



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Anssi Mantila

ROBOTISOITU VIIMEISTELY JA  
JÄYSTEENPOISTO  
MOOTTORILOHKOVALMISTUKSESSA

Tekniikka  
2024

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Anssi Mantila
Opinnäytetyön nimi	Robotisoitu viimeistely ja jäysteenpoisto moottorilohkovalmistuksessa
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	63
Ohjaaja	Mika Billing

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan robotisoitua viimeistelyä ja jäysteenpoistoa osana suurten komponenttien, kuten moottorilohkojen, valmistusprosessia.

Työn tavoitteena oli kehittää ja soveltaa robottisoluun tarvittavia työkaluja sekä luoda ohjelmia ensimmäiselle tuotantoon tulevalle moottorilohkolle. Keskityimme erityisesti robottien ohjelmointiin ja työkalustukseen, jotka mahdollistavat tarkkojen ja monimutkaisten viimeistelytehtävien suorittamisen.

Tutkimuksen avulla tunnistettiin jäysteenpoiston haasteita ja kehitettiin ratkaisuja robottisolun tehokkuuden ja monipuolisuuden parantamiseksi.

Simulaatioympäristöjen avulla testattiin ja hienosäädettiin ohjelmia, mikä osoitti robotisoitujen prosessien tarjoavan merkittäviä hyötyjä valmistuksen tehokkuuteen ja tarkkuuteen. Työ tarjoaa arvokkaita oivalluksia ja suuntaviivoja robotisoitujen viimeistelyprosessien kehittämiseen.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Konetekniikka (AMK)

## ABSTRACT

Author	Anssi Mantila
Title	Robotic Finishing and Deburring in Engine Block Manufacturing
Year	2023
Language	Finnish
Pages	63
Name of Supervisor	Mika Billing

---

This thesis examines robotic finishing and deburring as part of the manufacturing process for large components, such as engine blocks. The goal was to develop and apply the necessary tools for a robotic cell and to create programs for the first engine block model entering production.

Special focus was placed on the programming of robots and tooling, enabling the execution of precise and complex finishing tasks. The study identified challenges in deburring and developed solutions to enhance the efficiency and versatility of the robotic cell. Through simulation environments, programs were tested and fine-tuned, demonstrating significant benefits of robotic processes in manufacturing efficiency and accuracy.

This thesis provides valuable insights and guidelines for the development of robotic finishing processes.

---

Keywords                      Robotics, deburring, finishing, simulation

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SANASTOA.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja taustaa .....	8
1.2 Työnrakenne .....	9
2 WÄRTSILÄ .....	10
2.1 Yhtiön Historiaa.....	10
2.2 Wärtsilä Marine .....	11
2.3 Wärtsilä Energy .....	11
2.4 Wärtsilä STH (Sustainable Technology Hub).....	13
3 TEOLLISUUSROBOTTI .....	14
3.1 Nivelvarsi- eli käsivarsirobotit.....	14
3.2 Muut yleisimmät teollisuusrobotit .....	17
3.3 Teollisuusrobottien työkalut.....	18
4 TEOLLISUUSROBOTTIEN OHJELMOINTI.....	21
4.1 Paikoituspisteet ja yleiset liikekäskyt.....	22
4.2 Robotin koordinaatistot ja offset.....	24
4.3 ABB robotstudio .....	25
4.4 Opettamalla-ohjelmointi .....	25
4.5 Offline eli etäohjelmointi .....	26
5 JÄYSTEEPOISTO .....	27
5.1 Moottorilohkossa esiintyvä jäyste .....	27
5.2 Jäysteenpoiston taso .....	28
5.3 Ongelmakohdat robotiikan näkökulmasta .....	28
6 LARGE-RFC .....	29
6.1 Layout.....	29

7	MMS (VALMISTUKSEN HALLINTAJÄRJESTELMÄ).....	32
7.1	MMS lohkovalmistuksessa.....	34
7.2	LargeRFC -osuus MMS: ssä .....	38
8	ROBOTTIEN TYÖKALUT JÄYSTEENPOISTOSSA WÄRTSILÄSSÄ .....	40
8.1.1	Sähkökara .....	40
8.1.2	Mittaus (probe) .....	41
8.1.3	Harjat.....	42
8.1.4	Hiekkapaperinpidin eli lärppä .....	43
8.1.5	Viilat .....	44
8.1.6	Kulmapäät .....	45
9	W6L32 -OHJELMAT .....	47
9.1	Simulointiympäristö.....	47
9.1.1	Robottien työskentelyalueet.....	48
9.2	Lohkon käyttäjäkoordinaatistot.....	50
9.3	Työkalukoordinaatistot.....	52
9.4	W6L32, pääohjelmaesimerkki.....	53
9.5	W6L32 – piirrekohtainen ohjelmaesimerkki.....	55
10	UUDEN TUOTTEEN KÄYTTÖÖNOTTO .....	58
11	JATKOKEHITYS.....	60
11.1	Robotilla poraaminen .....	60
12	YHTEENVETO .....	62
	LÄHTEET .....	63

## KUVA JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Sustainable Technology Hub. /8/ .....	13
<b>Kuva 2.</b> Nivelvarsirobotti. /19/.....	16
<b>Kuva 3.</b> Yleisimmät teollisuusrobotit. /9/ .....	17
<b>Kuva 4.</b> Robotin työkalut. /10/ .....	20
<b>Kuva 5.</b> ABB -robotin nivelliike käskyesimerkki. ....	23
<b>Kuva 6.</b> Zone-arvo ABB -roboteissa. /12/ .....	24
<b>Kuva 7.</b> Large-RFC -solun layout. ....	30
<b>Kuva 8.</b> ABB-6700-145-320 MH6 -robotti. /16/.....	31
<b>Kuva 9.</b> Esimerkkikuva MMS -järjestelmästä. /17/.....	32
<b>Kuva 10.</b> Moottorilohkon koneistuksen vaiheet. ....	34
<b>Kuva 11.</b> Moottorilohkovalmistuksen layout. ....	37
<b>Kuva 12.</b> MMS-tehtävä Large-RFC -robottisolussa.....	38
<b>Kuva 13.</b> Large-RFC -prosessikuvaus.....	39
<b>Kuva 14.</b> Sähkökara HSK63F -vaihtajalla.....	41
<b>Kuva 15.</b> Probe.....	42
<b>Kuva 16.</b> Harja joustoelementillä.....	43
<b>Kuva 17.</b> Hiekkapaperinpidin eli lärppä.....	44
<b>Kuva 18.</b> Aksiaalisesti joustavakoneviila.....	45
<b>Kuva 19.</b> Kulmalärppä.....	46
<b>Kuva 20.</b> ABB Robotstudio.....	48
<b>Kuva 21.</b> Aluevaraukset.....	49
<b>Kuva 22.</b> Käyttäjäkoordinaatistojen sijainti moottorilohkossa.....	51
<b>Kuva 23.</b> MMS-työkalun hallinta ja TCP.....	52
<b>Kuva 24.</b> 3-vaihe W6L32 -pääohjelma.....	54
<b>Kuva 25.</b> Kansitason vesikanavien viimeistelyohjelma.....	57
<b>Kuva 26.</b> Uuden tuotteen käyttöönotonvaiheet.....	59
<b>Kuva 27.</b> Porauskulmapää robottiin.....	61

**SANASTOA**

- STH** Sustainable Technology Hub, Wärtsilä Finlandin uusi tehdas Vaasassa
- LARGE-RFC** Suurtenkomponenttien eli moottorilohkovalmistuksen viimeistely ja jäysteenpoisto robottisolu "Roboticed Finishing Cell"
- Lärppä** Wärtsilän työntekijöiden nimitys hiekkapaperittyökälulle.

# 1 JOHDANTO

Wärtsilän Finland Oy:n Sustainable Technology Hub:iin on hankittu suurten komponenttien valmistukseen viimeistely jäysteenpoisto robottisolu, Solu toimii yhtenä osana suurempaa automaatiojärjestelmää.

Opinnäytetyön tarkoituksena on hankkia robottisoluun tarvittavat työkalut ja luoda ohjelma ensimmäiseksi tuotantoon tulevalle moottorilohkolle, joka on tyyppiltään W6L32DFC.

## 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja taustaa

Wärtsilä STH:n komponenttivalmistuksen moottorilohkojen koneistus on siirtynyt uuteen aikakauteen voimakkaan automaation ja robotiikan lisääntymisen myötä. Tämä opinnäytetyö keskittyy erityisesti robotisoidun viimeistelysolun (LargeRFC) valmiuksien kuvaamiseen ja selvittämiseen osana laajempaa automaatiojärjestelmää. Opinnäytetyö keskittyy robottien ohjelmointiin ja työkalustukseen jäysteenpoistossa ja viimeistelyssä, siihen, miten robotteja voidaan ohjelmoida suorittamaan tarkkoja ja monimutkaisia viimeistelytehtäviä. Lisäksi tarkastellaan mahdollisia kehitysaskeleita robottisolun tehokkuuden ja monipuolisuuden parantamiseksi.



## 1.2 Työn rakenne

Tämä opinnäytetyö esittelee teollisuusrobottien maailmaa, keskittyen erityisesti viimeistelyn ja jäysteenpoiston automatisointiin. Työ alkaa yleiskatsauksella, jossa määritellään tutkimuksen tavoitteet ja tausta.

Työ jakautuu muutamaaan pääosaan: Wärtsilän yleisesittely, teollisuusrobotit osiossa keskitytään ABB:n robottien eri tyyppeihin, ohjelmointiin ja työkaluihin. Jäysteenpoisto-osiossa syvennytään erityisesti robottien käyttöön moottorilohkojen viimeistelyssä ja jäysteenpoistossa, mukaan lukien prosessin haasteet ja kehitysmahdollisuudet.

Opinnäytetyön lopuksi on yhteenveto havainnoista ja jatkokehitystä.

## 2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä on kansainvälisesti aktiivinen suuryritys, joka keskittyy tuottamaan innovatiivisia teknologia- ja elinkaariratkaisuja merenkulku- ja energia-alan tarpeisiin. Yli 17 800 työntekijää palvelee asiakkaita yli 280 toimipisteessä 79 eri maassa. Yrityksen liikevaihto kipusi vuonna 2023 6,0 miljardiin euroon, ja se on listattu Nasdaq Helsingissä. /1/

### 2.1 Yhtiön Historiaa

Vuonna 1834 Wärtsilän kylään Karjalassa perustettiin alun perin saha. 1850-luvun puolivälissä Suomen senaatti kannusti yrittäjiä sijoittamaan metalliteollisuuteen, ja Nils Ludvig Arppen johdolla saha muutettiin metallipajaksi. 1920-luvun puolivälissä Wärtsilä kohtasi mittavia talousvaikeuksia, kun kysyntä romahti. Haastavina aikoina yhtiön johtoon tuli Wilhelm Wahlforss, joka muovasi Wärtsilästä monialayrityksen. Tänä aikana yhtiö laajeni laivanrakennukseen yritysostojen kautta.

Euroopassa kasvava sodan uhka toi mukanaan kotimaisten konepajojen hankintoja Wahlforssin johdolla. Nämä kaupat olivat merkittäviä Wärtsilän menestyksen kannalta, ja sodan jälkeen se nousi Suomen suurimmaksi teollisuusyritykseksi sotakorvausten maksun aiheuttaman kysynnän kasvun myötä.

Wärtsilä alkoi alun perin kokoonpanemaan lisenssillä valmistettavia laivanmootoreita tehtaillaan. Käännekohta tapahtui vuonna 1959, kun lanseerattiin ensimmäinen Vaasassa suunniteltu moottori. 1970-luvulla yhtiö panosti voimakkaasti dieselmootoriteknoologiaan, ja Vaasan moottorilaboratorion tuotekehityksen tuloksena dieselmootoreissa voitiin käyttää raskasta polttoöljyä.

Vuosituhanneen vaihteen aikoihin Wärtsilästä tuli maailman johtava merimootorien valmistaja Sulzer-kauppojen myötä. Yhtiö ohjasi kehitystä kohti kokonaisval-

taisia ratkaisuja, joissa ei valmistettu pelkästään moottoreita vaan koko energia-ketju laivoihin. Kahdessa sadassa vuodessa Wärtsilä muuttui pienestä sahasta markkinajohtajaksi, joka tarjoaa asiakkailleen innovatiivisia ratkaisuja meri- ja energiateollisuudessa. /2/

## **2.2 Wärtsilä Marine**

Wärtsilä Marine on maailmanlaajuisesti tunnettu edelläkävijä meriteollisuudessa, tarjoten asiakkailleen monipuolisen valikoiman tehokkaita, luotettavia ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja. /3/

Wärtsilä on toteuttanut tuhansia projekteja rahti-, kalastus- ja matkustaja-alusten parissa, ja merkittävä osa valtamerillä liikkuvista laivoista luottaa yhtiön teknologiaan. Kolmasosa näistä aluksista hyödyntää Wärtsilän innovatiivista osaamista. Nykyisen ympäristötietoisuuden ja kasvavan kilpailun aikakaudella asiakkaat arvostavat Wärtsilän osaamista, joka avaa uuden tehokkuuden ja kestävyuden aikakauden meriteollisuudessa.

