



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Valtteri Saukko

MAALAUROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA KÄYTTÄJÄKOULUTUS

ABB Motors and Generators, Vaasa

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Valtteri Saukko
Opinnäytetyön nimi	Maalausrobotin käyttöönotto ja käyttäjäkoulutus
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	80
Ohjaajat	Mika Billing ja Antti Karttunen

Opinnäytetyössä keskityttiin ottamaan selvää miksi ABB Motors and Generators Vaasan tehtaalla KK-rakennuksessa olevaa maalausrobotia ei käytetä. Tehtävänä oli kouluttaa maalarit käyttämään robotia, optimoida ohjelmia ja saada roboti jatkuvaan tuotantokäyttöön.

Aihe sisältää paljon teoriaa maalaamisesta, maalausrobotiikasta sekä muihin maalauskaappiin liittyvistä laitteista. Syitä robotin huonoon käyttöasteeseen selvitettiin haastatteleamalla maalareita, kunnossapitoa ja työnjohtoa. Asioita, joita ei ennestään ollut tiedossa, nousi esille myös robotin käytön yhteydessä. Niitä korjattiin mahdollisuuksien mukaan. Ongelmakohtia on myös etsitty työn sujuvuuden ja siisteyden näkökulmasta.

Lopputulokset poikkesivat odotetusta paljon. Alkutiedoissa oli, että robotin käyttöä osaavia maalareita ei ole riittävästi ja ohjelmat eivät toimi kunnolla. Työn aikana kävi ilmi, että on myös useita muita syitä, kuten uusi maalituote, maalareita on liian vähän ja maalattavaa joskus liian vähän. Opinnäytetyössä koulutettiin maalarit käyttämään robotia, tehtiin koulutusmateriaali robottimaalauskaapille, optimoitiin ohjelmia, mitattiin kalvonpaksuutta ja annettiin kehitysehdotuksia muihin ongelmiin.

ABSTRACT

Author	Valtteri Saukko
Title	The Introduction of Painting Robot and User Training
Year	2021
Language	Finnish
Pages	80
Name of Supervisors	Mika Billing and Antti Karttunen

Reasons why painting robot is not in production use at ABB Motors and Generators Vaasa factory were studied in the thesis. The purpose was to train painters for using the painting robot in production. Painting programs were also optimized in the thesis and the robot prepared to be used in daily production.

The thesis began by interviewing painters, supervisors, and maintenance to determine why the robot is not in use in the production. Test paintings were also made with the robot and the programs were optimized. After the reasons for non-use were clear, user training for painters on the robot was started. Minor problems, such as tidiness of the working environment were solved during the making of the thesis. Other problems which could not be solved in this thesis were listed with proposed solutions at the end of this thesis.

The result was that painters can now use the robot in production and there are no more reasons why the robot cannot be in daily use. Some things that can help the painters' work, such as machine vision and new paint instruments for special color help the work of painters and are not obstacles for daily use. The objective of the thesis was not to reduce the number of painter, so all objectives of the thesis were reached. Training material was prepared for the painters on the use of the robot. ABB Motors and Generators can use this material with new painters. It can be partly used also with other robots at the factory. The poor utilization of the painting robot was extra cost for ABB, so it is a big benefit for the company that the robot is in production use. Now the quality of painting is also more homogeneous and painters' work safety is better.

Keywords	Robotics, industrial automation, paintwork and coating
----------	--

KÄYTETYT LYHENTEET JA TIIVISTELMÄT

BP	ABB-moottorin suunnittelutyyppi; valurautarunko
JP	ABB-moottorin suunnittelutyyppi; EX-suojattu
Digitaalinen kaksonen	Fyysisen robottisolun digitaalinen simulointimalli
D-Pääty	Drive end eli voiman ulosottopääty moottorissa
N-pääty	Nondrive end eli tuulettimen pääty moottorissa
E-mitta	Akselin mitta laakerikilvestä D-päädystä IEC 60072-1-standardin mukaisesti
IM	International mounting, IEC 60034-7 -standardiin perustuva luokittelu kiinnitystavoille
IPS	Integrated Process System, integroitu prosessijärjestelmä
RAPID-kieli	ABB-robottien ohjelmointikieli
RobotStudio	ABB:n robotiikkaohjelmisto
RobView5	ABB:n maalausrobotin ohjaukseen tehty erillinen ohjelma
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
2	ABB SUOMESSA	11
	2.1 ABB Oy, Motors and Generators	11
	2.2 Vaasan tehtaan moottorit	12
3	PROJEKTIN TAUSTA.....	14
	3.1 Tutkimusongelma	14
	3.2 Projektin tarkoitus	14
	3.3 Projektin tavoitteet ja aiheen rajaus	15
4	AIKATAULU JA RESURSSIT.....	17
	4.1 Aikataulu	17
	4.2 Resurssit.....	18
5	RISKIANALYYSI	19
6	PROJEKTIN TEORIATAUSTA	20
	6.1 Korroosionestomaalaus	20
	6.1.1 Maalin merkitys.....	20
	6.1.2 Maali.....	21
	6.1.3 Maalauslaitteisto ja -tekniikka	22
	6.1.4 Maalausongelmien ratkaisu	26
	6.1.5 Laadunhallinta.....	28
	6.2 Robotiikka	32
	6.2.1 Maalausrobotiikka.....	32
	6.2.2 Ohjelma ja ohjelmointi.....	36
	6.2.3 Käyttöliittymä maalarille	43
	6.3 Automaattimaalaussolun toimintaperiaate	43
7	MAALAUROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA KÄYTTÄJÄKOULUTUS.....	48

7.1	Aloitusvaihe.....	48
7.2	Suunnitteluvaihe	48
7.3	Toteutusvaihe	49
7.3.1	Koeajot	49
7.3.2	Ohjelmien optimointi.....	50
7.3.3	Käyttäjäkoulutus	53
7.3.4	Maalareiden käyttövuorot	56
7.3.5	Työympäristön siistiminen	56
7.3.6	Uusi maalausohjelma robotille	58
8	KEHITYSKOhteet	64
8.1.1	Maalareiden määrä	64
8.1.2	Toimintatavan muutos.....	67
8.1.3	Moottorin asennon tunnistaminen	68
8.1.4	Työympäristö	70
8.1.5	Tuotannon vapauttaminen	71
8.1.6	Maalausohjelmien hallinta.....	72
8.1.7	Pääkäyttäjä.....	75
9	YHTEENVETO	76
9.1	Henkilökohtainen arvio ja pohdinta	76
9.2	Projektin lopputulos.....	76
	LÄHTEET	79

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Vaasan tehtaan tuoteportfolio.	13
Kuva 2. Projektin kulku.	17
Kuva 3. Projektin vaiheet.	18
Kuva 4. Riskinarviomatriisi.	19
Kuva 5. Anodi- ja katodiparien sekä paikallisparien muodostuminen metallin pinnalle.	20
Kuva 6. Kaksikomponenttiruiskun toimintaperiaate.	23
Kuva 7. Esimerkkikuva pistoolin asennosta maalausliikkeen aikana. Aina ruiskutetaan 50 % edellisen vedon päälle.	24
Kuva 8. Verkkomaisten tai monimuotoisten kappaleiden ruiskutus.	25
Kuva 9. ABB-sähkömoottori maalauslinjastolla. Moottorin muoto ja kiinnitys aiheuttavat haasteita maalaukseen.	26
Kuva 10. Mahdollisia suuttimen/maalin aiheuttamia ongelmia.	27
Kuva 11. Oikeanlainen hajotuskuvio hajotusilmaruiskulla maalatessa.	28
Kuva 12. Elcometer kuivakalvon paksuusmittari.	31
Kuva 13. Muutaman isomman robottivalmistajan maalausrobotteja.	32
Kuva 14. Maalaamossa olevan IRB580-maalausrobotin ranteen rakenne.	33
Kuva 15. Moottoritehtaan maalaamon IRB580 akselit.	34
Kuva 16. ABB IRB580 -robotin runko on paineistettu. Paineilmalla suojataan robotin osia, joissa on elektroniikkaa.	35
Kuva 17. Lyhyt pätkä Robnorin tekemästä maalausohjelmasta.	37
Kuva 18. Sama maalausohjelman kohta eri tavalla esitettynä.	38
Kuva 19. BrushTable-taulukko, jossa määritetään käytettävien suuttimien tiedot.	39
Kuva 20. Maalaamon robotin suutintaulukko.	40
Kuva 21. Maalauspisteiden automaattisen luonnin parametrit. Kuvan arvot eivät maalausohjelmien todellisia arvoja.	41
Kuva 22. Liikeradat ja SetBrush käskyt.	42
Kuva 23. Maalin ja ilman kulutusmäärät.	42

Kuva 24. Kuvakaappaus maalarin RobView5-ohjelman käyttäjänäkymästä.....	43
Kuva 25. Moottori pyörii punaisen akselin ympäri maalauksen aikana.....	44
Kuva 26. Maalauslinjaston layout.....	45
Kuva 27. Automaattimaalausolun laitteiden yhteydet ja maalin kulku.....	46
Kuva 28. Solun toimintaperiaate.	46
Kuva 29. Maalausrobotin ohjelmien rakenne.	47
Kuva 30. Ongelmakohtien etsintä, jossa 1 on ongelma ja 5 on kunnossa.	49
Kuva 31. Robotin maalaama moottori, jossa runkoon jäi ns. laiska paikka	50
Kuva 32. 160-akselikorkeuden moottorin maalausohjelman optimointi. Kuvassa 250-laippamoottori, mutta pohjan jäähdytysrimat ovat samanlaiset.....	52
Kuva 33. Koulutusmateriaalin sisällysluettelo.....	55
Kuva 34. Mallikuva koulutusmateriaalin ohjelmointi ja RobotStudio-osiosta.	56
Kuva 35. Robottisolun työkalukaappi projektin alussa ja lopussa.....	57
Kuva 36. Työkaluille tehtiin omat merkityt paikat.....	58
Kuva 37. Paikoituksessa käytettiin suuttimessa olevaa työkalukoordinaatistoa.	59
Kuva 38. Robottikaapissa haetut pisteet eivät täysin täsmänneet virtuaalimaailmaan, mutta moottori paikoitettiin niiden keskelle.....	60
Kuva 39. Kuvakaappaus RobotStudiosta kahdella eri suunnittelutyypillä.	61
Kuva 40. Moottorin päälle luotiin pintamallit, joiden avulla on helppo luoda automaattisesti maalausohjelma. Pintamallit mukailevat hieman moottorin muotoa.....	62
Kuva 41. Jalkojen suojat paikallaan. Suojassa on paikoitusta helpottava reuna, jonka vuoksi jää maalaamaton kohta.	64
Kuva 42. Graco maalilaadun valvonta.	66
Kuva 43. Vähimmäismäärä maalareita robotin ollessa käytössä.	67
Kuva 44. Nykyinen ja uusi toimintatapa.	68
Kuva 45. Ripustusketjujen kiinnitys täytyy olla kolmannessa reiässä päästä katsottuna.	69
Kuva 46. Robotin käyttäjän työpiste. Robottikaapin ovi näkyy taustalla.....	71
Kuva 47. Maalausohjelmien määrän peruste.....	73

Kuva 48. Tämänhetkinen työjonon tekeminen RobView5 ohjelmassa.....	74
Kuva 49. Esimerkki viivakoodi, jonka avulla robotilla maalattavat moottorit voitaisiin tunnistaa.....	75
Kuva 50. Arviointikohteiden muutos projektin jälkeen.....	77
Taulukko 1. Robotilla maalattavien sähkömoottoreiden kiinnitystavat.....	12
Taulukko 2. Valmis riskinarviotaulukko.....	19
Taulukko 3. Maalatut moottorimallit.....	78

1 JOHDANTO

ABB Motors and Generators Vaasan moottoritehtaalla sijaitsee maalausrobotti, jota ei käytetä kovin ahkerasti. Maalauslinjastossa, jossa robotti on, maalaukseen menevät ja sieltä tulevat moottorit kulkevat linjalla automaattisesti ja tällä hetkellä moottorit maalataan pääosin ihmisvoimin maalauskaapeissa. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus saada tämä kyseinen robotti jatkuvaan tuotantokäyttöön. Tämä vaatii niin toimihenkilöiden kuin työntekijöidenkin opastamista ja kouluttamista, koska osaavia käyttäjiä ei ole. Maalauslinjastosta on tavoitteena löytää kaikki ongelmakohdat, jonka vuoksi robottia ei käytetä ja pyrkiä löytämään näihin ratkaisu. Osana opinnäytetyötä myös optimoidaan ulkopuolisen yrityksen robotille tekemiä ohjelmia. Tätä optimointia vaatii luultavasti myös vasta vaihdettu maalituote, jota ei ole vielä maalattu robotilla, jolloin asetukset voivat hieman muuttua.

2 ABB SUOMESSA

ABB on Suomessa yksi suurimmista teollisuuden työnantajista 5 000:lla työntekijällään. Näistä suurin osa työskentelee pääkaupunkiseudulla, mutta toimintaa on paljon myös muualla Suomessa. Yhteensä ABB:llä työskentelee maailmanlaajuisesti 110 000 ihmistä yli sadassa eri maassa. Suomessa ABB:llä on toimintaa noin 20 paikkakunnalla, mutta näistä tehdaskeskittymiä on vain neljällä paikkakunnalla. Helsingissä ABB valmistaa moottoreita, generaattoreita, taajuusmuuttajia, CMP-energianhallintajärjestelmiä ja paperikonekäyttöratkaisuja. Lisäksi Helsingin toisessa toimipisteessä Vuosaarella ja Haminassa valmistetaan Azipod®-ruoripotkurijärjestelmiä. Vaasassa ABB toimii Strömberg parkin alueella, jossa sillä on useita tehtaita. Näissä tehtaissa valmistetaan moottoreita, pienjännitetuotteita ja -järjestelmiä, sähkön siirto- ja jakelujärjestelmiä, voimatuotannon järjestelmiä ja prosessiteollisuuden kokonaisprojektointia. Neljäs tehdaskeskittymä sijaitsee Porvoossa, jossa valmistetaan sähköasennustuotteita.¹

2.1 ABB Oy, Motors and Generators

Opinnäytetyö tehdään ABB Motors and Generators Vaasan tehtaalle. Sähkömoottoreilla on iso merkitys maailman mittakaavassa, koska kaikesta maailmalla tuotetusta sähköstä sähkömoottorit kuluttavat yli 28 %. ABB on maailman johtava moottorivalmistaja ja Vaasan tehtaalla on pienjännitemoottoreiden valmistuksesta ja kehityksestä vastuu. Helsingin moottoritehtaalla kehitetään ja valmistetaan korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestopagneettimoottoreita.²

¹ ABB Suomessa. Viitattu 3.3.2021.

² ABB Suomessa, Motors and Generators. Viitattu 3.3.2021.

ABB:n tavoitteena on vauhdittaa yhteiskunnan ja teollisuuden muutosta, jotta saadaan kestävämpi ja tuottavampi tulevaisuus¹. Suomessa moottoreiden kehityksessä keskitytään korkean hyötysuhteen moottoreiden ja generaattoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen, joita on mahdollista käyttää kaikilla teollisuudenaloilla ympäri maailman.²

2.2 Vaasan tehtaan moottorit

Tässä opinnäytetyössä puhutaan eri akselikorkeuden ja kiinnitystapojen moottoreista. Vaasan tehtaan akselikorkeudet pohjautuvat IEC / EN 60072-1 -standardiin.^{3,4} Sähkömoottorilla on myös erilaisia kiinnitystapoja, joista robotilla maalattavissa on jalka, laippa- ja jalka/laippakiinnitteinen (Taulukko 1). Viralliset nimitykset eri kiinnitystavoille ovat IEC / EN 60034-7 -standardista, mutta tässä opinnäytetyössä on käytetty edeltäviä termejä asian selkeyttämiseksi.^{5,6}

Taulukko 1. Robotilla maalattavien sähkömoottoreiden kiinnitystavat.

IEC 60034-7 IM-merkintä	Opinnäytetyössä käytetty nimitys
B3, V5, V6	Jalkakiinnitteinen
B5, V1, V3	Laippakiinnitteinen
B35, V15, V35	Jalka/laippakiinnitteinen

¹ ABB Suomessa. Viitattu 3.3.2021.

² ABB Suomessa, Motors and Generators. Viitattu 3.3.2021.

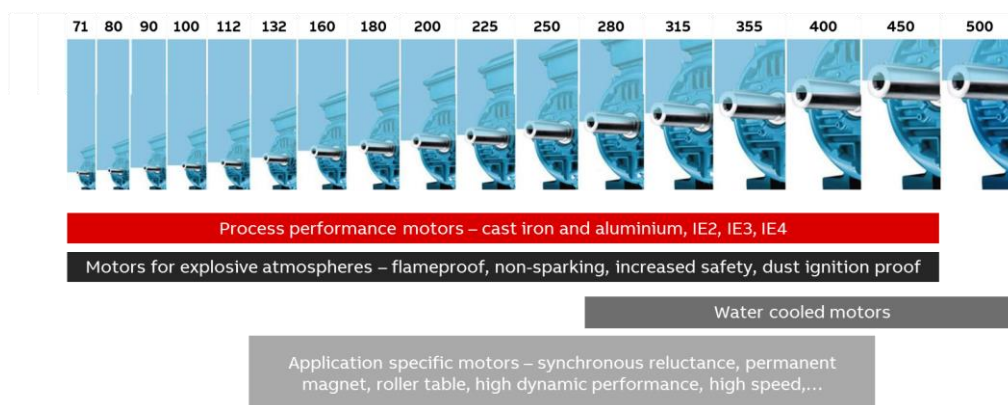
³ ABB. Low voltage motors, Motor guide, 2019. s. 20.

⁴ IEC60072-1. Dimensions and output series for rotating electrical machines. 6. painos.

⁵ ABB. Low voltage motors, Motor guide, 2019. s. 20.

⁶ IEC60034-7. Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM Code). 3. painos.

Robotilla on maalattavissa akselikorkeuksilla 160-250 olevat BP-suunnittelutyypin moottorit, joissa liitäntäkotelo on moottorin päällä, eikä moottorissa ole ylimääräistä koteloaa tai kaapeleita.



Kuva 1. Vaasan tehtaan tuoteportfolio¹.

Vaasan tehdas on erikoismoottoritehdas, joka suunnittelee tai konfiguroi moottoreita asiakkaan vaatimuksien mukaan. Keskimääräinen eräkoossa samanlaisia moottoreita on hyvin pieni, alle 10 kappaletta/tilaus. IEC-standardin mukaisia valmistettavia akselikorkeuksia on 17 kappaletta ja malleja useita, joten tuoteportfolio on hyvin laaja (Kuva 1).²

¹ ABB. IEC LV Motors, Vaasa, Finland. PowerPoint-esitys. ABB.

² ABB. IEC LV Motors, Vaasa, Finland. PowerPoint-esitys. ABB.

3 PROJEKTIN TAUSTA

3.1 Tutkimusongelma

Tämän opinnäytetyön tutkimusongelmana on nykyinen maalausrobotin huono käyttöaste. Tarkoitus on etsiä syitä, että miksi maalausrobottia ei tällä hetkellä käytetä päivittäin tuotannossa ja kuinka se saadaan päivittäiseen käyttöön. Kysymyksiä ja ongelmia on useampia, joihin tällä opinnäytetyöllä etsitään vastauksia ja ratkaisuja.

3.2 Projektin tarkoitus

Syy miksi robotti halutaan nykyiseltä vajaakäytöltä jatkuvaan tuotantokäyttöön, on selkeä. Alle listattu muutama syy

- Ylläpitokulut
- Näyttää yrityksen johdolle todella huonoa esimerkkiä automatisointi-investointien käytöstä, joten voi vaikuttaa halukkuuteen hyväksyä uusia automatisointi-investointeja
- Maalarin työturvallisuus ja rasittuvuus
 - Maalipölyssä oleminen vähenee robotilla maalatessa
 - Roikkuvan kuorman läheisyydessä työskenteleminen vähenee robotilla maalatessa
 - Työergonomia syyt, monella maalarilla ilmenee hartia- ja niskaongelmia ennen eläkeikää
- Vie tilaa tehtaalta
 - Maalaamon toiminnan vuoksi tilaa ei saa kovin helposti muuhun käyttöön.

