



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

VALTTERI PAUSIO

Scansonic- ja Servo Robot -laser- seurantojen vertailu ja käyttöönotto

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-
JELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Pausio, Valtteri: Scansonic- ja Servo Robot -laserseurantojen vertailu ja käyttöönotto

Opinnäytetyö, AMK

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Marraskuu 2023

Sivumäärä: 56

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vallitsevan maailmantilanteen myötä selvittää ja vertailla Servo Robotin ja Scansonicin laserseuranta-antureiden soveltuvuutta Yaskawa Finland Oy:n toimittamiin sovelluksiin, selvittää laserseuranta-anturien käyttöönotto, vahvuudet ja heikkoudet sekä helpottaa valintaa kahden laserseuranta-anturin välillä.

Työssä tutkittiin anturien seurantaominaisuuksia V-railolla, päällekkäisliitoksella, päittäisliitoksella, puoli V-railolla ja reunalla. Lisäksi selvitettiin pinnanlaadun, lasertehon ja valokaaren vaikutusta seurantaan sekä antureiden suorittaman välin mittauksen oikeellisuutta.

Testausten pohjalta todettiin molempien laserseuranta-antureiden sopivan Yaskawa Finlandin toimittamiin hitsaussovelluksiin. Servo Robotin vahvuuksien todettiin olevan intuitiivinen käyttöliittymä ja laaja kuva-ala. Heikkouksia Servo Robotilla todettiin olevan erinäisten lisenssien tarve sekä herkkyys häiriöille heijastavilla pinnoilla.

Scansonicin vahvuuksiksi todettiin zero-gap-ominaisuudet, lisenssittömyys ja kolme laserviivaa, joiden keskiarvoa seurannassa käytetään. Heikkouksiksi todettiin kankea käyttöliittymä ja suppeampi kuva-ala.

Avainsanat: Robottihitsaus, Scansonic, Servo Robot, Yaskawa

Abstract

Pausio, Valtteri: Scansonic and Servo Robot laser seam tracking solutions comparison and commissioning

Bachelor's thesis

Degree programme Electrical and Automation Engineering

November 2023

Number of pages: 56

The purpose of the thesis in light of the prevailing global situation, was to investigate and compare the suitability of Servo Robot and Scansonic laser tracking sensors for applications supplied by Yaskawa Finland. Additionally, the aim was to explore the implementation of laser tracking sensors, their strengths and weaknesses, and to facilitate the choice between the two.

The study examined the tracking capabilities of the sensors on V-joint, lap joints, butt joints, half V-joints, and edges. It also investigated the influence of surface quality, laser power, and welding arc on tracking, as well as the accuracy of gap measurements of the sensors.

Based on the tests, it was found that both laser tracking sensors are suitable for welding applications provided by Yaskawa Finland. Servo Robot's strengths were identified as an intuitive user interface and a wide field of view. Weaknesses of Servo Robot included the need for various licenses and sensitivity to interference from reflective surfaces.

Scansonic's strengths were recognized in its zero-gap features, license-free operation, and three laser lines, the average of which is used for tracking. Weaknesses of Scansonic included a clunky user interface and a narrower field of view.

Keywords: Robot welding, Scansonic, Servo Robot, Yaskawa

ALKUSANAT

Kiitokset toimeksiantajalle; Yaskawa Finland Oy:lle mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö ajankohtaisesta aiheesta. Kiitokset myös kaikille henkilöille, jotka ovat osaltaan mahdollistaneet ja auttaneet opinnäytetyön kanssa. Erityiskiitokset Tommi Lehtiselle ja Mirka Leinolle opinnäytetyön ohjauksesta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA	7
3 ROBOTISOITU HITSAUS.....	8
3.1 Mitä on robotisoitu hitsaus?	8
3.2 Robotisoidun hitsauksen osat.....	8
3.3 Sauman haku ja seuranta robotisoidussa hitsauksessa	10
3.4 Laserseuranta-anturin toimintaperiaate	12
3.5 Hitsauslangalla ja anturilla haun sekä seurannan vertailu	13
4 ANTURIEN YLÖSAJO	15
4.1 Robotin asetukset ja parametrit	15
4.2 MotoPlus-applikaatio	21
4.3 Makro- ja esimerkkityöt.....	23
4.4 Anturin kalibrointi	23
4.5 Laserseurantataulukot ja esimerkki MotoEye LT:n käyttämisestä	33
5 ANTURIEN TEKNINEN VERTAILU	37
6 TULOKSET JA NIIDEN VERTAILU	45
6.1 V-railo	45
6.2 Päällekkäisliitos	46
6.3 Päittäisliitos	47
6.4 Puoli V-railo	48
6.5 Reuna.....	50
6.6 Pinnanlaadun, Servo Robotin tilan ja valokaaren vaikutus tuloksiin ...	51
6.7 Anturien välin mittaust	51
7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	53
LÄHTEET.....	56

1 JOHDANTO

Vallitsevan maailmantilanteen vuoksi yritysten on kartoitettava vaihtoehtoisia laitteita ja toimittajia, jotta yritystoimintaa voidaan jatkaa ja tavaraa, sekä palveluita saadaan toimitettua ajallaan. Lisäksi yritysten on koko ajan pyrittävä keksimään uusia ja innovatiivisia ratkaisuja, jotta pysytään tekniikan aallonharjalla ja voidaan kilpailla muiden toimittajien kanssa. Tämä vaatii jatkuvaa kehitys- ja testaustyötä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millaisiin sovelluksiin kukin laserseuranta-anturi soveltuu ja mitä anturien käyttöönotossa tulee ottaa huomioon. Samalla selvitetään laserseuranta-anturien vahvuudet ja heikkoudet sekä helpotetaan yrityksen valintaa kahden laserseuranta-anturin välillä. Uusien tuotevaihtoehtojen, sekä vaihtoehtoisten toimittajien kartoituksella mahdollistetaan robotisoitujen hitsaussovellusten toimitus, vaikka yhdellä toimittajalla olisikin toimitusvaikeuksia.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Työn toimeksiantaja on 1989 perustettu Yaskawa Finland Oy, joka sijaitsee Turussa ja on osa maailmanlaajuisen Yaskawa-konsernin robottidivisioonaa, sekä Suomen johtavia robottijärjestelmien toimittajia. Yaskawa Finland Oy tarjoaa niin koulutusta, huoltoa, laitetoimituksia kuin kokonaisia avaimet-käteen järjestelmäkokonaisuuksia. Yaskawa Finland Oy työllistää Suomessa vajaa neljäkymmentä työntekijää ja toimittaa robottijärjestelmiä noin 2200 robottijärjestelmän kokemuksella. Opinnäytetyö on toteutettu Yaskawa Finlandin tiloissa käyttäen heidän koulutus-, testaus- ja tuotekehityskäytössä olevia robotteja sekä laserseuranta-antureita.

3 ROBOTISOITU HITSAUS

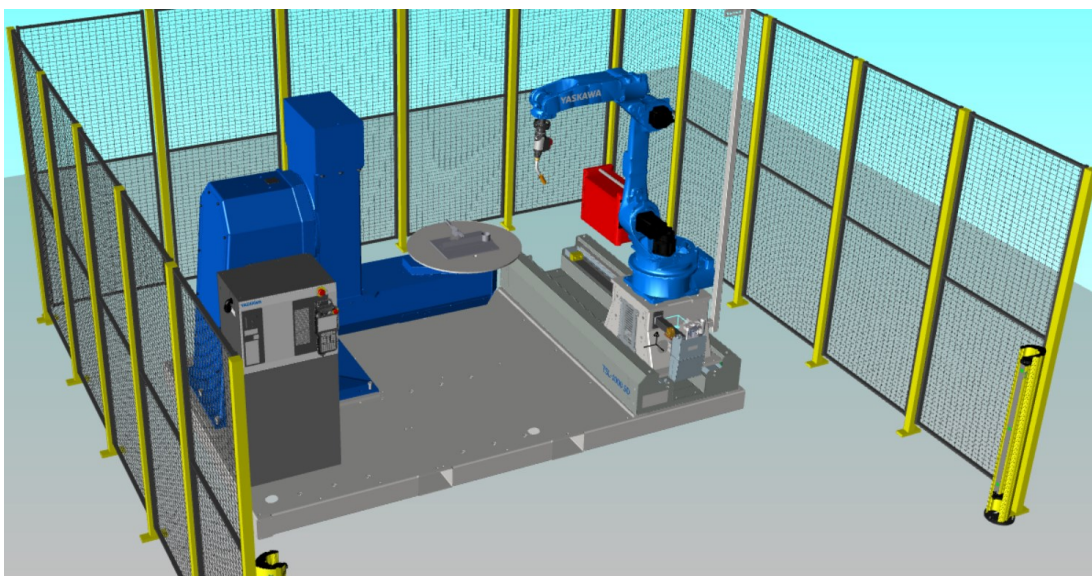
Tässä kappaleessa syvennyttään robotisoituun hitsaukseen, sen komponentteihin ja erilaisiin seurannan vaihtoehtoihin. Lisäksi käydään läpi eri hitsausseamojen seuranta- ja hakutapojen hyviä sekä huonoja puolia.

3.1 Mitä on robotisoitu hitsaus?

Robotisoitu hitsaus kattaa kaiken pistehitsauksesta ja laserhitsauksesta aina perinteisempiin TIG- ja MIG-hitsauksiinkin, jotka automatisoidaan roboteilla. Robotisoidulla hitsauksella saavutetaan tarkkuutta, nopeutta, tasalaatuisuutta ja turvallisuutta sekä ergonomiaa (Kemppi Oy, n.d.). Robotisoidulla hitsauksella voidaan toteuttaa väsymätön kokonaisuus, joka suorittaa ohjelmoitua tehtävää vuorosta toiseen.

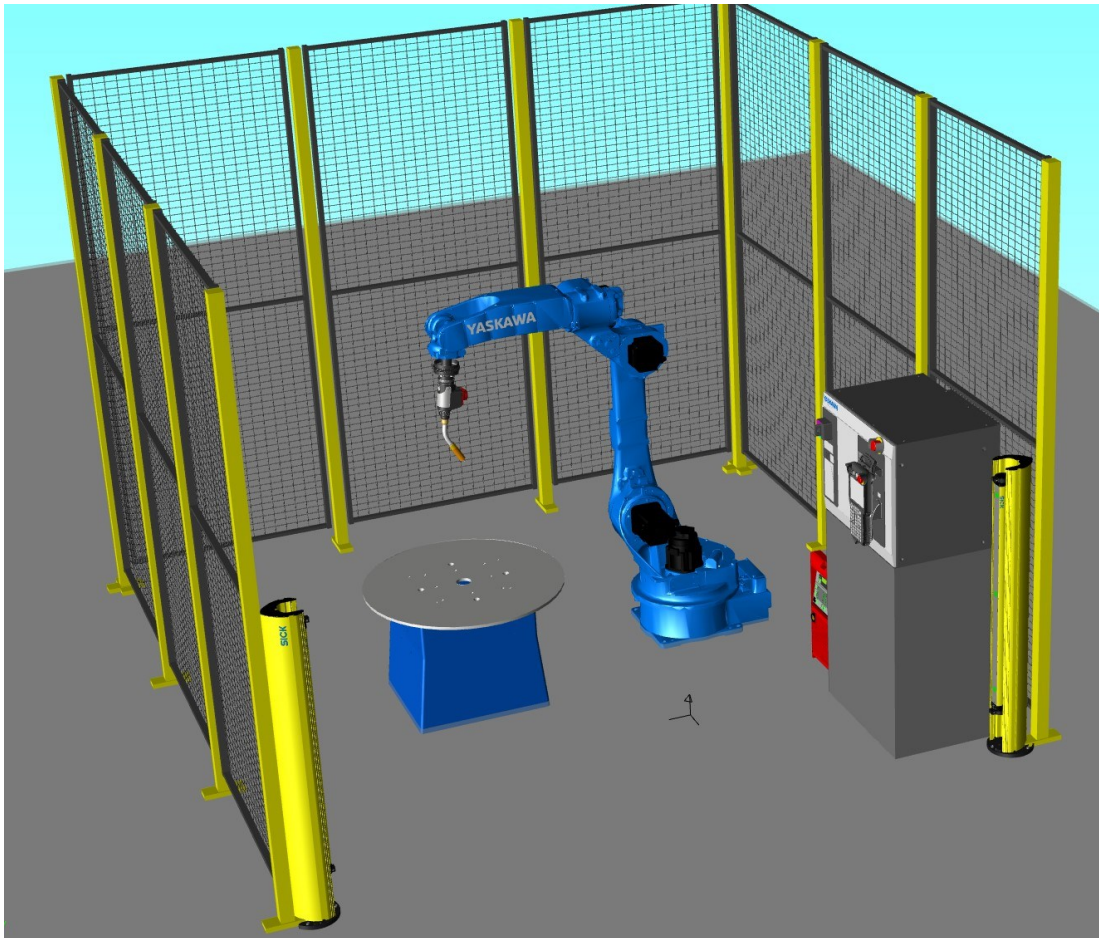
3.2 Robotisoidun hitsauksen osat

Yksinkertaisimmillaan robotisoidun hitsauksen sovellus vaatii vain teollisuusrobotin ja ohjaimen, hitsauslaitteiston ja solun turvalaitteet. Yleensä kuitenkin näiden lisäksi solussa on jonkinlainen käsittelypöytä hitsattavan kappaleen liikkutteluun robotille, hitsauksen kannalta, edulliseen asentoon, sekä hitsauspolttimen automaattinen puhdistusasema. Lisäksi soluun on mahdollista lisätä esimerkiksi laserseuranta-anturi. Solun, jossa käytetään laserseuranta-anturia, erottaa esimerkiksi langalla suoritettavaa hakua/seurantaä käyttävästä solusta mekaanisesti vain laserseuranta-anturi ja sen ohjainyksikkö, sekä laserseuranta-anturin robotin polttimeen kiinnitykseen vaadittavat tarvikkeet. Esimerkkinä näistä Servo Robotin Power-cam/HS ja Micro-box tai Scansonicin TH6D ja TH6 embedded PC. Kuvassa 1 on mallinnettu yleinen robottihitsaus-solu, joka koostuu Yaskawan AR1730-robottista radalla, hitsauspolttimen huoltoyksiköstä, YRC1000-robottiohjaimesta ja MT1-käsittelypöydästä kahdella servoakselilla (kääntö ja pyörytys), sekä hitsauslaitteistosta ja turvalaitteista. Kuvan 1 robottisolun on yksi Yaskawa Finlandin testaus-, messu- ja koulutussoluista.



Kuva 1. MotoSim:llä mallinnettu robottihitsaussolu.

Robottina tässä työssä käytetään Yaskawan AR1440:sta, joka on 12 kilon hyötykuorman omaava robotti, jolla on 1440 millimetrin ulottuma (Yaskawa, 2020). Robotti ohjaimena on Yaskawan YRC1000, joka on Yaskawan uusimman sukupolven robottiohjain. Hitsausvirtalähteenä solussa on Kempin AX Mig welder, jossa on RCM-moduuli hitsausvirtalähteen ja robotin väliseen kommunikointiin. Hitsausvirtalähteen ja robotin välinen kommunikointi on toteutettu Ethernet/IP:llä. Turvalaitteina toimivat turvalalopuomit ja turva-aita robottisolun ympärillä. Tällä kokoonpanolla on mahdollista toteuttaa yksinkertainen hitsaussovellus. Työssä käytetty robottisolukuvattu MotoSim -simulointiohjelman avulla näkyy kuvassa 2.



Kuva 2. MotoSim:llä tehty suuntaa-antava 3d-malli työssä käytetystä robotti-hitsaussolusta.

3.3 Sauman haku ja seuranta robotisoidussa hitsauksessa

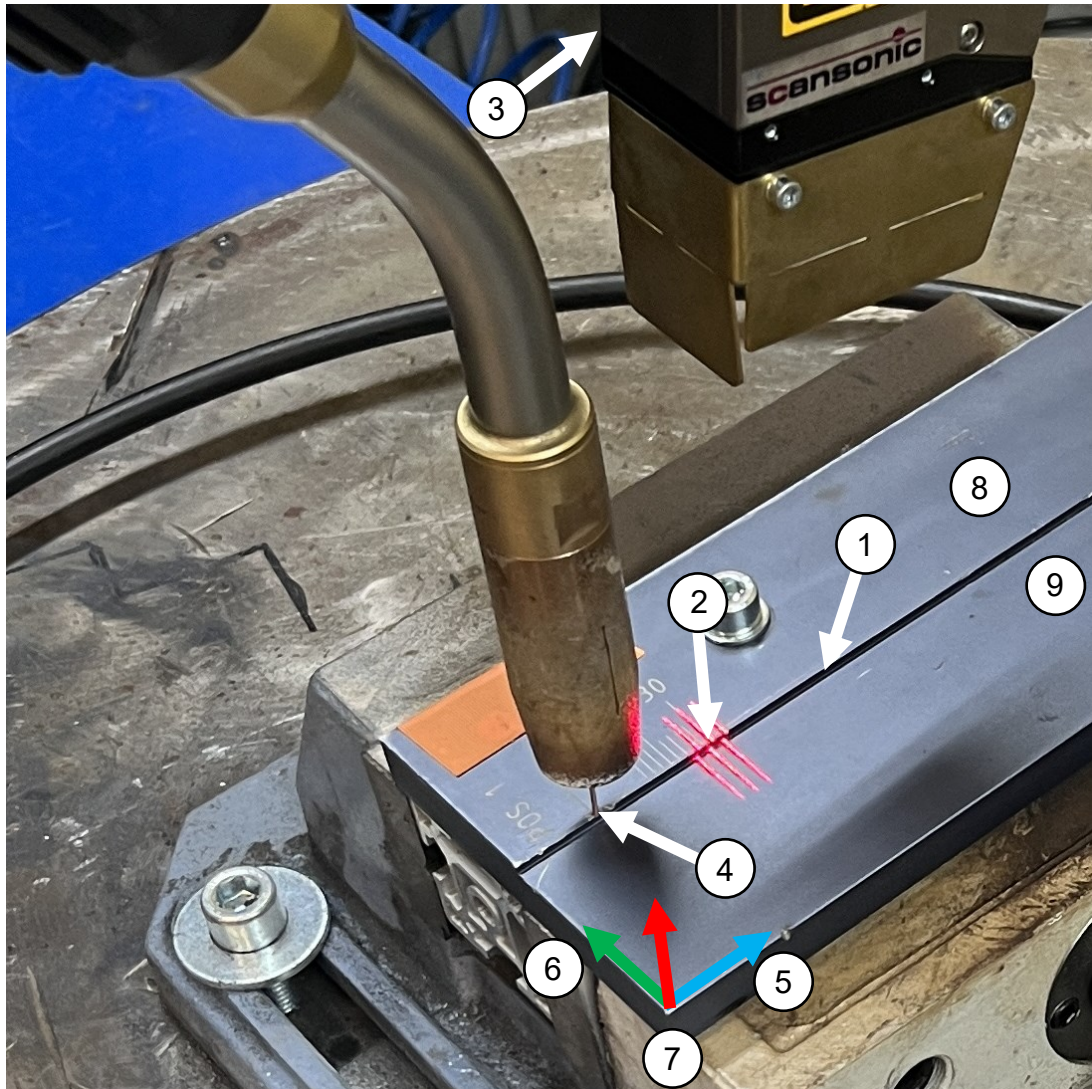
Nykypäivänä enenevässä määrin hitsaussovelluksiin lisätään hitsausmauman haku ja seuranta. Hitsausmaumoissa on kuitenkin aina toleranssia, joka osaltaan vaikeuttaa robottihitsausta. Jos sauma on millimetrin väärässä paikassa, on robotin hitsaama sauma millimetrin väärässä paikassa. Yksinkertaisimmillaan haku voidaan toteuttaa hitsauslangalla muutamia pintoja hitsattavasta kappaleesta hakemalla, eli ajamalla hitaasti kohti kappaletta, kunnes hitsauslanka ottaa kiinni kappaleeseen. Tällöin virtapiiri langan ja hitsausmaan välillä sulkeutuu, josta saadaan tieto robotille. Robotti pysähtyy ja tallentaa tämän sijainnin muistiin. Muutaman pisteen haun jälkeen saadaan hyvä kokonaiskuva, missä hitsattava railo sijaitsee ja voidaan siirtää ennalta opetettuja pisteitä automaattisesti siten, että ne osuvat todelliseen saumaan.

