,  $H$  on hankintahinta, ja  $S$  on vuosittainen nettotuotto.

$$n^* = \frac{H}{S} \quad (1)$$

Yksinkertaistettu laskentatapa antaa suuntaa antavan tuloksen, eikä siinä oteta huomioon laskentakorkoa. Kaava myös olettaa vuosittaisen nettotuoton tasaiseksi.

Mikäli tulosta halutaan saada tarkemmaksi, yhtälöön voidaan Hännisen (2016) mukaan lisätä vuotuinen korkokanta, joka voi olla monen korkoa kerryttävän tekijän summa. Tarkka takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 2, missä  $i$  on laskentakorko.

$$n^* = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{S}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (2)$$

Takaisinmaksuajan menetelmä ei yksin kerro kaikkea investoinnista. Se ei esimerkiksi huomioi takaisinmaksuajan jälkeen syntyviä kassavirtoja, eikä täten kerro investoinnin kannattavuudesta. Se ei myöskään sisällä selkeää rajaa takaisinmaksuajalle, jolla investointi kannattaa toteuttaa. Menetelmää voidaan käyttää esimerkiksi investointisuunnitteluprosessin alkuvaiheessa karsimaan heikoimmat vaihtoehdot. Investoinnin kannattavuuden laskemisessa takaisinmaksuajan menetelmää käytetään yhdessä muiden laskentamenetelmien kanssa. (Hänninen 2016.)

#### 4 PLANAR P70.20 -MITTALAITE

Planar P70.20 on optinen mittalaite, jonka on valmistanut Iso-Britannialainen yritys InspecVision Ltd. Yritys on erikoistunut kappaleiden optiseen 2D- ja 3D-mittaamiseen.

Planar-järjestelmä on suunniteltu erityisesti peltiteollisuuden käyttöön laadunvalvontaan sekä takaisinmallinnukseen (engl. reverse engineering). Järjestelmää voidaan käyttää erittäin nopeaan tasomaisten kappaleiden mittaamiseen tai takaisinmallinnukseen. Planar on maailman nopein kaksiulotteinen mittausjärjestelmä. (InspecVision, n.d.a.)

Planar-mittalaite on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Planar-mittalaite (InspecVision, n.d.)

Planar-mittalaitteita on useita eri malleja, mutta kaikissa on sama toimintaperiaate. Mallien välillä vaihtelee varustelutaso, mittausalueen koko, toimintojen määrä sekä tarkkuus. Mallikoodi P70.20 kertoo sen, että kyseessä on Planar-laite, laitteen malli on

70, ja laitteen mittaustarkkuus on 20 mikrometriä. Mittalaitetta käytetään erillisen tietokoneen avulla, johon on asennettu Planar-ohjelma. (McCrea 2017.)

#### **4.1 Toimintaperiaate**

Planar-mittalaite käyttää suuriresoluutioista kameraa kappaleiden mittaamiseen. Kamera on asennettu noin 1,5 metrin korkeuteen valopöydän yläpuolelle siten, että kamera kuvaa suoraan alaspäin valopöytää kohti. Kun valopöydälle asetetaan tasomainen kappale, kamera ottaa siitä kuvan ja välittää tiedoston ohjelmalle. Ohjelma tunnistaa kappaleen reunat ja muuttaa kuvan mustavalkoiseksi siluettiä. Siluettia tulkitsemalla ohjelma päätelee monimutkaisen algoritmin avulla kappaleen reunojen todellisen sijainnin, ja luo niiden perusteella kappaleesta CAD-piirustuksen (Computer-aided Design, digitaalinen piirustus kappaleesta). Ohjelma pystyy mittaamaan piirustuksesta tuhansia mittoja 20 mikrometrin tarkkuudella vain sekunnin murto-osassa. (InspecVision n.d.b.)

Valokuvan perusteella luotua CAD-piirustusta voidaan verrata kappaleen alkuperäiseen CAD-piirustukseen, jolloin nähdään kappaleen mittaheitot. Ohjelmaan voidaan syöttää mittojen toleranssit, jolloin ohjelma kertoo automaattisesti, ovatko kappaleen mitat hyväksytyjä vai hylättyjä. Projektorin avulla voidaan heijastaa kappaleen pintaan vihreitä ja punaisia alueita, jotka kuvaavat mittaheittojen suuruutta. Lopuksi mittauksesta voidaan tulostaa kirjallinen raportti. (McCrea 2017.)

Mittalaitteella tehdään pääosin 2D- eli kaksiulotteisia mittauksia, mutta sillä on lisäksi mahdollista suorittaa osittain 3D- eli kolmiulotteisia mittauksia. McCrea (2017) toteaa, että koska optinen mittaaminen yhdellä kameralla ei ole aitoa 3D-mittaamista, InspecVision kutsuu sitä 2,5D-mittaamiseksi.

#### **4.2 Mittalaitteen rakenne**

Mittalaitteen pääkomponentteja ovat valopöytä, kamera, projektori sekä tietokone.

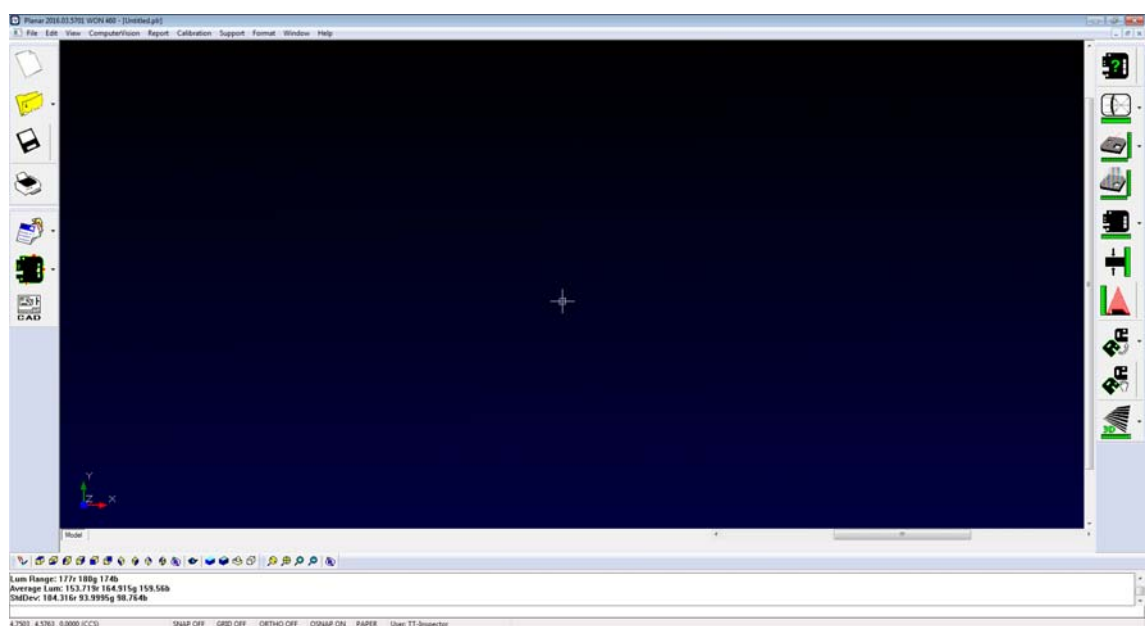
Valopöytä koostuu metallirungosta, jaloista, LED-paneelistä sekä lasitasosta. LED-paneeli sijaitsee rungon sisällä noin 20cm päässä lasitason alapinnasta. Pöydän runkoon

on kiinnitetty masto, jonka päässä sijaitsevat kamera sekä projektori. Laitteistoa ohjataan ulkoisella I/O-yksiköllä, joka sisältää releitä. Releet ohjaavat LED-paneelin sekä kameran toimintaa. Projektoria ei ohjata I/O-yksiköllä, vaan sille on erillinen virtakytkin. Laitteistoon kuuluu lisäksi pöytämallinen tietokone, joka ohjaa I/O-yksikköä USB-väylän kautta. Sekä kamera että projektori ovat yhdistetty tietokoneeseen kaapelilla. Tietokoneeseen on liitetty viivakoodinlukija.

### 4.3 Planar-tietokoneohjelma

InspecVision on kehittänyt Planar-tietokoneohjelman, joka toimii mittalaitteen käyttöliittymänä. Ohjelma toimii Windows 7 -käyttöjärjestelmällä. Ohjelman pääasiallinen tehtävä on ohjata Planar-mittalaitteen toimintaa, prosessoida kameran ottamat kuvat CAD-piirustuksiksi ja mitata ne. Ohjelmassa on paljon ominaisuuksia ja työkaluja, joiden avulla voidaan mitata ja mallintaa monenlaisia kappaleita. Ohjelmalla on esimerkiksi mahdollista mitata mitta-alueita suurempia kappaleita. (McCrea 2017.)

