



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Laaksonen

Jauhemaalausrobotin käyttöönotto

Relicomp Oy

Opinnäytetyö
Kevät 2024
Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Toni Laaksonen

Työn nimi alaotsikoineen: Jauhemaalausrobotin käyttöönotto: Relicomp Oy

Ohjaaja: Jussi Yli-Hukkala

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 30

Liitteiden lukumäärä: 0

Työn toimeksiantajana toimi Etelä-Pohjanmaalla Kurikassa sijaitseva Relicomp Oy. Relicomp Oy on ohutlevytekнологiaan erikoistunut metalliteollisuuden yritys, joka tekee alihankintaa suoraan päähankkijoille. Yritys työllistää tällä hetkellä noin 140 henkilöä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kesällä 2023 Relicompin omaan maalaamoon investoidun jauhemaalausrobotin käyttöönotto osaksi jokapäiväistä tuotantoa. Lisäksi työssä käydään läpi, miten robotin integroiminen osaksi maalaamon jokapäiväistä tuotantoprosessia muuttaa maalaamon toimintatapoja mm. osien ripustuksen kannalta. Työ keskittyy pääosin etäohjelmointiin ja robottijärjestelmän toimintaan kokonaisuutena.

Tämän työn aikana maalausrobotti saatiin turvarajojen ja vakioitujen ohjelmakoodien avulla tilanteeseen, jossa uusien maalausohjelmien tuominen tuotantoon on mahdollisimman kevyt prosessi.

¹ Asiasanat: Robotit, robotiikka, jauhemaalaus, RFID, automaatio

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Toni Laaksonen

Title of thesis: Implementation of a powder coating robot

Supervisor: Jussi Yli-Hukkala

Year: 2024

Number of pages: 30

Number of appendices: 0

The assignment was commissioned by Relicomp Oy, located in Kurikka, South Ostrobothnia, Finland. Relicomp Oy is a metal industry company specialized in sheet metal technology, providing subcontracting services directly to prime contractors. Currently, the company employs a staff of approximately 140.

The aim of the thesis was to implement and integrate a powder coating robot, which was invested in Relicomp's own paint shop during the summer of 2022, into daily production processes. Additionally, the thesis explored how incorporating the robot into the daily operations of the paint shop would alter procedures regarding the hanging of parts.

The focus of the work mainly revolves around remote programming and the overall functioning of the robotic system. The painting robot was brought to a state where the introduction of new painting programs into production was a streamlined process, utilizing standardized safety boundary program codes.

¹ Keywords: Robots, robotics, powder coating, RFID, automation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvaluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 TEORIA.....	11
2.1 Jauhemaalaus	11
2.2 Jauhemaalauksen työturvallisuus.....	12
2.3 Robotin rakenne	13
2.4 Robotti ja työturvallisuus	14
2.5 Robotin ohjausjärjestelmä	14
2.6 Robotti maalauksessa	16
2.7 Robotin etäohjelmointi.....	17
2.8 Robotin simulointiympäristö	18
2.9 RFID.....	19
3 ROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA OHJELMOINTI.....	20
3.1 Järjestelmän toimintaperiaate	20
3.2 Robotin liikealueet ja kalibrointi	21
3.3 Turva- ja häiriöpysäytys	24
3.4 Etäohjelmointi.....	24
3.5 Ohjelmien luku ja kirjoitus.....	26
3.6 RFID-tägin kiinnitys rataan	26
3.7 Conveyor tracking	27

4 TYÖN TULOKSET JA POHDINTAA.....	28
LÄHTEET	30

Kuvaluettelo

Kuva 1 RFID järjestelmän kuvaus.....	19
Kuva 2 maalausjärjestelmän kuvaus	20
Kuva 4 Robotin 1-akselin positio asteina pendantista katsottuna	22
Kuva 5 Robotin toiminnallisen alueen kuvaus.....	23
Kuva 6 Robotin 1-akselin turvarajat	23
Kuva 7 Targettien, eli paikkapisteiden luominen Robotstudiolla	25
Kuva 8 Robotstudion rakennepuu.....	26

Käytetyt termit ja lyhenteet

Elektrodi	Maalausruiskun suuttimessa oleva metallinen kärki, joka varaa maalijauheen sähköisesti.
EX-tila	Räjähdysvaarallinen tila
I/O	(Input/output) tarkoittaa robotiikassa eri lähtö- ja tulospääteiden käsitteilyä.
Moduuli	Robotin pääohjelma, joka voi sisältää useita eri rutiineja.
Orientaatio	Robotiikassa orientaatiolla tarkoitetaan robotin työkalun asentoa.
Pendant	Robotin ohjelmointilaitte. Robotissa johdolla kiinni oleva ohjain, jolla voidaan luoda robotille ohjelmakoodia, muokata tai poistaa se sekä käsin ohjata robottia.
RobotStudio	ABB-robotin etäohjelmointisovellus. Voidaan käyttää sekä offline-, että online-ohjelmointiin.
RFID	Radio Frequency identification. Radiotaajuinen etätunnistusmenetelmä tiedon etälukuun ja tallentamiseen.
RFID-tägi	RFID-tekniikalla toimiva komponentti, johon tietoa voidaan tallentaa.
TGIC	Triglysidyyli-isosyanoureaattikovete. Terveydelle haitallinen sideaine jauhemaleissa.
Toiminnallinen alue	Alue, jossa robotti pystyy työskentelemään maalauskaapin ovialueen reunojen puitteissa.
Conveyor tracking	Robotin taustaohjelma, joka seuraa kuljettimen positiota kuljettimelta saadun signaalin perusteella.

WObj

Robotin workobject eli työkohde. Workobject on robotin omassa koordinaatistossa oleva työkohde, johon robotin ohjelmat sijoittuvat.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Relicomp Oy:llä on vahva kehittämisen ja investoimisen kulttuuri. Relicompin tuotannosta löytyy oma jauhemaalauslinja ja vuonna 2023 Relicomp investoi maalausrobottiin.

Maalaus on fyysisesti sekä psyykkisesti kuormittavaa työtä. Työssä on paljon toistoliikkeitä ja hartialinjan yläpuolella tapahtuvaa työskentelyä, mikä pitkällä aikavälillä saattaa aiheuttaa työkyvyttömyyteen johtavia tuki- ja liikuntaelämistön sairauksia. Työturvallisuus ja työhyvinvointi olivatkin merkittäviä tekijöitä maalausrobotti-investointia suunniteltaessa.

Maalauslaadun varmistaminen oli myös tärkeä tekijä investointia suunniteltaessa. Relicomp valmistaa myös isoja sarjakokoja, jolloin maalauksen tasalaatuisuus korostuu entistä enemmän. Suuret sarjakoot ovat ihanteellinen kohde robotille ja automaatiolle. Tämä johtuu useista tekijöistä, jotka sisältävät sekä taloudellisia että teknisiä näkökulmia. Erityisesti maalauslinjalla suuret sarjakoot yhdistettynä automaatioon tarjoavat merkittäviä etuja niin laadullisesti kuin taloudellisestikin.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli saattaa Relicomp Oy:llä jauhemaalaaamon maalausrobotti osaksi jokapäiväistä maalausprosessia.