Hitsauslangalla voidaan myös hitsauksen aikana muun muassa hitsausvirran perusteella arvioida, kuinka kaukana saumasta hitsauslanka on ja korjata hitsausrataa tämän perusteella. (Leath, 2022.) Edellä mainittu ominaisuus on Yaskawan roboteissa nimeltään ComArc.

Joissakin tapauksissa, esimerkiksi laserhitsauksessa, jossa ei ole hitsauslangaa ollenkaan, ei hitsauslangalla hakeminen ja/tai seuraaminen ole mahdollista tai se voi olla liian epätarkkaa ja hidasta. Tällöin voidaan turvautua esimerkiksi laserseuranta- tai laserhakuantureihin. Yleisesti ottaen hakuanturit ovat halvempia kuin seuranta-anturit ja toisaalta esimerkiksi laserseuranta-anturilla voi sekä hakea, että seurata railoa. Laserseuranta-anturien toiminta perustuu laserviivaan tai laserviivoihin, joiden takaisinheijastumilla mitataan pinnanmuotoja hitsaustapahtuman etupuolessa. Laserseuranta-anturien avulla voidaan liikeradan korjaamisen lisäksi muokata esimerkiksi hitsausarvoja ja hitsausnopeutta hitsauksen aikana mitattujen arvojen perusteella. Tätä kutsutaan adaptiiviseksi hitsaukseksi. (Leath, 2022.)

Laserseuranta-anturit siis mittaavat joitain kymmeniä millimetrejä työkalupisteen etupuolessa hitsattavan sauman sijaintia Y- ja Z-suunnissa. Laserseuranta-anturin mittaamat arvot lähetetään robotille opetetun liikeradan korjausta varten. Robotti laskee saatujen mittausarvojen perusteella uutta liikerataa hitsaukselle. Sauman sijainnin lisäksi laserseuranta-anturit mittaavat mm. sauman väliä, pinta-alaa ja tasojen korkeuseroa, jotka saadaan niin halutessa robotin D-muuttujiin. Laserseuranta-anturin toiminta perustuu lähetetyn laserin takaisinheijastumiin. Laserseuranta-anturit vaativat toimiakseen itse anturin ja ohjaimen, joka käsittelee anturilta tulevaa dataa, sekä lähettää datan robotin käsiteltäväksi. Kuvassa 3 on esitetty numerolla 1 seurattavaa saumaa, tässä tapauksessa päällekkäisliitosta, numerolla 2 laserseuranta-anturia ja numerolla 3 mittauspistettä. Numero 4 osoittaa työkalupistettä, eli kohtaa, jossa hitsaus tapahtuu. Numero 5 (sininen nuoli) kuvaa hitsauksen etenemissuuntaa, eli seurannan X-suuntaa. Numero 6 (vihreä nuoli) kuvaa Y-suuntaa ja numero 7 (punainen nuoli) kuvaa Z-suuntaa. Sauman väli olisi sauman vasemman (numero 8) ja oikean (numero 9) puolen välinen ilmarako ja sauman vasemman ja oikean puolen korkeusero olisi laserseuranta-anturin mittaama tasojen

korkeusero. Laserseuranta-anturin mittaama sauman pinta-ala olisi sauman väli kerrottuna sauman syvyydellä, eli hitsauksella täytettävän sauman poikki-leikkauksen pinta-ala.

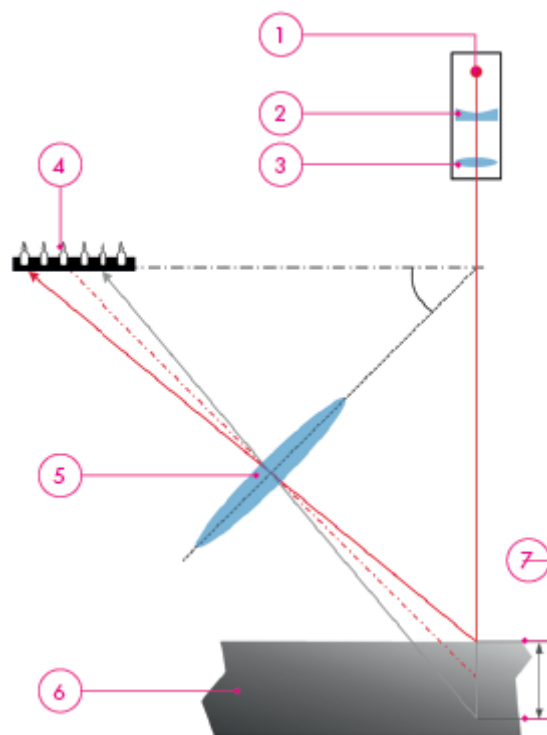


Kuva 3. Laserseurannan osat hitsauksessa.

3.4 Laserseuranta-anturin toimintaperiaate

Kuten aikaisemmin työssä mainittiin, laserseuranta-anturi heijastaa laserviivan tai -viivoja hitsaussaumaan ja analysoi laserseuranta-anturin ohjaimessa, takaisin kimpoavasta valosta, esimerkiksi sauman sijainnin Y- ja Z-suunnissa, sekä sauman välin ja syvyyden. Anturi ei mittaa sauman X-suuntaa, vaan se saadaan robotin laserseuranta-anturin kalibroinnista, jonka tiedot lähetetään

ohjaimelle. Kalibroinnin avulla anturin ohjaimelle saadaan tieto myös mm. missä kulmassa anturi on työkalupisteeseen nähden. Alla oleva kuva 4 on periaatekuva laserseuranta-anturin toiminnasta. Kuvassa 4 numero 1 kuvaa laserdiodia, josta laservalo ohjataan kollimaattorilinssin 2 ja projektorilinssin 3 läpi. Kollimaattorilinssi kerää laserdiodista tulevat lasersäteet yhdensuuntaisiksi, kun taas projektorilinssi kerää ne yhteen ja luo tarkan laserviivan. Numero 4 kuvaa anturia, jolla heijastuneet laserinsäteet kerätään. Numero 5 on linssi, jolla heijastuneet valonsäteet saadaan kohdistettua anturiin 4. Numero 6 kuvaa tutkittavaa kappaletta ja 7 laserseuranta-anturin laserviivaa. (Huber, 2020; Yaskawa, 2019 s.52.)



Kuva 4. Laserseuranta-anturin toimintaperiaatekuva (Huber, 2020).

3.5 Hitsauslangalla ja anturilla haun sekä seurannan vertailu

Hitsauslangalla hakeminen on yksinkertainen ja halpa tapa, jota käytännössä kaikki nykyaikaiset hitsauskoneet tukevat, eikä se vaadi erillistä laitteistoa tai suurempaa käyttöönottoa toimiakseen. Langalla hakeminen on kuitenkin verrattain hidasta ja hakutulos on riippuvainen oikeasta hitsauslangan

pituudesta. Lisäksi hitsauslangalla hakeminen on järkevästi mahdollista vain verrattain yksinkertaisissa saumoissa. Laserseuranta-anturilla haettaessa saadaan haettavasta saumasta huomattavasti enemmän dataa, kuten hitsattavan sauman väli ja syvyys. Lisäksi laserseuranta-anturilla voidaan hakea ja tunnistaa monimuotoisiakin muotoja, joiden avulla esimerkiksi hitsauspisteet saadaan kohdilleen. Toisaalta laserseuranta-anturia käytettäessä rajoitetaan hitsauspolttimen esteettömyyttä, sillä anturi vie tilaa polttimen kyljessä. Laserseuranta-anturit vaativat myös jonkin verran käyttöönottoa ja ylläpitoa. Laserseuranta-anturi on myös huomattavasti kalliimpi ratkaisu langalla hakemiseen verrattuna. (Leath, 2022.)

Hitsauslangalla ja laserseuranta-anturilla seuratessa on hyvin pitkälti samat hyvät ja huonot puolet kuin hakemisessakin. Hitsauslangalla seuraaminen vaatii kuitenkin hieman käyttöönottoa, mutta ei läheskään yhtä paljon, kuin laserseuranta-anturin käyttöönotto. Lisäksi hitsauslangalla seuraaminen vaatii toimiakseen valokaaren, eli sitä ei voida testata hitsaamatta. Laserseuranta-anturilla saadaan huomattavasti lisää ominaisuuksia ja mahdollisuuksia seurantaan. Laserseuranta-anturin datan avulla voidaan muuttaa hitsausarvoja, nopeutta tai vaikkapa vaaputuksen amplitudia riippuen hitsattavan sauman välistä. Lisäksi laserseuranta-anturilla toteutettu seuranta ei ole riippuvainen hitsausarvoista, vaan sitä voidaan testata esimerkiksi kokonaan ilman valokaarta tai hitsausvirtalähdettä, joka mahdollistaa laserseuranta-anturien käytön myös esimerkiksi laserhitsauksessa tai liimaussovelluksissa. Laserseuranta-anturia käytettäessä voidaan myös hitsata huomattavasti langalla seuraamista nopeammin ilman, että seurannan tulos kärsii. Huonot puolet laserseuranta-anturilla pysyvät seurannassa samana kuin haussakin. Laserseuranta-anturin käytössä on oma oppimiskäyränsä, mutta opitun jälkeen se on vahva työkalu. (Leath, 2022.)

4 ANTURIEN YLÖSAJO

Ennen varsinaista laserseuranta-anturien käyttöä ja käytännöntestausta on robotilta otettava käyttöön ominaisuus, joka mahdollistaa laserseuranta-anturien käytön. Ominaisuuden käyttöönotto vaatii robotin parametrien ja asetusten muutoksia. Osa parametreista ja asetuksista on asetettava robottivalmistajan toimesta.

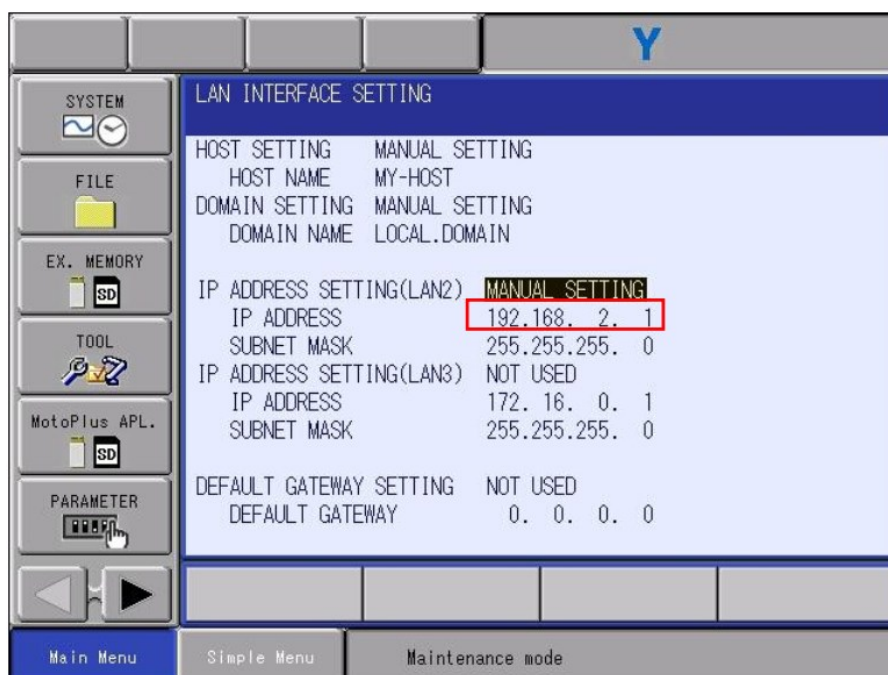
Tässä opinnäytetyössä molempien laserseuranta-anturien robottikäyttöliittymänä käytetään High Speed Ethernet -rajapinnassa toimivaa MotoPlus-applikaatiota nimeltä MotoEye LT. MotoEye LT on Yaskawan robottiohjaimiin saatavilla oleva funktio (Oksanen, 2018). Opinnäytetyössä käytettävien laserseuranta-anturien ylösajossa ei siis robotin puolella ole eroa joitakin anturikohtaisia parametrieroja lukuun ottamatta.

4.1 Robotin asetukset ja parametrit

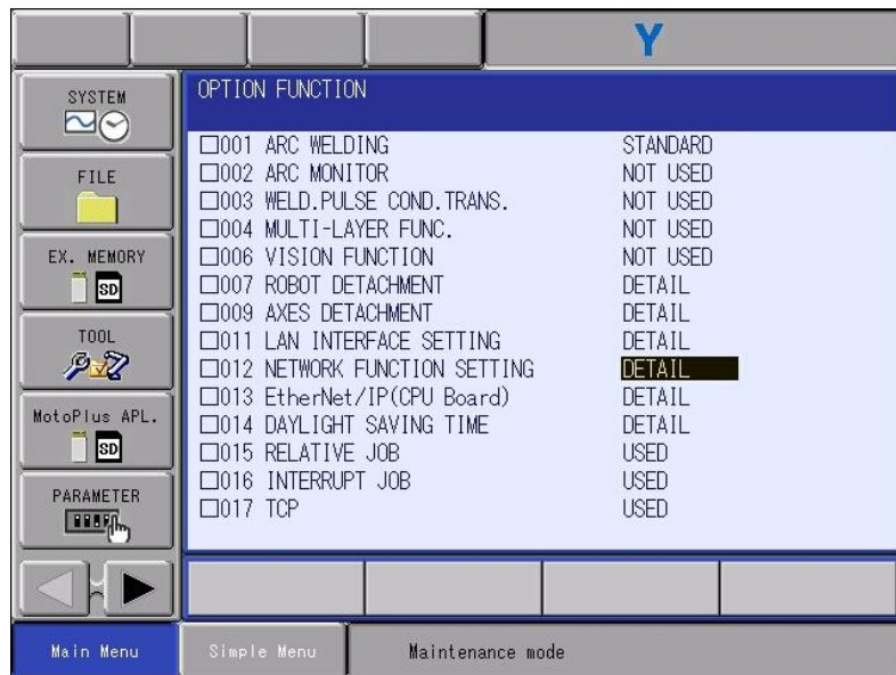
Laserseuranta-anturien käyttöönotto alkaa määrittämällä robotin haluttuun LAN-porttiin (LAN2 tai LAN3) anturin robottirajapinnan IP-osoitteen kanssa samalla alueella oleva IP-osoite. Tämä onnistuu käynnistämällä robottiohjain huoltotilaan (maintenance mode) ja avaamalla päävalikon SYSTEM-valikko. SYSTEM-valikon alta avataan option function -ominaisuus, josta löytyy kuvan 5 mukainen Lan interface setting -valikko. Lan interface setting -valikossa saadaan määriteltä robotin IP-osoitteet (kuva 6). Tämän jälkeen varmistetaan, että Network function setting:n alta Ethernet on käytössä (kuvat 7 ja 8). Ethernet-asetusten jälkeen asetetaan Macro inst. -kohdasta makrotyöt käyttöön kuvan 9 mukaisesti sekä MotoPlus Func. -kohdasta MotoPlus-applikaatiot käyttöön (kuva 10). Macro inst. -asetukset on muutettava valmistajan toimesta, muut asetukset voidaan asettaa hallintatilassa. (Yaskawa, 2021.)



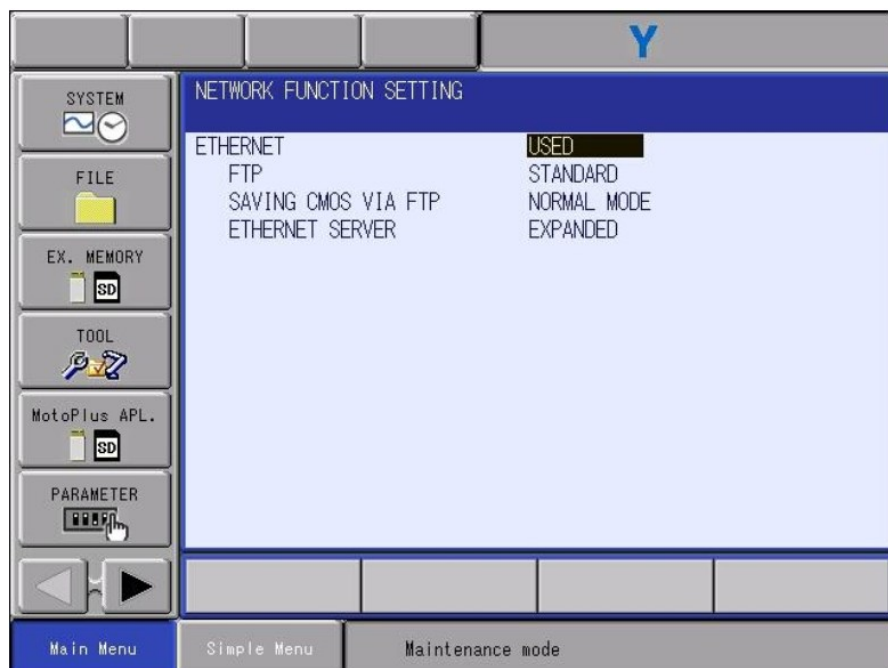
Kuva 5. Robotin huoltotilan option function -valikon lähiverkon asetukset.



