



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jarno Salmi

# LINJAOPERAATTOREIDEN SERTIFIOINTIOHJELMA

Koulutusohjelma ABB Smart Powerin operaattoreille

Tekniikka, Teollisuusrobotiikka  
2023

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jarno Salmi
Opinnäytetyön nimi	Linjaoperaattoreiden sertifiointiohjelma
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	68 + 2 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

---

Gloaalissa taloudessa toimivan yrityksen on jatkuvasti kehityttävä ja pidettävä huolta kilpailukyvystään. ABB Smart Power -yksikössä on jo useamman vuoden ajan panostettu tuotannon ja tuotteiden kokoonpanon automatisointiin. Automaatiosoinnin avulla tehdas on pystynyt parantamaan merkittävästi tuotteiden laatua sekä tuottavuutta. Lisääntynyt automaatio ja robottien määrä tehtaalla on kuitenkin tuonut mukanaan uusia tarpeita henkilöstön osaamiselle.

Yksikössä on järjestetty henkilöstölle vuosien aikana automaatioon suunnattuja koulutuksia yhteistyössä paikallisten oppilaitosten kanssa. Työn tarkoituksena oli kartoittaa tehtaalla toimivien linjaoperaattoreiden osaamisen tasoa haastattelemalla kyseisessä tehtävässä toimivia henkilöitä sekä eniten heidän kanssaan työskenteleviä sidosryhmiä. Tämän perusteella luotaisiin koulutuskehys, jolla voitaisiin varmistaa tietyn tasoiset edellytykset toimia tehtävässä.

Yksittäisten operaattoreiden osaamisen tasossa on havaittu kohtalaisia eroja ja koska automaattiset kokoonpanolinjat ovat monimutkaisia järjestelmiä on työssä pyritty kokoamaan mahdollisimman kokonaisvaltainen paketti asioita, jotka tulisi koulutuksessa käsitellä. Laajalla opastuksella edesautettaisiin linjaoperaattoreiden systeemiajattelua ja toimintojen riippuvaisuuksien huomaamista. Koulutuspaaketilla pyritään myös motivoimaan henkilöitä jatkokoulutuksen pariin.

## ABSTRACT

Author	Jarno Salmi
Title	Line operator certification program ABB Smart power
Year	2023
Language	Finnish
Pages	68 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

---

An industry that operates in a global environment needs constantly to develop and maintain its competitiveness. The ABB Smart Power factory has for years leaned on automatizing the operations in production and logistics. With support of automation the factory has been significantly improving the productivity and quality. Then increasing level of automation has however brought additional requirements regarding personnel competences.

To follow the increasing demand of automation knowledge among assembly workers and operators the factory has been organizing targeted training programs with the local educational institutes. The target of this thesis was to investigate the level of knowledge of the line operators by interviewing them and the functions in close co-operation with the operators. Based on the result a training framework would be created that would secure a base knowledge level that is required from the line operators.

The competence level among individual line operators has been found to have large variation. Because the production lines are complex systems consisting of multiple different technologies, was the target to create a broad program addressing the basics in multiple fields of automation. The target with the broad scope of training is to enforce the system thinking of the operators and support them to see the dependences between different systems. The aim of training program is also to introduce and encourage the personnel to further educate themselves.

---

Keywords                      robotics, training, automation, certification, operator

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	ABB OY JA SMART POWER -YKSIKKÖ.....	8
2	AUTOMAATION JA ROBOTIIKAN KEHITYS .....	9
3	ROBOTIIKAN PERUSTEET .....	11
3.1	Erityyppiset robotit ja niiden käyttökohteet .....	13
3.1.1	Kiertyväniveliset robotit.....	14
3.1.2	Scara-robotit .....	14
3.1.3	Yhteistyörobotit .....	15
3.1.4	Delta-robotit.....	17
3.2	Liiketyypit ja liikkeen teoria .....	18
3.2.1	Koordinaatistot ja paikoitukset.....	21
3.2.2	Robotin ohjaaminen.....	22
3.2.3	Robotin ohjaaminen käsiajolla.....	25
3.3	Ohjelmoinnin perusteet.....	27
3.4	Erilaiset työkalut ja sovellukset.....	30
3.5	Tutustuminen ABB Smart Power yksikön toteutuksiin.....	33
4	AUTOMAATIOTEKNIIKAN PERUSTEET .....	38
4.1	Ohjelmointi .....	39
4.1.1	LD-ohjelmointi.....	40
4.1.2	FBD-Ohjelmointi.....	40
4.2	Logiikalle liitettävät signaalit .....	41
4.2.1	Digitaliset lähdöt sekä tulot .....	41
4.2.2	Analogiset lähdöt sekä tulot .....	42
4.3	Tiedonsiirto laitteiden välillä .....	43
4.4	Konenäön perusteet ja sovellukset tehtaalla .....	43
5	OHJAUSJÄRJESTELMÄT.....	46

5.1	Tehtaan ERP-järjestelmä SAP.....	46
5.2	Tehtaan MES järjestelmä Adafa .....	47
5.3	SQL-Serveri.....	49
6	OPERAATTOREIDEN TEHTÄVÄNKUVA .....	50
6.1	Operaattoreiden tunnistamat puutteet osaamisessa .....	51
6.2	Osaaminen, jota organisaatio operaattoreilta kaipaisi .....	53
6.3	Operaattorin työn kuva ja työvaativuusryhmä.....	55
6.4	Ohjetyö OTDC200-400 -linjalla .....	58
6.4.1	Työn kulku .....	58
6.4.2	Oppimisaika.....	60
6.4.3	Työn edellyttämä vastuu.....	60
6.4.4	Työolosuhteet .....	61
7	OSAAMISEN VARMISTAMINEN .....	62
7.1	Harjoitustyö .....	62
7.2	Harjoitustyön toteutus ja hyödyt.....	63
7.2.1	Ohjelmointi ja pääohjelma.....	63
7.2.2	Kirjaimien piirto aliohjelmilla .....	64
8	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄ.....	66
	LÄHTEET .....	67
	LIITTEET .....	70

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Taulukko 1.</b> Työehtosopimus 4.1.2020-30.11.2021 .....	56
<b>Taulukko 2.</b> Oppimisaika.....	56
<b>Taulukko 3.</b> Työolosuhteet .....	57
<b>Taulukko 4.</b> Teknologiateollisuus vaatavuusryhmät ja pisteet. ....	58
<b>Kuva 1.</b> Asennettujen robottien määrän kehitys (IFR. 2022) .....	12
<b>Kuva 2.</b> Vuodessa asennettujen robottien määrä (IFR. 2022).....	12
<b>Kuva 3.</b> Yleisempien robottien rakenteet ja työalueet, (ResearchGate. 2022)....	13
<b>Kuva 4</b> IRB1200 nivelvarsirobotti robotti (ABB. 2022 b.) .....	14
<b>Kuva 5.</b> ABB Scara-robotin työalue (ABB. 2022 b.).....	15
<b>Kuva 6.</b> ABB CRB15000 GoFa (ABB. 2022 b.) .....	17
<b>Kuva 7.</b> ABB Delta robotti (ABB. 2022 b.) .....	18
<b>Kuva 8.</b> Robotin toistotarkkuus .....	21
<b>Kuva 9.</b> ABB Robotin akseleiden konfiguraatiot myötä- ja vastapäivään.....	24
<b>Kuva 10.</b> ABB Flexpendant operating manual (ABB. 2016 a, 28) .....	27
<b>Kuva 11.</b> Malli ABB Rapid -kielestä ja aliohjelmasta.....	30
<b>Kuva 12.</b> Auroralinjan kameralla varustettu imukuppitarrain.....	32
<b>Kuva 13.</b> Aurora-kokoonpanolinja ABB Smart Power.....	34
<b>Kuva 14.</b> Komponenttien poiminta konenäön avulla .....	35
<b>Kuva 15.</b> Aurora-linja layout .....	37
<b>Kuva 16.</b> Omron PLC NJ501 (Omron 2022 a).....	39
<b>Kuva 17.</b> Integrated Vision -liitäntä IRC5-ohjausjärjestelmään (ABB 2016 b).....	44
<b>Kuva 18.</b> Konenäön kalibrointikuva (ABB 2016 b) .....	45
<b>Kuva 19.</b> Tuotantotilauksen SAP-prosessi .....	47
<b>Kuva 20.</b> Adafon kevennetty arkkitehtuuri.....	48
<b>Kuva 21.</b> Valmis RobotStudio -sovellus.....	62
<b>Kuva 22.</b> Harjoituksen pääohjelma .....	64
<b>Kuva 23.</b> R-kirjaimen aliohjelma .....	65

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Harjoitustyön ohjemateriaali

**LIITE 2.** Harjoitustyön RAPID-ohjelma

## 1 ABB OY JA SMART POWER -YKSIKKÖ

ABB yhtymä on globaali yritys, joka koostuu neljästä eri liiketoiminnan jaoksesta, jotka ovat: Electrification, Process Automation, Motion ja Robotics & Discrete Automation. Yhtymällä on toimintoja yli sadassa maassa ja noin 105 000 työntekijää. Yhtymän liikevaihto on noin 29 miljardia USAn dollaria, joka jakautuu maantieteellisesti hyvin tasaisesti kaikille kontinenteille.

ABB Oy:n Suomessa on merkittävä osa yhtiötä ja on tällä hetkellä henkilömäärältään kolmen suurimman maan joukossa. ABB:n juuret Suomessa johtavat vuoteen 1889 kun Gottfrid Strömberg ryhtyi itsenäiseksi yrittäjäksi toimittamalla Helsingin maistraattiin elinkeinoilmoituksen. Gottfrid toimi Strömbergin toimitusjohtajana vuoteen 1919 asti. ABB yhtiön synty alkoi 80-luvulla, kun Kymi-Kymmnen ja Strömberg fuusioituvat vuonna 1983 ja yhtiön nimeksi tuli Kymi-Strömberg. Kolme vuotta myöhemmin vuonna 1986 Strömberg siirtyi ruotsalaisen ASEA:n omistukseen ja vuonna 1988 ABB muodostui, kun ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. Nykyään yhtiön kaikki liiketoiminnat ovat edustettuna Suomessa ja ABB Oy työllistää noin 5 000 henkilöä ja yrityksellä on toimintoja noin 20 paikkakunnalla. ABB:n tehtaot Suomessa löytyvät pääsääntöisesti Helsingistä ja Vaasasta. (ABB. 2022 a)

Opinnäytetyö on tehty ABB Smart Power -yksikköön, joka on osa Electrification liiketoimintaa. Yksikkö valmistaa pienjännite (<1 000 V ja 1 500 VDC) turvakytkimiä, kytkinvarokkeita, vaihtokytkimiä ja koteloituja kytkimiä. Yksikön tuotevalikoima on laaja 16–4 000 A ja tuotteet on pääsääntöisesti tarkoitettu teollisuuskäyttöön. Tehtaalla valmistetaan vuosittain useita miljoonia kytkintä, joista yli 90 % myydään vientimarkkinoille. Yksikkö työllistää satoja henkilöitä Vaasassa ja tehtaalla on pitkä kokemus automaatiosta. Ensimmäiset robotisoidut automaatiolinjat asennettiin tehtaalle 90-luvun alkupuolella ja sen jälkeen yksikkö on panostanut vahvasti Automaatioon vuosittain. Nykyään tehtaalla on 37 robottia, jotka ovat asennettuna usealle eri automatisoidulle linjalle tai kokoonpanosoluun.

## 2 AUTOMAATION JA ROBOTIIKAN KEHITYS

Automaatio on saanut alkunsa jo yli 2000 vuotta sitten ajalta, jolta tunnetaan erilaisia vesikelloja ja muita mekaanisia laitteita, joissa oli myös toiminnanohjaukseen liitettyjä takaisikytkentöjä. Automaation tarkoituksena on alusta lähtien ollut suorittaa tehtäviä, joita ihmisen on ollut haastavaa tehdä. Tehtävät ovat olleet prosesseja, jotka esimerkiksi vaativat jatkuvaa tarkkaa seuranta. Monissa prosesseissa tämän kaltainen valvonta voidaan kehittyneen automatiikan avulla hoitaa ihmistä huomattavasti tehokkaammin sekä laadukkaammin. Monissa prosesseissa ihmisen nopeus tai tarkkuus ei riitä tarvittavaan tasoon tehtävän laadulliseen suorittamiseen. Automaatio lähti kasvuun teollisen vallankumouksen yhteydessä, jonka aikana Joseph Marie Jacquard kehitti reikäkorteilla ohjatun kutomakoneen, joka kykeni kutomaan erilaisia kuvioita ohjelmien avulla. Jacquardin kutomakone vaikutti merkittävästi tietokoneiden ja tietokoneohjelmien kehitykseen. 1800-luvun lopulla sähkömagnetismi tuli mukaan automatiikkaan ja erilaiset analogia ja reletekniikkaan pohjautuvat ratkaisut alkoivat kehittyä. Pohjan nykyisille automaatoratkaisuille loivat mikroprosessorit, jotka tulivat 1970-luvulla käyttöön. Mikroprosessoreiden avulla pystyttiin toteuttamaan paljon monimutkaisempia ohjauksia, säätöalgoritmeja ja käyttöliittymiä. (Aalto Otto. 2018)

ISO 8373:2021 määrittelee teollisuusrobotin automaattisesti ohjatuksi uudelleenohjelmoitavaksi toimilaitteeksi, joka kykenee liikkumaan vähintään kolmella eri akselilla ja on asennettavissa joko kiinteälle tai liikuteltavalle alustalle ja suunniteltu teolliseen käyttöön. (ISO-8373-2021. International Standard)

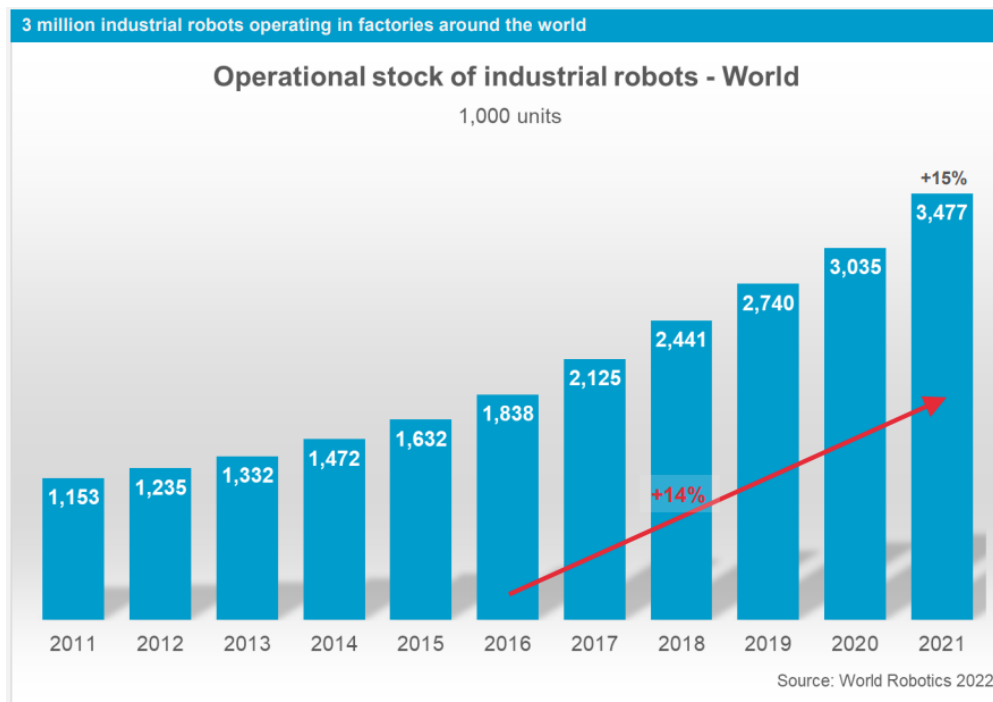
Teollisuusrobottien nähdään saaneen alkunsa 1950-luvulla, kun amerikkalainen Joseph Engelberger lähti kehittämään Unimate-robotiaan. Kyseisen robotin ensimmäinen käyttäjä oli General Motors, jonka New Jerseyyn tehtaalle 1959 asennettiin ensimmäinen Unimate -robotti. (Tekniikka & Talous 2022) Tämän jälkeen robotit yleistyivät nopeasti autotehtailla, ja autoteollisuus on edelleen yksi suurimpia te-

ollisuusrobotiikan käyttäjistä. Näin on myös suomessa, jossa Uudenkaupungin autotehtaalla oli vuonna 2017 käytössä lähes 500 robottia. Näistä noin 300 robottia on osa suomen suurinta robottikauppaa, joka tehtiin vuonna 2013 ja 2017 Mercedes-Benzin A-Sarjan sekä GLC-sarjan autojen hitsaustöitä varten. (Valmet Automotive. 2022)

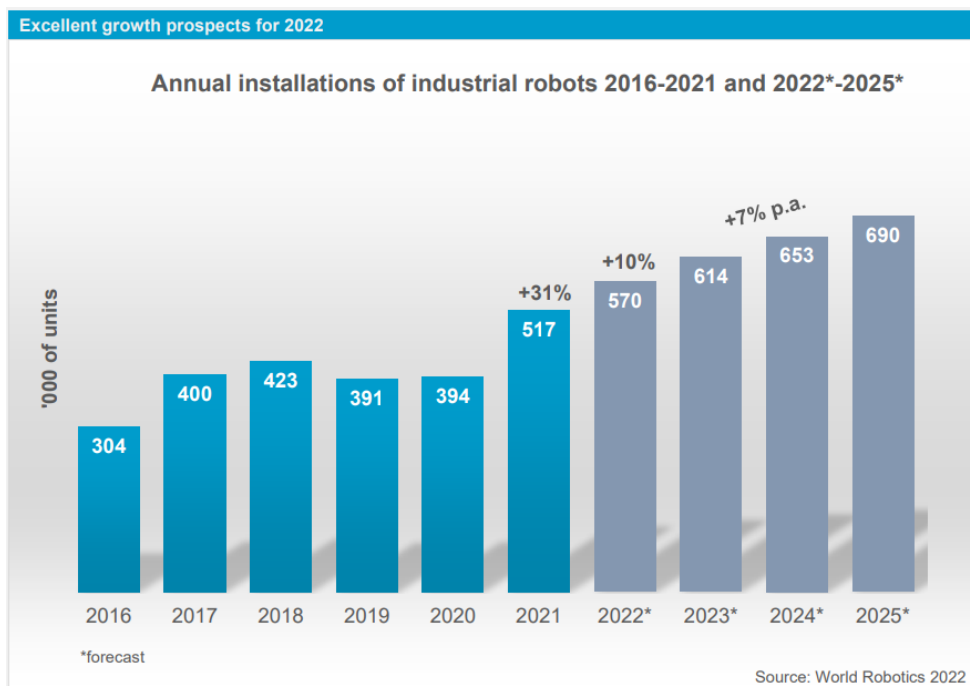
### 3 ROBOTIIKAN PERUSTEET

Teollisuusrobotteja valmistaa tällä hetkellä yli 500 yritystä, joista kullakin on valikoimassaan useita eri malleja. Keskimäärin valmistajien yhden mallin elinkaarin on ollut noin 4 vuotta. Teollisuusrobotti voidaan yksinkertaisesti kuvata laitteena, joka siirtää työkalua tai työstettävää kappaletta haluttuun paikkaan joko ennalta määritettyä liikerataa pitkin tai sitten ympäristössä tapahtuvien muutosten perusteella. (Kuivanen Risto. 1999, luku1, 2–3)

Vuonna 2021 maailmalla asennettiin ennätys määrä 517 000 uutta robottia ja toiminnassa olevien robottien määrä nousi näin lähes 3,5 miljoonaan yksikköön. Suurin kasvu robottien määrässä maailmalla oli vuonna 2021 Kiinassa, jossa asennettiin yli 268 tuhatta teollisuusrobottia. Euroopassa eniten robotteja asennettiin Saksassa noin 23 800 kpl. IFR (International Federation of Robotics) näkee että robottien määrän kasvu tulee myös tulevaisuudessa jatkumaan vahvana, vaikka markkinoiden epävarmuus sekä elektroniikka komponenttien saatavuus ovatkin asettaneet haasteita vuoden 2022 kasvulle. Viime vuosina elektroniikkateollisuus on mennyt autoteollisuuden edelle uusien robottien asennusmäärässä. (IFR. 2022)




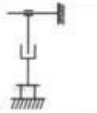
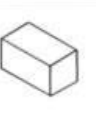
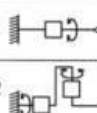
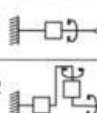
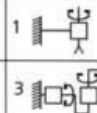
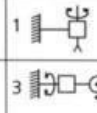
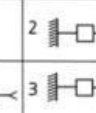


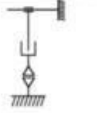

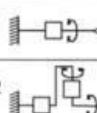
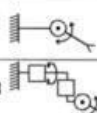
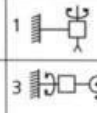
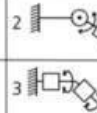

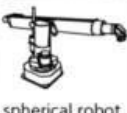


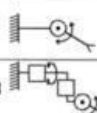
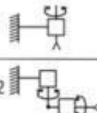
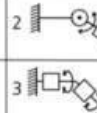
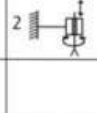
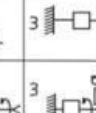


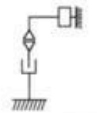

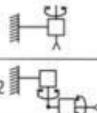
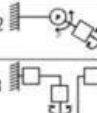
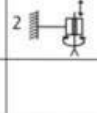
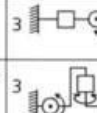




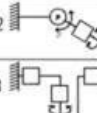

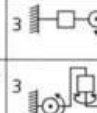

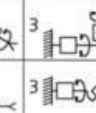

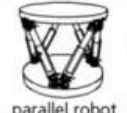


**Kuva 1.** Asennettujen robottien määrän kehitys (IFR. 2022)



**Kuva 2.** Vuodessa asennettujen robottien määrä (IFR. 2022)

### 3.1 Erityyppiset robotit ja niiden käyttökohteet

Standardissa ISO 8373 määritellään teollisuusrobotiikan sanastoa sekä yleisimmät robottimallit niiden mekaanisen rakenteen mukaan. Kuvassa 4 on esitelty ISO8373 standardissa määritellyt yleisimmät teollisuusrobotit. Tässä jaksossa keskitytään kuitenkin niihin robottimalleihin, joita löytyy ABB:n tarjonnasta ja joita on käytössä Smart Power tehtaalla Vaasassa. ABB:llä löytyy tarjonnasta nykyään erittäin laaja valikoima erilaisia robotteja. Valikoimaan kuuluu yhteistyörobotteja, teollisuusrobotteja, mobiilirobotteja sekä valmiita robottisoluratkaisuja esimerkiksi paketointiin.