Yhtiön suosituimpiin meriteollisuuden polttomoottoreihin kuuluvat monipolttoainemoottorit. Nämä moottorit mahdollistavat raskaan ja kevyen polttoöljyn, biodieselin sekä nesteytetyn maakaasun käytön energianlähteinä. Wärtsilän voimantähteet tarjoavat asiakkaille joustavuutta, sillä eri polttoaineiden väliset vaihdot tapahtuvat saumattomasti ilman tehokkuuden katkoksia. Yhtiön ”Dual fuel” -mallistoon kuuluvat moottorit, kuten Wärtsilä 20DF, 25DF, 31DF, 34DF, 46DF ja 46TS-DF eri sylinterimäärineen. /4/

## **2.3 Wärtsilä Energy**

Wärtsilä Energy on edelläkävijä energiateollisuudessa, tarjoten monipuolisia ratkaisuja asiakkailleen. Yhtiöllä on syvälinen asiantuntemus energian siirrosta ja eri-

laisista energiantuottosysteemeistä. Wärtsilä Energy sitoutuu tarjoamaan asiakkailleen joustavia vaihtoehtoja kohti kestäväää ja fossiilivapaata energiantuotantoa. Tuotevalikoimaan kuuluu perinteiset moottorivoimalaitokset, energian talteenottojärjestelmät, hybridivoimalaitokset sekä näihin liittyvät huoltopalvelut. /5/

Wärtsilän moottorivoimalaitokset suunnitellaan täysin asiakkaan tarpeiden mukaisesti, kattamaan voimalaitosten teholuokka yhdestä megawattista yli 500 megawattiin. Yhtiön valtteina ovat näiden voimalaitosten tarjoama luotettavuus, kustannustehokkuus ja joustavuus, erityisesti siirryttäessä uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Polttoainevalikoima kattaa synteettisen metanolin, maakaasun ja vetysekoituksen, jossa vety voi olla jopa 25 % osuudeltaan. Wärtsilä on myös omistautunut kehittämään täysin vetykäyttöisiä voimalaitoksia, jotta sataprosenttinen vety voi toimia polttoaineena. /6/

## 2.4 Wärtsilä STH (Sustainable Technology Hub)

Wärtsilä on rakentanut uuden tutkimus-, tuotekehitys- ja tuotantokeskuksen Vaasan Vaskiluotoon. Kuvassa 1. näkyvä laitos on nimeltään Sustainable Technology Hub, nimi ilmentää yhtiön sitoutumista kohti hiilivapaata merenkulku- ja energia-alaa. Tämä merkittävä tuotantolaitos on yli 200 miljoonan euron investointi, josta 83 miljoonaa euroa on suunnattu moderneihin testaus- ja tuotantoteknologioihin. Sustainable Technology Hub hyödyntää edistyneitä tuotantoteknologioita, jossa robotiikka ja modernit valmistusjärjestelmät ovat keskeisessä roolissa. /7/



Kuva 1. Sustainable Technology Hub. /8/

### 3 TEOLLISUUSROBOTTI

Teollisuusrobotit ovat monikäyttöisiä manipulaattoreita, joissa on vähintään kolme vapaasti ohjelmoitavaa vapausastetta ja työkalu. Kansainvälinen robotiikkajärjestö IFR (International Federation of Robotics) ja ISO 8373:2021 -standardi tarjoavat tiukat määritelmät teollisuusroboteille, sulkeakseen pois esimerkiksi automaattiset hyllystöhissit ja kiinteän automaation manipulaattorit robotin käsitteestä. Robotin ominaisuuksien mittaustavat on standardoitu ISO 9283:1998-standardissa, jossa erityistä huomiota kiinnitetään hyötykuormaan, toistotarkkuuteen, ulottumaan, layout-mahdollisuuksiin ja työkierron nopeuteen.

#### 3.1 Nivelvars- eli käsivarsirobotit

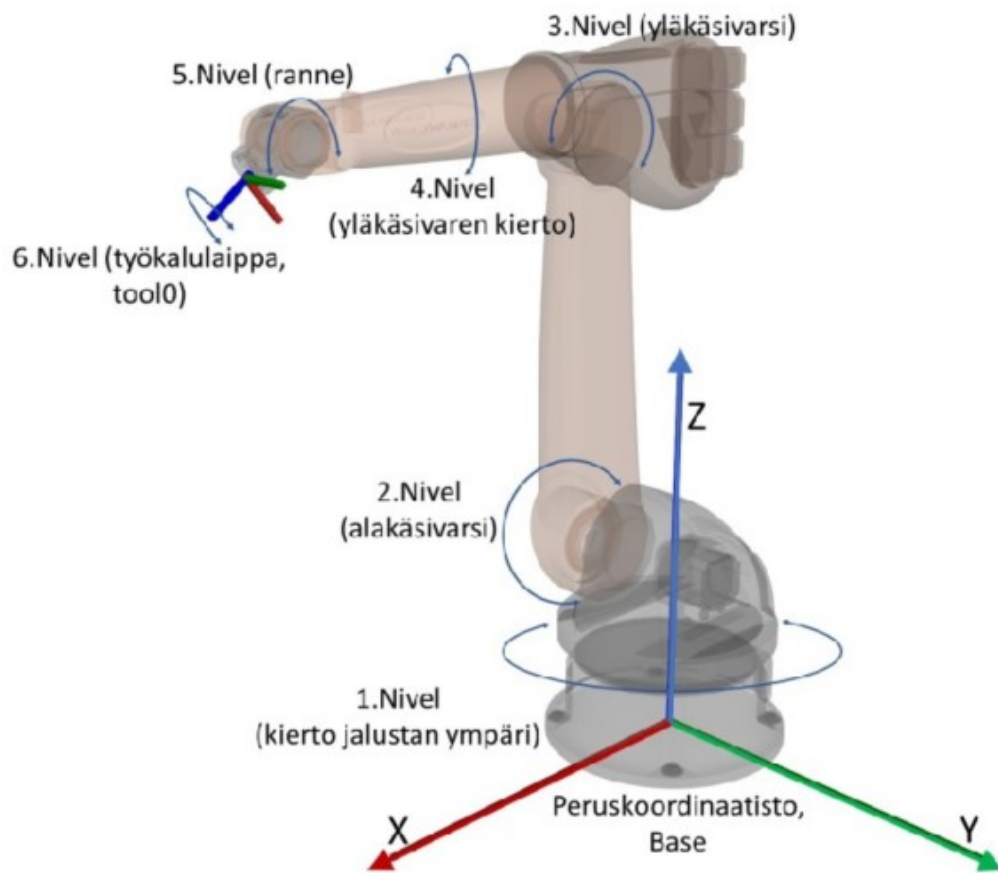
Enemmistö teollisuusroboteista, noin 90 %, on kuusi akselisia nivelvarsirobotteja, jotka ovat asennettavissa eri paikkoihin, kuten lattialle, seinälle tai kattoon. Näiden robottilaitteiden hyötykuorma vaihtelee laajasti, yleensä 0,5 kg:sta 2 000 kg asti.

Nivelvarsirobottia voidaan liikuttaa suoraviivaisesti (lineaariliike) tai kiertyen suoran ympäri (kiertoliike). Robotin tukivarsien nivelten avulla muutetaan niiden keskinäisiä asentoja, Niveliä kutsutaan myös robotin akseliksi. Nivelten määrä vaikuttaa robotin liikeratojen monipuolisuuteen ja vapausasteiden lukumäärään, joka puolestaan kertoo robotin kyvystä liikuttaa työkalualetta. Nivelvarsirobotilla voi olla eteen, taakse, ylös, alas, sivulle sekä pyörimisliikkeitä näiden suuntien ympäri. Täydet kuusi vapausastetta mahdollistavat liikkeen kaikkiin kuuteen suuntaan.

Robotin ulottuvuus (reach) ilmaisee suurimman etäisyyden, johon robotin ranteen peruspiste yltää. Ranteen peruspiste sijaitsee yläkäsivarren ja työkalulaipan välisessä nivelvarressa, ja se määrittää robotin liikkumisalueen. Robotin suurin liiketila

(maximum space) kuvaa tilaa, jossa robotti pystyy paikoittamaan työkalun mihin tahansa paikkaan ja asentoon, ottaen huomioon robotiikan työkalun mitat.

Nivelvarsiroboteissa on yleensä 4–7 niveltä, jotka mahdollistavat monimutkaisten liikeratojen suorittamisen. Liikkeitä ohjaavat vaihteistoon liitetyt servomootorit, ja jokaisessa niveltyyppisessä liikkeessä on anturointi kulman ja etäisyyden tarkkaa mittaamista varten. **(Kuva 2.)**



Kuva 2. Nivelvarsirobotti. /19/

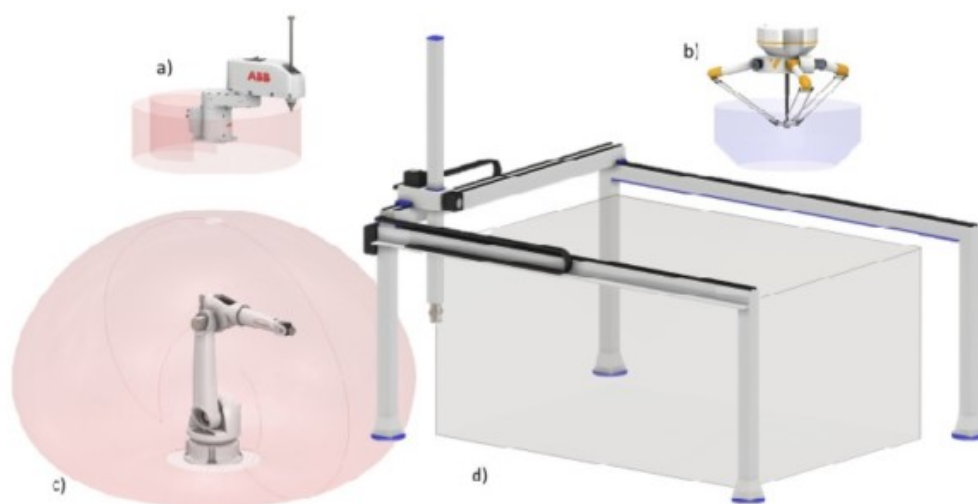


### 3.2 Muut yleisimmät teollisuusrobotit

SCARA-robotit (Selective Compliance Assembly Robot Arm) on suunniteltu erityisesti suoraviivaisiin kokoonpanotehtäviin neljän vapausasteensa ansiosta. Niiden kyky sopeutua kohteeseen tekee niistä ihanteellisia tiukkojen sovitteiden kokoonpanotehtävissä. **(Kuva 3a.)**

Kolmen vapausasteen karteesiset robotit jättävät lattiapinnan vapaaksi ja soveltuvat erityisesti varastoissa keräilytehtäviin. Nämä robotit voivat kerätä tuotteita päällekkäin, säästäten aikaa yksittäisen tuotteen poiminnassa. Karteesisia robotteja käytetään laajalti Automated Storage and Retrieval Systems (ASRS) -järjestelmissä, erityisesti vähittäiskauppojen jakeluvarastoissa. **(Kuva 3d.)**

Delta-robotit, joissa on kolme liikkuvaa varsiroboa, soveltuvat nopeisiin liikkeisiin, kuten elintarvikkeiden poimintaan hihnakuljettimilta. Näitä käytetään esimerkiksi konvehtirasioiden täyttämässä. **(Kuva 3b.)**



**Kuva 3.** Yleisimmät teollisuusrobotit. /9/

Teollisuusrobottien mekaaninen rakenne ja vapausasteet ovat keskeisiä suunnittelutekijöitä. Rinnakkaiskinemaattiset rakenteet, kuten deltarobotit, tarjoavat vahvan rakenteen työstötehtävissä, kuten hionnassa. Robottien rakenteen kehityksessä energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat keskeisiä tavoitteita. Tämä näkyy esimerkiksi liike-energian talteenoton mahdollisuuksissa ja ohjausjärjestelmien automaattisessa lepotilassa tuotantotaukojen aikana. Lisäksi kevyemmät ja jäykemmät materiaalit parantavat robottien suorituskykyä ja voivat vähentää energiankulutusta. /9/

### 3.3 Teollisuusrobottien työkalut

Robottien työkalut ovat keskeinen tekijä teollisuusrobottien monipuolisessa ja tehokkaassa hyödyntämisessä. Ne mahdollistavat robottien soveltamisen laajasti erilaisiin tehtäviin, aina yksinkertaisista siirto- ja käsittelytoiminnoista monimutkaisiin tuotantoprosesseihin. Työkalujen laaja kirjo kattaa tarttujat, prosessityökalut, erikoistyökalut, mittauslaitteet ja monet muut, jokaisella omat käyttötarkoituksensa.

Tarttujat ovat robottien yleisimmin käyttämiä työkaluja, jotka mahdollistavat kappaleiden siirtämisen ja käsittelyn. (**Kuva 4a.**) Tarttujia on monen tyyppisiä esimerkiksi jäykkäsorminentarttuja, alipainetarttuja ja magneettitarttuja. Jokaisella tarttujatyypillä on erityiset sovelluskohteensa, jotka perustuvat kappaleiden ominaisuuksiin, kuten niiden painoon, muotoon ja materiaaliin.

Prosessityökalut, kuten hitsauspistoolit (**Kuva 4b.**), maaliruiskut, hionta- ja kiillotuslaitteet sekä jäysteenpoistotyökalut, mahdollistavat robottien käytön monenlaisissa valmistusprosesseissa. Nämä työkalut laajentavat robotiikan soveltuvuutta tuotannon eri vaiheisiin, tarjoten ratkaisuja materiaalinpoistosta ja -käsittelystä lopputuotteen viimeistelyyn. (**Kuva 4c.**)

Erikoistyökaluja ovat esimerkiksi 3D-tulostuspäät, jotka osoittavat robotiikan soveltuvuuden uusiin valmistusteknologioihin, mahdollistaen monimutkaisten ja räätälöityjen kappaleiden valmistuksen. Ruuvinvääntimet ja muut kokoonpanotyökalut puolestaan tehostavat erilaisten komponenttien ja valmiiden tuotteiden kokoonpanoa.

Mittauslaitteet, kuten optiset skannerit ja kosketusmittapäät, integroituina robotteihin tarjoavat tarkkoja ratkaisuja laadunvarmistukseen, mahdollistaen työkalupaleiden tarkan mittauksen ja tarkastuksen tuotantoprosessin aikana.

Robottien työkalut eivät ainoastaan lisää automaation tehokkuutta ja joustavuutta, vaan ne myös mahdollistavat uusien, innovatiivisten tuotantomenetelmien käyttöönoton. Työkalujen suunnittelu ja valinta vaativat huolellista harkintaa, ottaen huomioon robotin kapasiteetin, työskentely ympäristön vaatimukset sekä tuotantoprosessin erityistarpeet. Jatkuvat innovaatiot työkalujen kehityksessä lisäävät robotiikan käyttömahdollisuuksia. /10/



Kuva 4. Robotin työkalut. /10/

## 4 TEOLLISUUSROBOTTIEN OHJELMOINTI

Robottien ohjelmointi edellyttää syvällistä ymmärrystä monista eri osatekijöistä, jotka liittyvät liikkeiden suunnitteluun ja turvallisuuteen. Jokaisella robottivalmistajalla on oma ohjelmointikielensä ja ABB:n roboteilla se on Rapid.