Kuva 6. Robotin Lan2 IP-osoitteen asettaminen.



Kuva 7. Robotin huoltotilan option function -valikon verkkoasetukset.



Kuva 8. Network function setting -valikon Ethernet asetukset.



Kuva 9. Robotin huoltotilan option function -valikon makro instanssit.



Kuva 10. Robotin huoltotilan option function -valikon MotoPlus funktio.

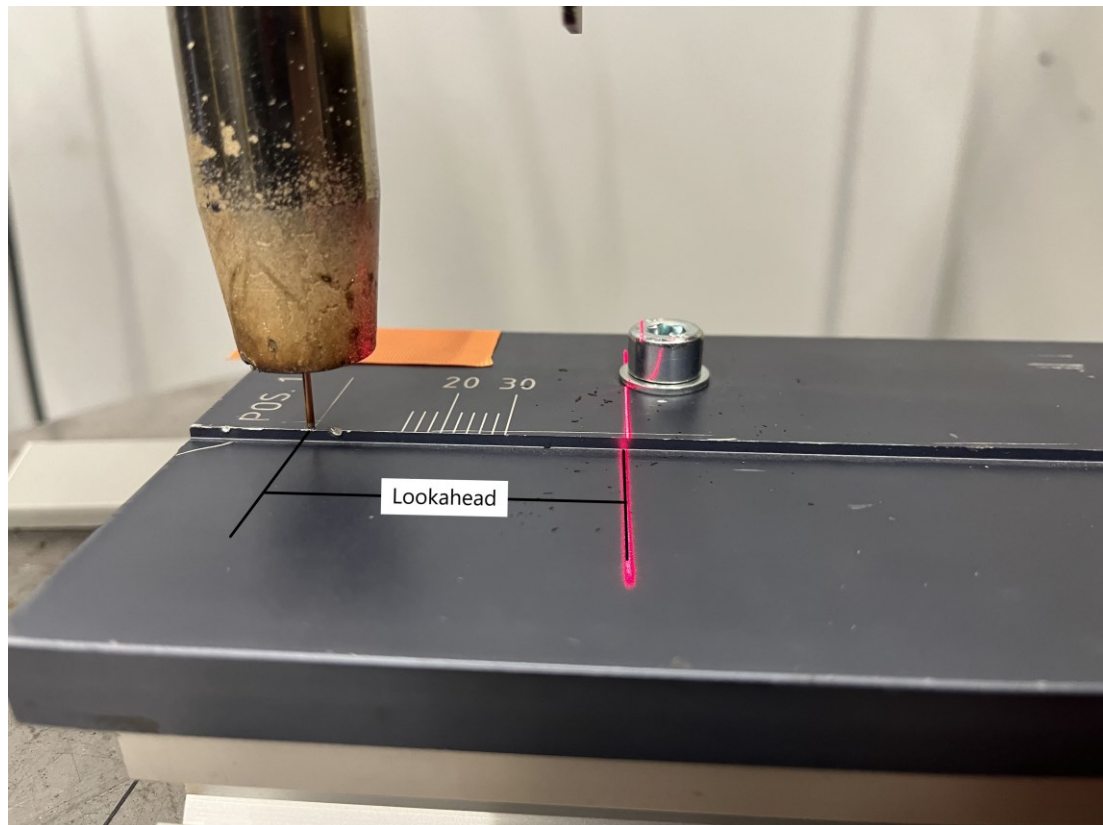
Verkkoasetusten ja MotoPlus -asetusten asettamisen jälkeen käynnistetään robottiohjain takaisin normaalitilaan. Tässä vaiheessa käyttöönotto hieman muuttuu riippuen, onko käytössä Yaskawan Configuration Manager vai asetaanko parametrit käsin. Mikäli käytössä ei ole Yaskawa Configuration Manageria, asetetaan parametrit käsin ohjeiden mukaan. Mikäli käytössä on

Yaskawa configuration manager tallennetaan robotin eräparametrit (ALL.PRM) muistitikulle ja ladataan ne configuration manageriin. Tämän jälkeen tuodaan muutettavat parametrit import-toiminnolla ohjelmaan ja tallennetaan muutettu ALL.PRM-tiedosto. (Yaskawa, 2021.) Taulukon 1 anturikohtaiset parametrit pitää joka tapauksessa asettaa käsin, joko Configuration managerissa tai robotilla.

Taulukko 1. Anturikohtaiset parametrit (Yaskawa, 2021).

Parametri	Esimerkki arvo	Selitys
S5E032	1000	Minimi näytteenottoväli [μm] (riippuvainen anturin näköalueen ja työkalupisteen etäisyydestä (Lookahead))
S5E159	1–6	Anturin merkki (1=Servo Robot, 4=Scansonic)
S5E160	192	Anturin robottirajapinnan IP-osoite
S5E161	168	Anturin robottirajapinnan IP-osoite
S5E162	2	Anturin robottirajapinnan IP-osoite
S5E163	3	Anturin robottirajapinnan IP-osoite
S5E164	6344	Anturin porttinumero (6344=Servo Robot, 5020=Scansonic)

Näytteenottoväli lasketaan anturin mittauspisteen ja työkalupisteen (hitsauslanka) välisen etäisyyden (lookahead) perusteella kaavan 1 mukaan. Laskennan jälkeen valitaan taulukosta 2 asetusarvo (Yaskawa, 2019, s. 21). Kuvassa 11 on havainnollistettu lookahead-etäisyyttä tarkemmin. Hitsaussuunta on alla olevassa kuvassa vasemmalta oikealle.



Kuva 11. Laserseuranta-anturin lookahead-etäisyys.

$$I = (12 * L)[\mu m], \quad (1)$$

jossa I on miniminäytteenottoväli [μm] ja L on Lookahead-etäisyys [mm].

Taulukko 2. Laskettu miniminäytteenottoväli ja parametrin S5E032-asetusarvot (Yaskawa, 2019, s. 22).

Laskettu miniminäytteenottoväli (I)	0–1000	1001–2000	2001–4000	4001≤
S5E032	1000	2000	3000	5000

Mikäli anturikohtaiset parametrit asetetaan Yaskawa configuration managerilla, tallennetaan ALL.PRM-tiedosto, johon on anturikohtaiset parametrit asetettu ja ladataan se robotille valmistajan toimesta. Anturikohtaiset parametrit robotilla asetettaessa pitää ensin ladata configuration managerilta tuleva ALL.PRM-tiedosto valmistajan toimesta robotille ja sen jälkeen asettaa anturikohtaiset parametrit. Päinvastaisessa järjestyksessä tehtynä eräparametrien lataus ylikirjoittaa asetut anturikohtaiset parametrit. Mikäli robottia halutaan käyttää ilman, että laserseuranta-anturia on kytketty, saadaan siitä aiheutuva

hälytys 5011, Transmission Error, estettyä asettamalla parametri S5E194 nol-
lasta ykköseksi.

4.2 MotoPlus-applikaatio

Parametrien asettamisen jälkeen täytyy robotille ladata anturin ja robotin väli-
sen kommunikaation hoitava MotoPlus-applikaatio. Tämä onnistuu tallenta-
malla MotoPlus-applikaatio muistitikulle ja laittamalla se opetusyksikön usb-
porttiin, käynnistämällä robotti huoltotilaan ja valitsemalla päävalikosta välileh-
den MotoPlus APL. -valikon alta LOAD (USER APPLICATION). Mikäli avautu-
vassa ruudussa ei näy MotoEye LT-applikaatiota, on varmistettava device-va-
likosta, että robotti hakee tietoja oikeasta lähteestä (USB Pendant) ja että
muistitikun kansio on oikea FOLDER-valikon alta. MotoPlus-applikaatio saa-
daan ladattua valitsemalla se select-näppäimellä ja painamalla tämän jälkeen
enter-näppäintä (kuva 12). Lataamisen jälkeen täytyy asettaa applikaatio
käynnistymään automaattisesti robottia käynnistettäessä. Automaattinen
käynnistyminen saadaan käyttöön asettamalla MotoPlus FUNC. SETTING-va-
likon kohdasta APPLI. AUTOSTART AT POWER ON enableksi (kuva 13).
(Yaskawa, 2021.)



Kuva 12. MotoPlus-applikaation lataaminen robotille.



Kuva 13. Robotin MotoPlus-funktion asetukset.

Asetus-, parametri- ja MotoPlus -applikaation muutosten jälkeen robotti saattaa vaatia turvakortin flash resettiä, joka onnistuu turvatilassa valitsemalla FILE-valikon alta INITIALIZE ja sieltä Safety Board FLASH reset. Mahdollisen turvakortin flash resetin jälkeen sammutetaan robottiohjain ja käynnistetään laserseuranta-anturin ohjain ja robottiohjain samanaikaisesti normaalitilaan. Kun robotti on käynnistynyt, näyttöön ei pitäisi tulla hälytystä 5011. Hälytys 5011 tarkoittaa, että robottiohjaimen ja laserseuranta-anturin ohjaimen välillä ei ole kommunikaatiota. Tämä saattaa johtua robotin vääristä ip-asetuksista, MotoPlus -applikaation vääristä käynnistymisasetuksista, tai parametreissa S5E159-164 olevasta väärästä ip-osoitteesta tai porttinumerosta. Korjaustöiden jälkeen pitää vähintäänkin robottiohjain uudelleen käynnistää. (Yaskawa, 2021.)

Mikäli käynnistymisen yhteydessä ei ilmennyt hälytystä 5011 eikä parametri S5E194 ole asetettu ykköseksi, yhteys laserseuranta-anturin ohjaimen ja robottiohjaimen välillä on muodostunut. Yhteys saattaa olla kunnossa, vaikka S5E194 olisikin asetettu ykköseksi, mutta robottiohjain ei anna hälytystä epäonnistuneesta yhteyden muodostuksesta. (Yaskawa, 2021.)

4.3 Makro- ja esimerkkityöt

MotoEye LT:tä ohjataan erinäisillä makrotöillä, jotka ladataan robotille tässä vaiheessa. Ennen makrotöiden lataamista robotille, ladataan kuitenkin Macro.DAT-tiedosto, jossa määritellään makrotöiden argumentit ja makrokutsun ulkoasu. MotoEye LT:lle on esimerkkitöitä, jotka auttavat ymmärtämään, miten makrotöitä käytetään, myös ne ladataan tässä vaiheessa robotille. Scansonicin laserin saa päälle painamalla opetusyksikön näppäimistöltä interlock- ja 5-näppäimiä. Jos Scansonicin laseri ei mene päälle, kannattaa vielä yrittää uudelleen avaamalla päävalikon OPTION-valikon alta Laser sensor Monitor ja painaa interlock- ja 5-näppäimiä. Jos laserviiva ei vielä kukaan syty, on käyttöönotossa mennyt jokin pieleen. (Yaskawa, 2021.) Servo Robotin anturin laseria ei saa päälle interlock- ja 5-näppäimillä, vaikka käyttöönotto olisikin onnistunut.

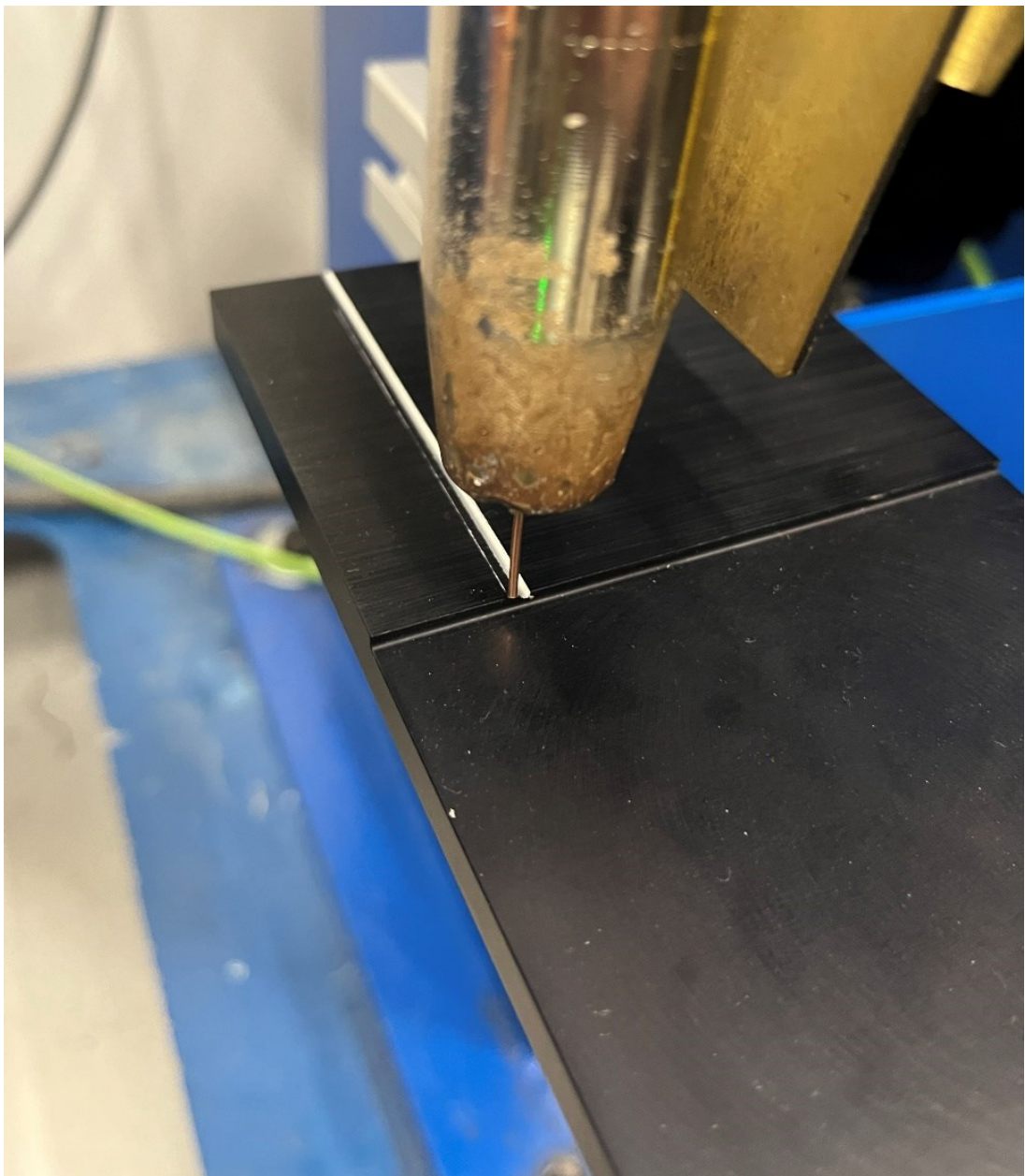
4.4 Anturin kalibrointi

Kun robottiohjaimen ja laserseuranta-anturin ohjaimen välille on saatu yhteys, pitää anturin ja työkalupisteen väliset kulmat ja etäisyydet kalibroida MotoEye LT:lle, jotta laserhaut ja -seurannat toimivat oikein. Kalibrointi tapahtuu tekeillä mittauksia saumasta ennalta määritellyissä kohdissa.

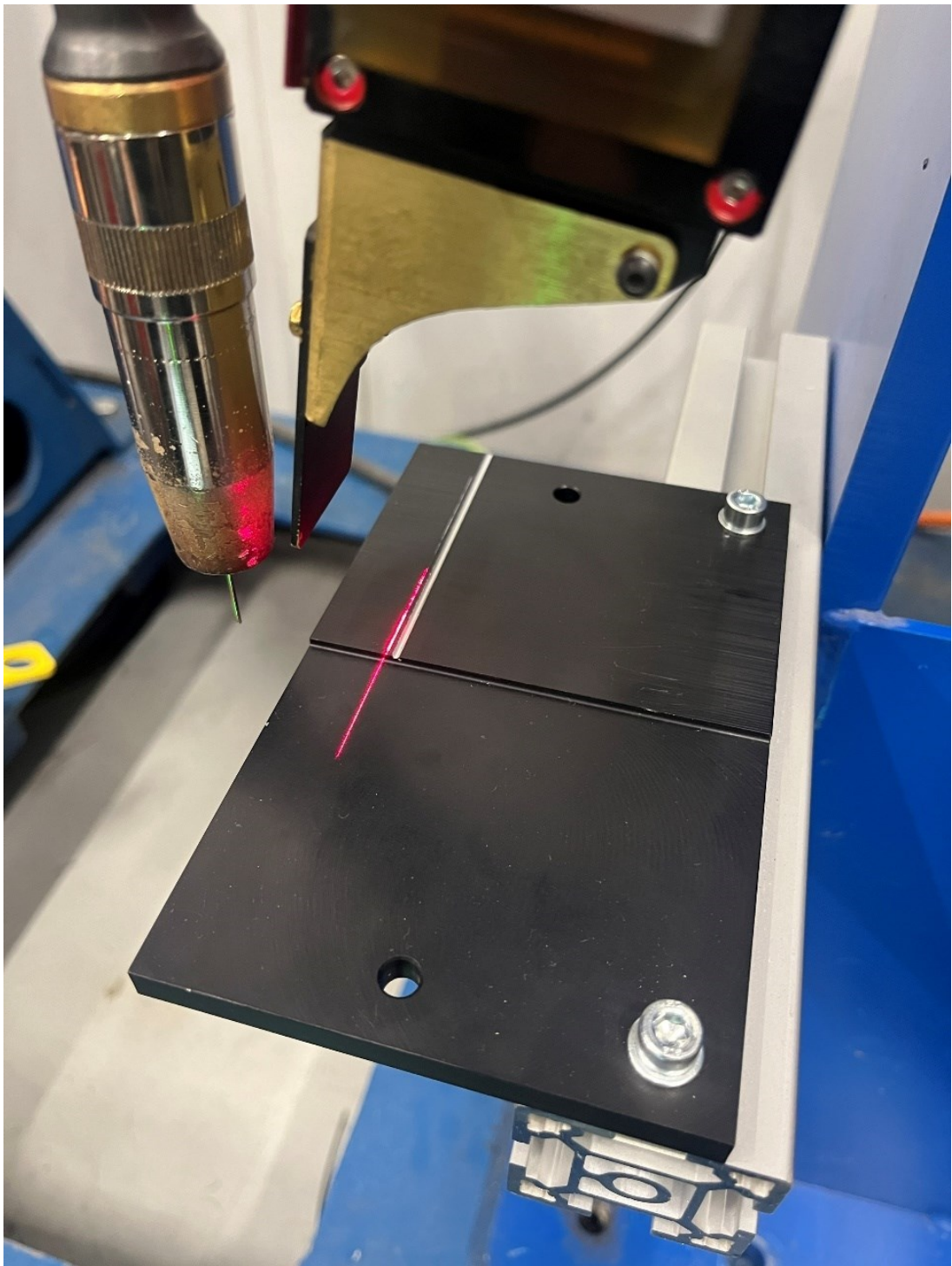
Laserseuranta-anturin kalibrointi suoritetaan MotoEye LT:n LTCLIB-makrolla. LTCLIB-makron kutsussa määritellään käytettävä laserseuranta-taulukko (LT FUNC. FILE#), kalibrintitaulukko (CALIB. FILE), työkalupiste (TOOL REFP.) (kuva 14), mittauspisteet 1–4 (sensing#1–4 REFP.) (kuvat 15–22), poistumis-piste (ESCAPE REFP.) (kuva 23) ja kalibroinnin onnistumisen lippu (RESULT FLAG). (Yaskawa, 2019, s. 29–31.)