Robot	Axes		Wrist (DOF)		
	Principle	Kinematic Chain			
 cartesian robot			1  2 	1  3 	2  3 
 cylindrical robot			1  2 	1  3 	2 
 spherical robot			1  3 	2  3 	3  3 
 SCARA robot			1  2 	2  3 	2 
 articulated robot			2  3 	3  3 	3  3 
 parallel robot					

**Kuva 3.** Yleisempien robottien rakenteet ja työalueet, (ResearchGate. 2022)

### 3.1.1 Kiertyväniveliset robotit

Suurin osa Smart Power tehtaalla asennetuista roboteista ovat 6 akselisia nivelvarsirobotteja, joista käytetään myös käsivarsirobotti nimitystä. Robotin käsivarren pituus ja koko on valittu liikuteltavan kappaleen painon ja työalueen tarvittavat ulottuvuudet huomioiden. ABB:n tarjonnasta löytyvä suurin robotti on tällä hetkellä IRB 8700 malli, jolla voidaan liikutella jopa 800 kg kuormaa ja sen ulottuvuus on 4,2 m. Näissä roboteissa kaikki vapausasteet ovat kiertyviä ja ne ovat tyypillisimpiä teollisuusrobotteja monipuolisuutensa ansioista. Tyypillisiä käyttökohteita kiertyvänivelisille roboteille on hitsaaminen, erilaiset materiaalin työstämiset ja kokoonpano. (ABB. 2022 b.)

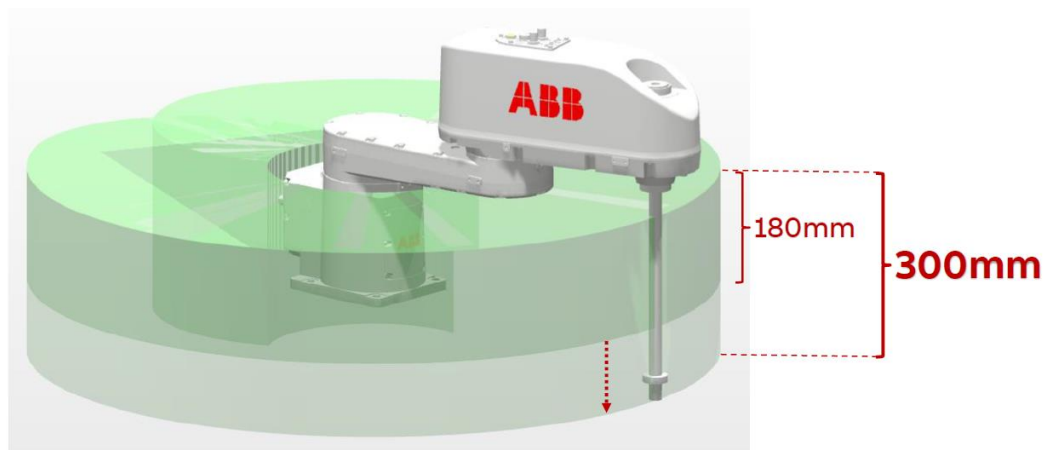


**Kuva 4** IRB1200 nivelvarsirobotti robotti (ABB. 2022 b.)

### 3.1.2 Scara-robotit

Scara-roboteissa on 4 vapausastetta, joista yksi liikuttaa robottia pystysuunnassa lineaarisesti ja loput ovat kiertyviä. Nimitys scara tulee lyhenteenä englanninkielisestä nimityksestä Selective Compliance Assembly Robot Arm. Scara-robotit ovat yleensä hieman pienempiä ja omaavat noin 10 kg kantokyvyn. Myös robotin ulottuvuus on koon takia hieman rajoitetumpi. Scara-robottien etuja on niiden kyky nopeisiin tarkkoihin liikeratoihin. Tämän takia kyseisiä robotteja käytetään hyvin

paljon mm. elektroniikkateollisuudessa, lääketieteellisyydessä sekä elintarviketeollisuudessa. Uuden automaattilinjan investoinnin myötä myös Vaasan tehtaalle on tulossa useampi scara-robotti. Scara-robottia käytettäessä on kaikki työvaiheet tehtävä kohtisuorasti sillä robotilla ei ole kykyä kiertää työkalua. (ABB. 2022 b.)



**Kuva 5.** ABB Scara-robotin työalue (ABB. 2022 b.)

### 3.1.3 Yhteistyörobotit

Yhteistyörobotit ovat teollisuusrobotteja samalla tavalla kuin normaalit nivelvarsirobotitkin. Nykyään standardit, lainsäädäntö ja direktiivit mahdollistavat ihmisen ja robotin yhteistyön samassa tilassa. Tämä edellyttää kuitenkin laitteelta eli robotilta tiettyjä erikoispiirteitä, etenkin turvallisuus puolella. Yhteistyörobotin on noudatettava vähintään yhtä alla olevista SFS-EN ISO 10218-1 kohdista.

5.10.2 Turvaluokiteltu valvottu pysäytys. Ihmisen tullessa yhteiseen työtilaan on robotin pysähdyttävä ja se voi automaattisesti jatkaa toimintaa vasta kuin ihminen on poistunut.

5.10.3 Käsien ohjaaminen. Laitteisto, jolla robottia ohjataan käsin, on sijoitettava lähelle robotin työkalua. Käsien ohjattaessa robottia on siinä oltava aktivoituna turvallisuuteen liittyvä valvottu nopeustoiminto.

5.10.4 Nopeuden ja vähimmäisikäisyyden valvonta. Robotin on jatkuvasti ylläpidettävä määritettyä nopeutta sekä vähimmäisetäisyyttä käyttäjästä. Nopeus ja vähimmäisetäisyystoiminnot voidaan toteuttaa ulkoisten sisääntulojen yhdistelmänä tai kiinteillä osilla.

5.10.5 Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnitelulla tai ohjauksella. Robotin voima ja teho on rajoitettuna standardin kohdan 5.4 mukaisesti.

ABB:llä on tarjonnassa 4 erilaista yhteistyörobottia esimerkiksi YuMi sekä uusi CRB15000 – GoFa. Nämä robotit on toteutettu kohdan 5.10.5 mukaisesti ja niiden nopeutta ja voimaa on rajoitettu. Yhteistyörobottien ulkomuodoissa on myös otettu huomioon se, että ne sijoitetaan työskentelemään lähelle ihmisiä. Mahdollisten törmäysten vuoksi niiden muodoissa vältetään teräviä kulmia ja osa robotin rakenteista saattaa olla pehmustettuja. GoFan kaikki 6 niveltä on varustettu voimanmittausantureilla, joiden avulla robotti havaitsee välittömästi törmäyksen ja pysähtyy. Yhteistyöroboteilla voidaan kannatella ja käänellä esimerkiksi raskaita kappaleita samalla kun niitä työstetään tai pienemmät robotit voivat olla avustamassa esimerkiksi materiaalin siirrossa kokoonpanolinjalla tai tekemässä jotakin useasti toistuvaa työvaihetta. (ABB. 2022b.)



**Kuva 6.** ABB CRB15000 GoFa (ABB. 2022 b.)

### **3.1.4 Delta-robotit**

Delta-robotit tai rinnakkaisrakenteiset robotin on yleensä työkohteen yläpuolelle asennettavia robotteja. Näillä roboteilla on kohtalaisen pieni työalue mutta niiden etuna on erittäin nopea toiminta. ABBn delta-roboteilla voidaan suorittaa 25mm-305-25 mm työkiertoja yhden kilon kuormalla 0,35 sekunnissa. Tyypillisiä käyttökohteita rinnakkaisrakenteisille roboteille on erilaiset pakkaussovellukset, joissa tarvitaan käsitellä suuri määrä pieniä tuotteita lyhyessä ajassa. Rinnakkaisrakenteisrobotteja on suunniteltu myös elintarviketeollisuutta varten, joissa esimerkiksi nivelet ovat rasvattomia ja rakenteet tehty korkealla tiiveysluokalla helpottamaan puhtaanapitoa. (ABB. 2022b.)



**Kuva 7.** ABB Delta robotti (ABB. 2022 b.)

### 3.2 Liiketyypit ja liikkeen teoria

Koska lähes kaikki robotit Smart Power tehtaalla ovat nivelvarsirobotteja tarkastellaan tässä jaksossa pääsääntöisesti niiden liikkeitä. Nivelisessä robotissa jalustan ja työkalulaipan välissä on tukivarsia ja niveliä. Nivelten määrä, määrää myös sen, kuinka monta vapausastetta kyseisellä robotilla on. Nivelten ja vapausasteiden määrä valitaan tarvittavan työsuorituksen perusteella. Kun robottia valitaan, pyritään nivelten määrä pitämään mahdollisimman pienenä, koska mitä suurempi määrä niveliä sitä monimutkaisempi on laitteen rakenne ja yleensä se tarkoittaa korkeampaa hintaa. Robotin ohjelmointi on joskus myös haastavampaa, jos vapausasteita on enemmän. Standardoidakseen omaa tuotantoa valmistajat ovat kuitenkin keskittäneet valmistuksen tiettyihin rakenteisiin. Nivelet, joilla muutetaan tukivarsien keskinäisiä asentoja ovat teollisuusroboteissa joko kiertyviä tai lineaarisesti liikkuvia. Jotta työkalu saadaan missä tahansa robotin työalueella mihinkä tahansa asentoon tarvitaan robotilla kuusi vapausastetta, joista vähintään kolmen on oltava kiertyviä. Nivelten liikutteluun käytetään useimmiten sähköisesti ohjattavia servomootteja. Rakenteiden vuoksi moottoreita ei kuitenkaan voida aina sijoittaa suoraan nivelen kohdalle, tämän takia tarvitaan moottorin ja nivelen välille voimansiirto. Voimansiirrolla voidaan myös parantaa robotin liikkeen nopeutta sekä tarkkuutta. Useimmiten voimansiirto on toteutettu hammaspyörillä, mutta eri valmistajilta löytyy myös ratkaisuita, joissa käytetään hammashihnoja,

työntötankoja, kuularuuveja, vipumekanismeja tai ketjuja. Koska Robotin voimaa ohjataan sähkömoottoreilla, on nivelet varustettu nykyroboteissa aina myös jarruilla. Näin varmistetaan, että sähkökatkon tai muun vikatilanteen tullen robotti ei pääse romahtamaan alas laitteiston päälle tai pudottamaan käsiteltävää kappaletta. Jarrut toimivat yleisimmin niin että virran ollessa päällä nämä ovat vapautettuna ja ohjausjännitteen kadotessa ne sulkeutuvat. Tämän takia robotin jarrut täytyy vikatilanteen useimmiten käytä vapauttamassa. (Kuivanen 1999, luku1, 4–10)

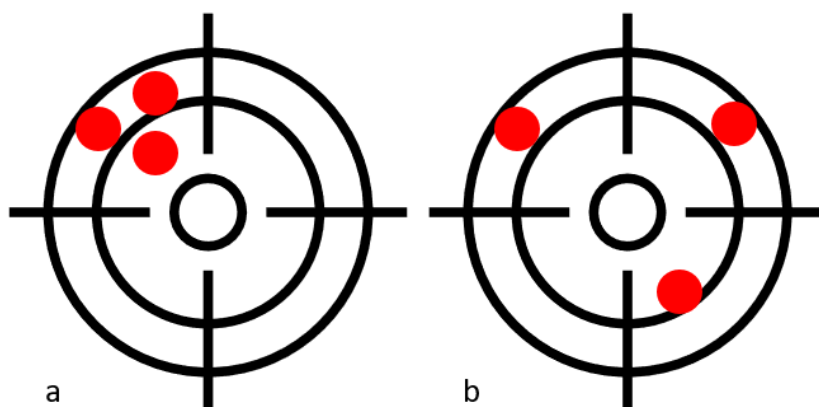
Jotta robotilla voidaan ohjata ja viedä siihen kiinnitettyä työkalua tai kappaletta halutulla tavalla on robotin pystyttävä muuttamaan haluttu työkalun paikka, robotin nivelten paikkaohjearvoksi. Tämän kaltaista tehtävää robotille kutsutaan käänteiseksi kinemaattiseksi tehtäväksi. Robotille voidaan myös antaa työkalunpaikka suoraan nivelten paikkaohjearvoina ja robotin pitää myös pystyä laskemaan työkalupisteen paikka nivelkulmien avulla, eli selvittämään jatkuvasti TKP:n paikka ja asento peruskoordinaatistossa. Tätä kutsutaan suoraksi kinemaattiseksi tehtäväksi. Robotin nivelten asematieto on siis ohjaamisen kannalta oleellinen tieto laitteistolle. (Kuivanen 1999, luku1, 10–17) Robotin ranteen nivel kiertyy useassa eri mallissa lähes 2 kierrosta, jolloin sitä liikuttava servomoottori pyörii usein 20–60 kierrosta. Robotin ohjaimen on jatkuvasti pidettävä selvillä, kuinka monta kierrosta servomoottori on pyörinyt ja mikä nivelen kulma on. Jokaista robotin nivelen kulmaa seurataan paikantamisanatureilla, jotka välittävät tietoa ohjainyksikölle tuhansia kertoja sekunnissa. Näin saadaan selville tietoja liikesuunnasta, kiihtyvyydestä, ja nopeudesta. Asema-antureina tyypillisimmät mallit ovat pulssianturit, absoluuttianturit sekä resolverit, ABB:n roboteissa käytetään mm resolveita. Pulssiantureissa akselin pyöriessä lähettää tämä pulsseja ohjainyksikölle, joita lasquemalla pidetään robotin liikkeestä tietoa yllä. Pulssiantureilla toteutetun järjestelmän on käynnistysvaiheessa tiedettävä nivelten alkuasema, jonka takia tämän tyyppiset robotit oli aikaisemmin yleensä käynnistysvaiheessa kalibroitava. Nykyään robotit on yleensä varustettu paristovarmennetulla muistilla, joka ylläpitää paikkatietoja virran katketessa. Anturin ja ohjauskulman tarkkuus riippuu siis puls-

sien määrästä ja näitä voi olla esimerkiksi 2500 yhtä kierrosta kohden. Pulssianturit on yleisimmin toteutettu optomekaanisesti, jossa akseliin on kiinnitetty hila-kiekko ja luku tapahtuu optisella infrapunalukuhaarukalla. Pulssianturiratkaisut ovat tarkkoja ja edullisia toteuttaa, mutta tarvitsevat alkuasennon määrittämisen, sisältävät liikkuvia osia ja vioittuessaan voivat aiheuttaa vaaratilanteita.

Absoluuttiantureita käytetään tietyissä erikoisroboteissa ja nämä ilmoittavat akselin todellisen sijainnin digitaalisessa muodossa ohjausjärjestelmälle. Koska absoluuttisella anturilla varustettu robotti tietää jatkuvasti niveliensä kiertymäkulmansa, ei näillä roboteilla tarvitse tehdä käynnistyksen yhteydessä synkronointiliikkeitä. (Kuivanen 1999, luku2, 1–5)

Robotti määrittelee sijaintinsa nivelissä sijaitsevien antureiden ja nivelasentojen kulman funktiona. Robotin rungon ja tukivarren sisällä on sijoitettuna paljon kaapeleita, jotka kuljettavat tärkeää tietoa robotin ohjausyksikölle. Nämä kaapelit joutuvat toistuvien liikkeiden ja taivutusten takia kovalle rasitukselle ja tämän takia kaapeleiden laadulla on merkittävä vaikutus robotin laatuun. Koska antureissa tulee jonkin verran virhettä mittauksessa ja robotin tukivarret ja rakenteet saattavat asennosta, käsiteltävän kappaleen painosta tai ohjausvauhdista hieman taipua ei robotti osu täsmällisesti samaan paikkaan. Robotin tarkkuus määritellään yleensä toistotarkkuudella ja paikoitustarkkuudella. Toistotarkkuudella tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin robotti osuu kerta toisensa jälkeen samaan kohtaan ja paikoitustarkkuudella sitä, kuinka hyvin robotti osuu koordinaatistossa määritellyyn kohtaan. Robotin laadun mukaan tarkkuus voi myös vaihdella ja laadukkaalla robotilla sen työkalulaippaa ohjattaessa kerta toisensa perään samaan kohtaan ovat osumakohdat pienemmässä keskittymässä. Tämänkaltainen virhe on helpompi kompensoida ohjelman puolella kuin silloin, jos hajonta on paljon suurempi eikä selkeästi keskittynyt mihinkään suuntaan. Kuvassa 8 a on visualisoitu pieni hajonta ja hyvä toistotarkkuus, ja kuvassa 8 b suuri hajonta ja toistotarkkuus. Tarkkuutta

voi koittaa parantaa esimerkiksi toisenlaisella konfiguraatiolla. Yleensä uudet robotit ovat kuitenkin hyvin tarkkoja ja ongelmat toistotarkkuudessa saattavat tarkoittaa virheitä ohjainyksikössä. (Kuivanen 1999)



**Kuva 8.** Robotin toistotarkkuus

### 3.2.1 Koordinaatistot ja paikoitukset

Koordinaatistoja käytetään määrittelemään robotin työpisteitä ja työalueita. Teollisuusroboteilla koordinaatistot ovat yleisesti oikeakätisiä suorakulmaisia koordinaatistoja. ISO 9787 - 2013 -standardissa on standardisoitu teollisuusrobotin pääkoordinaatistot kolmeen eri koordinaatistoon: maailmankoordinaatisto, peruskoordinaatisto ja työkalukoordinaatisto. Maailmankoordinaatisto määrittelee koko robotin työskentelyalueen. Tuotantosolun sisällä robotti voi olla esimerkiksi asennettuna liikkuvan jalustan päälle ja täten liikkua maailmankoordinaatistossa. Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan. Peruskoordinaatistossa tavallisesti Z-akseli yhtyy ensimmäiseen vapausasteeseen, X-akselin osoittaessa ensimmäisen vapausasteen työalueen keskikohtaan ja XY-koordinaatistot yhtyvät lattia-tasossa. Työkalukoordinaatisto on myös suorakulman muotoinen koordinaatisto, joka sidotaan lähtien työkalulaipasta haluttuun kohtaan laipassa kiinni olevaa työkalua. Joskus koordinaatisto voidaan myös sijoittaa työstettävään tai liikuteltavaan kappaleeseen. Vaikka robotit ovat pääsääntöisesti hyvin tarkkoja, esiintyy niissä jonkin verran epätarkkuutta kuten aiemmassa otsikossa on esitetty. Tämän

takia ei robotin ohjelmointia kannata tehdä paikoittamalla jokaista pistettä omaan. Kun käytetään suhteellisia liikkeitä muutamien opetettujen pisteiden avulla, on myös rikkoutunut laite paljon helpommin vaihdettavissa uuteen vastaavaan. Laitevaihdon yhteydessä riittää tällöin, että nämä opetetut pisteet käydään läpi uudestaan ja koska liikkeet pohjautuvat työstettävän kappaleen tai ympäristön suhteellisuuteen pitäisi kuljettavan matkan pysyä vakiona.

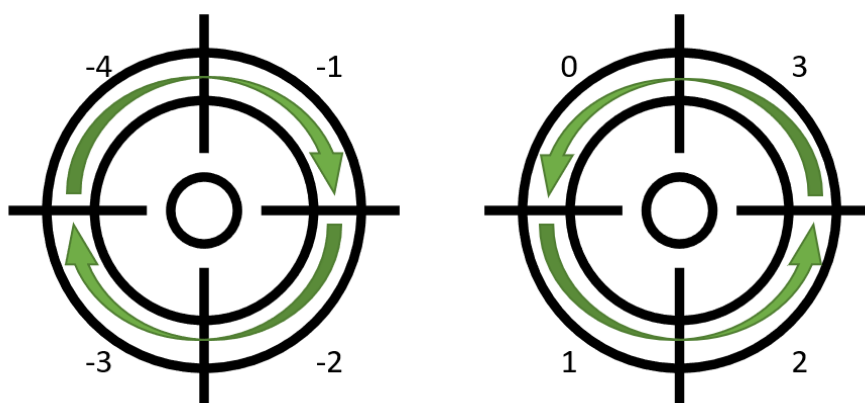
Eri koordinaatistojen käyttö tulee erilaisissa työstö- ja kokoonpanotehtävissä hyödylliseksi ja yksinkertaistaa ohjelmointia. Työkalukoordinaatioissa määritellyt työvaiheet voidaan helposti toistaa toisessa paikkaa perus- tai maailmankoordinaatistoa. Tämä myös yksinkertaistaa ohjelman muutoksia kuten työstettävän kappaleen muodon muutos tai työstettävien kappaleiden määrän kasvu. (Kuivanen 1999)

### **3.2.2 Robotin ohjaaminen**

Robotin ohjausjärjestelmät ovat reilaajassa toimivia prosessitietokoneita, jotka kykenevät reagoimaan ympäristössä tapahtuviin muutoksiin ja ohjaamaan robotin toimilaitteita millisekunneissa. Ohjausjärjestelmä koostuu useista eri tason ohjelmista, jotka vaihtavat keskenään tietoa viestien ja yhteisen muistin avulla. Useimmiten robotin ohjausjärjestelmä koostuu keskusyksiköstä laskentaa ja ohjelma-kiertoa varten. Massamuistista, jonne voidaan tallentaa robotin toimintasekvenssit ja paikoitustiedot. Käsiohjaimesta, jolla voidaan operoida ja ohjelmoida robotia. Liitäntärajapintoja tietokoneita ja uita laitteita varten ja nivelkohtaisista servolaitteista, joilla saadaan aikaan robotin liike. Vaaratilanteiden välttämiseksi roboteissa on yleensä erilaisia turvapiirejä, joiden on oltava kunnossa, jotta robotin ohjelma sallii sen liikuttamisen. Aikaisemmissa roboteissa keskusyksikön laskentateho rajoitti jonkin verran robottien kykyä liikkua sekä massamuistin tallennustila opetettujen paikkojen määrää. Tekniikan kehittyessä nämä asiat harvemmin enää nousevat rajoittavaksi tekijöiksi.

Robottia ohjattaessa ja sille liikekäskyjä annettaessa on huomioitava useita asioita kuten liikerata, nopeus, tarkkuus ja liiketyyppi. Nivelvarsirobotilla, jolla on 6 vapausastetta ovat nivelet yleensä kykeneviä kiertymään yli 360 astetta. Robotin nivelkulmissa ei kuitenkaan yleensä puhuta asteista, tämän sijaan tavataan käyttää radiaaneja. (Kuivanen 1999, luku 3) Käyttäjän helpottamiseksi esim. ABB RobotStudioissa robotin nivelkulmat esitetään asteina käyttäjälle, vaikka robotinohjain laskee kulmat radiaaneina.