Yksi tärkeimmistä näkökohdista robotin ohjelmoinnissa on nivelkonfiguraation valinta. Ennen ohjelman suorituksen aloittamista on varmistettava, että robotti voi suorittaa työstöradan ilman akselirajoituksia ja välttää singulariteetteja. Pyrkimyksenä on myös varmistaa hyvät liikevarat akseleille molempiin suuntiin, jotta robotin liikkeet ovat sulavia ja tehokkaita. /11/

Toinen keskeinen tekijä on työkalupisteen ja käyttäjäkoordinaatistojen oikea asettaminen. Työkalupisteen tarkkuus on elintärkeää, ja lineaariliikkeissä on kiinnitettävä erityistä huomiota työkalukoordinaatiston akselisuuntiin. Kaikki nämä asetukset vaikuttavat suoraan robotin liikeratojen tarkkuuteen ja suorituskykyyn.

Muuttujien käyttö on olennainen osa tehokasta ohjelmointia. Numeeriset muuttujat voivat pitää sisällään numeerista tietoa, kun taas merkkijonot mahdollistavat teksti- ja numeroyhdistelmät. Lisäksi boolean-muuttujat toimivat loogisina muisteina, helpottaen tilan tarkistamista ja päätöksentekoa ohjelmassa.

Ehtolauseet, kuten IF-ELSEIF-ELSE -rakenteet, tarjoavat mahdollisuuden tehdä päätöksiä ohjelman suorituksen aikana. Niiden avulla voidaan luoda joustavia ohjelmia, jotka voivat sopeutua erilaisiin tilanteisiin. Toistolauseiden käyttö, kuten FOR ja WHILE, mahdollistaa ohjelman osien toistamisen, mikä on erityisen hyödyllistä monimutkaisten tehtävien suorittamisessa.

Ohjelman rakenteessa korostuu myös aliohjelmien käyttö. Pääohjelma selkeänä ja ymmärrettävänä sisältäen ohjelman suoritusta kontrolloivia ehtolauseita sekä aliohjelmakutsuja. Tämä tekee ohjelmasta helpommin ylläpidettävän ja laajennettavan.

Parametrinen ohjelmointi on tehokas tapa käsitellä samankaltaisia tuotteita, joiden koko vaihtelee. Korvaa absoluuttinen tai vakiotieto muuttuvilla ja laske oikeat arvot funktioiden avulla. Tämä tehostaa ohjelman uudelleenkäyttöä eri tuotteiden kanssa.

Oheislaitteiden ohjaukset ovat olennainen osa robotin monipuolista käyttöä. tiedonsiirtoliittyminä voi olla esimerkiksi DeviceNet, Profinet, Profibus tai Ethernet/IP, oheislaitteiden ohjaamiseen. Tämä mahdollistaa integroidun ja tehokkaan tuotannon.

Turvallisuus on ehdoton prioriteetti robotin ohjelmoinnissa. Määrittele suoja-alueet ja asennot turvallisuuden varmistamiseksi. Ohjelmoi turvallisuuteen liittyvät toimet ja ota huomioon koneturvallisuusvaatimukset, jotta ihmisten ja laitteiston turvallisuus varmistetaan.

Lopuksi robotin ohjelmoinnissa on tärkeää huomioida virheiden hallinta, käyttää robotin virheenkäsittelijöitä tai sovellusta ohjaavaa logiikkaa virheistä toipumiseen. Käytä erilaisia virheenkorjauskäskyjä tarpeen mukaan, jotta ohjelma voi joustavasti reagoida odottamattomiin tilanteisiin.

#### **4.1 Paikoituspisteet ja yleiset liikekäskyt**

Paikoituspisteiden(p) rooli robotin ohjelmassa on merkittävä, ja niiden määrittely noudattaa yleisesti ottaen samaa periaatetta erilaisista sovelluksista riippumatta, Ohjelman liikkeet seuraavat yleensä tiettyä kaavaa, joka sisältää seuraavat vaiheet: aloituspiste, lähestymispiste, kohdepiste, poistumispiste ja paluu aloituspisteeseen.

Useita peräkkäisiä kohdepisteitä voi myös esiintyä samassa sovelluksessa. Viimeisestä kohdepisteestä tehdään yleensä hallittu siirtyminen poistumispisteen kautta.

Lähestymis- ja poistumispisteet voidaan opettaa tai ohjelmoida usein offset-tyylinen suhteessa tarkkaan kohdepisteeseen

Yleisesti ottaen roboteilla on kolme perusliiketyyppiä: nivelliike (MoveJ), lineaariliike (MoveL) ja ympyränkaariliike (MoveC). Hallittuja liikkeitä näistä ovat lineaariliike ja kaariliikkeet, joissa robotin työkalupiste seuraa annettua liikerataa.

Nivelliikkeessä (MoveJ) työkalupiste liikkuu haluttuun paikkaan ja orientaatioon, samalla käsivarren akselit saavuttavat halutun nivelkonfiguraation. Kaikki akselit liikkuvat ja pysähtyvät samanaikaisesti Tätä käytetään yleisesti, kun lähestytään robotilla varsinaista työskentelyaluetta. Esimerkki nivelliikkeestä. **(Kuva 5.)**



**Kuva 5.** ABB -robotin nivelliike käskyexample.

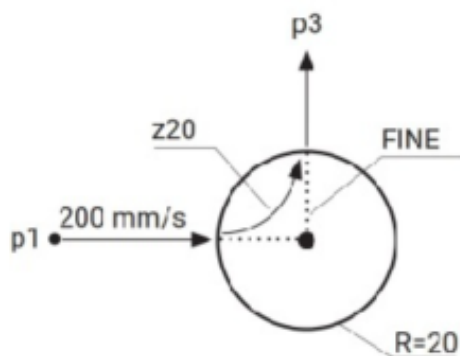
Lineaariliikkeessä (MoveL) työkalupiste liikkuu suoraan kahden pisteen välillä olevaa janaa pitkin. Käsivarren akselit tekevät enemmän töitä, jos työkalun asento muuttuu matkan varrella. Käytetään liikeradoilla hallitun nivelkonfiguraation varmistamiseksi.

Ympyränkaariliike (MoveC) robotiikassa on kolmen paikkatiedon (pisteen) muodostama ympyränkaari. Tarvitaan 2–3 liikekäskyä ja vähintään kolme paikoituspistettä kaaren tekemiseksi. Aloituspiste, kauttakulkupiste ja päätepiste.

ABB:n Roboteissa liikenopeus (v) ilmoitetaan: mm/s.

Aluetarkkuus (zone) kertoo, kuinka tarkasti robotti tulee opetettuun pisteeseen ja kuinka läheltä liikerata kulkee. Zone-arvolla rajataan alue, jonka sisällä seuraava liikerata voi alkaa. Jos Zone-arvon tilalle laitetaan Fine, varmistetaan tällä tarkka

paikka ja estetään ylimääräinen oikominen, mutta robotin liike pysähtyy pisteeseen. (Kuva 6.) /11/



Kuva 6. Zone-arvo ABB -roboteissa. /12/

#### 4.2 Robotin koordinaatit ja offset

Robotin ohjauksen ja liikeohjauksen perustana ovat koordinaatit, jotka määrittävät työkalulaipan sijainnin ja asennon suhteessa eri koordinaatistoihin. Yleisimmät koordinaatit ovat maailma-, perus-, työkalu- ja käyttäjäkoordinaatit. Näiden avulla robotti voi tarkasti liikuttaa työkalukoordinaatistoa paikoituspisteiden suhteen ja toteuttaa vaaditut liikkeet.

Maailmankoordinaatisto toimii referenssinä, kun taas peruskoordinaatisto liittyy suoraan robottiin. Työkalukoordinaatisto määrittelee työkalun paikoituspisteen, ja käyttäjäkoordinaatisto helpottaa ohjelmointia. Paikoituspisteet opetetaan yleensä suhteellisesti käyttäjäkoordinaatistoon, ja lähestymis- ja poistumispaikat voidaan opettaa offset-tyylisesti

Paikkatiedon suuntaissiirto (Offset) on yleinen toiminto, joka voidaan lisätä liikekäskeyn. Tämä toiminto mahdollistaa paikoituspisteen siirtämisen käskeyssä määritetyn määrän X-, Y- ja Z-suunnissa sekä rotaation Rx, Ry ja Rz ympäri. Se on hyö-



dyllinen erityisesti lähestymis- ja poistumispisteiden helpottamisessa kohdepisteen suhteen. Käytettävissä on vaihtoehto siirtää paikkatietoa käyttäjä- tai työkalukoordinaatiston suuntaisesti. /12/

### **4.3 ABB robotstudio**

ABB RobotStudio on ABB:n kehittämä ohjelmistotyökalu. Ohjelmalla voi simuloida robotin liikeratoja ja toimintoja virtuaalisesti, vähentäen virheiden riskiä. Offline-ohjelmointiominaisuus mahdollistaa robotin ohjelmoinnin ilman fyysistä robottia, säästäten aikaa ja mahdollistaen joustavamman työskentelyn. Robottien käyttöön-otto ja integrointi ovat sujuvia, ja ohjelma tukee ABB:n robottimalleja. Käyttäjäystävällinen käyttöliittymä tekee monimutkaisten ohjelmien tekemisestä helpompaa. /13/ Robotstudio tunnistaa sinne tuotujen kappaleiden piirteitä esimerkiksi pintoja, reikiä ja reunoja, joten pisteiden luonti siellä on tehokasta.

### **4.4 Opettamalla-ohjelmointi**

Perinteinen tapa ohjelmoida robotteja on edelleen opetusmenetelmä, jossa robotin käsivartta ja työkalua liikutetaan haluttuihin asentoihin käsiohjaimen avulla. Nämä paikoituspisteet tallennetaan sitten muistiin. Opetusta ja tietokoneella tapahtuvaa ohjelmointia käytetään yleensä yhdessä. Tyypillisesti tarvittava ohjelmakoodi kirjoitetaan tietokoneella, käyttäen joko robotin omaa tai yleistä virtuaaliohjelmistoa. /14/

#### 4.5 Offline eli etäohjelmointi

Etäohjelmointi, mahdollistaa robottien ohjelmoinnin tuotannon ollessa käynnissä tai uutta robottisovellusta suunniteltaessa. Tämä voi nopeuttaa uusien tuotantosolujen tai tuotteiden käyttöönottoa merkittävästi, jopa viikoista yhteen päivään. Etäohjelmointi tarjoaa kätevän ratkaisun tilanteisiin, joissa perinteinen ohjelmointi opettamalla on haastavaa esimerkiksi tilanpuutteen tai turvallisuusrisikien vuoksi.

Etäohjelmointi jaetaan eri kategorioihin sen käyttämän perusmenetelmän perusteella. Näitä ovat tekstitiedostopohjainen, mallipohjainen ja muototietoon perustuva etäohjelmointi. LARGE-RFC perustuu mallipohjaiseen ohjelmointiin.

Yksinkertaisimmat etäohjelmoinnin keinot ovat yleiset tekstieditorit kuten Word tai Notepad. Robotit voivat joko ymmärtää suoraa avointa tekstiä tai teksti on käännettävä robotin tai editorin ymmärtämään muotoon. Tällöin ohjelman testaus suoritetaan robotilla.

Malli- ja muototietoon perustuvat tietokonepohjaiset etäohjelmointiohjelmistot tarjoavat laajempia työkaluja kuin pelkät tekstieditorit. Niiden avulla voidaan simuloida ohjelman liikekäskyjen suoritusta sekä muita robotin ja oheislaitteiden testaukseen liittyviä asioita. /14/

## 5 JÄYSTEPOISTO

Jäysteenpoisto on kriittinen vaihe moottorien ja muiden mekaanisten komponenttien valmistuksessa, varmistamassa tuotteiden lopullista laatua ja suorituskykyä. Jäyste, on valmistusprosessissa syntyviä ohuita harjanteita tai karheita alueita, voi aiheuttaa vakavia ongelmia. Esimerkiksi irronneet metallilastut voivat päätyä moottorin sisälle, mikä voi häiritä sen toimintaa tai aiheuttaa vaurioita.

### 5.1 Moottorilohkossa esiintyvä jäyste

Moottorilohkossa esiintyvät jäysteet ovat ohuita harjanteita tai karheita alueita, jotka muodostuvat, kun leikkaava työkalu muovaa työstettävää kappaletta. Jäysteet voivat aiheutua erilaisista koneistusprosesseista ja niillä voi olla erilaisia muotoja ja ominaisuuksia.

Jäysteenpoiston prosessissa erottuu kolme keskeistä jäystetyyppiä, joilla kullakin on oma syntytapansa ja vaikutuksensa tuotteen lopulliseen laatuun. Poisson-jäyste ilmenee sivusuuntaisena jäysteenä, kun leikkuutyökalun puristuksen voima nostaa sen työkappaleen reunan yli. Tämä jäystetyyppi on tyypillisesti matala, ja sen koko vaihtelee työkalun pintapaineen ja leikkuuterän säteen mukaan. Toisaalta rollover-jäyste syntyy, kun työkalu irtautuu työkappaleesta ja jatkaa liikettään, luoden mutkan poistumissuuntaansa. Tämä jäyste kääntyy pois päin työkappaleesta. Kolmas tyyppi, sisääntulojäyste, muodostuu, kun työkalu liikkuu vastakkaiseen suuntaan sisääntulokohdassaan, jolloin jäysteen esiintyminen riippuu työkalun muodosta ja työkappaleen materiaalin ominaisuuksista.

Nämä jäystetyypit heijastavat koneistusprosessin monimutkaisuutta ja niiden tunnistaminen sekä hallinta on tärkeää tuotteen viimeistelyn ja lopullisen laadun kannalta. Kunkin jäystetyypin erityispiirteet vaikuttavat siihen, miten jäysteenpoistoa lähestytään, ja ne asettavat vaatimuksia sekä työkalujen suunnittelulle että koneistusprosessin tarkkuudelle. /15/

## **5.2 Jäysteenpoiston taso**

Jäysteenpoiston taso määritellään riittäväksi, kun moottorilohkosta ei irtoa ylimääräisiä partikkeleita kiertävän öljyn ja veden joukkoon, ja kaikki terävät särmät, jotka voisivat aiheuttaa vammoja asentajille tai huoltomiehille, on poistettu. Tämä vaatii tarkkaa suunnittelua ja prosessin hallintaa.

## **5.3 Ongelmakohdat robotiikan näkökulmasta**

Robotiikan näkökulmasta jäysteenpoisto moottorilohkoissa tuo omat haasteensa. Moottorilohkot sisältävät erittäin hankalia ja ahtaita paikkoja, joihin robotin on vaikea päästä. Lisäksi lohkon pienet valuvaihtelut voivat vaikeuttaa tehtävää. Monimutkaiset reiät ja muodot moottorilohkoissa edellyttävät robotin ohjelmoijilta huomattavaa työtä varmistaakseen, että kaikki alueet viimeistellään asianmukaisesti, jotta saavutetaan korkea laatu ja toimivuus.

