



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# SELVITYS LAADUNMITTAUSASEMAN PE- RUSTAMISESTA

Joni Kohtamäki

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2017  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

KOHTAMÄKI, JONI:

Selvitys laadunmittausaseman perustamisesta

Opinnäytetyö 53 sivua, josta liitteitä 1 sivu  
Joulukuu 2017

---

Teollisuudessa on aina pyritty mittaamaan toiminnan ja tuotteiden laatua. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys laadunmittausaseman perustamisesta, jonka avulla voidaan mitata kappaleiden geometriaa ja määrittää sekä tilastoida tiedot myöhempää käyttöä varten. Tavoitteena oli lisätä tietoisuutta erilaisista mahdollisuuksista laadunmittauksesta yrityksen sisällä. Työ on kvalitatiivinen, eli laadullinen tutkimus. Lähdeaineistona käytettiin käyttökohteeseen soveltuvien laitteiden ja koneiden valmistajien käyttöohjeita. Kaikkien työssä esiteltyjen koneiden ja laitteiden käyttöohjeet olivat englanninkielisiä, ja suomenkielisiä lähteitä olivat lähinnä turvallisuusstandardit ja asiantuntijahaastattelut. Työssä esiin tulleilla yrityksillä on koulutus- ja markkinointimateriaalia, joiden avulla saa kattavan käsityksen laitteiden mahdollisuuksista.

Tutkimuksessa perehdyttiin robotin ja laserskannerin ominaisuuksiin, joita kuvattiin ja verrattiin laitteiden käyttöominaisuuksien, turvallisuuden sekä niiden tarjoamien mahdollisuuksien näkökulmista. Työn tavoitteet määriteltiin yrityksen toimeksiannon ja asiantuntijahaastatteluiden yhteydessä. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja tuloksena saatiin helpolukuinen raportti, jonka avulla eri taustaiset työntekijät yrityksen eri osastoilta voivat perehtyä robotin ja laserskannerin mahdollisuuksiin. Työ kirjoitettiin laitteiden soveltamisen ja käytön järjestämisen näkökulmasta yrityksessä määriteltyyn käyttökohteeseen, jolloin tieto on käytännöllistä ja työ palvelee yrityksen eri henkilöstöryhmiä. Yrityssalaisuuksien vuoksi työhön ei kirjoitettu tarkempia tietoja mittauksista tai muista vaatimuksista. Työ sisältää liitteen laadunmittausaseman sijoittamisesta tehdasympäristöön, joka on luottamuksellinen.

Laadunmittausaseman perustaminen on täysin mahdollista laitteiden käyttöohjeiden ja markkinointimateriaalin perusteella. Kehitysehdotuksena projektin toteutuessa tulee varmistaa, että avoimet kysymykset määritetään entistä tarkemmin, jolloin niihin pystytään vastaamaan yhä täsmällisemmin. Työn vaativuutta lisäsi se, että työssä vastattiin usealle osastolle, joilla on eri mielenkiinnon kohteet ja kysymykset laadunmittausasemaa koskien.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
Intelligent Machines

**KOHTAMÄKI, JONI:**

Possibilities to establish quality measurement station

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 1 page

December 2017

---

The purpose of this study was to increase knowledge within the commissioning company about the potential ways in which a quality measurement station could be established. The goal of this study was to create a report which gives a perception of how and with which kind of equipment the measurement station described in this thesis can be established. Quality can be determined by measuring products' and parts' geometry by optical inspection.

User manuals, instructions and marketing material provided by manufacturers were examined to find out the suitability of equipment for the quality measurement station, all of which were in English. Information from these sources was studied and read in aspect of obtaining knowledge of how the equipment can be used at the quality measurement station and if certain devices are correct solutions.

A 2D Laser scanner, an industrial robot and a conveyor for robot were found suitable as the equipment and they are introduced in this thesis. These devices were identified as complete solutions with which requirements for quality and automation of the company can be met. The required floor space for a robot cell was determined, also.

Establishing of the quality measurement station is completely possible with the devices, according to the manuals, instructions and marketing material. Answering to questions of separate departments who have different points of interests about the quality measurement station was challenging.

In case this project is put into practice, the questions of separate departments should be defined more closely so they can be answered accurately as possible. Because of confidentiality the exact measurements or quality specifications are not covered in this thesis. This thesis includes one confidential attachment.

---

Key words: quality, measurement, robot

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ESITIEDOT.....	6
2.1	Mittaukset .....	6
2.2	Vaatimukset .....	7
2.3	Hankintaehdotus .....	8
3	ROBOTTI JA LASERSKANNERI .....	10
3.1	Laserskanneri .....	10
3.2	Robotti .....	13
3.2.1	Teollisuusrobotit maailmanlaajuisesti.....	14
3.2.2	Kuorma.....	16
3.2.3	Työalue.....	17
3.2.4	Kuljetin.....	20
3.2.5	Tarkkuus ja nopeus .....	22
4	TURVALLISUUS .....	24
4.1	Robottisolu.....	24
4.1.1	Turva-aita .....	25
4.1.2	Turvamatto .....	25
4.1.3	Valoverho ja turvalaserskanneri.....	26
4.1.4	Esimerkkilasku .....	28
4.2	Laserskanneri .....	29
5	LASERSKANNERIN MAHDOLLISUUDET .....	30
5.1	Micro-Epsilon .....	30
5.2	Keyence .....	35
5.3	Omron .....	40
6	LAADUNMITTAUSASEMA .....	44
6.1	Tilantarve .....	44
6.2	Laitteet .....	46
6.3	Vaihtoehtoiset toteutustavat.....	48
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	49
	LÄHTEET .....	50
	LIITTEET .....	53
	Liite 1. Ehdotus sijainnille tehtaalla (luottamuksellinen).....	53

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia mahdollisuuksia laadunmittausaseman perustamiselle ja tuottaa yritykselle tietoja projektin aloittamista varten. Tavoitteena on tuottaa selkeä ja helppolukuinen kuvaus yrityksen eri organisaatiotasolle laadunmittausaseman mahdollisuuksista ja sijoittamisesta nykyiseen tehdasympäristöön. Työssä keskitytään laitteisiin ja koneisiin.

Laadunmittausasemalla kerätään tietoa kappaleiden ominaisuuksista, jonka avulla tehdään työohjeita laadunvarmistamiseksi ja parantamiseksi. Työssä perehdytään laitteiden ominaisuuksiin ja toimeksiannon mukaisesti valmiisiin ratkaisuihin, joilla pystytään toteuttamaan yrityksen laatumäärittelyjen mukaiset mittaukset. Opinnäytetyö rajataan koskemaan mahdollisuuksien esilletuontia ja tiedon tuottamista.

Turvallisuusstandardien avulla määritetään robottisolun tilantarve ja ulkomuoto, jolloin yrityksessä voidaan arvioida robottisolun sijoittamista tehdasympäristöön. Laadunmittausasemaa varten on olemassa vaihtoehtoisia toteutustapoja, jotka esitellään työssä lyhyesti.

Työssä perehdytään robotin, robottikuljettimen ja laserskannerin keskeisimpiin ominaisuuksiin, mahdollisuuksiin ja valintaperusteisiin laadunmittausaseman perustamista varten, keskittyen laserskanneriin. Lisäksi työssä käsitellään lyhyesti hankintaehdotusta, projektin alkumäärittelyä ja teollisuusrobotteja maailmanlaajuisesti. Lähteinä käytetään pääasiassa valmistajien omaa materiaalia.

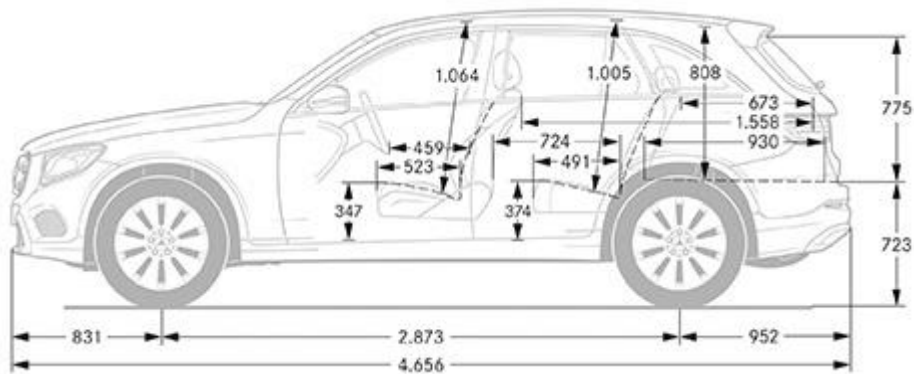
## 2 ESITIEDOT

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Valmet Automotive Oy, jonka pääkonttori ja tehdas sijaitsevat Uudessakaupungissa. Kirjoitushetkellä yrityksessä työskentelee 3500 henkilöä, ja yritys valmistaa muun muassa Mercedes-Benz GLC -automallia. Kokonaisuudessaan yrityksellä on kolme valmistussopimusta Daimler AG:lle, muiden yhteistyökumppaneiden lisäksi. (Valmet Automotive 2017: Yritystietoja; Asiakkaat.)

Luvussa käsitellään yleisluontoisesti toimeksiannon mukaisen laadunmittausaseman toimintaa, suoritettavia mittauksia, järjestelmälle asetettuja vaatimuksia ja hankintaehdotusta, jonka avulla voidaan perustella projektin toteuttaminen.

### 2.1 Mittaukset

Järjestelmällä mitataan ominaisuuksia autosta. Mercedes-Benz GLC -automalli on 4656 millimetriä pitkä, 1639 millimetriä korkea ja 2096 millimetriä leveä (kuvio 1). Tarpeelliseksi työ- ja mittausalueeksi laadunmittausasemalla voidaan ajatella auton korin ulkopinta-ala kokonaisuudessaan.



KUVIO 1. Mercedes-Benz GLC (Mercedes-Benz)

Vaihtoehtoina mittalaitteelle on mekaaninen tai optinen mittaus. Optinen mittalaite ei tarvitse fyysistä kosketusta autoon, jolloin mittalaitetta ei tarvitse kohdistaa yhtä tarkasti mitattavaan kohteeseen.

Sallittu välys mitattavalle kohteelle voi olla esimerkiksi puoli millimetriä, jolloin 0,1 millimetrin suurin mittavirhe tarkoittaa, että hyväksyttävä tulos on 0,1 – 0,4 millimetriä, jotta järjestelmä antaa asentajalle ohjeet hyväksyä kappale.

Monta mittausta, jolloin esimerkkinä käytettyä autoa mitataan esimerkiksi molemmista kyljistä, keulasta ja perästä, ei vaikuta prosessin nopeuteen, mikäli mittaukset suoritetaan samanaikaisesti. Laadunmittausaseman nopeuteen vaikuttaa mittaustiheys, eli mitaanko jokainen auto vai vain joka kymmenes, esimerkiksi. Mikäli jokainen auto mitataan, järjestelmä on selkeä osa tuotantolinjaa ja vaikuttaa olennaisesti läpimenoaikaan. Vastaavasti varsinaisesta tuotannosta erillään oleva mittausasema ei vaikuta läpimenoaikaan, jos satunnaisia autoja mitataan koeluonteisesti.

## 2.2 Vaatimukset

Nykyisen prosessin ymmärtäminen ja prosessinhoitajien haastattelu ovat keskeisessä osassa projektin alkuvaiheita. Kerätyllä tiedolla pyritään määrittämään vaatimukset projektille ja uudelle sovellukselle. Oleellisinta on määrittää haluttu tuotantomäärä. Onnistuessaan projekti saavuttaa halutun tuotantomäärän, tarkkuuden, laadun ja takaisinmaksuajan. (Wilson 2015, 103-106.)

Vaihe- ja läpimenoaika sekä tuotantomäärä ovat suuren kapasiteetin sarjatuotannossa yhtä tärkeitä kriteereitä, kuin halutun toiminnon saavuttaminen. Etenkin, jos laadunmittausasema toimii kiinteänä osana tuotantolinjaa, vaihe- ja läpimenoaika saattaa olla ensimmäiset lähtötiedot, joiden pohjalta aloitetaan eri vaihtoehtojen iterointi. Esimerkiksi paperiteollisuudessa prosessin jatkuva käynnissäpito saattaa olla tärkeämpää, kuin yksittäisen kokonaisuuden kannalta pieni säästö ajassa ja rahassa. Toisaalta joissain sovelluksissa pelkkä ihmisen tekemän työn päihittäminen ajassa voi olla riittävä tekijä ja peruste robottisolun perustamiselle, jotta saadaan säästöjä aikaiseksi. (Salo 2017.)

Yksi lähtövaatimuksista on, että valmistajalta pitää saada valmis ohjelmisto tulosten käsittelyyn ja esillepanoon asentajia varten. Tulokset näytetään työntekijöille erilliseltä ruudulta, jonka mukaan suoritetaan asennukset ja muut toimenpiteet. Tuotetulla tiedolla saadaan aikaan säästöjä ajassa ja rahassa sekä odotusarvoisesti myös laatutaso kasvaa. (Salo 2017.)

Solun pitää toimia yrityksen määräämässä vaiheajassa, jos solu sijoitetaan sarjaan muiden asennuspisteiden kanssa. Koko ja käyttöturvallisuus ovat yhtä tärkeitä kriteereitä, kuin vaadittuun vaihe aikaan pääseminen olettaen, että järjestelmä pystyy tuottamaan

vaadittua tietoa. (Salo 2017.) Vaatimukset järjestelmälle on määritelty toimeksiannon ja työn kirjoittamisen aikana esiin tulleiden tarpeiden mukaisesti, jotka on lueteltu seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Laadunmittausaseman vaatimukset

Koko	Laadunmittausasema mahtuu yrityksen määräämään tilaan.
Laatu	Järjestelmä tuottaa vaaditun tiedon laadun lisäämiseksi.
Nopeus	Järjestelmä pystyy toimimaan yrityksen vaatimassa vaiheajassa.
Ihminen	Laadunmittausasema sopii tuotantotiloihin, jossa työskentelee ihmisiä.
Joustavuus	Laadunmittausasema on helposti uudelleenjärjestettävissä.
Ohjelmisto	Mittalaitteen valmistaja toimittaa ohjelman datan käsittelyyn ja esillepanoon työohjeita varten.
Automaatio	Järjestelmä toimii automaattisesti.
Turvallisuus	Laadunmittausasema perustetaan noudattaen voimassaolevia lakeja ja standardeja.
Takaisinmaksuaika	Järjestelmästä saadaan rahallista hyötyä.

### 2.3 Hankintaehdotus

Yrityksen verkkosivujen mukaan on mahdollista valmistaa 100000 autoa vuodessa, kun työtä tehdään kolmessa vuorossa. (Valmet Automotive 2017: Mikä on Valmet Automotiven tuotantokapasiteetti?.) Luvusta voidaan arvioida laadunmittausasemalta vaadittavaa kapasiteettia. Auto on laaja kokonaisuus erilaisia kokoonpanoja, jolloin yksi työ- tai tarkastusvaihe ei voi pidentää prosessia merkittävästi. Läpimenoaika pitenee, ellei laadunmittausprosessia voida suorittaa samanaikaisesti muun tuotannon kanssa tai jos prosessi ei ole vähintään yhtä nopea, kuin nykyinen prosessi.

Hankintaehdotukselle lasketaan yleensä takaisinmaksuaika. Laadunmittausasemalla pyritään keräämään ja tuottamaan tietoa tuotteen laadusta, jonka avulla voidaan parantaa laatua. Järjestelmän tarkoituksena on tuottaa asennusohjeita, jolloin laatua voidaan parantaa mittausten avulla. Osa järjestelmän tuomasta lisäarvosta on nähtävissä vasta pidemmän ajan kuluttua, eikä silloinkaan välttämättä suoraan. Lisäarvoksi voidaan ajatella esimerkiksi parempaa asiakassuhdetta, yritysimagea ja välittömiä hyötyjä, joiksi



voidaan ajatella esimerkiksi säästyneet työtunnit, jos järjestelmä korvaa ihmisen suorittaman työn kokonaan tai osittain.

Lasketulla takaisinmaksuajalla ja tuottolaskelmilla voidaan perustella projektin toteuttaminen, mutta laskelmia varten pitää tunnistaa elementit, joista säästöt ja kustannukset muodostuvat. Arvioimalla laadunmittausasemasta johtuva työtuntien väheneminen tai muu lisäarvo, voidaan aloittaa laskemaan tuottoja ja takaisinmaksuaikaa. Takaisinmaksuaika vuosissa lasketaan jakamalla hankintakustannusten ja vuotuisten juoksevien kustannusten yhteenlasku vuotuisilla nettosäästöillä. (Wilson 2015, 156-161).

### 3 ROBOTTI JA LASERSKANNERI

Toimeksiannon mukaisesti luvussa perehdytään valmiisiin ratkaisuihin, jotka ovat robotti, robottikuljetin ja laserskanneri. Laitteet täyttävät laadunmittausasemalle asetetut vaatimukset, sekä pystyvät suorittamaan yrityksen laatumäärittelyjen vaatimat mittaukset.