Koska robotin nivelet kykenevät kiertymään yli kierroksen, tarkoittaa tämä sitä, että usein haluttuun työkalupisteeseen robotilla on useampi vaihtoehtoinen toteutusmahdollisuus. Nivelkulmien asentoa kutsutaan konfiguraatioksi ja se liittyy roboteilla kaksoismerkitysongelmaan. Yhtä robotin niveltä voidaan esimerkiksi kääntää puolikierrosta ja kompensoida tämä toisella akselilla. Väärällä konfiguraatiolla toteutettu työkalunasema voi kuitenkin johtaa esimerkiksi törmäyksen johonkin esteeseen kokoonpanosolun sisällä, työkalun kaapeleiden kiertymisen robotin rungon ympärille tai hitautta siirryttäessä seuraavaan työvaiheeseen. Eri robotin valmistajilla on hieman erilaisia tapoja ilmoittaa robotin konfiguraatio. ABBn roboteissa konfiguraatio ilmoitetaan paikoituskoordinaatiston päätteeksi neljällä numerolla. Ensimmäiset 3 numeroa indikoivat missä neljänneksessä robotin nivelet 1,4, ja 6 sijaitsevat. Arvot 0–3 kertovat mihinkä suuntaan nivel on kiertynyt keskiasennosta vastapäivään ja myötäpäivään lähtevä kierros ilmoitetaan kokonaisluvuilla -1 - -4 kuten kuvassa 9 on esitetty. Neljännellä numerolla kerrotaan robotin ranteen asennon ja 1-akselin ja alakäsivarren suhde. (ABB. 2008, 25.)



**Kuva 9.** ABB Robotin akselien konfiguraatiot myötä- ja vastapäivään

Kun robottia ohjataan paikasta toiseen, käytetään yleensä joko nivelliikkeitä, lineaariliikkeitä tai kaariliikkeitä. Nivelliike on robotille helpompi toteuttaa ja usein vie vähemmän aikaa, koska tässä liiketyypissä ei valvota nivelien liikettä. Robotille annetaan nivelliikkeessä koordinaatistosta piste mihinkä työkalu halutaan, jonka jälkeen robotti laskee millä nivelkulmilla se kyseisen pisteen nopeinten saavuttaa. Kun robotin kulkureitin määrittämiselle ei ole tarvetta voidaan nivelliikkeitä käyttää koska tällöin myös robotti yleensä kykenee siirtymään yhdellä liikkeellä määritettyyn pisteeseen.

Työstövaiheissa tai ahtaissa tiloissa yleensä esiintyy tarve ohjata tarkemmin robotin liikkeitä, tällöin käytetään yleensä joko kaari tai lineaariliikkeitä. Lineaariliikkeessä robotin työkalu määritellään kulkemaan ennalta ohjelmoitua rataa pitkin siirtyessään kahden pisteen välillä. Tässä liikemuodossa robotti joutuu käyttämään kaikkia vapausasteitaan ja rajoittamaan niiden toiminta ylläpitääkseen määritellyn liikeradan. Lineaari- ja kaariliikkeissä pyritään usein välttämään, että robotin konfiguraatio muuttuisi kesken liikkeen. Toteutettaessa pitkiä kaari- tai lineaariliikkeitä saatetaan myös törmätä singulariteettiongelmaan. Kuuden vapausasteen nivelvarsirobotissa tietyissä nivelten asennoissa robotti saattaa menettää jonkin vapausasteen käyttökelpoisuuden. Tällöinen tilanne voi tulla mahdolliseksi, kun lineaariliikkeessä kaksi robotin akselia tulevat yhdensuuntaisiksi. Tällöin lineaari-

liikkeen toteutus ei enää onnistu ja robotti yleensä pysähtyy virhetilaan. Singulariteettiasemien lähellä robotin liikettä on myös usein hankala saada sulavaksi ja ongelma johtuu robotin rakenteellisista ongelmista eikä ohjaustoiminnoista. Välttääkseen singulariteettiongelmat kannattaakin aina mahdollisuuden tullen käyttää nivelliikkeitä, jolloin robotti pääsee korjaamaan asentoaan.

Jotta robotti voisi liikkua tarvitaan järjestelmään robotin ohjausyksikkö. Lähes kaikki tehtaan robotin ovat varustettuna ABB:n viidennen sukupolven IRC5-ohjausyksiköllä. ABB:n ensimmäinen älykäs ohjainyksikkö lanseerattiin 1974 yhdessä IRB6 robotin kanssa, joka oli maailman ensimmäinen sähköisesti liikuteltava robotti. Robotin äly sisältyy tähän laitteeseen ja se antaa liikekäskyt itse robotille. Ohjainyksikkö pitää myös huolen robotin turvallisesta toiminnasta tarkastelemalla eri nivelien kulmia, nopeuksia ja niihin kohdistuvia voimia. Törmäyksen havaitessa ohjainyksikkö tunnistaa muutokset ja sammuttaa järjestelmän. Jos solu sisältää useamman robotin ei jokaiselle välttämättä tarvita omia ohjausyksiköitä. (ABB. 2022 b) ABB:n IRC5-ohjausyksikkö on varustettu MultiMove -toiminnolla, jolla voidaan ohjata jopa neljää robottia yhtäaikaaisesti. Tämä toiminnallisuus on saatu mahdolliseksi ohjausyksikön modulaarisella rakenteella ja suurella laskentateholla. Järjestelmä kykenee laskelmoimaan yhteensä jopa 36 servoakselin liikeraitoja. (ABB. 2022 c)

### **3.2.3 Robotin ohjaaminen käsiäjällä**

ABB -robottien käsiohjaus tapahtuu FlexPendantiksi nimetyllä laitteella, joka on yhdistettynä ohjausyksikköön. FlexPendantilla voidaan robotin käsiohjauksen lisäksi tarkastella robotin ohjelmaa ja tehdä siihen muutoksia. Ohjain on varustettu kosketusnäytöllä, hätäseispainikkeella ohjelmoitavilla napeilla sekä ohjaussauvalla, jolla voidaan liikuttaa robottia. Standardi IEC 60204-1 määrittelee myös, että kannettavissa ohjaus- ohjelmointilaitteissa on oltava kolmiasentoinen sallintalaite (F Enabling device). Sallintalaite on oltava pidettynä, jotta ohjain sallii robotin liikkeen. Flexpendantin näytöltä käyttäjä saa tietoja robotin tilasta erilaisten diagnostiikka sovellusten avulla. Näytöltä voidaan, tarkistaa onko robotin moottorit päällä

ja onko laita valmiina liikkumaan. Liikuttaessa robottia ensisijaisesti varmistettava turvallisuus niin että robotin lähistöllä ei ole muita henkilöitä. Käsiäjolla valitaan mitä robotin niveliä halutaan liikuttaa. Ohjauslaitteen paneelista löytyy pikanäppäin, jolla voidaan siirtyä ohjaamaan akseleita 1–3 tai 4–6. Käsiäjolla liikuteltaessa robottia on myös hyvä varmistaa robotin koordinaatiston suunnat ja asettaa vauhti maltillisen matalaksi. Käsiäjolla robottia ohjattaessa standardit määrittelevät työkalun turvalliseksi nopeudeksi 250 mm sekunnissa. Flexpendant -laite on suunniteltu niin että sitä kannatellaan vasemmalla kädellä laitteen takaa, jolloin samalla painetaan sallintalaite sisään. Ohjauslaitetta voi kuitenkin käyttää kääntämällä myös oikeassa kädessä. Ohjauslaitteen valikot ovat saatavissa kahdellakymmenellä eri kielellä mukaan lukien englanti, suomi ja ruotsi. (ABB. 2016 a)



xx1400001636

A	Connector
B	Touch screen
C	Emergency stop button
D	Joystick
E	USB port
F	Enabling device
G	Stylus pen
H	Reset button

**Kuva 10.** ABB Flexpendant operating manual (ABB. 2016 a, 28)

### 3.3 Ohjelmoinnin perusteet

Kun teknillisen laitteen kuten tietokoneen tai robotin halutaan tekevän asioita, tarvitaan tähän ohjelmointia. Koska älykkäiden laitteiden kommunikointi pohjautuu pääsääntöisesti bitteihin, jotka indikoidaan ykkösinä ja nollina, on eri laitteiden valmistaja luoneet ohjelmointikieliä, jotta ohjelma olisi helpommin kirjoitettavissa ja ymmärrettävissä. RAPID on ABB:n robottien käyttämä ohjelmointikieli, jossa käytetään pohjana englanninkielisiä lausekkeita kuten IF, FOR, MOVE jne. Ensimmäi-

siä robotteja ennen ohjelmointikielien kehitystä opetettiin liikkeisiin instrumenttinauhureilla. Kun instrumenttinauhuri oli kytkettynä robottiin, vapautettiin tämän toimilaitteet, jonka jälkeen ihminen liikutti robotin liikkeet käsin halutussa järjestyksessä. Robotin paikka-antureiden tiedot tallentuivat instrumenttinauhuriin, josta näitä voitiin käyttää hieman muokattuna ohjearvoina robotin nivelille. Tätä ohjelmointitapaa kutsutaan johdattamalla ohjelmoimiseksi. Kyseinen ohjelmointimalli on yleistynyt uudelleen yhteistyörobottien ohjelmoinnissa. Uusissa yhteistyöroboteissa ei kuitenkaan oteta talteen koko liikettä kuten instrumenttinauhurilla vaan ainoastaan paikoituspisteet. Ohjelmoinnin tärkeimpinä tehtävinä on laatia robotille toiminta- ja liikejärjestys, synkronisoida liikkeet ympäristössä olevien muiden laitteiden signaalien perusteella ja määritellä toimintaa vikatilanteessa.

Kokoonpanolinjoilla olevien robottien ohjelmat ovat monimutkaisia kokonaisuuksia, mutta periaate niissä on kuitenkin sama kuin yksinkertaisemmissä sovelluksissa. Robotin ohjelma koostuu yleensä pääohjelmasta ja useista aliohjelmista. Prosessista ja käyttäjältä tulevien muuttujien perusteella pääohjelmassa pyydetään robottia suorittamaan kutakin aliohjelmaa aikanaan. Robotille on aluksi hyvä määritellä kotiosoite, jossa robotin nivelet ovat sellaisessa asennossa, että sen on hyvä lähteä suorittamaan tarvittavia aliohjelmia ja työvaiheita.

Kuvassa 10 esitetyssä aliohjelmassa simuloidussa sovelluksessa työstetty tuote on juuri testattu onnistuneesti ja robotti tuodaan lähelle poimintapistettä lineaariliikkeellä. Move L -komennon perässä olevalla Offs -komennolla määritellään, että robotti jää 100 mm varsinaisen paikoitetut paikan pTestaus yläpuolelle. Offs -komennossa voidaan siirtymä varsinaisesta paikasta määritellä X,Y,Z -akseleilla. Paikan jälkeen ohjelma rivillä määritellään robotin nopeus v1000 ja tarkkuus z100. Nämä kertovat robotille, että haluttu liikenopeus on 1 000 mm sekunnissa ja työkalulaippa halutaan 100 mm tarkkuudella siihen pisteeseen mihinkä se on ohjattu. Kun robotti on ohjattu lähelle oikeaa pistettä, hiljennetään sen vauhtia tartuntaa varten ja ohjataan se täsmällisesti kiinni kappaleeseen lineaariliikkeellä. Kun työ-

kalulaippa on asettunut kiinni kappaleeseen, käynnistetään työkalussa oleva imu-tarttuja Set doVacuumOn -komennolla. Imuohjauksen jälkeen on asetettu odotusaika, jolla varmistetaan, että tartunta on tapahtunut. Nostettaessa kappaletta lähdetään robottia jälleen liikuttamaan hitaasti lineaariliikkeellä suoraan ylöspäin. Tämän jälkeen voidaan robotin laajemmat liikkeet kotipisteen kautta valmiiden kappaleiden ladontapisteelle suorittaa nivelliikkeitä hyödyntäen MoveJ -komennoilla. Viimeinen lähestyminen kohti valmiin kappaleen paikkaa tehdään jälleen hitaasti lineaariliikkeellä, jonka jälkeen tarttujan imuohjaus sammutetaan ja odotetaan jälleen hetki, jotta kappale varmasti on irronnut. Aliohjelman lopussa lisätään kahdeksan laskuriin yksi kappale. Laskurit on määritelty muuttujina komennolla VAR aikaisemmin ohjelmassa ja näitä voidaan hyödyntää esimerkiksi alla olevan mukaisesti paletointiratkaisun tekemiseen. Ohjelmat tulee aloittaa PROC -komennolla ja kun päättää ENDPROC -komentoon. Ohjelmat olisi aina kommentoitava mahdollisimman tarkasti koska tehtävien suoritukseen löytyy usein monta vaihtoehtoista ratkaisua. Vaikka yritykset, jotka tarjoavat robottisoluratkaisuja ovat pyrkineet standardoimaan ohjelmointityyliään vakio ratkaisuilla on ohjelmissa kuitenkin aina tekijänsä käsiala. Ohjelman kommentointi ja yrityksen sisäinen standardointi tehostavat useamman ohjelmoijan yhteistyötä sekä helpottavat ohjelman ymmärrystä ja vian etsintää.

```

187 PROC Vvienti()
188
189     !valmiin kappaleen haku testauksesta
190     MoveL Offs(pTestaus,0,0,100),v1000,z100,tVacuum\WObj:=wobj0;
191     !tarttujan kiinni vieminen kappaleeseen!
192     MoveL pTestaus,v100,fine,tVacuum\WObj:=wobj0;
193     !imun käynnistys!
194     Set doVacuumOn;
195     !odotus että kappale varmasti kiinnittynyt!
196     WaitTime(0.5);
197     !kappaleen nosto testilaitteesta!
198     MoveL pTestaus,v200,fine,tVacuum\WObj:=wobj0;
199     !kappaleen vieni kotipistettä kohden mistä voidaan jatkaa kohti valmiiden tuotteiden lavaa!
200     MoveJ pKoti,v1000,z100,tVacuum\WObj:=wobj0;
201     !Valmiin kappaleen vieni lavalle!
202     MoveJ Offs(pValmiskappaleU,nXKsiirtoV,nYKsiirtoV,-100),v1000,z100,tVacuum\WObj:=wValmiitLava;
203     MoveL Offs(pValmiskappaleU,nXKsiirtoV,nYKsiirtoV,0),v200,fine,tVacuum\WObj:=wValmiitLava;
204     !imun poiskytkentä tarttujasta!
205     Reset doVacuumOn;
206     !odotetaan että kappale on irronnut!
207     WaitTime(0.5);
208     !liikutetaan robotti irti kappaleesta!
209     MoveL Offs(pValmiskappaleU,nXKsiirtoV,nYKsiirtoV,-100),v200,fine,tVacuum\WObj:=wValmiitLava;
210     !lisätään laskuriin valmis kappale!
211     nViedyt:=nViedyt+1;
212     !siirrytään kotiosoitteeseen!
213     MoveJ pKoti,v1000,z100,tVacuum\WObj:=wobj0;
214     nValmiit:=nValmiit+1;
215
216 ENDPROC

```

**Kuva 11.** Malli ABB Rapid -kielestä ja aliohjelmasta

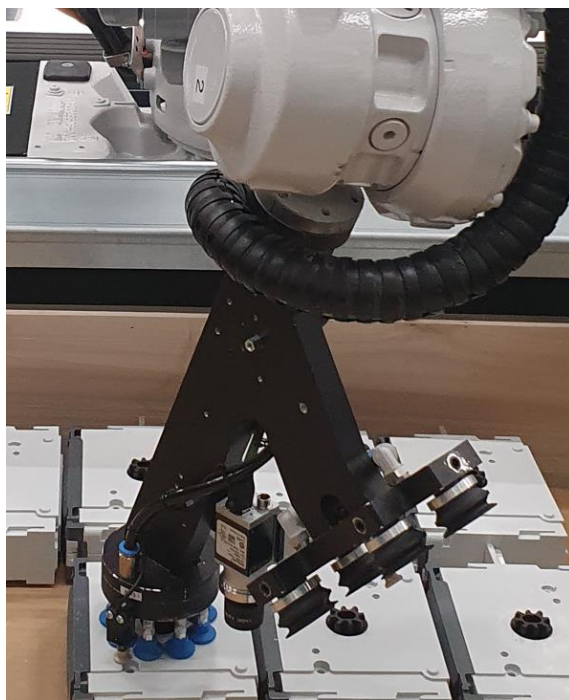
### 3.4 Erilaiset työkalut ja sovellukset

Työkalulla robotissa tarkoitetaan sitä laitetta tai osaa, jota robotilla siirretään paikasta toiseen. Työkaluista tavallisimpia ovat erilaiset tarraimet, joilla voidaan tarttua kappaleeseen kiinni ja siirtää se haluttuun paikkaan. Tavallisia työkaluja ovat myös valmistusprosessiin osallistuvat työkalut kuten hitsauspistoolit, maalausruiskut tai erilaiset aineiden kuten liiman tai rasvan suuttimet. Koska ABB Smart Power -tehdas on loppukokoonpanoon keskittyvä tehdas, kuuluu prosessiin paljon komponenttien siirtelyä, tämän takia tehtaassa ratkaisussa on paljon erilaisia tarraimia. Tarraimen on aina kyettävä kannattelemaan nostettavan komponentin paino sekä robotin liikkeistä kappaleeseen kohdistuva voima. Robotin liikkeet saattavat moninkertaistaa tarvittavan tartuntavoiman ja sen takia tarraimen mitoitus tehdään aina painavimman kappaleen ja maksimikihdytyksen yhdistelmällä. Robotin tarrain tai työkalu on tärkeä osa robottijärjestelmän kokonaisuutta ja sen takia sen turvallisuus ja toimintavarmuus on suunniteltavana kokonaisuutena. Turvallisesti vikaantuvassa tarraimessa kappale pysyy vikatilanteessa myös kiinni. Tarraimen

tulisi säilyttää tilansa ohjaussignaalin kadotessa tai hätäseistilanteessa. Kuten muissakin sovelluksissa myös tarraimissa turvapiirit on yleensä rakennettu sulje-  
tuilla piireillä, jolloin myös johtimen katkeaminen katkaisee virtapiirin ja aiheuttaa  
häiriötilanteen. Toimiakseen tarrain tarvitsee energiaa ja kyetäkseen toimia osana  
robottisolun kokonaisuutta on sen kyettävä kommunikoimaan järjestelmän  
kanssa, johonka tarvitaan anturointia. Yleensä anturit jaetaan toimintansa mu-  
kaan sisäistä tai ulkoista tilaa mittaaviin antureihin. Sisäistä tilaa mittaavilla antu-  
reilla tarkastellaan tarraimen toimintaa esimerkiksi sen avautumiskulmaa. Ulkoi-  
set anturit mittaavat käsiteltävän kappaleen tai ympäristön suureita. (Kuivanen  
1999, luku7, 2–14) Auroralinjan ensimmäisen robotin työkalussa on esimerkiksi  
kamera, joka mittaa ympäristöä ja antaa ohjausjärjestelmälle paikkatietoja mistä  
seuraava komponentti tulisi poimia. Tarraimessa on myös kosketusanturi, jolla  
tunnistetaan, että ollaan tarpeeksi lähellä kappaletta alipainetartuntaa varten.

Tarraimen suunnittelu olisi hyvä aloittaa jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, jolloin  
siihen on mahdollista lisätä automaattisen käsittelyn vaatimia piirteitä. Koska tar-  
rain ja siirrettävä kappale muodostavat robotin työkuorman pyritään tarrain pitä-  
mään mahdollisimman kevyenä, jotta se pienentäisi mahdollisimman vähän robo-  
tin hyötykuormaa, eli liikuteltavan kappaleen painoa. Hyvän tarraimen ominai-  
suuksia pienen koon ja kevyen rakenteen lisäksi ovat luotettava tartunta, modu-  
laarinen ja yksikertainen rakenne huollettavuuden parantamiseksi ja tartuttavien  
kappaleiden keskittäminen. Tarraimella voidaan myös tehdä osa valmistusproses-  
siin kuuluvista vaiheista. Auroralinjalla toisen robotin tarrain suorittaa navoille  
myös esikäännöt, jolla varmistetaan rullan oikea asento ennen paikoilleen asen-  
nusta. Tarraimen antureiden ja toimilaitteiden johdotuksiin tulisi kiinnittää eri-  
tyistä huomioita koska niihin kohdistuu paljon liikeitä ja taivutuksia. Johdotukset  
olisi suojattava sekä mekaaniselta kulumiselta, että sähköisiltä häiriöiltä. Johdo-  
tuksen tulee myös mahdollistaa työkalun tai tarraimen tarvittavat liikkeet tarttu-  
matta rakenteisiin solun sisällä. Huollettavuuden kannalta olisi antureiden ja joh-  
tojen oltava helposti vaihdettavissa. Tarraimia voidaan ohjata robotin ohjausjär-  
jestelmässä tai monimutkaisemmilla tarraimilla voi olla oma ohjausjärjestelmänsä

kuten OT200 -kokoonpanolinjalla Smart Power tehtaalla. Kyseisellä linjalla tarraimen PLC on sijoitettuna kiinni robotin runkoon työkalun yläpuolella. Kuvassa 12 auroralinjan tarrain, joka koostuu kahdesta erilaisesta imukupitarraimesta ja kamerasta. Pienemmillä sinisillä imukupeilla poimitaan komponentteja ja suuremmat mustat on suunniteltu tarttumaan komponenttien välissä oleviin pahveihin.