Työkalupisteen referenssipiste opetetaan mahdollisimman tarkkaan keskelle saumaa ja samaan kohtaan, jossa aiotaan kalibroida laserseuranta-anturi. Alla olevassa kuvassa 14 on kalibrintilevyyn tehty naarmu, jota käytetään kohdistamiseen. Mittauspiste 1 opetetaan työkalupisteestä suoraan taaksepäin siten, että laserin viiva on äsken opetetun pisteen kohdalla (kuvat 15 ja 16).

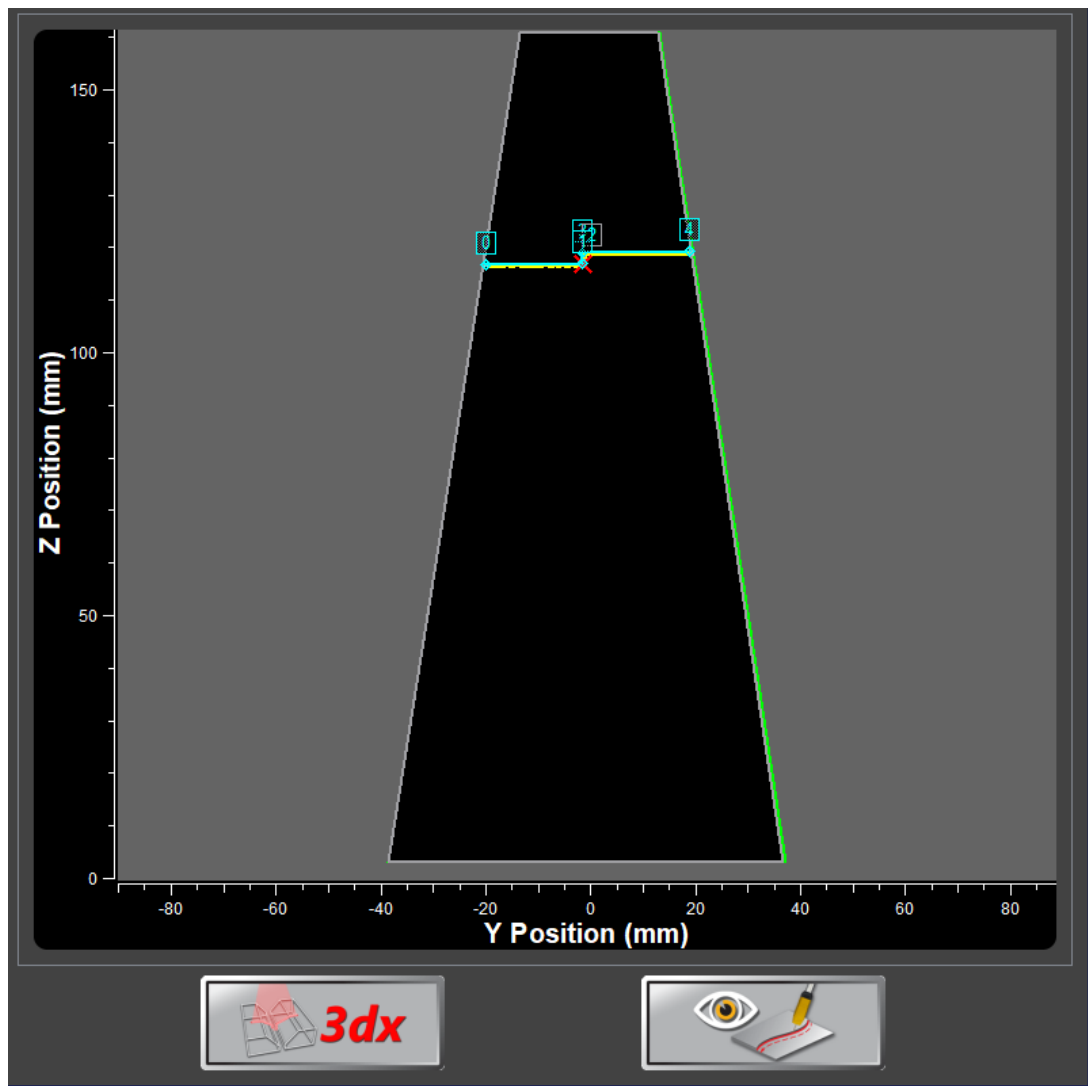
Mittauspiste 2 opetetaan ajamalla työkalua alaspäin aivan laserseuranta-anturin näköalueen rajalle pitäen laserviiva kalibrintimerkin kohdalla (kuvat 17 ja 18). Mittauspiste 3 opetetaan niin ylös ja vasempaan reunaan, kuin laserseuranta-anturi näkee, pitäen laserviiva kalibrintimerkin kohdalla (kuvat 19 ja 20). Mittauspiste 4 puolestaan opetetaan niin ylös ja oikeaan reunaan, kuin laserseuranta-anturi näkee (kuvat 21 ja 22). Näiden määrittämisen jälkeen opetetaan vielä poistumispiste, jossa robotti käy jokaisen pisteen välissä (kuva 23). Tämän jälkeen voidaan suorittaa makro käsiäjolla interlock- ja test start-näppäimillä ja katsoa kalibroinnin tulokset. (Yaskawa, 2019, s. 31–42.)



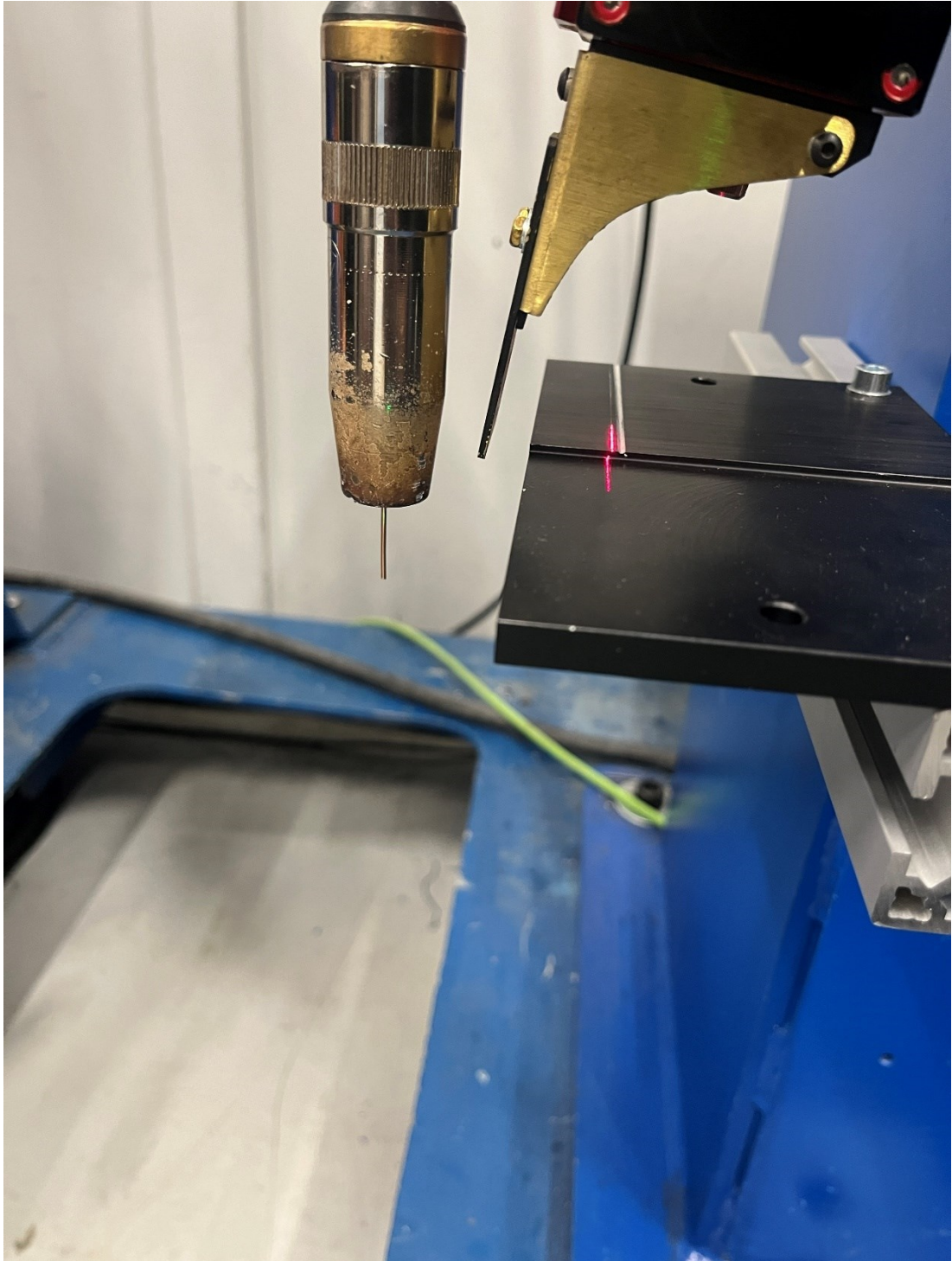
Kuva 14. MotoEye LT kalibroinnin työkalupiste.



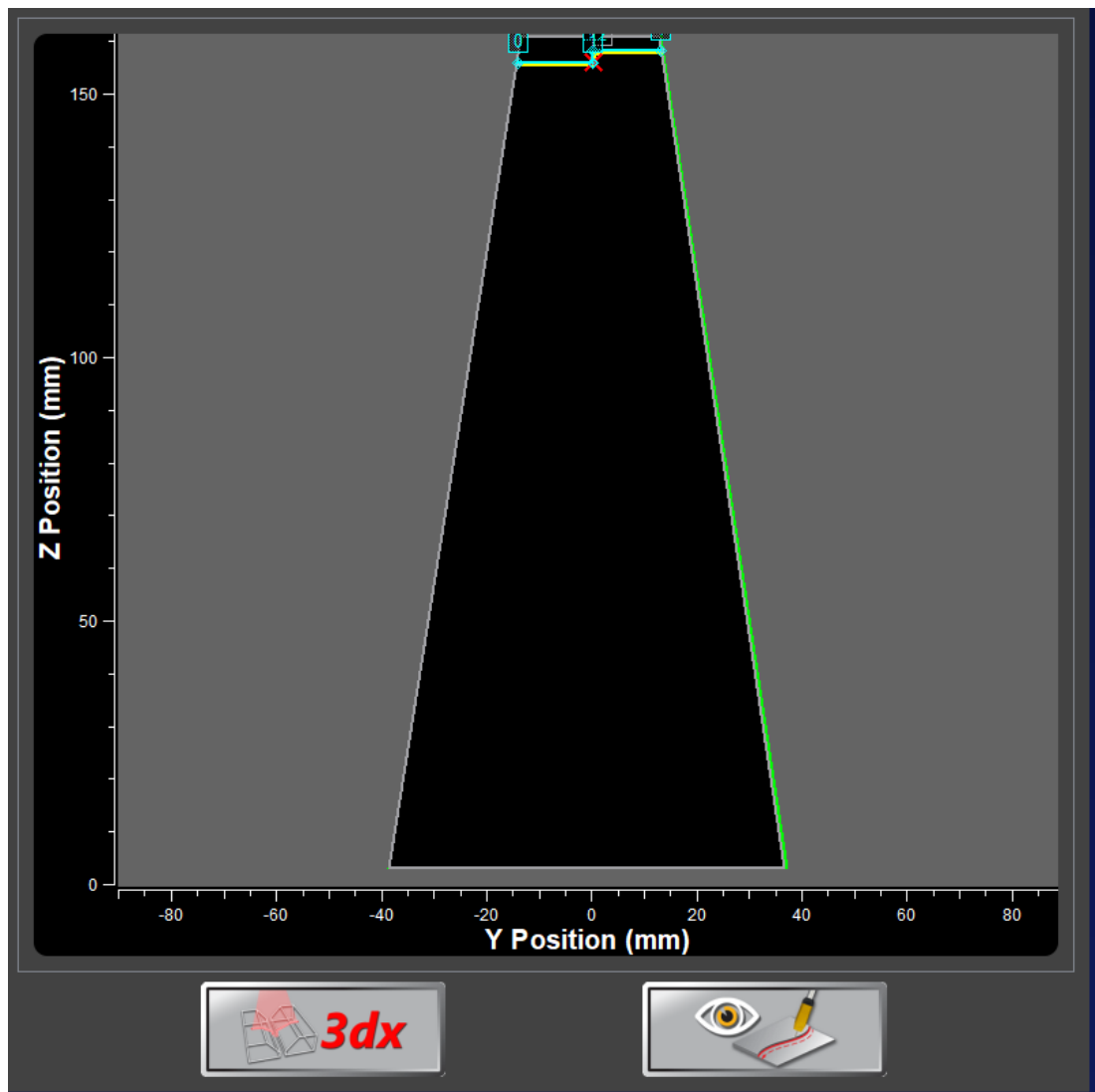
Kuva 15. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteen 1 sijainti.



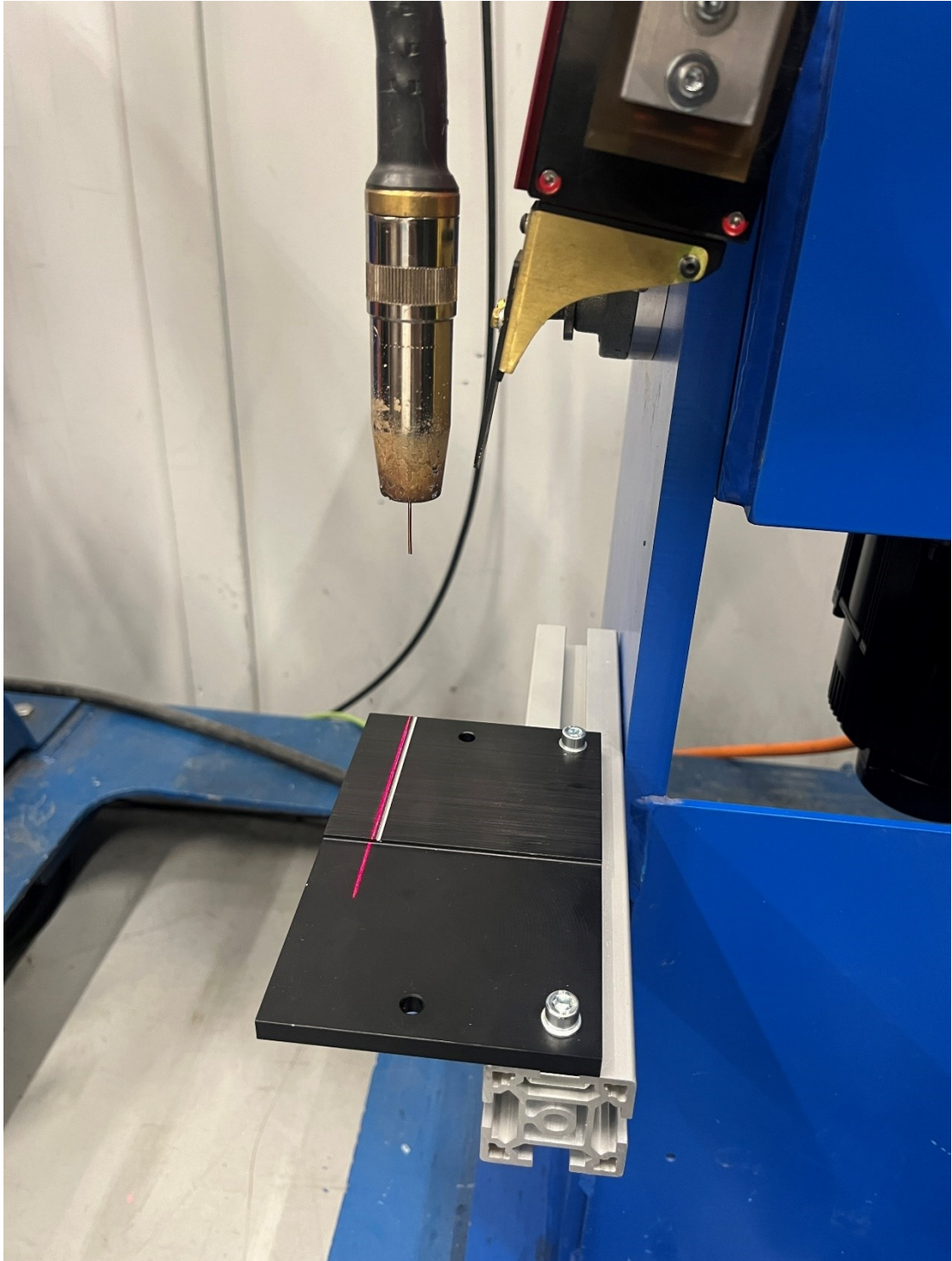
Kuva 16. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteiden 1 mittauspahtuma.



