



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Niko Tammelin

# Robottijärjestelmän suunnittelu ja käyttöönotto sekä levykappaleiden parametrisoidun maalauksen ohjelmointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

26.4.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Niko Tammelin Robottijärjestelmän suunnittelu ja käyttöönotto sekä levykappaleiden parametrisoidun maalauksen ohjelmointi 30 sivua + 2 liitettä 26.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	toimitusjohtaja Oskari Hakaluoto lehtori Timo Tuominen
<p>Insinööriyön tilaajana oli Roboco Oy ja varsinainen työ tehtiin Roboco Oy:n asiakkaalle Neovo Solutions Oy:lle. Työn tavoitteena oli, että asiakkaan tuotantotilaan suunnitellaan, toteutetaan ja ohjelmoidaan parametrisoitu maalaus- ja kappaleenkäsittelyjärjestelmä olemassa olevan robotin ja tämän lineaariradan ympärille. Robotti tulisi käsittelemään ja maalamaan eri materiaaleista koostuvia akustiikkalevykappaleita. Insinööriyössä sovellettiin Learning by doing -pedagogista filosofiaa, koska insinööriyön tekijällä ei ollut aiempaa kokemusta maalausjärjestelmien suunnittelusta. Suunnitteluun sisältyi myös robotin työkalujen ja robottisolussa käytettävien telien mekaaninen, itse robottisolun suunnittelu ja mekaanisen suunnittelun lopputuloksen toteutus.</p> <p>Työn alussa hankittiin dokumentteja robotista, lineaariradasta ja kaikista kokoonpanossa olemassa olevista lisälaitteista. Näiden pohjalta tehtiin useita konseptisuunnitelmia, joiden potentiaalisuutta käytiin läpi yhdessä työnohjaajan ja asiakkaan kanssa. Rajallisen aikataulun myötä insinööriyötä rajattiin siten, että käsiteltävät kappaleet olisivat leveys- ja korkeusmitoiltaan maksimissaan 1000 x 1000 mm, mutta maalaus- ja kuivausteline kuitenkin tulisi soveltua tulevaisuudessa suunniteltavalle suuremmalle poimintatyökalulle.</p> <p>Robotin tehtävinä oli suorittaa laskentaa operaattorin syöttämän datan perusteella, suorittaa operaattorin valitsema ohjelma automaattisesti ilman keskeytyksiä, vaihtaa automaattisesti työkalua, etsiä ja poimia akustiikkalevykappaleita osoitetulta poiminta-alueelta, kuljettaa ja asettaa akustiikkalevykappaleita maalaustelineelle maalattavaksi, maalata akustiikkalevykappaleiden pinta ja kaikki neljä sivua ja poimia maalatut akustiikkalevykappaleet maalaustelineeltä ja kuljettaa nämä kuivaukseen sekä jatkokäsittelyyn.</p> <p>Haasteita riitti työn jokaisessa vaiheessa, koska kustannuksia ja maalin hävikkiä pyrittiin pitämään mahdollisimman minimissä. Useiden suunnitelmien muutosten ja työn aikana kasvaneen kokemuksen myötä lopputulokseksi syntyi robottisolun, jossa robotti kykeni suorittamaan edellä mainitut tehtävät.</p>	
Avainsanat	robotiikka, ohjelmointi, maalaus, suunnittelu, käyttöönotto

Author Title Number of Pages Date	Niko Tammelin The Design and the Implementation of a Robot System and the Programming of a parametrized Parts Painting 30 pages + 2 appendices 26 April 2020
Degree	Bachelor of engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Automation technology
Instructors	Oskari Hakaluoto, CEO Timo Tuominen, Senior lecturer
<p>The client of the thesis work was Roboco Oy, and the actual work was done for Roboco Oy's customer Neovo Solutions Oy. The aim of the work was to design, implement and program a parametrized painting and part handling system at the customer's production area around the existing robot and the linear track. The robot would process, and paint acoustic panels made of different materials. The Learning-by-doing pedagogical philosophy was applied in the thesis work, because the author of the thesis work had no experience in designing painting systems. The designing also included the mechanical designing of the robot tools and racks used in the robot cell, the design of the robot cell itself, and the implementation of the final result of the mechanical design.</p> <p>At the beginning of the work, documents were obtained about the robot, the linear track and all the accessories available in the assembly. Based on these, several concept plans were made, the potential of which was reviewed together with the supervisor and the customer. Due to the limited schedule, the thesis work was limited so that the pieces to be processed have a maximum width and height of 1000 x 1000 mm, but the painting and drying racks should scale for a larger picking tool planned in the future.</p> <p>The robot's tasks are to perform calculations based on the data fed by the operator, execute the program selected by the operator automatically without interruption, automatically change the tool, search and pick acoustic panels from the indicated picking area, transport and place acoustics panels to painting rack for painting, paint acoustic panels surface and four sides, pick and transport these to drying racks for further processing.</p> <p>There were challenges at every stage of the work because the costs and the loss of a paint sought kept to a minimum. With several changes to the plans and experience gained during the work, the result was a robot cell in which the robot was able to perform the above-mentioned tasks.</p>	
Keywords	robotics, programming, painting, designing, implementation

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Robottijärjestelmän suunnittelu	2
2.1	Tuotantotilankäyttö	2
2.2	Mekaaninen suunnittelu	8
2.2.1	Poimintatyökalu	8
2.2.2	Maalaustyökalu	11
2.2.3	Maalausteline	14
2.2.4	Työkalunvaihtoteline	16
3	Ohjelmointi	17
4	Käyttöönotto	18
4.1	Tilankäytön muutokset	19
4.2	Työkalujen muutokset	20
5	Lopullinen robottijärjestelmä	22
5.1	Toiminnankuvaus	22
5.2	Maalausprosessi	26
5.3	Kappaleenkäsittely	27
6	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

### Liitteet

Liite 1. Sovitinlevy työkalunvaihtajaan

Liite 2. Sovitinlevy neulatarttujille

## 1 Johdanto

Insinööriyön tilaaja on Roboco Oy, ja varsinainen työ tehdään Roboco Oy:n asiakkaalle Neovo Solutions Oy:lle. Työn tavoitteena on suunnitella, toteuttaa ja ohjelmoida asiakkaan tuotantotilaan parametrisoitu maalaus- ja kappaleenkäsittelyjärjestelmä olemassa olevan robotin ja tämän lineaariradan ympärille. Robotti tulisi käsittelemään ja maalamaan eri materiaaleista koostuvia akustiikkalevykappaleita. Insinööriyössä sovellettiin Learning-by-doing -pedagogista (1) filosofiaa, koska insinööriyön tekijällä ei ollut aiempaa kokemusta maalausjärjestelmien suunnittelusta. Suunnitteluun sisältyi myös robotin työkalujen ja robottisolussa käytettävien telineiden mekaaninen, itse robottisolun suunnittelu ja mekaanisen suunnittelun lopputuloksen toteutus.

Työn alussa hankitaan dokumentteja robotista, lineaariradasta ja kaikista kokoonpanossa olemassa olevista lisälaitteista. Näiden pohjalta tehdään useita konseptisuunnitelmia, joiden potentiaalisuutta käydään läpi yhdessä työnohjaajan ja asiakkaan kanssa. Rajallisen aikataulun myötä insinööriyötä rajataan siten, että käsiteltävät kappaleet olisivat leveys- ja korkeusmitoiltaan maksimissaan 1000 x 1000 mm, mutta maalaus- ja kuivausteline kuitenkin tulisi soveltua tulevaisuudessa suunniteltavalle suuremmalle poimintatyökalulle.

Robotin tehtävinä on suorittaa laskentaa operaattorin syöttämän datan perusteella, suorittaa operaattorin valitsema ohjelma automaattisesti ilman keskeytyksiä, vaihtaa automaattisesti työkalua, etsiä ja poimia akustiikkalevykappaleita osoitetulta poiminta-alueelta, kuljettaa ja asettaa akustiikkalevykappaleita maalaustelineelle maalattavaksi, maalata akustiikkalevykappaleiden pinta ja kaikki neljä sivua ja poimia maalatut akustiikkalevykappaleet maalaustelineeltä ja kuljettaa nämä kuivaukseen sekä jatkokäsittelyyn.

## 2 Robottijärjestelmän suunnittelu

### 2.1 Tuotantotilankäyttö

Työn lähtötilanteessa asiakas oli hankkinut puoli vuotta aiemmin yrityksen tuotantotilaan 6-akselisen ABB:n IRB 6640-185 -teollisuusrobotin ABB:n kuusi metrisellä lineaariradalla. Robotin akselit ulottuvat maksimissaan 2,85 metriä robotin jalustan keskipisteestä ja robotin käsittelykyky on 185 kg (9). Tämä kokoonpano oli kiinnitettynä lattiaan (kuva 1) ja tämän siirtäminen oli pois suljettu ennen insinööriyön aloittamista. Robottisolun tuli siis suunnitella siten, että solun keskipisteenä toimi robotti ja tämän lineaarirata. Kaikki solun mekaaniset rakenteet oli sijoitettava robotin vapausasteiden maksimiulottuvuuksien mukaisesti.



Kuva 1. Asiakkaan tilojen lähtötilanne ennen työn aloittamista.