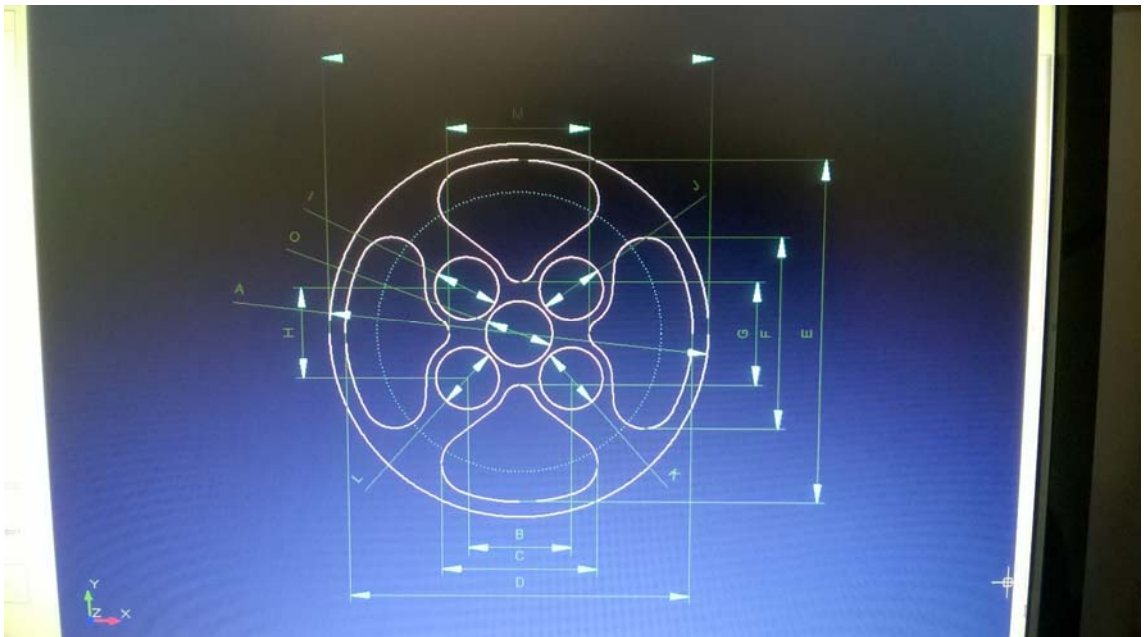
Ohjelmalla on selkeä ja helppokäyttöinen käyttöliittymä, joka ei McCrean (2017) mukaan kuitenkaan ole kovin intuitiivinen. Sen sujuva käyttö vaatii kirjallisen tai suullisen ohjeistuksen, jossa näytetään ohjelman perustoiminnot. Ohjelman perusnäky on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Planar-ohjelman käyttöliittymä

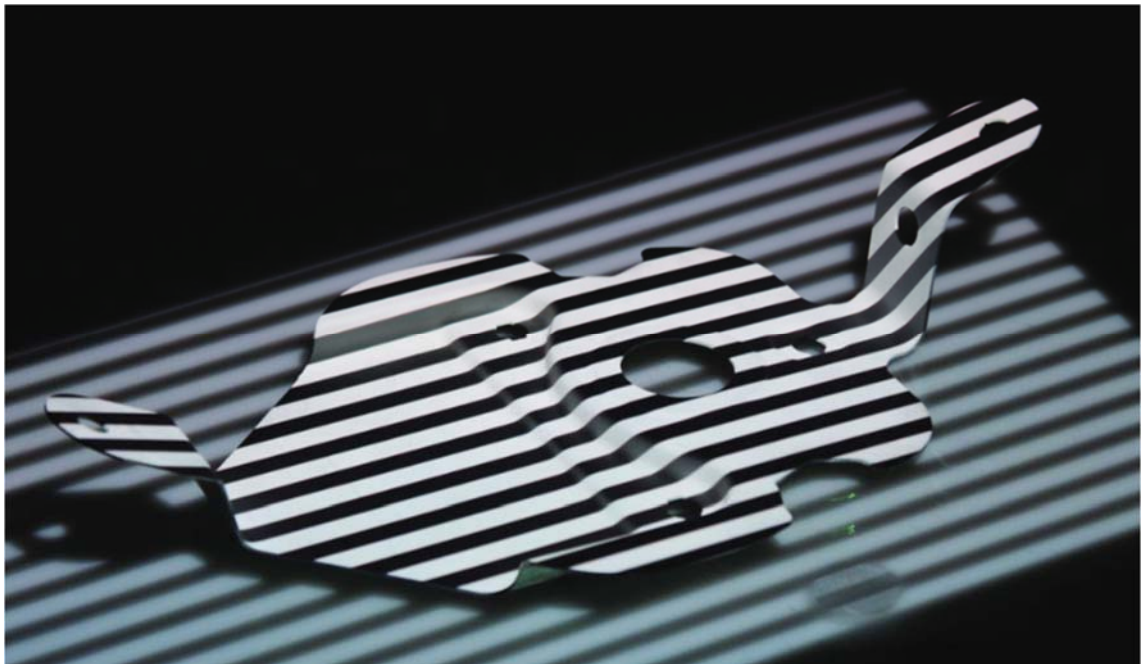
### 4.3.1 Mittaaminen ja raportointi

Kappaleen 2D-mittaaminen Planar-ohjelmalla tapahtuu pääosin automaattisesti. AutoInspect -toiminnolla valopöydälle asetetusta kappaleesta otetaan kuva, joka prosessoidaan CAD-piirustukseksi. Piirustus sovitetaan referenssi-piirustuksen eli alkuperäisen CAD-piirustuksen päälle ja verrataan piirustuksien mittoja keskenään, kuten kuvassa 6 on esitetty. Ohjelma pystyy mittaamaan samanaikaisesti useata kappaletta, mutta ne eivät saa koskettaa toisiaan mitta-alueilla.



KUVA 6. Mitatun muodon vertaaminen referenssi-piirustukseen.

2,5D-mittaaminen tapahtuu projektorin avulla. Projektori heijastaa valopöytään raitoja, joiden perusteella ohjelmisto laskee kappaleen pinnan etäisyyden valopöydästä. Etäisyys lasketaan raitojen leveyden erosta pöydän pinnan ja kappaleen pinnan välillä. Raitojen heijastus on esitetty kuvassa 7. (InspecVision n.d.b.)



KUVA 7. Projektorin heijastamat raidat (InspecVision n.d.b)

Mittaustuloksista voidaan rakentaa asiakkaalle kattava kirjallinen raportti. Raportointinäkyvässä määritetään kappaleesta ne mitat, jotka halutaan lisätä raporttiin. Yleensä raportoitaviksi mitoituksi valitaan alkuperäiseen CAD-piirustukseen määritetyt mitat. Mittaustuloksista listataan taulukon 1 mukaiset tiedot.

TAULUKKO 1. Määritettyjen mittojen raportointi.

| Name | Entity       | Datum        | Dimension | Nominal | Measured | Deviation | Standar... | Tolerance | Status |
|------|--------------|--------------|-----------|---------|----------|-----------|------------|-----------|--------|
| A    | Arc          | Arc          | Dist      | 9.732   | 9.744    | 0.012     | 0.018      | +/-0.2    | Pass   |
| B    | Circle       | Circle       | Dia       | 5       | 4.895    | -0.105    | 0.052      | +/-0.1    | Check  |
| C    | Arc          | Arc          | Dist      | 34      | 33.832   | -0.168    | 0.046      | +/-0.3    | Pass   |
| D    | Collectio... | Collectio... | Dia       | 26.68   | 26.478   | -0.202    | 0.019      | +/-0.2    | Check  |
| E    | Arc          | Arc          | Radius    | 20      | 19.962   | -0.038    | 0.008      | +/-0.2    | Pass   |
| F    | Arc          | Arc          | Radius    | 20      | 20.068   | 0.068     | 0.007      | +/-0.2    | Pass   |

Raporttiin voidaan lisätä asiakkaan ja kappaleen tiedot, mittojen kirjaintunnuksia selkeyttävä diagrammi, sekä graafinen poikkeamakartta. Esimerkkiraportti on esitetty liitteessä 1. Mikäli samalla kertaa mitataan useampi kappale, voidaan raporttiin lisätä taulukko, johon on listattu kaikkien kappaleiden mittaustulokset.

#### 4.3.2 Takaisinmallinnus

Takaisinmallinnus tarkoittaa sitä, että valmiista kappaleesta luodaan CAD-referenssi-piirustus. Mallinnettava tuote asetetaan valopöydälle, ja ohjelman Measure



Shape –toiminnolla luodaan kappaleesta alustava CAD-piirustus. Tämän jälkeen Reverse Engineering –näkyssä piirretään mitatun, epätäydellisen mallin päälle uudet, täydelliset muodot. Kaikkien piirrettyjen muotojen mitat ovat muokattavissa sen mukaan, mitä niiden tulisi ideaalisesti olla. Näin saadaan piirrettyä täydellinen CAD-piirustus epätäydellisestä mallista, mikäli alkuperäinen piirustus on hävinnyt. (McCrea 2017.)

## 5 MITTALAITTEEN ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

Tampereen Tiivisteteollisuus Oy tilasi Planar P70.20 -mittalaitteen alan messuilta. Mittalaitetta varten remontoitiin mittahuone, jossa oli aiemmin mitattu tuotteita käsin. Mittalaitteelle tehtiin metallista matala jalusta, jotta laitteen työskentelytaso olisi ergonomisella korkeudella. Laite toimitettiin Tampereelle osissa.

### 5.1 Asennuksen esivalmistelut

Asennusta varten tuli tehdä esivalmisteluja ennen varsinaista asennuspäivää. Laitetta varten tyhjennettiin ja remontoitiin mittahuone, jossa oli aiemmin mitattu tuotteita käsin. Mittalaitteen alle suunniteltiin 30cm korkea jalusta, jotta valopöydän taso olisi sopivalla korkeudella. Vastaanotetut koneenosat kuljetettiin remontoituun mittahuoneeseen. Toimitetut pakkaukset sekä laitetta varten valmistettu jalusta on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Mittalaitteen jalusta sekä toimitetut koneenosat (Järvinen 2016)

Pakkauksien sisältö purettiin ja osat koottiin yhteen asennusta varten. Pöydän runkoon kiinnitettiin jalat ja masto ruuviliitoksilla, jonka jälkeen laite nostettiin jalustalleen.