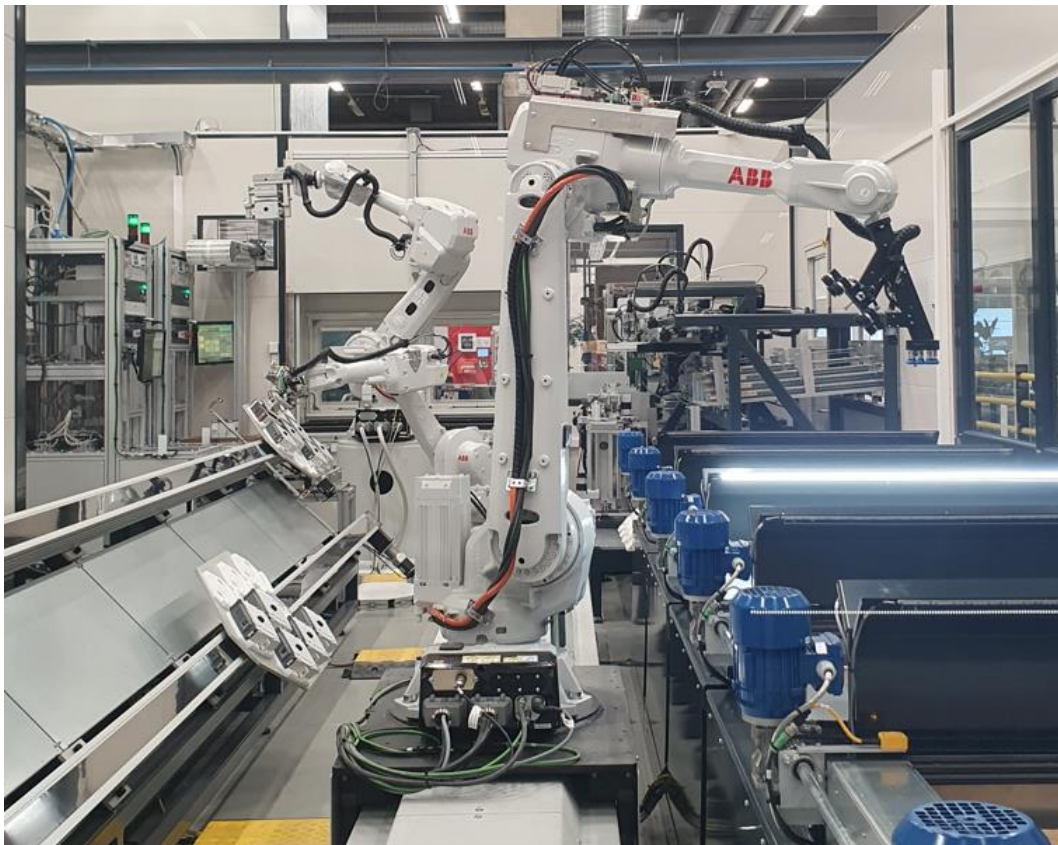
**Kuva 12.** Auroralinjan kameralla varustettu imukupitarrain

Tarraimet voidaan jakaa useaan eri ryhmään niiden toimintaperiaatteen mukaan. Smart Power -tehtaalla on pääsääntöisesti käytössä sulkeutuvia-, avautuvia- tai alipainetarraimia. Avautuvilla ja sulkeutuvilla tarraimilla tartutaan yleensä kappaleeseen sisä- tai ulkopuolisella otteella. Näiden tarraimien ote perustuu yleensä lepokitkaan, joka muodostuu tarraimenpinnan ja kappaleen välille. Hennompia kappaleita liikuteltaessa voidaan myös tarttua kappaleessa olevaan muotoon, jolloin yhtä suurta puristusvoimaa ei tarvita. Imutartunnassa kappaleeseen pääsääntöisesti tartutaan vain yhdeltä suunnalta. Kumisilla tai muovisilla imukupeilla varustettu tarttuja ei naarmuta nostettavan komponentin pintaa ja tämän takia kyseistä menetelmää käytetään mm. ikkunoiden poiminnassa OTNA1-200-kokoon-

panosolussa Smart Power -tehtaalla. Painavampien kappaleiden nostamiseksi voidaan imukuppien määrää lisätä. Järjestelmässä, jossa käytetään useampaa imukuppia, on kuitenkin huomioitava, että jo yhden imukupin irtoaminen johtaa alipaineen katoamiseen ja mahdolliseen kappaleen irtoamiseen, jonka takia on käytettävä varolaitteita. Imukuppitarttujien etuina on yksinkertainen ja luotettava rakenne koska ne sisältävät vähän liikkuvia osia. Tartunta vaatii tasaisen pinnan ja on lialle altis. Imukuppitartunta on hyvä tehdä mahdollisimman keskeltä nostettavaa kappaletta sillä se kestää parhaiten kohtisuoraa voimaa. Imukuppitartunta ei keskitä nostettavaa komponenttia ja tämän takia Smart Power -tehtaalla sekä Aurora- että OT400-linjalla käytetään kappaleen keskitykseen jigejä joihin kappale asetetaan poiminnan jälkeen. (Kuivanen 1999. Luku7)

### **3.5 Tutustuminen ABB Smart Power yksikön toteutuksiin**

Tarkasteluun valittiin tehtaalla viimeksi käyttöön otettu Aurora-linja. Automaattisella kokoonpanolinjalla voidaan valmistaa ja testata erittäin laaja valikoima erilaisia OTDC-kytkimiä virta-alueella 200–1 000 A, erilaisia kokoonpanokombinaatioita on 18. Tuotevalikoima koostuu kahdesta eri runkokoosta, joka myös lisää kokoonpanon monimutkaisuutta. Jotta tehtaalla olevien linjojen välillä olisi yhtäläisyyttä kokoonpanolinjan pääkomponentit ennalta määriteltä. Robotteina käytetään ABBn robotteja, Cognexin konenäköjärjestelmä, logiikkoina käytetään Omronin PLC-ratkaisuja ja pneumatiikka toimilaitteissa on käytetty Feston ratkaisuita. Kokoonpanolinja on rakennettu kolmella robotilla, indeksipöydällä ja kahdella testiasemalla. Linjan rakenteessa on huomioitu kokoonpanon tahtiaikavaatimus sekä vaatimus 120 min materiaalipuskureiden riittävydestä. Pääkomponentit tuodaan eurolavoilla linjalle. Materiaalipaikkojen rullaovet sulkevat mekaanisesti pääsyn linjan sisälle komponenttilavan ylläpuolelta, kun lavan vaihtoa suoritetaan. Näin saadaan aikaan mekaaninen suojaus ja linjaa ei tarvitse pysäyttää materiaalityydennyksien ajaksi, tämä lisää linjan käyttöastetta ja tehokkuutta.



**Kuva 13.** Aurora-kokoonpanolinja ABB Smart Power

Ensimmäinen robotti, joka on ABB IRB 4600 -mallinen on asennettu IRBT 2500 Motion Trackin päälle, jonka avulla se pystyy siirtymään kokoonpanosolun sisällä yltääkseen kaikille materiaalilavoille. Robotti poimii valitun reseptin mukaan komponentit ja asettaa ne lineaaritoimilaitteen tarjottimelle. Yhdelle tarjottimelle mahtuu kahdeksan komponenttia ja lineaari on varustettu kahdella päällekkäisellä tarjottimella, jotta odotusaikoja ei kokoonpanossa esiintyisi. Tarjottimet on asennettu 45 asteen kulmaan, jolloin komponentit keskittyvät paremmin paikoilleen seuraavan vaiheen asennusta varten. Linjan kokoonpano on robottien osalta esitettyä kuvassa 15. Ensimmäinen robotti on varustettu ABB PickMaster -kamerajärjestelmällä ja kamera on sijoitettu robotin päähän lähelle työkalua. Konenäön avulla ohjelma paikantaa poimittavan komponentin lavalta. Tartunta toteutetaan alipainetarttujalla. Robotin työkalu on varustettu joustavilla tarttujilla ja lähestymisanturilla koska konenäöllä ei voida määrittää pystysuuntaista etäisyyttä joutuu

järjestelmä laskemaan poimittujen kappaleiden määrää ja täten määrittellä poiminta kerrosta. Robotin jalustassa on QR-koodin lukija, jonka kautta komponentit vietään tarjottimelle. Komponenteista luetaan niiden sarjanumero, joka sitten tuotannon ohjausjärjestelmässä linkitetään lopputuotteen lajimerkkiin ja sarjanumeroon jäljitettävyyttä varten.

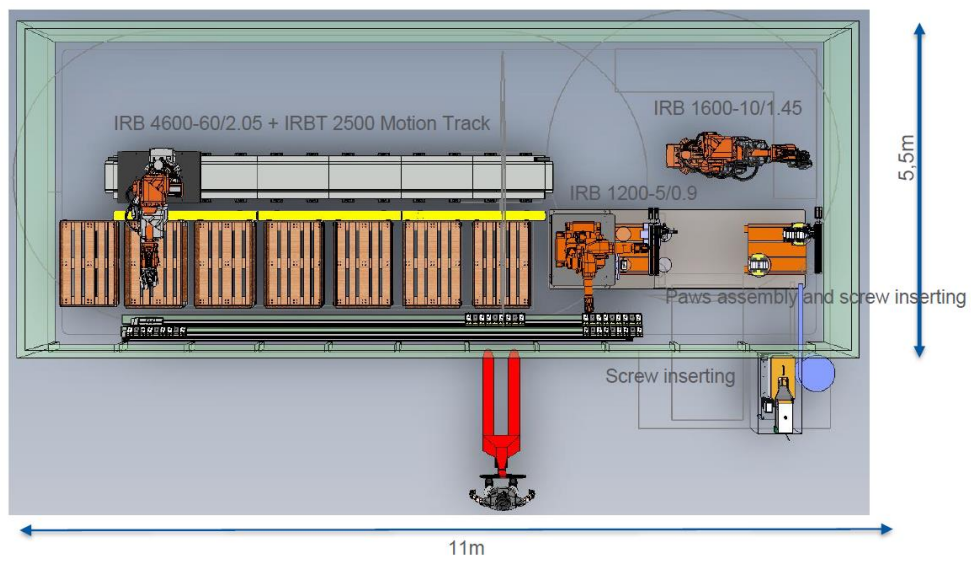


**Kuva 14.** Komponenttien poiminta konenäön avulla

Robotti 2 ABB IRB1200-5/0.9 poimii komponentit tarjottimelta ja asettaa ne MES-järjestelmästä tulleen ohjauksen mukaisesti indeksipöydän työkaluun. Robotti 2 myös poimii vaarnaruuvit, joilla navat ja mekanismit kiinnitetään toisiinsa hyllystä ja asettelee nämä paikoilleen kokoonpanossa. Robotti on varustettu haarukkamaisella tarttujalla, jolla se voi poimia neljä vaarnaruuvia kerrallaan. Kun komponentit

on asetettu pöydälle, pyöräytetään pöytää siten että kokoonpano siirtyy ruuvaus-  
asemalle kiinnitystä varten ja samalla Robotti 2 voi valmistella seuraavaa kokoon-  
panoa toiselle asemalle. Useissa kokoonpantavissa kytkinmalleissa vaarnaruuvit  
joudutaan myös asentamaan tuotteen toiselle puolelle. Indeksipyötä kykenee  
kääntämään tuotteen 180 astetta, jolloin vaaranruuvit saadaan asennettua myös  
toiselle puolelle kokoonpanoa.

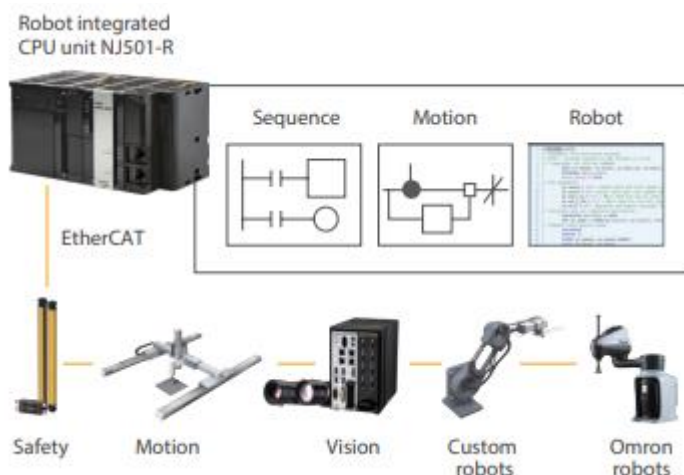
Robotti 3 ABB IRB 1600-10/1,45 Poimii kokoonpanon kytkimen indeksipyödältä  
ja siirtää tämän kiinnitystassujen asennusasemalle. Kytkimet kiinnitetään asennus-  
alustaan tassujen avulla applikaatioissa, joissa niitä käytetään. Kiinnitystassut tuo-  
daan asennusasemalle täryastian avulla ja kiinnitys ruuvit automaattiruuviväänti-  
mellä. Kun tassut on ruuvattu, on tuote kokoonpanon osalta valmis ja robotti 3  
käyttää tuotteen sarjanumero merkkauksessa, jonka jälkeen se sijoitetaan testi-  
laitteelle rutiinitestausta varten. Kokoonpanosolussa on 2 testilaitetta, joilla mo-  
lemmilla voidaan testata kaikki valmistettavat mallit. Kahdella testilaitteella pääs-  
tään testauksen osalta myös tavoiteltuun kokoonpanoaikaan, kun kahta tuotetta  
voidaan testata rinnakkain. Kun testaus on valmis, asetetaan valmis tuote testitu-  
loksen perusteella joko kuljettimelle, joka vie sen puskurivarastoon tai sitten kor-  
jauspaikan jonoon. Linjan operaattori voi poimia korjattavat tuotteet korjausjo-  
nosta, johonka mahtuu kerrallaan kolme tuotetta. Korjattu tuote asetetaan takai-  
sin korjausjonoon ja järjestelmä tunnistaa sen sieltä ja vie korjattuna uudelleen  
testaukseen.



**Kuva 15.** Aurora-linja layout

## 4 AUTOMAATIOTEKNIIKAN PERUSTEET

Kun kokonaisuuteen on kytketty useita laitteita ja järjestelmiä, joidenka tarvitsee toimia toistensa kanssa yhteistyössä, käytetään yleensä ohjelmoitavaa logiikkaa toiminnan ohjaamiseen. Logiikoista käytetään yleensä nimitystä PLC, joka tulee sanoista Programmable Logic Controller. Nykypäivän ohjelmoitavat logiikat saivat alkunsa 1970-luvulla, kun mikroprosessorit alkoivat yleistyä niiden käytössä. Prosessoreiden kehittyessä ja niiden laskentatehon ja muistin kasvaessa voidaan yhdellä logiikalla hallita aina monimutkaisempia kokonaisuuksia. Tehtaan Aurora linjalla käytetään Omronin valmistamaa NJ501-sarjan ohjelmoitavaa logiikkaa. Omronin JN-sarjan logiikassa yhdistyy ohjelmoitava logiikka, konenäön hallinta, turvapiirit, liikkeen ja robottien ohjaaminen ja käyttöliittymien visualisointi. Omronin NJ501-sarja, kuten suurin osa tunnettujen valmistajien logiikoista tukee OPC UA-tiedonsiirtoprotokollaa. OPC UA on yhdistys, joka muodostuu maailman suurimpien automaatiolaitteiden ja järjestelmien edustajista joidenka tavoitteena on luoda avoin tiedonsiirto standardi, jonka avulla erivalmistajien laitteet kyetään liittämään yhteen järjestelmään. Keskusyksikön lisäksi järjestelmään tarvitaan soveluksen mukaan erilaisia lisämoduuleita. Näillä varmistetaan liitännä mahdollisuudet erilaisille signaaleille kuten analogiset ja digitaliset lähdöt ja tulot. Tietyissä sovelluksissa koko logiikkamoduulia ei välttämättä kannata asentaa samaan paikkaan. Esimerkiksi suuressa tuotantolinjakokonaisuudessa saattaa olla useampi logiikkayksikkö ohjaamassa rajattua osuutta prosessista. Tätä kutustaan hajauteksi logiikaksi. Erilaisilla kommunikaatiomoduuleilla mahdollistetaan laitteiden ja aliyksiköiden keskustelu päälaitteelle. (Aalto 2018)



**Kuva 16.** Omron PLC NJ501 (Omron 2022 a)

#### 4.1 Ohjelmointi

Ohjelmoitavien logiikoiden valmistajilla on yleensä omat ohjelmansa, joita käytetään logiikoiden ohjelmointiin ja parametroiin. Itse ohjelmoinnissa käytettävät kielet on määritelty IEC 61131-3-standardissa. Ohjelmointikieliä on erilaisia ja usein logiikat voidaan ohjelmoida käyttäen useita erilaisia näistä ohjelmointitavoista tai kielistä. Tyypillisimpiä logiikoiden ohjelmointikieliä ovat LD Ladder diagram tai toimilohkoilla ohjelmointi FBD (function block diagram). Nykyiset logiikat sallivat jopa useiden eri ohjelmointikielten käytön yhden ohjelman sisällä. Ohjelmointi voidaan tehdä myös käyttäen tekstipohjaisia kieliä ST (Structured text) tai IL (Instruction List) jotka muistuttavat jokseenkin Robot Studiossa käytettävää RAPID-koodia. OTDC-linjan ohjelmoinnissa on käytetty tehtaalle poikkeuksellisesti ST ohjelmointia. Ohjelmointikielen valinnalla ei sinänsä ole väliä ja samat toiminnallisuudet voidaan saavuttaa kaikilla ohjelmointikielillä. Valittava ohjelmointikieli riippuukin usein siitä mitä tyyliä ohjelman laatia on tottunut käyttämään. FBD- ja LD-ohjelmointi ovat kuitenkin visuaalisuutensa ansiosta kohtalaisen helposti seurattavia esim. vikadiagnostiikka tilanteessa. Tämän takia IL, ST tai etenkin jos ohjelmointiin käytetään korkeamman tason ohjelmointikieltä esim. C++ on ohjelmoijan hyvä lisätä mukaan itse ohjelmoinnin lisäksi kuvauksia ja ohjeita. (Crushtymk. 2022)

#### 4.1.1 LD-ohjelmointi

Ladder-ohjelmointi on saanut alkunsa relekeskuksien ohjelmoinnista ja oli pitkään ainut ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointikieli. LD-ohjelmointia pidetään usein helpohkona oppia ja ymmärtää sen visualisuuden ansiosta. Se muistuttaa myös paljon sähköpiirustuksia ja on tämän takia usein sähköalan henkilöille luonnollinen tapa esittää logiikka kaavioita. LD-ohjelmointikieli on saanut nimensä tikapuumaisen rakenteensa vuoksi. Ohjelma rakennetaan kahden pystysuoran linjan väliin, joista vasemmanpuoleista linjaa myös nimitetään kuumakiskoksi ja oikeanpuoleista linjaa neutraalikiskoksi. Ohjelmointi tehdään liittämällä tulojen ja lähtöjen yhdistelmiä näiden kiskojen väliin ohjelmointi portailla. Tulot merkitään pystysuorin viivoin ja lähdöt ympyröillä. Tulot voivat olla signaaleja, antureita tai kytkimiä ja nämä voivat olla normaalisiti auki tai kiinni olevia. Tuloilla muodostetaan ehtoja, joita ohjelma lähtee tarkastelemaan vasemmalta oikealle ja porras kerrallaan ylhäältä alaspäin. Ehdon toteutuessa ohjataan tietty toiminto päälle tai pois päältä. Tulojen ja lähtöjen lisäksi ohjelmoinnissa käytetään erilaisia laskureita, pitiirejä, ajastimia ja muita säätöpiirejä. (SolisPLC 2022)

#### 4.1.2 FBD-Ohjelmointi

Function Block Diagram (FBD) ohjelmointi on erittäin laajasti käytetty ohjelmointimalli visuaalisuutensa ansiosta. FBD-ohjelmointi tarjoaa kuitenkin laajat mahdollisuudet erilaisten ohjelmien ja järjestelmien luomiseen. FBD-kielessä käytetään valmiiksi ohjelmoituja toimilohkoja. Yhdistelemällä näitä toimilohkoja luodaan sääntöjä ja yhtenäisyyksiä, joita ohjelma sitten käsittelee. Lukuisten valmiiksi määriteltyjen toimilohkojen lisäksi on ohjelmaan mahdollista luoda omia toimilohkoja ja niiden sisälle tarvittavia tuloja, lähtöjä, säätimiä ja laskureita. Kuten LD-ohjelmoinnissa myös FBD-ohjelmoinnissa tulot asetetaan toimilohkojen vasemmalle puolelle ja lähdöt oikealle puolelle. Toimilohkot yhdistetään toisiinsa niiden välille vedettävillä viivoilla tai referenssi osoitteilla. Ohjelmaa lähdetään tulkitsemaan vasemmalta oikealle ja ylhäältä alaspäin. (PLC Academy 2022)

## 4.2 Logiikalle liitettävät signaalit

Jotta kokoonpanosolut ja eri laitteet olisivat tietoisia laitteiden tiloista ja paikoista, tarvitaan järjestelmässä erilaisia antureita. Näillä antureilla voidaan tarkistella, onko kappale paikoillaan työstökohteessa ja pitää huolta onko esimerkiksi testilaitteen luukku sulkeutunut, jolloin testitoimenpiteet ovat turvallista aloittaa. Robotilla voidaan käsitellä sovelluksessa tarvittavia tuloja ja lähtöjä samalla tavalla kuin ohjelmoitavassa logiikassa. Sovelluksissa, joissa tulo- ja lähtösignaaleja on vähemmän, voidaan joskus logiikat jopa korvata kokonaan robotin ohjaimella. Signaalit voidaan yleensä jakaa kahteen pääryhmään, digitaaliset tulot ja lähdöt sekä analogiset tulot ja lähdöt. Nämä 2 erityyppistä signaalivaihtoehtoa on käsitelty tarkemmin otsikoissa 4.2.1 sekä 4.2.2. Liitettäviin signaaleihin kuuluvat myös erilaisen turvalaitteiden kytkennät. Turvalaitteiden kytkentöjä ja komponenttien hyväksyntöjä varten on olemassa omat määräykset ja standardit. Yleensä kaikki turvalaitteiden liitynnät toteutetaan avautuvalla koskettimella, koska tämä on vikatilanteessa toimivampi ratkaisu. Avautuvalla koskettimella toteutettu turvalaite ei esimerkiksi anna järjestelmän käynnistyä, jos siltä logiikalle kulkeva johdin on vaurioitunut siten että signaali ei pääse perille. Mikäli jokin solussa olevista turvapiireistä antaa hätäpysäytysignaalin on tämän myös aiheutettava hätäpysäytys kaikilla solun muillakin toimilaitteilla, jos se nähdään turvallisuuden kannalta tarpeelliseksi. Turvapiirit on toteutettava kahdennetulla signaalilla ja hätäpysäytystoiminnot on ketjutettava. Signaaleja ei yleensä johdoteta suoraan anturilta robotin tai logiikan signaalikorteille, vaan kytkentöjen selkeyttämiseksi nämä ovat kootusti yhdessä paikkaa riviliittimillä logiikan tai robotin lähellä. Antureiden johdinten värit noudattavat normaalisti kaavaa aktiivisten antureiden osalta ruskea +24 VDC, sininen 0 VDC ja signaalijohtimena musta. Passiivisissa antureissa ruskea 24 VDC ja sininen on signaali.

### 4.2.1 Digitaliset lähdöt sekä tulot

Digitaaliset tulot ja lähdöt ovat erittäin tavallisia tehtaan kokoonpanosoluissa. Kyseisiä antureita käytetään kappaleiden tunnistukseen ja erilaisten tilatietojen

kommunikointiin. Digitaalisista tuloista ja lähdöistä käytetään myös I/O-nimitystä ja yleensä signaalin tila kommunikoidaan logiikalle joko 0 -tai 24 VDC-jänniteviestillä, näin ollen liitetyn anturin tila on joko 0 tai 1. Anturit kytketään logiikalla tulojen puolelle ja ne ovat kytkettävissä yleensä joko 2,3 tai 4 johtimella riippuen siitä minkä tyyppisestä anturista on kyse. Passiiviset anturit eivät tarvitse apujännitettä ja ovat tämän takia useammin kytkettävissä kahdella johtimella, kun taas aktiiviset anturit tarvitsevat 24 VDC-apujännitteen ja tämän myötä yhden lisä johtimen. Tyypillisiä digitaalisia antureita ovat induktiiviset anturit, joilla voidaan tunnistaa metallisia kappaleita lyhyeltä etäisyydeltä hyvin nopeissakin prosesseissa kuten pyörimisanturit, joilla voidaan tarkistella moottorin pyörimisnopeutta. Kapasitiivisilla antureilla voidaan tunnistaa lähestulkoon mitä tahansa materiaaleja. Molempien anturityyppien toiminta perustuu kytkimen lähellä olevan sähkökentän muutokseen ja vaatii tämän vuoksi apujännitteen. Induktiivisten ja kapasitiivisten antureiden etuna on se, että ne eivät sisällä lainkaan mekaanisia osia ja ovat tämän takia erittäin kestäviä. Yleensä itse anturissa on myös led valo, joka indikoi anturin tilatietoa, joka helpottaa esimerkiksi vian etsintää. Muita rajoja ovat myös mekaaniset rajakytkimet sekä optiset raja-anturit. Monissa toimilaitteissa tehtaalla käytetään erilaisia hydraulisia sylintereitä suorittamaan toimenpiteitä ja näiden sylintereiden tilatiedon tunnistamisessa käytetään yleensä magneettisia raja-antureita.