## Tilan turvallisuus

Työn keskiössä oli teollisuusrobotti, joten robottijärjestelmän suunnittelemisessa noudatettiin koneturvallisuutta koskevia standardeja SFS-EN ISO 12100, SFS-EN ISO 13850, SFS-EN ISO 13855 ja SFS-EN ISO 13857 turvallisen lopputuloksen takaamiseksi. Työn laajuuden ja aikataulun vuoksi insinööryön ulkopuolelle jätettiin turvajärjestelmän suunnittelu. Jotta robotti voi työskennellä automaattitilassa, robottijärjestelmän ympärille on rakennettava suoja-aidat tai vaihtoehtoisesti asennettava turvavalokennot, jotka estävät ihmisen pääsyn robotin työskentelyalueelle ja pysäyttävät robotin ja tämän toimilaitteiden toiminnan standardien vaatimusten mukaisesti, kun robotti on käynnissä automaattitilassa. Tuotantoa robotilla ei pystytä tekemään ilman turvajärjestelmää, mutta toimilaitteita voidaan ohjata robotin kautta ja robottia voidaan ajaa manuaalitilassa robotin flexpendantista käsin, jolloin robotin akseleiden nopeudet ovat rajoitettu standardien mukaisesti alle 250 mm/s. Flexpendantissa on kolmivaiheinen kytkin, joka on oltava kytkettynä, että robottia voidaan liikuttaa. Insinööryön lopputuloksena syntyi CE-merkinnän vaativa robottijärjestelmä, joka luetaan EU:n konedirektiivin myötä kokonaisuutena koneeksi. CE-merkinnästä vastaa asiakas. Lopullinen käyttöönotto, jolloin robottia voidaan ajaa automaattitilassa, voidaan toteuttaa vasta kun asianmukaiset turvajärjestelyt on toteutettu robottijärjestelmään.

## Suunnittelun esityöt

Ennen suunnittelua asiakkaan tuotantotilassa käytiin tekemässä mittauksia seinien ja tukipalkkien sijainneista robottiin nähden. Mittauksia ja dokumentointia täytyi tehdä myös robotin sähköisistä tuloista ja lähdöistä sekä käytettävissä olevista toimilaitteista ja komponenteista. Mittauksien pohjalta tehtiin 3D-mallit Solidworks -ohjelmistolla, jotka sijoitettiin RobotStudio -ohjelmistolla tehtyyn virtuaaliseen robottiasemaan. Virtuaalisen robottiaseman ansiosta pystyttiin tekemään simulaatioita konseptisuunnitelmien tueksi ennen varsinaisen yksityiskohtaisen suunnitelman tekemistä.

Koska robotti oli hankittu käytettynä, dokumentteja oli kadonnut vuosien varrella. Tämän seurauksena dokumenttien käsiin saaminen oli vaivalloista ja hidasta, koska näitä täytyi kysellä maahantuojilta ja laitteiden valmistajilta. Loppujen lopuksi suurin osa tarvittavista

dokumenteista löytyi, mutta mitä muutostöitä robotille oli aiemmin tehty ennen asiakkaalle päätymistä, jäi pimentoon. Sähkökuvien ja robotin oman järjestelmän tiedoista löytyivät käytössä olevat tulot ja lähdöt sekä venttiilien ohjaukset työkalunvaihtajaan ja paineilmajärjestelmään. Näiden avulla pystyttiin hyödyntämään olemassa olevia kytkentöjä tuleville toimilaitteille.

### Maalausalue

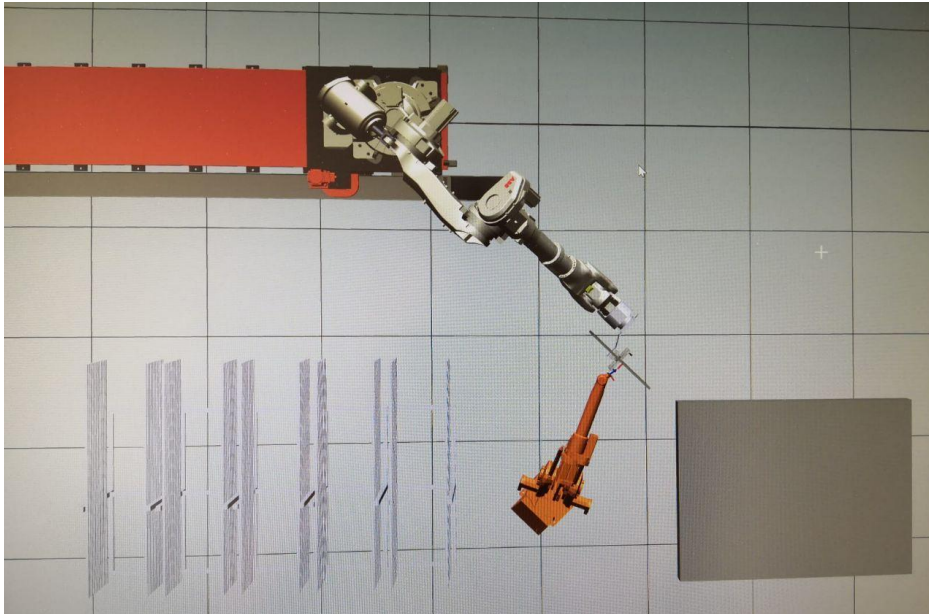
Tuotantotilassa oli käytettävissä kaksi kappaletta imuseiniä (kuva 2), joiden äärellä maalaus oli aiemmin toteutettu manuaalisilla maaliruiskuilla. Imuseinissä oli suodattimet, joiden läpi poistoilma johdettiin kanavia pitkin katolla sijaitsevalle moottorisoidulle puhaltimelle, joka imi poistoilman tuotantotilasta ulos. Imuseinien yläpuolelta tuotiin toisen puhaltimen kautta korvausilmaa, jotta saatiin aikaiseksi hallittu ilmavirtaus, joka johdattaa maalipölyn imuseiniin. Koska insinööriyön ulkopuolelle rajattiin CE-merkintä ja turvajärjestelmän laatiminen, myöskään ATEX-luokitus tilalle ei kuulunut työhön. Kuitenkin toimilaitteita valittiin sillä ajatuksella, että ne soveltuvat ATEX-tiloihin.



Kuva 2. Maalaamo ennen muutostöitä.



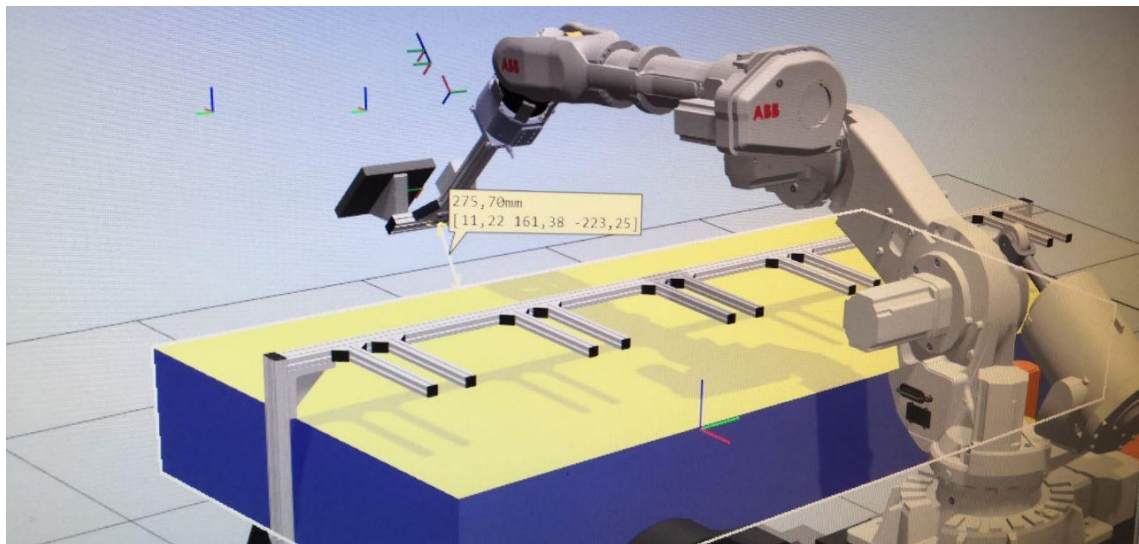
Haasteena oli suunnitella, miten levykappale saadaan tuotua imuseinän eteen ja maalattua pinta sekä kaikki neljä sivua. Neljän sivun ja pinnanmaalauksessa haasteeksi muodostui levykappaleen tuenta maalausta varten. Imuseinät olivat pystyasennossa, joten levykappaletta ei ollut mahdollista jättää imuseinän edessä olevaan maalaustelineeseen pystyasentoon siten, että yksi sivu lepäisi telinettä vasten. Kun levykappaleita maalattiin käsin, niiden pinta maalattiin kyseisessä telineessä ja levykappaleen sivut maalattiin maalaamossa sijaitsevalla erillisellä pöydällä.



Kuva 3. Ensimmäisen konseptisuunnitelman ulottuvuustarkastelu.

Ensimmäisessä konseptisuunnitelmassa (kuva 3) hahmoteltiin robottisoluun kahta robottia, joista toinen maalaisi ja toinen käsittelisi levykappaleita. Toinen robotti olisi tuonut levykappaleen imuseinän eteen sekä pidellyt että käännellyt tätä, kun toinen robotti olisi maalannut kyseistä levykappaletta. Konseptin ongelmaksi kuitenkin muodostui maali-pöly ja siltä suojautuminen, poimintatyökalun ulottuvuudet, toimilaitteet ja muotoilu sekä konseptin kustannukset, koska tällöin maalaukseen soveltuva robotti olisi hankittava nykyisen robotin rinnalle. Maalaavaksi robotiksi olisi soveltunut vanhemman sukupolven robotti, mutta nykyisen ja vanhemman sukupolven robotin välinen kommunikointi olisi tullut liian haastavaksi toteuttaa insinööriyön aikataulussa, kustannustehokkaasti ja turvallisesti.

Useiden kymmenien tuntien ajatustyön, suunnitelmien 3D-mallinusten ja simulointien seurauksena syntyi oivallus, että yksi imukaappi käännetään lattialle lappeelleen (kuva 4), jolloin tämän yläpuolelle voitaisiin suunnitella erillinen maalausteline. Lattialla makavan imukaapin myötä robottisoluun riittäisi ainoastaan yksi robotti, joka hoitaisi levykappaleiden maalauksen ja käsittelyn.



Kuva 4. Konseptisuunnitelman ulottuvuustarkastelu, kun imukaappi on lattialla ja maalausteline tämän yläpuolella.