Jalustan avulla taso saatiin nostettua 78cm korkeuteen, jolloin se vastaa työskentelytason oikeaa korkeutta (Helsingin yliopisto 2008).

## 5.2 Mittalaitteen asennus

Mittalaitteen asennus suoritettiin InspecVisionin asentaja Conor McCrean avustuksella. Työ aloitettiin valopöydän lasin reunoilla olleista suojarautoista, jotka suojasivat mitta-alueita kuljetuksen aikana. Suojarautojen tilalle vaihdettiin kapeammat tuet, jotka eivät ulotu työskentelytason päälle. Maston juureen kiinnitettiin suojakotelo, jonka tehtävänä on piilottaa kiinnityskohdan ruuviliitokset. Maston yläpäähän asennettiin ruuviliitoksilla kameran varsi sekä projektori. Kameran ja projektorin kiinnitys on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Kameran ja projektorin kiinnitys

Projektorin kiinnitysvälit kiristettiin tiukaksi vasta, kun projektorin kuva oltiin kohdistettu suoraksi valopöytään nähden. Asennuksen kaikki ruuviliitokset kiristettiin käsikireydelle, sillä McCrean (2017) mukaan liitoksia ei ollut tarpeen asettaa tiettyyn momenttiin. Kameran ja projektorin johdot pujotettiin piiloon maston runkoon muoviliuskien alle, jotta ne eivät pääse kameran näkökenttään eivätkä aiheuta takertumisvaaraa.

Mittalaitteen valmistajan ollessa Iso-Britannialainen yritys, kaikissa toimitetuissa sähköjohdoissa oli G- eli UK-malliset pistotulpat, jotka eivät sovi Suomen pistorasioihin. Kaikki tarvittavat virtajohdot voitiin kuitenkin kytkeä yhteen G-malliseen moniosaiseen jatkopistorasiaan, sillä toimilaitteet eivät ole tarpeeksi suuritehoisia aiheuttamaan sähköjohtojen ylikuormitusta ja sulakkeen laukeamista (McCrea, 2017). Jatkopistorasia kytkettiin F- eli EU-malliseen pistorasiaan UK-EU matka-adapterilla, joka on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Matka-adapteri

Mittalaitteen I/O-yksikköön kytkettiin kaksi kaapelia. Ensimmäinen kaapeli on tietokoneen ja I/O-yksikön välinen USB-väylä, ja toinen on LED-paneelin sekä kameran ohjaamiseen tarkoitettu kaapeli. Yksikköön jäi vielä kolme paikkaa vapaaksi mahdollisia tulevia lisälaitteita varten. I/O-yksikön kytkennät on kuvattu kuvassa 11. Kaikki sähköjohdot sijoitettiin mittalaitteen taakse kompastumisvaaran eliminoimiseksi.



KUVA 11. Mittalaitteen I/O-yksikkö

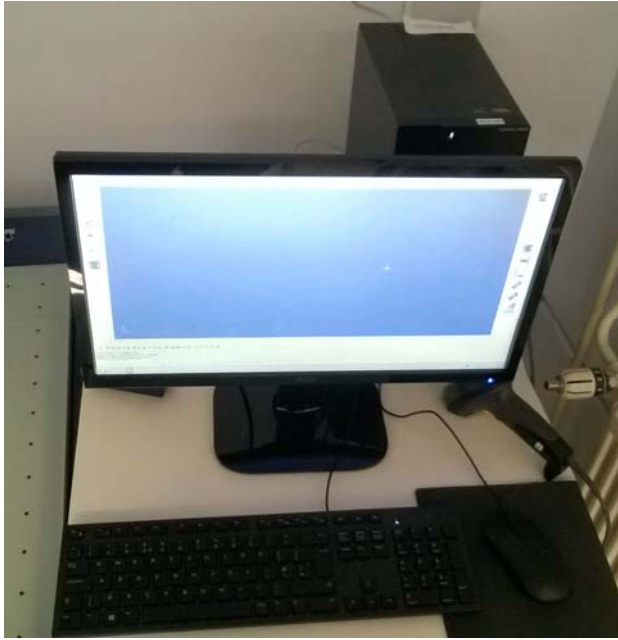
Lopuksi ympäristön valaistus pyrittiin saamaan optimaaliseksi mittauksia ajatellen. Mittalaitteen yläpuolella olevasta valaisimesta poistettiin loisteputket, sillä lasinen mittausalusta heijasti niistä häiritsevää valoa kameraan. Lisäksi huoneen ikkunoihin asennettiin pimentimet, jotka estävät auringonvalon pääsyn mittaustilaan.

### 5.3 Tietokoneen asennus

Mittalaitteen mukana toimitettu pöytämallinen tietokone koostui keskusyksiköstä, näyttöpäätteestä, hiirestä sekä näppäimistöstä. Tietokoneeseen oli tehtaalla esiasennettu Windows 7 –käyttöjärjestelmä sekä Planar-ohjelma.

Tietokonetta varten mittalaitteen viereen järjestettiin pöytä ja toimistotuoli. Keskusyksikkö asetettiin pöydälle ja näyttöpäätte kehoitiin sen päälle. Näyttöpäätte liitettiin keskusyksikköön HDMI-johdolla. Tietokoneen USB3.0-portteihin kytkettiin hiiri, näppäimistö, mittalaitteen I/O-yksikkö sekä viivakoodinlukija. Mittalaitteen kamera kytkettiin USB2.0-porttiin, sillä kamera ei ole yhteensopiva USB3.0-portin kanssa. Projektori tavallisesti yhdistetään tietokoneeseen myös HDMI-kaapelilla, mutta koska tietokoneessa ei ollut kuin yksi HDMI-portti, kytkettiin projektori tietokoneen DisplayPort-porttiin käyttäen HDMI-DisplayPort-adapteria. Viereisestä Ethernet pistokkeesta kytkettiin tietokoneeseen internet-yhteys kaapelilla. Lopuksi kytkettiin

virtakaapeli tietokoneeseen sekä näyttöpäätteeseen. Valmiiksi asennettu tietokone on esitetty kuvassa 12.

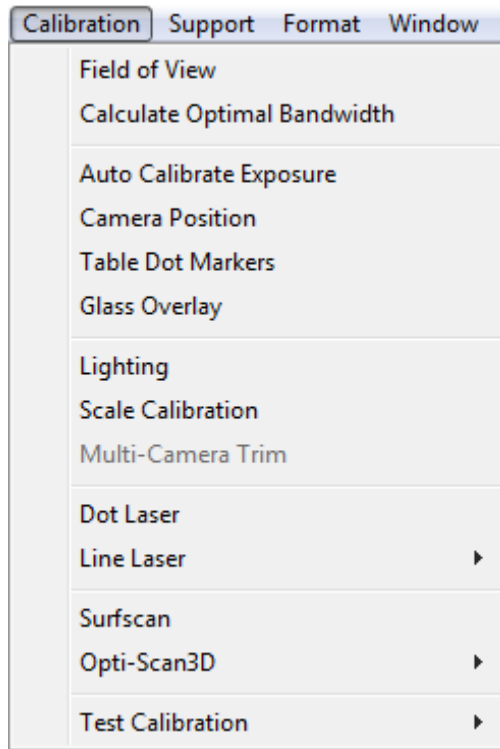


KUVA 12. Käyttövalmiiksi asennettu tietokone

Esi-asennettuun Windows 7 –käyttöjärjestelmään täytyi ensimmäisellä käynnistyskerralla asentaa päivitykset. Planar –ohjelmasta oli tehtaan esiasennuksen jälkeen ilmestynyt uusi versio, joka piti asentaa vanhan version tilalle. Tämän jälkeen tietokone oli käyttövalmis ja mittalaitteen asennus suoritettu. Lopuksi tarkistettiin koko työpisteen turvallisuus.

#### **5.4 Mittalaitteen kalibrointi**

Jotta mittalaite toimisi tarkasti, oli laite kalibroitava asennuksen jälkeen. Kalibroinnilla tarkoitetaan mittalaitteen virittämistä siten, että sen näyttämät mittaustulokset vastaavat mahdollisimman tarkasti todellisuutta. Laitteen perusteellinen kalibrointi suoritettiin yhteistyössä InspecVisionin asentaja McCrean kanssa. Täysi 2D-mittausominaisuuksien kalibrointi koostuu seitsemästä vaiheesta. Kalibrointi suoritetaan Planar-ohjelmalla, jossa on kalibrointia varten erillinen valikko. Valikon sisältö on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Planar-ohjelman kalibrintivalikko

Kalibrintiprosessi on pyritty tekemään mahdollisimman automaattiseksi ja vaivattomaksi. Osa kalibrintitoimenpiteistä kuitenkin vaatii esineiden asettelua mittausalueelle.