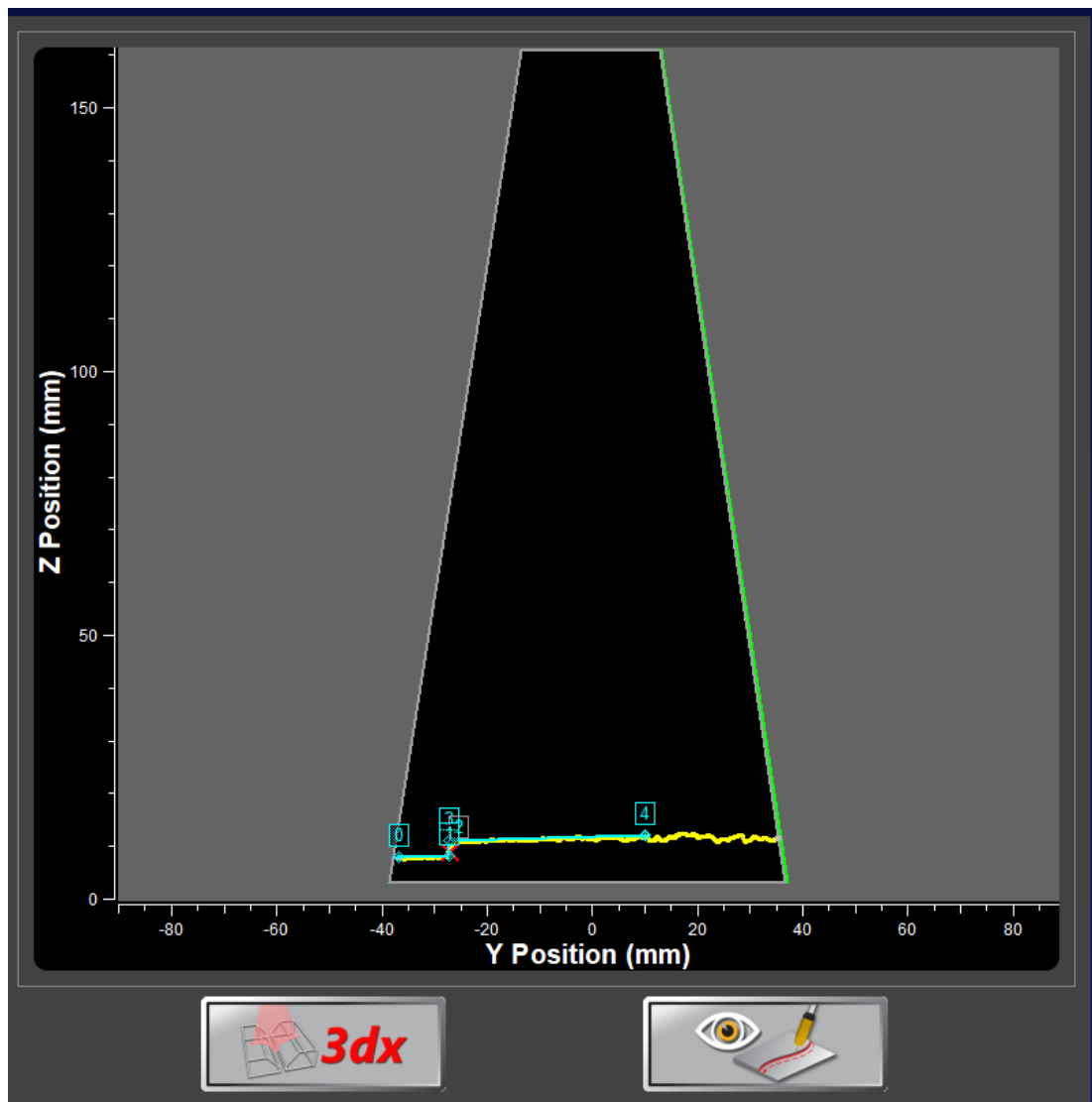
Kuva 17. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteen 2 sijainti.



Kuva 18. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteen 2 mittaustapahtuma.



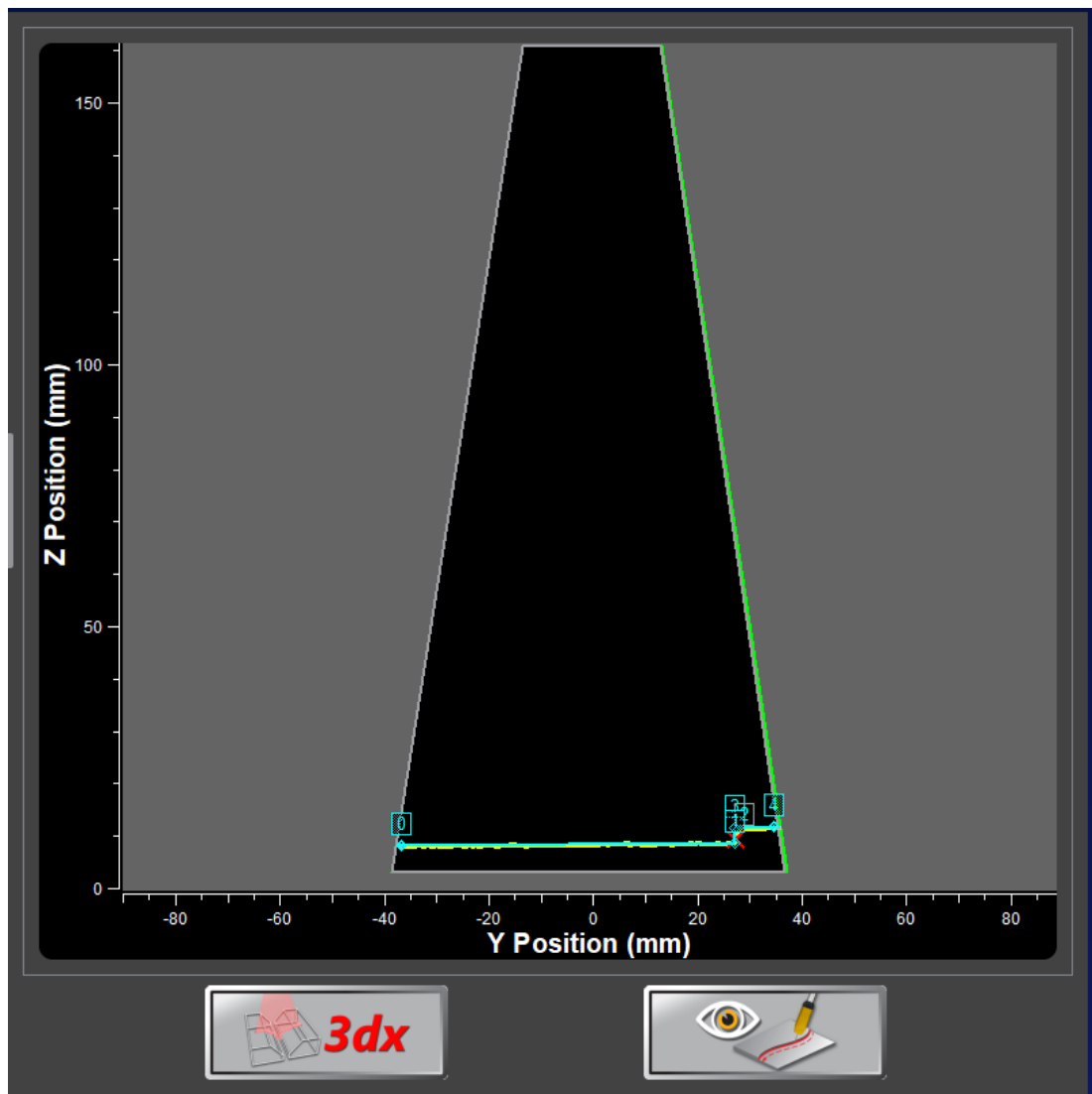
Kuva 19. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteen 3 sijainti.



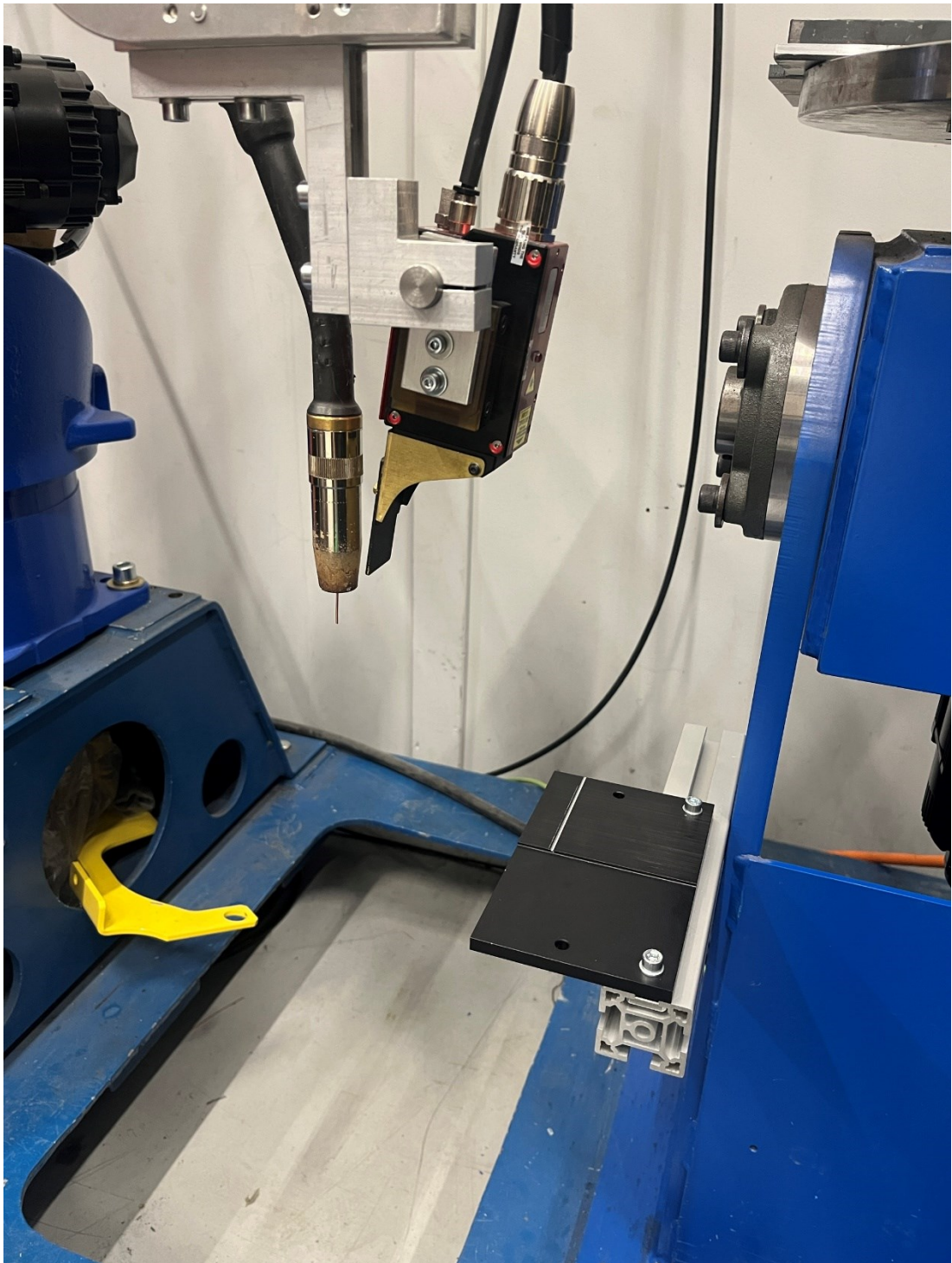
Kuva 20. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteiden 3 mittauspahtuma.



Kuva 21. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteen 4 sijainti.



Kuva 22. MotoEye LT kalibroinnin mittauspisteiden 4 mittauspahtuma.



Kuva 23. MotoEye LT kalibroinnin poistumispiste.

4.5 Laserseurantataulukot ja esimerkki MotoEye LT:n käyttämisestä

Tässä kappaleessa käydään läpi laserseuranta-taulukoiden asetuksia ja niiden vaikutusta laserseuranta-anturin toimintaan. Lisäksi tässä kappaleessa käydään läpi esimerkki laserseuranta-anturin käytöstä robotin normaalissa

työkierrossa käyttäen MotoEye LT -funktion ohjaamiseen tarkoitettuja makrotoimia. Tämän kappaleen esimerkissä haetaan hitsaussauman aloituspiste, seurataan hitsaussaamaa, sekä haetaan hitsaussauman lopetuspiste.

Laserseurantataulukot ovat laserseuranta-anturin ja robotin toiminnan määrittelyyn tarkoitettuja asetuksia, joihin määritellään mm. työ, jota laserseuranta-anturi käyttää haettavan ja seurattavan hitsaussauman tunnistamiseen, robotin toiminta aloitus- ja lopetuspisteen hauissa, esimerkiksi suoritettavan haun suunta. Aloitus- ja lopetuspisteen haut voidaan suorittaa liikkuen saumasta pois päin, kunnes saumaa ei enää löydetä (OK->NG), sauman ulkopuolelta kohti saumaa, kunnes sauma löydetään (NG->OK) tai paikoillaan (STOP). Laserseurantataulukkoon voidaan määritellä myös toiminta, kun saumaa ei enää löydetä kesken seurannan ja mitä tapahtuu hitsaussauman välin kasvaessa, vai tapahtuuko mitään. (Yaskawa, 2019 s.56.) Tämän kappaleen esimerkissä käytetään hitsauksen aloituspisteen hakemiseen NG->OK-asetusta ja hitsauksen lopetuspisteen hakemiseen OK->NG-asetusta.

Hitsaussauman aloituspisteen hakuun, sauman seuraamiseen ja lopetuspisteen hakemiseen tarvitaan viisi makrotyötä. Hitsauksen aloituspisteen hakemiseen käytetään LTRCH-makroa. LTRCH-makron kutsussa määritellään piste, josta hitsauksen aloituspisteen hakeminen aloitetaan, sekä piste, johon hitsauksen aloituspisteen hakeminen lopetetaan. Makron kutsuun määritellään myös nopeus, jolla haun aloituspisteestä ajetaan haun lopetuspisteeseen, käytettävä laserseurantataulukko, paikkamuuttuja P, johon löydetyn sauman sijainti tallennetaan, sekä haun onnistumisen lippu, B-muuttuja, jonka arvon makro asettaa ykköseksi, jos haku onnistui ja nolaksi, jos haku ei onnistunut. Onnistumisen lipun avulla voidaan esimerkiksi hypätä työn alkuun tai antaa hälytys, mikäli makro ei onnistunut. Tähän makroon, kuten muihinkin tässä esimerkissä käytettyihin makroihin määritellään B-muuttuja, jonka arvolla yksi makro suoritetaan ja arvolla nolla ei suoriteta, mutta palautetaan onnistumisen lippuun ykkönen. Näin ollen tätä esimerkkiä voi käyttää myös hitsattavissa saumoissa, joissa ei käytetä kaikkia esimerkin ominaisuuksia.

Onnistuneen hitsaussauman aloituspisteen haun jälkeen suoritetaan pisteiden siirto LTSFT-makrolla. LTSFT-makron kutsussa määritellään löydetyn aloituspisteen P-muuttuja, jonka avulla siirron määrä lasketaan. Makrokutsussa määritellään myös hitsauksen oletettu aloituspiste.

Siirron suorituksen jälkeen kutsutaan LTRCKON-makroa, joka aloittaa railon seurannan. LTRCKON-makrolle määritellään makron kutsussa hitsauksen aloituspisteeksi sama piste, joka määriteltiin LTSFT-makrolle hitsauksen aloituspisteeksi. LTRCKON-makrolle määritellään myös käytettävä laserseuranta- taulukko ja hitsauksessa käytettävä hitsauspolttimen kuljetusnopeus. LTRCKON-makron jälkeen komennetaan hitsauksen aloitus, eli ARCON, sekä piste, johon asti hitsataan ennen hitsauksen lopetuspisteen haun aloittamista.

Hitsauksen lopetuspisteen haku aloitetaan kutsumalla makrotyötä LTEDSRCH, jonka kutsussa määritellään käytettävä laserseurantataulukko. Kun hitsauksen lopetuspisteen haku on aloitettu, opetetaan robotille piste, johon asti robotti hakee hitsauksen lopetuspistettä. Tämä kannattaa opettaa hie- man oletettua hitsauksen lopetuspistettä pidemmälle. Oletetun hitsauksen lo- petuspisteen opettamisen jälkeen kutsutaan hitsauksen lopetus, ARCOF, sekä päätetään seuranta LTRCKOF-makrolla. Nyt voidaan opettaa hitsauksen poistumispiste.

Ajettaessa ohjelmaa robotti siirtyy hitsauksen lähestymispisteeseen ja käyn- nistää laserseuranta-anturin laserin. Laserviivan sytyttämisen jälkeen robotti lähestyy hitsattavaa saumaa määritellyllä hakunopeudella, kunnes laserseu- ranta-anturi tunnistaa hitsaussauman. Kun sauma on tunnistettu, robotti py- sähtyy ja tallentaa hitsauksen aloitussijainnin muistiin. Löydetyn sijainnin tal- lennettuaan robotti asettaa siirron päälle ja siirtyy korjattuun hitsauksen aloi- tuspisteeseen. Robotin saapuessa korjattuun hitsauksen aloituspisteeseen käynnistää se seurannan ja aloittaa hitsauksen. Kun robotti saavuttaa määri- tellyn hitsauksen lopetuspisteen hakupisteen, aloittaa robotti lopetuspisteen haun ja jatkaa kohti oletettua hitsauksen lopetuspistettä. Kun todellinen lope- tuspiste löytyy, eli laserseuranta-anturi ei tunnista enää hitsaussaumaa, tallen- netaan todellinen hitsauksen lopetuspiste muistiin ja jatketaan hitsausta

löydettyyn lopetuspisteeseen asti. Kun todellinen hitsauksen lopetuspiste saavutetaan, lopetetaan hitsaus ja seuranta, sekä siirrytään hitsauksen poistumispisteeseen. (Yaskawa, 2019 s.48–49.) MotoEye LT-funktion toimintaan tutustumisen jälkeen, edellä mainittu menettely ei ole ainut tapa vastaavanlaisen toiminnallisuuden toteutukseen, mutta muut tavat vaativat omien makrotöiden tekemistä sekä laajaa robottituntemusta.

