



Robottikoulutuksen kehittäminen

Risto Widberg

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Automaatioteknologia

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Automaatioteknologia YAMK

WIDBERG, RISTO:
Robottikoulutuksen kehittäminen

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 6 sivu
Toukokuu 2022

Omron Electronics on valmistanut teollisuusrobotteja vuodesta 2015 lähtien. Tätä ennen yritys on ollut paremmin tunnettu PLC- ja anturivalmistajana. Omron robotit myydään usein osaksi Omron-laitteilla toteutettua järjestelmää, jonka integraattorilla ei välttämättä ole aiempaa kokemusta robotiikasta. Auttaakseen asiakkaitaan hyödyntämään robottituotteitaan, Omron Electronics tarjoaa asiakkailleen robottikoulutusta ja teknistä tukea tuotteiden käytössä.

Ohjelmisto- ja tuotepäivitysten myötä yrityksen robottikoulutusmateriaali on vanhentunut, eikä koulutuksen toteuttaminen käytössä olevalla koulutuslaitteistolla ole kaikilta osin mahdollista. Tämä opinnäytetyö on kehitysprojekti, jossa yrityksen robottikoulutusmateriaali päivitetään vastaamaan nykyisiä tuotteita ja käytössä olevaa laitteistoa. Kehityksen tueksi työssä tutkitaan yrityksen teknisen tuen käsittelemiä tukipyynnöitä ja tutkimuksen avulla kartoitetaan ne koulutuksen osa-alueet, missä kehityksen tarve on suurin.

Työn kirjallinen osuus käsittelee teollisuusrobotiikan mekaniikkaa, -ohjausta ja -ohjelmointia. Kehitetyn koulutuksen teoria sisältö perustuu työn kirjalliseen osuuteen.

Työn tuloksena luotiin uusi koulutusmateriaali ja harjoitustehtävät, jotka vastaavat nykyisiä robottituotteita. Harjoitustehtäviä suunniteltaessa keskityttiin teknisen tuen käsittelemissä tukipyynnöissä esille nousseiden ongelma-aiheiden parempaan havainnollistamiseen. Myös koulutuslaitteistoa kehitettiin, uusimalla koulutusrobotin tarttujen harjoitustehtävien vaatimuksien mukaiseksi.

Asiasanat: robotti, teollisuusrobotti, omron, adept, koulutus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
Automation Engineering

WIDBERG, RISTO:
Development of Industrial Robot Training

Master's thesis 67 pages, appendices 6 page
May 2022

Efficient utilization of Omron robot products in automation systems requires expertise in robotics. To allow the utilization of their robot products, Omron Electronics offers training and technical support for their customers. Due to recent product updates the robotics training in use at the company was outdated.

This thesis was a development project to update the company's robotics training to match the current products. During the project, research was conducted, where the company's technical support's case history was searched for cases which could have been avoided with better customer training. The found cases were analyzed and categorized into groups by the area of training where the additional instructing was needed. The research indicated that the training could be improved by prioritizing the teaching of basics of programming robot motion and positioning.

New training material and hands-on training exercises were created. To facilitate the training exercises, the company's robot used for training purposes was fitted with a new gripper. The literature part of this thesis deals with robot programming, mechanics, and control, and it forms the basis for the theory content of the training developed in this study.

Key words: industrial robot, omron, adept, training

SISÄLLYS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | TEOLLISUUSROBOTIT | 8 |
| | 2.1 Historia | 8 |
| | 2.2 Robottitilastoja | 14 |
| 3 | MEKANIikka | 17 |
| | 3.1 Kiertyvänivelinen robotti | 18 |
| | 3.2 SCARA | 19 |
| | 3.3 Rinnakkaisrakenteinen robotti | 20 |
| | 3.4 Suorakulmainen robotti | 22 |
| 4 | OHJAUS | 24 |
| | 4.1 Koordinaatistot | 24 |
| | 4.2 Kinematiikka | 25 |
| | 4.2.1 Singulariteetti | 27 |
| | 4.3 Ohjelmointi | 30 |
| | 4.3.1 Ohjelmapisteet | 30 |
| | 4.3.2 Ohjelmapisteiden muokkaaminen | 31 |
| | 4.3.3 Liikekäskyt | 34 |
| | 4.3.4 Konfiguraatiot | 35 |
| | 4.3.5 Suoritusjärjestys | 37 |
| 5 | TURVALLISUUS | 39 |
| | 5.1 Työalueen turvallistaminen | 39 |
| | 5.2 Työskentely robotin työalueella | 40 |
| 6 | OMRON ADEPT ROBOTIT | 41 |
| | 6.1 Robottilaitteet | 41 |
| | 6.2 ACE – Automatic Control Environment | 41 |
| | 6.2.1 eV+ -ohjelmointikieli | 41 |
| | 6.2.2 ePLC-rajapinta | 42 |
| | 6.2.3 Sample Program Wizard | 42 |
| | 6.2.4 ACE Sight | 43 |
| | 6.2.5 3D Simulointi | 44 |
| | 6.3 T20-ohjauspääte | 45 |
| | 6.4 AnyFeeder | 45 |
| 7 | ROBOTTIKOULUTUKSEN KEHITTÄMINEN | 46 |
| | 7.1 Koulutuksen vaatimukset | 46 |
| | 7.1.1 Tukipyyntöjen analysointi | 46 |
| | 7.2 Koulutusmateriaalin kehittäminen | 48 |

| | |
|---|----|
| 7.3 Koulutuslaitteisto | 50 |
| 7.3.1 Testisolun kehittäminen | 51 |
| 8 Työn tulokset | 52 |
| 8.1 Tarttuja | 52 |
| 8.2 Koulutusmateriaali | 54 |
| 8.2.1 Ohjelmointikoulutus | 54 |
| 8.2.2 Tuotekoulutus | 56 |
| 9 YHTEENVETO JA POHDINTA | 58 |
| LÄHTEET | 60 |
| LIITTEET | 62 |
| Liite 1. Soviteosa | 62 |
| Liite 2. Koulutusmateriaali: Pinoaminen | 63 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|------|---|
| CAD | Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu |
| IGES | Initial Graphic Exchange Specification, valmistajariippumaton CAD-tiedostotyyppi |
| STEP | Standard for the Exchange of Product Data, ISO 10303-standardin mukainen CAD-tiedostotyyppi |
| NC | Numerical Control, työstö- tai muun koneen numeerinen ohjaus |
| ISO | International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö |
| PLC | Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka |
| IO | Input/Output, signaalien siirräntä laitteiden välillä |

1 JOHDANTO

Omron on vakiintunut automaatiolaittevalmistaja, jonka laaja tuotevalikoima kattaa kaikki tavallisimmat automaatiotuoteryhmät. Robotteja Omron on valmistanut vuodesta 2015, jolloin Omron osti yhdysvaltalaisen robottivalmistajan Adept Technologyn.

Omron ei ole tunnettu robottivalmistajana. Omron robotit myydään usein osaksi muilla Omron-laitteilla toteutettua järjestelmää, niiden hyvän yhteensopivuuden vuoksi. Asiakkaat ovat usein kokeneita Omron-integraattoreita, mutta heillä ei välttämättä ole kokemusta robotiikasta. Auttaakseen asiakkaitaan hyödyntämään Omronin robottituotteita, yritys kouluttaa asiakkaita teollisuusrobotiikassa ja tarjoaa heille teknistä tukea laitteiden käytössä.

Ohjelmapäivitysten vuoksi yrityksen käytössä oleva koulutusmateriaali ei vastaa enää nykyistä ohjelmistoa. Lisäksi koulutusmateriaali on suunniteltu käytettäväksi yrityksen Euroopan koulutuskeskuksessa, missä koulutusta varten on käytössä monipuolisempi laitteisto, kuin yrityksen Suomen toimistolla. Tämä opinäytetyö on kehitysprojekti, jossa kehitetään yrityksen tarjoama robottikoulutus vastaamaan nykyisiä ohjelmaversioita ja koulutuskäyttöön tarkoitettua laitteistoa.

Työn teoriaosuus on kirjallinen tutkimus teollisuusrobotiikasta. Osuudessa käsitellään robottien historiaa teknologian ja -markkinoiden kehittymisen osalta, sekä robottimekaniikkaa, -ohjausta, -ohjelmointia ja -turvallisuutta. Teoriaosuuden viimeisessä kappaleessa esitellään Omronin robottituotteet. Kehitettävän koulutuksen asiasisältö muodostuu teoriaosuudessa käsitellyistä aiheista.

Työn toinen osuus koostuu kehitysprojektin kuvauksesta. Kehitystarve kartoitetaan käymällä läpi nykyinen opetusmateriaali ja -laitteisto. Kehitysprojektia edeltävän koulutuksen toimivuutta arvioidaan tutkimalla teknisen tuen käsittelemiä tukipyntöjä. Tutkimuksen avulla kartoitetaan aiheet, joiden koulutuksessa kehitystarve on suurin. Osuuden lopuksi esitellään kehitysprojektin tulokset ja kartoitetaan jatkokehityksen tarve.

2 TEOLLISUUSROBOTIT

Robotti on yleisesti teollisuudessa käytettävä manipulaattorityyppi. Kansainvälisen standardisointijärjestön standardin ISO 8373:n mukaan teollisuusrobotiksi kutsutaan automaattisesti ohjattua, uudelleen ohjelmoitavaa, monikäyttöistä, vähintään kolmiakselista manipulaattoria, joka voidaan asentaa kiinteälle tai liikkuvalla alustalle. (ISO 8373:2021)

2.1 Historia

Sana ”robotti” on peräisin tšekkiläisen näytelmäkirjailijan Karel Čapekin näytelmästä ”R.U.R.: Rossum’s Universal Robots” vuodelta 1920. Näytelmässä robotit ovat ihmisenkaltaisia koneita, jotka ovat luotu korvaamaan ihmiset työnteossa. Sanana robotti perustuu tšekinkieliseen sanaan ”robota”, joka tarkoittaa pakko-työtä. (Gasparetto & Scalera)

Tieteiskirjallisuuden aiheena robotit yleistyivät kauan ennen robottien hyödyntämistä teollisuudessa. Sanaa ”robotiikka” käytti ensimmäisenä venäläissyntyinen tieteiskirjailija Isaac Asimov vuonna 1941 kirjoittamassaan tarinassa ”Runaround”. Tarina on osa Asimovin Robotit-sarjaa, joka on yksi merkittävimpiä robotitaiheisia tieteiskirjallisuuden teoksia. (Gasparetto & Scalera)

Tieteistarinoiden roboteilla ei kuitenkaan ole paljoa yhteistä teollisuusrobottien kanssa. Tarinoissa robotit usein kuvataan tavallisen ihmisen korvaavina, väsymättöminä laitteina, joiden valinnat perustuvat virheettömään logiikkaan. Tieteiskirjallisuuden robotti onkin helpompi nähdä ihmismäisenä hahmona, johon henkilöityy teknologian- ja erityisesti automaation kehityksen uhat. Tästä esimerkkinä seuraava lainaus näytelmästä Rossum’s Universal Robots:

”Ihminen on jotain, mikä sanokaamme, tuntee iloa, soittaa viulua, haluaa lähteä kävelyille ja muutenkin haluaa tehdä paljon kaikkea, mikä – mikä on itse asiassa turhaa – Mikä on turhaa, kun hänen on vaikkapa kudottava tai laskettava – Miettikääpä, millainen työläinen on käytännössä kaikkein paras? Kaikkein halvin. Se jolla on kaikkein vähiten tarpeita. Nuori Rossum keksi työläisen, jolla on kaikkein vähiten tarpeita. Hän joutui yksinkertaistamaan sitä. Hän hylkäsi kaiken, mikä ei

palvele suoranaisesti työtä. Samalla hän käytännössä hylkäsi ihmisen ja teki robotin.” (Čapek, 14-15)

Ensimmäistä teollisuusrobottia sana robotti päätyi kuvaamaan markkinointiterminä, Asimovin kanssa samassa yliopistossa opiskelleen, yhdysvaltalaisen insinöörin Joseph Engelbergerin toimesta. Vuonna 1956, Engelberger tapasi yhdysvaltalaisen kollegansa George Devolin ja kiinnostui hänen, vuoden 1952 patentihakemuksestaan laitteelle ”Programmable Article Transfer”. Engelberger onnistui vakuuttaa Devolin laitteen käytännöllisyydestä ja he alkoivat yhdessä kehittää laitteesta kaupallista tuotetta. Engelberger nimesi laitteen robotiksi, koska uskoi sen helpottavan laitteen markkinointia. (Malone, Hänninen, 66.)

George Devol ja Joseph Engelberger alkoivat kehittää yhdessä Devolin patentin pohjalta ensimmäistä teollisuusrobottia. Unimationin kehitystyön tuloksena ensimmäinen tuotantokäyttöön asennettu robotti, Unimate otettiin käyttöön yhdysvaltalaisen autoyhtiön General Motor’s:n tehtaassa vuonna 1961. Laite koostui hydraulisesta manipulaattorista, jota ohjattiin magneettiseen rumpumuistiin tallennetuilla komennoilla (kuva 1). (Malone)



Kuva 1. Unimationin Unimate-robotti (Omron)

Pian ensimmäisen robotin käyttöönoton jälkeen General Motor's asennutti 66 Unimatea uudelle Ohion tehtaalleen. Teollisuusrobotiteknologia näytti tehneen läpimurron, mutta kesti kuitenkin vielä 14 vuotta ennen, kuin Unimation pystyi toimimaan voitollisesti. Robottimarkkinoiden kehitys oli hidasta aina 1970-luvun puoliväliin asti. Vuoteen 1973 maailmalla toimi 71 robotteja valmistavaa yritystä, mutta käytössä olevien robottien määrä saavutti vasta 3000 yksikön rajan. (Wallén,9-10.)

Teollisuusrobottien kehityksen alkuvuosina robottien toimilaitteet olivat hydraulisia ja robotin paikoitus perustui rajakytkimiin. Robotteja käytettiin suurien kuormien siirtämiseen, sekä tehtäviin, jotka olivat ihmisille vaarallisia, kuten kuumien osien käsittely. Sähköisten komponenttien- ja mikroprosessorien kehittymisen myötä robotiikassa alettiin siirtymään sähköisiin toimilaitteisiin 1970-luvun aikana. Merkittävä edistysaskel sähkömoottorein ohjatun robotin kehityksessä oli Stanfordin yliopiston opiskelijan Victor Scheinmanin, vuonna 1969 kehittämä täysin sähköinen kuusiakselinen robotti Stanford Arm (kuva 2). Robotin paikoitusta ja nopeutta mitattiin potentiometriin- ja takometrien avulla. Takaisinkytkentä mahdollisti käänteisen kinematiikan laskennan ja liikeratojen suorittamisen. (Gaspardo & Scalera)



Kuva 2. Stanford Arm (Computer History Museum)

Scheinman jatkoi sähkökäyttöisten robottien kehittämistä suunnittelemalla teollisuuskäyttöön tarkoitettua Vicarm-robotin vuonna 1973. Robotti kiinnitti Unimationin huomion, joka osti Scheinmanin yrityksen ja kehitti Vicarm-robotin pohjalta PUMA-robotin (Programmable Universal Machine for Assembly). PUMA-robotti oli erittäin suosittu ja sitä valmistettiin aina 1980-luvulle asti. 80-luvulla Nokia valmisti PUMA-robotteja Suomessa Unimationin lisenssillä. (Gasparetto & Scalera, Hänninen 78.)

Sähkökäyttöisten robottien kehittäminen vauhditti robottisovellusten yleistymistä tuotannossa. Roboteilla pystyttiin suorittamaan tarkkoja liikeratoja ja niiden ohjelmointi helpottui, mikä mahdollisti robottien monipuolisemman käytön. 1970-luvun jälkimmäisellä puoliskolla robottiasennuksien määrä kasvoi n. 30 % vuodessa. (Gasparetto & Scalera)

1980-luvulla robotiikan ja robottimarkkinoiden kehitys oli nopeaa erityisesti Japanissa. Robotiikka oli rantautunut Japaniin jo vuonna 1969, kun japanilainen yritys Kawasaki alkoi valmistaa Unimate-robotteja Unimationin lisenssillä. Siinä missä Yhdysvaltojen ja Euroopan robottimarkkinoiden kehitys oli rakentunut autoteollisuuden ympärille, missä tarve nähtiin erityisesti Unimaten kaltaisille suurilla kuormia käsitteleville roboteille, Japanissa nopeutta ja tarkkuutta vaativa kuluttajaelektroniikantutanto tarjosi robotiikalle uudenlaisen haasteen. (Gasparetto & Scalera)

Vuonna 1978 Yamanashin yliopiston tutkija Hiroshi Makino tutki automatisoitua kokoonpanoa kokoamalla Lego-palikoita NC-ohjatulla servomekanismilla. Hän havaitsi, ettei servomekanismi, jonka tarkkuus oli 0,01 mm, pystynyt luotettavasti yhdistämään Lego-palikoita, joiden kokoamiseen vaadittu tarkkuus oli vain 0,5 mm. Makino huomasi, että servomekanismin komplianssin vuoksi palikat kallisluivat, kun niitä yritettiin yhdistää. Tämä havainto innoitti Makinon kehittämään uudenlaisen robottirakenteen, jossa akselien samansuuntaisella sijoittelulla, pystyttiin ohjaamaan rakenteen komplianssi sivuttaissuuntaiseksi (kuva 3). Näin siitä ei ollut enää haittaa kokoonpanosovelluksissa. Uusi robottityyppi nimettiin SCARA:ksi (Selective Compliance Assembly Robot Arm). (Makino, Kato & Yamazaki)



Kuva 3. Varhainen SCARA-robotin prototyyppi (Gasparetto & Scalera)

SCARA-robottien suuri kysyntä japanilaisessa elektroniikkateollisuudessa vauhditti japanilaisten robottimarkkinoiden kasvua ja auttoi Japanin nousemaan maailman johtavaksi robottivalmistajamaaksi 1980-luvulla. (Gasparetto & Scalera)

Rinnakkaisrakenteisten robottien kehityksessä tapahtui merkittävä edistysaskel 1980-luvulla, kun sveitsiläinen yliopiston professori Raymond Clavel alkoi kehittää uudentyyppistä robottia. Tarkoituksena oli kehittää robotti mikä kykenee tekemään erittäin nopeita siirtoja pienillä kuormilla. Kehitystyön tuloksena Clavel patentoi uuden Delta-robottirakenteen, jossa akseleiden moottorit olivat sijoitettu robotin paikallaan pysyvään runkoon, ja tarttuja liikkui kolmen kevyen tukivarren varassa (kuva 4). Työkalukärjen kiertoliike toteutettiin teleskooppiakselin avulla. (Boney, Nabat)