Vastaavaan käyttöön, sekä muihin samankaltaisiin mittauksiin markkinoidaan laserskanneria. Usealla valmistajalla on olemassa valmis ohjelmisto, jonka avulla voidaan tilastoida mittaustulokset. Toimeksiannon mukaista laadunmittausasemaa varten ei käytännössä markkinoida muita valmiita mittalaitteita tai järjestelmiä, jotka täyttävät vaatimukset automaatiosta ja joustavuudesta. Mekaaninen mittalaite vaatii muulta laitteistolta huomattavasti enemmän tarkkuutta kohdistuksen vuoksi.

Robotin tarkoituksena on liikuttaa laserskanneri mitattaviin kohtiin, jolloin vaatimukset joustavuudesta ja automaatiosta täyttyvät. Vaihtoehtoinen toteutus ilman robottia esitellään luvussa 6.3.

#### 3.1 Laserskanneri

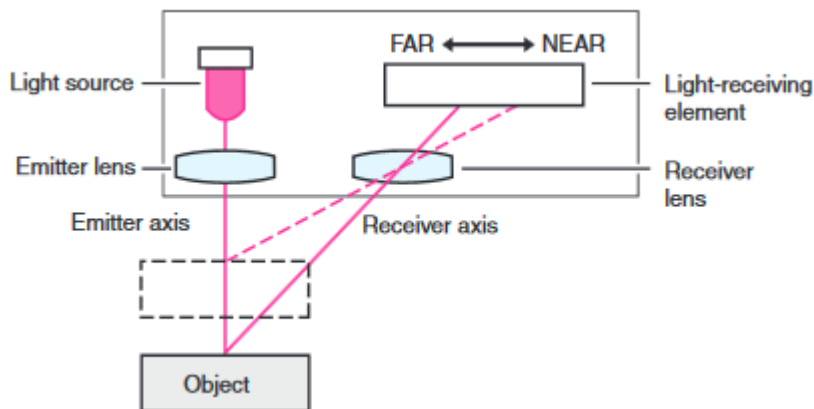
Kolmiulotteinen tieto ei ole tarpeellista mittausten luonteen vuoksi, joten tarkasteltavaksi valitaan 2D-laserskanneri. Useilla valmistajilla on ohjelma tulosten analysointia ja esittämistä varten. Laserskannerilla voidaan mitata eri kappaleiden profiilitietoja kuvion 2 mukaisesti.



KUVIO 2. Profiilin mittaus laserskannerilla (Cognex)

Huomataan, että laserskanneri muodostaa kaksiulotteisen profiilin mitattavasta kohdasta, josta saadaan mitat laadunmäärittystä varten, joka perustuu kappaleiden tai mitattavien kohteiden geometriaan.

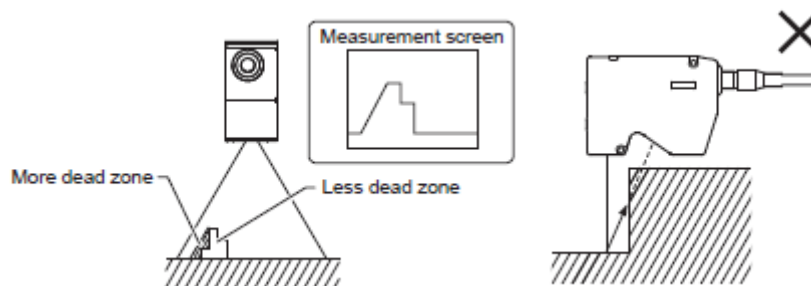
Mittaustekniikka perustuu kolmiomittaukseen, joka on kaikkien työssä esiteltävien laserskannerien perustekniikka. Laserviivasta heijastunut valo toistetaan skannerissa ja mitataan kahdessa ulottuvuudessa, leveys- ja pituussuunnassa (kuvio 3). (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol 26xx, 15.)



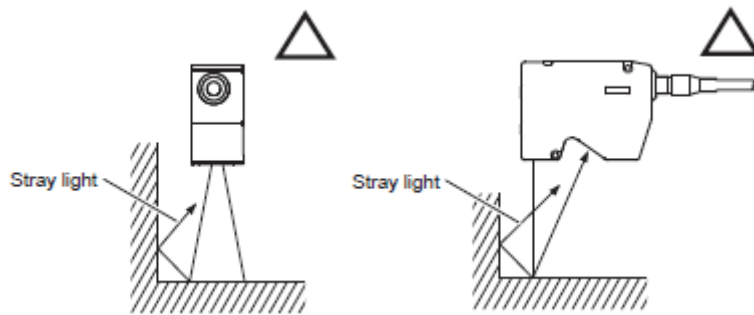
KUVIO 3. Kolmiomittauksen peruseriaate (Omron: Technical Explanation for Displacement Sensors and Measurement Sensors)

Laserskannerista lähetetään laserviiva kohteeseen, joka heijastuu kolmion ääri viivoja pitkin takaisin, joka keskitetään linssin avulla lähetettäessä ja vastaanottaessa. Laservalon vastaanottamiseen on kehitetty erilaisia teknisiä vaihtoehtoja. (Omron: Technical Explanation for Displacement Sensors and Measurement Sensors.)

Laserskannerin sijoittelu kappaleen ja ympäristön suhteen asettaa haasteita tai mahdottomuuksia luotettavien mittaustulosten aikaansaamiseksi (kuviot 4 ja 5).



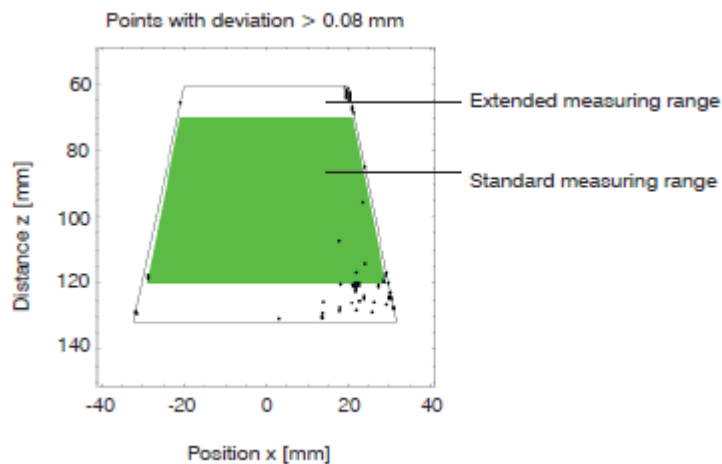
KUVIO 4. Laserskannerin sijoittaminen (Keyence 2014, 36, muokattu)



KUVIO 5. Laserskannerin sijoittaminen (Keyence 2014, 36, muokattu)

Tarkat mittaustulokset varmistetaan asettamalla laserskanneri tarpeeksi etäälle seinästä tai muista heijastumista häiritsevistä kohteista. Kappale ja skanneri pitää asemoida toistensa suhteen oikein, jotta aikaansaadaan halutut mittaustulokset (kuviot 4 ja 5). Laserskannerin pitää olla kappaleen suhteen oikeassa suunnassa, jolloin laserskannerista lähetettävä laserviiva osuu mitattaviin pinnanmuotoihin. Kappaleen muoto voi aiheuttaa haasteita, mutta kahden laserskannerin samanaikainen käyttö on mahdollista kuvion 30 mukaisesti.

Toiminnan varmistamiseksi tulee valita oikea etäisyys mitattavaan kappaleeseen. Kuvio 6 nähdään mittaustulosten hajonta kappaleen etäisyydestä riippuen, eräässä Micro-epsilonin laserskannereissa. Kuvioon on merkitty mustilla pisteillä kohdat, joissa mittaustulosten hajonta on suurempi, kuin 0,08 millimetriä.

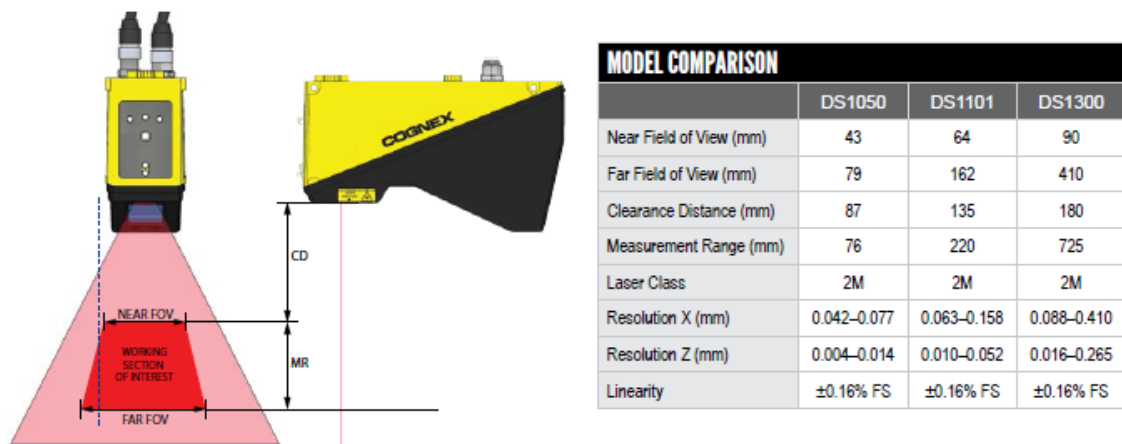


KUVIO 6. Mittaustulosten hajonta (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol 26xx, 41)

Keyencen teknisen oppaan (Keyence 2017, 4) mukaan sininen laser soveltuu käyttökoh- teeseen parhaiten, koska lyhyemmällä aallonpituudella toimiva laserskanneri antaa tark-

koja tuloksia lähes kaikenlaisilla pinnoilla, esimerkiksi eri värisillä maalipinnoilla tai läpinäkyvissä kappaleissa. Tarkat tulokset perustuvat lyhyeen aallonpituuteen ja suureen säteilytiheyteen. Oppaassa todetaan, että sinistä laservaloa voidaan keskittää yhteen pisteeseen 1,5 kertaa enemmän kuin punaista laservaloa.

Toimintaetäisyys, resoluutio, lineariteetti, mittausalue ja valmis ohjelmisto ovat laserskannerin tärkeimmät valintakriteerit. Kuvioista 7 nähdään kolmen Cognexin valmistaman laserskannerin perustiedot.



KUVIO 7. Laserskannerin mitta-alue (Cognex)

Laserskannerin mittausalue pituussuunnassa on merkitty kuvioon lyhenteellä MR, eli measurement range. DS1050 -mallin CD, eli clearance distance on 87 millimetriä, joka tarkoittaa minimietäisyyttä mitattavaan kappaleeseen. Linearity on lineariteetti, jolloin arvo  $\pm 0,16\%$  tarkoittaa, että mitattavaa suuretta vastaava lähtöviesti saattaa poiketa annetun suhteellisen lineaarisuuden arvon verran, eli käytännössä kyseessä on suurin mahdollinen suhteellinen mittavirhe. Resoluutio tarkoittaa mitta-asteikon pienintä mahdollista askelmuutosta, eli erottelukykä. (Wilson 2005, 2-4.)

### 3.2 Robotti

Käyttökohde asettaa vaatimukset robotille. Valinta tapahtuu iteratiivisesti ja valintaprosessin aikana tutkitaan erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja ja tarkastellaan ongelmaa eri näkökulmista. Tärkeimpiä valintaperusteita ovat kuormankantokyky, ulottuma ja työalue, nopeus, toistotarkkuus, paikkatiedon tarkkuus, rakenne, akselien määrä, kiinnitysvaihtoehdot ja robotin koko käyttökohteen muut vaatimukset mukaan lukien. Opinnäy-

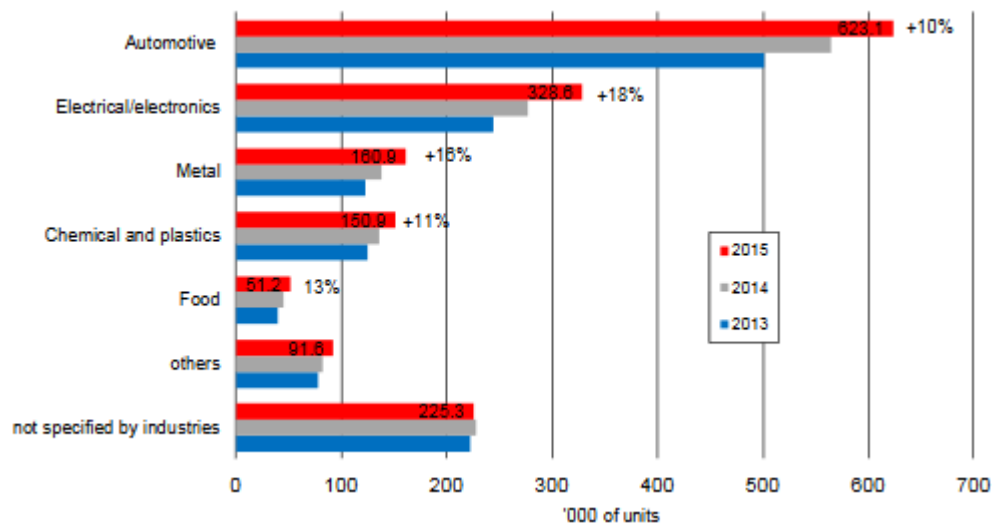
tetyössä ensimmäinen valintakriteeri on työalue ja ulottuma, jonka jälkeen tarkastellaan muita ominaisuuksia ja valitaan kustannustehokkain vaihtoehto tarjouspyyntöjen perusteella. Yleensä yksittäinen ominaisuus ei määritä robotin valintaa, vaan useamman valintaperusteen yhdistelmä. Robotin hyötyjä käyttökohteesta riippuen ovat muun muassa tasainen laatu, lyhyempi läpimenoaika ja kustannussäästöt, verrattuna ihmisen tekemään työhön. (Wilson 2015, 32-33.)

Robotin valinta alkaa käyttökohteen prosessin ja vaatimusten selvityksellä, jonka jälkeen aloitetaan määrittelyt robotilta vaadittaville ominaisuuksille. Robotti ei lähestulkoon koskaan voi korvata ihmistä suoraan, vaan ympäristöstä ja prosessista pitää poistaa vaihtelu, lisälaitteista riippuen. Robotti ohjelmoidaan suorittamaan haluttuja liikesarjoja sekä robotille voidaan antaa tietoa ympäristöstä, jolloin robotin liikkeet riippuvat antureiden sille syöttämästä tiedosta. Ilman antureita materiaali tai käsiteltävä kappale pitää syöttää aina samaan, ennalta määriteltyyn kohtaan robottia varten, jotta robotti voi suorittaa häiriötöntä toistotyötä. Anturien määrän kasvaessa myös hankinta- ja käyttöönottokustannukset kasvavat käyttöönottoon vaaditun ajan lisäksi. (Kauppala 2017; Wilson 2015, 104-105.)

Käyttökohteeseen ehdotetaan robottia, koska se on joustava, uudelleenohjelmoitava ja valmis ratkaisu. Valmet Automotivella on käytössä yli 500 ABB:n robottia, joten voidaan olettaa, että osaaminen on olemassa ja täten opinnäytetyössä perehdytään ABB:n robotteihin. (ABB 2016: ABB solmi suomen suurimman robottikaupan Valmet Automotiven kanssa.)

### **3.2.1 Teollisuusrobotit maailmanlaajuisesti**

Kilpailijoiden toiminta ja alan trendit ovat yleensä mielenkiinnon kohteina eri yrityksissä. Robottien määrä eri teollisuudenaloilla kasvaa jatkuvasti maailmanlaajuisesti. Robotin avulla voidaan vähentää henkilöstökuluja, lisätä laatua, vähentää laadunvaihtelua, aikaansaada varmuutta läpimenoaikaan ja varmistaa ennalta määrätyn tuotantotavoitteen toteutuminen. (Wilson 2015, 35-38.) Kuvioista 8 nähdään kansainvälisen robottiliiton selvitys käytössä olevien teollisuusrobottien määrästä eri teollisuudenaloilla.



KUVIO 8. Robottien määrä eri teollisuudenaloilla (IFR: Welcome to IFR Press Conference, 6)

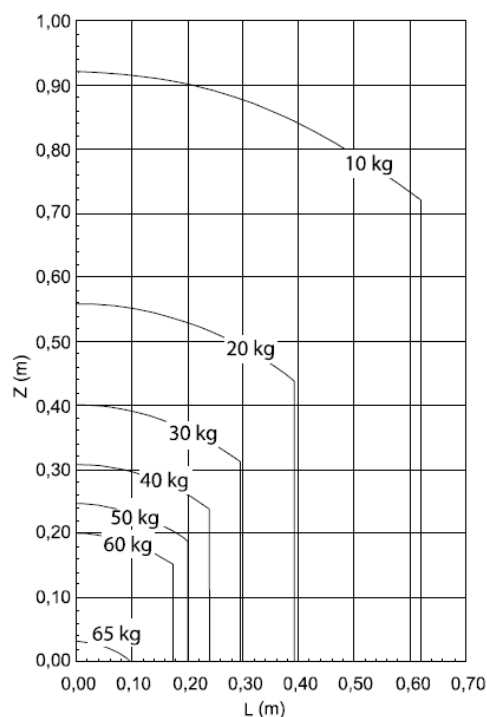
Kansainvälinen robottiliitto on arvioinut maailmanlaajuisesti käytössä olevien teollisuusrobottien määräksi noin 2,6 miljoonaa kappaletta vuonna 2019, kun vastaavasti vuonna 2015 määrä oli noin 1,6 miljoonaa. Autoteollisuus on suurin yksittäinen teollisuudenala robottien määrässä mitattuna. Liitto on perustettu vuonna 1987 voittoa tavoittelemattomana organisaationa. (IFR: Welcome to IFR Press Conference, 5; IFR.)