#### Kuivausalue

Maalattuja akustiikkalevykappaleita kuivattiin maalaamon vieressä kuivaustelineillä. Kuivaustelineiden ja maalaamon välillä oli seinä, jotta maalauksesta syntyvä maalipöly ei tarttuisi valmiisiin tuotteisiin. Kuivaustelineet (kuva 5) eivät sellaisenaan soveltunut robotille, koska niiden fyysiset mitat heittelivät yli 10 mm suuntaansa, sillä niitä ei ole suunniteltu käytettävän automaatiossa. Tämän vuoksi kuivaustelineet pitäisi suunnitella uudelleen ja valmistamaan tiukemmilla toleransseilla.



Kuva 5. Asiakkaan kuivaustelineet ennen muutostöitä.

#### Poiminta-alue

Levykappaleet oli tuotu aiemmin käsin toiselta robotilta, joka leikkaa akustiikkalevykappaleet haluttuun muotoon. Tuleva poiminta-alue olisi oltava robotin akseleiden ulottuvilla, jotta eri kokoisten levykappaleiden poiminta olisi mahdollista. Työn kannattavuuden kannalta levykappaleiden käsin kuljettamiseen tulisi käyttää mahdollisimman vähän aikaa, sillä tähän kuluva aika on aina robottien käyntiajasta pois turvallisuuden takia. Eli robotin on pysähdyttävä aina, kun ihminen astuu robotin työskentelyalueelle ja robotti ei voi nopeuttaa omaa työtahtiaan saavuttaakseen tuotantotavoitteen, vaan jokainen sekunti, jonka robotti seisoo, on pois päivän tuotannosta.

Ensimmäisissä konseptisuunnitelmissa poimintapaikaksi kaavailtiin kuormalavaa solun sisäpuolelle, jotta maalaukseen menevien kappaleiden pinoaminen ja tuominen soluun olisi mahdollisimman nopeaa ja helppoa. Tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin ennen työn loppumista, sillä suoja-aitoja ei tullut työn aikana laisinkaan robotin ympärille ja kuljettaminen levyjä leikkaavalta robotilta olisi ollut hankalaa ja aikaa vievää.

Parhaimmaksi paikaksi osoittautui toisen robotin leikkuupöydän ja lineaariradan väliin jäävä tila. Leikkuupöytä jatkettiin toisella pöydällä, jolloin siirtäminen leikkuupöydältä

poiminta-alueelle olisi mahdollisimman vaivatonta. Pöytään rakennettiin vielä kiilat, jotka toimivat kiintopisteenä robotille ja operaattorille. Kiintopisteestä robotin ohjelma tulisi laskemaan poiminnassa käytettävän keskipisteen operaattorin syöttämistä levykappaleen mitoista. Poimintapaikalla oli kuitenkin rajoitteensa, sillä robotti joutuu kääntämään 1-akselin lähes ääriasentoon, ja tämän välttäminen parametrisessä ohjelmassa aiheuttaa helposti singulariteettivirheitä. Rajoitteeksi oli muodostettava poimittavien kappaleiden minimikoko ja suositukseksi oli käyttää minimikoosta hieman suurempaa kokoa. Suositeltavaksi minimikooksi muotoutui 200 mm x 200 mm.

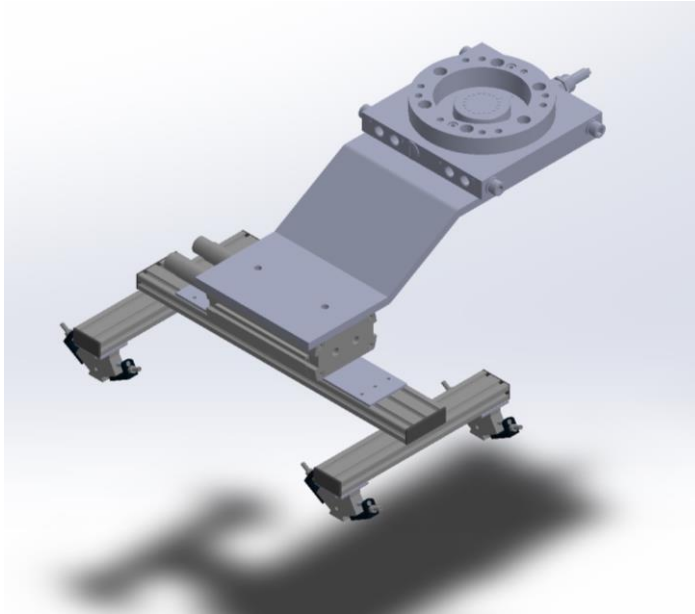
## 2.2 Mekaaninen suunnittelu

Mekaanista suunnittelua oli jokaisessa työn vaiheessa aina konseptisuunnitelmien laatimisesta käyttöönottoon, sillä Learning-by-doing -filosofiaa (1) hyödyntäen suunnitelmia paranneltiin, karsittiin ja muokattiin sitä myöten, kun havaittiin ongelmia ja/tai keksittiin parannuksia jo rakennetuista ratkaisuksista. Mekaanisessa suunnittelussa käytettiin Solidworks ja Item Engineeringtool -suunnitteluohjelmistoja sekä vilkasta mielikuvitusta.

### 2.2.1 Poimintatyökalu

Asiakkaan maalattavien akustiikkalevyjen koot vaihtelevat muodoiltaan ja mitoiltaan hyvin laajasti. Levyjen paksuudet vaihtelevat 10–40 mm:n välillä ja leveys- sekä korkeusmitta vaihtelevat 160–3070 mm:n välillä. Tämä toi oman haasteensa suunnitella skaalautuvaa poimintatyökalua.

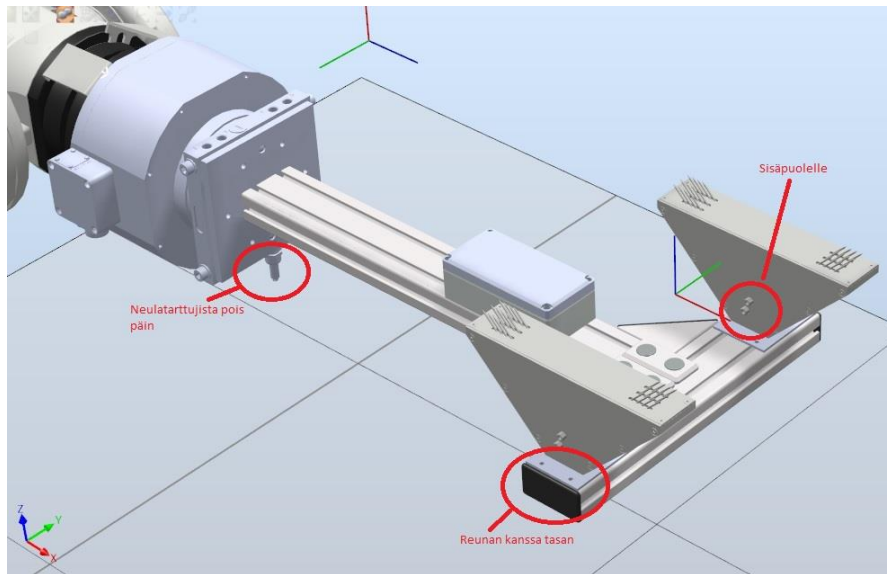
Poimintatyökalun mekaanisen suunnittelun pohjana oli asiakkaan entuudestaan hankkimat Schmalzin neulatarttijat SNG-DL 1.2 24 ja SNG-V 6 1.2 V-S-5. Asiakas oli selvittänyt etukäteen Schmalzin maahantuojan kanssa, mitkä neulatarttijat soveltuvat parhaiten akustistenlevykappaleiden käsittelyyn ja täten päätynyt edellä mainittuihin malleihin.



Kuva 6. Poimintatyökalun konseptisuunnitelman ensimmäinen versio.

Ensimmäisessä poimintatyökalun versioissa (kuva 6) kaavailtiin käytettävän neljää SNG-V 6 1.2 V-S-5 -neulatarttujia, jotta työkalun fyysiset mitat pysyisivät mahdollisimman pieninä. Neulatarttujia pyörittämään kaavailtiin pneumaattista kääntösylinteriä, koska ensimmäisessä konseptissa ajatuksena oli, että toinen robotti maalaa ja toinen käsittelee akustiikkalevykappaleita. Kun kahden robotin konseptista luovuttiin ja imuseinä kaadettiin lattialle makaamaan, ongelmaksi muodostui poimintatyökalun liian pieni koko maalaustelineeseen nähden, sillä poimintatyökalun rungon ja levykappaleen väliin jäävään tilaan oli mahduttava maalaustelineen oksat.

SNG-DL 1.2 24 -neulatarttujassa neulat iskeytyvät suuremmalle pinta-alalle kuin SNG-V 6 1.2 V-S-5 -mallissa ja SNG-DL 1.2 24 -malli on fyysisiltä mitoiltaan suurempi kuin SNG-V 6 1.2 V-S-5 -mallin neulatarttujia, joten SNG-DL 1.2 24 -malli soveltuisi paremmin ratkaisemaan edellä mainitun ongelman levykappaleiden asettamisessa ja tulevaisuudessa voitaisiin käyttää samoja neulatarttujia suuremmassa poimintatyökalussa, mikä helpottaisi varaosien hallintaa. (5;6.)



Kuva 7. Poimintatyökalun konseptisuunnitelman viimeinen versio.

Asiakkaalla oli myös valmiiksi jo robottiin kiinnitettynä RSP:n STC250-6E-kiertonivel työkaluvaihtajalla ja paineilma- ja sähköläpivienneillä, jossa on kahdeksan paineilmakanaavaa, kahdeksan lähtö- ja tulosignaalia. Tähän saadaan kiinnitettyä RSP:n TA250-8E-työkalukiinnitin, joka tulee työkalun rungon ja työkaluvaihtajan väliin (kuva 7). Ilman kyseistä osaa työkalun vaihtaminen automaattisesti ei olisi mahdollista, sillä työkalukiinnittimen kautta saadaan sähköiset ja pneumaattiset kytkennät tuotua työkalun toimilaitteille kuten poimintatyökalun tapauksessa neulatarttujille. (7.)

