

# MAALAUSSROBOTIN OHJELMOINTI

Automaattinen liikesarjojen generointi

Sattanen Sami

Opinnäytetyö  
Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

2022

Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Sami Sattanen	<b>Vuosi</b>	2022
<b>Ohjaaja</b>	DI Petri Kesälahti		
<b>Toimeksiantaja</b>	Norrhydro		
<b>Työn nimi</b>	Maalausrobotin ohjelmointi. Automaattinen liikesarjojen luonti.		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	36 + 3		

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli Norrhydron tuotteiden maalauksen automatisoinnin kehittäminen uuteen tuotantolaitokseen. Tällä hetkellä maalaus on osittain automatisoitu. Tuotteiden ylä- ja alapäädyt maalataan käsin. Nyt ainoastaan vertikaaliset pinnat maalataan robotin toimesta. Lisäksi robotin ohjelman muuttaminen aina uudelle tuotteelle sopivaksi suoritetaan tekstieditorilla ohjaustiedostoa muuttamalla.

Yrityksellä on olemassa tuotetiedot kaikista valmistettavista tuotteista, joita voidaan hyödyntää robotin ohjelmointiin. Tuotetietojen harmonisoinnin jälkeen luotiin yksinkertaiset laskukaavat, joilla luotiin robotille tarvittava ohjaustiedosto. Ohjaustiedosto on periaatteessa aina samanlainen, ainoastaan liikkeiden mitat muuttuvat tuotteiden mukaan. Laskukaavoilla skaalattiin ohjaustiedostossa olevat liikkeet jokaiselle tuotteelle sopivaksi.

Maalausprosessin manuaalisen työn osuudeksi on tarkoituksena jäädä ainoastaan tuotteiden viivakoodin luku, maalauspaikan numeron syöttö robotille sekä tuotteen sijoittaminen maalauspaikkaan. Muutamissa poikkeustapauksissa joudutaan vielä vaikeimmat kohdat maalaamaan käsityönä. Työntekijän tulee lähinnä seurata robotin työtä, ja tarvittaessa hienosäätää robotin nopeutta maalipinnan paksuuden säätämiseksi.

Tulokseksi saatiin maalauksen osalta tasalaatuinen lopputulos kaikkien tuotteiden kohdalla. Laskukaavat toimivat kaiken kokoisten kappaleiden kohdalla halutulla tavalla. Uusien tuotteiden lisääminen maalausprosessiin ei käytännössä lisää manuaalisen työn määrää. Uuden tuotteen mittojen lisääminen tuotetietotaulukkoon on käytännössä yhden rivin lisäys edellä mainittuun taulukkoon.

Avainsanat

robotiikka, pintakäsittely, hydraulikka

Mechanical Engineering  
Bachelor of Science

---

<b>Author</b>	Sami Sattanen	Year	2022
<b>Supervisor</b>	M.Sc. Petri Kesälahti		
<b>Commissioned by</b>	Norrhydro		
<b>Subject of thesis</b>	Programming of Painting Robot. Automated Creation of Tool Paths.		
<b>Number of pages</b>	36 + 3		

---

The objective of this thesis was to automate the customer's painting process in their production line. Currently the painting process is only partially automated: the robot is painting only the vertical surfaces of the product. The top and bottom surfaces are painted manually. The programming of the robot is done by editing the text file containing the robot target positions and movement instructions.

As the company is having all the dimensions of all their products in mixed formats, it would be best to manually collect this information into a single table, where the data is in an identical format. The formulas have been created to use dimensions in the table for calculation of robot movements. A simple principle is that moves are, identical only the scale is different for each product

The aim is that users only need to read the barcode of the product and location of it in the painting cart. After the employee has attached the products to the painting cart, the painting itself will happen completely by the robot. The users only need to monitor the painting process. Only in few occasional cases some manual painting is needed to cover hidden surfaces. The user also has a control for finetune the speed of the robot on the fly to get desired thickness of the coating thickness.

As a result all products are identically painted, and quality is constant. Developed formulas will work with all sized products. Adding new products into the system is very easy without any real extra effort.

Key words

Robotics, Coating, Hydraulics

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	NORRHYDRO OY .....	7
2.1	Hydraulisyliinterit .....	7
2.2	NorrDigi.....	8
2.3	MotioMax .....	9
3	MAALAUSKSEN LYHYT HISTORIA .....	11
3.1	Jauhemaalaukset .....	12
3.2	Maaliruiskusuuttimet .....	12
4	ROBOTTIEN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA .....	14
4.1	Historia.....	15
4.2	Nykyaikainen teollisuusrobotti.....	15
4.3	Laajemmat kokonaisuudet.....	16
5	NYKYTILANNE JA TAVOITE NORRHYDROLLA.....	18
5.1	Nykytilanne .....	18
5.2	Maalauslinjasto .....	18
5.3	Tavoite .....	19
6	KÄYTETTÄVÄT LAITTEISTOT JA OHJELMISTOT .....	22
6.1	RobotStudio .....	22
6.2	ABB Robotti malli IRB 5510 .....	22
7	ROBOTIN LIIKESARJAT .....	24
7.1	Robotin sijoittaminen.....	24
7.2	Liikesarja.....	25
7.3	Aputaulukko .....	26
7.4	Laskennassa käytetyt kaavat.....	28
7.5	Käyttöliittymä .....	29
8	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET .....	34
	LIITTEET .....	36

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	ASEA Brown Boveri
op	opintopiste
RKP	Rovaniemen Konepaja
NPI	Nordic Process Improvement
RAPID	ABB:n kehittämä korkean tason ohjelmointikieli, jota käytetään robottien ohjaukseen

## 1 JOHDANTO

Asiakasyritys, Norrhydro, rakentaa uutta tuotantolaitosta Rovaniemelle. Tuotantolaitokseen tulee automaattinen hydraulisyntereiden maalauslinjasto. Maalauslinjastolle tulee yksi maalausrobotti, jonka ohjelmointia tämä työ koskee. Itse maalauslinjasto on kokonaisuus, jossa tämä maalausrobotti on vain yksi osa. Työssä keskitytään vain tämän robotin liikesarjojen automaattiseen laskentaan.

Haasteensa automatisoinnille tuo ohjaustiedostojen luominen mahdollisimman vähillä tuotteen mitoilla. Norrhydrolla on yli tuhat erilaista tuotetta, ja niiden tietoja ei ole tallennettuna identtisellä tietorakenteella, josta olisi mahdollista automaattisesti käydä lukemassa tuotteiden avainmitat. Tähän pitää luoda yksinkertainen tietorakenne, johon kerätään tuotteiden avainmitat siten, että niiden lukeminen onnistuu automaattisesti.

Ensimmäisenä tutustutaan nykyiseen prosessiin ja keskustellaan maalauslinjaston työntekijöiden kanssa siitä, minkälainen lopputulos olisi tarkoituksenmukainen heidän käyttöönsä.

Työ koostuu seuraavista vaiheista: Ensin ideointi, josta sitten tarkoitus lähteä muodostamaan laskukaavoja tarvittavien koordinaattien selvittämiseksi. Tämän jälkeen simulointia käyttämällä selvitetään robotin liikkeet laskettujen koordinaattien mukaan.

Lopputuloksena on saada minimoitua manuaalisen työn määrä itse maalausprosessin aikana. Tähän ei täydellisesti päästä, koska on muutamia tuotteita, joissa on pintoja sellaisissa paikoissa, ettei niiden maalaaminen automaattisesti onnistu.

## 2 NORRHYDRO OY

Norrhydro on rovaniemeläinen vuonna 1985 perustettu hydraulisylinterien valmistukseen erikoistunut yritys. Aluksi yritys suoritti lähinnä alihankintaa muun muassa RKP:lle ja Kalottikoneelle. Yhtiön liiketoiminta jatkui aina vuoteen 2007 asti, jolloin tapahtui omistajanvaihdos. Tällöin yrityksessä myös päätettiin keskittyä teknologiakumppanuuksiin pelkän alihankinnan sijasta. Liiketoiminta sujui suunnitellusti ja rajallista tuotantokapasiteettia kasvatettiin 50 % vuonna 2010. Tällöin Norrhydro alkoi myös valmistamaan monikammiosylintereitä. Tampereen Teknillisen Yliopiston kanssa aloitettiin yhteistyö vuonna 2011 NorrDigi järjestelmän kehittämiseksi. Neljän vuoden kehitystyön jälkeen, vuonna 2015 solmittiin yhteistyösopimus Volvon kanssa NorrDigi järjestelmän jatkokehittämiseksi valmiiksi kaupalliseksi tuotteeksi. Vuonna 2020 tuotekehitystyö oli saatu päätökseen, ja NorrDigi-järjestelmä kaupallistettiin. 2021 investoitiin uuteen tuotantolaitokseen sekä automatisoituun tuotantojärjestelmään. Uusi tuotantolaitos valmistuu 2022 syksyllä. (Norrhydro 2021d)

Suomessa Norrhydrolla on kolme toimipaikkaa: Pääkonttori ja tuotanto Rovaniemellä, tuotekehitys Tampereella sekä Kuopiossa. Keväällä 2022 Norrhydro työllisti noin 160 työntekijää. Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli 24,7M€. (Norrhydro 2021d)

### 2.1 Hydraulisylinterit

Norrhydron pääasiallisena tuotteena ovat vielä perinteiset hydraulisylinterit. Näiden valmistuksesta on jo 35 vuoden kokemus. Perinteisiä hydraulisylintereitä käytetään käytännössä kaikenlaisissa työkoneissa sisältäen esimerkiksi maanrakennuksen, materiaalikäsittelyn ja kaivoskoneet jne. Metsäkoneissa hydraulisylintereitä käytetään käytännössä kaikkiin toimintoihin alkaen ohjauksesta päättyen harvesteripäähän. Suomalaista konevalmistajista esimerkiksi Ponsse luottaa Norrhydron tuotteisiin.