#### **4.2.2 Analogiset lähdöt sekä tulot**

Kun kytkettävältä anturilta ei tilatiedoksi riitä päällä tai poissa käytetään analogisia antureita. Nämä anturit kytketään kolmella tai neljällä johtimella robotille tai logiikalle analogisille tulokorteille. Analogiset anturit välittävät normaalisti virtaviestiä alueella 4–20 mA, 0–20 mA tai sitten jänniteviestiä 0–10 VDC. Yleensä vältetään käyttämästä virta, tai jänniteviesti on jossakin vaiheessa 0 sillä vikaantuminen on helpommin havaittavissa esimerkiksi signaalin kadotessa kokonaan. Tyypillinen analoginen anturi on PT100-lämpötilanmittausanturi, jonka vastusarvo muuttuu lämpötilan mukaan. Tämä vaikuttaa virtaan joka anturin läpi kulkee. Virtatieto on sitten skaalattava oikeaksi suureeksi logiikan ohjelman puolella.

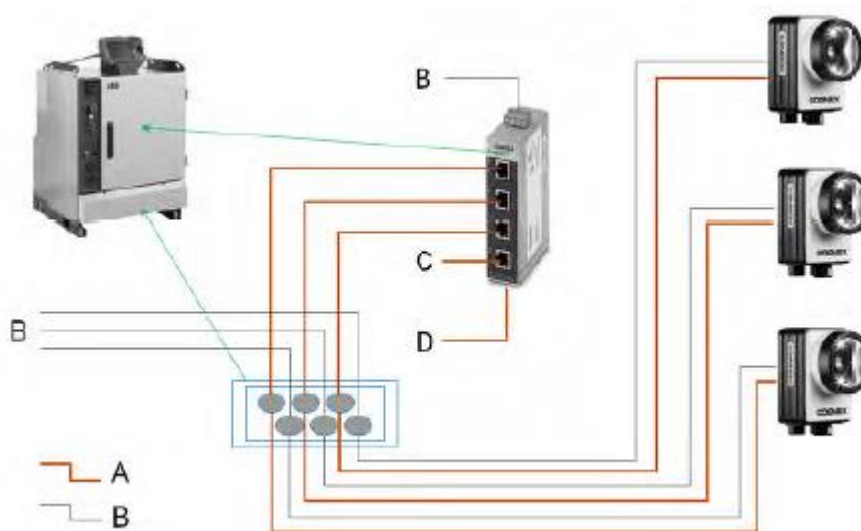
### **4.3 Tiedonsiirto laitteiden välillä**

Automaatiojärjestelmissä, jotka koostuvat useista laitteista ja roboteista, on laitteiden ja järjestelmien välille rakennettava tiedonsiirtomahdollisuus. ABB on ollut ensimmäisten robottivalmistajien joukossa, joka on mahdollistanut robottien tietokoneliittymät 1970 luvulla julkaistuaan S2-ohjaimen, joka käytti ISO7001-standardiin perustuvaa tiedonsiirtoprotokollaa. Kyseistä protokollaa käytettiin vuoteen 1994 saakka, jolloin S4-ohjain toi mukanaan TCP/IP-protokollan mukaisen liittymän. Tiedonsiirtoprotokollalla tarkoitetaan kieltä, jonka avulla laitteet keskusteleval. Tällä protokolla varmistetaan, että tieto tulee ehjänä perille ja viestit luetaan oikeassa järjestyksessä. Tiedonsiirtoa voidaan käyttää ohjelmien lataukseen ohjaimen ja ohjelmien käynnistykseen sekä sammutukseen. Sen avulla voidaan siirtää antureiden tilatietoja logiikalta robotille ja keroa operaattorille järjestelmän virhetiloista. ABB OTDC-linjalla käytetty tiedonsiirtoprotokolla on Profinet, joka on tyypillinen teollisuudessa käytetty protokolla.

### **4.4 Konenäön perusteet ja sovellukset tehtaalla**

Konenäköjärjestelmiä käytetään, kun tavallisella anturitekniikalla ei päästä esimerkiksi tarvittavaan joustavuuteen. Konenäköjärjestelmissä tunnistetaan hahmoja ja kappaleita kuvantamistekniikan ja tietokoneohjelmistojen avulla. Oikein toteutetulla konenäköjärjestelmällä voidaan korvata mekaanisia kiinnittimiä sekä paikoituspisteitä. Koska konenäköjärjestelmät perustuvat kameratekniikkaan on valaistus todella suuressa osassa. Valaistus tulisi saada mahdollisimman tasaiseksi ja muuttuvien varjojen ja päivänvalon pääseminen kuvattavaan kohteeseen tulisi estää. Koska konenäköjärjestelmällä halutaan yleensä tunnistaa kappaleen sijaintia tartuntaa varten, kappaleen muotoa tai väriä laadunvarmistusta varten on myös järjestelmän kuvankäsittelyohjelmistolla erittäin suuri vaikutus. Ohjelmistoissa voidaan käyttää erilaisia suodattimia piirteiden erottamiseksi tai etsiä tiettyä muotoa tai tartunta reunaa. ABBn robotit on mahdollista varustaa integrated vision -toiminnolla, joka on tehty Cognex -yhtiön kanssa yhteistyössä. Järjestelmä on yhteensopiva ABB-robottien IRC5-ohjainjärjestelmien kanssa ja pohjautuu

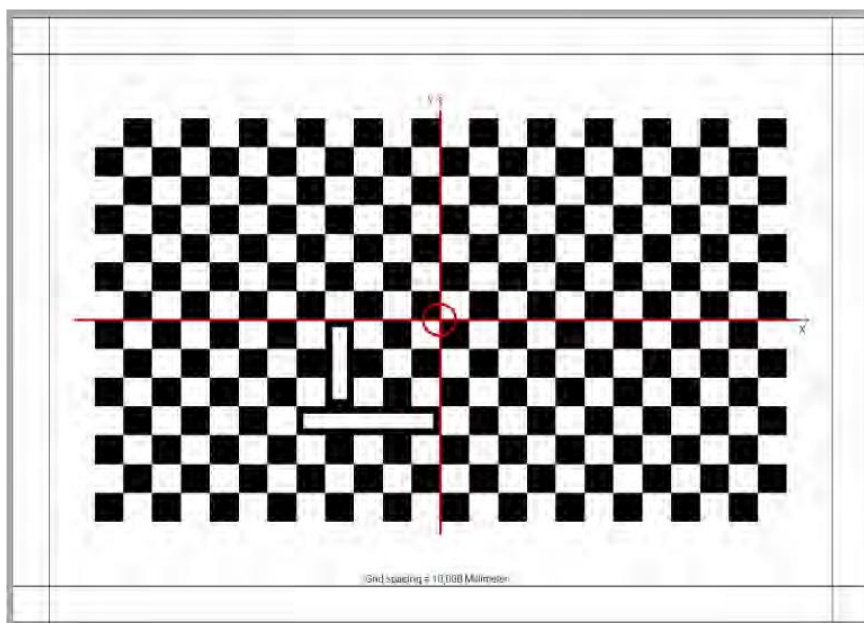
Cognexin In-Sight -järjestelmään. ABBn Robottien ohjelmointiohjelmisto Robot Studio on varustettu konenäköosiolla, joka mahdollistaa toiminnallisuudet ja RAPID-ohjelmointikieli on laajennettu konenäön ohjaamisella ja vian etsinnällä. Kameran liitetään robotin ohjaimeen Ethernet-yhteydellä ja järjestelmään voidaan liittää maksimissaan kolme kameraa ohjainta kohden. Ennen laitteiston käyttöönottoa on kaikki kytkennät tehtävä, jotka esitetty kuvassa 17. Jokaisella kameralla on oltava oma IP-osoite sekä uniikki nimi. Koska kameran nimi ja IP-osoite on aseteltavissa mahdollistaa tämä rikkoutuneen kameran helpon vaihdon ilman tarvetta ohjelmointi muutoksiin. Ohjelmistoja testatessa voidaan kameran sijaan käyttää emulaattoria, jolla simuloidaan kameran toimintaa. Emulaattoria voidaan myös käyttää koulutustarkoituksiin (ABB 2016 b).



**Kuva 17.** Integrated Vision -liitännät IRC5-ohjausjärjestelmään (ABB 2016 b)

Tärkeimpiä asioita mitä kameran kuvanottohetkellä tulee säätää, on koska kuva otetaan ja kauanko valotusaukko on auki. Koska kuva koostuu pienistä pisteistä, joita kutsutaan pikseleiksi, pitää kamera kalibroida, jotta pikselit saadaan muutettua millimetreiksi robotin ohjausta varten. Kuvan resoluutiolla kerrotaan, kuinka monesta pikselistä kuva koostuu. Yhden megapikselin kameralla otettu kuva voi olla esimerkiksi 1 225 x 816 pikseliä. Kun konenäöllä poimitaan kappaleita lavalta,

etsii ohjelmisto kaksiulotteisesta kuvasta tiettyä määrää pikseleitä, jotka ovat järjestyneet tietyssä muodossa ja tähän suurin osa konenäköjärjestelmistä perustuu. Kameran kalibrointi koostuu kahdesta vaiheesta, jossa ensimmäisessä pikselit konvertoidaan millimetreiksi ja toisessa vaiheessa kameran koordinaatit liitetään työobjektiin, eli koordinaatistoon robotin ohjelmiston puolella. Kameroiden kalibrointia varten on yleensä luotu koordinaatiokuvat, joilla saadaan määriteltyä etäisyydet sekä X ja Y koordinaatit kuvantamisalueelle. ABB:n järjestelmän mukana tuleva kalibrointikuva on tehty 10 mm x 10 mm rasterilla, jonka avulla voidaan myös määrittää etäisyydet.



**Kuva 18.** Konenäön kalibrointikuva (ABB 2016 b)

## 5 OHJAUSJÄRJESTELMÄT

### 5.1 Tehtaan ERP-järjestelmä SAP

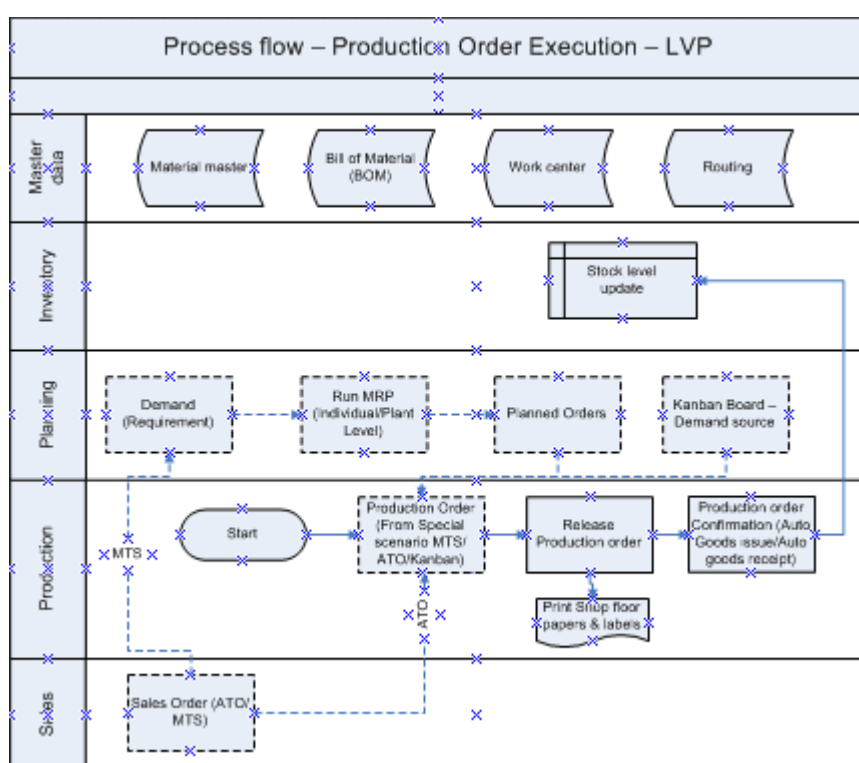
SAP on saksalainen vuonna 1972 perustettu yritys, joka on sittemmin kasvanut viiden henkilön yrityksestä 105 000 työntekijän globaaliksi palvelun tarjoajaksi. Järjestelmällä on tällä hetkellä yli 230 miljoonaa käyttäjää ja yli 100 erilaista sovelusta, joilla katetaan kaikki liiketoiminnan toiminnot. 77% maailman transaktiopohjaisesta liikevaihdosta koskettaa SAP-järjestelmää ja nykyään SAP onkin maailman johtava liiketoiminnan ohjaus järjestelmä (SAP. 2022).

ABB:llä on ERP (Enterprise Resource Planning) järjestelmänä käytössä SAP. SAPin kautta hallinnoidaan lähestulkoon kaikkia toimintoja yrityksessä. Järjestelmää käytetään tilausten käsittelyyn, työaikojen hallintaan, materiaalien hallintaan, kustannuslaskelmiin jne. Tuotannossa työskenteleville operaattoreille SAP on myös tärkeä järjestelmä. SAPista löytyy kyseisen linjan työjono, josta valmistettavat tilaukset vapautetaan työnalle. Järjestelmästä löytyy valmistettavan tuotteen kokoonpanon rakenne ja tuotteita raportoidaan joko automaatiolinjan tai kokoonpanijan toimesta valmiiksi, vähentää järjestelmä osia kyseiselle linjalle osoitetulta paikalta.

Smart Power tehtaalla on myös käytössä SAPin varastonhallinta moduuli. Tämän avulla hoidetaan materiaalien täydennyksiä linjoille ja muihin sisäisiin puskurivarastoihin. Materiaalien täydennyksessä voidaan käyttää useita eri strategioita järjestelmän puolella. Useimmiten automaatiolinjoilla käytetään materiaalin täydennysstrategiana joko re-order -pointtia tai kanbania. Re-orderpointissa kyseiselle materiaalille on asetettu toimituseräkoko, varastopaikan maksimimäärä sekä tilauspiste, joka vapauttaa logistiikalle täydennystilauksen keskusvarastosta. Järjestelmä monistaa täydennystilaukselle sitten eräkokon niin monta kertaa, kunnes varastopaikan maksimi arvo tulee saavutettua. Kanban-järjestelmässä tilaus vapautetaan aina kun jokin tietty yksikkö tai erä on kulunut kyseistä materiaalia. Tilaus voidaan luoda automaattisesti tai sitten manuaalisesti. Yleensä kanban-yksikkönä

toimii laatiko tai lavallinen kyseistä materiaalia. Kyseinen materiaalin täydennysstrategia edellyttää myös, että kyseiselle materiaalille on tilaa varastopaikalle useamman täydennettävän yksikön verran.

Kun tuotteen ovat valmistuneet raportoidaan nämä myös SAP-järjestelmän kautta, jolloin logistiikka ja tilausten käsittely saavat näistä tiedon ja voivat valmistella toimitukset asiakkaille. SAPissa ylläpidetään myös tuotetietoja ja sieltä on saatavissa kokoonpanokuvia ja esimerkiksi tuotteiden arvokilpitiedot.

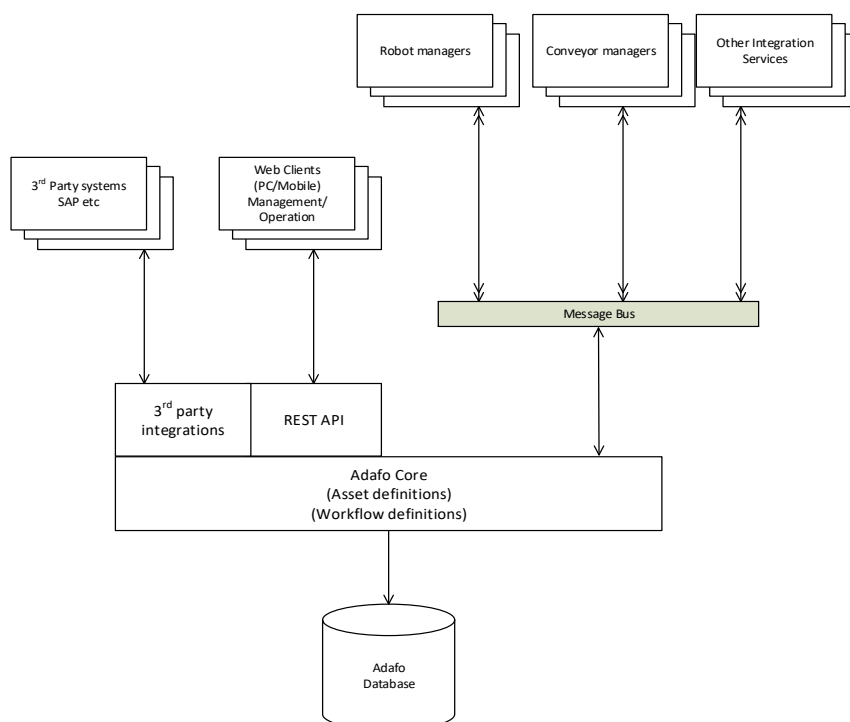


**Kuva 19.** Tuotantotilauksen SAP-prosessi

## 5.2 Tehtaan MES järjestelmä Adafon

Vaasan tehtaalla on vuodesta 2011 lähtien ollut oma tuotannon ohjausjärjestelmä nimeltään Adafon. Nimi on muodostettu sanoista Advanced Assembly for Operations. Tuotannonohjausjärjestelmistä käytetään myös usein nimitystä MES, joka muodostuu sanoista Manufacturing Execution System. Adafon suunniteltiin alun

perin ohjaamaan automaatiota ja laitteistoa, mutta vuosien varrella sen räätälöintiä ja integraatiota on kasvatettu huomattavasti. Nykypäivänä Adafon omaa moniulotteiset ja kehittyneet rajapinnat, joilla kommunikoidaan työntekijöiden, robottien, testilaitteiden, kuljettimien varastoautomaattien ja SAPin kanssa. Tilaus-toimitusprosessi sekä tuoteprosessi on kuitenkin pidetty edelleen SAP:ssa. Adafon on luotu käyttämällä Microsoft Visual Studio ja C#, ja järjestelmä on täysin yksikön omistama. Järjestelmä kerää tietoa kaikista valmistuksen vaiheista ja laitteista kuten kokoonpano ajoista, virhetiedoista, testituloksista ja valmistuneista kappaleista. Kerätty tieto tallennetaan Microsoft SQL-tietokantaan, josta voidaan käyttäjille tehdä erilaisia raportteja, joiden avulla pyritään kehittämään prosesseja.



**Kuva 20.** Adafon kevennetty arkkitehtuuri

Adafon:ssa on kootusti tallennettuna tuotteiden kokoonpano-ohjeet, testilaitteiden ohjelmat, linjojen ennakkohuoltotoimenpiteet jne. Nämä pyritään tuomaan käyttäjien saataville käyttöliittymien kautta. Adafonin hyvän muokattavuuden takia, voidaan tehdä nopeasti muutoksia toimintoihin ja tuoda linjoille uusia ominaisuuksia.

tarpeiden muuttuessa. Keskitetyn järjestelmän ansiosta myös saadaan varmistettua, että viimeisimmät tiedot ovat kerralla käytettävissä kaikilla tarvittavilla pisteillä.

### **5.3 SQL-Serveri**

Lyhenne SQL muodostuu sanoista Structured Query Language ja sillä tarkoitetaan rakenteista kyselykieltä. SQL on saanut alkunsa 1970-luvulla IBM-kehitysympäristössä, jonka jälkeen sen potentiaali havaittiin myös muissa tietokantasovelluksissa. SQL on standardoitu tapa, jolla tietoa haetaan, tallennetaan ja käsitellään erilaisista relaatiotietokannoista. Ohjelmistoon voidaan liittää jopa tuhansia käyttäjiä, jotka pääsevät tallentamaan, tarkastelemaan ja käyttämään tietokannasta löytyviä tallenteita. Käyttäjiä SQL-serveriin voivat tehtaalla olla niin työntekijät kuin eri laitteet, jotka tallentavat serverille testituloksia tai hakevat sieltä ohjelmia ja parametrejä, joidenka mukaan tuote tulee testata. (2Kmediat SQL alkeet. 2022)

## 6 OPERAATTOREIDEN TEHTÄVÄNKUVA

Teollisuudessa käytettävät automaatio-osuudet tarvitsevat useimmiten ihmisen laitteiden rinnalle tekemään tiettyjä tehtäviä ja vaiheita. Näissä tehtävissä työskenteleviä henkilöitä kutsutaan useimmiten käyttö- tai linjaoperaattoreiksi. Operaattorin tehtävät ja vaatimustasot voivat kuitenkin eri yritysten ja sovellusten välillä vaihdella huomattavasti. Useimmiten operaattorin tehtävään materiaalien lisäämiset, ohjelmavaihdokset, puhdistukset, käyttäjäkunnossapito ja tavanomaisimpien virhetilanteiden poistaminen.

Suuri vaihtelu operaattoritehtävien välillä johtuu siitä, että useimmiten teollisuudessa käytettävät automaatio- ja robottiratkaisut ovat monimutkaisia järjestelmiä, jotka on suunniteltu suorittamaan ainutlaatuista tehtävää tai prosessia.

ABB Smart Power -tehtaalla työntekijöitä on automaation lisääntyessä koulutettu operaattoritehtäviin paikallisten oppilaitosten kanssa järjestetyillä koulutuksilla. Automaation ja erilaisten järjestelmien lisääntyessä on myös työntekijätehtävien vaatimustasot nousseet. Jotta riittävä osaaminen voidaan varmistaa, on suosituksena, että henkilöillä olisi pohjalla teknisen tason peruskoulutus. Robottiikan osaamisesta monimutkaista tekee sen monialaisuus. Automaatio-osuudessa ja robotin toiminnassa tarvitaan osaamista mm. mekaniikasta, anturitekniikasta, sähkötekniikasta ja ohjelmointia sekä turvallisuusasioiden ymmärtämistä.

Tehtaalla työskentelevien operaattoreiden tehtäviin kuuluu kokoonpanolinjasta riippuen mm. seuraavia asioita:

- Työjonon mukaisten tuotteiden valmistus aikataulutetusti
- Kokoonpanomallien vaihdokset ja automaatiolinjan laitteiston raja-arvojen säätäminen, jolla varmistetaan kokoonpanon vaadittava laatu.
- Materiaalitasojen valvonta
- Tavanomaisten häiriöiden ja vikatilanteiden poistaminen. Vikakohteen paikannus ja kyky vaihtaa pikaliittimillä varustettuja antureita

- Linjalla asennettujen robottien käsinohjaus sekä paikoittaminen
- Automaatiolinjan ennako-ohjelman ja operaattorille määritellyt huolto-toimenpiteet ja siisteyden ylläpito
- Informoida sidosryhmiä havaituista puutteista ja kehityskohteista.