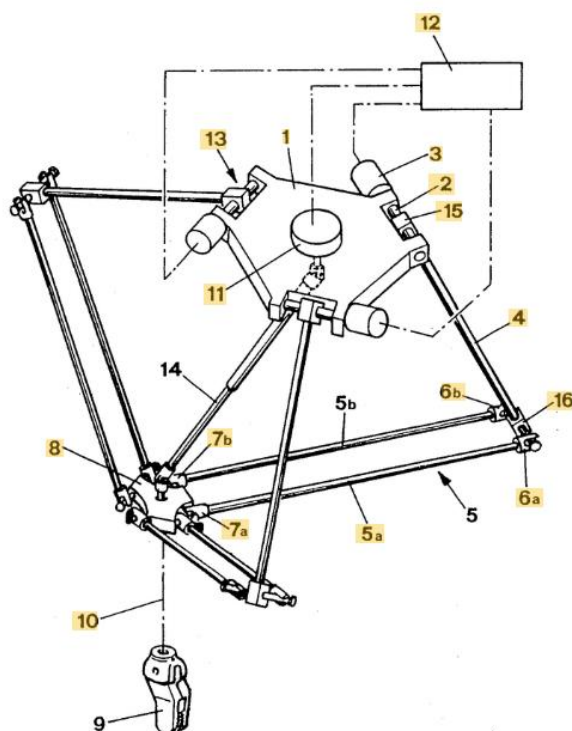
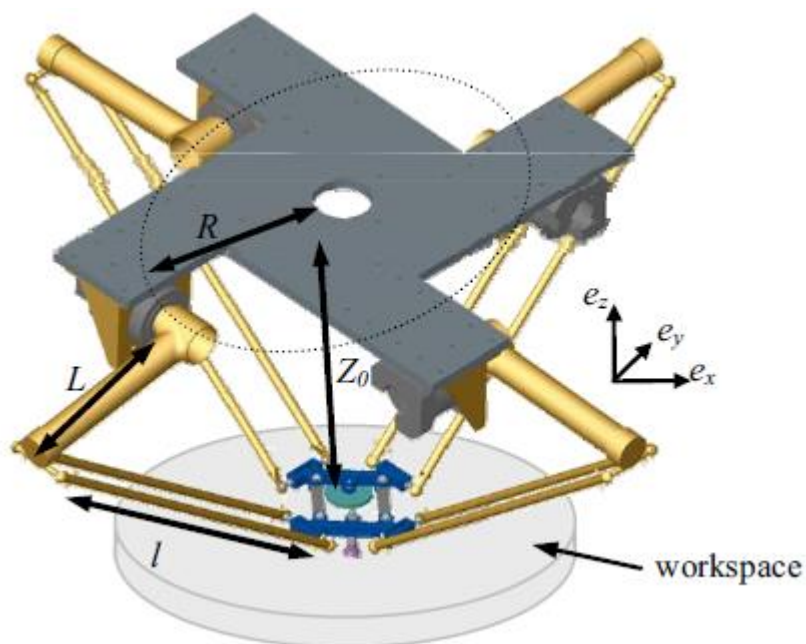


FIG. 1

Kuva 4. Delta-robotin patentti (Boney)

Ensimmäisenä Delta-robottien valmistuksen aloitti sveitsiläinen Demarex vuonna 1992. Yritys joutui kuitenkin siirtymään robottien valmistuksesta robotisolujen valmistukseen ABB:n aloittaessa oman erittäin suosittu FlexPicker Delta-robotin valmistuksen vuonna 1999. (Boney)

Vuonna 2004 ranskalainen insinööri Vincent Nabat kehitti Delta-robotin pohjalta nelivartisen rinnakkaisrakenteisen Par4-robotin. Rakenteen oli tarkoitus mahdollistaa työkalukärjen kiertoliike ilman Delta-robotin käyttämää teleskooppiakselia. Teleskooppiakselia pidettiin Delta-robotin heikkoutena, akselin lyhyen käyttöiän ja työalueella vaihtelevan jäykkyyden vuoksi. Par4-robotissa työkalun kierto toteutetaan nivelletyn työkalutason avulla (kuva 5). Nabatn kehitystyön pohjalta yhdysvaltalainen robottivalmistaja Adept kehitti Quattro-robotin, jota markkinoitiin maailman nopeimpana pakkausrobotina. (Nabat, Omron)

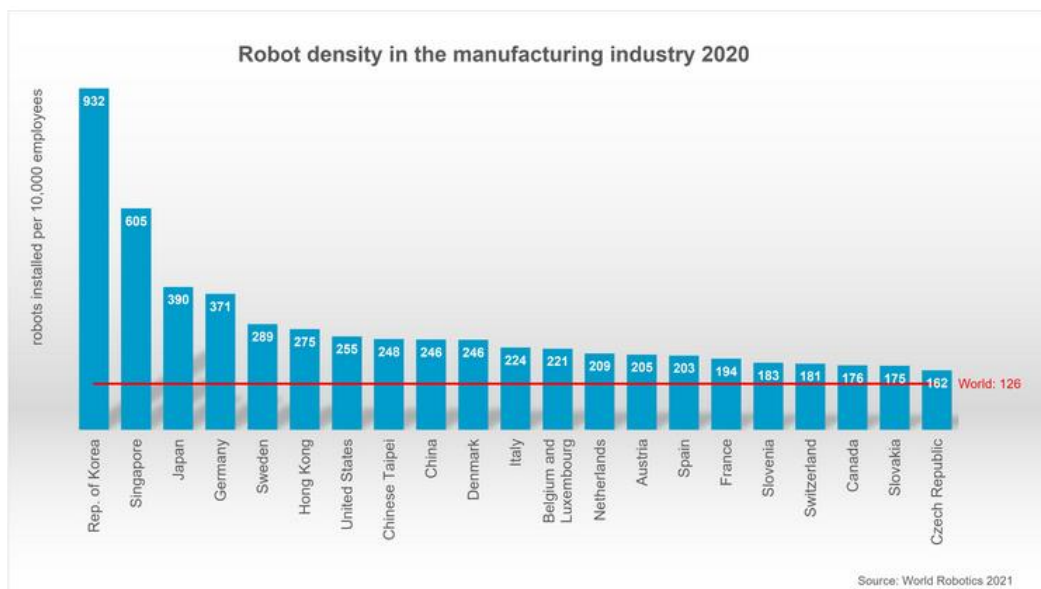


KUVA 5. Par4-robotti (Nabat)

Suomessa Nokian lisäksi robotteja on valmistanut portaalirobotteihin keskittynyt Cimcorp ja raepuhallusrobotteja valmistava Blastman Robotics. Unimationin PUMA robottien lisäksi Nokia valmisti myös omia robottimalleja. Yksi Nokian omista robottimalleista oli NS-16, joita valmistettiin 1980-luvun aikana viisi kappaletta hitsaus- ja kappaleenkäsittelytehtäviin. Robotteja käytettiin mm. Volvon ja Högforsin tehtaissa. Nokia lopetti robottien valmistuksen vuonna 1990. (Hänninen, 96., Helsingin Tekniikan Museo)

2.2 Robottitilastoja

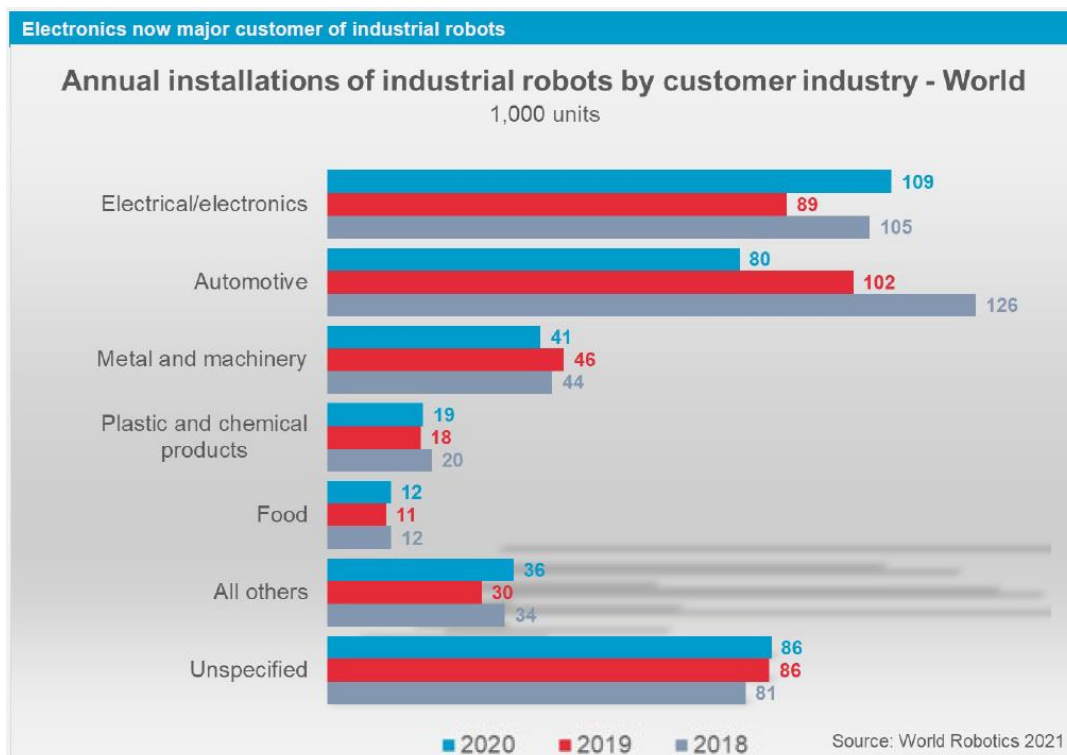
Vuoden 2020 loppuun mennessä maailmalla käytössä olevien robottien määrä ylitti kolmen miljoonan yksikön rajan. Maailman keskimääräinen robottitiheys oli 126 robottia jokaista 10 000 työntekijää kohden. Luku on kaksikertaistunut vuodesta 2015. Kuvan 6 pylväsdiagrammista voidaan todeta vuonna 2020 robottitiheyden olleen korkein Etelä-Koreassa, jossa tiheys oli 932 robottia 10 000 työntekijää kohden. Viime vuosina tiheyden kasvu on kuitenkin ollut nopeinta Kiinassa, jossa robottien suhteellinen määrä on lähes viisinkertaistunut viiden vuoden aikana. (Lempiäinen)



Kuva 6. Robottitiheys tuotantoteollisuudessa 2020 (IFR)

Kiinan robottimarkkinoiden nopeasta kehityksestä kertoo myös se, että vuonna 2020 asennetuista uusista roboteista yli 40 % asennettiin Kiinaan.

Historiallisesti robotiikan kehityksen kannalta tärkeimmät teollisuuden alat auto- ja elektroniikkateollisuus hyödyntävät edelleen paljon robotiikkaa tuotannossaan. Vuonna 2020 ensimmäistä kertaa elektroniikkateollisuus nousi ensimmäiselle sijalle autoteollisuuden edelle (kuva 7). (Lempiäinen)



KUVA 7. Uudet asennetut robotit vuosittain (IFR)

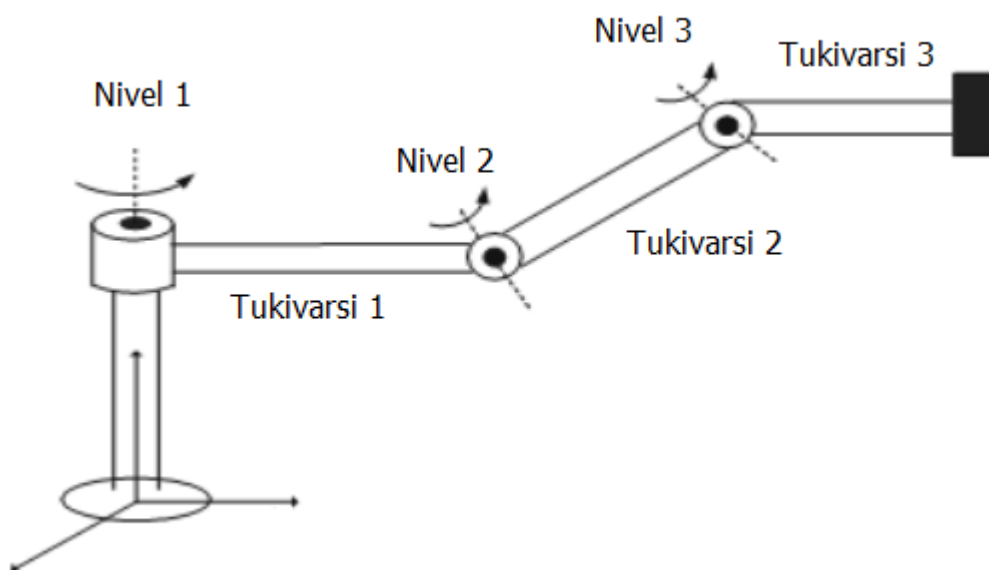
Kuvan 8 pylväsdiagrammi kuvaa Suomessa asennettujen robottien määrän vaihtelua viime vuosikymmenellä. Suomen robottimarkkinat alkoivat toipua vuoden 2009 finanssikriisistä vasta 2010-luvun toisella puoliskolla. Vuoteen 2015 asti vuotuiset robottiasennukset koostuivat enimmäkseen ikääntyneiden ja käytöstä poistettujen laitteiden korvaamisesta. Vuosi 2016 oli maailmanlaajuisesti hyvä vuosi robottimarkkinoille, mutta myös sen jälkeisinä vuosina nähtiin Suomen robottimarkkinoilla kasvua. Koronavuotena 2020 robottien asennukset kääntyivät laskuun koko Euroopassa, mutta erityisen merkittävää lasku oli Suomessa, jossa robottiasennuksien määrä putosi 19 % vuoteen 2019 nähden. Suomessa robotteja hyödynnetään erityisesti konepajoilla konepalvelusoluissa ja hitsauksessa. Lähes puolet Suomeen asennetuista roboteista asennetaan konepajoille. (Lempiäinen)



KUVA 8. Uudet asennetut robotit Suomessa (Automaatioväylä)

3 MEKANIikka

Robotti koostuu tukivarsista, jotka ovat yhdistetty toisiinsa ohjattavilla nivelillä, muodostaen kinemaattisen ketjun (kuva 9). Nivelä ohjaamalla robotti saadaan ajettua haluttuun asentoon. Nykypäivänä robotin nivelä ohjataan pääsääntöisesti servomootoreilla, niiden korkean kuormitettavuuden ja toistotarkkuuden vuoksi. (Craig, 21.)



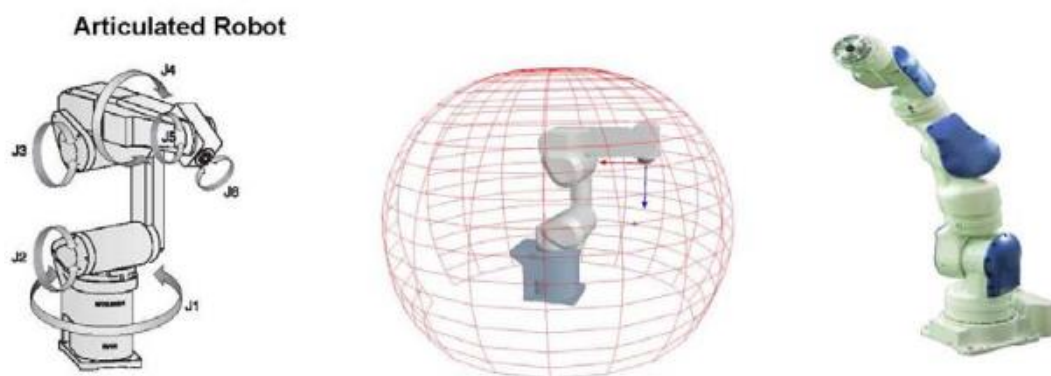
Kuva 9. Robotin periaatekuva

Robottien rakenteet voivat erota toisistaan paljon. Muuttamalla nivelten lukumäärää ja tukivarsien asettelua voidaan rakentaa ominaisuuksiltaan erilaisia robottirakenteita. Vakiintuneita robottirakenteita ovat:

- kiertyväniveliset robotit
- SCARA-robotit
- rinnakkaisrakenteiset robotit
- suorakulmaiset robotit.

3.1 Kiertyvänivelinen robotti

Yleisimmät käytössä olevat teollisuusrobotit ovat kuusiakselisia kiertyvänivelisiä robotteja (kuva 10). Näiden robottien etuna on niiden monikäyttöisyys. Kuusiakselisia mahdollistaa työkalupisteen paikoittamisen laajalla työalueella mihin tahansa asentoon. Monet työkalupisteen paikoituksista voidaan myös toteuttaa useammalla kuin yhdellä robottikäsiarven asennolla. (Wilson, 24.)

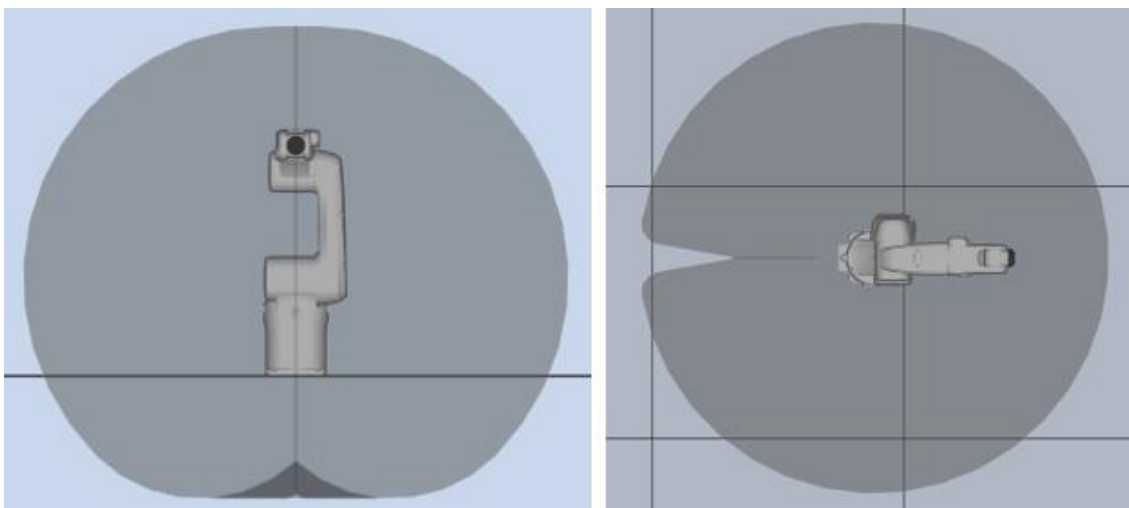


Kuva 10. Nivelrobotti (IFR)

Kiertyvänivelisen robotin rakenteessa jokaisen nivelen on kannatettava kaikki sen jälkeen kinemaattisessa ketjussa tulevat nivelet. Tämä rajoittaa robotin kantokykyä. Pitkän kinemaattisen ketjun haittana on myös epätarkkuuden kertautuminen, sillä työkalupisteen paikoitusvirhe koostuu kaikkien akseleiden paikoitusvirheen summasta. Rakenne on myös muita robottirakenteita joustavampi. (Wilson, 24.)

Koska kiertyvänivelisen robottirakenteen heikkoudet johtuvat suuriltaosin nivelten määrästä, työtehtäviin, jotka eivät edellytä kuutta vapausastetta, käytetään usein neljä-, tai viisiakselista kiertyvänivelistä robottia. Neliakselinen lavausrobotti pystyy käsittelemään painavampia kuormia ja saavuttamaan korkeampia liikenopeuksia kuin vastaava kuusiakselinen robotti. (Wilson, 24.)

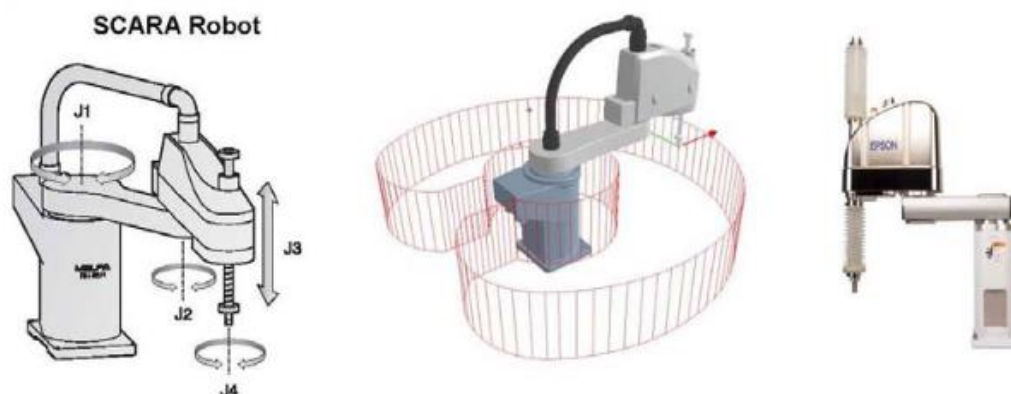
Kiertyvänivelisen robotin vahvuus on sen työalue. Alue on pallon muotoinen ja työalueen reunoja lukuun ottamatta työkalupiste voidaan paikoittaa alueella mihin tahansa kulmaan (kuva 11). Alue ulottuu kaikkialle robotin ympärille, jonka vuoksi robottia voidaan käyttää myös seinä- tai kattoasenteisena.