Hydraulisylinterit suunnitellaan aina yhteistyössä asiakkaan kanssa. Suunnittelu-prosessissa käytetään standardoitua NPI-prosessia.

Sylinterit voivat olla kooltaan jopa 500 mm halkaisijaltaan, maksimi iskunpituuden ollessa jopa 10 metriä. (Norrhydro 2021a)

## 2.2 NorrDigi

NorrDigi on Norrhydron kehittämä hydraulijärjestelmä, jonka kehitystyössä Volvo on ollut vahvasti mukana. Perinteisessä hydraulisylinterissä on 1 tai 2 toimintoa: plusliike tai plus- ja miinusliike. Aina kun perinteistä sylinteriä liikutetaan, koko sylinterin tilavuutta käytetään liikkeen aikaansaamiseksi, vaikka kuormaa ei olisi paljoa. NorrDigi järjestelmässä käytetään monikammiosylintereitä, jolloin voidaan säätää virtausta kuormituksen vaatimusten mukaisesti. Tämä vaikuttaa suotuisasti energiatehokkuuteen. Sylintereiden voimaa ja nopeutta ohjataan sähköisesti ohjatuilla venttileillä, jotka sijaitsevat itse sylinterissä. Tällöin kaivinkoneen ohjaimet eivät suoraan ohjaa hydraulisia venttiileitä, vaan kuljettaja ainoastaan kertoo toiveensa järjestelmälle, joka toteuttaa liikkeet ohjaamalla digitaalisesti jokaista sylinteriä. Hydrauliöljy kulkee suoraan jokaiseen hydraulisylinterissä olevaan venttiiliyksikköön, ilman kiertämistä ohjaamon kautta, kuten perinteisessä ohjausmallissa (Kuva 1). Tarvittava voima säädetään käyttämällä sylinterissä useampaa kammiota tarpeen mukaan. Kaiken tämän ohjauksen hoitaa tietokone. Kuljettajalle NorrDigi-järjestelmällä varustettu kaivinkone käyttäytyy ja tuntuu kuten hydraulisella esiohjauksella varustettu perinteinen kaivinkone. (Norrhydro 2021c)





Kuva 1. NorrDigi paineakut ja päälinjat (Norrhydro 2021c)

NorrDigijärjestelmään kuuluu myös hydraulipaineakkuja. Näiden tarkoituksena on varastoida hydraulipumpun tuottamaa energiaa. Näitä myös hyödynnetään energian talteenotossa, joka on täysin uusi innovatiivinen ominaisuus kaivinkoneessa. Tässä ideana on, että taakkaa laskettaessa ohjataan vapautuva paine paineakkuun, eikä perinteisesti hydraulioiljysäilöön. Käytännössä massan laskeessa vapautuvaa potentiaalienergiaa otetaan talteen paineakkuun. Tällä teknologialla saavutetaan huomattavat polttoainesäästöt. Norrhydron ilmoituksen mukaan säästö liikkuu luokassa 45–60 %, mikä on huomattava parannus energiatehokkuuteen. Lisäksi moottorin kokoa voidaan pienentää ja se voi käydä paremmin optimialueensa kierroksilla. Moottorin pienentyessä myös meluhaitat pienenevät. Paineakkujen ollessa vajaatäyttöisiä menee ylimääräinen virtaus moottorin pyörittämän hydraulipumpun tuotosta paineakkuun myöhempää käyttöä varten. Tarvittaessa paljon virtausta hyödynnetään paineakkuihin varastoitunutta energiaa normaalin hydraulipumpun tuottaman virtauksen lisäksi. Kaivinkoneen hydrauliiikan tarve on hyvin syklistä, jolloin paineakku soveltuu hyvin tähän käyttöön. Järjestelmä on myös yksinkertaisempi hydrauliiikan osalta. (Norrhydro 2021c)

### 2.3 MotioMax

MotioMax on Norrhydron kehittämä sähkömekaaninen, sekä öljytön liikejärjestelmä. Haluttaessa työkoneen kaikki avaintoiminnot voidaan toteuttaa

sähköisesti. Tämä mahdollistaa paremman ympäristöystävällisyyden, siisteyden ja alhaisemman melutason. MotioMaxiin kuuluu sylinterit (Kuva 2), napamoottori, vaihdemoottorit sekä tarvittava ohjelmisto. Sylinterit on toteutettu kuularuuviperiaatteella. Norrhydro voi valmistaa tarvittaessa sylintereitä, joiden maksimivoima on jopa 2000 kN ja iskunpituus jopa 10 m. (Norrhydro 2021b)



Kuva 2. Sähkömekaaninen sylinteri (Norrhydro 2021b)

MotioMax napamoottorilla (Kuva 3) voidaan korvata hydrauliset napamoottorit täysin identtisellä liitännällä. Moottoreita käytetään esimerkiksi liikkuvissa henkilönostimissa, automaatiojärjestelmissä, trukeissa jne. (Norrhydro 2021b)



Kuva 3. Sähköinen napamoottori (Norrhydro 2021b)

### 3 MAALAUKSEN LYHYT HISTORIA

Maalauksen tarkoituksena on suojata tuotteen ulkopintaa korroosiolta ja antaa esteettisesti miellyttävä ulkonäkö. Erilaiset tuotteet joutuvat erilaisiin olosuhteisiin elinkaarensa aikana. Tarkoituksenmukaisella maalauksella tuotteen elinikä pitelee. Maalaus tarjoaa suojaa UV-säteilylle, kemikaaleille ja ympäristöstä johtuville rasituksille.

Perinteisesti maalaus on suoritettu sivelemällä maalattava kohde pensselillä tai muulla mekaanisella tavalla. Teollisuuden kehittyessä ovat myös maalausprosessit kehittyneet. Maaliruiskut korvasivat pensselit ja telat. Maaliruiskua käytettäessä maalaustyö nopeutui 2–6 kertaiseksi, verrattuna pensselillä maalaamiseen. Maaliruiskulla maalaava ihminen korvattiin myöhemmin automaattisilla roboteilla. Ihmisille jäi enemmän robotin huoltaminen, maalien vaihtaminen ja lisääminen sekä laaduntarkkailu. (Tikkurila 2022)

Myös maalit ovat kehittyneet aikojen saatossa. 1800-luvulla käytössä olivat kalkki-, liima- ja pellavaöljymaalit. Teollisessa maalauksessa ensimmäisen maailmansodan aikoihin yleistyivät nitroselluloosamaalit. Aiemmin esimerkiksi auton maalaukseen kuivumisaikoinen saattoi kulua 3 viikkoa. Nitroselluloosamaalit lyhensivät tämän ajan kolmeen päivään. Vielä nykyäänkin nitroselluloosamaaleja käytetään, mutta enimmäkseen kalustemaalaukseen. (Tikkurila 2022)

Alkydimaalit yleistyivät 1930-luvulla, ja ne syrjäyttivät nitroselluloosan metallien maalauksessa. Alkydimaalit kestivät paremmin ympäristön olosuhteita, koska si-deaineena käytettävä polyesteri on paljon lujempaa verrattuna nitroselluloosaan. Alkydimaali luo joustavan pinnoitteen, joka kovettuu ollessaan kosketuksissa hapen kanssa. (Teknos 2022).

Toisen maailmansodan aikaan parempaa säänkestävyyttä varten kehitettiin polyuretaanimaalit. Polyuretaanimaali luo erittäin kestävä, joustava ja täysin vesitiiviin pinnoitteen. Kuivuessaan maali luo ikään kuin yhtenäisen muovipinnan suojattavan kappaleen ympärille. Pinta eristää suojattavan kohteen täydellisesti ympäristöstään. Maali toimii hyvin laajalla lämpötila-alueella. Useimmat kemikaalitkaan eivät vaikuta maalin ominaisuuksiin. Suomessa nämä maalit yleistyivät korroosionestomaalauksessa vasta 1980-luvulla. (Coatings.fi 2022)

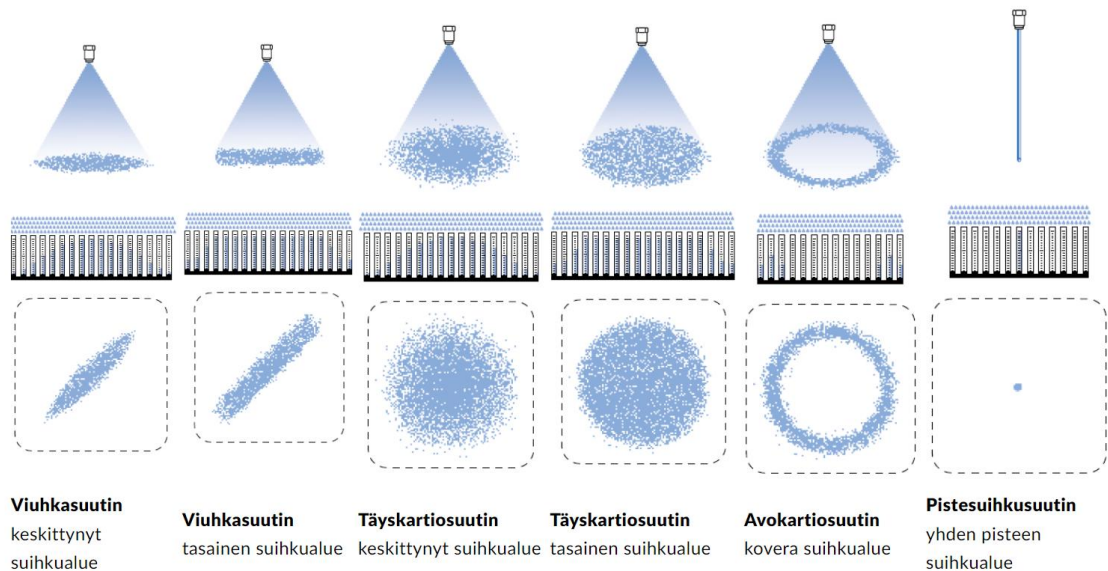
### 3.1 Jauhemaalauus

Jauhemaalauus yleistyi 1960-luvulla. Tässä maalaustekniikassa maali on jauheena, joka ruiskutetaan kappaleen pintaan. Jauhe on yleensä epoksi, polyesteri tai epoksipolyesteriseos. Kappale ja maali saatetaan vastakkaisiin sähkövarauksiin, jolloin jauhepartikkelit hakeutuvat ruiskutettaessa kappaleen pinnalle. Tämän jälkeen kappale kuumennetaan uunissa, jolloin jauhe sulaa ja luo yhtenäisen maalipinnan. Jauhemaalauksessa tarttumaton jauhe voidaan ottaa talteen ja käyttää uudelleen. Tämä tekniikka vaatii mallattavalta kappaleelta sähkönjohtavuutta. Jauhemaalaustekniikka antaa kestävä pinnan mekaanista ja kemiallista rasitusta vastaan (Teräsrakenneyhdistys 2022).