## 6 LARGE-RFC

Robotisoitu suurtenkomponenttia viimeistely ja jäysteenpoistosolu.

### 6.1 Layout

Solussa (**Kuva 7.**) on käytössä kaksi ABB 6700-145-320 -mallin 6-aksilaista nivelvarsirobotia (**Kuva 8.**), **1A ja 1B**. Nämä robotit pystyvät käsittelemään 145 kg kuorman ja niiden ulottuvuus on 3,2 metriä. Robotit ovat varustettu LeanID-kaapelointijärjestelmällä ja ne ovat absoluuttikalibroituja, mikä parantaa työkalupisteen tarkkuutta ja toistotarkkuutta. **(lähde) ABB**

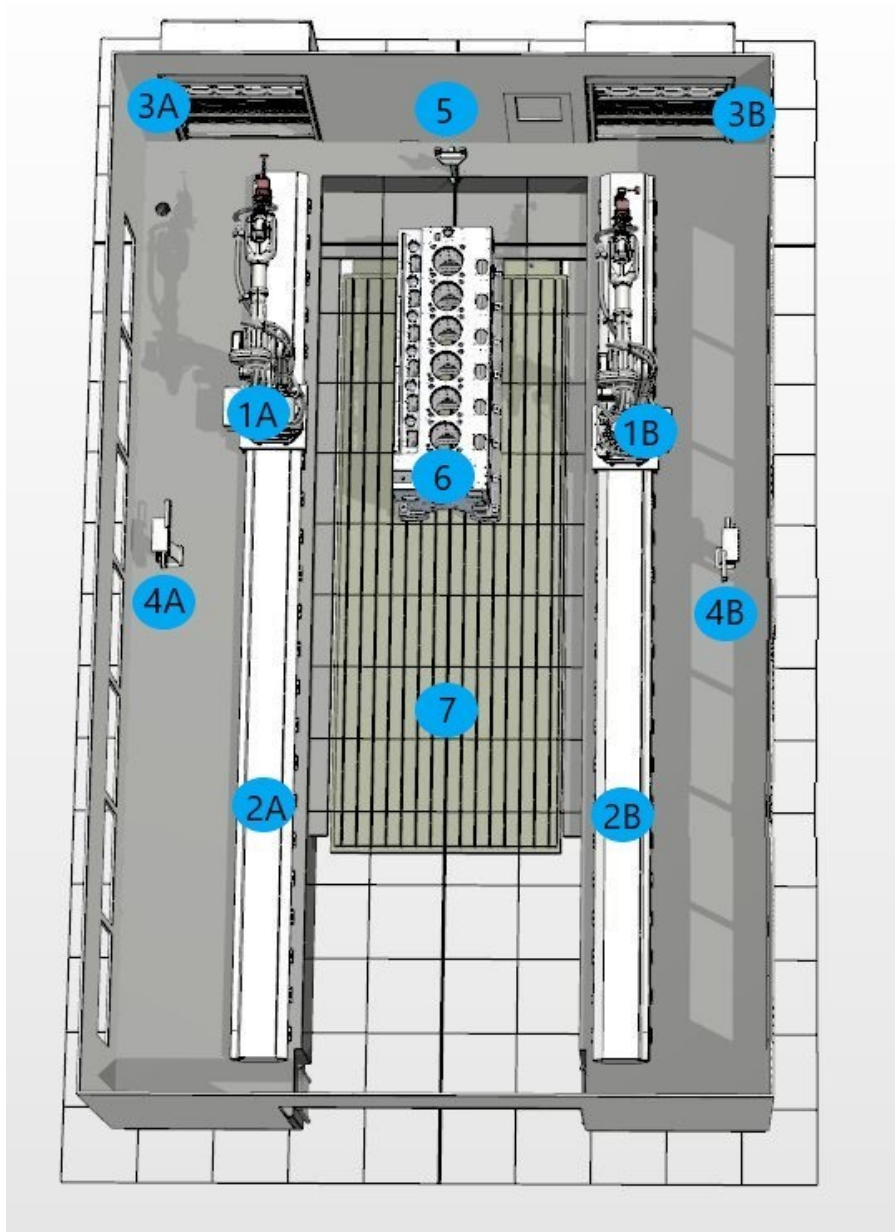
Solussa on käytössä lineaarirata **2A ja 2B**, joka toimii robotin lisäakselina mahdollistaen sen liikkumisen koko 10 metrin pituisen radan alueella. Tämä lisää merkittävästi robotin toiminta-aluetta ja tehostaa työskentelyä.

Robottien varustukseen kuuluu myös työkalun mittaus- ja rikkotarkastusasema **5**, jossa voidaan tarkastaa työkalujen kunto. Tämä mahdollistaa työkalujen kuluminen ja mahdollisten vikojen varhaisen havaitsemisen, mikä on kriittistä prosessin tehokkuuden ja laadun kannalta.

Kummallakin robotilla on oma työkalukaappi **3A ja 3B**, jonne voidaan varastoida neljä erilaista paineilma- tai sähkökaraa sekä 20 kappaletta HSK63F-työkalunpitiä.

Käytössä on hiekkapaperin syöttölaite **4A ja 4B**, joka annostelee, syöttää ja taivuttaa halutun mittaisia hiekkapapereita robottien pyynnöstä.

Viimeisteltävä kappale **6** sijaitsee vihivaunun kuljettamalla koneistuspaletilla **7**.



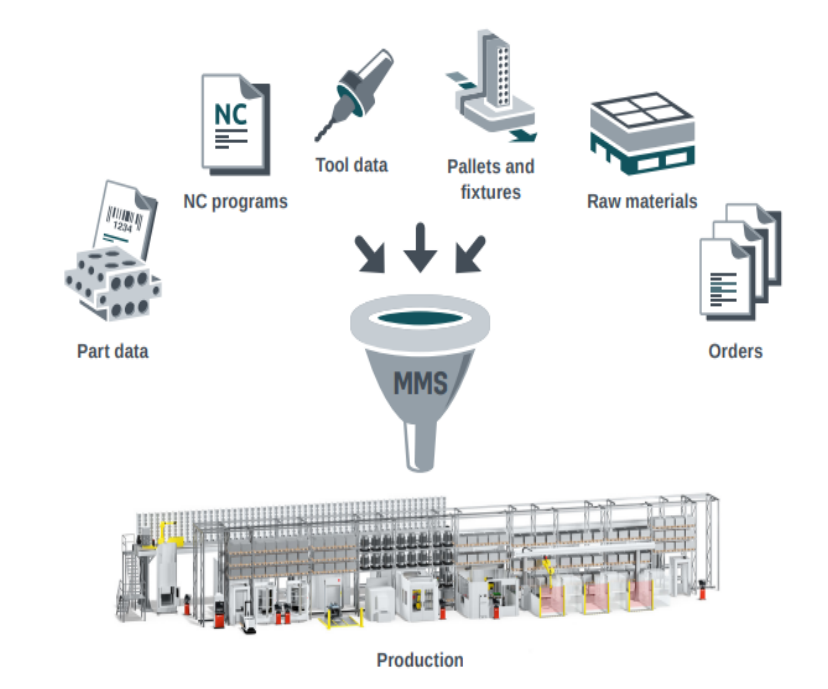
**Kuva 7.** Large-RFC -solun layout.



**Kuva 8.** ABB-6700-145-320 MH6 -robotti. /16/

## 7 MMS (VALMISTUKSEN HALLINTAJÄRJESTELMÄ)

Wärtsilän komponenttivalmistuksessa on käytössä MMS- järjestelmä, jonka keskeisenä tarkoituksena on yhdistää erilaiset järjestelmät ja laitteet. MMS toimii joustavan valmistusjärjestelmän (FMS) hallintajärjestelmänä. Järjestelmän avulla voidaan automatisoida tehtäviä, parantaa tiedonkulkua, tehostaa tuotantoa ja hallinnoida varastoa. MMS-järjestelmä koostuu useista eri laitteista, jotka toimivat yhdessä. (kuva 9.) /17/



**Kuva 9.** Esimerkkikuva MMS -järjestelmästä. /17/

Järjestelmän keskeisimmät ominaisuudet olen jakanut neljään pääkohtaan:

1. Tuotannon suunnittelu ja aikataulutus

MMS suunnittelee ja aikatauluttaa tuotannon automaattisesti asiakastilauksien perusteella, jotka syötetään manuaalisesti tai ERP-liittymän kautta. Se seuraa muutoksia reaaliajassa, ja kun jotain odottamatonta tapahtuu tai prioriteetit muuttuvat, se mukauttaa automaattisesti tuotantoaikataulua.



## 2. Resurssien tarkistus

Kaikki tarvittavat tuotantoresurssit tarkistetaan automaattisesti etukäteen: NC-ohjelmat, koneet, työkalut, materiaalit ja kiinnikkeet. Mikäli jotakin puuttuu, MMS antaa aikaisen hälytyksen varmistaakseen, että kaikki on paikallaan ennen suunniteltua tuotantoaikaa.

## 3. Tuotanto

Tuotantosuunnitelman ja resurssien tarkistuksen jälkeen MMS suorittaa kappaleen valmistuksen, jättäen vain kappaleen kiinnityksen ja purkamisesta operaattoreiden tehtäväksi. MMS: voidaan tallentaa ohjeet, kuvat, ja videot ohjaamaan työntekijöitä jokaisessa vaiheessa, missä heitä tarvitaan.

## 4. Tuotannon seuranta

MMS antaa tietoa koneiden käyttöasteesta, konekapasiteetista ja koneiden kokonaistehokkuudesta. (OEE). Se antaa myös käytännön ehdotuksia tuotantokapasiteetin tehokkaampaan hyödyntämiseen, kuten tiettyjen työkalujen lisäämiseen tai poistamiseen, käyttämättömien kiinnikkeiden poistamiseen varastotilan vapauttamiseksi tai ongelmien korjaamiseen, jotka aiheuttavat työkalujen rikkoutumisia.

/18/

## 7.1 MMS lohkovalmistuksessa

Moottorilohko valmistetaan valuaihiosta viidessä eri koneistusvaiheessa. (**Kuva 10.**) STH:n lohkovalmistuksessa ei kuitenkaan tällä hetkellä tehdä rouhivaa koneistusta, joten koneistusvaiheita on kolme. (3,4,5)



**Kuva 10.** Moottorilohkon koneistuksen vaiheet.

Moottorilohkonvalmistusta (**Kuva 11.**), ohjaa MMS-järjestelmä.

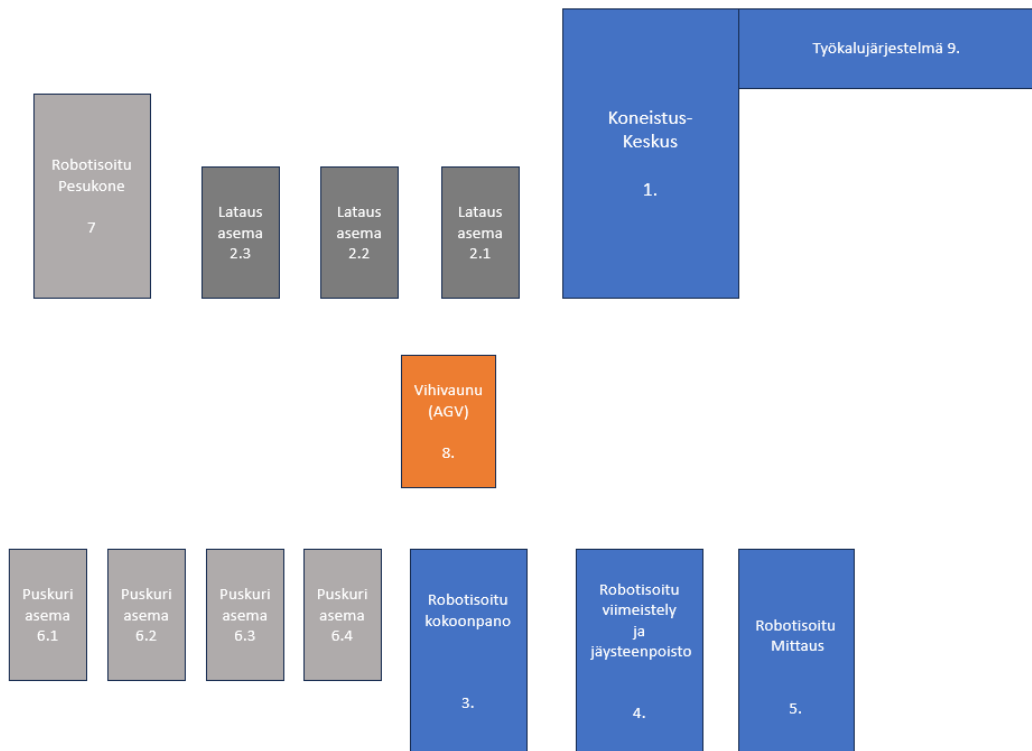
Kun järjestelmään tulee tilaus, täytyy tilauksen sisältämälle kappaleelle suunnitella reitti, jonka mukaan kappale valmistetaan. Reitin mukana kaikille laitteille siirtyvät mahdolliset koneistusohjelmat, robottiohjelmat, työkalutiedot ja ohjeet manuaaliin työvaiheisiin. Jos jokin resurssi puuttuu ei kappaleen valmistusta voida aloittaa.