3.3 Projektin tavoitteet ja aiheen raja

Opinnäytetyön teettäjän pyyntö ja tavoite on saada nykyiset maalarit käyttämään robottia, ei robotin käyttöä osaavia työntekijöitä, jotka koulutetaan maalareiksi. Tällä hetkellä tuotannossa on vain kaksi robotin käytön osaavaa maalaria, joten myös muut maalarit täytyy kouluttaa siihen. Tämä onkin opinnäytetyön yksi tavoite saada nykyiset maalarit käyttämään robottia. Toinen haaste, joka tämän myötä tulee, on henkilöstön vaihtuvuus. Vaikka vaihtuvuus ei olisi kovin suurta, ajan myötä nämä robotille koulutetut maalarit eläköityvät tai vaihtavat työpaikkaa, joten nykyinen ongelma tulisi takaisin. Tähän ratkaisuksi opinnäytetyössä on tavoitteena tehdä selkeä ja yksinkertainen, mutta riittävän kattava koulutuspaketti, jonka avulla uudet maalarit voitaisiin kouluttaa robotille. Kunnossapidon toiveesta myös robotin ylläpito-ohjeet tulevat mukaan koulutuspakettiin. Esimerkiksi robotin maalauslaitteita ei ole aina pesty kunnolla käytön jälkeen, vaikka maalaustaukoa olisi tullut pidemmäksikin aikaa.

Myös työnjohdolle tarvitaan motivointia robotin käyttöön. Työnjohdolle motivoinnilla on iso merkitys, koska sitä kautta työtä pystytään ohjaamaan robotille ja he ovat myös tukemassa työntekijöitä robotin käyttöön. Työntekijöillä on yleensä pelkoa tuotannon automatisointia kohtaan omien työpaikkojen menetyksen pelossa. Työnjohtajat ovat päivittäin tekemisissä työntekijöiden kanssa ja heidän avustuksellansa ja kannustuksella robottia ei jätetä käyttämättä. Maalareiden kanssa täytyy keskustella ja selvittää nykyinen tilanne ja mahdolliset ongelmat sekä haasteet.

Lisäksi yhtenä tavoitteena on optimoida robotin ohjelmia, jotta saataisiin ainakin kaksi toimivaa ohjelmaa moottorin maalaukseen. Täysin uutta ohjelmaa ei ole tarkoitus ohjelmoida, ne ostetaan ulkopuoliselta, mutta nykyisiä käytössä olevia ohjelmia on tarkoitus kehittää. Ongelmia on muun muassa moottorin rungon jäähdytysripojen kapeiden välien kanssa. Tätä ja muita mahdollisia ongelmia täytyy etsiä ja tarkentaa koeajoilla. Tällaiset vaikeudet ja puutteet ovat työntekijöille hyvä syy maalata käsin, mutta jos ne saadaan kuntoon niin saadaan yksi selkeä syy robotin käyttämättä jättämiselle työntekijöiltä pois.

Tavoitteet ja aiheen rajausta lyhyesti:

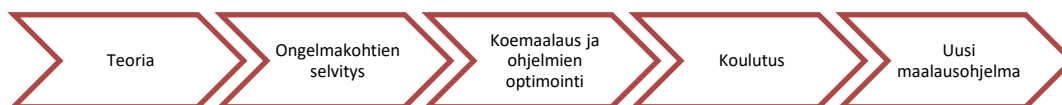
- Koulutuspaketti nykyisille ja tuleville maalareille
 - Sisältää ylläpito-ohjeet
- Helpottaa moottorin ohjausta manuaalimaalauksen sijasta automaattimaalaukseen. Pitää selvittää muun muassa seuraavat asiat:
 - Suojaustarpeet ja valmistelu
 - Moottorin ripustus linjastossa
 - Moottorimallit, joita mahdollista maalata robotilla
 - Mahdolliset muut ongelmat, joita maalarit ovat huomanneet
- Robotin ohjelmien optimointia, jotta saadaan kerralla oikein maalattu moottori
 - Vaatii mahdollisesti moottorin asennon standardisoimista tai kokenäköä
- Työnjohtajien motivointi ja opastus.

Kun robotti saadaan päivittäiseen tuotantokäyttöön, ei se poista ihmisen merkitystä ja työtä linjastolla. Moottorimalleja on useita ja hyvin pienestä osasta on tehty robotille ohjelma. Lisäksi moottoreita kulkee linjaston läpi paljon, joten yksi robotti ei kerkeä maalaamaan kaikkea, vaikka se olisikin koko ajan käytössä. Ihmisiä tarvitaan lisäksi valvomaan robotin työnjälkeä ja hoitamaan vikatilanteita.

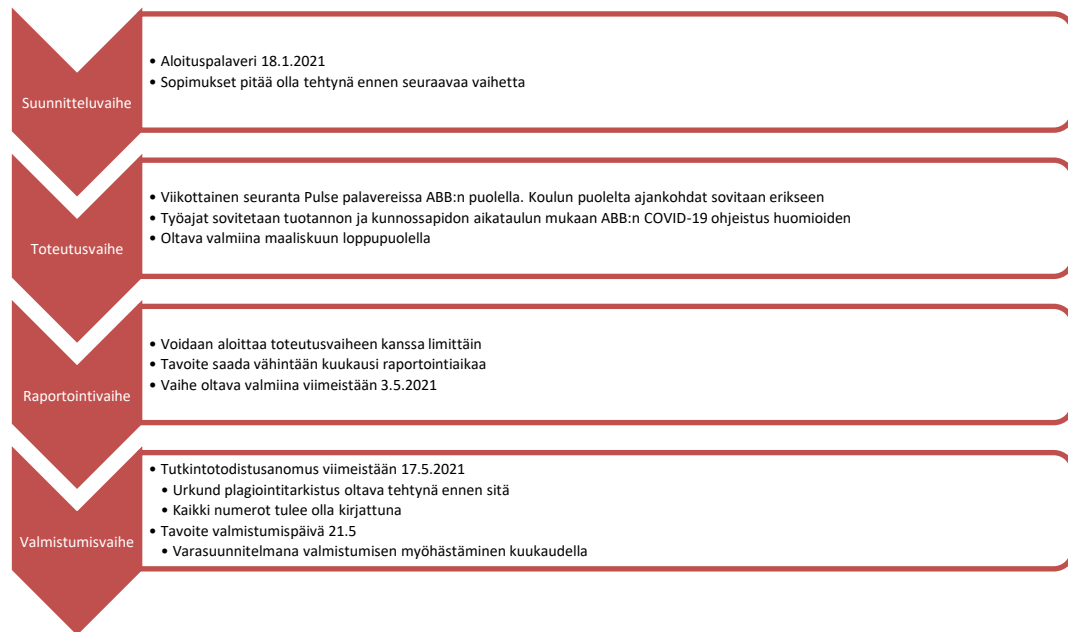
4 AIKATAULU JA RESURSSIT

4.1 Aikataulu

Työ on aloitettu marraskuussa 2020 etsimällä opinnäytetyön aihetta. Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe, aloitusvaihe, johon kuuluu aiheen ja ohjaajien etsintä, on tehty joulukuussa 2020. Keväällä 2021 opinnäytetyö tehdään loppuun. Aikataulu on suunnitteluvaiheen osalta ajoitettu projektin alkupään mukaan. Toteutusvaihe, raportointivaihe ja valmistumisvaihe on ajoitettu takaperin tutkintotodistusanomus määräpäivän mukaan, koska siihen mennessä täytyy olla kaikki valmiina valmistumista varten. Raportointivaihe aloitettiin limittäin toteutusvaiheen kanssa, koska aikataulu oli tiukka ja asiaa paljon (Kuva 2 ja Kuva 3).



Kuva 2. Projektin kulku.



Kuva 3. Projektin vaiheet.

Projektin seuranta tapahtui alku-, väli- ja loppupalavereiden lisäksi viikoittaisella Pulse-palaverilla, jossa seurataan Vaasan moottoritehtaiden tuotannonkehitystien projekteja. Viikoittainen seuranta ja raportointi on hyvä projektin onnistumisen kannalta, ettei projekti pysähdy ongelmaan.

4.2 Resurssit

Henkilöresurssit koostuivat lähinnä ohjaajista, kokoonpanolinjan tuotantopäälliköistä ja työnjohtajista, sekä kunnossapidon henkilöstöstä. Kunnossapidon henkilöstöä oli mukana antamassa tukea robotin järjestelmien käytön kanssa, koska heillä oli tästä ennestään kokemusta.

Projektin raharesursseja ei määritetty etukäteen vaan ne haettiin tarpeen vaatiessa ABB:n käytäntöjen mukaisesti.

5 RISKIANALYYSI

Riskien arviointi suoritettiin riskienarviointimatriisilla, jonka avulla arvioitiin jokaiselle riskille vakavuus ja todennäköisyys arvo (Kuva 4 ja Taulukko 2).

		Vakavuus		
		A	B	C
Todennäköisyys	1	1	2	3
	2	2	3	6
	3	3	6	9

Kuva 4. Riskinarviomatriisi.

Taulukko 2. Valmis riskinarviotaulukko.

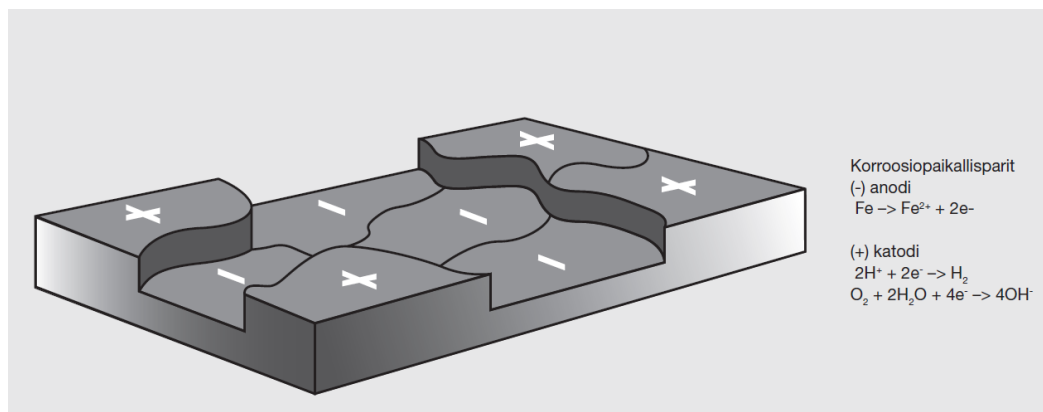
Mahdollinen riski	Riski			Toiminta
	Vakavuus	Todennäk.	Arvo	
Projekti				
Projekti myöhästyy	A	2	2	Seurantapalaverit, ettei projekti keskeydy
Henkilöresursseja sairastuu/koronakaranteeni	B	2	3	Pyritään toimimaan koronaohjeiden mukaisesti
Vastentahtoisuutta robotin käyttöön työntekijöillä	A	2	2	Motivoidaan kertomalla esimerkkejä
Lopputulokset				
Robottia ei käytetä projektin valmistumisen jälkeen	B	1	2	Tehdään mahdollisimman selkeät ja yksiselitteiset ohjeet
Myöhästytään aikataulusta	A	1	1	Pyritään pysymään aikataulussa hieman etujassa.
Robotti/siihen liittyvä komponentti menee rikki	A	2	2	Simuloidaan ajo ja ajetaan ensimmäinen ajo
Turvallisuus				
Puristuksiin jääminen/muu vakava vamma	C	1	3	Ei mennä robottisoluun robotin ollessa automaattilla, käytetään lukkoa päävirtakytkimissä
Haava/muu lievä vamma	B	2	3	Käytetään pakollisia suojavälineitä ja tarvittaessa lisävarusteita, kuten viiltosuojahanskoja
Kemikaalivaara	C	1	3	Suojalasit ja suojavaatteet
Sähköiskuvaara	C	1	3	Vain luvan saaneet koskevat kytkentöihin
Räjähdykset	C	2	6	Huomioidaan ATEX-tilojen aiheuttamat toimenpiteet

6 PROJEKTIN TEORIATAUSTA

6.1 Korroosionestomaalaus

6.1.1 Maalin merkitys

Maalausrobotia ohjelmoitaessa ja käyttöönottaessa on hyvä ymmärtää maalauksen merkitys ja eri maalikerroksien tehtävä korroosioneston kannalta. Korrosio on metallin syöymistä, jota yleensä pyritään estämään, koska se voi aiheuttaa erilaisia vaurioita metallituotteisiin (Kuva 5). Tätä syöymistä pyritään estämään monella keinolla, josta yksi on korroosionestomaalaus.¹



Kuva 5. Anodi- ja katodiparien sekä paikallisparien muodostuminen metallin pinnalle.²

Korroosionestomaalauksella pyritään saamaan riittävän paksu ja tiivis maalikalvo tasaisesti maalattavan kohteen päälle, jotta saadaan estettyä ionien pääsy metallipinnoille, jolloin paikallispareja ei pääse muodostumaan. Korroosionesto maalissa käytetään apuna myös sinkkipölyä, joka epäjalompana metallina toimii uhri-metallina suojaten metallipintaa syöymiseltä.³ Maali toimii siis usealla eri tavalla

¹ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 9.

² Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 9.

³ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 10.

suojaten pintaa ruosteen muodostumiselta ja jokaisella kerroksella on oma tehtävänsä suojaamisessa. Pintamaali ei ole vain väriä varten. Pintamaali saattaa toimia vastusinhoivasti ja pohjamaali katodisesti¹.

6.1.2 Maali

ABB:n moottorit maalataan normaalisti sinisellä maalilla, mutta koska Vaasan moottoritehdas on erikoismoottoritehdas, niin moottoreita maalataan myös asiakkaan haluamilla väreillä. Näitä erikoisvärejä ei ole tarkoitus maalata robotilla, koska se vaatisi jokaisen värin vaihdon yhteydessä maalausjärjestelmien pesun. Maalina ABB:llä käytetään Teknoksen valmistamaa Teknopox aqua 0350 -epoksi-maalia.

Tämä kaksikomponenttinen epoksimaali kuuluu kemiallisesti kuivuviin maaleihin, jossa epoksihartsi verkkoutetaan amiinilla. Kuivuvassa maalissa syntyy kalvo maalin pinnalle, kun lakkahartsi verkkoutuu, josta aiheutuu myös sen molekyylikoon kasvaminen.²

Teknoksen käsikirjassa mainitaan, että maaleja on eri ohenteilla olevia. ABB:n käyttämän maali on vesiohenteista, joka selviää tuoteselosteesta. Maalilla on myös erittäin nopea käyttöaika, jonka sisällä maali on käytettävä. Kuten käsikirjassa mainitaan, että sellainen maali usein levitetään kaksikomponenttiruiskulla, niin maalataan se myös ABB:llä tällä tekniikalla.^{3, 4}

Etuja epoksimaalilla on useita, sillä on hyvä tarttuvuus maalattavaan pintaan ja sillä on myös hyvä kulutuksenkestävyys, koska se on kova ja kimmoisa. Lisäksi se kestää hyvin erilaisia aineita, kuten alkaleja, suolaliuoksia, laimeita happoja, öljyjä,

¹ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 29.

² Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 27.

³ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 27

⁴ Teknos Teknopox aqua 0350 -epoksimaali tuoteseloste.

rasvoja ja liuotteita.¹ Edellä mainituista ominaisuuksien vuoksi on maalauslaitteiston huolellinen pesu aina pidemmän tauon tullessa välttämätön, jotta sekoitettu maali ei kuivu letkuihin ja suuttimiin.

6.1.3 Maalauslaitteisto ja -tekniikka

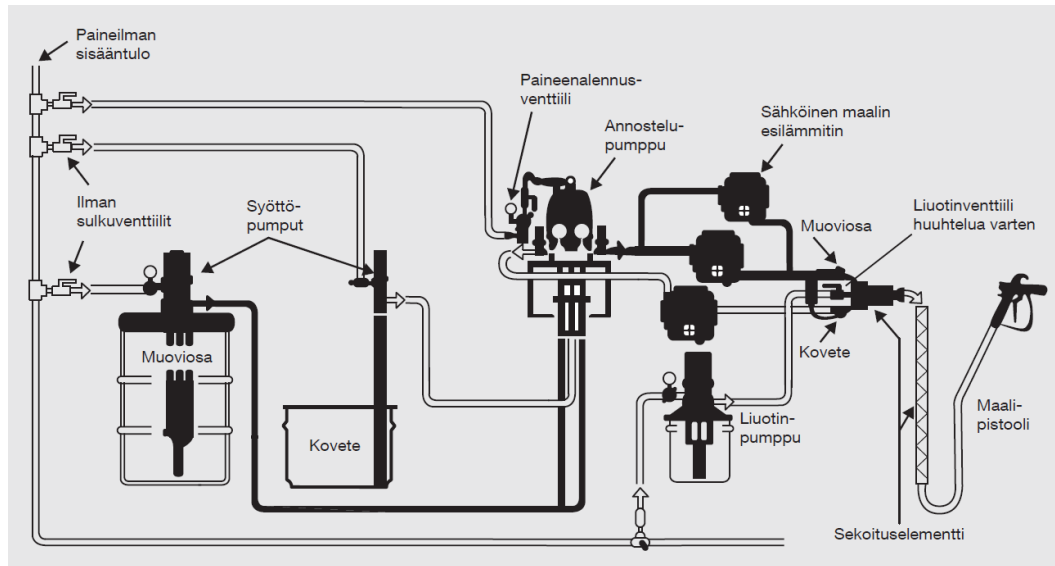
Maali levitetään Gracon valmistamalla automaattisella ilma-avusteisella G40 -ruiskupistoolilla, joka on maalausrobotin käsivarren päässä kiinni. Pistoolissa on erilliset ilma- ja ruiskutussuuttimet. Ilmasuutin on vakiokokoinen, mutta ruiskutussuuttimia on saatavilla eri kokoja. Ruiskutussuuttimen malli on hienoon viimeistelyyn tarkoitettu ruiskutussuutin. Kyseisen suuttimen malli ilmaistaan AAFxxx-nimellä, jossa xxx korvataan valmistajan taulukosta haettavalla numerosarjalla. Ensimmäinen numero kertoo suuttimen kuvion enimmäisleveyden 305 mm:n maalausetäisyydellä, jonka arvo haetaan taulukosta. Kaksi viimeistä numeroa kertovat suuttimen reiän koon, jonka yksikkönä on tuuma. Esimerkiksi AAF412-suuttimella 305 mm:n etäisyydellä maalatessa maalauskuvioiden enimmäisleveys on 250 mm ja reiän koko 0,012 tuumaa (0,305 mm).²

Koska maalin käyttöaika on todella lyhyt niin niiden käyttöä varten on olemassa erityisiä kaksikomponenttiruiskuja (Kuva 6). Niissä kovete ja muoviosa tulevat erillisestä säiliöstä ja ne sekoitetaan yhteen ennen ruiskupistoolia.³

¹ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 27.

² Graco. Automaattiset ilma-avusteiset G40-ruiskupistoolit, ohjeet ja osat. s. 33.

³ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 35.



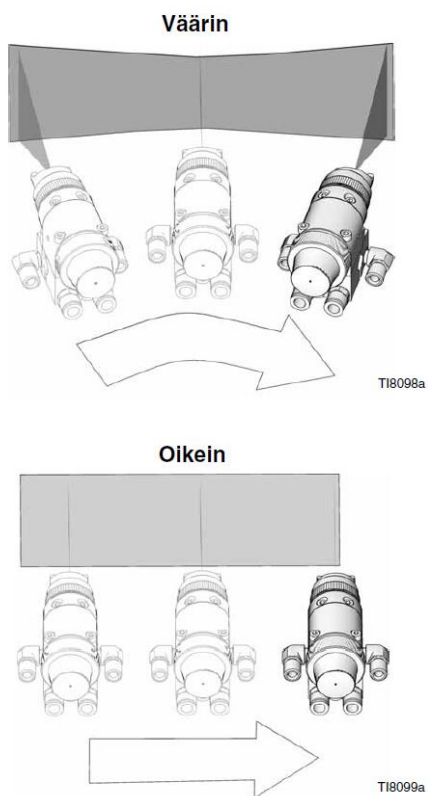
Kuva 6. Kaksikomponenttiruiskun toimintaperiaate.¹

Apuna maalaustapahtumassa käytetään paineilmaa, joka toimii hajotusilmana pistoolissa. Sen avulla voidaan pistoolista tulevan maaliviuhkan ominaisuuksia säätää, jolloin maalausjälki paranee.²

¹ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 35.