### 3.2 Maaliruiskusuuttimet

Suutin on maaliruiskuun tuleva osa, joka paineen avulla antaa maalille tarvittavan liike-energian. Suuttimen tehtävänä on muodostaa haluttu ”maalisuihkun muoto”, sekä haluttu pisarakoko.

Alla esitetystä kuvassa 4 on esiteltynä yleisimmät suuttimen muodostamat viuhkam muodot.



Kuva 4. Erilaisia viuhkam uotoja (Projekta 2021).

Suuttimen valintaan vaikuttaa muun muassa maalissa olevien partikkeleiden koko ja määrä sekä maalattavan kappaleen muoto. Norrhydrolla käytetään viuhkasuutinta, jonka avautumiskulma on 35–45 astetta. Viuhkasuuttimen suihkualue on tasainen, kuten edellisessä kuvassa oleva suutin toinen vasemmalta. Viuhkasuuttimessa, ja suuttimissa yleensä, maalausta aloitettaessa voi ilmentyä ns. pisarointia. Pisarointi tapahtuu ihan ruiskutuksen alussa, ennen kuin ilma- ja maalivirtaus saavuttaa halutun tason. Pisaroinnin välttämiseksi ruiskumaalauksessa maalin tulo alkaa ohi varsinaisen kappaleen maaliruiskun ollessa jo liikkeessä. Näin varmistetaan tasainen maalaustulos viuhkan osuessa itse maalattavaan kappaleeseen. (Opetushallitus 2022)

## 4 ROBOTTIEN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

Robotti on Standardin SFS-EN ISO 10218-1

mukaan:

- automaattisesti ohjattu
- uudelleenohjelmoitava
- monikäyttöinen käsittelylaite
- joko kiinteästi paikalleen tai liikkuvaksi asennettu

(SFS-EN ISO 10218-1:2011,12)

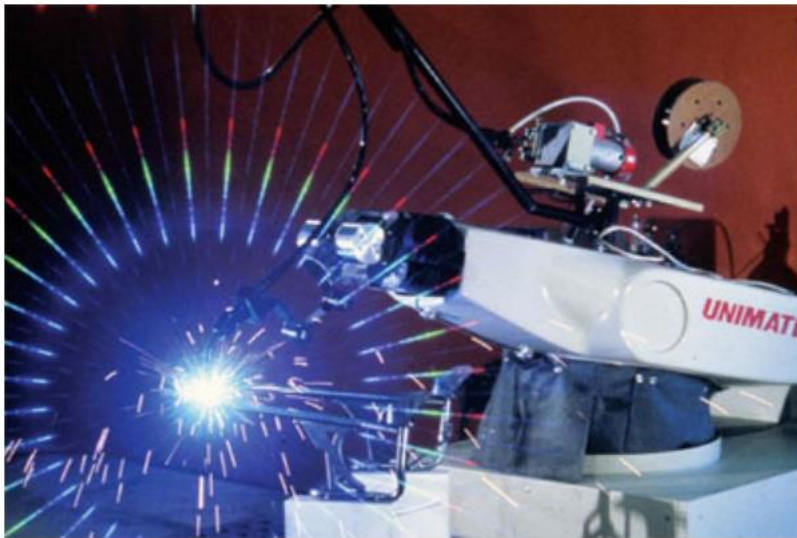
Sana robotti tulee tšekkoslovakialaisesta sanasta robota (Hilksa-keinänen, H. 2018). Suomennettuna se tarkoittaa lähinnä pakkotyötä. Robotti tarkoittaa mekaanista laitetta, joka osaa toimia fyysisessä ympäristössä manipuloiden sitä. Robotin määritelmä ei ole aivan yksiselitteinen. Onko esimerkiksi kuvassa 5 esitetty, kauko-ohjattu pomminpurkulaite robotti? Määritelmän mukaan sitä ei pitäisi kutsua robotiksi. Nykyään kuitenkin on useita laitteita, joita määritelmän mukaan ei pidetä robotteina, mutta niitä yleisesti kutsutaan roboteiksi, vaikka ne olisivat vain kauko-ohjattuja mekaanisia laitteita. Määritelmän mukaan robotiksi kutsuttavan laitteen tulee jollain tasolla vastaanottaa ohjeita ja toimia annettujen ohjeiden mukaan.



Kuva 5. Kauko-ohjattu pomminpurkulaite (Ray Allison, P. 2016)

#### 4.1 Historia

Varsinaisten teollisuusrobottien historian katsotaan alkaneen, 1956 perustetun, Unimotion yrityksen tuodessa ensimmäisen hydraulisen robotin markkinoille vuonna 1961. Robotti oli Unimate 1000, joka on esitetty kuvassa 6. Unimate 1000 oli 6 akselin ohjelmitava robotti, joka painoi noin 2 tonnia. Hyötykuorma oli niinkin suuri kuin 230 kg. (Wevolver 2020)



Kuva 6. Unimate 1000 (Automate 2022)

Robottien kehitys jatkui voimakkaana 1970-luvulla, eikä vähiten tietokoneiden kehityksen myötä. Entistä tehokkaammat tietokoneet mahdollistivat entistä monimutkaisempien robottien valmistuksen. Tästä tunnetuin esimerkki on Unimotionin kehittämä robotti PUMA. PUMA-nimi tulee sanoista Programmable Universal Manipulation Arm. Tässä Robotissa ohjelmaa pystytiin vaihtamaan nopeasti tuotantolinjan vaatimusten mukaan. Tämä on käytännössä vaatimus kaikille nykyisille teollisuusroboteille. Unimotionin lisenssillä tätä robottia valmistivat muun muassa Nokia ja Kawasaki 1980-luvulla. (Wevolver 2020)

#### 4.2 Nykyaikainen teollisuusrobotti

Nykyaikainen teollisuusrobotti on rakenteellisesti monipuoleinen sähkömekaaninen laite. Se koostuu itse manipulaattorista (robotista) ja sitä ohjaavasta elektronikasta. Yksinkertaisimmillaan robottisolun on yksi robotti, ja siihen kytketty



ohjausyksikkö. Robottisolu suorittaa sokeasti ennalta sille ohjelmoituja liikesarjoja. Robotti ei osaa havainnoida ympäristöään eikä sitä, onko sen työkalu toiminnassa tai onko sillä hyötykuormaa ottimissaan. Tästä seuraava askel on hie- man älykkäämpi robotti, joka sisältää sensoreita, joiden avulla robotti voi havainnoida toimintaansa. Robotin toimiessa se voi esimerkiksi havaita puutteellisen otteen työkappaleeseen. Tästä seuraava askel on robotin dynaaminen esiohjel- moidun ohjelman valitseminen sen havaitsemien työkappaleiden ominaisuuksien mukaan. Tämä mahdollistaa esimerkiksi maalin vaihtamisen havaitun materiaalin mukaan, tai liikesarjojen dynaamisen muutoksen kappaleen koon ja muodon mu- kaan. Älykkäimmillään robottiin liitetään konenäkö, joka reaaliajassa ohjaa ma- nipulaattoria. Tällaisissa sovelluksissa ohjausyksikkö tunnistaa työkappaleet vi- suaalisen takaisinkytkennän perusteella. Ohjausyksikössä voi olla koneoppi- mista, jolloin robotti osaa toimia jopa sellaisten kappaleiden kanssa, jota se ei ole ennen nähnyt. Nämä ovat kuitenkin vielä suhteellisen harvinaisia käytännössä. (Huttunen, J. 2004)

#### 4.3 Laajemmat kokonaisuudet

Nykyaikainen tuotantolinja koostuu yleensä erilaisista kuljettimista ja linjan var- rella olevista robottisoluista. Robottisolut toimivat synkronoidusti toistensa kanssa siten, että kun edellinen robottisolu saa oman osuutensa valmiiksi, aloit- taa seuraavaa robottisolu oman osuutensa. Kaikki tämä on ohjattu keskitetysti. Parhaita esimerkkejä useiden robottisolujen muodostamasta tuotantolinjasta lie- nee autotehtaiden kokoonpanolinjastot, josta kuvassa 7 on yksi esimerkki.