Lohkovalmistuksessa on käytössä neljä koneistuspalettia, jotka sijaitsevat puskuriasemilla 6.1–6.4. Vihivaunu 8. hoitaa kaiken lohkon liikuttelun vaiheesta toiseen, paitsi pesukoneelle. Vihivaunu siis hakee koneistuspaletin puskuriasemasta 6.1–6.4 ja vie sen latausasema 2.2 tai 2.3:een. Latausasemassa koneistuspalettiin kiinnitetään työstettävä kappale. Tässä tapauksessa moottorilohko käyntiasennossa. Tämän jälkeen Vihivaunu hakee paletin ja siihen kiinnitetyn lohkon ja vie sen portaalikoneistuskeskukselle 1. koneistukseen. Samalla koneistuskeskukselle siirtyvät työstöohjelmat ja työkalutiedot. Jos koneistuksen aikana työkalut tarvitsevat huoltoa, hoitaa tätä vaihetta työkalunhallinta 9. Koneistuksen jälkeen lohko kuljetaan latausasemalle 2.1 visuaalista tarkastusta ja pudistusta varten. Seuraavaksi on vuorossa vaihe, jota tässä opinnäytetyössä tarkemmin tutkitaan. Eli lohko siirretään robotisoituun viimeistelysoluun 4. Samalla viimeistelysolun roboteille siirtyvät ohjelmat ja tarvittavat työkalutiedot. Vaiheen jälkeen paletti siirtyy jälleen latausasema 2.1:een, mikä on ns. likainen asema, jossa lohkoa puhdistetaan ja samalla se käännetään ylösalaisin. Seuraavaksi lohko siirtyy takaisin koneistukseen. Koneistuksen jälkeen taas latausasema 2.1:een. Latausasemasta lohko lähetetään robotisoituun viimeistelysoluun 4. ja sieltä edelleen, robotisoituun satuloiden asennussoluun 3, missä lohkon asennetaan satulat, kun järjestelmä on ensin tarkastanut, että asennukseen on saatavilla tarvittavat resurssit. Satuloiden asennuksen jälkeen lohko siirtyy viimeiseen koneistusvaiheeseen ja koneistuksesta edelleen latausaseman kautta viimeistely robottisolulle 4. Tämän vaiheen jälkeen on vuorossa satuloiden purku robottisolu 3:ssa. Vaiheen jälkeen siirtyy latausaseman

2.1, jossa lohko irrotetaan paletilta ja se siirretään siltanosturilla robotisoituun pesukoneeseen 7. Pesun jälkeen lohko kiinnitetään takaisin paletille ja vihivaunu siirtää sen robotisoituun mittaussoluun 5. Mittauksen jälkeen paletti siirtyy latausasema 2.2 tai 2.3, jonka jälkeen se vielä manuaalisesti tarkastetaan.

Vihivaunu vie paletit ja kappaleen automaattisesti puskuriasemaan 6.1–6.4, jos jokin resurssi ei täyty ja valmistusta ei voida jatkaa.

Tällä hetkellä prosessissa on siis kolme koneistusvaihetta, kolme robotisoitua viimeistelyvaihetta, kaksi robotisoitua asennusvaihetta, yksi robotisoitu pesu ja yksi robotisoitu mittaus. Näiden kaikkia vaiheita hallinnoin ja aikatauluttaa MMS-järjestelmä. Mahdollisia vaiheita voidaan lisätä riippuen valmistettavasta kappaleesta. Tässä opinnäytetyössä keskityn kuitenkin näihin kolmeen vaiheeseen robotisoidussa viimeistelysolussa.



**Kuva 11.** Moottorilohkovalmistuksen layout.

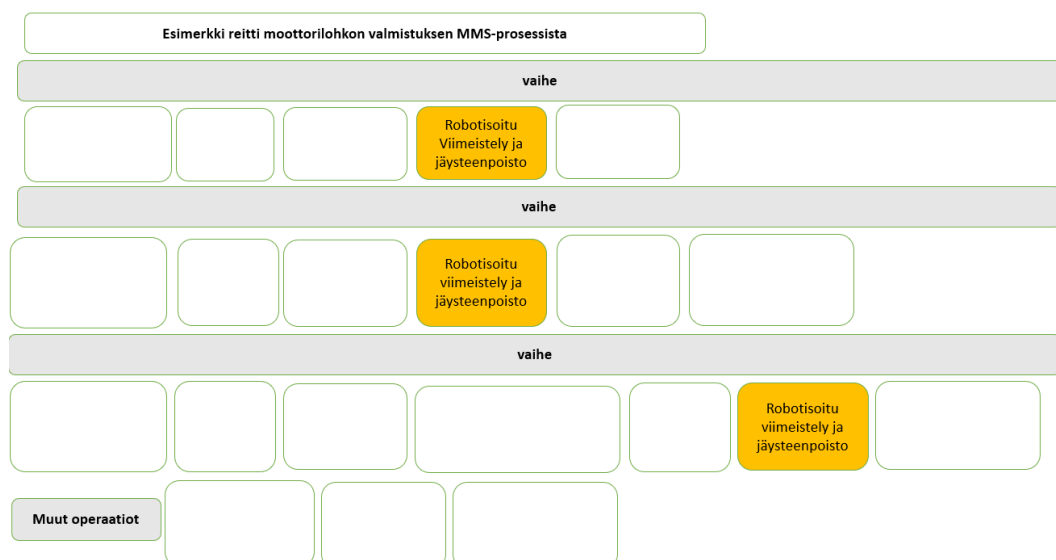
## 7.2 LargeRFC -osuus MMS: ssä

Esimerkki (**Kuva 12.**), mihin on keltaisella merkitty Large-RFC:ssä tapahtuvat osiot, moottorilohkon valmistusoperaatiosta. Moottorilohko ladataan paletille lataus- asemassa ja sen jälkeen se koneistetaan, koneistuksen jälkeen lohko palaa lataus- asemaan manuaaliseen puhdistukseen, josta se lähetetään Large-RFC -robottisoluun.

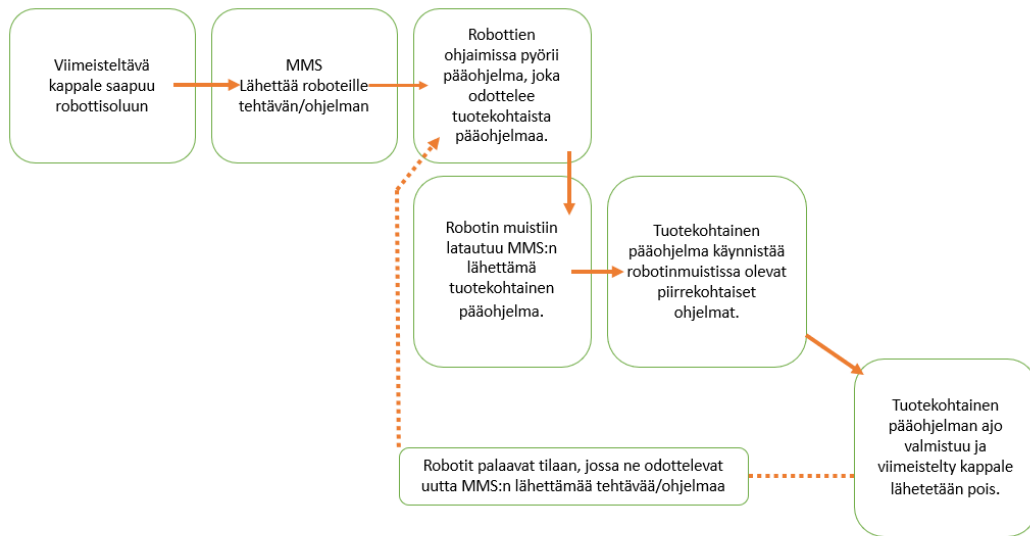
Kun vihivaunu on kuljettanut moottorilohkon robottisoluun, käskyttää MMS-järjestelmä robotit A ja B toteuttamaan jäysteenpoisto-ohjelmaa. (**Kuva 13.**)

Robottiohjelmille on MMS-järjestelmään määritetty omat työkalut ja työkaluille käyttökerrat tai käyttöaika, jos työkalujen käyttöaika tai käyttökerrat eivät riitä ohjelman suorittamiseen ilmoittaa järjestelmä tästä robottioperaattoreille, jotka huoltavat työkalut.

MMS lähettää roboteille kyseisen vaiheen pääohjelman, ja poistaa sen roboteilta suorituksen jälkeen. Varsinaiset ohjelmarutiinit sijaitsevat robottien muistissa. Lohko käy viimeistelysolussa jokaisen koneistusvaiheen jälkeen.



**Kuva 12.** MMS-tehtävä Large-RFC -robottisolussa.



**Kuva 13.** Large-RFC -prosessikuvaus.

## 8 ROBOTTIEN TYÖKALUT JÄYSTEENPOISTOSSA WÄRTSILÄSSÄ

Tässä kappaleessa esitellään robottisolussa käytössä olevat työkalut. Roboteissa työkalulaipan lisäksi on työkalunvaihtolaippa, johon mahdollista kiinnittää erilaisia sähkö ja paineilmakaroja.

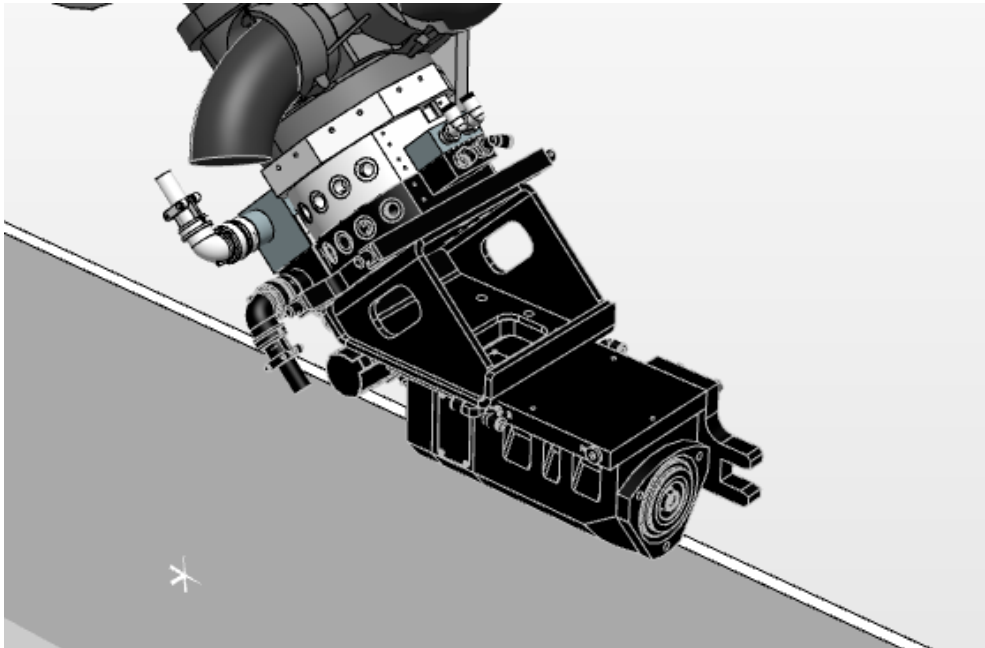
Kaikissa työkaluissa tärkeää on joustavuus, joko radiaali tai aksiaaliseen suuntaan. Joissakin käytössä olevissa työkaluissa on mahdollisuus säätää jouston voimakkuutta.

Wärtsilän aikaisemmissa robotisoidussa viimeistelysoluissa oli käytössä paineilmalla toimivia viiloja, harjoja ja hiekkapaperinpitimiä, mutta nyt käytössä on vain sähkökara, joka mahdollistaa joustavammat työkalunvaihdot ja paremman pyörimisnopeudenhallinnan. Alla esitellään sähkökara ja muutaman käytössä olevan työkalun.

### 8.1.1 Sähkökara

Robottisolussa on käytössä sähkökara (**Kuva 14**), joka on tarkoitettu, viimeistelyyn ja jäysteenpoistoon. Karan nimellisteho 12 kW, nimellisvääntö 9 Nm ja maksimikierrosnopeus 24 000 rpm. Lisäksi se on vesijäähdytetty ja siinä on älykäs IO-Link -kommunikaatio, mikä mahdollistaa robotin ja karan välisen valvonnan. Karassa on HSK63F on työkalunpidinjärjestelmä ja automaattinen työkalunvaihto.





**Kuva 14.** Sähkökara HSK63F -vaihtajalla.

### 8.1.2 Mittaus (probe)

Probe-järjestelmällä voidaan suorittaa useita tehtäviä, kuten kappaleiden mittauksia, työkalujen mittauksia, työkalun pituuden tarkastuksia ja muita koneistuksen laadunvalvontaan liittyviä mittauksia. Ne auttavat korjaamaan mahdollisia virheitä tai poikkeamia prosessissa.

Tässä robottisolussa mittausjärjestelmää käytetään lohkon paikan määrittelyyn paletilla ja mitataan lohkossa esiintyviä valuvaihteluita. **(Kuva 15.)** Blum TC62RC-100 probe HSK63F -työkalukartiossa.



**Kuva 15.** Probe.

### **8.1.3 Harjat**

Käytössä on monia erilaisia harjoja, joiden tarkoituksena on esimerkiksi pyöristää kambi- ja nokkaluukkuihin viilauksen jälkeensä jättämä lievästi terävä reuna. (**Kuva 16.**) harjasta joustoelementillä.



**Kuva 16.** Harja joustoelementillä.

#### **8.1.4 Hiekkapaperinpidin eli lärppi**

Lärpällä jäystetään koneistettuja reikiä. Lärppiä on käytössä kolme eri versiota: normaalilärppi, (**Kuva 17.**), kulmalärppi ja pitkälärppi. Lärpän kärjessä on halkio, johon robotilla haetaan halutun mittainen hiomapaperin pala hiomapaperinannostelulaitteelta. Saatavilla olevia hiomapaperin kokoja on 30 mm:stä – 160 mm:iin. 30 mm välein.



**Kuva 17.** Hiekkapaperinpidin eli lärppä.

### 8.1.5 Viilat

Koneviila on työkalu, joka mahdollistaa tarkat hiontatulokset. Koneviilan avulla voidaan hioa, muotoilla ja tasoittaa erilaisia, reikiä, luokkuja ja kulmia. Työkalu soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa tarvitaan tarkkaa ja tehokkaampaa hionta tulosta, mihin lärppä ja harja eivät pysty. **(Kuva 18.)** Aksiaalisesti joustava koneviila.



**Kuva 18.** Aksiaalisesti joustavakoneviila.

### 8.1.6 Kulmapäät

Kulmapäitä käytetään hankalin paikkojen luokse pääsyn tehostamiseen, mihin ei suoralla työkalulla ole mahdollista päästä. Kulmapäihin voi kiinnittää lähes kaikki samat työkalut kuin suoriinkin työkalunpitimiin. Solussa on käytössä kulmalärppä, kulmaharja ja kulmaviila. **(Kuva 19.)** kulmapäähän on kiinnitetty lärppä.