Tämän projektin yhteydessä otettiin käyttöön myös RobotStudio-etäohjelmointisovellus sekä sen mahdollistama simulointi optimoimaan maalattavien kappaleiden ripustustiheyttä ja sitä kautta mahdollisesti parantamaan maalaamon päivittäistä tehokkuutta.

RobotStudiolla voidaan simuloida maalaamon maalauskaappia sekä kappalekuljetinta, jolloin samalla simuloinnilla pystytään katsomaan robottiohjelmat, optimaaliset ripustustiheydet sekä kuljetinnopeudet.

1.3 Työn rakenne

Teoriaosuudessa käydään läpi robotiikan, jauhemaalauksen ja RFID-tekniikan peruskäsitteitä, toimintaperiaatteita ja säädöksiä.

Tämän jälkeen robotin käyttöönotto ja ohjelmointi osuudessa käsitellään robottien etäohjelmointia, eri toimintatapoja sekä sitä, miten robotin tuominen maalaamoon muuttaa maalaamon päivittäistä toimintaa.

Työn lopussa käsitellään työssä saavutettuja tuloksia ja pohditaan, miten työn aikana tunnistettuja kehittämiskohteita ja riskejä lähdetään mahdollisesti parantamaan.

1.4 Yritysesittely

Relicomp Oy on suomalainen metalliteollisuuden yritys, joka on erikoistunut ohutlevyteknologiaan. Yritys on perustettu vuonna 1992 ja se toimii Kurikassa. Relicomp Oy on perheyri-tytys, joka aloitti toimintansa perustajansa autotallista Kauhajoella ja on kasvanut yli 28 miljoonan euron liikevaihtoon työllistäen noin 140 metallialan ammattilaista.

Relicomp Oy tarjoaa asiakkailleen kattavaa palvelua aina tuotekehityksestä ja suunnittelusta komponenttien valmistukseen ja järjestelmätoimituksiin. Yrityksen vahvuutena on laaja asiantuntemus, pitkäaikaiset kumppanuudet sekä jatkuva panostus toimintaprosessien parantamiseen, mikä on nostanut Relicompin ohutlevyteknologian kehityksen kärkeen kotimaassaan.

Relicomp valmistaa kaikki tuotteensa itse, mikä mahdollistaa korkean laadun varmistamisen. Yritys painottaa erityisesti laatu- ja kehitystyötä, sekä osaavaa ja sitoutunutta henkilökuntaa menestyksensä taustalla.

2 TEORIA

2.1 Jauhemaalalaus

Märkemaalaukseen verrattuna jauhemaalalaus on hyvin erilainen menetelmä (Tunturi & Tunturi, 1999, s. 87–88). Jauhemaalauksessa maali on levitysvaiheessa kuivana jauheena, jolloin se levitetään pilvimäisesti kappaleen ympärille. Jauhemaalauksessa itse jauhemaalali ja maalattava kappale varataan sähköisesti, jolloin maalijauhe tarttuu sähköstaattisesti kappaleen pintaan. Kappaleen varaus tapahtuu ripustimen kautta ja maalijauheen varaaminen tapahtuu ruiskutuspuistoolin kärjessä olevan elektrodin kautta. Märkemaalauksessa taas maali ruiskutetaan suoraan kappaleen pintaan, joskin märkemaalauksessakin voidaan tietyissä tapauksissa käyttää sähköstaattista ruiskutusta parantamaan maalin leviämistä hankaliin paikkoihin.

Jauhemaalauksella on märkemaalaukseen verrattuna paljon etuja, mutta myös huonoja puolia (Jokinen ym., 2001, s. 120–121). Nykypäivänä jauhemaalauksen edut ovat kuitenkin niin merkittävät, että jauhemaalalaus yleistyy teollisuudessa koko ajan enemmän ja enemmän märkemaalauksen kustannuksella.

2.2 Jauhemaalauksen työturvallisuus

Maalausmenetelmänä jauhemaalauus on märkämaalausta turvallisempaa (Jokinen ym., 2001, s. 133). Jauhemaalaukseen kuitenkin sisältyy muutamia työturvallisuusriskejä:

- Hieno jauhepöly

- Jauhemaalipölyn partikkelikoko on paikoittain alle 5µm, jolloin hieno jauhepöly voi sisään hengitettäessä tunkeutua syvällekin keuhkorakkuloihin, josta se ei enää normaalin hengityksen mukana poistu (Jokinen ym., 2001, s. 133–134).

- Maalasideaineiden vaikutus

- Jauhemaaleissa käytetyillä sideaineilla voi olla herkistäviä vaikutuksia, kun ne pääsevät ihokosketukseen tai hengitysteihin (Jokinen ym., 2001, s. 133–134). Yleisimpiä herkistäviä sideaineita ovat TGIC:tä sisältävä polyesterijauhe sekä epoksijauhemaalit. Näistä kahdesta TGIC:n käytöstä ollaan kuitenkin luopumassa.

- Jauheräjähdykset / pölyräjähdykset

- Jauhemaalit itsessään eivät ole tulenarkoja, ja niitä voidaan säilyttää ja varastoida normaalisolosuhteissa (Jokinen ym., 2001, s. 133–134). Ilmassa jauhemaalipitoisuuden ollessa yli 5 g/m³ tulee vaara, että jauhepöly syttyy ja aiheuttaa pölyräjähdyksen. 5 g/m³ raja-arvo koskee vain testaamattomia jauheita. Testatuilla jauheilla pitoisuuden raja-arvo voi olla moninkertainen.

2.3 Robotin rakenne

Teollisuuden roboteille on yleisesti määritelty tietyt raamit, joiden puitteissa kappaleenkäsittelylaitetta tai manipulaattoria voidaan pitää robottina (Latokartano ym. 2023, luku 2.1). Laitteet tulee olla uudelleen ohjelmoitavissa, niiden täytyy olla yleiskäyttöisiä sekä niissä pitää olla vähintään kolme vapausastetta. Kansainvälinen robotiikkajärjestö IFR (International Federation of Robotics) on määritellyt nämä raamit ja niitä löytyy myös standardin ISO 8373:2021 alta. Näiden perusteella esimerkiksi hyllystöhissit eivät ole robotteja, vaikka ne olisivatkin täysin automatisoituja.

Teollisuusrobotti on siis kaikessa yksinkertaisuudessaan kone, joka siirtää tai liikuttaa työkalun tai välineen kiinnityspistettä halutulla tavalla haluttuun pisteeseen (Heinonkoski ym., 2008 s. 110). Robotin tekemät liikeradat voivat olla ennalta ohjelmoituja, toimintaympäristön perusteella valittuja tai robotin antureiden tai lisälaitteiden havaintojen perusteella määriteltyjä.

Teollisuudessa käytetyt robotit on usein jaettu eri luokkiin perustuen niiden mekaaniseen rakenteeseen ja liikekoordinaatistoon (Heinonkoski ym., 2008 s. 111). Näitä luokkia kuvailaan joko rakenteeseen tai koordinaatistoon viittaavilla termeillä esimerkiksi rinnakkaisrakenteinen, napakoordinaatisto, kiertyvänivelinen yms.