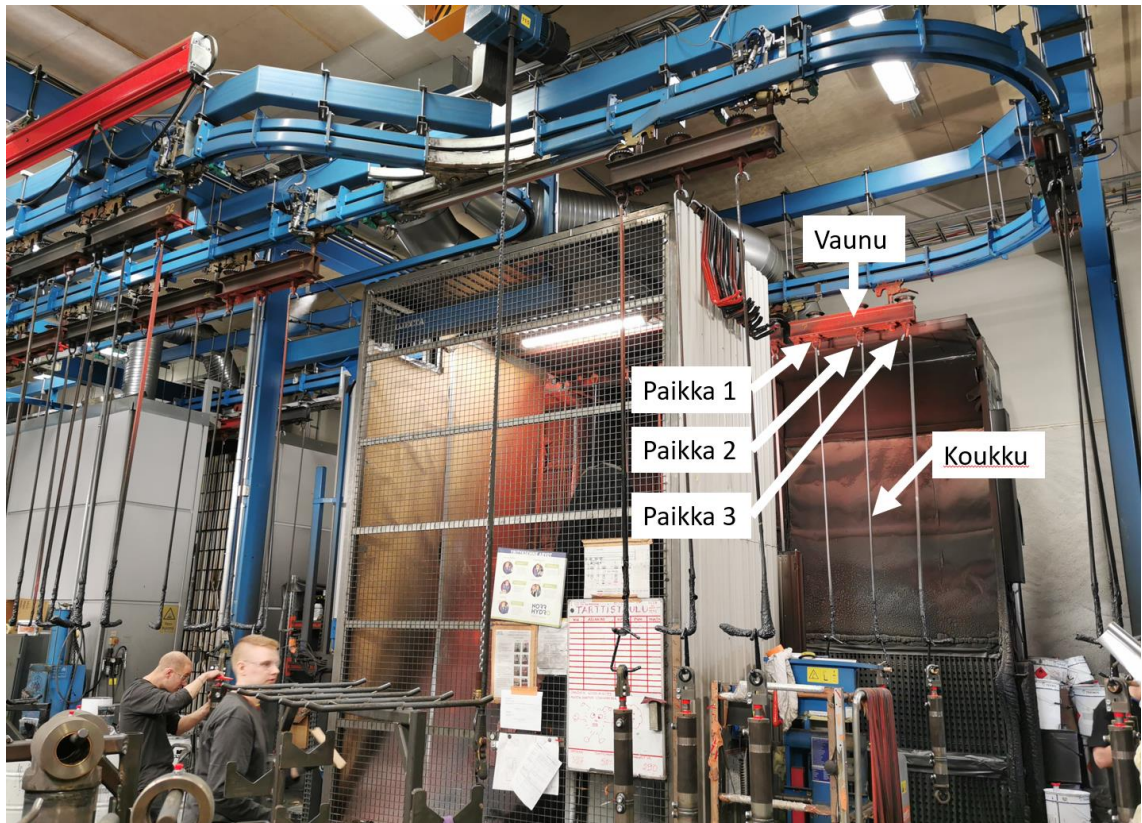
Kuva 7. Kokoonpanolinja autotehtaalla (KUKA 2022)



Kaikki nämä suunnitellaan nykyään tietokoneavusteisesti, toteuttamalla tuotantolinjasta virtuaalinen kaksonen, ennen kuin ensimmäistäkään robottia on hankittu. Virtuaalimalli toimii täsmälleen kuten oikea tuotantolinja. Virtuaalisella kaksosella voidaan havaita tuotannossa mahdollisesti olevat ongelmat, ennen varsinaisen tuotantolinjan rakentamista. Virtuaalikaksonen mahdollistaa myös joustavat muutokset tuotantolinjaan, ilman että tuotanto häiriintyy.



Kuvan vaunussa esitettynä kiinnityspaikat 1, 2 ja 3. Jokaisessa paikassa on kuvanottohetkellä ripustettuna pitkä koukku, johon on ripustettuna pienehkö hydraulisylinteri.



Kuva 9. Maalauslinjaston rata

Maalattavien sylintereiden ollessa lyhyehköjä voidaan yhteen kiinnityspisteeseen laittaa useampi sylinteri ketjuttamalla ne peräkkäin metallisilla koukuilla.

### 5.3 Tavoite

Tällä hetkellä valmistetaan satoja erilaisia hydraulisylintereitä. Tavoitteena on luoda prosessi, jossa maalausrobotille luodaan dynaaminen liikesarjatiedosto jokaisen kappaleen tuotetietojen perusteella aina ennen maalausta. Nykyisestä osittaisesta käsin maalauksesta ja liikesarjatiedostojen käsin editoinnista pyritään pääsemään eroon. Täysin automaattisella liikesarjatiedostojen luonnilla varmistetaan tuotteiden tasalaatuisuudesta. Lisäksi käsityön määrä vähenee ja työntekijät voivat keskittyä enemmän laadun varmistukseen. Vaikka automatisointi vieään pitkälle, on edelleen muutamia malleja, joissa joudutaan turvautumaan käsin suoritettavaan ”esimaalaukseen”. Robotin avulla voitaisiin periaatteessa

tehdä kaikki, mutta on tilanteita, joissa robotilla tehtävä maalaus voi aiheuttaa virheellisen lopputuloksen. Jotta varmistettaisiin mahdollisimman vähäinen uudelleen maalaus, on nämä tietyt tilanteet varmintä edelleen hoitaa käsityönä. Alla olevassa kuvassa 10 on esimerkki ongelmallisesta kohdasta, jota robotti ei voi hoitaa aina täydellisesti. Vaikka robotti pystyy kohdan maalaamaan, maali on aina erilaista, jolloin välillä maalaus onnistuu, ja välillä tulee virheellinen lopputulos muun muassa maalin valumina.



Kuva 10. Vaikea maalauskohta

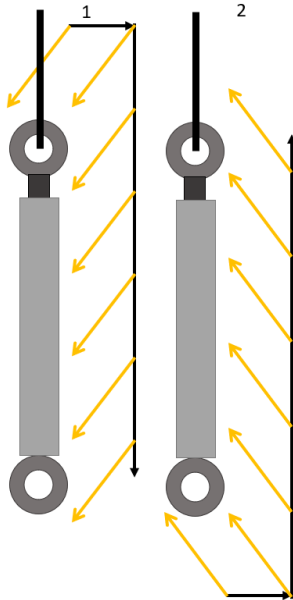
Tällaisten sylintereiden vaikeapääsyiset pinnat maaltaan ensin käsityönä. Tämän jälkeen robotti suorittaa varsinaisen maalauksen.

Seuraavassa kuvassa 11 voi nähdä yhden pienehkön sylinterin, joka on valmiina maalaukseen. Kuvassa näkyy, että sylinteri on ripustettu kahdella koukulla. Laakeripesän viimeistelyn helpottamiseksi se on suojattu pahvilla maalauksen ajaksi. Kuvan kaltaisen sylinterin maalaaminen onnistuu robotilla kokonaan. Kuvan kaltaisessa sylinterissä ei ole ongelmallisia "piiloon" jääviä pintoja, jotka eivät tulisi maalattua robotilla. Tällaisen sylinterin maalaamiseen tulisi ainoastaan lukea viivakoodiskannerilla ripustuskoukku ja sylinterin malli, jolloin robotti saa tarvittavat tiedot maalauksen vaatiman liikesarjatieoston luomiseen.



Kuva 11. Sylinteri valmiina maalaukseen

Kappaleen maalaus suoritetaan järjestyksessä: pääty, ylhäältä alas, alapääty ja alhaalta ylös, siten että maaliviuhka on 45 asteen kulmassa liikesuuntaansa nähden. Yksinkertaistettu havainnekuva maalauksoperaatiosta on esitetty seuraavassa kuvassa 12.



Kuva 12. Havainnekuva maaliruiskun liikkeestä

Aina näiden kahden liikkeen jälkeen, katossa oleva vaunu kääntää sylinteriä 90 astetta, jonka jälkeen robotti toistaa liikkeen, kunnes koko sylinteri on maalattu kokonaisuudessaan. Maaliruiskun etäisyys kappaleesta on noin 40 cm, jota voidaan säätää maalauksen aikana ohjauspaneelista.

## 6 KÄYTETTÄVÄT LAITTEISTOT JA OHJELMISTOT

Projektiin kuuluu luonnollisesti itse robotit, mutta ilman tarvittavia ohjelmistoja ovat robotit hyödyttömiä. Robotin toimittaja ABB on luonut RobotStudio-nimisen graafisen ohjelmiston tätä tarkoitusta varten.

### 6.1 RobotStudio

Perusmallinnus ja simulointi tehdään ABB:n RobotStudio 2021.3 (64-bit) versiolla 21.3.9648.0. RobotStudio on ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa robottiasemia erilaisiin tarkoituksiin. Tuotekatalogissa on mahdollista valita valmis robotti, luoda tai tuoda sille työkappaleita. Ohjelmistolla voidaan myös suunnitella tarkoin liikkeit, jotka vastaavat täysin oikean robotin liikkeitä toleransseineen. RobotStudio avulla voidaan myös varmistaa robotin ulottuvuus sekä tarvittavat turvaetäisyydet ennen varsinaista asentamista. RobotStudio on maksullinen, ja lisenssi maksaa noin 1000 €/vuosi (ABB 2020).