Kuva 11. Kiertyvänivelisen robotin työalue

3.2 SCARA

SCARA, eli Selective Compliance Assembly Robot Arm on neljän vapausasteen robotti. SCARA:n neljästä nivelestä kaksi ensimmäistä niveltä ovat samansuuntaisesti asennettuja kiertyviä akseleita (kuva 12), joiden avulla toteutetaan työkalupisteen liikkeitä X/Y-tasossa. Kolmas nivel on Z-suunnassa liikkuva lineaariakseli. Neljäs nivel on kiertyvä akseli, jolla kierretään työkalupistettä Z-akselin ympäri. SCARA-rakenteella ei voida toteuttaa kiertoliikkeitä X- tai Y-akselin ympäri. (Wilson, 24.)



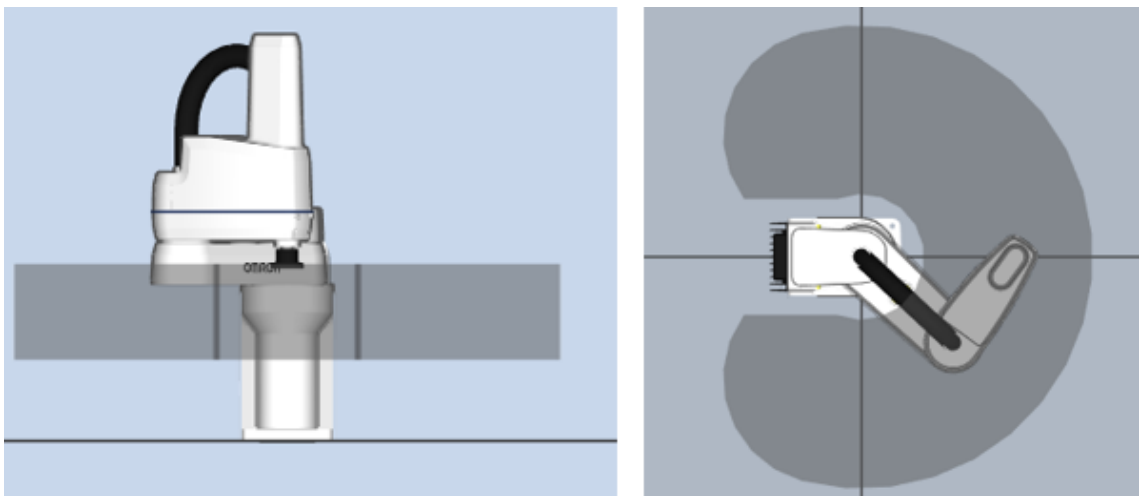
Kuva 12. SCARA-robotti (IFR)

SCARA-rakenne on erityisesti kokoonpanosovelluksiin suunniteltu robottirakenne. Rakenteessa kaikki akselit ovat sijoiteltu siten, että niiden pyörimissuunta on vaakatasossa robotin jalustaan nähden. Tällä akselisijoittelulla saavutetaan rakenne, joka on pystysuunnassa jäykkä. Pystysuuntainen jäykkyys on eduksi

kokoonpano- ja ruuvaussovelluksissa, joissa robotin työkaluun kohdistuva työntövoima, voi muilla rakenteilla aiheuttaa työkalun kallistumisen. (Makino, Kato & Yamazaki)

Koska X/Y-tason liikkeet muodostuvat kahden saman suuntaisen akselin liikkeistä, voidaan SCARA:lla tehdä todella nopeita sivuttaisliikkeitä. SCARA-rakenteessa yksittäisen koordinaatioakselin suuntainen paikoitus muodostuu maksimissaan kahden nivelen paikoituksesta, jolloin nivelten epätarkkuuden kertautumisesta johtuva paikoitusvirhe jää pieneksi. (Wilson, 24, Omron)

Kuvassa 13 on esitetty tyypillinen SCARA-robotin työalue. Työalue ylhäältäpäin katsottuna kaarimainen. Alue ulottuu robotin rungon eteen ja kummallekin sivulle. Jotkut SCARA-robotit yltävät myös runkonsa taakse. Työalueen korkeutta rajoittaa robotin lineaariakselin pituus.



Kuva 13. SCARA-robotin työalue

3.3 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Vakiintuneista robottirakenteista rinnakkaisrakenteinen robotti on ainoa, jonka kinemaattinen ketju on suljettu. Rinnakkaisrakenteiset robotit ovat usein työalueen yläpuolelle asennettavia robotteja, joiden moottorit ovat sijoitettu laitteen runkoon (kuva 14). Robotin työkalupistettä ohjataan robottityypistä riippuen kolmella tai neljällä tukivarrella, joista jokainen on kiinnitetty omaan moottoriin. Kolmivartisisissa rinnakkaisrakenteisissa roboteissa työkalupisteen X-, Y-, ja Z-suuntaiset

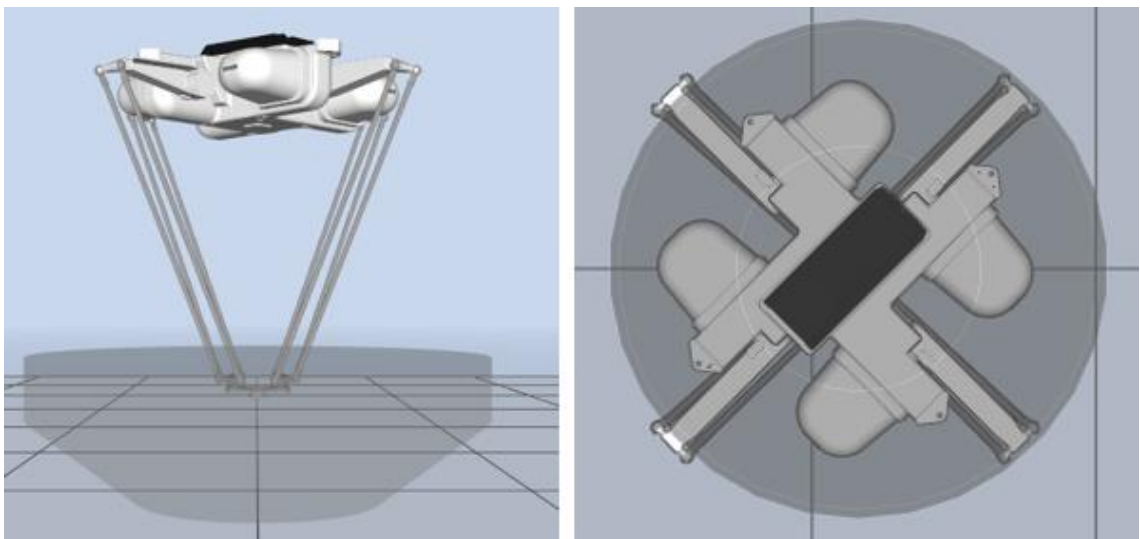
liikkeet voidaan toteuttaa tukivarsien liikkeillä. Työkalupisteen kierto Z-akselin ympäri toteutetaan erillisellä teleskooppiakselilla. Nelivartisissa rinnakkaisrakenteissa myös Z-akselin kierto pystytään toteuttamaan tukivarsien liikkeillä. (Wilson, 27., Nabat)



Kuva 14. Rinnakkaisrakenteinen robotti

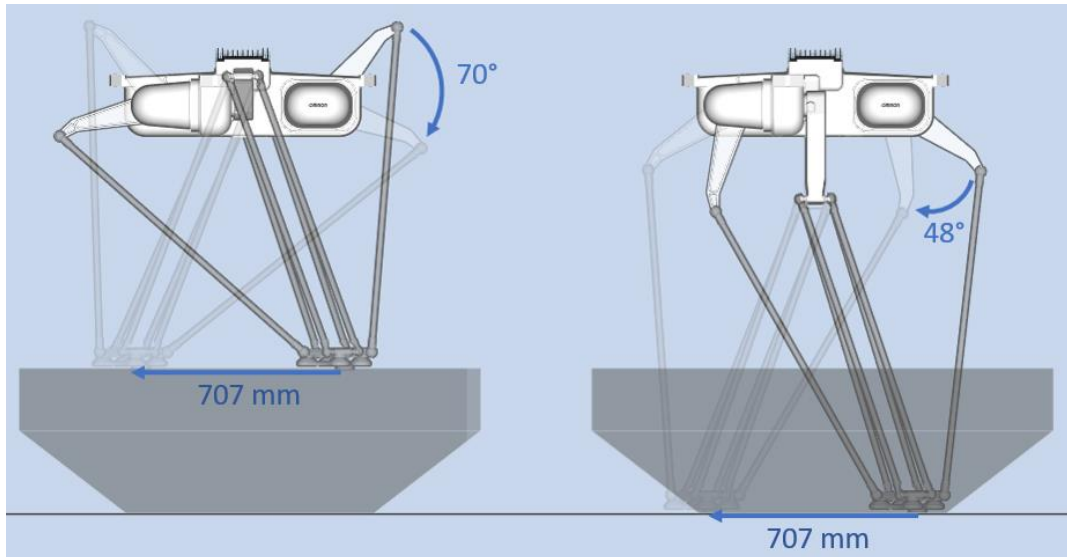
Moottoreiden sijoittaminen robottirakenteen runkoon mahdollistaa robotin liikkuvien osien suunnittelun kevyiksi. Näin rakenne saadaan kestämään erittäin nopeita liikkeitä ja korkeita kiihtyvyyksiä. (Wilson, 27.)

Rinnakkaisrakenteisen robotin työalue on ”kulhomainen”, alaspäin kapeneva kartio (kuva 15). Robotin runko sijaitsee työalueen ulkopuolella. Tämän vuoksi työalue voidaan hyödyntää kokonaan.



Kuva 15. Rinnakkaisrakenteisen robotin työalue

Huomionarvoista rinnakkaisrakenteisten robottien työalueessa on, että työkalukärjen liikkeet työalueen yläosissa vaatii suurempia liikkeitä robotin moottoreissa. Näin ollen työkalupisteen liikkeet ovat nopeimpia työalueen alalaidassa. Kuvasta 16 voidaan havaita, kuinka liikkeen siirtäminen robotin työalueen ylälaidasta alueen alalaitaan, lyhentää robotin nivelen liikkumaa matkaa. (Omron)



Kuva 16. Rinnakkaisrakenteisen robotin liikkeet työkalukärjen korkeuden muuttuessa

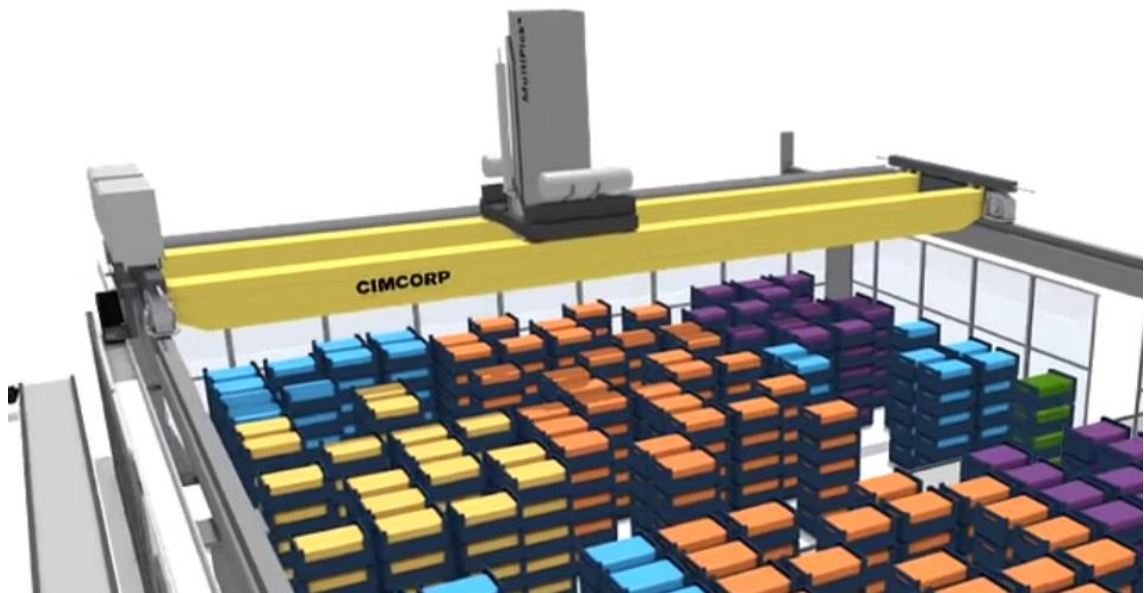
3.4 Suorakulmainen robotti

Suorakulmainen robotti koostuu koordinaatistoakselien suuntaisista lineaariakseleista (kuva 17). Rakenteessa jokainen lineaariakseli vastaa yksittäisen koordinaatistoakselin suuntaisesta työkalupisteen liikkeestä. Suorakulmaisella rakenteella voidaan toteuttaa myös työkalupisteen kierto Z-akselin ympäri, lisäämällä kiertyväakseli viimeiseen lineaariakseliin. (Wilson, 26.)



Kuva 17. Suorakulmainen robotti (IFR)

Yksinkertaisen rakenteensa vuoksi suorakulmaiset robotit voidaan suunnitella sovelluskohtaisesti. Robotti voidaan suunnitella toimivaksi yhden tukirakenteen varassa, tai useamman tukirakenteen portaalirobotiksi (kuva 18). Lineaariakselien tarkkuuden vuoksi suorakulmaisella robottirakenteella voidaan saavuttaa korkea toistotarkkuus. (Wilson, 26-27., Devasia)



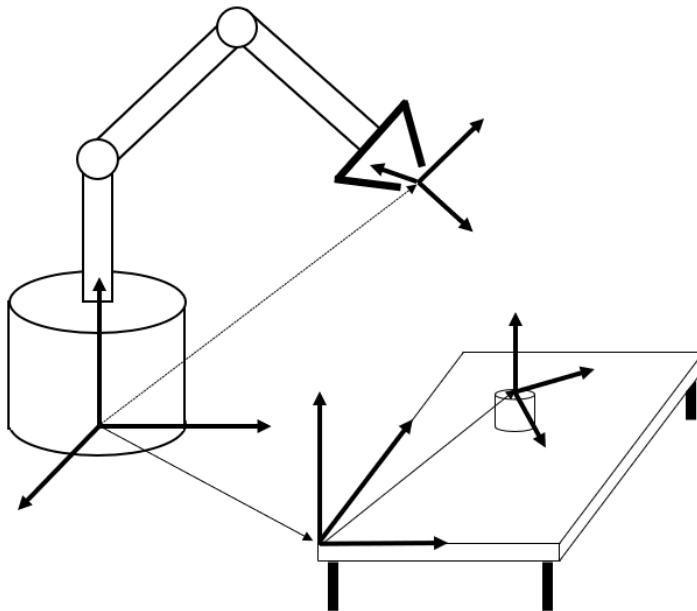
Kuva 18. Portaalirobotti (Cimcorp)

Suorakulmaisella robotilla työalue on kuution muotoinen. Työalueen koko riippuu käytettyjen lineaariakselien pituudesta. Muiden robottityyppien pyöreisiin työaluesiin verrattuna, saadaan suorakulmaisesta robotin työalue useimmiten tehokkaammin hyödynnettyä. Kuten rinnakkaisrakenteisissa roboteissa, myös suorakulmaisissa roboteissa robotin rakenne voidaan sijoittaa suurimmalta osin työalueen ulkopuolelle. (Omron)

4 OHJAUS

4.1 Koordinaatistot

Robottien ohjauksessa keskeistä on kappaleiden paikoitus kolmiulotteisessa avaruudessa. Paikoitettavat kappaleet voivat olla robottikäsvarren niveliä, robotiin liitetyn työkalun kärki, työtasoja robotin ympäristössä tai robotin käsiteltäviä kappaleita. Paikoitus tapahtuu käyttäen koordinaatistoja. Kiinnittämällä paikoitettavaan kappaleeseen koordinaatisto, voidaan kappaleen paikka ja orientaatio määritellä koordinaatiston paikoituksena suhteessa toiseen koordinaatistoon (kuva 19). (Craig, 4.)



Kuva 19. Robotin koordinaatistoja

Robottiikan koordinaatistoja ja liikkeiden termistöä käsittelevä standardi ISO 9787 luokittelee koordinaatistot kahdeksaan luokkaan:

- Maailma-koordinaatisto (World) - Käyttäjän määrittelemä robotin ympäristöön sidottu liikkumaton koordinaatisto, jonka +Z-akseli on painovoiman suunnan vastainen.

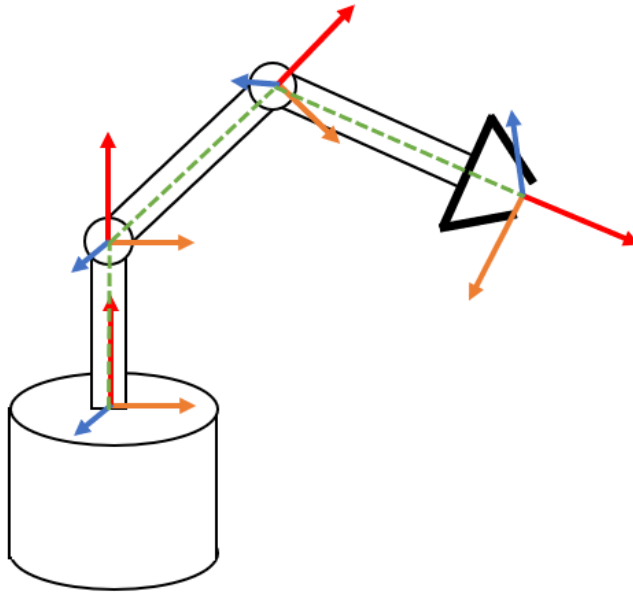
- Perus-koordinaatisto (Base): Robottivalmistajan määrittelemä koordinaatisto, joka on sidottu robotin jalustaan. Koordinaatiston +Z-akseli on kohtisuora jalustan asennuspinnan kanssa ja osoittaa asennuspinnasta kohti robottia. +X-akseli kulkee robotin työalueen keskeltä.
- Laippa-koordinaatisto (Mechanical interface): Robotin työkalulaippaan sidottu koordinaatisto, jonka +Z-akseli osoittaa laipasta kohtisuoraan pois päin robotista. +X-akseli on saman suuntainen peruskoordinaatiston +Z-akselin kanssa, kun työkalulaippa on peruskoordinaatiston YZ-tason suuntainen siten, että robotin nivelet ovat mahdollisimman lähellä liikealueensa keskipistettä.
- Työkalu-koordinaatisto (Tool): Käyttäjän määrittelemä koordinaatisto. Koordinaatisto on sidottu robotin työkaluun. Akselien suunnat ovat vapaasti määriteltävissä.
- Liikkuva taso -koordinaatisto (Mobile platform) Liikkuvaan tasoon sidottu koordinaatisto. Akselien suunnat ovat vapaasti määriteltävissä, mutta tavallisesti +X-akseli osoittaa tason pääasialliseen kulkusuuntaan ja +Z-akseli osoittaa tasosta ylöspäin.
- Työkappale-koordinaatisto: Robotin käsittelemään kappaleeseen sidottu vapaasti määriteltävä koordinaatisto.
- Kamera-koordinaatisto: Konenäkökameraan sidottu vapaasti määriteltävä koordinaatisto. (ISO 9787)

4.2 Kinematiikka

Kinematiikka, eli liikeoppi on liikkeen matemaattista analysointia, jossa ei huomioida liikkeen aiheuttavia- tai liikkeeseen vaikuttavia voimia. Robotiikassa kinematiikkaa käytetään robotin työkalun koordinaattisijainnin määrittämiseen akseli-paikkatietojen perusteella. (Craig, 4.)