Operaattoreilta vaaditaan kykyä työskennellä kolmessa vuorossa ja heidän tulee myös osata kokoonpanna kyseisen automaatiolinjan tuotteet myös käsin. Tekninen koulutus katsotaan tehtävässä eduksi ja heiltä edellytetään robotin käytön perustaitoja, hyviä ATK-taitoja sekä ymmärrystä kyseisen automaatiolinjan toiminnasta sekä teknisistä ratkaisuista. Operaattoreilla tulee olla hyvät vuorovaikutustaidot ja kyky työskennellä muiden henkilöiden kanssa. Heillä tulee olla voimassa oleva työturvallisuuskortti sekä kyettävä tunnistamaan linjalla olevat mahdolliset vaaran paikat.

Osana opinnäytetyötä luotiin uusi ohjetyö operaattorin tehtävästä LTK400 kokoonpanolinjalla, jossa valmistetaan kahden runkokokoluokan OTDC-kytkimiä virta alueella 160–1 000A.

### **6.1 Operaattoreiden tunnistamat puutteet osaamisessa**

Operaattoritehtävissä työskentelevien henkilöiden kanssa käytiin keskustelu, jossa pyrittiin selvittämään heidän kokemiaan vahvuusalueita ja kehittämiskohteita osaamisen suhteen. Keskusteluissa pyrittiin myös selvittää minkälaisin menetelmin oppiminen heidän mielestään olisi antavinta sekä mitenkö tehtävässä koettua työhyvinvointi sekä mielekkyyttä voitaisiin parantaa. Keskustelussa käytettiin hyväksi alla olevia kysymyksiä.

1. Koetko että sinulla on tarvittavat valmiudet suoriutua tehtävistä nykyisen linjan kanssa?
2. Mitkä osaamisalueet ovat vahvuutesi työskentelyssä automatisoiduilla kokoonpanolinjoilla
3. Millä osa-alueilla kaipaisit lisää opastusta tai koulutusta?

4. Mitenkä toivoisit, että lisäperehdytys järjestettäisiin?
5. Onko linjalla sellaisia tehtäviä, jotka haluaisit osata, jotka eivät tällä hetkellä kuulu operaattorin tehtäviin?
6. Mitenkä toivoisit organisaation tukevan sinua operaattorin tehtävässä?
7. Mitenkä viihdyt operaattorin tehtävässä?
8. Kuinka viihtyvyyttä voitaisiin parantaa kyseisessä tehtävässä?

Kaikki keskusteluun osallistuneet operaattorit kokivat, että heillä oli kyseisellä hetkellä tarvittava osaaminen sekä annettu valmiudet suoriutua tehtävästään vaaditulla tasolla, vaikka osa henkilöistä oli työskennellyt nykyisellä linjallaan vasta joi-takin kuukausia. Ryhmä koki vahvuuksinaan tietämyksen yleisimmistä vikatilanteista sekä kuinka nämä saadaan korjattua linjoilta. Vahvuutena nähtiin myös, kuinka automaattilinjoilta voidaan poistaa huonot osat tai jumiutuneet kappaleet ja kokoonpanoa päästiin jatkamaan. Muutaman linjan operaattorit kokivat myös, että heillä oli hyvät valmiudet korjata robottien paikoituksia omalla linjallaan. Paikoitusten tekeminen koski kuitenkin vain pientä osaa ryhmästä.

Lisää osaamista operaattorit kaipasivat kokonaisuuden ymmärtämisessä linjalla ja kuinka sen toimintojen osat toimivat keskenään yhtenä kokonaisuutena. Ymmärrystä kaivattiin mm. mitkä ovat eri järjestelmien roolit ja mitä osioita ohjaavat lo-giikat ja mitä robotin omat koodin. Operaattoreiden toiveena organisaatiolle oli, että linjojen käyttöohjeet pidettäisiin ajan tasalla etenkin muutoksia ja päivityksiä tehtäessä. Kaikille kokoonpanolinjoille löytyi käyttöohjeet, jotka olivat tulostet-tuna kansioihin. Käyttöohjeita oli kuitenkin hyvin harva operaattoreista käyttänyt. Käyttöohjeet koettiin liian raskaina ja hankalina jotta niistä saataisiin linjan on-gelma tapauksiin apua. Toiveena operaattoreille oli, että käyttöohjeista tavan-omaisimpiin ongelmatilanteisiin olisi selkokiehiset pikaohjeet, kuinka edetä. Robot-tien koordinaatistojen suunnat olisi myös hyvä olla näkyvästi merkattuna. Tämä helpottaisi tilanteita, jossa operaattorit joutuvat antaman tukea toisille kokoonpa-nolinjoille ja liikkumissuuntia joudutaan kokoilemalla hakea.

Koulutusta ja perehdytystä operaattorit toivoivat tehtäväksi etenkin omalla työskentelylinjallaan. Käytäntö missä operaattorit olivat olleet mukana toimittajan kanssa pystyttämässä linjaa ja ajamassa koe eriä ennen lopullisia käyttöönottoja koettiin erittäin hyväksi menetelmäksi. Käyttöönoton yhteydessä oli myös järjestetty linjan toimittajan puolesta noin viikon mittainen koulutusjakso tehtaan omissa tiloissa tuleville operaattoreille. Henkilöillä, jota operaattoritehtävissä työskentelivät, vaikutti olevan aito mielenkiinto tekniikkaa kohden. Osana perehdytystä he mielellään olisivat kuulleet hieman enemmän robotiikasta ja erityyppisistä sovelluksista. Tämän perusteella robotiikan perusosiosta osana perehdytystä olisi paljon hyötyä. Henkilöt myös viihtyivät operaattoritehtävissä ja kukaan ryhmässä ei olisi enää halunnut vaihtaa takaisin kokoonpano tehtäviin.

## **6.2 Osaaminen, jota organisaatio operaattoreilta kaipaisi**

Saadakseen selvyys vaatimuksista, joita organisaatiolla oli operaattoreiden osaamisen suhteen, päätettiin haastatella tehtaan eri osastojen edustajia, jotka lähinnä operaattoreita työskentelivät. Henkilöt valittiin tuotannonkehityksestä, huollosta sekä työnjohdosta. Haastattelu suoritettiin alla olevien kysymysten perusteella ryhmäkeskusteluna.

1. Mikä on mielestänne operaattoreiden tärkein tehtävä
2. Mitkä osaamisalueet ovat parhaiten automaatiolinjojen parissa työskentelevien työntekijöiden halussa?
3. Mitkä ovat tärkeimmät osaamiseen liittyvät aiheet, jotka operaattoreiden tulisi teidän mielestänne hallita?
4. Millä osa-alueilla näette, että operaattoreillamme on eniten puutteita osaamisen suhteen.
5. Onko nykyisen operaattoritehtävän ulkopuolella aihealueita, jotka mielestänne kuuluisi operaattoreille?

6. Missä koette, että meillä yksikössämme suurimmat puutteet osaamisessa liittyen automaatiolinjoihin ja niiden operointiin?
7. Mitenkä yhteistyötä tiedän ja linjalla työskentelevien operaattoreiden välillä voisi parantaa?

Operaattorin tärkeimpänä tehtävänä ryhmä selkeästi näki tuotteiden valmistamisen ja automaatiolinjan mahdollisimman korkean käyttöasteen varmistamisen. Operaattoreiden tulisi huolehtia linjan järjestyksestä ja puhtaanapidosta sekä heille määritellyistä linjakohtaisista perushuoltoon liittyvistä tehtävistä. Tuotteiden kokoonpanolinjalla ja tavanomaisimpien vikatilanteiden ratkaiseminen myös nähtiin operaattoreiden vahvuutena kyseisessä tehtävässä.

Suurimmat haasteet operaattoreiden osaamiseen liittyen koettiin automaatiolinjojen kokonaisvaltaisemmassa toiminnan ymmärryksessä. Operaattorit kyllä kykenivät vaihtamaan antureita, komponentteja ja muita osia mutta usein vian paikantaminen oli haastavaa tai ymmärrys siitä mihinkä kyseinen osa vaikuttaa. Suurimmalla osalla tehtaalla linjoista yhdistyy usean ohjausjärjestelmän toiminto kuten tuotannon ohjausjärjestelmän (Adafo), toiminnanohjausjärjestelmän (SAP) logiikoiden ja robottien ohjelmoinnit. Ryhmä näki puutteita operaattoreiden ymmärryksestä mikä järjestelmä vastaa mistäkin toiminnosta. Tehtaalla asennetut kokoonpanolinjat on toimitettu usean eri toimittajan toimesta ja tämä myös koettiin haastavana operaattoreiden osaamisessa.

Nykyisen operaattoritehtävän rajauksen ulkopuolelta haastateltavat nostivat esille operaattoreiden vielä laajempaa kykyä vaihtaa linjalla olevia antureita ja rajoja. Hyödylliseksi nähtiin myös, jos operaattorit osaisivat tehdä robotin paikoituksia ja ottaa varmuuskopioita ohjelmasta ennen tehtäviä muutoksia. Paikoituksissa olisi kuitenkin edettävä varovasti ja muutokset olisivatkin turvallisin tehdä luodun käyttäjä paneelin kautta muuttamalla esimerkiksi ennalta määriteltyä offsetia. Konenäön lisääntyessä tehtaalla myös tämän perussäädöt tiettyihin arvoihin voitaisiin toteuttaa käyttöliittymän kautta. Konenäköä kuitenkin käytetään usealla linjalla laadun varmistuksessa ja täten se on kriittisessä toiminnassa.

Osaamisen nähtiin kuitenkin kehittyneen operaattoreiden keskuudessa erittäin positiivisesti menneiden vuosien aikana. Haastateltavalla ryhmällä oli myös vahva näkemys siitä, että uusilla operaattoreilla, joilla oli teknisen alan peruskoulutus taustalla, oli kokonaisvaltaisempi onnistuminen tehtävässä.

### **6.3 Operaattorin työn kuva ja työvaativuusryhmä**

Osana opinnäyte työtä ja osaamisvaatimuksia tehtiin tehtaalle uusi ohjetyö, jonka perustana toimi tehtaalla uusien OTDC-kytkimien kokoonpanolinja. Työnkuvassa ja ohjetyössä arvioidaan työtehtävään tarvittavaa koulutusta ja oppimisaikaa, työolosuhteita ja vastuuta. Näiden arvioiden perusteella työn pisteytetään ja päätetään mihinkä työvaativuusryhmään kyseinen tehtävät kuuluvat. Töiden vaativuusryhmittely on sovittu työnantajan ja metalliliiton välisessä työehtosopimuksessa ja työnvaativuus määrittelyn tulisi vastata töiden oikeaa vaativuutta. Työnantajan on annettava riittävä selvitys työnvaativuus määrittäytavasta ja työntekijöiden edustajalla on oikeus osallistua selvityksen tekoon. Työn vaativuus on määriteltävissä kolmella eri tavalla, Työvaativuus ryhmittelyllä, karkearyhmittelyllä tai muulla työnvaativuuden määrittäytavalla. Kaikissa kyseisen työnantaja tehtävissä on kuitenkin käytettävä samaa määrittelytapaa. ABB Smart Power -yksikössä käytössä on työnvaativuus ryhmittelytapa (TVR) jonka perusteella myös muodostuu työntekijöille maksettava vähimmäispalkka taulukon 1 mukaan. Vähimmäispalkan lisäksi palkka muodostuu yrityskohtaisesta- sekä henkilökohtaisesta osuudesta.

**Taulukko 1.** Työehtosopimus 4.1.2020-30.11.2021

Työnvaativuus-ryhmä	Työkohtainen tuntipalkka senttiä/tunti	Työkohtainen kuukausipalkka euroa/kuukausi	Palkkaryhmä
1	912	1590	C
2	958	1670	C
3	1005	1753	C
4	1056	1841	B
5	1109	1933	B
6	1164	2029	B
7	1222	2131	A
8	1283	2237	A
9	1347	2349	A

Oppimisajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka nähdään työntekijän tarvitsevan, jotta työnkulku ja laatu olisivat saavuttaneet normaalin ja keskimääräisen tason. Oppimisaika määritetään työtehtävä kohtaisesti selvittämällä käytännön ja koulutuksen vaatima aika. Mikäli tehtävään nähdään tarpeelliseksi jokin ammatillinen koulutus. Vaadittavan tutkinnon normaalista suoritus otetaan huomioon puolet oppimisajan arviointiin. Oppimisaika pisteytetään 3-15pisteen välillä alla olevan taulukon 2 mukaan.

**Taulukko 2.** Oppimisaika

alle 3 kk	3
= 3 - 12 kk	6
> 1 - 2 v	9
> 2 - 4 v	12
yli 4 v	15

Työn edellyttämällä vastuulla määritellään sitä vastuuta, joka työntekijälle aiheutuu työn turvallisuudesta, tuotteesta, suoritteesta ja työvälineistä. Työnvastuu pisteytetään pistein 1 normaali, 3 melkoinen tai 5 suuri.

Viimeisenä arvioidaan työolosuhteita ja siinä esiintyviä haittatekijöitä, jotka kuormittavat tekijää. Haittatekijät voivat liittyä työn fyysiseen raskauteen, yksitoikkaisuuteen tai sidonnaisuuteen. Myös ympäristöstä aiheutuvat kuormitustekijät tulee ottaa huomioon tässä arvioinnissa kuten melu, lika, lämpö ilmanlaatu. Työolosuhteet arvioidaan ja pisteytetään taulukon 3 mukaisesti.

**Taulukko 3.** Työolosuhteet

Hyvät	2
Normaalit	4
Vaikeahkot	6
Vaikeat	8
erittäin vaikeat	10

Työn vaativuusryhmä määritellään yllä mainittujen arviointikriteerien summana taulukon 4 mukaan. (Teknologiateollisuus RY. 2022)

**Taulukko 4.** Teknologiateollisuus vaativuusryhmät ja pisteet.

Työnvaativuusryhmä	Summapisteet
1	6 - 8
2	9 - 10
3	11- 12
4	13 - 14
5	15 - 17
6	18 - 19
7	20 - 21
8	22 - 23
9	24 -

#### 6.4 Ohjetyö OTDC200-400 -linjalla

Ohjetyöksi valittiin tehtaan uusin linja, jolla valmistetaan OTDC 200- ja 400 -runkokoon kytkimiä. Linja soveltui ohjetyöhön myös operaattoreiden osalta hyvin, sillä kyseisellä linjalla oli noin 2kk sitten aloittanut uusi operaattori. Vasta aloittaneen operaattorin ansiosta perehtymisaikaa voitiin mielestäni arvioida todella tarkasti. Arviointi suoritettiin tarkastelemalla linjan valmistusprosessin kuvausta ja tämän jälkeen seuraamalla operaattorin työnsuoritetta. Operaattorin pääsääntöinen tehtävä on valvoa ja ylläpitää kokoonpanolinjan toimintaa.

##### 6.4.1 Työn kulku

Kokoonpanolinja koostuu kokonaisuudessaan 4 robotista, 2 testilaitteesta ja varastointiautomaatista. Ensimmäinen robotti poimii kokoonpanossa tarvittavat pääkomponentit lineaarikuljettimelle, joka vie komponentit kahdelle seuraavalle robotille, jotka suorittavat kokoonpanon ja testauksen. 4. robotti asettelee tuotteet varastointiautomaattiin.

Ennen tuotteiden valmistusta on testilaitteet testattava tähän tarkoitukseen valmistetuilla testikytkimillä. Testikytkimet sijaitsevat kokoonpanosolun sisällä ja operaattorin on käsin asetettava nämä testilaitteisiin ja ajettava testiohjelma manuaalisesti kokoonpanolinjan sisälle olevaa käyttöliittymää käyttäen. Kun molempien testilaitteiden toiminta on varmistettu, voidaan varsinaisten tuotteiden valmistus aloittaa.

Seuraavaksi valmistettava tuotantotilaus tarkastetaan SAP-järjestelmästä, jonka jälkeen kyseinen malli valitaan kokoonpanolinjan käyttöliittymästä ja syötetään valmistettava määrä. Kun kokoonpantavaa mallia vaihdetaan, on varmistettava, että käyttöliittymässä materiaalipaikoilla näkyvät komponentit vastaavat todellista tilannetta. Linjan valmistaessa tuotteita on operaattorin täydennettävä materiaaleja oikeille paikoille ja käytävä kuittaamassa linjalta erilaisia virhetilanteita. Virheitä ilmeni tarkastusjaksolla mm. napojen ja mekanismien poiminnassa, sarjamerotarran liimauksessa sekä vaaranruuvien asennuksessa. Ongelmia aiheuttavat komponentit on käytävä poistamassa kokoonpanossa ja ennen uudelleen käynnistystä varmistettava käyttöliittymästä, että järjestelmän kuva tilanteesta vastaa linjalla olevaa tilannetta.

Kaikki valmistettavat tuotteet robotti asettaa testauslaitteille ja näille suoritetaan rutiinitesti, jossa tehdään toiminnallinen testi sekä 3,5kV ylijännitetesti. Mikäli tuote ei läpäise rutiinitestiä asettaa robotti sen hylkytasolle, josta operaattorin on poimittava se ja tarkastettava hylkäyksen syy. Hylätty tuote joko korjataan ja uudelleen testataan manuaalisesti tai laitetaan romutettavaksi. Romutettavat materiaalit operaattori kirjaa listalle ja lähettää logistiikan mukana laadulle reklamoitavaksi ja purettavaksi, työnjohtaja kirjaa romutuksen järjestelmän puolella. Testistä hyväksytyt tuotteen robotti siirtää kuljettimelle, joka vie ne varastointisoluuun jossa toinen robotti nostelee ne varastointiautomaatille. Operaattorin tehtäviin kuuluu myös ratkoa varastoinnissa tapahtuvat ongelmantilanteet.

Päivän aikana operaattori myös pitää kokoonpanolinjan siistinä poimien lattialta pudonneet materiaalit ja pyyhkien pinnat. Linjan laitteistolle on suoritettava ennakkohuolto-ohjelman mukaiset toimenpiteet ja tarkastukset, joista operaattoreille määritellyt tehtävät löytyvät operaattorin työjonosta, joka on tallennettu tehtaan tuotantojärjestelmään Adafo. Työjonoa voidaan käyttää joko tietokoneelta tai tabletilta ja vaadittavaista huoltotoimenpiteistä löytyy järjestelmässä myös ohjeet.

#### **6.4.2 Oppimisaika**

Operaattorin pitää tuntea ja osata kokoonpanna kaikki linjalla valmistettavat tuotteet, koska hänen on kyettävä korjaamaan ne korjauspisteellä. Tuotteiden lisäksi hänen on tunnettava varastohallintajärjestelmä, jolla kontrolloidaan automaattivaraston toimintaa. Operaattorin on tunnettava myös SAP-järjestelmän perusteet koska SAP:ssa vapautetaan valmistettavat työt sekä tehdään mahdollisia varastosiirtoja ja tarkastellaan materiaalin saatavuuksia. Tärkein tehtävä operaattorilla on tuotteiden tehokas valmistus automaatiolinjalla. Tavanomaisten virheiden tehokas ratkaisu edellyttää nopeasti paikannettua vikatilannetta ja korjaavaa toimenpidettä. Linjan yksityiskohtaisen toiminnan ymmärtämiseksi ja sisäistämiseksi tekninen koulutus katsotaan ehdottomasti eduksi. Automaatio linjanoperaattori, jota selvityksessä seurattiin, oli työskennellyt kyseisellä linjalla hieman yli 2kk ja pystyi täysin itsenäisesti operoimaan kyseistä kokoonpanosolua. Kyseisellä henkilöllä oli kuitenkin taustalla tekninen ammattitutkinto sekä noin 10 vuoden työkokemus tekniseltä alalta.

#### **6.4.3 Työn edellyttämä vastuu**

Operaattori on vastuussa oikeiden tuotteiden oikea-aikaisesta valmistuksesta, ja siitä että materiaalit ovat oikeilla paikoilla automaatiolinjalla. Operaattorin tulee tarkastaa testilaitteiden toiminta ja valvoa koko linjan toimintaa työsuoritteiden aikana. Virheellisesti asetetut materiaalit tai väärin tehdyt korjaukset voivat aiheuttaa laiterikkoja tai turvallisuus riskin. Käytettävä laitteisto on arvokasta ja suuri osa

käytetyistä työvälineistä on kyseiseen käyttötarkoitukseen valmistettuja, joten tiettyjen varaosien saatavuudessa voi olla pitkät toimitusajat.

#### **6.4.4 Työolosuhteet**

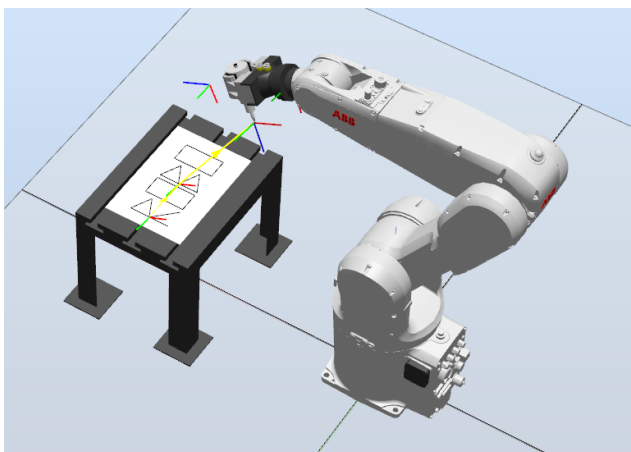
Tehtaan valaistus on pidettävä hyvin vakiona konenäköjärjestelmien toiminnan vuoksi. Ylimääräisiä heijastuksia välttääkseen esim. kattoikkunat on tummennettu ja valaistus hoidetaan normaaleihin olosuhteisiin led valaistuksella. Tehtaan tuotantotiloissa on sekä lämmitys ja ilmastointi, jolla voidaan kontrolloida ilman lämpötilaa ympäri vuoden. OTDC-kokoonpanolinja sijaitsee toisen automatisoidun kokoonpanolinjan vieressä, josta syntyy lievää tausta melua. Äänitasot on kuitenkin yhtiön työterveyden toimesta useaan otteeseen mitattu eivätkä ylitä 86db tasoa. Operaattorin tehtävät ovat kohtuu monipuoliset eikä samoja toistoja peräkkäin juurikaan esiinny. Käsiteltävät tuotteet ja komponentit ovat painoltaan 0,5–7,5 kg, mutta näitä ei tarvitse käsitellä toistuvasti. Materiaalien täytöt pääkomponenttien osalta hoidetaan lavoilla pumppukärryä käyttäen ja pienemmät materiaalit kuten ruuvit käsin täyttäen. Kokoonpanolinja on ohjelmoitu siten että virhetilanteen tullessa robotit liikkuvat sellaisiin asentoihin, että operaattorin olisi mahdollisimman helppo päästä käsiksi virheen aiheuttamaan kohteeseen. Kokoonpanolinja pysyy myös pääsääntöisesti puhtaana ja suurin osa liasta on osien mukana tulevaa pahvi, muovi ja metallipölyä. Linjalla esiintyy kuitenkin kohtalaisen tiheästi häiriöitä ja materiaaleja joutuu täyttämään kohtalaisen tiheästi. Tämän vuoksi operaattori on hyvin sidottu linjalle korkean toimintatason ylläpitämiseksi. Työtä tehdään pääsääntöisesti seisten ja kävellen.