2.4 Robotti ja työturvallisuus

Robottiikan turvallisuutta Suomessa ohjeistaa vuonna 1995 voimaan tullut konepääätös (Jokinen ym., 2001, s. 160). Konepääätöstä sovelletaan uusiin koneisiin, sekä ETA-alueen ulkopuolelta tuleviin koneisiin. Konepääätös ei kosketa muutamaa tiettyä koneryhmää. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi käsivoimin toimivat koneet (paitsi nostolaitteet) sekä laitteet, jotka toimivat jonkin toisen direktiivin alla, esimerkiksi ajoneuvot.

Konepääätös ei itsessään koske pelkästään rajojen yli kulkevia koneita, vaan se koskee myös kaikkea kotimaan konekauppaa (Jokinen ym., 2001, s. 160). Yleisesti ottaen konepääätös koskee sitä osapuolta, joka saattaa koneen markkinoille. Perusajatus on, että joku vastaa koneen tai kokonaisuuden turvallisuudesta ja vaatimuksenmukaisuudesta.

2.5 Robotin ohjausjärjestelmä

Robottien omat ohjausjärjestelmät ovat reaaliajassa toimivia prosessitietokoneita, jotka ohjaavat robottia ja robotin toimilaitteita tuhansia kertoja sekunnissa sekä pystyvät reagoimaan robotilta tuleviin signaaleihin millisekunneissa (Aalto & Kuivanen, 1999, s. 34).

Robotin ohjausjärjestelmät koostuvat yleisesti keskusyksiköstä, massamuistista, käsiohjaimesta (pendant) ja virtalähteestä (Aalto & Kuivanen, 1999, s. 34). Robotin ohjausjärjestelmän piirteisiin ja toimintoihin kuuluvat tavallisesti seuraavat asiat:

- Ohjelmien tulkinta liikekäskyiksi
- Toimilaitteiden takaisinkytketty ohjaus
- Toimintaympäristön havainnointi antureiden avulla
- Muualla tehdyn ohjelman ymmärtäminen
- Robotin sisäisen toiminnan tarkkailu eli itsediagnostiikka

Robotin ohjausta pidetään tietojenkäsittelynä havainnollisimmillaan (Aalto, H., Kuivanen, R. (1999). S. 35). Robotin toiminnassa virheet ja väärät liikekäskyt huomataan heti joko törmäyksinä tai väärinä liikkeinä, ellei robotti pysäytä ohjelman suorittamista virheilmoitukseen. Robottien ohjauksessa ja ohjausjärjestelmissä perusajatuksena on, että robotti ei liiku, ellei kaikki ohjelman puolesta ole kunnossa.

Robottien ohjausjärjestelmällä on viisi pääasiallista tehtävää:

- **Liikeohjaus**

- Työkalujen tai laitteiden ohjaus haluttuun paikkaan halutulla liikkeellä
- Ohjelmien aloituksen, ajon ja lopetuksen aikana suoritettavat liikkeet (Aalto, H., Kuivanen, R. (1999). s. 35).

- **Ohjelmointiin liittyvät tehtävät**

- Liike- ja paikkatietojen opettaminen ja tallentaminen ohjelmaan käsiohjaimen eli pendantin avulla
- Ohjelmien tarkastaminen hidastetulla nopeudella ennen varsinaista tuotantokäyttöä
- Erinäisten ohjelmarakenteiden luominen robottiohjelmaan
- Ohjelmien korjaaminen ja muuttaminen
- Ohjelmien tallentaminen, lataaminen ja poistaminen (Aalto, H., Kuivanen, R. (1999). s. 35).

- Ohjelmien suoritus

- Robottiohjelman askeltaminen yksi liikekäsky kerrallaan
- Ympäristön ja lisälaitteiden vaikutus liikeratoihin ja ohjelman eri vaiheiden suoritusjärjestykseen. (Aalto, H., Kuivanen, R. (1999). s. 35).

- Turvallisuustoiminnot

- Hätäpysäytys ja ei-haluttujen tai virheellisten liikkeiden estäminen
- Robotin diagnostiikkahuoltoa ja korjausta varten
- Robotin toiminnan resetointi ja käynnistäminen esimerkiksi sähkökatkoksen jälkeen (Aalto, H., Kuivanen, R. (1999). s. 35).

- Huoltotehtävät ja käyttöönotto

- Robotin osittainen toiminta huoltotehtäviä varten, esimerkiksi robotin käsivarsien jarrut ovat avattavissa robotin liikuttamista varten ilman sähkömoottoreita (Aalto, H., Kuivanen, R. (1999). s. 35).

2.6 Robotti maalauksessa

Maalaaminen on yksitoikkoista ja ruumiillisesti kuormittavaa työtä epämiellyttävissä olosuhteissa (Kolehmainen, 2023, luku 11.1.3). Nykypäivänä suojaruuvit maalauksessa ovat hyvin pitkälle kehittyneitä ja riskit on minimoitu, mutta silti maalareilla on riski altistua vaarallisille kemikaaleille. Tästä syystä maalaus sarjatuotannossa on erinomainen robotisoitava tehtävä. Autoteollisuudessa robotit ovat olleet maalauksikäytössä jo vuosikymmeniä, mutta viimeisen parinkymmenen vuoden aikana robottimaalaus on yleistynyt myös kappaletuotannossa. Robotisoidussa maalauksessa maalausjärjestelmä on hyvin pitkälle samankaltainen, kuin silloin jos ihminen on maalaamassa. Maalausrobotit ovat yleisesti oma lukunsa ja ne poikkeavat normaaleista roboteista siinä määrin, että maalausrobotit

ovat EX-tilassa ja näin ollen robottien pitää olla ilmatiiviitä ja laitteiston pitää olla ylipaineistettu.

2.7 Robotin etäohjelmointi

Nykyäänä etäohjelmointi on eniten käytetty ohjelmointitapa robotiikassa (Kolehmainen, 2023, luku 11.1.3). Etäohjelmoinnilla (Offline Programming, OLP) tarkoitetaan robotin ohjelmointia täysin robotin ja tuotannon ulkopuolisessa yksikössä. Etäohjelmointiin on useita eri sovelluksia eri robottivalmistajilta. Etäohjelmoinnin ehdottomia etuja on robotin ohjelmointi täysin ilman, että tuotanto häiriintyy tästä. Lisäksi useilla etäohjelmointisovelluksilla voidaan myös simuloida tuotantosoluja ja robotin käyttöönottoa, jolloin itse tuotannossa tapahtuvan käyttöönoton aika voi lyhentyä useasta viikosta jopa yhteen päivään. Etäohjelmoinnilla voidaan myös välttää tilanteita, joissa robotin ohjelmointi aiheuttaa tarpeettomia riskejä esimerkiksi ahtaiden tilojen tai muuten vaikeiden olosuhteiden myötä.

Useimpien robottivalmistajien robotit ymmärtävät avointa tekstiä, jolloin etäohjelmointi voi yksinkertaisimmillaan tapahtua tavallisimpien tekstieditorien avulla esimerkiksi Microsoft Word tai Notepad (Kolehmainen, 2023, luku 11.1.3). Näissä tapauksissa robotin ohjelmointikoodia ei tarvitse erikseen kääntää robotin ymmärtämään muotoon.