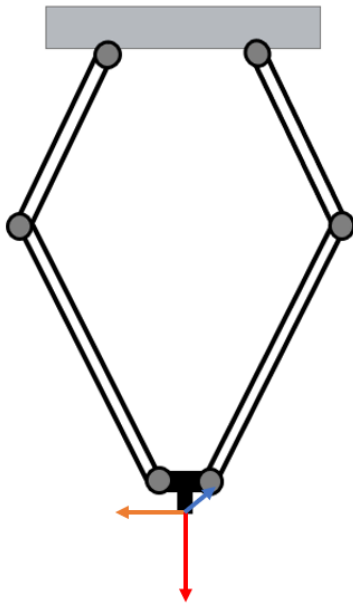
Robottikinematiikassa robottia tarkastellaan kinemaattisena ketjuna, jossa robotin jokaisen nivelen kiertymispisteeseen on kiinnitetty koordinaatisto. Ketjun alkupäässä on robotin jalustaan sidottu peruskoordinaatisto, johon toisen nivelen koordinaatisto paikoitetaan ensimmäisen nivelen asennon mukaan. Kolmannen

nivelen koordinaatisto paikoitetaan toisen nivelen koordinaatistoon, toisen nivelen asennon mukaan. Näin jatkamalla ketjua pitkin aina robotin työkalupisteeseen asti saadaan työkalupiste paikoitettua robotin peruskoordinaatistossa (kuva 20). (Craig, 64 -66.)



Kuva 20. Robotin kinemaattinen ketju

Lähes kaikki yleisimmät robottirakenteet ovat avoimia kinemaattisia ketjuja, eli ketjuja, joissa ketjun alkupää on kiinnitetty liikkumattomaan jalustaan ja työkalupiste sijaitsee ketjun toisessa päässä. Suljetuksi kinemaattiseksi ketjuksi kutsutaan ketjua, jossa kumpikin ketjun päistä on kiinnitetty robotin jalustaan (kuva 21). Yleisimmistä robottirakenteista vain rinnakkaisrakenteiset robotit muodostavat suljetun kinemaattisen ketjun. (Billing, 12., Craig, 242.)

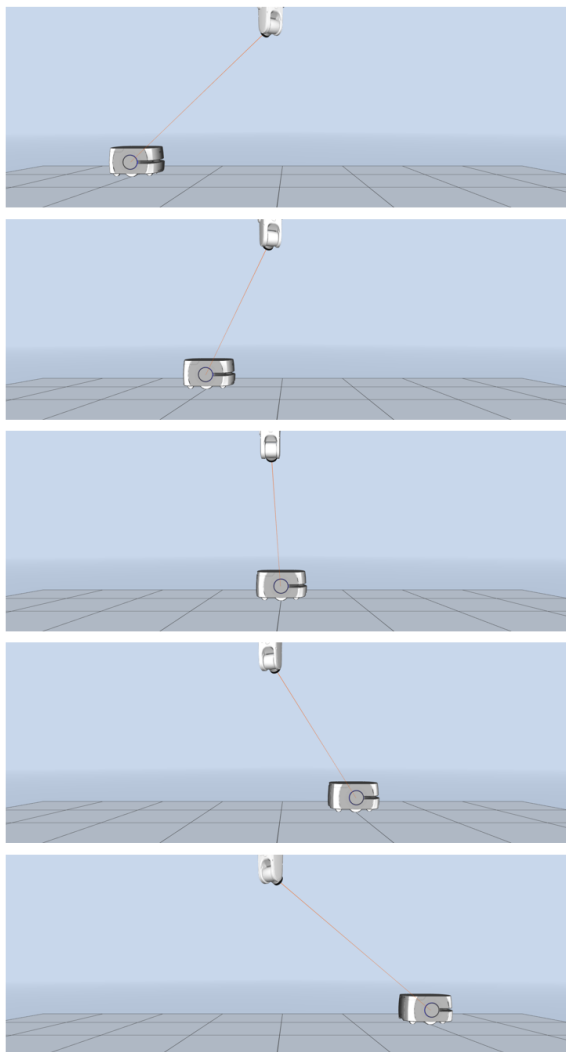


Kuva 21. Suljettu kinemaattinen ketju

Robottiin liittyvät kinemaattiset tehtävät voidaan jakaa kahteen ryhmään. Suoraksi kinematiikaksi kutsutaan robotin työkalukärjen koordinaattimuotoista paikoittamista robotin akselipaikkatietojen perusteella. Huomattavasti suoraa kinematiikkaa haastavampaa on selvittää millä robotin akselipaikoituksella saavutetaan haluttu koordinaattimuotoinen työkalukärjen paikoitus. Tätä kutsutaan käänteiseksi kinematiikaksi. (Billing, 17.)

4.2.1 Singulariteetti

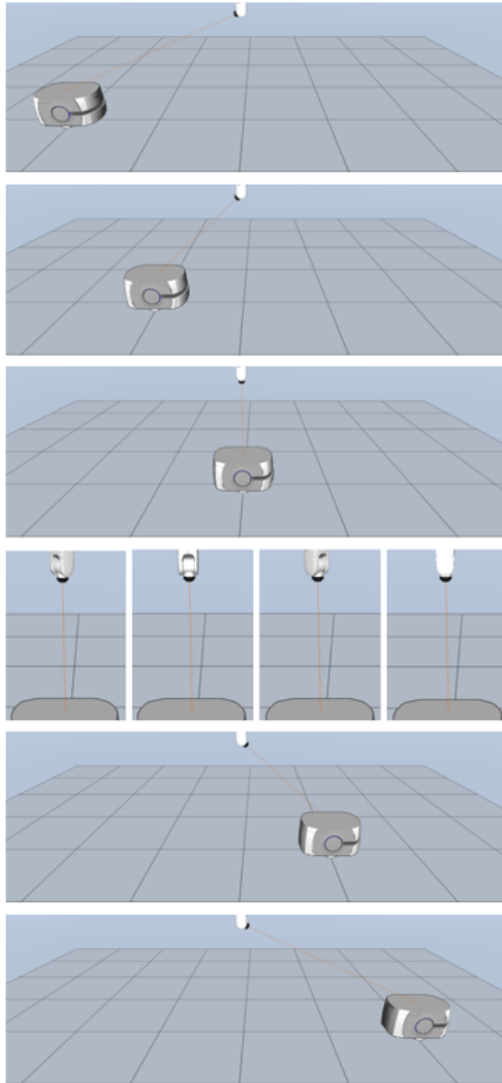
Moninivelisten kinemaattisten ketjujen haasteeksi muodostuu singulariteetti. Singulariteetiksi kutsutaan tilannetta, missä kinemaattinen ketju menettää yhden tai useamman vapausasteen käytettävyyden. Moninivelisten robottien singulariteetti voi olla vaikea hahmottaa, mutta hahmottaminen helpottuu, jos tarkastellaan yksinkertaisempaa ketjua. Kuvien 22 ja 23 esimerkeissä singulariteetti on esitetty kaksi nivelisellä ketjulla. (Kuivanen, 37.)



Valvontakamera on ohjelmoitu seuraamaan liikkuvia kohteita. Kamera kääntyy vaakatasossa ensimmäisen akselin varassa. Korkeutta säädetään toisella akselilla.

Kameran seuratessa kohdetta, joka ohittaa kameran kaukaa, kamera pysyy kohteen perässä kääntämällä ensimmäistä akselia. Akseli kääntyy noin 70 astetta. Toisen akselin liike on vähäinen.

Kuva 22. Singulariteetin kiertävä liike



Kameran seurattessa kohdetta, joka kulkee suoraan kameran ali, järjestelmä joutuu singulariteettiin.

Kohteen lähestyessä kameraa, kamera seuraa kohdetta kääntäen toista akselia, kunnes kohde on suoraan kameran alla.

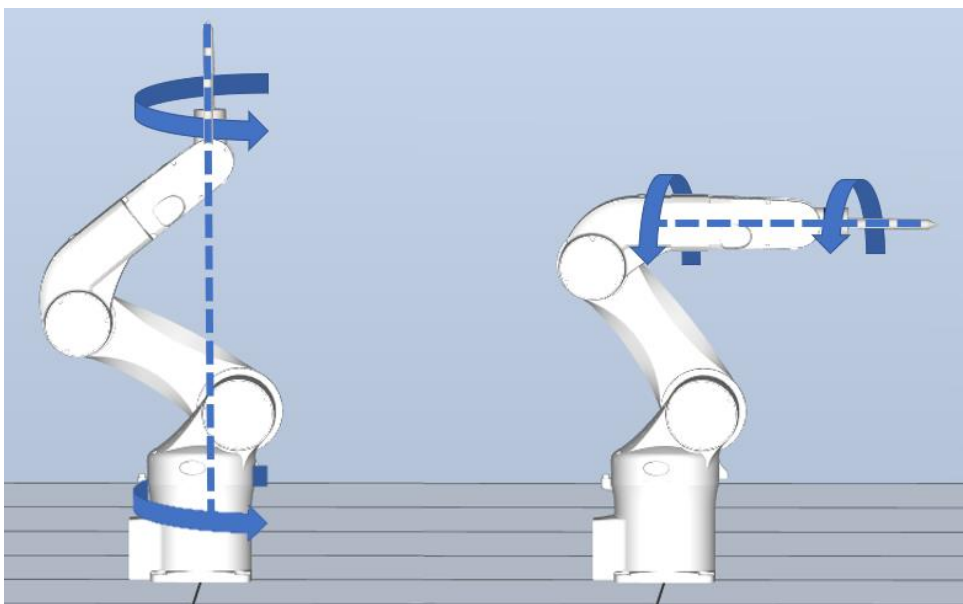
Kohteen alittaessa kameran täytyy ensimmäisen akselin kääntyä välittömästi 180 astetta, jotta toinen akseli voi jatkaa loittonevan kohteen seuraamista.

Jos kohde kulkee vakionopeutta alittaessaan kameran, täytyy kameran ensimmäisen akselin kääntyä ääretöntä nopeutta pitääkseen kohteen näkyvissä

Kuva 23. Singulariteetin kautta kulkeva liike

Kameran katsoessa suoraan alaspäin, ensimmäisen akselin liike pyörittää kuva-alaa, mutta ei enää vaikuta sen suuntaukseen. Voidaan siis todeta kameran menettäneen vapausasteen. Näin ollen kamera on singulariteetissa.

Kaikki robotit joutuvat singulariteettiin kurottaessaan työalueen reunalle. Toinen tavallinen singulariteetti on tilanne, jossa kaksi kuusiakselisen robotin kiertyvistä akseleista asettuu samalle linjalle, jolloin akseleista tulee redundantteja. Koska jokainen robotin akseli vastaa yhtä vapausastetta tilanteessa, jossa kaksi akselia on redundantteja, täytyy yhden vapausasteen olla menetetty. Kuvassa 24 nähdään kaksi tyypillistä kuusiakselisen robotin singulariteettiasentoa. (Craig, 151-152.)



Kuva 24. Kuusiakselisen robotin singulariteetteja. Vasemmanpuoleisen robotin ensimmäinen- ja kuudes akseli ovat redundanteja. Oikeanpuoleisen robotin neljäs- ja kuudes akseli ovat redundanteja.

4.3 Ohjelmointi

Nykypäivän robottiohjelmointikieliet muistuttavat tavallisia tietokoneohjelmointikieliä. Merkittävimpänä erona muihin ohjelmointikieliin on robottien liikkeitä ohjaavat käskyt ja paikkaa kuvaavat muuttujat. Robottiohjelmointikielten suhteen ei ole olemassa standardia, joten eri robottivalmistajien ohjelmointikieliet voivat erota toisistaan, eikä yhdelle robotille tehty ohjelma toimi toisen valmistajan robotissa. (Kuivanen, 79., Hänninen, 53.)

4.3.1 Ohjelmapisteet

Ohjelmapiste on robotin asentoa, tai robotin työkalukärjen koordinaatteja kuvaava muuttuja. Pisteitä voidaan luoda opettamalla, eli ajamalla robotti haluttuun pisteeseen ja tallentamalla robotin sen hetkinen paikka. Pisteet voivat olla myös määritelty ohjelmallisesti konenäkökameran paikoituksen, tai muun työkierron aikana muuttuvan tekijän mukaan.

Robotin asentoa kuvaavaan paikkamuuttujaan on tallennettu robotin jokaisen akselin paikoitus halutussa robotin asennossa (kuva 25). Tähän muotoon tallennettu ohjelmapiste vastaa vain yhtä robotin asentoa, eikä käytettävällä työkalukärjellä ole siihen vaikutusta.

```
P[1]{
  GP1:
    UF : 9, UT : 9,
    J1=  -34.537 deg, J2=  -48.171 deg, J3=  -2.448 deg,
    J4=  -93.551 deg, J5=  -34.613 deg, J6=  -85.688 deg
};
```

Kuva 25. FANUC-robotin akselipiste

Koordinaattimuotoiset ohjelmapisteet esitetään työkalukärjen sijaintina referenssikoordinaatistossa (kuva 26). Pisteeseen on tallennettu työkalukärjen orientaatio asteina, sekä millimetrimääräiset siirtymät kunkin koordinaatisto akselin suuntaisesti.

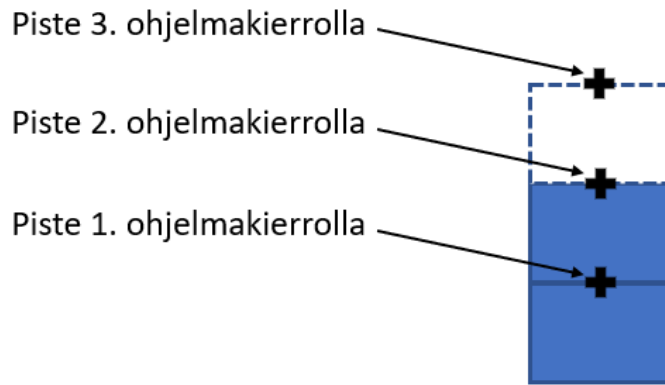
```
P[2]{
  GP1:
    UF : 5, UT : 2,          CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
    X = -119.549 mm, Y = -117.484 mm, Z = 61.200 mm,
    W = -180.000 deg, P = 0.000 deg, R = 180.000 deg
};
```

Kuva 26. FANUC-robotin koordinaattipiste

Koordinaattipisteet ovat riippuvaisia käytetystä työkalusta ja samoja pisteitä voi hyödyntää eri koordinaatistoissa. Koordinaattimuotoiset pisteet ovatkin käytännöllisiä sovelluksissa, joissa sama liikerata täytyy ajaa useammalla eri työkalulla, kuten jäysteenpoistossa, tai sovelluksissa, joissa samoja liikkeitä suoritetaan useammassa sijainnissa, kuten useamman lava-aseman lavauksessa.

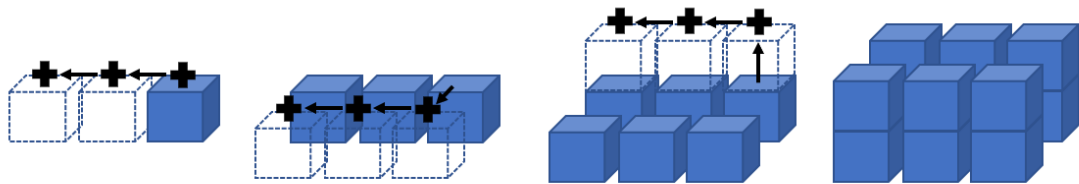
4.3.2 Ohjelmapisteiden muokkaaminen

Robottiohjelmointikielet tarjoavat monipuoliset työkalut ohjelmapisteiden muokkaamiseen ohjelman suorituksen aikana. Yksinkertaisimmillaan muokkaus voi tarkoittaa pisteiden siirtoa kappaleiden pinoamissovelluksessa, jossa jokaisella työkierrolla kappaleen jättöpistettä nostetaan kappaleen korkeuden verran (kuva 27).



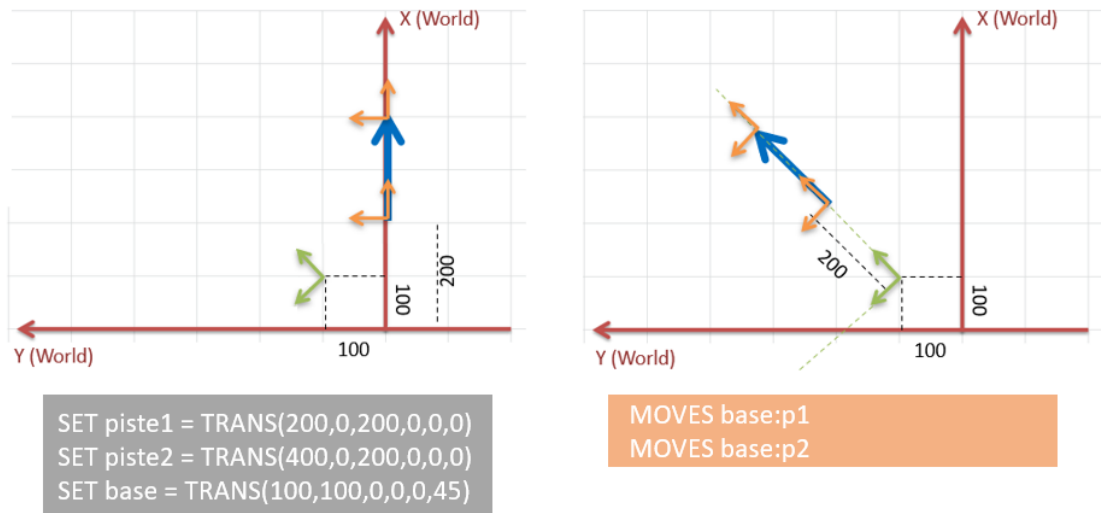
Kuva 27. Ohjelmapisteen siirtymä pinoamissovelluksessa

Siirtämällä ohjelmapistettä sivuttaissuunnassa voidaan muodostaa kappalerivi. Useammasta vierekkäisestä rivistä voidaan muodostaa yksinkertainen lavauskuvio. Lavausta voidaan jatkaa useampaan kerrokseen siirtämällä ohjelmapistettä kappaleenkorkeuden verran ylöspäin ja aloittamalla kuvio alusta (kuva 28).



Kuva 28. Lavaus ohjelmapistettä siirtämällä

Ohjelmapisteitä voidaan myös siirtää koordinaatistosta toiseen. Tätä kutsutaan ohjelmapisteen transformaatioksi. Transformaatioiden avulla voidaan välttää samankaltaisten liikkeiden ohjelmointi useammalle laitteelle, kun samat liikkeet voidaan toteuttaa eri koordinaatistoissa. Transformaatiot ovatkin hyödyllisiä, kun järjestelmässä on useampi identtinen laite, kuten palveltava työstökone, tai lavausasema.



Kuva 29. Pisteiden transformointi Adept eV+-robottiohjelmointikielellä

Robottiohjelmointikielten välillä on eroja siinä, miten transformaatioita käsitellään. Joissain ohjelmointikielissä, kuten kuvan 29 esimerkin Adept eV+-kielessä, mitä tahansa koordinaattimuotoista ohjelmapistettä voidaan käyttää koordinaatistona. Toisissa kielissä, kuten kuvan 30 esimerkin FANUC TP-ohjelmointikielessä, koordinaatit ovat erillisiä muuttujia, joihin viitataan liikekäskeyissä.

Viittaus käytettyyn koordinaatistoon

| | | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|-------------|
| P[5] | UF:0 | UT:1 | CONF:FUT | 000 |
| X | 997.120 | mm | W | 76.575 deg |
| Y | 2084.600 | mm | P | -89.999 deg |
| Z | -130.385 | mm | R | 13.194 deg |
| Position Detail | | | | |
| 70: | | | | |
| 71:L | P[5:Pos] | 20mm/sec | FINE | |
| 72: | | | | |

Kuva 30. Koordinaattimuotoinen ohjelmapiste FANUC TP-ohjelmointikielellä (Fastems Oy)

Harvinaisempi ohjelmapisteiden muokkaustapa on pisteiden skaalaus. Skaalauksessa ohjelmapisteen X-, Y-, ja Z-siirtymät kerrotaan määritellyllä luvulla, kiertokulmien pysyessä muuttumattomina. Skaalauksista voidaan hyödyntää esimerkiksi suhteellisilta mitoiltaan muuttumattomien, mutta vaihtelevan kokoisten kappaleiden käsittelyssä.

Hyödyntämällä pisteiden muokkausta, voidaan toteuttaa todella monipuolisia robottisovelluksia. Robottisovellukset voivat olla jopa täysin parametrisia, jolloin robotin ohjelmapisteet luodaan ohjelmaan syötettyjen lähtötietojen ja referenssipisteiden mukaan. Parametrisia robottisovelluksia hyödynnetään mm. konepalvelusoluissa, joissa ohjelmapisteet luodaan valmistettavan osan mittojen mukaan. (Lepistö, 28.)