## 7 OSAAMISEN VARMISTAMINEN

Sertifiointiohjelman päätteeksi tulisi operaattoreiden osaamisen taso varmistaa jollakin tavalla. Teoriakokeen sijasta päädyttiin harjoitustyön tekemiseen, jolla voidaan todeta tietyn tasoinen osaaminen aiheesta. Harjoitustyönä tehtäisiin yksikermainen robottisovellus käyttäen ABB RoboStudio:a ja sen simulointimahdollisuuksia. Harjoitustyön etuina on, että simuloinnin avulla robotin liikuttelu tulee myös tutuksi henkilöille turvallisessa ympäristössä ja siinä voidaan yhdistellä useita aihealueita, joita on aikaisemmin tässä työssä käsitelty.

### 7.1 Harjoitustyö

Luo uusi Station ABB RobotStudiolla käyttäen IRB 1200 -teollisuusrobottia. Lisää ohjelmasta löytyvistä kirjastoista tarvittavat komponentit kuten pöytä, sopiva työkalu ja ohjaimet. Käyttäen TCP trace -toimintoa piirrä vähintään kolmen kirjaimen yhdistelmä tyhjälle paperille robotilla. Lisää työkalulle tarvittavat signaalit, jotta tätä voidaan ohjata RAPI-ohjelmassa. Luo tallenne sovelluksen simuloinnista.



**Kuva 21.** Valmis RobotStudio -sovellus

## **7.2 Harjoitustyön toteutus ja hyödyt**

Harjoitustyössä käytetään ABB IRB1200-robottia, joka on hyvin yleinen myös tehtaalla olevissa sovelluksissa. Piirtosovelluksen avulla operaattorit tutustutetaan liikuttelemaan robottia sekä erilaisiin liiketyyppeihin. Työkaluksi valittiin kynä koska se löytyy valmiina ohjelman kirjastosta ja aloittelevalle käyttäjälle tarpeeksi yksinkertainen. Kynässä tulee kuitenkin käyttää muutamaa signaalia, jolloin myös erilaisten tulojen ja lähtöjen käsittely saadaan mukaan harjoitustyössä.

### **7.2.1 Ohjelmointi ja pääohjelma**

Harjoitustyö voidaan ohjelmoinnin puolella toteuttaa usealla eri tavalla. Ohjeistuksessa päädyttiin kuitenkin käyttämään pääohjelma ja aliohjelma rakennetta. Jokainen kirjain on luotuna aliohjelmana, joita sitten kutsutaan pääohjelmassa. Ohjelman alussa luodaan muuttujat, joita hyödyntämällä saadaan toteutettua kirjainten välinen siirtymä y-akselilla. nYsiirto määrittelee, kuinka paljon kunkin kirjaimen piirtämisen jälkeen täytyy y-akselilla siirtyä, jotta mahdollistaan piirtämään seuraava kirjain. Piirrettäessä useita kirjaimia otetaan tarvittava kokonaissiirtymä talteen nYkokosiirto muuttujana. Tämä muuttuja nollataan ohjelman alussa, jotta kirjoitus alkaisi aina samasta kohtaa. Robotti ajetaan ohjelman alussa ja lopussa kotipaikalle nivelliikkeillä, jolla varmistetaan, että se on sopivassa asennossa suorittamaan seuraavia tehtäviä.

```

VAR num nPiiirretyt:=0;
VAR num nYsiirto:=-60;
VAR num nYkokosiirto:=0;

PROC main()
!Paaohjelma
!nollataan tarvittavat laskurit
nYkokosiirto:=0;
MoveJ koti,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;

PiirtoR;
nYkokosiirto:=nYkokosiirto+nYsiirto;
PiirtoO;
nYkokosiirto:=nYkokosiirto+nYsiirto;
PiirtoB;
nYkokosiirto:=nYkokosiirto+nYsiirto;
PiirtoO;

MoveJ koti,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;

```

## Kuva 22. Harjoituksen pääohjelma

### 7.2.2 Kirjaimien piirto aliohjelmissä

Kirjaimet voidaan piirtää ohjelmoimalla jokainen piste ja liike erikseen. Ohjeistuksessa päädyttiin kuitenkin hyödyntämään ainoastaan yhtä pistettä ja piirto toteutetaan käyttäen OFFS-komentoja. Aloituspiste on määritelty paperin pintaan lähelle vasenta reunaa. Robotti voidaan liikuttaa nivelliikkeillä ja kovemmalla nopeudella hieman aloituspisteen yläpuolelle. Tämän jälkeen siirrytään lineaariliikkeellä pienemmällä nopeudella ja suuremmalla tarkkuudella piirron aloituskohtaan. Kun robotti on kohdallaan, asetetaan kynä päälle Set DO\_Trace-komennolla,

jonka jälkeen on lisätty pieni odotus, jolla varmistetaan, että piirto on varmasti päällä ennen liikkeelle lähtöä.

```
PROC PiirtoR()  
  MoveJ OFFS(aloitus, -50, nYkokosiirto, 50), v500, z100, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
  MoveL OFFS(aloitus, -50, nYkokosiirto, 0), v100, fine, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
  Set DO_Trace;  
  WaitTime(0.1);  
  MoveL OFFS(aloitus, 50, nYkokosiirto, 0), v100, fine, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
  MoveL OFFS(aloitus, 25, nYkokosiirto-50, 0), v100, fine, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
  MoveL OFFS(aloitus, 0, nYkokosiirto, 0), v100, fine, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
  MoveL OFFS(aloitus, -50, nYkokosiirto-50, 0), v100, fine, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
  Reset DO_Trace;  
  WaitTime(0.1);  
  MoveL OFFS(aloitus, -50, nYkokosiirto-50, 50), v100, fine, Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;  
ENDPROC
```

### Kuva 23. R-kirjaimen aliohjelma

OFFS-komentoa haluttiin käyttää koska, tämä mahdollistaa muutosten nopeamman tekemisen. Mikäli paikoituksia joudutaan korjaamaan, riittää kyseisessä mallissa ainoastaan aloituspaikan korjaaminen, koska piirto-ohjelmat ovat tehty tämän suhteella.

## 8 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄ

Automaation lisääntyessä on tehtaan varmistettava laitteiston tehokas käyttö ja tämä pohjautuu laajalti operaattoreina työskentelevien henkilöiden osaamiseen. Automaatiolinjat ovat laajoja kokonaisuuksia, joissa yhdistyy monen alan erityisosaamista. Laitteiston tehokas käyttö sekä toimintojen kehittäminen vaatii ainakin päällisin puolin kokonaisuuden ymmärtämistä. Koska kokoonpanolinjat on valmistettu eri vuosina ja eri valmistajien toimesta, on niiden käytössä ja toiminnassa suuriakin eroja. Tämän takia olisi myös tärkeätä, että tehtaalla käytettävissä olevilla resursseilla olisi hyvä yleisymmärrys automaatio- ja robottisolujen toiminnoista. Tämän avulla voidaan resurssien moniosaamista ja käytettävyyttä usealla linjalla edesauttaa.

Työn tavoitteena oli määritellä työnvaativuus uusimmalla automaatiolinjalla, kartoittaa koulutustarpeet sekä luoda viitepohja tarvittavalle koulutukselle käyttäen tehtaalla olevia esimerkkejä ja ratkaisuja. Tehdyn alustavan työvaativuustutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nykyiset vaatimukset operaattoreille ovat kohdallaan ja näihin ei sinänsä muutoksia tarvita. Operaattoreille on aikaisemmin järjestetty kohdennettua koulutusta paikallisten oppilaitosten kanssa. Vaikka suurimmalla osalla nykyisistä operaattoreista on teknisenalan pohjakoulutus, nähdään kuitenkin kohdennetulle lisäkoulutukselle edelleen tarve. Koulutuksen tavoitteena olisi lisätä operaattoreiden yleiskäsitystä automaatiolosuista, joissa käytetään robotiikkaa. Oikeantyyppisellä koulutuksella voitaisiin myös kannustaa työntekijöitä jatkokoulutukseen, johonka yrityksellä on myös muita vartenotettavia tukitoimenpiteitä.

Työn pohjalta on päädytty järjestämään koulutus operaattoreille joko sisäisesti tai hyödyntämällä yhteistyötä paikallisten korkeakoulujen kanssa. Tähän myös yksikön työntekijät suhtautuivat erittäin myönteisesti.

## LÄHTEET

- ABB. 2022 a. Suomalaiset juuret Viitattu 31.1.2023.  
31.1.2023<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- Aalto Otto. 2018. Automaatio enne, nyt ja tulevaisuudessa. Forssa Forssa Print
- ISO-8373-2021 International Standard, Robotics vocabulary. Viitattu 31.1.2023.  
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75539/1bc8409322eb4922bf680e15901852d2/ISO-8373-2021.pdf>
- Tekniikka & Talous. Tekniikan Historia 27.1.2022 Viitattu 31.1.2023.  
<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/teollisuusrobotit-saivat-alkunsa-1950-luvulla-alkuperainen-toimintaymparisto-on-edelleen-yleisin/9943374a-e957-43e6-9d3b-848405639628>
- Valmet Automotive. 2022 yritys esittely. Viitattu 31.1.2023.  
<https://www.valmet-automotive.com/fi/yritys/>
- Kuivanen Risto. 1999. Robotiikka. Vantaa Tummavuoren Kirjapaino.
- IFR. 2022. International Federation of Robotics. World Robotics 2022. Frankfurt. Viitattu 31.1.2022.
- ABB. 2008. Operating manual RobotStudio 3HAC032104-001\_rev-D. Viitattu 31.1.2023.
- ABB. 2022 b. Teollisuusrobotit tarjonta. Viitattu 31.1.2023  
<https://new.abb.com/products/robotics/robots>
- ABB. 2022 c. MultiMove technical article 1.3.2004. Viitattu 31.1.2023.  
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105152A2837&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. 2016 a. Operating Manual IRC5 & RobotStudio 3HAC027097-001. Viitattu 31.1.2023
- ABB. 2016 b. Application Manual Integrated Vision 3CHAC044251-001. Viitattu 31.1.2023
- SAP 2022. about company. Viitattu 31.1.2023.  
<https://www.sap.com/finland/about/company.html>
- Omron. 2022 a. NJ/NX series esite. Viitattu 31.1.2023  
[https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v5/p123\\_nj\\_nx-series\\_machine\\_automation\\_controller\\_brochure\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v5/p123_nj_nx-series_machine_automation_controller_brochure_en.pdf)

Crushtymks. 2022. 4 suosittua PLC-ohjelmointikieltä. Viitattu 31.1.2023.  
<https://crushtymks.com/fi/industrial-automation/1101-4-most-popular-plc-programming-languages-for-implementation-of-control-diagrams.html>

SolisPLC. 2022. PLC Ohjelmointi. LD-kieli. Vladimir Romanov. Viitattu 31.1.2023.  
<https://www.solisplc.com/tutorials/how-to-read-ladder-logic>

ResearchGate. 2022. Figure2. Zol Bahri Razali. Viitattu 31.1.2023.  
[https://www.researchgate.net/figure/Robots-classification\\_fig1\\_281642600](https://www.researchgate.net/figure/Robots-classification_fig1_281642600)

PLC Academy 2022. Function Block Diagram. Ohjelmoinnin alkeet. Viitattu 31.1.2023  
<https://www.plcacademy.com/function-block-diagram-programming/>

2Kmediat SQL alkeet. 2022. Viitattu 31.1.2023.  
<https://www.2kmediat.com/sql/alkeet.asp>

Teknologiateollisuus RY:n ja Teollisuusliitto RY:n välinen Työehtosopimus 4.1.2020-30.11.2021. PDF 978-952-238-235-1. Viitattu 31.1.2023.



## LIITTEET

### LIITE 1

#### Harjoitustyön ohjeet

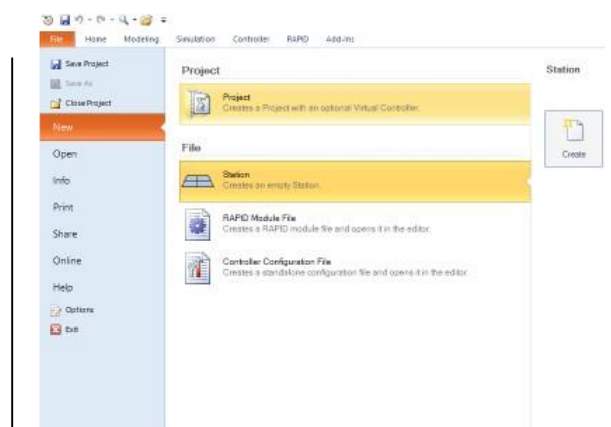


## RobotStudio

### Uuden työn aloitus

#### Ohjeet

1. Avataan päävalikko
2. Valitaan New ja aukeavasta valikosta Station, ja tämän jälkeen create



## Robotin lisääminen

Robotin ja ohjaimen lisäys

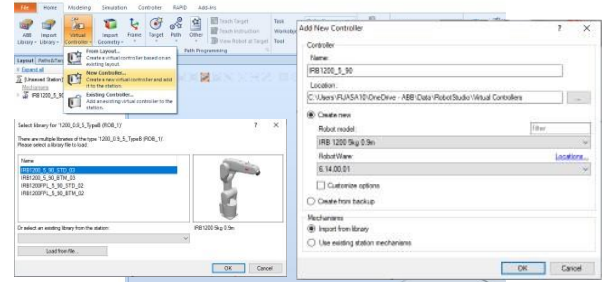
### Robotin valinta

1. Valitaan ABBlibrarystä sopiva robotti
2. Määritellään tarkemmin haluttu malli
3. Viimeistellään painamalla OK
4. Robotti ilmaantuu keskelle työalustaa

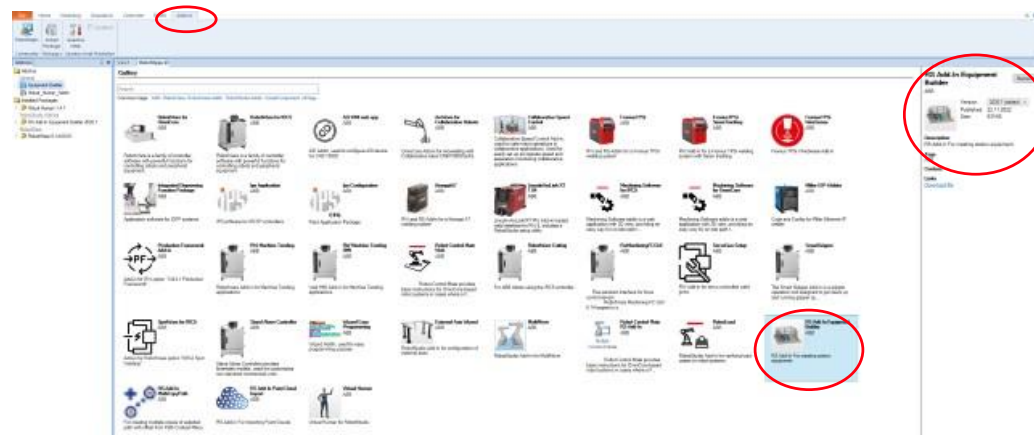


### Ohjaimen lisääminen

1. Lisätään ohjainyksikkö Virtual Controller valikosta
2. Annetaan ohjaimelle nimi ja tallennuspaikka
3. Valitaan sama robottimalli joka tuotiin aikaisemmin työpöydälle ja painetaan OK

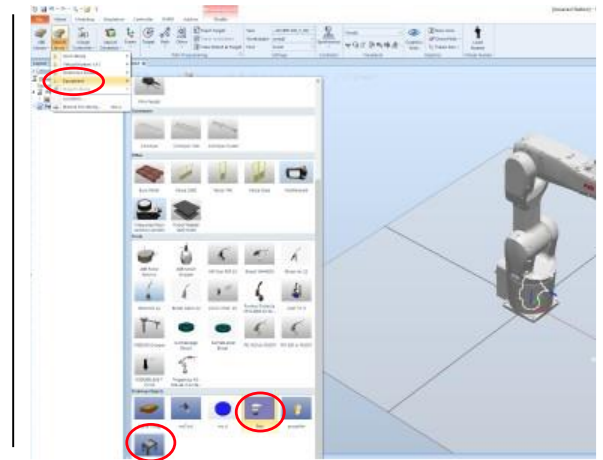


Varmistetaan että Equipmen Builderi on asennettuna Add-Ins valikosta  
Jo ei asenneta tämä



## Työkalun lisääminen

1. Valitaan import libraryja sieltä Equipmentvalikko
2. Lisätään Pen joka löytyy valikon pohjalta
3. Lisätään myöspropellertablesamasta valikosta
4. Työkalu sekä pöytä ilmaantuvat robotin ympäristöön.

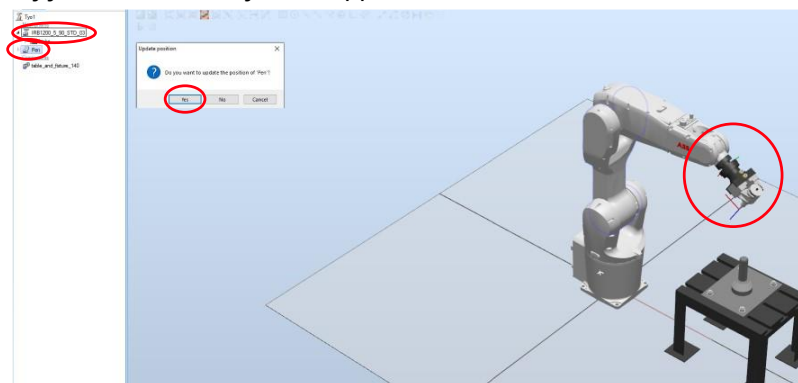


©ABB  
December 27, 2022 | Slide 5

ABB

## Työkalun lisääminen

1. Kiinnitetään työkalu robotin työkalulaippaan ottamalla hiirellä siitä kiinni ja vetämällä se robotin päälle ja sitten päästämällä irti.
2. Valitaan Yes aukeavaan kysymykseen halutaanko työkalun "Pen" paikkaa päivittää
3. Työkalu ilmestyy kiinni Robotin työkalulaippaan



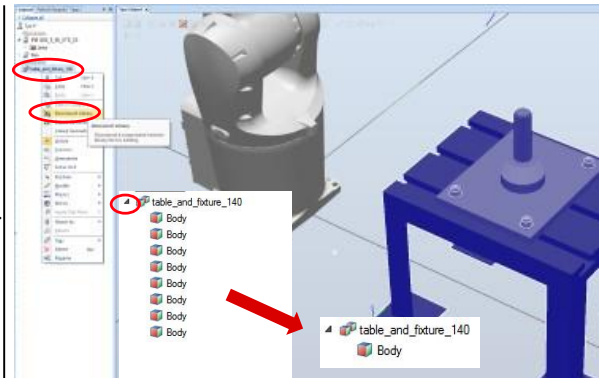
©ABB  
December 27, 2022 | Slide 6

ABB

## Pöydän muokkaaminen

Muokataan pöytä paremmin harjoitukseen soveltuvaksi

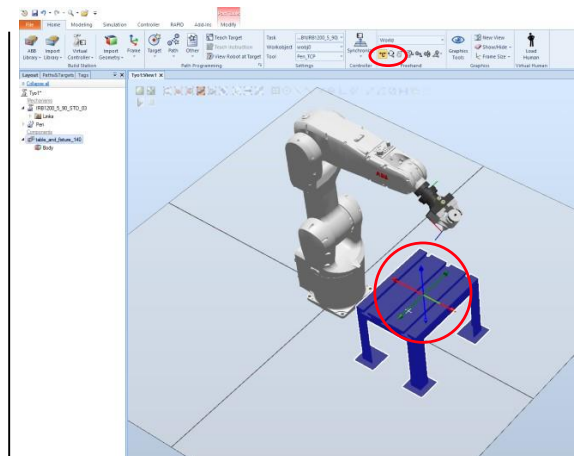
1. Valitaan pöytä layout valikosta ja painetaan sitä hiiren oikealla näppäimellä
2. Valitaan Disconnect Library
3. Tämän jälkeen table\_and\_fixture ja sen osat on laajennettavissa pienestä nuolesta kuvakkeen vieressä
4. Valitsemalla kukin osa näkyy tämä myös eri värisenä työpöydällä
5. Poistetaan kaikki muut ja jätetään pelkkä pöydän runko jäljelle. Osat voidaan poistaa valitsemalla ne ja painamalla delete näppäintä.



## Pöydän muokkaaminen

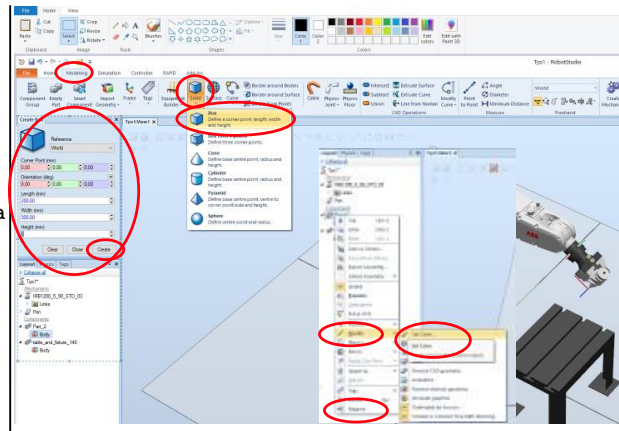
Pöydän siirto

1. Siirretään pöytä sopivaan paikkaan robotin läheistyyteen.
2. Objekteja voidaan liikutella ylävalikon kahdella eri toiminnolla, joko suoraviivaisesti tai kiertämällä.
3. Kun haluttu liikuttamistapa on valittu, siirretään objektia nuolista vetämällä jotka siihen ovat ilmaantuneet
4. Näkökentässä robotin ympäristössä voidaan liikkua zoomaten hiiren rullaa käyttämällä, suoraviivaisesti painamalla näppäimistöä Ctrl pohjaan ja vetämällä työaluetta ylös, alas tai sivuille. Painamalla Ctrl + Alt näppäimistöä voidaan näkökulmaa robotin ympärillä kiertää jälleen hiirellä kiinni ottamalla.