Kalibroinnin ensimmäisenä askeleena suoritettiin automaattinen Auto Calibrate Exposure -toiminto, joka kalibroi kameran valotuksen ympäristön valaistukseen nähden. McCrea (2017) korosti, että toimenpide tulee suorittaa joka kerta kun mittausympäristön valaistus muuttuu huomattavasti. Eristetyssä mittahuoneessa valaistuksen muuttumisesta ei tarvitse huolehtia, joten käytännössä valaistuskalibrointia ei tarvitsisi tehdä asennuksen jälkeen kertaakaan. Valotuksen kalibrointi on kuitenkin hyvä suorittaa osana vuosittaista huoltoa.

Seuraavaksi käynnistettiin automaattinen Lighting-toiminto, jossa ohjelma tarkastelee mittalaitteen nykyistä kuntoa. Toimenpide huomioi esimerkiksi valopöydän lasin kunnan, kameran näkökentässä olevat pienet häiriöt, sekä taustavalon kirkkauden. Näin ollen mikäli valopöydän lasiin tulisi pysyviä jälkiä, ohjelma ymmärtää niiden olevan osa lasia, eikä osa mitattavaa kappaletta. Sama pätee kaikkiin kameran näkökentän häiriöihin. Toimenpide kannattaa suorittaa viikoittain, jotta mittaustulokset pysyvät

mahdollisimman tarkkoina ympäristön aiheuttamista näkökentän häiriöistä huolimatta. (McCrea 2017.)

Mittausalueen sijainti määritettiin Table Dot Markers –toiminnolla. Automaattinen toiminto etsii valopöydän reunoilla olevat pisteet ja määrittää mittausalueen sijainnin löytämiensä pisteiden perusteella. Asentaja McCrea (2017) mukaan kaikkien pöydän pisteiden ei tarvitse olla näkökentässä, sillä tärkeintä on löytää täydellisesti jokin mittausalueen nurkka. Mittausalueen kalibrointi täytyy suorittaa silloin, jos esimerkiksi pöydän tönäisyn johdosta kameran asento muuttuu radikaalisti. Tämän huomattessaan ohjelma pyytää suorittamaan kalibroinnin. Muutoin mittausalueen kalibrointia ei tarvitse suorittaa kuin vuosittaisen huollon yhteydessä. (McCrea 2017.)

Kameran asentoon liittyvä Camera Position –toiminto oli kalibrointitoimenpiteistä työläin. Toimintoa varten lasin päälle levitettiin kalibrointikalvo, johon on tulostettu tarkka ruutukuvio. Kalibrointikalvo on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Kameran asennon kalibrointikalvo

Kun kalvo oli levitetty valopöydän päälle, poistettiin kalvon alta pienimmätkin ilmataskut pyyhkimällä kalvon päältä mikrokuituliinalla napakasti painaen. Kalvon keskeltä reunoille etenevät pyyhkäisyt poistivat kalvon alta ilmataskut, jotka voivat haitata kalibrointia. Kalvo kiinnitettiin reunoistaan mittalaitteen runkoon teipeillä, jonka



jälkeen suoritettiin automaattinen kameran asennon kalibroittoiminto. Asentaja McCrea (2017) suositteli toiminnon tehtävän vuosittain.

Scale Calibration –toiminnolla määritettiin ohjelmalle oikea mittasuhte, jolla skaalataan kameran ottaman kuvan objektit vastaamaan todellista kokoa. Pöydälle asetettiin kalibroitilevy, joka on mitattu mikrometrin tarkkuudella. Kalibroinnin aikana mittalaite mittasi levyn, jonka jälkeen ohjelmalle annettiin kappaleen todellinen mitta mikrometrin tarkkuudella. Näillä tiedoilla ohjelma osasi itse laskea mittasuhteen oikeaksi. Kalibroitilevy on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Metallilevy mittasuhteen kalibroimiseen

Kun 2D-kalibrointi oli tehty, suoritettiin verifointi, eli varmistettiin mittalaitteen tarkkuus ja mittaustulosten todenmukaisuus. Mittalaitteen mukana tuli ympyrän muotoinen metallikappale, joka on laboratoriossa tarkkaan mitattu. Verifointikappale on osoitettu kuvassa 16.



KUVA 16. Verifiontikappale

Verifionti suoritettiin mittaamalla kappale 25:ssä eri pöydän kohdassa, jotta mittalaitteen tarkkuus voitiin todentaa koko mitta-alueen laajuudesta. Lopuksi verifiointista koottiin raportti, joka on esitetty kuvassa 17. Raportin perusteella voitiin todeta asennus ja kalibrointi onnistuneiksi. Kalibrointiasetukset varmuuskopioitiin tietokoneelle.

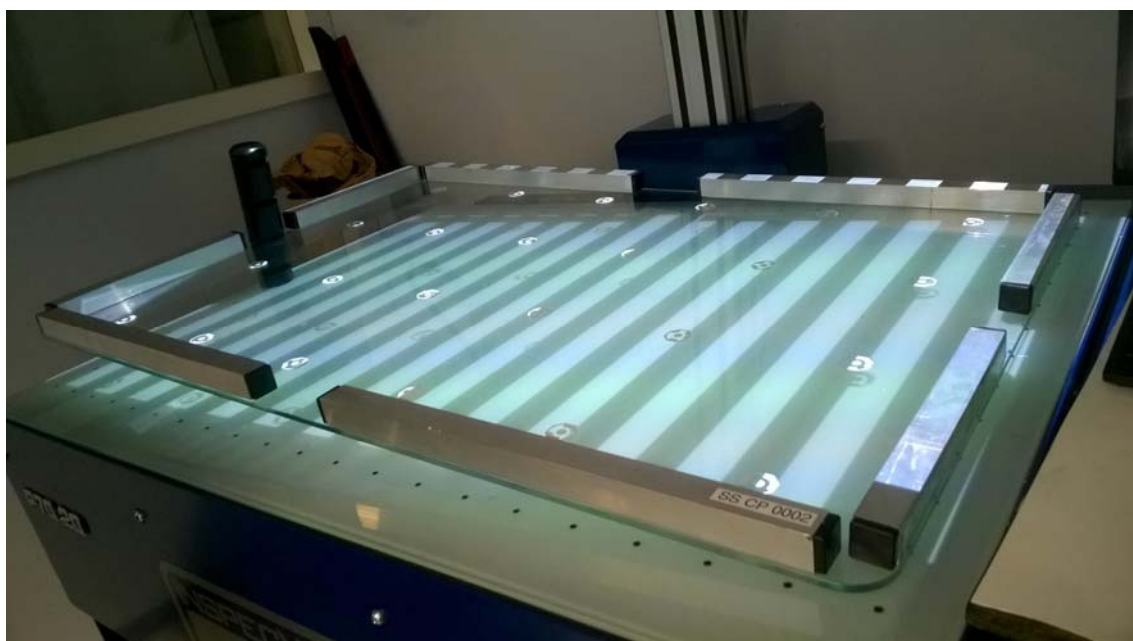
| InspeCVision Test Certificate   |               |           |           |           |
|---|---------------|-----------|-----------|-----------|
| ISO 10360*  |               |           |           |           |
| Application of ISO 10360-4 (Acceptance and re-verification tests for coordinate measuring)              |               |           |           |           |
| for coordinate measuring used in scanning measuring mode to a non contact flat sheet measuring machine. |               |           |           |           |
| Nominal Radius of ISO Disc (on Certificate) =   | 12.50115      |           |           |           |
| Machine accuracy (in mm) =  | 0.020         |           |           |           |
| Number of results within high accuracy value =  | 24.000        |           |           |           |
| Percentage of table in within high accuracy value =   | 96%           |           |           |           |
| Operator (Name) =   |               |           |           |           |
| Date =  |               |           |           |           |
| WON =   | 460           |           |           |           |
| Disc ID =   | 10937V        |           |           |           |
| Positions of disc on the Planar table   |               |           |           |           |
| 12.508771   | 12.506793     | 12.49018  | 12.512777 | 12.503166 |
| 12.500059   | 12.508666     | 12.506033 | 12.518501 | 12.506875 |
| 12.484167   | 12.483105     | 12.50771  | 12.501262 | 12.471932 |
| 12.504934   | 12.505122     | 12.493893 | 12.521027 | 12.509587 |
| 12.508657   | 12.507797     | 12.490164 | 12.519582 | 12.520383 |
| Table centre - high accuracy  |               |           |           |           |
| Max value   | 12.521027     |           |           |           |
| Min Value   | 12.483105     |           |           |           |
| Average radius  | 12.5050354444 |           |           |           |
| Standard Deviation  | 0.011606707   |           |           |           |
| Range/2   | 0.018961      |           |           |           |

KUVA 17. Verifiointin raportti

Yrityksen laatujohtaja Järvinen (2017) arvioi, ettei mittalaitteen 3D-ominaisuuksia todennäköisesti tulla yrityksessä käyttämään. Siitä huolimatta oli järkevää kalibroida mittalaite kolmiulotteisten toimintojen osalta, sillä tulevaisuudessa niille voi tulla tarvetta. 3D-mittaustoimintojen kalibrointi koostuu kahdesta toiminnosta, jotka noudattavat samaa perusperiaatetta; kalibrointikappale asetetaan mitta-alueelle eri asennoissa, joissa laitteen annetaan 3D-mitata kappale useaan kertaan. Ensimmäisessä

toiminnossa mitattiin lasilevyä, jonka pinnalle oli tulostettu erilaisia kuvioita. Toinen kalibrintikappale koostui kahdesta pallosta, jotka oli kiinnitetty taivutettuun metallilevyyn.