4.3.3 Liikekäskyt

Robotti saadaan liikkumaan ohjelmallisesti käyttämällä liikekäskyjä. Liikekäskyllä robotti voidaan ajaa robotin sen hetkisestä asemasta ennalta määritettyyn ohjelmapisteeseen.

Yksinkertaisimmillaan liike on interpoloimaton akseliliike, jossa jokainen robotin akseli liikkuu samanaikaisesti ohjelmapisteen määrittämiin nivelkulmiin. Akseliliikkeessä työkalukärjen liikerata on epämääräinen. Akseliliike on tehokas ja nopea liike, jossa jokainen robotin akseli liikkuu lyhyimmän vaaditun matkan tavoitusteeseen. Koska liike on interpoloimaton, sillä on mahdollista myös liikkua asentojen kautta, jotka aiheuttaisivat interpoloidulle liikkeelle singulariteetin. (Kui-
vanen, 37.)

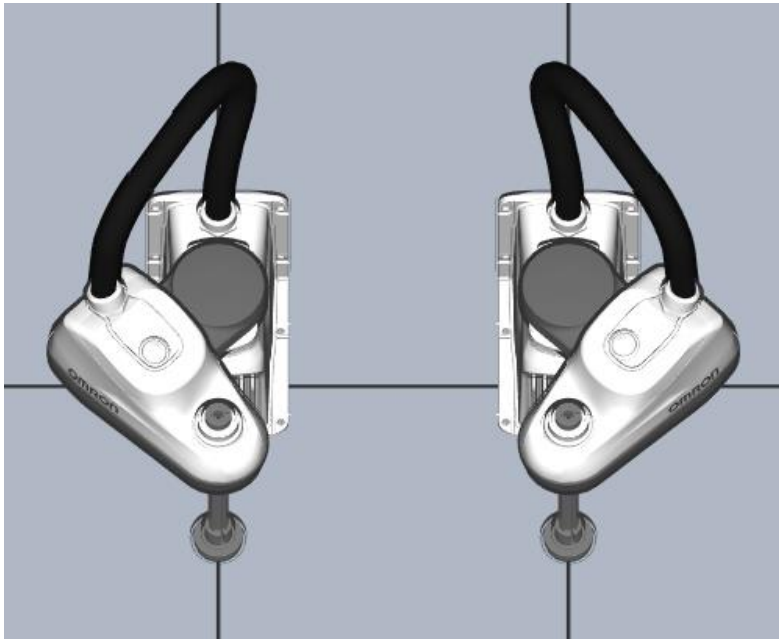
Pääsääntöisesti robottiohjelmoinnissa halutaan kuitenkin tehdä tarkkoja liikkeitä robotin työkalukärjellä, jolloin akseliliikkeiden epämääräiset liikeradat eivät ole riittäviä. Useimmat robottiohjelmoitinkielet mahdollistavat robotin työkalukärjen hallitun ajamisen lineaarista tai ympyräkaaren muotoista liikerataa pitkin.

Huomionarvoista liikekäskyissä on, että liikerata muodostuu lähtöpaikan ja määränpään mukaan, mutta vain määränpää on käskyssä määritelty. Näin ollen liikekäskyn suorittaminen voi tuottaa täysin erilaisia liikeratoja lähtöpaikan muuttuessa.

4.3.4 Konfiguraatiot

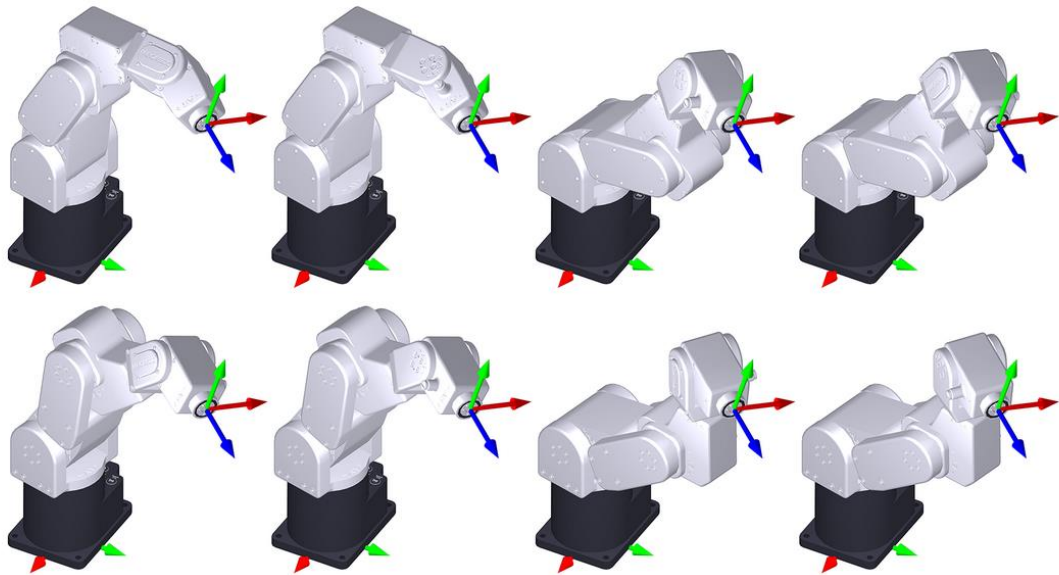
Moninivelisillä roboteilla yhdelle koordinaattipaikoitukselle on usein olemassa enemmän kuin yksi kinemaattinen ratkaisu. Tämän vuoksi koordinaattimuotoisella ohjelmapiesteellä voidaan usein kuvata useampaa kuin yhtä robotin asentoa. Saman koordinaattipaikoituksen toteuttavia eri akselipaikoituksia kutsutaan pisteen konfiguraatioiksi. (Inkinen, 18.)

Konfiguraation määrittelyssä on eroja robottivalmistajien ja robottityyppien välillä. Omron SCARA-robottien konfiguraatiot jakautuvat vasen- ja oikeakätisiin konfiguraatioihin, sen mukaan kummalle puolelle robotin toinen akseli on kääntynyt (Kuva 31).



Kuva 31. SCARA-robotin konfiguraatiot

Kuusiakselisilla kiertyvänivelisillä roboteilla konfiguraatioita on enemmän. Konfiguraatiot määräytyvät toisen-, kolmannen- ja viidennen akselin asentojen mukaan. Yhteensä kuusiakselisella robotilla eri konfiguraatioita on kahdeksan (kuva 32). Useimpiin koordinaattipisteisiin ei kuitenkaan löydy ratkaisua kaikilla konfiguraatioilla. (Omron)



Kuva 32. Kuusiakselisen robotin konfiguraatiot (Mecademic)

Koordinaattimuotoiset ohjelmapisteen eivät välttämättä sisällä tietoa robotin konfiguraatiosta. Ellei konfiguraatiota ole erikseen määritelty, Omron robotit liikkuvat akseliliikkeellä koordinaattipisteeseen käyttäen sitä konfiguraatiota, johon on lyhyin matka. Interpoloiduilla liikkeillä konfiguraatioksi määräytyy lähin konfiguraatio, joka ei edellytä singulariteetin ylittämistä. Määrittelemätöntä konfiguraatiota voi hyödyntää sovelluksissa, joissa samoja ohjelmapistettä halutaan hyödyntää eri puolilla robottia. (Omron)

Koordinaattimuotoisten ohjelmapisteen määrittämätön konfiguraatio voi kuitenkin aiheuttaa myös ongelmia. Jos työkierron alussa ei varmisteta robotin olevan oikeassa konfiguraatiossa ajamalla robotti tunnettuun akselipaikoitukseen, voidaan robotti ohjelma vahingossa käynnistää robotin ollessa väärässä konfiguraatiossa ja näin aiheuttaa virhetila tai pahemmassa tapauksessa kolari. Huolimattomasti ohjelmoitu vain koordinaattimuotoisia pisteitä käyttävä työkierto voi myös ajautua väärään konfiguraatioon. Näin ollen koordinaattimuotoisia ohjelmapistettä tulisi käyttää vain silloin, kun niiden käyttö on ohjelman toimivuuden kannalta tarpeellista.

4.3.5 Suoritusjärjestys

Jos jokaiseen ohjelmapisteeseen ajetaan robotin parhaalla paikoitustarkkuudella, on robotin liike katkonaista. Katkonaisuuden välttämiseksi liikekäskejä voidaan yhdistellä siten, että ennen ensimmäisen liikekäsken loppuun suorittamista ohjataan robotti jo kohti seuraavan liikekäsken määrittämää kohdetta. Näin muodostuu kuvan 33 mukainen, kaarimainen, hieman ohjelmapisteen edestä kääntyvä liikerata. (Craig, 210.)



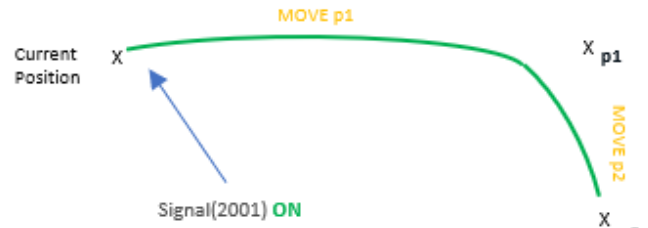
Kuva 33. Jatkuvan liikkeen suorittaminen robotilla

Jotta sulava liikekäskestä seuraavaan siirtyminen voidaan toteuttaa, täytyy seuraavan liikkeen määränpää olla tiedossa ennen edellisen liikkeen loppuun suorittamista. Tästä syystä robottiohjelman tavanomainen suoritus tapahtuu siten, että liikekäsken suorittamisen aikana suoritetaan kaikki käskyä seuraavat, liikkeitä sisältämättömät käskyt aina seuraavaan liikekäskeyn asti. (KUKA, 268.)

Suoritusjärjestys tulee huomioida erityisesti lähtöjen ohjauksessa. Jos liikekäskeä tartuntapisteeseen seuraa tarttujan sulkevan lähdön ohjaus, on todennäköistä, että tarttuja sulkeutuu jo liikkeen aikana, eikä vasta tartuntapisteessä. Usein robottiohjelmointikielet sisältävät komennon, jolla ohjelman suoritus saadaan pysäytettyä, kunnes edellinen liike on suoritettu loppuun. Ohjelman suoritusta voi viivästyttää myös käyttäen muita ehtoja. Kuvassa 34 on muutamia esimerkkejä ohjelman suorituksen hallinnasta eV+-ohjelmointikielellä. (KUKA, 268.)

Ohjelman etenemistä ei rajoiteta

```
MOVE p1
SIGNAL 2001
MOVE p2
```

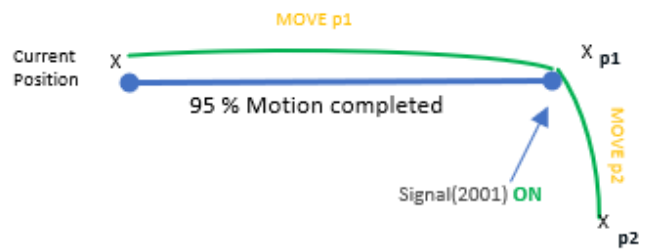
Ohjelma etenee, kun liike on suoritettu loppuun
(robotin nopeus putoaa nolleen pisteessä p1)

```
MOVE p1
BREAK
SIGNAL 2001
MOVE p2
```



Ohjelma etenee, kun 95% liikkeestä on suoritettu

```
MOVE p1
WAIT (STATE(10)>95)
SIGNAL 2001
MOVE p2
```



Ohjelma etenee, kun työkalukärki on 20 mm päässä kohteesta

```
MOVE p1
DO
  WAIT
UNTIL DISTANCE(HERE, DEST) <= 20
SIGNAL 2001
MOVE p2
```



Kuva 34. Ohjelman suorituksen hallintaa eV+-robottiohjelmointikielellä

5 TURVALLISUUS

Turvallisuus on tärkeä osa robottisovelluksen suunnittelua. Robotit ovat nopeita, automaattisia liikkeitä suorittavia laitteita, jotka havaitsevat ympäristöstään vain sen mikä on sovelluksen toiminnan kannalta olennaista. Tämä tekee robottien työalueesta ihmiselle vaarallisen. Tavallisimmat robottien aiheuttamat tapaturmat ovat iskut ja puristuksiin jääminen. (Tuunanen, 9.)

Robotin omien liikkeiden lisäksi tapaturman voi aiheuttaa robotin työkalu, robotin käsittelemä kappale ja robottisolun muut laitteet. Sähköisenä laitteena robotti voi aiheuttaa myös sähköiskun vaaran. Robottisolut suunnitellaan pääsääntöisesti robotin työskentelyyn sopivaksi, jonka vuoksi robottisolut voivat olla työntekijöille epäergonomisia. (Tuunanen, 10.)

Robottiturvallisuutta käsitellään standardissa ISO 10218. Standardiin kuuluu kaksi osaa, joista ensimmäinen käsittelee robottilaitteiden turvallisuutta ja on suunnattu robottilaittevalmistajille. Jälkimmäinen osa kattaa robottijärjestelmien turvallisuuden ja on suunnattu robottijärjestelmien integraattoreille. (ISO 10218)

5.1 Työalueen turvallistaminen

Yksinkertaisin tapa turvallistaa robottisovellus, on eristää se alueella liikkuvista ihmisistä. Useimmiten eristys saadaan aikaan ympäröimällä robotin työalue aidoilla siten, että kulku alueelle tapahtuu turvalukollisen portin kautta. Työalueen täydellinen eristäminen voi kuitenkin olla sovelluksen toiminnan kannalta mahdollista, jos samalla estetään materiaalin kulku työalueelle. Näissä tapauksissa turvallinen alueen eristys voidaan toteuttaa käyttäen materiaalin kulun sallivaa valoverhoa, tai suoja-alueisiin jaettua turvamattoa tai -skanneria. (Tuunanen, 10-11.)

Suunniteltaessa robotin tarttujaa tulee huomioida tarttujan turvallinen vikaantuminen. Käsiteltävä kappale ei saa irrota tarttujasta energiakatkoksen aikana ja hätäpysäytyksessä tarttujan tulee säilyttää auki- tai kiinnitilansa. (Kuivanen, 71.)

5.2 Työskentely robotin työalueella

Robottijärjestelmän tavallisen toiminnan aikana tapahtuvat tapaturmat ovat todella harvinaisia. Tapaturmien todennäköisyys kasvaa erikoistilanteiden kuten käyttöönoton, huollon ja vikatilasta toipumisen aikana. Näissä tilanteissa työskentelyä liikkuvan robotin läheisyydessä ei aina voida välttää. Erikoistilanteissa tapahtuvien tapaturmien välttämiseksi keskeistä on robottien kanssa työskentelevän henkilöstön koulutus. (Tuunanen, 9-10.)

Robotin toiminta-alueella työskennellessä tulee robotin automaattiset liikkeet olla estetty. Robotin ohjelmointi tai -huolto voi kuitenkin vaatia robotin liikuttelua robotin työalueen sisältä käsin. Tällöin robottia tulee ohjata käsiajolla käyttäen turvanopeutta. Suurin sallittu robotin käsiajonopeus robotin kanssa samassa tilassa työskenneltäessä on 250 mm/s. Ylimääräisiä henkilöitä ei tule päästää robotin työalueelle ja turva-alueen sulkeminen tulee olla estetty alueella työskenneltäessä. Turva-alueen sulkemisen esto voidaan toteuttaa Lockout/Tagout-menetelmällä, jossa jokainen alueella työskentelevä henkilö lukitsee alueen auki, käyttäen omaa henkilökohtaista lukkoa (kuva 35). (ISO 10218-2, U.S. Occupational Safety and Health Administration)



Kuva 35. Lockout/Tagout-lukkoja (OSHA)

6 OMRON ADEPT ROBOTIT

6.1 Robottilaitteet

Omronin robottivalikoima kattaa kaikki yleisimmät robottityypit. Valikoiman pääpaino on SCARA- ja rinnakkaisrakenteisissa roboteissa. Kiertyvänivelisiä robottimalleja Omronin valikoimassa on vain kaksi mallia. Muihin robottivalmistajiin verrattuna Omron on keskittynyt matalan kantokyvyn robotteihin. Robottien kantokyky vaihtelee 5-15 kg välillä. Robotit ovat kooltaan pieniä, minkä vuoksi myös robottien työalue jää pieneksi.

Omron Adept robottien vahvuus on niiden integroitavuus muiden Omron laitteiden kanssa. Omron tarjoaa monipuoliset työkalut kamerapoimintojen ja kuljettimen seuranta sovellusten toteuttamiseen yhdellä tai useammalla robotilla.

6.2 ACE – Automatic Control Environment

ACE, eli Automatic Control Environment on Omronin teollisuusrobottijärjestelmien ohjelmointiin käytettävä ohjelmointiympäristö. Ohjelmisto mahdollistaa robottien Online- sekä Offline-ohjelmoinnin, konfiguroinnin, robottiohjaimen tiedostojärjestelmien hallinnan ja suorittimen kuormituksen tarkkailun. (Omron)

Lisäksi ohjelmistolla voidaan ohjelmoida ja konfiguroida robottien yhteydessä toimivat konenäkökamerat- ja AnyFeeder-syöttölaitteet. (Omron)

6.2.1 eV+ -ohjelmointikieli

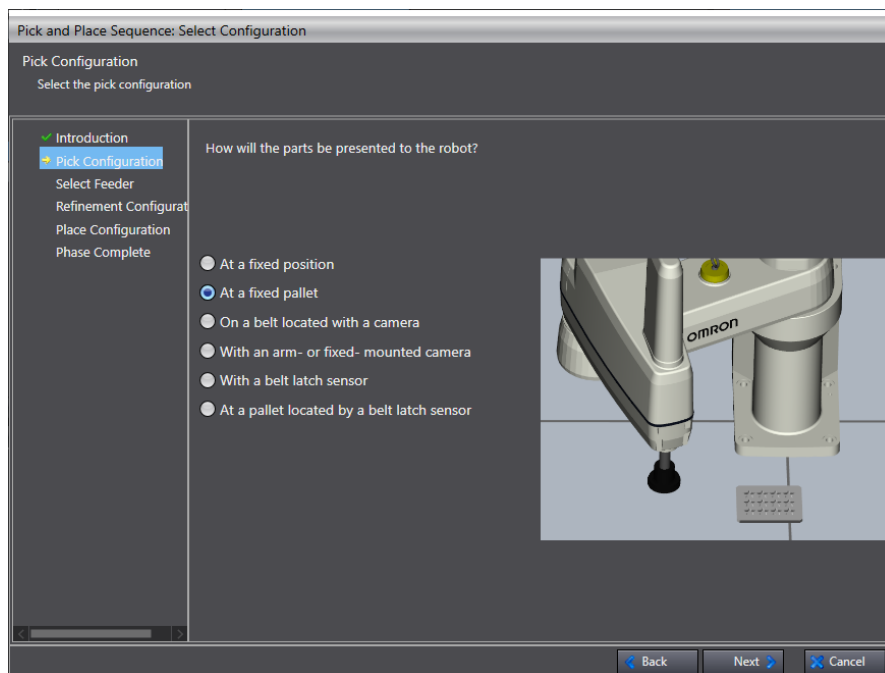
eV+ on Omron Adept -robottien ohjelmointiin kehitetty tekstimuotoinen tulkittu ohjelmointikieli. Ohjelmointikieli sisältää tavallisimmat nykyaikaisen korkean tason ohjelmointikielen toiminnallisuudet. Näiden lisäksi eV+ sisältää monipuoliset komennot robotin liikkeiden- ja paikoituksen hallintaan, sekä kinematiikan funktiot, kuten koordinaatistonmuunnokset ja siirtymät. (Omron)

6.2.2 ePLC-rajapinta

ePLC-rajapintaa käytetään Omron robottien ja PLC:n väliseen Ethernet/IP-kommunikointiin. ePLC on robotin ohjaimella suoritettava ohjelma, joka lukee PLC:n lähettämää dataa ja päivittää robotin tilaa koskevia tietoja takaisin PLC:lle. ePLC mahdollistaa robotin ohjaamisen täysin PLC:n kautta, jolloin robotti voidaan ohjelmoida PLC-ohjelmointikielellä. ePLC:tä voidaan käyttää myös vain IO-rajapintana. (Omron)