Tilaston laskentaperusteena on käytetty arvioita 12 vuoden keskimääräisestä käyttöiästä robotille olettaen, että se korvataan välittömästi. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission ja kansainvälisen robottiliiton yhteisesti tuotettu tutkimus toisaalta arvioi, että robotin keskimääräinen käyttöikä on todennäköisesti lähempänä 15:tä, kuin 12:ta vuotta. (IFR: World robotics industrial robots, 22; UNECE 2001.) Toisaalta tilastossa on mukana kaikki robotit, jolloin esimerkiksi jatkuvasti käytössä olevalle robotille ei voida ajatella 12 vuoden käyttöikää.

Tiedot on kerätty maailmanlaajuisesti lähes kaikilta teollisuusrobottien toimittajilta erilaisten alueellisten tai maakohtaisten yhdistysten kautta. Tilastoon on laskettu ISO 8373 standardissa määritellyt teollisuusrobotit, jotka ovat uudelleenohjelmoitavia, monikäyttöisiä, vähintään kolminivelisiä ja automaattisesti ohjattuja. (IFR: World robotics industrial robots, 20-21, 25.)

### 3.2.2 Kuorma

Kuormankantokyky ei ole merkittävä valintakriteeri tässä työssä, mutta monissa muissa sovelluksissa se voi olla jopa ensimmäinen vaatimus, joka tulee täyttää. Kuormankantokyvyksi ilmoitetaan yleensä suurin mahdollinen paino, jota robotti pystyy käsittelemään manuaalisissa ilmoitetun työalueen sisällä. (Wilson 2015, 29.) Työkalun, materiaalin tai niiden yhdistelmän painopisteen muutos vaikuttaa robotin kuormankantokykyyn (kuvio 9). Kuvio on mallille IRB 4600-60/2.05, joka tarkoittaa, että robotin ulottuvuus on 2,05 metriä ja suurin mahdollinen kuorma 60 kiloa.



KUVIO 9. Suurin mahdollinen kuorma (ABB: IRB 4600 Product specification, 30)

Kuviosta huomataan, että kuormankantokyky laskee huomattavasti painopisteen siirtyessä kauemmaksi työkalulaipan keskipisteestä. ABB:n manuaalin mukaan takuu raukeaa, mikäli robottia käytetään liian suurella kuormalla tai väärällä kuormatiedolla. (ABB: IRB 4600 Product specification, 29.) Kuormankantokykyyn vaikuttaa myös hitausmomentti, jolle on määritetty raja-arvot manuaalisissa. Raja-arvot on mahdollista ylittää mallista riippuen rajoittamalla kuviossa 10 näkyvien akselien 5 ja 6 liikerataa.

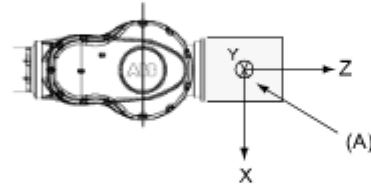


### Full movement of axis 5 ( $\pm 120^\circ$ )

Axis	Maximum moment of inertia
5	$Ja_5 = \text{Mass} \times ((Z+0.250^i)^2 + L^2) + \max(J_{Ox}, J_{Oy}) \leq 500 \text{ kgm}^2$
6	$Ja_6 = \text{Mass} \times L^2 + J_{Oz} \leq 315 \text{ kgm}^2$

i For option 780-4, LeanID=0,404 m

	Description
$J_{Ox}, J_{Oy}, J_{Oz}$	Max. moment of inertia around the X, Y and Z axes at center of gravity.



zz1000000253

Pos	Description
A	Center of gravity

### Limited axis 5, center line down

Axis	Maximum moment of inertia
5	$Ja_5 = \text{Load} \times ((Z+0.250^i)^2 + L^2) + (J_{Ox}, J_{Oy}) \leq 550 \text{ kgm}^2$
6	$Ja_6 = \text{Load} \times L^2 + J_{Oz} \leq 500 \text{ kgm}^2$

KUVIO 10. Sallitun hitausmomentin ylittäminen (ABB: IRB 7600 Product specification, 47)

Inertiamomentin laskukaava riippuu kappaleen muodosta. Esimerkiksi suorakulmaisen särmiön muotoiselle kappaleelle hitausmomentin arvot x, y ja z akseleiden ympäri voidaan laskea kaavoista 1-3 painopisteen ollessa keskellä kappaletta,

$$J_x = \frac{1}{12} m(a^2 + l^2) \quad (1)$$

$$J_y = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \quad (2)$$

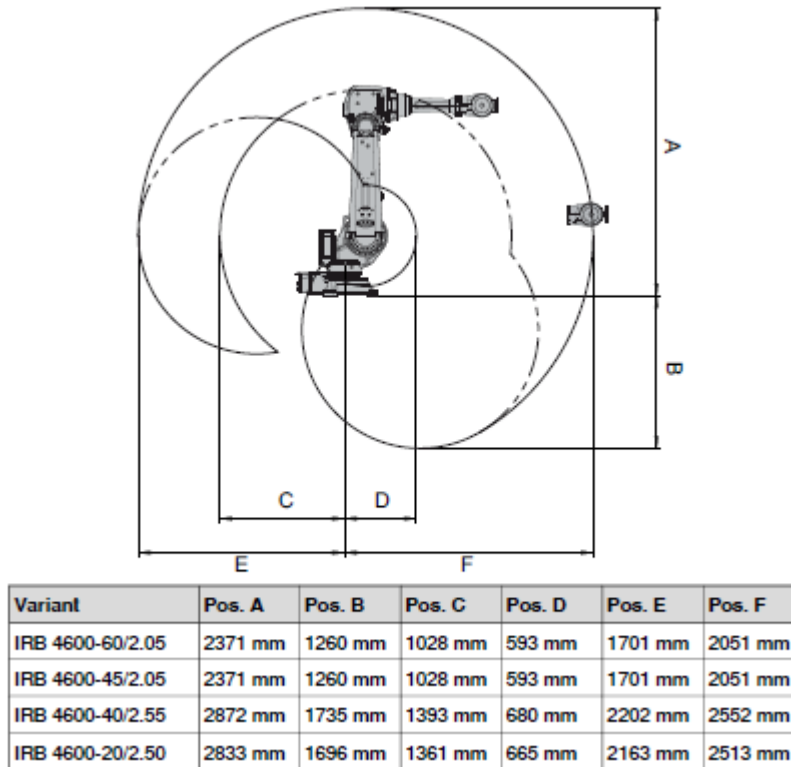
$$J_z = \frac{1}{12} m(b^2 + l^2) \quad (3)$$

joissa m on massa, a on korkeus, b on leveys ja l on pituus. (Mäkelä ym. 2012, 94.)

### 3.2.3 Työalue

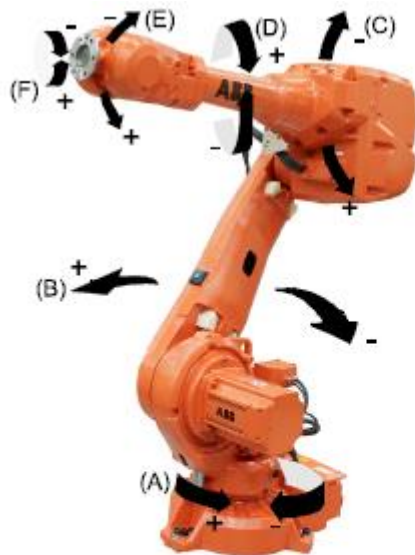
Opinnäytetyössä tarkasteltavien robottien työalue on pallon kaltainen, jolloin valintaa tehdessä on huomioitava, ettei ulottuvuus ole sama jokaisella korkeudella. IRB 4600 -

robotti on mahdollista kiinnittää seinään tai kattoon, joka muuttaa mahdollista työaluetta solussa. Mikäli manuaalissa sallitaan seinä- tai kattokiinnitys, kuormituskuviot pitävät paikkansa näissä kiinnitystavoissa. (ABB: IRB 7600 Product specification, 32.) IRB 4600 -mallien työalueen äärirajat on havainnollistettu kuviossa 11.



KUVIO 11. IRB 4600 -mallien työalueen äärirajat (ABB: IRB 4600 Product specification, 50, muokattu)

Robottisolun kokoon vaikuttaa robotin fyysisen koon ja työalueen lisäksi erilaiset turvallisuusmääräykset, joihin perehdytään luvussa 4. Käyttökohteen asettamat rajat robotin tai esimerkiksi akselin 4 tai 5 koolle on olennainen valintaperiaate. Laadunmittausasemalle ehdotettavassa robotissa on 6 akselia, jotka on nimetty seuraavalla sivulla olevassa kuviossa 12.



10000000421

Pos	Description	Pos	Description
A	Axis 1	B	Axis 2
C	Axis 3	D	Axis 4
E	Axis 5	F	Axis 6

KUVIO 12. Robotin akselit (ABB: IRB 4600 Product specification, 12)

Työalueen ja ulottuman lisäksi akselien suurin mahdollinen käänös rajoittaa robotin toimintaa ja käyttöä (kuvio 13).

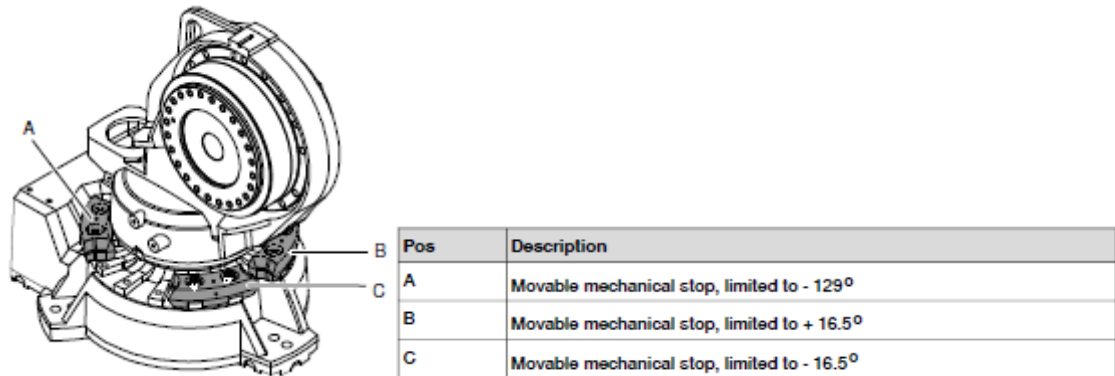
Axis	Type of motion	Range of movement
1	Rotation Motion	+ 180° to - 180°
2	Arm motion	+ 150° to - 90°
3	Arm motion	+ 75° to - 180°
4	Rotation motion	+ 400° to - 400° Default + 201 rev. <sup>a</sup> to - 201 rev. Max. <sup>c</sup>
5	Bend motion	+ 120° to - 125° <sup>b</sup>
6	Turn motion	+ 400° to - 400° Default + 241 rev. <sup>a</sup> to - 241° rev. Max. <sup>d</sup>

KUVIO 13. Suurin mahdollinen käänös (ABB: IRB 4600 Product specification, 49)

Huomataan, että suurin mahdollinen käänös on 360 astetta, jonka robotti voi kääntyä ainoastaan yhteen suuntaan, kun akseli 1 on ajettu ääriasentoon. Täten robottisolun suunnittelussa robotin asettelulla voi olla sovelluskohteesta riippuen suuri merkitys vaiheikkaan ja kappaleen tai työkalun käsittelyyn ylimääräisten liikkeiden välttämiseksi.

Robottisolun ulkomittojen pienentämiseksi akselin 1 käänöstä voidaan rajoittaa mekaanisesti, jolloin turvavyöhyke kutistuu luvun 4 turvallisuusstandardien mukaan huo-

mattavasti. Akselia 1 voidaan rajoittaa 22,5 asteen askelissa kuvion 14 mukaisesti. (ABB: IRB 4600 Product specification, 60-61.)

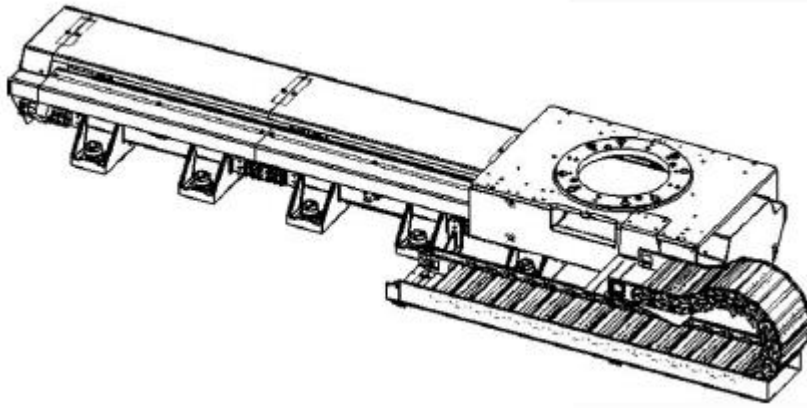


KUVIO 14. Robotin työalueen rajoittaminen mekaanisesti (ABB: IRB 4600 Product specification, 61, muokattu)

### 3.2.4 Kuljetin

Robotille voidaan hankkia kuljetin, jonka avulla työaluetta on mahdollista laajentaa käyttökohteelle sopivaksi. Mikäli yhden robotin pitää yltää auton etu- ja takapäähän, käyttökohteessa tarvitaan kuljetin riippuen robotin työalueesta ja muista laadunmittaus- aseman järjestelyistä.

Kuljettimet on suunniteltu tietyille robottimalleille. ABB:n IRBT 2005 -kuljetinmalli on suunniteltu malleille IRB 1520, IRB 1600, IRB 2600 ja IRB 4600. Yhdelle kuljettimelle voidaan asettaa kaksi robottia ja molemmille roboteille on mahdollista lisätä erilliset kuljetinlevyt, joiden avulla voidaan kuljettaa esimerkiksi hitsauslaitteita robotin mukana. (ABB: IRBT 2005 Product specification, 14, 25, 66.) Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa 15 on esimerkki robottikuljettimesta.



KUVIO 15. Robottikuljetin (ABB: IRBT 2005 Product specification, 55)

Robotin työaluetta voi laajentaa IRBT 2005 -kuljettimen avulla 0,8 – 19,8 metriä, kun kuljettimella on yksi robotti. Vastaavasti, kun kuljettimella on kaksi robottia, työaluetta voidaan laajentaa 1,7 – 18,7 metriä, joka on molempien robottien yhteisessä käytössä. (ABB: IRBT 2005 Product specification, 14.) Tarvittava tila kuljetinta varten lasketaan kaavalla 4,

$$L = 230 + (1000 * N) \quad (4)$$

jossa L on kuljettimen kokonaispituus, 230 on vakio ja N on kuljettimen osioiden lukumäärä, jotka ovat metrin mittaisia. Kaavassa yksikkönä käytetään millimetrejä. (ABB: IRBT 2005 Product specification, 16-17.)

Kuljettimen sijainnin toistotarkkuus on  $\leq \pm 0,05$  mm ja suurin mahdollinen kiihtyvyys  $\leq 2,5$  mm/s<sup>2</sup> suurimmalla mahdollisella kuormalla, jolloin suurin mahdollinen nopeus on 2 m/s. Kuviosta 16 nähdään kuljettimen siirtymiseen kuluva aika eri matkoille, kuljettimelle asetetun robotin ja materiaalin painosta riippuen. (ABB: IRBT 2005 Product specification, 43-44.)

The following table describes the typical positioning times.

Load	Travel length (m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Max payload (1.2 tons)	1.42	1.95	2.48	2.96	3.46	3.96	4.47	4.95	5.47	5.94
< 600 kg payload	1.15	1.65	2.15	2.66	3.16	3.66	4.14	4.65	5.14	5.65

<sup>i</sup> The distance is too short for the carriage to reach its maximum speed.

KUVIO 16. Siirtymisaika (ABB: IRBT 2005 Product specification, 45)

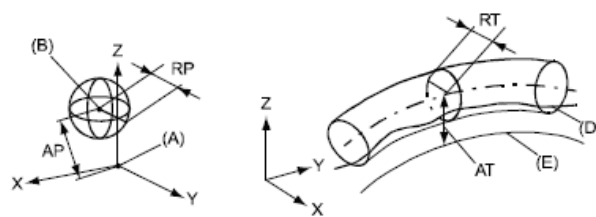
Kuljettimen siirtymiseen kuuluva aika saattaa pidentää laadunmittausaseman läpimenoaikaa, lopullisesta robottivalinnasta ja muista solun järjestelyistä riippuen. Esimerkiksi auton puoliväliin siirtyminen kestää lähes 2 sekuntia kuvion 16 mukaisesti.