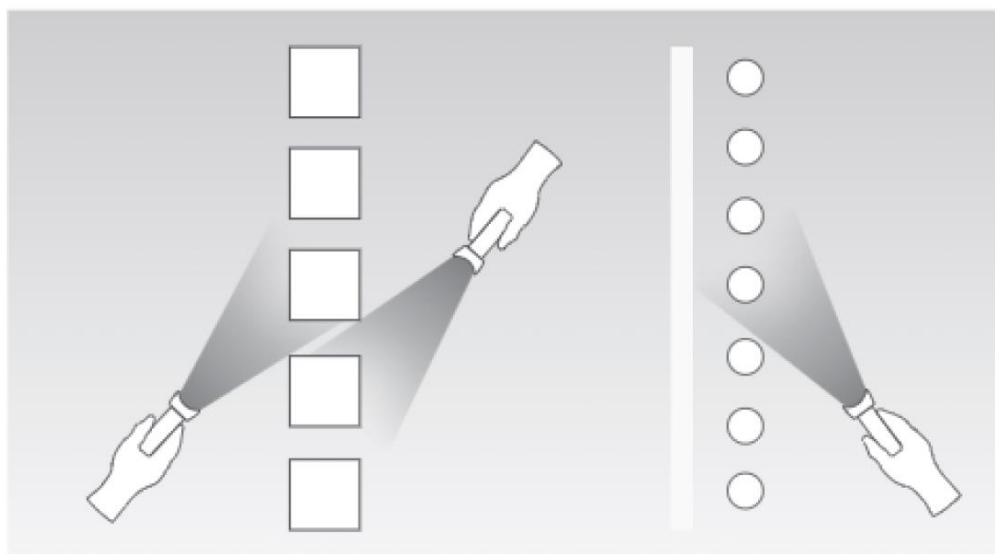
² Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 35.

Pistooli tulisi kulkea koko maalattavan pinnan yli samassa asennossa, jotta jälki olisi tasaista (Kuva 7). Pistoolilla ei ole tarkoitus kiertää liikkeen aikana, jotta ei tule epätasaista jälkeä ja vaihteleva kalvonpaksuus.



Kuva 7. Esimerkkikuva pistoolin asennosta maalausliikkeen aikana. Aina ruiskutetaan 50 % edellisen vedon päälle.¹

¹ Graco. Automaattiset ilma-avusteiset G40-ruiskupistoolit, ohjeet ja osat. s.13.



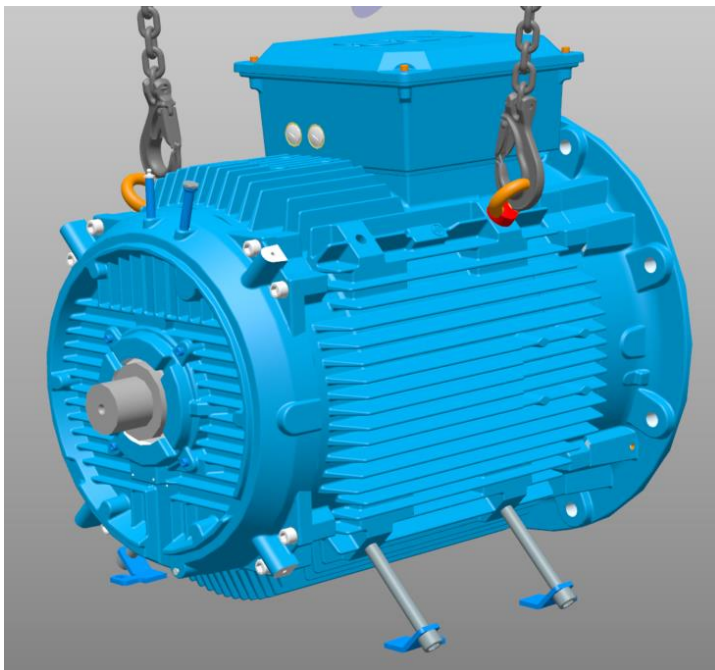
Kuva 8. Verkkomaisten tai monimuotoisten kappaleiden ruiskutus¹.

Tasaista pintaa maalatessa pistoolin tulisi olla kohtisuorassa maalattavaan pintaan nähden. Moottorissa maalattavalla pinnalla on kuitenkin paljon erilaisia muotoja, jolloin täytyy se ottaa huomioon pistoolin asennossa. Lisäksi maalausjärjestys täytyy miettiä tarkasti etukäteen².

Koska robotilla maalattavissa moottoreissa on jäähdytysrivat ja muita hankalia paikkoja, on ruiskun asennon kanssa maalausliikkeen aikana oltava tarkka (Kuva 8). Mikäli robotilla jää joitakin kohtia maalaamatta, on maalauslinjastossa robottisolun jälkeen seuraavana korjausmaalauskaappi. Maalaamattomia kohtia voi jäädä helposti, koska maali ruiskutetaan maalattavaan pintaan kovalla paineella, jolloin se voi ahtaissa paikoissa toimia itseään vastaan puhaltaen maalisumun pois (Kuva 9).

¹ Flink, R. Killström, T. Kilpinen, J. Kotilainen, P. Tuisku, L. Metallipintojen teollinen maalaus. 2009. S. 31.

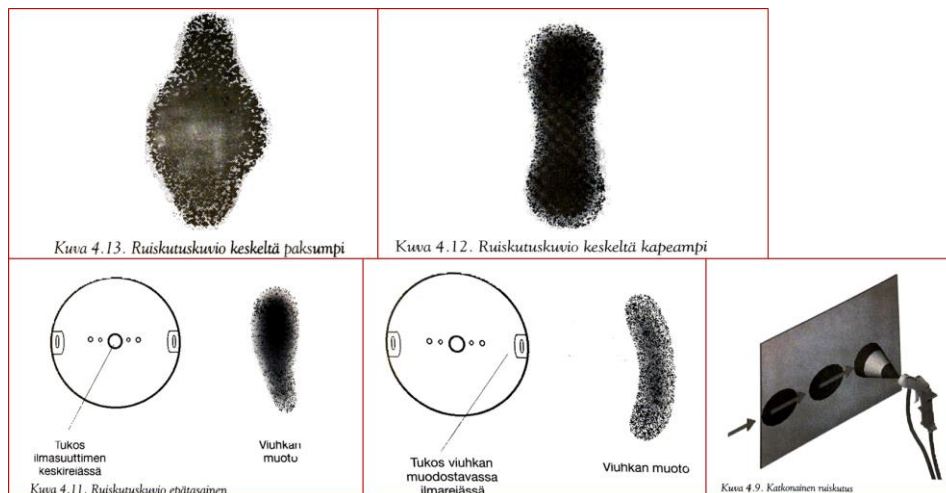
² Flink, R. Killström, T. Kilpinen, J. Kotilainen, P. Tuisku, L. Metallipintojen teollinen maalaus. 2009. S. 31.



Kuva 9. ABB-sähkömoottori maalauslinjastolla. Moottorin muoto ja kiinnitys aiheuttavat haasteita maalaukseen.

6.1.4 Maalausongelmien ratkaisu

Opinnäytetyössä on ensisijaisesti tarkoitus keskittyä robotin aiheuttamiin ongelmiin maalauksessa. On hyvä kuitenkin myös ymmärtää itse maalauslaitteiston ja maalin merkitys maalauslaatuun, jotta ei korjata väärää asiaa maalausohjelmissa.



Kuva 10. Mahdollisia suuttimen/maalin aiheuttamia ongelmia.¹

Kuva 10 näyttää ongelmia, joissa isossa osassa syynä on suuttimen tukokset ja maalin viskositeetti. Myös maalin ja hajotusilman välinen suhde aiheuttaa edellä mainittuja ongelmia.²

¹ Jokinen, I. Kuusela, A. Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. s. 81-82.

² Jokinen, I. Kuusela, A. Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. s. 81-82.



Oikeanlaisessa maaliviuhkassa maaliviuhkan leveys on keskeltä suurempi ja keskellä on myös paksumpi kerros maalia. Kuvan viuhka on saatu kun ilmasuutin on käännetty pystyasentoon.

Kuva 4.8. Oikeanlainen ruiskutuskuvio

Kuva 11. Oikeanlainen hajotuskuvio hajotusilmaruiskulla maalatessa.¹

Metallituotteiden maalaus -kirjassa mainitaan hajotusilmaruiskun toiminnasta, että ruiskutuskuvioiden tulisi olla ovaalin muotoinen ja siistireunainen (Kuva 11).

Käytössä oleva uusi tuote voi aiheuttaa sen, että maali leviää suuttimesta eri lailla kuin vanha maali, jolloin maalattu moottori voi näyttää sille, että robotin ohjelmassa on vikaa. Tällaisessa tilanteessa täytyy olla tarkkana, että muuttaa maalilaitteen asetuksia eikä robotin ohjelmaa. Koemaalauksissa on maalari mukana, joka ymmärtää maalausasetuksien vaikutukset.

6.1.5 Laadunhallinta

Robottia koeajettaessa pitää työskentelyä seurata tarkasti, koska maalikalvon laatua on hankala arvioida pelkästään silmämääräisesti päältä päin. Mukana täytyy myös olla kokenut maalari, joka tietää manuaalimaalauksesta ongelmakohtat.

Kun moottori on maalattu robotilla omassa solussaan, jatkaa se kuljettimella heti seuraavana vuorossa olevaan käsimaalauskaappi 4:een, jossa maalari on mahdollisuus tarkastaa ja korjausmaalata moottori (Kuva 26).

¹ Jokinen, I. Kuusela, A. Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. s. 80.

Maalikalvon laadun kannalta on myös hyvä, jos tilat ovat mahdollisimman vakioit. Maalien säilytys, sekoitus ja maalaaminen tulisi tapahtua mahdollisimman vakioidussa tilassa laadunhallinnan helpottamiseksi. Lisäksi maalipinnan jälkikäsitelyn tulee olla mahdollisimman vakioitu jokaiselle moottorille. Kyseisessä maalaamossa moottorit jatkavat kiskokuljettimella seuraavaksi haihdutustunneliin, jonka jälkeen ne kulkevat uuniin ja sieltä jäähtyäkseen. Metallituotteiden maalaus (2001) -kirjassa kerrotaan, että haihdutuksessa kammioon johdetaan saman verran ilmaa kuin sieltä johdetaan ulos. Uunissa kammioista 20 % ilmasta johdetaan pois ja loput 80 % jää kierto. Jäähtyöksessä ilmanvaihto toimii kuten, haihdutuksessakin, sama määrä sisään ja ulos.

Haihdutus on tehtävä ennen uunia maalipinnan virheettömyyden vuoksi, koska jos vastamaalattu moottori menisi suoraan uuniin, alkaisi maalissa olevat liuottimet kiehua, joka aiheuttaa maalipintaan virheitä.¹

Osana laadunhallintaa työssä tullaan tekemään maalikalvon paksuuden mittauksia. Mittauksien avulla pystytään moottorimalleittain katsoa kyseisen mallin ohjelman toimivuus laadun näkökulmasta. Maalikalvon paksuus mitataan Elcometerin valmistamalla kuivakalvomittarilla (Kuva 12).

Kyseinen mittari mittaa kalvoa rikkomattomalla menetelmällä, jossa anturilla kosketetaan kohtisuorasti kuivunutta maalikalvoa. Anturi mittaa magneettisuuden perusteella kalvon paksuuden, joka on hyvä tapa mitata maalattu moottori ennen loppukokoonpanoa.² ABB:n omassa maalinpaksuusraportissa on osoitettu paikat, joista mittaukset otetaan. Kyseinen raportin mittauskohdat ovat hyvin samantyyppisissä paikoissa, kuin Teknoksen käsikirjassa on neuvottu. Teknoksen käsikirja neuvoo ottamaan mittaukset sellaisilta pinnoilta, jotka vaikuttavat ulkonäköön tai

¹ Jokinen, I. Kuusela, A. Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. s. 19.

² Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 41.

niillä on merkitystä käytölle. Lisäksi suositellaan ottamaan mittauskohdasta muutama mittaustulos, mittauksen epätarkan toistuvuuden takia, jotta saadaan luotettavampi tulos kyseiselle mittauspisteelle.¹ Työssä otettiin jokaisesta ABB:n raporttiin merkitystä kohdasta kolme arvoa. Mittaukset suoritettiin pohjamaalatulle pinnalle ennen robottimaalauskaappia ja myöhemmin uudestaan moottorin tullessa jäähdytyksestä kokoonpanoon, jotta saatiin selville robotin maalaaman kalvon paksuus. Moottoreita korjausmaalattiin mahdollisimman vähän, jotta tulos ei vääristyisi.

¹ Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. s. 41.



Kuva 12. Elcometer kuivakalvon paksuusmittari.

Kun mittaukset oli suoritettu moottorille ennen ja jälkeen robottimaalauksen, tuloksista laskettiin koko moottorille keskiarvo sekä sarjakoodi, että moottorimalli kohtaisesti

6.2 Robotiikka

6.2.1 Maalausrobotiikka

Maalausrobotit poikkeavat hieman perinteisistä teollisuusroboteista, mutta ovat kuitenkin yleensä hyvin samankaltaisia perinteisen kuusiakselisen robotin kanssa.



Kuva 13. Muutaman isomman robottivalmistajan maalausrobotteja.^{1, 2, 3, 4}

Suojaus ja maalauksen vaatima kinematiikka sekä maali- ja ilmaletkut aiheuttavat sen, että robotin ranteen rakenne on erikoinen. Jokaisella kuvan 13 valmistajalla on robotin ranteessa oma rakenteensa, mutta yhteistä niillä on ontto ranne, jonka

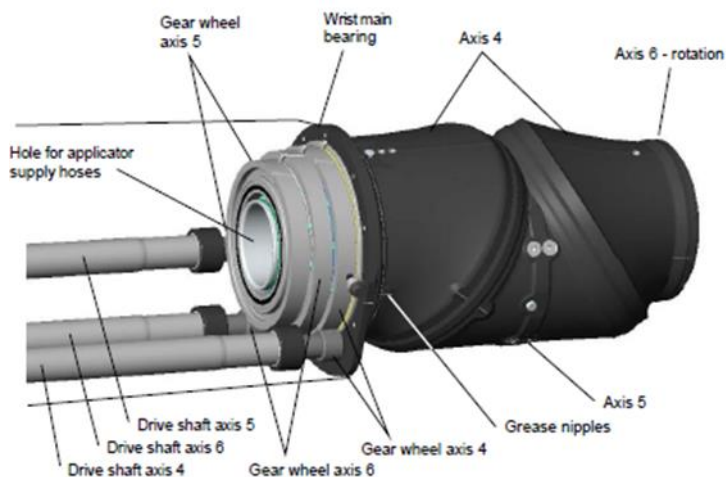
¹ Yaskawa. EPX2800. Viitattu 13.4.2021.

² Kawasaki. KJ264 Floor Robot. Viitattu 13.4.2021.

³ ABB. IRB 5500 FlexPainter Data sheet. Rev G. 2020.

⁴ Fanuc. Paint Robot P-250iB/15. Viitattu 13.4.2021.

kautta letkut saadaan vietyä suuttimelle robotin rungon sisällä ilman, että ne tulevat maalauksen aikana maalaisuihkun eteen tai kiertyvät ranteen ympärille (Kuva 14).



Kuva 14. Maalaamossa olevan IRB580-maalausrobotin ranteen rakenne¹.

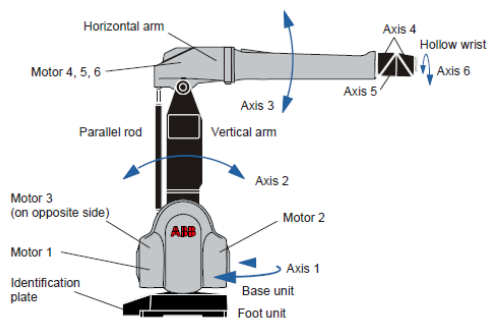
Moottoritehtaan maalaamossa robotti on ABB IRB580 -maalausrobotti, jossa on 6 akselia (Kuva 15). Ontto rannerakenne ja integroitu prosessijärjestelmä ovat suunniteltu maalausrobottia varten, joten sen vuoksi maalausroboteille on myös oma kontrolleri IRC5P ja käsiohjain FlexPaint Pendant.²

ABB:n valmistamissa roboteissa integroitu prosessijärjestelmä IPS tarkoittaa sitä, että kontrollerissa on sisäänrakennettuna liikehallinnan lisäksi myös prosessinohjaukseen liittyvät toiminnot³.

¹ABB AS, Robotics. Product manual IRB580. Rev 17. 2017. Norway. s. 24.

² ABB. IRB580 Data sheet. Rev F. 2019.

³ ABB. IRB 5500-22/23. Viitattu 13.4.2021.



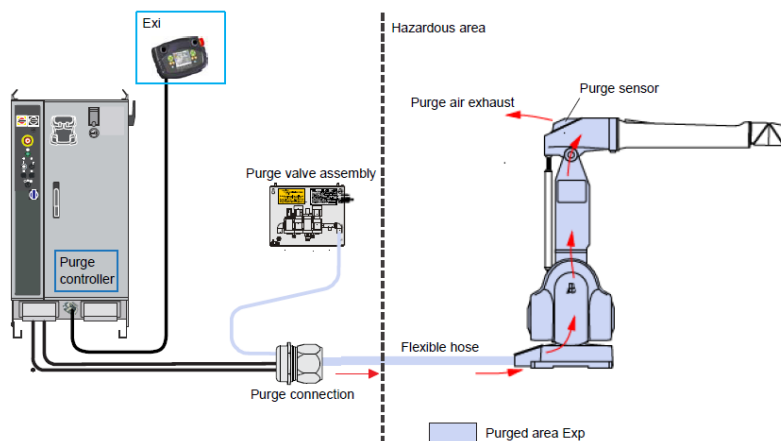
Kuva 15. Moottoritehtaan maalaamon IRB580 akselit¹.

Maalausrobotti toimii ATEX-alueella, joten sen täytyy olla EX-hyväksytty. Koska maalausrobotit toimivat alueella, jossa on maaliumua tai -pölyä, on robotin rakenne suojattu hyvin, jotta maali ei tunkeutuisi robotin rakenteisiin. ABB IRB580 -maalausrobotissa tämä suojaus on hoidettu paineistetulla rungolla, jossa rungon

¹ ABB AS, Robotics. Product manual IRB580. Rev 17. 2017. Norway. s. 28.

sisään menee niin sanottu puhdistusilma. Jos rungon rakenteessa on vuotoa, työn-
tää paineilma maalipölyn pois, jolloin pöly ei pääse vahingoittamaan elektroniik-
kaa ja aiheuttamaan räjähdysvaaraa (Kuva 16).¹

Figure 3 Purged area of IRB 580



Kuva 16. ABB IRB580 -robotin runko on paineistettu. Paineilmalla suojataan robo-
tin osia, joissa on elektroniikkaa².

Automaattisessa maalaussolussa robotin ympärillä on myös paljon prosessiin osal-
listuvia laitteita, kuten muun muassa maaliruisku. Valmistajia näille muille laitteille
on useita eikä niiden käyttö ole robotin valmistajasta kiinni. Robotti itsessään vain
mahdollistaa prosessin toiminnan vaikuttamisen haluttuun kohtaan. Jos robotti on
osa automaattista maalauslinjasta, liittyy siihen myös paljon muuta automatik-
kaa, kuten erilaisia antureita ja mahdollisesti konenäköä.