Koska käsiteltävät levykappaleet ovat pääasiassa materiaaliltaan kevyttä turvevillaa, työkalun rungoksi soveltuisi parhaiten 80 x 40 mm:n alumiiniprofiili. Alumiiniprofiili on kevyttä ja kestävää suhteessa massaansa, edullinen ja käsiteltävät massat eivät aiheuta merkittävää rasitusta alumiiniprofiiliin. Alumiiniprofiilin ja työkalukiinnittimen väliin oli suunniteltava erillinen sovitinlevy, jotta nämä saatiin tukevasti kiinnitettyä toisiinsa (liite 1). Materiaaliksi soveltui parhaiten alumiini, sillä työkalukiinnitin oli myös valmistettu alumiinista ja täten korroosiota ei pääsisi muodostumaan materiaalivalinnan takia. Neulatarttujen kiinnitysreiät eivät istuneet suoraan alumiiniprofiilin uriin, joten näiden kiinnittämiseksi oli myös suunniteltava erilliset kiinnitinlevyt alumiinista (liite 2).

Jotta robotti osaisi etsiä, pysähtyä ja työntää neulat ulos neulatarttujista levynpinnalla, tarvittiin laseretäisyysanturi. Parhaiten tähän soveltui SICKin WTT12L-A2543 kohteesta

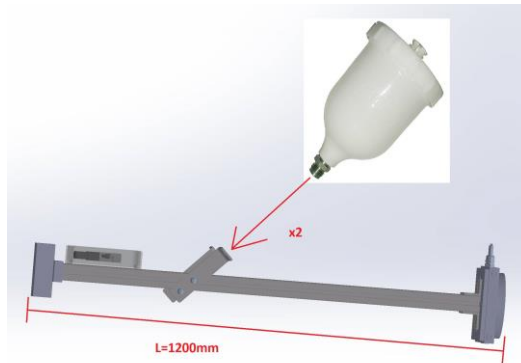
heijastava laser-anturi, johon voidaan opettaa haluttu etäisyys, jolloin anturi lähettää tulosignaalin robotille. Koska laser-anturille ei ollut olemassa referenssiä turvevillalle, kyseinen komponentti tilattiin koekäyttövarauksella. Onnistuneiden testien jälkeen kyseinen laser-anturi hyväksyttiin suunnitelmaan.

Jotta toimilaitteita voitaisiin ohjata, työkalun runkoon täytyi integroida ohjauskotelo, joka sisältäisi kaksi kappaletta sähköisesti ohjattavia 5/3-venttiileitä ja kytkentäkiskon venttiilien ohjausjännitteille ja laser-anturin ohjausjännitteelle ja tulosignaalille. Koska robotti tulee olemaan ympäristössä, jossa maalipölyä voi tarttua komponentteihin, tulisi ohjauskotelon kotelointiluokka olla vähintään IP5x. Ohjauskoteloksi valikoitui Enston alumiininen asennuskotelo, jonka kotelointiluokka on IP66.

5/3-venttiileiksi valikoitui Feston tuotteet konfiguraatioiden, luotettavuuden ja saatavuuden perusteella. 5/3-venttiilien konfiguraatio valittiin siten, että ne ovat normaalitilassa keskiasennossa suljettuna, jotta neulat eivät vetäytyisi sisään paineilman kadotessa ja liikuteltava levykappale ei tippuisi poimintatyökalusta. Venttiileitä oli kaksi kappaletta siitä syystä, että voidaan halutessa ohjata poimintatyökalussa olevia neulatarttuvia erikseen muun muassa alle 400 x 400 mm akustiikkalevykappaleen poimintaan.

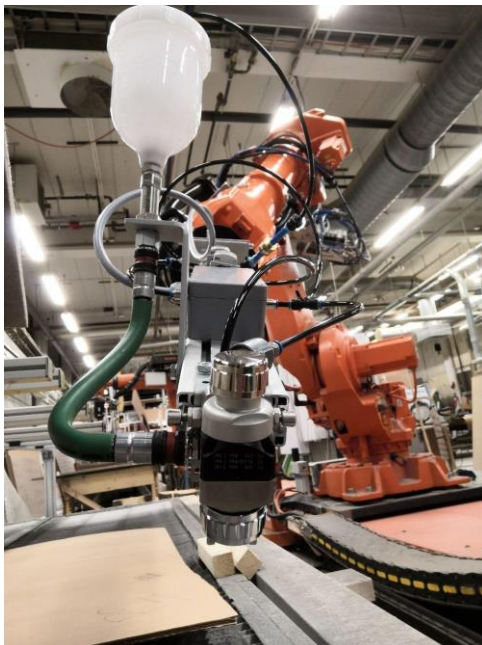
### 2.2.2 Maalaustyökalu

Kun kahden robotin konseptista luovuttiin, jouduttiin suunnittelemaan erillinen maalaustyökalu vastaavalla rungolla kuin poimintatyökalussa. Haasteeksi muodostui robotin ulottuvuudet ja maalattavien levykappaleiden koot. Ratkaisuksi tähän muodostui 1200 mm pitkä runko, jonka päähän tulisi automaattinen maaliruisku, jota voitaisiin ohjata paineilmalla. Runkoon käytettiin samaa 80 x 40 mm:n alumiiniprofiilia kuin poimintatyökaluun. Alumiiniprofiiliin uriin sai kiinnitettyä paineensäätimen, ohjauskotelon ja alumiiniprofiilin uria pitkin paineilmaletkut saatiin johdettua maaliruiskulle ja ohjauskotelolle siististi (kuva 8).



Kuva 8. Maalaustyökalun konseptisuunnitelma.

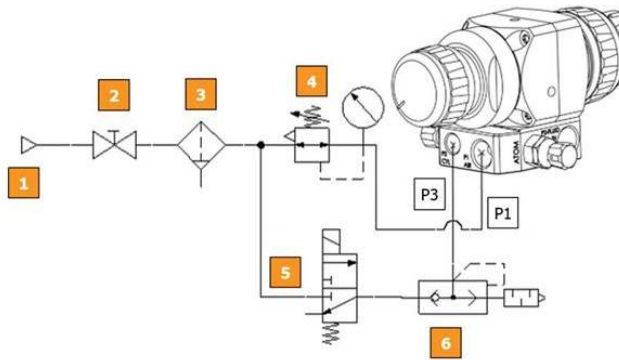
Asiakkaan toiveena oli myös mahdollisimman pieni maalihävikki värvaihdon yhteydessä, koska tuotteiden väri vaihtelee aina tilausten myötä. Haasteeksi tässä konseptissa muodostui maalin tuominen maalaustyökalulle, sillä robotti käyttäisi myös muita työkaluja ja robottia ei ole alun perin suunniteltu käytettävän maalaukseen. Jos maali olisi tuotu robotin akseleita pitkin, ongelmaksi olisi muodostunut maalihävikki ja maaliletkun kiinnitys työkalukiinnittimeen, sillä maalia olisi voinut roiskua kiinnityksen yhteydessä työkalukiinnittimen ja työkalunvaihtajan väliseen pintaan ja tästä olisi seurannut pahimmassa tapauksessa oikosulku ja robotin sähkölaitteiden rikkoontuminen.



Kuva 9. Maalaustyökalun ensimmäinen prototyyppi.



Yhdessä asiakkaan kanssa päätettiin kokeilla täysin uutta ratkaisua, jossa maalisäiliö olisi maalaustyökalussa kiinni ja maali virtaisi maaliruiskulle painovoiman vaikutuksesta (kuva 9). Tämän idean toteuttaminen osoittautui melkoiseksi haasteeksi, sillä vastaavaa ratkaisua ei löytynyt tietojemme mukaan maailmasta. Pitkien etsintöjen jälkeen löytyi maalaamiseen erikoistunut tavarantoimittaja, joka kiinnostui ideasta ja todisti pyynnöstä konseptin toimivuuden ennen osien tilausta.



Kuva 10. AG 362 -maaliruiskun pneumatiikkakaavio (8, s. 9).

Maaliruiskuksi valittiin tavarantoimittajan suosittelemaa Devilbissin brändin AG 362 automaattinen maaliruisku (kuva 10) ja maalisäiliöiksi asetaalista valmistettu GFC-501-yläsäiliö, joita normaalisti käytetään käsimaaliruiskussa. Maaliruiskun ohjaukseen valittiin Feston jousipalautteinen 3/2-venttiili, joka tulisi maalaustyökalun runkoon integroitavaan ohjauskoteloon (kuva 11).



Kuva 11. Maalaustyökaluun integroitu ohjauskotelo komponentteineen.

Ensimmäinen maalaustyökalun prototyypin valmistuttua työkalu maalasi ja maali virtasi ongelmitta, kun maalisäiliön kanteen upotettiin takaiskuventtiili ja paineilmaliitin korvausilmaa varten. Maalisäiliöön liitettiin pikaliitin, jotta maalisäiliön vaihtaminen sujusi ilman sotkua ja nopeammin, kuin avaamalla maalisäiliön kansi säiliön ollessa maalaustyökalussa kiinni ja kaatamalla säiliöön lisää maalia. Prototyypillä pystyttiin tekemään testiajoa tuotantokappaleilla onnistuneesti, mutta tässä vaiheessa ei ollut varmuutta maalaustyökalun toimintavarmuudesta pitkällä aikavälillä.