Kalibroinnin aikana mittalaite otti paljon kuvia kappaleesta samalla, kun projektori heijasti kappaleen pintaan eri levyisiä mustia ja valkoisia viivoja. Viivojen leveys alkoi koko mittausalustan levyisestä, ja joka kuvan välissä viivojen paksuus puolittui aina noin millimetrin vahvuiseksi asti. Jokaisessa kappaleen asennossa viivat heijastettiin sekä horisontaalisessa että vertikaalisessa suunnassa. Kuvasarjan ottamisen jälkeen vaihdettiin kappaleen asentoa. Kuvassa 18 on esitetty yksi lasilevyn asento 3D-kalibrointiprosessissa.



KUVA 18. 3D-kalibrointi lasilevyllä

Ensin kalibrintilevy asetettiin tasolle ilman kuvassa 18 näkyvää korokepalaä siten, että levy makasi tasaisesti valopöydän päällä. Kalibrintilevyä kierrettiin valopöydän päällä viiteen eri asentoon sattumanvaraisesti, jonka jälkeen siirryttiin kallistamaan levyä korokepalan avulla eri suuntiin. Levy asetettiin yhteensä 17 eri asentoon, ja jokaisessa asennossa mittalaite otti kuvasarjan kappaleesta. Toimenpide toistettiin toiselle 3D-kalibrintikappaleelle, joka on esitetty kuvassa 19.



KUVA 19. Toinen 3D-kalibrointikappale

## 5.5 Koulutus

Asennuksen ja kalibroinnin jälkeen mittalaite voitiin ottaa käyttöön. Mittalaitteen käytöstä järjestettiin kahden päivän mittainen koulutus asentaja McCrean toimesta. Koulutukseen osallistui viisi henkilöä, joista kolme oli Tampereen Tiivisteteollisuus Oy:n työntekijöitä.

Perehdytys mittalaitteen käyttöön oli perusteellinen, sillä se kattoi kaikki laitteen sekä ohjelmiston toiminnot ja ominaisuudet. Koulutukseen osallistujat saivat itse kokeilla mittalaitteen eri toimintoja ja samalla opetella käyttämään Planar-ohjelmistoa. Koulutuksen aikana suoritettiin myös ohjelman konfigurointi Tampereen Tiivisteteollisuus Oy:n tarpeisiin sopivaksi.

## 6 KÄYTTÖOHJEIDEN JA HUOLTO-OHJELMAN LUOMINEN

Kirjallisten ohjeiden luominen mittalaitteen käyttöön oli tarpeellista, sillä Planar-ohjelman käyttö ilman perehdytystä ei ole tarpeeksi intuitiivista. InspecVision on tehnyt mittalaitteelle 282-sivuisen englanninkielisen käyttöoppaan, joka on erittäin kattava. Tiedonpaljouden joukosta on kuitenkin työlästä yrittää löytää ohjeet perustoimintoihin, joten tiiviin suomenkielisen käyttöoppaan tekeminen oli perusteltua. Lisäksi mittalaitteelle tuli suunnitella huolto-ohjelma, jota noudattamalla laite pysyy hyvässä kunnossa.

### 6.1 Käyttöohjeet

Käyttöohjeisiin tehtiin mittaushjeet, takaisinmallinnusohjeet sekä kalibrointiohjeet. Kaikki ohjeet luotiin selkeiksi, helppolukuisiksi ja yksinkertaisiksi. Ohjeisiin tehtiin runsaasti selventäviä kuvia ja ne suunniteltiin niin, että käyttäjää ohjattiin askel kerrallaan eteenpäin.

Manuaalisen mittaamisen ohjeeseen kirjoitettiin CAD-piirustuksen avaamisesta, mittausparametrien asettamisesta, mittausraportin luomisesta, mittaustoiminnosta sekä valmiin raportin tulostamisesta. Ohjetta noudatetaan silloin, kun kappaletta mitataan ensimmäistä kertaa. Toisella mittauskerralla voidaan noudattaa automaattisen mittaamisen ohjetta. Manuaalisen mittaamisen ohje on viisi sivua pitkä ja se on esitetty liitteessä 2.

Automaattisen mittaamisen ohjeistus pysyi lyhyenä, sillä automaattinen mittausprosessi on hyvin yksinkertainen. Käyttäjän ei tarvitse huolehtia kuin viivakoodin lukemisesta ja raportin tulostamisesta. Yksisivuinen automaattisen mittaamisen ohje on esitetty liitteessä 3.

Takaisinmallintamisen ohjeeseen kirjattiin tiedot kappaleen muotojen mittaamisesta, kuvan suoristamisesta ja CAD-viivojen piirtämisestä mitattujen muotojen päälle. Ohjeen avulla voidaan saada takaisinmallinnettua epätäydellisestä mallikappaleesta täydellinen CAD-piirustus. Ohjeesta tuli kaksi sivua pitkä, ja se on esitetty liitteessä 4.

2D-kalibrointiohjeessa käydään läpi koko 2D-muotojen mittaamiseen liittyvä kalibrointiprosessi. Kalibrointitoimintojen lisäksi ohjeessa käsitellään verifointitoiminto, jolla pystytään varmistamaan kalibroinnin onnistuminen. Kaksisivuinen ohje on esitetty liitteessä 5.

## **6.2 Huolto-ohjelma**

Huolto-ohjelma on luotu asentaja McCrean (2017) antaman suullisen ohjeistuksen pohjalta. Ohjelma sisältää huoltoaikataulun, johon on listattu määräaikaisten mittalaitteen puhtaanapito- ja kalibrointitoimenpiteet. Eri toimenpiteet suoritetaan eri aikaväleillä, jonka vuoksi selkeän huolto-ohjelman luominen oli tarpeellista.

Huolto-ohjelma luotiin taulukkomuotoiseksi helppolukuisuuden vuoksi. Taulukkoon on yksilöity vuoden jokaiselle viikolle omat huoltotoimenpiteet. Ohjelma tulostetaan paperille ja siihen merkitään rastilla suoritettavat tehtävät. Taulukko asetettiin seinälle mittalaitteen viereen, jotta huolto-ohjelma olisi hyvin näkyvillä. Huolto-ohjelma on esitetty liitteessä 6.

## 7 TAKAISINMAKSUAJAN LASKEMINEN

Mittalaitteen investointi oli selkeästi tarpeellista ja Järvisen (2017) mukaan alusta asti oli selvää, että mittalaitte maksaisi itsensä takaisin verrattain nopeasti. Tämä pääteltiin kustannuksien määrästä, joka yritykselle aiheutuu vuosittain vanhanaikaisten menetelmien johdosta, sekä mittalaitteen nopeudesta. Yritystä kiinnostikin lähinnä karkea arvio siitä, kuinka lyhyt takaisinmaksuaika todellisuudessa olisi. Arvioidulla takaisinmaksuajalla ei ollut vaikutusta investointipäätökseen. Tämän vuoksi takaisinmaksuaika laskettiin yksinkertaisella laskukaavalla, joka ei ota huomioon laskentakorkoja. (Järvinen 2017.)

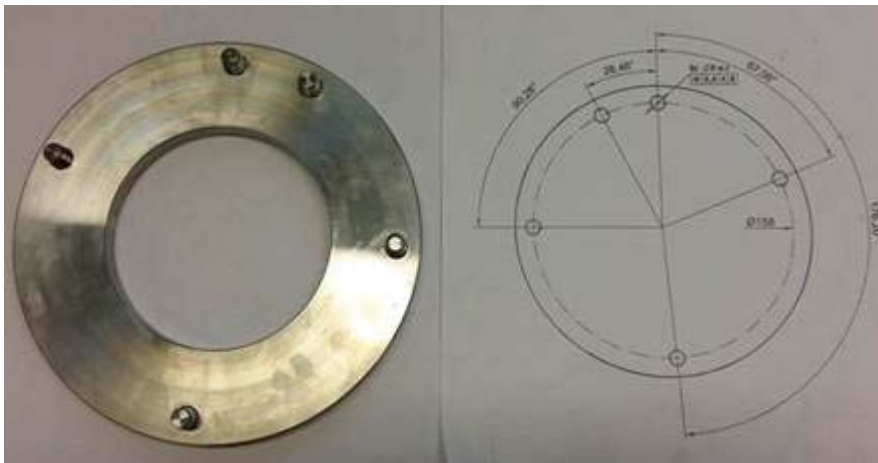
### 7.1 Tiedonkeruu

Ennen takaisinmaksuajan laskemista oli selvitettävä, kuinka paljon on mittalaitteen vuotuinen nettotuotto. Mittalaitteen nopeuttaessa työskentelyä sen nettotuotto koostuu pääosin säästetystä työajasta. Säästetyn työajan selvittämiseksi oli ensin kerättävä kaikki saatavilla oleva tieto siitä, kuinka paljon työaika käytetään työtehtäviin vanhalla menetelmällä. Sen jälkeen tuli mitata samojen työtehtävien kesto mittakonetta käytettäessä. Näiden suureiden erotuksesta saatiin säästetty työaika.

Tiedonkeruu vanhoin menetelmin käytetystä työajasta suoritettiin haastattelemalla yrityksen työntekijöitä. Työntekijöiltä kysyttiin, kuinka paljon sellaisiin työtehtäviin kuluu keskimäärin viikossa aikaa, jotka jatkossa tultaisiin suorittamaan optisella mittalaitteella. Keskimäärin viikossa kulunut arvioitu työaika moninkertaistettiin vuositasolle. Jatkossa mittalaitteella suoritettavia työtehtäviä ovat pääosin tiivisteiden mittaaminen sekä CAD-piirustuksien luominen valmiista tuotteista eli takaisinmallinnus.