6.2.3 Sample Program Wizard

Sample Program Wizard mahdollistaa robottiohjelman generoimisen yleisimpiin kappaleensiirto-sovelluksiin. Ohjelman generoiminen tapahtuu vastaamalla Wizard-työkalun esittämiin kysymyksiin kuvan 36 mukaisesti. (Omron)



Kuva 36. Sample Program Wizard

Työkalulla voidaan luoda kappaleensiirto-ohjelma, jossa haku- tai jättöpisteenä toimii jokin seuraavista:

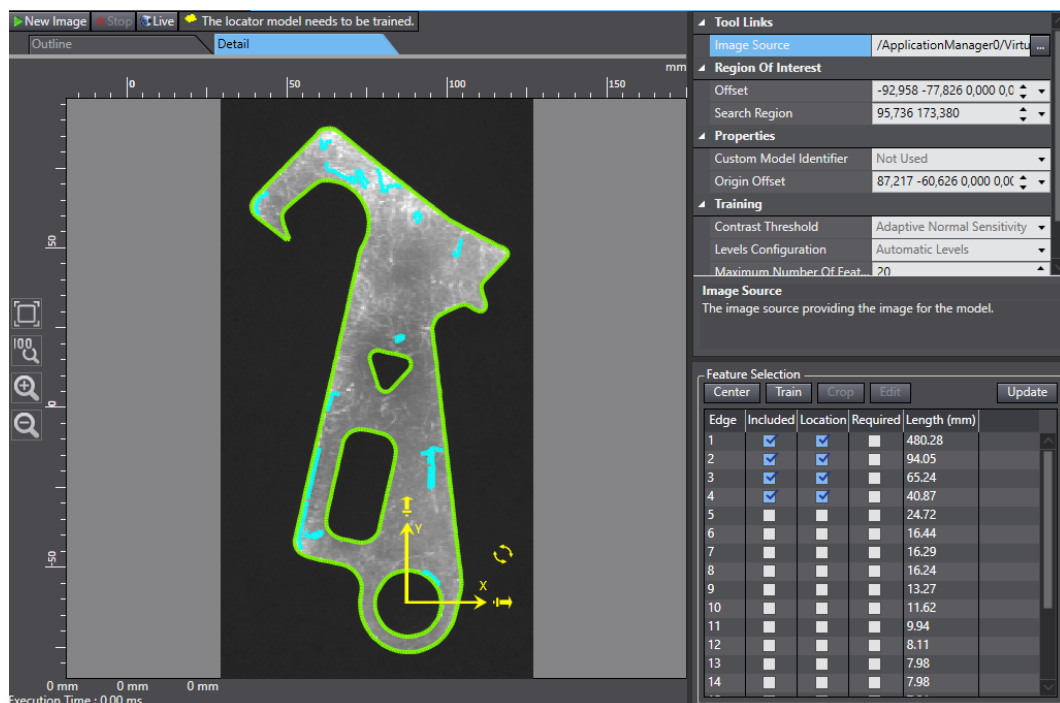
- kiinteä piste

- paletti
- liukuhihna (liukuhihnan seuraus)

Pisteet voivat olla tunnettuja tai ne voidaan paikoittaa konenäön avulla. Käytettäessä konenäköä, myös konenäkösovellus pystytään luomaan Wizard-työkalun avulla.

6.2.4 ACE Sight

ACE Sight on ACE-ohjelmistoon kuuluva konenäköohjelmointiympäristö. Ohjelma on tarkoitettu robotin yhteydessä toimivien konenäkösovellusten ohjelmointiin. Käyttämällä ACE Sight -ohjelmaa konenäkösovelluksen ohjelmointiin, voidaan hyödyntää valmista rajapintaa robotin ja konenäköjärjestelmän välillä (kuva 37). Ohjelmasta löytyy tavallisimmat konenäkötyökalut kuvan muokkaamiseen, kohteiden paikantamiseen ja -mittaamiseen, sekä koodien- ja tekstien lukemiseen. ACE Sight -ohjelman avulla voidaan myös testata kamerasovelluksia emuloituilla kameroilla. (Omron)

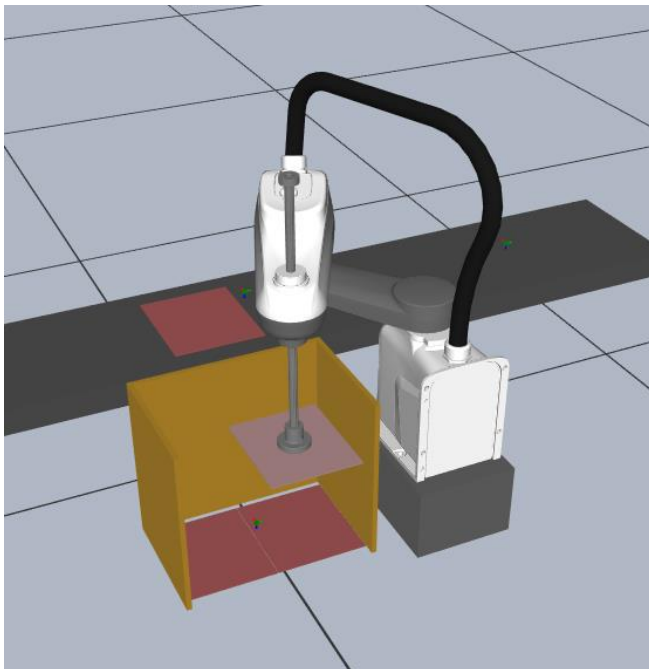


Kuva 37. Kappaleentunnistusmalli ACE Sight -ohjelmassa

6.2.5 3D Simulointi

ACE-ohjelmisto sisältää 3D-simulointiympäristön. Ympäristöä voidaan käyttää robottijärjestelmien Offline-ohjelmointiin ja testaamiseen simuloituilla roboteilla ja muilla simuloituilla laitteilla (kuva 38). (Omron)

ACE-ohjelmiston oletuskirjastot sisältävät emulaatiomallit kaikista Omronin teollisuusroboteista, sekä joitain esimerkkikomponentteja, kuten työtasoja ja robottitarttuja. Ohjelmalla voidaan myös luoda yksinkertaisia kuutio- tai sylinterimalleja, mutta monimutkaisemmat mallit on luotava erillisellä CAD-ohjelmistolla ja tuotava simulointiympäristöön IGES-, tai STEP-tiedostoina. (Omron)



Kuva 38. ACE-ohjelmistolla luotu 3D-malli

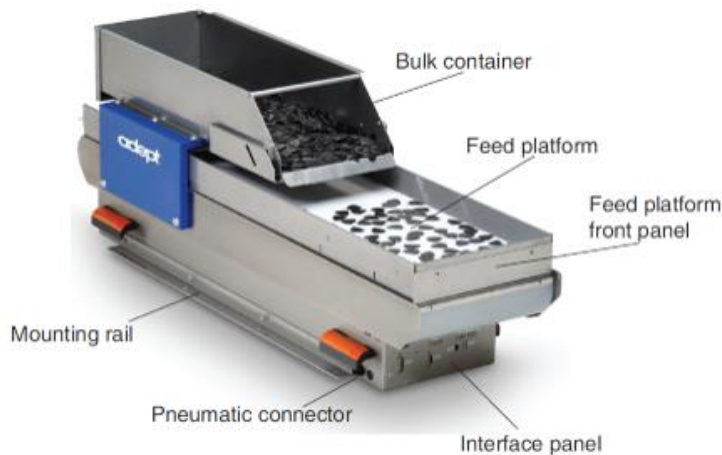
Valmiiden robottimallien avulla voidaan simuloida robottien liikkeitä ja mitata robottiohjelman sykli-aikoja. Simulointiympäristöön voidaan tuoda myös muita liikkuvia mekanismeja käyttäen C#-ohjelmointikielisiä ShapeScript-ohjelmia. Käyttäjän on luotava ShapeScript-ohjelmat itse. (Omron)

6.3 T20-ohjauspäätte

Omronin robotteihin on saatavilla T20-käsiohjauspäätte robotin ohjaamista ja ohjelmapisteiden opettamista varten. Ohjaimella voidaan liikuttaa robottia käsiajotilassa, lukea robotin digitaalituloja ja kirjoittaa -lähtöjä, opettaa ohjelmapisteitä ja varmistaa ohjelmien toiminta suorittamalla ohjelmaa rivi kerrallaan. Ohjaimessa on robottiturvallisuutta käsittelevän ISO 10218 -standardin mukainen kolmiasentoinen sallintakytkin. (Omron)

6.4 AnyFeeder

AnyFeeder on joustava kappaleidensyöttöjärjestelmä. Järjestelmä koostuu kuvan 39 mukaisesti, kahdesta päällekkäin asetetusta tärytasosta ja konenäkökamerasta. Syöttöjärjestelmän ylempi taso, eli Bulk container, annostelee kappaleita alemmalle Feed platform -tasolle, josta ne paikannetaan konenäkökameran avulla. Feed platform -taso voidaan ohjelmoida hajauttamaan kappaleet ja kääntämään ne ympäri. Kamerapaikannuksen helpottamiseksi taso on taustavalaistu.



Kuva 39. AnyFeeder

AnyFeeder-järjestelmän suunnittelussa syötettävän kappaleen vaihto on pyritty tekemään mahdollisimman vaivattomaksi. Järjestelmään on mahdollista ohjelmoida vaihdettavat tärytyssykliä useammalle osatyypille ja laite voidaan ajaa tyhjäksi tätä varten ohjelmoidulla tyhjennyssyklillä. (Omron)

7 ROBOTTIKOULUTUKSEN KEHITTÄMINEN

7.1 Koulutuksen vaatimukset

Omronin robottituotevalikoima on monipuolinen. Kaikkien tavallisimpien robottityyppien lisäksi valikoimaan kuuluu materiaalin syöttölaitteita, konenäköjärjestelmiä sekä ohjelmointityökaluja. Valikoiman monipuolisuus asettaa robottikoulutukselle erityiset vaatimukset. Koulutuksen tulee olla riittävän kattava, jotta koulutettava pystyy koulutuksen saatuaan mahdollisimman itsenäisesti ohjelmoimaan- ja käyttöönottamaan Omron robotin osana automaatiojärjestelmää. Samaan aikaan koulutuksen on keskityttävä vain asiakkaan kannalta olennaisiin asioihin, sillä useimmissa järjestelmissä hyödynnetään vain osaa Omronin robottituotteista.

Myös asiakkaiden aikaisempi robottiosaaminen vaihtelee. Koulutettavat saattavat olla aloittamassa ensimmäistä robottiprojektiaan, tai heillä voi olla kokemusta muiden robottivalmistajien tuotteista. Joillekin Omronin robotit voivat olla jo tuttuja, mutta koulutusta tarvitaan tietyistä tuotteista, joita ei ole käytetty aikaisemmissa projekteissa. Koulutettavat saattavat olla myös robottijärjestelmien operaattoreita, jolloin koulutuksen on keskityttävä robottijärjestelmän turvalliseen käyttöön ja vikatilanteista toipumiseen.

Jotta koulutus pystytään räätälöimään koulutettavien tarpeiden mukaiseksi, täytyy koulutuksesta kehittää modulaarinen. Koulutusmateriaalin tulee olla tarpeeksi pienissä osissa, jotta osista voi koota koulutuksen koulutettavan aikaisemman osaamisen ja tulevien tarpeiden mukaan.

7.1.1 Tukipyynnöiden analysointi

Kehitysprojektia varten tutkittiin Omronin teknisen tuen käsittelemiä asiakkaiden yhteydenottoja, jotka liittyivät robottien kanssa ilmenneisiin kysymyksiin ja ongelmiin. Tutkimusmateriaalina käytettiin teknisen tuen yhden vuoden aikana vastaanottamia sähköposteja, sekä puheluista- ja asiakaskäynneistä kirjoitettuja raportteja. Yhteensä tukipyynnöitä analysoitiin 36 tapausta (taulukko 1). Läpikäydyistä tukipyynnöistä 22 selvitettiin ohjeistamalla asiakasta robottien käytössä.

Loput 14 tapausta koskivat laite-, tai ohjelmistovikoja ja muita tilanteita, mihin ei koulutuksella voida vaikuttaa.

TAULUKKO 1. Omron teknisen tuen yhden vuoden aikana käsittelemien tukipyynnöiden aiheet

| Ongelma | Tukipyynnöiden määrä | Luokittelu |
|---|----------------------|--------------------------|
| Määrittelemätön konfiguraatio | 1 | Liikkeet |
| Väärä liikekäsky | 3 | Liikkeet |
| ePLC-käynnistyssekvenssi | 1 | ePLC |
| ePLC-määrittely | 2 | ePLC |
| ePLC-liikelohkot | 1 | ePLC |
| Oman TCP/IP-rajapinnan luominen | 1 | Edistynyt ohjelmointi |
| Robotti kalibroimatta | 2 | Perusohjelmointi |
| 2d Arrayn siirtäminen PLC:ltä robotille | 1 | Edistynyt ohjelmointi |
| Forward Processing | 2 | Liikkeet |
| Liikelupa-alueet useamman robotin järjestelmässä | 1 | Edistynyt ohjelmointi |
| Pisteiden opetus | 1 | Ohjelmapisteet |
| Lavauslaskenta ei toimi | 1 | Perusohjelmointi |
| Lineaarinen liike singulariteetissa | 1 | Liikkeet |
| Liikkeiden optimointi | 1 | Liikkeet |
| Robotin varaaminen ohjelman käyttöön | 1 | Perusohjelmointi |
| Robotin ja kameran koordinaatistojen täsmäminen | 1 | Ohjelmapisteet |
| Oheislaitteiden tuonti 3D simulaattoriin | 1 | 3D Simulator |
| Muut (laite-/ohjelmistovika, robotin valinta projektiin, varaosien saatavuus, yms.) | 14 | Koulutukseen liittymätön |

Ohjeistamalla selvinneestä tukipyynnöstä 14 liittyivät robotin liikkeisiin, ohjelmapisteisiin tai muuhun robotiikan perusteisiin. 4 tukipyynnöstä koski ePLC-rajapinnan käyttöä ja yksi 3d-simulointia. Jäljellä jäävät kolme tukipyynnöstä koskivat tapauksia, joissa vaadittiin edistyneempää ohjelmointia, kuin mitä robottikoulutuksessa on mielekästä käsitellä.

Tulosten perusteella voidaan todeta suurimman kehitystarpeen olevan robotiikan perusteissa. Myös ePLC-rajapinta aiheuttaa asiakkaille hankaluuksia. Huomion arvoista on, että myös osa robotiikan perusteita koskevista tukipyynnöistä tuli asiakailta, jotka ohjasivat robottia ePLC-rajapinnan kautta.

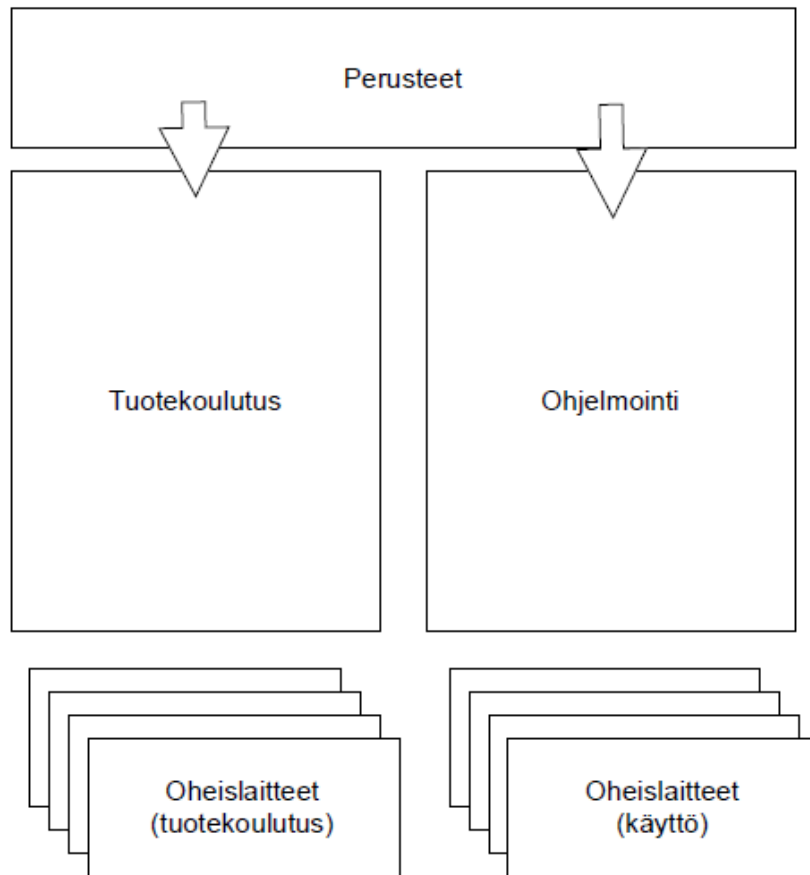
7.2 Koulutusmateriaalin kehittäminen

Koulutusta varten tulee kehittää koulutusta tukeva PowerPoint-esityssarja, ohjelmointiharjoituksia, sekä malliratkaisut. Koulutuksen sisältö voidaan jakaa kolmeen osioon: tuotekoulutus, ohjelmointi ja oheislaitteet. Näiden osioiden lisäksi tulee kehittää kaikille osioille yhteinen robotiikan perusteita käsittelevä osio.

Tuotekoulutus keskittyy Omron robottituotteiden esittelyyn. Koulutus on suunnattu Omronin työntekijöille ja integraattoreille. Koulutuksessa käydään läpi robottityyppien ominaisuuksia ja -käyttökohteita.

Ohjelmointikoulutus on laajin kokonaisuus. Koulutusosuus on tarkoitettu robottijärjestelmien ohjelmoijille. Ohjelmointikoulutus koostuu PowerPoint-esityksistä ja harjoitustehtävistä. Tukipyyntöjen analysoinnin tulokset osoittavat, että koulutusta tulee kehittää erityisesti robotin liikkeiden ohjelmoinnin ja ohjelmapistemuuttujien osalta. Liikkeitä voidaan havainnollistaa liittämällä robotin tarttujaan kynä, jolla liikeratoja voidaan piirtää paperille. Ohjelmapisteidien käyttöä voidaan harjoitella lavalussovelluksen ohjelmoinnilla.

Oheislaittekoulutus koostuu pienemmistä moduuleista, joissa käydään läpi yksittäisten oheislaitteiden käyttö. Oheislaittekoulutukset on tarkoitettu lisättäväksi ohjelmointikoulutusruntoon. Näin ollen koulutettavalta voidaan olettaa perusrobotiohjelmointiosaamista. Oheislaittekoulutuksista voidaan myös kehittää laitteiden ominaisuuksiin keskittyviä lyhyempiä moduuleja, joita voidaan yhdistää tuotekoulutukseen. Kaaviossa 1 on esitetty koulutuksen suunniteltu rakenne.



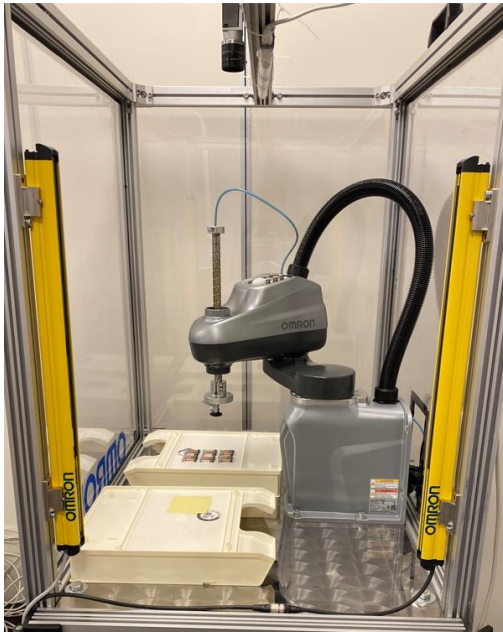
Kaavio 1. Koulutuksen rakenne

Tuotekoulutuksen osalta kehitystyössä voidaan hyödyntää tuotteiden markkinointimateriaalia, jota on saatavilla runsaasti. Markkinointimateriaalista on mahdollista kehittää paremmin koulutukseen sopivia PowerPoint-esityksiä, poistamalla koulutuksen kannalta epäolennaiset osat ja keskittymällä tuotteiden ominaisuuksiin ja käyttötarkoituksiin.