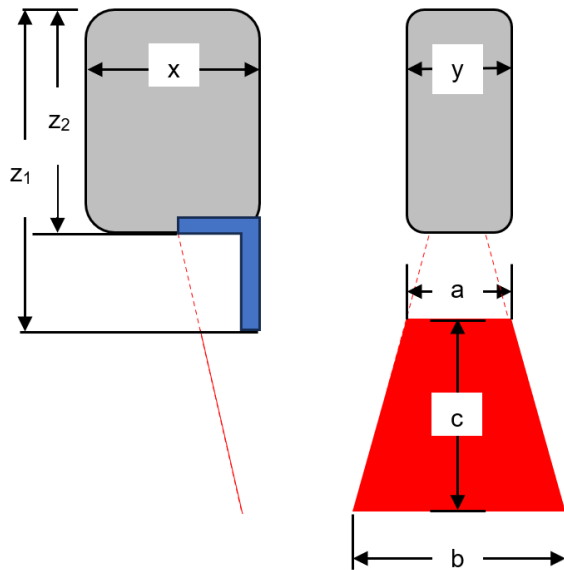
5 ANTURIEN TEKNINEN VERTAILU

Tässä kappaleessa vertaillaan testissä käytettyjä laserseuranta-antureita, Scansonica ja Servo Robottia teknisesti, sekä käydään läpi testauksessa käytetyt saumatyypit ja skenaariot. Testissä käytetty Scansonic -laserseuranta-anturi on niin sanottu zero gap -anturi, eli sillä voidaan hakea ja seurata saumaa, jossa ei ole ilmarakoa (Scansonic, 2013). Servo Robotin anturi taas ei ole zero gap -anturi. Tämän takia testeissä ei vertailtu anturien ominaisuuksia suoraan päittäin olevilla saumoilla.

Kuten alla olevasta taulukosta 3 ja havainnollistavasta kuvasta 24 selviää, fyysisesti anturit ovat lähes samankokoisia. Servo Robotissa on hieman isompi roiskesuoja, mutta anturi on hieman kevyempi. Kriittisimpänä erona kahdella anturilla on Servo Robotin huomattavasti isompi näkökenttä. Molemmat anturit toimivat samalla aallonpituudella.

Taulukko 3. Antureiden keskeisimmät mitat (Scansonic, 2013; Servo Robot, 2020, s. 9–16).

Anturi	Mitat roiskesuojalla (x*y*z ₁) [mm]	Mitat ilman roiskesuojaa (x*y*z ₂) [mm]	Paino [g]	Näkökentän koko (a*b*c) [mm]	Optimaalinen kuvausetäisyys näkökentän yläreunasta [mm]	Aallonpituus [nm]
Scansonic	70*40*162,4	70*40*120,9	700	13*15*24	12	660
Servo Robot	64*39*187,5	64*39*121,8	450	27*71*140	40	660



Kuva 24. Havainnekuva anturien mitoista.

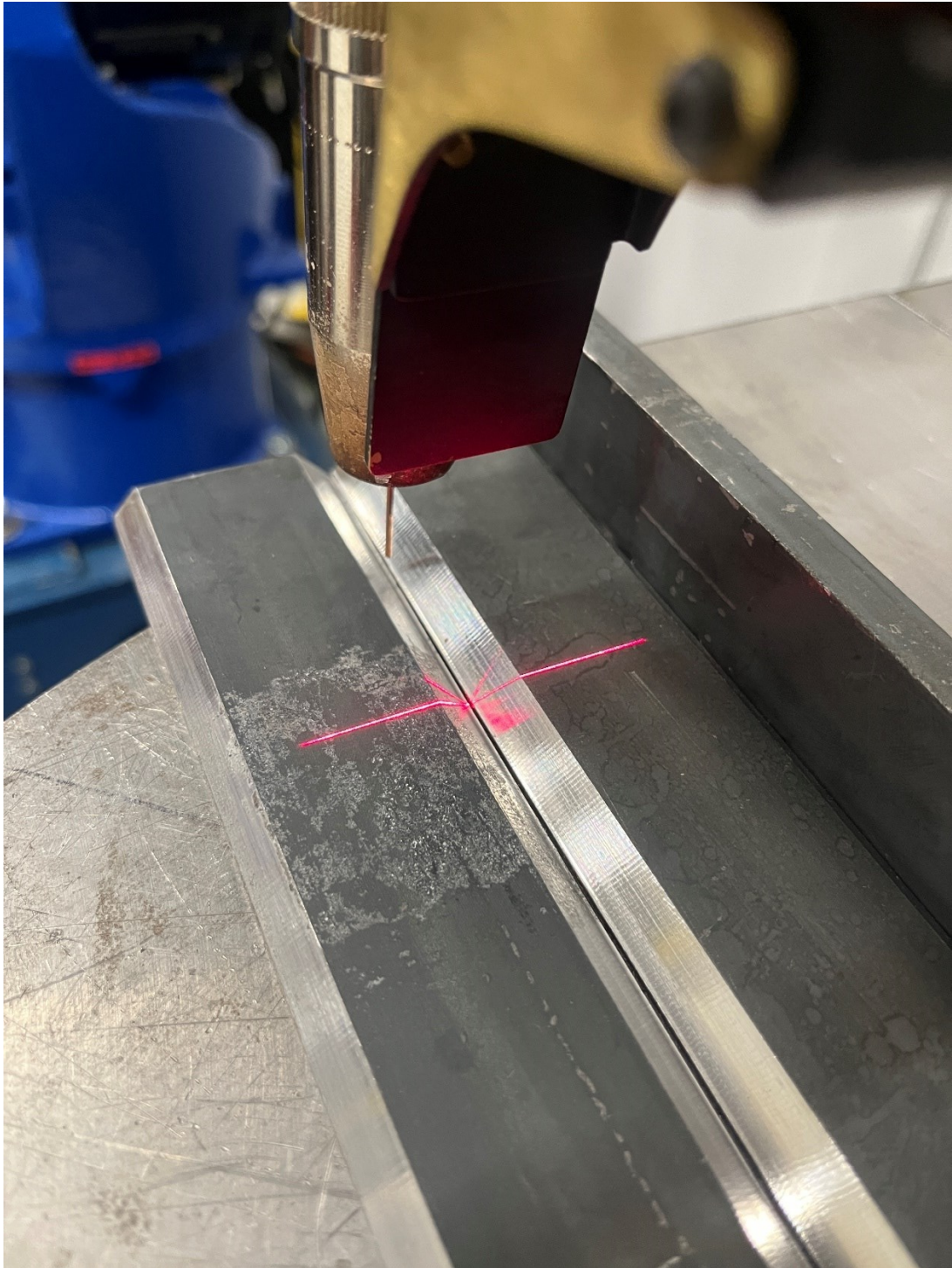
Asennuksellisesti Servo Robotin anturi vaatii yhden kaapelin ja yhden paineilmasyötön (huuhtelu/jäähdytys). Tässä anturissa on myös anturointi suojalasille, eli se tunnistaa, onko suojalasi paikalla vai ei (Servo Robot, 2020, s. 9–16). Scansonicin anturi taas vaatii erilliset virta- ja ethernetkaapelit sekä kaksi paineilmasyöttöä, huuhtelulle ja jäähdytykselle omat (Scansonic, 2015, s. 51). Scansonicin anturissa ei ole suojalasin anturointia.

Tässä testissä oleva Servo Robotin anturi on 3B-luokan laserlaite, joten sen kanssa on käytettävä lasersuojalaseja (Servo Robot, 2020, s. 9–16). Testikoonpanossa on kuitenkin laserin tehoa rajoittava avainkytkin, jonka avulla laserin teho voidaan rajoittaa tasolle, jolla lasersuojalaseja ei tarvita. Optimaalinen lookahead Servo Robotille on 50–60 mm, riippuen pinnan heijastuksesta (Servo Robot, 2021).

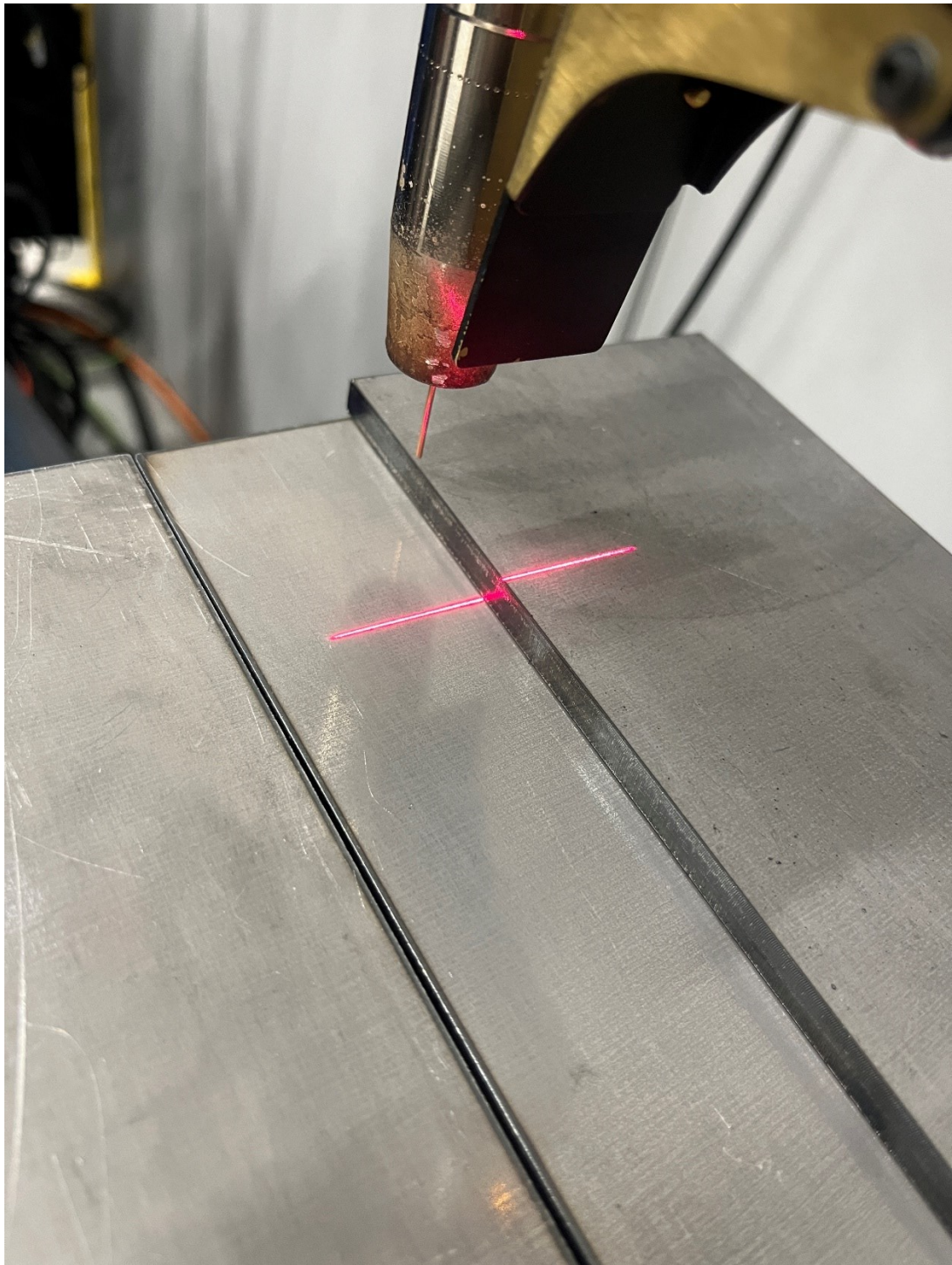
Scansonicin anturiin on saatavana lisävalo, jolla saadaan joissain tilanteissa parempi näkymä kuin ilman (Scansonic, 2015, s. 32). Optimaalinen lookahead Scansonicille on 30–40 mm.

Anturien haku- ja seurantaominaisuuksia vertailtiin V-railon (kuva 25), päällekkäisliitoksen (kuva 26), päittäisliitoksen (kuva 27), puoli V-railon (kuva 28) ja reunan (kuva 29) testihauilla ja -seurannoilla. Nämä ovat yleisimpiä saumoja,

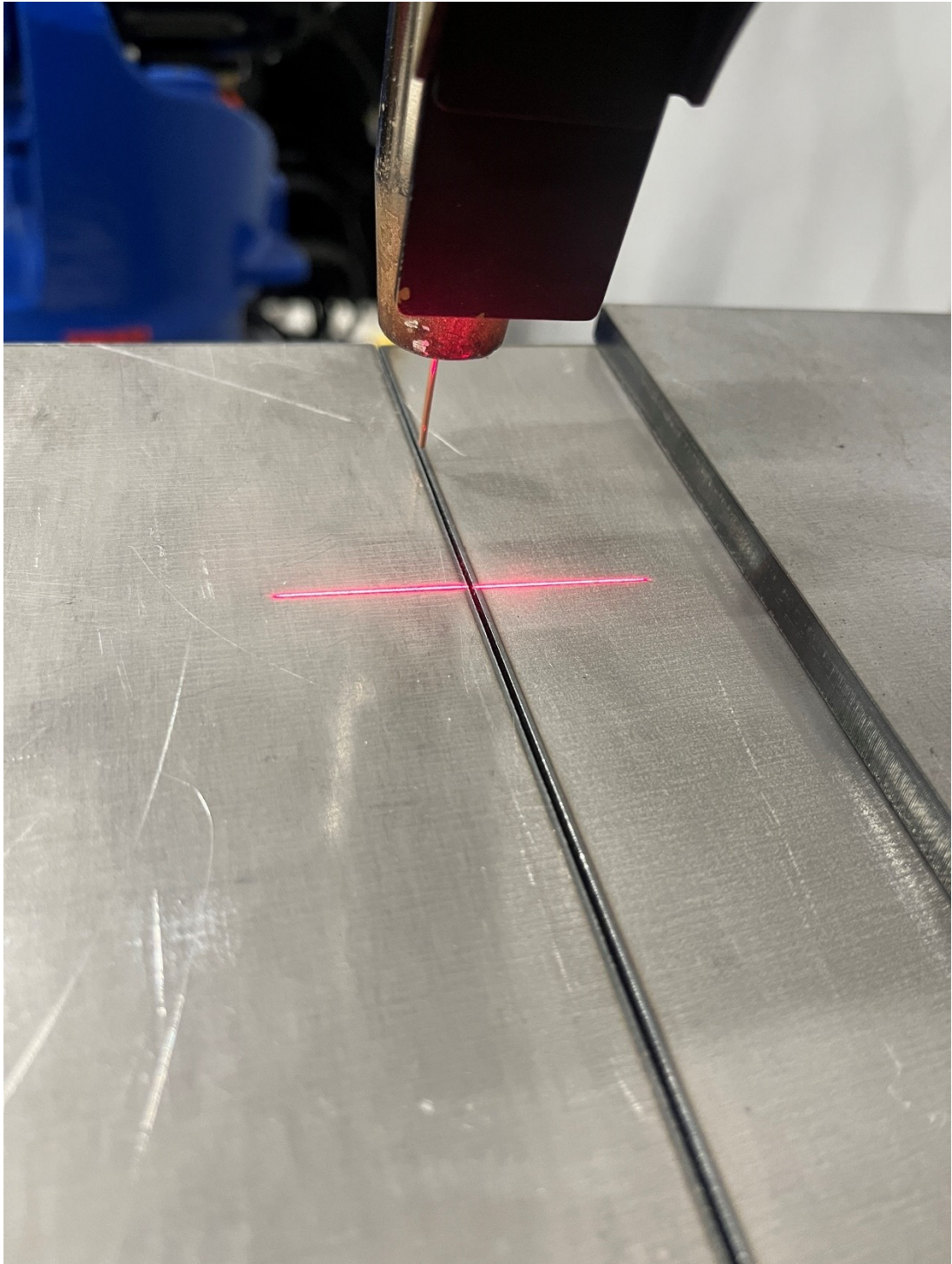
joita robotisoiduissa hitsauksissa käsitellään (Oksanen, 2023). Lisäksi selvitetiin Servo Robotin lasertehon (opetustila/tuotantotila), pinnan laadun (kuva 30) ja valokaaren vaikutusta seurantaan, sekä anturin mittaaman välin paikkansa-pitävyyttä.