Kuljettimen suurin pysähtymisaika on 0,51 sekuntia alle 600 kilogramman kuormalla. (ABB: IRBT 2005 Product specification, 46.) Pysähtymisaika ei vaikuta turvavyöhykkeen kokoon, ellei se ole pidempi kuin robotin pysähtymisaika, koska kuljetin voi aloittaa pysähtymisen yhtäaikaaisesti robotin kanssa.

Yritykseltä saa lisävarusteita, kuten kaapeliketjuja, korokkeita ja muita kaapelointiin liittyviä välineitä. Robottimallille IRB 4600 on tarjolla 250 millimetrin koroke, kun muille malleille korkein koroke on 1000 millimetriä. (ABB: IRBT 2005 Product specification, 55, 61, 70.)

### 3.2.5 Tarkkuus ja nopeus

Robotti toimii manuaalisissa ilmoitettujen arvojen mukaisesti, kun sitä käytetään ilmoitettujen raja-arvojen sisällä. (Wilson 2015, 29.) Kuviosta 17 nähdään IRB 4600 -robotin tarkkuuden suureita.



xx020000424

Pos	Description	Pos	Description
A	Programmed position	E	Programmed path
B	Mean position at program execution	D	Actual path at program execution
AP	Mean distance from programmed position	AT	Max deviation from E to average path
RP	Tolerance of position B at repeated positioning	RT	Tolerance of the path at repeated program execution

Description	IRB 4600			
	- 60/2.05	-45/2.05	- 40/2.55	- 20/2.50
Pose repeatability, RP (mm)	0.06	0.05	0.06	0.05
Pose accuracy, AP <sup>a</sup> (mm)	0.02	0.02	0.02	0.03
Linear path repeatability, RT <sup>b</sup> (mm)	0.46	0.13	0.28	0.17
Linear path accuracy, AT <sup>b</sup> (mm)	0.74	0.48	0.57	0.93
Pose stabilization time, (PST) to within 0.4 mm of the position (s)	0.10	0.13	0.40	0.19

KUVIO 17. IRB 4600 -robotin tarkkuuden arvoja (ABB: IRB 4600 Product specification, 51)

Huomataan, että sijainnin toistotarkkuus RP on epävarmempi, kuin paikkatiedon tarkkuus AP. Opinnäytetyön käyttökohteessa RT ja AT, eli robotin kulkeman reitin poikkeama ja kuljetun reitin hajonta eivät ole merkittäviä ominaisuuksia, koska arvot ovat riittävän pieniä. Käyttökohteeseen ehdotettava laserskanneri mittaa kappaleen eri ominaisuuksia riittävän suurelta etäisyydeltä ja alueelta, jolloin manuaalisissa ilmoitetut tarkkuudet eivät pääse vaikuttamaan lopputulokseen.

Tarkkuuden arvot on saatu robottien suorituskyvyn kriteereitä ja testimenetelmiä käsittelevän ISO 9283 -standardin määrittelemistä kokeista. Kokeessa robottia käytetään suurimmalla mahdollisella kuormalla ja kaikkia akseleita ajetaan 1,6 m/s nopeudella samanaikaisesti, josta poiketen suureet RT ja AT on testattu 0,25 m/s nopeudella. Akselista riippuen resoluutio on 0,001 – 0,005 astetta. (ABB: IRB 4600 Product specification, 51-52.)

Akselien nopeudet on ilmoitettu kulmanopeuksina kuviossa 18. Arvot ovat suurimpia mahdollisia, jolloin robotti ei välttämättä ehdi aina kiihtymään ilmoitettuun nopeuteen, jos ohjelmoidut liikkeet ovat tarpeeksi lyhyitä. (Wilson 2015, 29-30.)

Robot Type	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6
IRB 4600 - 60/2.05	175 °/s	175 °/s	175 °/s	250 °/s	250 °/s	360 °/s
IRB 4600 - 45/2.05	175 °/s	175 °/s	175 °/s	250 °/s	250 °/s	360 °/s
IRB 4600 - 45/2.55	175 °/s	175 °/s	175 °/s	250 °/s	250 °/s	360 °/s
IRB 4600 - 20/2.50	175 °/s	175 °/s	175 °/s	360 °/s	360 °/s	500 °/s

KUVIO 18. Akselien kulmanopeudet (ABB: IRB 4600 Product specification, 52)

Esimerkiksi ympyräliikkeessä työkalulaipan etäisyys robotista määrittää kehänopeuden, jolloin kulmanopeus on sama työkalulaipan sijainnista riippumatta. Mikäli työkalulaippa on kaukana, kehänopeus on suuri – kun vastaavasti työkalulaipan ollessa lähellä, kehänopeus on pieni. Kulmanopeuksia voi käyttää esimerkiksi robottien vertailuun ja simulointiin. Kehänopeus lasketaan kaavalla 5,

$$v = 2 * \pi * n * r \quad (5)$$

jossa v on nopeus, n on kierrosnopeus ja r on ympyrän kehän pituus. (Mäkelä ym. 2012, 92.)

## 4 TURVALLISUUS

Luvussa käsitellään robottisolun koon ja ulkomuodon kannalta muutama keskeisin standardi, joiden avulla voidaan määrittää robottisolun koko luonnosta varten. Standardien avulla saadaan käsitys robottisolun kokoon vaikuttavista tekijöistä ja suureista.

Lähtökohtaisesti standardien mukaisesti rakennetun robottisolun ympärillä on turvallista työskennellä, jolloin henkilövahingoilta vältytään.

### 4.1 Robottisolu

Robotin vaaravyöhyke on robotin mekaanisesti rajoittamaton työalue. Tuotantotilaan, jossa työskentelee ihmisiä robottisolun lähellä pitää hankkia robotin liikkeen pysäyttävä, odottamattoman käynnistymisen ja soluun kulkemisen estävä turvajärjestelmä, muiden turvallisuusvaatimusten lisäksi. Koneiden ja laitteiden täytyy pysähtyä ajoissa ennen törmäystä ihmiseen, joten turvakytkimet ja anturit tulee asentaa riittävälle etäisyydelle liikkuvista koneista ja laitteista. (Kauppala 2017.)

Turvallisuuteen liittyviä vaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä on useita. Käyttökohteessa pääkomponenteiksi voidaan ajatella turva-aitaa, valoverhoa, turvalaserskanneria, turvamattoa ja muita perinteisiä turvallisuuteen liittyviä komponentteja. (Kauppala 2017.) Vaatimukset turvaetäisyyksille, korkeuksille ja laitteille on määritelty eri standardeissa, joista osaan perehdytään seuraavissa alaluvuissa.

Konedirektiivi 2006/42/EY määrittelee tarkemmin turvallisuuteen liittyvät standardit ja vaatimukset kaikille koneille Euroopan unionin alueella, poissulkien koneet, joille on omat erityisdirektiivit tai ovat muuten määritelty direktiivin ulkopuolelle. Tällaisia ovat esimerkiksi aseet sekä tivoleissa ja/tai huvipuistoissa käytettävät erikoiskoneet. (Konedirektiivin soveltamisopas 2010, 17, 27.)

Robottisolun koko määräytyy turvalaitteiden havaitsemien kappaleiden koon, robotin pysähtymisajan, työalueen ja turvalaitteiden lähtösignaalin pois-tilan saavuttamiseen kuluvan ajan mukaan. Lisäksi kokoon vaikuttaa mahdollisuudet päästä tai kurottaa turvalaitteiden ohi, sekä suojalaitteiden ja vaaravyöhykkeen korkeus.



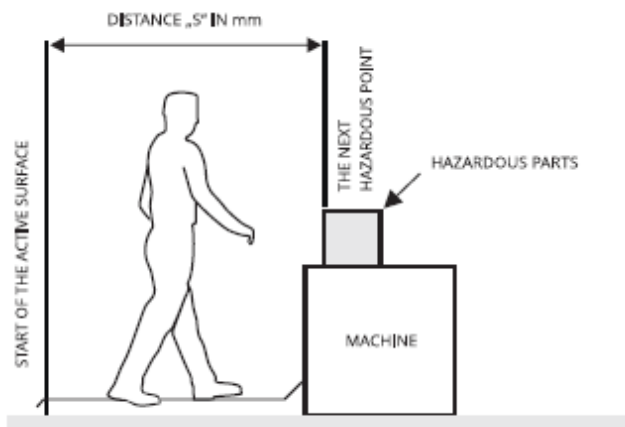
### 4.1.1 Turva-aita

Standardi SFS-EN ISO 13857 määrittää vaatimukset ylä- ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeelle, eli käytännössä aidan korkeuden ja etäisyyden robotista. Standardi ei ota huomioon kulkuväyliä ja liikkuvaa robottia, vaan keskittyy ainoastaan ulottumisen estämiseen siltä osin, kun alue on aidattu. Mikäli tarkoitus on säästää lattia-pinta-alaa, pitää valita korkea aita.

Esimerkkinä käytetyn robotimallin IRB 4600 vaaravyöhyke on korkeudeltaan noin 2,4 metriä, jolloin 2,5 metriä korkeaa suojarakennetta käytettäessä vaadittu vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeelle on 0,1 metriä. Metrin korkeaa suojarakennetta käytettäessä turvaetäisyys on vastaavasti 1,1 metriä. Aidan silmäaukot voi olla suurimmillaan 30 millimetriä leveitä ja 65 millimetriä pitkiä suorakulmioita, jolloin vaadittu turvaetäisyys on minimissään 200 millimetriä ja solun sisälle näkee esteettömästi. Arvot saadaan standardin sisältämistä taulukosta. (SFS EN-ISO 13857.)

### 4.1.2 Turvamatto

Turvamattoa voidaan käyttää yhdistettynä muihin turvalaitteisiin, mutta käyttökohteessa matto ei ole pääasiallinen turvalaite. Matto antaa lähtösignaalin pysäyttää järjestelmän vaaralliset toiminnot, kun sen päälle astutaan. Kuviossa 19 henkilö seisoo turvamaton päällä, jolloin laitteiden pitäisi pysähtyä tai olla pysähtyneitä. SSZ:n turvamaton toiminta-aika on alle 20 millisekuntia. (SSZ 2017, 2, 12.)



KUVIO 19. Turvamaton toiminta (SSZ 2017, 12)

Turvamaton kaukaisimman reunan etäisyys vaaravyöhykkeestä lasketaan manuaalimukaisesti kaavalla 6,

$$S = K * T + C \quad (6)$$

jossa  $S$  on minimietäisyys maton reunasta vaaravyöhykkeelle,  $K$  on vakio 1600 mm/s,  $C$  on varmuusetäisyys ja  $T$  on järjestelmän pysähtymiseen kuluva kokonaisaika, joka koostuu turvalaitteen toiminta-ajasta ja järjestelmän vaarallisten toimintojen pysähtymisajasta.  $C$  lasketaan kaavalla 7,

$$C = 1200 \text{ mm} - 0,4 * H \quad (7)$$

jossa  $H$  on vaara- ja turvavyöhykkeen tasoeron korkeus, joka on useimmilla robottimalleilla 0, koska yleensä robotti ulottuu lattiaan saakka. Turvamaton koolle ei ole vaatimuksia, jos sitä käytetään vain lisäturvallisuuteen tai muuhun tarkoitukseen, jolloin muut turvalaitteet täyttävät turvallisuusvaatimukset. (SSZ 2017, 12.)

Standardi SFS-EN ISO 13856-1 määrittää turvamattojen suunnittelun ja testauksen yleiset periaatteet.

#### **4.1.3 Valoverho ja turvalaserskanneri**

Robottisoluun tarvitaan valoverho läpimenoaukkoon ja mahdollisesti turvalaserskanneri solun sisälle, koska valoverholla ei voi valvoa ihmisen pääsyä solun sisälle samanaikaisesti auton kanssa. Täten järjestelyistä riippuen joudutaan käyttämään myös turvalaserskanneria ja turvamattoa.

Standardissa SFS-EN ISO 13855 valoverho on määritelty koskettamatta tunnistavaksi aktiiviseksi valosähköiseksi laitteeksi ja turvalaserskanneri hajaheijastuksen havaittavaksi aktiiviseksi valosähköiseksi turvalaitteeksi. Standardi IEC 61496 määrittelee koskettamatta tunnistavat turvalaitteet ja niitä koskevat määräykset tarkemmin, kun standardi SFS-EN ISO 13855 määrittää turvalaitteiden sijoittamisen sekä vaara- ja turvavyöhykkeen pituuden.

Havaitsemis- ja vaaravyöhykkeen välinen vähimmäisetäisyys, eli turvavyöhyke aktiiviselle valosähköiselle turvalaitteelle lasketaan yli kurottamisen mahdollisuuden perusteella standardin SFS-EN ISO 13855 mukaisesti kaavalla 8,

$$S = S_{RO} = K * T + C_{RO} \quad (8)$$

ja läpi kurottamisen mahdollisuuden perusteella kaavalla 9,

$$S = S_{RT} = K * T + C_{RT} \quad (9)$$

jossa S on turvavyöhykkeen pituus, K on lähestymisnopeuden muuttuja ja T on järjestelmän pysähtymiseen kuuluva kokonaisaika. T koostuu turvalaitteen toiminta-ajasta ja järjestelmän vaarallisten toimintojen pysähtymisajasta.  $C_{RO}$  on standardin taulukosta saatava lisäetäisyys vaaravyöhykkeeseen yli kurottamisen estämiseksi ja  $C_{RT}$  lasketaan kaavalla 10,

$$C_{RT} = 8(d - 14) \quad (10)$$

jossa d on laitteen tunnistimen pienimmän mahdollisen kappaleen halkaisijan havaitsemiskyky millimetreinä. Kaavat on tarkoitettu tilanteeseen, jossa havaitsemisvyöhyke on kohtisuorassa lähestymissuuntaan nähden ja turvalaite havaitsee halkaisijaltaan alle 40 millimetrin kappaleet. Mikäli S on yli 500 mm, lähestymisnopeuden muuttuja on 1600 mm/s ja kun S on alle 500 mm, lähestymisnopeuden muuttujan arvo on 2000 mm/s.

Standardin mukaisesti turvavyöhykkeeksi pitää määrittää suurin mahdollinen pituus, jonka laskukaavat antavat. Opinnäytetyön robottisolussa suurin arvo saadaan yli kurottamisen laskentaperusteella. Vaaravyöhykkeen ollessa 0 – 2400 mm pitkä ja valoverhon ollessa 1500 mm korkea, lisäetäisyys  $C_{RO}$  vaaravyöhykkeeseen on 550mm ja havaitsemislaitteen alimman valonsäteen korkeuden pitää olla alle 300 millimetriä lattiatasosta, ryömimisen estämiseksi. (SFS-EN ISO 13855.)

Sickin deTec4 Core -valoverhon toiminta-aika riippuu erottelukyvystä, eli resoluutiosta ja valoverhon korkeudesta. 1500 mm korkealle ja halkaisijaltaan yli 30 mm kappaleita erottavalle valoverholle toiminta-aika on 13 millisekuntia. (Sick 2017, 54.)

Valoverho koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta. Mikäli heijastimen ja lähettimen välimatka on yli kolme metriä, minimietäisyys heijastaville pinnoille valoverhosta lasketaan kaavalla 11,

$$a = \tan(2,5^\circ) * 1000 \frac{mm}{m} * D \quad (11)$$

jossa D on vastaanottimen ja lähettimen välimatka, ja a on vaakasuora minimietäisyys heijastavaan pintaan. Alle kolmen metrin välimatkoilla minimietäisyys on 131 mm. (Sick 2017, 21-22.)

#### 4.1.4 Esimerkkilasku

Kaikille roboteille ei ole määritelty pysähtymisaikaa manuaaliin, joten käytetään esimerkkilaskussa IRB 460 -robotin pysähtymisaikaa. On huomioitavaa, että malli on sovelluskohteeseen ylimitoitettu, maksimikuorman ollessa 110 kilogrammaa. (ABB: IRB 460 Product specification, 26.) IRB 460 -robotin pysähtymisajat nähdään kuvioista 20.

Robot type	Axis	Category 0		Category 1		Main power failure	
		A	B	A	B	A	B
IRB 460-110/2.4	1	25	0.45	38	0.79	37	0.58
	2	10	0.31	13	0.31	14	0.33
	3	10	0.18	12	0.25	10	0.21
<b>Description</b>							
A	Stopping distance in degrees						
B	Stop time (s)						

KUVIO 20. Robotin pysähtymisaika (ABB: IRB 460 Product specification, 34, muokattu)

Huomataan, että suurin mahdollinen pysähtymisaika on 0,79 sekuntia. Kategorian 1 pysähtymisaika tarkoittaa ohjelmallista pysäytystä ja kategorian 0 pysähtymisaika tarkoittaa hätäpysäytysaikaa. IRB 460 -robotin pysähtymisaikaa ja deTec4 Core -valoverhon toiminta-aikaa käytettäessä robottisolun turvavyöhykkeen pitää olla turvalaitteiden puolesta kaavan 8 mukaisesti

$$S = 1600 \frac{mm}{s} * (0,79 + 0,013) s + 550 mm$$

$$S = 1834,8 mm$$

noin 1,8 metriä pitkä. Laskussa ei ole huomioitu läpi kurottamisen mahdollisuutta, sillä yli kurottamisen mahdollisuus antaa käyttökohteessa suurimman etäisyyden. Turvavyöhykkeen pituutta lisää esimerkiksi turvalaitteiden viive ja vähentää robotin mahdolliset mekaaniset rajoitukset sekä lyhyempi pysähtymisaika. (SFS-EN ISO 13855.)