Mittalaitteen ansiosta säästetty työaika ei ollut ainoa menoerä, joka pystyttiin leikkaamaan pois. Ennen mittalaitetta tiettyjen tiivisteiden laadunvalvonta toteutettiin erittäin tarkkaan koneistettuihin mittatulkkeihin tiivistettä sovittamalla. Esimerkki koneistetusta tulkeista on esitetty kuvassa 20. Mikäli tiiviste sopi muottiin, olivat sen mitat toleranssien sallimissa rajoissa.

Tulkit koneistettiin yrityksen toimesta, jonka jälkeen ne toimitettiin ulkopuoliselle taholle koordinaattimittauskoneella mitattavaksi. Mittalaitteen ansiosta tulkkeja ei enää tarvitse valmistaa. Lisäksi säästöjä kertyy reklamaatioiden vähenemisen muodossa. Vanhoilla menetelmillä takaisinmallintaminen valmiista tuotteesta ei ollut kovin tarkkaa tai luotettavaa, minkä johdosta takaisinmallinnetun CAD-piirustuksen perusteella tehdyt tuotteet eivät aina täydellisesti vastanneet alkuperäistä mallikappaletta. Kun mallikappaleet pystytään mittaamaan tarkasti ja takaisinmallintamaan helposti, reklamaatioiden määrä vähenee. Reklamaatioiden väheneminen tarkoittaa myös asiakaskokemusten paranemista. Toimitusvirheet vaikuttavat ostajien käyttäytymiseen, ja nousevat mahdollisesti esiin hintaneuvotteluissa. (Järvinen 2017.)



KUVA 20. Tarkkaan koneistettu mittatulkki (Järvinen 2017)

Kerättyjen tietojen perusteella pystyttiin laskemaan vuosikustannukset vanhoihin menetelmin suoritetuista työtehtävistä. Järvisen (2017) ilmoittamat vuoden 2016 laadunvalvonnan vuosikustannukset on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Vanhojen laadunvalvontamenetelmien vuosikustannukset



| KUSTANNUS                               | MÄÄRÄ/VUOSI    | Á HINTA   | YHTEENSÄ |
|---|----------------|-----------|----------|
| Käsin mittaus<br>(Laadunvalvonta)       | 2000kpl * 4min | 65€/h     | 8710€    |
| Käsin mittaus<br>(PPAP)                 | 52kpl * 1h     | 65€/h     | 3380€    |
| Takaisinmallinnus<br>(Vesileikkaus)     | 52kpl * 2h     | 65€/h     | 6760€    |
| Takaisinmallinnus<br>(Laserleikkaus)    | 20kpl * 30min  | 65€/h     | 650€     |
| Tulkkien valmistus                      | 12kpl * 1h     | 65€/h     | 780€     |
| Tulkkien mittauttaminen                 | 12kpl          | n. 120€   | 1440€    |
| Mittavirheistä johtuvat<br>reklamaatiot | 8kpl           | Vaihtelee | 5450€    |

Mittalaitteen käyttämisellä on myös omat kustannuksensa, jotka on listattu taulukkoon 3. Kunkin työtehtävän kesto mittalaitetta käytettäessä on arvioitu kokeellisesti olettaen, että tehtävän suorittaa työntekijä, jolle mittalaitteen käyttö on luontevaa.

TAULUKKO 3. Mittalaitteen vuosikustannukset

| KUSTANNUS                                 | MÄÄRÄ/VUOSI    | Á HINTA | YHTEENSÄ |
|---|----------------|---------|----------|
| Automaattinen mittaus<br>(Laadunvalvonta) | 2000kpl * 2min | 65€/h   | 4290€    |
| Automaattinen mittaus<br>(PPAP)           | 52kpl * 5min   | 65€/h   | 280,5€   |
| Takaisinmallinnus<br>(Vesileikkaus)       | 52kpl * 5min   | 65€/h   | 280,5€   |
| Takaisinmallinnus<br>(Laserleikkaus)      | 20kpl * 5min   | 65€/h   | 108€     |

Mittalaitteen todellista takaisinmaksuaikaa on mahdotonta laskea tarkasti, sillä edellämainittujen lukujen lisäksi mittalaitteen nettotuotto kasvaa sellaisten tekijöiden kautta, joita ei pysty arvioimaan etukäteen. Tällaisia tekijöitä ovat Järvisen (2017) mukaan esimerkiksi tarjouspyyntöjen vasteajan pieneneminen sekä laadunvalvontaa myyntivalttina käyttäminen. Arviolta kymmeneen tarjouspyyntöön vuodessa vastataan liian hitaasti, jonka vuoksi mahdollisia tilauksia jää saamatta. Tilauksien arvo voi

vaihdella sadoista euroista kymmeneen tuhansiin euroihin, eli menetettyjen tilauksien kustannuksia on mahdotonta arvioida. Tarjouspyyntöihin vastaaminen on ollut hidasta, sillä tarjousta varten täytyy olla kappaleesta saatavilla CAD-piirustus, ja vanhalla menetelmällä piirustuksia tehneet työntekijät ovat olleet kiireisiä. Uuden mittalaitteen ansiosta CAD-piirtäjät saavat työnsä nopeammin valmiiksi, jolloin myös tarjouspyyntöihin vastaaminen nopeutuu. Lisäksi tehokkaan laadunvalvonnan käyttäminen myyntivalttina parantaa yrityksen luotettavuutta asiakkaiden silmissä, mikä auttaa myyntineuvotteluissa. (Järvinen 2017.)

## 7.2 Laskeminen

Kerättyjen tietojen perusteella voitiin laskea mittalaitteen takaisinmaksuaika  $n^*$  suuntaa antavasti. Kaavaa 1 varten oli laskettava mittalaitteen nettotuotto  $S$ . Nettotuoton laskeminen tapahtui kaavalla 3, jossa  $K_v$  on vanhojen menetelmien vuosikustannukset ja  $K_m$  on mittalaitteen käyttökustannukset.

$$S = K_v - K_m \quad (3)$$

Vanhojen menetelmien vuosikustannukset laskettiin summaamalla taulukon 2 kustannukset yhteen, kuten kaavassa 4 on tehty.

$$\begin{aligned} K_v &= 8710\text{€} + 3380\text{€} + 6760\text{€} + 650\text{€} + 780\text{€} + 1440\text{€} \\ &+ 5450\text{€} = 27170\text{€} \end{aligned} \quad (4)$$

Kaavassa 5 laskettiin mittalaitteen vuosittaiset käyttökustannukset summaamalla taulukon 3 kustannukset yhteen.

$$K_m = 4290\text{€} + 280,5\text{€} + 280,5\text{€} + 108\text{€} = 4959\text{€} \quad (5)$$

Edellämainitut luvut sijoitettiin nettotuoton kaavaan 3. Lopputulos on esitetty kaavassa 6.

$$S = 27170\text{€} - 4959\text{€} = 22211\text{€} \quad (6)$$

Kun mittalaitteen nettotuotto  $S$  oli laskettu, voitiin sijoittaa luvut kaavaan 1. Tiedettiin, että mittalaitteen hankintahinta oli 38000€. Lopullinen takaisinmaksuaika on esitetty kaavassa 7.

$$n^* = \frac{38000\text{€}}{22211\text{€}} = 1,7 \text{ vuotta} \quad (7)$$

Mittalaitteen karkeasti arvioitu takaisinmaksuaika oli noin 1,7 vuotta eli 20 kuukautta. Täysi laskentapöytäkirja on esitetty liitteessä 7.

## 8 LAITEKARTOITUS PAKSUUDEN MITTAAMISEEN

Tiivisteiden kattava kaksiulotteinen mittaus oli tarpeellisin laadunvalvontatyökalu, joka yritykseltä puuttui. Lisäksi oli kuitenkin tarve löytää tehokas keino tiivisteiden paksuuden mittaamiseksi, sillä yleensä myös paksuudelle on asetettu toleranssi. Planar P70.20 -mittalaitteessa on kolmiulotteisten muotojen mittaussominaisuus, mutta kyseinen ominaisuus ei toimi tarpeeksi tarkasti ohuiden tiivisteiden paksuutta mitattaessa. Tätä tarkoitusta varten piti hankkia erillinen mittalaite. Mittalaitteen tuli täyttää ennalta määrätyt vaatimukset, kuten tarpeeksi tarkka mittaustulos, luotettavuus, nopeakäyttöisyys ja edullisuus.