Yksi etäohjelmointityyppi on malli- ja muototietoon pohjautuva ohjelmisto, ja ne tarjoavat paljon muitakin mahdollisuuksia kuin pelkästään robotin liikekäskyjen luomista (Kolehmainen, 2023, luku 11.1.3). Näiden avulla voidaan testata esimerkiksi eri oheislaitteiden toimintaa ja I/O:ta.

2.8 Robotin simulointiympäristö

Teollisuusrobotiikasta puhuttaessa simuloinnilla tarkoitetaan tietokoneella tapahtuvaa robotin ja sen toimintaympäristön sekä oheislaitteiden mallintamista (Lapinleimu ym. (1997) s. 319). Simuloinnin perusajatuksena on tietokoneella kokeellisesti manipuloida robottijärjestelmää ja analysoida sen pohjalta saatavia tuloksia. Robotiikkajärjestelmän mallin parametrejä muuttamalla voidaan hakea haluttuja tuloksia sekä niiden pohjalta tehdä loogisia päätelmiä järjestelmän toiminnasta kokonaisuutena.

Useimmiten työntekijöillä on hyvinkin selkeä näkemys järjestelmistä ja niiden toiminnassa esiintyvistä ongelmista (Lapinleimu ym. (1997) s. 319). Ongelmien korjaamiseen on monesti tarjolla useita eri vaihtoehtoja, mutta näiden eri vaihtoehtojen testaamiseen sisältyy paljon erilaisia riskejä ja tämän takia nämä korjaavat toimet eivät kovinkaan usein päädy käytäntöön asti. Simuloimalla järjestelmää voidaan suoraan simuloinnissa testata korjaavia toimenpiteitä sekä niiden vaikuttavuutta järjestelmään kokonaisuutena. Tietokonesimuloinnilla korjaavien toimien testaaminen on paljon helpompaa, koska simuloinnilla testaamisessa välttyään esimerkiksi tuotantolaitteiden siirtelyltä ja työpisteiden muokkaamiselta. Näiden asioiden pohjalta saadaan tuotannon muutostöihin liittyvät riskit ja suunnitteluun käytetty aika minimoitua.

Yleisimmät robottivalmistajat (ABB, Fanuc, Kuka, Yaskawa jne.) tarjoavat kattavasti omia merkkikohtaisia ohjelmistoja, jotka on tarkoitettu kyseisen valmistajan oman robotin simulointiin ja ohjelmien luomiseen (Kolehmainen, 2023, luku 11.1.3). On olemassa myös yleiskielisiä ohjelmointisovelluksia, jotka tukevat yleisimmin käytössä olevien robottien ohjelmointia ja simulointia. Yleiskielisistä ohjelmointisovelluksista on esimerkiksi Delfoi robotics.

Merkkikohtaisten etäohjelmointisovellusten ominaisuuksissa ja käytettävyydessä on paljon samaa, mutta myös joitain eroavaisuuksia (Kolehmainen, 2023, luku 11.1.3). Nämä merkkikohtaiset sovellukset tarjoavat hyvin pitkälle samat perusominaisuudet kuten esimerkiksi simulointimallien luomiset joko 3D-mallintamalla suoraan ohjelmointisovelluksessa tai 3D-mallien tuomisessa ohjelmointisovellukseen. Lisäksi eri toiminnallisuuksien ja ominaisuuksien määrittäminen noudattaa pitkälti samaa kaavaa kaikissa merkkikohtaisissa sovelluksissa.

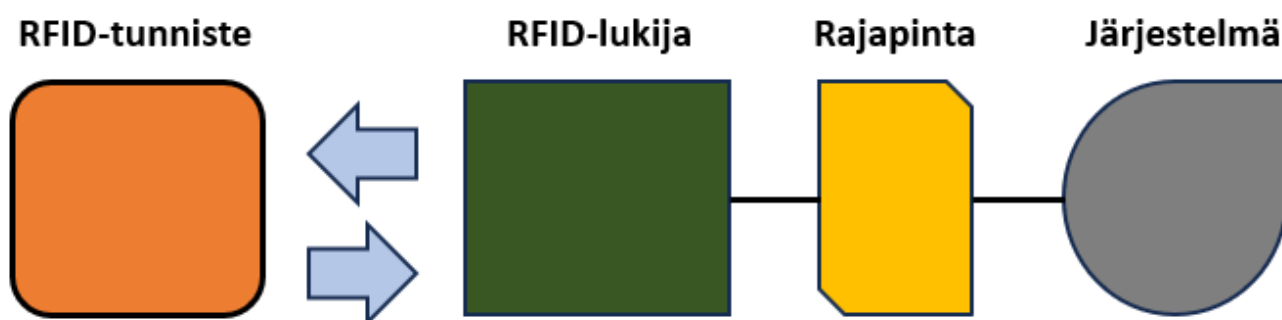
2.9 RFID

RFID (Radio Frequency Identification) eli radiotaajuustunnistus on tekniikkaa, jossa elektroniselle tunnisteelle eli RFID-tägille on tallennettu pieni määrä tietoa (Suomen Standardisoimisliitto, 2010 s. 9). Tiedon muoto määräytyy käyttökohteen ja taustajärjestelmän mukaan. RFID-laitteistossa on aina itse tunniste (tägi) ja lukijalaite, jolloin tägi on tietoa kuljettava komponentti ja lukijalaite taas siirtää tägillä olevan tiedon taustajärjestelmiin (kuva 1).

Teollisuudessa RFID-tekniikkaa käytetään yleisesti siten, että RFID-tägi on kiinnitettyinä johonkin kappaleeseen, objektiin tai kuljettimeen ja tägin avulla tutkitaan kappaleen sijaintia, nopeutta tai kappaleen tunnistetietoja lukijan avulla (Suomen Standardisoimisliitto, 2010 s. 9).

Nykypäivänä RFID- tekniikka on enenevässä määrin syrjäyttämässä perinteiset viivakooditunnisteet teollisuudessa (Suomen Standardisoimisliitto, 2010 s. 9). Tämä johtuu RFID:n monista eduista verrattuna perinteisiin tulostettuihin viivakoodeihin. RFID:n suurimpana etuna viivakoodeihin nähden on se, että RFID ei vaadi visuaalista kontaktia, jolloin tunnisteen paikalla ja asennolla ei ole niin suurta merkitystä, kuin viivakoodilla on.

Edellä mainittujen etujen lisäksi RFID tägien koko ja kestävyys ovat kasvaneet kovaa vauhtia viime vuosikymmeninä. Pienimmillään tägit voivat olla mikrometrien kokoisia ja kestävät useita vuosia kovaakin käyttöä teollisuuden olosuhteissa (Suomen Standardisoimisliitto, 2010 s. 9).