## 4.2 Laserskanneri

Työn mittauksia varten tarkoitetut laserskannerit ovat teholuokitukseltaan 2. ja 3. luokan lasereita. 2. luokan laser aiheuttaa silmävaurion ainoastaan, kun laseriin katsomista pitkitetään tai käytetään säteilyä keräävää optista apuvälinettä. Varmistamalla, ettei laservalolle altistuta jatkuvasti tai suoraan peilin kautta ei tarvita erillisiä suojaustoimenpiteitä. 2. luokan laser ei ole vaarallinen silmälle, kun altistuminen on satunnaista ja kestää alle 0,25 sekuntia. 3. luokan laser tarvitsee erillisiä suojaustoimenpiteitä, ja säteily työntekijöitä kohti pitää estää. 3B. Luokan laserin suurin sallittu säteilyteho on 500 mW, ja on aina vaarallinen silmille myös peilin kautta. (Säteilyturvakeskus 2015; Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol 26xx, 10-12.)

Käyttökohteessa ei ole mahdollista käyttää henkilökohtaisia suojavarusteita laservalon vuoksi, joten säteilyn pääsy työntekijöitä kohti estetään, mikäli käytetään 3. luokan laserskanneria. Säteily on mahdollista estää esimerkiksi asentamalla soluun seinät, jolloin soluun ei näe sisälle lainkaan.

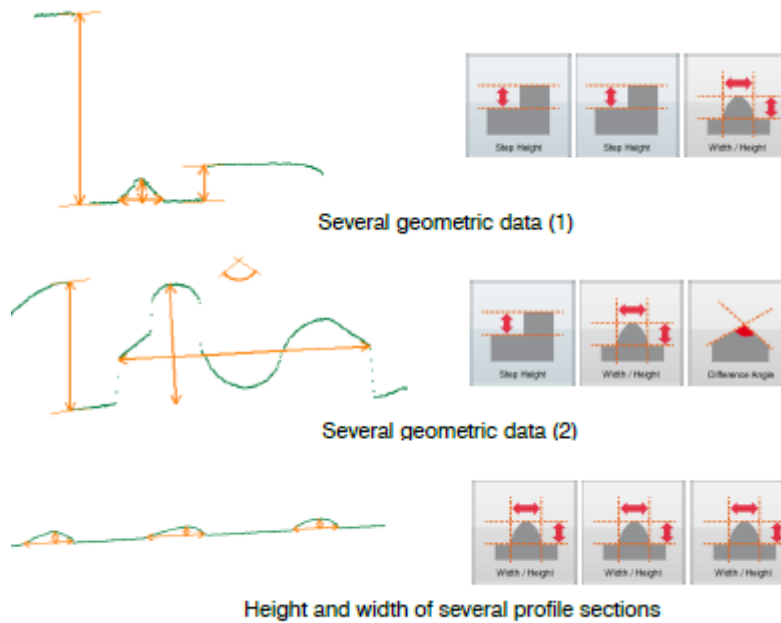
## 5 LASERSKANNERIN MAHDOLLISUUDET

Luvussa perehdytään kolmen eri toimittajan laserskanneria varten tarkoitettuun ohjelmaan ja ohjainyksikön mahdollisuuksiin. Micro-Epsilonin ohjelmat on tarkoitettu usealle eri sarjalle, Keyencen LJ-V7000 -sarjalle ja Omronin ZG2 -sarjalle.

Eri toimittajien laserskannereissa ja niille tarkoitetuissa ohjelmissa on lähes yhtäläiset mahdollisuudet, jolloin lopullinen valinta perustuu tarjouspyynnöistä saatuihin hintatietoihin.

### 5.1 Micro-Epsilon

Yritykseltä on saatavilla scancontrol configuration tools -ohjelma, jonka avulla voidaan säätää laserskannerin toiminta käyttökohteeseen sopivaksi sekä kerätä dataa ja mittaus tuloksia edelleen käsiteltäväksi. Käyttöohjeessa profiililla tarkoitetaan mitattua pinnanmuotoa, joka voi koostua 1280:stä yksittäisestä mitatusta pisteestä, jotka sisältävät x- ja y-koordinaatit. Varsinaisessa ohjelmassa valitaan aliohjelmia, jotka määrittävät mitattavat tiedot, esimerkiksi leveyden tai kulman. Ohjelmassa on riittävästi mahdollisuuksia laadunmittausasemaa varten. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 9, 13-15.) Kuviossa 21 esitetään kolme esimerkkiä aliohjelmien yhdistelmästä ja mitattavasta tiedosta.



KUVIO 21. Aliohjelmien yhdistäminen (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 8, muokattu)

Huomataan, että yhden mittausohjelman aikana voidaan mitata useaa eri ominaisuutta, kuten kuvion ensimmäisessä mittausohjelmassa mitataan kaksi tasoeroa ja nyppylän leveys ja korkeus. Jokaisesta ominaisuudesta saadaan oma erillinen tulos, joiden perusteella muodostetaan asennus- tai työohjeet. Osaa mittaustuloksista voidaan käyttää ainoastaan laskemiseen tai tuloksia voidaan yhdistää. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 128-133.)

Ohjelman avulla voidaan määrittää huomioon otettava osuus mitatusta profiilista ja rajat, joiden sisällä oleva profiilitieto kirjoitetaan lokitiedostoon. Tarkasteltava alue voi olla asetettujen rajojen ulko- tai sisäpuolella. Huomioon otettava osuus profiilista voidaan rajata esimerkiksi suorakulmiolla, suorien viivojen avulla tai asettamalla vähimmäiskorkeus, jolloin mittauksesta saadaan vain haluttu tieto. Rajaus on mahdollista asettaa myös dynaamiseksi, jolloin rajat muuttuvat mitattavan kappaleen mukaan referenssipisteiden avulla. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 36-48.) Kuviossa 22 on esimerkki muutamasta erilaisesta rajauksesta.

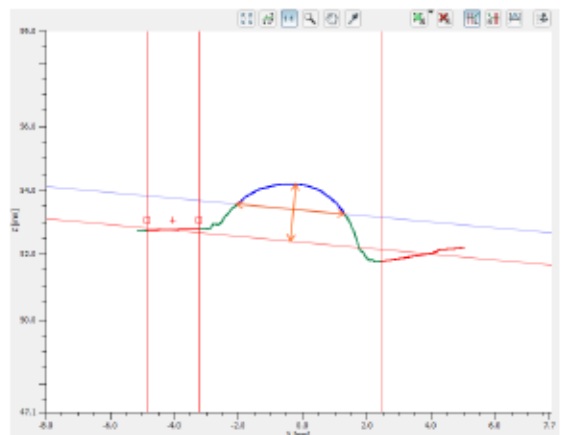
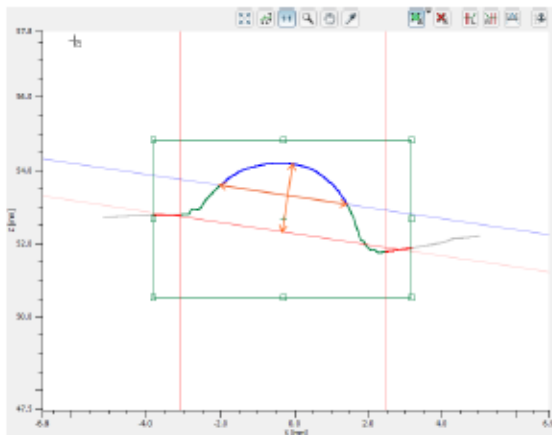
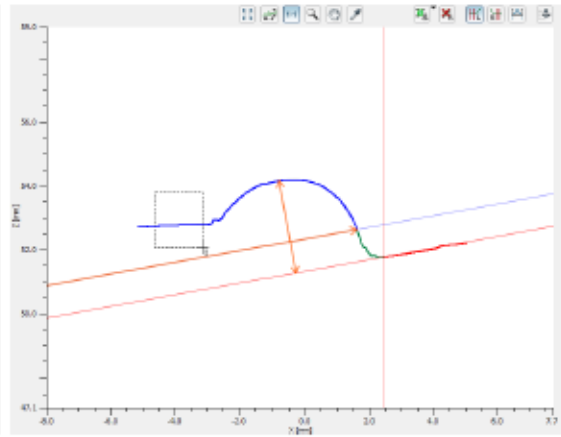
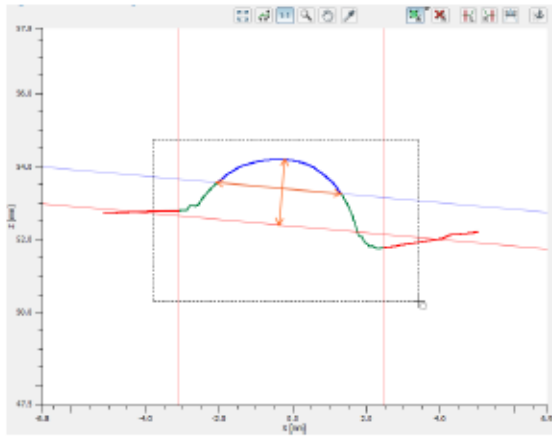


Fig. 3.30: Setting complete measuring range

Fig. 3.35: Setting complete range for the line fitting

KUVIO 22. Mitattavan tiedon rajaaminen (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 38, 41, muokattu)

Kuviossa rajataan osuus mitatusta profiilista pois, jolloin rajattua osuutta ei oteta mukaan tuloksiin tai tulosten käsittelyyn. Toiminnon avulla mittausten käsittely on helpompaa, sekä mitatusta profiilista saadaan halutut mittaustulokset.

Skannerin ja muun laitteiston toiminta voidaan synkronoida tulo- ja lähtöviestin avulla, jolloin profiilitiedon sekä datan kerääminen ja hyödyntäminen on selkeämpää. Skanneri on mahdollista asettaa keräämään dataa esimerkiksi robotista saatavalla tuloviestillä, jolloin muu laitteisto jatkaa toimintaa skannerista saatavalla lähtöviestillä, kun mittaukset ovat valmiita. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 7, 26-28, 127.)

Mittaustuloksia on mahdollista yhdistää ja laskea niistä erilaisia suureita automaattisesti, esimerkiksi voidaan laskea etäisyyksien summa, kulmien erotus, yksittäisten pistei-



den sijaintien erotus tai painopisteen sijainti. Laskutoiminnolla saa siirrettyä esikäsiteltyä dataa tai jopa valmista informaatiota käyttöön. Ohjelmassa on monta valmista laskutoimintoa tarpeen mukaisten tulosten muodostamiselle, kun tarkoituksena on mitata esimerkiksi korkeus- tai tasoeroja. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 128-133.)

Mittaustulokset saa ohjelmasta ulos muun muassa Excel yhteensopivina slk -tiedostoina käyttöön ja jatkokäsiteltäväksi. Kerättävän tiedon määrää ja oikeellisuutta voidaan hallita käynnistämällä mittaus ja tiedonvienti, kun skanneri on halutussa kohdassa mitattavaa kappaletta. Mittaustulokset on mahdollista kerätä lokitiedostoon halutussa järjestyksessä tai osaa tuloksista voidaan käyttää pelkästään laskentaa varten, jolloin tarpeettomia tietoja ei kirjata lokitiedostoon. Mittauksia voidaan ottaa yhdestä kohdasta kappaletta ennalta asetettu määrä, jolloin tulosten voidaan ajatella olevan luotettavampia, kun laskeaan mittausten keskiarvo. Kuviossa 23 on esimerkki lokitiedostosta, josta voidaan edelleen viedä tietoja esille yksinkertaisemmassa muodossa, esimerkiksi työohjeita varten. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 126-127, 146-147)

24	Date	Time	Profile no.	Program 1: Width [mm]	Program 1: Height [mm]	Program 2: Width [mm]	Program 2: Height [mm]
25	05/25/2016	10:13:54:906	205502	1.789	0.990	1.945	0.671
26	05/25/2016	10:13:54:946	205503	1.791	0.990	2.000	0.683
27	05/25/2016	10:13:54:986	205504	1.792	0.990	1.949	0.672
28	05/25/2016	10:13:55:026	205505	1.791	0.990	1.954	0.675
29	05/25/2016	10:13:55:066	205506	1.792	0.991	1.988	0.680
30	05/25/2016	10:13:55:106	205507	1.792	0.990	1.962	0.676
31	05/25/2016	10:13:55:146	205508	1.790	0.989	1.939	0.671
32	05/25/2016	10:13:55:186	205509	1.792	0.990	1.947	0.672
33	05/25/2016	10:13:55:226	205510	1.791	0.990	1.949	0.672
34	05/25/2016	10:13:55:266	205511	1.791	0.990	1.952	0.673
35	05/25/2016	10:13:55:306	205512	1.791	0.990	1.982	0.679
36	05/25/2016	10:13:55:346	205513	1.790	0.990	1.948	0.671
37	05/25/2016	10:13:55:386	205514	1.792	0.991	1.946	0.672
38	05/25/2016	10:13:55:426	205515	1.792	0.991	1.951	0.674
39	05/25/2016	10:13:55:466	205516	1.792	0.990	1.990	0.680
40	05/25/2016	10:13:55:506	205517	1.791	0.990	1.950	0.673

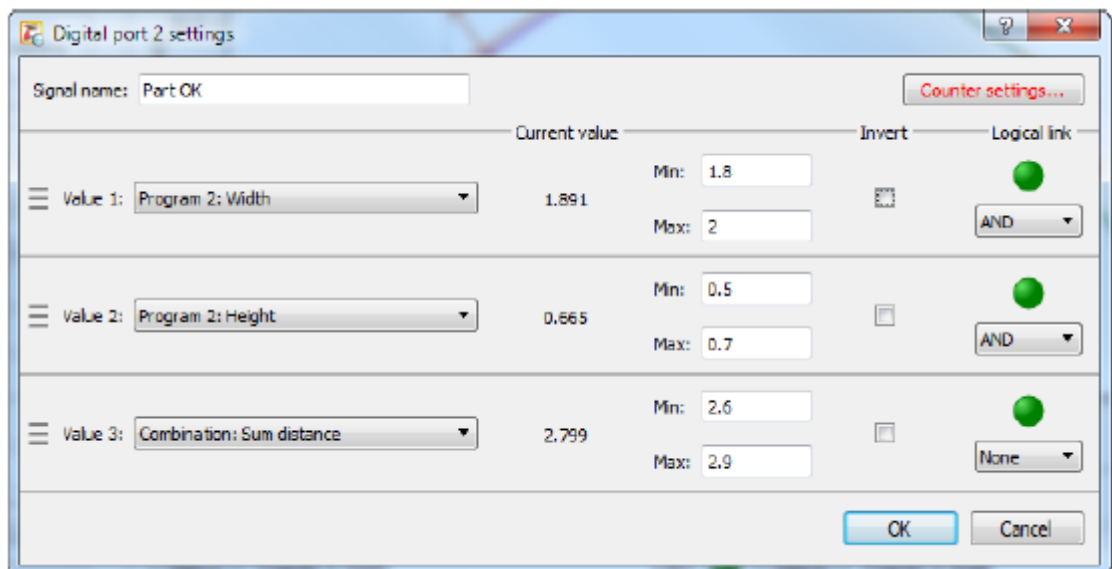
KUVIO 23. Lokitiedosto (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 147, muokattu)

Lokitiedoston avulla on mahdollista johtaa mittaustuloksista jälleen uutta tietoa tilastointia ja laadunseurantaa varten. Lokitiedostoon kirjautuu mittauksen ajankohta, sekä mittausohjelman mukaiset tulokset. Kappaleiden laatutaso voidaan tilastoida erilaisia raportteja varten, tai laskea mittaustulosten keskihajonta ja hajonnan ääriarvot, esimerkiksi. Keskihajonta lasketaan kaavalla 12,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

jossa  $n$  on mittausten lukumäärä,  $x_i$  on mittausten keskiarvo ja  $\bar{x}$  on yksittäisen otoksen arvo. (Mäkelä ym. 2012, 85.)