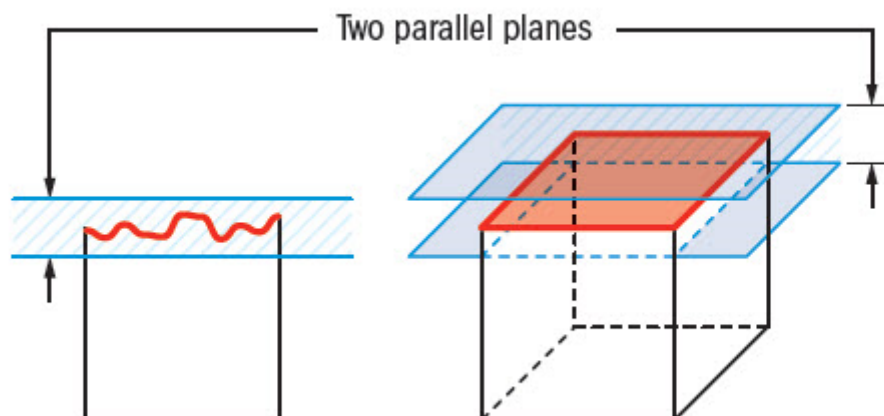
Mittalaitemarkkinoita kartoitettaessa piti rajata vaihtoehtojen määrä mahdollisimman pieneksi. Yrityksen toiveena oli hankkia mittalaite Mitutoyolta, sillä heillä on hyvät välit kyseiseen laitevalmistajaan ja he ovat olleet tyytyväisiä Mitutoyon tuotteisiin. Mitutoyo on japanilainen, maailman johtava tarkkuusmittauslaitteiden valmistaja (Mitutoyo n.d.a).

Mitutoyon tuotteista moni sopii tiivisteiden paksuuden mittaamiseen. Tarkin, luotettavin ja monipuolisin laite tehtävään olisi koordinaattimittauskone, jolla tiivisteiden paksuuden voisi mitata jopa  $0,1\mu\text{m}$  tarkkuudella. Esimerkki Mitutoyon koordinaattimittauskoneesta on esitetty kuvassa 21.



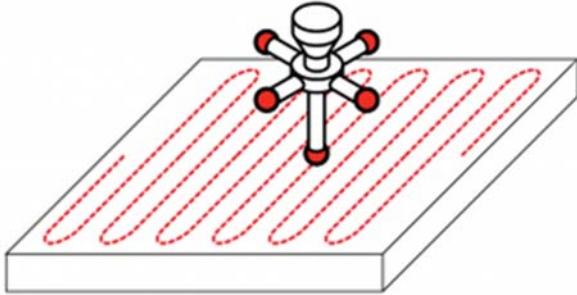
KUVA 21. Mitutoyon koordinaattimittauskone (Mitutoyo 2017)

Koordinaattimittauskone olisi ehdottomasti pätevin laite tarkoitukseen, mutta se maksaa kymmeniä tuhansia euroja, kun taas perinteinen työntömitta maksaa vain murto-osan siitä. Koordinaattimittauskoneella on kaksi merkittävää etua perinteisiin käsimitavälineisiin nähden; erittäin suuri tarkkuus sekä kappaleen tasomaisuuden mittaaminen. Tasomaisuus on kolmiulotteinen versio suoruudesta, eli toleranssialue on määritetty kahden linjan sijaan kahden tason välille (GD&T Basics). Tasomaisuuden määrittelmä on havainnollistettu kuvassa 22.



KUVA 22. Tasomaisuuden määritelmä (GD&T Basics 2015)

Käsimittavälineillä ei pysty mittaamaan kappaleen tasomaisuutta, sillä ne ovat kaksiulotteisia mittavälineitä. Kolmiulotteisella koordinaattimittauskoneella tasomaisuuden mittaus tapahtuu kuvan 23 havainnollistamalla tavalla.



KUVA 23. Tasomaisuuden mittaus koordinaattimittauskoneella (GD&T Basics 2015)

Vaikka jotkut Tampereen Tiivisteteollisuus Oy:n asiakkaat ovat asettaneet tuotteen tasomaisuudelle toleranssin, ei yrityksellä ollut ainakaan tässä vaiheessa tarvetta pystyä mittaamaan tasomaisuutta itse. Lisäksi  $0,1\mu\text{m}$ :n tarkkuus ei ole tarpeen tiivisteiden paksuutta mitattaessa. Koska koordinaattimittauskoneen suurimmat edut ovat tarkkuus ja tasomaisuuden mittaus, olisi sellainen tarpeettoman kallis investointi, ottaen huomioon, ettei kyseisiä ominaisuuksia tarvita.

Näin ollen edullisin ja järkevin ratkaisu oli hankkia jokin Mitutoyon tarjoamista käsimittavälineistä. Tiivisteiden paksuuden mittaamiseen soveltuvat esimerkiksi työntömitta ja mikrometri. Pehmeiden kappaleiden mittaamisessa kumpikaan vaihtoehto ei ole luotettava, sillä kiinteän rajapinnan puuttuessa eri mittajat käyttävät eri määrän voimaa mittaamiseen, jolloin mitaustulokset vaihtelevat. Mitutoyo onkin kehittänyt digitaalisen paksuusmittarin, joka on suunniteltu ohuiden kappaleiden paksuuden mittaamiseen. Paksuusmittareita on monta erilaista, mutta kaikissa on sama toimintaperiaate. Esimerkkejä 547-sarjan paksuusmittareista on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Mitutoyon 547-sarjan paksuusmittareita (Mitutoyo 2016)

547-sarjan paksuusmittareista malli 547-401 osoittautuiärkevimmäksi valinnaksi, sillä se on 547-sarjan paksuusmittareista tarkin. Laatupäällikkö Järvisen (2017) mukaan vaativimmissa tarkkuusluokissa tiivisteiden paksuudelle on voitu asettaa toleranssiksi esimerkiksi  $\pm 0,01\text{mm}$ , eikä muissa malleissa riitä tarkkuus kyseisen vaihteluvälin mittaamiseen tarkasti. Mallin 547-401 tarkkuus on  $\pm 3\mu\text{m}$ , joka riittää vaativien tuotteiden mittaamiseen. (Sähköposti Harri Salmi, Mitutoyo.)

547-401-paksuusmittarin etuna muihin käsimittavälineisiin nähden on jousitoiminen mekanismi, joten paksuusmittari asettaa mittaukseen aina saman voiman mittaajasta riippumatta. Näin pehmeitäkin kappaleita mitattaessa tulee aina sama mittaustulos. Lisäksi paksuusmittari on helppo- ja nopeakäyttöinen, ja mittaustulos näkyy selkeästi digitaalisessa nestekidenäytössä. (Mitutoyo, 2016a.)

Paksuusmittarista tehtiin hankintaehdotus Tampereen Tiivisteteollisuus Oy:lle. Yritys hyväksyi ehdotuksen.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli hyvin monipuolinen, mutta järkevällä rajauksella se ei kasvanut liian laajaksi. Valitsin työn, koska kyseinen projekti vastasi työtehtäviltään oikeaa insinöörin työtä, ja halusin saada kokemusta todellisesta työelämän projektista.

Opinnäytetyö valmistui odotusten mukaisesti. Työssä pysyttiin aikataulussa, kaikki työlle asetettamani tavoitteet täyttyivät, eikä mikään suunniteltu asia jäänyt toteuttamatta. Lisäksi yhteistyöyritys oli työhön tyytyväinen. Vaikka työn toteuttamisessa ei ollutkaan moitittavaa, voidaan jokainen projekti tehdä aina joltain osin paremmin. Tämän työn osalta olisi voitu pidemmälle optimoida käyttöohjeita, jotka mittalaitteelle luotiin. Ohjeiden graafinen ulkoasu olisi voinut olla parempi, ja tiettyjä kalibrointiohjeiden kohtia olisi voitu vielä selkeyttää entisestään. Tämä kuitenkin olisi lisännyt ohjeiden pituutta, ja yrityksen toiveena oli pitää ohjeet lyhyinä. Testikäytön perusteella ohjeet olivat nykyisessä muodossaan tarpeeksi tarkat ja selkeät, joten niitä ei ollut ainakaan välittömästi tarvetta parantaa tai täydentää. Ohjeita voidaan täydentää jälkikäteen, mikäli sille ilmenee tarve.

Lisäksi yksi kehittämisen kohteista oli huolto-ohjelman toteutus, sillä seinälle tulostettuun paperiin oli kovin helppo olla kiinnittämättä huomiota, jonka johdosta säännölliset huoltotoimenpiteet olisivat voineet jäädä tekemättä. Parempi ratkaisu olisi voinut olla koodata ohjelmallinen kalenteriin perustuva muistutusjärjestelmä mittalaitteen tietokoneelle, joka säännöllisin väliajoin komentaisi käyttäjää suorittamaan huoltotoimenpiteet mittalaitteelle. Muistutuksen huomiotta jättäminen voisi esimerkiksi estää mittaustoiminnon, joka näin pakottaisi käyttäjän suorittamaan tarpeelliset toimet.

Pidemmälle olisi voitu jalostaa myös takaisinmaksuajan laskemista, joka suoritettiin hyvin karkeasti ja suuntaa antavasti. Laskuissa olisi pystytty huomioimaan kaikki todelliset kulut, korot sekä nettotuotot, mutta tälle ei ollut yrityksen mukaan tarvetta. Laitteen hankinnan järkevyys pystyttiin perustelemaan monella muulla tapaa, jolloin tarkalla takaisinmaksuajalla ei ollut niin suurta merkitystä.

Kriittisestä näkökulmasta tarkasteltaessa työn yhdeksi merkittävimmistä heikkouksista muodostui käyttöohjeiden paikkansa pitävyys vain sellaisissa tilanteissa, jolloin



mittalaite toimii odotetusti. Mikäli mittalaitteeseen tulisi jokin vika tai muu ongelma, käyttöohjeet eivät palvelisi vianetsinnässä tai ongelman ratkaisemisessa. Tällaisessa tapauksessa yrityksen olisi otettava yhteyttä laitteen valmistajan tarjoamaan tekniseen tukeen. Toisaalta tämä ei käytännön kannalta ollut korjattavissa oleva ongelma, sillä vikatilanteisiin perustuvien toimintaohjeiden laatiminen olisi vaatinut paljon kokemusta laitteen käytöstä, jota lyhyellä ajanjaksolla ei ehtinyt kertymään.