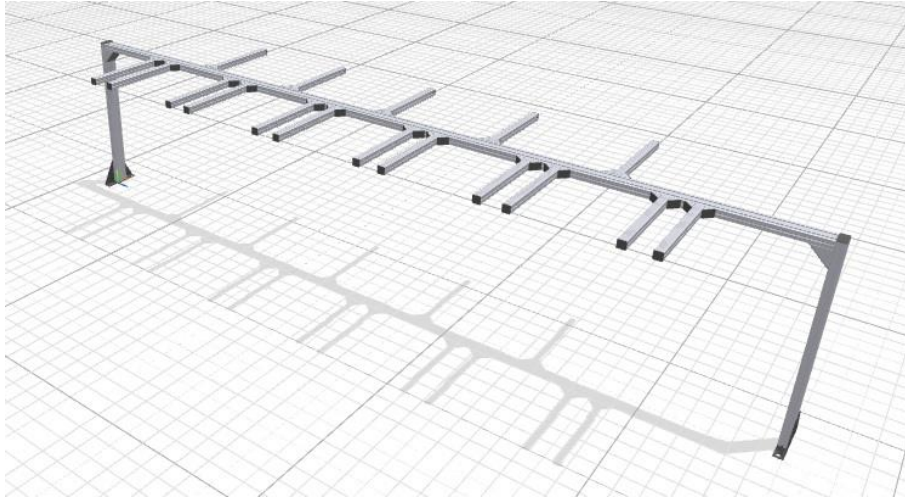
Ongelmaksi muodostui maalisäiliöiden paineistaminen ja niiden tiiveys paineen alaisena. Erilaisten tiivisteiden kokeilemisen jälkeen osoittautui, että asetaali materiaalina on liian joustavaa ja olisi lähes mahdotonta tiivistää kyseisestä materiaalista tehtyä maalisäiliötä. Vakavammaksi ongelmaksi muodostui takaiskuventtiilien soveltuvuus prototyypissä käytettyyn maalisäiliöratkaisuun, sillä takaiskuventtiilit jumiutuivat ajan kuluessa, koska takaiskuventtiileihin jäänyt maali pääsi kuivumaan. Vaikka korvausilman paineilmakanavaan lisättiin oma takaiskuventtiili varmistamaan, ettei maali pääsisi paineilmajärjestelmään, maali tarttui takaiskuventtiin kuulaan ja ajan kuluessa maali kuivui siihen, joka muodosti kerroksen kuulan ja paineilmakanavan väliin, jonka myötä maali pääsi vapaasti virtaamaan 3/2-venttiilille asti. Tästä luonnollisesti syntyi sotkua ja tuhoa.

Viimeisenä ratkaisuna prototyypistä luovuttiin ja järjestelmään liitettiin paineistettu maalisäiliö, jonka kautta maalia syötettiin maalaustyökalun automaattiseen maaliruiskuun. Maalisäiliö sijoitettiin robotin yläpuolelle, josta maali tuotiin joustavalla maaliletkulla maalaustyökaluun. Robotin liikeradat ohjelmoitiin siten, että maaliletku ei pääse kiertymään maalaustyökalun ympärille ja täten maalaustyökalu voitiin viedä robotin toimesta automaattisesti työkalunvaihtolineeseen ongelmitta. Tämä ratkaisu osoittautui toimivaksi, vaikka värinvaihdon yhteydessä syntyi ei toivottua hävikkiä, mutta ratkaisun komponentit ovat markkinoilla olevia tuotteita, joten ne ovat pitkällä aikavälillä toimintavarmempia ja siten on edullisempaa hyväksyä maalin hävikki.

### 2.2.3 Maalausteline

Maalaustelinettä suunniteltaessa tuli ottaa huomioon imukaapin ja maalaustelineen väliin jäävä tila siten, että robotin käsivarsi ei törmää kumpaakaan, kun levykappaleita asetetaan maalaustelineeseen poimintatyökalulla. Oksien jako suunniteltiin aluksi (kuva 12)

siten, että poimintatyökalun yhdellä neulatarttujalla voidaan asettaa maalaustelineeseen maalattavaksi 100–500 mm leveitä levykappaleita kuusi kappaletta, 500–600 mm leveitä viisi kappaletta ja 600–1000 mm leveitä kolme kappaletta. Yksittäisiä yli 1000 mm leveitä voidaan maalata siten, että levykappaleen etureuna asetetaan maalaustelineiden oksien etureunaan ja keskipiste keskitetään maalaustelineen keskelle.



Kuva 12. Maalaustelineen 3D-mallinnus ennen tilausta.

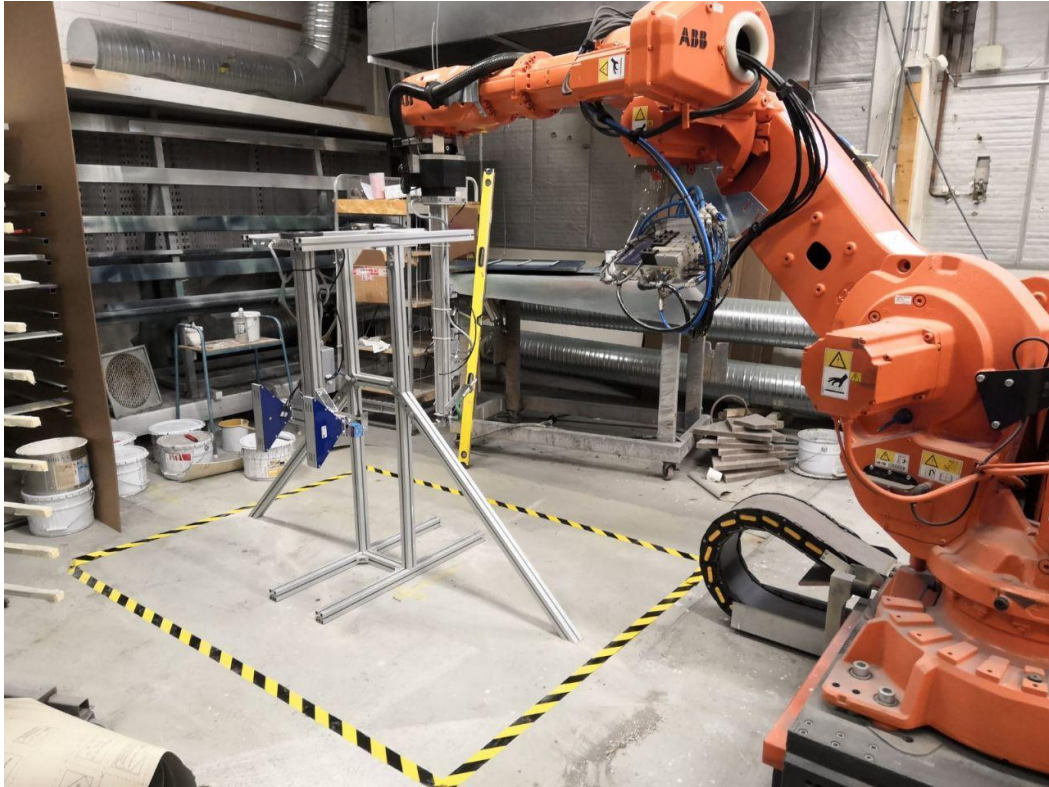
Ratkaisusta kuitenkin ilmeni se, että maalaustelineen pintaan kertynyt maali ei valunut odotetusti pois, vaan alkoi hiljalleen kerääntyä kohtiin, joissa useimmiten maalattiin, mikä aiheutti roiskeita maalattaviin levykappaleisiin, kun maalisuihku pyyhkäisi maalilätäkön ylitse. Ongelman eliminoimiseksi jouduttiin korottamaan maalaustelineen oksia tiheämällä akustiikkalevykappaleilla (kuva 13). Materiaali imisi suurimman osan maalista ja valuttaisi lopun kertyneen maalin pois telineestä. Tämän seurauksena jouduttiin luopumaan pienimmistä oksien välistä, koska poimintatyökalu ei olisi enää mahtunut pujottamaan oksien väliin turvallisesti. Pienimpien levykappaleiden maalaukseen keksittiin laittaa nämä levykappaleet ruuvattaviin magneetteihin kiinni ja magneetit laitettiin peltilevyyn kiinni ja tämä kokoonpano maalattiin robotilla yhtenäisenä levykappaleena.



Kuva 13. Maalausteline korotuksien kanssa.

#### 2.2.4 Työkalunvaihtoteline

Asiakas hankki 45 x 45 mm:stä alumiiniprofiilia, josta työkalunvaihtoteline lopulta rakennettiin. Alkuperäinen suunnitelma olisi ollut suunnitella ja tilata työkalunvaihtoteline alihankinnasta ja koota asiakkaan tiloista, mutta kustannustehokkuuden nimissä tämä rakennettiin edellä mainituista alumiiniprofiileista viimeisenä vaiheena, kun poimintatyökalu ja maalaustyökalun viimeiset muodot olivat selvillä. Työkalut jätettiin roikkumaan alaspäin (kuva 14), jotta työkalunvaihto olisi mahdollisimman mutkatonta ja ne olisi helppo poimia käsin esimerkiksi huoltoa varten.



Kuva 14. Työkalunvaihtotelineen testiajo.

Jotta työkalunvaihtoteline ei olisi liian hutera, teline pultattiin lattiaan kiinni useasta eri pisteestä. Telineen ympärille teipattiin huomioteippiä siitä syystä, ettei kukaan satuttaisi itseään telineen teräviin kulmiin, vaikka profiilien päihin asennettiin päätypalat.

### 3 Ohjelmointi

Ohjelmointityökaluna käytettiin ABB:n RobotStudio -ohjelmistoa ja ohjelmointikielenä RAPID-kieltä. Ohjelmaan oli ohjelmitava kyselypohjainen käyttöliittymä robotin, sillä robotissa ei ollut erillistä käyttöliittymäoptiota ja tämän hankkiminen jälkikäteen olisi tullut kalliiksi ratkaisuksi. (2;3;4.)