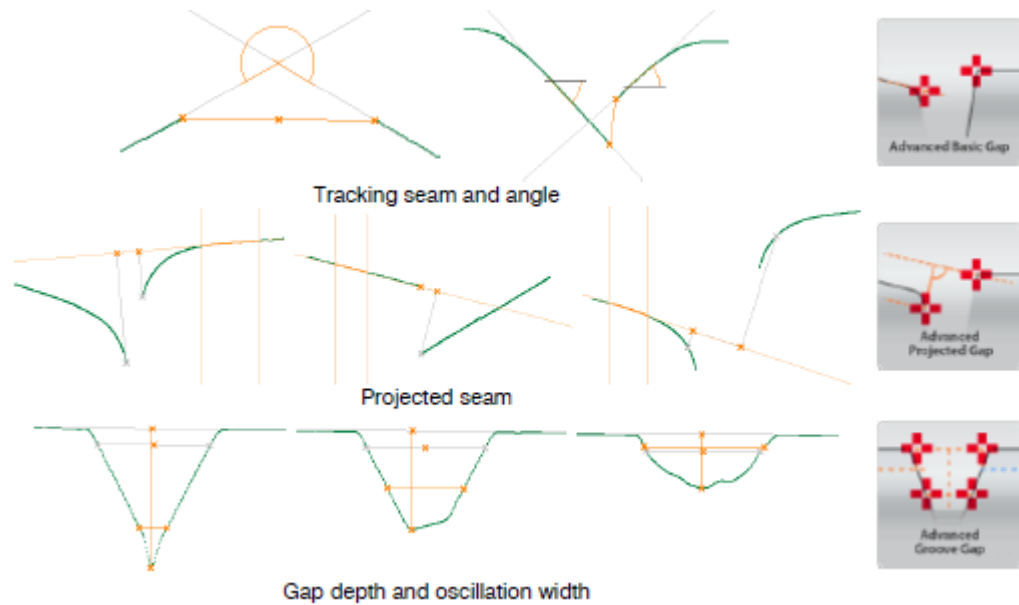
Digitaalisia ulostuloja voidaan hallita loogisten porttien avulla. On mahdollista asettaa leveyden minimi- ja maksimiarvo loogiseen JA-porttiin korkeuden minimi- ja maksimiarvon kanssa, jolloin digitaalinen ulostulo ei aktivoidu, elleivät molemmat mitatut arvot ole asetetun toleranssin sisällä, esimerkiksi. (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 137-138.) Kuviosta 24 nähdään esimerkki loogisten porttien käytöstä.



KUVIO 24. Loogiset portit (Micro-Epsilon: Instruction manual scancontrol configuration tools, 137)

Mikäli ohjelman mahdollisuudet eivät riitä, yritys tarjoaa esivalmiita tiedostoja, jonka avulla skannerin toimintaa voidaan integroida toiseen järjestelmään ja muokata omia ohjelmia varten esimerkiksi C-ohjelmointikielellä. Tiedostoissa on mukana käyttöliittymä C-ohjelmointikieltä varten ja useita esimerkkejä valmiista ohjelmista, mm. datan tallentamisesta laukaisutoiminnon avulla. (Micro-Epsilon: Integration in application software.)

Micro-epsilon markkinoi gapcontrol -ohjelmaa ja samannimistä 2D-laserskanneria rakojen ja tasoerojen mittausta varten. Ohjelma soveltuu kaikenlaisten rakojen mittaukseen. (Micro-Epsilon: gapCONTROL for gap measurement.) Kuvio 25 näyttää kuvio 21 vastaava esimerkki muutamasta mittausohjelmasta gapcontrol -ohjelmalle.



KUVIO 25. Mittausohjelma (Micro-Epsilon: Instruction manual gapCONTROL setup software, 8, muokattu)

Huomataan, että ohjelmassa on vähemmän mittauksia, kuin vastaavassa kuviossa 21. Gapcontrol -ohjelma on tarkoitettu rakojen mittaukseen, jolloin ohjelmallisia mahdollisuuksia on vastaavasti vähemmän.

Mitattuja tuloksia voidaan suodattaa ja asettaa ohjelma kirjaamaan esimerkiksi maksimikorkeuden keskiarvon, mediaanin tai kirjaamaan mittaustuloksen vasta muiden tulosten jälkeen, kuten scancontrol configuration tools -ohjelmassa. (Micro-Epsilon: Instruction manual gapCONTROL setup software, 136.)

## 5.2 Keyence

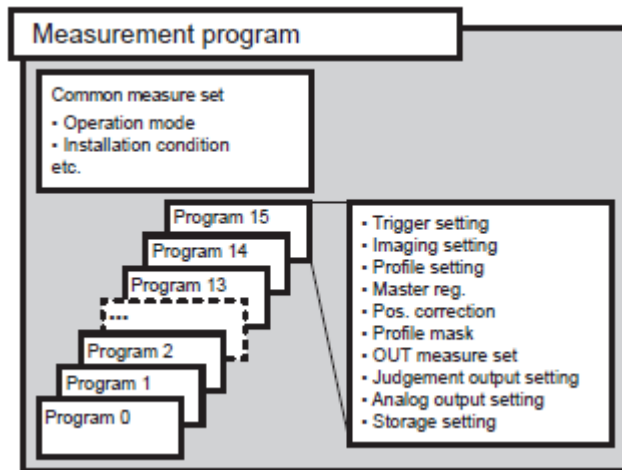
Yritys tarjoaa LJ-Navigator -ohjelmaa laserskanneria varten, joka on mahdollisuksiltaan ja rakenteeltaan samankaltainen, kuin aluvuossa 5.1 esitelty Micro-epsilonin ohjelma. Kuviossa 26 on esimerkki auton koriin tehdystä mittauksesta.



KUVIO 26. Auton koriin tehty mittaus (Keyence: LJ-V7000 Series proposal by Application, 4)

Kuvion mittaus kohdistuu rakoön oven ja kattolistan välillä. Huomataan, että ohjelmalla saadaan mitattua tasoero ja rako reunojen pyöreästä muodosta huolimatta. Mittaukseen esitetään tarpeelliseksi 2D-laserskanneri sekä ohjainyksikkö. (Keyence: LJ-V7000 Series proposal by Application, 4.)

Vastaavasti kuten Micro-epsilonin ohjelmissa, Keyencen LJ-Navigator -ohjelmassa mitattavat ominaisuudet valitaan aliohjelmien avulla, joista muodostuu mittausohjelma ja -prosessi kokonaisuudessaan. Ohjelmalla voidaan mitata kappaleesta esimerkiksi rakoja, tasoeroja ja leveyttä, eli vastaavia ominaisuuksia kuten Micro-epsilonin ohjelmalla. Aliohjelmassa asetetaan laukaisutoiminto, mitattavat ominaisuudet ja datan tallentamisasetukset, esimerkiksi. Mittaustuloksia voi yhdistää ja mitatusta profiilista on mahdollista laskea erilaisia suureita automaattisesti, esimerkiksi korkeusero tai kulman kaarevuus. Pinnanmuodon määrittämiseen voi käyttää myös itse asetettuja apuviivoja vertaisprofiilia. Mittauksia voi rajata, suodattaa ja asettaa skanneri kirjaamaan esimerkiksi mittaus tulosten mediaaniarvoja tai keskiarvoja, kuten muidenkin valmistajien ohjelmissa. Tunnetuille mittavirheille voidaan asettaa automaattinen korjaus. (Keyence 2014, 72, 110-111, 138, 144-146, 178-179, 183-184.) Seuraavalla sivulla oleva kuvio 27 selventää mittausohjelman rakenteen.

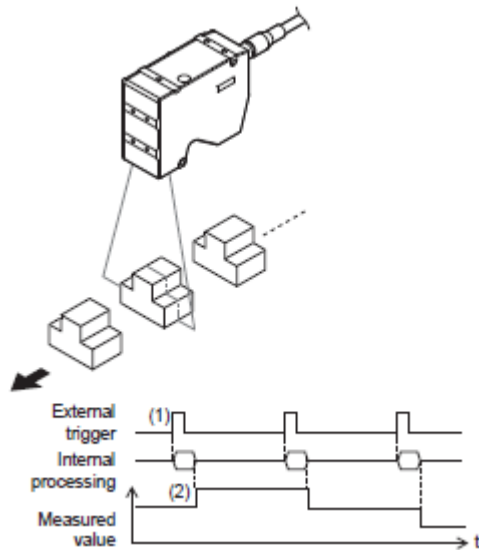


KUVIO 27. Mittausohjelman rakenne (Keyence 2014, 72, muokattu)

Mittausohjelma koostuu erillisistä aliohjelmista, joista jokaiseen voidaan määrittää omat asetukset. Kuvion 27 mukaisesti yhteen aliohjelmiaan voidaan määrittää laukaisutoiminto, kuvausasetukset, profiilin käsittelyasetukset, isäntäprofiili, automaattinen sijainnin korjaus, mitatun profiilin rajausta, mitattava ominaisuus ja laskutoimenpiteet, kuvion 35 mukainen yksinkertainen ilmoitus mitatun profiilin hyväksymisestä tai hylkäämisestä, analoginen lähtöviesti ja tallentamisasetukset.

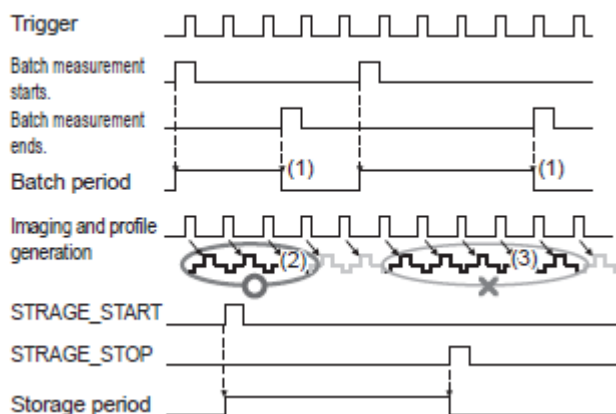
Sijainnin korjaukseen ja mitatun profiilin rajaukseen tarvitaan isäntäprofiili, mittausohjelmasta riippuen. Mitattua profiilia voidaan verrata isäntäprofiiliin, jolloin voidaan tutkia niiden välisiä eroja. Sijaintia saattaa joutua korjaamaan oikeellisten mittaustulosten aikaansaamiseksi. Kuvausasetuksissa määritellään esimerkiksi valotusaika ja laservalon intensiteetti, kun profiilin käsittelyasetuksissa määritetään esimerkiksi kallistuksen ja korkeuden korjaus tai pinnanmuodon keskiarvon laskenta. (Keyence 2014, 89-90, 96-99, 105-110, 120, 124, 136, 138-146, 197-202.)

Laukaisutoiminnolla asetetaan laserskanneri suorittamaan mittauksia tuloviestillä halutussa ajankohdassa, esimerkiksi kun robotti ja skanneri sijaitsevat halutussa paikassa. Laitteistosta on mahdollista saada analoginen lähtöviesti järjestelmän muita laitteita varten vastaavasti, kuten Micro-epsilonin laserskannerista. (Keyence 2014, 197-200, 281-184.) Kuvion 28 nähdään laukaisutoiminnon toimintaperiaate, jossa ensimmäiseksi laserskanneri aloittaa kappaleen mittauksen laukaisutoiminnolla ja toiseksi mittaa kappaleen laitteen viiveen jälkeen.



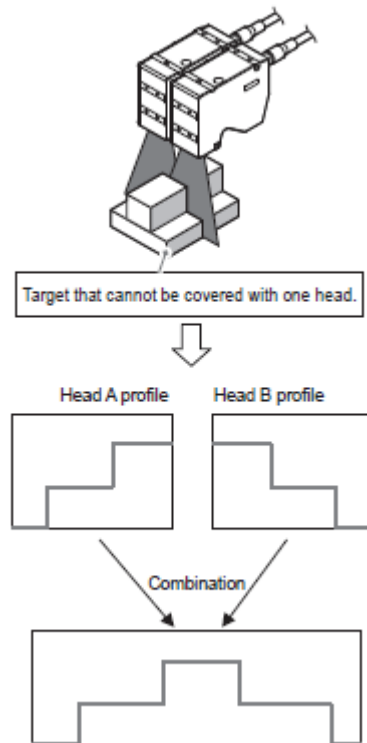
KUVIO 28. Laukaisutoiminnon toimintaperiaate ja aikakaavio (Keyence 2014, 90)

Datan tallentamisen aloitus- ja lopetushetkeä voidaan hallita laukaisutoiminnolla ja profiileja on mahdollista tallentaa eräkohtaisesti (kuvio 29), jolloin monta profiilia tallennetaan yhdestä kappaleesta ja mittauksia prosessoidaan yhtenäisesti. Toiminto sopii esimerkiksi kiilamaisuuden määrittämiseen. Mitattujen profiilien tiedot saa vietyä Excel yhteensopivaan .csv -tiedostoon. (Keyence 2014, 93, 201-202, 223.) Kuviossa 29 eräjakso loppuu ensimmäiseksi eräkohtaisen mittauksen kanssa samanaikaisesti, ja toiseksi eräjakso loppuu tallentamisvaiheen aikana, jolloin profiilitiedot tallennetaan. Kolmannessa vaiheessa eräjakso loppuu tallentamisvaiheen jälkeen, jolloin tietoja ei tallenneta ja toimintaa pitää säätää.



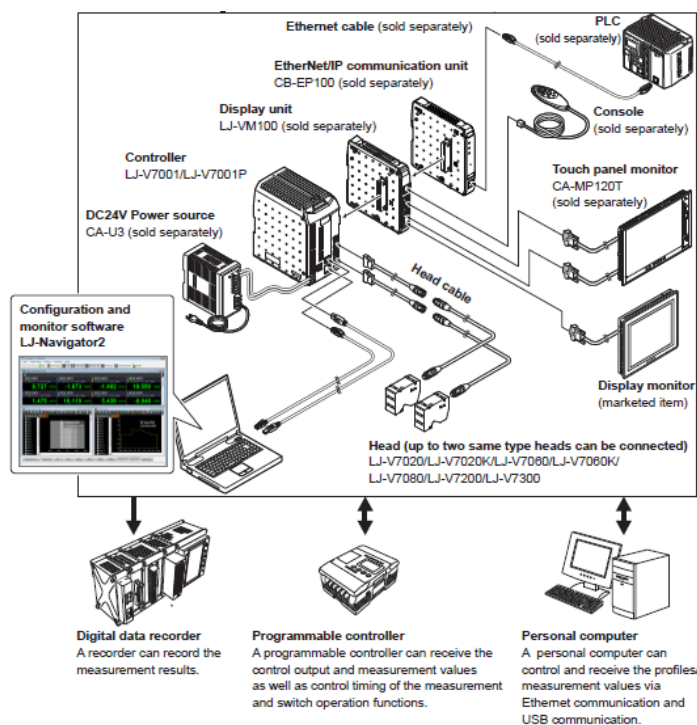
KUVIO 29. Eräkohtaisen mittauksen aikakaavio (Keyence 2014, 202)

Kahta laserskanneria voidaan käyttää samanaikaisesti saman kappaleen mittaukseen, jolloin skannerien mittaustulokset yhdistetään. Kuviossa 30 on esimerkki kahden laserskannerin samanaikaisesta käytöstä. (Keyence 2014, 105-107.)



KUVIO 30. Kahden laserskannerin käyttö samanaikaisesti (Keyence 2014, 105)

Järjestelmän toimintaa varten ei riitä pelkkä skanneri, vaan tarvitaan myös muita komponentteja, joista osan saa hankittua yritykseltä. Kuviossa 31 on esimerkkikokoonpano lisälaitteiden kanssa.



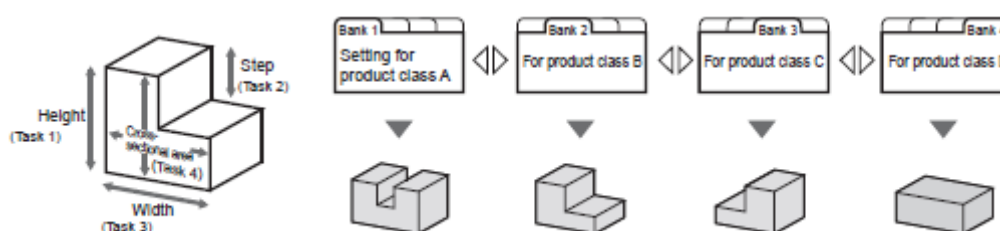
KUVIO 31. Laserskanneri ja lisälaitteet (Keyence 2014, 25, muokattu)

Kuvion esimerkkiin on listattu monta erilaista lisälaitetta, joista kaikkia ei välttämättä tarvita laadunmittausasemalle. Ohjainyksikkö, virtalähde, ohjelmoitava logiikka, tietokone, tiedonsiirtoyksikkö ja tietokone ovat sovelluksen kannalta lähtökohtaisesti tärkeimmät lisälaitteet laserskannerin käyttöä varten.

Manuaalista ja muusta materiaalista löytyy ohjeita skannerin perustoiminnan asetuksille, eli esimerkiksi valon intensiteetin ja skannerin herkkyyden säätöä varten, jolloin heijastavia pintoja voidaan mallintaa luotettavasti. (Keyence 2014, 96-99.)