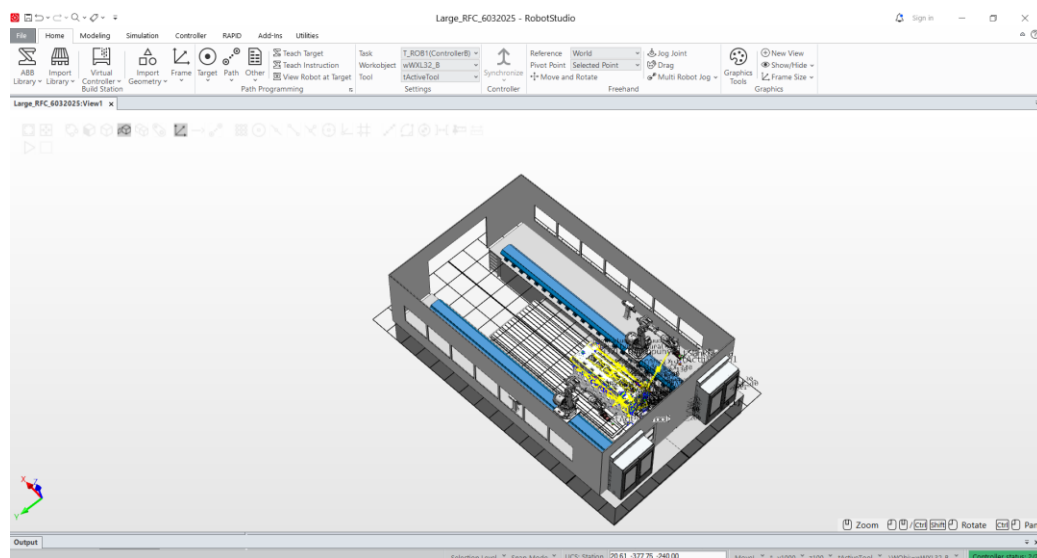
**Kuva 19.** Kulmalärppä.

## 9 W6L32 -OHJELMAT

Jo alkumetreiltä lähtien oli selvää, että robottien ohjelmien tulisi olla mahdollisimman parametrisiä ja niiden pitäisi olla sovellettavissa useille eri tuotevariaatioille. Ohjelmoinnissani korostuu erityisesti yksi keskeinen parametri: sylinteriluku. Moottorilohkoissa sylinteriluvun avulla ohjelmissani määritellään, kuinka monta sylinteriryhmää viimeistellään. Ohjelmat toistavat samaa kaavaa, aluksi lohkon käyttäjäkoordinaatiston paikka määritellään mittaamalla ja sen jälkeen alkavat varsinaiset viimeistely ja jäysteenpoisto-ohjelmat. Lohkon viimeistelyssä on kolme eri vaihetta ja ne on nimetty koneistusvaiheiden mukaan 3. 4. ja 5. vaiheeksi.

### 9.1 Simulointiympäristö

Robottisolulle on luotu virtuaalinen offline-ohjelmointiympäristö ABB RobotStudio, jossa varsinaiset ohjelmat suunnitellaan ja testataan ennen niiden käyttöönottoa. Tämä mahdollistaa monimutkaisten ohjelmien kehittämisen ja simuloinnin ilman fyysisten robottien tarvetta, mikä nopeuttaa prosessia ja vähentää mahdollisia riskejä tuotannossa. Ohjelmien rakennetta ja robotin liikeratoja voidaan hienosäätää virtuaaliympäristössä, jotta varmistetaan niiden optimaalinen toimivuus. Käyttöönoton yhteydessä ohjelmiin voidaan tehdä pieniä muutoksia, kuten tarkistaa ja säätää viilojen sekä harjojen paineita. **(Kuva 20.)** ABB robotstudio.

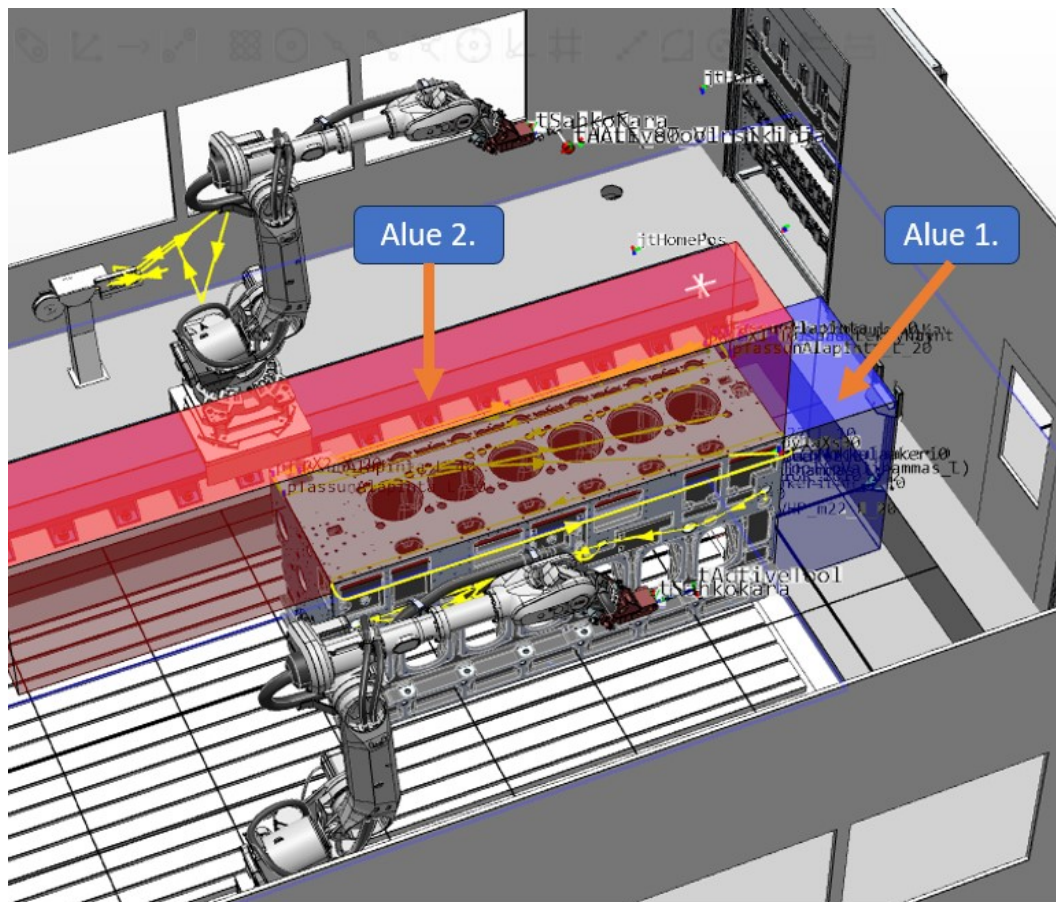


**Kuva 20.** ABB Robotstudio.

### 9.1.1 Robottien työskentelyalueet

Koska roboteilla on mahdollisuus törmätä toisiinsa, täytyy ohjelmoinnissa ottaa tämä huomioon. Robotit voivat tehdä tietyn alueen varaus pyynnön, jolloin toisen robotin pääsy tälle alueelle estetään Aluevarauksen pyyntö: `space_process_reserve (numero)` ja aluevarauksen vapautus `space_process_release (numero)` (**Kuva 21.**) simulointimallissa näkyvät alueet. Nämä alueet luodaan robotstudioa apuna käyttäen. Esimerkiksi alue 1. sijaitsee lohkon päädyn ja työkaluntarkastuspaikan välisellä alueella ja alue 2. lohkon kansitasolla.

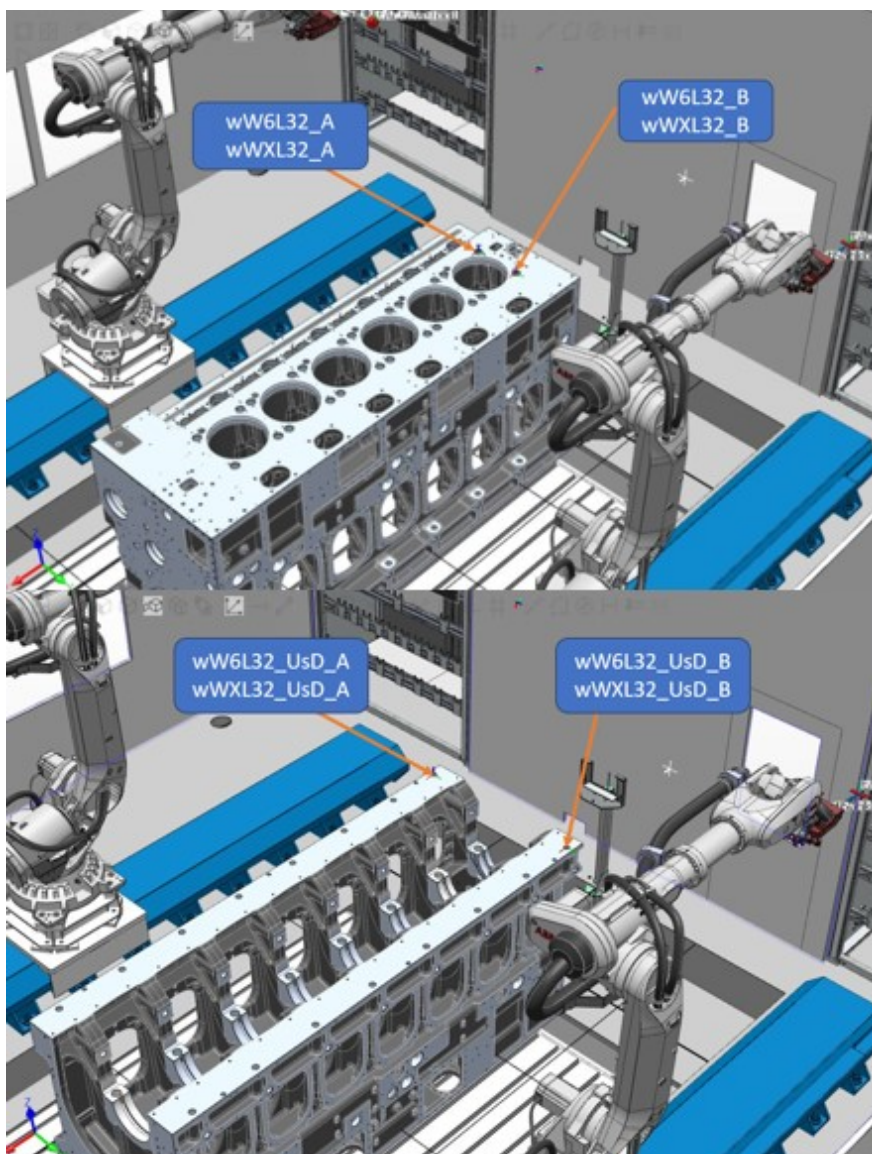




Kuva 21. Aluevaraukset.

## 9.2 Lohkon käyttäjäkoordinaatistot

Käyttäjäkoordinaatistot olen pyrkinyt sijoittamaan sellaiseen paikkaan, että robo-  
teilla olisi mahdollisimman hyvä luokse pääsy niiden sijainnin tarkastamiseen mit-  
tausohjelmassa. Esimerkiksi (**kuva 22.**) lohko käyntiasennossa, sijaitsee käyttäjä-  
koordinaatisto ensimmäisen sylinteriryhmän ensimmäisessä kannenpultin reiässä.  
W6L32-käyntiasennon koordinaatistot ovat nimeltään wW6L32\_A ja wW6L32\_B,  
nimessä pieni w tarkoittaa workobject ja W6L32-moottorin tyyppiä ja lopuksi vielä  
robotin tunnus A tai B. Lohkon ollessa ylösalaisin asennossa on koordinaatiston  
nimessä myös tunnus UsD, mikä tarkoittaa "up side down". Eli silloin koordinaa-  
tisto on nimeltään wW6L32\_UsD\_A. Moottorilohkon parametrisissä ohjelmissa  
koordinaatistot on nimetty seuraavasti wWXL32\_A tai B ja wWXL32\_UsD\_A tai B,  
nimessä X viittaa siihen, että koordinaatisto käytetään useissa ohjelmissa, missä  
sylinteriluvun parametri on käytössä.



**Kuva 22.** Käyttäjäkoordinaatistojen sijainti moottorilohkossa.

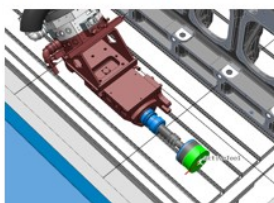
Kumpikin robotti mittaa käyttäjäkoordinaatiston paikan, käyttämällä probea, jolloin moottorilohkon paikka saadaan oikeassa robottisolussa vastaamaan offline-ympäristöä. Lohkon paikka paletilla saattaa vaihdella robottien radan suunnassa (X)  $\pm 25$  mm, jolloin lohkon mittaus on suoritettava aina, kun lohko saapuu soluun.

### 9.3 Työkalukoordinaatit

Molempien robottien työkalupisteet (TCP) perustuvat tietoon, joka saadaan MMS-järjestelmästä. MMS lähettää roboteille oikean työkalutiedon sen mukaan, mitä työkalua kulloinkin käytetään. Kummankin robotin työkalutieto on nimeltään tActivetool, jonka tiedot MMS-järjestelmä päivittää. Tämä tarkoittaa sitä, että kun tarve vaihtaa työkalua syntyy, MMS välittää tiedon uudesta työkalusta tActivetool-työkalutietoon. Tämä päivitetään sitten kummankin robotin TCP:hen, jotta oikeaa työkalua käytetään oikeassa vaiheessa tuotantoprosessia. (Kuva 23.) esimerkki, työkalusta numero 23, jolle syötetyistä tiedoista selviää esimerkiksi, että kyseessä on harja, jonka maksimi kulumisraja on 20 mm ja sen oletus pyörimisnopeus 2500 rpm. Tällä tavoin varmistetaan tarkoituksenmukainen työkalujen hallinta.

TCP voidaan opettaa roboteille myös käsin, jos ei MMS:n lähettämä työkalun TCP:n tarkkuus riitä.