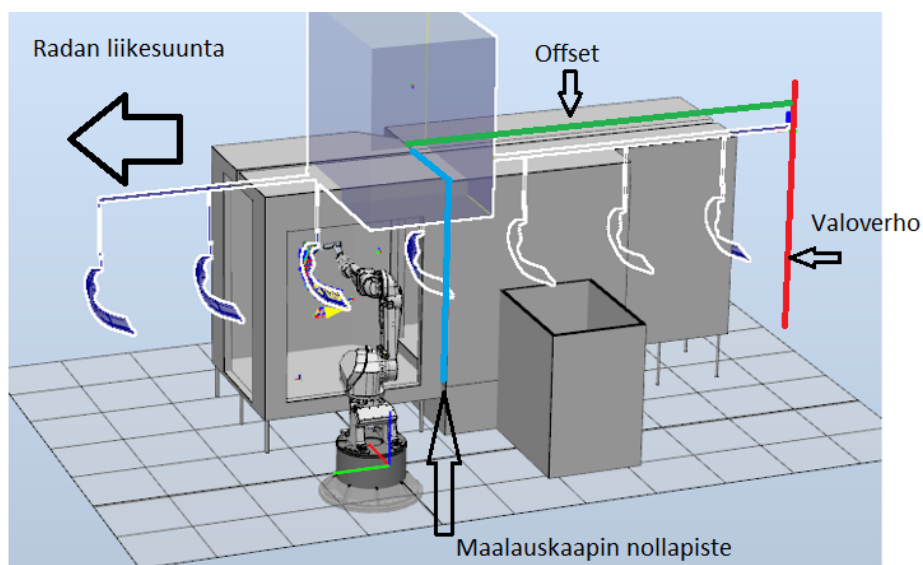
Kuva 1. RFID-järjestelmän kuvaus.

3 ROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA OHJELMOINTI

3.1 Järjestelmän toimintaperiaate

Maalausrobotti toimii Conveyor tracking-järjestelmän pohjalta. Conveyor tracking on robotin taustaohjelma, joka toimii siten, että maalausradassa on kuljettimen ratamoottoriin kytkettynä pulssianturi, joka lähettää robotille pulssisignaalia I/O porttiin. Porttiin tuleva pulssisignaali kalibroidaan robotin taustaohjelmaan siten, että robotti osaa muuttaa pulssin liiketiedoksi. Liiketiedon pohjalta robotti osaa seurata radan positiota ja tämän perusteella robotti pystyy seuraamaan ja kiinnittämään kuljettimella olevan kappaleen nollapisteen robotin omaan työkoordeinaatistoon.

Tässä työssä käsiteltävä järjestelmä on suunniteltu ja toteutettu siten, että ennen maalauskoppeja on valoverho, jonka läpi maalattavat kappaleet kulkevat (kuva 2). Valoverholta tulevan signaalin perusteella robotti kiinnittää virtuaalisesti kappaleelle oman WObj nollapisteen. Robotille on määritelty kuljettimen offset, joka kertoo, kuinka pitkä matka valoverholta on itse robotin maalauskaapin nollapisteeseen. Maalauskaapin nollapiste on määritelty kopin lattiatasoon sen oviaukon kohdalle, mistä kappaleet kuljettimella maalauskaapille tulevat.

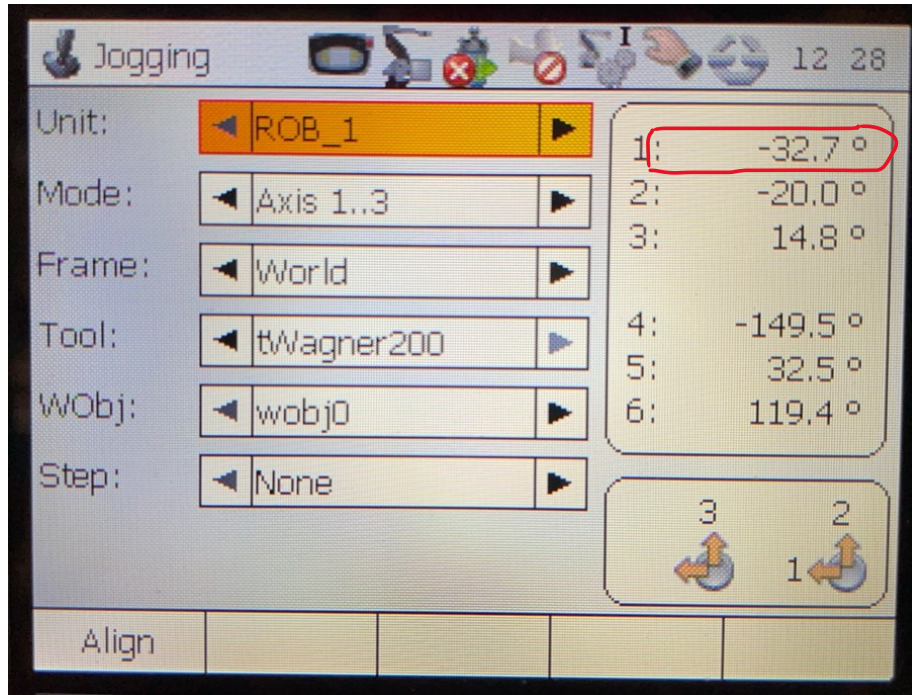


Kuva 2. Maalausjärjestelmän kuvaus.

Kun maalattava kappale saavuttaa maalauskopin nollapisteen, robotti kiinnittää kappaleen nollapisteen robotin omaan työkohdekoordinaatistoon ja maalausrobotti alkaa suorittaa ohjelmoitua ohjelmaa. Robotin ohjelmaan voidaan myös lisätä komento, jolla voidaan määrittää maalauskopin nollapisteestä etäisyys, jonka kuljetin voi vielä nollapisteen jälkeen liikkua, ennen kuin robotti alkaa suorittaa maalausohjelmaa. Tämä RelDist-komento määrittää millimetreinä etäisyyden robotin oman työkohdekoordinaatiston nollapisteestä ennen kuin robotti aloittaa ohjelman suorittamisen. Tämä ominaisuus on tarpeellinen niiltä osin, mikäli maalattava kappale on sen mallinen, että ensimmäisen liikekäsken paikka ja orientaatio on robotin ulottuvuuksien ulkopuolella kappaleen ollessa nollapisteen kohdalla.