Automaattinen robottimaalaussolu voi sisältää muun muassa seuraavia asioita:

- Maalauskaappi
 - Robotti
 - Maaliruisku

¹ ABB AS, Robotics. Product manual IRB580. Rev 17. 2017. Norway. s. 20

² ABB AS, Robotics. Product manual IRB580. Rev 17. 2017. Norway. s. 20

- Kääntölaite kappaleelle
- Konenäkö
- Linjasto
- Maalivarasto
 - Maalipumput
 - Sekoituslaitteisto
 - Ohjauslaite
 - Kosteus- ja lämpötilaseuranta
 - Paineilmalaitteet ja suodattimet
- Muut
 - Robotin käyttäjä/maalari
 - Robotin käyttöliittymä
 - Robotin kontrolleri
 - Käsiohjain.

Robotin valmistajilla on myös omat ohjelmat robotin ohjelmointiin ja lisäksi lisäosia maalausohjelmien tekemiseen. Fanucilla on käytössään ROBOGUIDE®, jolla robottia ohjelmoidaan, mutta myös lisäksi PaintPRO®, jolla saa tehtyä maalausohjelmia¹. ABB:n robotteja taas ohjelmoidaan RobotStudio-ohjelmalla ja maalausohjelmat voi tehdä kyseisen ohjelman Painting PowerPac -lisäosalla.

6.2.2 Ohjelma ja ohjelmointi

Tässä osiossa ei ole käyty läpi normaalin robotiikan ja RAPID-kielen perusteita. Maalausroboteilla on osittain hieman erilainen RAPID-kieli normaaleihin ABB-robotteihin verrattuna. RAPID:ssa on lisäkäskeyjä liittyen maalaustapahtumaan ja joillakin käskeyillä on oma nimi (Kuva 17).

¹ Fanuc. Paint Robot P-250iB/15. Viitattu 13.4.2021.

```

554 PaintL pmSide0_1_7,vPaintABB,zPaint50,tGraco60ABB,WObj:=wobj250_B5_0;
555 PaintL pmSide0_1_8,vPaintABB,zPaint50,tGraco60ABB,WObj:=wobj250_B5_0;
556 SetBrush 2\Y:=150;
557 SetBrush 1\Y:=725;
558 PaintL pmSide0_1_9,vPaintABB,zPaint50,tGraco60ABB,WObj:=wobj250_B5_0;
559 PaintL pmSide0_1_10,vPaintABB,zPaint50,tGraco60ABB,WObj:=wobj250_B5_0;
560 SetBrush 2\Y:=725;
561 SetBrush 1\Y:=150;
562 PaintL pmSide0_1_11,vPaintABB,zPaint50,tGraco60ABB,WObj:=wobj250_B5_0;
563 PaintL pmSide0_1_12,vPaintABB,zPaint50,tGraco60ABB,WObj:=wobj250_B5_0;

```

ABB –kohdat ABB:n sisäistä tietoa

Kuva 17. Lyhyt pätkä Robnorin tekemästä maalausohjelmasta.

Ohjelmarakenne on samanlainen kuin normaali robotilla. ABB-maalusrobotille on ohjelmoinnin avuksi RobotStudioon tehty lisäosa ABB Painting PowerPac, jonka avulla robottia on helppo ohjelmoida maalauksen osalta. Lisäosan avulla saa tehtyä manuaalisesti tai automaattisesti maalausohjelmia. Alla olevassa kuvassa näkyy sama ohjelman kohta Robotstudiossa eri paikoissa esiteltynä. Maalausohjelma koostuu maalausvedoista (*PaintStroke*), joihin kuuluu liikekäskyjä ja suutinmäärittelmiä. Nämä maalausvedot on lisäosassa eritelty, mutta itse robotin ohjelmassa tätä erittelyä ei ole. Liikekäskyjen määrä maalausvedossa riippuu kappaleen muodoista, jolloin paikoituspisteiden määrä voi olla isompi kuin kuvassa. Moottoria maalatessa yksi maalausveto tarvitsee vain kaksi pistettä johtuen maalaus suunnasta, muutamaa aliohjelmaa lukuun ottamatta. Myös käytettävää ruiskua voi vaihtaa kesken maalausvedon, jolloin maalausvedon sisälle tulee *SetBrush*-käskyjä enemmän.

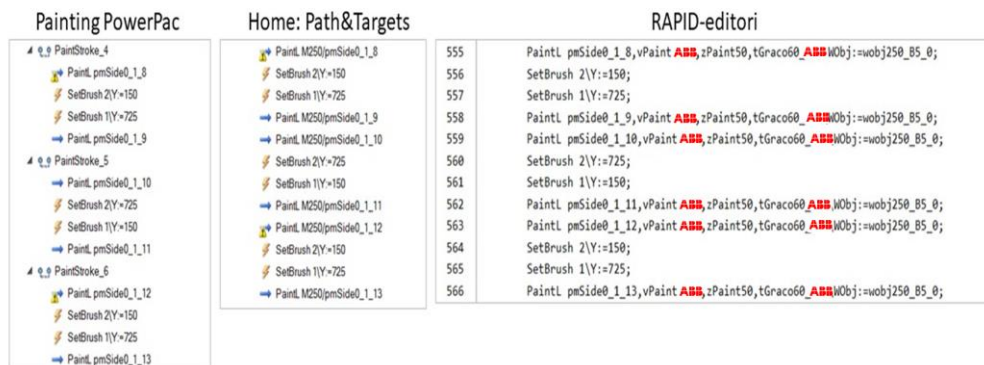
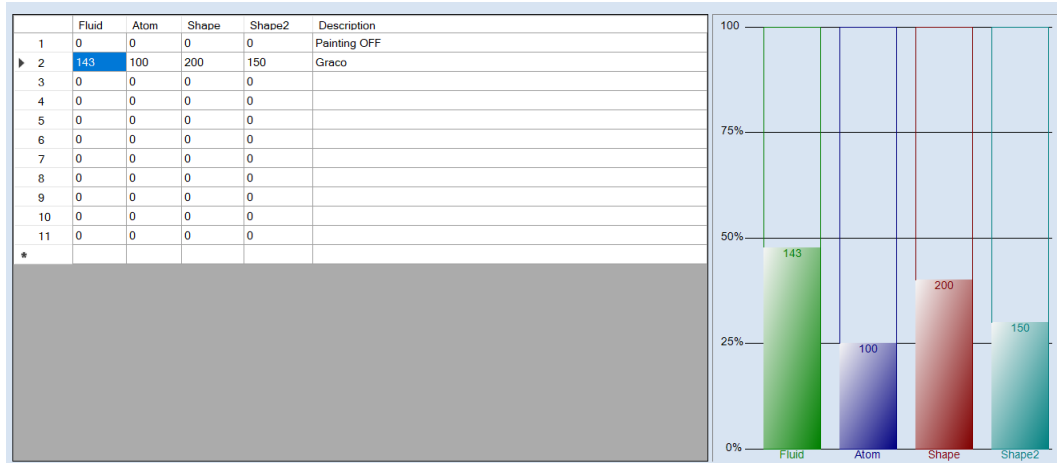


ABB –kohdat ABB:n sisäistä tietoa

Kuva 18. Sama maalausohjelman kohta eri tavalla esitettyinä.

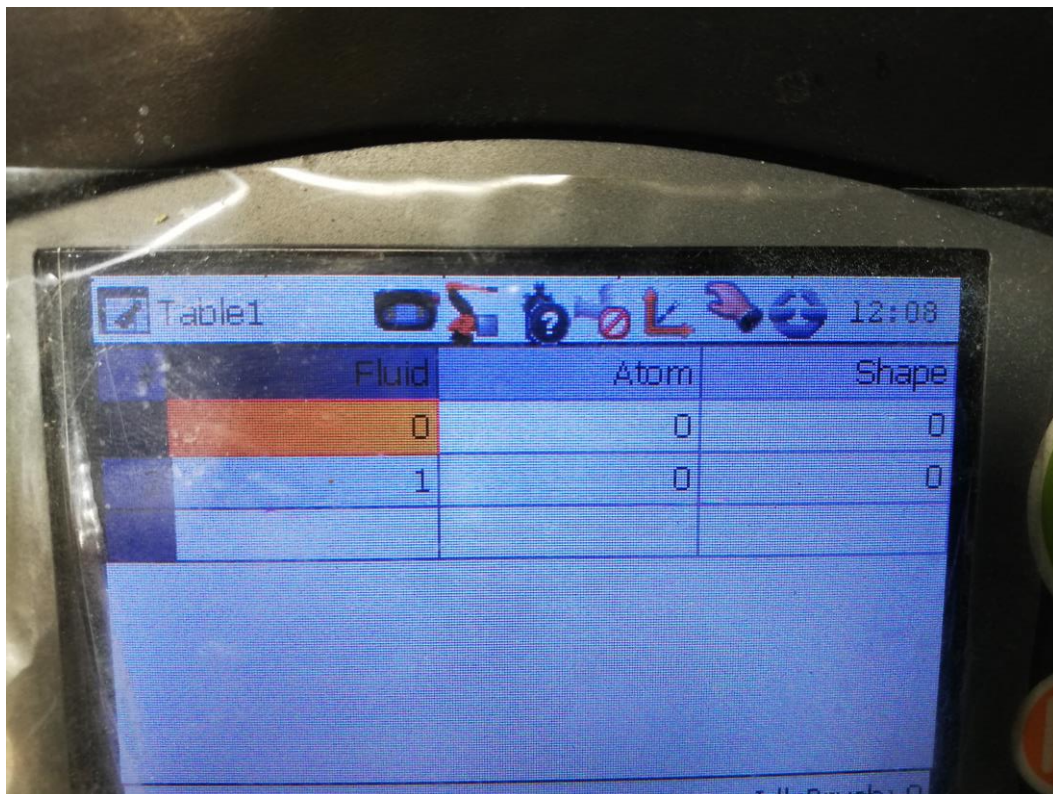
Maalauksessa normaalia *MoveL* käskyä vastaava käsky on *PaintL*. *SetBrush 2\Y:=235* -käsky, jossa ennen kenoviivaa oleva numero antaa robotille tiedon mitä suutintietoa käytetään ja nämä suutintiedot robotti hakee ennalta määritetystä paikasta löytyvästä taulukosta (Kuva 19). $\backslash Y := [numeroarvo]$ kertoo kohdan valitulla akselilla, jossa ruiskutieto kytketään käyttöön.



Kuva 19. BrushTable-taulukko, jossa määritetään käytettävien suuttimien tiedot.

Lisäosan ohjeessa sanotaan automaattisen maalausohjelman esimääritystietojen määrittämisestä, että aloitus ruiskunumero kertoo sen ruiskun, jolla maalaus kytetään päälle. Toinen kertoo sen, jolla maalin tulo lopetetaan.¹ Tämä tieto koskee kuitenkin vain automaattista radan luontia, joten ohjelmaan voi tarvittaessa itse lisätä ruiskun vaihtoja. Robotti ohjaa maalilaitteita näillä suutintiedoilla, jolloin esimerkiksi suutin numero yksi voidaan ohjelmoida lopettamaan maalin syöttö, numero kaksi kytkee sen päälle määrätyn asetuksin ja numero kolme määrätyn asetuksin jne.

¹ ABB Operating manual Painting PowerPac. s.51.



Kuva 20. Maalaamon robotin suutintaulukko.

Tällä robotilla maalauslaitteiden asetuksia, kuten esimerkiksi paineita, ei kuitenkaan ohjata robotilla, joten on käytetty vain kahta eri suutinta, jossa numero 1 kytkee maalauksen pois ja numero 2 kytkee päälle (Kuva 20).

Default Instruction Parameters

Paint

Paint Speed (mm/sec)

Paint Zone *

Transport Speed (mm/sec)

Transport Zone *

SetBrush

Start Brush Number

End Brush Number

Path Settings (mm)

Approach Offset : A *

Depart Offset : D

Trigger On : O1 *

Trigger Off : O2 *

Pitch : P

Hole Width : H

Path Offset : E *

Atomizers

Reduced Flow Brush Number

Reduced Flow Offset : O3 (mm)

Turning Offset : O4 (mm)

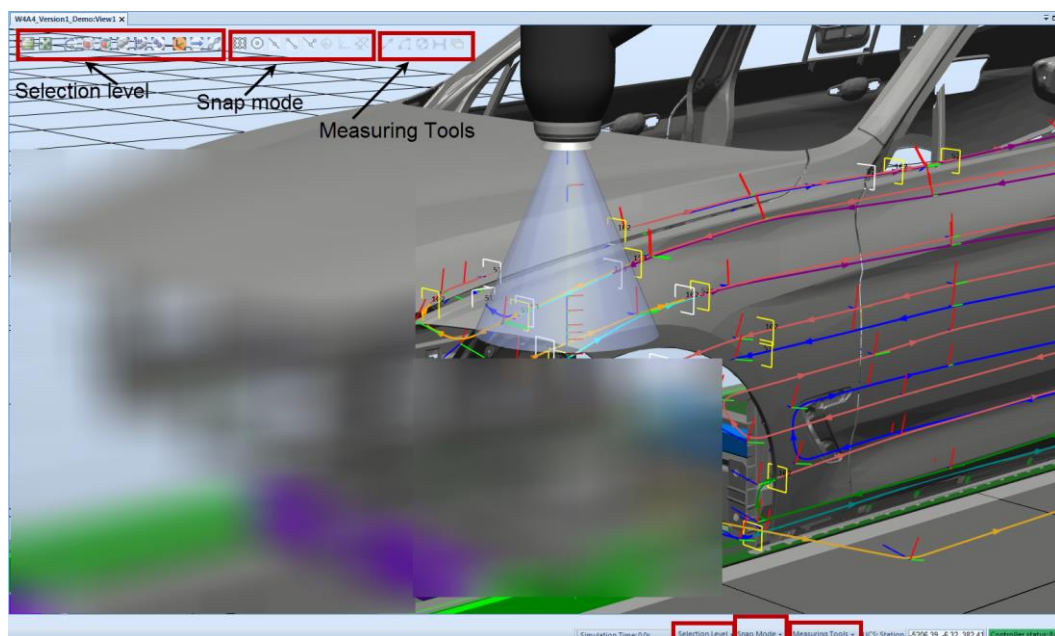
Turning Zone : Z

Edge Offset : O5 (mm)

Spray gun Atomizers

Kuva 21. Maalauspisteiden automaattisen luonnin parametrit. Kuvan arvot eivät maalausohjelmien todellisia arvoja.

Huomioitavaa yllä olevien parametrien määrittämisessä on, että siinä ei oteta kantaa maalausetaisyteen. Maalausetaisyteen vaikutetaan työkalukoordinaatistolla.



Kuva 22. Liikeradat ja SetBrush käskyt¹.

SetBrush-käsky näkyy simuloinnissa neliöinä, jonka yhteydessä lukee myös käytetty pistooli (Kuva 22). Ohjeessa näitä neliöitä nimitetään *Trigger plane*, joiden paikka määrittää myös simuloinnissa näkyvän reitin värin.²

Maalausrobotin käyttöön liittyy olennaisesti myös maalin ja ilman kulutus (Kuva 23). RobotStudiassa näiden laskenta tapahtuu automaattisesti *BrushTablen* -tietojen pohjalta.

Controller	Include	Fluid Consumption (ml)	Gun On Time (sec)	Air Consumption (NI)	Air Consumption1 (NI)	Brush Tables
▶ Controller2	<input checked="" type="checkbox"/>	70	21,6	58	58	table1

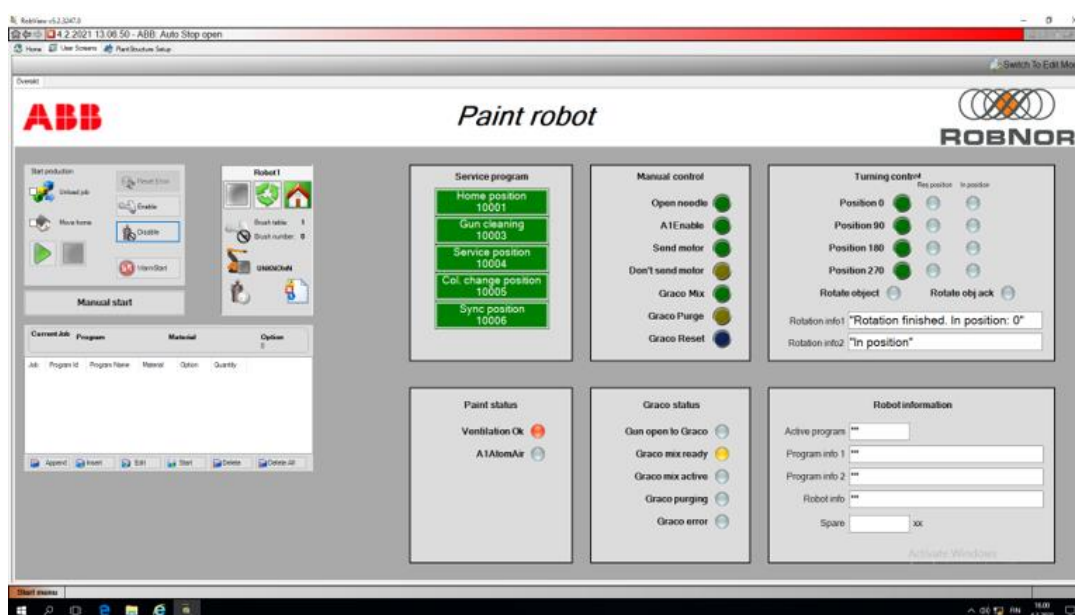
Kuva 23. Maalin ja ilman kulutusmäärät.

¹ ABB Operating manual Painting PowerPac. s.16.

² ABB Operating manual Painting PowerPac. s.16.

6.2.3 Käyttöliittymä maalarille

Maalausrobotilla on käytössä RobView 5 -ohjelma, jonka avulla robotin käyttäjän ei tarvitse ohjata robottia FlexPaint Pendantin kautta. RobView5-ohjelmaan Robnor on tehnyt tuotantokäyttöön sopivan ikkunan, josta maalarin on helppo laittaa robotille työjono ja tehdä päivittäiset huollot (Kuva 24). Ohjelman kautta näkee myös robotin, maalauslaitteen ja moottorin kääntölaitteen tilatiedot. RobView ohjelma antaa käyttäjälle myös helpon tavan muokata ohjelman pisteiden paikkoja ja asentoja. Samalla pystyy muokkaamaan nopeutta ja tarkkuutta.



Kuva 24. Kuvakaappaus maalarin RobView5-ohjelman käyttäjänäkymästä.

6.3 Automaattimaalausolun toimintaperiaate

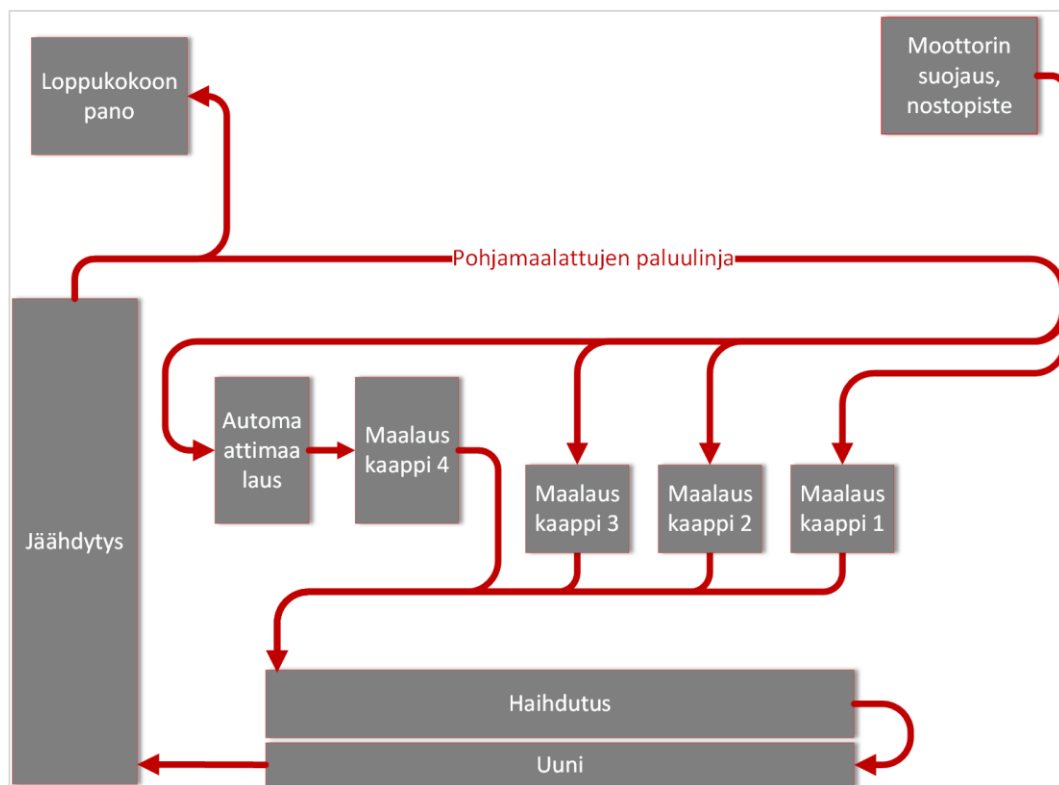
Maalattavat moottorit kulkevat maalauslinjastossa power and free -kuljettimella, jossa on mahdollisuus pysäyttää moottori maalauspisteelle tai muualle ennalta määritettyyn paikkaan ilman, että muu linjasto pysähtyy (Kuva 26).¹

¹ Jokinen, I. Kuusela, A. Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. s. 23.