Ohjelmointikoulutusmateriaalin kehittämisen työtä on enemmän. Ennen kehitysprojektia käytössä oleva materiaali on tehty käytettäväksi Omronin Euroopan koulutuskeskuksen viikonmittaisella ohjelmointikurssilla. Materiaali on tehty ohjelmointiympäristön vanhalle versiolle ja tarkoitettu käytettäväksi koulutuskeskuksen laitteiston kanssa. Materiaalista on vaikea koota lyhempää koulutusta, eikä sitä voida toteuttaa Omronin Espoon toimiston laitteistolla.

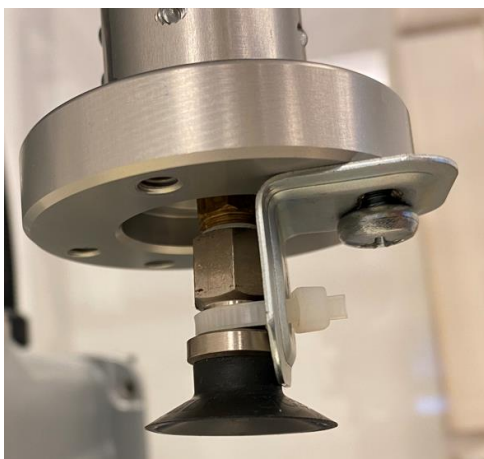
7.3 Koulutuslaitteisto

Robottikoulutus tulee suunnitella Omronin Espoon toimistolla käytössä olevalla testisolulla toteutettavaksi (kuva 40). Testisolu koostuu i4-350L-merkkisestä SCARA-robotista, konenäköjärjestelmästä ja valoverhoista. Konenäköjärjestelmän ohjausyksikkö on kehitysprojektia aloittaessa lainassa asiakkaalla, eikä valoverhoja ole kytketty.



Kuva 40. Omron Espoon toimiston testisolu

Robotin työkalulaippaan on liitetty testikäyttöön tarkoitettu vakuimitarttuja (kuva 41). Tarttujan kiinnitys on väliaikainen ja se on toteutettu nippusiteillä. Tarttuja ei ole työkalulaippaan nähden suorassa, eikä keskitetty.



Kuva 41. Testisolun tarttuja

7.3.1 Testisolun kehittäminen

Testisolua voidaan kehittää paremmin koulutukseen sopivaksi. Solun konenäköjärjestelmä voidaan ottaa käyttöön ohjausyksikön palautuessa lainasta. Myös kameran linssin sopivuus käytetylle kuvausetäisyydelle tulee varmistaa.

Järjestelmään on mahdollista liittää PLC, jolloin saadaan käyttöön robotin Ethernet-rajapinta. Myös valoverhojen loppuun kytkeminen vaatii PLC:n liittämisen järjestelmään.

Testisolun merkittävin kehityskohde on robotin tarttuja. Robotin liikeratoja havainnollistavien harjoitustehtävien toteuttamiseksi tulee olla mahdollista liittää tarttujaan kynä. Kappaleiden käsittelyharjoituksiin nykyinen vakuumitarttuja on riittävä, mutta tarttujasta tulee kehittää varmatoimisempi ja se on asennettava robotin tarttujalaippaan nähden suoraan. Jos vakuumitarttujan tai kynän asentaa tarttujalaippaan nähden epäkeskitetysti, voidaan tarttujalla harjoitella myös robotin työkalupisteen uudelleen määrittämistä.

8 Työn tulokset

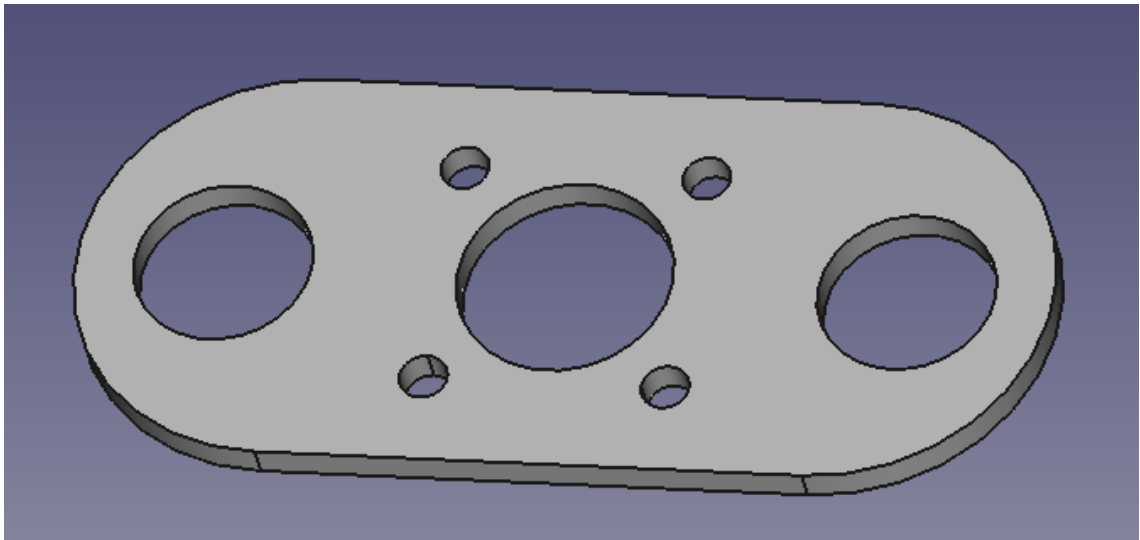
8.1 Tarttuja

Koulutusta varten suunniteltiin i4L-robotin työkalulaippaan sopiva kiinnike, johon voidaan liittää vakuimitarttuja, sekä kynä. Kiinnikettä suunniteltaessa pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon jo olemassa olevia osia. Kynän kuluvuuden vuoksi kynän vaihtaminen täytyi tehdä helpoksi. Sekä kynän, että vakuimitarttujan kiinnitykseen päädyttiin käyttämään vedonpoistajaa (kuva 42). Kynän vaihtaminen vedonpoistajaan on vaivatonta ja siihen sopii useamman kokoinen kynä. Vedonpoistajassa on myös valmis läpivienti vakuimitarttujan paineilmalinjalle. Lisäksi törmäyksen sattuessa, vedonpoistaja päästää kynän tai tarttujan liukumaan paikoiltaan, jolloin vältetään materiaalivahingoilta.

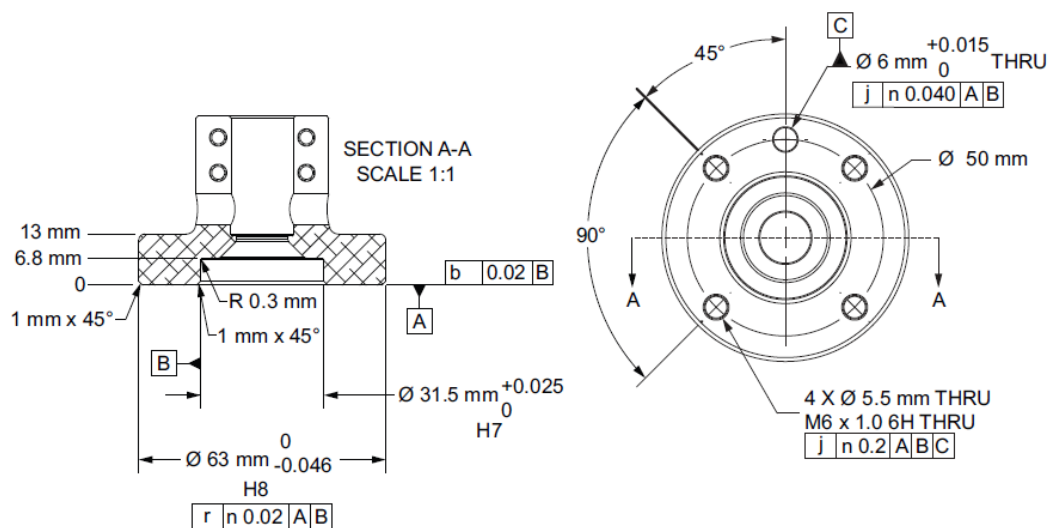


Kuva 42. Vedonpoistajakiinnikkeet

Vedonpoistajien työkalulaippaan kiinnittämistä varten suunniteltiin soviteosa (kuva 43). Sovitteen keskellä on robotin työkalulaippaa vastaavat reiät pulttikiinnitystä varten, sekä läpivienti paineilmalinjalle (kuva 44). Osan päädyissä on kiinnityspaikat vedonpoistajille. Soviteosan tarkemmat mitat ovat nähtävissä liitteessä 1.



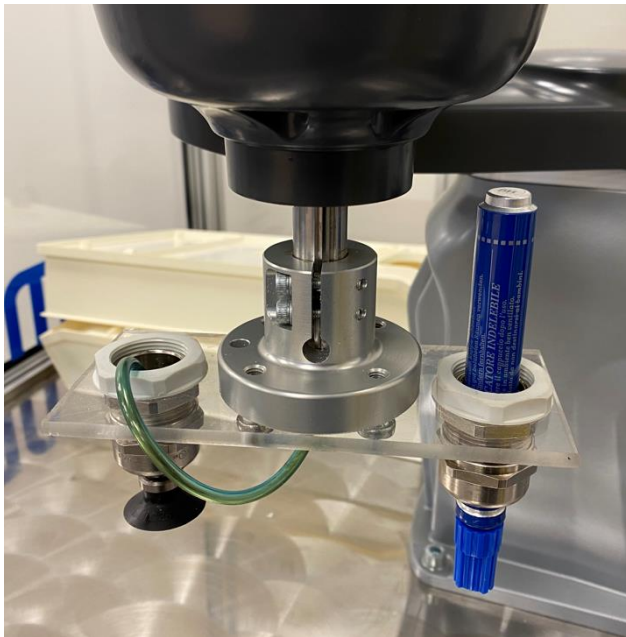
Kuva 43. Soviteosan 3D-malli



Kuva 44. Omron i4L -robotin työkalulaipan mitat

Soviteosalla kynä ja vakuimitarttuja saadaan robotin työkalulaipan eri puolille, jolloin kummallekin työkalulle voidaan määrittää oma työkalupiste. Erillisiä työkalupisteitä voidaan hyödyntää koulutuksessa, sillä niiden avulla on helpompi hahmottaa robotin työkalupisteen merkitys robotin paikoituksessa.

Suunnitellun työkalun toimivuutta testattiin valmistamalla työkalusta muovinen prototyyppi (kuva 45). Työkalu todettiin koulutuksen tarpeiden mukaiseksi. Lisäksi testeissä havaittiin, että lisäämällä painelinjaan kaksikanavainen venttiili, voidaan työkalun kynä vaihtaa toiseen vakuimitarttujaan. Näin työkalua voidaan hyödyntää myös kaksoistarttujana testikäytössä.



Kuva 45. Testirobotin työkalun prototyyppi

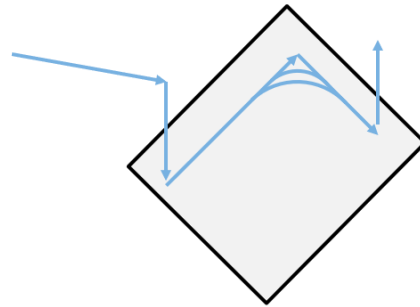
8.2 Koulutusmateriaali

8.2.1 Ohjelmointikoulutus

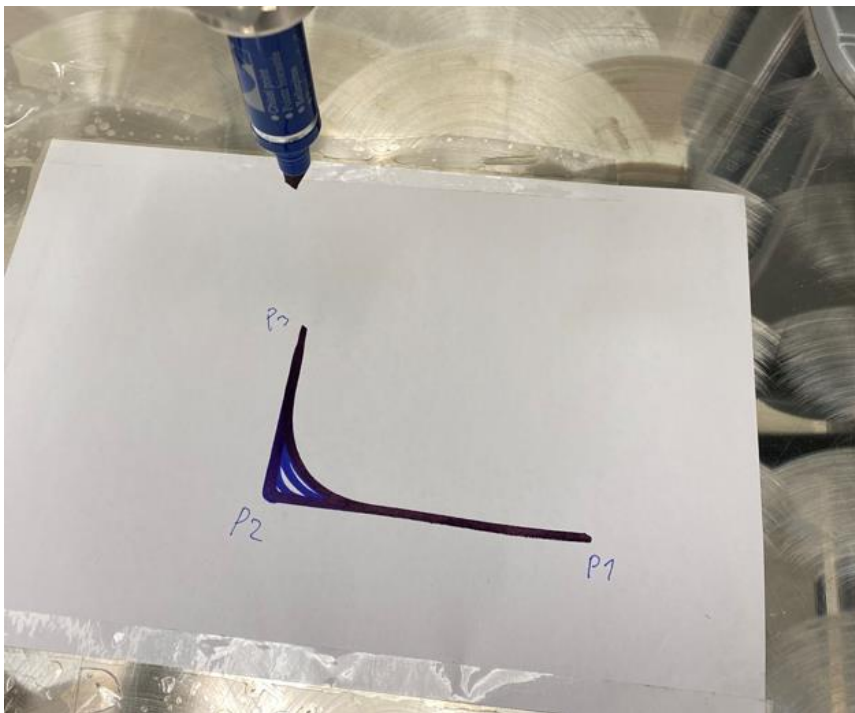
Rajallisen aikataulun vuoksi koulutusmateriaalin kehittämisessä keskityttiin ohjelmointikoulutusosioon, jossa koulutusmateriaalin kehittämisen tarve todettiin suuremmaksi. Kehitetty koulutus keskittyy robotin liikkeiden ja paikoitusten ohjelmointiin. Koulutus aloitetaan perehtymällä robotin liikekäskyihin. Liikkeitä havainnollistetaan koulutusta varten kehitetyllä työkalulla, jolla liikekäskyjen muodostamia liikeratoja voidaan piirtää paperille (kuvat 46 ja 47). Liikekäskyjen opettelemisen jälkeen käydään läpi, miten eri liikekäskyjä voidaan hyödyntää robottisovelluksen ohjelmoinnissa. Osion tavoitteena on, että koulutettavalle kehittyy ymmärrys siitä, miten robotin liikkeet muodostuvat ja miten liikkeisiin voidaan vaikuttaa ohjelmoinnilla. Liikekäskyjen monipuolinen hyödyntäminen on olennaista hyvin optimoidun työkierron toteuttamisessa.

Hands-on training: Forward processing

- Try different ways of controlling the forward processing



Kuva 46. Ohjelmointiharjoitustehtävä



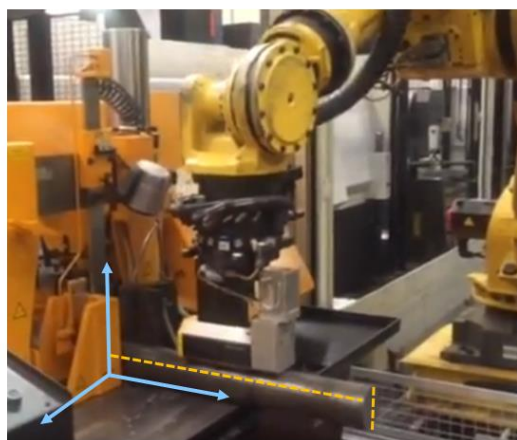
Kuva 47. Ohjelmointiharjoitustehtävän suoritus koulutustarttujalla

Liikekäskyistä edetään erityyppisten ohjelmapisteiden ominaisuuksiin, koordinaattipisteiden muodostamiseen, konfiguraatioihin ja singulariteettiin. Jos kouluttavalla ei ole aiempaa ohjelmointikokemusta, voidaan ennen ohjelmapisteisiin keskittyviä ohjelmointiharjoituksia käydä läpi muuttujia käsittelevä PowerPointesitys.

Ohjelmapisteiden käyttöä käsittelevät ohjelmointiharjoitukset aloitetaan kappaleiden pinoamisella, josta jatketaan lavaukseen (liite 2). Transformaatioihin tutustutaan siirtämällä edellisessä harjoituksessa tehty lavaus omaan koordinaatistoonsa. Kaikissa ohjelmapisteharjoituksissa hyödynnetään koulutusikäyttöön kehitetyn työkalun vakuimitarttujaa. Lopuksi käydään läpi esimerkkejä parametrisistä sovelluksista, joissa hyödynnetään ohjelmapisteiden muokkaamista (kuva 48).

Parametriset paikoitukset: Esimerkkejä

- Vaihtelevanmittaisten tankojen poimiminen automaattisahalta
 - Koordinaatisto määritellään sahan terän tasoon
 - Kappale paikoitetaan tangon halkaisijan ja sahattavan mitan mukaan



Kuva 48. Esimerkki parametrisestä robottisovelluksesta

Kokonaisuutena ohjelmapisteitä käsittelevän koulutusosion tarkoitus on selittää matemaattisesti monimutkainen aihe, matematiikkaa välttäen. Tähän pyritään hyödyntämällä robottiohjelmointikielen valmiita kinemaattisia funktioita. Harjoitustehtävät aloitetaan yksinkertaisesta, yhden akselin siirtymän ohjelmoinnista. Seuraavat harjoitustehtävät lisäävät sovelluksen monimutkaisuutta, mutta tehtävien ratkaisut rakentuvat edeltävissä tehtävissä luodun ohjelman jatkeeksi. Tavoitteena on, että koulutettava pystyy osion jälkeen hyödyntämään laskennallisia ohjelmapisteitä robottiohjelmoinnissa. Laskennallisten ohjelmapisteiden ymmärtäminen mahdollistaa työkierroltaan joustavampien robottisovellusten toteuttamisen ja on avainasemassa robotiikan monipuolisemmassa hyödyntämisessä.

8.2.2 Tuotekoulutus

Tuotekoulutusmateriaalikehityksessä keskityttiin eri robottityyppien ominaisuuksiin. Tuotekohtaisten materiaalien kehittäminen jätettiin työn ulkopuolelle, koska

olemassa oleva markkinointimateriaali nähtiin toistaiseksi riittäväksi. Lisäksi tuotekohtainen koulutusmateriaali tulee päivittää useammin, jotta materiaali pysyy ajantasaisena. Näin ollen koulutusmateriaali voidaan koota erikseen jokaista koulutusta varten robottityyppejä käsittelevistä PowerPoint-esityksistä ja asiakkaan tarpeita vastaavista ajantasaisista markkinointimateriaaleista.

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli kehittää Omron robottituotteita käsittelevää asiakaskoulutusta. Kehityksen tavoitteena oli päivittää koulutus nykyisiä robottituotteita vastaavaksi ja helpommin toteutettavaksi käytössä olevalla koulutuslaitteistolla.

Kehitystarvetta kartoittaessa käytiin läpi yhden vuoden aikana Omronin teknisen tuen käsittelemät robottituotteita koskevat tukipyynnöt. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miltä osin tukipyynnöiden määrää voitaisiin vähentää koulutusta kehittämällä. Tutkimus osoitti, että merkittävä osa tukipyynnöistä voitaisiin välttää, jos koulutuksessa keskityttäisiin enemmän robottien liikkeiden ja paikoituksen perusteisiin. Perusteiden lisäksi ePLC-rajapinnan käyttöä tulisi kouluttaa paremmin.

Kehitystyössä keskityttiin robottiohjelmoinnin ja erityisesti robotin liikkeitä ja paikoitusta käsittelevän koulutusmateriaalin kehittämiseen. Koulutusmateriaali koostuu PowerPoint-esityksistä ja harjoitustehtävistä. Jotta harjoitustehtävät voitiin toteuttaa koulutuskäyttöön tarkoitetulla testirobotilla, täytyi robotille suunnitella ja valmistaa uusi tarttuja. Tarttujasta valmistettiin prototyyppi tarttujan toimivuuden varmistamiseksi ja harjoitustehtävien testaamiseksi. Suunniteltua tarttujaa ei pystytty valmistamaan, sillä sen vaatimia osahankintoja ei päästy tekemään, kehityksen aikana voimaan tulleen yrityksen hankintoja koskevan sääntömuutoksen vuoksi. Toistaiseksi koulutukset toteutetaan tarttujan prototyypillä.