3.2 Robotin liikealueet ja kalibrointi

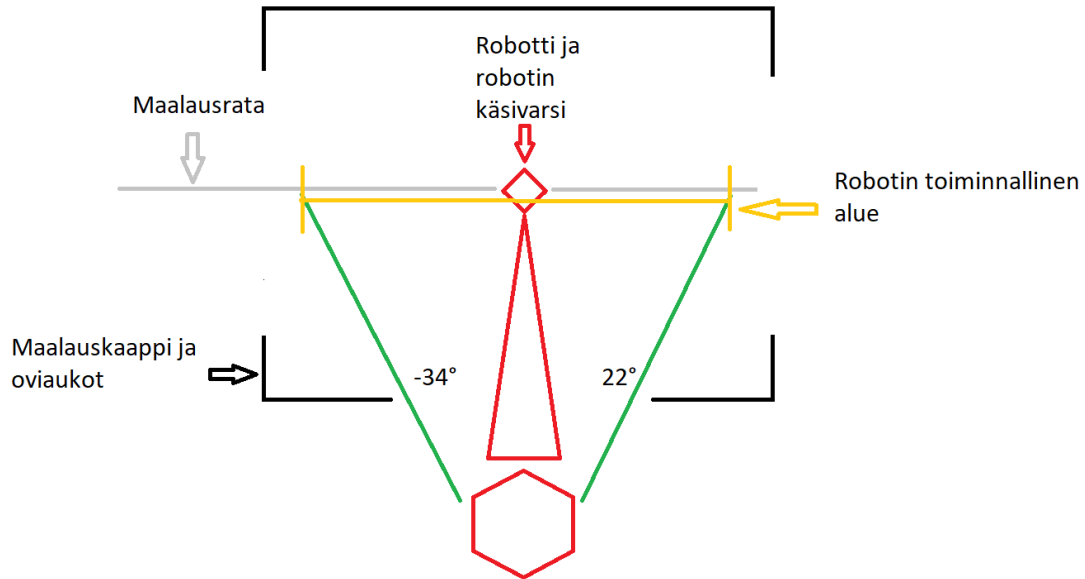
Maalaamossa robotti sijaitsee maalauskopin ulkopuolella ja robotin käsivarsi kulkee maalauskaapin oviaukosta maalauskaapin sisälle maalaamaan kappaletta. Kun robotin käsivarsi liikkuu oviaukosta maalauskaapin sisälle, on robotin 1-akselille määritelty asterajat kääntyvyydelle, ettei robotti osu oviaukon karmeihin. Robotti ei kuitenkaan omassa järjestelmässään käytä asteita, vaan robotilla on omat paikkatiedot akselien eri asennoille ja näiden paikkatietojen perusteella voidaan laskea kunkin akselin paikkatietoa asteina. Myös robotin pendant näyttää akselien asennon asteina (kuva 4), mutta turvarajoja määriteltäessä paikkatieto on muutettava robotin ymmärtämään muotoon.



Kuva 3. Robotin 1-akselin positio asteina pendantista katsottuna.

ABB:n omassa ohjausjärjestelmässä robotin koordinaatistotieto on ääriasennosta toiseen $-1,832 - 1,832$, ja tämä tarkoittaa robotin 1-akselin kiertymistä akselinsa ympäri 360° . Tästä robotin omasta koordinaatistotiedosta voidaan johtaa kyseinen tieto asteiksi kaavalla $(x/180)*3,14 = y$, jossa x merkitsee akselin asentoa pendantin ilmoittamina asteina ja y merkitsee akselin asentoa robotin ohjausjärjestelmän omana koordinaatistotietona. Kaavalla siis voidaan muuttaa asteet robotin koordinaatistotietoon ja toisinpäin.

Ensimmäisessä maalauskaapin versiossa robotin 1-akselin kääntyvyys oviaukossa oli $-34^\circ - 22^\circ$, Kuva 4. Tällä 1-akselin liikeradalla robotin toiminnallinen alue jäi auttamatta liian pieneksi ja robotti ei ehtinyt maalaamaan monimutkaisia kappaleita ilman, että maalausraataa jouduttaisiin pysäyttämään.



Kuva 4. Robotin toiminnallisen alueen kuvaus.

Pieneksi jäänyt oviaukko suurennettiin leventämällä oviaukkoa 20 cm molemmista sivuista, sekä 15 cm yläreunasta. Suurennetun oviaukon ansiosta robotin ääri rajoja pystyttiin korjaamaan vasemmasta reunasta -34 asteesta -42 asteeseen ja oikeasta reunasta 22 asteesta 31 asteeseen. Tällä muutoksella robotille saatiin yli metri lisää toiminnallista aluetta. Robotin omaksi koordinaatistotiedoksi muutettuna, akselin arvot olivat oikeasta reunasta (Upper Joint Bound) 0,540 ja vasemmasta reunasta (Lower Joint Bound) 0,732 (kuva 5 ja 6).

Type	Name	Independent Joint	Upper Joint Bound	Lower Joint Bound
Acceleration Data	CNV1	Off	1.25664E+06	-1.25664E+06
Arm	rob1_1	Off	0.54	-0.732
Arm Check Point	rob1_2	Off	2.182	-1.135
Arm Load	rob1_3	Off	1.135	-1.222
Brake	rob1_4	On	12.56	-12.56
Control Parameters	rob1_5	On	12.56	-12.56
CSS	rob1_6	On	62.83	-62.83

Kuva 5. Robotin 1-akselin turvarajat.

3.3 Turva- ja häiriöpysäytys

Nykypäivänä ABB:n robotteihin on saatavilla ABB:n oma SAFEMOVE Robot safetyoption. Tällä ominaisuudella voidaan luoda robotin ympärille virtuaalinen turvahäkki robotin akselien liikettä rajaamalla. Luvussa 3.2 on robotille määritelty turvarajat tätä SAFEMOVE ominaisuutta hyödyntäen. Kun robotilla on SAFEMOVE käytössä, robotin omassa taustaohjelmassa on tälle ominaisuudelle käsky, jonka funktio on ainoastaan pysäyttää robotti ja ohjelman suorittaminen heti, kun robotti saavuttaa jonkin määritellyistä turvarajoista. SAFEMOVE toimii tällä robotilla yhtenä turvapysäytyksenä, mikäli robotin käsivarsi aikoo ohjelmaa suorittaessa törmätä maalauskaapin oviaukon reunoille.

Robotin taustaohjelmiin on määritelty myös toinen turvapysäytys, joka pysäyttää robotin siinä tilanteessa, mikäli RFID-tägin lukeminen epäonnistuu. Tämän turvapysäytyksen tarkoitus on pysäyttää rata ja herättää henkilökunnan huomio, mikäli ohjelman lukemisessa tulee ongelma.