Ohjelmaan ohjelmoitiin robotin liikeradat ja paikoitustietotaulukot 2- ja 3-ulotteisina matriisitaulukkoina. 3-ulotteinen matriisitaulukko piti sisällään paikoitustiedot levykappaleiden maalaukselle, joita voitiin skaalata parametrisesti. Taulukon rivi kertoi ohjelmalle, mitä oksienväliasetusta käytetään, sarake kertoi, mikä väli telineessä on käytössä, ja

alkiot pitivät konfiguraatioasetukset sisällään reunojen ja pinnan maalausta varten. Ohjelma laski ja valitsi oksienväliasetuksen operaattorin syöttämän leveyden perusteella.

Ohjelman oli kyettävä jatkamaan kiertoaan myös tilanteessa, jossa robotilta häviää virrat syystä tai toisesta. Tämä toteutettiin siten, että ohjelma päivittää erillisiin muuttujiin työkierron vaiheiden etenemisen ja tarkistaa käynnistyessään signaalin, joka kertoo operaattorille, onko työkierto ollut kesken ennen uudelleen käynnistystä.

Ohjelman alustukseen ohjelmoitiin tarkistusrutiini, jossa ohjelma tutkii, onko työkierto jäänyt kesken ja jos on, operaattorilta kysytään, jatketaanko työkiertoa. Jos operaattori haluaa keskeyttää työkierron, muuttujat nollataan. Jos operaattori haluaa jatkaa työkiertoa, ohjelma tarkistaa muuttujista, mihin vaiheeseen työkierto oli jäänyt. Jos operaattori haluaa suorittaa muun rutiinin, kuten maaliruiskunhuollon, muuttujiin talletetaan kesken jääneen työkierron data, jotta voidaan jatkaa siitä mihin ohjelma on jäänyt, kun muu ohjelma on suoritettu. Seuraavaksi ohjelma kysyi operaattorilta työkierron tarvittavat tiedot.

Tietojen perusteella ohjelma laski muun muassa, kuinka monta maalausvetoa tarvitaan levyn pinnan maalaukseen, miten lineaarirataa liikutetaan levykappaleen leveyden mukaisesti, jotta vältetään singulariteettivirheitä ja mitä paikoitustietotaulukon osaa käytetään levykappaleen leveyden perusteella. Laskennan ehtolauseiden muuttujana käytettiin operaattorin syöttämää levyn leveyttä, koska laskentaa ei voinut mittojen suuren vaihtuvuuden vuoksi tehdä yksiselitteisesti ja robotti olisi ajanut itsensä singulariteettiin tai akselien ulottuvuuksien ulkopuolelle ilman ehtolauseita.

Asiakkaan toiveesta robottiin ohjelmoitiin myös huoltotoimenpiteitä helpottavia rutiineja, kuten maalaustyökalun huoltoasema, maalisäiliön tyhjennysrutiini, yksittäisen yli 1000 mm leveän levykappaleen maalausrutiini ja manuaalimaalausruutini yksittäisten alle 300 mm leveiden kappaleiden maalaukseen insinööriyön rajauksesta huolimatta.

## 4 Käyttöönotto

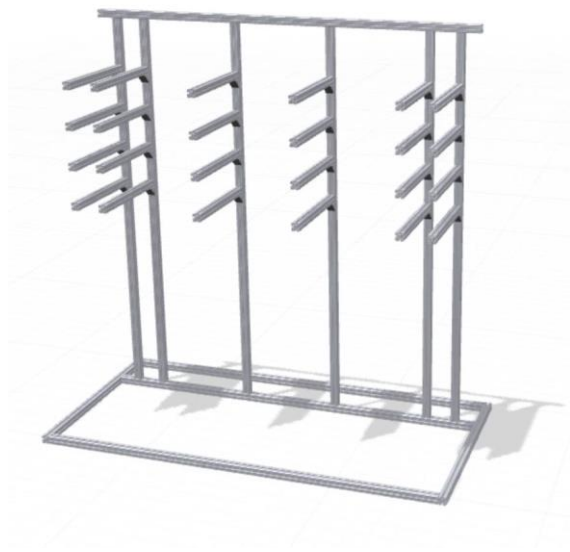
Mekaanisen rakentamisen ja käyttöönoton yhteydessä havaittuja muutostarpeita kyettiin suunnittelemaan lennossa ilman erillistä ennakkovaroitusta. Käyttöönotto venyi tästä

syystä pidemmäksi, kuin alun perin oli suunniteltu. Tässä luvussa kerrotaan keskeisimmät muutokset lyhyesti.

#### 4.1 Tilankäytön muutokset

Maalausalue vaihtoi paikkaansa alkuperäisestä suunnitelmasta, jossa tarkoitus oli hyödyntää vanhaa maalaamo. Muutos oli toisaalta välttämätön, sillä suurten levykappaleiden maalaus ei olisi muuten onnistunut missään tilanteessa.

Poiminta-alue vaihtui robotin vierestä toisen robotin viereen, jotta leikattu levykappale voitaisiin siirtää mahdollisimman kevyesti ja nopeasti robotin poiminta-alueelle. Poimintaa ei kuitenkaan voida tehdä automaattisesti ilman, että KUKA- ja ABB-robotin välille rakennetaan ja ohjelmoidaan kommunikointi. Tämä jätettiin kokonaan pois insinöörityöstä, sillä KUKA-robotteja ohjelmoidaan eri ohjelmointikielellä kuin ABB-robotteja.



Kuva 15. 3D-malli suunnitellusta kuivaustelineestä.

Kuivaustelinettä ei koskaan rakennettu (kuva 15), sillä asiakkaan levykappaleiden kysyntä muuttui insinöörityön aikana ja alun perin mitoiltaan alle 1000 mm x 1000 mm levykappaleiden rajaus sivuutettiin ja keskityttiin ainoastaan yksittäisten levykappaleiden maalaukseen, joiden mitat vaihtelivat 200 mm ja 2000 mm välillä.

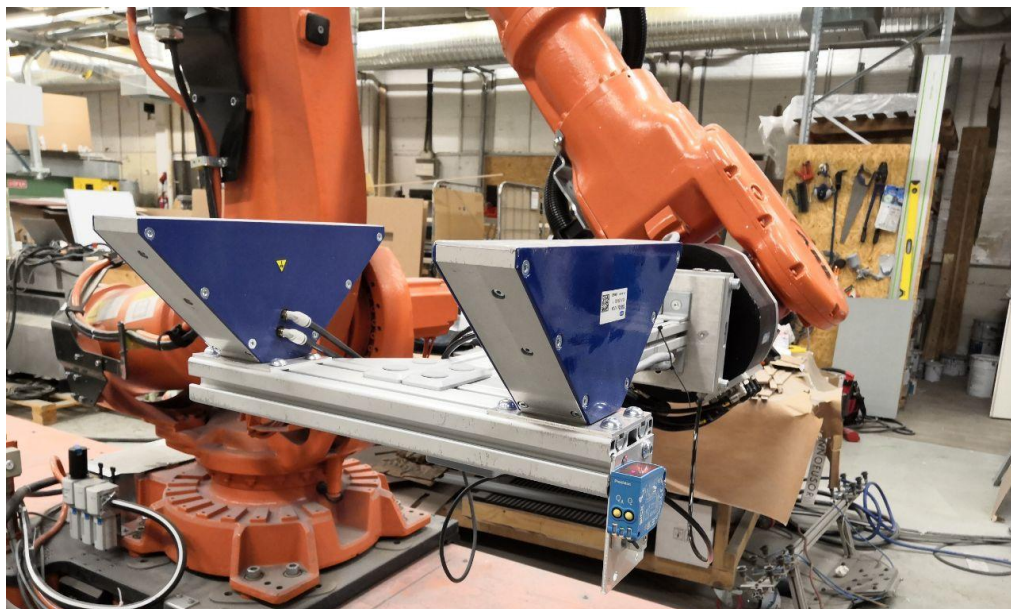
## 4.2 Työkalujen muutokset

Käyttöönoton yhteydessä työkaluihin tehtiin tarvittavia muutoksia sitä myöten, kun havaittiin puutteita tai kehitettävää.

### Poimintatyökalu

Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen poimintatyökalun toimintaa muutettiin siten, että poiminnassa käytettiin kumpaakin neulatarttujaa. Alkuperäisessä suunnitelmassa ajatuksena oli käyttää pienien levykappaleiden poiminnassa vain toista poimintatyökalun neulatarttujaa. Tämä muutos johtui siitä, että maalaustelineiden oksia jouduttiin korottamaan ja pienien oksien väliin pujottaminen oli muutoksen jälkeen mahdotonta poimintatyökalun fyysisten mittojen vuoksi. Koska pieniä levykappaleita oli tehokkaampaa kiinnittää peltilevyyn magneeteilla, työkalun mittojen muutos ei olisi ollut kannattavaa.

Muutoin poimintatyökalun toimintaperiaate, fyysiset mitat ja toimilaitteet olivat samat kuin asiakkaan hyväksymässä suunnitelmassa ja lopullinen ulkonäkö oli lähes sama kuin alkuperäisessä suunnitelmassa (kuva 16).

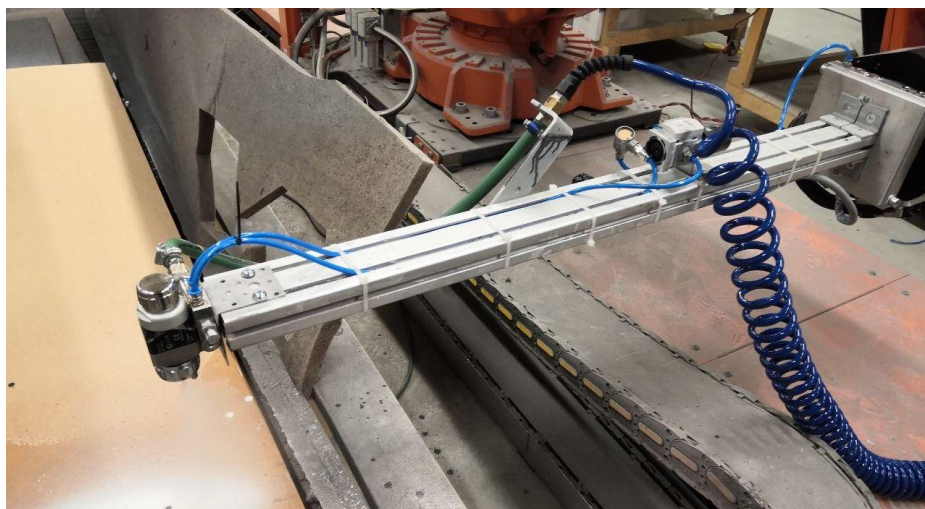


Kuva 16. Lopullinen poimintatyökalu.