23 Weiler 100mm Joustavaharja

Tiedot	Särmät	Yleiset parametrit	Tiedot	Särmät	Yleiset parametrit																																	
<b>Työkalun perustiedot</b> Työkalujärjestelmä LargeRFC Luettelonimi LargeRFC / 23 Työkalu 23 Kuvaus Weiler 100mm Joustavaharja			<b>Särmä 1</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Mitta</th> <th>Min.</th> <th>Nimellinen</th> <th>Maks.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>OffsetVsTcp</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>ToolFrameP</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>ToolFrameR</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>ToolFrameW</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>ToolFrameX</td><td>280.0000</td><td>300.0000</td><td>310.0000</td></tr> <tr><td>ToolFrameY</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>ToolFrameZ</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td></tr> </tbody> </table>			Mitta	Min.	Nimellinen	Maks.	OffsetVsTcp	0.0000	0.0000	0.0000	ToolFrameP	0.0000	0.0000	0.0000	ToolFrameR	0.0000	0.0000	0.0000	ToolFrameW	0.0000	0.0000	0.0000	ToolFrameX	280.0000	300.0000	310.0000	ToolFrameY	0.0000	0.0000	0.0000	ToolFrameZ	0.0000	0.0000	0.0000	
Mitta	Min.	Nimellinen	Maks.																																			
OffsetVsTcp	0.0000	0.0000	0.0000																																			
ToolFrameP	0.0000	0.0000	0.0000																																			
ToolFrameR	0.0000	0.0000	0.0000																																			
ToolFrameW	0.0000	0.0000	0.0000																																			
ToolFrameX	280.0000	300.0000	310.0000																																			
ToolFrameY	0.0000	0.0000	0.0000																																			
ToolFrameZ	0.0000	0.0000	0.0000																																			
<b>Automaattisten esiasetuspyyntöjen laskennan rajat</b> Min. 0 Työkaluysilöiden enimmäismäärä			<b>Parametrit</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nimi</th> <th>Tiedot</th> <th>Arvo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ToolType</td><td>Tool type</td><td>1</td></tr> <tr><td>MaxWear</td><td>Maximum allowed wear</td><td>20</td></tr> <tr><td>DefaultRpm</td><td>Default RPM</td><td>2500</td></tr> <tr><td>MinRpm</td><td>Minimum RPM</td><td>2000</td></tr> <tr><td>MaxRpm</td><td>Maximum RPM</td><td>3000</td></tr> <tr><td>ToolConnectionCode</td><td>Tool connection code</td><td>1</td></tr> <tr><td>IsToolinsert</td><td>Is tool an insert for a spindle</td><td>true</td></tr> <tr><td>ToolCheckType</td><td>Tool check type</td><td>2</td></tr> <tr><td>ToolCheckOffsetX</td><td>Tool check offset in X direction</td><td>0</td></tr> <tr><td>ToolCheckOffsetY</td><td>Tool check offset in Y direction</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>			Nimi	Tiedot	Arvo	ToolType	Tool type	1	MaxWear	Maximum allowed wear	20	DefaultRpm	Default RPM	2500	MinRpm	Minimum RPM	2000	MaxRpm	Maximum RPM	3000	ToolConnectionCode	Tool connection code	1	IsToolinsert	Is tool an insert for a spindle	true	ToolCheckType	Tool check type	2	ToolCheckOffsetX	Tool check offset in X direction	0	ToolCheckOffsetY	Tool check offset in Y direction	0
Nimi	Tiedot	Arvo																																				
ToolType	Tool type	1																																				
MaxWear	Maximum allowed wear	20																																				
DefaultRpm	Default RPM	2500																																				
MinRpm	Minimum RPM	2000																																				
MaxRpm	Maximum RPM	3000																																				
ToolConnectionCode	Tool connection code	1																																				
IsToolinsert	Is tool an insert for a spindle	true																																				
ToolCheckType	Tool check type	2																																				
ToolCheckOffsetX	Tool check offset in X direction	0																																				
ToolCheckOffsetY	Tool check offset in Y direction	0																																				
<b>Työkalun käyttöaika</b> Nimellinen käyttöaika Ennakkovaroitusraja 200 käyttökertaa 50 käyttökertaa			<b>Parametrit</b> Parametrejä ei saatavilla																																			
<b>Työkaluysilöt</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Työkalu (sisar)</th> <th>Sijainti (makasiini/lohko/työkalupaikka)</th> <th>Tila</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23.(1)</td> <td>LargeRFC_RobotA » Makasiini » 1023</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>23.(2)</td> <td>LargeRFC_RobotB » Makasiini » 1023</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table>			Työkalu (sisar)	Sijainti (makasiini/lohko/työkalupaikka)	Tila	23.(1)	LargeRFC_RobotA » Makasiini » 1023	OK	23.(2)	LargeRFC_RobotB » Makasiini » 1023	OK																											
Työkalu (sisar)	Sijainti (makasiini/lohko/työkalupaikka)	Tila																																				
23.(1)	LargeRFC_RobotA » Makasiini » 1023	OK																																				
23.(2)	LargeRFC_RobotB » Makasiini » 1023	OK																																				

Kuva 23. MMS-työkalun hallinta ja TCP.

#### 9.4 W6L32, pääohjelmaesimerkki

MMS lähettää (**Kuva 24.**) esitetyn pääohjelman robotille A, joka aloittaa sen suorittamisen. Ohjelmamoduulin tulee olla nimetty tietyllä tavalla, jotta robotit tunnistavat sen; esimerkiksi moduulin nimi on "W6L32\_A\_3" ja sisältämä pääproseduuri on nimeltään "W6L32\_A\_3Main". Tämä nimeämissääntö on kriittinen: moduulin ja proseduurin nimien tulee olla identtiset, lisättynä "Main" -päätte proseduurille, muuten robotti ei osaa käynnistää ohjelmaa. Nimessä A tarkoittaa, että ohjelma on A-robotin.

Ohjelman rivit 3–10 sisältävät esittelyä ja ohjelman esittelyn. Rivillä 14 tehdään valinta testiajon ja normaalin käynnistyksen välillä, jossa karaa ei aktivoida testiajossa. Rivillä 16 asetetaan ohjelman keskeisin parametri, "nSylinderiluku", joka tässä tapauksessa on 6.

Mittausohjelmat alkavat riviltä 18, joista ensimmäinen, "WXL32\_Kaynti\_Mittaus 10", määrittelee moottorilohkon käyntiasennon käyttäjäkoordinaatiston. Tämän mittauksen tarkkuus on perustana kaikille kyseisen vaiheen viimeistelyohjelmille. Seuraavat mittausohjelmat tarkistavat mahdollisia valuvaihteluita.

Viimeistelyohjelmat aloitetaan riviltä 24, jakaen ne työkalukohtaisesti: ensin suoritetaan lärppäys, sitten viilaus, ja lopuksi moottorilohko viimeistellään harjaamalla. Rivillä 55 ohjelma päättyy, kun robotit palauttavat työkalut niiden kaappeihin ja palaavat kotiasemaan "movehome" komennolla.

Jokainen ohjelmakutsu sisältää ValmistumisIndexin, kuten "WXL32\_Kansivesireika 50" rivillä 27, mikä tarkoittaa, että kun tehtävä on valmis, se saa arvon 50. Tämä index auttaa robotteja tunnistamaan, mistä kohtaa jatkaa, mikäli ohjelman suoritus keskeytyy. Näin vältetään aiemmin suoritettujen ohjelmien uudelleenajaminen tarpeettomasti.

```

1  MODULE W6L32_A_3
2  PROC W6L32_A_3Main()
3  |*****
4  |Description:      W6L32
5  |Version:         1.1
6  |Date:           2.2.2024
7  |Checked for work: OK
8  |Author:         AM
9  |Robot:          A
10 |Step:            3-vaihe ohjelma
11 |*****
12 movehome;
13 |testiajo paalla/pois (paalla=1 pois=0)
14 SetDO doDryRun,0;
15 |Maaritellaan sylinteriluku
16 nsylinteriluku:=6;
17 |*****
18 | MITTAUS
19 |*****
20 WXL32_Kaynti_Mittaus 10;
21 WXL32_nokkaluukku_mittaus 20;
22 WXL32_Vap_Nokl_mittaus 30;
23 |*****
24 | LARPPAYS
25 |*****
26 WXL32_kannenpultit 40;
27 WXL32_kansiversireika 50;
28 WXL32_oljyaukot 60;
29 WXL32_pumppujenaukot 70;
30 WXL32_pumppuhyllyvesireika 80;
31 |*****
32 | VIILAU
33 |*****
34 WXL32_Vapaapaa_nokkaluukku 90;
35 WXL32_VapaaYlataso_huohotin 100;
36 WXL32_Vapaa_Kulma 110;
37 WXL32_nokkaluukku 120;
38 WXL32_VHPylaluukku 130;
39 WXL32_Pumppuhylly_Ylataso 140;
40 WXL32_PumppuhyllyAlatasa 150;
41 WXL32_Nostajanluukunviilaus 160;
42 WXL32_PumppuhyllyTakareuna 165;
43 |*****
44 | HARJAU
45 |*****
46 WXL32_sylinterinharjaus 170;
47 WXL32_nokkaluukkuharjausl 180;
48 WXL32_sylinteritasonharjaus 190;
49 WXL32_pumppuhyllyHarjaus 200;
50 WXL32_pumppuhyllyValumaura 210;
51 WXL32_OhjausivuHarjaus 220;
52 WXL32_VapaaHarjaus 230;
53 |*****
54 GetTool 1;
55
56 movehome;
57
58 |nollataan valmistumisindex
59 nValmistumisIndex:=0;
60
61
62 ENDPROC
63 ENDMODULE

```

Kuva 24. 3-vaihe W6L32 -pääohjelma.

## 9.5 W6L32 – piirrekohtainen ohjelmaesimerkki

"WXL32\_kansiversireika"-ohjelma. (Kuva 25.) Ohjelma alkaa esittelyosuudella riveillä 4444–4451, jonka jälkeen riveillä 4452–4454 suoritetaan tarkastus, onko ohjelma jo aiemmin käynnistetty. Tämä varmistaa, ettei ohjelmaa ajeta uudelleen tarpeettomasti.

Rivillä 4457 robotti suorittaa työkalun haun komennolla "GetTool (14)", mikä tarkoittaa, että robotti hakee työkalun numero 14, tässä tapauksessa lärpän. Ohjelman nopeusasetukset määritellään riveillä 4459–4461: "vTyö" eli työskentelynopeus on 50 mm/s, "vLah" eli lähestymisnopeus on 500 mm/s ja "vPika" eli pikaliikkeen nopeus on 1500 mm/s.

"nPaperinvaihtoval" on parametri, joka määrittelee, kuinka usein robotti hakee uuden hiomapaperin käsiteltyjen reikien määrän perusteella, rivillä 4463. nSylinterilaskuri, rivillä 4466, nollataan aina kun "nSylinteriluku"-parametri on käytössä. "nLarppayskerrat"-parametri, rivillä 4468, nollataan, jotta lärpättyjen reikien laskea aloitetaan alusta.

Rivillä 4471 "RESET\_Offset" aliohjelman sisällä suoritetaan radan ja käyttäjäkalu-koordinaatiston o-ramen siirron resetointi, mikä on perusta sylinteriluvun mukaiselle offsetlaskennalle. Rivillä 4474 "MoveTOPpos"-aliohjelmassa robotti liikkuu MoveABSJ-komennolla alkuasentoon, mistä on helppo lähestyä paperinvaihtolaitetta ja työkohdetta.

Rivillä 4477 "GetSP 2"-aliohjelmassa hiekkapaperin annostelija valmistaa 60 mm pitkän hiekkapaperin, jonka robotti noutaa. Rivillä 4480 robotti tekee aluevarauksen "space\_process\_reserve 2", joka sijaitsee moottorilohkon sylinteritasolla.

Viimeistelyprosessi alkaa rivillä 4482 WHILE-ENDWHILE-loopilla, joka jatkuu kunnes "nSylinterilaskuri" on pienempi kuin "nSylinteriluku". IF-lause riveillä 4484–

4488 valvoo, kuinka usein hiomapaperi vaihdetaan. Kun "nLarppayskerrat" saavuttaa "nPaperinvaihtoali"-ehdon, robotti hakee uuden hiomapaperin ja "nLarppayskerrat"-parametri nollataan.

Rivillä 4490 "Set\_Offset\_490"-aliohjelmassa lasketaan o-ramen ja robotin radan offset sylinteriluvun ja sylinterilaskurin perusteella. Robotti lähestyy työstettävää kohdetta pikaliikkeellä 300 mm päähän rivillä 4493 ja lähestymisnopeudella 50 mm päähän rivillä 4494.

"LarppaaReika"-aliohjelmassa, rivillä 4496, määritellään viimeistelyn yksityiskohdat, kuten viimeistelyn sijainti, kertojen määrä, syvyys, työkalukoordinaatisto, käyttäjäkoordinaatisto, työskentelyn nopeus ja karan pyörimisnopeus. Kun viimeistely on valmis, robotti nousee rivillä 4498 pikaliikkeellä 300 mm korkeudelle reistä. Sen jälkeen, riveillä 4500–4501, sekä "nSylinterilaskuri" että "nLarppayskerrat" päivittyvät, lisäten arvoon +1. Tämä tarkoittaa, että kun ohjelma jatkuu WHILE-loopin sisällä, "Set\_Offset\_490" -komento aktivoituu uudelleen loopin alussa, ja robotti siirtyy seuraavaan kansivesireikään, joka on 490 mm päässä X-suunnassa seuraavassa sylinterissä. Ohjelma pyörii loopissa kunnes kaikki ehdot täyttyvät ja kaikki sylinterit on käsitelty.

Rivillä 4505 offsetin laskenta nollataan uudelleen, valmistellen järjestelmää seuraavaan tehtävään. Rivillä 4507 "MoveTopPos" -komennolla robotti liikkuu takaisin radan päälle alkuasentoon, valmiina seuraavaan tehtävään.