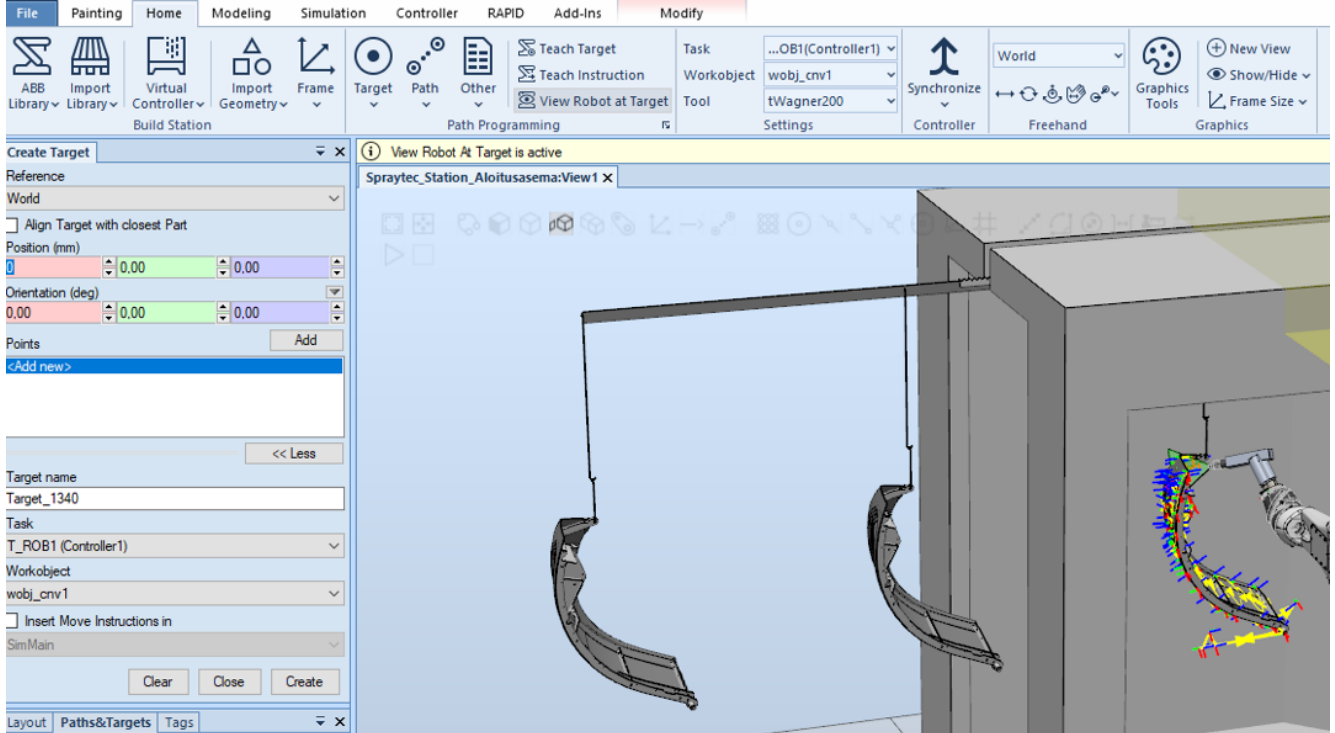
3.4 Etäohjelmointi

Robotin maalausohjelmien ohjelmointiin käytettiin ABB RobotStudio -etäohjelmointisovellusta. Työssä etäohjelmointia käytettiin offline-tilassa, ja ohjelmat vietiin robotille manuaalisesti.

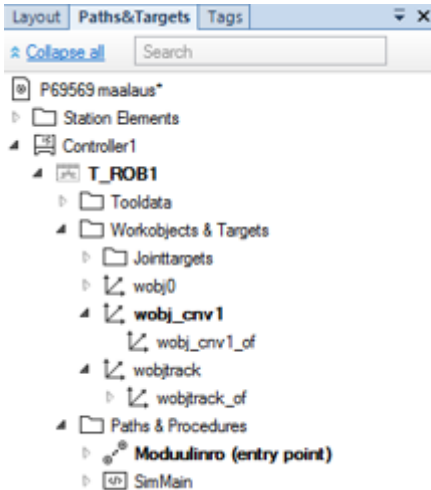
Ensimmäinen vaihe RobotStudiolla ohjelmoimisessa on maalattavan kappaleen geometrian luominen ja tuominen RobotStudio ympäristöön. Maalattavan kappaleen geometriat luotiin Solid Works CAD -ohjelmistolla ja geometriaan lisättiin kappaleen ripustuksessa käytettävät ripustuskoukut, jolloin saatiin RobotStudion ympäristöön mahdollisimman tarkasti todellisuutta kuvaava geometria, johon maalausohjelman pisteet luodaan.

ABB RobotStudiolla ohjelmoitaessa on useampia eri vaihtoehtoja liikekäskyjen luomiselle. Voidaan esimerkiksi rakentaa suoria liikekäskyjä maalattavan kappaleen pinnalle. Nämä liikekäskyt voidaan tehdä ainoastaan maalattavan kappaleen 3D-mallin reunoille, joten maalausohjelmia tehtäessä tämä vaihtoehto ei ole optimaalisin. Toinen ja tässäkin työssä käytetty tapa on luoda targetteja eli paikkapisteitä suoraan maalattavan kappaleen pinnalle (kuva 7). Tämä tapa on maalausohjelmien luomiseen huomattavasti parempi, koska

paikkapisteitä voidaan luoda helposti suorillekin pinnoille ja näin ollen liikekäskeyjen rakentaminen on tehokkaampaa, eikä se ole rajoitettu maalattavan kappaleen ominaisuuksien mukaan. Tällä tavalla ohjelmoitaessa pisteet luodaan rakennepuun WObj:n alle ja kun kaikki halutut targetit ovat valmiina, siirretään targetit manuaalisesti rakennepuussa halutun moduulin alle, jolloin sovellus rakentaa automaattisesti targettien perusteella liikekäskeyt (kuva 8).



Kuva 6. Targettien, eli paikkapisteiden luominen ABB-RobotStudiolla.



Kuva 7. Robotstudion rakennepuu.

3.5 Ohjelmien luku ja kirjoitus

Maalausohjelmien kirjoituksessa ja lukemisessa käytetään hyväksi RFID-tekniikkaa. RFID-tekniikka sopii täydellisesti kyseiseen prosessiin, koska RFID-tägit yleisesti kestävät hyvinkin kovaa käyttöä.

Maalausradassa RFID-tägit ripustetaan maalausrataan. Tägit kulkevat luonnollisesti myös esikäsitteilyn, kuivauksen sekä polttouunin läpi, jolloin niiden tulee kestää hyvin kuumuutta, kemikaaleja ja vettä.

RFID-lukija on asennettu maalaamoon ketjukuljettimen viereen ennen valoverhoa, jolloin robotti lukee ohjelman ennen kuin maalattava kappale menee valoverhon ohi. Näin robotti osaa liittää oikean maalausohjelman maalattavaan kappaleeseen. Robotin taustaohjelma lukee RFID-tägitä saatavan maalausohjelman moduulinumeron eli tägeihin kirjoitetaan vain maalausohjelman numero.

3.6 RFID-tägin kiinnitys rataan

Robottiohjelmien lukua varten oleva RFID-tägien lukulaite on asennettu maalausradan ketjukuljettimen viereen ennen robotin valoverhoa. Tämän takia ohjelmoitavat tägit tulee ripustaa maalausrataan ennen maalattavia kappaleita.

RFID-tägien ripustusta varten suunniteltiin oma kiinnitysteline tägille sekä työkalu tegin ripustamista ja poistamista varten.

3.7 Conveyor tracking

Maalausrobotti käyttää robotin omaa conveyor tracking -ohjelmaa, joka tarkoittaa yksinkertaisesti kuljettimen seurantaa.

Robottijärjestelmässä kappaleen paikkatietosignaali saadaan valoverholta, jonka jälkeen conveyor tracking seuraa kappaleen paikkatietoa, kunnes kappale saavuttaa maalausrobotin maalauskopin.

Kuljettimen seurantaan on määritelty tietyt parametrit, jonka pohjalta järjestelmä toimii.

- Offset määrittää etäisyyden valoverholta robotin maalauskopin nollapisteeseen.
- Start range määrittää maalauskopin nollapisteestä etäisyyden takarajalle, jolloin robotin on mahdollista aloittaa ohjelman suorittaminen.
- Drop range määrittää etäisyyden maalauskopin nollapisteeltä pisteeseen, jolloin conveyor tracking lopettaa kappaleen paikkatiedon seuraamisen, ellei robotin ohjelmassa seurannan lopetusta ole erikseen määrätty.