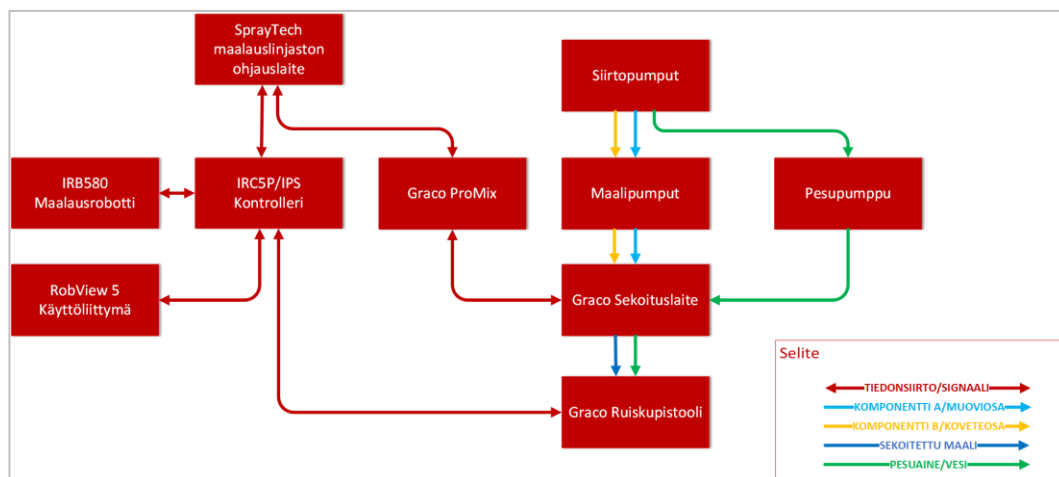
Kuva 25. Moottori pyörii punaisen akselin ympäri maalauksen aikana.

Moottoria käännetään maalausohjelman aikana useita kertoja 180 astetta kerrallaan, jotta maalikalvosta tulisi tasaisempi (Kuva 25, kuva 28 ja kuva 29). Kuvassa 25 taustalla linjastolla seuraavana oleva maalauskaappi 4.

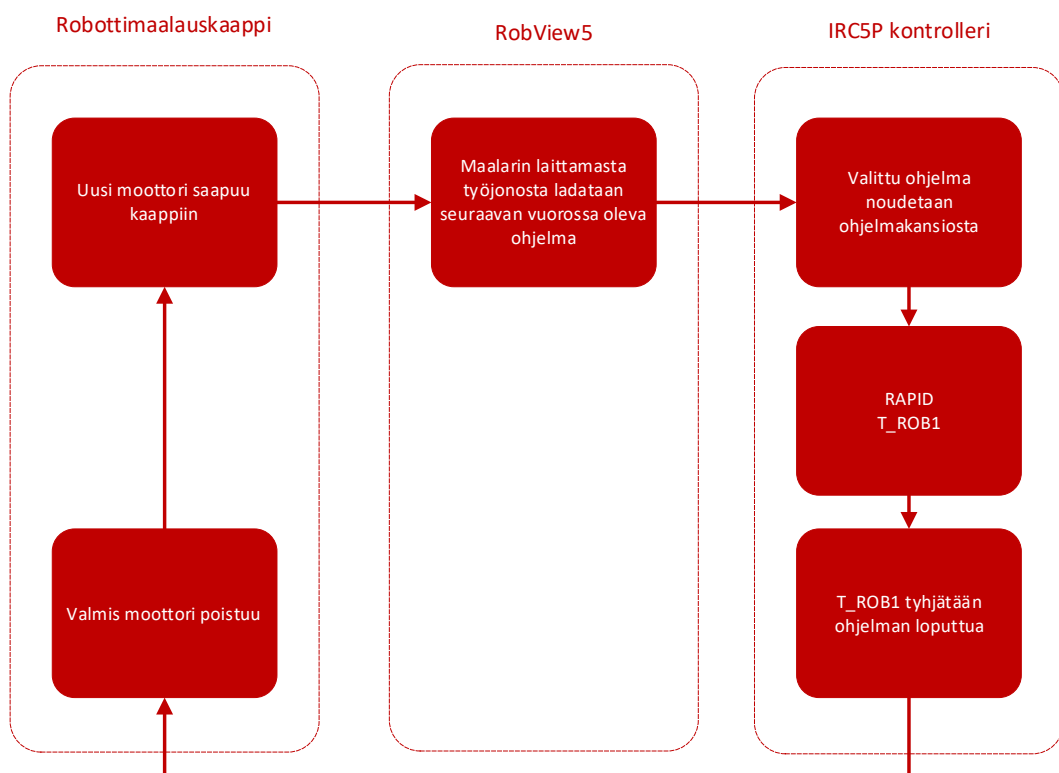


Kuva 26. Maalauslinjaston layout.

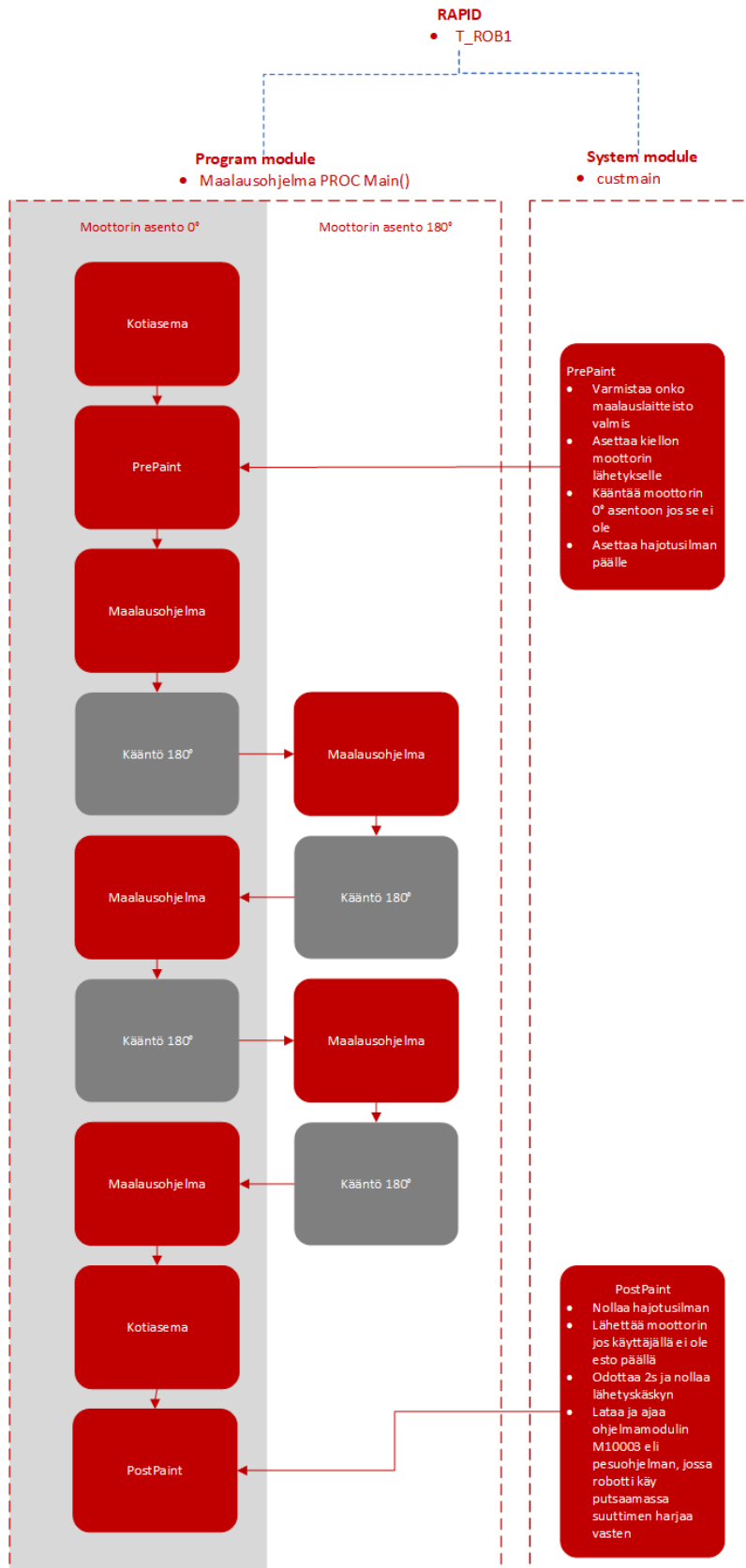
Sähköiset tiedot maalaussolussa kulkevat SprayTechin maalauslinjaston ohjauslaitteen kautta, koska sen toiminta vaikuttaa koko soluun. Robotin ohjaus toimii robotin kontrollerin kautta, kuten normaalilla robotillakin. Maalauslaitteisto on oma kokonaisuutensa, joka saa tietoja SprayTechin ohjauslaitteelta. Maalauslaitteisto antaa sitä myös takaisin, kun kovetteen tai muoviosan virtaus tai paine ei ole riittävä, jolloin maalaus keskeytetään. Kts. Kuva 27.



Kuva 27. Automaattimaalausolun laitteiden yhteydet ja maalin kulku.



Kuva 28. Solun toimintaperiaate.



Kuva 29. Maalausrobotin ohjelmien rakenne.

7 MAALAUROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA KÄYTTÄJÄKOULUTUS

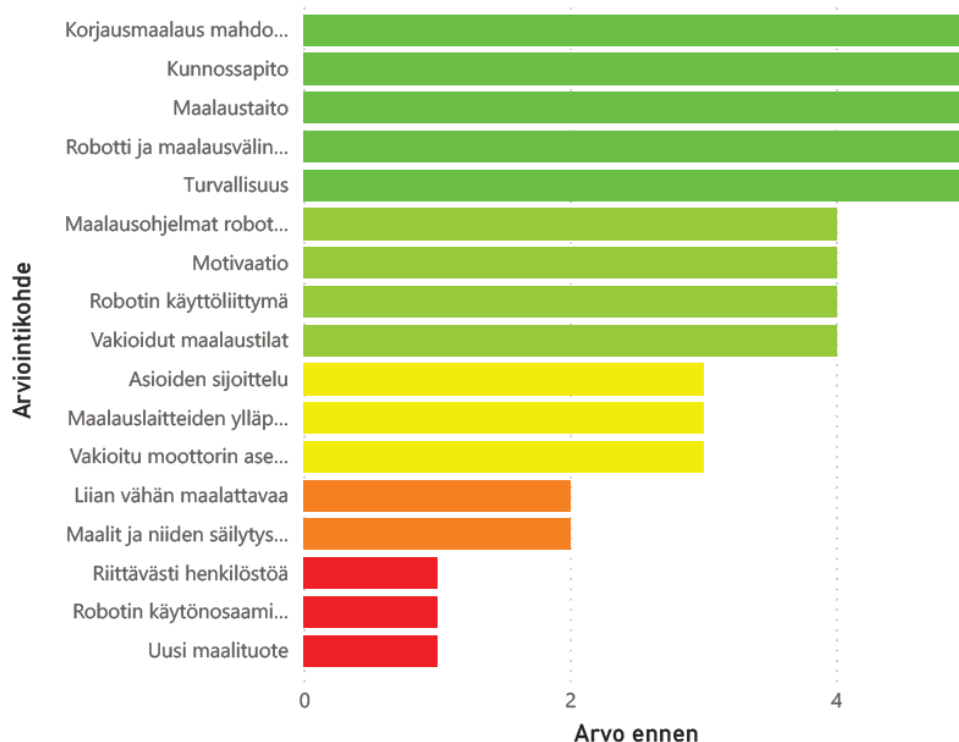
7.1 Aloitusvaihe

Opinnäytetyön aihe valikoitui useasta eri vaihtoehdosta. Opinnäytetyön tekijän toiveena oli, että aihe liittyisi mahdollisesti teollisuusrobotiikkaan tai lisäävään valmistukseen ja näistä kahdesta vaihtoehdosta robotiikkaan liittyvä aihe löytyi työpaikalta helposti, koska ABB Motors and Generators Vaasan tehtaalla sijaitseva ABB IRB580 -maalausrobotti oli todella vähällä käytöllä. Opinnäytetyön aihe saatiin sovittua joulukuussa 2020 ja työ aloitettiin tammikuussa 2021 siirtymällä suunnitteluvaiheeseen.

7.2 Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaiheessa apuna käytettiin aiempia tietoja maalausrobotista ja keskusteltiin nykytilanteesta ja tarpeista niin maalareiden kuin toimihenkilöidenkin kanssa. Lisäksi apuna olivat erilaiset materiaalit, kuten robotin ohjelmat tehneen Robnorin materiaalit sekä maalaukseen, että robotiikkaan liittyvä teoretieto. Näiden avulla nykyisestä tilanteesta koostettiin taulukko, jonka avulla on helpompi hahmottaa opinnäytetyössä kehitettävät asiat 1 - 5 asteikolla (Kuva 30). Taulukosta nousi esille se, että maalareiden määrä on riittämätön nykyisellä toimintatavalla ja kalustolla, jos robotti otetaan käyttöön sekä robotiikan osaamiseen liittyvä puute. Linjalla on tällä hetkellä vain kaksi robotin käytön osaavaa maalaria, jotka ovat itse opiskelleet siihen liittyvät asia. Tämä asia oli ensimmäinen tavoite, että saadaan robottiosaaminen opetettua myös muille maalareille. Työn tilaajan puolelta tuli toive, että ei kouluteta robottiosaajia maalareiksi vaan nykyiset maalarit robotin käyttäjäksi.

Arviointikohteet projektin alussa



17

Arviointikohteiden määrä

Kuva 30. Ongelmakohtien etsintä, jossa 1 on ongelma ja 5 on kunnossa.

7.3 Toteutusvaihe

7.3.1 Koeajot

Robotilla maalattiin koeajona kaksi tyhjää moottoria, jossa oli vain runko ja pääty-laipat kiinni. Tämän takia moottoreiden painopiste oli eri kuin asiakasmootto-reissa, joten niiden riipunta oli erilainen. Tällä tavalla varmistettiin kuitenkin lait-teiden toimivuus, koska maalituote oli vaihtunut edellisen käytön jälkeen sekä maalilaitteet olivat olleet tukossa pitkän käyttötauon ja huonon pesun takia, joten ne oli purettu ja pesty sen vuoksi. Koeajoja jatkettiin suoraan asiakasmoottoreilla, kun tyhjät moottorit oli todettu hyväksi.

Asiaksmoottoreissa tuli ilmi, että robotilla jää jokaisesta jalkamoottorista maalaamatta jalan ja rungon välistä pieni osa runkoa (Kuva 31). Muut maalaamattomat kohdat, joita moottoreista löytyi, saatiin poistumaan maalilaitteiden asetuksia säätämällä.



Kuva 31. Robotin maalaama moottori, jossa runkoon jäi ns. laiska paikka

Robnorin tekemistä ohjelmista robotilla oli ennestään käytetty kaikkia paitsi kahta ohjelmaa. Nämä molemmat käyttämättömät ohjelmat ajettiin läpi ja niillä maalattiin asiaksmoottoreita. Samalla korjattiin muun muassa konfiguraatio ongelma, jossa robotti keskeytti maalaamisen. Kun robotti oli maalannut moottorin ja lähettänyt sen eteenpäin, se tarkastettiin silmämääräisesti ja tarvittaessa maalattiin käsin lisää.

7.3.2 Ohjelmien optimointi

Nykyisissä Robnorin tekemissä ohjelmissa ei ollut kovin paljoa optimoitavaa. Robnor on tehnyt yhden ohjelman tehtaalla paikan päällä ja loput etänä, koska

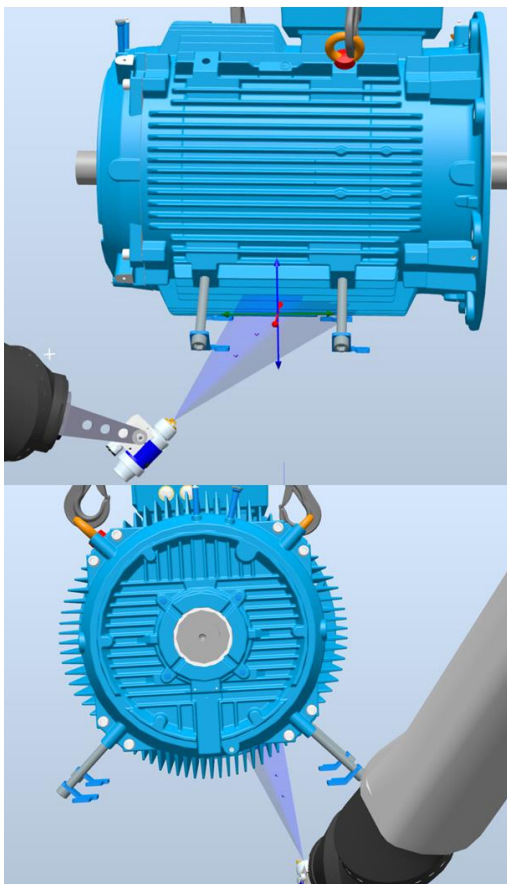
moottorin malli ja siten maalaustapahtuma oli samantyyppinen akselikorkeuden ja kiinnitystavan vaihtuessa. Ohjelman monistaminen eri akselikorkeuksille aiheuttaa sen, että samat virheet toistuvat jokaisessa ohjelmassa akselikorkeudesta riippumatta. Osa näistä virheistä saatiin korjattua kaikista ohjelmista. Kaikkia virheitä ei kuitenkaan voitu ajan ja oikeanlaisten moottoreiden puutteen vuoksi korjata jokaisesta ohjelmasta vaan vain muutamasta ohjelmasta. Vaikka ongelma toistuu eri ohjelmien välillä, ei sitä kannata yrittää poistaa ohjelmaa muokkaamalla maalaimatta kyseistä moottoria.

Kalvonpaksuutta seurattiin satunnaisesti mahdollisuuksien mukaan. Esteitä aiheuttaa kaksivuorotyö ja maalin kuivuminen. Kuivakalvonpaksuus pystyttiin mittaamaan vain aamun ensimmäisistä moottoreista, jotta uudelleenmittaus kerettiin suorittamaan ennen vuoron päättymistä moottorin tullessa jäähdytyksestä pois. Robotin maalaamat kalvonpaksuudet olivat pyydetyissä rajoissa.

Kaikista maalausohjelmista hidastettiin pohjan maalausnopeutta 400 mm/s:ssa. Tämä robotin liikkeiden hidastaminen pohjan osalta vaikutti maalaus aikaan siten, että maalaus aika piteni 250-akselikorkeudessa noin 4,6 %, joten vaikutus ei ole suuri, koska pienemmillä moottoreilla ero on pienempi. 250-akselikorkeuden moottoreiden ohjelmista yläosan maalauksessa pisteitä siirrettiin ja osa maalausvedoista poistettiin niiden aiheuttamien valumien vuoksi. Muokkaamalla pisteiden paikkaa ja maalausvetojen määrää saatiin valumat pois ja maalikalvo silmämääräisesti tasapaksuiseksi.