Käyttöohjeiden tarkoitus yleisesti ottaen on neuvoa laitteen oikeaoppiseen käyttöön, jotta tulevaisuuden vika- ja ongelmatilanteita voidaan ennaltaehkäistä. Tässä opinnäytetyössä tulevia ongelmia vähentää myös huolto-ohjelma, jota noudattamalla mittalaite pysyy paremmassa kunnossa. Ongelmien varhainen tunnistaminen onkin teollisuudessa erittäin tärkeää, sillä jokainen ongelmatilanne on tavalla tai toisella kuluera. Toimintahäiriön korjaaminen maksaa yleensä vähintään työaikaa, ja saattaa pahimmillaan tulla erittäin kalliiksi varaosakustannusten tai rinnakkaislaitteiden seisahdumisen vuoksi. Tästä syystä laitteen oikeaoppinen käyttö ja huolto ovat hyvin tärkeitä, sillä suuri osa ongelmatilanteista johtuu virheellisestä käytöstä tai huollon puutteesta.

Kuten kaikissa työelämän asioissa, selkeä ohjeistus on käytön ja huollon kannalta tarpeellista. Kirjallisilla ohjeilla varmistutaan siitä, että kaikkien työntekijöiden ohjeistus on yhdenmukainen, ja toisaalta myös tulevaisuudessa uudet työntekijät saavat kattavan koulutuksen laitteen käyttöön.

Tulevaisuudessa mittalaitteen tehokasta käyttöä voidaan parantaa hyödyntämällä ohjelmiston tarjoamaa automatiikkaa. Ohjelmisto mahdollistaa täysin automaattisen mittaamisprosessin, mikäli mitattavasta kappaleesta on jo luotu planar-tiedosto. Jokaiseen työmääräyspaperiin voidaan tulostaa tätä tarkoitusta varten tuotekohtainen viivakoodi, joka luetaan mittalaitteen viivakoodinlukijalla. Tällöin mittaajan ainoiksi toimenpiteiksi jäävät mitattavan kappaleen asettaminen valopöydälle, viivakoodin lukeminen ja valmiin mittausraportin tulostaminen. Automatiikkaa hyödyntämällä koko mittausprosessi voidaan suorittaa alle minuutissa, joka säästää pitkällä ajanjaksolla runsaasti työaikaa. Mittausprosessin automatisoiminen vaatii työmääräimien uusimista sekä tietokantamuutoksia, mistä saisi tehtyä jopa erillisen opinnäytetyön. Lisäksi tulevaisuudessa voidaan käyttöhistoriaa tarkastelemalla pohtia muita keinoja mittaustehokkuuden lisäämiseksi.

Opinnäytetyö kokonaisuudessaan onnistui mielestäni hyvin. Koen suorittaneeni työn tehokkaasti ja saavuttaneeni lopputuloksen, joka miellyttää sekä yhteistyöyritystä että itseäni. Projektinhallinnan näkökulmasta olen huolehtinut aikataulun pitävyydestä, toteuttanut työtehtävät loogisessa järjestyksessä sekä ollut oma-aloitteinen työtehtävien suhteen. Pohjatyö on mielestäni ollut kattavaa, ja olen perustellut huolellisesti jokaisen ratkaisuni työssä.

Opinnäytetyöhön liittyvät toiveeni täytyivät työn aikana, mistä voin sanoa olevani erittäin iloinen. Toiveisiini lukeutuivat esimerkiksi tiivis yhteistyö yrityksen kanssa, riittävien tiedonlähteiden saatavuus aineiston kokoamiseksi, sekä mahdollisuus työn selkeään rajaamiseen. Opinnäytetyön tekeminen ja kirjoittaminen on ollut silmiä avaava ja opettavainen prosessi, josta olen saanut paljon valmiuksia työelämää ja projektinhallintaa ajatellen.

## LÄHTEET

- Ammattinetti. n.d. Koneenasentaja. Luettu 28.2.2017.  
[http://www.ammattinetti.fi/ammait/detail/513\\_ammatti](http://www.ammattinetti.fi/ammait/detail/513_ammatti)
- Bibee, J. 2009. Understanding Optical Measurements. Luettu 8.4.2017.  
<https://www.qualitydigest.com/magazine/2009/apr/article/understanding-optical-measurement.html>
- Ferrometal Oy. n.d. Ruuviliitokset. Luettu 28.2.2017.  
[http://www.imatranpultti.fi/images/pdfs/tietoa\\_ruuviliitoksista.pdf](http://www.imatranpultti.fi/images/pdfs/tietoa_ruuviliitoksista.pdf)
- GD&T Basics. 2015. Flatness. Luettu 2.3.2017.  
<http://www.gdandtbasics.com/flatness/>
- Grishin, V. 2010. Accuracy of Measuring Camera Position by Marker Observation. Luettu 8.4.2017.  
[http://file.scirp.org/pdf/JSEA20101000002\\_96803695.pdf](http://file.scirp.org/pdf/JSEA20101000002_96803695.pdf)
- Helsingin yliopisto. 2008. Ergonomia (E) Ohje. Luettu 27.2.2017.  
[http://www.helsinki.fi/henkos/tyosuojelu/riskit/lomakkeet/Ergonomia\\_\(E\)\\_Ohje.pdf](http://www.helsinki.fi/henkos/tyosuojelu/riskit/lomakkeet/Ergonomia_(E)_Ohje.pdf)
- Hyria. 2012. Työturvallisuuskortti. Luettu 28.2.2017.  
[https://www.hyria.fi/files/8938/Selkoversio\\_Tyoturvallisuuskortti\\_12ER.pdf](https://www.hyria.fi/files/8938/Selkoversio_Tyoturvallisuuskortti_12ER.pdf)
- Hänninen, T. 2016. Metropolia ammattikorkeakoulu. Investoinnin takaisinmaksuaika. Luettu 1.3.2017.  
<http://docplayer.fi/3558263-Investoinnin-takaisinmaksuaika.html>
- InspecVision. n.d.a. Planar. Luettu 8.2.2017.  
<http://www.inspecvision.com/en/planar>
- InspecVision. n.d.b. Planar Brochure. Luettu 8.2.2017.  
<http://www.inspecvision.com/brochures/InspecVision%20-%20Planar%20Brochure.pdf>
- Järvinen, M. laatupäällikkö. 2017. Haastattelu 11.1.2017. Haastattelija Riuttaskorpi, M.
- Kuva 1. Bibee, J. 2009. The basics. Understanding Optical Measurement.  
<https://www.qualitydigest.com/magazine/2009/apr/article/understanding-optical-measurement.html>
- Kuva 2. Grishin, V. 2010. Figure 1. TV camera position & Figure 2. Camera coordinate system. Accuracy of Measuring Camera Position by Marker Observation.  
[http://file.scirp.org/pdf/JSEA20101000002\\_96803695.pdf](http://file.scirp.org/pdf/JSEA20101000002_96803695.pdf)
- Kuva 3. Grishin, V. 2010. Figure 5. Calculation of the scalar product on the one segment of marker boundary. Accuracy of Measuring Camera Position by Marker Observation.  
[http://file.scirp.org/pdf/JSEA20101000002\\_96803695.pdf](http://file.scirp.org/pdf/JSEA20101000002_96803695.pdf)
- Kuva 4. InspecVision. n.d. The world's fastest 2D measurement system!. Planar.  
<http://www.inspecvision.com/en/planar>

Kuva 7. InspecVision. n.d. White light scanning option. Inspection & Reverse Engineering.

<http://www.inspecvision.com/brochures/InspecVision%20-%20Planar%20Brochure.pdf>

Kuva 8. Järvinen, M. 2016. Mittalaitteen jalusta sekä toimitetut koneenosat.

Kuva 20. Järvinen, M. 2017. Tarkkaan koneistettu mittatulkki.

Kuva 21. Mitutoyo. 2016. ABSOLUTE Digimatic Thickness Gauge. Mitutoyo GB 20002; Measuring Instruments Catalogue 2016-2017, 304.

[http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/en\\_us/html5forpc.html?page=0](http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/en_us/html5forpc.html?page=0)

Kuva 22. GD&T Basics. 2015. Tolerance Zone. Flatness.

<http://www.gdandtbasics.com/flatness/>

Kuva 23. GD&T Basics. 2015. Gauging / Measurement. Flatness.

<http://www.gdandtbasics.com/flatness/>

McCrea, C. asentaja. 2017. Haastattelu 11.1.2017. Haastattelija Riuttaskorpi, M.

Mitutoyo. 2016a. Absolute Digimatic Thickness Gauge. Luettu 2.3.2017.

[http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/en\\_us/index.html?page=304](http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/en_us/index.html?page=304)

Mitutoyo. 2016b. Crysta-Apex S 500, 700 & 900 Series. Luettu 2.3.2017.

[http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/en\\_us/index.html?page=596](http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/en_us/index.html?page=596)

Mitutoyo. n.d. Etusivu. Luettu 2.3.2017.

[http://mitutoyo.fi/fi\\_fi/](http://mitutoyo.fi/fi_fi/)

Salmi, H. maajohtaja. 2017. Testimittaukset. Sähköpostiviesti. harri.salmi@mitutoyo.fi. Luettu 2.3.2017.