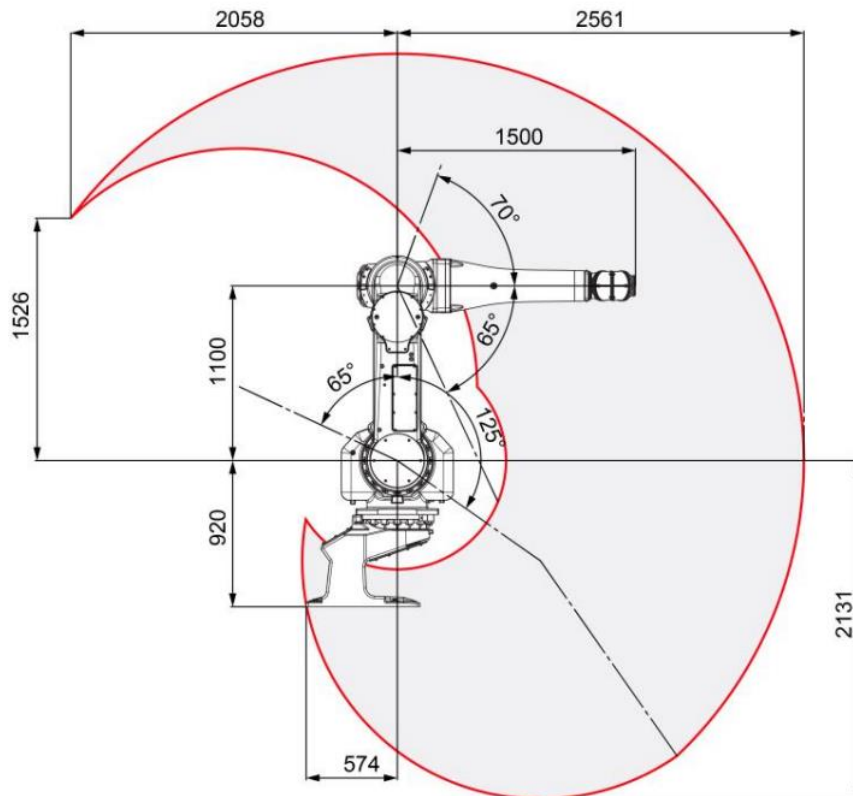
### 6.2 ABB Robotti malli IRB 5510

Robotti kuuluu ABB:n malliston keskikokoisiin maalausrobotteihin. Robotti asennetaan jalustalle irti lattiasta, jolloin sen ulottuvuus riittää noin 4 metrin korkuisen kappaleen maalaamiseen. Robotin tärkeimmät tekniset tiedot on listattuna taulukkoon 1 (ABB 2020).

Taulukko 1 Tekniset tiedot (ABB 2020)

Hyötykuorma (kg)	13
Suojausluokka	IP67 (ranne IP54)
Robotin pohjapinta-ala (mm)	581 x 717,5
Robotin ohjausyksikkö (mm)	1450 x 725 x 710
Robotin massa (kg)	587
Robot ohjausyksikön massa (kg)	180
Liikkeen toistettavuus (mm) 0,15	0,15

Kuvassa 13 on esitetty ulottuvuuskaartta, josta nähdään robotin yltävän 2,1 metriä ensimmäisen nivelen ylä- ja alapuolelle. Tämä on robotin maksimiulottuvuus. Robotin rannenivelen jatkoksi tulee vielä 50 cm varsi, johon varsinainen maaliruisku kiinnitetään. Käytännössä robotti yltää maalaamaan koko 4 metrin työskentelykorkeuden. Kuvassa 13 on esitettyä robotin ulottuvuuskaartta sivulta nähtynä. Norrhydrolla maalattavat sylinterit tulevat kuvassa robotin oikealle puolelle.



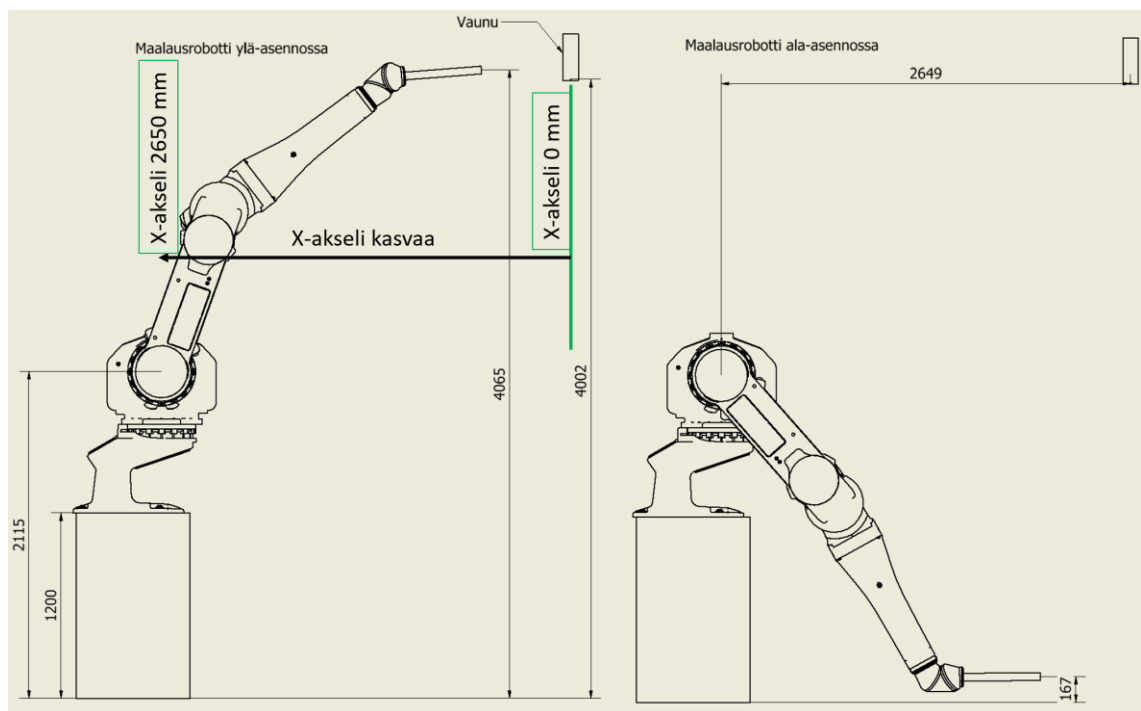
Kuva 13. Robotin ulottuvuuskaartta (ABB 2020)

## 7 ROBOTIN LIIKESARJAT

Robotti laitteena toistaa sille etukäteen ohjelmoituja liikkeitä väsymättä ja virheettömästi. Nykyaikaiset robotit voivat myös luoda liikesarjoja itsenäisesti tilanteen mukaan. Norrhydron tapauksessa, liikesarjat ovat identtisiä muuten, mutta liikkeiden laajuudet muuttuvat maalattavan kappaleen mukaan.

### 7.1 Robotin sijoittaminen

Kuvassa 14 on esitettyä robotin ylä- ja ala-asennot mittoineen. Tässä yhteydessä robotti on sijoitettu kuljetusvaunusta 2,65 metrin etäisyydelle x-akselilla, ja 1,2 metrin korkeudelle Y-akselilla lattiapinnasta. Vaunun keskilinjaa tulee käyttää x-akselin "0-linjana", jolloin siitä robottiin päin lukemat kasvavat (Kuvassa 14 merkitty vihreällä). X-akselin ollessa edelle mainitussa kohdassa myöhemmin esitetyt laskentakaavat antavat suoraan robotille tarvittavat maalauspaan koordinaatit. Havainnekuvassa on 50 cm:n jatko-osa, jonka päässä on varsinainen maalaus-suutin, joka on 45 asteen kulmassa jatkon linjasta. Tällä sijoittelulla saadaan tarvittava 4 metrin korkeus maalattua.



Kuva 14. Robotin "ääriasennot"



## 7.2 Liikesarja

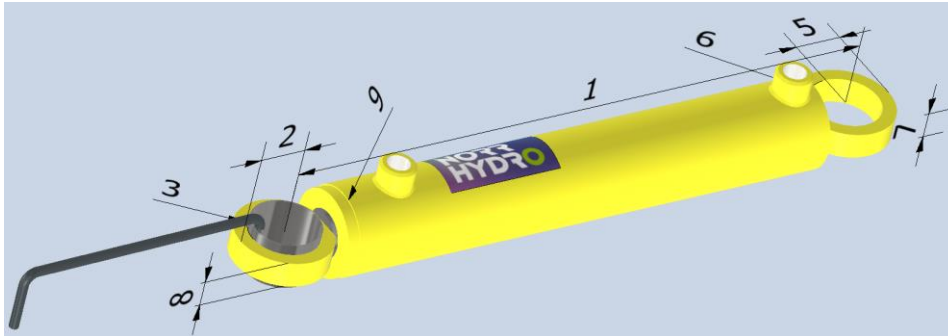
Liikesarja on yksinkertaisesti tiedosto, jossa robotille kerrotaan maalaukseen halutut sijainnit, maaliruiskun tila, liikkeiden nopeus ja maaliruiskun suunta. Tässä työssä lasketut koordinaatit tarkoittavat maaliruiskun kärjen paikkaa 3D-avaruudessa.

Liikesarja perustuu maalattavan kappaleen mittoihin. Norrhydrolla on vuosien varrella tuotantojärjestelmien kehittyessä mittojen esitys tietorakenteessa muuttunut, ja tämän vuoksi ei voida helposti kytkeä maalausautomaatiota olemassa olevaan tietojärjestelmään. Tarvitaan tietyt avainmitat jokaisesta tuotteesta, jotta maalausautomaatio voidaan helposti toteuttaa. Avainmitat ovat sellaisia mittoja, jotka löytyvät jokaisesta Norrhydron tuotteesta, ja jotka riittävät tarvittavien liiketojen laskemiseen. Avainmitat esitelly selityksineen taulukossa 2. Näillä mitoilla voidaan laskea kaikki loput tarvittavat parametrit.