### 5.3 Omron

Omronin laserskannerilla yhden mittauksen aikana on mahdollista mitata kahdeksan eri ominaisuutta yhdestä profiilista muodon ja halutun tiedon määrittämistä varten. ZG2-laserskannerilla ja ZG-WDC -ohjainyksikön avulla voi mitata korkeutta, tasoeroa, leveyttä ja määritettyä kulmaa, esimerkiksi. Mitatusta profiilista voidaan laskea eri suureita syöttämällä aliohjelmaan yhtälö, jonka jälkeen käsiteltyä mittaustietoa voi käyttää tuloksena. Mittausohjelma muodostetaan samalla tavalla, kuin muissakin laserskannereissa, eli aliohjelmien avulla. Kuviossa 32 on esimerkki kappaleen muodon määrittämisestä ja esimerkki ns. pankkien asetuksista. (Omron 2015, 53-54, 70-71, 96; Omron 2008, 9-14.)



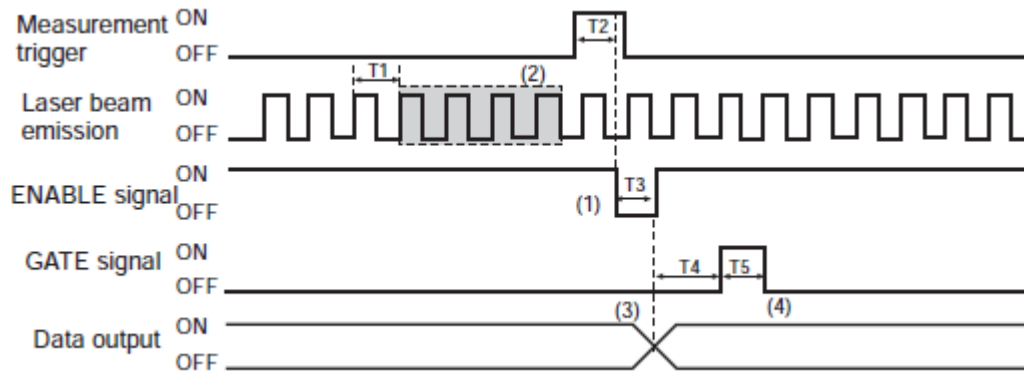
KUVIO 32. Profiilin muodon määrittäminen ja pankkien asetukset (Omron 2015, 53, muokattu)

Aliohjelmia ja pankkeja voidaan yhdistää, jolloin on mahdollista suorittaa 128 erilaista mittausta. Pankkien määrä on mahdollista laajentaa 16:sta 4096:een, erillisen tallentamiseen tarkoitetun lisäyksikön avulla. Yhteen pankkiin voi tallentaa asetukset esimerkiksi laserskannerin herkkyydestä, profiilin huomioon otettavasta osuudesta ja mitattavan profiilin muodosta. Aliohjelmaan määritetään mitattava ominaisuus, joka voi olla



esimerkiksi korkeus tai leveys. Pankkeja voidaan vaihtaa eri mittauksiin laukaisutoiminnon avulla. (Omron 2015, 53-54, 96-98, 147; Omron 2008, 22-26, 10-15.)

Laserskanneria on mahdollista käyttää laukaisutoiminnolla, josta nähdään esimerkki kuvio 33, jossa skanneri toimii automaattisella herkkyysäädöllä.



KUVIO 33. Laukaisutoiminnon aikakaavio (Omron 2015, 145)

Aikakaaviossa T1 on mittaustaajuus, T2 laukaisutoiminnon viive, T3 datansiirron viiveaika, T4 datan prosessointiin kuluva aika ja T5 datan tallentamiseen kuluva aika. Prosessi on numeroitu aikakaavioon ja selitetty taulukossa 2. (Omron 2015, 145-146.)

TAULUKKO 2. Mittausprosessi

1.	Laserskanneri asetetaan mittaamaan profiilia laukaisutoiminnon avulla.
2.	Profiili mitataan monta kertaa ja lasketaan keskiarvo halutulle ominaisuudelle.
3.	Viiveajan päätyttyä aloitetaan datansiirto, jolloin skanneri on valmis uudelle mittaukselle.
4.	Mittaustulokset on tallennettu ulkoiseen tallennuslaitteeseen.

Mittaustieto voidaan siirtää 16 bitin, 2. komplementin binääritietona esimerkiksi ulkoiseen ohjelmoitavaan logiikkaan. Logiikasta voidaan edelleen ohjata tarkkaa mittaustietoa työohjeisiin mahdollisia korjaustoimia ja laadunseurantaa varten (kuvio 34). Binääritiedon tuottamista varten tarvitaan erillinen lähetinyksikkö. (Omron 2015, 138-140.)

When measurement value is "+1.234"

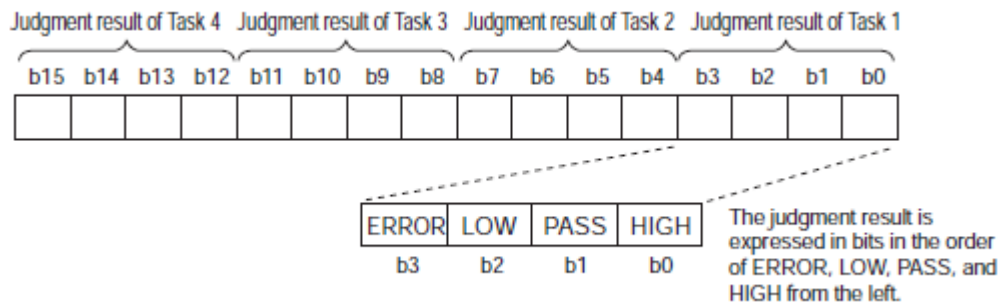
b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0

When measurement value is "-1.234"

b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0

KUVIO 34. Mittaustulos esitettynä binääritietona (Omron 2015, 140, muokattu)

Yksinkertaisesti voidaan ilmoittaa, että jokin mitattu suure on alle, yli tai asetetun toleranssin kuvion 35 esimerkin mukaisesti. Mikäli mittaustulos on yli asetetun toleranssin, ensimmäiseen bitti saa arvon 1, kun vastaavasti mittaustuloksen ollessa toleranssin ali, bitti 2 saa arvon 1. (Omron 2015, 141.)



KUVIO 35. Yksinkertainen tapa ilmoittaa tuloksista (Omron 2015, 141)

Laserskannerin tulokset saa tietokoneohjelman avulla Excel yhteensopivaan .csv lokitiedostoon, jolloin tuloksia voidaan käsitellä ja tilastoida. (kuvio 36).

#### CSV File Format

Continuous:

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	...	Column 10
Number	Time [s]*	Task 1 results	Task 2 results	...	Task 8 results

\*Time measured by the computer's system clock.

Trigger:

Column 1	Column 2	Column 3	...	Column 9
Number	Task 1 results	Task 2 results	...	Task 8 results

KUVIO 36. Lokitiedoston asetelma (Omron 2008, 37)

Huomataan, että laukaisutoimintoa käytettäessä tiedostoon ei kirjata aikaa, milloin mitaus on suoritettu. Tällöin aika tai muut tunnistetiedot pitää järjestää muilla keinoilla tilastointia varten. Käyttöohjeiden mukaan laukaisutoimintojen välissä pitäisi olla vähintään 50 millisekuntia aikaa. (Omron 2008, 37.)

Smart monitor on laserskanneria varten tarkoitettu tietokoneohjelma, jota tarvitaan mitaustiedon tilastointiin ja toteutuksesta riippuen esillepanoon. Alaluvussa ei ole eritelty tietokoneohjelman ja ohjainyksikön käyttöä, koska molempia tarvitaan ja tarkoituksena on perehtyä laserskannerin mahdollisuuksiin kokonaisuutena.

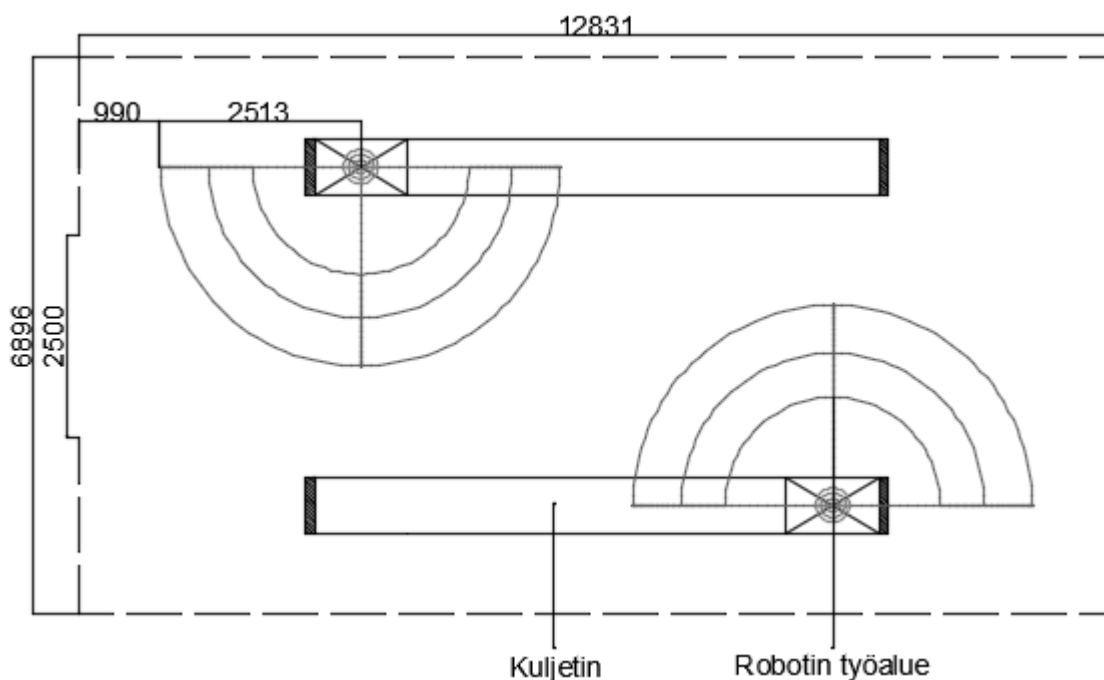
## 6 LAADUNMITTAUSASEMA

Luvussa esitellään luonnos laadunmittausasemasta ja tarpeelliset komponentit pääpiirteittäin tarjouspyyntöjä sekä lopullista valintaa varten. Komponentteja ja toimittajia pitää arvioida kustannustehokkaan ratkaisun aikaansaamiseksi.

Lisäksi luvussa palataan yrityksen asettamiin vaatimuksiin ja tarkastellaan miten ehdotus sekä luonnos vastaavat niihin. Tarjouspyynnöt rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle, mutta ne ovat suuressa osassa lopullisessa valinnassa. Vaatimuksen toteutuminen sopivasta takaisinmaksuajasta ja rahallisen hyödyn osalta voidaan selvittää tarjouspyyntöjen, ylläpito- ja käyttöönottokustannusten selvittämisen jälkeen.

### 6.1 Tilantarve

IRB 4600 -robotin valinta perustuu työalueen kokoon ja sopivaan ulottumaan. Suuremman ulottuman robotti lisää solun kokoa turvallisuusstandardeissa esitettyjen laskukäyrien mukaisesti. Pysähtymisajaksi ehdotettavaksi valitulle IRB 4600 -robotille oletetaan 0,26 sekuntia, jolloin turvavyöhykkeen vähimmäispituus on 986,8 millimetriä. Timo Malmin (2017, 7) mukaan robotin pysähtymisaika lyhenee huomattavasti, kun robottia käytetään hitaammilla nopeuksilla. IRB 4600 -robotin pysähtymismatka hätäpysäytyksessä on 38 senttimetriä. Kuvioista 37 nähdään luonnos robottisolusta, jonka tarkoituksena on arvioida solun tilantarvetta ja ulkomittoja.

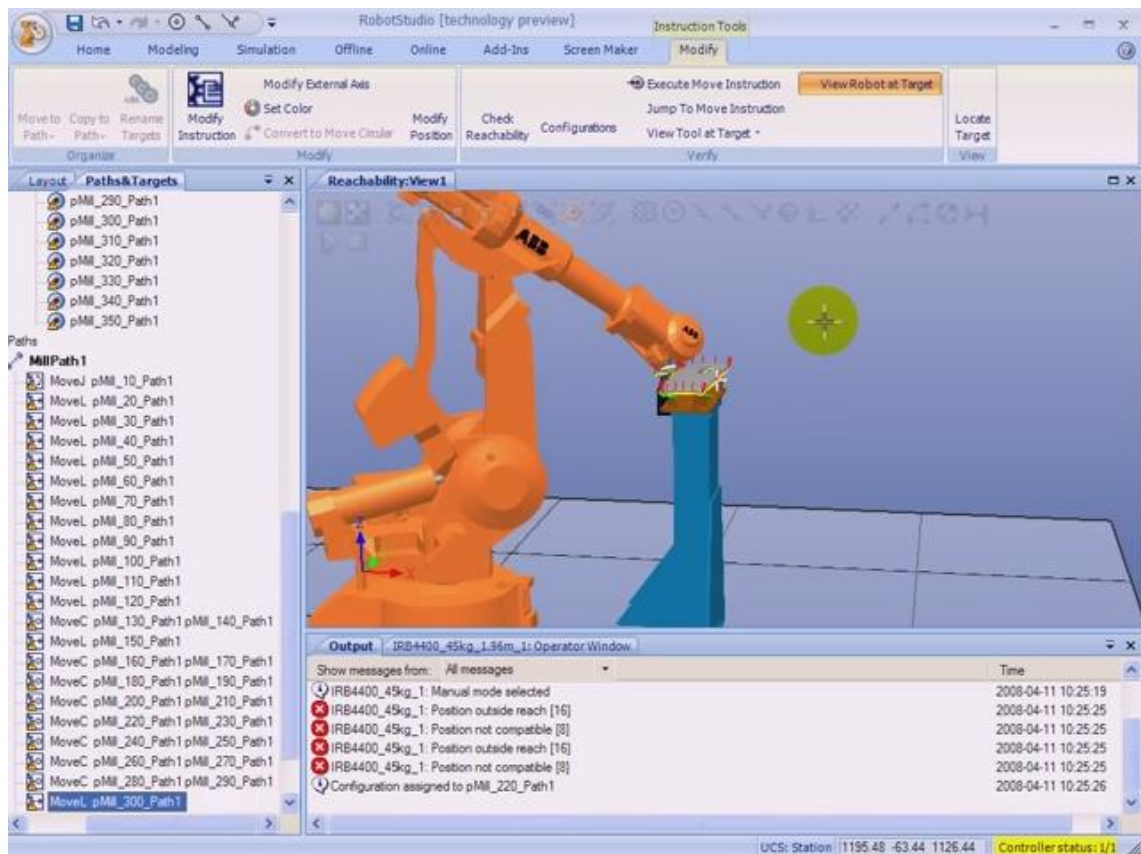


KUVIO 37. Robottisolun ulkomitat

Kuvion 37 piirtämisperusteina on käytetty IRB 4600 -robotin rajoitettua työaluetta, Mercedes-Benz GLC –automallin ja IRBT 2005 -robottikuljettimen ulkomittoja sekä standardeja SFS EN-ISO 13855 ja SFS EN-ISO 13857. Kuviossa robotti on rajoitettu 180 asteen käännökseen, jolloin solun pituus on noin 13 metriä. Vastaavasti 90 asteen käännösjäoiteella solun pituus olisi noin 9,2 metriä turvallisuusstandardin vaatimusten mukaisesti. Todellisuudessa robotin akselin 1 kääntyminen voidaan rajoittaa suurimmillaan  $\pm 129$  asteen käännökseen ja pienimmillään  $\pm 16,5$  asteen käännökseen, 22,5 asteen askelissa (kuvio 14). Täten luonnoksessa on jo valmiiksi optimoitu robottisolun koko, jota saadaan tosin todennäköisesti yhä pienennettyä.

Etäisyys robottikuljettimen keskilinjasta auton peilin ulkoreunaan on 1050 millimetriä ja 1350 millimetriä turva-aidan sisäreunaan. Valoverhot asennetaan solun aitaamattomiin aukkoihin. Kuvioon 37 piirretty robottikuljetin on 7,23 metriä pitkä ja tarkoitettu yhdelle robotille, jolloin robotin suurin mahdollinen siirtymä on 5,8 metriä, kun esimerkkinä käytetty auto on noin 4,6 metriä pitkä.

Käyttökohteessa turva-aidan minimietäisyys robottiin on 110 millimetriä standardin SFS EN-ISO 13857 vaatimusten mukaisesti, mutta todennäköisesti todellisuudessa etäisyyden tarvitsee olla suurempi johtuen robotin vaatimasta tilasta haluttujen liikkeiden suorittamista varten. Robotin vaatima tila ja ulottuvuus voidaan arvioida ja simuloida ABB:n robotstudio -ohjelmalla (kuvio 38).



KUVIO 38. Robotin ulottuvuuden varmistaminen (ABB: Tutorials for RobotStudio, Reachability)

## 6.2 Laitteet

Laadunmittausaseman toteutustavasta riippuen hankittavaksi ehdotetaan taulukossa 3 listatut pääkomponentit. Pääkomponenteiksi nimettyjen laitteiden lisäksi tarvitaan paljon muita laitteita, asennustarvikkeita ym. laadunmittausaseman toteuttamiseksi.