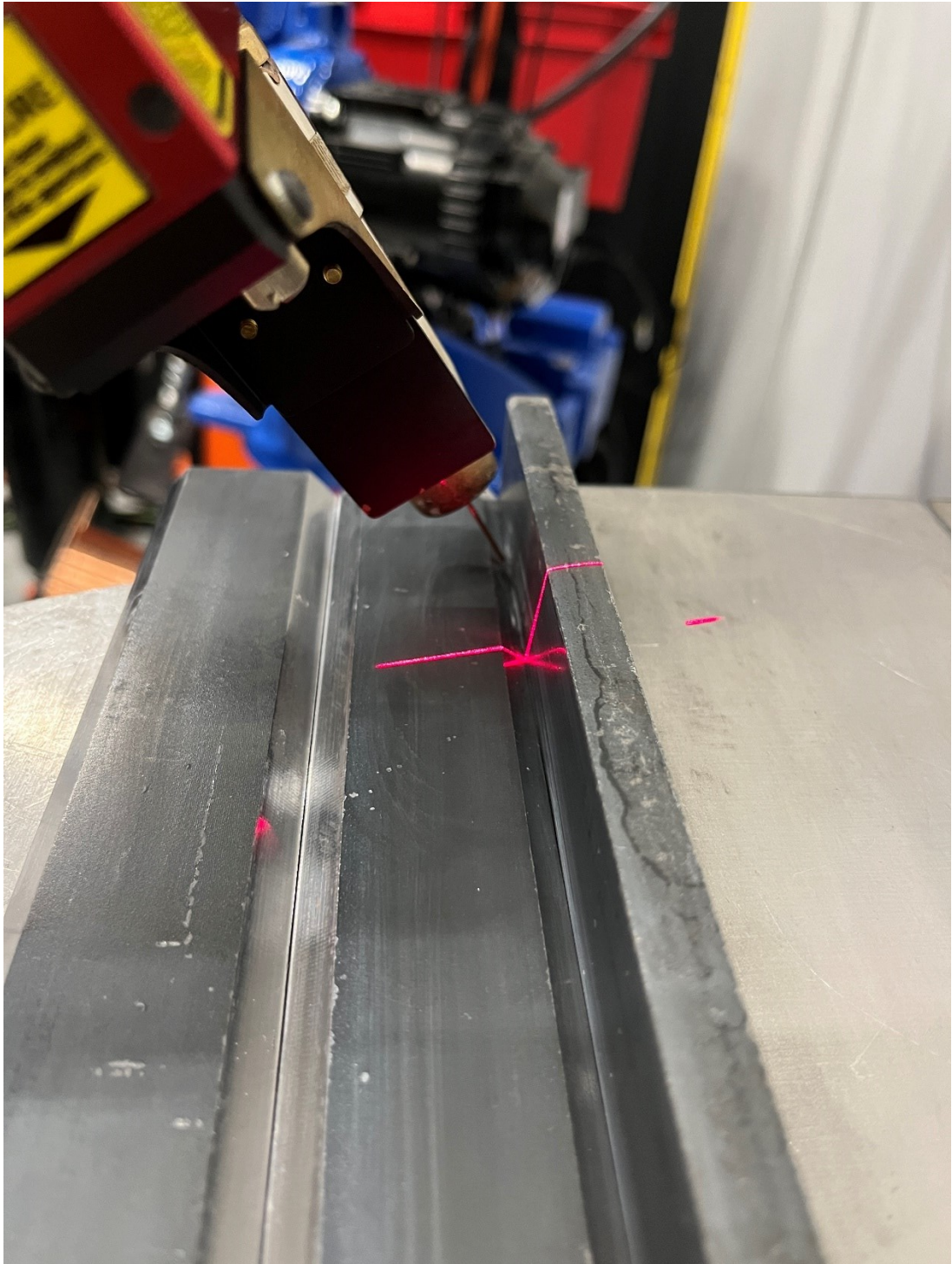
Kuva 25. V-railon haun ja seurannan testisauma.



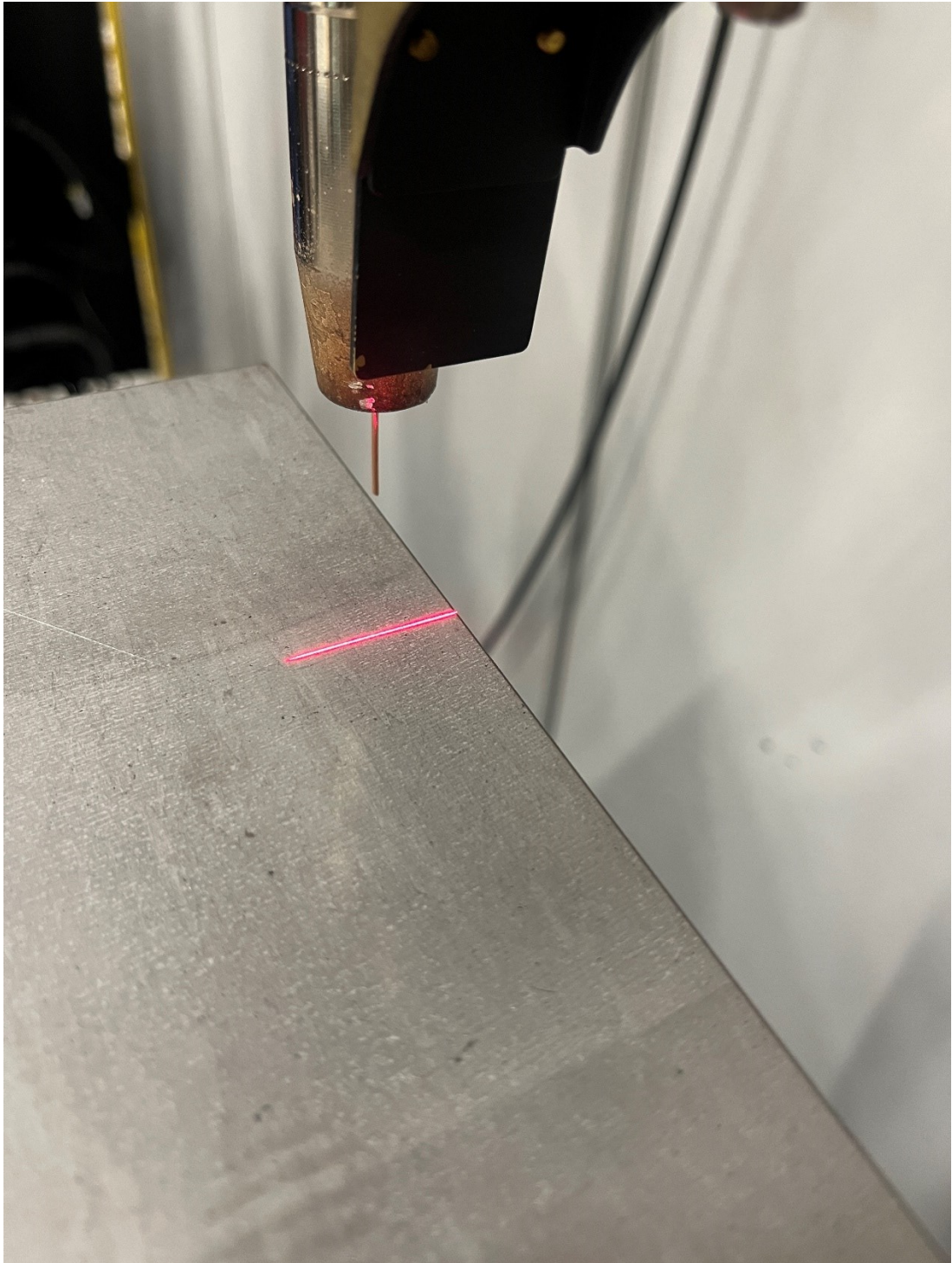
Kuva 26. Päällekkäisliitoksen haun ja seurannan testisauma.



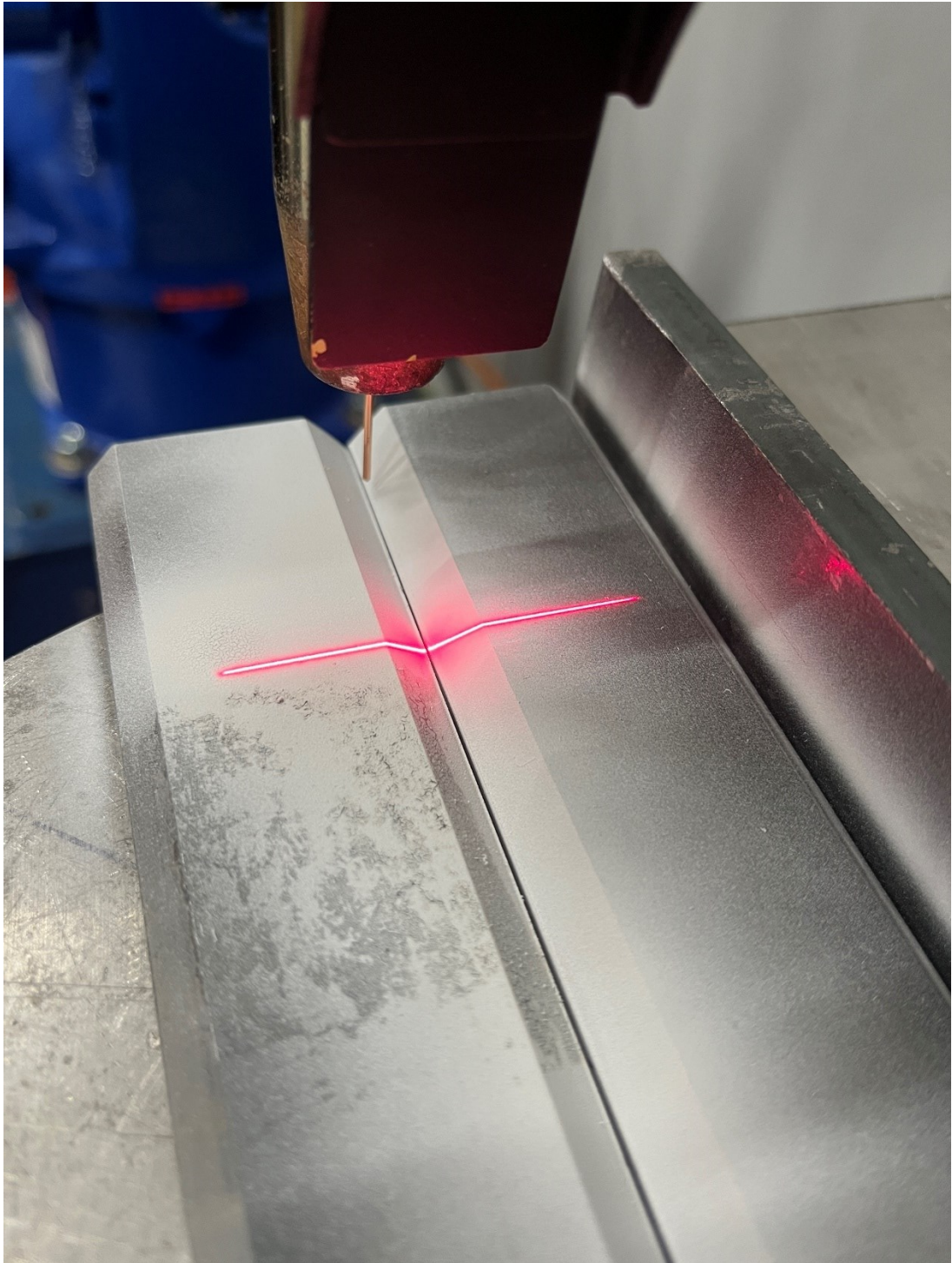
Kuva 27. Päittäisliitoksen haun ja seurannan testisauma.



Kuva 28. Puoli V -railon haun ja seurannan testisauma.



Kuva 29. Reunan haun ja seurannan testisauma.



Kuva 30. V-railon testisauman pinnanlaatua muutettu roiskeiden kiinnittymisen estoaineella.

6 TULOKSET JA NIIDEN VERTAILU

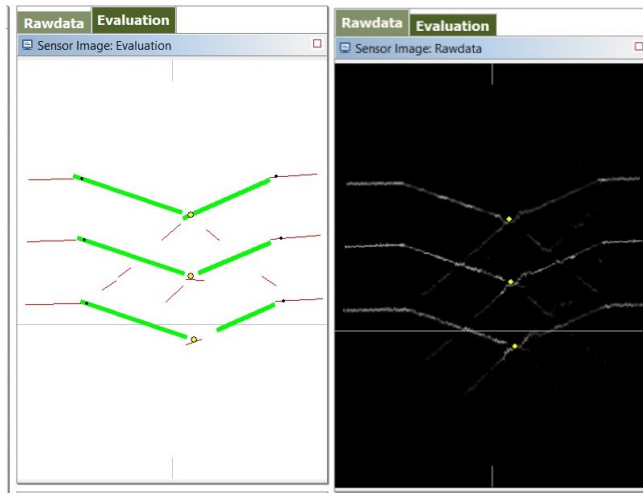
Tässä kappaleessa käydään läpi V-railon, päällekkäisliitoksen, päittäisliitoksen, puoli V-railon sekä reunan haun ja seurannan testien tulokset, sekä käsitellään pinnanlaadun, laserseuranta-anturien lasertehon ja valokaaren vaikutusta seurantaan. Molemmat laserseuranta-anturit suoriutuivat testatuista hauista ja seurannoista testatuissa olosuhteissa.

6.1 V-railo

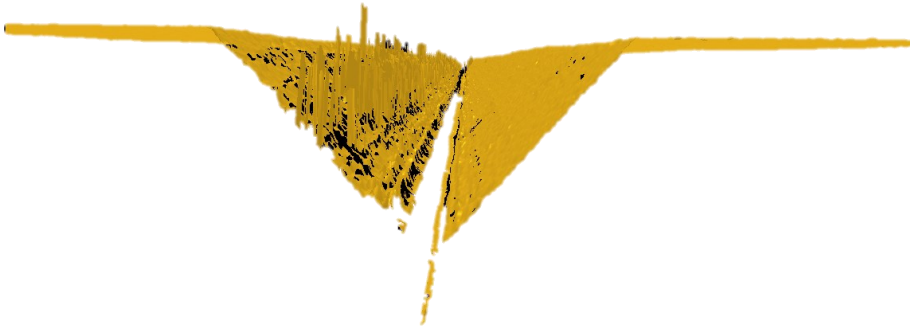
V-railo oli testattavista saumoista haastavin kirkkaan koneistetun pintansa vuoksi ja vaatiikin eniten aikaa anturien hakualgoritmien asetusten optimointiin. Varsinkin Servo Robotilla (kuva 31), jossa on vain yksi laserviiva, haasteita tuotti heijastuksesta johtuvan häiriön saaminen siedettävälle tasolle ja tätä kautta haun ja seurannan saaminen vakaaksi ja luotettavaksi. Scansonicin kolme laserviivaa (kuva 32), joiden keskiarvolla saumaa seurataan, helpottivat osaltaan vakaata hakua ja seurantaa. Kuvassa 33 näkyy V-railon seurannan tallenne Servo Robotilta. Vasemmanpuoleisessa reunassa näkyy heijastuksesta johtuvaa häiriötä. Lasertehon muuttaminen ei suuremmin vaikuttanut V-railon haku- tai seurantatulokseen.



Kuva 31. V-railon mittaustapahtuma Servo Robotin käyttöliittymässä.



Kuva 32. V-railon mittaustapahtuma Scansonicin käyttöliittymässä.



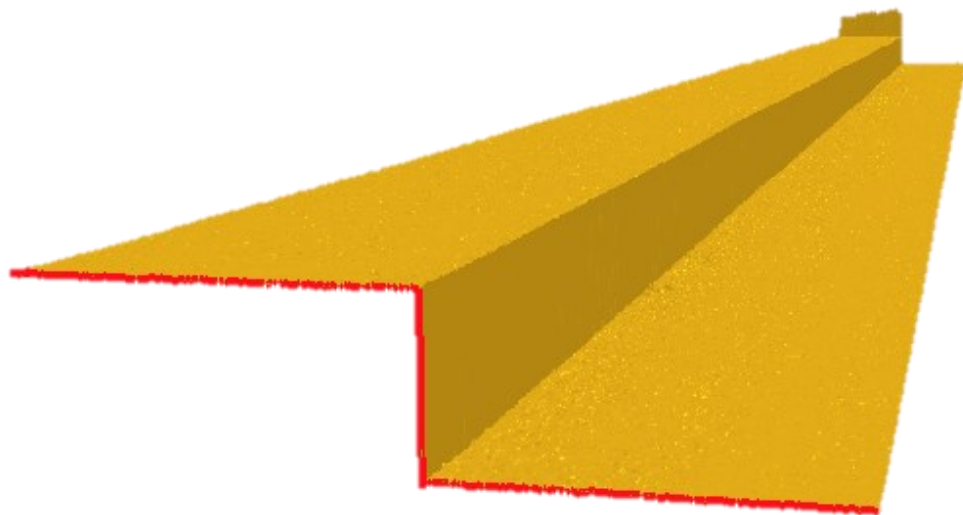
Kuva 33. V-railon tallennettu seuranta Servo Robotin käyttöliittymästä.

6.2 Päällekkäisliitos

Päällekkäisliitoksen haku ja seuranta onnistuivat hyvin algoritmin perusasetukset määrittelemällä sekä Servo Robotilla (kuva 34) että Scansonicilla. Päällekkäisliitoksen haussa tai seurannassa ei lasertehon lisäämisellä ollut suurempaa vaikutusta. Kuvassa 35 on tallennettu päällekkäisliitoksen seuranta.



Kuva 34. Päällekkäisliitoksen mittaustapahtuma Servo Robotin käyttöliittymässä.



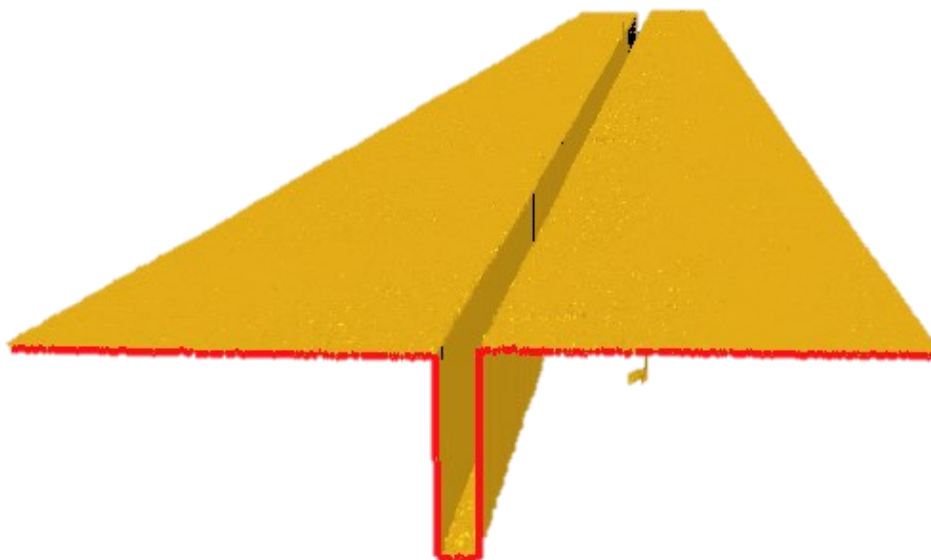
Kuva 35. Päällekkäisliitoksen tallennettu seuranta Servo Robotin käyttöliittymässä.