Taulukko 2 Hydraulisyylinterin avainmitat

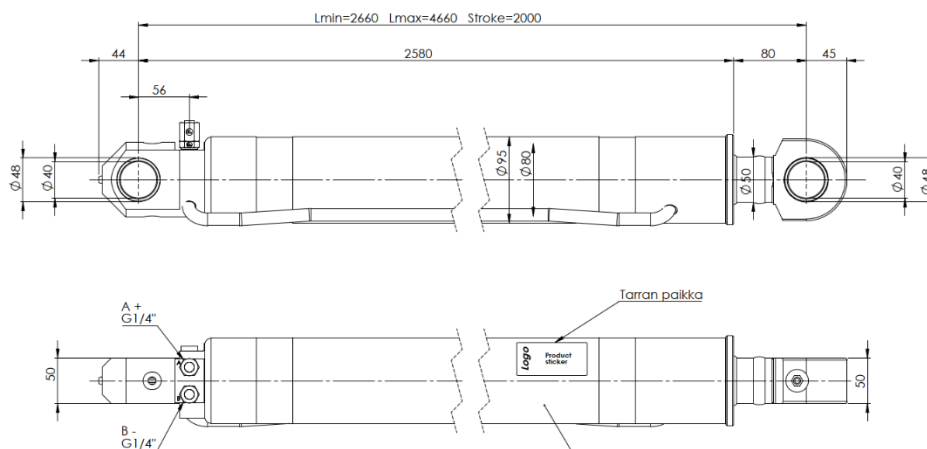
	Lyhenne	Mitta [mm]	Tarkennus
1	pituus	<b>1200</b>	Pituus Silmästä silmään
2	msilm_et_p	<b>45</b>	Männän silmän etäisyys päästä
3	msilm_h	<b>40</b>	Männän silmän halkaisija
4	msilm_et_r	<b>80</b>	<i>Männän silmän etäisyys rungosta (ei pakollinen)</i>
5	rsilm_et_p	<b>44</b>	Rungon silmän etäisyys päästä
6	rsilm_h	<b>40</b>	Rungon silmän halkaisija
7	r_korv_l	<b>50</b>	Rungon korvan leveys
8	m_korv_l	<b>50</b>	Männän korvan leveys
9	runko_h	<b>100</b>	Rungon ulkohalkaisija
10	kok_pituus	<b>1289</b>	Kokonaispituus (lasketaan automaattisesti)

Hahmottamisen helpottamiseksi kuvassa 15 avainmitat on esitetty 3D-kappaleessa, numeroituna 1–9. Periaatteessa mikä hyvänsä sylinteri voidaan lisätä avainmittataulukkoon mittaamalla kappaleesta avainmitat.



Kuva 15. Tarvittavat mitat

Edellisessä kuvassa 15 mitat ovat visualisoituna 3D-mallin hahmottamisen helpottamiseksi. Olemassa olevasta tietojärjestelmästä saadaan kuitenkin vain seuraavan kuvan 16 mukainen mittapiirros jokaisesta olemassa olevasta tuotteesta. Vanhemmista tuotteista ei ole olemassa yhtenäistä numeerista esitystapaa. Kuvassa on täsmälleen samat mitat kuin edellisessä kuvassa 15, vain esitystapa on erilainen.



Kuva 16. Esimerkki tuotantojärjestelmästä otetusta sylinteristä.

### 7.3 Aputaulukko

Kaikkien linjastolle tulevien tuotteiden mitat syötetään taulukkoon, josta mitat voidaan käydä poimimassa tuotenumeron perusteella ja luoda robotille liikesarja. Alla olevassa taulukossa 3 on kaikki avainmitat syötettynä taulukkoon. Jokaiselle maalattavalle tuotteelle tulee oma rivi. Näiden tietojen avulla voidaan laskea robotille tarvittavat liikkeet maalauksen suorittamiseksi.

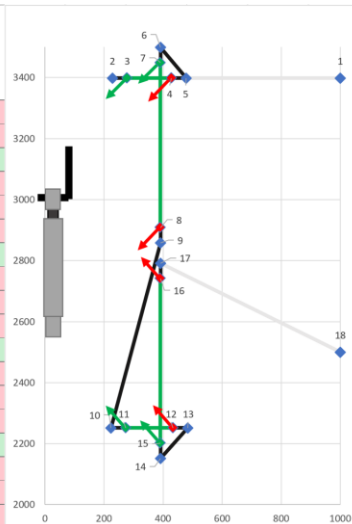
Taulukko 3 Aputaulukko, jossa sylintereiden avainmitat

	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10
Tuotenumero	pi-tuus	msilm_et_p	msilm_h	msilm_et_r	rsilm_et_p	rsilm_h	r_korv_l	m_korv_l	runko_h	etäisyys mm	nop mm/s	kok_pi-tuus
NH123456	1200	45	40	80	44	50	50	50	100	500	400	1289
NH123457	1000	45	40	90	50	50	50	50	100	500	300	1095
NH123458	2000	80	65	80	80	80	80	80	100	400	400	2160
												0
												0
												0

Erään mallisylinterin laskennan koordinaatit sekä maalausliikkeiden graafinen esitys on esitettyinä taulukossa 4. Taulukossa olevat koordinaatit on laskettu sylinterin avainmitoista.

Taulukko 4 Esimerkkisylinterin liikesarja koordinaatistossa

Kuvaus	Koordinaatin järjestys numero	X koord	Z koord	Y koord	Maalauspään kulma [astetta]	nopeus [mm/s]	Maali
Siirto aloituskorkeuteen	1	1000	3399	-360	-135	300	off
aloituspiste	2	229	3399	-360	-135	300	on
yläpäädyn maalaus on	3	279	3399	-360	-135	300	on
Yläpäädyn maalaus off	4	429	3399	-360	-135	300	off
Yläpäädyn offset maalauksen jälkeen	5	479	3399	-360	-135	300	off
Siirto vertikaalisen alas maalauksen alkuun	6	391	3499	-360	-135	300	off
Vertikaalinen maalaus alas alku offset	7	391	3449	-360	-135	300	on
Vertikaalinen maalaus alas loppu	8	391	2909	-360	-135	300	off
Vertikaali offset alas maalauksen jälkeen	9	391	2859	-360	-135	300	off
Alapää aloituspiste	10	224	2251	-360	-45	300	off
Alapään maalaus on	11	274	2251	-360	-45	300	on
Alapään maalaus off	12	434	2251	-360	-45	300	off
Alapään offset maalauksen jälkeen	13	484	2251	-360	-45	300	off
Siirto vertikaalisen ylös maalauksen alkuun	14	391	2151	-360	-45	300	off
Vertikaalinen maalaus ylös offset	15	391	2201	-360	-45	300	on
Vertikaalinen maalaus ylös loppu	16	391	2741	-360	-45	300	off
Vertikaalinen maalaus ylös offset	17	391	2791	-360	-45	300	off
Loppu. Siirto oletusasentoon	18	1000	2500	-360	-45	300	off



Taulukossa on numeroin esitetty maalausjärjestys, joka on yläpääty, sivu, alapääty ja sivu. Tämän jälkeen sylinteriä käännetään 90 astetta, ja liike toistetaan. Taulukossa olevat mitat ovat x-akselilla vaunusta robottiin päin, siten että vaunun keskilinja on 0-kohta ja lukema kasvaa kohti robottia. Z-koordinaatti (korkeus) on millimetreinä lattian pinnasta. Maalauspään liike aloitetaan maaliruisku pois-päältä ja puolessa välissä haluttua offsettiä (Taulukossa koordinaatti 3) vasta aloitetaan maalin ruiskutus "vauhdista". Tällä menettelyllä varmistetaan tasainen maaliviuhka sen osuessa kappaleeseen, ja vältetään mahdollisen pisaroinnin aiheuttamat virheet itse kappaleessa.

Ketjutettaessa useampia sylintereitä peräkkäin, pitää huomioida uusi kiinnityspisteen korkeus jokaiselle sylinterille, joka tallennetaan **uusi\_max\_h** muuttujaan. Tätä muuttujaa käytetään aina aloituskorkeutena seuraavan sylinterin liikerataa laskettaessa.

#### 7.4 Laskennassa käytetyt kaavat

Robotin maalaus pää liikkuu 3-ulotteisessa avaruudessa. Maaluspään tulisi olla noin 40–60 cm:n etäisyydellä maalattavasta pinnasta. Kaavoilla lasketaan liikkeen siten, että maali ruiskutetaan 45°:n kulmassa ylä- tai alaviistoon robotin liikkeen mukaisesti. Maaluspään liikkua ylöspäin on maaliruisku suunnattu 45 asteen kulmassa yläviistoon ja alaspäin liikkua 45 astetta alaviistoon. Tällä saadaan maalattua tasaiset vedot, niin päätyihin kuin kylkiinkin, ilman, että riiputuskoukut tulevat olemaan maaluspään edessä. Kaikki koordinaattipisteet perustuvat annettuihin perusmittoihin, jotka on esitetty taulukossa 3.

Alla on esitetty eräitä laskennassa käytettyjä kaavoja taulukossa 4 esitetyn koordinaatin järjestysnumeron mukaan.