Optimoinnin aikana testattiin myös eri suuttimia. Maalauksessa vaihdettiin suuttimia useampaan otteeseen, jonka vuoksi jouduttiin muokkaamaan myös maalilaitteiden säätöjä, kuten hajotusilmaa. Sopivat säädöt uudelle maalituotteelle löytyivät, mutta ne ovat vain suuntaa antavia, koska maalin viskositeetti muuttuu veden haihtuessa tynnyristä ja maalaamon lämpötilan muuttuessa. Maalarin tehtävä on seurata maalikalvon laatua, jotta hän osaa muuttaa maalilaitteiden säätöjä.

Ennen



Kuva 32. 160-akselikorkeuden moottorin maalausohjelman optimointi. Kuvassa 250-laippamoottori, mutta pohjan jäähdytysrimat ovat samanlaiset.

160-akselikorkeuden jalkakiinnitteisessä moottoreissa pohjan jäähdytysripojen välien maalausessa etsittiin suuttimelle optimaalista maalauskulmaa kahden eri akselin suhteen. Asetuksia haettiin usealla moottorilla ja osittain myös vaihdettiin maalauslaitteiden säätöjä. Lopputulos saatiin toimivaksi ja maali meni lopulta koh- tuullisen hyvin ripojen väliin. Kts. Kuva 32.

7.3.3 Käyttäjäkoulutus

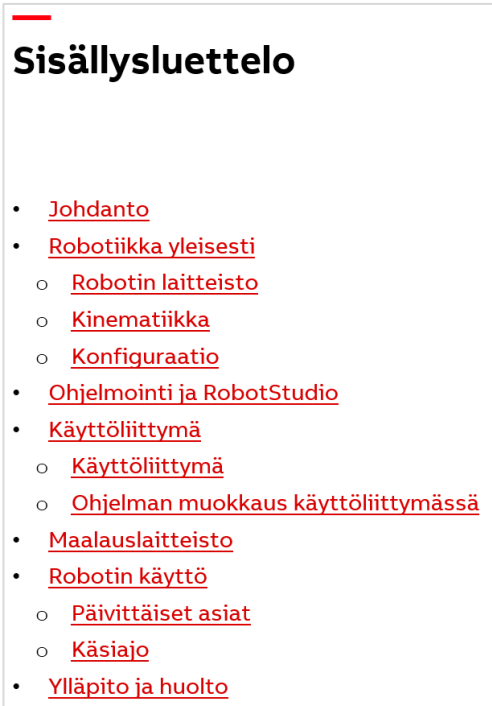
Käyttäjäkoulutuksen materiaalin suunnittelu ja tekeminen aloitettiin hyvissä ajoin. Tukena materiaalin tekemisessä käytettiin niin koulun luentomateriaalia kuin aiheeseen liittyviä kirjoja. ABB:llä kunnossapito on hyvin koulutettu robotin käyttöön ja huoltoon, mutta ongelmakohtia etsiessä tuli esille, että maalarit, joiden robottia pitäisi käyttää, eivät osanneet sitä käyttää kahta poikkeusta lukuun ottamatta. Tavoitteena oli tehdä koulutuksesta robotiikkaa yleisellä tasolla opettava, mutta myös lisäksi kyseisen maalaussolun tarkempi koulutus oli tärkeää. Käyttäjäkoulutuksessa opeteltiin robotin peruskäyttöä maalaamalla asiakasmootoreita robotilla. Nyt opinnäytetyön aikana tehtävässä käyttäjäkoulutuksessa ei käytetty koulutusmateriaalia, koska toimintaa harjoiteltiin oikealla robotilla. Käyttäjäkoulutusta varten tehty materiaali on tukena nyt koulutetuille maalareille tulevaisuudessa, jos robotin käytössä on ollut taukoa. Materiaalia voi myös myöhemmin käyttää uusien maalareiden robottikoulutuksessa.

Maalarin on hyvä tietää koko automaattimaalausjärjestelmän kaikki laitteet ja niiden tärkeimmät toiminnot. Automaattimaalaussolu on iso kokonaisuus, jossa laitteita on monessa paikassa, joten normaali maalaustyökierto ja laitteiden tehtävät olisi hyvä oppia tuntemaan mahdollisten häiriöiden etsimisen helpottamiseksi, teki sen sitten käyttäjä itse tai kunnossapito. Maalauslaitteisiin kuuluu myös olennaisesti päivittäinen huolto, koska maalin käyttöaika on hyvin lyhyt.¹ Nämä kaikki edellä mainitut asiat koulutettiin maalareille, jotta robotin peruskäyttö saataisiin riittävän helpoksi ja tutuksi. Maalarin peruskoulutus robotilla oli kokonaisuudessaan yhden työvuoron mittainen, jossa opeteltiin robottikaapin käyttöönotto, vuoron aikainen peruskäyttö ja käytöstä poistaminen.

¹ Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen robotiikkayhdistys ry. s. 107.

Koska maalarin koulutus oli vain yhden vuoron mittainen, ei se välttämättä riitä jokaisella maalarilla robotin käyttöön. Asiat unohtuvat helposti, koska tulee paljon uutta tietoa. Avuksi otettiin käytön seuranta ja avustus, jossa tuki oli läsnä koko ajan ja mahdollisia ongelmatilanteita päästään korjaamaan ilman avun odottelua. Käytön seurannan aikana opeteltiin lisäksi robotin käsiajtoa ja muita mahdollisia ongelmatilanteita, jos niitä ei muuten ilmennyt. Tällä tavalla robotin käyttö saatiin käyttäjälle tutuksi ja turvalliseksi, jotta siihen ei tule heti liian iso kynnyks. Seurannan aikana suoritettiin myös testi maalarin osaamisesta ja annettiin todistus suoritetusta maalausrobotikoulutuksesta. Tällä testillä varmistettiin työvuoron aikainen peruskäytön osaaminen.

Koulutus ja käytön avustus kestivät yhdellä vuorolla yhteensä 3 viikkoa, josta peruskoulutuksen osuus oli yksi viikko. Tällä tavalla yksi maalari sai koulutusaikaa robotilla yhteensä 2 - 3 päivää riippuen tuotannon tilanteesta. Koska COVID-19 -virus luo omat rajoitteensa, täytyi koulutus ja käytön tuki suunnitella siten, että vuoron välisiä vaihtoja tulisi mahdollisimman vähän. Alkuperäinen robotin käytön osaava maalari oli mukana tukena molempien vuorojen kanssa peruskoulutusvaiheessa.

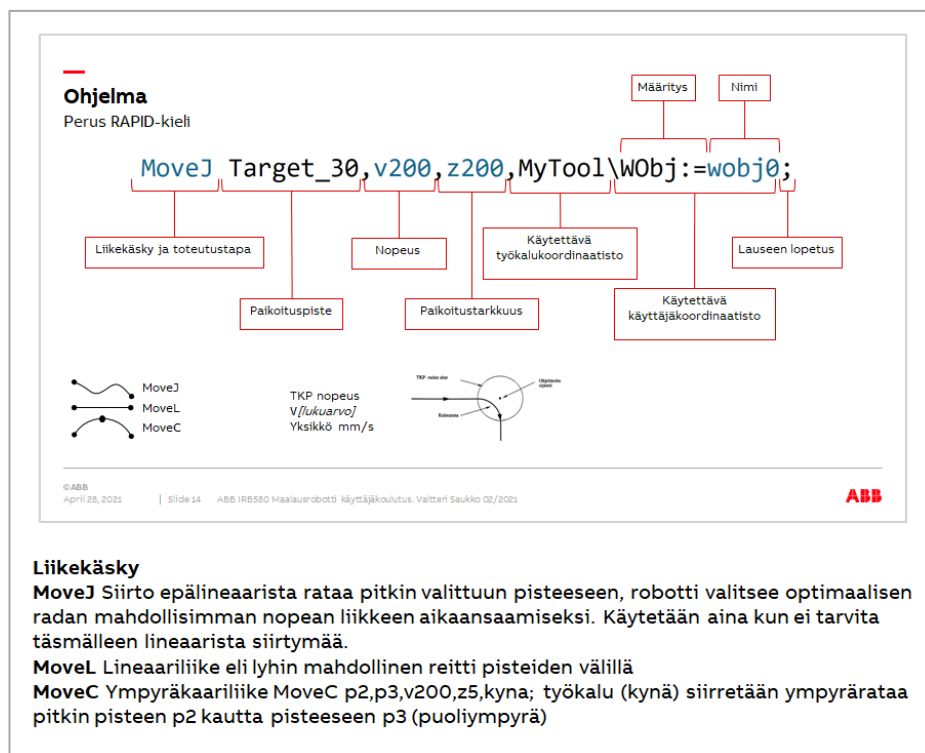


Sisällysluettelo

- [Johdanto](#)
- [Robotiikka yleisesti](#)
 - [Robotin laitteisto](#)
 - [Kinematiikka](#)
 - [Konfiguraatio](#)
- [Ohjelmointi ja RobotStudio](#)
- [Käyttöliittymä](#)
 - [Käyttöliittymä](#)
 - [Ohjelman muokkaus käyttöliittymässä](#)
- [Maalauslaitteisto](#)
- [Robotin käyttö](#)
 - [Päivittäiset asiat](#)
 - [Käsiajo](#)
- [Ylläpito ja huolto](#)

Kuva 33. Koulutusmateriaalin sisällysluettelo.

Koulutusmateriaali sisältää robotiikan perusteista, kuten RAPID-kielen lukemista ja kinematiikkaa. Siihen on sisällytetty myös RAPID-kielen maalaukseen liittyviä tietoja. Iso osa materiaalista on kuitenkin robottimaalauskaappiin ja sen käyttöliittymään liittyvää tietoa. Kts. Kuva 33 ja Kuva 34.



Kuva 34. Mallikuva koulutusmateriaalin ohjelmointi ja RobotStudio-osiosta.

7.3.4 Maalareiden käyttövuorot

Jotta robotin käyttö pysyisi maalarella muistissa, eikä arkuutta sen käyttöä kohtaa pääsisi syntymään, maalareille määritettiin oma vastuupäivä. Työnjohtajan kanssa maalareille määritettiin oma viikonpäivä, jolloin hänen olisi oltava robotilla maalauksessa, jos vain maalattavaa riittää. Tarkoitus ei ole laittaa maalaria robotille odottamaan maalattavaa, vaan hänen täytyy itse seurata omana vastuupäivänään maalaukseen tulevia moottoreita ja jos robotilla maalattavia moottoreita on riittävästi, hän ottaa sen käyttöön. Jos moottoreita ei ole riittävästi, hän maalaa manuaalisesti. Työnjohtaja pystyy tällä tavalla helposti seuraamaan ja valvomaan robotin käyttöä.

7.3.5 Työympäristön siistiminen

Osana opinnäytetyötä siistittiin myös maalareiden työpistettä. ABB:llä on käytössä 5S, joten sen mukaisesti jokaiselle työkalulle merkittiin oma paikka ja ylimääräiset tavarat vietiin pois. Robottimaalauskaapin työpisteelle 5S:ään kuuluvia asioita ei

ollut vielä tehty, joten ne oli hyvä toteuttaa tämän työn ohessa, koska niillä on myös iso merkitys käyttömukavuuteen. Kts. Kuva 35 ja Kuva 36.



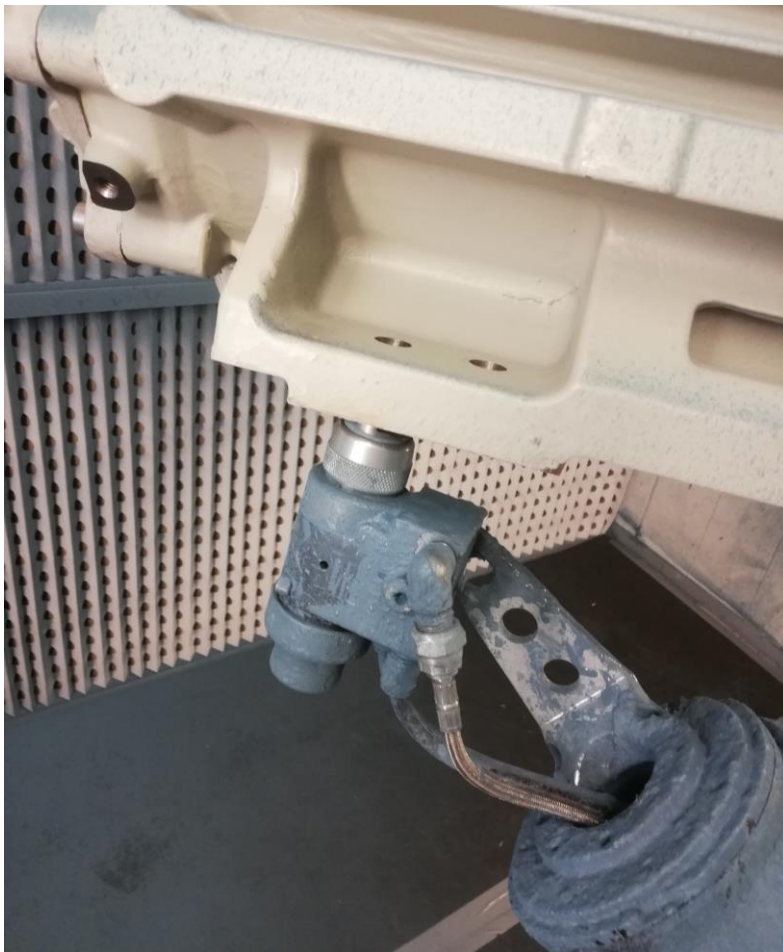
Kuva 35. Robottisolun työkalukaappi projektin alussa ja lopussa.



Kuva 36. Työkaluille tehtiin omat merkityt paikat.

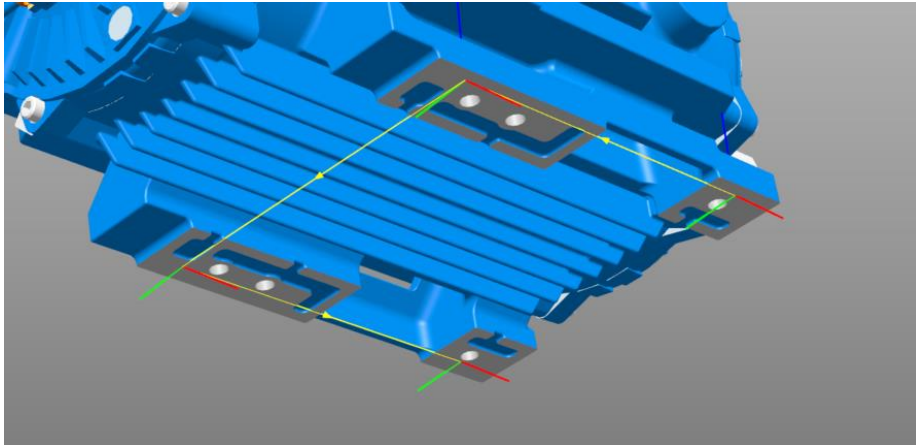
7.3.6 Uusi maalausohjelma robotille

Opinnäytetyön ohella erillisenä työnä tehtiin uusi maalausohjelma robotille 180-akselikorkeuden JP-suunnittelutyyppin jalkakiinnitteiselle moottorille. Uuden ohjelman myötä robotilla on maalattavissa uusi suunnittelumalli, koska aiemmin robotilla on ollut ohjelmat vain BP-suunnittelutyyppin moottoreille.



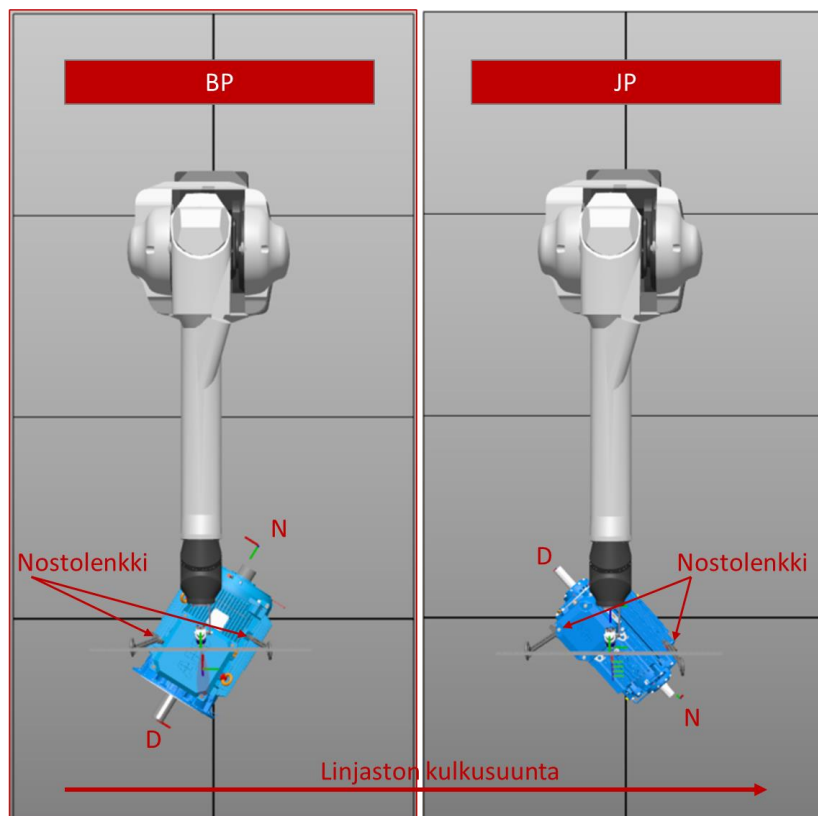
Kuva 37. Paikoituksessa käytettiin suuttimessa olevaa työkalukoordinaatistoa.

Työ aloitettiin ajamalla kyseinen moottori robottikaappiin, jonka jälkeen ajettiin maalisuutin kiinni moottorin jaloissa oleviin kiinnitysreikiin (Kuva 37). Paikoituspisteitä otettiin neljä, yksi joka jalalle, jotta moottori saadaan RobotStudiassa oikeaan asentoon (Kuva 38).



Kuva 38. Robottikaapissa haetut pisteet eivät täysin täsmänneet virtuaalimaailmaan, mutta moottori paikoitettiin niiden keskelle.

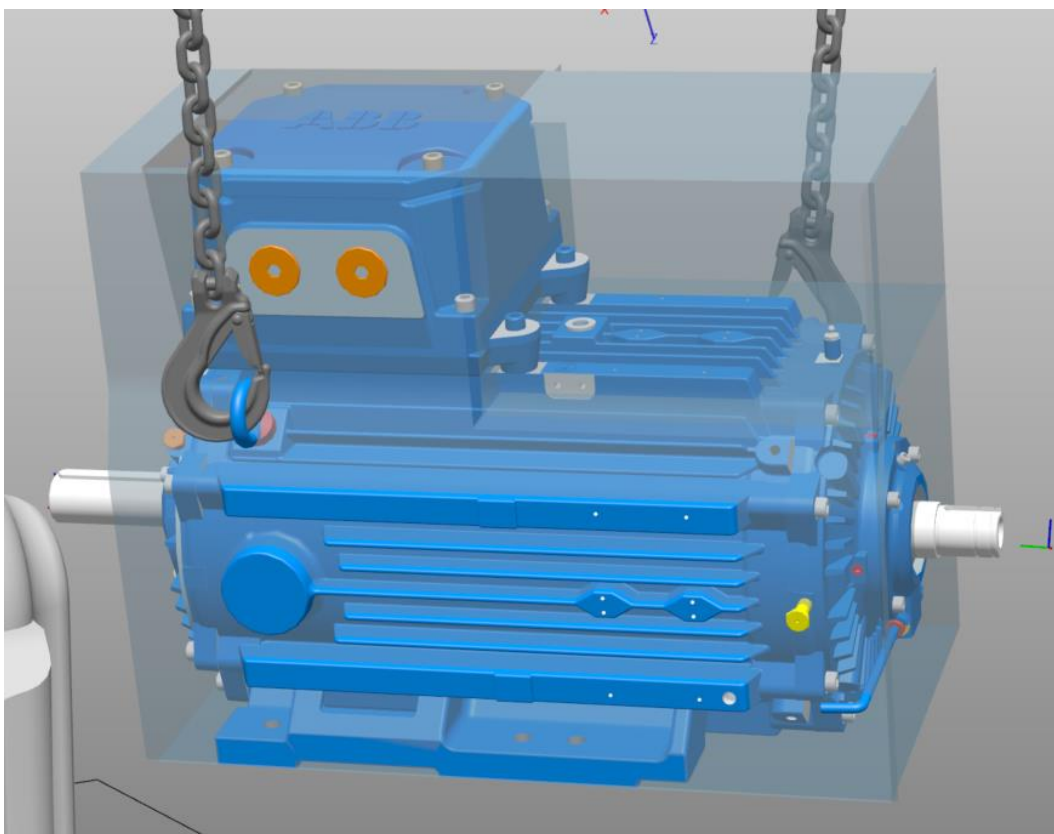
JP-moottori tulee eri asennossa robottikaappiin sisään kuin BP-moottorit, joten maalausohjelman aliohjelmat täytyi nimetä sen mukaisesti ja lisäksi se vaikutti myös ohjelman tekemiseen, koska ripustus piti huomioida eri tavalla kuin BP-moottorissa (Kuva 39).