## Maalaustyökalu

Maalaustyökalussa tehtiin useita eri muutoksia säiliöiden, ohjauksen ja maalisyötön suhteen. Pienistä maalaustyökalun mukana kulkevista maalisäiliöistä luovuttiin näiden tiiveyden takia. Tilalle laitettiin perinteinen paineistettu maalisäiliö, jonka kautta maalia syötettiin maalaustyökalun maaliruiskulle (kuva 17).



Kuva 17. Lopullinen maalaustyökalu.

## Ohjelman muutokset

Ohjelman paikoitustietoihin tehtiin muutoksia järjestelmän asennuksen yhteydessä, koska asennuksessa käytettyjen mittatyökalujen tarkkuudet eivät olleet riittävän tarkkoja. Maalaustelineen paikoitusta jouduttiin siirtämään useita millimetrejä. Myös robotin konfiguraatioita maalausprosessissa muutettiin sitä myöten, kun opittiin maalisuihkun käyttäytymisestä.

Suurin muutostarve ohjelmaan syntyi, kun asiakkaan levykappaleiden kysyntä muuttui insinööriyön aikana. Ohjelma oli ohjelmoitu suorittamaan poimintaa, maalausta ja laskemaan kuivumisaika, jonka jälkeen levykappaleet olisi siirretty takaisin maalaukseen robotin toimesta. Ohjelmointi oli siis tehty alkuperäisen insinööriyön rajauksen varassa,

ja kun tieto muutoksen tarpeesta ilmeni, jouduttiin soveltamaan jo ohjelmoitua ohjelmaa ja muokkaamaan suurinta osaa ohjelmasta ja osa jouduttiin jättämään kokonaan pois.

## 5 Lopullinen robottijärjestelmä

### 5.1 Toiminnankuvaus

Toiminnankuvauksessa käydään ohjelmaa läpi vaihe vaiheelta, mitä työkierrossa tapahtuu ja mitä edellytetään onnistuneen työkierron aikaansaamiseksi (kuva 18). Toiminnankuvauksessa on kerrottu myös sivuutettuja ohjelman osia.



Kuva 18. Lopullisen robottijärjestelmän onnistuneen työkierron lopputulos.

## Esivalmistelu

Maalattavat levykappaleet tuodaan operaattorin toimesta ennalta määritellylle alueelle, joka on robotin vapausasteiden ulottuvuuksien ulottuvilla. Levykappaleet pinotaan päällekkäin ja vain yksi levykoko on sallittu työkiertoa kohden. Levykappaleen kulma asetetaan poimintapaikan referenssipisteeseen, josta robotti skaalaa levykappaleen keskipisteen operaattorin syöttämien mittojen perusteella.

Maalaustelineen on oltava ennen työkierron alkua tyhjennettynä, jotta törmäyksiltä välttään. Poimintatyökalun ja tämän toimilaitteiden on oltava toimintakuntoisia eikä neula-tarttujissa saa olla kappaletta kiinni ja anturin on oltava oikeassa asennossa ja puhtaana. Myös maalaustyökalun komponentit on oltava puhdistettuina ja maalisäiliössä on oltava maalia ennen työkierron aloittamista.

Järjestelmä vaatii painetta 8 baaria toimiakseen ongelmitta. Kompressorin täytyy olla käynnistetty ennen työkierron aloittamista ja järjestelmän paineistettu.

Robotin lineaariradalla ei saa olla sinne kuulumattomia esineitä eikä letkuja tai johtoja saa olla radan päällä. Robottisolussa ei saa olla käytön aikana ylimääräisiä henkilöitä, lukuun ottamatta operaattoria. Robottia voidaan ajaa käsiajotilassa, jolloin akseleiden nopeudet ovat rajoitettu standardien vaatimille tasoille.

## Ohjelmanvalinta

Kun robotti on käynnistetty ja tarvittavat toimenpiteet tehty, ohjelma voidaan käynnistää. Robotti ajaa itsensä kotiasemaan, ellei se ole jo siellä. Tämän jälkeen ohjelma listaa käytettävissä olevat ohjelmat. Ohjelmat ovat seuraavat:

- suorakaiteiden maalaus
- yksittäisen suorakaiteen maalaus
- manuaalimaalaus
- huoltoasema.

Suorakaiteiden maalaus -ohjelmassa käytetään sekä poimintatyökalua että maalaustyökalua ja ohjelma toimii itsenäisesti. Yksittäisen suorakaiteen maalaus -ohjelmassa operaattori asettaa käsin maalattavan levyn maalaustelineeseen ja syöttää tarvittavat parametrit, jolloin ohjelma maalaa vain yhden levykappaleen. Tässä ohjelmassa maalattavan levykappaleen maksimitat ovat 3000 x 2000 x 100 mm. Manuaalimaalaus-ohjelmassa robotti ajaa maalaustyökalun kanssa maalaustelineen yläpuolelle ja ohjelma kysyy operaattorilta, kuinka monta sekuntia maaliruisku on päällä. Tämä voidaan toistaa niin monta kertaa kuin on tarvetta, jonka jälkeen ohjelmasta poistutaan ja palataan alkutilanteeseen. Huoltoasema-ohjelmassa on seuraavat aliohjelmat:

- maaliruiskun huolto
- koemaalaus
- vaihda työkalua
- kotiasema.

Maaliruiskun huolto -ohjelmassa robotti ajaa itsensä asemaan, jossa operaattorin on helppo työskennellä maalaustyökalun parissa. Koemaalaus -ohjelmassa robotti ajaa itsensä 200 mm:n etäisyyden päähän imukaapin pinnasta, johon voidaan asettaa pahvi-levy maalisuihkun tarkistamista ja säätöä varten. Vaihda työkalua -ohjelmassa robotti vaihtaa robotissa kiinni olevan työkalun operaattorin valitsemaan työkaluun. Tällä hetkellä työkaluja on vain kaksi kappaletta. Kotiasema-ohjelma ajaa robotin turvallisesti kotiasemaansa huoltoasemasta.

Syötettävät parametrit

Kun Suorakaiteiden maalaus -ohjelman työkierto aloitetaan, niin ohjelma pyytää operaattoria syöttämään seuraavat parametrit:

- levykappaleen leveys ja korkeus sekä paksuus millimetreinä
- maalaustyökalun maalausnopeus pinnan maalauksessa (mm/s)
- maalaustyökalun maalausnopeus reunojen maalauksessa (mm/s)
- maalaustyökalun kulma levyn pintaan nähden asteina
- maalattavien kappaleiden lukumäärä.

Ohjelma laskee poiminta-, jättö- ja maalaus pisteet ja kertoo operaattorille, kuinka monta kappaletta yhden työkierron aikana voidaan maksimissaan maalata operaattorin syöttämien mittojen perusteella.

Onnistuneen työkierron jälkeen ohjelma esittelee edellisen työkierron parametrit ja kysyy, käytetäänkö näitä uudestaan. Jos edellisen työkierron parametrejä ei käytetä, niin ohjelma kysyy edellä mainitut parametrit uudestaan ja työkierto alkaa alusta. Jos työkierto keskeytyy esimerkiksi sähkökatkoksen myötä, ohjelma tallentaa syötetyt parametrit ja laskureiden datan erillisiin muuttujiin, jotta ohjelmaa voidaan jatkaa siitä, mihin se on jäänyt ennen keskeytystä.

### Työkierto

Työkierto alkaa, kun parametrit ovat syötettynä ohjelmaan. Ensin ohjelma tarkistaa, mikä työkalu on kiinnitetty robottiin. Jos työkaluna on maalaustyökalu, robotti käy vaihtamassa maalaustyökalun poimintatyökaluun. Jos poimintatyökalu on jo kiinnitetty robottiin, niin ohjelma siirtyy seuraavaan vaiheeseen.

Seuraavana vaiheena robotti käy poimimassa levykappaleen poimintapaikalta. Robotti lähestyy levykappaletta niin kauan kunnes poimintatyökalun etäisyyslaseranturin signaali aktivoituu. Kun signaali on aktiivinen, robotti syöttää paineen poimintatyökalun neulatarttajiin ja neulatarttajan neulat ampuvat levykappaleeseen kiinni. Tämän jälkeen robotti vie ja jättää levykappaleen maalaustelineeseen. Robotti toistaa tätä vaihetta niin kauan kunnes maalaustelineen paikat ovat täynnä tai levykappaleita riittää poimintapaikalla.

Tämän jälkeen robotti vaihtaa poimintatyökalun maalaustyökaluun ja aloittaa maalaamisen. Kun maalausvaihe on suoritettu, robotti käy vaihtamassa maalaustyökalun tarttujatyökaluun ja vie maalatut levykappaleet kuivumaan.

Jos maalattavia levykappaleita on vielä jäljellä poimintapaikalla, niin edellä mainittu työkierto alkaa alusta, kun operaattori on antanut luvan ohjelmalle jatkaa.

Työkierron aikana mahdollisesti ilmaantuvat virheilmoitukset

Jos signaali ei aktivoidu ennen laskennallista levykappaleen pintaa, ohjelma keskeytyy ja ilmoittaa operaattorille seuraavan viestin: "Levykappaleet ovat loppu tai laseranturi on likainen. Syötä lisää levykappaleita tai puhdista anturi. Jatketaanko?". Muita mahdollisia virheilmoituksia ovat ABB:n roboteihin ennalta määritellyt virheet (2-4).