1. Siirto aloituskorkeuteen. Tässä siirretään maaluspää suoraan ylöspäin aloituskorkeuteen pysäköintiasennosta. Korkeus on männän laakeripesän ulkopinnan yläpuolella 45 asteen kulmassa, siten että vektori maaliruiskun kärjestä yläpintaan on haluttu etäisyysarvo. Vain Z-arvo muuttuu. X ja Y säilyvät oletusarvoissaan

$$Max\_h - koukku + (msilm\_et - msilm\_h/2) + (SQRT(2) * (et/2)) \quad (1)$$

missä

Max\_h on vaunun ripustuskoukkujen korkeus lattiasta [mm]

koukku on ripustuskoukun sisämitta [mm]

msilm\_et on männän laakeripesän keskikohdan etäisyys päädyistä [mm]

msilm\_h on männän laakeripesän sisähalkaisija [mm]

et on maaluspään etäisyys kappaleen pinnasta [mm]

2. Aloituspiste. Siirto männän laakeripesän keskikohdan yläpuolelle 45 asteen kulmaan sylinteristä robottiin päin. Vain X-arvo muuttuu, Z ja Y säilyvät muuttumattomina.

$$(\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)) - \text{offset} - m\_korv\_l/2 \quad (2)$$

missä

et on maalauspuun etäisyys kappaleen pinnasta [mm]

offset on haluttu etäisyys laakeripesän "takapuolelle" [mm]

m\_korv\_l on männän laakeripesän leveys [mm]

3. Yläpäädyn maalaus päälle. Piste jossa maaliruisku käynnistetään robotin liikkussa. Vain X-arvo muuttuu, Z ja Y säilyvät muuttumattomina.

$$(\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)) - \text{offset}/2 - m\_korv\_l/2 \quad (3)$$

missä

et on maalauspuun etäisyys kappaleen pinnasta [mm]

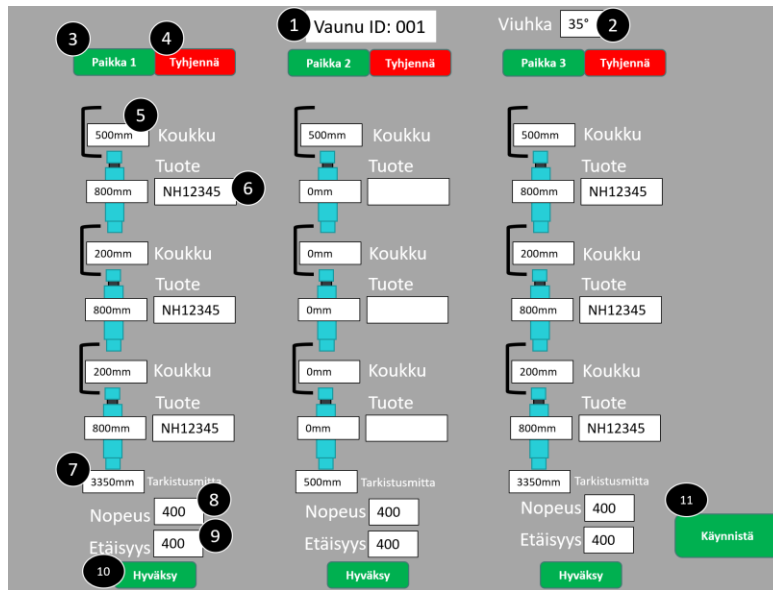
offset on haluttu etäisyys laakeripesän "takapuolelle" [mm]

m\_korv\_l on männän laakeripesän leveys [mm]

Kaikki laskentakaavat ovat liitteessä 1

## 7.5 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä on ajateltu mahdollisimman helppokäyttöiseksi. Aina uuden tuotteen tullessa lisätään sen avainmitat aputaulukkaan (Taulukko 2). Tämän jälkeen riittää, että tuotenumero valitaan käyttöliittymässä, jolloin robotin ohjelmisto osaa laskea tarvittavan liikeradan maalauspuulle. Kuvassa 17 on esitettynä käyttöliittymän päänäkökulma. Käyttöliittymän kenttiin voidaan syöttää tiedot käyttämällä viivakoodinlukijaa tai vain kirjoittamalla kenttiin halutut arvot.

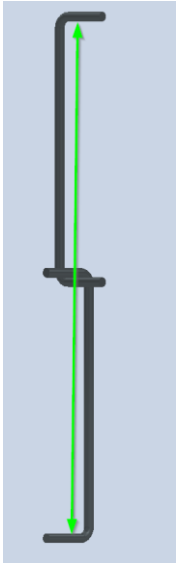


Kuva 17. Käyttöliittymän päänäkymä

Käyttöliittymässä on ajateltu, että jokaisessa ripustuskohtassa on maksimissaan 3-hydraulisyylinteriä. Käytännössä kiinnityspisteessä on aina ensimmäisenä koukku, ja siinä ensimmäinen hydraulisyylinteri. Tämän jälkeen voi olla lisäkoukku, ja siinä seuraava sylinteri jne.

Käyttöliittymän pääkohdat ovat selitettynä alla.

1. Vaunu ID, on kattokiskossa kulkevan vaunun tunnisteen käyttäjä syöttää ensimmäisenä.
2. Tähän kohtaan valitaan käytetyn maaliviuhkan aukeamiskulma
3. Ensimmäiseen ripustuspaikkaan hydraulisyylinteriä laitettaessa, valitaan tästä ko. ripustuspaikka.
4. Tästä voidaan tyhjentää ko. ripustuspaikan kaikki tiedot
5. Ensimmäisenä tulee kiinnityspisteeseen koukku, jonka sisämitta laitetaan kyseiseen ruutuun. Mikäli koukkuja on useampia, laitetaan tähän ylimmän koukun yläsakaralan alareunan ja alimman koukun alasakaralan yläreunan välinen etäisyys, kuten alla olevassa havainnekuvassa 18 on esitetty.



Kuva 18. Koukkujen sisämitta esitetty kuvassa

6. Syötetään tuotenumero, jota vastaavat mitat ovat aputaulukossa. Tässä voidaan käyttää viivakoodinlukijaa, tai syöttää tuotekoodi käyttäen näppäimistöä.
7. Sylintereitä ja koukkuja lisättäessä, tämä arvo muuttuu koko ajan kertoen koko ketjun pituuden. Tätä mitta apuna käyttäen, työntekijä voi tarkistaa, että mitta täsmää ripustettujen sylinterien pituuteen. Vaihtoehtoisesti tämä voidaan myös laskea niin, että tässä näkyy etäisyys lattiatasosta.
8. Oletusarvo maalausliikkeen nopeudelle. Tätä työntekijä voi halutessaan muuttaa, riippuen olosuhteista.
9. Kyseiseen kohtaan laitetaan maaliruiskun pään etäisyys kappaleen pinnasta. Oletusarvoa voidaan tarvittaessa muuttaa.
10. Aktivoimalla kyseinen kohta, robotin ohjelmisto luo liikesarjan ko. ripustuspisteelle.
11. Aktivoidaan kun kaikki sylinterit ovat ripustettuina vaunuun, ja tiedot syötettynä, jolloin vaunu siirtyy maalausasemalle ja robotti suorittaa maalauksen.

## 8 POHDINTA

Työ kokonaisuudessaan oli sopivan haastava. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli myös tarkoituksena tehdä koodi robotille. Se ei valitettavasti lisenssi ongelmien vuoksi ollut mahdollista. Mutta tässä työssä laadittuja laskukaavoja voidaan käyttää suoraan RAPID-ohjelmointiin.

Yritykseen tutustuttaessa kävi ilmi, kuinka paljon käsityötä nykyinen maalausprosessi sisältää. Käytössä olevaa maalausrobotia hyödynnettiin vain osittain. Robotti itsessään olisi mahdollistanut huomattavasti laajemman automaatioasteen.

Työn tuloksien oikeellisuuden varmistamiseksi, käytiin maalausprosessi lopputuloksineen läpi käyttöhenkilökunnan kanssa. Tässä tapauksessa maalareiden osallistuminen suunnitteluvaiheessa oli ensiarvoisen tärkeää. Heidän antaman palautteen avulla oli helppo hahmottaa tarvittavat liikkeet robotille. Periaatteessa hyvin yksinkertainen prosessi, jos on olemassa vain yhdenlaisia kappaleita. Tässä tapauksessa kappaleita on kuitenkin satoja erilaisia, mutta samat projektissa luodut laskentakaavat toimivat kaikkiin tuotteisiin.

Kaavat tarvitsivat lähtötietoina muutamat perusmitat jokaisesta maalattavasta kappaleesta. Projektin edetessä kävi kuitenkin ilmi, ettei yhtenäistä tietomallia ole olemassa, josta voidaan poimia halutut mitat automaattisesti. Jouduttiin luomaan oma taulukko (Taulukko 2) johon tuotteiden perusmitat syötettiin tuotenumeroa vastaavalle riville. Tästä taulukosta voidaan tuotenumeron avulla hakea tarvittavat mitat, jonka perusteella robotti pystyy maalauksen suorittamaan. Aina uuden tuotteen tullessa valmistukseen, pitää tuotteen tiedot syöttää vain kerran perusmittataulukkoon.

Itse laskenta tapahtuu robotin RAPID-ohjelmointikielellä tehdyllä koodilla. Taulukko voidaan myös sisällyttää robotin koodiin, ja sieltä poimitaan aina halutun rivin tiedot. Erillistä yhteyttä erilliseen taulukkoon tai tietokantaan ei tarvita.

Käyttöliittymä suunniteltiin graafiseksi, nykyisen tekstieditoripohjaisen sijasta. Esitetty käyttöliittymä on kuvassa 16. Tämä helpottaa ja nopeuttaa olennaisesti robotin ohjelmointia tuotteen vaihtuessa maalauslinjastolla.



Seuraava luonnollinen vaihe on hyödyntää tässä projektissa luotuja laskentakaavoja, sekä tietomallia. Norrhydron tapauksessa käytetään ABB:n luomaa RAPID-ohjelmointikieltä. Itse ohjelma voi sisältää niin perusmittataulukon, kuin laskentakaavatkin.