4 TYÖN TULOKSET JA POHDINTAA

Maalausrobotti saatiin perusasetuksiltaan käyttökuntoon suunnitellusti. Käyttöönottoa tehtäessä törmättiin myös ongelmaan robotin taustaohjelmissa, ja se keskeytti käyttöönoton hetkeksi. Robotin taustaohjelmissa maalausohjelman lukeminen ei osannut ottaa huomioon kuljetinseuranta ja sen jonossa olevia tuotteita, jolloin uuden maalausohjelman luetuaan taustaohjelmat vaihtoivat robotille heti uuden maalausohjelman, vaikka robotin offset alueella oli vielä edellisellä ohjelmalla maalattavia tuotteita. Taustaohjelman korjaus saatiin laitetoimittajalta.

Robotille luotiin myös omat vakioidut koodirivit ohjelmien aloitukseen ja lopetukseen, jolloin ohjelmoinnissa voidaan suoraan käyttää kopioimista ja liittämistä, eikä ohjelmien aloitusta ja lopetusta tarvitse erikseen kirjoittaa. Robotin normaalissa kierrossa robotti aloittaa kotiasemasta, siirtyy valmiusasemaan ja suorittaa ohjelmakierron. Ohjelman jälkeen robotti palaa valmiusaseman kautta kotiasemaan. Ohjelman lopetukseen lisättiin käskyjä siten, että ohjelman loputtua robotti ajaa valmius/odotusasemaan ja tarkistaa onko työjonossa töitä. Mikäli jonossa on töitä, robotti ei aja kotiasemaan, vaan jää valmiusasemaan odottamaan seuraavaa kappaletta. Jos jonossa ei ole töitä, robotti ajaa kotiasemaan.

Maalausrobotin jauhemaalijärjestelmän ohjauspaneeli sijaitsee robotin oviaukon oikealla puolella, jolloin se on käsimaalarin ulottuvilla maalinsyötön säätämistä varten. Huomattiin, että maalijärjestelmän säätämiselle pitäisi olla oma ohjauspääteensä maalauskopin ulkopuolella, jolloin robotin maalatessa pystyttäisiin kesken ajon tekemään hienosäätöä maalausjärjestelmän arvoihin.

Työn ohessa tutkittiin myös mahdollisuutta 3D-tulostaa maalausruiskun jauhesuuttimia, ja tästä valmistettiin ensimmäinen koekappale testiin. Jauhesuuttimien suunnittelu ja tulostus on varmasti yksi seuraavista kehityskohteista maalausrobotin suhteen. Robotin akselien rajalliset kierrot ja liikkeet aiheuttavat merkittävän määrän työtä ohjelmoitaessa, kun jauhepilven muotoa, toimintaa ja robotin akselien konfiguraatioita joudutaan jatkuvasti arvioimaan maalausruiskun ollessa eri asennoissa. Räätelöidyillä jauhesuuttimilla on potentiaalia vähentää ohjelmointiin käytettävää aikaa ja vaivaa, mikäli jauhesuutin saadaan toimimaan halutulla tavalla. Itse valmistetuilla jauhesuuttimilla voidaan mahdollisesti myös

nostaa maalausjärjestelmän jauheensyöttöarvoja, mikä tarkoittaa suoraan sitä, että maalausrobotin liikkeitä voidaan nopeuttaa ja täten saadaan robotin tahtiaikaa pienemmäksi.

Maalausohjelmien lukeminen RFID-tägeiltä tunnistettiin riskiksi, koska tägien poistaminen maalausradasta on täysin maalaamon työntekijöiden varassa. Rataan unohtunut RFID-tägi voi aiheuttaa robotilla huomattavan törmäysriskin, kun maalausrobottia ajetaan automaattilla. Tähän ongelmaan kartoitetaan ratkaisuksi rataa toista RFID-lukijaa, joka RFID-tägin luettuaan sytyttäisi esimerkiksi merkkivalon ja mahdollisesti antaisi äänisignaalin. Vaihtoehtoisesti rataa voitaisiin sijoittaa esimerkiksi RFID-kirjoituslaite, joka kirjoittaisi rataa mahdollisesti unohdetun RFID-tägin tyhjäksi.

Työssä lähtökohtaisesti lähdettiin ajatuksesta, että robotin myötä pyritäisiin kappaleet maalaamaan täysin automatisoidusti, jolloin useimmat maalattavat kappaleet joudutaan ripustamaan rataa totutusta ja opetetusta toimintatavasta poiketen. Poikkeavasta ripustavasta johtuen lähes jokaiselle automaattisesti maalattavalle kappaleelle laaditaan selkeät kuvalliset ripustusohjeet, joilla pyritään varmistamaan kappaleiden oikeanlainen ripustus. Väärin ripustettu kappale tarkoittaa maalausrobotilla huomattavaa törmäysriskiä.

Poikkeavien ripustustoimintatapojen lisäksi tietyille, haastavan muotoisille kappaleille joudutaan kartoittamaan mahdollisesti räätälöityjä ripustimia, jolloin kappaleet saataisiin optimaaliseen asentoon rataa ja pystyttäisiin tämän myötä maalaamaan kokonaisuudessaan automaattilla.

Kokonaisuudessa työn toteutus oli haastava, koska robotin käyttöönottoa ja testaamista tehtiin täysin maalaamon tuotannon ehdoilla, joten ohjelmatestejä ja kokeiluja päästiin tekemään lähinnä satunnaisten kiinnioloapäivien aikana.

Robotin käyttöönoton kannalta työ oli vaativa myös niiltä osin, että ABB-robottien ohjelmoinnista ei ollut oikeastaan aikaisempaa kokemusta. Monet ohjelmointiin ja kuljettimeen liittyvät asiat jouduttiin testaamaan ja opettelemaan käytännön tasolla suoraan robotilla, koska ABB-robottien conveyor tracking eli kuljettimen seuranta oli myös tehtaassa uusi asia.

LÄHTEET

- Latokartano, J, Skriko, T, Paasio, L, Liljamo, J, Holamo, O, Ahonen, T, Lempiäinen, J, Närhi, J, Karvonen, H, Kapiainen, P, Haapakoski, T, Partanen, A, Siltala, N, Christophe, F. (2023). Teollisuusrobotiikan sovelluksia. K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.) *Teollisuuden Robotiikka*. Suomen Robotiikkayhdistys.
- Kolehmainen, P. (2023). Robottien ohjelmointi. K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.) *Teollisuuden Robotiikka*. Suomen Robotiikkayhdistys.
- Jokinen, I., Kuusela, A., & Nikkari, T. (2001). *Metallituotteiden maalaus*. Opetushallitus.
- Suomen Standardisoimisliitto. (2010). *RFID: Osa 1, Opas, johdatus tekniikkaan = RFID. Part 1, Guide, introduction to technology*. Suomen Standardisoimisliitto.
- Suomen robotiikkayhdistys, Aalto, H., & Kuivanen, R. (1999). *Robotiikka*. Talentum
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V., & Torvinen, S. (1997). *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY.
- Heinonkoski, R., Asp, R., & Hyppönen, H. (2008). *Automaatio – helppoa elämää*. Suomen Automaatioseura.
- Tunturi, P., & Tunturi, P. (1999) (3. painos). *Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt*. Metalliteollisuuden keskusliitto, MET.