Kuva 39. Kuvakaappaus RobotStudiosta kahdella eri suunnittelutyypillä.

Ohjelmointia lähestyttiin tutkimalla ensin Robnorin tekemää 225 mm akselikorkeuden laippakiinnitteisen BP-moottorin ohjelmaa, koska Robnorin ohjelmat olivat toimineet hyvin. Ohjelmasta katsottiin ensinnä maalausvedon suunta, koska jokainen pinta maalataan useaan kertaan ja maalausvetojen suunta muuttuu välissä. Tämän jälkeen etsittiin käytettävän työkalukoordinaatiston mukaan kulma, jossa suutin kulkee eteenpäin maalausvedon aikana. Ohjelmasta etsittiin myös suuttimen kallistus sivusuunnassa maalausliikkeen aikana, jolla on iso merkitys maalauksen onnistumisessa, koska se vaikuttaa maalin pääsyyn esimerkiksi jäähdytysripojen väliin. Kaikkea ei voinut tehdä Robnorin ohjelman mukaan, koska moottorin suunnittelutyyppi oli eri kuin Robnorin tekemässä ohjelmassa. JP-moottori on oletettavasti helpompi maalata, koska jäähdytysripojen välit ovat isompia ja rivat matalampia. Aiemmin tehtyjen koeajojen perusteella muutamia kulmia muutettiin hieman paremmaksi.

Koska RobotStudiossa on maalauslisäosa ja siellä on mahdollista luoda maalausvetoja automaattisesti etukäteen annettujen parametrien mukaan, luotiin moottorin päälle pintamallinnuksen avulla ns. aputasot, joita käytettiin automaattisen maalausohjelman luonnissa (Kuva 40). Nämä olivat välttämättömiä, koska olisi ollut todella monimutkaista ja käytännössä turhaa osoittaa moottorista haluttavat pinnat, joiden mukaan liikerata luodaan, koska esimerkiksi pieniä pinnanmuotoja ja jäähdytysripoja ei tarvitse huomioida liikeratojen tekemisessä. Ne vaikuttavat vain suuttimen asentoon, joita automaattinen maalausvetojen luonti ei ota huomioon.



Kuva 40. Moottorin päälle luotiin pintamallit, joiden avulla on helppo luoda automaattisesti maalausohjelma. Pintamallit mukailevat hieman moottorin muotoa.

Maalauslisäosa tekee vain maalausvedot eli paikoituspisteet ja liikekäskyt niiden välille sekä *SetBrush*-käskyt, mutta maalauskuilma se ei ota huomioon vaan ne täy-

tyy itse määritellä jokaiselle paikoituspisteelle erikseen. Tästä syystä uuden maalausohjelman tekeminen on hyvin hidasta, koska paikoituspisteitä on useita kymmeniä, ellei jopa satoja riippuen maalattavan kappaleen mallista.

180-akselikorkeuden JP-moottori valittiin siksi, että BP-moottoreissa 180-akselikorkeuden ohjelmalla pystyy maalaamaan tarvittaessa myös 160-akselikorkeuden moottoreita. Lisäksi jokaiselle moottorin kiinnitystavalle on omat ohjelmansa, mutta niissäkin ohjelmia pystyy käytännössä ajamaan keskenään sekaisin. Toki se saattaa aiheuttaa hieman enemmän lisätyötä korjaukseen maalauskaappi 4:ssä ja mahdollisesti vaihtelua maalikalvon laadussa, joten moottorit kannattaa ajaa niille tehdyllä ohjelmalla.

8 KEHITYSKOhteet

Kehityskohteita tuli esille useita, joita kaikkia ei tämän opinnäytetyön puitteissa voida korjata. Ne on kuitenkin kirjattu ylös ja perusteltu, jolloin niitä voidaan kehittää myöhemmin. Tämä opinnäytetyö on ensimmäinen askel robottisolun kehityksessä. On hyvä aloittaa solun käyttöönotolla ja jatkaa sen jälkeen solun parantamiseen.

8.1.1 Maalareiden määrä

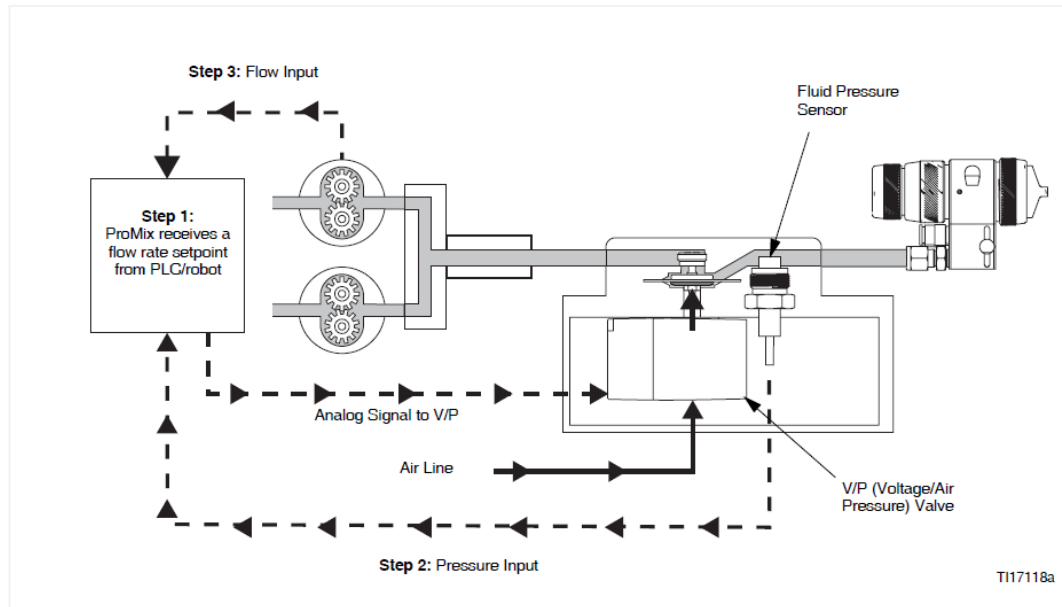
Maalaamon henkilömäärä on tällä hetkellä, nykyisellä toimintatavalla, liian pieni, jos robotti otetaan päivittäiseen käyttöön. Robotti ei voi toimia itsenäisesti vaan se toimii apukätenä maalarille, vaikka ohjelmat olisivat täysin toimivia. Jalkamoottorin tullessa robotille maalattavaksi täytyy sen jalkojen kosketuspinnat ensinnä suojata magneettikiinnitteisellä suojalla ja maalauksen jälkeen ne täytyy ottaa pois. Niiden jäljiltä moottorin jalkoihin jää maalaamattomia kohtia riippuen suojan kunnosta, koska siihen kertyy ajan kanssa paksu kerros maalia. Kts. Kuva 41.



Kuva 41. Jalkojen suojat paikallaan. Suojassa on paikoitusta helpottava reuna, jonka vuoksi jää maalaamaton kohta.

Robottia ei voi myöskään jättää vahtimatta, koska nykyinen maalauslaitteisto vahtii muoviosan ja kovetteen sekoitussuhdetta virtausmittareilla (Kuva 42). Johtuen maalin viskositeetista, sitä kertyy hiljalleen rattaisiin, jolloin rattaan pyöriminen

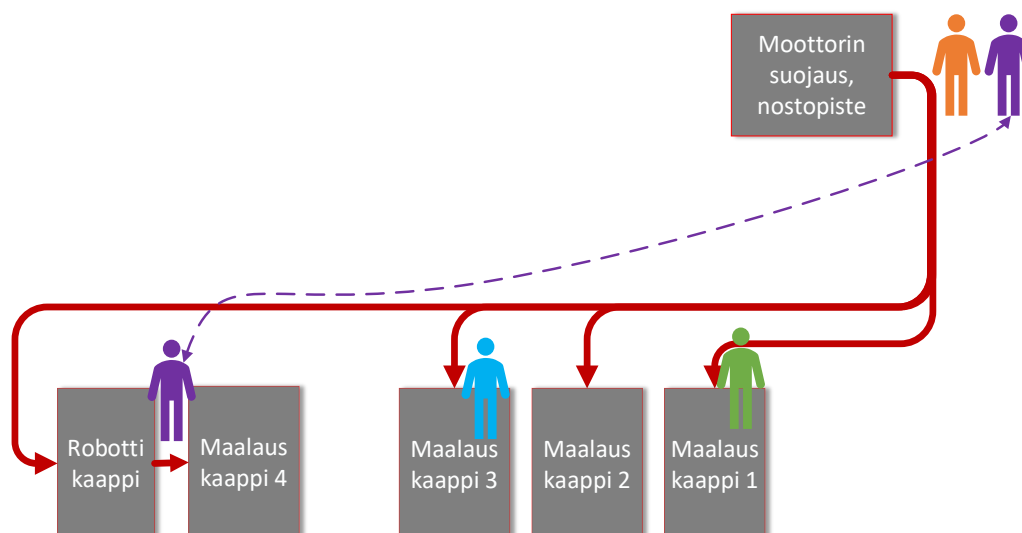
muuttuu ja sen takia Gracon laitteisto laskee sekoitussuhteen väärin. Koemaalauksissa kävi myös niin, että toinen venttiileistä, joiden kautta pystyy sekoitussuhteen tarkistamaan, oli alkanut vuotamaan, jolloin moottori maalattiin lähes pelkällä kovetteella. Lisäksi maalarin valmistellessa moottorijonoa maalaukseen, hänen täytyy tehdä myös robotille työjono. Radan rakenteen takia moottoreita voi joutua odottamaan pitkäänkin, kun jonossa saattaa olla edellä maalauskaappi 2:een ja 3:een meneviä moottoreita. Kts. Kuva 26. Lisäksi maalin ominaisuuksien muuttuminen jopa yhden vuoron aikana aiheuttaa tarvetta muuttaa maalilaitteiden säätöjä. Muun muassa näistä syistä robottia ei voi jättää yksinään maalaamaan. Robotilla ei ole tarkoitus korvata maalaria vaan vain helpottaa ja turvallistaa tämän työtä.



Kuva 42. Graco maalilaadun valvonta¹.

Vähintään neljä kappaletta maalareita on nykyisellä kalustolla ja toimintatavalla toimivan kokonaisuuden kannalta ainoa toimiva ratkaisu, koska ohjelmia eri moottorimalleille on vähän ja robotilla voi maalata vain yhtä väriä. Jos maalareita on neljä niin kaksi maalaria saa maalata käsin, yksi on robotilla ja yksi valmistelee moottoreita. Kun moottoreita menee kolmeen maalauskaappiin, täytyy robotti-maalarin käydä auttamassa moottoreiden valmistelussa, että moottoreiden virtaus linjastolla pysyy hyvänä. Kts. Kuva 43.

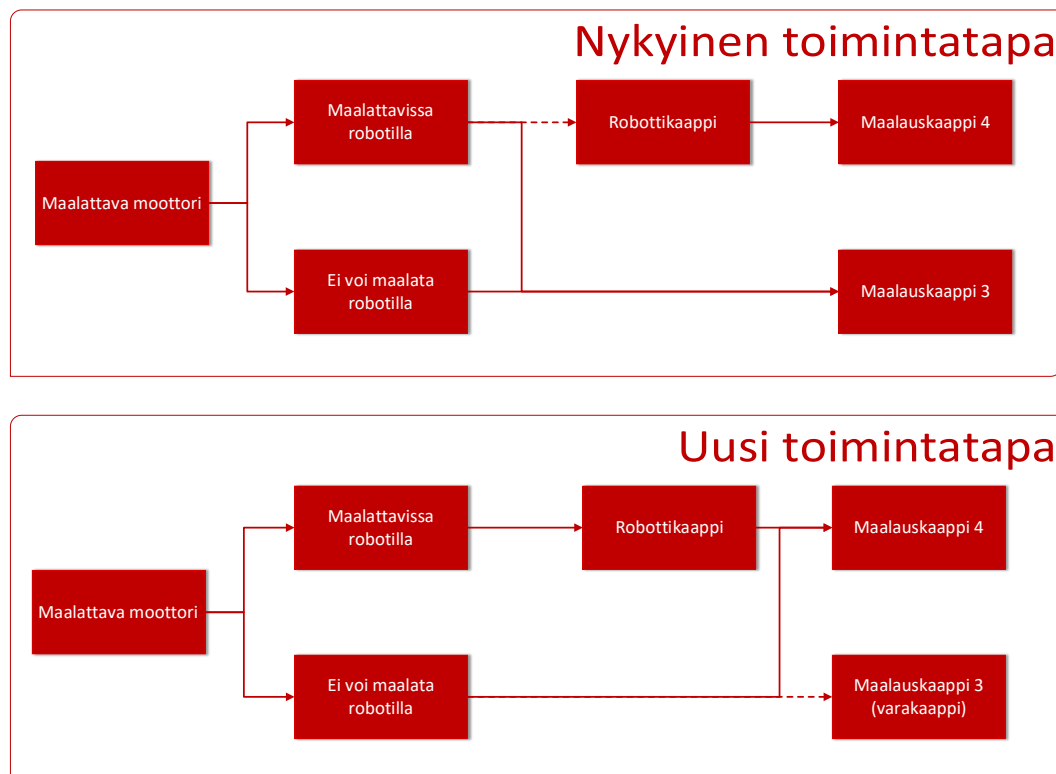
¹ Graco. ProMix® 2KS -käyttöohje. Rev F. 2014. USA. s. 87.



Kuva 43. Vähimmäismäärä maalareita robotin ollessa käytössä.

8.1.2 Toimintatavan muutos

Robotilla maalataan vain sinistä vakioväriä ja sitä ei ole tarpeen muuttaa. Robottikaapin jälkeen linjastossa seuraavana on käsimaalauskaappi 4, jossa tällä hetkellä on maalauslaitteet vain siniselle vakiovärille. Jos tähän 4 maalauskaappiin hankittaisiin erikoisvärille maalauslaitteet voisi sitä käyttää normaalina maalauskaappina nykyisen korjausmaalauksen lisäksi. Moottoria lähetettäessä maalattavaksi on mahdollista ohjata moottori suoraan tähän 4 maalauskaappiin, jolloin moottori vain kulkee robottikaapin läpi. Tällöin pystyttäisiin ohjaamaan robotille eri mallisia ja värisiä moottoreita. Jono suunniteltaisiin siten, että robotin maalatessa moottoria voidaan sillä välin maalata erikoisvärillä toista moottoria. Kts. Kuva 44.



Kuva 44. Nykyinen ja uusi toimintatapa.

Nykyisellä toimintamallilla maalauskaappi 4:ää käytetään vain korjausmaalauskaappina, mutta jonon sinne voisi tehdä kaikille vakiovärimoottoreille, joista robotilla maalataan ne mallit, joille on ohjelma ja loput maalataan käsin seuraavassa kaapissa. Jos erityisvärille ei osteta maalauslaitteita, täytyy maalaamon työnteossa tapahtua muutos, jotta maalauskaappi 4 otetaan käyttöön myös muiden kuin robotilla maalattavien moottoreiden maalaamiseen. Jos uudella toimintatavalla maalatessa laitteet toimivat, saattaisi maalaamon nykyinen maalareiden määrä riittää.

8.1.3 Moottorin asennon tunnistaminen

Iso syy miksi robotilla jää mahdollisia maalaamattomia paikkoja on moottorin asennon vaihtelu, vaikka malli pysyy samana. Moottori roikkuu koukuissa vapaana kahdesta pisteestä, joten asento voi vaihdella useita asteita moottorin E-mitan vaihtelun vuoksi. E-mitta kertoo akselin pituuden D-päädystä laakerikilvestä mi-

tattuna¹. Tähän ongelmaan ratkaisuna olisi konenäkö, joka moottorin jäähdytysri-voista tai akselista tunnistaisi asennon ja muuttaisi kappaleen käyttäjäkoordinaa- tistoa sen mukaan. Nykyinen ratkaisu on toimiva, mutta välillä tulee liian ohut maalikalvo, koska moottorissa on paljon ahtaita paikkoja mihin maali pitää saada tulemaan tiettyssä kulmassa. Robotilla on myös rajoitteena moottorin ripustus, koska ketjut täytyy linjaston vaunussa olla kiinnitettynä tiettyihin reikiin, jotta moottorin riipuntakorkeus olisi, kuten on ohjelmat suunniteltu (Kuva 45). Kone- näkö korjaisi samalla myös tämän ongelman.



Kuva 45. Ripustusketjujen kiinnitys täytyy olla kolmannessa reiässä päästä katsot- tuna.

Konenäöllä tämä ongelma saattaisi poistua, pois lukien mahdolliset konfiguraatio- ongelmat, jos korkeus on kovin paljon eri, kuin on nykyisessä ratkaisussa. Manu- aalimaalauksessa osassa vaunuista ketjut roikkuvat eri reiässä maalattavan moot- torimallin mukaan, mutta robotilla maalatessa se ei ole mahdollista.

¹ IEC60072-1. Dimensions and output series for rotating electrical machines. 6. painos. s.7.

8.1.4 Työympäristö

Maalilaitteiden asetuksiin, kuten hajotusilman määrään ja paineisiin vaikuttaa maalin viskositeetti. Viskositeettiin taas vaikuttaa maalin lämpötila, joka ei maalaamossa pysy vakiona. Maalit säilytetään erillisessä tilassa jo pelkästään turvallisuuden ja lainsäädännön takia, mutta säilytystilan lämpötila ei ole vakioitu. Kesällä lämpötila saattaa vaihdella päivän aikana paljonkin, joka aiheuttaa maalarille lisätyötä maalilaitteiden säätöjen kanssa. Maalista myös haihtuu kosteutta ajan mittaan, jolloin maalin ominaisuudet muuttuvat. Letkut maalin säilytystilasta robotille kulkevat maalaamon puolella, jossa tehdashallin lämpötilamuutokset kerkeävät vaikuttaa, joten pelkkä maalivaraston lämpötilan vakiointi ei välttämättä riitä korjaamaan ongelmaa.

Työpisteen järjestyksellä ja asioiden sijoittelulla on iso vaikutus työskentelymukavuuteen. Robotin käyttäjän työpisteelle tilattiin hyllylaatikoita ja reikätaulu, jotta suuttimet, suodattimet, työkalut yms. saatiin järjestykseen omille merkityille paikoilleen. Työpisteelle jäi kuitenkin korjattavaa, kuten kontrollerin ja työpöydän paikat. Nyt tietokone, josta robottia pääasiassa ohjataan, on kontrollerin takana, joten käyttäjä ei näe robottikaappiin suoraan työpisteeltä. Kts. Kuva 46.



Kuva 46. Robotin käyttäjän työpiste. Robottikaapin ovi näkyy taustalla.