6.3 Päittäisliitos

Päittäisliitoksen haku ja seuranta onnistuivat ongelmitta Servo Robotilla (kuva 36) ja Scansonicilla. Anturin lasertehon lisäämisellä ei ollut suurempaa vaikutusta päittäisliitoksen hakuun tai seurantaan. Kuvassa 37 on tallennettu päittäisliitoksen seuranta.



Kuva 36. Päittäisliitoksen mittaustapahtuma Servo Robotin käyttöliittymässä.



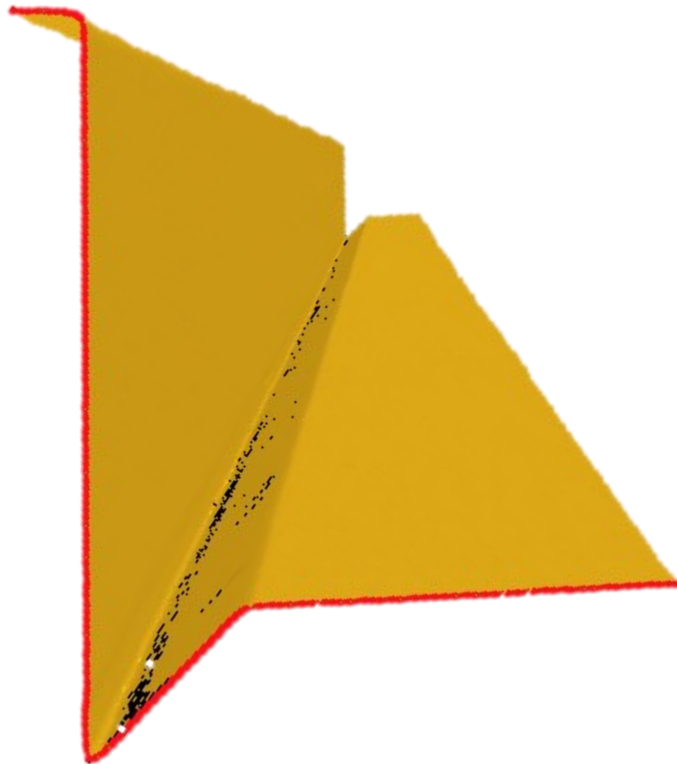
Kuva 37. Päittäisliitoksen tallennettu seuranta Servo Robotin käyttöliittymässä.

6.4 Puoli V-railo

Puoli V-railon haku ja seuranta onnistuivat ilman ongelmia Servo Robotilla (kuva 38) ja Scansonicilla. Lasertehon lisäämisellä ei ollut suurempaa vaikutusta puoli V-railon haussa tai seurannassa. Kuvassa 39 on tallennettu puoli V-railon seuranta.



Kuva 38. Puoli V -railo mittaustapahtuma Servo Robotin käyttöliittymässä.



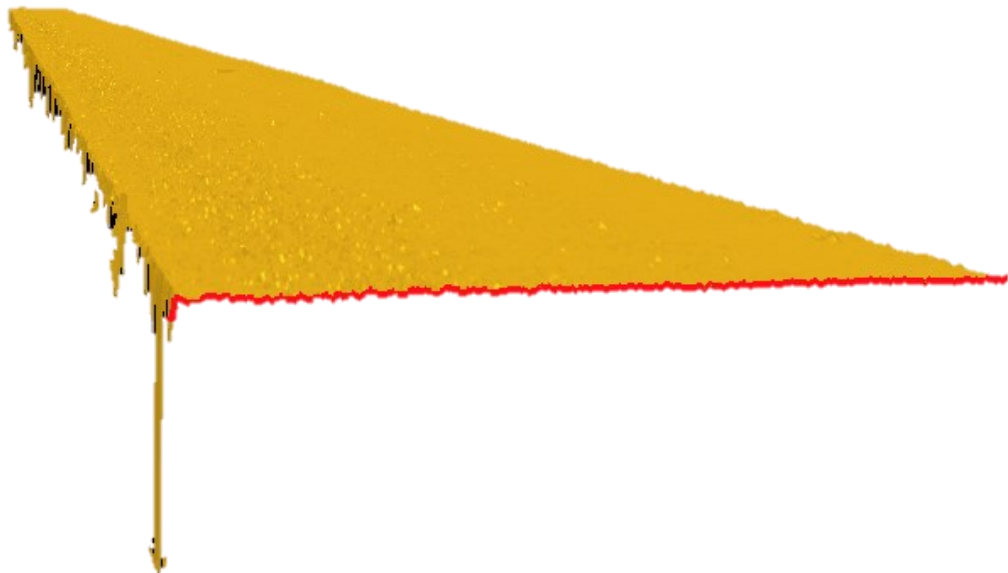
Kuva 39. Puoli V-railon tallennettu seuranta Servo Robotin käyttöliittymässä.

6.5 Reuna

Reunan haku ja seuranta onnistuivat ongelmitta Servo Robotilla (kuva 40) ja Scansonicilla. Reunan haussa ja seurannassa ei lasertehon lisäämisellä ollut suurempaa vaikutusta tulokseen. Kuvassa 41 on tallennettu reunan seuranta.



Kuva 40. Reunan mittaustapahtuma Servo Robotin käyttöliittymässä.



Kuva 41. Reunan tallennettu seuranta Servo Robotin käyttöliittymässä.

6.6 Pinnanlaadun, Servo Robotin tilan ja valokaaren vaikutus tuloksiin

Antureiden toimintavarmuuteen vaikuttaa suuresti kuinka kiiltävä kappaleen pinta on. Seurattavan kappaleen pinnan ollessa kiiltävä, tuottavat heijastuksesta johtuvat häiriöt haasteita seurannassa. Tehdyissä testeissä ei kuitenkaan ilmennyt eroa muilla pinnanlaadun vaihteluilla (esim. ruoste). Roiskeiden kiinnittymisenestoaine tuotti vain positiivista tulosta esimerkiksi V-railon haussa, sillä se poisti pinnan heijastavuuden käytännössä kokonaan. Muissa saumoissa kiinnittymisenestoaine ei vaikuttanut haku- tai seurantatulokseen.

Yhdessäkään saumassa ei Servo Robotin laserteho loppunut kesken rajoitetunakaan. Näin ollen tuotantotilaan siirtymisestä ei ollut hyötyä, sillä testatut skenaariot eivät vaatineet lisää lasertehoa.

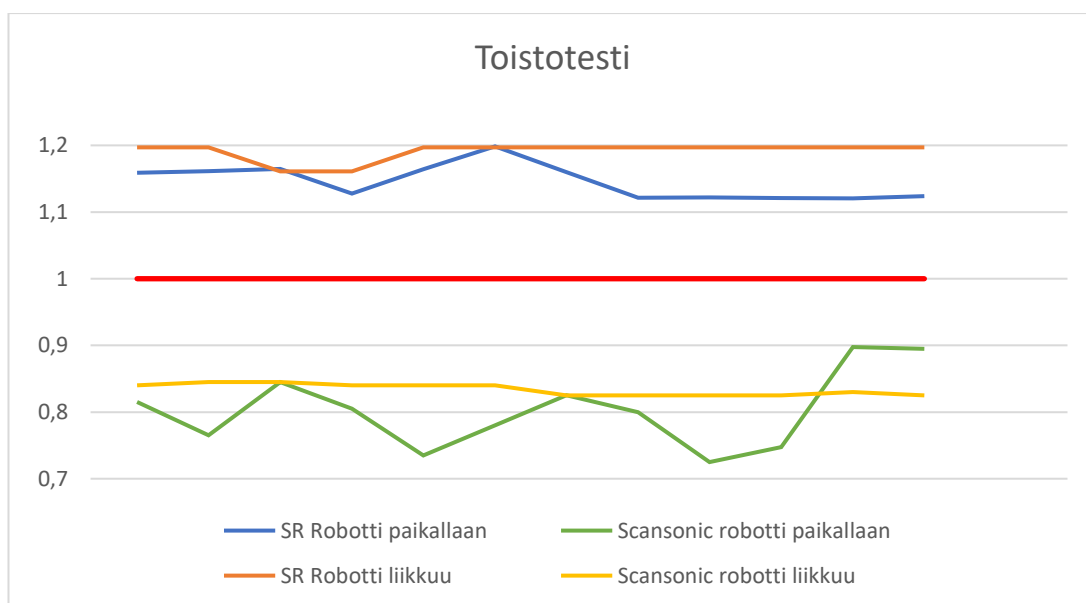
Valokaari vaikuttaa hieman seurantaan, mutta häiritsevästi vain, jos anturi juuri ja juuri löytää sauman ilman hitsaustakaan (Vahtera, 2023). Hitsauksen valokaaren ja laserseuranta-anturin aallonpituus ovat eri alueilla, joten suurta haittaa näistä ei toisilleen ole.

6.7 Anturien välin mittaus

Anturien suorittaman sauman välin mittauksen toistotesti suoritettiin molemmille antureille samalla tavalla. Ensin pidettiin robotti paikallaan, tuotiin käsin mitattava sauma likimain samalle paikalle ja merkattiin anturin mittaama väli ylös. Kuviossa 1 on Servo Robotin mittaamat arvot tässä testissä esitetty sinisellä ja Scansonicin vihreällä. Tämä testi toistettiin molemmille antureille 13 kertaa. Tämän jälkeen pidettiin mitattava kappale paikoillaan ja ajettiin robotilla toistuvasti samaan paikkaan mittaamaan väli, otettiin mittausarvo ylös ja poistuttiin robotilla mittauspaikalta (kuvio 1, oranssi ja keltainen viiva). Tämäkin testi toistettiin 13 kertaa.

Mitattavan sauman väli oli yhden millimetrin (merkattu kuvioon 1 punaisella). Servo Robot mittasi välin mediaaniksi 1,13 mm (keskipoikkeama 0,032 mm), kun robotti oli paikallaan ja 1,12 mm (keskipoikkeama 0,010 mm), kun sauma

oli paikallaan. Scansonic sai mittausten mediaaneiksi 0,79 mm (keskipoikkeama 0,064 mm), kun robotti oli paikallaan ja 0,83 mm (keskipoikkeama 0,009 mm), kun sauma oli paikallaan. Kumpikaan antureista ei siis saanut väliä mitattua absoluuttisesti oikein, mutta molempien anturien tapauksissa anturin mittaamat arvot olivat keskenään yhdenmukaisia ja toisiinsa verrattavia. Scansonic antanee tasoitusta Servo Robottiin varsinkin mittauksessa, jossa robotti oli paikallaan, huomattavasti pienemmällä mittausalueellaan, joka saattaa vääristää hieman tuloksia.



Kuvio 1. Anturien välin mittauksen toistotestin tulokset.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Molemmilla tässä opinnäytetyössä olevilla antureilla, Scansonicilla ja Servo Robotilla, onnistui testattujen saumojen haku ja seuranta. Scansonicin vahvuuksiksi verrattuna Servo Robottiin todettakoon zero gap -ominaisuus sekä kolme seurantaviivaa, joiden keskiarvolla anturi toimii. Tämä vähentää selvästi häiriöitä varsinkin heijastavia pintoja seurattaessa. Scansonicin vahvuuksiksi laskettakoon myös lisenssittömyys. Servo Robotin vahvuuksia ovat helppo käyttöliittymä ja huomattavasti laajempi kuva-ala, mutta Servo Robottiin tarvitaan erinäisiä lisenssejä, jos halutaan esimerkiksi itse luoda hakualgoritmeja (expert mode) tai tarvitaan lisää valmiiksi määriteltyjä algoritmeja perusalgoritmien rinnalle. Servo Robottiin on myös saatavilla anturin lasertehoa rajoittava avainkytkin, mutta sekin vaatii lisenssin toimiakseen.

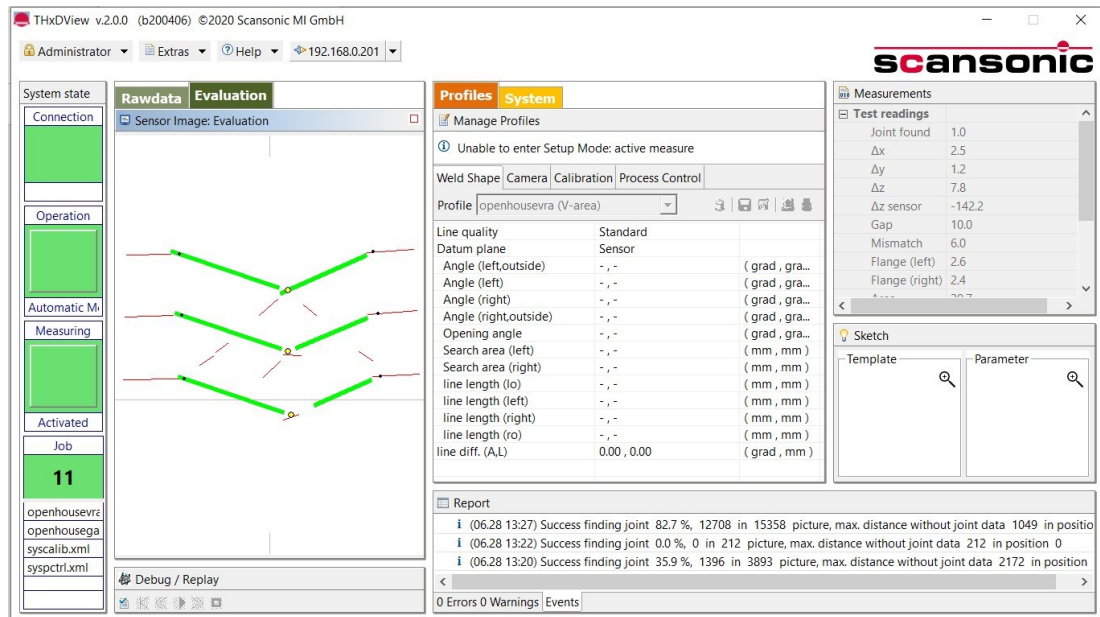
Servo Robotin käyttöliittymä on käyttäjäystävällinen ja monipuolinen. Ainoana miinuksena on selitysten puuttuminen symboleista (kuvat 42 ja 43). Toisaalta useimmin käytettävien symbolien merkitykset oppii muistamaan suhteellisen nopeasti. Scansonicin käyttöliittymä (kuva 44) on todella pelkistetty ja kankea sekä vaatii enemmän aikaa sen ymmärtämiseen. Toisaalta kaikki ominaisuudet ovat käytössä ilman lisenssejä. Hakujen ja seurantojen asetuksia ei Scansonicin käyttöliittymässä pääse muuttamaan haun ollessa käynnissä toisin kuin Servo Robotissa. Servo Robotissa on myös mahdollista tallentaa hakua ja seurantaa, jolloin niitä voi tarkastella myöhemmin lisää.



Kuva 42. Kuvankaappaus Servo Robotin käyttöliittymän etusivulta.



Kuva 43. Kuvankaappaus Servo Robotin käyttöliittymän asetukset-sivulta.



Kuva 44. Kuvankaappaus Scansonicin käyttöliittymästä.

Servo Robotin turvapiirin kanssa aiheutui ajoittain käynnistysyhteydessä haasteita, joita ei ole saatu vielä ratkaistua. Käytettäessä robotin FSU:n (Functional Safety Unit) turvalogiikkaa, ei MotoEye LT aina saa yhteyttä anturiin, koska Servo Robotin ohjain jää hätäseis-tilaan, sillä robotin turvalogiikka käynnistyy suhteellisen myöhään robotin käynnistyssekvenssissä. Tästä pääsee kuitenkin eteenpäin käynnistämällä robotin uudestaan ja kääntämällä Servo Robotin sallinta-avainta, kunnes robotti käynnistää turvalogiikan ja sitä kautta Servo Robot saadaan käynnistymään normaalitilaan ennen, kuin robottiohjain yrittää saada yhteyttä Servo Robotille. Ongelmaa ei ole, jos Servo Robotin turvatulot otetaan ulkoisesta turvalogiikasta, jolloin Servo Robot saadaan käynnistymään normaalitilaan ennen robottiohjaimen käynnistymistä.

Molemmilla laserseuranta-antureilla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotka on otettava huomioon tilannekohtaisesti sopivinta laitteistoa valitessa. Tämän selvityksen pohjalta voidaan kuitenkin todeta, Servo Robotin olevan pätevä vaihtoehto Scansonicin rinnalle robottihitsaussovelluksiin.

LÄHTEET

Huber, S. (18.5.2020). How Seam Tracking Solutions Compare. <https://blog.binzel-abicor.com/usa/how-seam-tracking-solutions-compare>

Kemppi. (n.d.). Robottihitsaus. Haettu 6.11.2023 osoitteesta <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>

Leath, J. (31.3.2022). Pros and Cons of Robotic Seam Finding and Seam Tracking. <https://www.motoman.com/en-us/about/blog/pros-and-cons-of-robotic-seam-finding-and-seam-tra>

Oksanen, R. (2018). MotoEye LT funktion asennus (Scansonic TH6D(i))

Oksanen, R. (27.10.2023). Henkilökohtainen keskustelu Yaskawa Finland Oy:n Robot Specialistin, Roni Oksasen, kanssa.

Scansonic. (2013). Scansonic th6i datenblatt. https://www.scansonic.de/wp-content/uploads/2019/06/scansonic_th6i_datenblatt_v1.0_en.pdf

Scansonic. (2015). Scansonic TH6 Manual. <https://www.scansonic.de/en/>

Servo Robot. (2020). POWER-CAM/HS User's manual. <https://servo-robot.com/>

Servo Robot. (2021). POWER-CAM/HS LASER-CAMERA MOUNTING RECOMMENDATIONS. <https://servo-robot.com/>

Vahtera, I. (15.6.2023). Henkilökohtainen keskustelu Yaskawa Finland Oy:n Ohjelmoija ja käyttöönottajän, Ilkka Vahteran, kanssa.

Yaskawa. (2019). YRC1000 OPTIONS INSTRUCTIONS FOR LASER-TRACKING FUNCTION: MOTOEYE-LT. <https://www.motoman.com/en-us/service-training/product-documentation>

Yaskawa. (2020). Flyer Robot AR1440. https://www.yaskawa.fi/tuotteet/robotit/hitsaus-leikkaus/productdetail/product/ar1440_734

Yaskawa. (2021). SIM_197893_Fkt YRC1000 MotoEye LT.