## LÄHTEET

ABB 2020. IRB-5510 Medium-sized paint robot. Viitattu 20.2.2022.  
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A7462>

Automate 2022. Unimate, the first industrial robot. Viitattu 29.3.2022  
<https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>

Coatings.fi 2022. Polyuretaanimaali. Viitattu 2.2.2022.  
<https://www.coatings.fi/polyuretaanimaali/>

Hilksa-keinänen, H. 2018. Robotti-termi syntyi tšekkiläisten maaorjien raadannasta. Yle 7.8.2018. Viitattu 29.3.2022.  
<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/08/07/robotti-termi-syntyi-tsekkilaisten-maaorjien-raadannasta>

Huttunen, J. 2004. Robotiikan Historia. Helsingin Yliopisto 26.3.2004. Viitattu 7.4.2022  
<https://www.cs.helsinki.fi/u/kerola/tkhist/k2004/alustukset/robotiikka/roboalus.pdf>

KUKA 2022. Automation in the automotive industry. Viitattu 3.4.2022.  
<https://www.kuka.com/en-us/industries/automotive>

Norrhydro 2021a. Maailman parhaat hydraulisylinterit. Viitattu 10.3.2022  
<https://www.norrhydro.com/fi/hydraulisylinterit?hsLang=fi>

Norrhydro 2021b. MotioMax, Sähkömekaaninen liikejärjestelmä. Viitattu 11.3.2022  
<https://www.norrhydro.com/fi/motiomax?hsLang=fi>

Norrhydro 2021c. NorrDigi, Digitaalinen Hydrauliiikkajärjestelmä. Viitattu 11.3.2022  
<https://www.norrhydro.com/fi/norrdigi-digitaalinen-hydrauliratkaisu?hsLang=fi>

Norrhydro 2021d. Tietoa Yrityksestä. Viitattu 10.3.2022  
<https://www.norrhydro.com/fi/tietoa-yrityksest%C3%A4>

Opetushallitus 2022. Metallituotemaalaus Osa 4. Viitattu 7.4.2022  
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/osa4.pdf>

Projekta 2021. Suuttimet. Viitattu 3.1.2022.  
<https://www.projecta.fi/teollisuustuotteet/suuttimet/>

Ray Allison, P. 2016. What does a bomb disposal robot actually do? BBC 15.7.2016. Viitattu 2.4.2022  
<https://www.bbc.com/future/article/20160714-what-does-a-bomb-disposal-robot-actually-do>

Robotit ja Robotiikkalaitteet. sivu 12 Viitattu 30.3.2022.  
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/235190.html.stx>

SFS-EN ISO 10218-1:2011,12. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1. 30.3.2022. <https://online-sfs-fi.ez.lapinamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/9/664220.html.stx>

Teknos 2022. Pieni maalisanasto. Viitattu 3.3.2022.  
<https://www.teknos.com/fi-FI/kuluttajat-ja-ammattilaiset/maalausohjeet/pieni-maalisanasto/>

Teräsrakenneyhdistys 2022. Jauhemaalauus. Viitattu 7.4.2022  
[https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/154/ac8d2e4/try\\_jauhemaalauksen\\_perusteet.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/154/ac8d2e4/try_jauhemaalauksen_perusteet.pdf)

Tikkurila 2022. Sideaineiden ja Maalityyppien kehityksestä. Viitattu 1.1.2022.  
<https://tikkurila.fi/pro/artikkeli/sideaineiden-ja-maalityyppien-kehityksesta>

Wevolver 2020. A History of Industrial Robots. Viitattu 29.3.2022  
<https://www.wevolver.com/article/a-history-of-industrial-robots>

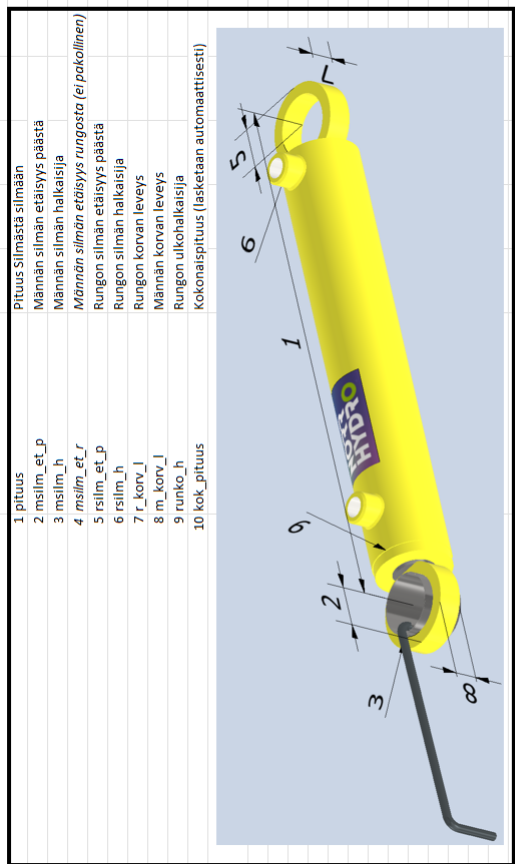
## LIITTEET

Liite 1. Liikeradan generointi 1–3

Alla olevassa taulukossa on esitetty kaavoissa käytetyt muuttujat.

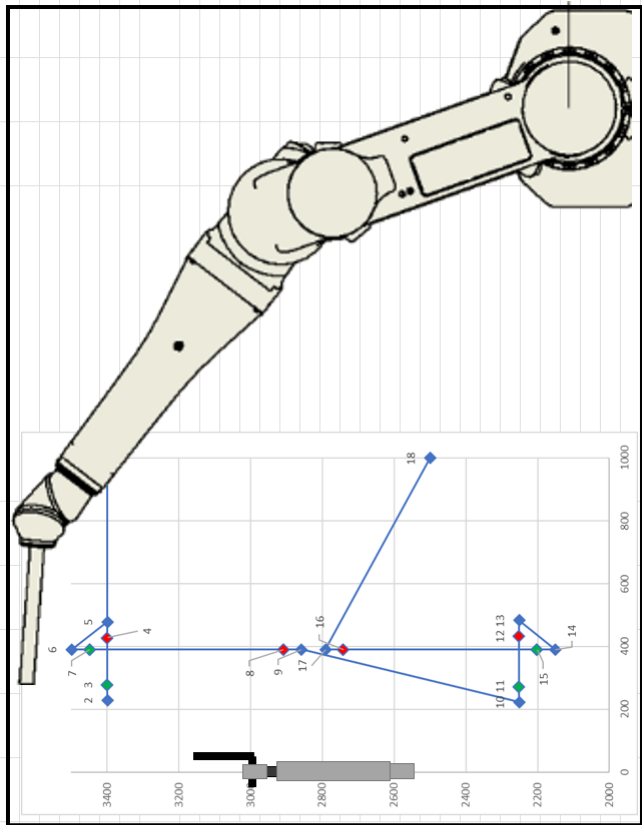
Muuttuja	Tarkennus
pituus	Pituus silmästä silmään
mslim_et_p	Männän silmän etäisyys päästä
mslim_h	Männän silmän halkaisija
mslim_et_r	Männän silmän etäisyys rungosta
rslim_et_p	Rungon silmän etäisyys päästä
rslim_h	Rungon silmän halkaisija
r_korv_l	Rungon korvan leveys
m_korv_l	Männän korvan leveys
runko_h	Rungon ulkohalkaisija
kok_pituus	Kokonaispituus lasketaan
mslim_et_prsilim_et_prituus	mslim_et_prsilim_et_prituus
koukku_pit	Koukun sisäpituus
kuuhkan kulma	Maalauspaan viuhkan leveys
et	Maalauspaan etäisyys
laskettu et	Maalauspaan laskettu etäisyys viuhkan leveyden mukaan
offset	offset
nopp	Nopeus mm/s
uusi_max_h	Laskettu uusi kiinnityspiste korkeus
Max_h	Vaunun kiinnityspisteen korkeus lattialta (esim 4000mm)
paikka	Paikka vaunussa (1, 2 tai 3)
Rotate	Sylinterin kääntökertojen määrä
Oletus X	Oletus "parkkipaikka" robotille
Oletus Y	Oletus "parkkipaikka" robotille
Oletus Z	Oletus "parkkipaikka" robotille

Alla olevassa kuvassa on selitettyä mittojen mittauskohdat



- 1 pituus
- 2 mslim\_et\_p
- 3 mslim\_h
- 4 mslim\_et\_r
- 5 rslim\_et\_p
- 6 rslim\_h
- 7 r\_korv\_l
- 8 m\_korv\_l
- 9 runko\_h
- 10 kok\_pituus

Alla olevassa kuvassa olevat numerot vastaavat laskentakaavojen järjestysnumeroita



Y-koordinaatti

Tämä riippuu suoraan ripustuskoukun sijainnista kuljetus vaunussa. Annot ovat seuraavat:  
1 = -360 mm  
2 = 0  
3 = -360 mm

Z-koordinaattien laskentakaavat

- Oletus Z
- 1  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 2  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 3  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 4  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 5  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 6  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) + \text{offset}$
  - 7  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) + \text{offset}/2$
  - 8  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus} - \text{offset}/2$
  - 9  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus} - \text{offset}$
  - 10  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus}$
  - 11  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus}$
  - 12  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus}$
  - 13  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus}$
  - 14  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus} - \text{offset}$
  - 15  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{kok\_pituus} - \text{offset}/2$
  - 16  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset}/2$
  - 17  $\text{Max\_h\_koukku} + \text{mslim\_et\_mslim\_h/2} - \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset}/2$
  - 18 Oletus Z

Y-koordinaattien laskentakaavat

- Oletus X
- 1  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} - \text{m\_korv\_l}/2$
  - 2  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} - \text{z\_m\_korv\_l}/2$
  - 3  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} + \text{z\_m\_korv\_l}/2$
  - 4  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} + \text{z\_m\_korv\_l}/2$
  - 5  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 6  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 7  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 8  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 9  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 10  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} - \text{r\_korv\_l}/2$
  - 11  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} + \text{r\_korv\_l}/2$
  - 12  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} + \text{r\_korv\_l}/2$
  - 13  $\text{SQRT}(2) * (\text{et}/2) - \text{offset} + \text{r\_korv\_l}/2$
  - 14  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 15  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 16  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 17  $\text{runko\_h}/2 + \text{SQRT}(2) * (\text{et}/2)$
  - 18 Oletus X

Liite 1 2(3)