## 5.2 Maalausprosessi

Paineistetusta maalisäiliöstä syötetään maalia maaliletkaa pitkin robotissa kiinni olevaan maalaustyökaluun halutulla paineella (kuva 19). Maaliruiskusta voidaan manuaalisesti säätää maalisuihkun viuhkan leveys, maalinannosteluneulan korkeus ja hajotusilman määrä. Näitä neljää muuttujaa säätämällä saadaan aikaiseksi haluttu maalisuihku, jossa maalia kuluu mahdollisimman vähän ja maali leviää mahdollisimman tasaisesti maalattavan akustisenlevykappaleen pinnalle ja sivuihin.

Robotin ohjelmaan ohjelmoiduista muuttujista voidaan säätää ohjelmallisesti maalaustyökalun nopeus erikseen pinnan ja reunojen maalaukseen. Myös maalaustyökalun asentoa levyn pintaan nähden voidaan säätää halutuksi, sillä maalattavien akustisienlevykappaleiden pinnan muodot eivät ole aina tasaisia.



Kuva 19. Lopullinen maalausjärjestelmä, ennen paineistetun maalisäiliön sijoittamista oikealle paikalle.

### 5.3 Kappaleenkäsittely

Kappaleenkäsittely suoritetaan poimintatyökalulla (kuva 20) siten, että robotti poimii levykappaleen poiminta-alueelta automaattisesti ja kuljettaa sen maalaustelineelle. Kun maalausprosessi on suoritettu, robotti vaihtaa maalaustyökalusta takaisin poimintatyökaluun ja poimii maalatut levykappaleet maalaustelineeltä ja kuljettaa ne kuivaukseen osoitetulle alueelle, josta operaattori poimii nämä robotin työkalulta ja jatkaa kiertoa, kunnes maalausteline on tyhjä.



Kuva 20. Lopullinen poiminta-alue.

## 6 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli, että asiakkaan tuotantotilaan suunnitellaan, toteutetaan ja ohjelmoidaan parametrisoitu maalaus- ja kappaleenkäsittelyjärjestelmä olemassa olevan robotin ja tämän lineaariradan ympärille. Robotti tulisi käsittelemään ja maalaamaan eri materiaaleista koostuvia akustiikkalevykappaleita. Työ toteutettiin Learning-by-doing -filosofiaa soveltamalla eli kehitetään omaa osaamista käytännön työllä ja otetaan opiksi mahdollisista virheistä.

Haasteita riitti työn jokaisessa vaiheessa, koska kustannuksia ja maalin hävikkiä pyrittiin pitämään mahdollisimman minimissä. Useiden suunnitelmien muutosten ja työn aikana kasvaneen kokemuksen myötä lopputulokseksi syntyi robottisolu, jossa robotti kykeni suorittamaan edellä mainitut tehtävät.

Insinööriyön haasteista huolimatta työn tuloksena syntyi toimiva järjestelmä, joka kykeni tehostamaan asiakkaan tuotannon laatua ja tehokkuutta. Itselleni kertyi arvokasta kokemusta robottijärjestelmien suunnittelusta, robottien ohjelmoinnista ja toimilaitteiden valitsemisesta sekä mekaanisesta suunnittelusta. Prototyyppien rakentamisesta opittiin, että niiden suunnittelemiseen ja testaamiseen pitää varata huomattavasti enemmän aikaa,



kuin mitä insinööriyön aikana käytettiin. Erityisesti testaamisen aikana ilmenneiden ongelmien ratkomiseen kului suunniteltua enemmän aikaa, sillä ilmenneet ongelmat eivät olleet tulleet insinööriyön tekijälle mieleen suunnitteluvaiheessa.

Käyttöönoton yhteydessä mekaaninen kokoonpano olisi pitänyt ulkoistaa, jotta olisi jäänyt enemmän aikaa itse järjestelmän toiminallisuuksien kehittämiseen ja ohjelmoinnin yksinkertaistamiseen. Kuitenkin lukuisten muutoksien myötä aikaa ei olisi todennäköisesti jäänyt yhtään enemmän käytettäväksi.

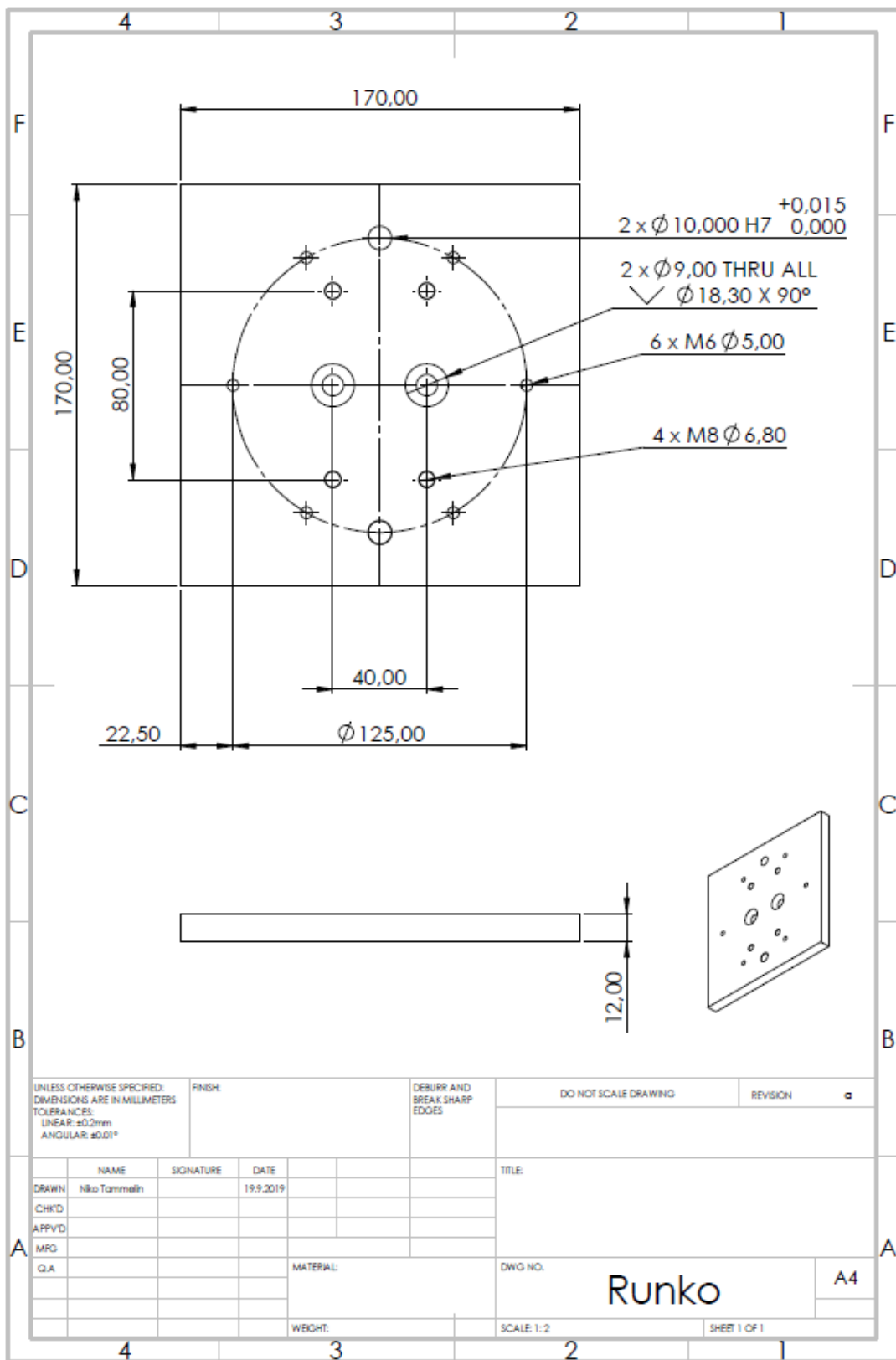
Yksi tärkeimmistä työn aikana tulleista opeista oli, että tilanne muuttuu jatkuvasti. Työn rajaukset muuttuivat täysin työn edetessä kohti maalia. Ainoina alusta asti säilyneinä rajauksina olivat itse robotti toimilaitteineen ja tavoiteltavat toiminnallisuudet. Käsiteltävien ja maalattavien levykappaleiden koot kasvoivat suurimpiin mahdollisiin ja täysin eri muotoisiin kuin alussa määriteltiin. Tilanteiden muutokset pysyivät kuitenkin hallinnassa ja tavoitteisiin päästiin aikataulussa.

Viimeisenä asiana haluan kiittää työhönohjaajaa, toimilaitteiden toimittajien asiantuntijoiden panosta ja avuliaisuutta valitsemaan parhaiten soveltuvat toimilaitteet insinööriyöhön sekä asiakasta mahdollisuudesta insinööriyöhön sekä arvokkaasta kertyneestä kokemuksesta.

## Lähteet

- 1 Learning-by-Doing. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia <<https://en.wikipedia.org/wiki/Learning-by-doing>>. Luettu: 1.9.2019
- 2 ABB Technical reference manual – RAPID Instructions, Functions and Data types
- 3 ABB Technical reference manual – RAPID Overview
- 4 ABB Technical reference manual – RAPID kernel
- 5 Needle Grippers SNG-DL. 2019. Verkkoaineisto. Oy Schmalz Ab. <<https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/special-grippers/needle-gripper/needle-grippers-sng-dl>>. Luettu: 26.8.2019
- 6 Needle Grippers SNG-V. 2019. Verkkoaineisto. Oy Schmalz Ab. <<https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/special-grippers/needle-gripper/needle-grippers-sng-v>>. Luettu: 26.8.2019
- 7 Product Manual – Swivel with Tool Changer 250 kg M0620-1 2008-08-29
- 8 Devilbiss AG362 – Service Manual
- 9 ABB Robotics – Product manual IRB 6640 3HAC028284-001

Liite 1: Sovitinlevy työkalunvaihtajaan.



Liite 2: Sovitinlevy neulatarttujille.