8.1.5 Tuotannon vapauttaminen

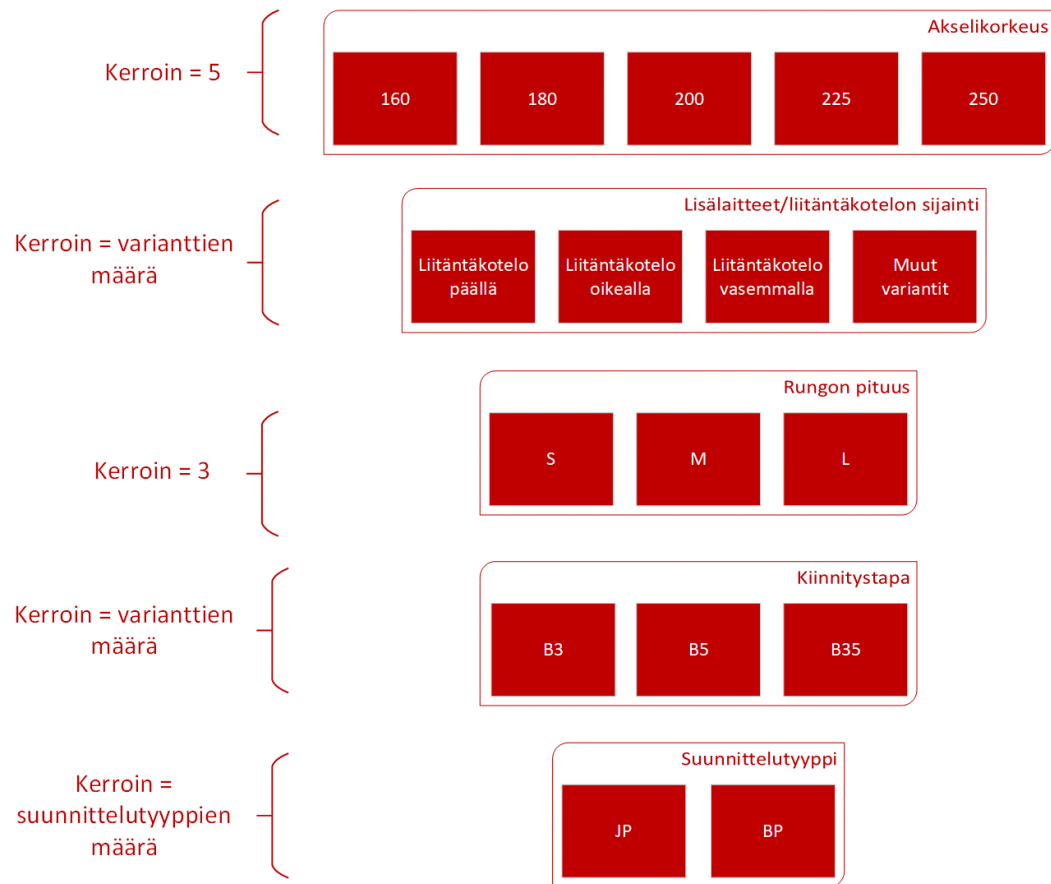
Kuva 30 kertoo, että robotin käyttöä hankaloittava asia on maalattavien moottoreiden epätasainen jakauma tuotantoon vapauttamisessa, jonka korjaaminen vaatii tuotannonohjauksen muuttamista. Jokin päivä robotilla maalattavia moottoreita voi tulla useita ja toisena päivänä vain muutamia. Tämä asia on maalarille hankala ennustaa etukäteen, joten robotti saattaa jäädä käyttämättä, jos vuoron alussa näyttää, että maalattavaa ei sen vuoron aikana tule. On turha ottaa robottia käyttöön parin moottorin takia.

Tätä asiaa selvitettiin toimihenkilön kautta, joka hoitaa moottoreiden vapautuksen työjonosta tuotantoon. Selvisi, että tuotantoon moottoreita vapautetaan niin monen eri tekijän perusteella, että tiukan aikataulun vuoksi muutoksia ei lähdetty tekemään. Tuotantoon moottorit vapautetaan suunnitellun aikamallin perusteella

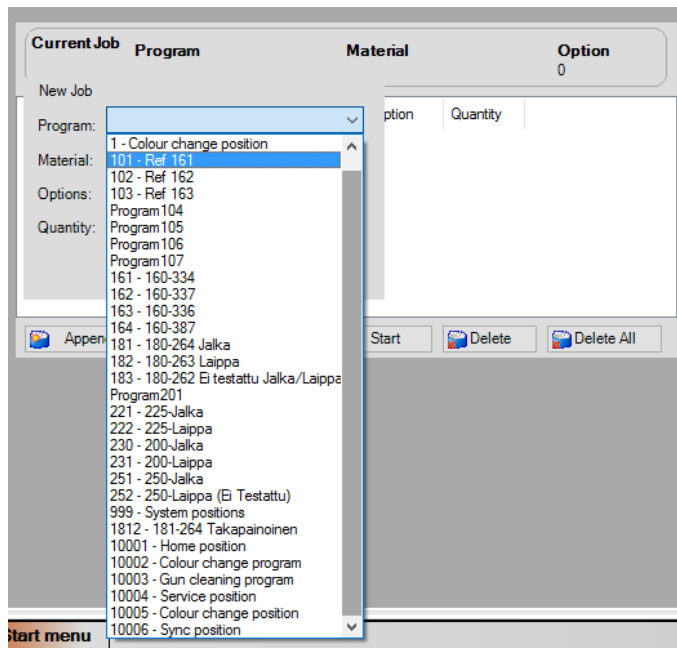
ja siihen taas vaikuttavat muun muassa tilausten käsittely, suunnittelu, ostot, tuotannon tilanne ja lähetys.

8.1.6 Maalausohjelmien hallinta

Pidemmän päälle, jos ohjelmia tulee robotille lisää, on käyttöliittymä hankala käyttää ja maalarin hankala tehdä työjono. Nykyisellään jokaiselle robotilla maalattavalle akselikorkeudelle ei ole olemassa ohjelmaa kaikille kiinnitystavoille, mutta jos lasketaan alla olevan kuvan mukaisesti pitäisi olla jo 15 BP-moottorin maalausohjelmaa yhdellä runkopituudella, koska on viisi akselikorkeutta, kolme kiinnitystapaa ja yksi suunnittelutyyppi. Opinnäytetyön ohessa lisätyönä tehty JP 180 B3 tuo kokonaan uuden suunnittelutyyppin maalattavaksi. Jos kyseistä suunnittelutyyppiä tuodaan robotille enemmän tai uusia runkokokoja tms., vaikeuttaa se maalarin työtä huomattavasti, koska alavetovalikko pitenee nopeasti ja on siten hankala käyttää (Kuva 48).

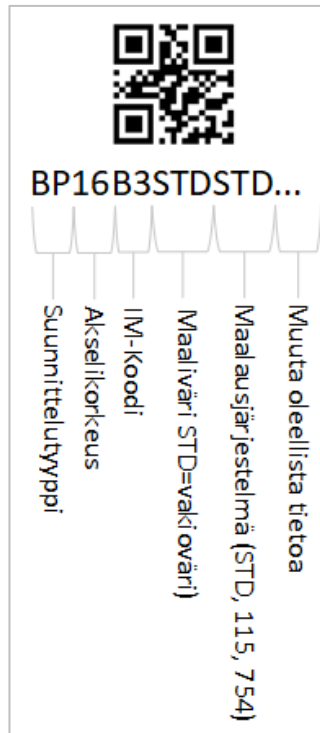


Kuva 47. Maalausohjelmien määrän peruste.



Kuva 48. Tämänhetkinen työjonon tekeminen RobView5 ohjelmassa.

Tätä osa-aluetta pitää kehittää, jos ohjelmia tehdään lisää. Koska robotilla oleva tietokone ei ole yhteydessä internettiin, eikä siten saa yhteyttä SAP-järjestelmään, pitää tietokoneella olla tiedot valmiina moottorimallin yksilöintiä varten. QR-koodi olisi hyvä työkalu, jotta maalarin ei tarvitse etsiä pitkää listaa läpi tehdessään työjonoa. Tällä hetkellä moottorin työkortissa ainut viivakoodi, joka on tähän tarkoitukseen sopiva, on sarjanumeron viivakoodi, mutta se ei puuttuvan internetyhteyden vuoksi ole käytettävissä. Jos työkorttiin saadaan tehtyä oma QR-koodi, joka muodostettaisiin muun muassa moottorin suunnittelutyyppiin, akselikorkeuden, maalausjärjestelmän, moottorin värin ja IM-koodin perusteella, pystyy maalari luokemaan koodin, jonka avulla RobView5 noutaa ennalta määritetystä taulukosta oikean ohjelman tiedot. Kts. Kuva 49. Kehitysehdotusta ei ole varmistettu, että onko se mahdollista RobView5-ohjelmassa.



Kuva 49. Esimerkki viivakoodi, jonka avulla robotilla maalattavat moottorit voitaisiin tunnistaa.

8.1.7 Pääkäyttävä

Opinnäytetyön aikana tuli esille, että robotti ei ole ns. kenenkään omistuksessa eli sillä ei ole vastuuhenkilöä. Tällainen pääkäyttävä pitäisi valita maalareiden joukosta, joka koulutettaisiin käyttämään robottia hieman paremmin kuin muut. Hänen vastuullansa olisi robotin ylläpidon huolehtiminen sekä sellaiset ongelmatilanteet, joita muut maalarit eivät osaa ratkaista, mutta toisaalta ei kannata kunnossapitoa tai ulkopuolista yritystä hankkia korjaamaan ongelmaa.

Lisäksi tehtaalla olisi hyvä olla yksi toimihenkilö, jonka vastuulla olisi kaikki moottoritehtaan robotit. Näin ohjelmat ja robottisolujen digitaaliset kaksoset pysyisivät ajan tasalla. Samalla uusien ohjelmien teko ja ohjelmasta johtuvien ongelmien ratkominen olisi helpompaa.

9 YHTEENVETO

9.1 Henkilökohtainen arvio ja pohdinta

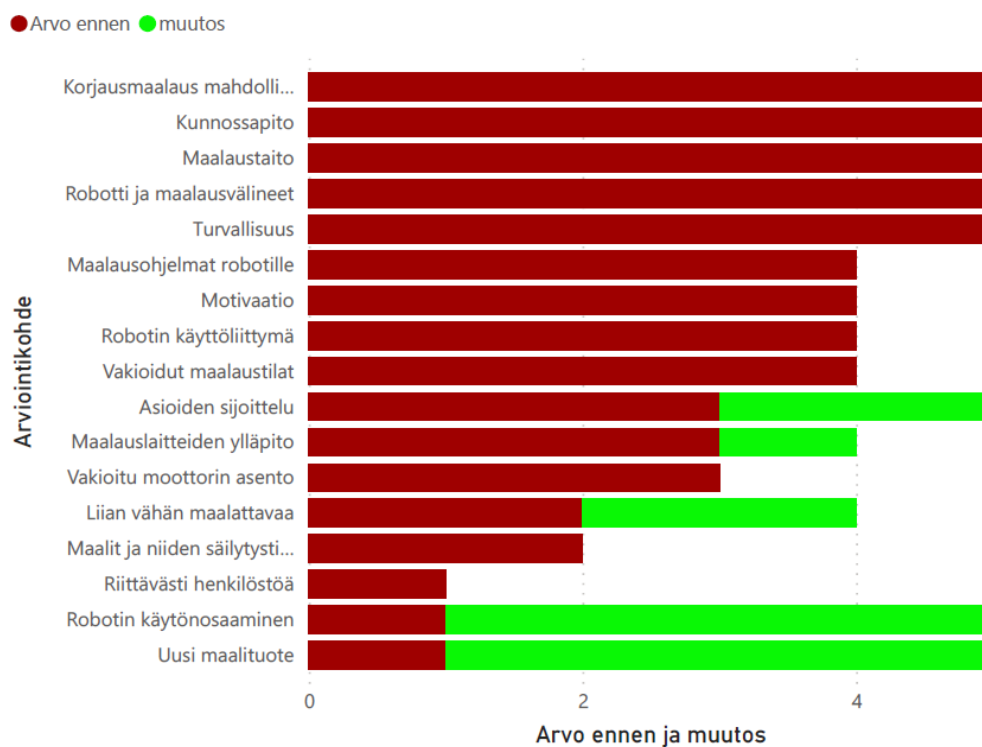
Opinnäytetyön sisältö muuttui matkan varrella, kun ongelmakohtia tuli esille. Ennakkoon oli tieto, että robotin käyttäjiä ei ole ja maalausohjelmat eivät välttämättä toimi. Osittain ennakkotieto täsmäsi, mutta muutoksia suunnitelmiin ja aikatauluun jouduttiin tekemään matkan varrella. Asiat sujuivat kuitenkin hyvin eikä isompia ongelmia ollut, joten kokonaisuudessaan projekti sujui loistavasti. Aika näyttää jääkö robotti käyttöön, kun kukaan ei ole vahtimassa ja avustamassa sen käytössä. Juuri tällaista tilannetta varten suunniteltiin jokaiselle maalarille oma vastuupäivä, jotta työjohtaja voi olla tukena. Avonaiseksi kysymykseksi jäi mahdollinen pääkäyttäjä robotille, joka osaisi ja tuntisi robottimaalauskaapin riittävän tarkasti ja pystyisi siten avustamaan tarvittaessa muita sen käytössä.

Aihe oli todella mielenkiintoinen ja laaja. Maalausrobotin ohjelmia muokatessa ei riitä, että ymmärtää pelkän robotin käytön vaan täytyy ymmärtää myös maalaukseen liittyvä teoria. Lisäksi maalausrobotiikka on muusta robotiikasta hieman poikkeavaa, joten jo pelkästään se aiheuttaa haastetta. Tukena oli onneksi maalari, jonka tiedosta ja kokemuksesta oli valtava apu. Kyseinen maalaamo on pitkälle automatisoitu, joten keskustelua eri laitteiden välillä on paljon ja mahdolliset ongelmatilanteet ovat siten joskus hankala selvittää. Iso osa laitteistosta oli kuitenkin maalareille ennestään tuttua, joten robotin käyttökoulutuksessa pystyttiin keskittymään lähes pelkästään robotin käyttöön.

9.2 Projektin lopputulos

Opinnäytetyössä koulutettiin maalarit käyttämään robottia, tehtiin koulutusmateriaali robottimaalauskaapille, optimoitiin ohjelmia, mitattiin kalvonpaksuutta ja annettiin kehitysehdotuksia muihin ongelmiin. Tehdyn työn ja tuloksien perusteella robotti on mahdollista saada jatkuvaan tuotantokäyttöön (Kuva 50).

Arviointikohteiden muutos



17

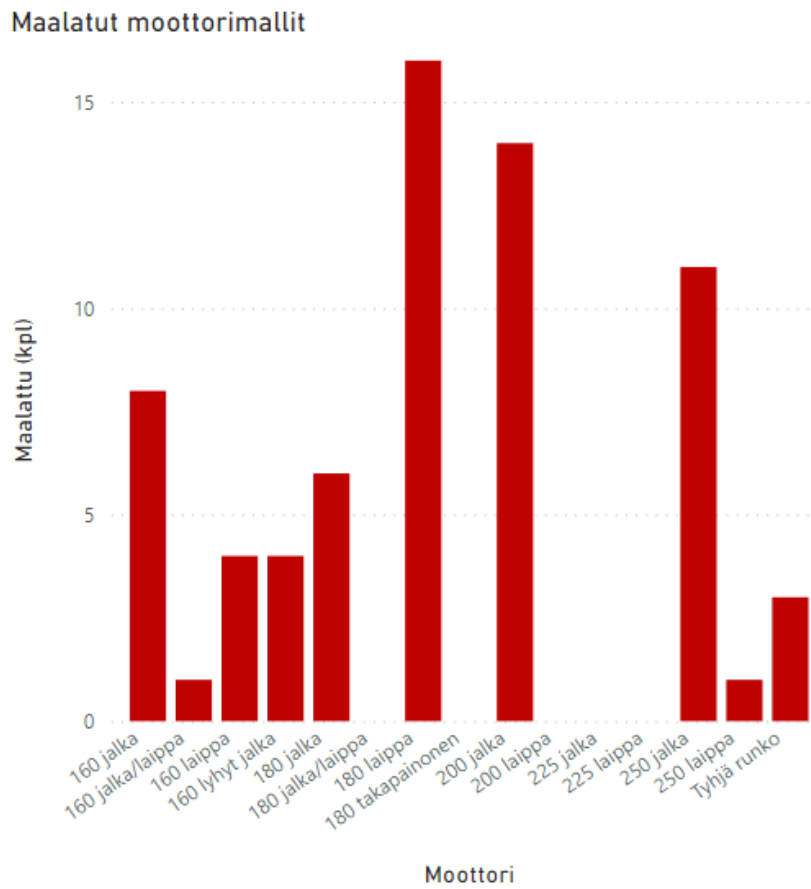
Arviointikohteiden määrä

Kuva 50. Arviointikohteiden muutos projektin jälkeen.

Kehityskohteet olisi hyvä korjata, mutta eivät ole käytön esteenä, ne vain hankaloittavat robotin käyttöä. Jos kehityskohteet saadaan korjattua, on mahdollista, että robotti voi maalata itsekseen pieniä sarjoja. Robotille tulevaan linjastoon mahtuu jonoon 12 moottoria, joten kovin isoja sarjoja ei pysty ennalta valmistelemaan robotille. Nykyisessä tilanteessa robottia ei voi jättää itsekseen maalamaan, koska jokainen moottori täytyy tarkistaa maalauksen jälkeen. Robotti parantaa työturvallisuutta sekä maalauksen tasalaatuisuutta, joten siitä on iso apu maalareille. Maalari kerkeää robotin maalatessa korjausmaalata edellisen moottorin ja suojata jonossa olevia moottoreita.

Työn aikana maalattiin useita moottoreita sen mukaisesti mitä tuotannosta sattui robotille sopivia moottoreita tulemaan (Taulukko 3).

Taulukko 3. Maalatut moottorimallit.



68

Moottorit yhteensä

LÄHTEET

ABB AS, Robotics. Operating manual Painting PowerPac. Rev J. 2020. Norway.

ABB AS, Robotics. Product manual IRB580. Rev 17. 2017. Norway.

ABB Suomessa, Motors and Generators. Viitattu 3.3.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>

ABB Suomessa. Viitattu 3.3.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

ABB. IEC LV Motors, Vaasa, Finland. Viitattu 3.3.2021. [PowerPoint-esitys] ABB. [ABB:n sisäistä materiaalia]

ABB. IRB 5500 FlexPainter Data sheet. Rev G. 2020.

ABB. IRB 5500-22/23. Viitattu 13.4.2021. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-5500-22>

ABB. IRB580 Data sheet. Rev F. 2019.

ABB. Low voltage motors, Motor guide. Rev D. 2019.

Fanuc. Paint Robot P-250iB/15. Viitattu 13.4.2021. <https://www.fanuc.eu/rs/en/robots/robot-filter-page/paint-series/p-250ib-15>

Flink, R. Killström, T. Kilpinen, J. Kotilainen, P. Tuisku, L. Metallipintojen teollinen maalaus. 2009. 5. painos. Tikkurila Oy, Industrial Coatings.

Graco. Automaattiset ilma-avusteiset G40-ruiskupistoolit, ohjeet ja osat. 2011. USA

Graco. ProMix® 2KS -käyttöohje. Rev F. 2014. USA.

IEC60034-7. Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM Code). 3. painos. Geneve: International Electrotechnical Commission. 10/2020. 54 sivua.

IEC60072-1. Dimensions and output series for rotating electrical machines. 6. painos. Geneve: International Electrotechnical Commission. 1991. 130 sivua.

Jokinen, I. Kuusela, A. Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. Opetushallitus. Helsinki. Gummerus kirjapaino Oy.

Kawasaki. KJ264 Floor Robot. Viitattu 13.4.2021. <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/painting/KJ264-floor/>

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen robotiikkayhdistys ry. Tampere. Talentum Oyj/MetalliTekniikka.

Teknos Oy. 2013. Korroosionestomaalauksen käsikirja. Helsinki. Teknos Oy

Teknos Oy. Teknopox aqua 0350 -epoksimaali tuoteseloste. 2016.

Yaskawa. EPX2800. Viitattu 13.4.2021. <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/painting-dispensing/epx-series/epx2800>