Rivillä 4510 "Space\_process\_release 2" -komennolla vapautetaan aikaisemmin varattu aluevaraus, mikä osoittaa, että moottorilohkon sylinteritasolla suoritettu työ on saatu päätökseen. Lopuksi rivillä 4513, "nValmistumisindex" saa arvon, joka indikoi ohjelman suorituksen valmistumista. Tämä varmistaa, että jos ohjelma tai robotti käynnistetään uudelleen, järjestelmä tietää tämän osan olevan jo suoritettu, eikä samaa työtä ajeta uudelleen. Tämä mekanismi tehostaa robottisolun toimintaa, estäen päällekkäiset suoritukset ja varmistaen työn sujuvan jatkumisen keskeytyksen sattuessa.



```

4355 PROC WXL32_Kansitason_vesikanavat(Num nOhjelmaIndex)
4356 |*****
4357 |Description:   Kansitason vesikanavavien larppays
4358 |Version:      1.0
4359 |Date:        29.3.2023
4360 |Checked for work: OK
4361 |Author:      AM
4362 |*****
4363 lonko vaihe jo ajettu.
4364 IF nValmistusIndex>nOhjelmaIndex THEN
4365     RETURN ;
4366 ENDIF
4367 |haetaan larppa|
4368 Gettool(14);
4369 |nopeudet
4370 vTyo:=v50;
4371 vLah:=v500;
4372 vPika:=v1500;
4373 |paperin vaihtovälin parametri
4374 nPaperinvaihtoval:=2;
4375
4376 | sylinterilaskurin nollaus
4377 nSylinterilaskuri:=0;
4378 | larppayskertojen nollaus
4379 nLarppayskerrat:=0;
4380
4381 | resetoidaan offsetit
4382 RESET_Offset;
4383
4384 | alkuasentoon radalle
4385 MoveTOPpos;
4386
4387 |haetaan 60mm paperi
4388 getsp 2;
4389
4390 |varataan alue
4391 Space_Process_Reserve 2;
4392
4393 WHILE nSylinterilaskuri<nsvlinteriluku DO
4394
4395     IF nLarppayskerrat=nPaperinvaihtoval THEN
4396         |haetaan uusi 60mm hiomapaperi
4397         GetSP 2;
4398         nLarppayskerrat:=0;
4399     ENDIF
4400     | kaynnistetaan sylinteriluvun mukaisen offsetin laskenta
4401     SET_offset_490;
4402
4403     | lahestytään reikaa
4404     MoveJ RelTool(pkansivesireikal,0,0,300),vpika,z10,tActiveTool\WObj:=wXL32_A;
4405     MoveL RelTool(pkansivesireikal,0,0,50),vlah,z10,tActiveTool\WObj:=wXL32_A;
4406     |kutsutaan larppaysmakro
4407     LarppaaReika pkansivesireikal,3,-50,tActiveTool,wXL32_A,vtyo,8000;
4408     MoveL RelTool(pkansivesireikal,0,0,10),vtyo,z1,tActiveTool\WObj:=wXL32_A;
4409     MoveL RelTool(pkansivesireikal,0,0,300),vpika,z1,tActiveTool\WObj:=wXL32_A;
4410     | Larppayskerrat ja Sylinterilaskuri saavat arvon +1
4411     nSylinterilaskuri:=nSylinterilaskuri+1;
4412     nLarppayskerrat:=nLarppayskerrat+1;
4413 ENDWHILE
4414
4415 | resetoidaan offset
4416 RESET_Offset;
4417 | Rataasento
4418 moveTOPpos;
4419
4420 |vapautetaan aluevaraus
4421 Space_Process_Release 2;
4422
4423 |Valmistusindexin paivitys
4424 nValmistusIndex:=nOhjelmaIndex;
4425 ENDPROC

```

Kuva 25. Kansitason vesikanavien viimeistelyohjelma.

## 10 UUDEN TUOTTEEN KÄYTTÖNOTTO

Muistilista (**Kuva 26.**), joka kuvaa uuden tuotteen käyttöönoton vaiheita LargeRFC-robotisolussa se antaa kuvauksen koko prosessista, alkaen alkuvaiheen suunnittelusta aina lopulliseen robottiohjelmien käyttöönottoon tuotannossa.

Ensimmäisenä askeleena kaaviossa on tuotteen 3D-mallin ja sen variaatioiden tuonti robottistudioon, mikä on perusta kaikelle muulle työlle. Tämän pohjalta tutkitaan yhteisten piirteiden tunnistamista 3D-mallista, joka mahdollistaa robotin ohjelmoinnin. Kolmannessa vaiheessa tuotteeseen luodaan käyttäjäkoordinaattisto, johon tuotekohtaiset ohjelmat perustuvat.

Neljännessä vaiheessa testataan robottien ulottuvuuksia robottistudiossa. Tämä varmistaa, että robotit voivat saavuttaa kaikki tarvittavat alueet työkappaleessa ilman rajoituksia. Tämä on kriittistä, kun otetaan huomioon, että jäysteenpoisto vaatii erittäin tarkkaa liikkuvuutta ja pääsyä ahtaisiin tiloihin. Seuraava vaihe, mitausohjelman ohjelmointi, on olennainen kappaleen paikoituksen tarkastamisen kannalta, sillä se mahdollistaa tarkkuuden ja toistettavuuden.

Kuudes vaihe, uusien työkalujen hankinta, varmistaa, että käytössämme on tehtävään parhaiten soveltuvat instrumentit. Sen jälkeen tehostetaan työkiertoa, joka on prosessin tehokkuuden kannalta keskeistä. Tehokas työkierto minimoi hukkaan menevän ajan ja resurssit. Kahdeksas vaihe kattaa tuotteen varsinaisen ohjelmoinnin robottistudiossa. Ohjelmien testaus, että kaikki toimii suunnitellusti ennen varsinaista käyttöä.

Lopuksi ohjelman lisääminen MMS-järjestelmään ja lopullinen luovutus tuotantokäyttöön täydentävät prosessin. Tämä kymmenes ja viimeinen askel sulkee ympyrän, tuoden suunnitellun prosessin osaksi päivittäistä tuotantoa. Koko kaavion läpi noudattamalla voimme varmistaa, että uusi tuote integroituu saumattomasti jäysteenpoisto robottisoluun, tuoden mukanaan odotetut hyödyt tuotannon laatuun ja tehokkuuteen

- 1 Tuotteen 3D-mallin ja sen variaatioiden tuonti robotstudioon
- 2 Yhteisten piirteiden tutkiminen 3D-mallista
- 3 Käyttäjäkoordinaatiston paikan määrittäminen
- 4 Robottien ulottuvuuksien testaaminen robotstudiossa
- 5 Mittausohjelman ohjelmointi
- 6 Uusien työkalujen hankinta
- 7 Tehokkaan työkierron rakentaminen
- 8 Tuotteen ohjelmointityö robotstudiossa
- 9 Ohjelmien käyttöönotto ja testaus
- 10 Ohjelman lisääminen MMS-järjestelmään ja luovutus tuotantokäyttöön

**Kuva 26.** Uuden tuotteen käyttöönotonvaiheet.

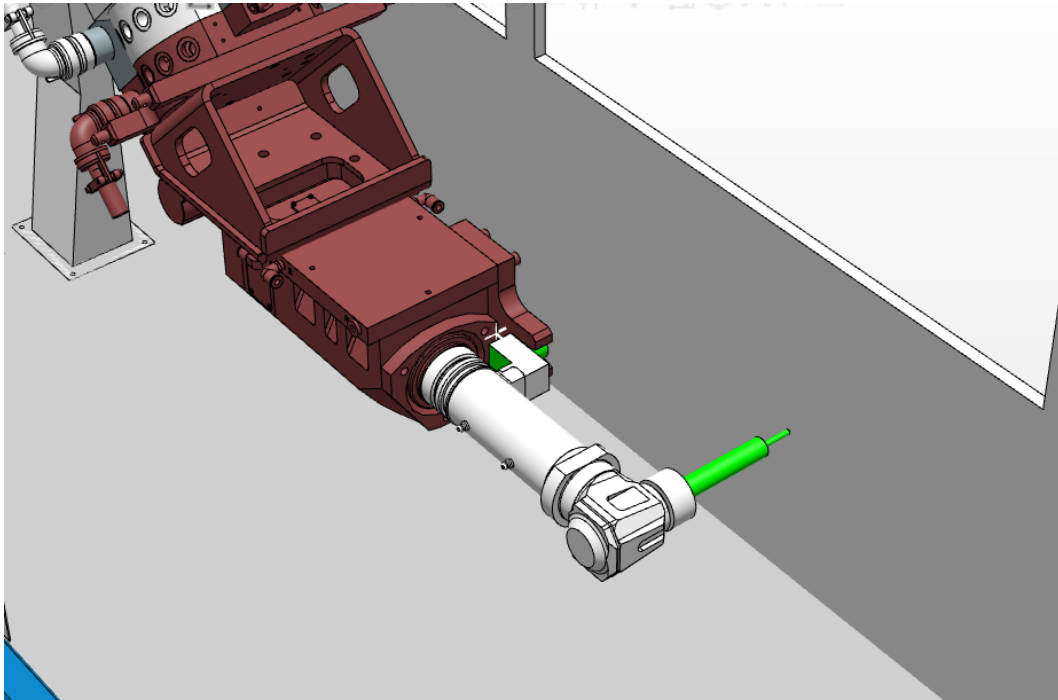
## 11 JATKOKEHITYS

### 11.1 Robotilla poraaminen

Moottorilohkoissa on tyypillisesti 100–200 kappaletta 5,5 mm reikiä, jotka on tarkoitettu kaapeleiden kiinnikkeille. Tämä tehtävä on tarkoitettu automatisoida ja porata reiät LargeRFC-solun roboteilla, jotka varustetaan sekä suoralla että erikoisvalmisteisella kulmapääporalla. (Kuva 27.)

Testivaiheessa robotin suorituskyky ylitti odotukset huomattavasti. Erityisesti erikoisvalmisteinen kulmapää, joka mahdollistaa noin 90 % reikien poraamisesta. Kulmapään avulla robotti pystyy poraamaan ahtaissakin paikoissa, mikä lisää merkittävästi sen joustavuutta ja käyttöalueita.

Kuitenkin robotilla porattaessa on otettava huomioon useita tekijöitä, jotka vaikuttavat lopputuloksen laatuun ja prosessin tehokkuuteen. Näitä ovat muun muassa poran kulumisen seuranta ja hallinta, jotta voidaan varmistaa korkea tarkkuus ja reikien laatu. On myös tärkeää optimoida porausnopeus ja syöttönopeus porattavan kohteen mukaan, mikä edellyttää paljon testausta. Lisäksi ohjelmointiin ja työkalunkalibrointiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta voidaan varmistaa, että robotti suorittaa jokaisen poraustoimenpiteen tarkasti määrättyssä paikassa. Olen kehittänyt poraamiseen oman aliohjelman, jossa kaikki poraamiseen vaikuttavat arvot ovat mahdollisimman helposti säädettävissä.



**Kuva 27.** Porauskulmapää robottiin.

## 12 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössäni käsittelin robotisoitua viimeistelyä ja jäysteenpoistoa suurten komponenttien, kuten moottorilohkojen, valmistuksessa. Työn tarkoituksena oli hankkia ja sovittaa käyttöön tarvittavat työkalut robottisoluun sekä luoda ohjelmat ensimmäiseksi tuotantoon tulevalle moottorilohkolle, W6L32DFC:lle. Työssäni keskityin erityisesti robottien ohjelmointiin ja työkalustukseen jäysteenpoistossa ja viimeistelyssä, sekä tarkastelin, miten robotteja voidaan ohjelmoida suorittamaan tarkkoja ja monimutkaisia viimeistelytehtäviä. Lisäksi pohdin mahdollisuuksia robottisolun tehokkuuden ja monipuolisuuden parantamiseksi.

Opinnäytetyö keskittyi teollisuusrobottien toimintaan, niiden ohjelmointiin, ja erityisesti jäysteenpoiston haasteisiin robotiikan näkökulmasta. Hyödynsin simulaatioympäristöjä ohjelmien kehittämisessä ja testaamisessa, mikä mahdollisti monimutkaisten ohjelmien suunnittelun ja simuloinnin ilman fyysisten robottien tarvetta.

Tutkimuksen keskeisiin havaintoihin kuului, että joustavalla ja monipuolisella ohjelmoinnilla sekä huolellisesti valitulla työkalustuksella voidaan merkittävästi tehostaa jäysteenpoistoa ja viimeistelyä.

Robotisoitu viimeistely ja jäysteenpoisto tarjoavat merkittäviä etuja valmistusprosessin tehokkuudessa, tarkkuudessa ja joustavuudessa. Toivottavasti työstä saadut kokemukset ja tulokset tarjoavat arvokasta tietoa ja toimivat perustana jatkokehitykselle.

## LÄHTEET

/1/ Wärtsilä lyhyesti. Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 7.1.2024. <https://www.wartsila.com/fi/media-fi/liiketoiminnat-lyhyesti>

/2/ Wärtsilän historiavideo. Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 7.1.2024. <https://www.wartsila.com/fi/wartsila/historia>

/3/ Wärtsilä Marine verkkosivut. Viitattu 7.1.2023. <https://www.wartsila.com/marine>

/4/ Wärtsilä Marine verkkosivut, moottorit ja generaattorisetit. Viitattu 7.1.2024. <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/dualfuel-engines>

/5/ Wärtsilä energy solutions. Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 6.1.2024. <https://www.wartsila.com/energy/solutions>

/6/ Engine power plants. Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 6.4.2024.

<https://www.wartsila.com/energy/solutions/engine-power-plants>

/7/ Sustainable Technology Hub, Wärtsilän verkkosivut. Viitattu 6.1.2024. <https://www.sustainabletechnologyhub.com/fi/sth/>

/8/ Wärtsilä STH verkkosivut. Viitattu 7.1.2024

<https://www.sustainabletechnologyhub.com/the-smart-technology-hub-an-ecosystem-of-sustainable-innovation-and-co-creation/>

/9/ Välimäki, K., & Niemelä, M. (Toim.). (2023). Teollisuuden robotiikka. 17–19. Suomen Robotiikkayhdistys Ry

/10/ Välimäki, K., & Niemelä, M. (Toim.). (2023). Teollisuuden robotiikka. 201–223. Suomen Robotiikkayhdistys Ry

/11/ Välimäki, K., & Niemelä, M. (Toim.). (2023). Teollisuuden robotiikka. 233–236  
Suomen Robotiikkayhdistys Ry

/12/ Välimäki, K., & Niemelä, M. (Toim.). (2023). Teollisuuden robotiikka. 237–238,  
Suomen Robotiikkayhdistys Ry

/13/ ABB:n verkkosivut Viitattu 14.12.2023 <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>

/14/ Välimäki, K., & Niemelä, M. (Toim.). (2023). Teollisuuden robotiikka. 231–232,  
Suomen Robotiikkayhdistys Ry

/15/ Gillespie, L. K. 1999. Deburring and Edge Finishing Handbook. 50-55 American Yhdysvallat. Society of Manufacturing Engineers.

/16/ Kuva 8. ABB IRB 6700 Product specification. Viitattu 13.12.2023  
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC044265-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

/17/ Fastems Oy verkkosivut Viitattu 7.1.2024 <https://www.fastems.com/offering/mms/#action1.2024>

/18/ Fastems Oy verkkosivut Viitattu 7.1.2024 [https://www.fastems.com/wp-content/uploads/2019/01/MMS\\_Brochure\\_A4\\_EN\\_WEB.pdf](https://www.fastems.com/wp-content/uploads/2019/01/MMS_Brochure_A4_EN_WEB.pdf)

/11/ Välimäki, K., & Niemelä, M. (Toim.). (2023). Teollisuuden robotiikka. 119 Suomen Robotiikkayhdistys Ry