TAULUKKO 3. Laadunmittausaseman pääkomponentit

Komponentti	Valmistaja / toimittaja
Robotti IRB 4600-20/2.5	ABB
Robottikuljetin IRBT 2005	ABB
2D Laserskanneri ja käyttöön tarvittavat laitteet	Keyence
Valoverho deTec4 Core	Sick
Ohjelmoitava logiikka (PLC) ja siihen liittyvät komponentit	-
Turvalogiikka ja muut turvalaitteet	-

Laserskanneriksi ehdotetaan kaukaa ja leveästi mittaavaa mallia, jolloin robotin ja muun laitteiston ohjelmointi tai toistotarkkuus ei muodostu haasteeksi. Läheltä ja kapeasti mittaava laserskanneri antaa tarkempia mittaustuloksia, mutta tällöin muun laitteiston ja kappaleen sijainti pitää määrittää ja vakioida tarkemmin. Esimerkiksi eräs Keyencen läheltä mittaava malli on suunniteltu käytettäväksi 20 millimetrin etäisyydeltä ja mitaamaan 7 millimetriä leveää osuutta kappaleesta, kun vastaavasti kaukaa mittaava malli on suunniteltu käytettäväksi 300 millimetrin etäisyydeltä ja mitaamaan 180 millimetriä leveää osuutta kappaleesta (kuvio 39). Keyencen laserskannereilla on mahdollista tuottaa yrityksen laatuvaatimusten mukaista tietoa laadunkehitystä varten.

Kaikilla toimittajilla tai valmistajilla on tarjolla laserskannereita näiden esimerkkien väliltä, joista valitaan yrityksen laatuvaatimuksiin parhaiten soveltuva skanneri. Ehdotus Keyencen laserskannerista perustuu kattavaan käyttöoppaaseen ja muuhun materiaaliin, sekä alustavasti arvioituna mittausetäisyys, -leveys ja tarkkuus ovat riittävät tietyissä skannereissa.

Head specifications									
Model	LJ-V7020K <sup>*1</sup>	LJ-V7020 <sup>*1</sup>	LJ-V7060K	LJ-V7060	LJ-V7080	LJ-V7200	LJ-V7300		
Installation condition	Specular reflection	Diffuse reflection	Specular reflection	Diffuse reflection					
Reference distance	24.2 mm	20 mm	54.6 mm	60 mm	80 mm	200 mm	300 mm		
Measurement Range	Z axis (Height)	±2.3 mm (F.S. = 4.6 mm)	±2.6 mm (F.S. = 5.2 mm)	±7.6 mm (F.S. = 15.2 mm)	±8 mm (F.S. = 16 mm)	±23 mm (F.S. = 46 mm)	±48 mm (F.S. = 96 mm)	±145 mm (F.S. = 290 mm)	
	X axis (Width)	Near side	6.5 mm	6.5 mm	8 mm	13.5 mm	25 mm	51 mm	110 mm
		Reference distance	7 mm	7 mm	14 mm	15 mm	32 mm	62 mm	180 mm
		Far side	7.5 mm	7.5 mm	8 mm	15 mm	39 mm	73 mm	240 mm
Light source	Blue semiconductor laser								
	Wavelength	405 nm (Visible light)							
	Laser class (IEC60825-1, FDA(CDRH) Part 1040.10 <sup>(*)</sup> )	Class 2M <sup>a3</sup>		Class 2	Class 2M <sup>a3</sup>	Class 2	Class 2	Class 2	
	Output	10 mW		4.8 mW	10 mW	4.8 mW	4.8 mW	4.8 mW	
Spot shape (Reference distance)	Approx. 14 mm × 35 μm		Approx. 21 mm × 45 μm		Approx. 48 mm × 48 μm	Approx. 90 mm × 85 μm	Approx. 240 mm × 610 μm		
Repeatability <sup>*4</sup>	Z axis (Height) <sup>*5</sup>	0.2 μm		0.4 μm		0.5 μm	1 μm	5 μm	
	X axis (Width) <sup>*6</sup>	2.5 μm		5 μm		10 μm	20 μm	60 μm	
Linearity	Z axis (Height) <sup>*7</sup>	±0.1% of F.S.					±0.05% to ±0.15% of F.S. <sup>*8</sup>		

KUVIO 39. Keyence LJ-V-sarja (Keyence 2014, 350, muokattu)

Mittauspisteiden sijainti vaihtelee asemalla kappaleen eri ominaisuuksien mukaan, jolloin laadunmittausasemalle tulee hankkia oma järjestelmä kappaleen tunnistamiseen ja mitaustapojen sijainnin määrittämiseen.

Robotin valinta perustuu sopivaan ulottumaan ja työalueeseen, sillä kaikki tarkastellut robotit ovat lähtökohtaisesti riittävän nopeita, eikä kuormankantokyky ole sovelluksessa

merkittävä tekijä. Riittävä nopeus voidaan varmistaa robotstudio -ohjelmalla ennen lopullista päätöstä. Suuremman ulottuman robotti laajentaisi solun ulkomittoja, jolloin vaatimus laadunmittausaseman koosta ei välttämättä täyty. Laserskanneri ja robotti ovat molemmat automaattisesti toimivia ja uudelleenohjelmoitavia ratkaisuja, jolloin asemaa voidaan kuvailla joustavaksi.

### **6.3 Vaihtoehtoiset toteutustavat**

Laadunmittausasema on mahdollista toteuttaa ilman kuljetinta kahdella robotilla liikuttamalla kappaletta jatkuvaliikkeisesti tai vaiheittain, mutta jatkuvaliikkeinen tai vaiheittain liikkuva kappale lisää haasteita kappaleen sijainnin vakiointiin. Toisaalta neljää robottia käytettäessä kuljetinta ei tarvita, eikä kappaletta tarvitse liikuttaa jatkuvaliikkeisesti tai vaiheittain. Tarkoituksena on ulottua robotilla jokaiseen mitattavaan pisteeseen ja aikaansaada helposti muunneltava järjestelmä, jonka takia kuljettimet ehdotetaan hankittavaksi laadunmittausasemalle. Käyttökohteeseen soveltuvia robottimalleja on myös eri valmistajilla, mutta IRB 4600 -mallin valitsemiseen päädyttiin optimaalisen työalueen ja olemassa olevan robottikannan vuoksi. ABB:n roboteista kaikki vaihtoehdot on arvioitu sovellukseen vaaditun työalueen perusteella.

Laadunmittausaseman perustamiseksi ei välttämättä tarvita robottia, vaan laserskannerit voidaan asentaa kiinteästi rakenteisiin tai muuhun automatisoituun järjestelmään. Kiinteästi asennetut laserskannerit eivät toisaalta täytä vaatimusta joustavuudesta ja helposta uudelleenjärjestelystä, ellei kappaletta voi asemoida helposti skannerin sijaan.



## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksen mukaisesti robotin ja laserskannerin käyttömahdollisuudet kartoitettiin laadunmittausasemaa varten, sekä saatiin aikaan selkeä työ, jonka avulla eri osastot voivat perehtyä laadunmittausaseman mahdollisuuksiin. Aineistona käytettiin laitteiden ja koneiden valmistajien omia käyttöohjeita, oppaita ja markkinointimateriaalia, jolloin työ pysyi käytännönläheisenä. Vaihtoehtoisesti laitteiden ja koneiden mahdollisuuksiin olisi voinut perehtyä ottamalla yhteyttä suoraan valmistajiin ja pyytämällä laserskannerin koemallia, tai käymällä valmistajan toimipisteellä.

Teollisuusrobotti ja laserskanneri ovat käyttökohteeseen valmiita ratkaisuja, jonka takia juuri nämä laitteet valikoituivat tutkimuksen kohteeksi. Valmistajat markkinoivat laserskanneria työssä esitellyn laadunmittausaseman käyttötarkoituksiin. Laserskannerin käyttötarkoitus laadunmittausasemalla perusteltiin ja käyttötapoja kuvailtiin mahdollisuuksien yhteydessä. Käyttöönoton yhteydessä pitää muokata useita asetuksia, jotta skanneri saadaan toimimaan halutulla tavalla kaikissa mittauksissa. Herkkyyttä, valotusaikaa ja ympäristöä pitää järjestellä luotettavien mittaustulosten aikaansaamiseksi.

Laadunmittausaseman ulkomitat määriteltiin, jolloin aseman konkreettista sijoittamista tehtaan sisällä voitiin arvioida. Asema sopii tehdasympäristöön ihmisistä aidalla erotettuna, kuten robottisolut normaalisti ovat. Työtä voidaan jatkaa välittömästi säästölaskelella sekä arvioimalla laadunmittausaseman muuta välillistä ja välitöntä hyötyä. Hintakyselyillä voidaan arvioida laitteiston kustannukset ja projekti-insinöörit voivat arvioida käyttöönotto- ja perustamiskustannuksia.

Projektin toteutuessa on tärkeää ottaa eri osastojen näkökanta huomioon ja pitää yllä aktiivista vuoropuhelua, kuten alkuvaatimuksia määriteltessä. Prosessinohitajilta, laatu- ja projekti-insinööreiltä saadaan hyödyllistä tietoa parasta mahdollista lopputulosta varten. Opinnäytetyöstä ja sen sisällöstä pidettiin esitys yrityksen sisällä, johon kutsuttiin eri osastojen työntekijöitä.

## LÄHTEET

ABB 2016. ABB solmi Suomen suurimman robottikaupan Valmet Automotiven kanssa. Luettu 20.6.2017.

<http://www.abb.com/cawp/seitp202/bca7eec31936b7f3c1257f6c003facff.aspx>

ABB 2016. Product specification – IRBT 2005. Tulostettu 20.7.2017.

<http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/robot-positioners-track-motion/irbt-2005>

ABB 2017. Product specification - IRB 4600. Tulostettu 10.6.2017.

<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4600>

ABB 2017. Product specification – IRB 7600. Tulostettu 16.8.2017.

<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-7600>

ABB 2017. Product specification – IRB 460. Tulostettu 30.8.2017.

<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-460>

ABB. Tutorials for RobotStudio, Reachability. Katsottu 2.10.2017.

<http://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/tutorials>

Cognex. In-sight laser profiler. Tulostettu 30.6.2017.

<http://www.cognex.com/products/machine-vision/in-sight-laser-profiler/>

Fraser, I., Ahnström, L., Borzelli, E., Chudzik, R., Cianotti, R., Dodds, M., Ssaughey, C., Dutrieux, M., Etienne, P., Finkeldei, L., Kerttula, T., Kraus, T., Kurtz, P., Lentsch, W., Lundrmak, G., Papard, P., Piasecki, B., Schulze, M., Tytykoski, K., Vandegaer, G., Eeden, H., Wilson, R., Zwicky, J. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas 2010. 2. Painos. Bryssel.

IFR. About IFR. Luettu 25.6.2017.

<https://ifr.org/association>

IFR 2016. Welcome to IFR Press Conference. Tulostettu 25.6.2017.

[https://ifr.org/downloads/press/02\\_2016/WR\\_Industrial\\_Robots\\_2016\\_Chapter\\_1.pdf](https://ifr.org/downloads/press/02_2016/WR_Industrial_Robots_2016_Chapter_1.pdf)

IFR 2016. World robotics industrial robots. Tulostettu 25.6.2017

[https://ifr.org/downloads/press/02\\_2016/WR\\_Industrial\\_Robots\\_2016\\_Chapter\\_1.pdf](https://ifr.org/downloads/press/02_2016/WR_Industrial_Robots_2016_Chapter_1.pdf)

Kauppala, J. Päällikkö. 2017. Haastateltu 30.6.2017. Haastattelijana Kohtamäki, J. Ei litteroitu. Uusikaupunki.

Keyence 2014. LJ-V7000 Series User's Manual. 4. Painos. Japani: Keyence. Tulostettu

15.7.2017. <http://www.keyence.com/products/measure/laser-2d/lj-v/index.jsp>

Keyence. LJ-V7000 Series Proposal by Application. Tulostettu 15.7.2017.

<http://www.keyence.com/products/measure/laser-2d/lj-v/index.jsp>

Keyence 2017. LJ-V7000 Series Technology Guide. Tulostettu 22.7.2017.

<http://www.keyence.com/products/measure/laser-2d/lj-v/index.jsp>

Mercedes-Benz. GLC:n mitat. Luettu 13.6.2017.

[http://www.mercedesbenz.fi/content/finland/mpc/mpc\\_finland\\_website/fi/home\\_mpc/pasengercars/home/new\\_cars/models/glc/x253/facts/technicaldata/dimensions.html](http://www.mercedesbenz.fi/content/finland/mpc/mpc_finland_website/fi/home_mpc/pasengercars/home/new_cars/models/glc/x253/facts/technicaldata/dimensions.html)

Micro-Epsilon. Instruction manual scancontrol 26xx. Tulostettu 10.8.2017.

<http://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--scanCONTROL-26xx--en.pdf>

Micro-epsilon. Instruction manual scancontrol configuration tools 5.0. Tulostettu

10.8.2017. <http://www.micro-epsilon.fr/download/manuals/man--scanCONTROL-Configuration-Tools--en.pdf>

Micro-Epsilon. Integration in application software. Tulostettu 15.8.2017

[http://www.micro-epsilon.com/2D\\_3D/laser-scanner/Software/scanCONTROL-Integration/](http://www.micro-epsilon.com/2D_3D/laser-scanner/Software/scanCONTROL-Integration/)

Micro-Epsilon. gapCONTROL for gap measurement. Tulostettu 20.8.2017.

[http://www.micro-epsilon.com/2D\\_3D/laser-scanner/gapCONTROL/](http://www.micro-epsilon.com/2D_3D/laser-scanner/gapCONTROL/)

Micro-Epsilon. Instruction manual gapCONTROL setup software 2.1. Tulostettu

22.8.2017. <http://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--gapCONTROL-Setup-software--en.pdf>

Malm, T 2017. Guidelines to make safe industrial robot systems. VTT. Tulostettu

23.9.2017. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/VTT-R-01109-17.pdf>

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., Öistämö, J., Kulmala, M. 2012: Tekniikan kaavasto. 10. Painos. Tampere: Amk-kustannus Oy.

Omron 2008. Smart Monitor ZG2 User's Manual. Tulostettu 4.9.2017.

[https://www.support-omron.fr/pdf/SmartMonitorZG2\\_Manual\\_ENG\\_A.pdf](https://www.support-omron.fr/pdf/SmartMonitorZG2_Manual_ENG_A.pdf)

Omron 2015. User's manual ZG2 Series. Tulostettu 4.9.2017.

[https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/z288\\_zg2\\_users\\_manual\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/z288_zg2_users_manual_en.pdf)

Omron. Technical Explanation for Displacement Sensors and Measurement Sensors.

Tulostettu 1.10.2017. <https://www.ia.omron.com/support/guide/56/introduction.html>

Salo, P. Prosessisuunnittelija. 2017. Haastattelu 21.8.2017. Haastattelijana Kohtamäki, J. Ei litteroitu. Uusikaupunki.

Sick 2017. deTec4 Core Safety light curtain. Tulostettu 10.9.2017.

[https://www.sick.com/media/docs/1/11/011/Operating\\_instructions\\_deTec4\\_Core\\_Safety\\_Light\\_Curtain\\_en\\_IM0048011.PDF](https://www.sick.com/media/docs/1/11/011/Operating_instructions_deTec4_Core_Safety_Light_Curtain_en_IM0048011.PDF)

SSZ 2017. Mounting and system description for SSZ-safety-mats. Tulostettu 17.7.2017.

<http://ssz-gmbh.de/en/wp-content/themes/ssz/files/Installation-and-system-description-for-SSZ-SSP.pdf>

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2008. SFS-EN ISO 13857: Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Helsinki.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2010. SFS-EN ISO 13855: Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. Helsinki.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2014. SFS-EN ISO 13856-1: Koneturvallisuus. Kosketuksen tunnistavat turvalaitteet. Osa 1: Tuntomattojen ja tuntolattioiden suunnittelun ja testauksen yleiset periaatteet. Helsinki.

Säteilyturvakeskus 2015. Laserluokat. Luettu 15.8.2017.

<http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>

UNECE 2001. 2000 - record year for robot investment, increase of 25% First part of 2001: continued boom in Europe but tumbling in North America and Asia. Tulostettu 20.6.2017. <http://www.unece.org/press/pr2001/01stat10e.html>

Valmet Automotive. Mikä on Valmet Automotiven tuotantokapasiteetti? Luettu 2017.

<http://www.valmet-automotive.com/automotive/cms.nsf/pages/26440622CF8F94B9C22579A6005A8592?opendocument>

Valmet Automotive. Yritystietoja. Luettu 2017.

<http://www.valmet-automotive.com/automotive/cms.nsf/pages/100E2DD97906D133C2257706005E19AA?opendocument>

Valmet Automotive. Asiakkaat. Luettu 2017.

<http://www.valmet-automotive.com/automotive/cms.nsf/pages/24DC2B5B3663A621C2257B94004F66B6?opendocument>

Wilson, J 2005: Sensor technology handbook. Yhdysvallat: Elsevier.

Wilson, M 2015: Implementation of robotic systems. Yhdysvallat: Elsevier.

**LIITTEET**

Liite 1. Ehdotus sijainnille tehtaalla (luottamuksellinen)