Tutkimuksen perusteella tärkeimmäksi jatkokehityskohteeksi jää ePLC-koulutus. Tutkimuksessa havaittiin myös, että merkittävä osa robotiikan perusteita koskevista tukipyynnöistä tuli asiakkailta, jotka ohjasivat robotteja ePLC-rajapinnan kautta PLC-ohjelmalla. Koska Omron on paremmin tunnettu PLC-valmistajana, kuin robottituotteistaan, myös suuri osa asiakkaista on kokeneita PLC-ohjelmoijia. ePLC:n valmiit toimilohkot tarjoavat hyvät työkalut PLC-ohjelmoijalle yksinkertaisempien robottisovellusten ohjelmointiin. ePLC:n tarjoama mahdollisuus korvata robottiohjelmointi, PLC-ohjelmalla voi antaa vaikutelman, että robottiohjelmointiosaaminen voidaan korvata PLC-osaamisella. Valmiit toimilohkot, joiden yksityiskohtaisempaan toimintaperiaatteisiin ei ohjelmoija pääse itse vaikuttamaan, ei kuitenkaan kehitä samanlaista ymmärrystä robottien liikkeiden- ja paikoituksen

periaatteista, mitä robottiohjelmoinnissa vaaditaan. Tämä voi mahdollisesti selittää ePLC-käyttäjien suurta osuutta robotiikan perusteita koskevista tukipyynnöistä. Myös pääsääntöisesti ePLC:tä käyttävät asiakkaat hyötyisivät robottiohjelmoinnin perusosaamisesta, joten ePLC-koulutus tulisi kehittää robottiohjelmointikurssin jatkoksi, eikä sen vaihtoehdoksi.

Myös 3D-simulointi on mielenkiintoinen robottikoulutuksen jatkokehityskohde. 3D-simulointia koskevia tukipyyntöjä ei ole käsitelty teknisessä tuessa merkittävästi, mutta syynä tähän on luultavasti se, ettei asiakkaat hyödynnä 3D Simulatoria työssään. Haasteena 3D-simulointikoulutuksessa on 3D Simulatorissa omien laitteiden simuloinnin vaatima edistynyt C#-ohjelmointikielen osaaminen. C#-ohjelmoinnin perusteet eivät riitä 3D Simulatorin tehokkaaseen hyödyntämiseen, joten C#-ohjelmointikoulutuksen yhdistäminen 3D-simulointikoulutukseen on haastavaa. 3D-simulointia voidaan kuitenkin hyödyntää robottiohjelmoinnin peruskoulutuksessa, luomalla 3D-simuloituja opetusympäristöjä.

Muita jatkokehityskohteita ovat AnyFeeder- ja Vision-koulutukset. Näiden koulutuksien kehittäminen jätettiin tämän työn ulkopuolelle, sillä lainassa olevaa testisolun kameran ohjausyksikköä ei saatu ajoissa takaisin. Myös AnyFeeder-koulutukseen vaadittavan demosolun toimitus myöhästyi komponenttipulan vuoksi. Kehitystä voidaan jatkaa, kun demosolun toimitus varmistuu. Demosolu koostuu SCARA-robotista, AnyFeeder-syöttölaitteesta ja konenäköjärjestelmästä. Solun avulla voidaan toteuttaa monipuolisia AnyFeeder ja Vision-koulutuksia.

LÄHTEET

ISO 8373. 2021. Robotics – Vocabulary

Gasparetto, A., Scalera, L. 2019. A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century

Čapek, K. 1920. R.U.R : Rossum's Universal Robots

Hänninen, P. 2022. Robotiikka ja tekoäly Tammertekniikka.

Malone, B. 2011. George Devol: A Life Devoted to Invention, and Robots. IEEE Spectrum. Luettu 20.2.2022
<https://spectrum.ieee.org/george-devol-a-life-devoted-to-invention-and-robots>

Wallén, J. 2008. The history of the industrial robot

Makino, H., Kato, A., Yamazaki, Y. 2007. Research and Commercialization of SCARA Robot

Bonev, I. 2001. Delta Parallel Robot – the Story of Success

Nabat, V., De La O Rodriguez, M., Company, O., Krut, S., Pierrot, F., 2005. Par4: very high speed parallel robot for pick-and-place

Helsingin Tekniikan Museo, NS-16 esittely, Luettu 4.3.2022

Lempiäinen, J. 2021. Stabiili robottimarkkina vuonna 2020. Automaatioväylälehti 6/2021

Wilson, M. 2015. Implementation of Robot Systems. Butterworth-Heinemann Inc.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys Ry

Omron, 2021. Optimizing Robot Applications for Packaging. Webinaari.

Devasia, A., 2021. What are Cartesian Robots? Control Automation. Luettu 12.3.2022
<https://control.com/technical-articles/what-are-cartesian-robots/>

Craig, J. 2005. Introduction to Robotics – Mechanics and Control. Pearson Education International

ISO 9787. 2013. Robots and robotic devices – Coordinate systems and motion nomenclatures

Lepistö, T. 2020. Robottisolun tehokkaampi hyödyntäminen koneistuksessa. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu

Inkinen, A. 2020. Teollisuusrobotin käyttäjäkoordinaatistojen kalibroinnin kehittäminen offline-ohjelmoinnin tueksi. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu

Billing, M. 2012. Oppimisympäristö robotiikan ja etäohjelmoinnin opetukseen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto

KUKA, KUKA Operating and Programming instructions for system integrators. Käyttöohje.

FANUC, FANUC RJ3 Programming manual. Käyttöohje

Tuunanen, T. 2014. Teollisuusrobotin käyttöönotto ja ohjelmointi. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

ISO 10218-1. 2011. Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part1: Robots

ISO 10218-2. 2011. Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part1: Robot systems and integration

U.S. Occupational Safety and Health Administration. 2002. Control of Hazardous Energy – Lockout/Tagout

Omron. Industrial Robotics Automation Catalog Product Datasheet. Datalehti. Luettu 20.2.2022

https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v16/i822_industrial_robots_datasheet_en.pdf

Omron. eV+ Language User's Guide. Käyttöohje. Luettu 20.2.2022

https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v3/i604_ev%2B_language_users_manual_en.pdf

Omron. Automation Control Environment (ACE) Version 4 User's Manual. Käyttöohje. Luettu 19.2.2022

https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v6/i633_ace_4.0_users_manual_en.pdf

Omron, ACE 4.0 Vision Webinar. Webinaari. Katsottu 19.2.2022

Omron, 3D Self-Learning. Webinaari. Katsottu 20.2.2022

Omron. T20 Pendant User's Manual. Käyttöohje. Luettu 12.3.2022.

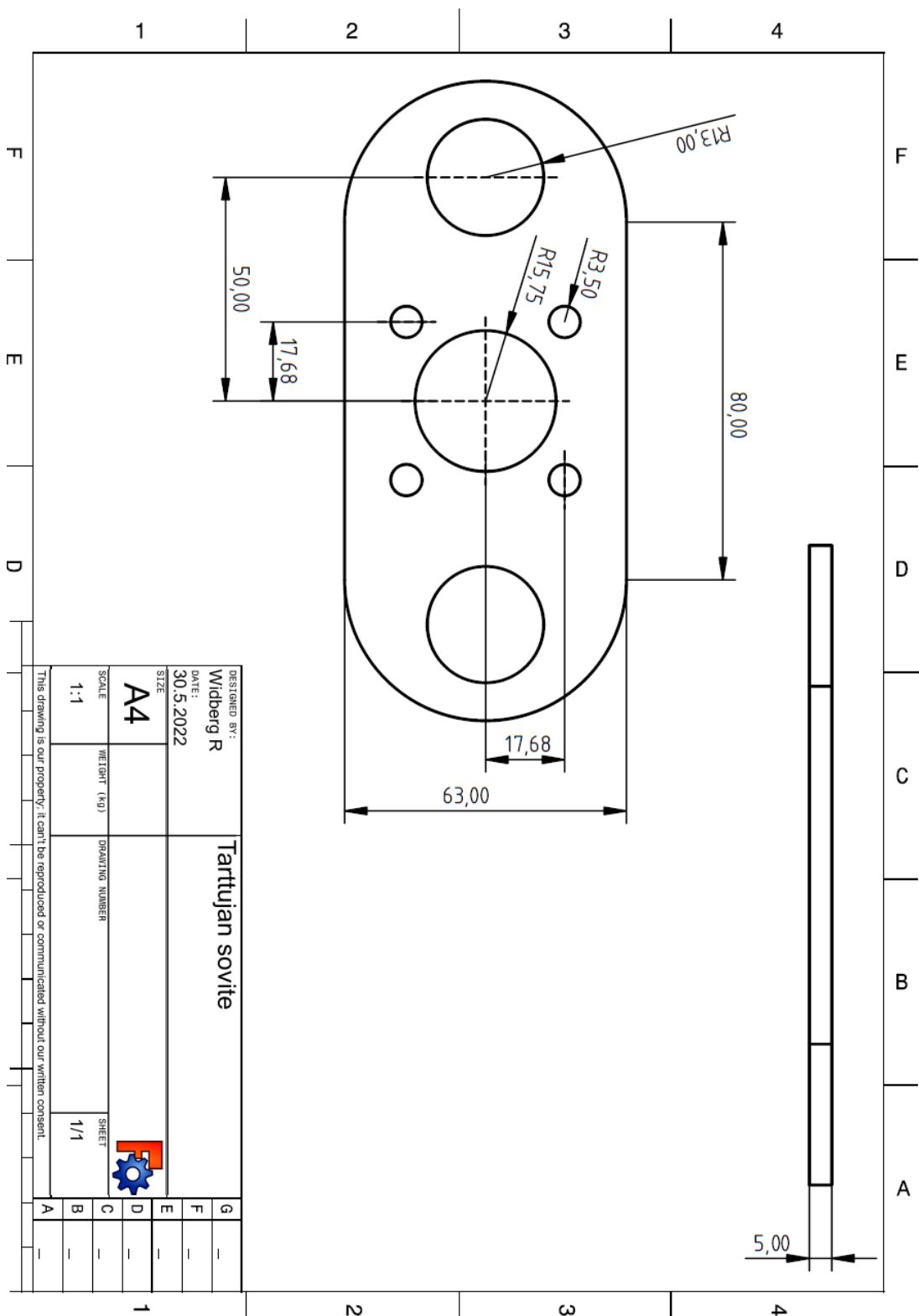
https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v7/i601_t20_pendant_users_manual_en.pdf

Omron. Setting up and programming the AnyFeeder. Käyttöohje.

Omron. ePLC Connect Quick Start Guide. Käyttöohje

LIITTEET

Liite 1. Tarttujan soviteosa

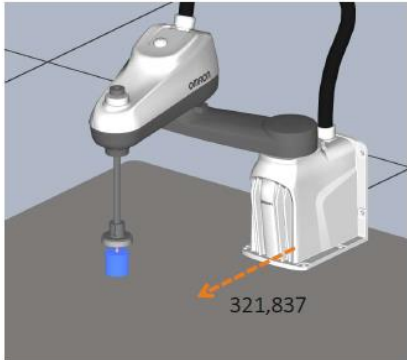


Liite 2. Koulutusmateriaali: Pinoaminen

OMRON

Koordinaattipisteet

Location-ohjelmapisteeseen tallennetaan robotin työkalupisteen koordinaatit ja työkalun kulma

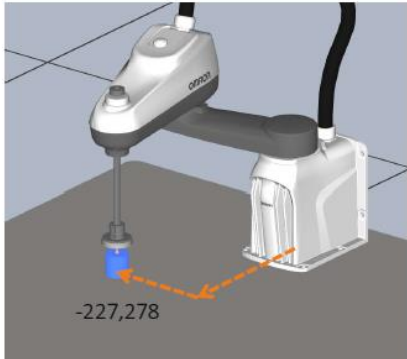


| Name | Type | Value |
|------|----------|---|
| pick | Location | 321,837 227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

OMRON

Koordinaattipisteet

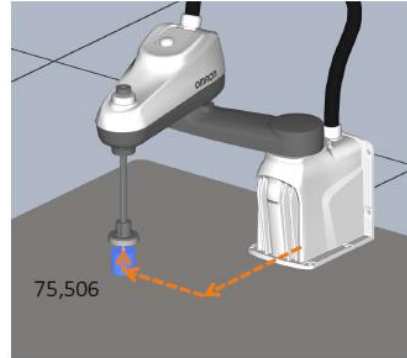
Location-ohjelmapisteeseen tallennetaan robotin työkalupisteen koordinaatit ja työkalun kulma



| Name | Type | Value |
|------|----------|--|
| pick | Location | 321,837 -227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

Koordinaattipisteet

Location-ohjelmapisteeseen tallennetaan robotin työkalupisteen koordinaatit ja työkalun kulma



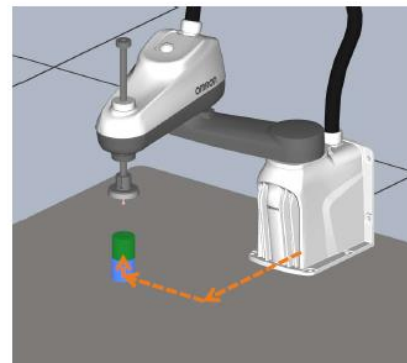
| Name | Type | Value |
|------|----------|--|
| pick | Location | 321,837 -227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

Koordinaattipisteet

Location-ohjelmapisteen ohjelmallinen muokkaaminen on helppoa.

Mahdollistaa ohjelman ajon aikana muuttuvan paikoituksen.

Esimerkkinä pinosta poimiminen



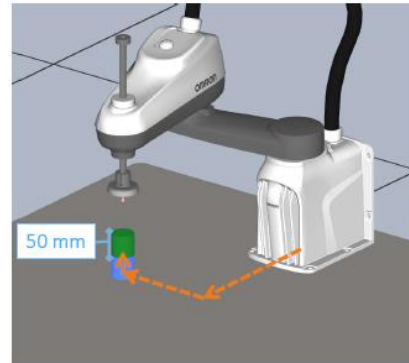
| Name | Type | Value |
|------|----------|--|
| pick | Location | 321,837 -227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

Koordinaattipisteet

Location-ohjelmapisteen ohjelmallinen muokkaaminen on helppoa.

Mahdollistaa ohjelman ajon aikana muuttuvan paikoituksen.

Esimerkkinä pinosta poimiminen



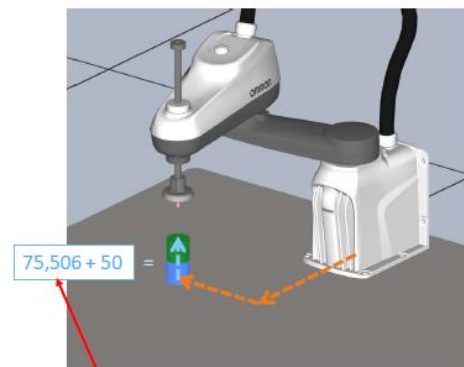
| Name | Type | Value |
|------|----------|--|
| pick | Location | 321,837 -227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

Koordinaattipisteet

Location-ohjelmapisteen ohjelmallinen muokkaaminen on helppoa.

Mahdollistaa ohjelman ajon aikana muuttuvan paikoituksen.

Esimerkkinä pinosta poimiminen



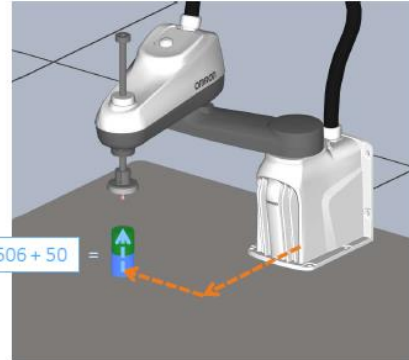
| Name | Type | Value |
|------|----------|--|
| pick | Location | 321,837 -227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

Koordinaattipisteet

```

1 .PROGRAM program0()
2
3
4
5     SET pick2 = SHIFT(pick BY 0,0,50)
6
7
8
9
10 .END
11

```



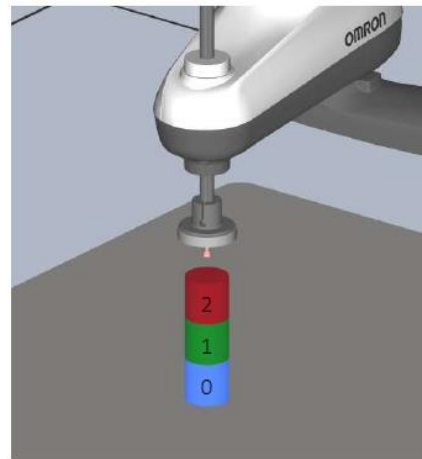
| Name | Type | Value |
|------|----------|--|
| pick | Location | 321,837 -227,278 75,506 0,000 180,000 -180,000 |

Esimerkki: Pinosta poimiminen

```

1 .PROGRAM program0 ()
2
3 ; Calculate pick position
4     SET pick_pos = SHIFT(pick_base BY 0,0,50*part_number)
5
6 ; Move to part
7     APPRO pick_pos,50
8     MOVES pick_pos
9
10 ; Grip part
11     BREAK
12     SIGNAL gripper
13     WAIT.EVENT, 1 ;Wait for one second
14
15 ; Lift part
16     DEPARTS 50
17
18 ; Update part number
19     part_number = part_number - 1
20
21 .END
22
23

```



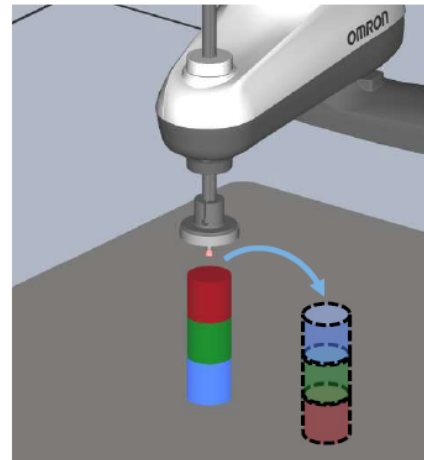
Harjoitus: Pinoaminen

Kirjoita ohjelma, joka siirtää kappaleita yhdestä pinosta toiseen. Voit käyttää oheista ohjelmaesimerkkiä apunasi.

```

1 H_PROGRAM program0()
2
3 ; Calculate pick position
4 SET pick_pos = SHIFT(pick_base BY 0,0,50*part_number)
5
6 ; Move to part
7 APPRO pick_pos,50
8 MOVES pick_pos
9
10 ; Grip part
11 BREAK
12 SIGNAL gripper
13 WAIT.EVENT, 1 ;Wait for one second
14
15 ; Lift part
16 DEPARTS 50
17
18 ; Update part number
19 part_number = part_number - 1
20
21
22 .END

```



Ratkaisu: Pinoaminen

```

PROGRAM main()
; Declare variables
;-----
GLOBAL REAL stack1, stack2, gripper, gripper_delay
stack1 = 3
stack2 = 0
grripper = 1
grripper_delay = 0.5
; Main loop
;-----
WHILE stack1 > 0 DO
CALL pick
CALL place
END
.END

```

```

PROGRAM pick()
; Declare variables
AUTO LOC position
; Calculate pick position
SET position = SHIFT(pick_base BY 0,0,50*(stack1-1))
; Move to the part
APPRO position, 50
MOVES position
; Grip part
BREAK
SIGNAL gripper
WAIT.EVENT, gripper_delay
; Lift the part
DEPARTS 50
; Update the stack
stack1 = stack1 -1
.END

```

```

PROGRAM place()
; Declare variables
AUTO LOC position
; Calculate place position
SET position = SHIFT(place_base BY 0,0,50*stack2)
; Move to the part
APPRO position, 50
MOVES position
; Release part
BREAK
SIGNAL -grripper
WAIT.EVENT, gripper_delay
; Lift the part
DEPARTS 50
; Update the stack
stack2 = stack2 +1
.END

```