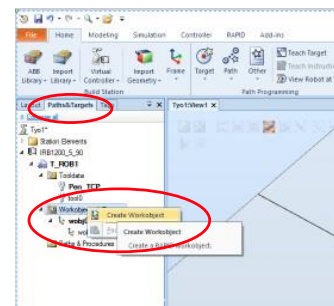
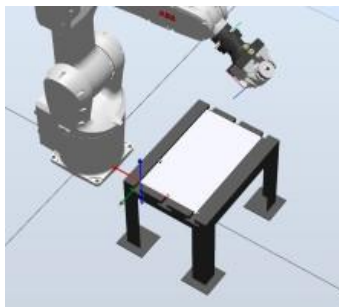
## Paperin luonti

1. Luodaan paperi valitsemalla Modelling-alkikko sieltä Solid ja sitten Box
2. Annetaan paperille pituudeksi 200mm, leveydeksi 300mm ja korkeudeksi vaikka 2mm
3. Tarkastetaan että paperi tulee maailman koordinaatistoon World
4. Paperi ilmaantuu todennäköisesti harmaana työalustaan
5. Muutetaan nimi paperiksi painamalla objektia hiiren oikealla ja valitaan rename
6. Väri voidaan vaihtaa samasta valikosta valitsemalla Modifja Set Color



## Paperin Luonti

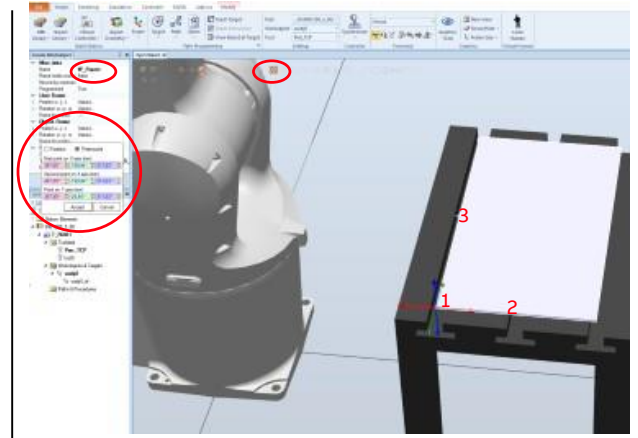
1. Liikutetaan paperi samalla tavalla kuin pöytä keskelle työpöytä
1. Muodostetaan paperille oma koordinaatisto
2. Mennään Pahts&Targets-välilehdelle valikosta
3. Painetaan Workobjects & Targets-valikkoa oikealla
4. Valitaan Create Workobject



## Paperin luonti

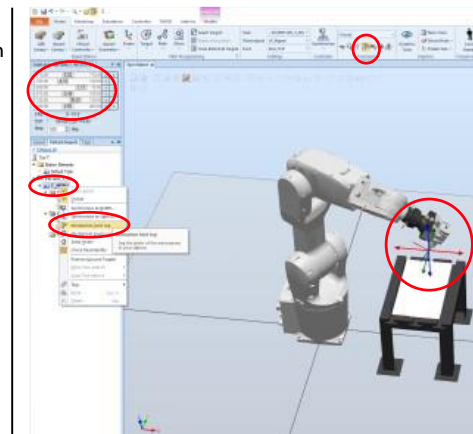
Luodaan paperille koordinaatisto

1. Nimetäänworkobjektiesim. W\_Paper
2. Valitaan ObjectFramevalikosta Frameby points
3. Aukevasta valikosta Three-Point
4. Laitetaan kursori punaiseen kenttäänfirst point on X axis
5. Valitaan kohta 1 paperista
6. Laitetaan kursorisecond point on X axis kenttään ja valitaan kohta 2 paperista
7. Laitetaan kursori kohtaan pointon Y axis ja valitaan kohta 3 paperista
8. Kohtien valinnan heloittamiseksi voidaan käyttäänäp työkalua ikkunan yläkentästä
9. Valitaan Acceptja sitten Create



## Robotin liikuttelu

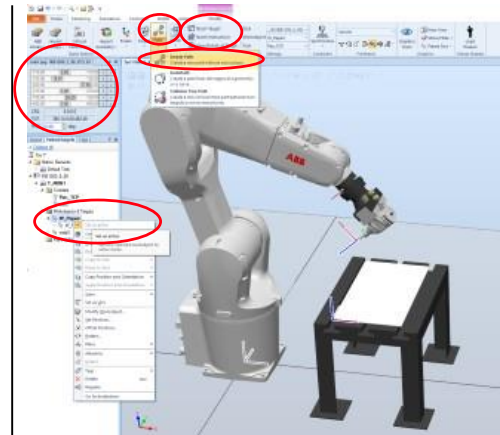
1. MennäänPaths&Targetsvälilehdelle ja avataancontroller
2. Hiiren oikealla näppäimellä saadaan valikko auki josta voidaan valita mechanismjoi jog jolla voidaan liikuttaa robotin niveltä kerrallaan yllä olevastaulokosta säätämällä nivelkulmia
3. Toinen tapa liikuttaa robottia on valitaMechanism linear jog tai sama saadaan ylävalikosta.
4. Tämän jälkeen painetaan vasemmalla hiiren näppäimellä robotin työkalua jolloin siihen ilmaantuu liikuttelu nuolet.
5. Nuolista hiirellä vetämällä voidaan robottia liikuttaa lineaarisesti.
6. Tutustutaan robotin liikehdintään



## Robotin liikuttelu

### Kotipiste

1. Valitaan paperin koordinaatistoW\_Paperipainamalla sitä hiiren oikealla näppäimellä ja se active.
2. Liikutellaan robotti nivel ja lineaarisilla liikkeillä sellaiseen asentoon että sen on hyvä siitä lähteä tekemään liikkeitä halutulla työalueella
3. Luodaan kyseiseen koordinaatistoon liikerata valitsemalla Path ja Empty path
4. Tämän jälkeen tallennetaan kotipaikka valitsemalla joko teach Instruction tai Teach Target. Instruction valittaessa muodostuu paikkaan myös liike.



©ABB

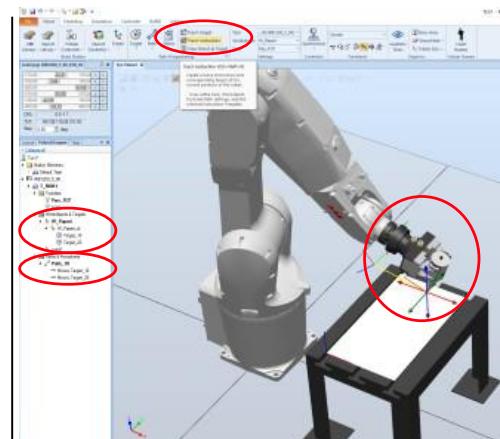
December 27, 2022 | Slide 13

ABB

## Robotin liikuttelu

### Aloituspiste

1. Seuraavaksi liikutellaan robotti nivel ja lineaariliikkeillä paperilla sellaiseen kohtaan mistä piirto tai kirjoitus olisi hyvä aloittaa. Avuksi voi käyttää erialaisia snaptyökaluja joilla kohdennus onnistuu helpommin.
2. Tallennetaan myös tämä piste talteen valitsemalla teach instruction.
3. Tehdyt paikoitukset ja liikkeet näkyvät Pahts & Targets välilehdellä
4. Nimetään paikat esim. koti ja aloitus.
5. Nimen saa vaihdettu painamalla targettia hiiren oikealla ja valitsemalla rename



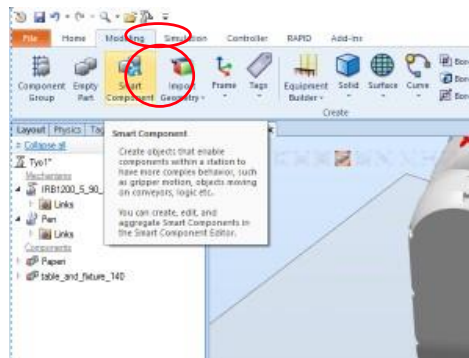
©ABB

December 27, 2022 | Slide 14

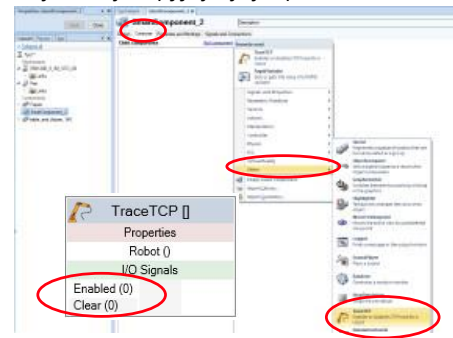
ABB

## Työkalun määrittely

1. Aloitetaan määrittely menemällä modelin välilehdelle ja painamalla SmartComponen nappia



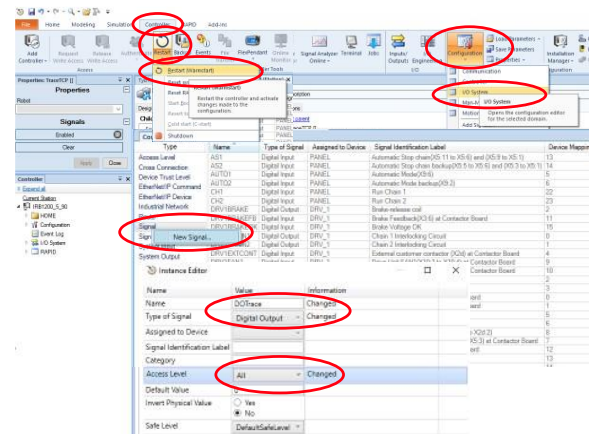
1. Aukeavasta ikkunasta mennään Compose välilehdelle valitaan Add component -> Other ja TraceTCP työkalu
2. Kynässä on kaksi digitalistatuoloa Enable joka käynnistää kynän ja Clear joka pyyhkii jäljen pois



## Työkalun määrittely

### IO kanavien luonti

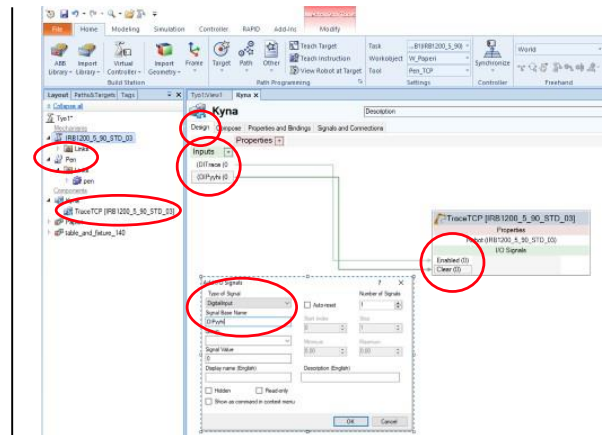
1. Mennään Controller välilehdelle ja valitaan Configuration
2. Aukeavasta valikosta valitaan I/O Systems
3. Aukeavasta valikosta painetaan hiiren oikealla valikko signals ja valitaan newsignal
4. Luodaan signaalit DO Trace DOPyyhin ja DI Trace ja DIPyyhin
5. DO signaaleille valitaan tyyppi Digital Output ja DI signaaleille Digital Input. Laitetaan kaikille signaaleille Access level All
6. Jotta lisätyt signaalit tulevat voimaan on Controller uudelleen käynnistettävä Valitsemalla restart ja restart (Warmstart)



## Työkalun määrittely

IO ja linkitys kynään

1. Otetaan kiinni TraceTCP työkalusta ja vedetään se Pen työkalun päälle. Ja vahvistetaan sen Paikka siihen.
2. Avataan Kynä työkalu ja lisätään + merkistä DITrace ja DIPyyhi inputit
3. Vedetään näistä viivat työkalun signaaleille. Trace Enabled



©ABB

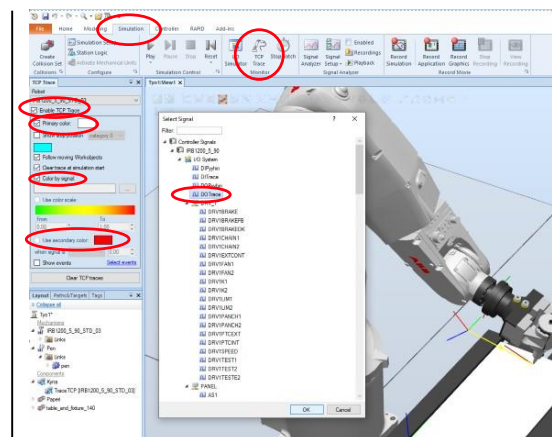
December 27, 2022 | Slide 17

ABB

## Työkalun määrittely

Värin valminta

1. Mennään simulationvälilehdelle ja valitaan TCP Trace
2. Valitaan Enable TCP Trace
3. Valitaan Color by signal ja valitaan signaaliksi aiemmin luotu DOTrace
4. Valikosta secondarycolor voidaan valita mieluisa väri
5. Primary color voidaan tämän jälkeen laittaa tyhjäksi



©ABB

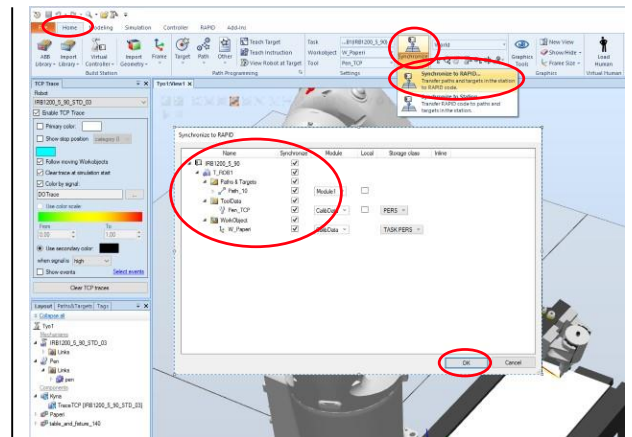
December 27, 2022 | Slide 18

ABB

## Ohjelmointi

### Ohjelman synkronointi

1. Palataan Home välilehdelle
2. Valitaan Synchronize ja Synchronize to RAPID
3. Kun synkronisoidaan ensimmäistä kertaa RAPIDiin ruksitaan kaikki valikot ja painetaan ok.
4. Sen jälkeen kun ohjelmassa RAPIDin puolella ollaan tehty muutoksia pitää olla varovainen sen kanssa mitä synkronisoi Stationista RAPIDin puolelle.



©ABB

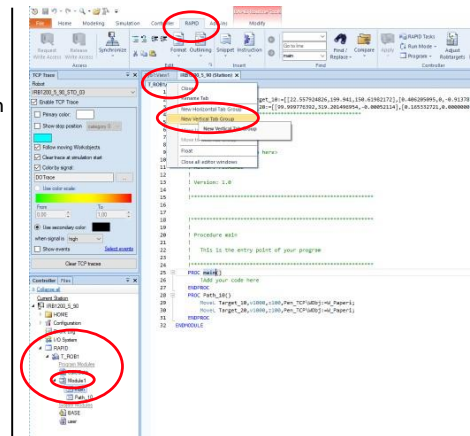
December 27, 2022 | Slide 19

ABB

## Ohjelmointi

### RAPID

1. Synkronoinnin jälkeen mennään RAPID välilehdelle.
2. Avataan RAPI ohjelma Controller välilehdeltä ja avataan Module1 ohjelma
3. Hiiren oikealla näppäimellä saadaan auki valikko josta voidaan valita New Verticaltai Horizontal Tab Group jolloin myös robotti saadaan näkyviin.



©ABB

December 27, 2022 | Slide 20

ABB

## Ohjelmointi

### Pääohjelma ja muuttujat

1. Muodostetaan muuttujat joita ohjelmassa uskotaan tarvitsevan käyttämässä VAR numkomentoa
2. Kun aliohjelmat on kirjoitettu voidaan nämä lisätä main pääohjelmaan. (aliohjelmat seuraavalla sivulla)
3. Muistetaan kommentoita ohjelma

```

35 VAR num:=Pääohjelmaksi;
36 VAR num:=Siirto:=0;
37 VAR num:=Kokonaisluku:=0;
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72

```

©ABB

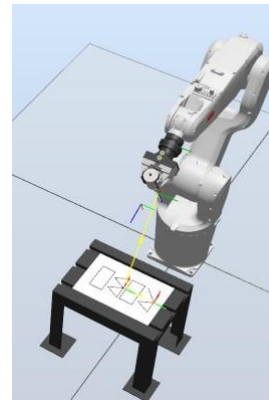
December 27, 2022 | Slide 21

ABB

## Ohjelmointi

### Aliohjelmat

1. Luodaan aliohjelmat PROC ja ENDPROC kirjausten väliin
2. Käytetään liikutteluun OFFS komentoja jolloin voidaan hyödyntää vain yhtä paikoitusta
3. MoveL = lineaari liike ja MoveJ = joint liike. Lähestymine voidaan tehdä joiht liikkeellä mutta tarkat liikeradat on toteutettavalla lineaarilla
4. OFFS(paikka johonka viitataan, siirtymä akselilla, siirtymä akselilla, siirtymä akselilla).
5. vXXXkomentorivin perässä indikoi nopeutta jolla robotti liikkeen liikkuu ja zXXX tarkkuutta. Komennollafine mennään täsmällisesti annettuun paikkaan
6. Kun IO:ta ohjataan on edeltävän käskyn päätyttävä aina fine tarkkuuteen.
7. Ohjataan kynä päälle SetDO\_Tracekomennolla ja pois Reset
8. IO ohjauksen jälkeen voi olla hyvä laittaa pienödotis WaitTime ja odotettava aika



```

58 PROC Siirto()
59 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
60 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
61 Set DO_Trace;
62 WaitTime(0.1);
63 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
64 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
65 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
66 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
67 Reset DO_Trace;
68 WaitTime(0.1);
69 MoveJ Offs(alistus,50,vKokonaisluku,50),v100,v100,Fin,TCPUABJ)-ml,Paperi;
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109

```

©ABB

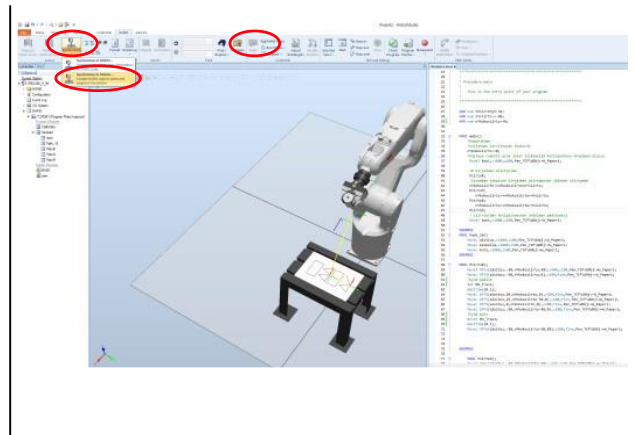
December 27, 2022 | Slide 22

ABB

## Ohjelmointi

### Ohjelman simulointi

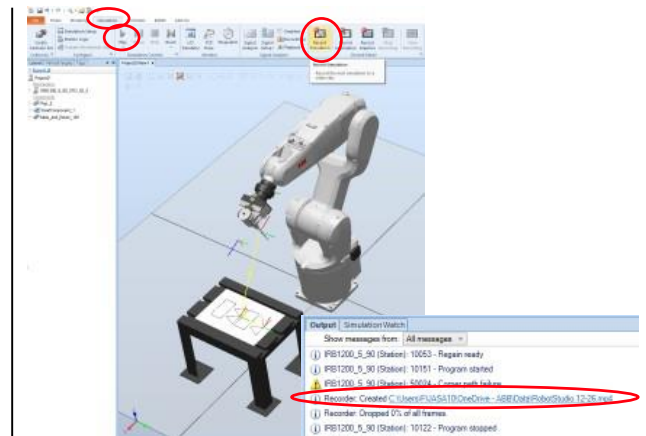
1. Ohjelman muutokset voidaan päivittää ohjaimella Apply napilla.
2. Valmis ohjelma synkronisoidaan asemalla Synchronize valikosta ja Synchronizeto Station valikolla.



## Simulointi

### Simulointi ja tallennus

1. Ohjelmaa voidaan simuloida Simulation välilehdellä.
2. Painamalla Play nappia ohjelma lähtee käyntiin.
3. Valitsemalla Record Simulation luodaan simuloinnista video
4. Ohjelma ilmoittaa minne video on tallennettuna ohjelman päätyttyä alhaalla olevassa info näkymässä.
5. Tallennetaan video suorituksesta.





## LIITE 2

### Harjoitustyön RAPID ohjelma

MODULE Module1

```
CONST robtarget aloitus=[[545.224472821,128.179595688,308.560303454],[0.220745406,-
0.010197496,-0.974141793,-0.047066375],[0,0,-1,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget keskella=[[545.22447696,7.773415454,308.560304259],[0.220745403,-
0.01019751,-0.974141793,-0.047066391],[-1,-1,0,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget koti=[[355.966205386,7.773415787,621.477738691],[0.220745384,-
0.010197509,-0.974141797,-0.047066393],[-1,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
!*****
```

```
!
```

```
! Module: Module1
```

```
!
```

```
! Description:
```

```
! <Insert description here>
```

```
!
```

```
! Author: FIJASA10
```

```
!
```

```
! Version: 1.0
```

```
!
```

```
!*****
```

```
!*****
```

```
!
```

```
! Procedure main
```

```
!
```

```
! This is the entry point of your program
```

```
!
```

```
!*****
```

```
VAR num nPiirretyt:=0;
```

```
VAR num nYsiirto:=-60;
```

```
VAR num nYkokosiirto:=0;
```

```
PROC main()
```

```
!Paaohjelma
```

```
!nollataan tarvittavat laskurit
```

```
nYkokosiirto:=0;
```

```
!Ajetaan robotti aina joint liikkeellä kotiasentoon ohjelman alussa
```

```
MoveJ koti,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
```

```
!R kirjaimen aliohjelma
```

```
PiirtoR;
```

```
!listää jokaisen kirjaimen piirtämisen jälkeen siirtymää
```

```

nYkokosiirto:=nYkokosiirto+nYsiirto;
PiirtoO;
  nYkokosiirto:=nYkokosiirto+nYsiirto;
PiirtoB;
  nYkokosiirto:=nYkokosiirto+nYsiirto;
PiirtoO;
! siirrytään kotipisteeseen ohjelman päätteeksi
MoveJ koti,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;

ENDPROC
PROC Path_10()
  MoveL aloitus,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL keskella,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL koti,v1000,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
ENDPROC

PROC PiirtoR()
  MoveJ OFFs(aloitus,-50,nYkokosiirto,50),v500,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  !kyna päälle
  Set DO_Trace;
  WaitTime(0.1);
  MoveL OFFS(aloitus,50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,25,nYkokosiirto-50,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,0,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto-50,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  !Kyna pois
  Reset DO_Trace;
  WaitTime(0.1);
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto-50,50),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;

ENDPROC

PROC PiirtoO()
  MoveJ OFFs(aloitus,-50,nYkokosiirto,50),v500,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  Set DO_Trace;
  WaitTime(0.1);
  MoveL OFFS(aloitus,50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,50,nYkokosiirto-50,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto-50,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
  Reset DO_Trace;
  WaitTime(0.1);
  MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,50),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;

ENDPROC

```

```
PROC PiirtoB()
MoveJ OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,50),v500,z100,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
Set DO_Trace;
WaitTime(0.1);
MoveL OFFS(aloitus,50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
MoveL OFFS(aloitus,25,nYkokosiirto-50,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
MoveL OFFS(aloitus,0,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
MoveL OFFS(aloitus,-25,nYkokosiirto-50,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto,0),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;
Reset DO_Trace;
WaitTime(0.1);
MoveL OFFS(aloitus,-50,nYkokosiirto-50,50),v100,fine,Pen_TCP\WObj:=W_Paperi;

ENDPROC

ENDMODULE
```

